

**00République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche**  
**Scientifique**

**Université Ahmed Draia ADRAR**

**Faculté Des Sciences et de Technologie**  
**Département Des Sciences et Technologie**



Mémoire De Fin D'étude En Vue De L'obtention Du Diplôme :

**Master En Génie Civil**

**Option : Géotechnique et Matériaux des Structures**

**Présenté Par :**

**-Dnaguir Khawla**

**-Dada Ikram**

**THEME**

**Caractéristiques thermique et mécanique des  
matériaux locaux**

**Soutenu Le 01/06/2016 Devant Un Membre De Jury Composé De :**

<b>Pr.</b> khelafi	Univ- A.D Adrar <b>President</b>
<b>Mr.</b> Bassoud Abdelkader	Univ-A.D Adrar <b>Encadreur</b>
<b>Mr.</b> Badda abdelmalek	Univ-A.D Adrar <b>Examineur</b>
<b>Mr.</b> Ait Hammouda	Univ- A.D Adrar <b>Examineur</b>

Année Universitaire 2015-2016





إلى من علمني النجاح والصبر

إلى من افتقده في مواجهة الصعاب

. أبي

وإلى من تتسابق الكلمات لتخرج معبرة عن مكنون ذاتها

من علمتني وعانص الصعاب لأصل إلى ما أنا فيه

وعندما تكسوني الصموم أسبح في بحر حنانها ليذوق من الآمي... أمي

إلى أهلي وأخوتي

إلى أساتذتي

إلى زملائي وزميلاتي

إلى الشموع التي تحترق لتضيء الآخرين

إلى كل من علمني حرفاً

أهدي هذا البحث المتواضع راجياً من المولى

عز وجل أن يجد القبول والنجاح

Dnaguir Khawla.

إلى من يسعد قلبي بلقيها  
إلى روضة الحب التي تنبئ أركى الأزهار

أمي

إلى رمز الرجولة والتضحية

إلى من دفعني إلى العلم وبه ازداد افتخار  
أبي

إلى من هم أقرب إليّ من روجي  
إلى من شاركني حزن الأم وبهم استمد عزتي وإصراري  
اخوتي

إلى من أنسني في دراستي وشاركني همومي  
تذكراً وتقديراً

أصدقائي

إلى كل من علمني حرفاً

أساتذتي

أهدي عملي هذا

Dada Ikram.

*Remerciement :*

*Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre profonde  
gratitude et nos sincères  
Remerciements à MR khellafi Abdelhamid pour ces précieux conseils  
et*

*Tout le temps qu'il nous est consacré, et son aide inestimable.*

*On tient aussi à remercier vivement notre encadreur monsieur Bassoud  
Abdelkader d'avoir accepté de diriger ce travail. Sa rigueur  
scientifique, Son soutien, sa disponibilité et ses qualités humaines qui  
nous ont profondément touchées.*

*On remercie également MR . Houtiya pour son aide .  
Nous tenons à remercier sincèrement les membres du jury qui nous  
font le grand  
Honneur d'évaluer ce travail.*

*Mes remerciements vont enfin à toute personne qui a contribué de près  
ou de loin à  
L'élaboration de ce travail.*



# Liste des figures

Numération	Les figures	pagination
Fig. (I.1)	-Schéma des problèmes principaux et les axes principaux d'interventions.	11
Fig. (I.2)	-Schéma de plans architecturaux	14
Fig. (I.3)	- Schéma de la charpente	15
Fig. (I.4)	-Schéma de l'ossature de béton armé	21
Fig. (II.1)	-Zones arides et semi arides dans le monde	23
Fig. (II.2)	-Classification du climat en Algérie [12].	25
Fig. (II.3)	-échange thermique entre l'homme et son environnement	26
Fig. (II.4)	-Flux de chaleur	26
Fig. (II.5)	-Conduction thermique	27
Fig. (II.6)	-Convection de chaleur	
Fig. (II.7)	-Variation des besoins annuels de chauffage d'une habitation en fonction de l'orientation et de la proportion de surface vitrée. (Source: Liebard, De Herde, 1996)	29
Fig. (II.8)	-Orientations favorables des pièces (Source : A.D.E.M, 2000)	31
Fig. (III.1)	-Mur extérieure	34
Fig. (III.2)	-Mur cloison	35
Fig. (III.3)	-Photo des arcades à TAMANTIT	35
Fig. (III.4)	-Soubassement	36
Fig. (III.5)	-Plancher en palmier	36
Fig. (III.6)	-Mur sans poteaux	37
Fig. (III.7)	-Fenêtre de (40*40-84)cm ,et trou dans le murs	37
Fig. (III.8)	-Le tissu compacte à TAMANTIT	38
Fig. (III.9)	-Photo d' Agharafe	38
Fig. (III.10)	-Maison d'Adobe à TAMANTIT	40
Fig. (III.11)	-Utilisation de grés comme un soubassement	40
Fig. (III.12)	-L'utilisation d'Agharafe comme enduit	41
Fig. (III.14)	-Décentration d'argile avec la centrviguse	42
Fig. (III.15)	-La pausé d'échantillon	43
Fig. (III.16)	-L'homogénéité de la pate	44
Fig. (III.17)	-Moulage d'échantillon	44
Fig. (III.18)	-Moulage de grés avec la technique de frottement manuel	44
Fig. (III.19)	-L'échantillon d'Agharafe n'été pas adhérent	45
Fig. (III.20)	-L'échantillon fissuré	45
Fig. (III.21)	-L'échantillon fissuré	46
Fig. (III.22)	-Homogénéité de la pate	46
Fig. (III.23)	-Moulage de grés avec la technique de frottement manuel	47
Fig. (III.24)	-Compression d'échantillon de 75%sable	47
Fig. (III.25)	-Comparaison visuelle de l'échantillon de75%sable avec Agharafe	47
Fig. (III.26)	-Module pédagogique	48
Fig. (III.27)	-Banc pédagogique de mesure	48
Fig. (III.28)	-Un histogramme de l'influence de matériaux sur la conductivité thermique	53
Fig. (III.29)	-Un histogramme de l'influence de% de sable (sbkha) sur la conductivité thermique	54
Fig. (III.30)	-Un histogramme de l'influence de fibres végétales sur la	



	conductivité thermique	55
Fig. (III.31)	-Schéma de principe	55
Fig. (III.33)	-Ecrasement d'échantillon	56
Fig. (III.34)	-Schéma des différentes contraintes ou sollicitations	56
Fig. (III.35)	-Un histogramme de l'influence de matériaux sur la résistance mécanique	58
Fig.(III.36)	-Un histogramme de l'influence de pourcentage de sable (sbkha) sur la résistance mécanique	59
Fig. (III.37)	- Un histogramme de l'influence de fibre végétale sur la résistance mécanique	60
Fig. (IV.1)	-Ecran de contrôle de logiciel TRANSYS sous MS-DOS	62
Fig. (IV.2)	-Comportement thermique d'un bâtiment en matériaux de construction	64
Fig. (IV.3)	- Comportement thermique des matériaux locaux	65

## Nomenclature

Symbole	Nom	
T1	Température de plaque chaude	C°
T2	Température de plaque froid	C°
T3	Température	C°
T	Moyen de température	C°
dT	Différente de température	C°
Pv	Température de l'entrée réfrigérante	C°
Hfm	Sortie du débitmètre thermique	mv
Is	L'épaisseur	m
V	Le volume	m <sup>3</sup>
M	La masse	kg
$\lambda$	Conductivité	W/m.K
R	La résistance thermique	W/m <sup>2</sup> .K
D	La Densité	Kg/m <sup>3</sup>
F	La force de compression	KN
S	La surface	m <sup>2</sup>
$\sigma$	Le contrainte	KN/m <sup>2</sup>

## **Résumé**

Les matériaux de constructions constituent un maillon important dans le secteur du bâtiment. De leur disponibilité dépend la réalisation des objectifs de développement et du prix de revient des bâtiments construits

Les nouveaux modèles architecturaux produits durant ces dernières décennies en Algérie, qu'on appelle « constructions moderne » sont négligeant des aspects climatiques, gros consommateurs d'énergie et très souvent inadaptées aux exigences des occupants, en termes de confort. Pour palier à ce problème d'inconfort, on a souvent recours à des dépenses supplémentaires de chauffage et de climatisation.

Les tentations des concepteurs de créer des ambiances intérieures confortables dans l'optique de l'économie de l'énergie est matérialisée par la recherche de matériaux avec une bonne résistance thermique ; les matériaux locaux peuvent répondre à cette préoccupation.

A cet effet la présente étude pose le problème de la conception non étudiée de l'enveloppe (l'inertie) des bâtiments du point de vue de choix inadapté des matériaux de construction utilisés, sous nos climats semi-aride qui se caractérise par la sécheresse et la température très élevé.

Ce ci conduit en fait à l'inconfort et par conséquent la consommation irrationnelle de l'énergie (électricité, gaz) à l'intérieur des habitations.

## **Abstract**

The building materials present an important link in the building sector . Their availability depends on the achievement of development goals and The cost of the constructed buildings.

The new architectural models produced during last decades in Algeria, called "modern constructions" are neglecting climate aspects, consuming large quantity of energy and very often unsuitable for the occupants' requirements, in terms of comfort. To overcome this problem of discomfort, we have often recourse to additional costs of heating and air conditioning.

The temptations of the designers to create comfortable embiances climate in the optics of the energy economy is marked by the search for materials with good heat resistance; Local materials can address this concern.

For this purpose the present study the problem of not studied envelope design (inertia) houses the point of view of unsuitable choice of construction materials used in our climate which is characterized by drought and high temperature.

This one actually leads to discomfort and therefore irrational consumption of energy (electricity, gas) inside the house.

## المخلص

مواد البناء تشكل رابط مهم في قطاع العمراني , اذ أن توفرها يعتمد على تحقيق أهداف التنمية وتخفيض تكلفة المباني المشيدة .

النماذج المعمارية الجديدة في الجزائر , انتجت مؤخرا ما يسمى ب "المباني المعاصرة " , هذه الاخيرة أهملت الجانب المناخي , خاصة في المناطق الجنوبية التي تتميز بمناخ حار وجاف , حيث ان عدم ملائمتها مع الظروف المناخية تسبب في استهلاك كبير للطاقة وإنفاق مفرط لتحقيق الراحة فيها.

من اجل حل هذا المشكل , لجاء المهندسين الى تفكير في استعمال مواد بناء اخرى , مقاومة للحرارة , او بالأحرى متلائمة مع المتطلبات المناخية , مما أدى الى التفكير باستعمال المواد المحلية .

## INTRODUCTION

Le monde entier, est confronté à une augmentation énergétique, d'une façon accrue depuis déjà plusieurs décennies a cause de ; l'augmentation de la population et l'industrialisation.

Le résidentiel en particulier, est le premier consommateur d'énergie , dont le secteur du bâtiment représente ; 30 à 40% de la consommation totale d'énergie.

L'Algérie, pays en voie de développement étant touché directement par ce problème, s'est elle aussi intéressée aux développements des énergies renouvelables.

En effet depuis la crise pétrolière de 1973, et à l'instar des autres pays dans le monde, l'Algérie a pris conscience du caractère vital de cette matière, malgré qu'elle soit un pays producteur de pétrole, de la nécessité de lutter contre le gaspillage et de développer d'autres ressources, afin de répondre aux besoins toujours croissants. Depuis, on assiste à un regain d'intérêt sans précédent pour les énergies renouvelables qui se traduit par d'importants efforts de recherche et de développement.

Les émissions de GES (gaz a effet de serre), dans notre cas principalement (CO<sub>2</sub>) sont directement liées aux consommations énergétiques des bâtiments, par l'utilisation des sources d'énergie qui peuvent être d'origine fossile (essentiellement le gaz et le fioul) nucléaire , ou renouvelable (solaire, éolien, hydraulique, bois et biomasse) selon la source d'énergie utilisé ,les émissions des CO<sub>2</sub>sont plus au moins importantes ,leur réduction va donc dépendre de l'énergie finale utilisé dans ce secteur .

Le développement qu'a connu le monde engendre l'importation des modèles d'architecture et des matériaux internationaux et négligents les modèles locaux qui sont mieux adaptées au contraintes climatiques et économiques

Les nouveaux matériaux de construction, ne contribue pas à améliorer le confort, on retrouve dans ce type dont Le confort thermique, et assuré par les installations de conditionnement d'air.

Pour répondre à ces défis énergétique et environnementaux, plusieurs éléments de solutions peuvent être mise en œuvre : réduire les besoins, améliorer l'efficacité énergétique, utilisé des matériaux non nuisible à l'environnement et tout ces solutions se conduis a l'idée de l'exploitation des matériaux locaux

L'exploitation des matériaux de construction locaux, fait sa réapparition notamment dans en rénovation thermique le contexte actuel invite à leur remobilisation, leur utilisation dans la

construction s'inscrit dans une démarche de développement durable, ils permettent de construire ou de rénover à performance et confort égal aux matériaux conventionnels ils sont biodégradables ou recyclables, largement disponible et son modes de production est peu couteux.

## **Problématique :**

La standardisation du logement, conséquence de la politique de construction choisie, a entraîné des modèles généralisés à travers tout le territoire national.

Le Sud Algérien se distingue justement par un contexte géo-climatique bien spécifique qui aurait dû induire une politique d'habitat (pour introduire la notion de qualité qui fait défaut au logement) autre que celle appliquée au Nord, ne serait ce que par rapport à la technologie constructive adoptée. Pour Jan Krebs « Afin de bâtir un avenir durable, toutes les solutions envisagées pour répondre à ces défis doivent se baser sur l'homme et ses besoins fondamentaux. Il ne s'agit pas de satisfaire les seules exigences élémentaires d'un logement, mais bel et bien de produire de la qualité de vie et de confort. »

Le développement des villes du Sud s'est fait à l'image des villes du Nord. Il n'a pas été tenu compte des caractéristiques climatiques de cette région.

Il se pose, alors, la question des choix intégrés matériaux de construction à cet environnement spécifique., l'utilisation des nouveaux matériaux tels le béton armé et le parpaing s'avèrent non adaptés à la spécificité géo-climatique de cette région.

Ce non intégration au contexte a induit une demande de plus en plus importante en énergie dans le but d'assurer le confort thermique.

La recherche de matériaux de constructions alternatives, intégrées à cet environnement spécifique constitue un axe de recherche pertinent.

## **Hypothèses :**

De la problématique énoncée ci-dessus, nous émettons l'hypothèse suivante :

- Le développement des matériaux locaux constitue une alternative appropriée pour être en adéquation avec toute politique de construction intégrant la notion de développement durable.

- L'actualisation et l'utilisation du matériau terre dans le cas du sud algérien, entrainera une meilleure intégration à l'environnement tant naturel que socioéconomique.

## **Objectifs :**

A travers ce travail de recherche et suivant la problématique abordée, nous avons

Définis les objectifs suivants :

-Démontrer que dans le cadre de la démarche du développement durable, la revalorisation des gisements des matériaux locaux constitue une option stratégique intéressante.

- Démontrer que l'exploitation des matériaux locaux dans les constructions peut ; contribuer à assurer le confort d'occupant et minimiser la consommation d'énergie.

### **Choix du cas d'étude :**

Notre choix s'est porté sur Le Touat ; Touat est une région de l'ouest du Sahara algérien, située au sud-ouest du Grand Erg Occidental, dans la wilaya d'ADRAR

Touat signifie en langue berbère « localité habitée » La composition de la population du Touat est diverse. On y retrouve des Subsahariens, des Berbères, des Arabes. La région a été peuplée par une communauté juive dans l'Antiquité et au Moyen Âge, notamment à TAMANTIT.

Bien que sur le plan climatique, cette vallée soit aussi aride que les territoires avoisinants, son occupation a été possible grâce à la présence des nappes aquifères du continental intercalaire.

Les constructions dans cette région présentent un gage de durabilité car ils sont construits en matériaux « durs », béton et briques cuites pour les logements sociaux et en parpaings pour les auto-constructeurs, mais inadapté au mode de vie et au climat chaud et aride D'ADRAR.

### **Démarche pédagogique :**

Il s'agit de développer le thème par un aperçu sur la construction an matériaux locaux dans les vieux bâti à Tamentit

Dans le premier temps, nous allons prend des échantillons de ces matériaux.

Dans le deuxième temps, on va les étudiés thermodynamiquement, et définir les pourcentages optimales des matériaux utilisés.

De ces deux études, nous déterminerons les caractéristiques thermiques et mécaniques de ces matériaux, et leurs domaines d'utilisation.

### **Structuration du mémoire :**

Un chapitre introductif abordera une introduction générale, la problématique, l'hypothèse, les objectifs, le choix du cas d'étude ainsi que la méthodologie d'approche.

Le travail sera structuré en quatre chapitres :



Le premier chapitre ; contient des résumés des travaux effectués en graduation des autres étudiants.

Le deuxième chapitre ; sera consacré au classement de la région d'Adrar climatiquement et définir les notions climat ; confort et présenter les facteurs influents sur le confort.

Dans le troisième chapitre ; dans sa première partie, on mettra en évidence la construction en matériaux locaux et les matériaux utilisés dans notre travail.

Dans sa seconde partie ; on identifiera ces matériaux thermiquement et mécaniquement.

Dans le quatrième chapitre ; il aura une simulation numérique avec TRNSYS, et une conclusion générale.

Enfin, ce travail sera clôturé par une conclusion qui abordera les enseignements tirés de ce travail de recherche en mettant en évidence les limites et les recommandations.

Chapitre I :

Revue bibliographique



## Introduction :

L'utilisation des matériaux locaux comme un produit de construction a polarisé cette dernière année le monde de recherche aussi bien dans la géotechnique que dans le bâtiment .nous nous évertuons à travers ce chapitre à compiler quelques résultats issus des nombreux travaux réalisés.

## I.1- Les travaux :

### I.1- Evolution des caractéristiques mécaniques et de la perméabilité de 'matériaux argileux sous L'effet de sollicitations thermiques (Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1991.) :

Cette recherche, entreprise dans le cadre d'un programme de la C.C.E. pour le compte du Commissariat à l'Energie Atomique a pour objectif d'étudier les effets à long terme de variations de température sur le volume et la texture de sols argileux, en fonction notamment de leurs caractéristiques pétro physiques et pétrographiques initiales et de leur état de consolidation.

Elle fait l'objet de ce mémoire contenant cinq chapitres :

- une étude bibliographique concernant les argiles, leurs propriétés et leur évolution avec la température :

#### I.1.2-Caractéristique minéralogiques chimiques et texturales :

Les caractéristiques des argiles peuvent présenter des propriétés très différentes. Faut donc aller plus loin dans la description de ces matériaux et faire notamment une analyse minéralogique. La méthode de diffractométrie aux rayons X permet de distinguer plusieurs types d'argile d'après leur structure. On classe ces matériaux argileux en différents groupes :- les kaolinites, - les illutes, - les smectites.

**2.1-smectites (les argiles gonflantes) :** sont les minéraux argileux les plus sensible a la température ; qui se transforment dès 40°C en inter stratifiés illite-smectites.

**2.2-La kaolinite :** se transforme probablement en chlorite vers 150 à 200°C. S'il y a beaucoup de potassium et un pH élevé, la kaolinite se transforme en illite (HENLEY1959).

#### I.1.3-Caractéristiques hydriques:

Chaque particule argileuse est chargée négativement sur sa surface, et les feuillets qui la composent sont plus ou moins fortement liés les uns aux autres. L'eau contenue dans le sol est donc soumise à un champ électrique près de la surface des particules. Les molécules d'eau sont alors orientées par rapport à la paroi des particules et n'ont plus les propriétés physiques de l'eau normale : il s'agit de "l'eau liée". Chaque particule est ainsi enveloppée d'un film d'eau de nature spéciale, la "couche adsorbée".

L'eau contenue dans les argiles à un rôle essentiel dans le comportement de celles-ci du fait des liaisons qui l'unissent aux particules et lui confère des propriétés particulières, telles que la plasticité et la cohésion.

#### I.1.4- Caractéristiques physique :

##### 4.1-Porosité,

**4.2-Teneur en eau et saturation** : (Si les argiles sont prélevées sous le niveau supérieur de la nappe ou à proximité, elles sont considérées comme saturées.),

**4.3-Limites d'Atterberg** : CTORI (1989) a montré que les limites de liquidité, de plasticité et l'indice de plasticité diminuent quand la température augmente de 6° à 35 °C. HELMIELRAMLI (1961) ont effectué des essais analogues sur trois argiles : molle, moyenne et raide. Us arrivent aux mêmes conclusions entre 15° et 35°C. DESPAX (1976) explique cela par le fait que le sol est alors moins résistant en raison de la réduction des liaisons entre particules. YOSSED et al présentent des résultats similaires, qu'ils expliquent en se référant à la viscosité de l'eau qui diminue quand la température augmente. Ces deux phénomènes doivent se conjuguer.

**4.4-Dilatation des composants du sol** : Lors d'une variation de température, trois phénomènes de dilatation sont à distinguer :

- (1) dilatation de l'eau interstitielle.
- (2) dilatation des grains du sol.
- (3) dilatation du squelette granulaire.

