

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

UNIVERSITE d'ADRAR  
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TECHNOLOGIE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MASTER EN GENIE CIVIL OPTION : GEO-MATERIAUX ET STRUCTURE

## Thème

Caractérisation Mécanique Et Thermo Physique Des Matériaux  
Locaux A Base d'Argile Stabilisé Au Plâtre  
(Cas d'Argile de Timimoune)

Soutenu le : 04 Juin 2017

Présenté par :

*ABDESSOULTANE Moussa*

*RAMI Mohamed*

Membres de jury :

Président :BALEGH Benamer Univ.d'ADRAR

Encadré par :

BADA Abdelmalek univ.d'Adrar.

Examineurs

BASSOUD Abdelkader Univ.d'ADRAR

# DEDICACE

إلى روح أبي رحمه الله.

إلى أمي أخصال الله في عمرها.

إلى زوجتي الحبيبة وأبنائي ياسر وأحمد.

إلى إخواني وأخواتي.

إلى كل الذين يعملون في مجال العمل الخيري.

□ أهدي هذا العمل

RAMI MOHAMED

إلى الوالدين الكريمين أخصال الله في عمرهما.

إلى زوجتي وأبنائي

إلى إخواني وأخواتي

إلى كل الأهل والأحباب والأصدقاء.

□ أهدي هذا العمل

ABDESSOULTANE MOUSSA

## *Remerciement*

Louange à Dieu, qui a enseigné par la plume, l'homme ne savait pas quoi, la paix et les bénédictions de l'enseignant humain, et sa famille et tous ses compagnons.

Nous tenons à remercier Dieu Tout-Puissant pour nous aider à accomplir cette recherche, Nous adressons nos sincères remerciements au superviseur honorable de cette recherche, **Abdelmalek BADA**, qui ne nous a pas épargné sa direction et la valeur des conseils et précieux tout au long des étapes de notre réalisation de ce travail.

Nous tenons également à remercier M. **BUAAFIA Foudil** au nom de laboratoire des travaux publics par intérim, qui a été crédité de fournir quelques-unes des possibilités que nous avons besoin dans nos recherches.

Nous remercions également le professeur **Benamer BALEGH** et M. **Abdelkader BASSOUD**, sur leur acceptation de participer au comité de discussion.

Nous adressons également nos remerciements les plus sincères à ceux qui les considèrent comme nos frères et sœurs chers membres nous ont amenés et nous leur souhaitons la meilleure des chances et de succès. D'oublier les deux nous ont aidés de près ou de loin.

*ABDESSOUTLANE Moussa*

*RAMI Mohamed*

LISTE DES FIGURES

Figure

Page

Chapitre .I

**Figure I.1:** Observation d'un phyllosilicate (Montmorillonite) à différentes .....3

**Figure I.2:** Evolution de la consommation par mois 2009.2012,2015 .....4

**Figure I.3 :** Evolution de pic annule 2009.2012,2015.....5

**Figure 1.4:** Argile jurassique de bure .....6

**Figure 1.5:** Schéma des transformations des trois composants principaux des argiles kaoliniqu.....10

**Figure I.6:** Représentation schématique de la structure de kaolinite ..... 11

**Figure I.7 :** Représentation schématique de la structure de l'illite ..... 11

**Figure I.8:** Représentation schématique de la structure de chlorite .....12

**Figure I.9 :** Représentation schématique de la structure de vermiculite,.....13

**Figure I.10 :** Représentation schématique de la structure d'une montmorillonite..... 14

**Figure I.11 :** Schéma de la structure des minéraux argileux fibreux .....18

**Figure I.12 :** Structure multi-échelle d'une smectite ..... 18

**Figure I.13 :** Mode d'associations supposés des feuillets de montmorillonite en suspension.....19

**Figure I.14 :** Les différents types d'empilement dans les argiles cas des minéraux inter stratifiés .....20

**Figure. I.15 :** Différents modes de succession des feuillets au sein d'une unité inter stratifiée.....21

**Figure .I.16:** Les différents types d'espaces poraux ..... 21

**Figure .I 17.- :** Les variations des résistance mécanique en fonction de temps suite tableau I.4.....24

<b>Figure.I 18-</b> : La relation entre la conductivité de ciment et liège avec la température d'éprouvette.....	29
<b>Figure.I 19.-</b> : La relation entre la conductivité du mélange ciment et isbissete avec la température d'éprouvette .....	29
<b>Figure.I 20.-</b> : La relation entre la résistance de compression d'éprouvette et la pourcentage volumique de matières isolante .....	29
<b>Figure.I 21-</b> : La relation entre la résistance de compression d'éprouvette et la conductivité thermique d'éprouvette.....	30

---

## Chapitre .II

---

<b>Figure II.1: Limite D'Atterberg)</b> .....	33
<b>Figure II.2 :</b> Broyage (labo LTPO Adrar).....	34
<b>Figure II.3 :</b> Appareillage de Casagrande.....	35
<b>Figure II.4 :</b> Préparation de l'essai Limte d'Atterberg .....	35
<b>Figure II.5 :</b> Opération de rinçage l'argile (labo génie civil a université d'Adrar).....	36
<b>Figure II.6 :</b> Réalisation de Rainure (labo génie civil a université d'Adrar) .....	36
<b>Figure II.7:</b> Réalisation de rouleau d'argile (labo génie civil a université d'Adrar).....	37
<b>Figure II.8:</b> Les Appareillage de l'analyse granulométrique par sidimentométrie .....	40
<b>Figure II.9:</b> Le CBR TESTER (labo génie civil a université d'Adrar) .....	42
<b>Figure II.10 :</b> Résistance à la compression simple .....	42
<b>Figure II-11 :</b> Mode d'écrasement a la compression simple.....	43

