

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT  
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE KASDI MERBAH

OUARGLA

FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

ET SCIENCES DE LA MATIERE

Département d'Hydraulique et de Génie Civil

N d'ordre °:

N° de série :

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Magister en Génie Civil

Option : Géo-Matériaux

Réalisé par :

**M<sup>r</sup>: MEKHERMECHE Abdessalam**

THEME

**Contribution à l'étude des propriétés mécaniques et  
thermiques des briques en terre en vue de leur utilisation  
dans la restauration des Ksours sahariennes**

Soutenu publiquement le : --/--/2012 (copie)

Devant le jury composé de :

<b>BOUGUETTAIA Hamza</b>	<b>Professeur</b>	<b>Univ. Ouargla</b>	<b>Président</b>
<b>BENTEBBA M Tahar</b>	<b>Maître de Conférences 'A'</b>	<b>Univ. Ouargla</b>	<b>Examineur</b>
<b>BOUBEKRI Abdelghani</b>	<b>Maître de Conférences 'A'</b>	<b>Univ. Ouargla</b>	<b>Examineur</b>
<b>KRIKER Abdelouahed</b>	<b>Professeur</b>	<b>Univ. Ouargla</b>	<b>Encadreur</b>
<b>ABBANI Saïd</b>	<b>Maître Assistant 'A'</b>	<b>Univ. Ouargla</b>	<b>Invité</b>

## Résumé

Les régions sahariennes de notre pays ont un climat chaud et sec en été, froid et sec en hiver, les matériaux de construction usuellement utilisés dans ces régions sont le béton ou le mortier qui présentent de mauvaises propriétés thermiques. Dans un souci de fabriquer des briques en terre ayant de bonnes propriétés mécaniques et thermiques a fait l'objet de cette étude. Le présent rapport est le résultat d'un travail expérimental touchant deux vastes domaines des sciences appliquées la mécanique et la thermique du bâtiment.

L'étude porté sur des briques en terre (argile) choisi comme matériau de référence au quel nous avons associé le sable des dunes, la fibres de palmier dattier.

Nous avons fait varier le pourcentage de sable de 0% à 40% et celui de la fibre de 0% à 3% en masse. Nous avons construite quelques prototypes réalisés par des briques cuites en terre remplis du la terre crue avec différents pourcentage de sable et de fibre.

Les résultats ont montré que l'augmentation en % de sable ou de fibre est bénéfique pour l'amélioration. Des propriétés thermiques avec des résistances mécaniques acceptables.

Nous avons obtenus à 14h un écart de température très remarquable comparé au prototype témoin. Trois prototypes ont présente jusqu'à 14h un confort thermique.

### Mots clés :

Brique en argile ; terre ; Ciment ; Béton ; Durabilité ; Résistance; Isolation thermique ; Construction ; Habitat.

## Abstract

Saharan regions of our country have a hot, dry summers and cold and dry in winter, building materials commonly used in these regions are concrete or mortar which have poor thermal properties.

In one cares to produce clay bricks with good mechanical properties and thermal study is launched. This report is the result of experimental work involving two broad areas of applied sciences: mechanics and heat the building. The study focused on the bricks of earth (clay) chosen as reference material to which we associate sand dune; date palm fiber.

We did the percentage of sand varies from 0% at 40% and 0% to 3 fiber mass% as we have produced some prototype made by bricks baked in the ground filled with mud of various percentages of sand and fiber .

The results showed that increasing% sand on fiber is beneficial for improving thermal properties with acceptable mechanical strength.

We obtuse à 14h a very remarkable difference in temperature compared to the prototype witnesses. Three prototypes were presented to 14h thermal comfort.

**Keywords:** Clay, brick, earth, cement, concrete, resistance, Thermal insulation, Construction, Housing

## ملخص

من مواد البناء المستعملة في الجنوب الجزائري الخرسانة و الملاط الإسمنتي والطوب، ونظرا لسوء خصائص هذه المواد خاصة من جانب الخصائص الحرارية، وان المناطق الصحراوية تتميز بمناخ حار وجاف صيفا وبارد شتاءا. ومن اجل إيجاد آجر الطين وبخصائص حرارية و ميكانيكية جيدة قمنا بالدراسة الحرارية و الميكانيكية على الأجر المنجز بالمخبر وذلك بإضافة نسب من الرمل من 0% إلى 40% ومن ألياف النخيل من 0% إلى 3% من وزن الأجر واتبعا ذلك بانجاز نماذج مجسمة بنفس الخصائص المحصل عليها مخبريا فكانت النتائج انه كلما زادت نسبة الرمل والألياف تحسنت الخصائص الحرارية و بخصائص ميكانيكية مقبولة حيث إننا لاحظنا فارق في الحرارة معتبر عند الساعة 14 سا وبالتالي تكوين فكرة عن مجال الراحة الحرارية لثلاثة نماذج

### كلمات المفتاحية

آجر الطين ، الخرسانة ، الملاط ، المقاومة ، العزل الحراري ، الإسكان ، البناء

## Liste des photos

<b>Photo I-1 : Gisement d'argile de B .Amer à Ouargla</b>	<b>5</b>
<b>Photo I-2 : Coupage de brique</b>	<b>6</b>
<b>Photo I-3 : Brique pleine et perforée et Brique creuse</b>	<b>10</b>
<b>Photo I-4 : Produit en briques silico-calcaire</b>	<b>13</b>
<b>Photo I-5 : Mur en pisé</b>	<b>19</b>
<b>Photo I-6 : Presses manuelles</b>	<b>20</b>
<b>Photo I-7 : Presses motorisées</b>	<b>20</b>
<b>Photo I-8 : Les différent blocs de terre comprimée</b>	<b>21</b>
<b>àPhoto III -1 : Appariel CT mètre</b>	<b>49</b>
<b>Photo III -2 : Sable de dunes</b>	<b>53</b>
<b>Photo III -3 : L'argile</b>	<b>58</b>
<b>Photo III -4 : fibres de palmier dattier</b>	<b>63</b>
<b>Photo III -5 : Observation de la texture de la fibre de palmier dattier par MEB</b>	<b>66</b>
<b>Photo III -6 : Observation des pores dans la fibre de palmier par MEB</b>	<b>66</b>
<b>Photo III -7 : Observation d'une coupe transversale de la fibre de palmier dattier par MEB</b>	<b>67</b>
<b>Photo III -8 : Observation d'une vue longitudinale de la fibre de palmier dattier par MEB</b>	<b>67</b>
<b>Photo III -9: prototype P0</b>	<b>71</b>
<b>Photo III -10 : prototype P1</b>	<b>71</b>
<b>Photo III -11 : prototype P2</b>	<b>71</b>
<b>Photo III -12 : prototype P2-1</b>	<b>72</b>
<b>Photo III -13 : prototype P2-2</b>	<b>72</b>
<b>Photo III -14 : prototype P3</b>	<b>72</b>
<b>Photo III -15 : prototype P4</b>	<b>73</b>
<b>Photo III -16 : prototype P4-1</b>	<b>73</b>

## Listes des figures

<b>Figure II-1 :les échanges thermiques des corps</b>	<b>30</b>
<b>Figure II-2: Carte du sud de l'ALGERIE (situation de la ville d'Ouargla)</b>	<b>31</b>
<b>Figure II-3 : Les zones climatiques d'été. Source</b>	<b>32</b>
<b>Figure II-4 : Les zones climatiques D'hiver. Source</b>	<b>32</b>
<b>Figure II-5 : température mensuelle moyenne de la région de Ouargla</b>	<b>34</b>
<b>Figure II-6 : Humidité mensuelle moyenne de la région de Ouargla</b>	<b>34</b>
<b>Figure II-7 : vitesse mensuelle moyenne des vents de la région de Ouargla 2008</b>	<b>35</b>
<b>Figure II-8 : évaporation température mensuelle moyenne de la région de Ouargla</b>	<b>35</b>
<b>Figure II-9 : Durée mensuelle moyenne d'insolation de la région de Ouargla 2008</b>	<b>36</b>
<b>Figure II-10 : Précipitation mensuelle moyenne de la région de Ouargla 2008</b>	<b>37</b>
<b>Figure II-11 : transfert de chaleur par conduction</b>	<b>39</b>
<b>Figure II-12 : transfert de chaleur par convection</b>	<b>40</b>
<b>Figure II-13 : transfert de chaleur par rayonnement</b>	<b>41</b>
<b>Figure II-14 : représentation de flux thermique</b>	<b>42</b>
<b>Figure III -1 : le principe de mesure à l'aide d'un fil chaud</b>	<b>47</b>
<b>Figure III-2 : diagramme d'estimation de <math>\lambda</math> de la méthode de fil chaud</b>	<b>48</b>
<b>Figure III 3 : mécanisme de l'appareile</b>	<b>50</b>
<b>Figure III-4 : appareile ultrasonique</b>	<b>50</b>
<b>Figure III -5 : Essai de flexion sur brique de terre</b>	<b>51</b>
<b>Figure III-6 : Essai de la compression sur brique de terre</b>	<b>51</b>
<b>Figure III -7 : Diffractogramme de sable des dunes</b>	<b>54</b>
<b>Figure III -8 : courbe granulométrique de sable des dunes</b>	<b>56</b>
<b>Figure III-9 : Essai équivalent de sable</b>	<b>77</b>
<b>Figure III-10 : courbe granulométrque d'argile</b>	<b>60</b>
<b>Figure III -11 : présentation des limites d'atterberg</b>	<b>61</b>
<b>Figure III-12 : abaques de CAZAGRANDE de l'argile</b>	<b>61</b>
<b>Figure III-13 : Microstructure des fibres de palmier dattier</b>	<b>65</b>
<b>Figure IV -1 : conductivité thermique <math>\lambda</math> en fonction du pourcentage de sable</b>	<b>74</b>
<b>Figure IV -2 : la résistance thermique <math>R_{th}</math> en fonction du pourcentage de sable</b>	<b>77</b>
<b>Figure V-3 :la chaleur spécifique <math>C_p</math> en fonction du pourcentage de sable</b>	<b>77</b>
<b>Figure IV -4 : la masse volumique en fonction du pourcentage de sable</b>	<b>78</b>
<b>Figure IV -5 : la conductivité thermique <math>\lambda</math> en W/m K en fonction du la masse volumique pour les déférents pourcentage de sable</b>	<b>79</b>
<b>Figure IV -6 : la Capacité thermique en fonction de % de sable</b>	<b>79</b>
<b>Figure IV -7 :la Effisivité en fonction de % de sable</b>	<b>80</b>
<b>Figure IV -8 : La diffusivité en fonction de % de sable</b>	<b>81</b>
<b>Figure IV -9 : la conductivité thermique <math>\lambda</math> en fonction du pourcentage de fibre</b>	<b>82</b>

<b>Figure IV -10 : la résistance thermique <math>R_{th}</math> en fonction du pourcentage de fibre</b>	<b>83</b>
<b>Figure IV -11 : la chaleur spécifique <math>C_p</math> en fonction du pourcentage de fibre</b>	<b>84</b>
<b>Figure IV -12 : la masse volumique <math>\rho</math> en fonction du pourcentage de fibre</b>	<b>84</b>
<b>Figure IV -13 : la conductivité thermique <math>\lambda</math> en fonction du la masse volumique pour les différents pourcentage de fibre</b>	<b>85</b>
<b>Figure IV -14 : la Capacité thermique en fonction de % de fibre</b>	<b>86</b>
<b>Figure IV -15 : Effusivité en fonction de % de fibre</b>	<b>87</b>
<b>Figure IV -16 : la Diffusivité en fonction de % de fibre</b>	<b>88</b>
<b>Figure IV -17: Résistance à la traction par rapport au pourcentage de sable de dune</b>	<b>90</b>
<b>Figure IV -18 : Résistance à la compression par port au pourcentage de sable de dune</b>	<b>90</b>
<b>Figure IV -19 : Résistances à la traction par rapport au pourcentage de fibre</b>	<b>91</b>
<b>Figure IV -20 : Résistances à compression par rapport au pourcentage de fibre</b>	<b>92</b>
<b>Figure IV -21 : Valeur de la vitesse moyenne (essai ultrasonique) argile + sable de dune (%)</b>	<b>93</b>
<b>Figure IV -22 : Valeur de la vitesse moyenne (essai ultrasonique) argile + 1% ;2% ;3% fibre de plumer date</b>	<b>94</b>
<b>Figure IV -23 : L'influence de température sur le prototype de P1 à P4</b>	<b>97</b>
<b>Figure IV -24 : L'influence de température sur le prototype P 2-1</b>	<b>98</b>
<b>Figure IV -25 : L'influence de température sur le prototype P 2-2</b>	<b>99</b>
<b>Figure IV -26 : L'influence de température sur le prototype P 4-1</b>	<b>99</b>
<b>Figure IV -27 : Ecart de température des prototypes</b>	<b>101</b>

## liste des Tableaux

<b>Tableau I-1 : Les propriétés physico-mécaniques des Briques creuses et perforés</b>	<b>9</b>
<b>Tableau I-2 : La Résistance thermique des Briques creuses et pleines</b>	<b>9</b>
<b>Tableau I-3 : Propriétés des briques</b>	<b>13</b>
<b>Tableau I-4 : Les Caractéristiques des briques de terre crue</b>	<b>13</b>
<b>Tableau I-5 Recapulative des recherches bibliographiques</b>	<b>30</b>
<b>Tableau II -1 les données climatique de Ouargla 2009</b>	<b>33</b>
<b>Tableau II-2 nombre de clients électricité au niveau de la ville d'ouargla</b>	<b>38</b>
<b>Tableau II-3 consommation de 3 trimestre /1 trimestre</b>	<b>38</b>
<b>Tableau II-4 conductivité thermique de quelques matériaux</b>	<b>43</b>
<b>Tableau III -2 :Analyse granulométrique de sable des dunes</b>	<b>55</b>
<b>Tableau III -3 : analyse granulométrie d'argile</b>	<b>59</b>
<b>Tableau III -4 : classification des argiles selon Burmister</b>	<b>62</b>
<b>Tableau III -5 : classification des argiles selon Atterberg</b>	<b>62</b>
<b>Tableau III -6 : analyse chimique d'argile</b>	<b>62</b>
<b>Tableau III -7 : composition chimique de l'eau</b>	<b>63</b>
<b>Tableau III -8 : Analyse chimique de la poudre des fibres calcinées à 400 °C</b>	<b>64</b>
<b>Tableau III-9 : prototypes réalisés</b>	<b>73</b>
<b>Tableau IV-1 : les résultats thermiques de brique en argile et sable de dunes</b>	<b>78</b>
<b>Tableau IV-2 : les résultats thermiques en fonction du pourcentage de fibre</b>	<b>81</b>
<b>Tableau IV-3 : les résultats thermiques de la brique B1</b>	<b>89</b>
<b>Tableau IV-4 :Comparaison des resultats</b>	<b>89</b>
<b>Tableau IV-5 : Résistance à la flexion et à la compression par port au pourcentage de sable de dune</b>	<b>90</b>
<b>Tableau IV-6 : Résistance a la traction et à la compression argile +fibre</b>	<b>91</b>
<b>Tableau IV-7 : Résistance a la traction et à la compression de la brique B1</b>	<b>92</b>
<b>Tableau IV-8 Valeur de la vitesse moyenne (essai ultrasonique) argile + sable de dune (%)</b>	<b>93</b>
<b>Tableau IV-9 : Valeur de la vitesse moyenne (essai ultrasonique) argile + 1% ;2% ;3% fibre de palmier dattier</b>	<b>93</b>
<b>Tableau IV-10 : Valeur de la vitesse moyenne (essai ultrasonique) de la brique B1</b>	<b>94</b>
<b>Tableau IV-11 : Variation de la température (de P 1 à P 4)</b>	<b>95</b>
<b>Tableau IV-12 : Variation de la température (P 2-1)</b>	<b>96</b>
<b>Tableau IV-13 : Variation de la température (P 2-2)</b>	<b>96</b>
<b>Tableau IV-14 : Variation de la température (P 4-1)</b>	<b>96</b>
<b>Tableau IV-15 : Ecart du température des prototypes</b>	<b>101</b>

## Liste des notations

---

$\lambda$ : Conductivité thermique .....	(W/m.K)
CP : Chaleur spécifique .....	(kJ/m <sup>3</sup> .K), (J/kg.K)
C : capacité thermique .....	(J/K)
U : coefficient de transmission calorifique .....	(W/m <sup>2</sup> .K)
L : chaleur latente .....	(J/kg)
a : dimension .....	(cm)
b : dimension .....	(cm)
$\Phi$ : densité de flux .....	(W/m <sup>2</sup> )
D : diffusivité thermique .....	(m <sup>2</sup> /s)
e : Epaisseur d'éprouvette.....	(cm)
E : effusivité thermique .....	(W/m <sup>2</sup> .K.s <sup>-0,5</sup> )
$\phi$ : flux thermique .....	(W/cal.s)
h : Hauteur .....	(cm)
IP : indice de plasticité .....	(%)
WL : limite de liquidité .....	(%)
Wp : limite de plasticité .....	(%)
$\rho$ : masse volumique .....	(kg/m <sup>3</sup> )
m: masse .....	(kg)
MF : module de finesse .....	(%)
$\eta$ : porosité .....	(%)
Q , $\Delta Q$ : quantité d'énergie .....	(J, cal)
Rt : résistance à la traction.....	(MPa)
Rc : résistance à la compression.....	(MPa)
R, Rth : Résistance thermique .....	(m <sup>2</sup> .K/W)
A, S : Surface.....	(cm <sup>2</sup> )
t : Temps .....	(s)
T, température .....	(°C,K)
V : Volume .....	(m <sup>3</sup> )
v : vitesse de propagation de son .....	(m/s)

La terre, matière première naturelle, est utilisée par l'homme dans la construction depuis des milliers d'années.

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'Algérie se situe dans une zone à haute potentialité solaire, et présente près de 90 % des terres arides et semi-arides, de ce fait il est important de s'intéresser à la situation actuelle des villes sahariennes. Il se trouve que de nos jours, l'espace Oasien qui représente les fondements de toutes les villes sahariennes et qui représente l'espace nécessaire par excellence est en dislocation et n'arrête pas de subir les effets destructeurs du paysage de la part de l'urbanisation dite moderne .

Hier les cités du désert n'ont pas cessé de subir des modèles exogènes, coloniaux, puis post coloniaux, qui ne parviennent ni à s'habituer au milieu naturel, ni à s'inscrire dans la logique d'implantation des Ksors.

Ainsi, ces sociétés du désert en quête de développement et de modernisation se trouvent déchirées entre des modèles différents et contradictoires, ce qui se traduit par des phénomènes d'adoption, de transformation très visible particulièrement sur l'habitat.

Les villes du sud algérien vue leur architecture bioclimatique fondée sur des matériaux de construction traditionnels locaux tel que la brique de terre séchée présente une très belle vue architecturale.

Toutes les villes du désert, abordent les mêmes mutations culturelles qui se projettent directement sur l'image de la ville et les différentes structures urbaines. En effet plusieurs villes du sud algérien présentent trois formes claires avec des niveaux de relations différentes : Le Ksor, le village colonial et les opérations post-coloniales. Cette étude s'intéresse au ksor

Le Ksor : Tissu traditionnel dense et compact, apparaît dans sa forme actuelle suivant un axe "structurant" qui délimite la palmeraie d'un bâti. Ce tissu démontre la volonté de créer une unité adaptée aux besoins d'une société dans un climat apprivoisé avec le

temps. Ceci se traduit par des itinéraires fortement hiérarchisés et des symboliques qui expriment un savoir-faire bien ancien.

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.

L'évolution des techniques et le développement de nouveaux matériaux de construction contribuent à l'amélioration du confort thermique des usagers des bâtiments.

Certains matériaux naturels encore mal connus peuvent entraîner une diminution des dépenses énergétiques des bâtiments par une meilleure qualité d'isolation et contribuer ainsi à la protection de l'environnement.

Notre contribution à ce thème se soldera par des interventions différentes selon plusieurs paramètres qui peuvent influencer sur les propriétés mécaniques et thermiques de la brique de terre, donc notre intervention vise la possibilité d'améliorer ses différentes propriétés et de le rendre durable.

Pour cela, la démarche à suivre se définira par la lecture approfondie du sujet, ensuite par une tentative de perfectionnement de la durabilité par l'amélioration des propriétés mécaniques et thermiques de ce matériau.

Dans le cadre des travaux de restauration des ksors de la ville de Touggourt spécialement le ksar de Témacine, l'A P C de Témacine nous a sollicité à caractériser les briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration. De ce fait, le but de cette étude est de réaliser une brique dite brique en terre, dont il serait le principal constituant, et par conséquent d'un grand intérêt économique pour la région sud du pays. La méthode expérimentale de formulation de cette brique est basée principalement sur l'optimisation des proportions des différents constituants (fibre, sable). Ceci dans le but d'obtenir une brique à caractéristiques convenables (résistance mécanique acceptable, bonne isolation thermique et autres ...).

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

- Le premier chapitre présente les généralités sur les techniques de production des briques et leurs propriétés thermo- mécaniques
- Le deuxième chapitre présentes propriétés climatiques de la zone d'étude et propriétés thermo- mécaniques.
- Le troisième chapitre, est consacré aux méthodes d'essai, caractéristiques des matériaux utilisés et confection des briques et prototypes
- Le quatrième chapitre présente les résultats et interprétations.

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

Le présent mémoire se termine par une conclusion et quelques recommandations dans le souci de mieux valoriser ce nouveau matériau de construction dans les régions sahariennes et spécialement dans les ksors.

## **Généralités sur les techniques de production des briques et leurs propriétés Thermo-mecaniques**

### **I.1 Introduction**

Les briques, depuis longtemps, sont considérées parmi les éléments les plus importants dans le domaine de la construction. La fabrication des briques est passée par plusieurs étapes de développement dont la première est la brique crue, puis la brique cuite, enfin la brique industrielle stabilisée.

La technologie actuelle permet de réaliser plusieurs types de briques avec des performances supplémentaires pour différentes destinations (Brique de verre, brique cellulaire, brique monobloc ...etc.)

Dans ce chapitre, nous allons exposer les étapes de progression de la technologie de confection des différentes briques.

### **I.2 Brique de terre cuite**

Les matériaux de terre cuite ont été utilisés depuis plusieurs siècles , ils se sont adaptés à l'évolution de la construction et à ses impératifs, dans le domaine traditionnel industriel. Ils sont fabriqués à partir d'argile devenant souvent rouge à la cuisson (sauf les argiles calcaires dont la couleur de cuisson varie du rose à jaune et blanc [1, 2] .

#### **I.2.1 Mode de fabrication**

##### **I.2.1.1 Méthode traditionnelle**

L'extraction de la terre nécessaire à la fabrication des briques se faisait à partir de puits rudimentaires, de mines ou de carrières. Avant la mécanisation. Une fois l'argile extraite, un travail de broyage permettait d'affiner la matière première. Ensuite, l'ajout d'eau en grande quantité permettait d'obtenir une pâte homogène, à la plasticité voulue. Le pétrissage, autrefois de faisant pied, et désormais avec de puissantes machines, permettait d'éliminer les derniers cailloux. Cette préparation de l'argile se terminait par une phase de pourrissage, durant laquelle la terre glaise se « reposait ».

Son façonnage se faisait dans un moule en bois dont les bords et le fond étaient ensablés afin que la glaise n'y adhère pas. Un morceau de glaise était placé dans le moule, puis aplani. La surface était égalisée et arasée de son excédent à l'aide d'un archet. Le tout était démoulé et déposé sur le sol, ou sur une grille pour une première phase de séchage.

Une fois durcies, les briques étaient empilées en quinconces pour faciliter la circulation de l'air entre elles. La cuisson s'opérait quand le nombre de briques sèches était suffisant. Elles étaient alors empilées selon le même principe à l'intérieur du four, par une étroite ouverture verticale aménagée dans un des côtés. Des rainures horizontales recevaient une planche servant de support à l'ouvrier chargé de placer les briques jusqu'en haut du four. L'ouverture était ensuite obturée avec de la terre. Le feu était allumé dans le foyer situé en sous-sol du four, et entretenu pendant plusieurs jours, avec une surveillance constante. [3,4]

Ce travail manuel a donné aux briques leur forme caractéristique. Aujourd'hui, ce travail est industrialisé et permet d'obtenir différentes tailles de briques, parfaitement identiques. Un système de découpage automatique façonne des briques à partir de boudins de glaise. La brique subit ensuite une série de séchages qui éviteront les fissures et les éclats lors de la cuisson.

#### I.2.1.2 Méthode moderne

Extrusion des briques à travers une filière.

La fabrication d'une brique moderne passe par les grandes étapes suivantes:[4]

- Extraction de l'argile rouge et de l'argile verte. On mélange environ 10 % d'argile verte avec 90 % d'argile rouge. La terre argileuse, généralement extraite à proximité de la briqueterie, ne peut pas inclure trop de sable.( Voir phot I-1)



**Photo (I -1) :** Gisement d'argile de B .Amer à Ouargla

- Broyage de la terre pour obtenir la granulométrie désirée

## CHAPITRE I : Généralités sur les techniques de production des briques et leurs propriétés Thermo-mecaniques

---

- Humidification et mélange des divers types de terres ; ajout d'une faible quantité de lignosulfite, résidu de l'industrie du papier, dérivé de la lignine contenue dans les arbres ; le lignosulfite facilite l'extrusion.
- Extrusion au travers de filières correspondant à une forme donnée de brique
- Coupage (voir phot I-2)
- Séchage dans un séchoir à gaz (durée entre vingt et cinquante heures) FigI-1
- Cuisson à environ 900 °C, pendant trente heures
- Éventuellement rectification (fraisage des bords jointifs pour faciliter le montage).

La figure (I-1) et (I-2) résument les processus moderne de fabrication des briques



**Photo (I -2) : Coupage de brique**

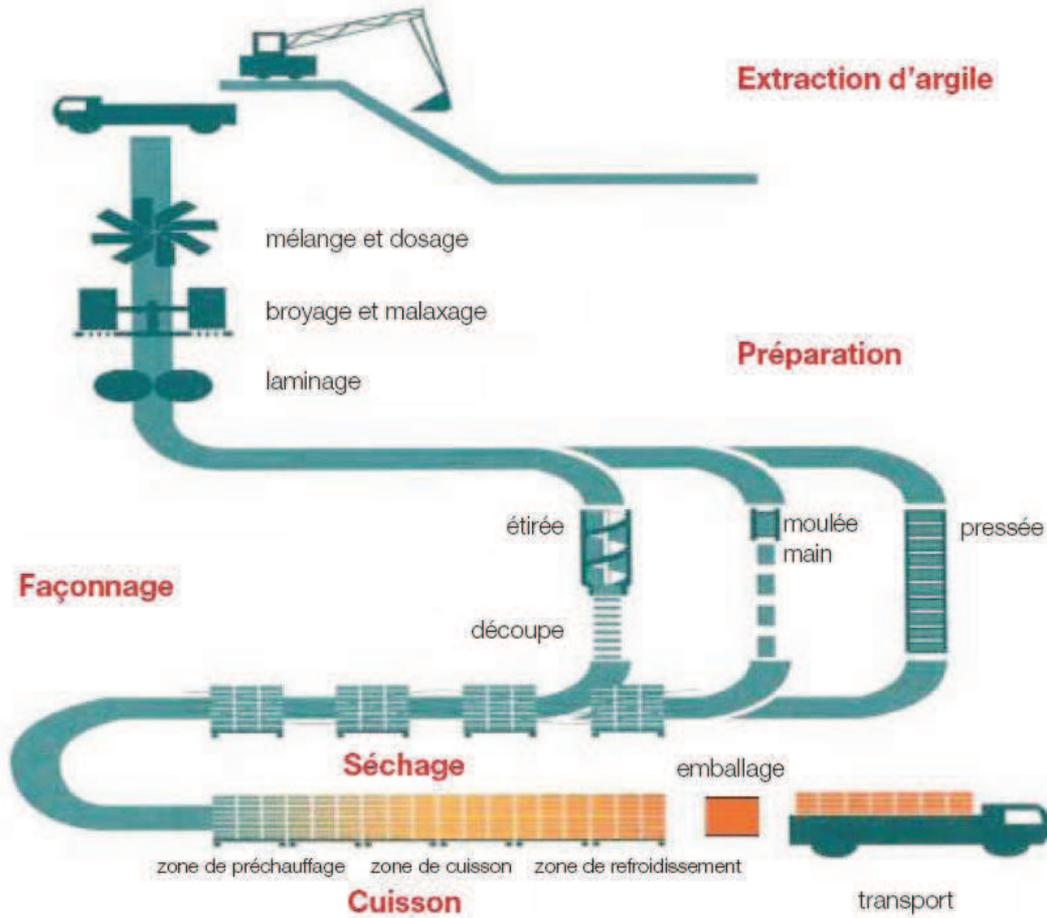


Figure (I.1) : Fabrication des produits de terre cuite [1]

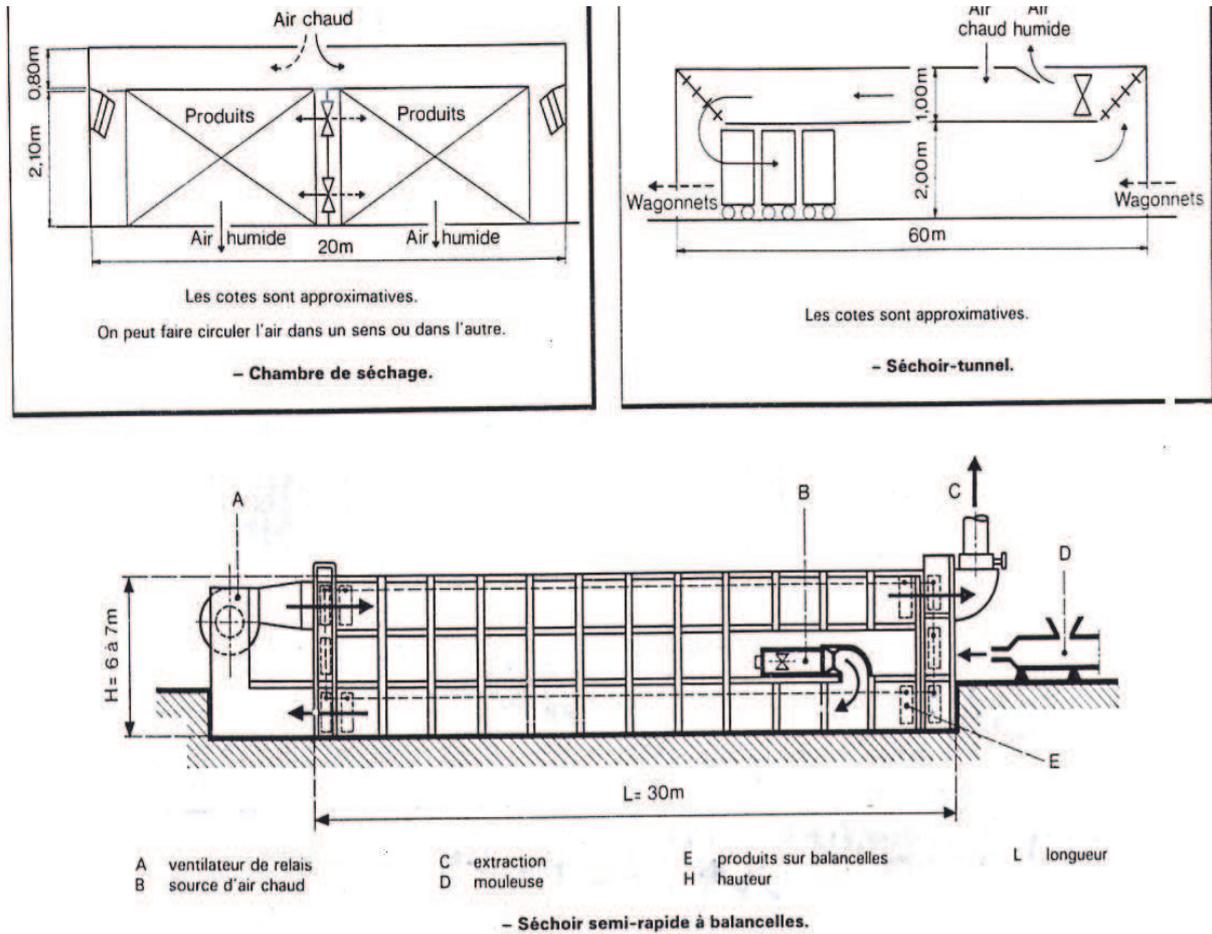


Figure (I. 2) : séchage des briques de terre cuite [1]

## I.2.2 les propriétés thermo- physico -mécaniques de brique de terre cuite

Les propriétés thermo- physico –mécaniques de brique de terre cuite sont indiquées dans les tableaux suivants :

**Tableau (I. 1) : les propriétés physico –mécaniques des Briques creuses et perforées [5, 6,7]**

Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Briques creuses	Briques perforées
		1750-2050
Absorption d'eau	< 15%	30 - 80 %
Isolation acoustique	41 -58 dB	41 - 54 dB
Résistance à la compression	4 - 8 MPa	12.5 - 40 MPa

**Tableau (I.2) : la Résistance thermique des briques pleines, creuses et perforées [5, 6,7]**

pleines		perforées		creuses	
Epaisseur (cm)	R (m <sup>2</sup> . °C/W)	Epaisseur (cm)	R (m <sup>2</sup> . C/W)	Epaisseur (cm)	R (m <sup>2</sup> . C/W)
5.5	0.05	20	0.52	5	0.10
10.5	0.09	30	1.00	10	0.20
22	0.20	35	1.21	20	0.39

\* la conductivité thermique : des briques de terre cuite pleines égale 1.15 (W /m °C)

## I. 3 les produits

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

### I-3-1 Brique pleine

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

### I-3-2 Brique perforée

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.