##### 4.5-Perméabilité :

Une argile est un milieu poreux dit "imperméable". Son coefficient de perméabilité K varie de 10<sup>-9</sup> à 10<sup>-13</sup> m/s, et peut être plus faible parfois.

Une analyse bibliographique de la déformation unie axiale verticale de ce type de matériau sous consolidation mécanique. Il ressort de cette partie l'importance prépondérante de certains facteurs comme l'état de consolidation, la nature minéralogique, la teneur en eau, la plasticité et le temps ext. Ces paramètres sont par conséquent les critères de choix utilisés pour sélectionner quatre matériaux sur lesquels on a effectué les essais.

Une caractérisation minéralogique, géotechnique et texturale des trois argiles retenues en provenance de LAGNY, ST GENEST et LIMAY. L'argüe de ST GENEST est étudiée sous deux états: intact, et remanié sous forme d'un gonflement libre d'une semaine.

Une description du dispositif expérimental constitué de cellules oedométrique spécifiques mises au point au Centre de Géologie de l'Ingénieur, afin de limiter le frottement latéral du piston ainsi que les corrections dues à la température et d'effectuer des essais de longue durée jusqu'à 110°C.

Une présentation et une interprétation des résultats des nombreux essais de déformation volumique effectués :

- essais oedométrique à 20,50 et 110° C.
- essais de montée rapide à 50, 80 et 110°C.
- essais de montée à 80 °C à des vitesses différentes.

- essais de montée progressive à 50, 80 et 110°C suivie de descente progressive à 20°C.
- essais de montée progressive arrêtée à 110° C.

### **-Conclusion :**

L'analyse des résultats expérimentaux a permis de mettre en évidence les comportements suivants : (1) sous l'effet d'une augmentation de température :

Un comportement dilatant ou compactif fonction de la charge initiale, de l'incrément de température appliqué ainsi que la durée de l'essai : une charge initiale et un incrément de température faibles ainsi qu'une durée courte de l'essai favorisent l'apparition d'un gonflement. On note qu'à la pression de pré consolidation le comportement a toujours été compactif, et le tassement observé bien supérieur à celui dû au fluage si on avait laissé l'échantillon à sa température initiale.

La nécessité de considérer une sollicitation thermique comme un essai à part entière et donc d'effectuer une remise à zéro du temps, comme on le fait pour un palier de chargement dans un essai oedométrique classique.

L'existence de trois phases:

- une phase de gonflement de l'échantillon.
- une phase de dissipation des surpressions interstitielle.
- une phase de fluage dont la cinétique.

Le coefficient de consolidation secondaire augmente avec l'incrément de température pour les argiles de LAGNY et ST GENEST; ceci est à mettre en relation avec la présence non négligeable de smectites dans ces sols. Toutefois la différence de tassement due au fluage pour des incréments de température différents, reste largement inférieure à la différence due à la consolidation primaire.

L'absence de variation notable de la perméabilité intrinsèque si ce n'est peut être à 110°C, mais ceci est à confirmer.

Plusieurs facteurs ont une influence sur le tassement thermique.

Sous l'effet d'une diminution de température :

Pas de tassement ou un très léger gonflement pour les argiles de LAGNY et ST GENEST. Le chauffage semble avoir renforcé la texture de ces matériaux.

Un gonflement primaire et secondaire pour l'argile de LIMAY à mettre en liaison avec sa plasticité particulièrement élevée.

La comparaison des résultats des essais de montée directe entre 20°C et une température finale  $T_f$ , avec ceux des essais de montée progressive par paliers de 30°C jusqu'à la même température finale, a mis en évidence que la déformation résultante, dans le premier cas est plus élevée que dans le deuxième. Ceci est dû à l'importance du remaniement "instantané". Par conséquent si on veut effectuer des prévisions sur le tassement suite à un

cheminement quelconque entre 20°C et une température finale Tf, on se mettra du côté de la sécurité (pessimiste) en prenant le résultat d'une montée directe. Dans le cas d'une baisse de température, on prendra en compte une déformation nulle.

## I.2-Travail N°2 : Performance thermique du matériau de terre pour habita durable des gérations aride et semi aride : cas de TIMIMON .thème de magister .univ ; MOULOU MAMERI – TIZIOZOU.

L'objet de ce recherche et de projeter en un habitat durable par une prise en charge de la conception architecturale bioclimatique de la valorisation des performances thermique de la terre crue et de potentialités – d'un savoir –faire local riche en enseignements .ataves cet habitat durable le confort thermique des habitants sera une évidence.

Pour réalise cette objectif plusieurs étapes :

- Traitement des procédés techniques de production de la construction en terre et des expériences menées à travers le monde pour sa revalorisation,
- le confort thermique qui est assuré par une conception architecturale bioclimatique de départ et les performances thermiques des matériaux.
- étude état des lieux du contexte de la région de Timimoun, ses ksour et l'habitat ksourien en général.
- Présentation de la composition de la brique de terre et précise les difentes méthodes de calcul des performances thermophysiques ainsi que les résultats obtenus au laboratoire.

### Conclusion :

L'architecture bioclimatique recherche une synthèse harmonieuse entre la destinatin du bâtiment, le confort de l'occupant et le respect de l'environnement, en faisant largement appel aux principes de l'architecture (compacité du bâti, orientation, protection solaire...) pour permettre la réduction des besoins énergétiques et crée un climat de bien être. Ils trouve dans l'architecture vernaculaire des pays d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient des techniques de construction ancestrales basées sur les énergies naturelles qui permettent aux bâtiments de répondre aux conditions climatiques.

L'architecture de terre se propose comme l'une des solutions les plus prometteuses du fait qu'elle ne génère pas d'émission de CO2 lors de sa production, de plus, le matériau est biodégradable et réutilisable à l'infini.l'avantage économique constitue probablementl'aspect le plus im portant que représente la revalorisation de l'architecture de terre.

Les faibles coûts des réalisations en terre peuvent agir comme un levier social pour améliorer considérablement les conditions de vie des habitants,pour connaitre les propriétés thermophysique de ces matériaux ilsà choisir une méthode de mesure de la conductivité thermique et de la chaleur spécifique ed'une partet avec ses données de calculer la diffusivité et l'effusivité thermique. Cela anécessité l'utilisation du CTMètre et nous a permis d'arriver à des résultats qui nous fontdire que même si le maté

riau terre n'a pas de propriétés isolante, ce dernier possède n'est au moins des propriétés qui peuvent justifier son utilisation dans la construction.

Ainsi les briques de terre crue peuvent être considérées comme le compromis idéal entre trois exigences : un coût raisonnable, un faible impact sur l'environnement et des caractéristiques thermiques avantageuses.

Les dommages subits par les maisons en terre ont pour principales origines des processus de vieillissement et de dégradation dus à l'humidité.

### **I.3-Travail N°3 : La construction en matériaux locaux (état d'un secteur à potentiel multiple) Ouagadougou Décembre 2005 Urs .Wyss .Ing. Dipl.EPFL**

L'idée de construction en matériaux locaux en Burkina Faso est riche en forme et structures la maison ronds et les poteaux en bois disparaissent au profit de maison rectangulaire.

Les toitures sont changé ; les matériaux utilisé aux toits sont changé à cause de faiblesse de performance des matériaux traditionnel cette situation oblige les populations à se tourner vers les solutions des toitures modernes avec charpente en poutres équarries de bois mais ils n'assurent pas le confort ni au froid ni au chaud La construction en dur est la référence pour la plus grande partie des populations Construction dur : construction dont laquelle les éléments porteur en charpente sont remplie par les parpaings et le béton (mixte).

La réalisation de ces constructions dures peut résoudre le problème de précarité de l'habitat urbain et l'utilisation des matériaux locaux peut aider à réduire le coût

L'impact des matériaux locaux sur le milieu urbain dépend du renforcement de la structure et de la formation à tout niveaux (acteurs de demain) ; des écoles technique .....etc.

-Les promotions des matériaux locaux :

Matériaux locaux ?

Selon le président de l'AOB tout matériaux localement disponible est un matériau local

Selon LOCOMAT un matériau local est un matériau produit localement et à partir des matières premières locales

Matériaux appropriés ?

Matériaux locaux qui s'intègrent dans le cadre de développement durable

Techniques appropriés ?

Les techniques appropriés sont les techniques qui mettre en valeur les matériaux appropriés un matériau ou une technique n'ai jamais universel il faut qu'elle réponde à des questions pour être appropriés ou non par exemple est-il produit localement ou non?; la production et l'utilisation requièrent –elles beaucoup d'énergie ?



Matériaux locaux : construire économiquement :

Ils sont moins cher dont ils peuvent contribuer à résoudre les problèmes de pauvreté et à la pression démographique en Burkina Faso

Matériaux locaux : limiter les flux de devis vers l'étranger :

L'INSD indique qu'en 2003 la valeur d'importation est de 22.64 milliards et il s'agit d'une grande partie de ciment Si on exploite les matériaux locaux on peut économiser la somme d'importation

Matériaux locaux : valoriser les ressources naturelles :

Un pays qui met en valeur ces propres ressources emploie une conduite et ne subit pas dans une attente ce que les marchés mondiaux lui préparent comme surprise

Matériaux locaux : création d'emplois et renforcement d'économie :

L'utilisation et la fabrication des matériaux locaux nécessite des ouvriers et des maçons ce qui va se traduire en création d'emplois

Matériaux locaux HIMO :

Une activité haute intensité de main d'œuvre (HIMO) caractérisé par des revenus importants, elle ne fait pas appel aux produits étrangers et limite le coût de transport

Matériaux locaux valoriser le patrimoine :

On dit que "un peuple sans culture est un peuple sans âme" l'exploitation des matériaux locaux aide à valoriser la culture endogène.

Matériaux locaux : respecter les aspects thermiques et climatiques

Les aspects de confort climatique sont des préoccupations majeures dans un contexte saharien, et pour atteindre le confort, la résistance, réduction de coût l'exploitation des matériaux locaux est la solution

Les différents matériaux appropriés et leur potentiel :

**I.3.1- La terre** : longtemps négligé par les idéologues des matériaux locaux à cause de sa vulnérabilité, la terre reste aujourd'hui le matériau approprié pour la majeure partie des constructions d'habitat (49% des ménages urbains, 92% des ménages ruraux).

**I.3.2-Les percées des pierres taillées** : bloc la technique de taille BLT et grès longtemps été négligé et après l'échec de l'expérience "terre stabilisée" le BLT est entré dans les considérations stratégiques.

**I.3.4-Bloc de terre comprimé** : à la fin des années 80 ce matériau ne pourrait pas répondre aux exigences initialement formulées ce problème de durabilité est résolu par l'ADA UA dont ils essaient d'améliorer la qualité des briques de terre stabilisée et le renforcer.

**I.3.5-Tuile aux matériaux vibrés** : (sable grossier +sable fin+ciment) dans une table vibrante après 24 h la tuile se démoule.

La chaux le Burkina Faso dispose de roche calcaire qui permet la production de chaux renforcement des matériaux locaux technique appropriés le diagramme :

Le secteur de la construction en matériaux et techniques appropriés subit bien évidemment les Mêmes problèmes que la construction conventionnelle formelle et informelle. Mais il y a des aspects qui Pénalisent particulièrement leur utilisation.

Le diagramme suivant présente les 4 problèmes principaux identifiés et désigne les axes principaux d'interventions de la part d'investisseurs privés, du corps des métiers de la construction, des pouvoirs publics et des donateurs :

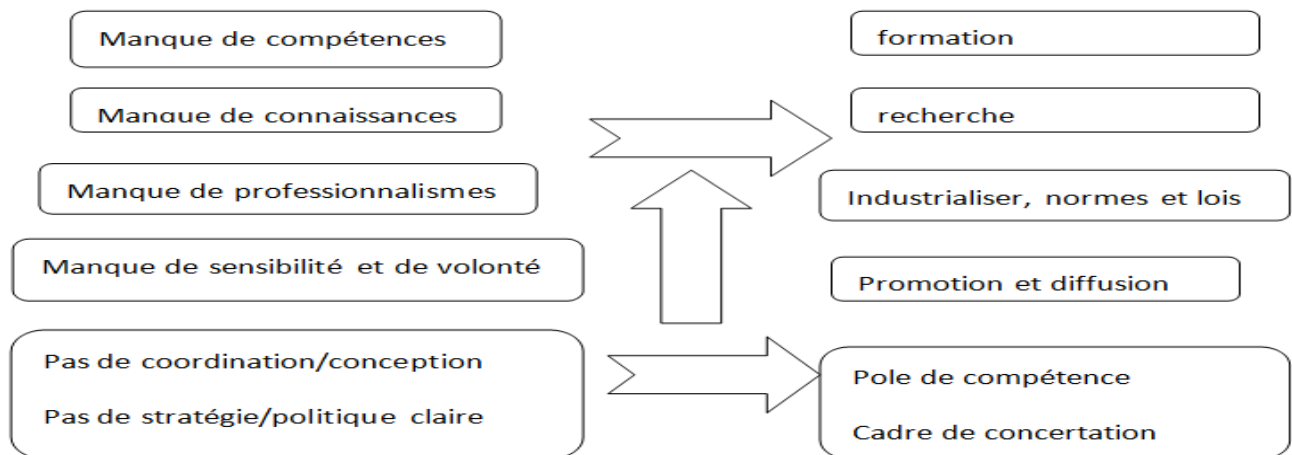


Figure (I.1) : schéma des problèmes principaux et les axes principaux d'interventions.

### Conclusion :

Le secteur de construction aux matériaux locaux est en progression. L'évolution est appréciable même si elle n'est pas suffisante.

L'utilisation de matériaux et techniques de construction appropriés se fait de plus en plus, la plupart du Temps indépendamment d'une assistance externe.

Des produits, longtemps négligés par les promoteurs et idéologues des « matériaux locaux », S'imposent et proposent des réponses concrètes à la problématique de l'habitat.

Dans notre cas (l'Algérie) il y'a des études sur se secteur mais au niveau des applications des techniques et l'utilisation des matériaux locaux dans les constructions moderne il n'a aucune efforts concrètes

Donc dans notre travail nous allons essayer de contribuer même d'une façon minimale dans le domaine d'étude.

### I.4- Caractérisation de matériaux locaux en vue d'isolation thermique (Camerone)

Le développement durable se fait par la réduction de la consommation d'énergie afin de diminuer les risques de changements climatiques (effet de serre)

Les bâtiments consomme beaucoup d'énergie à propos d'économiser l'énergie et assurer le confort d'occupant un programme est mise en œuvre dont :

- L'amélioration de conception thermique
- L'efficacité thermique

- Mener des études qui permettent l'amélioration de confort thermique (climatisation passive)

L'isolation thermique d'un bâtiment nécessite la mise en œuvre des matériaux apportent une isolation, bonne résistance mécanique et n'ont pas d'effet nuisible.

Tableau(I.1): Coefficients de conductivité thermique de quelques matériaux utilisés dans le Bâtiment (RECKNAGEL, 1995).

Matériaux	Masse volumique Kg/m <sup>3</sup>	Conductivité thermique (W/m°C)
Bloc de terre comprimée	1700-1900	1.05
Terre cuite	1700-2100	1-1.35
Bétons		
• Béton plein (granulats)	1600-2400	0.8-1 .75
• Béton caverneux (granulats)	1000-2000	0.35-0.7
• Béton de pouzzolane	1000-1200	0.35
• Béton perlite	400-800	0.24-0.31
• Béton de bois	250-650	0 .10-0 .16
• Béton cellulaire traité à l'autoclave	375-825	0 .16-0.33
• Plaques à fibres de bois	450-550	0 .16
	350-450	0.12
	250-350	0.12

**(BTS) :** terre disloque dans l'eau donc la stabilisation réduire cet inconvénient

L'essai fait par DROGMO (1991) montre l'augmentation de la conductivité proportionnellement avec la teneur en eau.

**I.4.1- Terre cuite :** Mise en œuvre grâce au bloc de terre G19 (brique munie d'un grand nombre de rangées d'alvéoles à paroi quinconces), il a une bonne résistance mécanique, forte inertie et il est recyclable. Le béton cellulaire autoclave chaux et ciment additionné de poudre d'aluminium une multitude d'alvéoles se forme alors le béton léger de pouzzolane.

**I.4.2-Le béton mousse :** Les bétons mousses sont des bétons dans lesquels des bulles d'air sont introduites par L'intermédiaire d'une mousse.

**I.4.3-La pouzzolane :** Le terme pouzzolane est étendu au sens industriel et désigne tout matériau naturel ou artificiel riche en silice et alumine capable de réagir à température ambiante avec les chaux en présence d'eau pour former des produits aux propriétés liantes.

#### I.4.4-Les différents types de stabilisation :

##### 1-Stabilisation mécanique :

La stabilisation mécanique améliore la brique de terre par la modification de sa densité naturelle. Il s'agit du compactage qui consiste essentiellement en une réduction de la porosité du matériau par resserrement des particules.

##### 2-Stabilisation chimique :

La stabilisation chimique modifie les propriétés d'une brique de terre par l'intermédiaire De certains adjuvants. Afin de diminuer la sensibilité à l'eau.

##### 3-Stabilisation physique :

La stabilisation physique modifie les propriétés des sols par une amélioration des caractéristiques du matériau par correction de la granularité.

#### **4-Stabilisation au ciment :**

Lors de la fabrication des BTS, il faut tenir compte du fait que le ciment a besoin d'eau pour faire sa prise (matériau hydraulique).

#### **5-Stabilisation par cuisson :**

Les briques sont issues d'un mélange de terre et d'eau, dans lequel on ajoute, pour certains modèles isolants, des grains combustibles, tels que la sciure de bois.

#### **-Les méthodes principales de mesure des propriétés thermo physiques sont :**

- Les méthodes en régime permanent.
- Les méthodes en régime transitoire.
- Les principales méthodes de mesure des propriétés hygroscopiques
- Méthode gravimétrique
- Méthode des solutions salines concentrées
- Méthode des solutions d'acide sulfurique
- Influence de la porosité sur les propriétés thermo physiques

Pour un corps poreux il est plus difficile d'obtenir la conductivité thermique à cause de l'hétérogénéité que présente leur structure et de la multiplicité des phases en présence. Sur le plan structural, il est prouvé (Kittel, 1972) que la conductivité thermique des pores dépend de leur taille et de leur nombre, à cause des effets du rayonnement à prendre en compte à l'intérieur de ces pores.

La partie pratique :

Les briques de terre stabilisées (BTS) au ciment sont utilisées pour la construction de l'enveloppe de bâtiments. Dans cette étude, ils ont réalisé de nouveaux matériaux incorporant un troisième composant en vue d'une amélioration de leurs performances en isolation thermique. Ils ont voulu également obtenir des données sur l'aptitude de ces matériaux à résister aux agressions de l'humidité du milieu environnant. Ce travail a donc consisté à déterminer un ensemble de propriétés thermo physiques et mécaniques relatives à leur utilisation dans le bâtiment.

La nécessité de connaître les propriétés thermo physiques de ces matériaux (la pouzzolane et le bios) il a conduit à choisir une méthode de mesure de la conductivité thermique et de la diffusivité thermique d'une part, et une méthode de détermination de la chaleur spécifique d'autre part.

Ils ont ensuite procédé à la détermination des variations de la conductivité thermique et de la diffusivité thermique des matériaux avec la teneur en eau d'une part et la teneur en ciment d'autre part. Les dommages subits par les maisons en terre ont pour principale origine des processus de vieillissement et de dégradation dus à l'humidité. Pour analyser leur comportement hygrothermique et les conséquences sur la durabilité des murs en terre, des échantillons de BTS ont été caractérisés en laboratoire dans le but d'obtenir des paramètres nécessaires à la simulation numérique. Des échantillons initialement secs ont été exposés dans une enceinte régulée en température et en humidité afin de simuler le comportement des briques réalisées vis-à-vis de l'humidité. Tandis que les échantillons avec incorporation de sciure de bois ont une plus grande capacité d'absorption de la vapeur d'eau que les BTS simples, ceux incorporant de la pouzzolane naturelle en absorbent moins que les BTS simples.

La dernière étape de ce travail a consisté à modéliser le transfert couplé de chaleur et d'humidité à travers une enveloppe de bâtiment. Cette partie a permis de faire une étude portant sur l'évolution de la température, de l'humidité et de la teneur en eau, entre un environnement climatique extérieur donné et une enceinte, séparés par une enveloppe de bâtiment réalisée avec chacun des trois matériaux étudiés.

### Conclusion :

La dépendance de la conductivité thermique et de la diffusivité thermique de ces matériaux en fonction de la teneur en eau reste faible.

L'augmentation de la teneur en ciment dans les BTS étudiées entraîne une augmentation de la conductivité et une baisse de la diffusivité thermique.

Les faibles teneurs en eau relevées de simulation de transfert couplé de chaleur et humidité dans les différents cas (différents matériaux) permettent de conclure qu'il y a une possibilité mineure de condensation d'eau dans ces matériaux. Grâce à leur structure poreuse, ces briques atténuent les variations d'humidité à l'intérieur des bâtiments.