---

### Chapitre .III

---

<b>Figure III-1</b> : Isotherme et gradient thermique .....	45
<b>Figure III-2</b> : Système et bilan d'énergétique .....	46
<b>Figure III-3</b> : Exemple illustrant le mode de transferts de chaleur (la conduction).....	47
<b>Figure III-4</b> : Exemple illustrant le mode de transferts de chaleur (le rayonnement). ....	48
<b>Figure III-5</b> : Exemple illustrant le mode de transferts de chaleur (la convection).....	48
<b>Figure III-6</b> : Exemple illustrant les différents types de transferts de chaleur .....	49
<b>Figure III-7</b> : Exemple illustrant les différents types de transferts de chaleur .....	50
<b>Figure III-8</b> : Exemple illustrant la loi de LOMBERT.....	52
<b>Figure III-9</b> : Schéma mesure conductivité thermique état stationnaire .....	52
<b>Figure III-10</b> : Schéma mesure conductivité thermique méthode indirecte .....	53
<b>Figure III-11</b> : Schéma illustrant le principe de mesure .....	54
<b>Figure III-12</b> : Schéma illustrant le principe de mesure la conductivité .....	54
<b>Figure III-13</b> : Image illustrant l'appareille PA.Hillton LTD version H112N .....	55
<b>Figure III-14</b> : L'appareille de conductivité thermique (plaque chaude et plaque froide) .	56
<b>Figure III-15</b> : L'appareille de conductivité thermique (plaque chaude et plaque froide) .	57
<b>Figure III-16</b> : Moule métallique utilisée pour préparer l'éprouvettes de la conductivité.	57
<b>Figure III-17</b> : Mélange 70% Argile + 20% Sable + 10% Plâtre.....	58
<b>Figure III-18</b> : le mélange d'éprouvette avec l'eau.....	58
<b>Figure III-19</b> : Rempli le moule .....	58
<b>Figure III-20</b> : HFM par apport pourcentage de l'ajout .....	60

## Chapitre .IV

---

<b>Figure IV-01</b> : Courbe d'analyse granulométrique d'argile par Sidimentométrie .....	66
<b>Figure IV02</b> :La Résistance a la compression des échantillons en fonction de % de plâtre...	67
<b>Figure IV-03</b> : La Conductivité des échantillons en fonction de % d' Ajout.....	68
<b>Figure IV-04</b> : La Résistance thermique des échantillons en fonction de % de plâtre ....	69
<b>Figure IV-06</b> : La résistance thermique et la résistance à la compression d'Argile en fonction de pourcentage de plâtre .....	70
<b>Figure IV-06</b> : Effet de type d'ajouts sur le Résistance thermique 5%.....	71
<b>Figure IV-07</b> : Effet de type d'ajouts sur le Résistance thermique 8%.....	71
<b>Figure IV-08</b> : Effet de type d'ajouts sur le Résistance à la compression 5%.....	72
<b>Figure IV-09</b> : Effet de type d'ajouts sur le Résistance à la compression 8%.....	72

LISTE DES TABLEAU

Tableau ..... Page

---

**Chapitre .I**

---

**Tableau I.1:** Classification des minéraux argileux selon la charge globale du feuillet et de la composition de sa couche octaédrique .....09

**Tableau I.2:** Les différents types de smectites .....13

**Tableau I.3:** Tableau récapitulatif des différentes argiles selon leur composition chimique (En pourcentage). [R. Bouabid, M. Badraouf ] .....15

**Tableau I.4:** Variation de la résistance en fonction du temps .....24

**Tableau I.5:** Les gisements d'argile au niveau de la wilaya d'Adrar.....30

---

**Chapitre .II**

---

**Tableau II.1:** Les donner de limite de liquidité avant les résultat .....36

**Tableau II.2:** Classement de L'indice de plasticité .....38

**Tableau II.3 :**Les donner de la limite de plasticité avant les résultat .....38

**Tableau II.4 :**Les lecteurs d'écrasement (Argiles Timimoune) .....43

---

**Chapitre .III**

---

**Tableau III-1 :** Valeurs physiques de la conductivité thermique de quelques corps métalliques .....50

**Tableau III-2 :** La quantité de chaque matériau dan les mélanges .....59



**Tableau III-3** : La lecture sur l'appareille H112N.....60

---

## Chapitre .IV

---

**Tableau IV-1** : Résultats de Limite de liquidité (argile Timimoune).....63

**Tableau IV-2** : Résultats de Limite de plasticité (argile Timimoune).....64

**Tableau IV-3** : Les résultats de différents Indices de limite d'Atterberg (Argile de Timimoune).64

**Tableau IV-4** : Les résultats de granulométrie par sédimentométrie (Argile de Timimoune).....65

**Tableau IV-5** : Les Résultats globale d'écrasement .....66

**Tableau IV-6** : Les Résultat de La conductivité thermique .....68

**Tableau IV-7** : La Résistance thermique et la résistance à la compression d'argile.....69

**Tableau IV-8** : La Résistance thermique et la résistance à la compression d'Argile.....71

## Nomenclatureur

Symboles	Définition	unité
$\lambda$	conductivité thermique	W/m.K
R	Résistance thermique	m <sup>2</sup> .K/W
E	épaisseur de l'échantillon	mm
Q	Flux thermique ( $\Phi$ )	[W]
S	Surface de l'échantillon	cm <sup>2</sup>
C	Chaleur spécifique	J/kgK
K	Coefficient de conductivité thermique	w/m <sup>2</sup> C°
a	largeur de l'échantillon	m
b	longueur de l'échantillon	m
$\mu$	Capacité thermique	(W/m <sup>2</sup> K)
$\Delta T$	défronce de température	C°
t	le temps	S
F	la force	KN
$\delta$	la constraints	KN/m

## Résumé :

Ce qui se caractérise par le major notre Sahara en termes de climat, il est des étés chauds et secs, un bar et des hivers secs, en particulier la région de l'Adrar, propagation dans cette région, le béton du bâtiment, qui n'a pas réussi à donner un climat sain et confortable à l'intérieur des bâtiments et assurer le confort thermique et de l'économie de la consommation d'énergie électrique.

Il est devenu nécessaire de penser à trouver des solutions de rechange au béton afin d'atteindre les objectifs de ce qui précède que nous voyons qu'ils sont dans l'utilisation des matériaux locaux pour l'isolation thermique.

Par conséquent, dans cette étude penser à la fabrication de moules d'argile ont de bonnes propriétés thermiques et mécaniques acceptables, pour contribuer à la réduction de la consommation d'énergie électrique et la valorisation des ressources locales pour améliorer le taux de chaleur à l'intérieur des bâtiments.

Conçu modèles de compression d'essai, sous la forme d'un diamètre de disques circulaires de 2,25 cm et une épaisseur de 10 cm, tandis que la conductivité des modèles chaleur d'essai a été fabriqué sous la forme d'une épaisseur cubique de moules de 4 cm et longueur 27,30 cm et la largeur, ces modèles sont pressés matériaux locaux (Argile Timimoune, un sable local, gypse) , afin d'atteindre les objectifs précédents.

On a déterminé la proportion de chaque substance dans l'échantillon avec des degrés variables de masse (sable de 30% à 20%, le plâtre à partir de 0% à 10%).

Les résultats de ces expériences montrent que la bonne résistance mécanique des échantillons, moins la proportion de matériau de plâtre tout en affaiblissant la résistance thermique dans le même échantillon et vice versa.