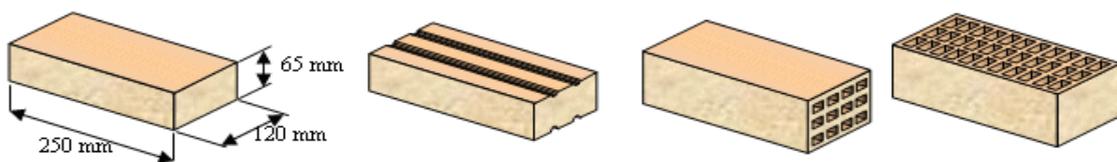
### I-3-3 Bloc perforé

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. La somme des sections des perforations est inférieure ou égale à 60% de la section totale.

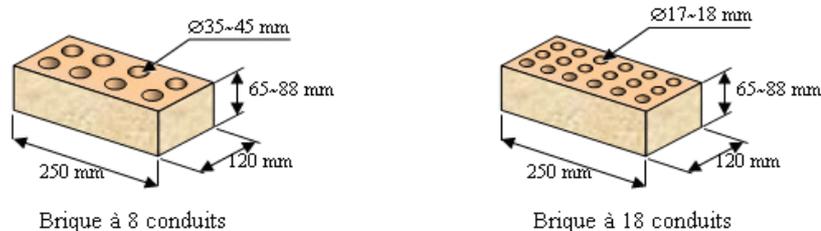
### I.3.4 Brique creuse de terre cuite (Norme NF P 13-301)

On distingue deux types de briques creuses :

- Type C : Briques à faces de pose continues, destinées à être montées a joints de mortiers horizontaux continus.
- Type R.J : Briques dites “ à Rupture de Joint ”, destinées à être montées a joints de mortiers horizontaux discontinus.



#### Briques pleines et perforées



#### Briques perforées

Photo (I.3) : Brique pleine et perforée et Brique creuse [1, 8]

### **I.3.5 Brique silico-calcaire**

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.

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

#### **I.3.5.1 Silico- calcaire denses**

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

Les premiers brevets , qui furent pris en 1880 par l'allemand MICHAELIS et en 1886 par l'anglais VAN DERBURGH étaient relatifs à la fabrication de briques silico-calcaires obtenues par un mélange soigneusement dosé de chaux et silice broyé puis moule par pression et traite par vapeur , la première application industrielle a été faite en Allemagne vers 1894 les pays qui ont les plus fortes production des briques silico-calcaires denses sont : la Russie , L'Allemagne ,les pays bas , la France [6,9,10].

#### **I.3. 5.2 Silico-calcaire léger**

Les briques silico-calcaires légères sont fabriqués à partir des même matériaux que les silico-calcaires denses , mais avec ajout d'un constituant produisant des vides artificiels fermes ,sous forme des bulles gazeuses obtenues par réaction chimique ,ils appartiennent à la classe des matériaux appelés improprement béton cellulaire ou béton gaz .

Les premiers brevets datant de 1890. Mais on considère souvent le suédois J.A .ERIKSSON comme le père de ces produits , ces brevets datent de 1923 et en 1929 il utilisa le traitement à l'autoclave ,ces produits furent d'abord commercialisés en Suède en 1924 au Danemark en 1928 ,en URSS en 1930 . Les principaux producteurs sont la Russie, le japon, l'Allemagne et la Grande-Bretagne [6,11].

### I.5.3 Les phénomènes physiques de processus d'autoclave des briques silico-calcaires

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



Au fur et à mesure que la température s'élève la vitesse de réaction (II.1) croit. Ce processus a lieu dans les autoclaves sous pression de la vapeur saturée (0.8 - 1.2 MPa).

L'augmentation de température et pression de vapeur est suivie par la dissolution des composants initiaux. La solubilité des constituants varie avec la température c'est à dire, la dissolubilité de  $\text{Ca (OH)}_2$  diminue avec l'augmentation de la température et celle du  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) augmente [11].

### I.3.5.4 la Fabrication

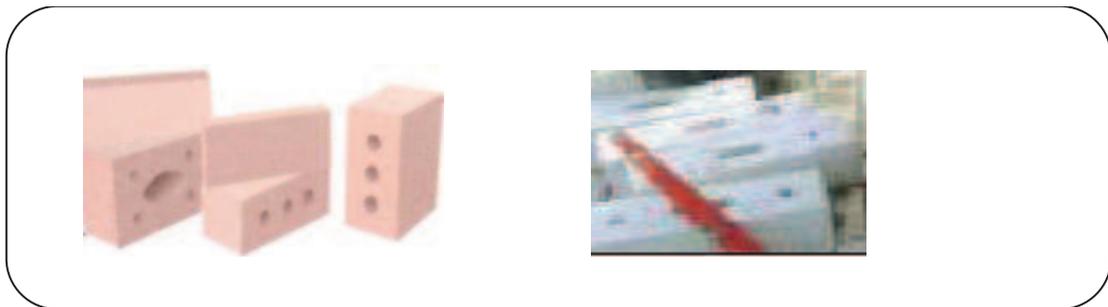
#### A. Silico-calcaire dense

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

Généralement des mélangeurs continus alimentent d'une façon régulière la matière comprimée ou comprimée – vibrée suivant les modèles de presses, sous des pressions variant de 15 à 45 MPa, exceptionnellement 60 MPa, après démoulage les produits sont traités dans des autoclaves durant de 6 à 14 h et la pression varie de 0,8 à 1,2 MPa (à 170 - 190°C environ) [6,10, 11].

### B. Silico-calcaire léger

Ces matériaux sont obtenus par traitement à l'autoclave d'un mélange de sable siliceux (60à 65%) ,de chaux et de ciment (35 à 40% pour l'ensemble ) , une multitude de petite cellules étant créés dans une mélange par dégagement gazeux résultant de l'addition , au moment du gâchage , de poudre d'aluminium.[ 12]



**Photo (I .4) : produit en briques silico-calcaires**

#### I.3.5.5 propriétés de brique silico-calcaires

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

**Tableau (I.3) propriétés de brique silico-calcaire produits, les blocs pleins. Les blocs creux Les blocs spéciaux [12, 13, 14,15,23]**

Caractéristique	Type brique silico-calcaires	
	Brique silico-calcaire dense	Brique silico-calcaire léger
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	600 - 2200	300 - 800
Résistance à la compression (MPa)	6 - 60	1.5 - 7
Conductibilité thermique $\lambda$ (W/m .°c)	1.16 -1.63 pour une masse volumique entre1700-2100 (Kg /m <sup>3</sup> )	0.08 pour une masse volumique 300 (Kg /m <sup>3</sup> )

Les briques silico-calcaires ont en général un très bon comportement au gel, leur non gélivité leur permet de bien résister à des températures pouvant atteindre 550°C.

Les briques silico-calcaires ainsi que les briques cuites sont des matériaux de construction non inflammable [11].

Les briques silico-calcaires sont en générale de même usage que les briques de terre cuite, mais avec certaine restriction, Il est interdit d'utiliser les briques silico-calcaires pour la pose des fondations et des socles parce qu'elles sont moins résistantes à l'eau que les briques de terre cuite [11].

La norme utilisée pour les briques silico-calcaire est (**DIN 106**), et la norme Française (**NF P 14 – 302**). [12 ]

### **I.3.6 L'adobe**

#### **I.3.6.1 définition**

L'adobe (appellation locale **toube**) est de l'argile qui, mélangée à de l'eau et à une faible quantité de paille hachée ou d'une autre fibre, peut être façonnée en briques séchées au soleil.

Par extension, l'adobe (ou banco) est la brique de terre crue, séchée au soleil, et utilisée comme matériau de construction. Ces briques sont obtenues à partir d'un mélange d'argile, d'eau et éventuellement d'une charge utilisée en petite quantité : de la paille hachée par exemple.

Il s'agit d'un des premiers matériaux de construction : les premières villes connues étaient construites en briques de terre crue. Ce matériau est encore l'un des plus utilisés au monde.

Les briques d'adobe sont coulées dans un cadre ouvert, un rectangle dont les dimensions est en général de 10x25x36 cm bien que l'on rencontre d'autres tailles. Le moule est retiré, et la brique est mise à sécher quelques heures, puis elles sont tournées sur leur tranche pour terminer le séchage. Lors du séchage, les briques peuvent être placées à l'ombre pour éviter l'apparition de fissures.

L'adobe sert aussi à remplir des tubes de textile (colombin d'adobe) qui, tassés sur place et réunis verticalement par des piquets, permettent de monter des murs et de supporter une charpente. [16,17, 18]

Les structures montées en adobe peuvent inclure des renforts de bois, qui peuvent également servir d'amélioration de l'isolation.

La plus grande structure construite en adobe était l'Argé- Bam, la citadelle de Bam en Iran, qui a subi d'importants dommages lors du tremblement de terre du 26 décembre 2003. D'autres constructions de grande taille sont présentes par exemple au Pérou : la Huaca de Sol avec 100 millions de briques, et Chan Chan. Plusieurs mosquées d'Afrique occidentale sont réalisées en adobe : par exemple à Tombouctou et la Grande mosquée de Djenné au Mali

### **I.3.6.2 La fabrication**

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

#### **I.3.6.2.1 Modes de production de l'adobe**

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

##### **A. Le mode de production manuel**

###### **• Moules simples**

Il correspond à un moulage traditionnel soit par façonnage manuel ou à l'aide d'un moule Façonnée à la main, la terre est généralement utilisée à l'état de pâte plastique mi-ferme. La terre peut être employée à deux états hydriques différents, soit sous forme de pâte mi-molle et selon une méthode dite du "coup d'eau" (moule préalablement nettoyé et mouillé pour faciliter le démoulage), soit sous forme de pâte mi-ferme et selon une méthode dite du "coup de sable" (le moule préalablement nettoyé et mouillé est sou-

poudré de sable pour faciliter le démoulage). Dans ces deux techniques de moulage manuelles rendements moyens de production se situent de 400 à 600 blocs par jour pour 2 ouvriers. [16]

- **Moules multiples**

Il associe l'utilisation de grands moules à compartiments multiples, généralement en forme d'échelles ou de forme carrée subdivisée en petits compartiments et la livraison de la terre, à l'état assez liquide par brouettes, dumpers ou bulldozers à godet. Parfois la terre est directement déversée depuis le malaxeur qui est alors mobile et tracté par ou sur un camion. Les moules doivent être manipulés facilement par 2 ouvriers (pas trop lourds) et doivent être propres et mouillés avant d'y déverser la terre. Compte tenu de l'état hydrique

plus liquide de la terre, les adobes produites de cette façon présentent un risque de retrait et donc de fissuration plus importante [16]

Il convient donc de compenser ce risque en utilisant une terre dont la texture est riche en gros sables et petits graviers. L'organisation de la production mécanisée se fait autour de deux principaux postes qui sont le malaxage et le moulage et mobilise 5 à 6 ouvriers selon la taille des unités, La production moyenne pour ce type d'organisation est de l'ordre de 8 000 à 10 000 blocs par jour.

## **B. Le mode de production mécanisé**

La production mécanisée de blocs d'adobe a été développée dès la fin du XIX siècle, aux Etats Unis d'Amérique, notamment par un fabricant californien, Hans Sumpf. Celui-ci mettait au point une machine tractée par un animal domestique dans un premier temps puis motorisée et munie de pneus, dotée d'un système de trémie mobile au dessus d'un moule à compartiments multiples (25 moules) recevant directement la terre et déposant au sol les 25 blocs successivement moulés. Ce type de machine permet une production pouvant aller de 20 à 30 000 blocs par jour. [16]

### I.3.6.3 Les produits

Les produits de la fabrication des adobes, manuelle ou mécanisée, sont extrêmement variés. Ils sont le plus souvent directement tributaires des savoir-faire traditionnels et varient quant au type de terre utilisée, au mode de moulage, aux dimensions des blocs (très changeantes) et aux destinations d'emploi plus ou moins spécifiques (blocs spéciaux). Les moules utilisés sont généralement en acier ou en bois (le plus souvent) et de forme très variée. Les dimensions les plus fréquentes de 40 x 40 x 15 cm ou 40 x 30 x 15 cm, ou 40 x 20 x 10 cm ...) On distingue globalement trois principaux types de produits : produits classiques, Produits spéciaux Produits antisismiques [2,15,19].

### I.3.7. Le pisé

#### I.3.7.1 définition

Le pisé est une technique ancienne, qui a connu un regain d'intérêt dans le monde occidental suite aux travaux de François Cointeraux (XVIIe siècle) sur le sujet. Ses ouvrages ont été traduits et diffusés dans le monde entier. En France, on trouve une grande quantité de bâtiments ruraux en pisé datant des XVIIIe, XIXe et début du XXe siècle dans la région Rhône-Alpes : Isère, vallées de la Saône et du Rhône, Bresse, la Loire, etc.

Les savoir-faire ont maintenant presque entièrement disparu, malgré un regain d'intérêt pour le matériau terre au bilan écologique exceptionnel.

Des architectes et plasticiens contemporains utilisent également le pisé : Rick Joy, David Easton, Martin Rauch, Kengo Kuma [ 16,20,21 ]

De nature très sableuse et riche en graviers et cailloux, à peine argileuse (10 à 20 %), la terre est le plus souvent conservée à son état d'humidité naturelle (teneur en eau modifiée si elle est trop sèche ou trop humide) puis déversée dans un coffrage et compactée (à l'aide d'un pilon manuel) jusqu'à constituer un béton maigre de terre qui durcit en séchant. Les coffrages traditionnels sont en bois. Les plus beaux exemples d'architecture en pisé peuvent être observés dans le Maghreb et en Espagne, au Portugal, Mexique, Pérou,

Brésil). De nos jours, le pisé reste soit très traditionnel (Maroc, Amérique latine, Chine) soit résolument moderne (Etats Unis d'Amérique, Australie, France) où les coffrages ont considérablement évolués ainsi que le compactage réalisé à l'aide de compresseurs et fouloirs pneumatiques [15,18,22].

### **I.3.7.2. La fabrication**

Le mode de production du pisé est d'un principe assez simple : la terre est déversée dans un coffrage puis compactée. Cette simplicité peut néanmoins être contrariée si l'on ne dispose pas d'une bonne terre à pisé, si l'on compacte à une mauvaise teneur en eau, si les coffrages sont mal conçus ou l'organisation générale de la production inadaptée. La période de production du pisé est étroitement liée aux conditions météorologiques des zones climatiques. En effet, sous climat tempéré ou continental, on évite de construire en pisé pendant les périodes de gel (hiver) et les périodes de pointe de chaleur estivale.

Le pisé est un matériau gélif et le retrait linéaire peut être accusé par des conditions climatiques extrêmes telles que les fortes chaleurs estivales.

Les rendements de production du pisé varient considérablement selon de multiples paramètres dont les plus agissant sont : l'organisation du chantier et les conditions de travail, le type de coffrage utilisé, le degré de mécanisation. Pour des petits chantiers d'habitat simple, selon le degré de mécanisation, une équipe de 5 à 6 ouvriers (traditionnel) ou de 3 ouvriers (mécanisé) permet d'obtenir des rendements satisfaisant pouvant aller de 8/10 heures/m<sup>3</sup> à 35 heures/m<sup>3</sup> en organisation traditionnelle et de 5 heures/m<sup>3</sup> à 30 heures/m<sup>3</sup> en organisation mécanisée. Cette large plage est notamment tributaire des conditions de travail

### **I.3.7.3 Les produits (différents types de pisé )**

L'aspect général du matériau pisé, une fois compacté et décoffré est celui d'un "béton maigre de terre", variable selon le type de terre (apparence de graviers et cailloux ou texture plus fine), selon le type de coffrage utilisé et les principes constructifs adoptés pour édifier la maçonnerie de terre en "banchées" successives (en progression horizontale ou verticale avec des coffrages traditionnels) [15,18,22].



Photo (I-4) : Mur en pisé [22].

### I.3.8 Les blocs de terre comprimée

#### I.3.8.1 définition

Cette version moderne du bloc de terre crue moulée, ou adobe, emploie des terres aux caractéristiques assez proches de celles du pisé mais pouvant être plus argileuses (jusqu'à 25%) et écrêtées de leurs plus gros éléments (diamètre  $> 20$  mm). La fraction sableuse (gros sables) doit être dominante et la fraction graveleuse (petits graviers) peut être moindre. Le matériau ainsi composé, d'une granulométrie assez uniforme est compacté à un état hydrique peu humide au moyen de presses de type et de registre de performance très divers. La fameuse presse manuelle "Cinva-Ram" mise au point en 1956 en Colombie par l'ingénieur Raul Ramirez fut la première à être fabriquée industriellement et largement diffusée dans le Monde entier.

En France, les établissements "Japy" en assuraient la diffusion vers les pays européens et d'Afrique de l'Ouest. Elle fut rapidement et très largement adoptée et contribua au Développement de cette technique de construction en blocs de terre comprimée. Cette petite presse manuelle est aujourd'hui dépassée par une nouvelle génération de matériel plus performant, presses manuelles ou semi-mécaniques, mécaniques motorisées, hydrauliques, à compression statique, dynamique ou à vibration, unités foraines mobiles et unités industrielles lourdes, fixes. Les blocs de terre comprimée non stabilisés (ou stabilisés par l'ajout d'un faible pourcentage de liant hydraulique du type ciment ou

chaux) sont des matériaux dotés d'excellentes performances et d'une grande souplesse d'emploi qui caractérise par nature la maçonnerie en petits éléments [22 ].

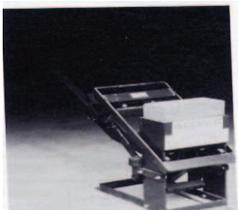
### I.3.8.2 production des blocs de terre comprimée

La production des blocs de terre comprimée peut être assimilée à celle des blocs de terre cuite produits par compactage, exception faite de la phase de cuisson. L'organisation de la production sera différente selon qu'elle est réalisée dans le cadre de petites unités de production artisanales (ou briqueteries) au moyen de presses généralement manuelles ou semi- mécanisées, voire motorisées ou bien dans le cadre d'unités de production semi-industrielles et industrielles les principes et modes d'organisation de l'industrie des briques cuites ou des produits silico-calcaires classiques. Les aires de production, de séchage et de stockage varient également selon les modes de production adoptés et les conditions de production issues de l'environnement climatique, technique et économique. [22]

### I.3.8.3 Modes de production des blocs de terre comprimée

On distingue quatre grandes catégories de presses et unités de production :

Presses manuelles **Photo (I.4)**, Presses motorisées, Unités de production foraines (mobiles légères) **Photo (I.5)**, Unités de production fixes.



**Photo (I-5) : presses manuelles[4]**



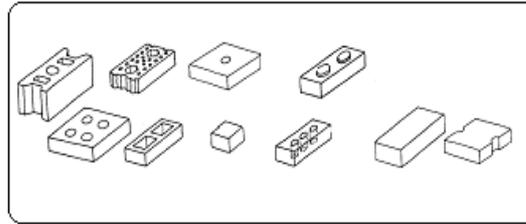
**Photo (I -6) : Presses motorisées[5]**

### I.3.8.4. Les produits

Les modes de production et types de presses actuellement

Disponibles sur le marché s'ouvrent sur la réalisation de quatre grandes catégories de

Produits, les blocs pleins, Les blocs creux Les blocs spéciaux [22 ]



**Photo (I-7) : les différents blocs de terre comprimée[22]**

## **I.4. Les avantages et les inconvénients d'utilisation des briques en terre**

### **I.4.1 Les avantages**

Les avantages du point de vue environnement sont :

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

Les Avantages écologiques sont :

- La terre utilise peu d'eau en phase de transformation
- La terre est une ressource locale abondante et renouvelable.
- La terre a des vertus thérapeutiques, soigne les affections de la peau, détruit les bactéries et les acariens.
- La construction en terre crue n'utilise que 3% de l'énergie employée dans une construction en béton. [16 ] [20 ] [21.]

### **I.4.2. les Inconvénients d'utilisation des briques en terre**

La main d'œuvre nécessaire à toute construction en terre est souvent importante même une petite structure représente 15 tonnes de terre à travailler. Il faut aussi bien avoir conscience que le financement de ce type de maison n'est pas conventionnel, en effet il vous sera difficile d'obtenir un prêt hypothécaire pour ce genre d'habitation. [16 ]

**I.5 les Caractéristiques des briques de terre crue (adobe, pisé, Brique de terre comprimée)**

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

**Tableau (I.4) : les Caractéristiques des briques de terre crue (adobe, pisé, Brique de terre comprimée) [5,15,23 ]**

Caractéristiques	Type de brique de terre crue		
	Adobe	Pisé	BTC
Masse volumique Kg/m <sup>3</sup>	1200 - 1700	1700-2200	1700 - 2200
Résistance à la compression MPa	2 - 5	< 2.4	< 2.4
Conductibilité thermique $\lambda$ (W/m .°c)	0.46 - 0.81	0.81 - 0.93	0.81 -1.04
Retrait au séchage mm/cm	1	1 - 2	0.2 - 1

Sur le tableau ( I-5) nous donnons un recapulative des propriétés physiques et mécaniques des briques en terre.

**Tableau (I-5) Recapulatif des recherches bibliographiques [5,6,7,12,13,14,15,23 ]**

Caractéristique	Type de brique							
	Brique Terre de Cuite			Brique S.C		Crue		
	Creuse	Pleine	Perforé	Dense	Léger	Adobe	Pisé	BTC
Masse volumique Kg/m <sup>3</sup>	1750 à 2050	1650 à 2000	1650 à 2000	600 à 2200	300 à 800	1200 à 1700	1700 à 2200	1700 à 2200
Résistance à la compression MPa	4 à 8	12.5 à 40	12.5 à 40	6 à 60	1.5 à 7	2 à 5	<2.4	<2.4
Conductivité thermique $\lambda$ (W/m. °c)	0.45 à 0.51	1.1 à 1.16	0.28 à 0.38	1.16 à 1.63	0.08	0.46 à 0.81	0.81 à 0.93	0.81 à 1.04

## I. 6 Conclusions

Cette étude bibliographique, nous a permis d'étudier tous types de briques en terre existants 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 des différentes procédures des fabrications :

Four (brique de terre cuite), four autoclave (brique silico-calcaires).

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

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

Résistance mécanique ;

Isolation thermique ;

Isolation acoustique ;

Durabilité ; et même vis-à-vis du prix de revient (aspect économique)

En effet, chaque type de brique peut présenter des avantages et des inconvénients. En se basant sur les caractéristiques précédentes ; notre travail de recherche consiste à étudier l'isolation thermique dans les bâtiments avec le brique améliorer.

Quel que soit le secteur d'utilisation, la brique donne de bons résultats et a des plusieurs avantages par rapport au béton puisqu'elle montre une bonne isolation thermique et acoustique.



## **Propriétés climatiques de la zone d'étude et Propriétés thermo- mécaniques**

### **II.1 INTRODUCTION**

Dans ce chapitre, nous allons exposer propriétés climatiques de la zone d'étude et Propriétés thermo- mécaniques les propriétés thermo- mécaniques, à savoir la conductivité thermique et la résistance à la compression, à la flexion

Même si ces matériaux sont utilisés d'avantage pour leurs propriétés thermiques que pour leurs propriétés mécaniques, un minimum de résistance mécanique apparaît indispensable.

En effet, il est nécessaire qu'une enveloppe de bâtiment constituée de briques de terre stabilisée puisse supporter au moins son propre poids . [24,25]

C'est pourquoi des essais de compression et de flexion sont effectués afin de connaître la résistance mécanique des matériaux étudiés.

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

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

L'Algérie connaît une crise aiguë en matière d'habitat dont le confort thermique ne semble pas être le souci majeur des concepteurs. En quatre décennies d'indépendance, le paysage urbain et architectural des agglomérations algériennes a connu un changement sans précédent; Aucune ville, aucun village n'a échappé à ce modèle constructif (habitat collectif),

Ce phénomène est caractérisé par une forte demande ou la quantité a pris le dessus sur la qualité.

Ce type d'habitat collectif provoque le problème d'intégration climatique qui implique une consommation considérable d'énergie.

La crise de l'énergie a brutalement mis l'accent sur l'importance du volume de combustible utilisé pour le chauffage et la climatisation, en raison de cette consommation qui influe sur la charge d'exploitation des immeubles et également sur l'ensemble de l'économie du pays.

Pour cela, la prise en considération de l'aspect climatique, tient compte du respect des facteurs du site qui peuvent être utile : Orientation, pente du terrain, ensoleillement, protection contre les intempéries, vents dominants [38 ;39 ;40]

L'architecture bioclimatique insiste sur l'optimisation de la relation de l'habitation avec le climat en vue de créer des ambiances « confortable » par des moyens spécifiquement architecturaux ; Le but de l'architecture bioclimatique est d'exploiter les effets bénéfiques du climat (captage du soleil en hiver, ventilation en été) tout en offrant une protection contre les effets négatifs (trop de soleil en été, expositions aux vents dominants en hiver).

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

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

#### **II.2.2.1.1. Définition**

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

Le climat est défini comme une généralisation des conditions « temps » de jour en jour et à travers toute l'année. [38, 41, 42]

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

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

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

- Facteurs énergétiques : rayonnement, lumière, et température
- Facteur hydrologique : précipitations, et hygrométrie.
- Facteurs mécaniques: vents, et enneigements.
- Le climat d'une région donnée est déterminé par les régimes de variations de plusieurs éléments et par leurs combinaisons.

Les principaux éléments climatiques à considérer dans la conception urbaine en générale et lors de la conception d'un bâtiment en particulier, et qui influent sur le confort humain sont :

- Le soleil (radiations)
- La température
- L'humidité
- Le vent
- Les précipitations (pluies, neiges.)

Etant donné que les conditions climatiques peuvent varier d'une journée à une autre ou d'une année à une autre ; il est nécessaire de tenir compte des variations à partir de ces moyennes pour une vision plus claire et plus réaliste. [38 ;39 ;41 ]

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

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

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

La base de la sensation de confort est simplement le manque de sensation de malaise, le confort physiologique s'établit par un équilibre thermique nécessitant une quantité minimum de régulation thermique ceci est dû à la faculté du corps humain de maintenir sa température constante en dépit des conditions d'ambiance [43 ;44 ;45 ;46 ].

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

L'atmosphère environnante a des incidences à la fois physiques et affectives sur L'homme, donc elle occupe une place centrale dans la conception des bâtiments. La mission principale du dessinateur est de créer un environnement intérieur et extérieur tel qui soit adapté à toutes les activités humaines qui, probablement, y auront Lieu.

Le confort pourrait être défini comme la sensation de la santé physique et morale Absolue. Par conséquent, selon la définition ci-dessus, le contrôle que le dessinateur peut

avoir est limité. Les caractéristiques biologiques, affectives et physiques d'Habitant entrent aussi en scène.

Ainsi, si un groupe de personnes s'expose au même climat, il est impossible que tous soient satisfaits en même temps. Le concepteur doit se donner comme objectif la création d'un confort thermique optimal pour le groupe, c'est à dire qu'il doit assurer des conditions dans lesquelles la plupart des personnes constituant le groupe se sente à l'aise.

La neutralité thermique, pendant laquelle l'homme ne désire pas un environnement plus chaud ou plus froid, est une condition nécessaire pour le confort thermique. Cependant, l'obtention de la neutralité thermique ne garantit pas le confort. Par exemple, une personne exposée à un champ d'émission asymétrique, pourrait se trouver dans un état de neutralité thermique mais pas de confort thermique. Dans la majorité des cas ces deux conditions coïncident.