La simulation de l'influence de l'enduit de mortier sur l'évolution des trois paramètres (température, humidité et teneur en eau) a confirmé qu'en revêtement extérieur, il protège l'enveloppe de bâtiment (constituée de briques de terre stabilisées) contre l'humidité environnante.

## I.5-Utilisation des matériaux locaux dans la construction de l'habitat économique. pfe. JOSEPH AISSO. ENV : école poly technique de Thès.e1993

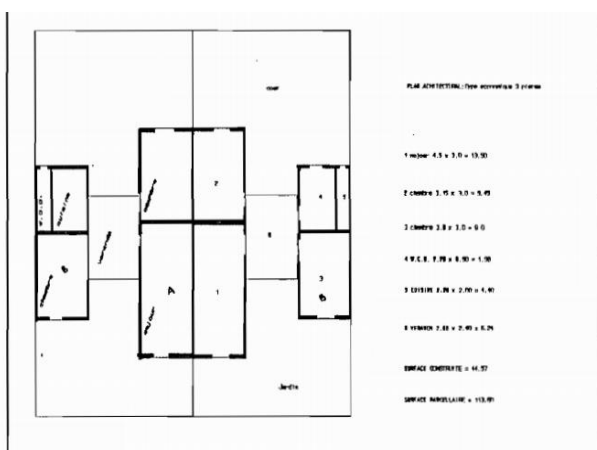
L'objet de ce projet est pour but de montrer les économies réalisables lorsque les matériaux locaux sont substitués au matériau classique qu'est le béton en particulier.

Pour atteindre cet objectif, ils ont procédé après une brève revue de divers matériaux locaux utilisables dans la construction, une analyse de diverses variantes de structures et une étude économique comparative des solutions envisagées.

### I.5.1-Présentation de plan de base :

C'est un type trois pièces par paire de deux propriétés comme montré à la figure 1. le design sera fait pour les deux propriétés.

#### 1-Plan architecturale :



Figure(I.2) : schéma de plan architectural.

**2-Analyse de forme des toitures :**

- Couverture en voûte à base de brigues de géo béton
- Technique de construction

**3- Analyse structurale :**

- a) calcul du chargement suivant le DTU
- b) Vérification de la résistance et de la stabilité du vote

) Estimation des quantités de matériaux requises

a- Briques de géo béton LATERO 10\*14\*29

b- Enduit d'étanchéité et de liaison des briques.

Couverture en fibrociment sur charpente en bois.

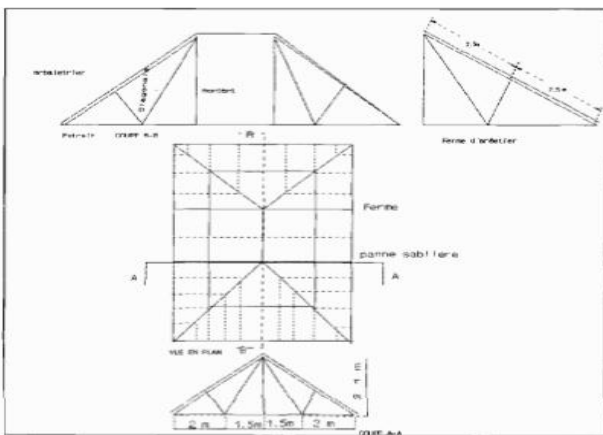
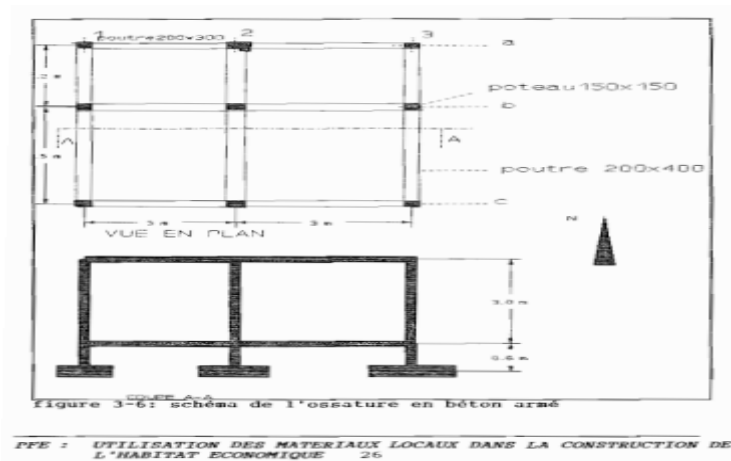


Figure (I.3): schéma de la charpente.

**4- Analyse de forme des maçonneries :**

Ossature en Béton armé avec remplissage en agglomérés de ciment et sable de mer.



Figure(I.4) : schéma de l'ossature de béton armé

- Calcul de l'ossature
- Poutre chaînage supérieur
  - Poutres à l'axe 1,2 et 3
  - Poutres aux axes a, b et c

## **I.5.2-Elévation mur porteur de gobetons :**

### **1- Elévation en maçonnerie mixte :**

Somme toute, les Calculs structuraux effectués ont permis de prouver la résistance et la sécurité qu'on peut espérer sur les structures conçues. Faute d'avoir des règles normalisées pour le Calcul des structures en terre ils ont Parfois utilisé celles applicables aux parpaings de mortier.

Le chapitre quatre : étude économique comparée des VARIÉTÉS DE LOGEMENTS CONCUS ces études techniques effectuées dans le chapitre précédent prouvent que les structures étudiées tiennent du point de vue résistance et stabilité condition que les spécifications techniques qui s'y rattachent soient respectées.

Chapitre cinq : il présentera les analyses et commentaires sur les résultats obtenus le chapitre six conclut et proposera l'étude ultérieure mener suite à ce projet.

L'objectif de loger le plus de population aujourd'hui dans les villes de pays en développement ne peut être atteinte sans une revalorisation des matériaux locaux de construction.

En effet l'utilisation desdits matériaux permet de réduire les coûts de construction. Ainsi les études techniques et économiques que ils ont effectué travers ce projet ils permirent de montrer partir des chiffres les économies en pourcentage qu'il est possible de réaliser lorsqu'on choisit d'exploiter ces matériaux dans un projet donné. Elles varient de 9% 35% selon la quantité incluse.

Les études ont notamment prouvé. Grâce une maîtrise poussée des technologies de géo béton, que le choix d'une habitation économique construite en géo béton. Aujourd'hui peut s'opérer librement et sans inquiétude aucune d'autant qu'elle offre non seulement, confort égal avec la construction classique. Une accessibilité hautement avantageuse par rapport cette dernière.

Au début de ce projet nous avons rappelé les types de matériaux locaux qu'on peut rencontrer très fréquemment et les utilisations qu'on peut en faire. Enfin ce projet qui se veut un outil de promotion d'habitat social ne peut être complet que si l'on joigne aux volets technique et économique une étude ultérieure de marketing qui présente de façon concrète le degré d'information et le comportement de la population face aux produits construits en matériaux locaux.

## **I.6- Travail N°6 : Caractérisation et interprétation de la variabilité Chimique et minéralogique des grès réservoirs by (Benoît MARECHAL UNIVERSITE JEAN MONNET le 3 juillet 2000.)**

Cette thèse a pour objectif, d'une part, de compléter les études sédiment logiques par l'acquisition et l'analyse de données géochimiques et, d'autre part, de mieux comprendre la diagenèse des grès réservoirs en associant la géochimie à la modélisation numérique.

Les travaux réalisés dans cette thèse s'inscrivent dans un projet de collaboration entre l'Ecole des Mines de Saint-Etienne et l'Institut Français du Pétrole qui vise à compléter les descriptions sédiment logiques de certains analogues de réservoirs par une étude pétrographique et chimique. Pour cela, ils ont eu recours à l'analyse chimique des constituants majeurs et en traces de grandes séries d'échantillons prélevés à

diverses échelles dans les grès étudiés. L'utilisation de ces techniques permet de quantifier très précisément la composition de la roche totale. Comme les variations de composition chimique sont liées aux proportions des minéraux constitutifs, il est aisé d'en tirer parti pour évaluer ces dernières.

La démarche suivie dans ce mémoire est basé sur ces axes :

-étude menée par rapport aux connaissances actuelles sur la Variabilité de la composition chimique et minéralogique des roches sédimentaires clastiques ainsi que sur les facteurs physiques et chimiques qui engendrent les distributions observées, au travers d'une revue bibliographique.

-présentation des deux formations gréseuses très contrastées qui ont servi de support à cette étude, à savoir les grès fluviodeltaïques du Ravenscar Group (Jurassique Moyen, côtes du Yorkshire, Royaume-Uni) et les Grès marins d'Annot (Eocène-Oligocène, Alpes du Sud, France)

-étude pétrographique et géochimique des grès du Ravenscar Group et des Grès d'Annot. Ces deux exemples permettent toutefois d'aboutir à des résultats très généraux et applicables à d'autres formations gréseuses. En effet, il est mettre en évidence que la distribution des échantillons dans l'espace de composition chimique peut être interprétée comme un mélange en proportion variable de trois ou quatre pôles de composition bien définie, représentatifs de certaines classes de minéraux (minéraux lourds, fraction clastique alumineuse, quartz, ciment diagénétique) et qu'elle résulte de processus primaires tels que le transport et la sédimentation, ou secondaires, qu'il s'agisse de la diagenèse précoce ou de la diagenèse d'enfouissement

-La pose des principes et les hypothèses de la modélisation numérique de la diagenèse des grès du Ravenscar Group. Un rappel sur les fondements thermodynamiques, cinétiques, ainsi que les phénomènes physiques (écoulement et transfert de matière) qui sont modélisés dans le code de calcul utilisé, DIAPHORE, qui fera également l'objet d'une brève présentation.

Alors préciser les contextes géologiques et les conditions retenues pour la modélisation envisagée, à partir d'une revue bibliographique relative aux transformations diagénétiques et des données sur les grès étudiés.

-des simulations présentées permettent d'abord de discuter des conditions possibles pour les deux transformations diagénétiques étudiées (néoformation de kaolinite et albitisation), dans un cadre général, valable quelle que soit la formation gréseuse considérée. Elles permettent également de confronter les résultats aux distributions chimiques et minéralogiques observées ns les grès du Ravenscar Group, ce qui nous amènera à préciser la séquence diagénétique qui a affecté les grès ainsi que les conditions qui ont pu la favoriser.

## **Conclusion :**

Les travaux menés dans le cadre de cette thèse et les résultats qui en découlent laissent à penser que l'on pourrait intégrer plus systématiquement l'approche géochimique dans les études des réservoirs.

Cette méthodologie d'étude consiste a : une caractérisation pétrographique détaillé des grés et une modélisation numérique confronté au donnés de terrain donc elle permet de comprendre le comportement des minéraux et les éléments chimiques dans ce grés.



## I.7- Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés, en 2007.

Avec les besoins actuels d'économie d'énergie et de maîtrise des impacts environnementaux du bâtiment, certains doutes se posent sur la définition du confort thermique et la façon de créer et maintenir les conditions de confort. En effet, les normes actuelles considèrent le confort thermique sous une approche analytique, réductrice de la complexité du réel.

Dans ce travail, les auteurs se sont intéressés à l'aspect adaptatif du confort thermique en complément à l'aspect analytique dont l'ensemble permet d'avoir une vision globale du confort thermique dans les bâtiments. Ils ont fait une étude expérimentale in situ dans huit bâtiments pour explorer de plus près le confort adaptatif et caractériser l'interaction entre l'occupant et le bâtiment.

Ce travail de recherche s'inscrit dans le cadre des efforts menés pour maîtriser les impacts environnementaux du bâtiment tout en assurant une qualité des ambiances intérieures Satisfaisantes. Il consiste à explorer l'approche adaptative du confort thermique pour développer un modèle en dynamique des systèmes intégrant la complexité du confort thermique et contribuant à une meilleure prise en compte des interactions physiques, physiologiques et comportementales entre l'occupant et le bâtiment. L'utilisation de ce modèle doit permettre une représentation réelle du confort thermique en conditions dynamiques notamment dans les bâtiments naturellement ventilés en été. Le modèle doit permettre aussi de caractériser les consommations d'énergie selon les niveaux de confort.

Pour atteindre cet objectif ils ont mis en œuvre une démarche méthodologique adaptée à la nature multidisciplinaire du confort thermique.

### **Conclusion :**

Les études expérimentales réalisées in situ ont permis de constater une divergence entre la réalité et les prévisions des normes qui surestiment le niveau d'inconfort dans les bâtiments naturellement ventilés pendant les périodes chaudes. En été, les conditions thermiques dans ces bâtiments sont dynamiques et varient avec les changements dans l'environnement extérieur contrairement à l'hiver où elles restent stables du fait de l'utilisation du chauffage. La modélisation systémique du confort thermique permettra la caractérisation des éléments constitutifs d'un système dynamique intégrant l'occupant dans son environnement bâti. De cette phase de modélisation débouchera un modèle opératoire permettant la prise en compte des différents mécanismes du confort thermique. Ce modèle peut être intégré dans un outil de simulation dynamique et permettra grâce aux simulations une caractérisation énergétique du confort thermique à travers les comportements de l'occupant.

L'application du modèle au cas des bâtiments de bureaux naturellement ventilés a permis de déterminer les conditions qui permettent d'établir le confort thermique avec des ressources énergétiques limitées, en utilisant un ventilateur local ou la ventilation nocturne, selon l'inertie du local, l'orientation, les protections solaires, et le climat.

L'utilisation du ventilateur correspond à une consommation de l'ordre de 10 Wh/m<sup>2</sup>/jour et la ventilation nocturne 30 Wh/m<sup>2</sup>/jour. Ces valeurs sont négligeables devant les consommations de climatisation qui peuvent être 10 fois plus importantes.

### **I.8-Travail N°8 : Titre de travail : Analyse et modélisation du comportement thermique d'un système de préchauffage d'air neuf pour l'habitat, intégrant un matériau à changement de phase.en 2008.**

L'objectif de cette thèse est d'étudier un système passif innovant (mur solaire) permettant de préchauffer l'air neuf en vue de limiter son impact sur la demande énergétique du bâti. La spécificité de ce mur est que la paroi stockeuse est constituée d'un matériau à changement de phase (MCP). Les MCP permettent de stocker de grandes quantités d'énergie dans un volume réduit par rapport aux parois classiques (béton, bois...etc.). Ce système permettra de répondre aux besoins de renouvellement d'air tout en réduisant les déperditions thermiques liées à la ventilation.

#### **-Conclusion :**

A partir des résultats obtenus, les auteurs ont conclu que les modèles développés ont fourni des résultats validés par des mesures. Ces résultats sont prometteurs et permettent d'ouvrir la voie à de nouveaux systèmes innovants combinant le renouvellement d'air et le stockage de l'énergie solaire par chaleur latente. Le modèle numérique peut néanmoins être optimisé en utilisant une méthode autre que celle de la capacité variable afin de pouvoir simuler une paroi en MCP. Le MCP utilisé dans cette étude présente un certain nombre de problèmes comme la surfusion. Il a été noté dans certains essais, que l'amorce de la restitution de la chaleur emmagasinée dans le mur n'est réalisée que si la température du MCP baisse à une température inférieure à sa température de surfusion (23°C).

Ils ont étudié les échanges thermiques dans un mur spécialement conçu (MCP) et l'influence de la lame d'air sur la performance de mur et afin de valider ces résultats, ils ont simulé les 2 cas ; mur en béton et mur en MCP.



# Chapitre II :

## Climat et confort

## Introduction :

Le maintien de l'équilibre thermique, entre le corps humain et l'environnement est l'une des principales exigences, pour la santé, le bien être et le confort, on doit rechercher cet équilibre avec l'environnement extérieur, qui dépend de la conjugaison de nombreux facteurs.

Certains sont d'ordre individuel comme l'activité, le vêtement... etc.; et d'autre sont des facteurs de l'environnement, tels que la température de l'air, le rayonnement, l'humidité et les mouvements d'air.

Bien que l'environnement physique soit constitué par : la lumière, le son, le climat, l'espace et l'animation, l'influence sur le corps humain est très perçue, réactions physique et psychologique exercés sur le système de l'équilibre biologique, qui essaye de s'adapter aux variations provoquées dans son environnement, le résultat est le stress, la fatigue, l'angoisse, l'épuisement etc.

Tant que le métabolisme humain, a une réaction très limitée envers ces variations, il faudra donc la présence d'un moyen intermédiaire, qui facilite l'adaptation de l'être humain, avec son environnement, ce moyen n'est que l'architecture, celle-ci assure l'abri qui lui manque; et offre une possibilité d'améliorer le contexte vécu.

Cela nécessite avant tout une compréhension adéquate du « Climat », afin de pouvoir intervenir, par une architecture modifiant les conditions défavorables de l'environnement.

## II .1-Le climat :

Le climat est l'une des principales données de la morphologie ; des systèmes architecturaux et urbains.<sup>1</sup>

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.

**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.

---

<sup>1</sup>Méthode illustrée de Création architecturale.  
DUPLAY, Claire et Michel.1982

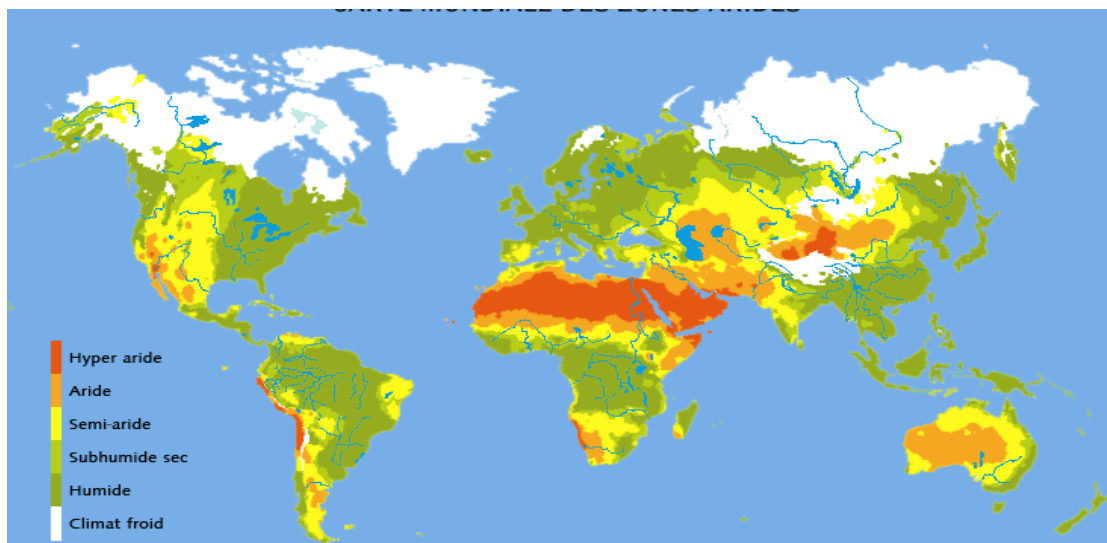
### II.1.1- Caractéristiques climatiques des zones arides et semi-arides:

#### 1- Climat aride :

On retrouve ce type de climat dans les versants ouest, des continents entre l'altitude suivante 20- 25° N et S (extrêmes 15- 30° N et S). Deux saisons caractérisent ce type de climat : une chaude et une deuxième très fraîche.

#### 2- Climat semi-aride :

Steppes aux latitudes basses, qu'on retrouve dans les zones équatoriales du désert. La végétation est également éparse, mais un peu plus abondante que dans le premier type. Ressemble au niveau du climat, au type aride avec une période sèche assez longue, et une courte période de pluie durant l'été. Les précipitations ont lieu en période (quantité annuelle variable, mais toujours inférieure à 500mm). Comme les précipitations ont lieu en période est à son maximum, elles ne sont pas très efficaces pour la végétation.



Figure(II.1): Zones arides et semi arides dans le monde.<sup>2</sup>

### II.1.2- Caractéristiques climatique de l'Algérie :

#### 1-Données géographiques :

D'une superficie de 2.381.741 Km<sup>2</sup>, l'Algérie présente une diversité de zones climatiques qu'on peut classer en trois catégories :

- Le Tell : climat tempéré humide de type méditerranéen.

<sup>2</sup> CRU/UEA ; UNEP/DEWA

- Les Hautes plaines : climat de type continental.
- Le Sahara : climat aride et sec.

## .2-Zones climatiques en Algérie :

L'Algérie occupe une vaste étendue territoriale, sa superficie dépasse les deux millions de Km<sup>2</sup>. Plus de 4/5 de sa superficie est désertique. D'où une large variété géographique et climatique allant du littoral au désert. La classification climatique en Algérie permet de distinguer quatre zones principales (voir figure II.2) :

Zone A : Littoral marin.

Zone B : Arrière littoral montagne.

Zone C : Hauts plateaux.

Zone D : Présaharien et saharien.<sup>3</sup>

Le littoral marin jouit d'un climat particulièrement tempéré, dû à l'action modératrice de la mer. Caractérisé par des hivers doux et pluvieux, et des étés chauds et humides avec de faibles amplitudes.