**Mots clés : Plâtre, Argile, Résistance thermique, Résistance mécanique**

## Abstract :

It is hot and dry in summer, bar and dry in the winter, especially in the area of Adrar. The construction of concrete in this area has proved to be a failure to provide a healthy and comfortable environment inside the buildings and provide thermal comfort and economy in the consumption of electricity.

It has become necessary to consider alternatives to concrete in order to achieve the aforementioned objectives which we believe to be in the use of local heat-insulating materials.

Therefore, in this study we think of making clay molds with good thermal characteristics and acceptable mechanical properties, to contribute to reducing the consumption of electric power, and to evaluate the local resources to improve the temperature inside the buildings.

We have completed square and cylindrical models made of local materials (Timimoune clay, local sand and gypsum), which gave acceptable results for mechanical and thermal properties for construction use.

The four square blocks were assigned to thermal tests, while cylindrical molds were allocated for mechanical tests.

The ratio of each substance in the sample was determined by varying percentages of mass (sand from 30% to 20%, gypsum from 0% to 10%).

The results of these experiments show that the thermal conductivity of the samples is good as the ratio of the gypsum material decreases while the mechanical resistance in the same sample decreases and vice versa.

**Key words: Plaster, Clay, Thermal resistance, Mechanical strength**

#### خلاصة:

مما تتميز به صحراؤنا الكبرى من حيث المناخ، فهو حار وجاف صيفا وبار وجاف شتاء، وخاصة بمنطقة أدرار، فينتشر في هذه المنطقة البناء بالخرسانة الذي أثبت فشله في إعطاء مناخ صحي ومريح داخل البنايات وتوفير الراحة الحرارية والاقتصاد في استهلاك الطاقة الكهربائية.

فلقد أصبح من الضروري التفكير في إيجاد بدائل عن الخرسانة من أجل الوصول للأهداف السالفة الذكر والتي نرى أنها تكون في استعمال المواد المحلية العازلة للحرارة.

لذلك في هذه الدراسة نفكر في صنع قوالب طينية لديها خصائص حرارية جيدة وخصائص ميكانيكية مقبولة، للمساهمة في التقليل من استهلاك الطاقة الكهربائية، وتأمين الموارد المحلية لتحسين معدل الحرارة داخل البنايات.

تم تصميم نماذج اختبار الانضغاط، على شكل أقراص دائرية بقطر 2.25 سم وسمك 10 سم، أما نماذج اختبار الموصلية الحرارية تم تصنيعها على شكل قوالب مكعبة بسمك 4 سم و 27.30 سم طول وعرض، هذه النماذج تكبس بمواد محلية (طين تيميمون، رمل محلي، والجبس)، بغرض الوصول إلى الأهداف السابقة.

حددت نسبة كل مادة في العينة بنسب متفاوتة من الكتلة (الرمال من 30 % إلى 20 %، الجبس من 0 % إلى 10 %)

نتائج هذه التجارب توضح أن الموصلية الحرارية للعينات جيدة كلما قلت نسبة مادة الجبس في حين تضعف المقاومة الميكانيكية في نفس العينة والعكس.

**كلمات مفتاحية: الجبس، الطين، المقاومة الحرارية، المقاومة الميكانيكية**



Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

## Chapitre I Synthèse Bibliographie et Présentation des matériaux Locaux

I. 1 Introduction :.....	3
I. 2 Objectifs et problématiques.....	4
I. 2.1 Interprétation :.....	5
I. 3 Définition .....	5
I. 4 Histoire des sciences .....	6
I. 5 Les Types d'Argile.....	7
I. 5.1 Argiles Plastiques.....	7
I. 5.2 Argiles Smectiques.....	8
I. 5.3 Argiles figulines .....	8
I. 5.4 Argile Marnes.....	8
I.5.5 Argile Limons .....	8
I. 6 Classification des minéraux argileux .....	8
I. 7 Structure des principaux minéraux argileux.....	9
I. 7.1 Structure de La Kaolinite .....	9
I. 7.1.1 Propriétés des kaolins industriels .....	10
I. 7.2 Propriétés thermiques .....	10
I.7.2 Structure de l'illite .....	11
I.7.3 Structure de chlorite .....	12
I.7.4 Structure de vermiculite .....	12
I.7.5 Structure de Smectites.....	13
I.7.5.1 Les Smectites Trioctaédrique .....	14
I.7.5.2 Les smectites dioctaédrique .....	14
I.8 Caractérisation des Argiles.....	15
I. 8.1Difractions des Rayons X.....	15
I. 8.2 Essai au bleu de méthylène .....	16
I. 8.3 Couleurs .....	16
I. 8.4 Chimie.....	16
I. 9 Formation géologique .....	16
I. I.9.1 Argiles néoformées .....	17
I. 9.2 Argiles et plantes.....	17
I. 10 Les minéraux à pseudo-feuillets et à faciès fibreux .....	17
I. 11 Organisation texturale des matériaux argileux.....	18
I. 11.1 Organisation multi-échelle de la phase solide.....	18

I. 11.1.1 Le feuillet .....	19
I. 11.1.2 La particule primaire .....	19
I. 11.1.3 L'agrégat .....	19
I. 11.1.4 Empilements des feuillets.....	19
I. 11.1.4.1 Cas des minéraux homogènes .....	19
I. 11.1.4.2 Cas des minéraux inter stratifiés .....	20
I. 11.2 Organisation des espaces poreux.....	21
I. 12 Généralité sur le Plâtre .....	22
I. 12.1 Historique.....	22
I. 12.2 Propriétés du plâtre .....	23
I. 12.3 Résistance au feu.....	23
I. 12.3.1 Effet bénéfique du plâtre au cours des incendies .....	23
I. 12.3.2 Caractéristiques structurales des plâtres exposés aux températures et incendies.....	23
I. 12.4 Résistance thermique .....	23
I. 12.5 Résistance mécanique .....	24
I. 13 Travaux Antérieurs sur la caractéristique thermomécanique de matériaux locaux :.....	24
I. 15 Conclusion.....	31