L'obtention du confort humain est particulièrement importante pour les bâtiments à éclairage naturel. La façon dont l'énergie solaire est accumulée, stockée et distribuée, peut avoir une grande influence sur le confort des habitants. [39;40 ; 43 ;44 ;47]

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

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

Il est important de distinguer la sensation thermique du jugement affectif qui dépend de l'agrément et la préférence.

Par exemple, le retour dans un intérieur chauffé de quelqu'un qui vient d'être exposé de façon prolongée au froid lui donnera une perception tiède ou chaude, mais sa sensation thermique sera toujours froide ou fraîche du fait de son exposition préalable.

Les différents travaux de recherche ont montré que la sensation du froid dépend de la température cutanée, et la sensation de la chaleur dépend de la température cutanée au départ puis de la température interne. Alors que le désagrément dû à la chaleur est lié à la mouillure cutanée [39 ;40 ; 43 ;44 ;47]

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

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

Les attentes liées au « logement » dépassent donc aujourd'hui très largement les frontières sémantiques usuelles : « habiter » c'est beaucoup plus que se « loger ». Ce déplacement des exigences allié à la recherche d'économies d'énergie amène les concepteurs à penser différemment l'habitat pour plus de bien-être et moins de gaspillage. L'inconfort lié à une chaleur excessive peut même mener à des situations dramatiques.

Concevoir des bâtiments respectueux du confort et du bien-être de chacun tout en diminuant sérieusement l'énergie utilisée est le défi lancé à tous les acteurs de la filière construction. L'un des rôles de l'habitat est de minimiser ces échanges, c'est-à-dire de protéger le corps humain contre les Agressions du climat [39 ;40 ; 43 ;44 ;47] .

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

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

Les facteurs qui influencent le confort thermique peuvent être divisés en variables personnelles (telles que l'activité et habillement) et variables environnementales (telles

que la température de L'air, la température radiante moyenne, la vitesse d'air et humidités de L'air).

Ce deuxième groupe dépend Directement de la conception du bâtiment ainsi que des systèmes de chauffage et de refroidissement [39 ;40 ; 43 ;44 ;47] .

Les facteurs ci-dessous affectant le confort ainsi que la température effective (combinaison de la température de L'air et de la température radiante moyenne) sont discutés en plus détails dans les paragraphes suivants :

### **II. 2.3.6 Travail mécanique**

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

### **II.2.3.7 Habillement**

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

### **II.3.3.8 Température d'air**

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

### **II.3.3.9 Température radiante moyenne**

La température radiante moyenne est la température moyenne des surfaces environnantes : murs, plafond, sol et fenêtres. Elle détermine la perte de chaleur du corps par rayonnement vers les surfaces voisines, et a d'importantes répercussions sur le confort humain [39 ;40 ; 43 ;44 ;47] .

### II.2.3.10 Vitesse de L'air

La vitesse de L'air influence la perte convective de chaleur de la part du corps. L'air à une vitesse plus élevée semblera plus froid. Par conséquent, il est indispensable que la vitesse de L'air reste peu élevée en hiver pour que le confort thermique soit obtenu à la plus basse température possible. Des gens qui exercent un métier sédentaire sont particulièrement sensibles aux courants d'air, c'est à dire un refroidissement local indésirable. L'enveloppe attentive de l'équipement de gestion est indispensable pour éviter des vitesses de L'air exagérées. Il faut accorder une importance particulière à la pose et à la taille des ventilateurs [39 ;40 ; 43 ;44 ;47] .

### II.2.3.11 Humidité relative de L'air

A des températures moyennes (15-25 °C environ), dans des conditions stationnaires (c'est à dire si une personne reste dans le même espace pendant longtemps), humidité relative de l'air à une influence faible sur la sensation de chaleur : une augmentation de l'ordre de 10% d'humidité relative aura la même incidence qu'une augmentation 0.3 °C de la température de L'air

Pourtant, dans des conditions transitoires (c'est à dire si une personne se déplace de l'intérieur à l'extérieur ou D'un espace à Lauter ayant une humidité différente) l'incidence thermique du changement en termes humidité pourrait être 2 ou 3 fois plus grande. Quand la température dépasse les 30 °C, l'influence des changements d'humidité relative peut avoir des incidences considérables sur le confort thermique. De hauts niveaux humidité provoquent, par exemple, des problèmes d'électricité statique, le développement de micro-organismes et de moisissure. Le maintien d'humidité relative entre 30%-60% va limiter les problèmes de ce genre. [39 ;40 ; 43 ;44 ;47]

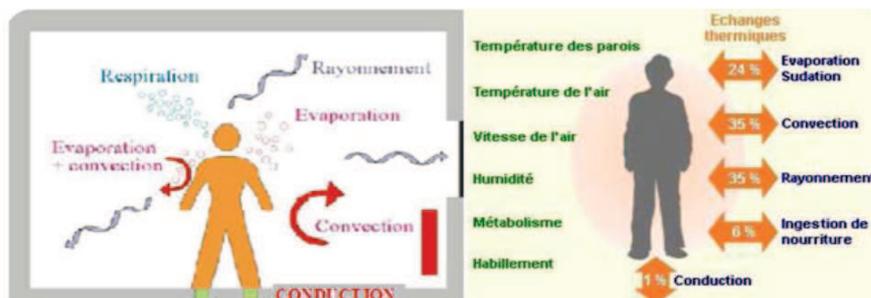


Figure II-1: Les échanges thermiques du corps [39 ;40 ; 43 ;44 ;47]

## II.3. Analyse Climatique de la ville d'Ouargla

### II.3.1. Introduction

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

La situation d'Ouargla, dans une zone limitée au sud par le Sahara avec son climat aride et au nord par son climat tempéré, lui permet d'avoir des caractéristiques spécifiques.

D'après la classification donnée par Recommandation Architecturale la ville d'Ouargla appartient à la zone climatique **E4** en d'été et **H3c** en d'hiver, qui possède deux saisons principales comme le montre les **Figures II-3. II-4** : [ 41]

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



Figure II-2: Carte du sud de l'ALGERIE (situation de la ville d'Ouargla) [ 41]

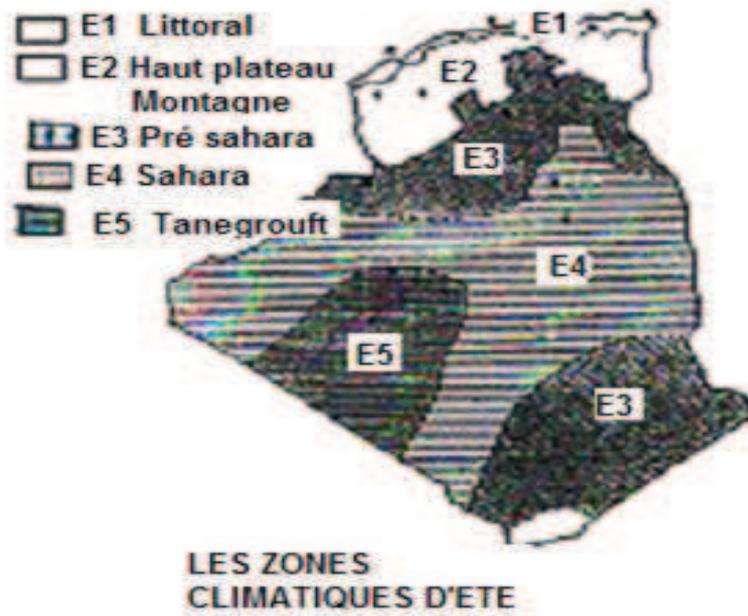


Figure II-3 : Les zones climatiques d'été. Source : (ENAG, 1993) [ 41]

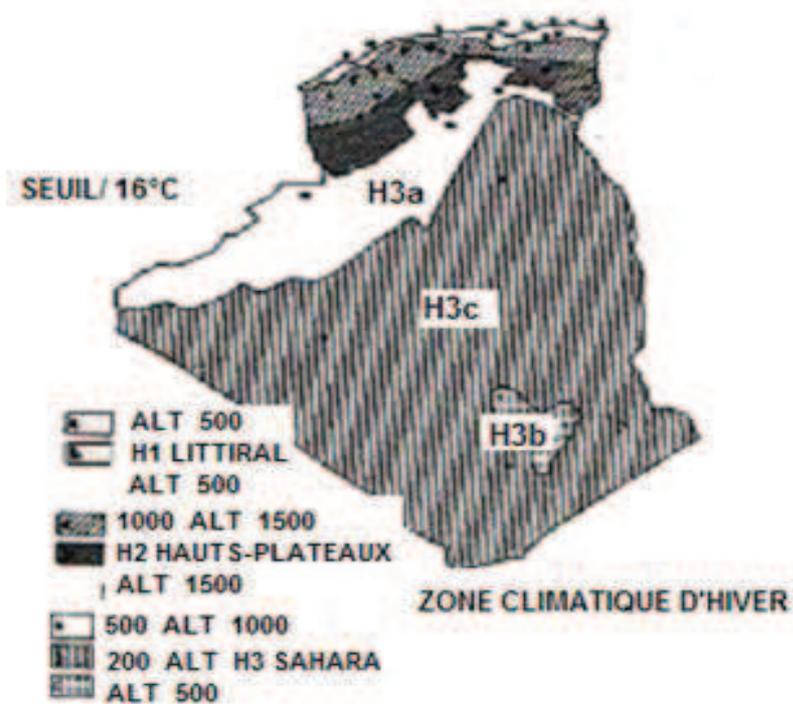


Figure II-4: Les zones climatiques D'hiver. Source : (ENAG, 1993) [ 41]

### II.3.2. Présentation de la météo de Ouargla les Années (2004 à 2008)

Le Tableau (II-2) présente les données climatique de la ville de Ouargla durant les Années(2004 à 2008). [ 42]

**Tableau (II-1): Les données climatique de Ouargla Années 2004 à 2008 [ 42]**

année	paramétrer	jan	fév.	mars	avril	mai	juin	Juil.	août	sep	oct.	nov.	déc.
2009	TX (c°)	17.8	20.3	24.7	27.5	34.4	40.9	44.6	43	36.1	30.8	25.5	22.9
	TN (c°)	6.8	7.2	10.1	12.1	18.5	25.4	28.7	27.2	22	15.7	9.4	7.7
	H%	70	54	48	42	39	28	25	26	46	46	58	51
	V (m/s)	4.1	3	3.6	2.7	0	3.8	2.2	0	3.7	2.4	2.1	1.4
	EVAP <sub>mm</sub>	81	115	152	173	153	333	417	384	222	167	110	111
	INSOI(h)	196	254	267	321	338	271	337	344	257	312	275	255
	TM (c°)	12.3	13.8	17.4	19.8	26.4	33.1	36.7	35.1	29.1	23.1	16.7	14.9
	RR <sub>mm</sub>	54.1	1.5	10.6	0.8	NT	2.5	NT	NT	6.3	0.1	NT	NT

TM = température moyenne / TX = température maximale /TN = température minimale / H% = humidité moyenne /RR =précipitations /V (m /s) = vitesse vent / EVAP = évaporations / Insola = insolation / NT = néant.

Le Tableau (II-2) montre que durant le moi Août et juillet les condition de température humidité sont les plus défavorable [38 ;39 ;40 ; 41 ; 42 ]

- **Temperature**

La chaleur constitue l'élément le plus important du climat, à partir de la **figure II-5**, la région de Ouargla est caractérisée par des températures très élevées; le mois le plus chaud est le mois de juillet avec 44,68°C et la température moyenne minimale du mois le plus froid est de 15°C au mois de janvier. La température annuelle moyenne est de 30.73°C [ 38 ;39 ;40 ; 41 ; 42 ] :

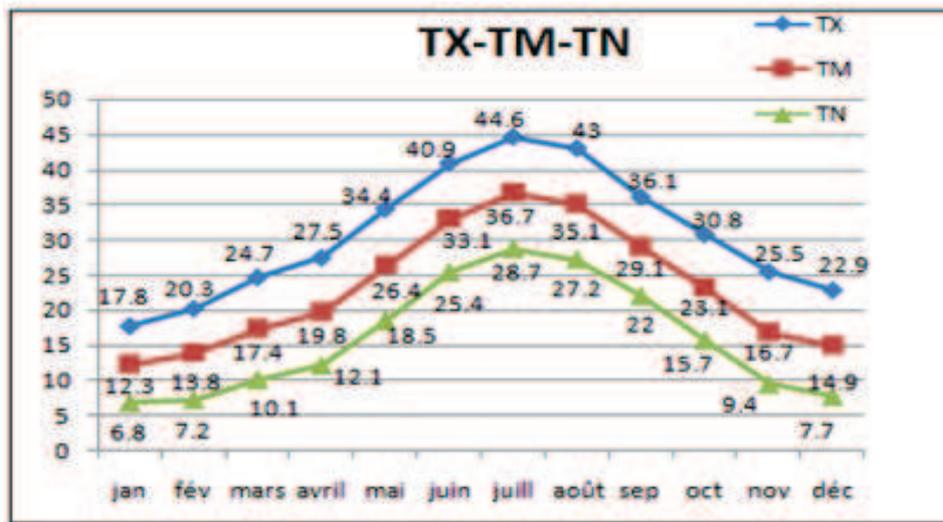


Figure II-5 : Température mensuelle moyenne de la région d'Ouargla 2008 [ 42]

- Humidité moyenne

Généralement, l'air de Ouargla est très sec. Le taux d'humidité varie d'une saison à une autre. L'humidité moyenne est de 42,06%. Le maximum d'humidité est de 59,92% pour le mois de décembre, le minimum d'humidité est de 25,33% pour le mois de juillet [41,42,43 , 44] .

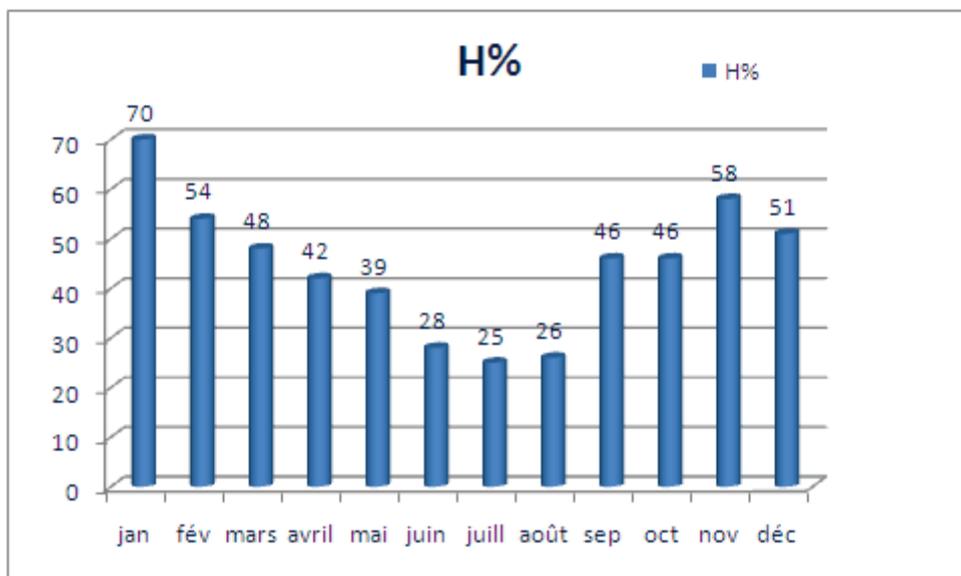


Figure II-6: Humidité mensuelle moyenne de la région de Ouargla 2008 [42]

- Les vents

Dans la région de Ouargla les vents sont très variables au cours de l'année. Ils soufflent du nord-sud (sirocco) et dominant dans la région d'étude en été et peuvent

causer des dégâts, surtout en absence de couvert végétal avec une vitesse maximale de 4.61m/s. la vitesse moyenne annuelle des vents est de 3,62 m/s

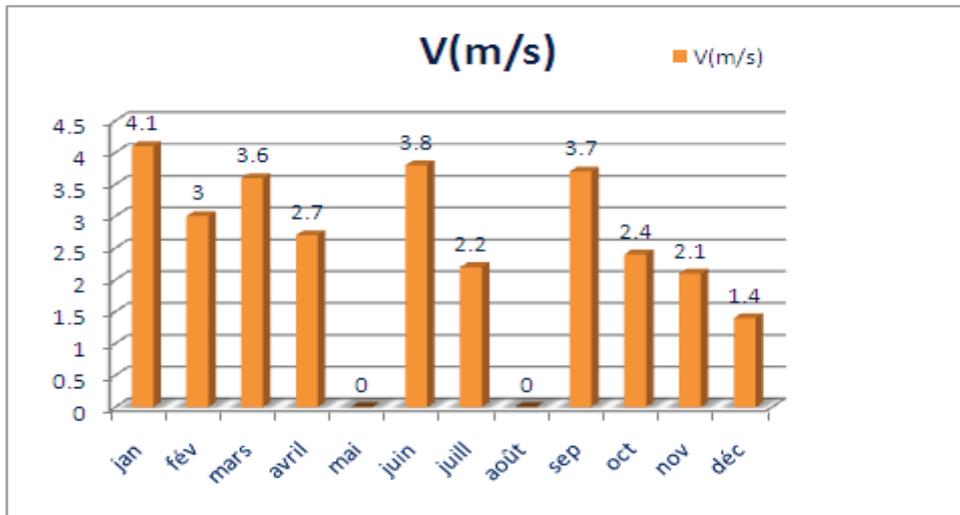


Figure II-7 : Vitesse mensuelle moyenne des vents de la région de Ouargla 2008 [42]

- L'évaporation

L'évaporation est très élevée, elle est moyenne de 417 mm au mois de Juillet et de 81 mm au mois de Janvier, soit 222 mm moyenne annuelle, elle est très variable suivant les années, les mois et aussi les semaines [41,42,43 , 44] .

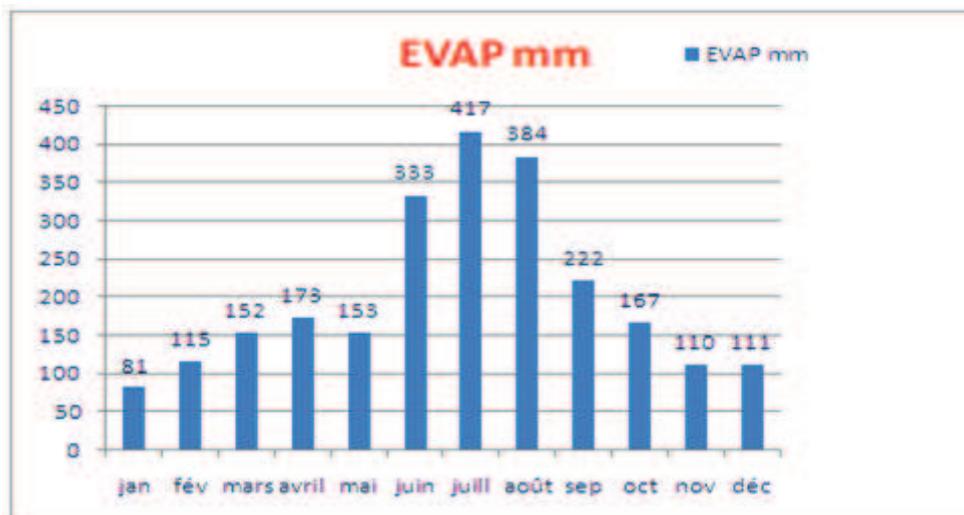


Figure II-8: Evaporation mensuelle moyenne de la région de Ouargla 2008 [42]

- **L'insolation**

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

[41,42,43 , 44] .

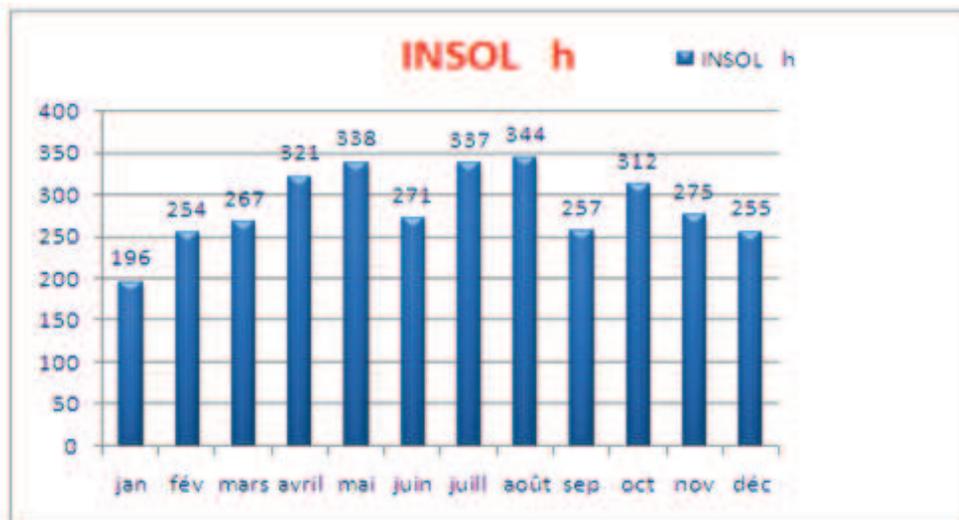
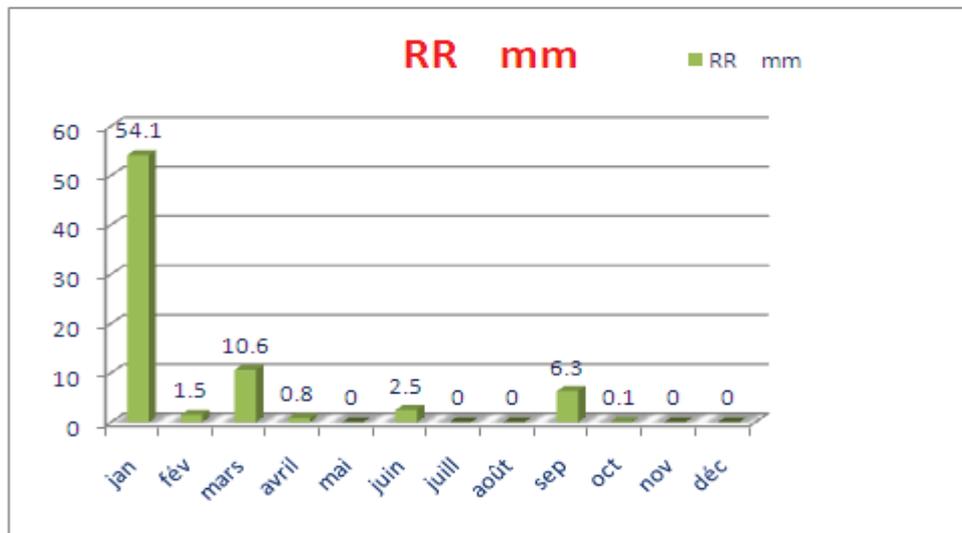


Figure II-9 : Durée mensuelle moyenne d'insolation de la région de Ouargla 2008

[ 42]

- **Précipitation**

Les précipitations dans la wilaya de Ouargla sont très rares et irrégulières dans le temps et dans l'espace. La plus part des précipitations se produisent durant les mois d'hiver, par contre la période sèche s'étale sur le reste de l'année [41,42,43 , 44] .



**Figure II-10: Précipitation mensuelle moyenne de la région de Ouargla 2008[ 42]**

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

- Très dure, surtout en été, à cause du rayonnement solaire intense, avec des températures très élevées.
- froid en hiver.
- Une humidité relative très faible.
- Une précipitation moyenne en hiver et presque rare en été.

### II.3.3 Consommation énergétique de la ville d'Ouargla

- ▶ Dans les régions du sud algérien le thermomètre affiche parfois des températures à l'ombre de 45 à 47 ° C.
- ▶ L'impact direct est l'appel de charge très important entre 13h et 18 h ou souvent le pic est enregistré entre 14 h et 16h.

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

Dans ce qui suite nous donnons quelque données statistique relevées de la direction des mines de la wilaya de Ouargla [62]

### II.3.4. Nombre de clients

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

**Tableau II-2: Nombre de clients électricité au niveau de la ville d'Ouargla [62]**

Type de clients	2008	2009	2010	Evolution (%)
Base Tension BT	102440	107935	114600	5,36 à 6,17
Moyenne Tension MT	1651	1735	1784	5,0 à 2,08
Haute Tension HT	8	8	---	0
<b>Total</b>	<b>104099</b>	<b>109678</b>	<b>116400</b>	<b>5,36 à 6,13</b>

### II.3.5. Consommation du 3<sup>iem</sup> Trimestre /1<sup>er</sup> Trimestre

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

**Tableau II-3 : Consommation du 3 Trimestre/1Trimestre [62]**

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

- Quelques exemples de panne électrique
- 08/08/2010 et 18/08/2010:

A 15 H Déclenchements de tous les départs à cause max de température pendant une heure à Touggourt. [62].

## **II.4 Propriétés thermiques**

### **II.4.1 Le transfert de chaleur thermique**

Un transfert thermique, appelé plus communément chaleur, est un transfert d'énergie microscopique désordonné.

Cela correspond en réalité à un transfert d'agitation thermique entre particules, au gré des chocs aléatoires qui se produisent à l'échelle microscopique. [24,25,26 ,27 ,28 ]

L'exemple le plus courant de situation mettant en jeu un transfert thermique est le système constitué de deux corps en contact et ayant des températures différentes. Le corps le plus chaud cède de l'énergie sous forme de chaleur au corps le plus froid. Il y a transfert thermique entre les deux corps. Il peut se produire des transferts thermiques vers un système dont la température reste constante, par exemple dans le cas d'un changement d'état physique (exemple : la fusion de la glace à 0 °C sous la pression atmosphérique).

L'étude de ces transferts s'effectue dans le cadre de la discipline thermodynamique en s'appuyant sur les deux modes suivants.

### **II.4.2 Modes de transfert de chaleur**

#### **II.4.2.1 La conduction**

Echange de chaleur entre deux points d'un solide, ou encore d'un liquide (ou d'un gaz) immobile et opaque. En régime stationnaire:

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

$\lambda$  est la conductivité du matériau: c'est une fonction de T, x, y, z, de la direction etc..., mais souvent on admettra que  $\lambda$  est une constante.  $\lambda$  en [ W/m · K] (figure II-11) [24 ;25 ; 29]

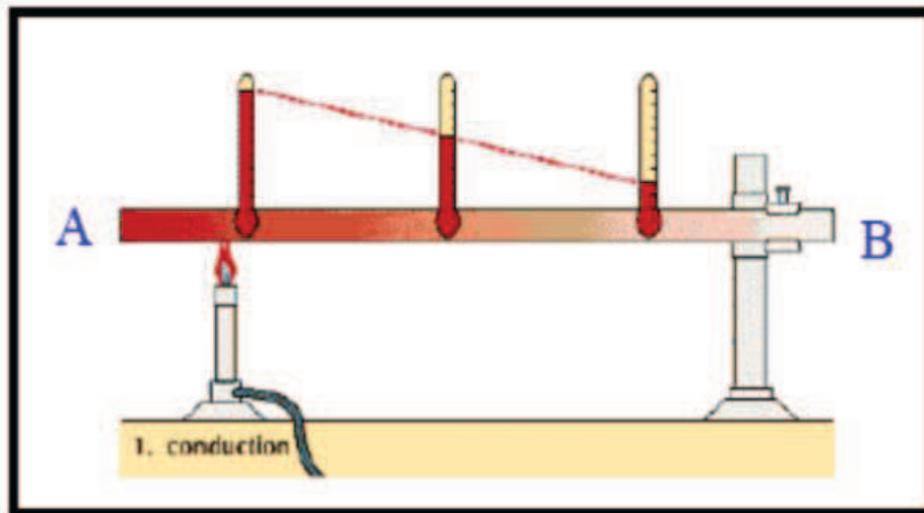


Figure (II-11) : transfert de chaleur par conduction

#### II.4.2.2 La convection

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

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

$h = f(\text{nature du fluide}, T_1, T_2) = \text{coefficient d'échange par convection}$  (Figure. II-12).

[24,25,26 ,27 ,28 ]

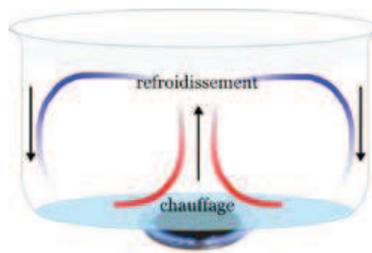


Figure (II-12) :transfert de chaleur par convection

#### II.4.2.3 Le rayonnement

Echange de chaleur entre deux parois séparées par un milieu transparent. (Figure. II.13)

[24,25,26 , 27 ,28 ] .

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

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

$k_B = \text{constante de Boltzmann}$

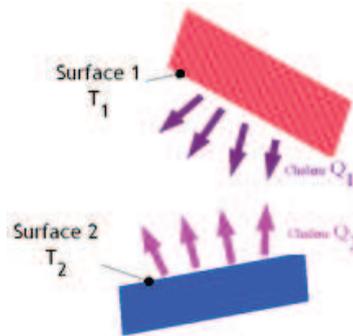


Figure (II-13) : transfert de chaleur rayonnement

### II.4.3 Définitions

#### II.4.3.1 Flux thermique

Le flux thermique est la quantité d'énergie thermique qui traverse une surface isotherme par unité de temps. Le flux s'exprime en watt (W) ou en calorie par seconde (cal/s) [24,25,26 , 27 ,28 ].