Le climat de l'arrière littoral montagne est plus froid en hiver, où l'altitude et l'éloignement de la mer entraînent une baisse de température et des amplitudes diurnes et annuelles. Les étés sont chauds et moins humides.

Or, le climat des hauts plateaux est relativement homogène, à tendance aride et très continentale. Ses hivers sont plutôt froids et longs qu'à la même altitude dans la zone A et B. Les températures sont très basses avec une fréquence de neige. Ses étés sont chauds et secs.

Le climat Présaharien ou saharien est caractérisé par l'intensité du rayonnement solaire et une faible humidité, d'où le caractère du climat aride. L'absence de nuages favorise une forte amplitude de température. La période froide est plus courte avec des jours modérés et des nuits très froides. L'été est très chaud et rigoureux, les températures atteignent les 45°C à l'ombre avec les vents intenses de siroco.

---

<sup>3</sup>MAZOUZ.Said. Elément de conception architecturale –Alger –Edition .O.P.U.2004 p176-177

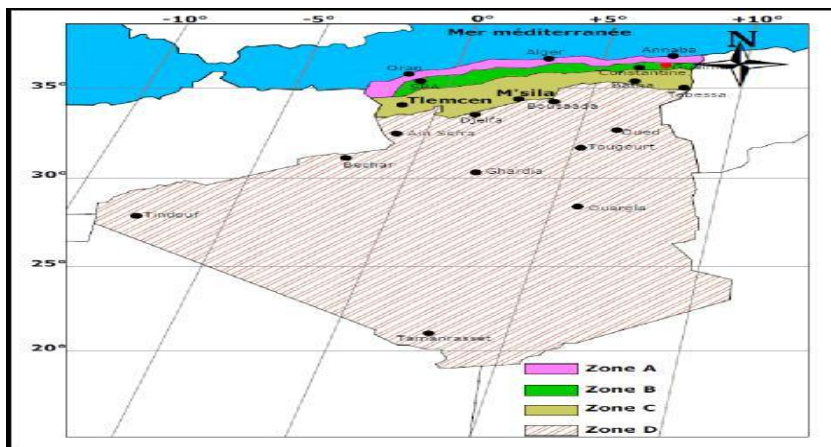


Figure (II.2): Classification du climat en Algérie.<sup>4</sup>

**3-Climat de la région d'Adrar :**

Adrar a un climat désertique chaud typique de la zone saharienne, hyper -aride, c'est-à-dire du cœur du Sahara, avec des étés très longs et extrêmement chauds et des hivers courts et modérément chauds. Le climat y est largement hyper -aride et extrêmement sec toute l'année puisque les précipitations annuelles moyennes sont environ de 15 mm. La sécheresse y est encore plus accentuée durant l'été où l'on enregistre 0 mm de précipitations entre mai et septembre. A des occasions exceptionnelles, des orages violents peuvent se produire à cause de masses d'air plus frais venant du nord qui rencontre les masses d'air brûlant venues directement du désert surchauffé pendant la journée. En été, la chaleur est extrême et prend un caractère persistant : les températures moyennes maximales sont supérieures à 46 °C en juillet (le mois le plus chaud) mais tournent plutôt autour de 50 °C entre juin et septembre.<sup>5</sup>

Tableau(II.1) : Données climatiques à la région d'Adrar.<sup>6</sup>

Mois	jan.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sep.	oct.	nov.	déc.	année
Température minimale moyenne (°C)	6,8	9,9	13,1	16,9	22,2	27,3	28,8	28,1	25,4	19,2	12,8	7,3	18,15
Température moyenne (°C)	13,7	17,7	21	25,7	30,5	35,6	37,5	36,8	33,6	27,5	19,9	14,1	26,14
Température maximale moyenne (°C)	20,6	25,4	28,9	34,5	38,7	43,9	46,3	45,4	41,8	35,7	26,9	20,9	34,12
Précipitations (mm)	2,3	1,3	2,6	4,1	0,3	0,1	0	0,2	0,2	1,5	0,6	1,4	14,6
Humidité relative (%)	38	33,7	26,6	22,5	18,1	13,6	12,1	12,7	16,8	23,9	31,7	39,6	24,11

<sup>4</sup> MAZOUZ Said.2004. Elément de conception architecturale –Alger –Edition .O.P.U.2004

<sup>5</sup> Zerrouki-Moussa-Doct. - Bibliothèque Centrale Université d'Ouargla.

<sup>6</sup>Statistiquesde1961 à 1990.



## II.2- Confort :

L'examen de la notion de confort thermique a pour objectif de situer le confort dans les espaces intérieurs pour les climats semi-aride (chaud et sec en été et froid en hiver).

Toutefois il faut souligner que le confort est tout ce qui contribue au bien être des individus par la commodité de la vie matérielle, intellectuelle et sociale.

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

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

### II.2.1- Confort Thermique :

L'intérêt porté à la notion de confort thermique date depuis le 19ème siècle avec la naissance du mouvement de la réforme des conditions de travail dans l'industrie et dans l'habitat. Les premières réglementations ont été établies aux endroits les plus touchés par les accidents et les maladies dues aux excès de chaleurs, d'humidité et d'obscurité, c'est-à-dire dû aux éléments de l'environnement.

Le confort thermique peut être défini comme l'absence de « gêne thermique » en psychologie, on dit qu'il y a confort thermique lorsque pour une activité sédentaire et un habillement donné, les systèmes thermorégulateurs n'ont pas à intervenir selon des taux dépassant des valeurs de seuils (sudation, métabolisme).

Le confort thermique peut être défini comme étant « l'état d'esprit qui exprime la satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique ».

Le confort thermique est le bilan équilibré entre les échanges thermiques du corps humain et de l'ambiance environnante.

Le confort thermique est d'abord un phénomène physique soumis à un faible part de subjectivité, il peut être défini comme une sensation complexe produite par un système de facteurs physiques, physiologiques et psychologiques, conduisant l'individu à exprimer le bien être de son état.<sup>7</sup>

#### 1- L'équilibre du corps avec son environnement :

L'équilibre du corps humain dépend :

- Des facteurs d'ordre individuel [activités – acclimatation –le vêtement....]
- Des facteurs de l'environnement [la température d'air - le rayonnement -L'humidité - le mouvement de l'aire]

La prise en compte de l'environnement relatif à l'individu nécessite la connaissance précise de quatre paramètres micro climatiques importants :

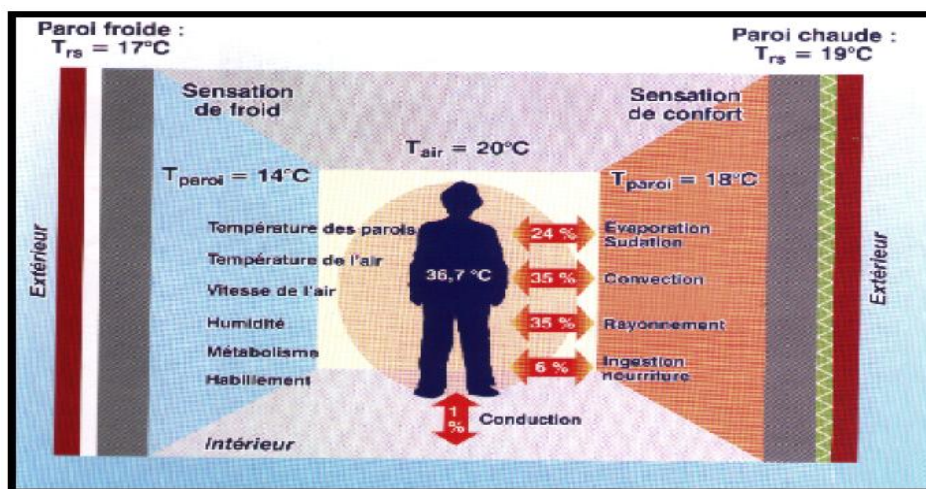
- température de l'air

<sup>7</sup>Thelier. F et al, Les outils d'évaluation du confort thermique, Journée SFT/ CSTB, 04/02/2003 Nantes

- température radiante moyenne
- humidité de l'air
- vitesse de l'air

## 2- Les exigences thermiques du corps humain :

La température du corps humain est pratiquement constante, quelles que soient les conditions d'ambiance ou l'activité physique. Elle oscille autour de  $36.7^{\circ}\text{C}$  (Alain Liébard et André DeHerde, 2003)<sup>21</sup>, l'effet du changement de la température est montré dans la fig. (II.3) Pour assurer l'équilibre thermique du corps humain, l'individu dispose d'un système de régulation qui lui permet de lutter contre le froid et la chaleur par des réactions appropriées (frissons, sudation, vasomotricité).



Figure(II.3) : échange thermique entre l'homme et son environnement.<sup>8</sup>

## 3-Définition de chaleur :

La chaleur est une forme d'énergie créée par l'agitation moléculaire intense d'un milieu.

Cette agitation peut-être produite par une combustion, un passage d'un courant électrique, une réaction chimique, la compression d'un gaz, le frottement de deux matériaux, ou enfin l'excitation due à l'effet des micros on des sur certaines molécules (eau).

### 3.1 –Chaleur sensible:

Concerne l'élévation ou la baisse de température d'un corps.

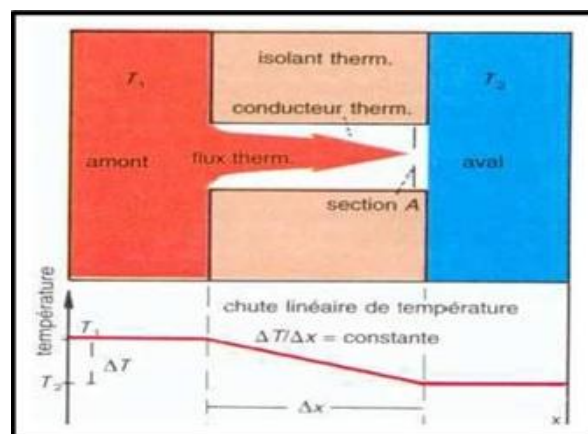
<sup>8</sup> Architecture et climat

### 3.1 –Chaleur latente:

Concernes les changements d'état de la matière sans variation de température (chaleur total=chaleur sensible+chaleur latente).

### 4-Quantité de chaleur:

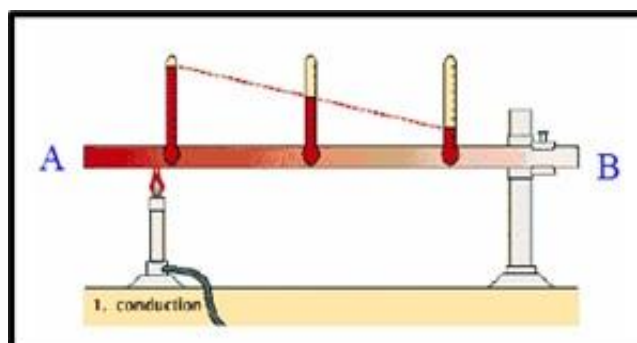
C'est l'énergie calorifique .Elles' exprime en joule(J) ou en wattheure(Wh) ( $1\text{Wh}=3,6\times 10^3\text{joules}$ ,  $1\text{j}=0,278\times 10^3\text{Wh}$ ).



Figure(II.4) : Flux de chaleur.

### 5-Modes de transfert de chaleur:

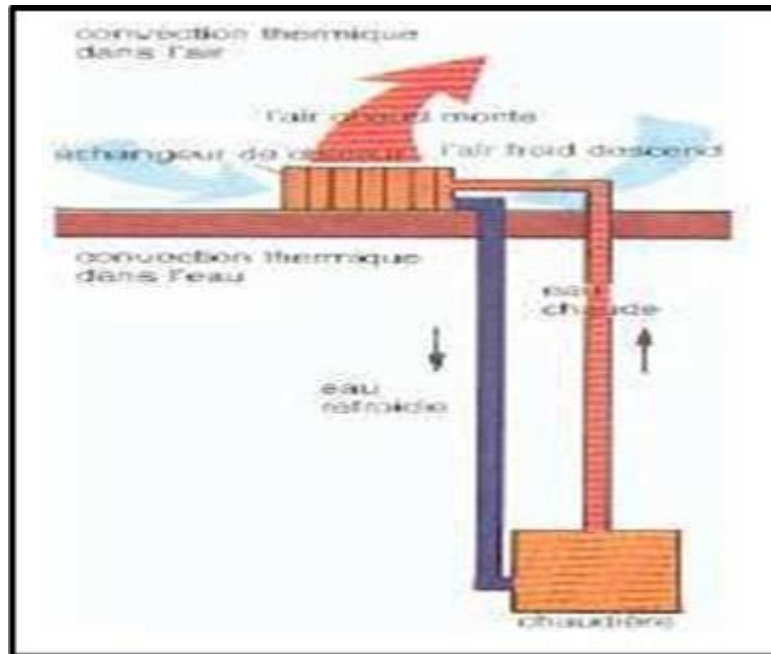
**5.1-Conduction:** La chaleur et sans déplacement de matière, par contact moléculaire entre un ou plusieurs corps qui se touchent .Il suffit de chauffer l'extrémité d'un morceau de métal pour que les chaleurs'ypropageFig-II-5



Figure(II.5) : Conduction thermique

### 5.2-Convection:

Convection: Mécanisme propre aux fluides. Au contact d'un corps chaud, le fluide se met en mouvement et se déplace vers le corps froid où il perd son énergie calorifique. Créant ainsi un mouvement de convection qui peut-être naturelle ou forcée Fig.-(II.6)



Figure(II.6) : Convection de chaleur.

**5.3 - Rayonnement :** Quelle que soit sa température, un corps rayonne de la chaleur vers d'autres corps plus froids à travers des milieux. Tels que l'air ou le vide. Mais un corps qui serait porté à 0 K ne rayonne plus.

### II.2.2-Les facteurs influents sur le confort :

#### 1-L'inertie thermique :

La définition de « inertie » donnée par le Robert précise : « Inertie thermique : capacité d'un matériau à accumuler puis à restituer un flux thermique ». L'inertie thermique, constituée par tous les éléments lourds situés à l'intérieur du volume à chauffer, permet un amortissement et un déphasage (décalage dans le temps) des variations de la température extérieure et intérieure.

L'inertie thermique est la capacité physique d'un matériau à conserver sa température.

L'inertie thermique d'un bâtiment est recherchée afin de minimiser les apports thermiques à lui apporter

pour maintenir une température constante. L'inertie thermique est importante pour assurer une ambiance climatique confortable pour ses occupants.

Un bâtiment à forte inertie thermique équilibrera sa température en accumulant le jour, la chaleur qu'il restituera la nuit pour assurer une température moyenne.

Les matériaux à forte inertie thermique sont utilisés pour accumuler la chaleur ou la fraîcheur (radiateur à accumulation, radiateur à inertie thermique, isolants à forte densité, briques réfractaires, etc.).

### **2-L'inertie thermique et l'isolation:**

Les matériaux isolants ont une haute valeur de résistivité thermique, ce qui signifie qu'un composant du bâtiment avec une couche d'isolation a une faible conductance thermique. Les tissus d'ameublement peuvent se comporter aussi comme un isolant. Il devrait être noté que, quant en considérant la masse structurelle disponible pour le stockage thermique, les éléments constructifs qui sont isolés de l'air intérieur par exemple sols couverts par les moquettes, etc ne devraient pas être prises en considération pour les besoins de stockage. Une matière isolante produira une montée dans la température sur la surface exposée à l'onde de chaleur, mais transférera une très faible quantité vers la couche intérieure, alors qu'une matière dense très conductrice conservera beaucoup plus de chaleur avec une petite augmentation dans sa température.

Les faibles valeurs de K signifient que le composant a un haut total de résistance thermique (R), cette caractéristique peut représenter le degré d'isolation dans un tel composant de bâtiment. Carlo et al en 2003 décrivent les simulations portées pour l'établissement des recommandations des propriétés thermiques de l'enveloppe du bâtiment, pour être employées avec l'énergie efficace par le Code nouveau de bâtiments de la ville de Salvador, localisée dans le Nord-est de Brésil. Parmi autres paramètres thermiques, l'étude a essayé d'estimer des limites de conductance thermique de murs pour cette région. La consommation d'énergie dans les bâtiments commerciaux a été utilisée comme un paramètre de comparaison.

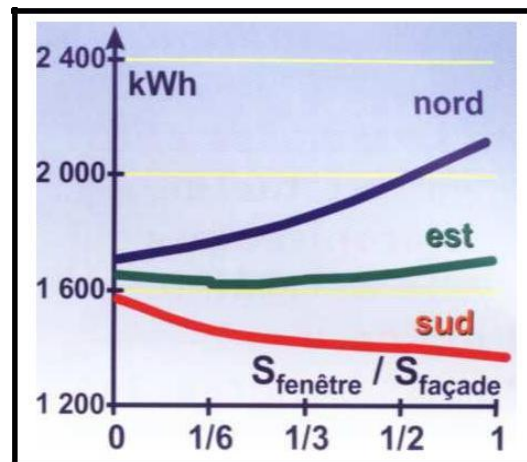
### **3- L'orientation et la forme du bâtiment:**

L'orientation d'un bâtiment répond à plusieurs critères: les besoins en lumière naturelle, l'intérêt d'utiliser le rayonnement solaire pour le chauffage, ou au contraire la nécessité de s'en protéger pour éviter la surchauffe, la protection du vent en hiver ou en tiré profit pour le rafraîchissement d'été, sont autant de paramètres importants pour le choix de l'orientation.

Aussi, la forme compacte, la réduction de la surface d'échange avec les variations climatiques permet de réduire la surface exposée avec l'environnement extérieur. Danby affirme qu'une forme

rectangulaire avec trois élévations dans la direction de la plus grande pénétration des gains solaires donne de meilleurs résultats.

Une construction adaptée aux contraintes du bâtiment permet de réduire les consommations de chauffage et d'éclairage en hiver. Illustre ce dernier point en comparant les besoins annuels de chauffage d'une habitation selon l'orientation et la proportion de ses vitrages (rapport de la surface vitrée à la surface de la façade). D'après la figure, une diminution des besoins de chauffage pour l'orientation sud alors qu'ils ne cessent d'augmenter pour l'orientation nord.<sup>9</sup>



Figure(II.7) : Variation des besoins annuels de chauffage d'une habitation en fonction de l'orientation et de la proportion de surface vitrée.<sup>10</sup>

Aussi l'orientation avec une forme du bâtiment adéquate, permet minimiser les gains de chaleur en été. Gellert Cuba a proposé son concept de l'axe thermique minimal, il a démontré qu'un bâtiment rectangulaire à Khartoum peut être orienté jusqu'à 20° de la normal de l'axe recommandé est-ouest sans qu'il y ait une augmentation des gains solaires. Kuba se conclut que la distribution asymétrique de la radiation solaire en climat chaud peut être utilisée dans la sélection de l'orientation et la forme des bâtiments pour donner de plus petites surfaces verticales irradiées envers la pénétration maximale des gains solaires.

L'influence positive de l'orientation sur le bilan thermique annuel présente un intérêt capital. En plus des apports solaires, l'orientation au sud peut contribuer à diminuer les pertes par infiltration d'air par les huisseries (vents d'hiver du nord-ouest). Les ouvertures à l'est ont l'avantage de favoriser le réchauffement matinal de la maison, et les premiers rayons du soleil peuvent être une composante psychologique agréable. Au contraire, les calories récupérées par les fenêtres à l'ouest arrivent en fin de

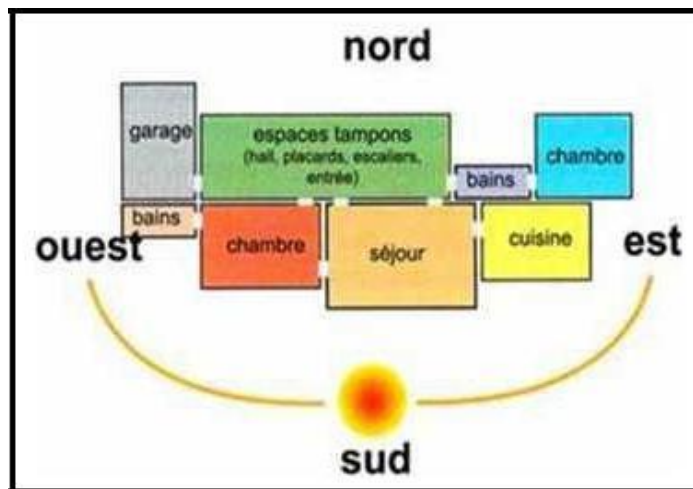
<sup>9</sup> <http://www.futura-sciences.com/magazines/maison/infos/dossiers/d/batiment-inertiethermique-clé-maison-870/>

<sup>10</sup> /guide-de-l-architecture-bioclimatique-a Liebard, De Herde, 1996

journée et risquent de provoquer des surchauffes en automne et au printemps, surtout si l'on a de grandes baies vitrées. G.S.Yakubu, S.Sharples 1992 ont vérifié l'effet important de l'orientation ouest sur l'élévation de la température intérieure.

D'après E. Durant « Une construction intelligente doit tenir compte de l'environnement climatique : soleil, vent, pluie, orientation des pièces en fonction de leur usage ».