## **Chapitre II: CARACTERISATION GEOTECHNIQUE ET MECANIQUE DES MATERIAUX LOCAUX**

II. 1. Introduction.....	33
II. 2.1.2 Domaine d'application .....	34
II. 2.1.3 Préparation d'échantillon .....	34
II. 2.1.4 Limite de liquidité.....	34
II. 2.1.4.1 Le matériel utilisé.....	35
II. 2.1.4.2 Le Mode Opérateur.....	35
II. 2.1.5.2 Le mode opératoire .....	37
II. 2.2 Analyse granulométrique par sédimentométrie .....	38
II. 2.2.2 Principe de L'essai.....	39
II. 2.2.3 Mode d'opérateur.....	39
II. 2.2.4 Calcul du diamètre des particules non décantées .....	40
II. 2.2.5 Calcul du pourcentage des particules non décantées .....	41
II. 3 Les propriétés mécaniques .....	41
II. 3.1 Essai de compression simple .....	41
II. 3.2 Préparation des éprouvettes .....	42
II. 3.3 La Machine CBR .....	42
II. 4 Conclusion .....	43

## CHAPITRE III: TRANSFERT DE CHALEUR ET LES PROPRIETES THERMIQUE DES MATERIAUX LOCAUX

III. Généralités Sur Les Transferts De Chaleur .....	45
III. 1 Introduction .....	45
III.2 Définitions .....	45
III. 2.1 Champ de température.....	45
III. 3 Formulation d'un problème de transfert de chaleur .....	46
III. 3.1 Bilan d'énergie .....	46
III. 3.2 Expression des flux d'énergie.....	46
III. 4 Les différents modes de transferts .....	46
III. 4.1 La conduction .....	47
III. 4.2 Le Rayonnement.....	47
III. 4.3 La Convection .....	48
III. 5 Combinaison des différents modes de transferts .....	49
III. 6 Transfert de chaleur par conduction .....	49
III. 6.1 Loi de Fourier .....	49
III. 9.2 La Méthode Indirecte.....	53
III. 9.3 La Méthode De La Plaque Chaude Gardee Iso 8302 .....	53
III. 9.4 La Méthode Du Hot Disk .....	54
III. 9.5.2 H112 de transfert de chaleur Unité de service.....	56
III. 9.5.2.1 Caractéristiques d'unité de service .....	56
III. 9.5.2.2 Capacité Expérimentale .....	56
III. 9.5.2.2 Service requis .....	56
III. 10 Technique expérimentale.....	57
III. 10.1 Elaboration des échantillons .....	57
III. 11 Calcul de quantité.....	59
III. 11.1 Exemple de calcule la quantité de chaque matériaux .....	59
III. 11.2 Calcule la conductivité thermique .....	59
III. 12. Interprétation .....	60
III. 13 Conclusion.....	61

## CHAPITRE IV: RESULTAT ET DISCUSSION

IV. 1 Introduction .....	63
IV. 2 Limite d' Atterberg et l'analyse granulométrique par Sédimentométrie .....	63
IV. 2.1.1 Limite de liquidité et plasticité .....	63
IV. 3 Comportement Mécanique .....	66



IV.	3.1.2	Interprétation des résultats.....	67
IV.	3.1.3	Explication des Résultats.....	67
IV.	4	Comportement Thermique.....	68
IV.	4.1	Les Résultats Obtenus .....	68
IV.	4.1.1	Les Résultats de la Conductivité Thermique .....	68
IV.	4.1.2	Interprétation .....	69
IV.	4.1.3	Explication des résultats .....	69
IV.	5	Etude comparative entre la résistance thermique et la résistance mécanique.....	69
IV.	5.1	Interprétation .....	70
IV.	5.2	Explication des résultats .....	70
IV.	6	Effet de type d'ajouts sur le comportement thermique et mécanique.....	70
IV.	7	Conclusion.....	73
		Conclusion Générale .....	75



**INTRODUCTION  
GENERALE**

## **Introduction Générale**

La construction est depuis des siècles d'argile votre région signe du patrimoine de l'Adrar, qui a été caractérisée par la formation de la crainte et la splendeur, et traversa l'élégance simple de la personnalité des personnes qui ont construit et vécu en eux, comme exprimé dans leur réponse de style à des conditions environnementales difficiles auxquels ils sont confrontés.

Mais depuis des années connu il y a ce type de construction pendant une longue période de déclin et de détérioration, caractérisé par une énorme vague de types de construction moderne, vague a rejeté l'argile pour la construction de la région traditionnelle et transformer les gens dont le nouveau bâtiment qui utilise des moules en béton et en fer, aspiration de leur modernisation et de la modernité.

Il est temps que nous évaluons la réalité que vous avez entré ce nouveau type d'architecture à notre vie, qui nous révèle que les aspects du bien-être de la vie moderne vient propre prix est souvent élevé et insoutenable.

Sahara Algérien caractérisée par un climat chaud, étés secs et des hivers frais et secs, et ont la construction prouvé bétonnée dans ces domaines, à défaut de donner un climat sain et confortable à l'intérieur des bâtiments, afin de fournir des économies de confort thermique et de l'énergie est devenu nécessaire d'utiliser des matériaux isolants.

L'objectif de cette étude, pour évalué la comportement mécanique et la conductivité thermique des échantillons fabriqués à partir de mélanges d'argile + sable et aussi avec un pourcentage étudié de la plâtre.

Pour cela, nous avons adopté dans cette recherche pour atteindre les objectifs ci-dessus à la fois l'argile extraite de la carrière Timimoune comme matériau de base, le sable comme matériau de stabilisation, ainsi que le plâtre comme additifs, aux fins de l'industrie des moules en argile donnera des résultats satisfaisants pour les propriétés physique, thermiques, mécanique.

Nous avons discuté dans le premier chapitre de cette étude aux définitions générales sur la base matérielle pour l'argile les caractéristiques thermiques et mécaniques et définitions générales de plâtre et de ses propriétés, et nous avons eu affaire dans ce chapitre à des recherches antérieures sur l'utilisation des matériaux locaux dans le processus de construction et qui ont les mêmes objectifs que nous cherchons à atteindre dans cette étude.

Dans le deuxième chapitre, nous avons traité avec les essais physiques et mécaniques pour l'argile, y compris l'essais d'Atterberg et l'essais du granulé de sédiments, alors que dans le troisième chapitre, nous avons traité avec les essais de conductivité thermique et leurs résultats ont utilisé la conductivité thermique de mesure des moules fabriqués à partir du mélange ancien dispositif H112N situé au niveau du laboratoire de génie civil à l'Université de Adrar.

Dans le dernier chapitre, nous avons recueilli tous les résultats obtenus par les expériences passées de physique, mécanique, thermique et illustré dans les tableaux d'analyse et de l'action par la comparaison et l'extraction des résultats et des conclusions.