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

#### II.4.3.2 Densité de flux thermique

La densité de flux thermique (ou flux thermique surfacique), c'est le flux thermique par unité de surface. La densité de flux thermique s'exprime en watt par mètre carré (W/m). [24,25,26 , 27 ,28 ]

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

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

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

#### II.4.3.3 La résistance thermique (R)

La résistance thermique représente la résistance de l'élément à la transmission de chaleur à travers son épaisseur, elle est généralement connue sous le terme de « isolation thermique ». L'augmentation de la résistance thermique implique que l'élément est isolant. Elle s'exprime en ( m<sup>2</sup>./K.W). [24,25,26 , 27 ,28 ]

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

### II.4.3.4 La conductivité thermique

La conductivité thermique (constante de proportionnalité) «  $\lambda$  » indique la résistance d'un corps oppose au flux de chaleur. Elle est toujours positive et Elle correspond à la densité du flux thermique traversant, en régime stationnaire, un corps homogène soumis à un gradient de température de 1 Kelvin (ou 1°C) par mètre (Figure. II.4). Elle s'exprime dans le système international par (W/m·K). [24,25,26 , 27 ,28,29 ]

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

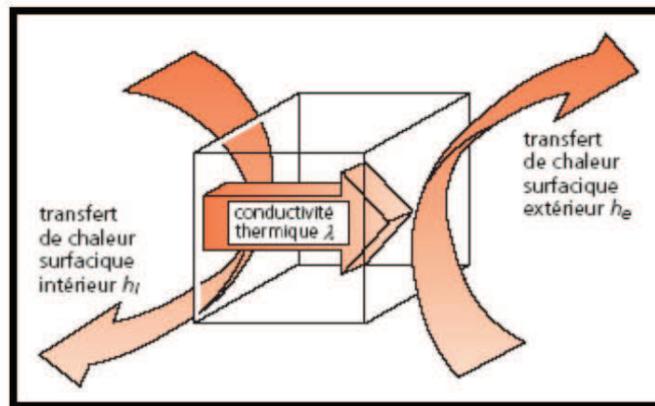


Figure (II-14) : Représentation de flux thermique

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

La conductivité thermique est aussi obtenue par une formule empirique qui dépend de la vitesse de propagation de son, la densité sèche et la porosité. [30]

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

V : vitesse de propagation de son ;

P : la densité sèche ;

$\eta$ : la porosité ;

$\alpha_0 = 0,64$  ;  $\alpha_1 = 0,371$  ;  $\alpha_2 = 0,209$  ;  $\alpha_3 = - 2,82$  ;

la conductivité thermique de certains matériaux et présenté au niveau du **tableau II-4**

**Tableau (II-4): conductivité thermique de quelques matériaux [24,25,26,27,28 ;31,32]**

Matériaux	Conductivité thermique $\lambda$ (W/·m·K)à 20 °C	Matériaux	Conductivité thermique $\lambda$ (W/m·K)à 20 °C
Diamant	895-2300	Roseau (en panneau)	0,056
Argent	429	Mortier de chaux	0,87
Cuivre	401	Pierre naturelle non poreuse	3,5
Or	317	Marbre	2,5
Aluminium	237	Béton ordinaire	1,6 à 2,1
Al-SiC	150-200	Terre sèche	0,17 à 0,58
Carbone	129	Eau	0.58 à 0,6
Platine	71,6	Pierre naturelle poreuse	0,55
Etain	66,6	Plâtre sec	0,40
Acier doux	46	Maçonnerie en briques	0,30 à 0,96
Acier inoxydable	26	Béton cellulaire	0,14 à 0,23
Titane	20	Bois	0,13 à 0,2
Quartz	6,8-12	Sapin	0,12
Verre	1,35	Linoléum naturel	0,081
Bois de pin // aux fibres	0,36	Isolant fibreux	0,05
Bois de pin <sup>L</sup> aux fibres	0,15	Perlite	0,045 à 0,05
Dihydrogène (gaz)	0.18	Liège	0,04 à 0,05
Laine	0,05	Cellulose	0,04
Laine de verre	0,04	Polystyrène	0,04
Dioxygène (gaz)	0,027	Polystyrène expansé	0,038
Air (100 kPa)	0,0262	Polystyrène extrudé	0,035
Terre (sèche)	0,75	mousse de polyuréthane	0,025
brique (terre cuite)	0,3 à 0,96	air	0,024

#### II.4.3.5 Capacité thermique massique (chaleur spécifique ; chaleur massique) (C)

On appelle capacité thermique massique la quantité de chaleur qu'il faut appliquer à 1kg de matière pour élever sa température de 1K. Elle s'exprime en (J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>) ou (cal.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>). [24,25,26 , 27 ,28 ]

#### II.4.3.6 Capacité thermique (C)

C'est la quantité de chaleur que peut emmagasiner un matériau par rapport à son Volume.

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

Elle s'exprime en (J/K). C'est une grandeur extensive : plus la quantité de matière est importante plus la capacité thermique est grande. [24,25,26 , 27 ,28 ]

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

Où :

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

#### II.4.3.7 Effusivité thermique (E)

L'effusivité thermique d'un matériau caractérise sa capacité à échanger de l'énergie thermique avec son environnement. Elle est donnée par( J.K<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1/2</sup>.) : [33,34 ]

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

$$E = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c_p} \quad \text{Où} \quad (2.9)$$

où

$\lambda$  est la conductivité thermique du matériau (en [W/m.K])

$\rho$  la masse volumique du matériau (en [kg/m<sup>3</sup>])

c la capacité thermique massique du matériau (en [J/kg.K])

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

#### **II.4.3.8 La diffusivité thermique (D) [33,34 ]**

Elle est proportionnelle inversement à l'inertie du matériau. Elle décrit la rapidité d'un transfert de chaleur à travers toute la masse d'un matériau, et plus précisément, elle caractérise la capacité d'un matériau à transmettre un signal de température d'un point à un autre de ce matériau. [33 ;34 ]

(2.10)

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

Il existe 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

### **II .5 Conclusion**

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

## **Méthodes d'essai thermo- mécanique, caractéristiques des matériaux utilisés et confection des briques et prototypes**

### **III.1. Introduction**

Les briques sont les produits céramiques, dont les matières premières sont des argiles, avec ou sans additifs. La forme des briques est généralement parallélépipède rectangle. Elles sont couramment utilisées dans la construction des bâtiments et des travaux publics. Par rapport aux autres matériaux, c'est un des plus anciens matériaux de construction.

La brique en terre est un mélange composé de sable de dune, d'argile et d'eau de gâchage. La qualité de cette brique est, sans doute, liée aux caractéristiques de ses constituants.

Dans ce chapitre nous allons donner le principe des méthodes utilisées dans la détermination des caractéristiques thermiques mécaniques en suite nous présentons les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans la composition des briques à savoir :

- la masse volumique ;
- la granulométrie ;
- la composition chimique ;
- la minéralogique ;
- les propriétés physiques

### **III.2. Méthodes de mesures de la conductivité thermique**

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

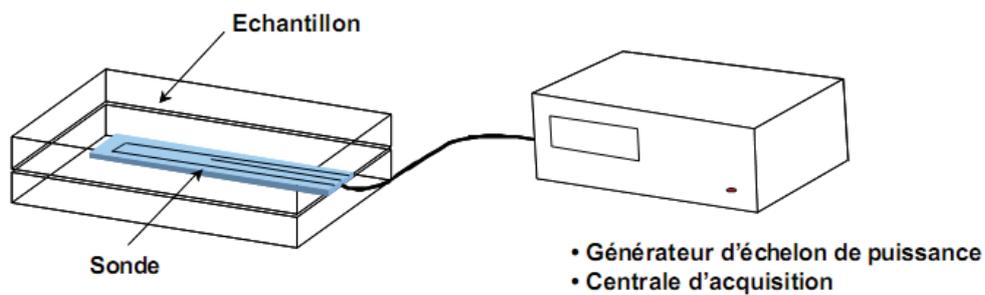
- Méthode de la plaque chaude gardée
- État stationnaire
- Méthode dite « Laser Flash »

-La méthode du fil chaud

Nous avons utilise La méthode du fil chaud pour notre programme expérimental.

**III.2.1 La méthode du fil chaud**

Dans les années 30, Stalhane et PVK 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. C'est la méthode utilisée pour notre programme expérimental. [24, 51]



**Figure (III-1): Principe de mesure à l'aide d'un fil chaud [3, 4]**

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

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

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 »,

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

- $\lambda$  estimée à partir de la pente ( $\alpha$ ) du thermogramme aux temps longs [52]

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

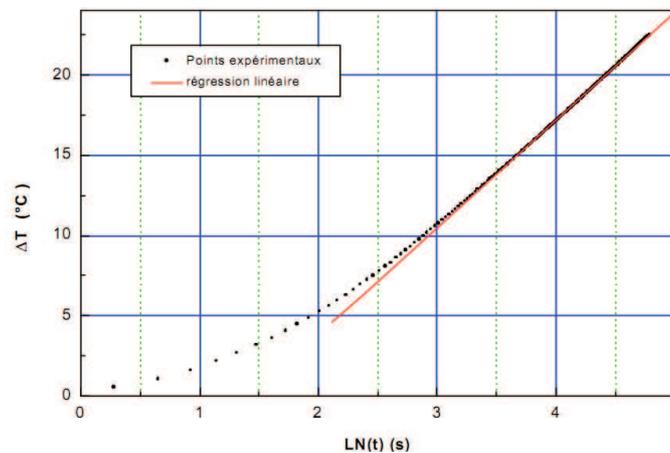


Figure ( III-2): Diagramme d'estimation de  $\lambda$  de la méthode de fil chaud[52]

- **Technique de fil chaud par CT-mètre Norme de référence NF EN 993-15** Le CT-METRE a été élaboré dans le but de permettre d'évaluer avec précision, les caractéristiques thermiques d'un certain nombre de matériaux homogènes et isotropes.

Le principe de fonctionnement consiste, grâce à l'association d'un élément chauffant et d'un capteur de température (tous deux associés dans la même sonde), à mesurer l'élévation de température subie par le capteur, au cours d'une période de chauffage choisie par l'utilisateur en fonction du matériau à tester et du type de sonde utilisée.

- Le CT-mètre (Photo (II-1)) 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.

[52]

Voir annexe **photos (A2)**



**Photo (III-1) : appareil CT-mètre**

### **III.3. Propriétés mécaniques**

#### **III. 3.1. Essai ultrasonique (Norme NF P 18.418)**

C'est un essai non destructif très important qui nous permet de détecter - à la fois- plusieurs caractéristiques des briques telles que : le degré de compacité, le taux de fissuration, les dommages causés par l'écart de température...etc.

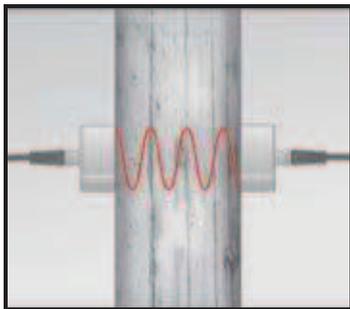
Cet essai consiste à mesurer la vitesse du son dans la brique à l'aide d'un appareil comportant une boîte de mesure, un émetteur et un récepteur des ondes voir annexe **photos (A3) figure III.7-8.**

Le principe de l'essai consiste à presser les deux têtes de mesure sur les deux faces de l'éprouvette, en utilisant une pâte de contact qui facilite la transmission du son. La surface de la brique doit être raisonnablement plane et bien nettoyée [30,53 ].

Une fois l'appareil mis en marche, on peut lire le temps de propagation en micro - seconde. La vitesse de propagation est donnée alors par l'équation suivante :

$$V = \frac{S}{t} \quad (3.4)$$

- V : vitesse de propagation en (m / sec).
- S : distance entre les têtes en (mètre) mesurée avec une précision de 1 %.
- t : temps en Microseconde.



**Figure. II.3 : Mécanisme de l'appareil**



**Figure II.4 : Appareil ultrasonique**

### III. 3.2. Essai de traction par flexion (la norme P 18-407)

L'essai de flexion 4 points est réalisé sur un appareil de flexion de type CONTROLS (voir annexes: photos) fonctionnant avec un système de pression hydraulique. L'unité de mise en charge est composée d'un bâti rigide supportant deux appuis. La portée peut être réglée avec précision en déplaçant les appuis vers l'extérieur ou vers l'intérieur. La mise en charge est réalisée par pression hydraulique qui fait déplacer la partie supérieure vers le bas jusqu'au contact avec le dispositif de chargement situé en partie supérieure de l'éprouvette au centre des appuis (Figure II.24). La valeur de la charge est lue directement sur l'appareil. Le chargement est appliqué de manière continue avec une vitesse de 0.5 KN/mn jusqu'à la rupture

**[54,55 ,56].**

L'essai est réalisé au laboratoire de génie civil de l'Université Kasdi Merbah Ouargla  
Voir Annexes **photos (A4)**

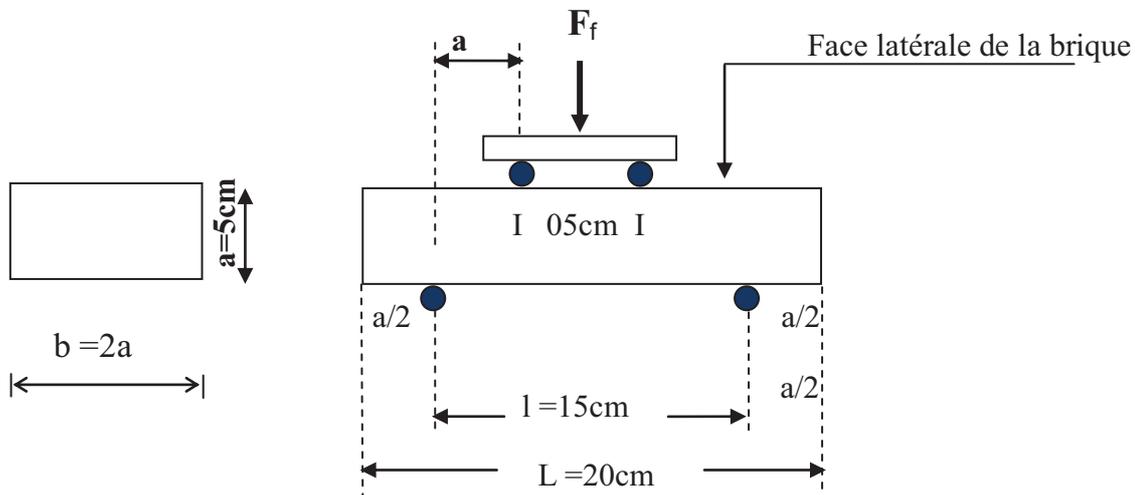


Figure II.5: Essai de flexion sur brique de terre 20 x 11 x 5cm

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

$$\sigma_f = M.Y/I ; \text{ et avec } \sigma_f = F.l / b a^3 = F .3 a / b a^3$$

$$\sigma_f = 3F / 2a^2 \quad (3.1)$$

$\sigma_f$  : résistance à la flexion;

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

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

### III. 3.3. Essai de compression (la norme P 18-406)

L'essai de compression est réalisé sur un appareil de compression universel de type Oehlgass fonctionnant avec un système de pression hydraulique. L'unité de mise en charge est composée d'un bâti rigide supportant deux plateaux. La mise en charge est réalisée par pression hydraulique qui fait déplacer la partie inférieure vers le haut jusqu'à la rupture.

Les éprouvettes de compression sont des cubes de dimensions 10x 10 x 10 cm, qui sont préparées à partir éprouvettes de flexion. Le spécimen est centré entre deux plateaux métalliques de façon que l'axe vertical du spécimen coïncide avec l'axe des

blocs de chargement. La charge est appliquée au spécimen de manière continue avec une vitesse de 5 KN/mn Voir Annexes **photos (A5)**.

L'essai de compression est réalisé suivant la norme P 18-406 [54 ;55 ;56]

$$\sigma_c = F/S \quad (3.2)$$

$\sigma_c$  : contrainte de compression;

F : la charge de rupture à la compression;

S : section transversale de l'éprouvette (S = a x a)

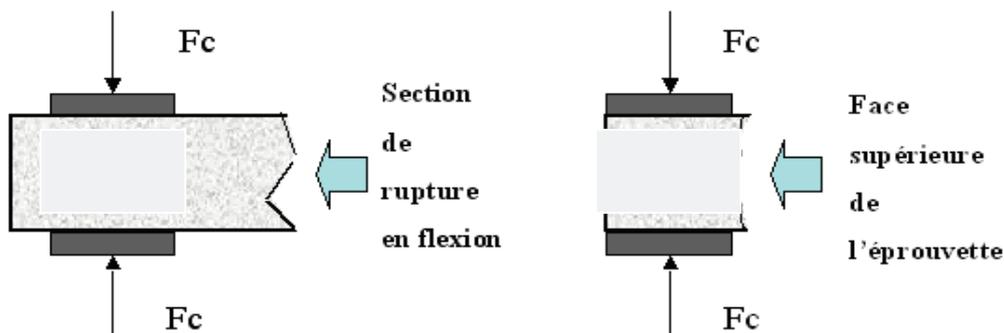


Figure III-6 : Essai de compression sur brique de terre

### III. 3.4. La masse volumique de brique (norme nbn b 24.206) [30]

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

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

M :la masse en kg

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

## III.4 Matériaux utilisés

Nous allons étudiés les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans la composition des briques

### III.4.1. Le sable de dunes

Le sable des dunes est le résultant d'une érosion et d'une sédimentation des différentes roches suivie d'un transport fluviatile et parfois éolienne. La plus grande

partie des formations sableuses est constituée de quartz. Il est caractérisé par une granulométrie fin et très serrée. Pour notre étude le sable des dunes utilisées et d'Ain EL Beida (OUARGLA). Voir **Photo III.2**



**Photo III.2** sable de dunes

### **III.4.1.1 Les caractéristiques du sable de dunes**

#### **III.4.1.1.1 Masses volumiques**

Les résultats des essais de la masse volumique apparente  $\rho_a$  et la masse volumique absolue  $\rho_s$  du sable est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le sable sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains, elle est donnée par la formule suivante

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

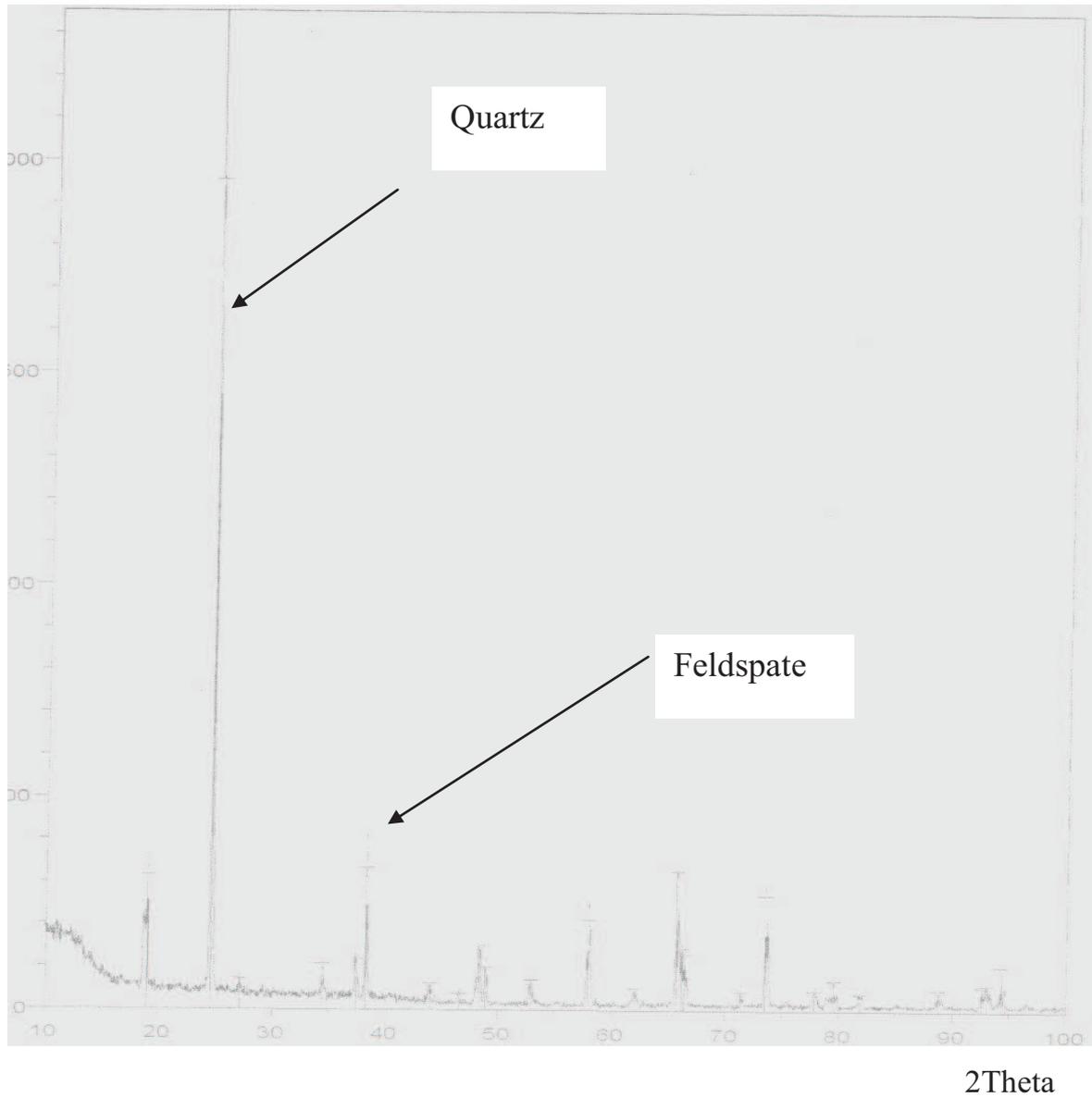
$$\rho_s=2553.28 \text{ kg/m}^3$$

#### **III.4.1.1.2 Analyse minéralogique du sable de dunes**

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

- Le quartz forme une grande part des minéraux avec un pourcentage de 80 %.
- Le gypse se trouve sous forme de grains fins de couleur blanchâtre avec un Pourcentage de l'ordre de 3 %.
- Le feldspath et la calcite sont trouvé avec des pourcentages faibles au tour de 10 % [3,30, 57,58].

La **Figure (III.11)** présente le diffractogramme pour les analyses minéralogiques du sable des dunes.



**Figure (III.7):** Diffractogramme de sable de dunes [30]

### III.4.1.1.3. Analyse chimique

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

Par contrôle de la surface chimiquement active (« essai au bleu de méthylène ») ;

**Tableau (III.1) : Compositions chimique de sable**

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

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

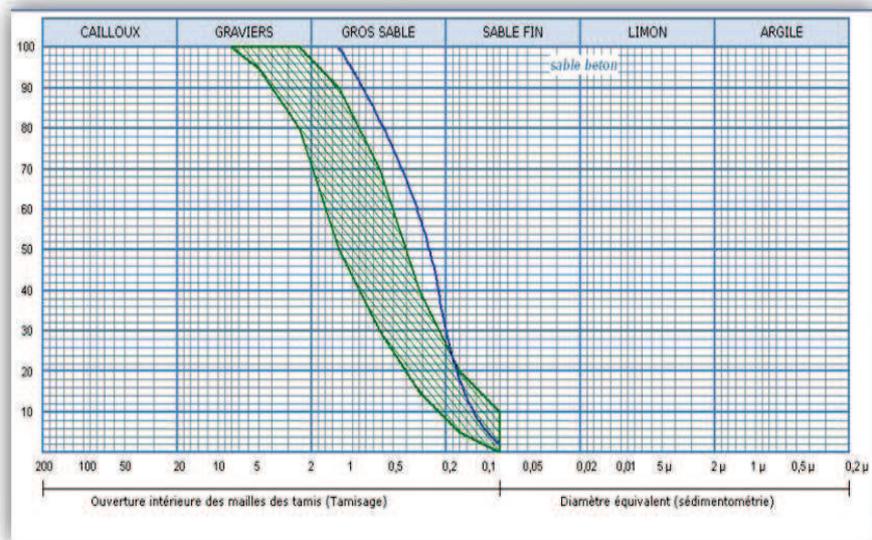
### III.4.1.1.4 Analyse granulométrique

Cet essai est réalisé suivant la **norme NF P18 560 [54]**

L'échantillon représentatif doit avoir une masse comprise entre 200D et 600D , où D est la plus grande dimension des granulats les résultats obtenus sont présentes sur la Figure ( III.2). [59]

**Tableau (III.2) Analyse granulométrique de sable des dunes**

Ouverture de tamis	Refus cumulé en %	Tamisât en %
<b>5</b>	<b>0</b>	<b>100</b>
<b>2,5</b>	<b>0</b>	<b>100</b>
<b>1,25</b>	<b>0</b>	<b>100</b>
<b>0,63</b>	<b>0,08</b>	<b>99,92</b>
<b>0,315</b>	<b>32,42</b>	<b>67,58</b>
<b>0,16</b>	<b>90,45</b>	<b>9,55</b>
<b>0,08</b>	<b>97,9</b>	<b>2,10</b>



**Figure.III.8 : courbe granulométrique de sable des dunes**

La Figure (III.12) montre que la courbe granulométrique est partiellement située à l'extérieur du fuseau de référence recommandé par la norme pour la confection des bétons et des mortiers. Cela est dit vraisemblablement à la nature de sable de dunes qui est très fin.

#### **III.4.1.1.5 Module de finesse (norme NF P18 304)**

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

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

$$\mathbf{MF= 1,23}$$

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

#### **III.4.1.1. 6 Equivalent de sable (norme NF P 18 598) [54]**

La détermination de l'ES s'effectue sur la fraction de sable passants au tamis à mailles carrés de 5mm et rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins contenus dans cette fraction, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments dits sableux et les éléments fins (argiles, impuretés...).

L'équivalent de sable est le rapport multiplié par 100 de la hauteur sédimentée à la hauteur totale du floculât et la partie sédimentée.

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

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

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

Cet essai, utilisé de manière courant pour évaluer la propreté des sables .l' essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossier .une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie celui-ci l'essai est effectué sur fraction 0/5 mm du matériau à étudier . On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout au bout de 20 minutes on mesure les éléments suivants [59] :

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

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

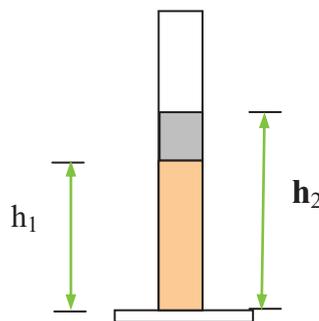


Figure (III. 9): Essais équivalent de sable

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

Les résultats obtenus sont les suivants :

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

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

Donc ce sable est très propre et acceptable pour la composition de béton et de mortier  
Selon la norme NF P 18 598.

### III.4.2 L'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 qui explique leur plasticité, ou bien une structure fibreuse qui explique leurs qualités d'absorption. Pour notre étude on a utilisé l'argile de Touggourt le gisement de Beldet Amer



**Photo III.3 : L'argile**

Nous avons effectué les essais suivants sur l'argile :

Analyse granulométrique sédimentation

Limite d'Atterberg

Analyse chimique

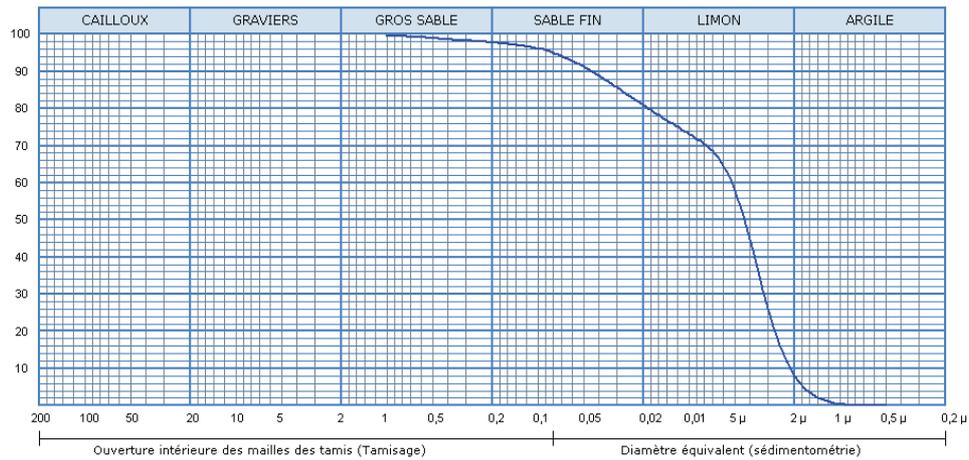
Ces essais sont réalisés au laboratoire de travaux publics de sud L.T.P.S OUARGLA.

### III.4.2.1 Analyse granulométrique par sédimentation (norme NFP94-056/ NF P 94-057)

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

**Tableau III.3 analyse granulométrique d'argile**

Analyse par	Diamètre de tamis (mm)	Tamisât %
tamisage	1	100
	0,4	99
	0,2	98
	0,1	98
	0,08	95
sédimentation	0,075	95
	0,055	93
	0,038	89
	0,025	83
	0,017	79
	0,012	75
	0,008	70
	0,006	70
	0,004	62
	0,003	12
	0,002	0
	0,001	0
	0,0005	0



**Figure. III.10 : Courbe granulométrique d'argile**

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

- ≈ 10 % d'argile
- ≈ 70 % de limon
- ≈ 20 % de sable fin.

#### III.4.2.2. Limite d'Atterberg (Norme NF P 94-051)[59]

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

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

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

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

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

$$IP = WL - WP$$

Les teneurs en eau étant exprimées en pourcentage, l'indice de plasticité est un nombre sans dimension. [58]

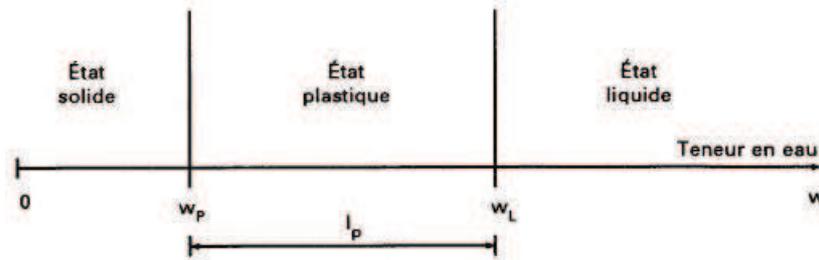


Figure. III.11: Présentation des limites d'atterberg

Les résultats obtenus sont :

$WL = 68,75\%$

$WP = 26,54\%$       type de sable : argiles très plastiques

$IP = 42.21\%$

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

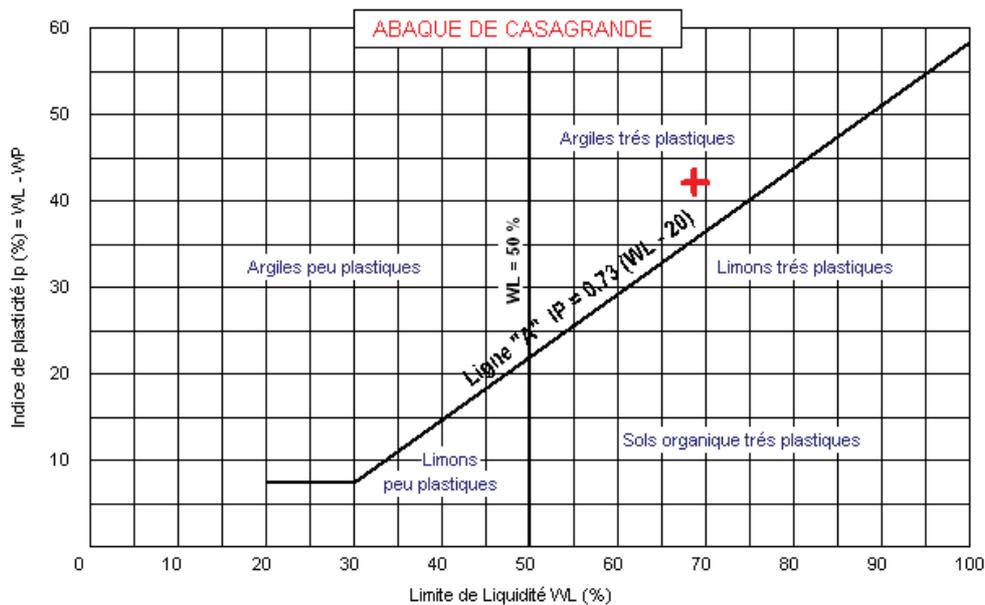


Figure. III.12: Abaques de CAZAGRANDE de l'argile

### III.4.2.3 Classification des argiles selon les limites d'ATTERBERG

Les argiles sont classées suivant leur plasticité ; BURMISTER (1967) propose une classification détaillée de la plasticité des argiles en fonction de l'indice de plasticité [58]

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

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

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

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

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

Figure III 1.5 classification des argiles selon Atterberg

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

### III. 4.2.4 Analyse chimique

Les argiles, les autres matières premières et les mélanges de production sont soumis à de nombreuses analyses chimiques. Il est souvent utile d'analyser séparément le mélange complet de production (avec le dégraissant) et la fraction argileuse, inférieure à 2 µm. Insolubles NF P 15 – 461, Sulfates BS 1377, Carbonates NF P 15 – 461 et méthode Chlorures de MOHR

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

**Tableau III. 6: Analyses chimiques d'argile**

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

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

### III.4.3 Eau de gâchage

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

**Tableau III. 7: composition chimique de l'eau [30]**

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

Les concentrations sont données en mg/l.