La conception intérieure des espaces joue également un rôle primordial pour une bonne isolation thermique. L'A.D.E.M suggère des "zones tampons" aménagées au côté nord, afin de réduire l'impact du froid. Des pièces peu utilisées comme la salle de bain, garage, buanderie, escaliers, couloirs, etc. constituent des zones tampons idéales. Sud, sud est et sud ouest pour les pièces principales; nord pour les pièces de service Fig.- II.8.



Figure(II.8) : Orientations favorables des pièces.<sup>11</sup>

#### 4-L'isolation thermique :

L'isolation thermique désigne l'ensemble des techniques mises en œuvre pour limiter les transferts de chaleur entre un milieu chaud et un milieu froid. L'isolation thermique est utilisée dans de nombreux domaines incluant notamment : le bâtiment (maintien d'une température de confort à l'intérieur des habitations), l'industrie, l'automobile, la chaîne du froid, la cuisine et le textile.

Un isolant thermique est un matériau qui permet d'empêcher la chaleur ou le froid de s'échapper d'une enceinte close. Son contraire est un conducteur thermique. L'isolation thermique permet de minimiser la consommation d'énergie nécessaire à maintenir la température requise.

<sup>11</sup> A.D.E.M, 2000



Les isolants thermiques sont essentiellement caractérisés par leur résistance thermique et leur inertie thermique. Ils permettent d'éviter les déperditions ainsi que le phénomène de pont thermique.

Les isolants thermiques sont caractérisés par une valeur R de résistance thermique du produit isolant (en  $m^2C/W$ ) en établissant le rapport entre l'épaisseur du matériau en mètres et son coefficient lambda de conductibilité (en  $W/m^2C$ ). Pour qu'un produit soit qualifié isolant, il faut que le coefficient R soit au moins égal à 0,5  $m^2C/W$ , soit 2 cm d'isolation avec des produits standards de type polystyrène ou laine minérale.

D'autres part à l'échelle du micro climat, plusieurs chercheurs comme Houdson, 1976; Konya, 1980; Cook, 1981; Fowler et Burr, 1981; Fardaheb, 1987; Marhoud, 1987; Al Azzaoui, 1990 insistent que les effets de l'orientation majeurs des rues dans les directions est-ouest, favorisent pour les façades un minimum de gains solaires pour celles orientées nord et un meilleur contrôle de ces apports pour celles orientées au sud.

### **Conclusion :**

La prise en compte des besoins des utilisateurs, peut se faire selon plusieurs approches. Le confort thermique est une question d'appréciation relativement subjective et varie selon les conditions environnementales. L'approche basée sur la contrainte thermique et la réponse physiologique de l'organisme est la plus complexe mais la plus exhaustive.

En complément, la conception d'une construction doit donc être adaptée aux contraintes du poste et au type d'activité. De nouvelles techniques d'isolation ou de construction constituent une amélioration de la qualité globale des ouvrages.



# Chapitre III :

Identification des matériaux utilisés et

caractéristique thermomécanique

### **-Introduction :**

Les vieux bâtis sont construits à une époque où les enjeux environnementaux, n'étaient pas une préoccupation majeure des pouvoirs publics, une époque où les outils de mesure, d'évaluation, de modélisation et de simulation numériques, des ambiances internes n'existaient même pas, une époque où les procédés et les matériaux de construction n'étaient pas aussi développés qu'aujourd'hui ; et après une période de 100 ans ou plus ils ne sont pas gravement dégradés ; ce qui revient aux techniques de construction utilisées. ADRAR se situe dans une zone aride (sèche et chaude) en été. Dans le passé, les outils de conditionnement d'air n'étaient pas disponibles, cependant ces bâtis ont été capables d'assurer le confort des occupants naturellement grâce à des matériaux utilisés et des techniques de constructions spécifiques.

Dans ce chapitre on va donner un aperçu, sur les matériaux locaux qu'on va utiliser dans notre travail, et ensuite on va présenter comment les vieux bâtis sont construits, avec ces matériaux et à la fin on va identifier ces matériaux mécaniquement et thermiquement.

### **III.1- Les matériaux locaux :**

L'histoire des matériaux de construction, remonte à plusieurs millénaires. Son apparition précoce et son développement sont liés aux ressources offertes par la géologie, notamment aux matières premières nécessaires à ces premières manifestations de l'industrie humaine, qui doivent être largement disponibles, peu onéreuses, faciles à exploiter et à transporter. Ces matières premières consistent principalement en matériaux dits de "carrière": pierres et granulats, sables, calcaires, argiles, gypses, feldspaths,... qu'ils soient exploités à l'air libre ou en souterrain. Ces matériaux ont été mis en œuvre suivant différentes techniques, selon les régions et en fonction de ses caractéristiques, pour améliorer celles-ci, la terre a parfois été additionnée par de matériaux d'origine minérale ou végétale ou même animale<sup>1</sup>.

Bien qu'un grand nombre de matériaux soit connu depuis fort longtemps, leur étude a débuté très tard, car l'homme a disposé rapidement d'une grande variété de substances pour tous ses besoins courants, sans avoir à entreprendre de recherches approfondies.

#### **-Qu'est-ce qu'un matériau local?**

C'est un matériau qui répond aux critères environnementaux ou socio-environnementaux, tout au long de son cycle de vie (c'est-à-dire de sa production à son élimination ou recyclage)<sup>2</sup>

Un matériau local peut être défini par son lieu d'extraction et son lieu de production. Il est possible de se baser sur la définition qu'en donne le conseil canadien du bâtiment durable. La certification LEED-NC propose de fixer la limite géographique pour définir un matériau local à 800 km, et passe à 2400 km si le transport est effectué par bateau.

Ces matériaux présentent de nombreux avantages (création d'emplois locaux et non-délocalisables, qualité de vie dans l'habitat et pour les ouvriers lors de la construction, faibles répercussions environnementales, moindre ponction sur les ressources naturelles, diminution de

---

<sup>1</sup> Caractéristiques physique-chimique par samia kherfi.2012

<sup>2</sup> [www.eco-habitat.com](http://www.eco-habitat.com)

l'empreinte écologique de la construction, et réduction du bilan en termes d'émissions de gaz à effet de serre).

### III.1.1-Construction en matériaux locaux :

Les édifices historiques ont été bâtis avec des techniques, et des matériaux d'une manière empirique au cours des siècles historiques .suivant des critères conditionnés par la culture propre à chaque contexte historique mais, aussi par la disponibilité des matières premières de l'environnement immédiat.

Afin d'obtenir les notions de constructions traditionnels à Tamentit, on a pris des mesures, des photos et des remarques de :

- Les murs sont construits avec d'adobe et gré, ils ont une nature friable, et croquet ils sont épais avec 100 cm d'épaisseur, et une hauteur de 10 m.Ils sont épais car ils sont utilisés comme des armoires aussi ; selon un vieux homme de la région.



Figure(III.1) : Mur extérieur (auteur).

- Les murs cloisons sont minces, que les murs extérieurs  $e=40$  cm et une hauteur de 116 cm.



Figure(III.2) : Mur cloison.

- Les arcades avec un périmètre de 135 cm.



Figure(III.3) : Des arcades à Tamantit (auteure).

- Soubassement de 57 cm avec de gré car le gré ne se dissous pas avec de l'eau.



Figure(III.4) : Soubassement de 75cm (auteure).

#### La deuxième place :

On a visité une autre place dans Tamentit, et la plus importante remarque est la suivante :

Les planchers sont réalisés du (leaf), et de palmiers d'une forme triangulaire ; ils sont disposés selon deux positions selon X, et selon Y, comme il est indiqué dans la figure(III.5).

- Il est remarquable que la disposition, des palmiers selon l'axe Y provoque le fléchissement des palmiers à cause de l'inertie faible.



Figure(III.5) : Planchers en palmiers (auteur).

#### Ksar BOUSLAH :

Les poteaux sont inexistants, ils croisent l'adobe afin d'attacher les murs.



Figure(III.6) : Mur sans poteaux (auteur).

- Les ouvertures dans les murs et les fenêtres sont petits, afin de minimiser l'apport des rayons solaires ; donc réduire la température induite par ces rayons.



Figure(III.7) : Fenêtre de (40\*40\*84) cm.et trou dans le mur (auteur).

- Les vieux bâtis ont un tissu compact, afin de créer de l'ombre et minimiser les surfaces extérieures exposées au rayonnement solaire.





Figure(III.8) : Le tissu compact à TAMNTITA (auteur).

- Les murs sont couverts par un enduit qui s'appelle AGHAREF ; il se gonfle et se durcit quand il absorbe de l'eau donc il protège les murs en argile.

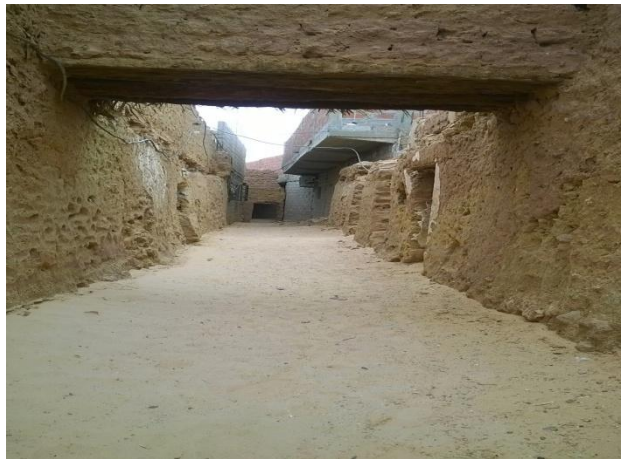


Figure (III.9) : mur couverts avec enduit (Agharafe) (auteure).

- Le bâti ancien, qui remonte parfois jusqu'à l'époque médiévale, constitue en effet un parc immobilier spécifique. Les procédés constructifs sont intelligents et adaptés au climat local ; et les matériaux utilisés sont bien exploités.

Ils possèdent des qualités architecturales usant de moyens simples mais performants, répondants positivement aux sévérités climatiques. En période caniculaire, la forte inertie des matériaux est capable d'atténuer les variations de température en stockant la chaleur excessive des journées d'été pour la restituer la nuit.

### III.1.2-Définition des matériaux locaux utilisés :

#### 1-L'argile :

Parmi tous les matériaux naturels que nous trouvons sur la face de la terre, les argiles sont parmi les plus fascinants. La fertilité du sol est déterminée en grande partie par la présence d'argile. Au-delà de son importance, l'argile est utilisée depuis des millénaires en tant que matériau de construction et il est

le matériau le plus expérimenté. Depuis des centaines d'années, à cause de sa résistance et sa haute qualité.

### *1.2-Les origines des argiles :*

Elles proviennent toutes de la décomposition de minéraux silicatés qui forment les roches. Cette décomposition appelée aussi altération est réalisée par les agents atmosphériques et principalement l'eau. Historiquement, en géologie et science du sol, le terme argile correspond à l'ensemble des minéraux présentant une taille inférieure à 2 µm dans une roche. Cette coupure granulométrique invisible à l'œil est héritée des études pétrographiques effectuées par microscopie optique à la fin du XIXe siècle. Les cristaux présentant alors une taille inférieure à 2 µm n'étaient pas reconnaissables et classés sous l'appellation argile. Aujourd'hui, l'appellation argile diffère en fonction des domaines d'étude. Ainsi, en géotechnique où l'on s'intéresse avant tout au comportement mécanique des sols, on désigne par argile les matériaux de granulométrie inférieure à 4 µm (entre 4 et 50 µm, on parle de limon). En science des argiles, l'argile ne correspond pas à une coupure granulométrique, mais à des minéraux. Le terme est alors utilisé pour décrire les phyllo silicates et plus particulièrement les minéraux argileux.<sup>3</sup>

### *1.3-Définition des argiles:*

Les argiles sont des roches silicatées en feuillets (phyllo silicates), riches en alumine et plus ou moins hydratées. Elles forment seules ou composent, en association avec d'autres roches, plus de 50 % des roches sédimentaires. Elles présentent comme des particules extrêmement fines (de l'ordre de 2 µm de diamètre), ayant dans l'eau ou la solution des sols des propriétés colloïdales (dispersion, floculation, adsorption), de fortes affinités avec l'eau (absorption : un mètre cube d'argile contient environ 500 l d'eau, soit près de la moitié de son volume, mais n'en restituera que quelques litres) ce qui leur confère une bonne plasticité, des propriétés importantes de compaction par expulsion d'eau. Les argiles imbibées d'eau sont imperméables.

### *1.4-Identification :*

L'argile qui provient du gisement de la région d'ADRAR est caractérisée par différentes analyses physicochimiques (diffraction des rayons X spectroscopie infrarouge MEB, composition chimique). Les résultats montrent que l'argile est constituée essentiellement d'illite et d'une faible quantité de Kaolinite. Sa formule structurale déduite est  $(\text{Si}_{5.26}\text{Al}_{1.22}) (\text{Fe}_{2.47}\text{Mg}_{0.11}) (\text{Ca}_{0.13}\text{Na}_{0.02}\text{K}_{0.4})$ . Les valeurs déterminées de sa capacité d'échange cationique est sa surface spécifique qu'on a mesuré et par la méthode au bleu de méthylène et par adsorption d'azote respectivement sont conformes à celle de la littérature pour une élite.

Les résultats de l'application des modèles de Freundlich et de Langmuir indiquent que le modèle de Freundlich convient pour décrire l'adsorption de 2.4 DCP sur I-DTAB.

## **2-Adobe :**

---

<sup>3</sup> L'argile, son utilisation MABD biodynamique



Figure (III.10) :Maisons d'Adobe à Tamantit(auteur).

La terre à l'état de pâte plastique souvent amendée de paille ou autre fibres, moulé sous forme de briques séchées au soleil. L'adobe est le matériau naturel de construction pour une majorité de citoyens burkinabè ? Toutefois, ils la considèrent comme une passade en raison des préjugés qu'elle véhicule. Pour autant, c'est une technique de construction éprouvée empiriquement, techniquement et scientifiquement. Elle dispose de ressources didactiques pour pouvoir être enseignée ou valorisée comme tous les autres matériaux. De plus, la justification du choix de l'adobe ici comme moyen d'émulation de la filière terre l'est à plusieurs titres : économique, social, technique, environnemental, ... Cependant, le choix de l'adobe comme celui de tout autre matériau dans la construction ne doit en aucun cas faire oublier que chaque matériau a ses spécificités et tous ont un point commun: ils nécessitent d'être entretenus. A ce titre, il est important de rappeler ici que l'emploi de l'adobe a des contraintes qu'il faut prendre en compte<sup>4</sup>.

### 3-Les grès :



Figure(III.11) : Utilisation de grès comme un soubassement (auteur).

#### 3.1--Formation :

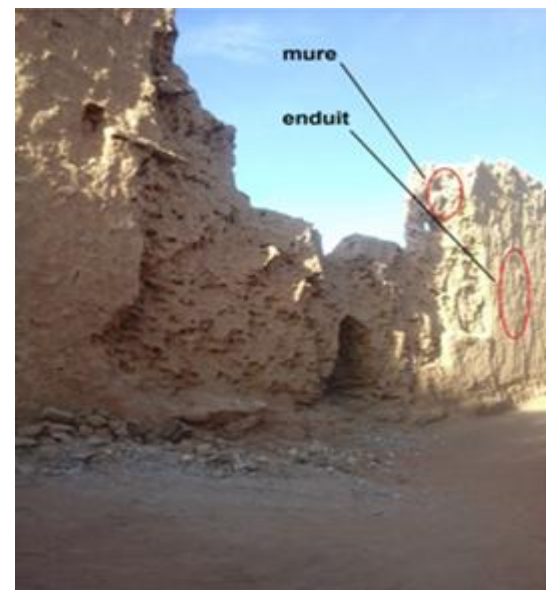
La cimentation des grains se fait par précipitation et cristallisation des sels dissous dans l'eau interstitielle. On appelle ce processus la « grésification ».

<sup>4</sup> Étude du comportement physico-mécanique du bloc de terre comprimée . Thèse de Doctorat en Sciences Spécialité : Génie Civil. 14/12/2014

Les grains, et le ciment entre ces grains peuvent avoir une composition différente selon l'origine et l'histoire de ce grès. Les dépôts successifs de sable se retrouvent dans la stratification du grès. La roche prend des couleurs différentes en fonction de la présence d'oxyde de fer.

### 3.2-Définition :

Les grès sont des roches sédimentaires détritiques composées d'une grande majorité de grains de quartz. Ils proviennent de la consolidation d'un ancien sable meuble. Cette diagenèse s'opère par circulation d'eau, dépôt d'un ciment naturel entre les grains et compaction. Cette cimentation progressive peut combler en totalité ou seulement en partie les espaces entre les grains. De ce fait, certains grès conservent une porosité importante. La nature du ciment qui lie les grains varie d'un grès à un autre : siliceux, calcaire, ferrugineux... Les arkoses sont des grès riches en feldspaths. Les grès très riches en quartz et très durs sont souvent qualifiés de grès quartziques, comme le grès d'Erquy dans les Côtes d'Armor, par exemple. Un quartzite est une roche très



Figure(III.12) : l'utilisation d'agharafe comme enduit (auteur).

compacte et très dure dans laquelle les grains de quartz sont très soudés et totalement imbriqués les uns dans les autres. Les quartzites peuvent avoir une origine strictement sédimentaire, mais peuvent aussi provenir du métamorphisme d'un ancien sous l'effet de la pression et de la chaleur<sup>5</sup>.

### 4-l'enduit (Agharef):

C'est un matériau composé d'un pourcentage d'argile, et un pourcentage de sable de sebkha, et l'eau, et après fermentation il devient prés utilisé. Il est souvent utilisé après broyage dans le vieux bâti comme enduit, car il a un caractère qui durcie quand, il se mouille alors il va protéger les murs qui sont en agrile. Il se trouve en profondeur de la sebkha, il est constitué d'argile et de sels. Nous allons l'identifier par des essais chimiques et minéralogiques.

#### 4.1- Essais expérimentaux :

On a réalisé quelques essais chimiques au niveau de laboratoire de l'université afin d'identifier l'enduit (Agharef) chimiquement.

#### a/1<sup>er</sup> essai : séparation par centrifugation

<sup>5</sup> CTMNC, Quelques notions de geologies. Document prepare par F.Michel (geologies)

On a broyé 139.2 g de Agharef, et on le dissout dans 250 ml de l'eau distillée pendant une heure ; en suite on a divisé la solution en 5 parties, dans des petits éprouvettes, et on les a mis dans la centrifugeuse (9000 tour/min) pendant 3 minutes. Cet appareil sert à séparer la matière solide de celle liquide, après les 3 minutes on obtient une solution transparente avec un sédiment marron.



Figure (III.13) : décentration d'argile avec la centrifugeuse, bloc chimique .unv d'ADRAR (auteur).

#### **b/2<sup>ème</sup> essai : Détection de acide de clore**

On prend 5 ml et on l'ajoute à 95 ml d'eau distillée (on a 1000 ml de solution dilatée). De cette solution on prend 2 parties de 5 ml ; dans la première partie on ajoute des gouttes de HCl : la solution n'a pas réagi, donc le pourcentage de calcaire est faible. Dans la 2<sup>ème</sup> 5 ml on ajoute des gouttes de nitrate d'argent et pendant moins d'une minute, on obtient un sédiment blanc ; ce qui signifie que cette solution est riche en chlore.

#### **c/3<sup>ème</sup> essai : Détermination du pourcentage des sels**

On prend 100 ml d'eau de la solution non diluée, et on l'a met dans l'étuve pendant 24 heures et après le séchage complet on pèse la quantité de sel déposé :

$$\text{Masse d'eau + tare} = 104,54 \text{ g}$$

$$\text{Masse de la tare} = 4,54 \text{ g}$$

$$\text{Masse sèche + tare} = 44,88 \text{ g}$$

$$\% \text{ des sels dans cette } 100 \text{ ml} = (40,34/100).100\% = 40,34\%$$

#### **2-Composition chimique :**

Selon les analyses réalisé par les éléments de laboratoire LNRH, les type de sels contenu dans Agharef sont : 95% d'acide de clore (NaCl) et 5% et des sels suivantes :

- Sulfates.
- Chlorure.
- Bicarbonate de soude.

-sodium.

-Potassium

### III.2-Préparation d'échantillon :

Dans le but d'obtenir des résultats thermiques, et mécanique, on a préparé des échantillons avec des matériaux, et des pourcentages différents ; et des formes adaptées aux appareils de mesures.



Figure(III.14) : la pesée d'échantillon (auteur).

#### III.2.1-Les échantillons pour l'identification thermique :

On a préparé des échantillons a propos de l'identification thermique

**1er échantillon** : on a mélangé 12% de sable de sebka, et 88% d'argile, avec 3 litres d'eau, jusqu'à l'obtention d'une pate homogène, alors on a mis la pate dans le moule de dimensions (30\*30\*3.7) cm.

Et enfin on à la laisse sécher à l'air libre.

**2ème échantillon** : c'est l'échantillon témoin, on a mélangé 33% argile, et 67% sable avec, 2.5 litres d'eau jusqu'à ce que la pate est bien homogénéisée, on a la met dans le moule et la laisse sécher à l'air libre.