# Chapitre I

**Synthèse bibliographique et  
présentation des matériaux**

**Locaux**





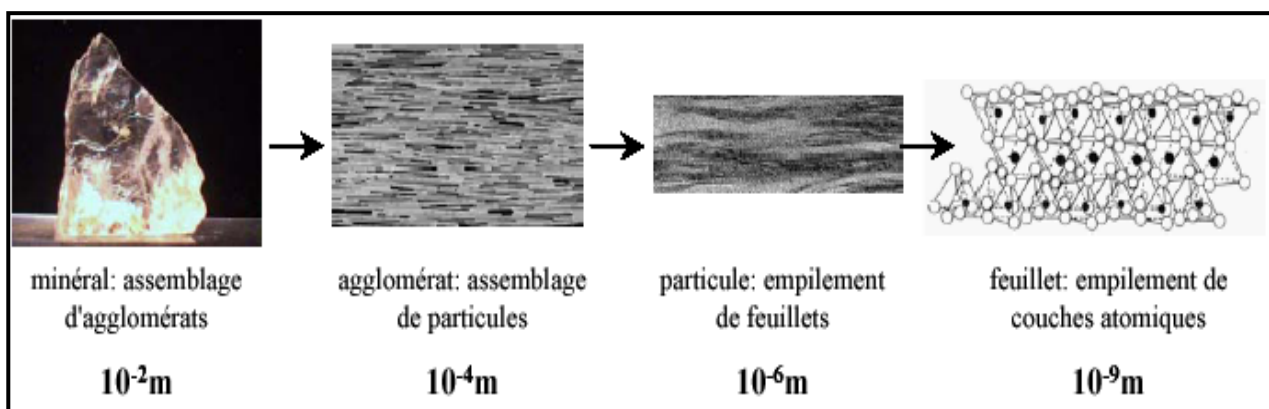
## I.1 Introduction :

L'argile est un des matériaux les plus anciens utilisé par l'être humain. récoltée à même la terre dans des carrières, on ne trouve pas une mais des argiles, de part une structure spécifique, ainsi que des propriétés multiples, les argiles répondent à de nombreuses indications, l'argile est déformable, transformable, adhérente, coulante, glissante, fixant et a ainsi de nombreuses capacités parmi lesquelles le transport, la capture, la libération de substances liquides, gazeuses, mais également solides, vivantes, et mortes, sa richesse minérale et en oligo-éléments en fait un outil dans la santé, le bien-être, la beauté, l'entretien du corps, de la maison, des constructions, dans l'industrie. Ces éléments ne dépassant pas le micron, on peut leur attribuer, en santé, le bénéfice d'une forme d'oligo-métallothérapie conférant certaines de leurs propriétés à l'argile, ce document retrace l'histoire de l'argile, décrit sa formation, sa structure et en ressort ses propriétés.

Il recueille les différentes formes d'argiles, leurs indications, utilisations possibles, les dernières innovations santé en cours de recherche, une étude est réalisée pour mettre en évidence les usages actuels de l'argile par ses consommateurs, sa place à l'officine et dans le conseil au comptoir.

Tous les minéraux argileux ne sont pas des phyllosilicates (quartz, feldspath), ni même des silicates (oxydes), les argiles sont généralement cristallisées, même si des argiles amorphes existent (allophanes dans les sols développés sur substrat volcanique ou andosols) [1].

On trouve les minéraux argileux très fréquemment dans les sols et les roches sédimentaires, tandis que les minéraux comme les illites ou les chlorites sont fréquents dans la fraction silteuse des roches magmatiques et métamorphiques, dans les ouvrages de référence, il existe différentes propositions de définitions. Par exemple, Eslinger et Peaver définissent les argiles comme un minéral qui domine dans la fraction fine < 2 microns des roches et des sols. Par contre, en (1989) Weaver regroupe tous les minéraux phyllo silicates sans aucune connotation de taille et propose d'utiliser le terme de " physils "pour éviter les confusions [1].