### III.4.4. Les fibres

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



**Photo III.4 : Les fibres de palmier dattier**

#### III. 4.4.1. Caractéristiques des fibres de palmier dattier

Les essais effectués par notre équipe de recherche ont permis de caractériser les fibres de palmier dattier d'Ouargla comme suit [60] :

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

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

### III. 4.4.2. Composition chimiques des fibres de palmier dattier

L'analyse par spectrochimie de la poudre des fibres après calcination à  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  a donnée les éléments suivants : les essais dont réalise au laboratoire " INSA Lyon" [60]

**Tableau III.8: Analyse chimique de la poudre des fibres calcinées à  $400 \text{ }^\circ\text{C}$**

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

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

En outre l'analyse, de la poudre des fibres calcinées à  $400^\circ\text{C}$ , par les rayons X, a montrée aussi que les fibres de palmier dattier type Dokar contiennent le quartz SiO<sub>2</sub>, la calcite CaCO<sub>3</sub> [60]

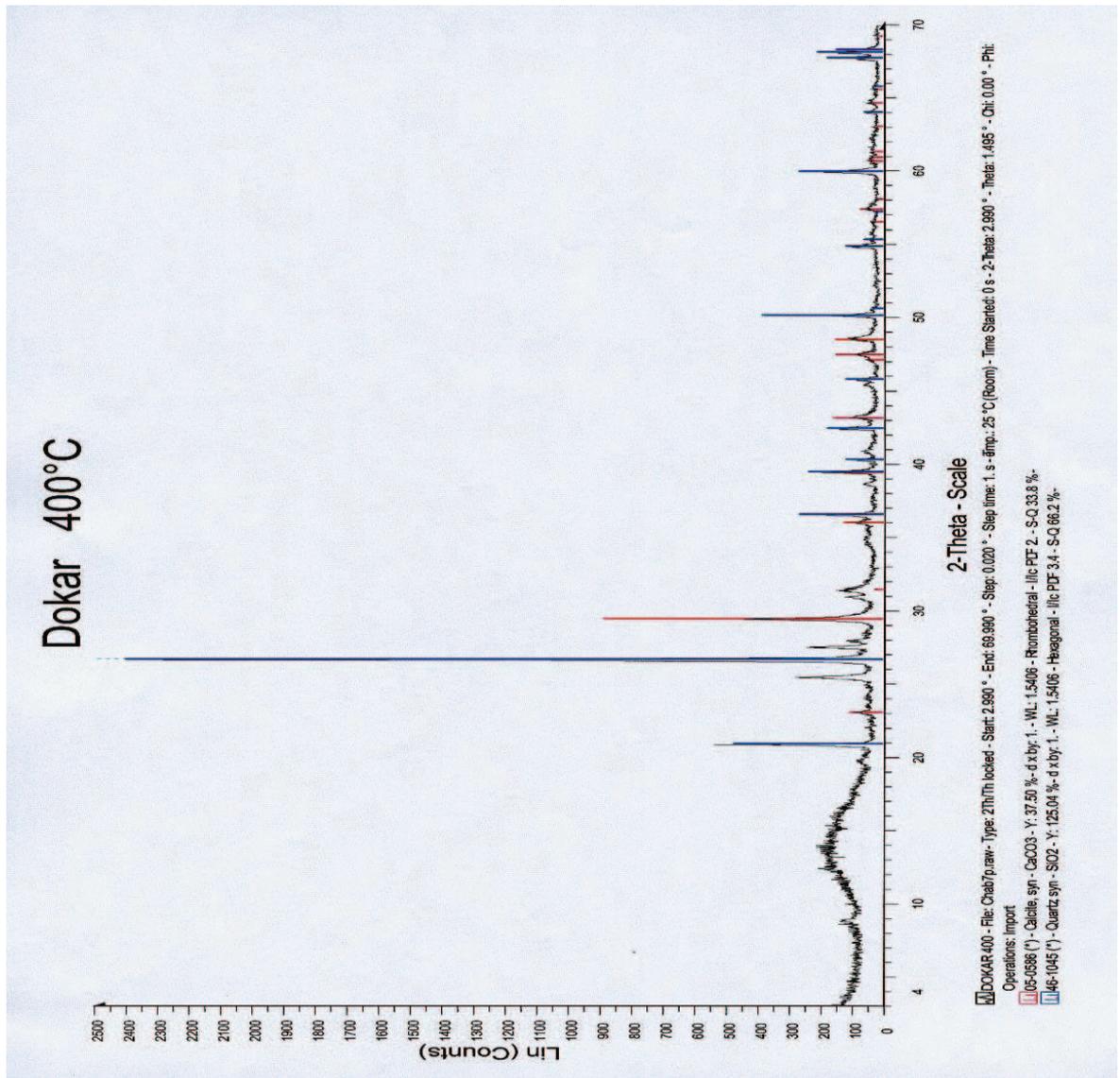
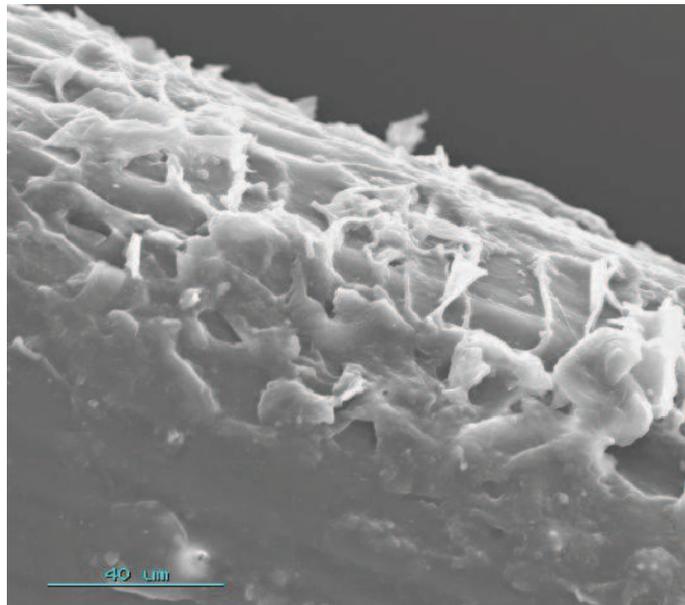


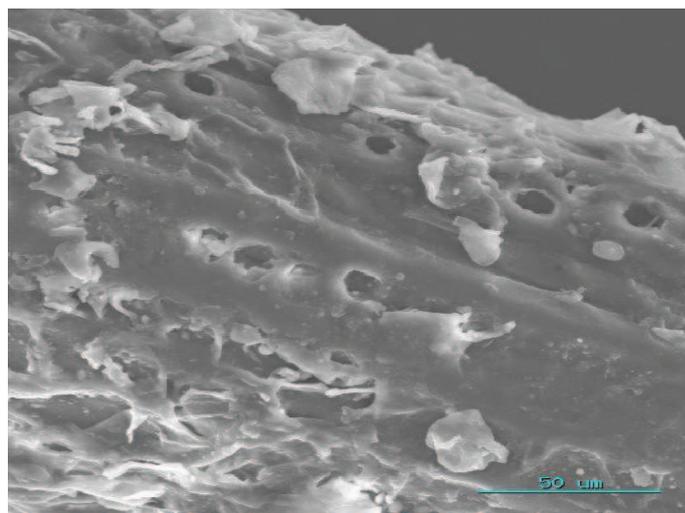
Figure III. 13 Microstructure des fibres de palmier dattier [60]

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



**Photo III.5 : Observation de la texture de la fibre de palmier dattier par MEB [60]**

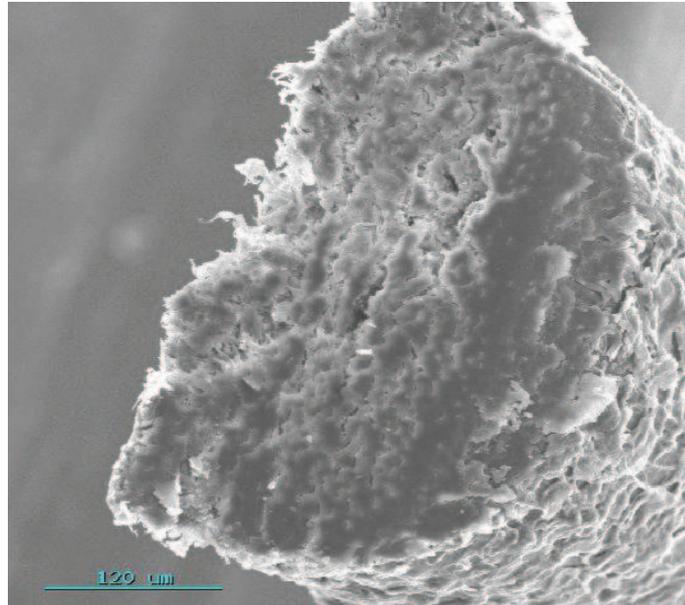
D'après la photo III.5, on remarque que la texture de la fibre ne présente aucune forme géométrique régulière ( pas de structure cristalline), ce qui implique que la fibre de palmier dattier est un composé amorphe[60]



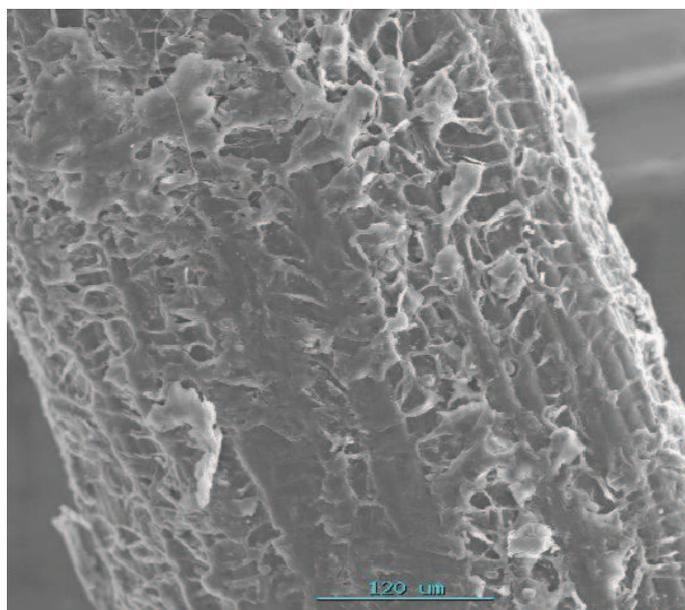
**Photo III.6 : Observation des pores dans la fibre de palmier par MEB [60]**

La photo III.6 montre la présence de certains pores dans la fibre ce qui affirme qu'elle est hydrophile (pouvoir d'absorber l'eau) [60]

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



**Photo III.7 : Observation d'une coupe transversale de la fibre de palmier dattier par MEB [60]**



**Photo III .8 : Observation d'une vue longitudinale de la fibre de palmier dattier par MEB[60]**

D'après la Figure III.8, on observe que les fibres de palmier dattier possèdent des rugosités sur leur surface, ce qui assurent une bonne adhérence fibres-matrice [60]

### **III.5. Fabrication des briques**

#### **III.5.1 Introduction**

L'étape expérimentale de notre travail consiste à une confection d'une brique de terre à base d'argile, puis différents essais ont été effectués sur les éprouvettes (brique) a savoir :

- Isolation thermique ;
- Vitesse de propagation de son;
- Résistance à la flexion (traction) ; à la compression.

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

La résistance à la compression, et l'isolation thermique convenable.

Il est noter que tous ces essais sont effectuées dans les conditions ambiante de laboratoire de génie civil de l'université de Ouargla (Température  $T = 23.5 \pm 3$  °C et HR% =42% Mars 2010).

#### **III.5.2. Formulation de la composition des constituants pour la confection de la brique**

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

#### **III.5.3. Méthodes théorique de formulations**

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

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

### **III.5.4 Formulation expérimentale d'argile pour confection de la brique**

Les plaquettes des fibres de palmier sont séparées en fibres individuelles dans l'eau, pour faciliter leur défibrage. Les fibres individuelles sont bien lavées à l'eau mélangée avec quelques gouttes de l'eau de javel pour enlever les impuretés et la couche de lignine qui entourent les fibres et qui gênent l'adhérence. Ensuite, elles sont coupées à des longueurs voulues. On a opté pour la recherche de la meilleure composition du mélange. A cet effet plusieurs séries de mélanges argile /sable ont été confectionnés avec différentes pourcentage de sable tels que 0%, 10%,20%,30%et 40%. Et mélange argile /fibre de palmier 1%,2%,3% (pourcentage en volume ou masse). Afin de mettre en évidence l'influence sur les caractéristiques requises de la brique (la résistance mécanique, thermique ...), une étude des mélanges a été effectuée.

#### **III.5.4.1 L'influence de la quantité d'eau sur la résistance mécanique**

D'après l'étude bibliographique, la quantité d'eau optimale pour la confection de brique est comprise entre 15 et 30 % de la masse sèche (sable + argile). Dans notre étude, on a effectué une série d'essai d'optimisation pour déterminer la quantité d'eau nécessaire pour l'obtention d'une meilleure résistance mécanique. Tel que  $E/A=0.35$  Puis que l'on laisse sécher au laboratoire de génie civil pendant 28 jours

#### **III.5.4.2. Les différentes compositions utilisées**

Nous avons proposé pour notre travail les cinq compositions (argile+sable) suivantes ,les trois compositions (Argile+fibre) en plus la composition de référence :

- Composition **C1** Argile 100% +00% sable (composition de référence)
- Composition **C2** Argile 90% +10% sable
- Composition **C3** où Argile 80% +20% sable
- Composition **C4** où Argile 70% +30% sable
- Composition **C5** où Argile 60% +40% sable (meilleures propriétés thermiques)
- Composition **C6** telle que :
  - C6-1 : Argile 99%+ 1% fibre
  - C6-2 : Argile 98%+ 2% fibre

-C6-3 : Argile 97%+ 3% fibre (meilleurs propriétés thermiques)

- le nombre total des éprouvettes de notre travail est comme suit : **(48) briques**

Les essais ont été réalisés sur des briques de dimensions **(240×110×50 mm)** selon la Norme **DIN 106 [12,61 ]**.

### **III.5.4.3 Les étapes de confection d'une éprouvette**

1- On pèse les quantités nécessaires des différents matériaux : sable, argile, fibre de palmier et eau.

2 - Le malaxage :

L'opération est exécutée manuellement comme suit :

\* On pose l'argile sec avec sable / fibre avec une quantité d'eau (1/3 de quantité globale d'eau) au départ en versant l'eau d'une façon progressive et on malaxe le mélange durant 30 à 180 secondes jusqu'à l'obtention d'une pâte homogène et bien mouillée (voir photos Annexe 1)

3 - Préparation des moules : après le nettoyage et graissage à l'aide d'une huile les moules sont prêts pour utilisation (voir photos Annexe 1)

4 - 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 1)

5 - Une opération de finition est exécutée sur le parement supérieur des éprouvettes pour obtenir des surfaces lisses.

6 - Après démoulage les éprouvettes sont conservées à l'air libre au sein du laboratoire et que l'on laisse sécher pendant environ 28 jours.

(Voir photos Annexe 1)

### **III.5.4.4 Confection des prototypes (voir photos Annexe 6)**

Après les mesures de la conductivité thermique et sur la base que les unités thermiques mesurées par unité de surface nous avons confectionné huit prototypes de 1m×1m×1m comme suit et on prend des températures extérieures; T intérieur et la humidité par thermomètre numérique et hygromètre d'un jour chaud, dans le but de valoriser nos briques dans la construction nous avons produit quelque prototype réalisés par les briques qui ont présenté de bonnes propriétés thermiques (**la**

**composition de C5 ; la composition C6-3 et la composition de 57% argile + 40% sable +3% fibre nomée B1)**

Les prototypes sont donnés comme suit :

**P0** : par l'argile 100% (Composition C1) malheureusement a cause du retrait nous n'avons pas pu réaliser le prototype **P0** (100 % argile) à la condition climatique tell que la température dépasse 42 °C voir photo.



**Photo III .9: Prototype P0**

**P1** : “ témoins “ réalise par les briques rouges vide de 15 cm et plancher en hourdis de béton comme témoin



**Photo III .10: Prototype P1**

- **P2** : réalise par les briques rouge de 10 cm remplie par la **composition C 6-3** et plancher en plâtre sous forme d'une voûte



**Photo III .11: Prototype P2**

**P 2-1** réalise par les briques rouges de 10 cm remplie par la **Composition C 6-3** et plancher en polystyrène



**Photo III .12: Prototype P 2-1**

**P 2-2** réalise par les briques rouges de 10 cm remplie par la **Composition C 6-3** et plancher en hourdis de terre cuite



**Photo III .13: Prototype P 2-2**

**P3** : réalise par la **composition de brique B1** et plancher en polystyrène



**Photo III .14: Prototype P 3**

- **P4** : réalise par les briques rouge de 10 cm remplie par 60% argile + 40% de sable de dune (**composition C5**) et plancher en hourdis de terre cuite



**Photo III .15: Prototype P 4**

- **P4-1**: réalise par les briques rouge de 10 cm remplie par la **composition C5** et plancher en polystyrène



**Photo III .16: Prototype P 4-1**

**Tableau III.9 prototypes réalisés**

Prototype	Les compositions	Type du Plancher
<b>P0</b>	Composition C1	/
<b>P1</b>	Réalise par les briques rouges vide de 15 cm <b>témoins</b>	hourdis de béton
<b>P2</b>	Composition C 6-3	plâtre sous forme d'un arc
<b>P3</b>	Composition de brique B1	polystyrène
<b>P4</b>	Composition C5	hourdis de terre cuite
<b>P2-1</b>	Composition C 6-3	polystyrène
<b>P2-2</b>	Composition C 6-3	hourdis de terre cuite
<b>P4-1</b>	Composition C5	polystyrène

#### **III.5.4.5 L'influence de température sur les prototypes réalisés**

Le travail de terrain consiste à faire des mesures en saison estivale durant le mois d'Août (09\_08\_2011).

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

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

#### **III.6 Conclusion**

Dans ce chapitre sont exposées les étapes nécessaires pour mesurer la conductivité thermique. Les méthodes dites « instationnaire » sont les plus adaptées pour mesurer la conductivité thermique. Dans notre étude nous avons utilisées le CT-mètre pour obtenir les caractéristiques thermiques, mesurer les propriétés mécaniques tel que la résistance à la flexion et à la compression et mesurer la vitesse de propagation du son et à la fin faire une faisabilité des prototypes selon des procédés bioclimatiques. A la fin nous avons présenté les caractéristiques des matériaux élémentaires ainsi que les prototypes utilisés.

## Résultats et interprétation

### IV .1. Introduction

L'étape expérimentale de notre travail consiste à une confection d'une brique de terre à base de l'argile, puis différents essais ont été effectués sur les éprouvettes (briques) à savoir :

- Isolation thermique ; Vitesse de propagation de son; Résistance à la flexion 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 répondra à certaines exigences qui sont :

La résistance à la compression, et l'isolation thermique convenables.

Il est à noter que tous ces essais sont effectués dans les conditions ambiantes de laboratoire de génie civil et le laboratoire de recherche **EV RNZA** université de Ouargla (Température  $T = 23.5 \pm 3$  °c et HR% =42% Mars 2012).

### IV.2. Résultats des mesures de propriété thermiques

#### IV.2.1. Les résultats thermiques de brique en argile plus sable de dune

Les résultats thermiques de brique en argile plus sable sont regroupés dans le **Tableau IV-1** et **Les figures IV-1 à IV-8**

**Tableau IV-1 : les résultats thermiques de brique en argile plus sable de dune**

Eprouvette (brique)	Pourcentage de sable				
	0% S	10% S	20% S	30% S	40% S
<b>M ( kg)</b>	<b>1.587±0.012</b>	<b>1.561±0.19</b>	<b>1.544±0.09</b>	<b>1.528±0.17</b>	<b>1.511±0.10</b>
<b><math>\lambda</math> ( W/m K)</b>	<b>0,957±0.045</b>	<b>0,865±0.038</b>	<b>0,840±0.032</b>	<b>0,838±0.036</b>	<b>0,832±0.034</b>
<b>R<sub>th</sub> (m<sup>2</sup>C/W)</b>	<b>0.105</b>	<b>0.116</b>	<b>0.120</b>	<b>0.119</b>	<b>0.120</b>
<b>CP ( KJ/m<sup>3</sup> K)</b>	<b>10118,075±135</b>	<b>8270,950±109</b>	<b>8041,500±85</b>	<b>7781,150±69</b>	<b>7762,700±71</b>
<b><math>\rho</math> ( Kg/ m<sup>3</sup>)</b>	<b>1587</b>	<b>1561</b>	<b>1544</b>	<b>1528</b>	<b>1511</b>
<b>C ( kJ/K)</b>	<b>16057.385</b>	<b>12910.953</b>	<b>12416.076</b>	<b>11889.5972</b>	<b>11729.439</b>
<b>E ( J/kg.K)</b>	<b>3920.066</b>	<b>3341.852</b>	<b>3229.474</b>	<b>3156.498</b>	<b>3123.923</b>
<b>D (m<sup>2</sup>/s)</b>	<b>5.959 E-05</b>	<b>6.699 E-05</b>	<b>6.765 E-05</b>	<b>7.048 E-05</b>	<b>7.093 E-05</b>

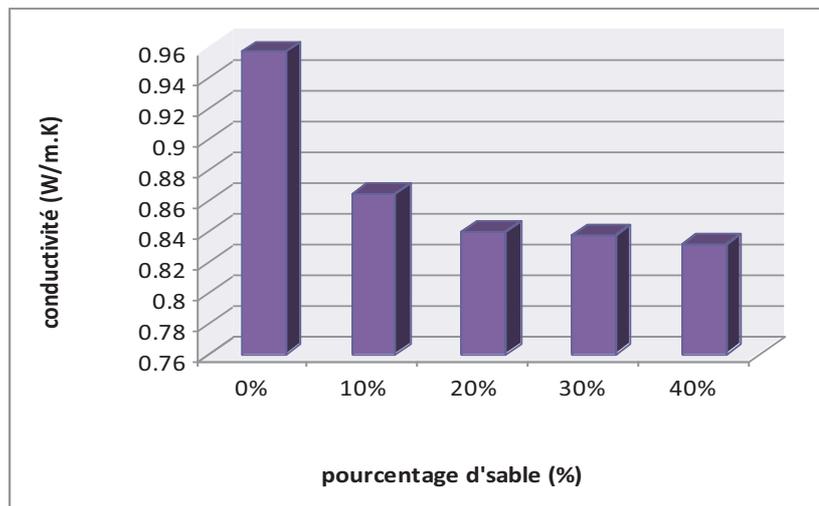
S : sable de dune; M : Poids ;  $\lambda$  : Conductivité thermique ; Cp : chaleur spécifique ;

R<sub>th</sub> : résistance thermique

$\rho$  : Masse volumique ; C : Capacité thermique ; E : Effisivité et D : Diffusivité

#### IV .2.1.1. Variation de la conductivité thermique en fonction du pourcentage de sable

Dans ce qui suit nous allons détailler les résultats pour chaque propriété thermique. La figure IV-1 montre la variation de la conductivité en fonction du % de sable dans le confectionnement de la brique en terre

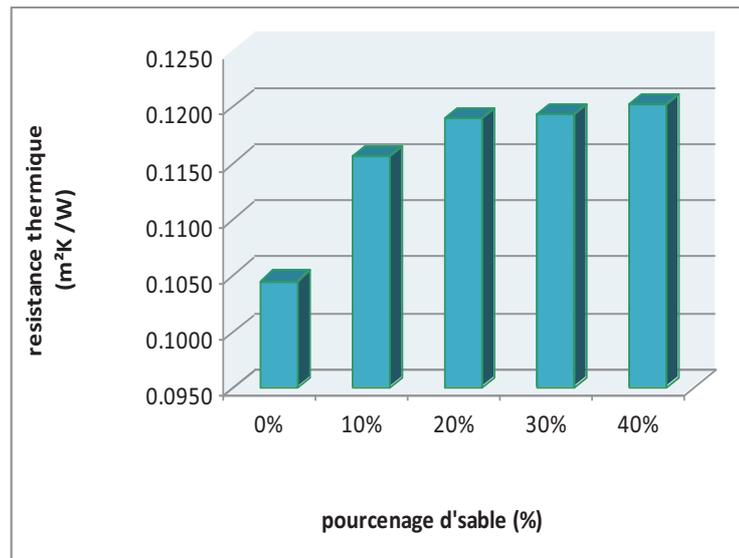


**Figure IV-1 : la conductivité thermique  $\lambda$  [W/m K] en fonction du pourcentage de sable de dune**

D'après les résultats de la **Figure IV-1** nous pouvons observer que : la conductivité thermique varie dans le sens inverse de l'augmentation du % de sable. Nous remarquons une diminution de la conductivité en fonction de l'augmentation pourcentage de sable dans le mélange. Cela est dû à l'augmentation de la porosité de la matrice argile plus sable. En effet, la matrice de la terre d'argile pure est très dense parce que les particules d'argile sont très fines par rapport aux particules de sable de dune, l'augmentation du % de sable dans le mélange fait augmenter le volume des vides qui favorise la diminution de la conductivité thermique.

#### IV .2.1.2. Variation de la résistance thermique en fonction du pourcentage de sable

La figure IV-2 montre la variation de la résistance thermique en fonction du % de sable dans le confectionnement de la brique en terre.

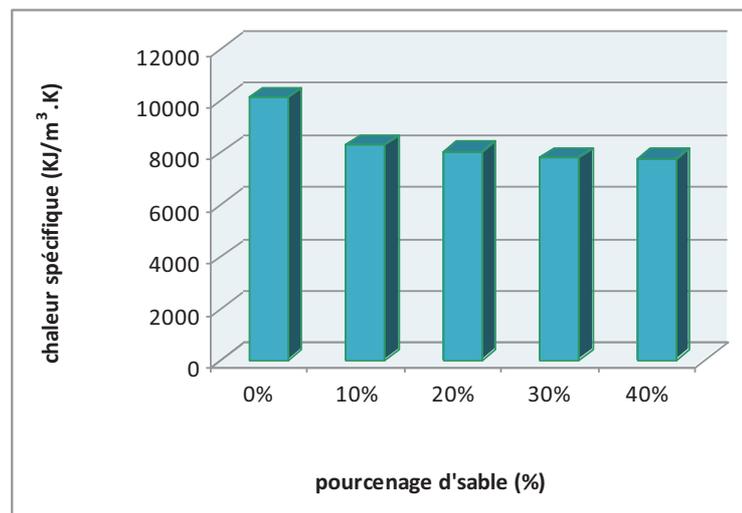


**Figure IV- 2 La résistance thermique  $R_{th}$  en fonction du pourcentage de sable**

D'après le résultat de la **Figure IV-2** nous pouvons observer que : la résistance thermique va automatiquement augmenter avec l'augmentation du % de sable car elle est inversement proportionnelle à la conductivité thermique. En effet,  $R_{th} = e/\lambda$ .

#### **IV .2.1.3. Variation de la chaleur spécifique en fonction du pourcentage de sable**

La figure IV-3 montre la variation de la chaleur spécifique en fonction du % de sable dans la confectionnement de la brique en terre.