Figure(III.15) : l'homogénéité de la pate (auteur).

**3ème échantillon** : on prend 50% de volume de moule des fibres de palmier (4cm de longueur), et on le mélange avec 75% sable de sebka, et 25 % d'argile, avec 2.5 litres d'eau, Jusqu'à l'homogénéité de la pate et enfin en le laisse à l'air libre pour le séchage.

**4eme échantillon** : on a mélangé 25% de sable de sebka, et 75% d'argile, avec 3 litres d'eau, jusqu'à l'obtention d'une pate homogène, alors on met la pate dans le moule de dimensions (30\*30\*3.7) cm, et à la fin on a le laisse sécher à l'air libre.

**5ème échantillon** : on a mélangé 50% de sable de sebka, et 50% d'argile, avec 3 litres d'eau, jusqu'à l'obtention d'une pate homogène, alors on met la pate



dans le moule de dimensions (30\*30\*3.7) cm , et à la fin on a le laisser sécher à l'air libre.

**6ème échantillon** : on a mélangé 75% de sable de sebkha, et 25% d'argile, avec 3 litres d'eau, jusqu'à Figure(III.16) : moulage d'échantillon (auteur).

l'obtention d'une pate homogène, alors on met la pate dans le moule de dimensions (30\*30\*3.7) cm, et à la fin on le laisse sécher à l'air libre.

**7 Emme échantillon** on a broyé Agharafe, et le malaxer avec 1.5 litre d'eau, et on le met dans le moule et laisser le sécher à l'air libre.

**8 Emme échantillon** on a pris une roche de grés, et on a la transformer suivant les dimensions de moule de boîte chaude (30\*30\*3.7) cm.



Figure(III.17) : moulage de grés avec la technique de frottement manuel (auteur).

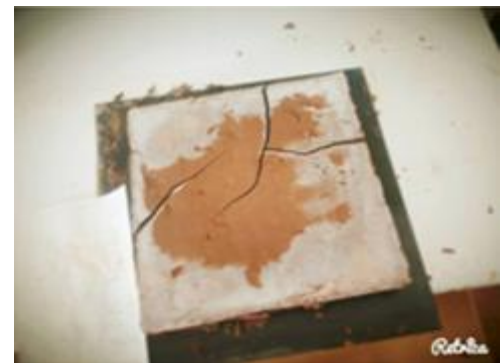
**Après séchage :**



Figure(III.18) : Agharafe après séchage (auteure).

L'échantillon de Agharafe a été fissuré et n'a pas adhéré car il a été déjà durci donc les réactions chimiques entre composants ne pas être faites une deuxième fois. Le premier et le cinquième échantillon ont été fissurés et se reviennent de grande pourcentage d'argile.

- Le 5<sup>em</sup> échantillon a été fissuré ; à cause de la température élevée.



Figure(III.19) : l'échantillon fissuré (auteur).





Figure(III.20) : l'échantillon fissuré (auteur).

### III.2.2-Les échantillons pour l'identification mécanique :

On a préparé 6 échantillons de mêmes compositions que les échantillons du thermique mais avec une teneur en eau de 30% et on les a compacté dans le moule cylindrique de 6 cm de rayon et une hauteur de 12 cm.



Figure(III.21) : homogénéité de pâte (auteur).

On aussi former le gré afin d'obtenir une roche cubique de 9 cm de côté.



Figure(III.22) : moulage de grés avec la technique de frottement manuel (auteur).

**-Après séchage (une semaine) :**

On écrase l'échantillon cubique composé de 75% de sable de sebka, et 25% d'argile il nous a donné 1.8 kN, et après une quinzaine de jours ,et arrosage il nous donne 4.921 qui signifie que cette composition a le même caractère que l'enduit (Agharef) ,en plus elle a la même couleur que AGHAREF.



Figure(III.23) : compression d'échantillon de 75%S+25%A (auteur).



Figure(III.24) : comparaison visuel de l'échantillon de 75% sable avec l'Agharafe.

### III.3-Identification thermique :

A propos de déterminer les caractéristiques thermiques des matériaux, on a utilisé la boîte chaude.

#### III.3.1-Module pédagogique d'étude de la conductivité thermique des matériaux de construction - H112N6 :

##### 1-Description :

Module d'étude de la conductivité thermique des matériaux de construction pour banc pédagogique d'étude des méthodes de transmission de chaleur H112.



Figure(III.25) : module pédagogique (auteur)

##### 2-Appareil de détermination de la conductivité thermique de matériaux de construction :

Le module permettra de faire des études comparatives sur la conductivité thermique de matériaux de construction, et effectuer des travaux pratiques avec manuel d'exploitation pédagogique complet avec travaux pratiques (TP).



Figure(III.26) : banc pédagogique de mesure (auteur)

##### 3-Banc pédagogique d'étude des méthodes de transmission de chaleur :

Banc pédagogique d'étude des méthodes de transmission de chaleur série H112 comprenant un boîtier de contrôle et d'instrumentation avec alimentation électrique (ref H112).

Le banc devra permettre les exploitations pédagogiques suivantes:

- Mesure rapide de la conductivité thermique de matériaux ayant une résistance thermique compris dans une gamme de 0.1 à 1.4 m<sup>2</sup> K/W. (Résistance = épaisseur/conductivité).
- Mesure de la résistance thermique de matériaux de construction.
- Mesure de la résistance thermique d'échantillons fins empilés de matériaux de construction.

<sup>6</sup> Equipement pédagogique pour l'enseignement technique

III.3.2-Mesures et calculs :

L'appareil nous donne les résultats suivants :

Tableau(III.1) : Les données de l'appareille.

Le mélange	Grés	S=75%+ A=25% e=1.5	S=25%+A =75% e=2.5 L	S=25%+ A=75%+ fdam e=2.5	Echantillon témoin
T1 °C	42.1	42.2	42.3	42.5	
T2 °C	24.6	26.3	26.6	23.1	
T3°C	24.7	22.5	24.7	21.5	
T °C	33.35	34.25	33.50	24.4	
dT °C	17.5	15.9	17.6	19.4	16.1
PV °C	45.0	45.1	45.1	45.0	
HfM (mv)	8.2	8.9	11.9	10.9	

On a mesuré les grandeurs suivantes :

Tableau(III.2) : Les résultats des grandeurs.

Le mélange	Grés	S=75%+ A=25% e=1.5	S=25%+A =75% e=2.5 L	S=25%+ A=75%+ fdam e=2.5	Echantillon témoin
Is (m)	0.036	0.035	0.037	0.037	
V( m3)	3.24*10 <sup>-3</sup>	3.15*10 <sup>-3</sup>	3.33*10 <sup>-3</sup>	3.33*10 <sup>-3</sup>	
M (kg)	6.755	6.81	5.55	7.22	5.85

**III.3.3-Des notions importantes :**

Avant les calculs il faut illustrer des notions indispensables

**1-Conductivité thermique d'un matériau :**

Définition: La conductivité thermique ou conductibilité thermique est une grandeur physique caractérisant le comportement des matériaux lors du transfert thermique par conduction. Notée  $\lambda$  (ou  $k$  en anglais). Elle représente la quantité de chaleur transférée par unité de surface et par unité de temps sous un gradient de température de 1 degré par mètre.

Pour bien comprendre le phénomène de conductivité thermique, nous pouvons reprendre l'exemple de la flamme. Si la même expérience est reproduite avec un morceau de bois (bonne voire excellente résistance à la conductivité thermique), la brûlure aux doigts arrivera bien après celle de la tige métallique, et ce n'est peut-être même pas par conductivité thermique mais simplement par le fait que le bois va brûler et se consumer. Car le bois, contrairement à la tige métallique, va se dégrader et risque de prendre feu à un moment.

La conductivité thermique de quelques matériaux :

Tableau (III.3) : La conductivité thermique de quelques matériaux

<i>Matériaux</i>	<i>Conductivité thermique (W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>) Valeurs pour une température de 20 °C</i>
<b>Acier doux</b>	46
<b>Aluminium (pureté de 99,9 %)</b>	237
<b>Al-Sic</b>	150-200
<b>Fer</b>	80 <sup>[4]</sup>
<b>Calcaire (2 g/cm<sup>3</sup>)</b>	1 <sup>[5]</sup>
<b>Craie</b>	0,92 <sup>[5]</sup>
<b>Grès (2,2 g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,3 <sup>[5]</sup>
<b>Adobe (terre crue)</b>	0,32
<b>Brique (terre cuite)</b>	0,84 <sup>[3]</sup>
<b>Terre (sèche)</b>	0,75
<b>Carton</b>	0.11
<b>Laine</b>	0,05

Liège

0,04<sup>[3]</sup>

### 2-La résistance thermique :

La résistance thermique est le critère d'évaluation de la performance d'un isolant. Elle dépend de la conductivité thermique du matériau isolant et de son épaisseur. Pour connaître la performance thermique d'un isolant, cherchez donc son R

La résistance thermique quantifie l'opposition à un flux thermique entre deux isothermes ( $T_1$  et  $T_2$ ) entre lesquels s'échange un flux thermique  $\Phi$  :

Selon le type de transfert thermique, on a :

La résistance thermique de conduction, en conduction thermique ;

La résistance thermique de convection, en convection ;

La résistance thermique de rayonnement, en rayonnement thermique.

$$R = \frac{\Delta T}{\Phi} \quad (1)$$

### 3-La densité :

Est un nombre sans dimension, égal au rapport d'une masse d'une substance homogène à la masse du même volume d'eau pure à la température de 3,98°C.

La densité caractérise la masse d'un matériau par rapport à son volume. Elle se mesure en kg par m<sup>3</sup>.

Pour un volume de 1m<sup>3</sup>, plus le matériau est dense, plus il est lourd, et inversement. Par exemple, la pierre ponce, qui est une pierre remplie de bulles d'air, est très légère et très peu dense, contrairement au béton, qui est beaucoup plus lourd au m<sup>3</sup> et donc plus dense.

Cette caractéristique est importante dans le choix des matériaux isolants mais doit être complétée par la prise en compte d'autres variables : la capacité thermique et la conductivité thermique des matériaux<sup>7</sup>.

### 4-Densité et capacité thermique :

La densité, ou masse volumique, est un paramètre qui entre en compte dans le calcul de la capacité thermique, c'est-à-dire dans la capacité d'un matériau à stocker de la chaleur.

Plus un matériau est dense (béton, pierre), plus sa capacité thermique est élevée : il absorbe, stocke et réémet de la chaleur progressivement. Ce type de matériau est idéal pour maintenir la température

<sup>7</sup> Ancient source

intérieure d'une habitation face aux fluctuations extérieures : les matériaux denses gardent la fraîcheur en été, et absorbent puis restituent la chaleur en hiver – un phénomène qu'on appelle inertie thermique.

**5-Méthode de calcul :**

$$\Lambda = I_s * [(k_1 + (k_2 * \bar{T})) + ((k_3 + (k_4 * \bar{T})) * HFM) + ((k_5 + k_6 * \bar{T})) * HMF^2)] / dT.$$

$$R = I_s / \lambda$$

$I_s$  : est l'épaisseur de l'échantillon

$$\bar{T} = T_2 + T_1 / 2$$

$$dT = T_2 - T_1$$

$$d = W / V$$

D: la densité

**III.3.4-Résultats et interprétations :**

L'application des lois précédentes nous donne les résultats suivants

**1- Influence des matériaux sur la conductivité thermique :**

Tableau(III.4) : Les résultats de calcul.

	Le mélange	Grés	Agharef	Témoin
<b>Conductivité Thermique Watts/mK</b>		0.534	0.616	0.232
<b>La résistance thermique m<sup>2</sup>K / W</b>		0.067	0.056	0.151
<b>D Kg/m<sup>3</sup></b>		2084.876	2161.904	1857.14

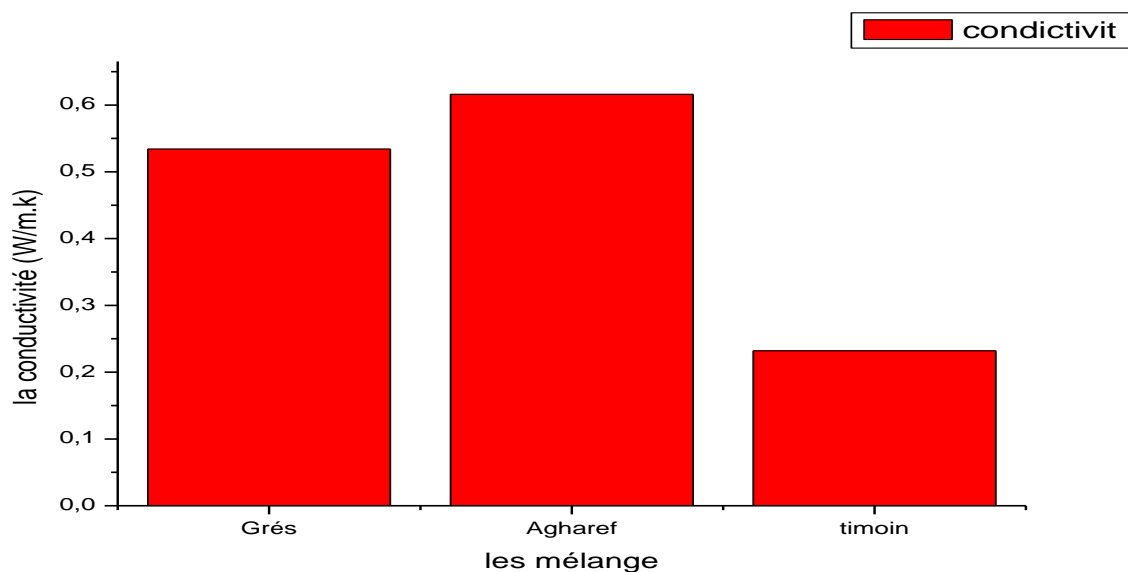


Figure (III.27) : Influence de matériaux sur la conductivité thermique.

D’après l’histogramme, Agharef a une conductivité thermique supérieure à la conductivité de grés avec un écart de 15% ; et à celle de l’adobe avec un écart de 165%.

**2-Influence de pourcentage de sable de sebkha sur la conductivité thermique :**

Tableau(III.5) : Les résultats de calcul.

Le mélange	S=75%+A=25%(agharef)	S=25%+A=75%
	e=1.5	e=2.5 L
Conductivité Thermique Watts/m.K	0.616	0.776
La résistance thermique m <sup>2</sup> K / W	0.056	0.0476
D Kg/m <sup>3</sup>	2161.904	1666.66



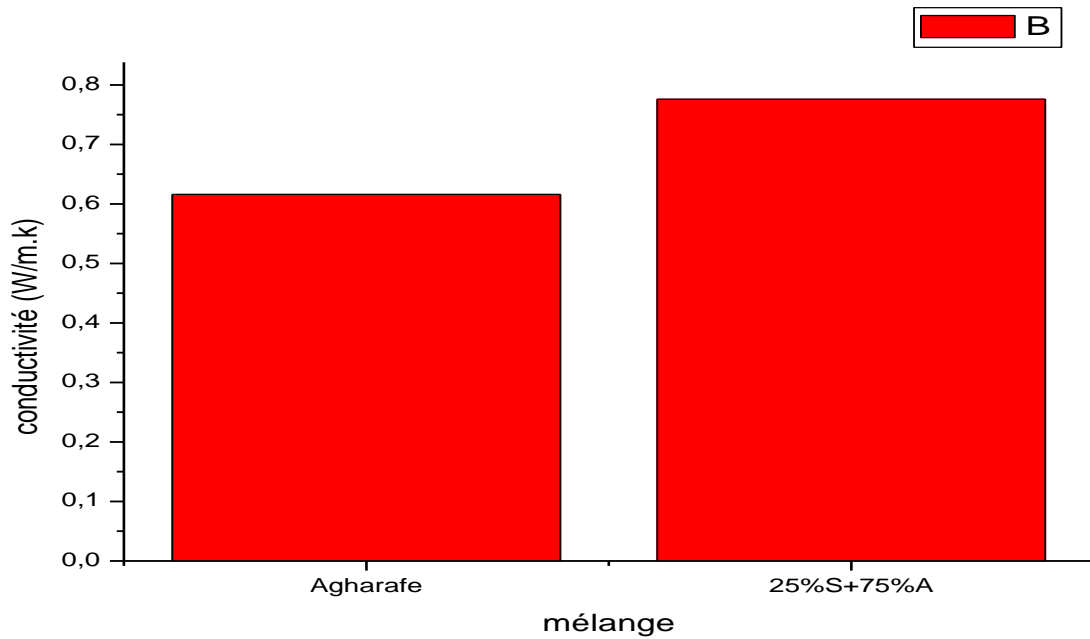


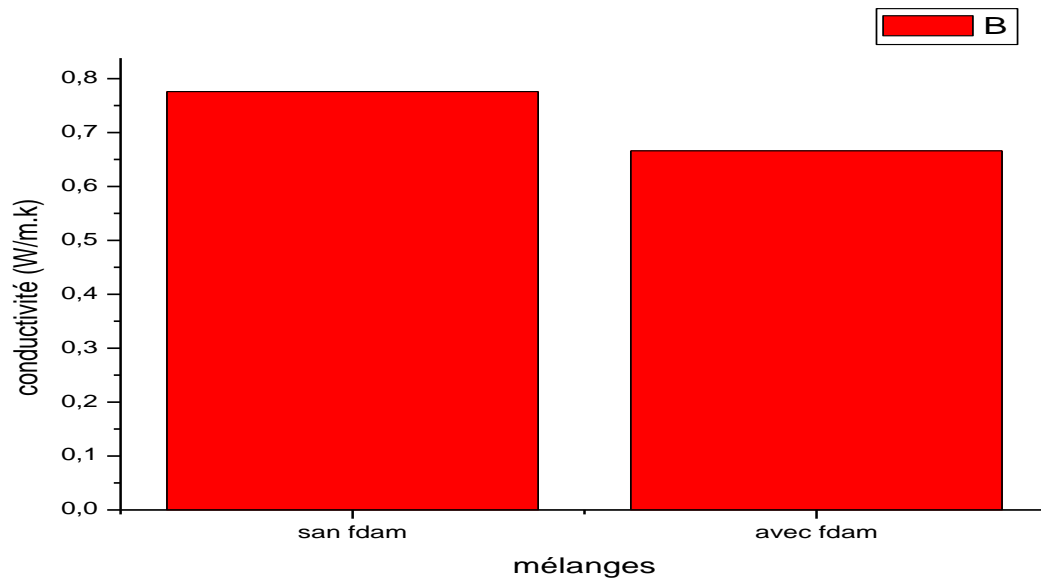
Figure (III.28) : Influence de pourcentage de sable de sebkha sur la conductivité thermique.

La conductivité thermique de l'échantillon qui contient 25% de sable est plus élevée que celle de l'échantillon qui contient 75% de sable avec un écart de 25%.

**3 -Influence des fibres végétales sur la conductivité thermique :**

Tableau(III.6) : Les résultats de calcul.

Le mélange	S=25%+A=75%+ S=25%+A=75%+	
	e=2.5 L	fdam e=2.5
Conductivité Thermique Watts/mK	0.776	0.66616
La résistance thermique m <sup>2</sup> K / W	0.0476	0.055
D Kg/m <sup>3</sup>	1666.66	2168.168



Figure(III.29) : Influence de fibres végétales sur la conductivité thermique.

- L'ajout des fibres provoque une démeineur au niveau de la conductivité thermique.

### III.4- Identification mécanique :

On a réalisé l'essai de compression afin d'identifier les échantillons mécaniquement

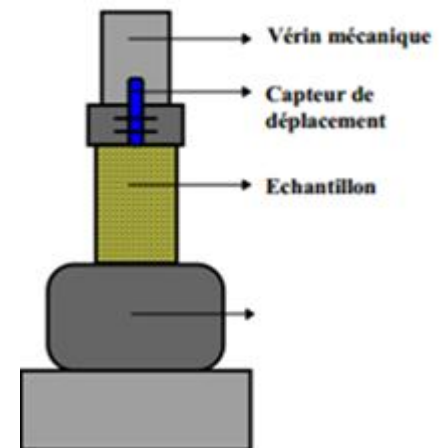
#### III.4.1-L'essai de compressions (CBR d'écrasement)<sup>8</sup> :

##### 1-Description :

Essai de résistance « uni axial » sur des éprouvettes de forme géométrique simple: cylindre ou parallélépipède (barre ou cube). On charge à vitesse constante jusqu'à obtenir la rupture de l'éprouvette.

##### 2-But :

L'objet de cet essai est de déterminer la résistance à la compression d'échantillon.



Figure(III.30) : schéma de principe.

##### 3-Principe :

Le principe de l'essai est de soumettre une éprouvette cylindrique, cubique ou une carotte à une force croissante et constante jusqu'à rupture de celle ci afin de déterminer sa résistance à la compression.