**Fig.I.1:** Observation d'un phyllo silicate (Montmorillonite) à différentes [1].

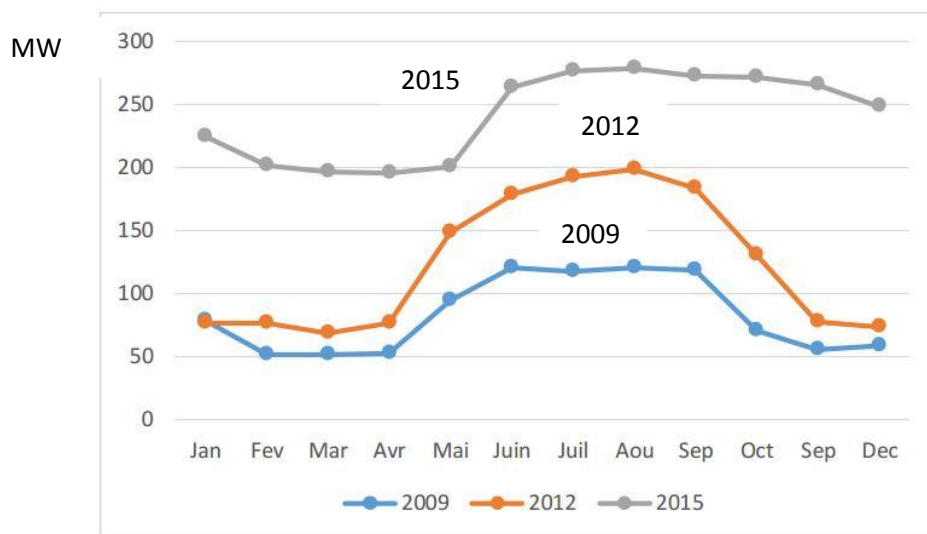


## I.2 Objectifs et problématiques

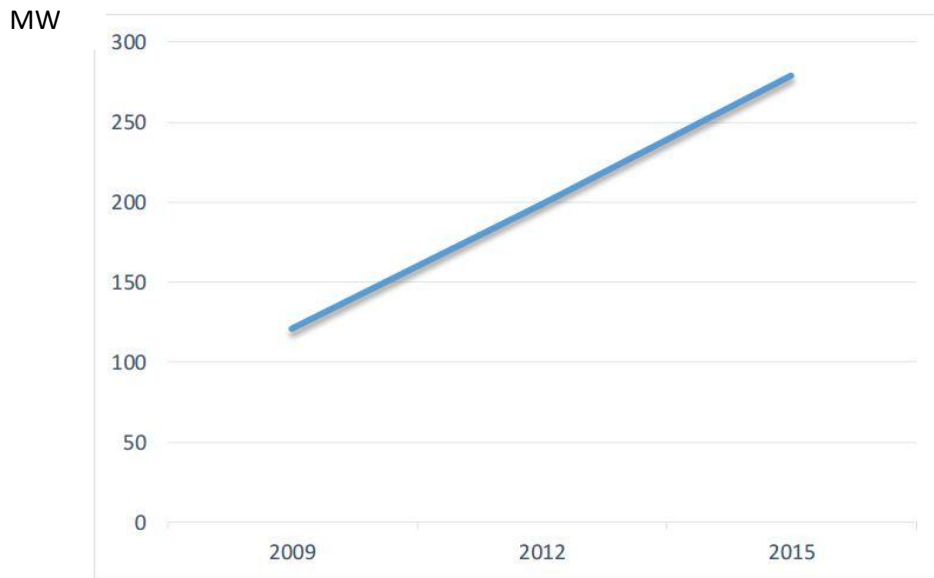
Humaine a été vivante depuis les temps anciens pour fournir un environnement approprié pour le logement, tel que développé les conditions environnementales entourant par des expériences continues et accumulées dans la pratique de l'expérience de la construction a été en mesure de reconnaître les caractéristiques des matériaux de construction, puis l'utiliser le plus efficacement pour répondre aux besoins et exigences, parce que l'environnement interne du bâtiment est très important pour le confort de l'homme et de l'environnement dépend de plusieurs facteurs et est une violation de l'un de ces facteurs préjudice à l'équilibre de cet environnement est la température à l'avant-garde des facteurs qui doivent être contrôlés dans les plages de sentiment humain confortable et qui est entre (40°C-55°C) en été et (09°C-18°C) en hiver. Il est à noter que le climat tropical, comme cela est le cas pour la ville d'Adrar se caractérise par être un climat difficile dans lequel la variation de la température en été et en hiver de manière significative, ce qui affecte de manière significative les éléments du bâtiment où la différence entre la température de degrés à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment est très grande, donc il faut utiliser le conditionnement l'air de contrôler les conditions de confort et de l'accès à la température appropriée dans l'espace interne du bâtiment et presque toute l'année.

En raison du fait que les systèmes de climatisation sont une charge essentielle importante et acquiert une plus grande consommation d'électricité dans cet état, où les statistiques de recherche indiquent que la consommation des abonnés ordinaires est un (70%) de l'ensemble de l'énergie électrique consommée au cours de la période (05-10) mois par année [30], le faible prix de l'électricité par rapport au coût des salaires réels de la production, conduit à la demande d'énergie plus élevée parce que ces salaires représentent un faible pourcentage du revenu par habitant, ce qui a conduit à un manque d'intérêt pour la rationalisation de l'énergie électrique.

Par conséquent, dans cette étude penser à la fabrication de moules d'argile ont de bonnes propriétés thermiques et mécaniques acceptables, pour contribuer à la réduction de la consommation d'énergie électrique et la valorisation des ressources locales pour améliorer le taux de chaleur à l'intérieur des bâtiments.



**Fig.I.2:** Evolution de la consommation par mois 2009,2012,2015.



*Fig.I.3: Evolution de pic annule 2009.2012,2015.*

### **I.2.1 Interprétation :**

Le figure I.3 donne l'évolution de la consommation pour les différent mois des années 2009, 2012 et 2015., la pointe à prendre en considération est celle enregistrée pendant la journée.

A noter par prévu que la consommation d'électricité augmente, en particulier dans les mois d'été, atteignant un pic qui pointe à 279 MW en 2015 au mois d'Août, ce voir la grande élévation de la température, ce qui diminue la courbe de consommation d'énergie dans les mois de printemps et en automne et en hiver, ce qui est à cause de diminuer la température dans ces mois.

### **I.3 Définition**

Le mot argile provient du latin Argilla, ce même mot est dérivé du grec Argillos, dont la racine, argos, signifie " d'une blancheur éclatante ". Du XIIe au XVIe siècle, argile se disait "Ardille", puis ce mot est devenu "Arzille", puis "Arsille" pour finir en "argile, le terme générique, « argile » est couramment utilisé pour désigner différentes roches sédimentaires, cristaux, présentant une forte teneur en minéraux, il n'existe pas une mais des argiles. Selon leur composition et concentration en minéraux, les différentes argiles ont des structures et des propriétés différentes[3].

La Montmorillonite (type d'argile décrite ultérieurement) serait le catalyseur au niveau des acides nucléiques. Sa charge anionique (ionique négative) ainsi que son pH spécifique permettent de catalyser une réaction d'activation des acides nucléiques entraînant la formation d'ARN. La NASA a également évoqué la présence d'argile sur Mars dont de la Montmorillonite. Dès trente cinq mille ans avant notre ère, l'argile était utilisée par la main de l'homme, en tant que matériau

pour produire des dessins dans les grottes, des histoires, traces du passé. L'argile a permis la sédentarisation.

Les premières traces d'habitation sont situées en Mésopotamie, sur les rives du tigre et de l'Euphrate. Aujourd'hui plus d'un tiers des habitations sont à base d'argile.

Les premiers contenants à base de terre cuite découverts, datent du septième millénaire avant notre ère. Les plus anciens écrits sont retrouvés sur des tablettes d'argiles. Le papier est apparu bien plus tard[3].



*Fig.I.4: Argile jurassique de bure[3]*

#### **I.4 Histoire des sciences**

La notion commune d'argile, aujourd'hui paradoxalement polysémique et très complexe, provient de la science conquérante et/ou vulgarisée au XIX<sup>e</sup> siècle.

Dans les manuels de chimie, tel celui de Louis Troost, l'argile pure était présentée comme une matière type blanche, compacte, douce au toucher, plus ou moins difficilement fusible, avec quelques propriétés emblématiques, dont la plasticité, la contraction et le retrait dimensionnel à la chaleur, l'avidité d'eau de cette matière après calcination et même de surcroît une composition chimique moyenne  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$  (sic).

Une argile est en effet plus ou moins plastique car elle peut former après humidification superficielle ou mélangée avec l'eau une pâte liante, facile à pétrir, à façonner avec précision, à l'instar d'une véritable pâte à modeler pour enfants.

Cette pâte, en se desséchant, se contracte et se fendille, l'argile chauffée subit un retrait dimensionnel, d'autant plus important qu'elle a été chauffée ou portée à une température élevée, n'est-ce pas le grand céramiste Wedgwood qui a utilisé cette propriété de rétraction pour la construction d'un pyromètre ? L'argile calcinée absorbe l'eau avec rapidité, les glycochimistes disent qu'elle happe la langue, c'est-à-dire qu'appliquée sur leur langue, cette matière desséchée s'empare de la salive qui l'humecte.