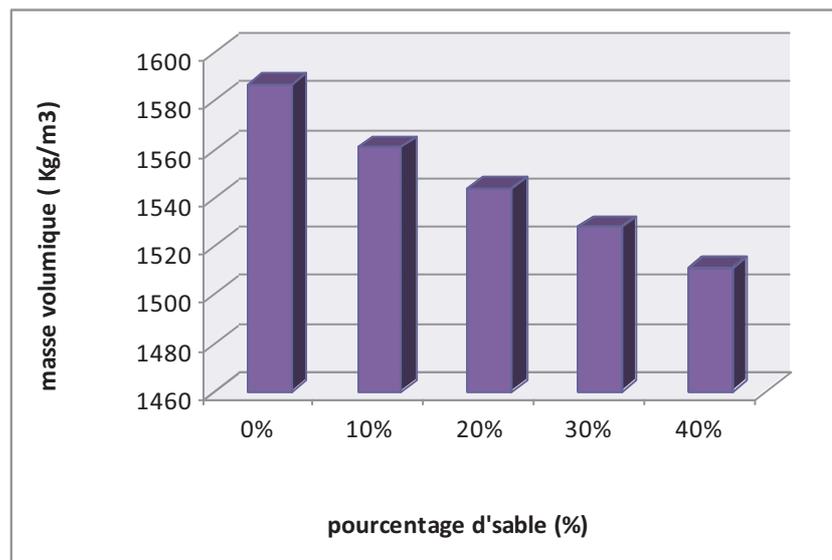


**Figure IV-3: La chaleur spécifique  $C_p$  [KJ/m³K ] en fonction du pourcentage de sable**

D'après le résultat de la **Figure IV-3** nous pouvons observer que: la chaleur spécifique diminué en fonction de l'augmentation de % de sable. Cela est logique du fait que théoriquement  $C_p$  varie dans le même sens que  $\lambda$

#### IV .2.1.4. Variation de la masse volumique en fonction du pourcentage de sable de dune

La figure IV-4 montre la variation de la masse volumique en fonction du % de sable dans le confectionnement de la brique en terre

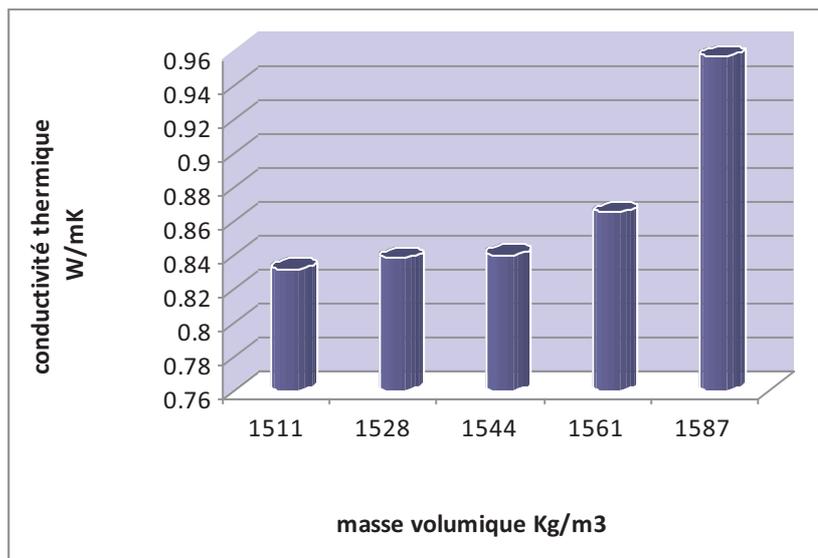


**Figure IV-4: La masse volumique  $\rho$  [Kg /m<sup>3</sup>] en fonction du pourcentage de sable**

D'après le résultat de la **Figure IV-4** nous pouvons observer que: La masse volumique diminué en fonction de l'augmentation du pourcentage de sable de dune. En effet, l'argile est plus lourde que le sable de dune nous avons vue que la masse volumique de l'argile été de 1700 kg/m<sup>3</sup> alors que la masse volumique de sable n'été que de 1400 kg/m<sup>3</sup>.

#### IV .2.1.5. Variation de la conductivité thermique en fonction du la masse volumique

La figure IV-5 montre la variation de la conductivité thermique en fonction du la masse volumique dans la confectionnement de la brique en terre

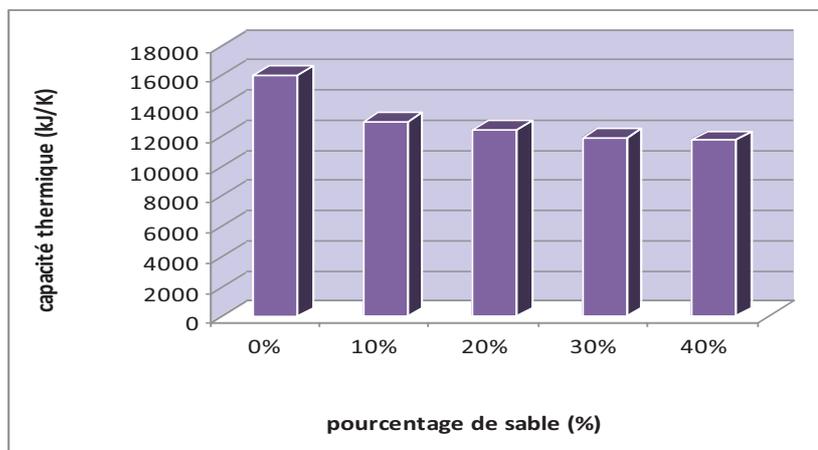


**Figure IV-5: La conductivité thermique  $\lambda$  [W/m K] en fonction du la masse volumique pour les différents pourcentage de sable**

D'après le résultat de la Figure IV-5 nous pouvons observer que: la conductivité thermique varie dans le même sens que la masse volumique. La diminution de la masse volumique est bénéfique pour diminuer la conductivité thermique. De ce fait, le composé avec sable de dune donne des conductivités thermiques plus faibles que le composé avec argile pure. Cela confirme nos résultats exposés dans la figure IV-1

#### IV.2.1.6. Variation de la Capacité thermique en fonction du pourcentage de sable

La figure IV-6 montre la variation de la capacité thermique en fonction du pourcentage de sable dans la confectionnement de la brique en terre



**Figure IV-6 : Capacité thermique en fonction de pourcentage de sable**

Le calcul de la capacité thermique (formule (2-6)) on permit de déterminer les résultats donnés sur la figure IV-7. Nous constatons une diminution de la capacité thermique en fonction de l'augmentation du pourcentage de sable .Cela est logique du moment que la capacité thermique  $C = C_p \times m$ . De plus, nous avons vue que et le  $C_p$  et la masse diminuent en fonction de l'augmentation du % de sable donc leur produit diminuer automatiquement.

#### IV.2.1.7 Variation d'Effusivité en fonction du pourcentage de sable :

L'effusivité calculée par la formule (2-7) a donné les résultats sur la figure IV-7

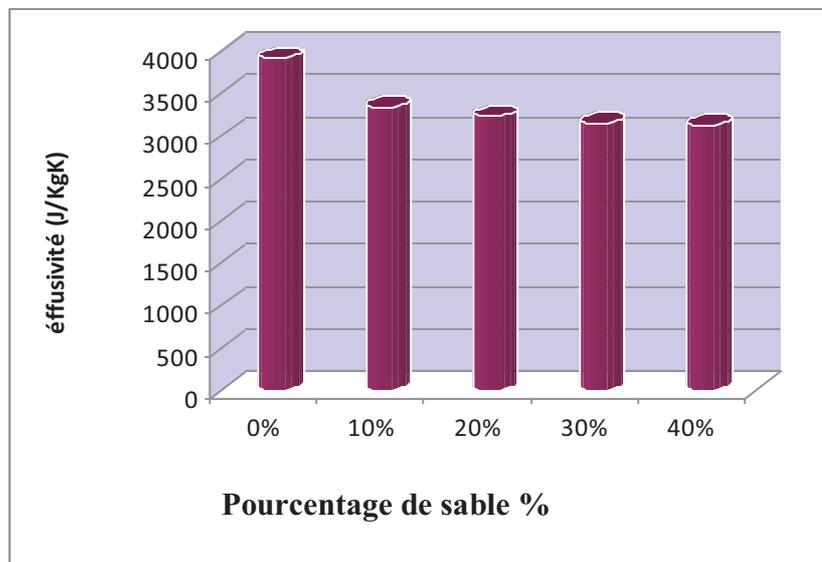


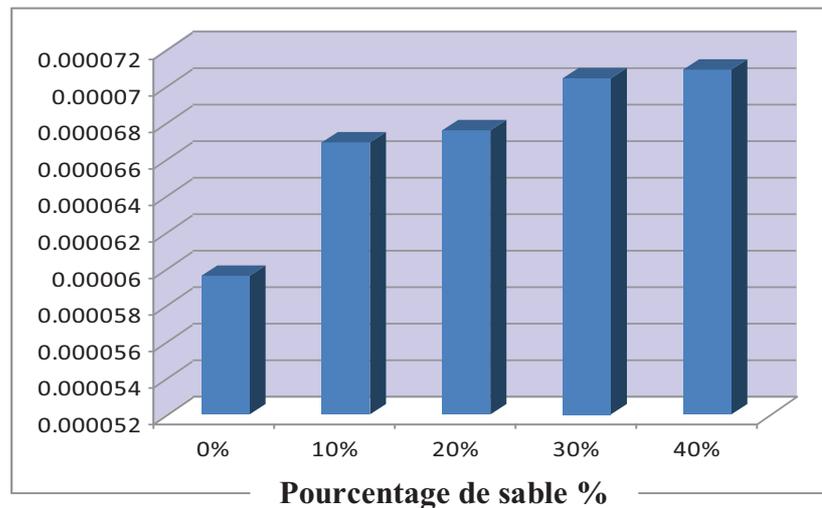
Figure IV-7 : Effusivité en fonction de % de sable

Nous constatons une diminution de l'effusivité thermique en fonction de l'augmentation du pourcentage de sable.

En effet,  $E = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c_p}$  . Les trois caractéristiques thermiques  $\lambda$ ,  $\rho$  et  $C_p$  diminuent en fonction de l'augmentation de % de sable. Donc la racine carrée de leur produit diminue aussi.

#### IV.2.1.8 Variation de La diffusivité en fonction du pourcentage de sable :

La figure IV-8 montre la variation de la diffusivité thermique en fonction du pourcentage de sable dans le confectionnement de la brique en terre



**Figure IV-8 La diffusivité en fonction de % de sable**

Nous constatons une évolution de la diffusivité thermique en fonction de l'augmentation du pourcentage de sable.

D'après l'équation qui détermine  $D = \lambda / \rho \cdot C_p$  nous avons vu que  $\lambda$ ,  $\rho$  et  $C_p$  diminuent avec l'augmentation de sable. C'est logique lorsque  $\lambda / \rho \cdot C_p$  augmente avec l'augmentation de % sable.

#### IV.2.2 les résultats thermiques en fonction du pourcentage de fibre

Les résultats thermiques de brique en argile plus fibre palmier dattier sont regroupés dans **Tableau IV-2**

**Tableau IV-2 : les résultats thermiques en fonction du pourcentage de fibre**

Eprouvette	Pourcentage en fibre			
	0% F	1% F	2% F	3% F
<b>M ( kg)</b>	1.587±0,012	1.561±0,179	1.518±0,02	1.489±0,013
<b><math>\lambda</math> ( W/m K)</b>	0,957±0.045	0,503±0.021	0,439±0,018	0,408±0,017
<b><math>R_{th}</math> (m²K /W)</b>	0,105	0,199	0,228	0,245
<b><math>C_p</math> ( KJ/m³ K)</b>	10118,075±135	3.795,533±67	2.410,666±51	2.035,066±52
<b><math>\rho</math> ( Kg/m³)</b>	1587	1561	1518	1489
<b>C ( kJ/K)</b>	16.057385	5.92482701	3.65939099	3.03021327
<b>E ( J/kg.K)</b>	3920,066	1726,3221	1267,46702	1195,0122
<b>D ( m²/s)</b>	5,959 E-05	6,699 E-05	6,881 E-05	7,232 E-05

F : fibre palmier dattier; M : Poids ;  $\lambda$  : Conductivité thermique ;  $C_p$  : chaleur spécifique ;  $R_{th}$  résistance thermique ;  $\rho$  : Masse volumique ; C : Capacité thermique ; E : Effisivité et D : Diffusivité

#### IV .2.2.1 Variation de la conductivité thermique en fonction du pourcentage de fibre

La figure IV-9 montre la variation de la conductivité en fonction du % de fibre dans le confectionnement de la brique en terre

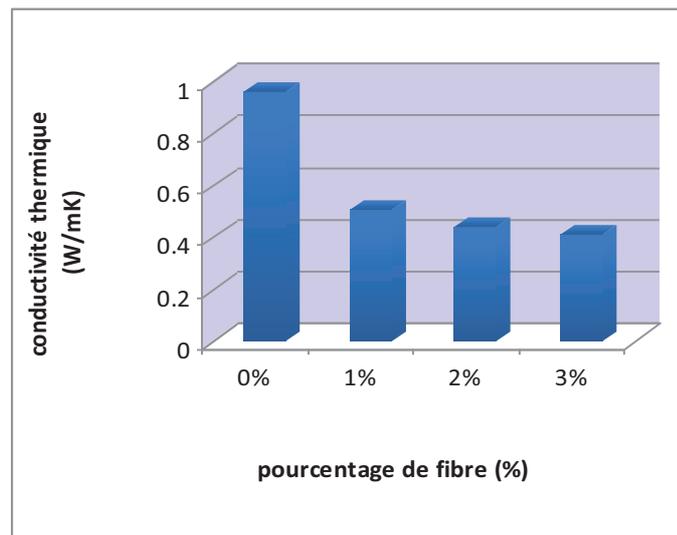
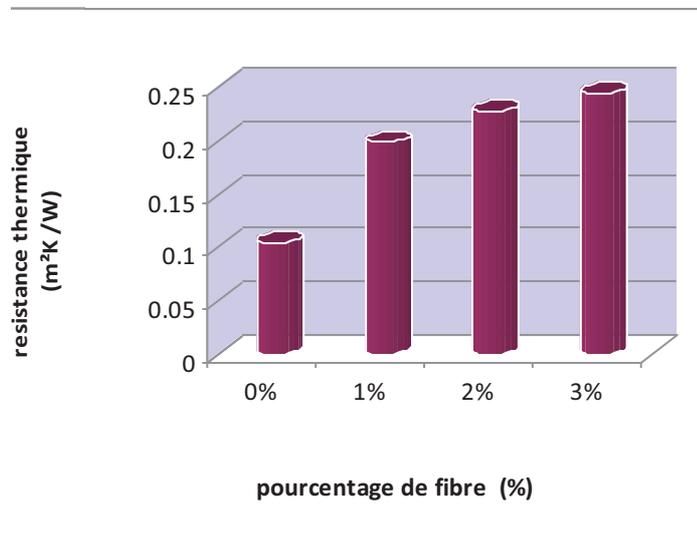


Figure IV-9 : la conductivité thermique  $\lambda$  [W/m K] en fonction du pourcentage de fibre

D'après le résultat de la **Figure IV-9** nous pouvons observer que: la conductivité thermique varie inversement à l'augmentation du pourcentage de fibre. Nous remarquons une diminution la conductivité en fonction de l'augmentation du pourcentage de fibre. En effet, l'augmentation du % de fibre augmente les volumes de vide dans la brique ce qui diminue la conductivité thermique. Nous remarquons aussi que la diminution de la conductivité thermique des matrice en argile plus fibre est plus que celle de la matrice argile plus sable .Cela est logique du moment que la taille des fibre de 1 cm va provoquer un vide dans la matrice plus grand que celle des grains de sable qui ont une taille entre 0 et 3 mm d'une part, d'autre part la structure poreuse de la fibre elle-même augmente la porosité du composite ce qui diminue  $\lambda$ . En plus, le pouvoir d'absorption de la fibre comme nous l'avons montré au chapitre III (TA=96,83-202,64 après 24H seulement) va allouer à la fibre un taux d'humidité important, ce qui favorise la diminution la conductivité thermique.

#### IV .2.2.2 Variation de la résistance thermique en fonction du pourcentage de fibre

La figure IV-10 montre la variation de la résistance thermique en fonction du % de fibre dans la confectionnement de la brique en terre

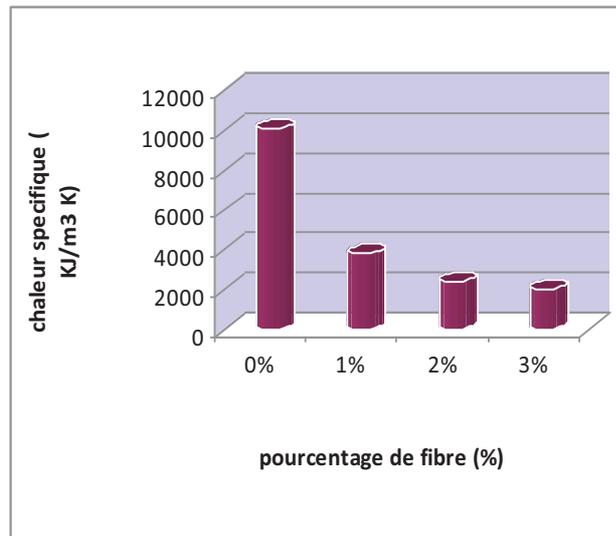


**Figure IV-10 : la résistance thermique  $R_{th}$  en fonction du pourcentage de fibre**

D'après les résultats de la **Figure IV-10** nous pouvons observer que: la résistance thermique va automatiquement augmenter car elle est inversement proportionnelle au conductivité thermique  $R_{th} = e / \lambda$ .

#### IV .2.2.3 Variation de la chaleur spécifique en fonction du pourcentage de fibre

La figure IV-11 montre la variation de la chaleur spécifique en fonction du % de fibre dans le confectionnement de la brique en terre.

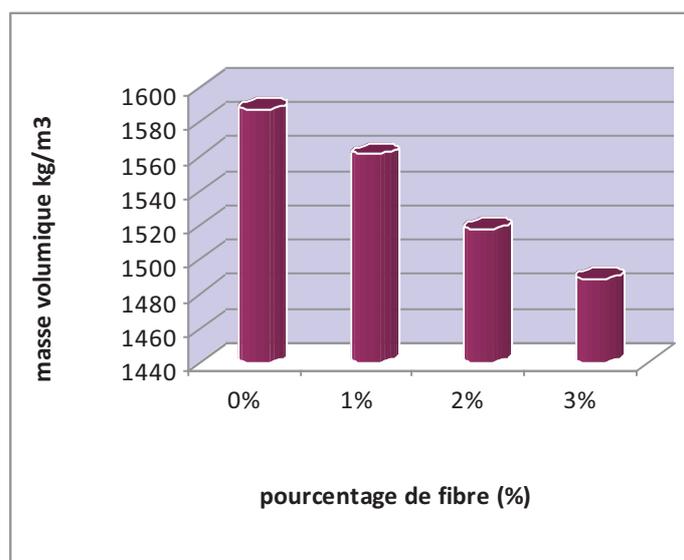


**Figure IV- 11: La chaleur spécifique  $C_p$  [KJ/m<sup>3</sup>K] en fonction du pourcentage de fibre**

D'après les résultats de la **Figure IV-11** nous remarquons que le chaleur spécifique varie façons inverse avec l'augmentation des fibres, mais la diminution est très remarquable par apport à la matrice sans fibre à titre d'exemple le taux de diminution de  $C_p$  de matrice de 3% de fibre est de 80% par apport à la matrice sans fibre

#### IV .2.2.4 Variation la masse volumique en fonction du pourcentage de fibre

La figure IV-12 montre la variation de la masse volumique en fonction du % de fibre dans la confectionnement de la brique en terre.

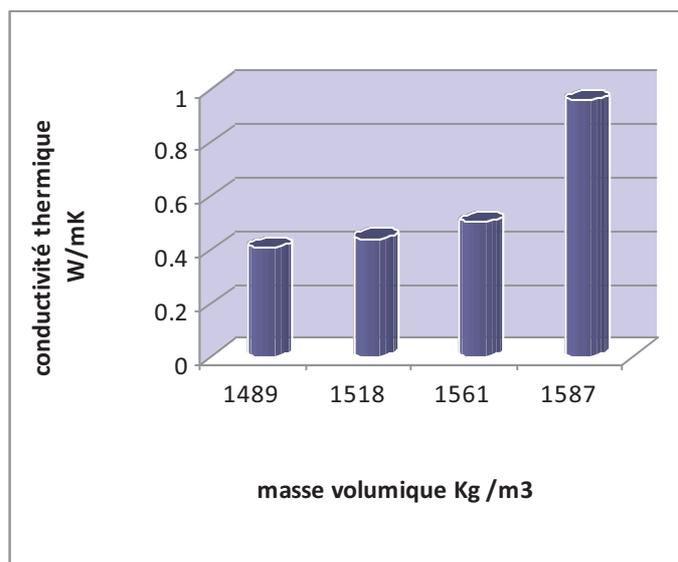


**Figure IV-12: La masse volumique  $\rho$  [Kg /m<sup>3</sup>] en fonction du pourcentage de fibre**

D'après les résultats de la **Figure IV-12** nous pouvons observer que :  
 La masse volumique diminue en fonction du pourcentage de fibre vu la masse volumique d'argile ( $1700 \text{ kg/m}^3$  et masse volumique de fibre environnant  $512,12 \text{ kg/m}^3$ )

#### IV .2.2.5 Variation la conductivité thermique en fonction de la masse volumique

La figure IV-13 montre la variation de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique dans la confectionnement de la brique en terre.

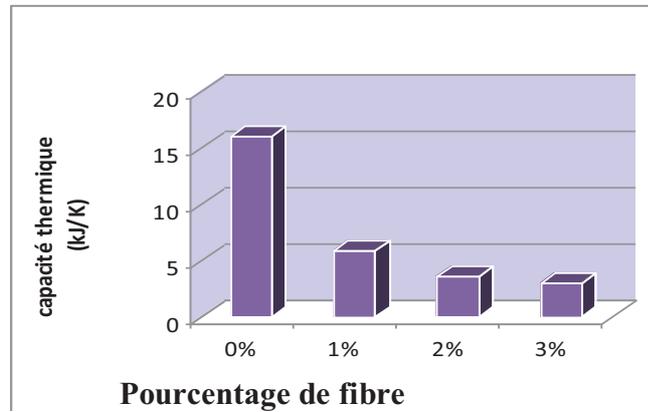


**Figure IV -13: La conductivité thermique  $\lambda$  [ W/m K ] en fonction de la masse volumique pour les différents pourcentage de fibre**

D'après le résultat de la **Figure IV-13** nous pouvons observer que:  
 la conductivité thermique varie dans le même sens que la masse volumique  
 Donc une diminution de la masse volumique va influencer favorablement sur la valeur de la conductivité thermique. Ce qui confirme nos résultats sur les composites avec les fibres. En effet, l'ajout de fibre dans la matrice diminue la masse volumique et par la suite la conductivité thermique.

#### IV.2.2.6 Variation de La Capacité thermique en fonction du pourcentage de fibre

Le calcul a donné les résultats sur la figure IV-14 en terre

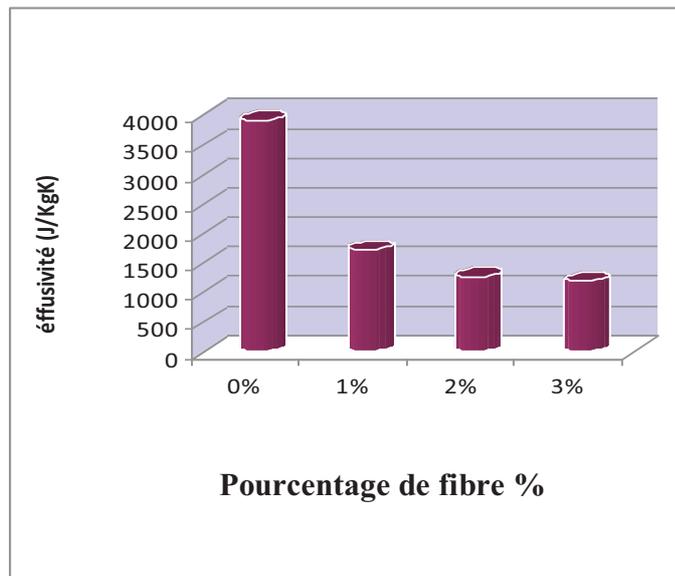


**Figure IV-14 : la Capacité thermique en fonction de % de fibre**

Nous constatons une diminution de la capacité thermique en fonction de l'augmentation du pourcentage de fibre. La capacité thermique varie d'une façon inverse avec le pourcentage de fibre. Cela est déjà expliqué au paragraphe **IV-2.16**

#### IV.2.2.7 Variation de l'Effusivité en fonction du pourcentage de fibre

La figure IV-15 montre la variation de la effusivité thermique en fonction du pourcentage de fibre dans la confectionnement de la brique en terre. Ces valeurs sont obtenue sur la base de calcul par l'équation (2-7).

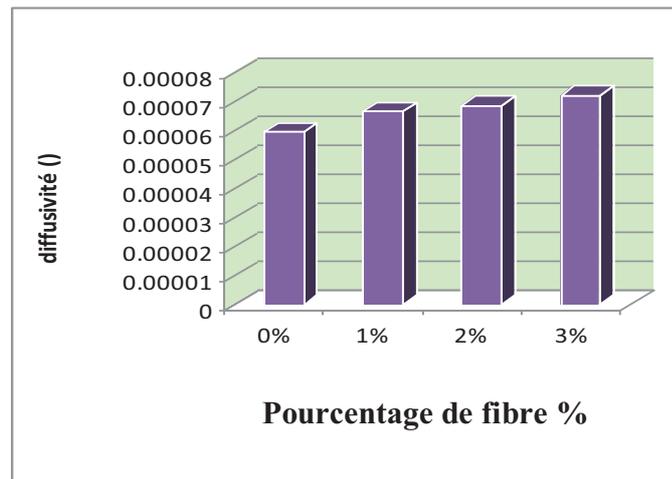


**Figure IV -15: Effusivité en fonction de % de fibre**

Nous constatons une diminution de l'effusivité thermique en fonction de l'augmentation du pourcentage de fibre. Comme nous avons vu au paragraphe IV-2.1.7 l'effusivité des composite argile + fibre de palmier diminue aussi en fonction de l'augmentation du % fibre, mais le taux de diminution des composite + fibre est plus grand que celle des composite + sable de dune seulement. A titre d'exemple avec 3% de fibre la l'effusivité est de 30% par apport à la matrice sans fibre. Soit un taux de diminution de 70%

#### **IV.2.2.8 Variation de la Diffusivité en fonction du pourcentage de fibre**

La figure IV-16 montre la variation de la diffusivité thermique en fonction du pourcentage de fibre dans la confectionnement de la brique en terre.



**Figure IV-16 : Diffusivité en fonction de % de fibre**

Nous constatons une évolution de la diffusivité thermique en fonction de l'augmentation du pourcentage de fibre.

#### IV .2.3. Les résultats thermiques de la brique B1

Puis nous avons remarqué que l'augmentation du % sable et de fibre ont amélioré les propriétés thermiques, nous avons confectionné un brique avec 57% Argile; 40% Sable et 3% fibre de palmier .

Désormais la brique 57% Argile ;40% Sable et 3% fibre sera nommée **B1**. Le tableau IV-3 donnée les résultats thermique de la brique B1

**Tableau IV-3 : les résultats thermiques de la brique B1**

Eprouvette	brique B1
<b>M ( kg)</b>	1.570± 0,012
<b><math>\lambda</math> ( W/m K)</b>	0,760± 0,031
<b>R th (m<sup>2</sup>°C/W)</b>	0,1315
<b>Cp ( KJ/m<sup>3</sup> K)</b>	1668,333± 0,51
<b><math>\rho</math> ( Kg/m<sup>3</sup>)</b>	1570
<b>C ( kJ/K)</b>	2619,28281
<b>E ( J/kg.K)</b>	1410,90571
<b>D ( m<sup>2</sup>/s )</b>	2,90156 E-05

A : argile ;S : sable ;F : fibre de palmier dattier

Les valeurs des propriétés thermique de la brique B1 se situé entre le meilleure brique d'argile plus sable de dune (60% argile+40%sable) et le meilleure brique à base

d'argile plus fibre ( 97%argil +3% fibre). Cela nous amène à dire que les composites avec fibre sont meilleurs de point de vue thermique.

Si nous comparons les résultats thermiques de nos meilleures composites

- 60% Argile +40% sable
- 97% Argile +3% fibre
- Brique B1

avec celles des référence nous pouvons dire que nos briques 60% Argile+40% sable et B1 restent dans la plage des valeurs données sur le tableau I-7 pour l'adobe le composite plus fibre adonné le meilleure résultat comme le montre le tableau IV-4.

**Tableau IV-4 comparaison des résultats**

Brique	Conductivité thermique $\lambda$ ( W/m K)	Résistance thermique $R_{th}$ ( $m^2C/W$ )
60%Argile +40% sable	<b>0,832</b>	<b>0.120</b>
97% Argile +3% fibre	0,408	0,245
Brique B1	0,760	0,132
Adobe	0.460 à 0.81	0,217 à 0,123

### IV. 3. Résultats de mesure des propriétés mécaniques

Le tableau IV-5: montre la variation de la résistance de traction par la flexion en fonction et la résistance de compression en fonction du pourcentage de sable

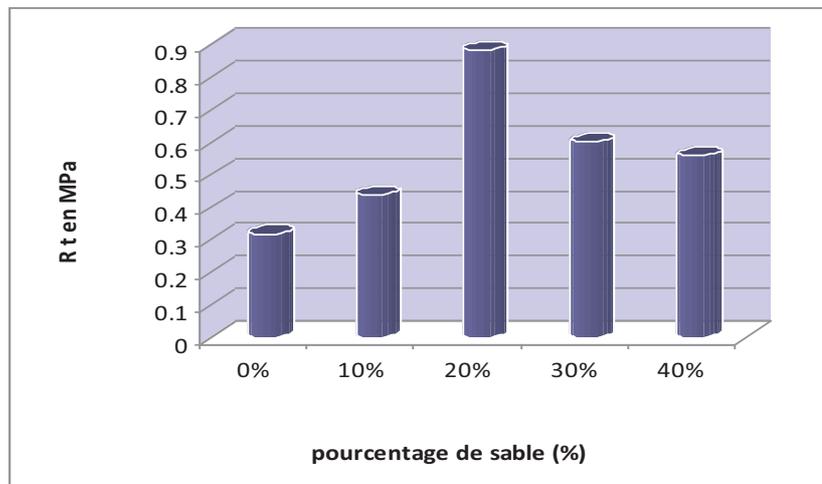
#### IV. 3.1 Variation de Résistances à la flexion et à la compression par rapport au pourcentage de sable de dune :

Les résultats de la résistance à la flexion et à la compression sont regroupés dans le tableau IV-5. Les figures IV-17 et IV-18 présentent les variations résistances à la flexion et à la compression

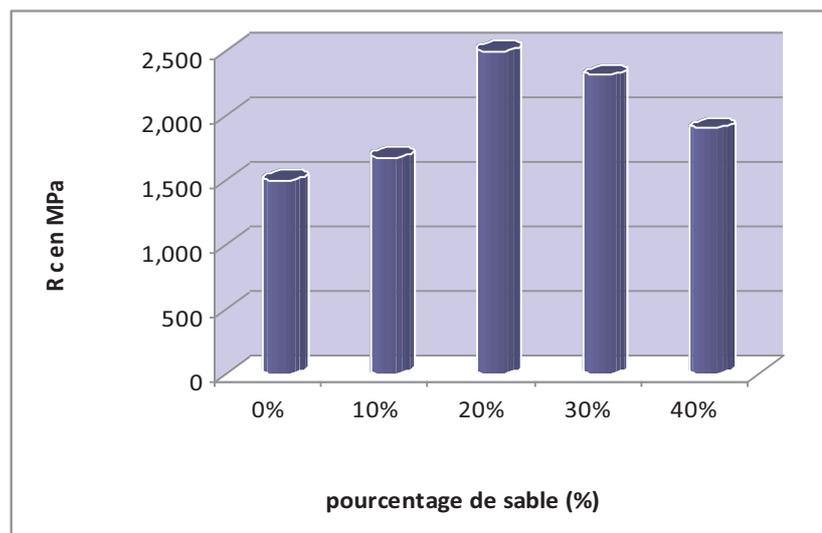
**Tableau IV-5 : Résistances à la flexion et à la compression par rapport au pourcentage de sable de dune**

pourcentage de sable	$R_f$ en MPa	$R_c$ en MPa
0% S	0.318±0.04	1,500±0.10
10% S	0.438±0.03	1,675±0.15
20% S	0.882±0.12	2,500±0.17
30% S	0.6±0.07	2,312±0.13
40% S	0.558±0.06	1,900±0.18

Résistances en (MPa) à 28 jours



**Figure IV-17 : Résistances à la flexion par rapport au pourcentage de sable de dune**



**Figure IV-18 : Résistances à compression par rapport au pourcentage de sable de dune**

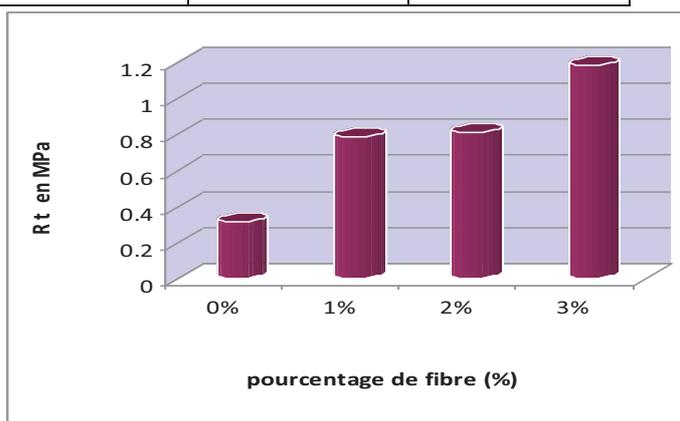
La Figure IV-17 et La Figure IV-18 représentent les variations de la résistance à la traction et à la compression, en fonction du pourcentage de sable à 28 jours. Nous remarquons que l'augmentation de sable jusqu'au 20% a permis d'améliorer les performances mécaniques de l'argile où  $R_f=0.882$  MPa et  $R_c=2,500$  MPa. Mais au-delà de cet pourcentage il y'a eu une diminution des résistances mécanique. Le pourcentage optimale est entre 20% et 30% ce qui est en accord avec le pourcentage usuellement utilisé dans la production des briques industrielles qui es de 30%.