<sup>8</sup> Université de lige . ESSAI de COMPRESSION SIMPLE 1/3



Figure(III.32) : écrasement d'échantillon (auteur)

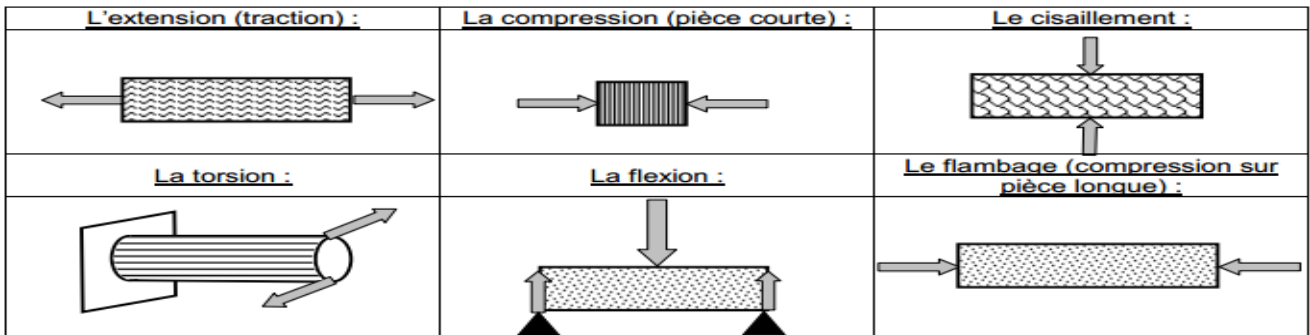
**III.4.2-Des notions importantes :**

Avant les calculs il faut illustrer les notions indispensables suivantes

**1-La contrainte :**

Quelque soit la complexité d'un problème et surtout la complexité des forces impliquées, on pourra toujours les dissocier en combinaisons des cinq contraintes fondamentales. Elles sont la traction, la compression, le cisaillement, la torsion et la flexion. Chacune représente un type d'application différente pour une force.

Différentes contraintes ou sollicitations<sup>9</sup> :

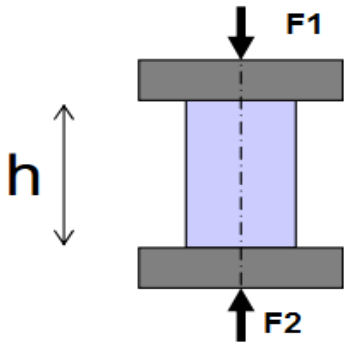


Figure(III.33) : Schéma des différentes contraintes ou sollicitations.

Contrainte: en N/mm<sup>2</sup> ou MPa (symboles  $\sigma$  pour la traction et compression et  $\tau$  pour le cisaillement).

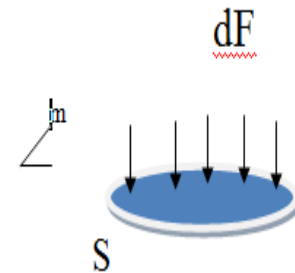
**2-Méthode de Calcul :**

<sup>9</sup> tp\_genie\_materiaux-proprietes\_mecaniques\_materiaux



Corps cylindrique soumis à deux forces  $F_1 = F_2$ .

Selon le plan (m)  $\perp$  axe de compression, la surface  $S$  est soumise à une série de forces  $dF$  (Figure),  $\Sigma dF = F$ .



La surface  $S$  est soumise à une contrainte normale de compression.

$$\sigma = \frac{dF}{dS} \quad (1)$$

$$F = \iint_S \sigma dS$$

Pour une compression simple,  $\sigma$  est la même sur toute la surface  $S$

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

Contrainte normale de compression



(1) devient

Contrainte perpendiculaire la surface  $S$

### 3-La résistance :

La résistance des matériaux est une façon physique et mathématique de calculer et de modéliser les comportements mécaniques d'objets et de matériaux qui ensuite seront utilisés pour les concevoir et les dimensionner. C'est une science essentielle pour la réalisation de tout projet architectural ainsi que dans de nombreuses industries.

La résistance du bloc de terre augmente avec la densité sèche qui est elle-même fonction du taux de compactage, de la composition et du pourcentage, de la teneur en eau.

-Résistance: en  $N/mm^2$  ou MPa (symboles  $R_e$  résistance élastique et  $R_r$  résistance à la rupture)

Force: en N.

**4-Différence entre résistance et contrainte :**

La résistance est la force que peut supporter une pièce par unité de surface, sans casser. La contrainte est la force que supporte réellement la pièce par unité de surface, la contrainte doit être en inférieure à la résistance.

**III.4.3-Présentation des résultats et interprétation:**

**1-Influence de matériaux sur la résistance mécanique :**

Tableau (III.7) : Résultats d'écrasement des matériaux.

Les matériaux	Agharafe	Grés	Adobe témoin
<b>S=75%+A=25%</b>			
<b>(1)</b>			
<b>La force kN</b>	4.921	8.720	3.400
<b>Surface m<sup>2</sup></b>	0.00287	0.0081	
<b>Contrainte <math>\sigma</math> kN/m<sup>2</sup></b>	1714.6	1076.5	419.12

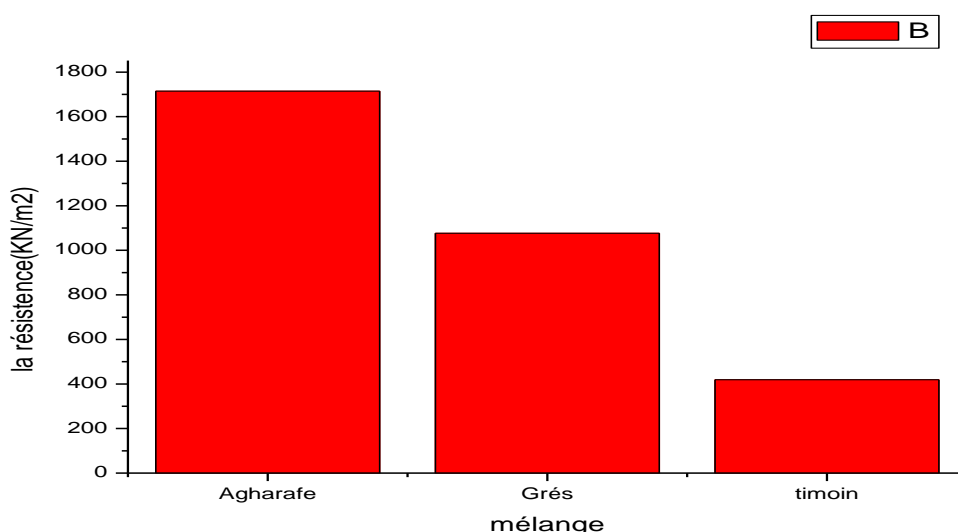


Figure (III.34) : Influence de matériaux sur la résistance mécanique.

On remarque, que Agharafe a une résistance plus élevée, que le gré et l'adobe témoin, avec un écart de 59.27% ; 309.09 % successivement,

**2-Influence de pourcentage de sable (sebkha) sur la résistance mécanique :**

Tableau (III.8) : Résultats d'écrasement des mélanges à différents %.

Le mélange	S=75%+ A=25%	S=25%+A =75%	S=12%+ A=88%	S=50%+A =50%
<b>La force kN</b>	4.921	2.106	0.968	0.524
<b>Surface m<sup>2</sup></b>	0.00287			
<b>Contrainte <math>\sigma</math> KN/m<sup>2</sup></b>	1714.6	733.7	337.2	182.6

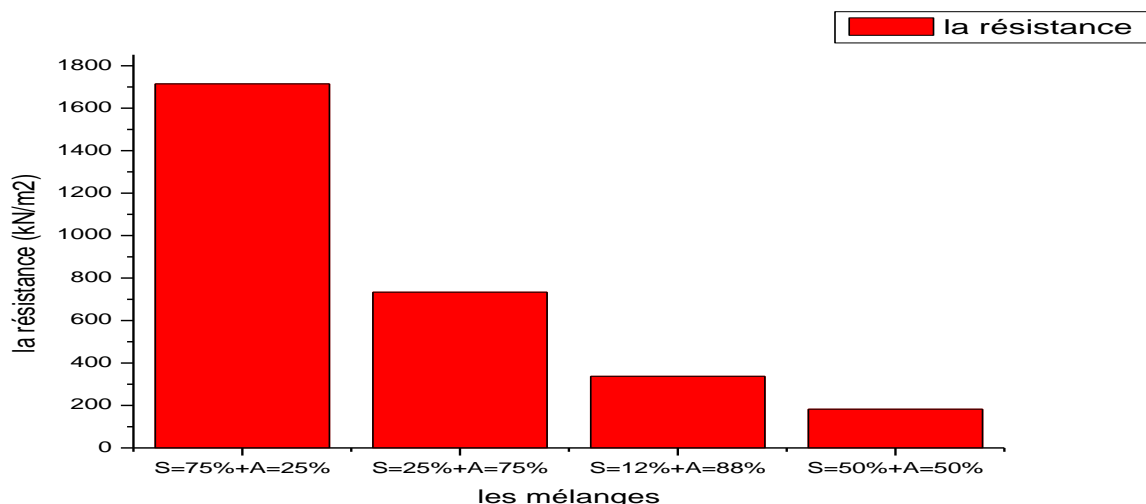


Figure (III.35) : Influence de pourcentage de sable (sebkha) sur la résistance mécanique.

Selon le graphe on note que, la résistance mécanique est accrue avec l'augmentation de pourcentage de sable, dont la résistance de mélange qui contient 75% de sable est supérieure à celle du mélange avec 50% sable avec un écart de 133.69%.

**3-l'influence des fibres végétales sur la résistance mécanique :**

Tableau (III.9) : résultats d'écrasement un mélange un fois sans fibre et autre avec fibre végétale.

Le mélange	S=25%+A=75%	S=25%+A=75%+fp
Laforce kN	2.106	2.682
Surface m <sup>2</sup>	0.00287	0.00287
Contrainte $\sigma$ kN/m <sup>2</sup>	733.7	934.5

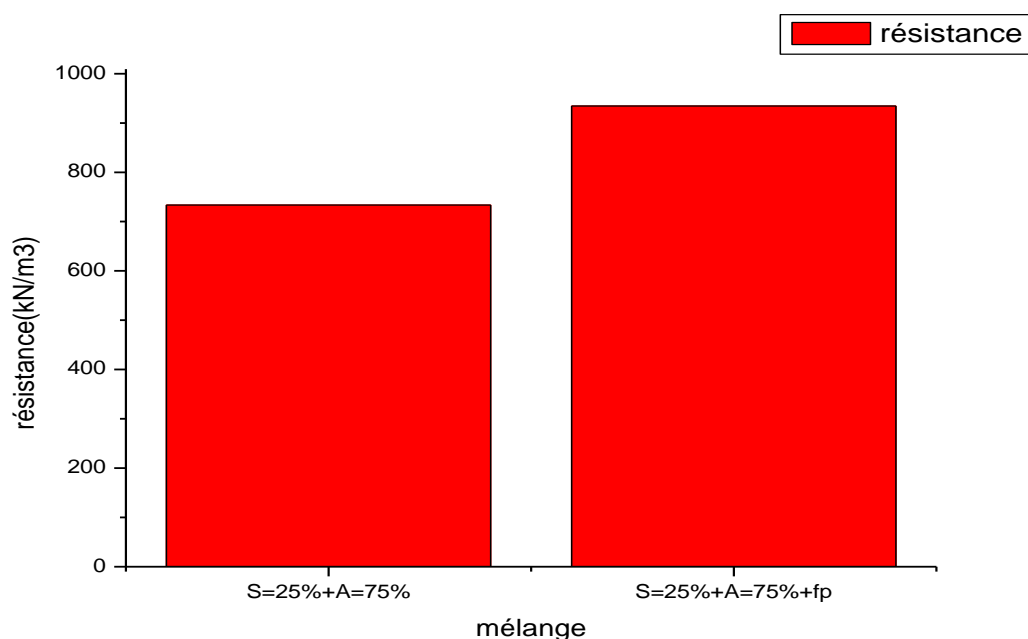


Figure (III.36) : Influence de fibre sur la résistance mécanique.

L'ajout des fibres végétales améliore la résistance mécanique avec 27.36% d'augmentation par rapport à celle sans fibre.

### Conclusion :

L'étude expérimentale portant sur les propriétés thermomécaniques de grés ,Agharef et l'adobe ; nous donne des résultats et des conclusions ; les plus importants sont les suivants :

- Le pourcentage de sable de (sebkha), est proportionnel à la résistance mécanique, et inversement proportionnel à la résistance thermique.

- Le sable de (sebkha) travaille comme un retardateur de prise, dans les échantillons sans sable de (sebkha), les échantillons ont été séchés après 2 semaines, mais celles avec le sable de (sebkha) prennent 5 semaines jusqu'à le séchage complet.
- Agharef réagit avec l'eau même après le séchage, et ces réactions améliorent la résistance mécanique.
- Agharef a une bonne résistance mécanique, mais une faible résistance thermique, et ce résultat justifie l'emploi d'Agharef comme enduit.
- L'ajout de fibres végétales amélioré la résistance mécanique, mais diminue la résistance thermique.
- Le gré a une bonne résistance thermomécanique proportionnellement.



# Chapitre IV :

## Comportement thermique d'un bâtiment en matériaux locaux.



## Introduction :

Afin d'étudier la performance thermique des matériaux locaux de constructions, on va effectuer une étude d'un bâtiment multizone, menée sur la réflectivité des matériaux et son effet sur la modification du microclimat, et sur la sensation de confort dans les milieux extérieurs.

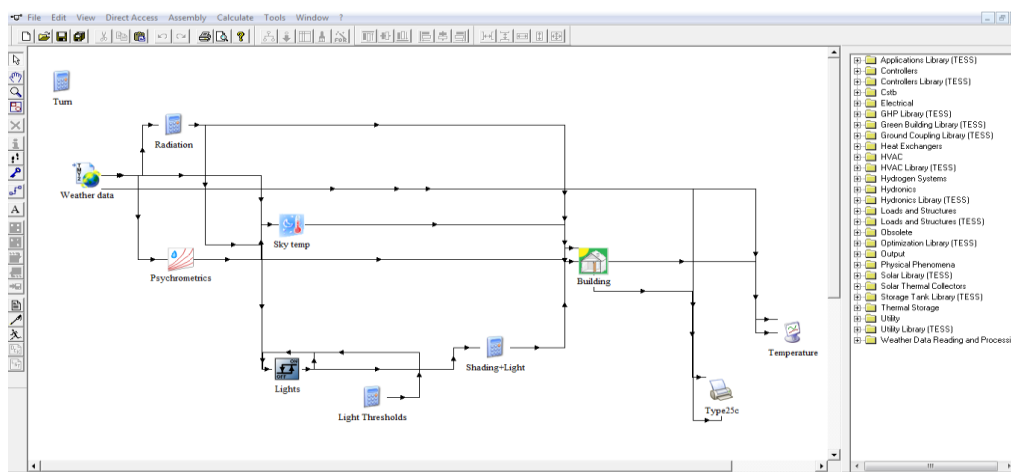
Pour valider le rôle de l'inertie thermique sur le confort thermique, on a choisi pour la simulation le logiciel TRNSYS 16 pour les divers avantages qu'il présente.

### IV.1-Présentation du logiciel TRNSYS :

En raison du coût élevé et des durées expérimentales longues, la simulation est un moyen efficace pour mettre au point et étudier le comportement thermique des bâtiments en régime variable. Les outils de simulation thermique simplifiés permettent de décrire sommairement le bâtiment et d'effectuer des bilans énergétiques. Ils sont souvent utilisés à des fins plutôt professionnelles et réglementaires. Ils peuvent servir pour le dimensionnement d'équipements ou la vérification de normes applicables. Parmi ces outils, on peut citer le logiciel "TRNSYS".

#### 1-Description de logiciel :

TRNSYS (TRaNsient System Simulation Program : programme de simulation de systèmes transitoires) est un logiciel multi zones de simulation en régime dynamique. Développé au laboratoire « solar energy » à l'université Wisconsin Madison en 1975 par un groupe composé d'universités et de centres de recherche.



Figure(IV.1): Ecran de control du logiciel TRNSYS

TRNSYS a une structure modulaire qui lui confère une grande flexibilité, son interface permet l'interconnexion de plusieurs composantes pour simuler un système complexe. L'avantage est que ces

composantes peuvent être communes à différents systèmes. Cependant, les performances de chacune des composantes doivent être décrites sous une forme générale appelée « Type » pour être exploitables.

TRNSYS ou tout autre logiciel se caractérise par trois fonctions :

### 1 -Les entrées « inputs » :

Ce sont les données à introduire avec un niveau de définition minimum, qui seront nécessaires et pourront être stockées selon l'ergonomie du logiciel dans des bibliothèques que le concepteur peut utiliser. Elles concernent l'environnement physique (climat, site), le bâtiment (l'enveloppe), les apports internes (occupants, éclairage, ..) et les équipements (ventilation, chauffage et système de refroidissement).

### 2-Traitement de données :

Le travail du logiciel consiste à structurer les données en fonction d'un « modèle de représentation du bâtiment » et de « modèles physico-mathématiques » des phénomènes physiques retenus, puis à produire des résultats.

### 3- Les sorties « outputs » :

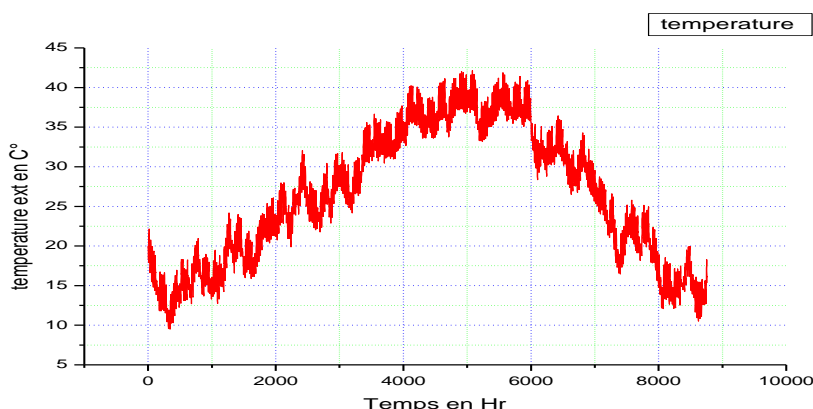
C'est l'ensemble des informations fournies par le logiciel à l'issue d'une exécution.

## IV.2-présentation de projet :

L'étude est effectuée sur un bâtiment de 4 zones de (3\*3\*2.8) avec des murs d'épaisseur de 25 cm ; et des différents matériaux grés ; adobe et Agharef.

## IV.3-Résultats de simulation et interprétation :

D'après Métronome 5 la température annuelle extérieure à Adrar (2015) illustré dans la fig suivante :



les simulations nématiques par TRANSYS nous ont donne les courbes suivantes :

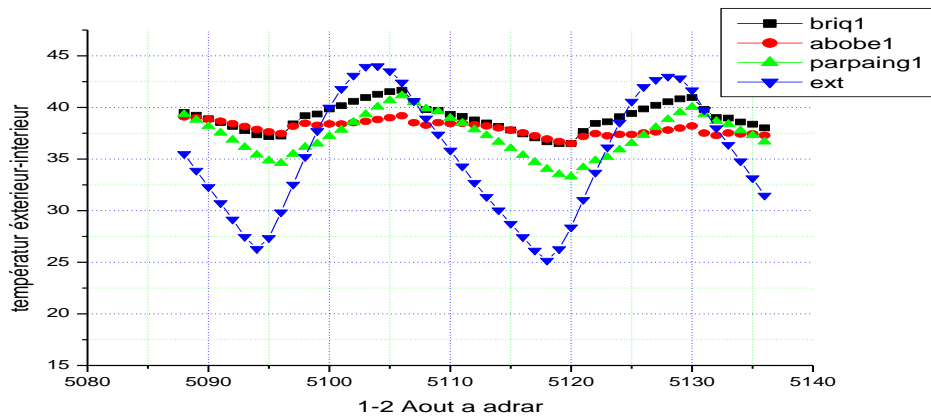


Figure (IV.2) : température ambiante d'un bâtiment en fonction des matériaux de constructions

La figure montre les variations des températures, de trois murs des matériaux différents, ont le même épaisseur; Dans la période d'été (aout) dans le but de comparer entre la température extérieure et intérieure.

- La température extérieure maximale est de 44°C, minimale de 25°C avec un écart de 19°C.
- La température ambiante d'adobe atteint a 39°C avec un écart journalier de 4°C ; cependant le brique Présente une température ambiante de 42°C avec un écart de 5°C.
- La température maximale du mur en parpaing est de 40°C avec un écart de 7.5°C.
- D'après les résultats précédents il est remarquable que l'adobe donne une bonne conservation d'énergie par rapport aux autres matériaux (brique et parpaing)
  - ✓ On peut constate qu'il y'a une amélioration d'isolation de 75% entre le cas d'adobe et le cas de parpaing.