Cette approche essentialiste est antérieure à l'essor de la reconnaissance des multiples structures atomiques complexes dévoilées par l'usage des spectres et l'imagerie aux RX entraînant à son tour les progrès nécessaires dans l'analyse chimique.

Il est logique que cette démarche unitaire qui tente de regrouper les multiples produits de la décomposition en milieu aqueux du feldspath ou de multiples roches à une dégradation argileuse

plus ou moins partielle avec les gisements de kaolin ou terre à porcelaine, soit obsolète dans le monde scientifique actuelle.

L'argile y est souvent soit oubliée soit considérée comme un nom générique ancien, soit un simplement en cure utilisé dans enregistre familier ou argotique.

Cette approche imprécise qui marque encore l'enseignement élémentaire et provient surtout à sa base de l'observation scientifique de sarts et métiers spécifiques à l'argile sur une longue durée n'est pourtant pas à oublier, car elle s'accompagne toujours d'une déclinaison en argiles ordinaires, où l'argile pure définie plus haut se retrouve avec des proportions variables de :

- divers oxydes ou hydroxydes de fer, de manganèse...ou autres hydroxydes métalliques, pigments minéraux qui colorent la matière en jaune, vert...
- la chaux et des alcalis.
- la présence de matière calcaire dispersée et de sables.

Les scientifiques observateurs des métiers expliquent globalement les propriétés par ces mélanges et justifient les noms techniques ou traditionnels (argiles plastiques, argiles smectiques, argiles figulines ,marne soulimons) que les professionnels ou les artisans ou maîtres paysans emploient, avec des indications complémentaires de pureté ou de proportions, de propriétés des matières additives naturelles ou artificielles. Plus une argile technique contient de chaux et/ou d'oxydes de fer, plus sa fusibilité est grande.

## **I.5 Les Types d'Argile**

### **I. 5.1 Argiles Plastiques**

Ce sont les argiles ordinaires, relativement pures selon les critères chimiques du XIX<sup>e</sup> siècle, qui forment avec une pâte liante. Placé à la chaleur ou chauffé, elles acquièrent une dureté sans fondre ni s'écouler. Les argiles de Dreux, de Forges-les-Eaux ou de Montéreau étaient souvent cités en exemple en France.

Elles servent communément aux fabriques de poteries, aux tuileries et aux briqueteries. Si ces argiles sont réfractaires à la cuisson, elles peuvent être employées pour fabriquer des briques réfractaires, des creusets, des dalles ou éléments de parois de fours, les argiles réfractaires mélangées à la plombagine donnaient des pâtes réfractaires et résistantes pour les creusets de four à acier.

En réalité, aussi loin que remontent les historiens spécialistes des métiers et arts du feu, en particulier en poterie et en céramique, les pratiques connues font état de mélanges de deux ou plusieurs matières argileuses différentes provenant de diverses poches d'argiles parfois distantes de plus de 40 km dès l'époque antique, mélanges utilisés uniquement après des mises au point par test empirique et observation. Les diverses argiles faisaient l'objet de traitements parfois complexes, si les argiles de bas en convenaient pas directement:

- elles pouvaient être lavées de diverses façons, puis séchées.
- elles sont parfois raffinées (sélection des fines) durant le lavage ou par soufflage.
- elles pouvaient être broyées, voire rebroyées (pour accroître leur pouvoir collant).
- elles étaient parfois laissées pourrir pendant plus de deux années.
- elles peuvent être stockées, étendues sur des plans de séchage et mise au repos à températures variées cet art né de la manipulation, de l'observation et de la pratique complète et concrète du métier, du façonnage (test plastique à la main) à la sortie du four (test de cuisson, observation de surface type), a évolué suivant les époques et les contrées.

Les artisans les plus modestes anticipaient évidemment la tenue à la cuisson et la résistance de l'argile cuite en formulant leurs mélanges d'argiles, surtout s'il n'y avait qu'une cuisson pour garantir un aspect impeccable. En faïence et dans le champ des supports d'émaux, les propriétés thermomécaniques anticipées étaient moins exigeantes au niveau des surfaces pour les biscuits céramiques, car comme leur nom l'indique, ils sont cuits deux fois (bis), la seconde fois avec une couverte qui doit définir les caractéristiques de surface.

### I. 5.2 Argiles Smectiques

Ce sont les argiles ordinaires, considérées alors comme plus impures que les argiles plastiques, qui ne forment avec l'eau qu'une pâte peu liante. Leur fusion est plus élevée, les terres d'Issoudun dans l'Indre et de Villeneuve en Isère sont citées en exemple, elles servent traditionnellement de terres à foulons ou de terres dégraissantes.

### I.5.3 Argiles figulines

Ces Argiles ordinaires qui forment également une pâte peu liante avec l'eau sont extrêmement fusibles, l'explication proposée est celle déjà citée la présence non négligeable de chaux et d'oxydes de fer, les parisiens connaissaient les argiles de Vanves et de Vaugirard.

Elles sont employées pour garnir en couches imperméables le fond des bassins, pour la fabrication des poteries grossières et des terres cuites banales, certaines améliorées sont la terre glaise des sculpteurs.

### I.5.4 Argile Marnes

Au sens ancien, déterminée logiquement de manière globalement imprécise par une multiplicité d'usages paysans, il s'agit d'un mélange, parfois naturellement rocheux, d'argile et de craie, voire de terres argileuses et de calcaires friables, elles sont depuis l'époque gauloise valorisées en agriculture, pour l'amendement argileux, par exemple des champs trop sableux ou à complexe argilo-humique défectueux, l'opération se nomme encore marnage.

### I.5.5 Argile Limons

Cette terminologie paysanne ou biblique a été revue par les scientifiques, qui ont observées dans leurs grandes éprouvettes en verre transparent remplies d'eau distillée, les limons les plus fins, qui une fois agités, restent indéfiniment en suspension, les scientifiques, à l'instar des hommes de la mer observant les eaux boueuses des fleuves se mélanger aux eaux salées, ont remarqué que l'adjonction de sels par exemple de calcium ou de magnésium, avaient un effet d'agrégation catastrophique sur ces particules fines engendrant leur précipitation et la formation de sédiments, il s'agit, par ces coagulations singulières, des premiers pas en chimie-physique des colloïdes.