#### IV. 3.2 Variation de Résistances à la flexion et à la compression argile plus fibre :

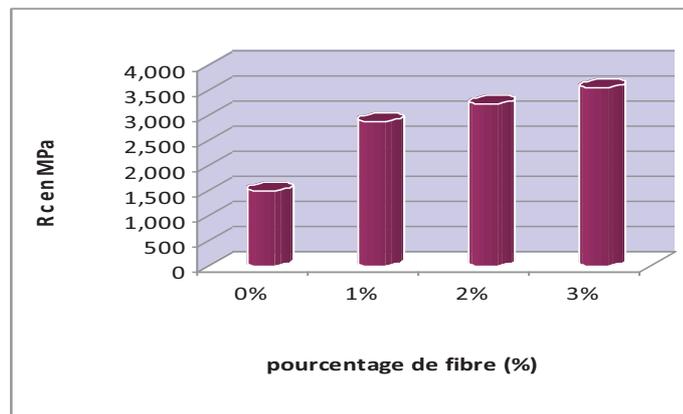
Les résultats de la résistance à la traction et à la compression sont regroupés dans le tableau IV-6. Les figures IV-19 et IV-20 qui présentent les variations des résistances à la flexion et à la compression.

**Tableau IV-6 :** montre la variation de la résistance de flexion et la résistance de compression en fonction du pourcentage des fibres

Brique	Rf en MPa	Rc en MPa
0% F	0.318±0.04	1,500±0.10
1% F	0.789±0.01	2,883±0.1
2% F	0.815±0.04	3,233±0.15
3% F	1.186±0.06	3,550±0.13



**Figure IV-19 :** Résistance à la flexion par rapport au pourcentage de fibre



**Figure IV-20 Résistance à compression par rapport au pourcentage de fibre**

La Figure IV-19 et La Figure IV-20 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 permet d'améliorer les performances mécaniques à titre d'exemple avec 3% de fibre nous avons obtenu un gain résistance de :  $R_{c3\% \text{ fibr}} = 2.36 \times R_{c0\%}$  plus que deux fois et  $R_{f3\% \text{ fb}} = 3.71 \times R_{f0\%}$  plus que trois fois. En effet, les fibres contribuent à augmenter la résistance au fissuration et à la propagation de celles-ci se qui augmente la résistance mécanique. Le pourcentage optimal sera après 30%. Dans cette étude nous n'avons pas utilisé un pourcentage plus de 3%, il sera souhaitable d'étudier le pourcentage optimal dans une étude ultérieure.

### IV. 3.3 Résistance à la flexion et à la compression de la brique B1

**Tableau IV-7 : Résistance à la flexion et à la compression de brique B1**

Brique	Rf MPa	Rc MPa
<b>B1</b>	0.526±0.01	3.24±0.15

Nous remarquons que il y a une améliorer des performances mécaniques Par rapport aux performances mécaniques des briques (argile + sable )  $R_c \text{ B1}$  se trouve entre  $R_c \text{ Sable}$  et  $R_c \text{ fibre}$  et  $R_f \text{ B1}$  se trouve entre  $R_f \text{ sable}$  et  $R_f \text{ fibre}$  Se qui mit en évidence l'effet favorable des fibres dans la matrice.

Si nous comparons nos résultats de résistance par rapport aux résultats des références nous pouvons dire que nos briques sont moyennes à acceptable de point vue résistance.

#### IV. 4. Résultats de mesure des vitesses de son

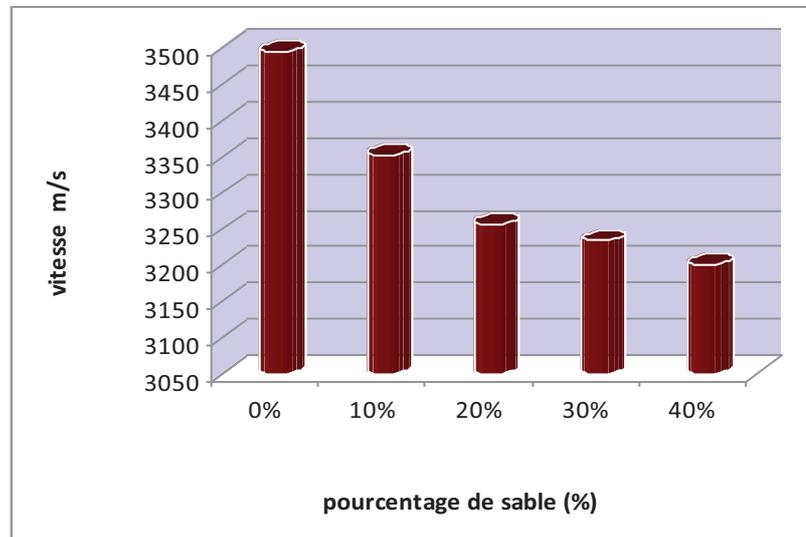
Pour avoir un aperçu sur le taux de compacité et le taux des vides dans les briques confectionnées nous avons utilisé l'essai d'auscultation sonore.

##### IV. 4.1. Variation de la vitesse de son en fonction du pourcentage de sable

Le tableau IV-8 et la figure IV-21 donnent la vitesse du son pour le composite argile plus sable

**Tableau IV-8 : Valeur de la vitesse moyenne (essai ultrasonique) argile + sable de dine (%)**

Eprouvette	0% S	10% S	20% S	30% S	40% S
V moy ( m /S)	3494 ±120	3352 ±96	3256 ±121	3234 ±215	3201 ±221



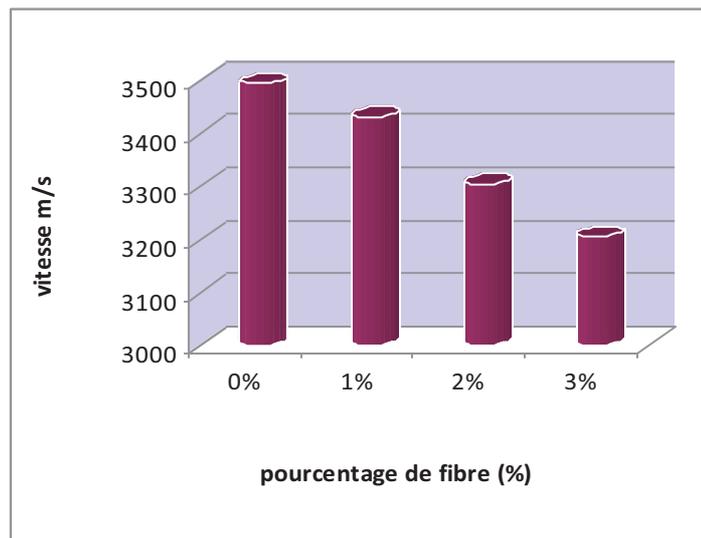
**Figure IV-21 : Valeur de la vitesse moyenne**

##### IV .4.2 . Variation de la vitesse en fonction du pourcentage fibre de palmier dattier

Le tableau IV-9 et figure IV-22 donnent la vitesse de son pour composite argile +fibre

**Tableau IV-9 : Valeur de la vitesse moyenne (essai ultrasonique) argile +% fibre de palmier dattier**

Eprouvette	0% F	1% F	2% F	3% F
V moy ( m /S)	3494 ±120	3432 ±140	3303 ±159	3205 ±219



**Figure IV -22 : Valeur de la vitesse moyenne**

#### IV.4.3. la vitesse de son pour la brique B1

Le tableau IV-10 montre la vitesse de son de brique B1

**Tableau IV-10 : valeur moy de vitesse de la brique B1**

Eprouvette	de la brique B1
V moy ( m /S)	3331 ±130

Nous constatons que la vitesse diminue en fonction de l'augmentation du % de sable et % de fibre cela confirme notre hypothèse : que l'incorporation des sable de dune ou des fibre de palmier font augmenter le % de vide et font diminuer la compacité ce qui diminue la conductivité thermique.

Nous remarquons que la vitesse de son pour la brique B1 se trouve toujours entre celle des composites argiles +sable et argile +fibre de palmier dattier. Cela confirme les résultats thermiques et mécaniques de la brique B1, du moment que le composite de la brique B1 se trouve entre les composites mentionnés. En effet, la vitesse de propagation du son exprime le taux de compacité et le taux des vide dans les composites.

#### IV. 5. L'influence de température sur les prototypes réalisés

Dans le but de valoriser nos briques dans la construction nous avons produit quelques prototypes réalisés par les briques qui ont présenté de bonnes propriétés thermiques. Les prototypes sont mis dans les conditions réelles à l'air libre durant le

moi d’Août. Les plancher sont choisis parmi les plancher les plus utilisés en constructions. Pour éviter le problème de retrait nous avons utilisé des briques cuites de la façon suivante : Nous avons rempli leurs trous par la composite meilleur soit pour argile plus sable ou soit par argile plus fibre. Au fait, nous avons fabriqué un adobe à base des les composition meilleures mais il été taux fissurés par le retrait.

**IV.5.1. Variation de la température durant la journée du 09.08.2011 des prototypes ( P 1 à P 4)**

D après les recommandations de APRUE l’exigence confort hygrothermique d’été pour une humidité varie entre 40% et 60% sont: T confort Min =24°C T confort Max = 30°C.

A l’aide d’un thermomètre numérique et hygromètre nous avons mesure les données climatiques données au tableau IV-11

**Tableau IV-11 : Variation de la température durant la journée du 09.08.2011 du prototype (P1 à P 4)**

Heures	T ext °C	T int °C P1	T int°C P2	T int °C P3	T int°C P4	T conf °C Min	Tconf °C Max	HR %
06h	30.5	30.8	29.5	29.1	29.3	24	30	39
07h	30.7	31.5	29.6	29.7	29.9	24	30	37
08h	31.4	31.7	29.9	28.1	30.7	24	30	37
12h	41.5	33.4	30.8	28.7	32.4	24	30	35
13h	43.6	36.7	32.1	29.4	33.5	24	30	34
14h	45.2	38.3	33.9	30.2	35.1	24	30	31
17h	46.5	44.5	37.4	33.7	38.6	24	30	29
18h	43.1	43.9	38	34.7	38.6	24	30	29
19h	40	44	38	34.7	38.6	24	30	30

T confort Maximale T confort Minimale températures données par APRUE

T ext : température extérieure ; T int : température intérieur et HR% : humidité

**IV.5.2. Variation de la température durant la journée du 18-08-2011 du prototype (P 2-1)**

Les résultats de variation de température sont donnés sur le tableau IV-12

**Tableau IV-12: Variation de la température durant la journée du 09\_08\_2011 du prototype (P 2-1)**

Heures	T ext °C	T int°C P 2-1	T conf °C Min	Tconf °C Max	HR %
06h	29.3	28.7	24	30	39
07h	30.5	28.4	24	30	37
08h	31.1	29	24	30	37
12h	41.5	29.3	24	30	35
13h	42.8	29.7	24	30	34
14h	44,9	29,8	24	30	31
17h	43.5	30.6	24	30	29
18h	43.1	34	24	30	29
19h	40	34	24	30	30

**IV.5.3. Variation de la température durant la journée du 21\_08\_2011 ( P 2-2)**

Les résultats de variation de température sont donnés sur le tableau IV-13

**Tableau IV-13: Variation de la température durant la journée du 09\_08\_2011 (P 2-2)**

Heures	T ext °C	T int°C P 2-1	T conf °C Min	Tconf °C Max	HR %
06h	28.8	28.7	24	30	39
07h	28.9	28.4	24	30	37
08h	29	28,8	24	30	37
12h	38.9	29.4	24	30	35
13h	41.2	29.7	24	30	34
14h	42	31	24	30	31
17h	42.6	35	24	30	29
18h	43.7	35,5	24	30	29
19h	40,3	35,5	24	30	30

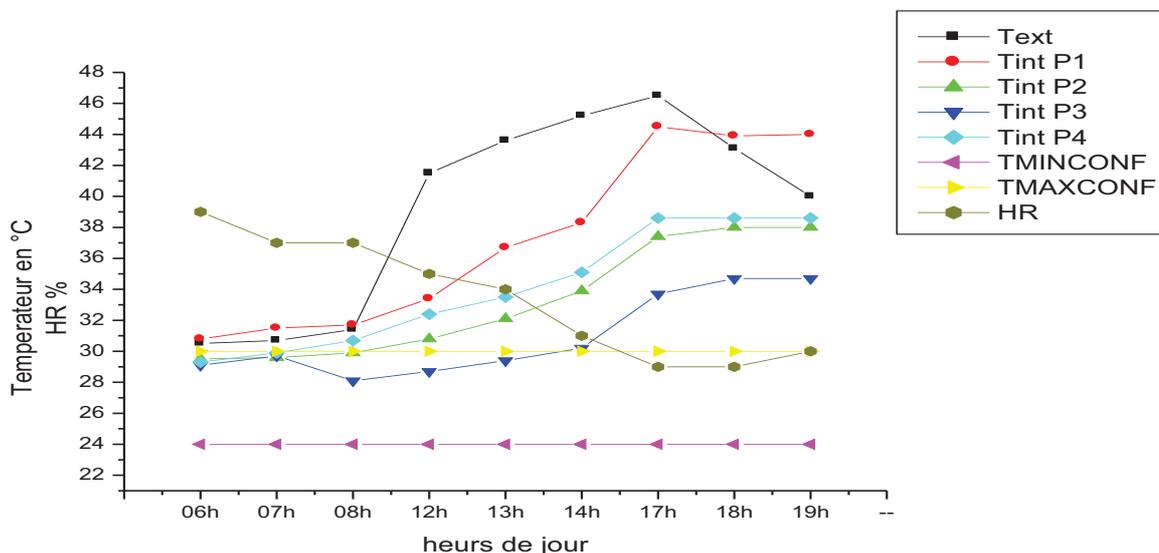
**IV.5.4. Variation de la température durant la journée du 21\_08\_2011 (P4-1)**

Les résultats de variation de température sont donnés sur le tableau IV-14

**Tableau IV-14: Variation de la température durant la journée du 21-08-2011 (P4-1)**

Heurs	T ext °C	T int°C P 4-1	T conf °C Min	Tconf °C Max	HR %
06h	28.8	27.3	24	30	39
07h	28.9	28.0	24	30	37
08h	29	28,8	24	30	37
12h	38.9	28.9	24	30	35
13h	41.2	30.7	24	30	34
14h	42	31,7	24	30	31
17h	42.6	34,2	24	30	29
18h	43.7	35,5	24	30	29
19h	40,3	35,5	24	30	30

La figure IV-23 résume la variation de température extérieure et intérieure pour les prototypes P1, P2, P3, P4 utilisées.



**Figure IV -23 :L'influence de température sur les prototypes réalise de P 1 à P 4**

Nous remarquons les points suivants :

**Pour P 1**

- La température intérieure augmente de 30,8°C à 44,5°C suite à l'augmentation de température extérieure de 30.5°C à 46.5°C. Une légère diminution est constatée à 18 h mais nous avons enregistré une augmentation dans la température interne malgré la diminution de la température extérieure. Cela est dû à l'effet de stockage de la chaleur par la dalle en béton qui influe sur cette augmentation. En effet le béton emmagasine la chaleur et la libère progressivement. Donc il y a eu une amplification de la température à l'intérieure du prototype (effet de four)
- Humidité démunie avec l'augmentation de température.

**Pour P 2 :**

- La température intérieure varie de 29.5°C à 38°C suite à l'augmentation de température extérieure de 30.5°C à 46.5°C. Mais après 17h elle se stabilise autour de 38° C malgré que la température extérieure est dépassée 40°C
- Humidité démunie avec l'augmentation de température.

**Pour P3 :**

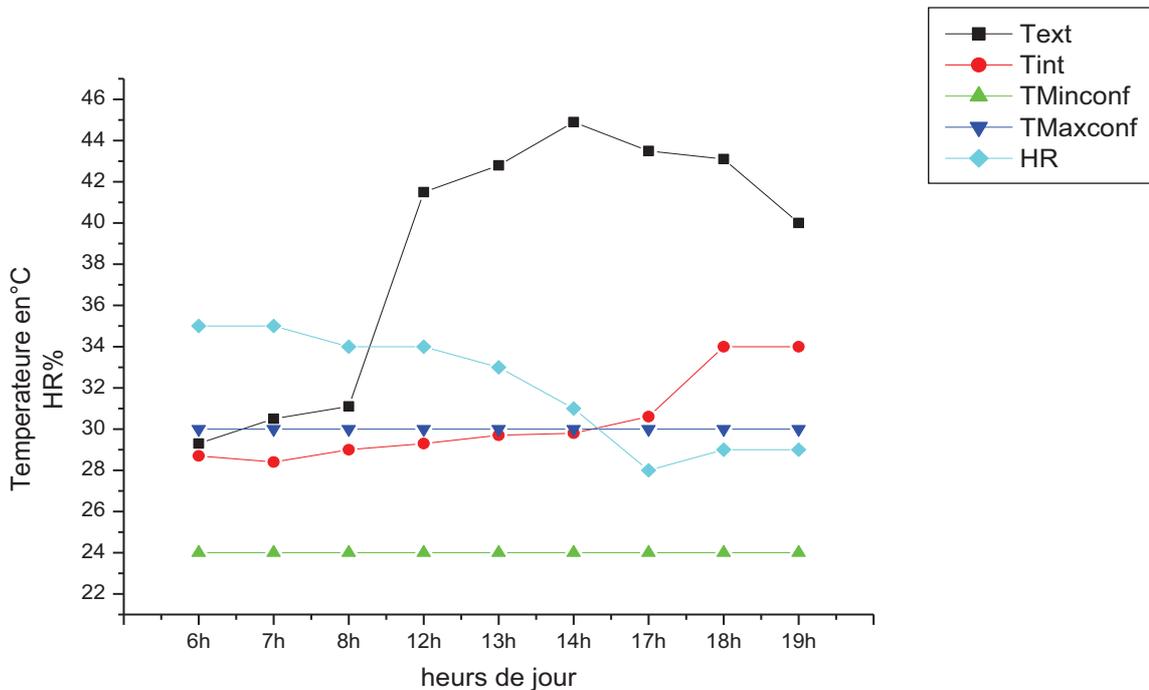
- La température intérieure varie de 29.1°C à 33.7°C suite à l'augmentation de température extérieure de 30.5°C a 46.5°C. Mais après 17h elle se stabilise autour de 34° C malgré que la température extérieure au delà de ce temps dépasse 40°C. Néanmoins, la température interne reste dans plage du confort thermique. Donc nous pouvons dire que il ya un déphasage très important de température entre l'extérieur et l'intérieur. Ce prototype est bénéfique de point de vu thermique.
- Humidité démunie avec l'augmentation de température.

**Pour P 04**

- La température intérieur augmente de 29.3°C a 38 ,6°C vue à l'augmentation de température extérieur de 30.5°C a 46.5°C. Mais après 17h elle se stabilise autour de 38° C malgré que la température extérieur est dépasse 40°C
- Humidité démunie avec l'augmentation de température.

**Prototype P2-1 :**

La figure IV-24 résume la variation de température extérieure et intérieure



**Figure IV -24 L'influence de température sur le prototype P2-1**

**Prototype P2-2 :**

La figure IV-25 résume le graphe de la variation de température extérieure et intérieure

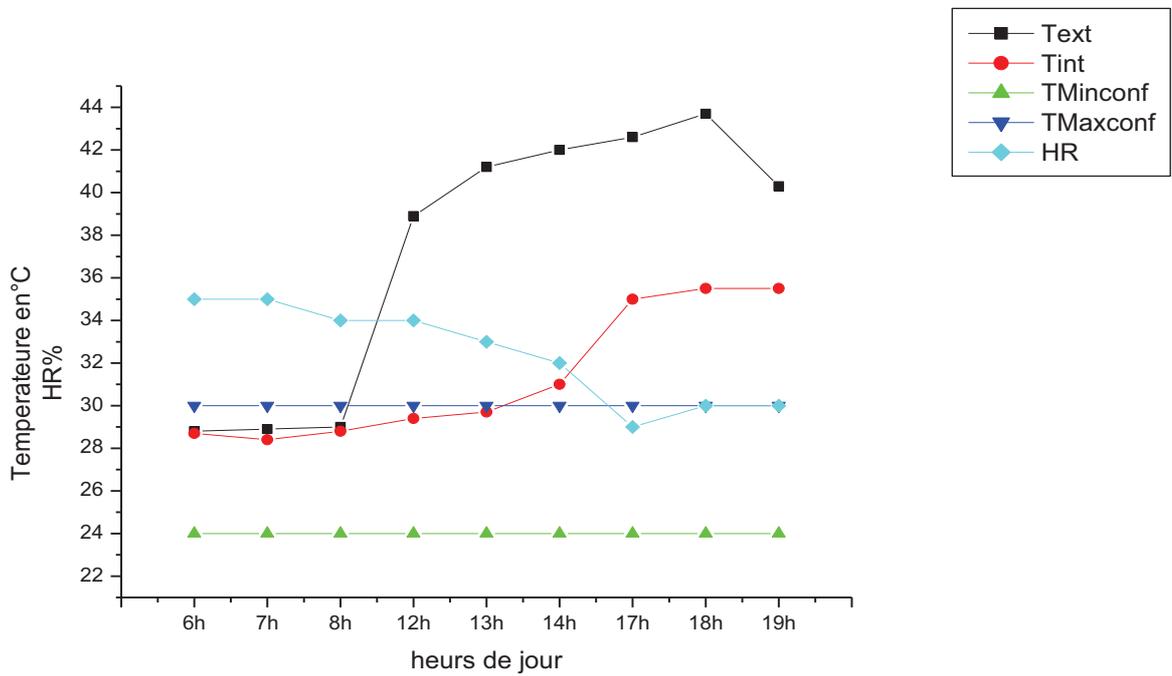


Figure IV -25 :L'influence de température sur le prototype P2-2

**Prototype P4-1 :**

La figure IV-26 résume la variation de temps extérieure et intérieure

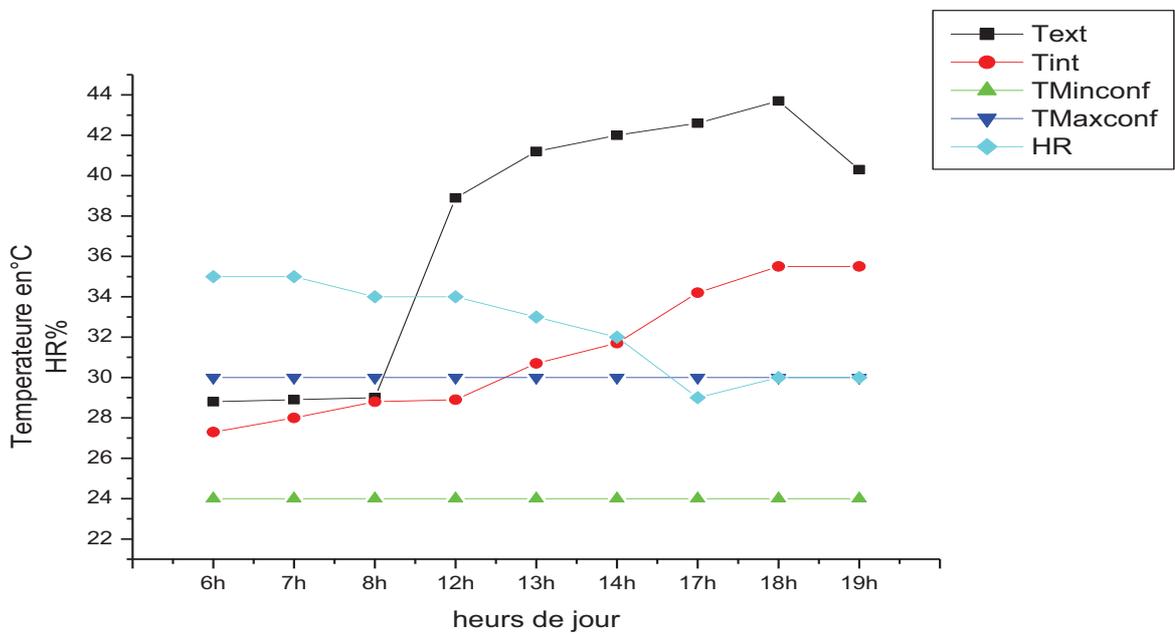


Figure IV -26 :L'influence de température sur le prototype P4-1

**Pour P2-1 :**

- La température intérieur augmente de 28.7°C à 34°C suite à l'augmentation de température extérieur de 29.3°C a 44,9°C .Mais après 17h elle se stabilise autour de 34° C malgré que la température extérieur dépasse 40°C
- Humidité démunie avec l'augmentation de température.

**Pour P2-2 :**

- La température intérieur et augmente de 28.7°C a 35,5°C suite à l'augmentation de température extérieur de 28.8°C a 43.7°C .Mais après 17h elle se stabilise autour de 35,5 ° C malgré que la température extérieur dépasse 40°C
- Humidité démunie avec l'augmentation de température.

**Pour P4-1 :**

- La température intérieure augmente de 27.3°C a 35,5°C vue à l'augmentation de température extérieur de 28.8°C a 43.7°C .Mais après 17h elle se stabilise autour de 35,5 ° C malgré que la température extérieur dépasse 40°C
- Humidité démunie avec l'augmentation de température.

❖ Donc nous pouvons dire que certain prototypes on pu réduire la température interne par des écarts acceptable qui peut atteindre 10°C. il y a lieu un déphasage important de température entre l'extérieur et l'intérieur où la chaleur, qui se transmet par rayonnement a subit un amortissement considérable.

Les prototypes qui entrent dans la plage de confort sont :

P 03 jusqu'à 14 h ; P2-1 jusqu'à 14 h ; P2-2 et P4-1 jusqu'à 13 h

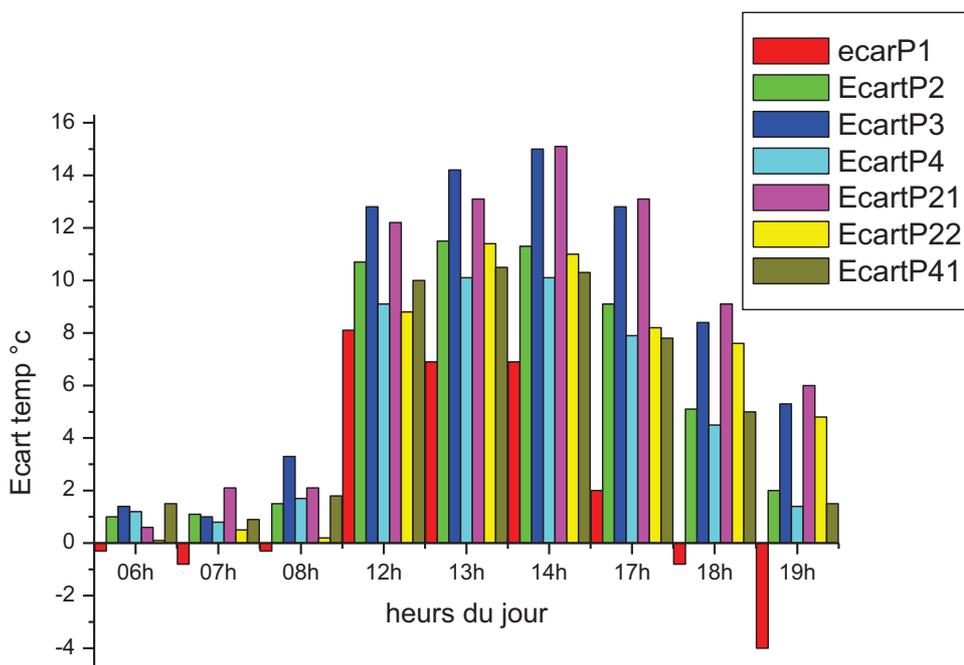
Ce qui mit en évidence l'efficacité des hourdis en polystyrène et hourdis en terre cuite aussi l'efficacité des briques surtout celles renforcées par des fibres de palmier.

**IV.5.5 Ecart de la température des prototypes :**

Pour mieux voir l'influence des prototypes sur la diminution de la température intérieure nous allons présente sur le tableau IV-15 et la figure IV-27 les écarts de température entre l'extérieur et l'intérieur.