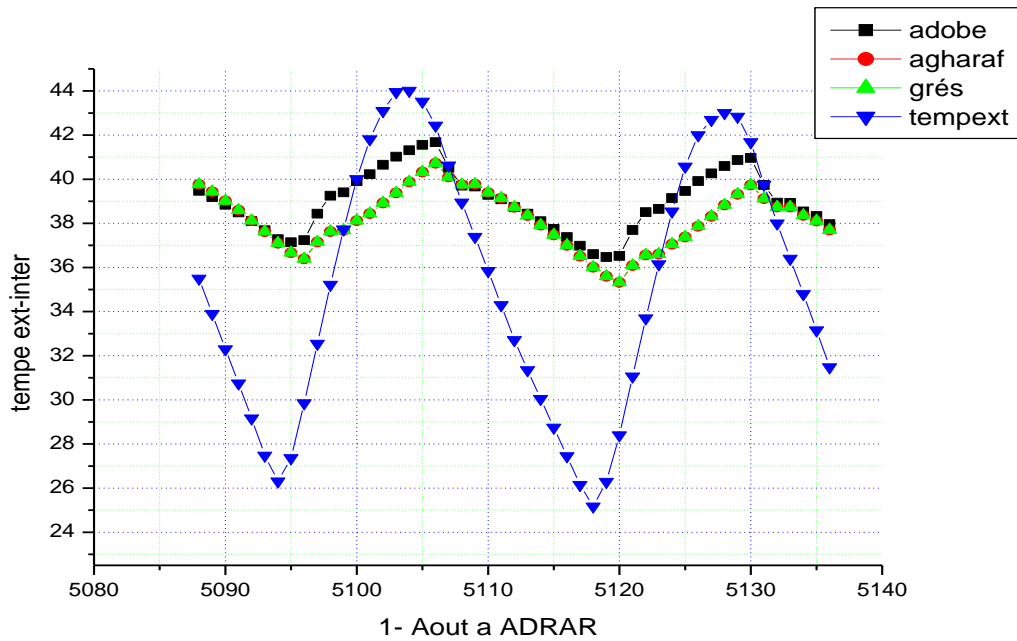


Figure (IV.3) :Comportement thermique d'un bâtiment en matériaux locaux adobe agharf grés.

La figure montre les variations des températures, de trois murs des matériaux locaux différents et ont les mêmes épaisseurs; Dans la période d'été (aout) dans le but de comparer entre la température extérieure et intérieure.

- La température extérieure maximale est de 44°C, minimale de 25°C avec un écart journalier de 19°C.
- La température ambiante des murs avec grés et celle avec Agharef ont des valeurs égales les courbes sont superposées.
- La température ambiante d'adobe atteint à 39°C avec un écart de 4°C ; cependant Agharef et les grés présente une température ambiante de 41°C avec un écart de 6°C.
- La courbe de la température extérieure a une haute amplitude par contre les trois courbes représentent un redressement et un faible écart journalier ; ce qui est justifié par la capacité de ces matériaux à amortir les échanges thermiques (ext-int) notamment dans une zone aride où l'écart journalier (jour – nuit) est important.

**Conclusion :**

La sévérité du climat de la ville d'Adrar, avec la variation de la température extérieure (jour/nuit) (amplitude moyenne: 15°C) nécessite des matériaux isolants de grande inertie thermique.

- Il est résulte de cette étude les conclusions suivantes:

- le type de matériaux influe sur l'inertie thermique.

- Le phénomène de déphasage, est dû à l'inertie comme il est éclairé dans les courbes précédentes, dont le déphasage est proportionnel avec l'inertie des matériaux.

- la bonne résistance thermique des matériaux locaux (grés-adobe-Agharef) négligent l'effet d'autres facteurs influents sur le confort.

-les caractéristiques thermo physique des matériaux de construction représentent la pierre angulaire du confort thermique.





## Conclusion générale

Maîtriser naturellement les confort d'été et d'hiver, en privilégiant des solutions simples et de bon sens est en fait une nécessité pour réduire les besoins énergétiques du bâtiment. Avec l'adaptation de la construction aux paramètres climatiques, les divers besoins domestiques sont énormément minimisés. Surtout que la mauvaise conception thermique induit un surdimensionnement des équipements et une surconsommation d'énergie ce qui a un coût financier et environnemental.

Dans le but de créer ce confort, l'homme construisait avec son environnement immédiat. Il utilisait des matériaux locaux de préférence lourds, afin de bénéficier de leur inertie.

Les matériaux locaux sont utilisés pour la construction de l'enveloppe des bâtiments, des tests au laboratoire sont plus que nécessaire pour déterminer un ensemble de propriétés Thermo physique relative à leurs utilisations dans le bâtiment.

Le but de la recherche était de vérifier es-ce que les matériaux locaux peuvent Assurer le confort des utilisateurs; le meilleur choix des matériaux de construction utiles pour la masse thermique; enfin l'exploitation optimale de l'énergie.

Afin d'atteindre ces objectifs nous avons eu recours à l'usage de deux outils de recherche essais mécaniques : au niveau de laboratoire GC « la simulation » à l'aide d'un logiciel informatique.

La nécessité de connaître les propriétés thermodynamiques de ces matériaux nous a conduits à mesure de la conductivité thermique et de résistance thermique et la capacité thermique. A l'aide de l'utilisation de la boîte chaude et mesuré la résistance thermique des matériaux a l'appareil CBR.

Notre étude expérimentale mené sur les matériaux locaux (adobe ; grés ; Agharef) résulte les conclusions suivants :

- Le pourcentage de sable de (sebkha), est proportionnel à la résistance mécanique, et inversement proportionnel à la résistance thermique.
- Le sable de (sebkha) travaille comme un retardateur de prise
- la réaction d'Agharef avec l'eau améliorent la résistance mécanique.
- Agharef et grés ont une bonne résistance mécanique, et une résistance thermique proche au celle d'adobe.

- Le mur composé d'adobe et d'Agharef comme enduit donne une bonne résistance thermodynamique car l'Agharef assure une protection intempéries.
- Les apports sont bien amortis grâce à l'effet isolant des matériaux utilisés « AGAREF.ADOBE.GRES ».
- Le grés a une meilleure résistance mécanique et une bonne résistance thermique malgré son utilisation limitée.

## Les références

1. WWW.sciences- future.com
2. CTMNC, Quelques notions de géologie. Document préparé par F.Michel (géologue)
3. -Caractérisation d'une argile d'Adrar et adsorption d' un polluant organique. Filière génie de l'environnement, diplôme magister, K. Bentaleb, 2000
4. -Saliha Benmessaoud, Prospection pour l'introduction de la construction en matériaux locaux dans le secteur du logement à Tamanrasset, Mémoire du diplôme de spécialisation et d'approfondissement- Architecture de Terre ; DSA-Terre 2004-2006
6. -temperatures in hot humid climate, Solar Energy 2005.
7. Guillermou, Survie et ordre social au Sahara : les oasis du Touat Gourara Tidikelt
8. en Algérie, Cahiers des Sciences Humaines, Vol. 29, n° 1, Paris, 1993.
9. .-  
A. Liebard et A. De Herde, Guide de l'architecture bioclimatique ; Tome4 ; Cours fondamental : Construire avec le développement durable, 2002.
10. A. Merzeg, la réhabilitation thermique de l'habitat contemporain en Algérie, mémoire de magistère, UMMTO, octobre 2010.
11. -CNERIB, Conception de logements économiques à base de produits localement disponible, CNERIB, Alger, 2000.
12. -Construction en terre, l'architecture traditionnelle de charouine et de Timimoune, PNUD, Alger, 2007.
13. -  
D. Medjelekh, Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la

consommation énergétique du bâtiment, Cas de l'habitation de l'époque coloniale à Guelma, Mémoire de magistère, université de Constantine, 2006.

14. -

E. Reboul, le Gourara, étude historique, géographique, et médicale. Archive de l'institut pasteur d'Algérie T 31, 1953.

15. -

Eben Salah. M.A, Impact of thermal insulation location on building in hot dry climates, Rapport de recherche Saudi Arabia King, Saudi University, Department of

16. -Architecture and Building sciences,5juin 1989.

17. -

F. Jadoul, La Terre est notre maison, Construire, rénover, habiter en respectant l'Homme et l'environnement, Ed. Luc Pire, Bruxelles 2002.

18. -G. Alexandroff et J .M,Architecture et climat soleil et énergies naturelles dans l'habitat; édition architectures Berger-Levrault, Paris1982.

19. Mahrou, Contribution à l'élaboration d'une typologie Umranique des ksour dans la région du Gourara, Mémoire de Magistère, EPAU, 2008.

20. -ISO 10551 (International Standard Organization) : Evaluation de l'influence des ambiances thermiques à l'aide d'échelle de jugements subjectifs.

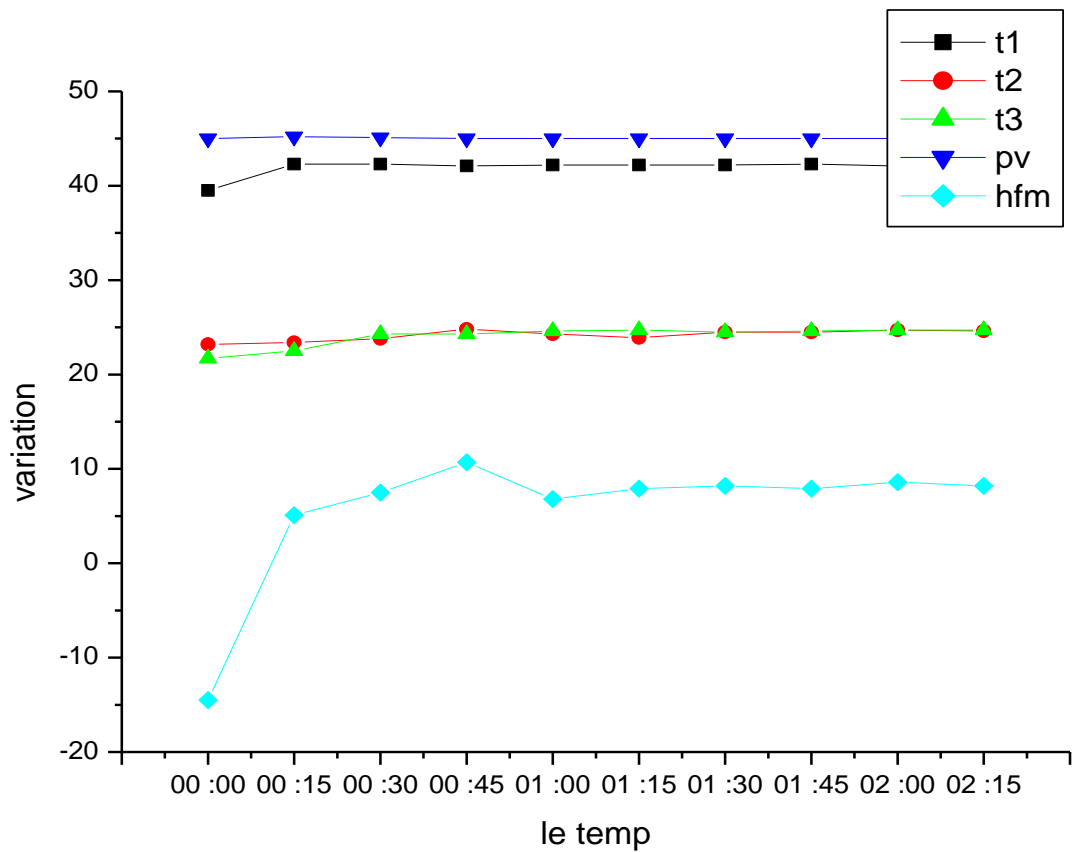
21. -ISO 7730: Ambiances thermiques modérées- Détermination des indices PMV et PPD et spécification des conditions de confort thermique.

22. -J. Bisson, Le Gourara étude de géographie humaine, Mémoire de l'IRS n°3, université d'Alger, 1957.

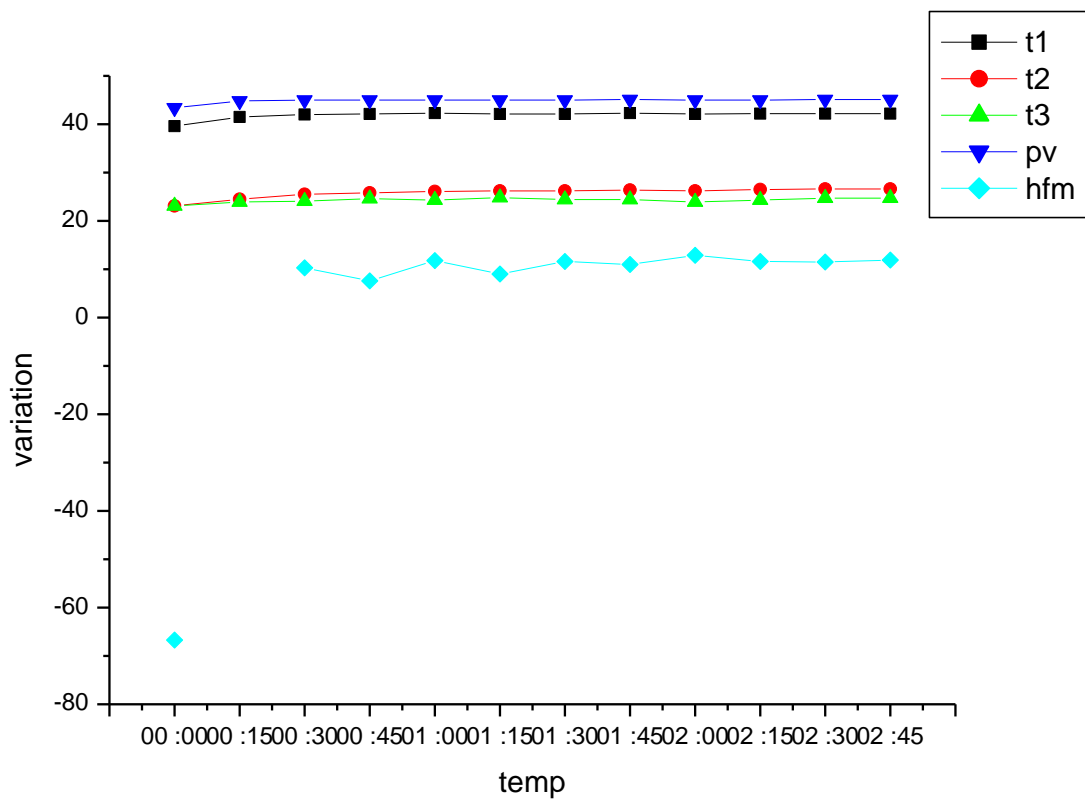
23. COIGNET, Réhabilitation : arts de bâtir traditionnel connaissances et techniques, Aix-en-Provence, Ed. EDISUD, 1987.
24. -J. Dethier, Des architectures de terre ou l'avenir d'une tradition millénaire, Ed. CGP, paris, 1982.
25. -J. L. Izard, Architecture d'été, Construire pour le confort d'été, Aix - en Provence.
26. -  
M. Dahli, N. Baloul. Amélioration des performances du matériau terre crue.  
XXVIII<sup>ème</sup> Rencontres Universitaires de Génie Civil –  
La Bourboule du 2 au 4 juin 2010.
27. -  
N. Baloul, Conservation et valorisation du patrimoine architectural en terre de la région du Twat-Gourara : cas du ksar de Tmassekht, mémoire de magister 2007.
28. -  
S. Haoui Bensaada, Pour la présentation des architectures ksouriennes en terre crue :c as de Timimoun, Mémoire de Magistère, EPAU, 2002.

## Les annexes

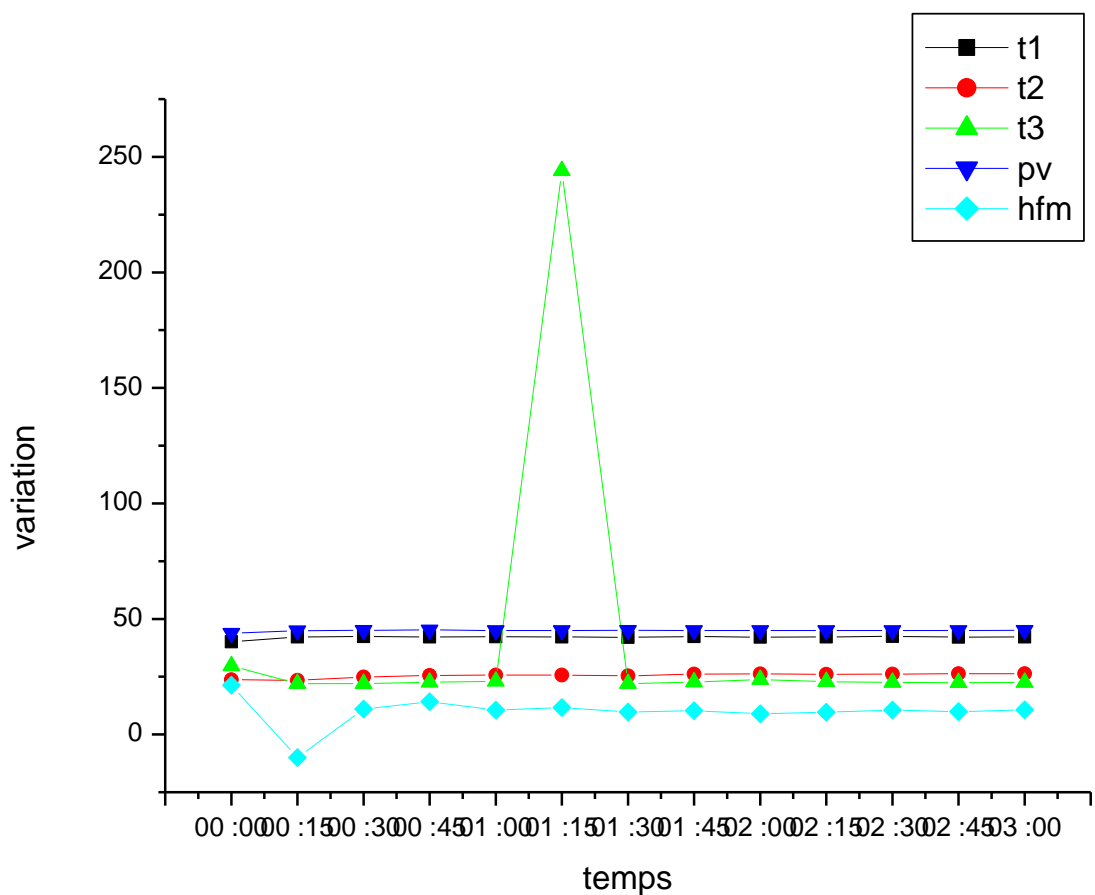
GRES					
Temps(H)	T1 (c°)	T2(c°)	T3(c°)	PV (c°)	HFM
00 :00	39.5	23.2	21.7	45.0	-14.5
00 :15	42.3	23.4	22.5	45.2	5.1
00 :30	42.3	23.8	24.3	45.1	7.5
00 :45	42.1	24.8	24.3	45.0	10.7
01 :00	42.2	24.3	24.6	45.0	6.8
01 :15	42.2	23.9	24.7	45.0	7.9
01 :30	42.2	24.5	24.5	45.0	8.2
01 :45	42.3	24.5	24.6	45.0	7.9
02 :00	42.1	24.7	24.7	45.0	8.6
02 :15	42.1	24.6	24.7	45.0	8.2



25% Sable (sabkha) + 75% Argile					
Temps (H)	T1(c°)	T2(c°)	T3(c°)	VP(c°)	HFM
00 :00	39.6	23.1	23.1	43.4	-66.7
00 :15	41.5	24.5	23.9	44.8	03.4
00 :30	42.0	25.5	24.1	45.0	10.3
00 :45	42.1	25.8	24.6	45.0	7.6
01 :00	42.3	26.1	24.3	45.0	11.8
01 :15	42.1	26.2	24.8	45.0	9.0
01 :30	42.1	26.2	24.4	45.0	11.6
01 :45	42.3	26.4	24.4	45.1	11
02 :00	42.1	26.2	23.9	45.0	12.9
02 :15	42.2	26.5	24.3	45.0	11.6
02 :30	42.2	26.6	24.7	45.1	11.5
02 :45	42.2	26.6	24.7	45.1	11.9



75%Sable (sabkha) +25%Argile (Agharafe)					
Temps (H)	T1(c°)	T2(c°)	T3(c°)	PV(c°)	HFM
00 :00	40.1	23.7	29.7	43.8	21.3
00 :15	42.2	23.4	22.0	44.9	-10
00 :30	42.4	24.9	22.0	45.1	11
00 :45	42.2	25.5	22.6	45.2	14.2
01 :00	42.3	25.7	23.0	45.0	10.5
01 :15	42.2	25.7	24.4	45.0	11.6
01 :30	42.0	25.4	22.0	45.1	9.7
01 :45	42.4	26.1	22.7	45.0	10.3
02 :00	42.1	26.2	23.8	45.0	8.90
02 :15	42.2	26.0	22.8	45.0	9.6
02 :30	42.5	26.1	22.5	45.0	10.5
02 :45	42.1	26.3	22.4	45.0	9.90
03 :00	42.2	26.3	22.5	45.1	10.6





## Sommaire