**Tableau IV-15: Ecart de la température des prototypes par rapport à T extérieure**

Heurs	Ecart du P1	Ecart du P2	Ecart du P3	Ecart du P4	Ecart du P2-1	Ecart du P2-2	Ecart du P4-1
06h	-0,3	1	1,4	1,2	0,6	0,1	1,5
07h	-0,8	1,1	1	0,8	2,1	0,5	0,9
08h	-0,3	1,5	3,3	1,7	2,1	0,2	1,8
12h	8,1	10,7	12,8	9,1	12,2	8,8	10
13h	6,9	11,5	14,2	10,1	13,1	11,4	10,5
14h	6,9	11,3	15	10,1	15,1	11	10,3
17h	2	9,1	12,8	7,9	13,1	8,2	7,8
18h	-0,8	5,1	8,4	4,5	9,1	7,6	5
19h	-4	2	5,3	1,4	6	4,8	1,5



**Figure IV -27 : Ecart de la température des prototypes**

**Pour P 1**

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

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

**Pour P 2**

De 06h à 13 h l'écart de température t augmente de  $1^{\circ}\text{C}$  à  $11,5^{\circ}\text{C}$

De 14h à 19h l'écart de température t diminue de  $11,3^{\circ}\text{C}$  à  $2^{\circ}\text{C}$

**Pour P 3**

De 06h à 13 h l'écart de température augmente de 1,4°C à 14,2 °C

De 14h à 19h l'écart de température diminue de 15°C à 5,3°C

**Pour P 4**

De 06h à 13 h l'écart de température augmente de 1,2 °C à 10,1°C

De 14h à 19h l'écart de température diminue de 10,1°C à 1,4°C

**Pour P 2-1**

De 06h à 13 h l'écart de température augmente de 0,6 °C à 13,1°C

De 14h à 19h l'écart de température diminue de 15,1°C à 6°C

**Pour P 2-2**

De 06h à 13 h l'écart de température augmente de 0,1°C à 11,4°C

De 14h à 19h l'écart de température diminue de 11°C à 4,8°C

**Pour P 4-1**

De 06h à 13 h l'écart de température augmente de 1,5°C à 10,5°C

De 14h à 19h l'écart de température diminue de 10,3°C à 1,5°C

❖ Donc nous pouvons dire que il ya un écart important de température entre l'extérieure et l'intérieure à 14h Sur tout pour les prototypes P-3 et P 2-1 jusqu' à 15°C, 15,1°C qui influe favorablement sur la réduction du temps de climatisation et la durée du conditionnement intérieur. Et par la suite sur la réduction des coûts énergétiques

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

P 3 ; P 2-1 ; P 2; P 2-2 ; P 4 ; P 4-1 et P 1

**IV.6 Conclusion :**

Vue les résultats obtenus nous pouvons donner la conclusion suivante:

➤ Il y a une variation dans le sens inverse entre la conductivité, la chaleur spécifique et la masse volumique et le pourcentage de sable ou bien le pourcentage des fibres.

- Que l'isolation thermique des briques confectionne ou le pourcentage en sable de dune est 40% meilleur malgré la composant idéal est de 30% d'après la recherche bibliographique
- Vue aux résultats obtenus nous remarquons que l'isolation thermique des briques confectionne où le pourcentage en fibre et 3% meilleur donc de la présence des fibres améliorent l'isolation.
- Les résultats expérimentaux indiquent que les briques ont présenté une meilleure isolation thermique et qu'elles présentent des résistances à la traction et à la compression moyennes qui varient entre 0,4 et 0,6 MPa et entre 1,00 et 3,0 MPa respectivement , ces résistances sont acceptables pour les briques en argile et en fibre

Si nous comparons nos résultats avec ceux de la bibliographie nous remarquons que nos briques ont des propriétés thermo –mécanique acceptables.

Des gains en réduction de la température considérable sont obtenus par les prototypes P 03 jusqu'à 14 h ; P2-1 jusqu'à 14 h ; P2-2 et P4-1 jusqu'à 13 h. Ce gain en écart de température va réduire le temps d'utilisation des climatiseurs ce qui réduit la consommation en énergie électrique.

De point de vue propriété thermique et confort thermique les prototypes P2-1 et P03 ont donné le meilleur confort à 14h un gain de température de plus de 15°C

## CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATION

Globalement, nous dirons que le résultat de cette étude a mis en évidence les aspects qui ont impact sur le besoin de refroidissement dans le Sud algérien.

D'un point de vue pratique, les résultats présentés dans cette étude montrent que le choix de matériaux de restauration du KSOR a une incidence notable sur la consommation d'énergie.

Cependant, un mauvais choix peut coûter très cher au long terme vis-à-vis des dépenses énergétiques pour assurer le confort thermique à l'intérieur des logements.

Donc les briques d'argile en terre utilisent pour construction l'enveloppe de bâtiment

Dans notre étude nous avons réalisé des briques crues non cuites en vue d'améliorer les propriétés thermo-mécaniques.

Cette partie de notre travail a été consacrée à la présentation et à l'exploitation des résultats obtenus. Après l'expérimentation nous pouvons tirer les conclusions suivantes, la variation de ces paramètres est due à la nature des pourcentages de dosage d'argile dans la composition. En fonction de l'augmentation du pourcentage de sable et en fonction de l'augmentation du pourcentage de fibre de palmier il y a eu :

- Une diminution de la conductivité thermique et ainsi que la chaleur spécifique ;
- Une diminution de la masse et de la masse volumique ;
- Une augmentation de la résistance thermique ;
- Une diminution de la capacité thermique ainsi que l'effusivité thermique ;
- Une diminution de la diffusivité thermique ;
- Une diminution de la vitesse de transmission d'onde sonore ;

Donc l'isolation thermique des briques confectionnées où le pourcentage en sable est de 40% est meilleur malgré le composant idéal est de 30% d'après la recherche bibliographique. Vu aux résultats obtenus nous remarquons que l'isolation thermique des briques confectionnées où le pourcentage en fibre est de 3% est meilleur donc la présence des fibres améliore l'isolation.

Les résultats expérimentaux indiquent que les briques ont présenté une meilleure isolation thermique et qu'elles présentent des résistances à la flexion et à la

compression moyennes qui varient entre 0,4 et 0,6 MPa et entre 1,00 et 3,0 MPa respectivement , ces résistances sont acceptables pour les briques en argile et en fibre

Avec la brique B1 nous avons obtenu les meilleurs résultats thermiques .

Sur le côté conductivité thermique et résistance thermique nous avons constaté que tous les compositions utilisés ont présenté de bonnes caractéristiques (conductivité et résistance thermique ...).et sur le côté mécanique nos briques sont à la limite acceptables.

L'étude entamée sur les prototypes a montré l'efficacité de l'incorporation des fibres de palmier et du sable de dune dans les briques. Les meilleurs résultats thermiques sont obtenus avec le prototype (P2-1 ; P3) qui présente le plus grand écart de température à 14<sup>H</sup>

Donc, nous dirons que les résultats de cette étude ont mis en évidence les aspects qui ont un impact sur le besoin de climatisation dans le sud algérien.

D'un point de vue pratique, les résultats présentés dans cette étude montrent que le choix de matériaux de restauration du KSOR a une incidence notable sur la consommation d'énergie. Le choix des matériaux de construction, joue un rôle important dans le confort des locaux. L'inertie thermique d'un matériau est une fonction directe de sa caractéristique énergétique. de point de vue confort les prototypes (P2-1 ; P3 ). Ont donné les meilleurs résultats.

## Recommandations

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

- ❖ Confectionner de brique à base de l'argile et d'autre les matériaux isolant local tel que les fibres;
- ❖ Etude des caractéristiques de briques utilisées dans la construction d'habitat avec les matériaux isolant et autres matériaux locaux;
- ❖ Changer le processus de fabrication des produits rouges en vue d'une obtention d'une brique ayant une meilleure propriété thermique.
- ❖ Pour assurer une isolation thermique efficace il faut utiliser des techniques et des systèmes d'isolation thermique avec alliage des matériaux isolant et les matériaux de construction à la fabrication dans les murs et les planchers ;
- ❖ La conception prend en considération les techniques bioclimatiques et les systèmes d'isolation thermique pour obtenir un équilibre naturel ;
- ❖ Stabilisation des briques à base d'argile ou d'autre matériau en présence des liants ou correction de texture et l'ajout de fibre comme les fibres de palmier dattier ou de la paille...etc.
- ❖ Vue l'inertie thermique du matériau utilisé nous recommandons son utilisation comme une cloison interne pour le but suivant :
  - En hiver, on peut assurer une bonne constance de la température malgré les variations du chauffage et on peut accumuler les apports énergétiques solaires momentanés ;
  - En été, il est possible de bénéficier de cette inertie pour atténuer les pics de température des périodes de canicule. Et réduire la consommation énergétique en termes de climatisation.

## REFERENCES ET BIBLIOGRAPHIQUE

---

- [1] **ALVISET I.**, " Matériaux de Terre Cuite " ; Techniques de l'Ingénieur ; 1994.
- [2] **AMMAR N .,**"Amélioration de la durabilité de la brique de terre séchée "mémoire de magister " Université M'SILA ; 2009
- [3] **COUASNET Y.**, "Propriétés et caractéristiques des matériaux de construction "Edition 2007
- [4] **TECHNIQUE DE L'INGENIEUR .,** Doc. C3370, 1989-1991
- [5] **DELEBECQUE R.**, "Éléments de Construction Bâtiment", Edition Delagrave; 1990.
- [6] **VENUAT M.**, "Produits Silico-calcaire "Techniques de l'Ingénieur ; 1994.
- [7] **RENAUD H.**, "Murs Poutres Planchers", Edition Eyrolles ; 2002.
- [8] **KOMAR A.**, " Matériaux et Elément de Construction", Edition MIR Mosco ; 1978.
- [9] **OLIVER E .,**"Technologie des Matériaux de Construction", Edition ISBN ; 1976
- [10] **LEMOUGNA NINLA P.**, "Contribution a la diminution des casses dans la production des briques de terre cuite à la PROMOBAT", mémoire D.E.S.S Licencié en Chimie l'École Nationale Supérieure Polytechnique, 'Université de Yaoundé ; 2002-2003
- [11] **ARABI N.**, "Etude des Brique Silico-calcaire à Base de Laitier Granule", Mémoire de Magister Université De Annaba ; 1988
- [12] **KHELAFI H.**, "Contribution à l'étude expérimentale de la brique silico-calcaire", semenaire Université BISKRA ; 2000.
- [13] **CNERIB.**, " Béton de Terre Stabilise", Edition CNERIB ; 1988.
- [14] **BENJAMIN B.**, "Aide –mémoire équipement du bâtiment ", Dunod BORDAS 1977.
- [15] **GUILAUD H.**, "Centre International pour la Construction en Terre", Ecole d'Architecte de Grenoble, Encyclopédie de Bâtiment, Tome 2 Edition Wake, CRATerre ; 1997.
- [16] [http//. Wikipédia.org](http://. Wikipédia.org) le 20/4/2009
- [17] **HOUBEN H .,** et **GUILLAUD H.**, " Traité de Construction en Terre",

## REFERENCES ET BIBLIOGRAPHIQUE

---

Edition Parenthèses, Marseille, **CRATerre** ; 1989.

[18] **DOAT P.**, "Construire en Terre", Edition Alternative Paris **CRATerre** : 1983.

[19] **VOLHARD F.**, "La Construction en Terre-Paille, Ancien Matériau Nouvelle Technique", Edition, Grenoble, **CRATerre** ; 1991

[20] **GIOVANNI P.**, "La brique fabrication et tradition constructives " Edition **EYROLLES** ; 2005

[21] **COIGNET L., COIGNET Jean .**, "La maison ancienne construction, diagnostique, intervention" ; 2006

[22] **HOUBEN H., et VERNEY P., OLVIRER E., MESBAH M., et MICHEL PH.**, " Construction en Terre Crue : les matériels français", Edition Grenoble **CRATerre** ; 1987.

[23] **Collection Mémento Technique**, "Tuiles et Briques de Terre Cuite", Edition Moniteur paris ; 1998.

[24] **YVES J.**, " Théorie et pratique de la métrologie thermique ", cours Ecole des Mines Nancy, France, 2008

[25] **BOUVENOT.A** " Transferts de chaleur " ; Edition Masson ; 1980

[26] **GEORGE. W** " Thermique du bâtiment "cours Département du génie Civil ; Université de Cergy-pontoise, France ; année universitaire ; 2007-2008

[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**

**SENEGAL** ; 2001

## REFERENCES ET BIBLIOGRAPHIQUE

---

- [30] **DJOUHRI M.**, " Confection d'une brique à base de sable de dunes " mémoire de magister Université Ouargla ; 2007
- [31] **FRENOT M., et SAWAYA N .,** " L'isolation thermique le répertoire des solutions Pour l'habitat existant.", Edition EYROLLES ; 1999
- [32] **MICHEL M.**, " ISOLATION " Edition Alternatives ; 2000
- [33] **CLAUD .ALAIN R.**, " Energétique du bâtiment II " ; 1984
- [34] **RENION D'INGENIEUR.**, "Matériaux de construction " III ieme Edition Eyrolles ; 1979
- [35] **GIOT M.**, " Phénomènes de transfert fluide chaleur masse "Edition mosco ; 1987
- [36] **SCHMID J.**, " Transmission de la chaleur "Edition OPU ; 1987
- [37] **DANIEL H.**, "Thermique appliqué aux bâtiments ; 1984
- [38] **BENHALILOU K.**, "Impact de la végétation grimpante sur le Confort hygrothermique estival du Bâtiment Cas du climat semi aride" mémoire magister université Constantine ; 2008
- [39] **MOKHTARI A, BRAHIMI, K et BENZIADA R.**, " Architecture et confort thermique dans les zones arides. Application au cas de la ville de Bechar " Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°2 (2008)pp 307 – 315, Algérie ; 2008
- [40] **EIZAFARANYA M.**, "Climatic design of buildings»  
<http://www.egyptarch.com/abbasphd1,3/main.htm> , 12/01/2009
- [41] **ENAG** "Recommandation architecturale" , EDITION Ouvrage, Alger ; 1993
- [42] **L'office national de météorologie.**, (Les données climatique de Ouargla de l'année de 2004 jusqu'à l'année ; 2008).
- [43] **LIEBARD A.**, "Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique, Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable" EDITION Observer , France ; 2005
- [44] **MAZOUZ S.**, "Elément de conception architecturale", EDITION OPU, Alger ; 2007

## REFERENCES ET BIBLIOGRAPHIQUE

---

- [45] **FOURA S.**, " Simulation des paramètres du confort thermique d'hiver en Algérie " mémoire magister, université Constantine ; 2008
- [46] **SOTEHI O.**, " Étude et analyse de l'influence de l'ecart de température (absorbeur – vitre) sur l'efficacité d'un capteur solaire " mémoire magister, université Constantine ; 2007
- [47] **CONFORT THERMIQUE.**, " Mémento technique du bâtiment pour le chargé d'opération de constructions publiques " Certu – Juillet ; 2002
- [48] **MEUKAM P.**, "valorisation des briques de terre stabilisées en vue de l'isolation thermique de bâtiment" Thèse de doctorat III ieme cycle université Yaoundé ; 2004
- [49] **FILALI M.**, "Conductivité thermique apparente des milieux granulaires soumis à des contraintes mécaniques : modélisation et mesures", mémoire Doctorat, École doctorale : TYFEP TOULOUSE Février ; 2006
- [50] **RIGACCI. A** " La mesure de conductivité thermique " ; cours Ecole des Mines de Paris Centre Energétique et Procédés, [http://www.materiatech-carma.net/html/pdf/clubmat32\\_CEP-ENSMP.pdf](http://www.materiatech-carma.net/html/pdf/clubmat32_CEP-ENSMP.pdf), 14/08/2009
- [51] **MICHEL J.**, " Guide pratique de l'isolation thermique des bâtiments ; Edition Eyrolles ; 1977
- [52] **CT Mètre.**, "Guide d'Utilisation " ; 2010
- [53] **Recueil de Norme Française.**, "Bâtiment Maçonneries " Edition AFNOR ; 1984
- [54] **GORISSE F** "Essais et contrôle des béton" , Edition Eyrolles, vol.2, Paris ; 1978
- [55] **ARNOULD M et VIRLOGGUX M.**, " Granulat et béton légers" ; 1986
- [56] **JACQUES B et ROYMMOND S.**, "Le béton hydraulique " ; 1982
- [57] **DEUX G, FESTA J.**, " Nouveau Guide du Béton et de ses Constituants " Edition Eyrolles ; 1998.
- [58] **DURIEZ M et JARRAMBIDE.**, " Nouveau Traite De Matériaux De Construction"

## REFERENCES ET BIBLIOGRAPHIQUE

---

Edition DUNOD ; 1962.

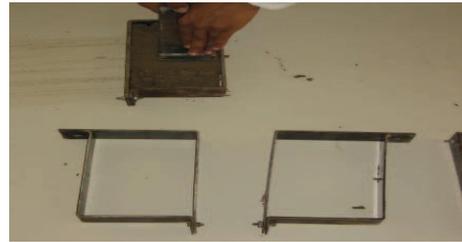
**[59] DUPAIN R. ; LANCHON R ; SAINT- ARROMMAN J. C.,** "Granulats, Sols, Ciments et Bétons" Edition Casteilla ; 1995.

**[60] KRIKRE A.,** "Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud sec",Thèse de Doctorat d'Etat ,ENP ;2005

**[61] LAYAL G.,** " Formulaire de la construction tome 1" Dunod paris ; 1959

**[62] BABAIA B.,** Direction de l'énergie et des mines wilaya d'Ouargla, Données sur l'énergie électrique cas de la wilaya d'Ouargla, Journée sur Isolation thermique département hydraulique et génie civil Université Kasdi Merbah Ouargla le ; 2011

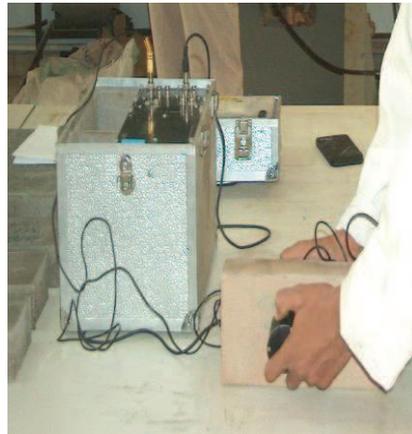
Confection des éprouvettes annexe Photo A1



Photos (A2)



Photos (A3)



Photos (A4)



Photos (A5)



Confection des prototypes : Annexe photos (A6) annex



## SOMMAIRE

Résumé en arabe	
Abstract	
Résumé	
Liste des photos	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Notations utilisées	
<b>Introduction</b>	<b>1</b>

## CHAPITRE I : Généralités sur les techniques de production des briques et leurs propriétés Thermo-mecaniques

<b>I.1 Introduction</b>	<b>4</b>
<b>I.2 Brique de terre cuite</b>	<b>4</b>
<b>I.2.1 Mode de fabrication</b>	<b>4</b>
<b>I.2.1.1 Méthode traditionnelle</b>	<b>4</b>
<b>I.2.1.2 Méthode moderne</b>	<b>5</b>
<b>I.2.2 les propriétés thermo- physico -mécaniques de brique de terre cuite</b>	<b>9</b>
<b>I. 3 les produits</b>	<b>9</b>
<b>I-3-1 Brique pleine</b>	<b>9</b>
<b>I-3-2 Brique perforée</b>	<b>10</b>
<b>I-3-3 Bloc perforé</b>	<b>10</b>
<b>I.3.4 Brique creuse de terre cuite (Norme NF P 13-301)</b>	<b>10</b>
<b>I.3.5 Brique silico-calcaire</b>	<b>11</b>
<b>I.3.5.1 Silico- calcaire denses</b>	<b>11</b>
<b>I.3. 5.2 Silico-calcaire léger</b>	<b>11</b>
<b>I.5.3 Les phénomènes physiques de processus d'autoclave des briques silico-calcaires</b>	<b>12</b>
<b>I.3.5.4 la Fabrication</b>	<b>12</b>
<b>A. Silico-calcaire dense</b>	<b>12</b>
<b>B. Silico-calcaire léger</b>	<b>13</b>
<b>I.3.5.5 Propriétés de brique silico-calcaires</b>	<b>13</b>
<b>I.3.6 L'adobe</b>	<b>14</b>
<b>I.3.6.1 définition</b>	<b>14</b>
<b>I.3.6.2 La fabrication</b>	<b>15</b>
<b>I.3.6.2.1 Modes de production de l'adobe</b>	<b>15</b>
<b>A. Le mode de production manuel</b>	<b>15</b>
<b>• Moules simples</b>	<b>15</b>
<b>• Moules multiples</b>	<b>16</b>
<b>B. Le mode de production mécanisé</b>	<b>16</b>
<b>I.3.6.3 Les produits</b>	<b>17</b>
<b>I.3.7. Le pisé</b>	<b>17</b>

<b>I.3.7.1 Définition</b>	17
<b>I.3.7.2. La fabrication</b>	18
<b>I.3.7.3 Les produits (différents types de pisé )</b>	18
<b>I.3.8 Les blocs de terre comprimée</b>	19
<b>I.3.8.1 Définition</b>	19
<b>I.3.8.2 Production des blocs de terre comprimée</b>	20
<b>I.3.8.3 Modes de production des blocs de terre comprimée</b>	20
<b>I.3.8.4. Les produits</b>	20
<b>I.4. Les avantages et les inconvénients d'utilisation des briques en terre</b>	21
<b>I.4.1 Les avantages</b>	21
<b>I.4.2. Les Inconvénients d'utilisation des briques en terre</b>	21
<b>I.5 les Caractéristiques des briques de terre crue (adobe, pisé, Brique de terre comprimée)</b>	22
<b>I. 6 Conclusions</b>	23
<b>CHAPITRE II : propriétés climatiques de la zone d'étude et Propriétés thermo-mécaniques</b>	
<b>I.1 Introduction</b>	24
<b>II.2. Climat et Confort</b>	24
<b>II.2 .1. Introduction</b>	24
<b>II.2.2. Approche climatique</b>	25
<b>II.2.2.1. Le climat</b>	25
<b>II.2.2.1.1. Définition</b>	25
<b>II.2.2.1.2. Eléments utiles du climat</b>	25
<b>II.2.3. Le Confort</b>	26
<b>II .2.3.1 Le Confort Thermique</b>	26
<b>II.2.3.2. La sensation thermique</b>	27
<b>II.2.3.4. Le confort dans l'habitat</b>	28
<b>II.2.3.5. Facteurs qui influencent le confort thermique</b>	28
<b>II. 2.3.6 Travail mécanique</b>	29
<b>II.2.3.7 Habillement</b>	29
<b>II.3.3.8 Température d'air</b>	29
<b>II.3.3.9 Température radiante moyenne</b>	29
<b>II.2.3.10 Vitesse de L'air</b>	30
<b>II.2.3.11 Humidité relative de L'air</b>	30
<b>II.3. Analyse Climatique de la ville d'Ouargla</b>	31
<b>II.3.1. Introduction</b>	31
<b>II.3.2. Présentation de la météo de Ouargla les Années (2004 à 2008)</b>	33
<b>Température</b>	33
<b>Humidité moyenne</b>	34
<b>Les vents</b>	34
<b>L'évaporation</b>	35
<b>L'insolation</b>	36
<b>Précipitation</b>	36
<b>II.3.3 Consommation énergétique de la ville d'Ouargla</b>	37

<b>II.3.4. Nombre de clients</b>	37
<b>II.3.5. Consommation du 3iem Trimestre /1er Trimestre</b>	38
<b>Quelques exemples de panne électrique</b>	38
<b>II.4 Propriétés thermiques</b>	39
<b>II.4.1 Le transfert de chaleur thermique</b>	39
<b>II.4.2 Modes de transfert de chaleur</b>	39
<b>II.4.2.1 La conduction</b>	39
<b>II.4.2.2 La convection</b>	40
<b>II.4.2.3 Le rayonnement</b>	40
<b>II.4.3 Définitions</b>	41
<b>II.4.3.1 Flux thermique</b>	41
<b>II.4.3.2 Densité de flux thermique</b>	41
<b>II.4.3.3 La résistance thermique (R)</b>	41
<b>II.4.3.4 La conductivité thermique</b>	42
<b>II.4.3.5 Capacité thermique massique (chaleur spécifique ; chaleur massique) (C)</b>	44
<b>II.4.3.6 Capacité thermique (C)</b>	44
<b>II.4.3.7 Effusivité thermique (E)</b>	44
<b>II.4.3.8 La diffusivité thermique (D)</b>	45
<b>II .5 Conclusion</b>	45

## **CHAPITRE III : Méthodes d'essai, caractéristiques des matériaux utilisés et confection des briques et prototypes**

<b>III.1. Introduction</b>	46
<b>III.2. Méthodes de mesures de la conductivité thermique</b>	46
<b>III.2.1 La méthode du fil chaud</b>	47
<b>Technique de fil chaud par CT-mètre</b>	48
<b>III.3. Propriétés mécaniques</b>	49
<b>III. 3.1. Essai ultrasonique</b>	49
<b>III. 3.2. Essai de traction par flexion</b>	50
<b>III. 3.3. Essai de compression</b>	51
<b>III. 3.4. La masse volumique de brique</b>	52
<b>III.4 Matériaux utilisés</b>	52
<b>III.4.1. Le sable de dunes</b>	52
<b>III.4.1.1 Les caractéristiques du sable de dunes</b>	53
<b>III.4.1.1.1 Masses volumiques</b>	53
<b>III.4.1.1.2 Analyse minéralogique du sable de dunes</b>	53
<b>III.4.1.1.3. Analyse chimique</b>	55
<b>III.4.1.1.4 Analyse granulométrique</b>	55
<b>III.4.1.1.5 Module de finesse</b>	56
<b>III.4.1.1. 6 Equivalent de sable</b>	56
<b>III.4.2 L'argile</b>	58
<b>II.4.2.1 Analyse granulométrique par sédimentation</b>	58
<b>III.4.2.2. Limite d'Atterberg</b>	60
<b>III.4.2.3 Classification des argiles selon les limites d'ATTERBERG</b>	61
<b>III. 4.2.4 Analyse chimique</b>	62

<b>III.4.3 Eau de gâchage</b>	63
<b>III.4.4. Les fibres</b>	63
<b>III. 4.4.1. Caractéristiques des fibres de palmier dattier</b>	63
<b>III. 4.4.2. Compositions chimiques des fibres de palmier dattier</b>	64
<b>III.5. Fabrication des briques</b>	68
<b>III.5.1 Introduction</b>	68
<b>III.5.2. Formulation de la composition des constituants pour la confection de la brique</b>	68
<b>III.5.3. Méthodes théorique de formulations</b>	68
<b>III.5.4 Formulation expérimentale d'argile pour confection de brique</b>	69
<b>III.5.4.1 L'influence de la quantité d'eau sur la résistance mécanique</b>	69
<b>III.5.4.2. Les différentes compositions utilisées</b>	69
<b>III.5.4.3 Les étapes de confection d'une éprouvette</b>	70
<b>III.5.4.4 Confection des prototypes</b>	72
<b>III.5.4.5 L'influence de température sur les prototypes réalisés</b>	74
<b>III.6 Conclusion</b>	74

## **CHAPITRE IV : Résultats et interprétation**

<b>IV .1. Introduction</b>	75
<b>IV.2. Résultats des mesures de propriété thermiques</b>	75
<b>IV.2.1. Les résultats thermiques de brique en argile plus sable de dune</b>	75
<b>IV .2.1.1. Variation de la conductivité thermique en fonction du pourcentage de sable</b>	76
<b>IV .2.1.2. Variation de la résistance thermique en fonction du pourcentage de sable</b>	76
<b>IV .2.1.3. Variation de la chaleur spécifique en fonction du pourcentage de sable</b>	77
<b>IV .2.1.4. Variation de la masse volumique en fonction du pourcentage de sable de dune</b>	78
<b>IV.2.1.5. Variation de la conductivité thermique en fonction du la masse volumique</b>	78
<b>IV.2.1.6. Variation de la Capacité thermique en fonction du pourcentage de sable</b>	79
<b>IV.2.1.7 Variation d'Effusivité en fonction du pourcentage de sable :</b>	80
<b>IV.2.1.8 Variation de La diffusivité en fonction du pourcentage de sable :</b>	80
<b>IV.2.2 les résultats thermiques en fonction du pourcentage de fibre</b>	81
<b>IV .2.2.1Variation de la conductivité thermique en fonction du pourcentage de fibre</b>	82
<b>IV .2.2.2 Variation de la résistance thermique en fonction du pourcentage de fibre</b>	83
<b>IV .2.2.3 Variation de la chaleur spécifique en fonction du pourcentage de fibre</b>	83
<b>IV .2.2.4 Variation la masse volumique en fonction du pourcentage de fibre</b>	84
<b>IV .2.2.5 Variation la conductivité thermique en fonction du la masse volumique</b>	85
<b>IV.2.2.6 Variation de La Capacité thermique en fonction du pourcentage de fibre</b>	86
<b>IV.2.2.7 Variation de l'Effusivité en fonction du pourcentage de fibre</b>	86
<b>IV.2.2.8 Variation de la Diffusivité en fonction du pourcentage de fibre</b>	87
<b>IV .2.3. Les résultats thermiques de la brique B1</b>	88
<b>IV. 3. Résultats de mesure des propriétés mécaniques</b>	89
<b>IV. 3.1 Variation de Résistances à la flexion et à la compression par rapport au</b>	89

<b>pourcentage de sable de dune :</b>	
<b>IV. 3.2 Variation de Résistances à la flexion et à la compression argile plus fibre :</b>	<b>91</b>
<b>IV. 3.3 Résistance à la flexion et à la compression de la brique B1</b>	<b>92</b>
<b>IV. 4. Résultats de mesure des vitesses de son</b>	<b>93</b>
<b>IV. 4.1. Variation de la vitesse de son en fonction du pourcentage de sable</b>	<b>93</b>
<b>IV .4.2 . Variation de la vitesse en fonction du pourcentage fibre de palmier dattier</b>	<b>93</b>
<b>IV.4.3. la vitesse de son pour la brique B1</b>	<b>94</b>
<b>IV. 5. L'influence de température sur les prototypes réalisés</b>	<b>94</b>
<b>IV.5.1. Variation de la température durant la journée du 09.08.2011 des prototypes ( P 1 à P 4)</b>	<b>95</b>
<b>IV.5.2. Variation de la température durant la journée du 18-08-2011 du prototype (P 2-1)</b>	<b>95</b>
<b>IV.5.3. Variation de la température durant la journée du 21_08_2011 ( P 2-2)</b>	<b>96</b>
<b>IV.5.4. Variation de la température durant la journée du 21_08_2011 (P4-1)</b>	<b>96</b>
<b>IV.5.5 Ecart de la température des prototypes :</b>	<b>100</b>
<b>IV.6 Conclusion</b>	<b>102</b>
<b>Conclusion générale et recommandations</b>	<b>104</b>
<b>Bibliographie</b>	
<b>Annexe</b>	