## I.6 Classification des minéraux argileux

Il existe différentes classifications des argiles. La plus classique est basée sur l'épaisseur et la structure du feuillet. On distingue ainsi 4 groupes :

- a. **Minéraux à 7 Å** : Le feuillet est constitué d'une couche tétraédrique et d'une couche octaédrique. Il est qualifié de T/O ou de type 1/1. Son épaisseur est d'environ 7 Å ;
- b. **Minéraux à 10 Å** : Le feuillet est constitué de deux couches tétraédriques et d'une couche octaédrique. Il est qualifié de T/O/T ou de type 2/1. Son épaisseur est d'environ 10 Å ;

- c. **Minéraux à 14 Å** : Le feuillet est constitué de l'alternance de feuillets T/O/T et de couches octaédriques interfoliaires ;
- d. **Minéraux inter stratifiés** : L'épaisseur du feuillet est variable, ces minéraux résultent du mélange régulier ou irrégulier d'argiles appartenant aux groupes ci-dessus.

*Tableau I-1 : Classification des minéraux argileux selon la charge globale du feuillet et de la composition de sa couche octaédrique[2].*

Feuillet	Charge par maille	Diocatédrigue	Triocatédrigue
<b>1 :1</b>	0 à 0.4	<i>Kaolinite</i> $(Si_4)(Al_4) O_{10}(OH)_8$	<i>Antigorite</i> $(Si_4)(Mg_a) O_{10}(OH)_8$
			<i>Berthier nés</i> $(Si_4xAl_x) Mg^{+2}e x O_{10}(OH)_8$
		<i>Pyrophyllite</i> $(Si_4)(Al_4) O_{20}(OH)_4$	<i>Tule</i> $(Si_8)(Mg_8) O_{20}(OH)_4$
<b>2 :1</b>	0.4 à 1.2	<b>SMECTITES</b>	
		<i>Montmorillonite</i> $M_x(Si_8)(Al_{4y}Mg_y) O_{20}(OH)_4$	<i>Houclorite-Stuvenite</i> $M^+_x(Si_8)(Mg_yLi_y) O_{20}(OH)_4$
		<i>Bondllite</i> $M_x(Si_8xAl_x)(Al_{4y}/F_{04}) O_{20}(OH)_4$	<i>Saponite</i> $M^+_x(Si_8Al_x)(Mg_y) O_{20}(OH)_4$
	1.2 à 1.8	<i>Illite</i> $K^{+}_{x+y}(Si_8xAl_x)(Al_{4y}M^{2+}_y) O_{20}(OH)_4$	<i>Verniculite</i> $K^{+}_{x+y}(Si_8xAl_x)(M_{ge-y}M^{3+}_y) O_{20}(OH)_4$
		<b>MICAS</b>	
		<i>Muscovite</i> $K^+_2(Si_8Al_2)(Al_{4y}) O_{20}(OH)_4$	<i>Phiogopite</i> $K^+_2(Si_8Al_2)(M_{g6}) O_{20}(OH)_4$
	4	<i>Margarite</i> $Ca^{2+}_2(Si_4Al_4) Al_4O_{20}(OH)_4$	<i>Cimonite</i> $Ca^{2+}_2(Si_4Al_4)(M_{g6}) O_{20}(OH)_4$

## I.7 Structure des principaux minéraux argileux

### I.7.1 Structure de La Kaolinite

La kaolinite est constituée d'une succession de couches alternées de feuillets en tétraèdre (Silice) et de feuillets en octaèdre (Aluminium), qui explique donc que l'on considère la kaolinite comme un minéral argileux **1/1**. Sa formule théorique est  $Si_4Al_4O_{10}(OH)_8$ .

Les deux feuillets sont liés de telle manière qu'ils forment une seule couche d'épaisseur d'environ 7Å (0,7 nm) qui s'étend indéfiniment dans les deux autres directions.

La liaison entre deux feuillets adjacents est assurée par des liaisons hydrogènes, ces liaisons s'établissent entre les hydroxyles de la couche octaédrique et les oxygènes de la couche tétraédrique, elles entraînent un rapprochement des feuillets adjacents, empêchant toute pénétration de molécules d'eau, de molécules organiques ou d'ions minéraux, Il n'existe donc aucune possibilité de gonflement ou de rétraction des feuillets, la faible capacité d'échange des kaolinites est due à des sites de surface amphotères.

### I.7.1.1 Propriétés des kaolins industriels

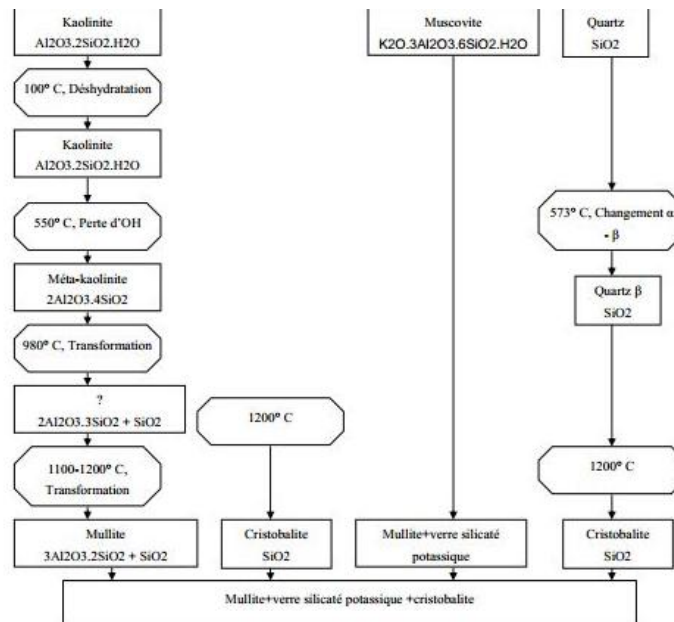
Les utilisations du kaolin sont régies par plusieurs facteurs comprenant la composition minéralogique et les propriétés physiques et chimiques de l'ensemble, celles-ci étant déterminées par les conditions géologiques dans lesquelles le kaolin a été formé, Les caractéristiques importantes concernant les applications des minéraux argileux sont les suivantes :

- a)- La nature et les dimensions des particules, leurs formes, la cristallinité, la chimie globale.
- b)- la surface des cristaux, la surface spécifique, la charge de la surface et de la bordure. et d'autres propriétés qui en découlent, spécifiques aux applications particulières, telles que la viscosité, la plasticité, La résistance mécanique en vert, la résistance mécanique d'échantillon sec et cuit, l'absorption et l'adsorption, l'abrasivité et le pH.

### I.7.2 Propriétés thermiques

La kaolinite est un minéral réfractaire (température de liquides d'environ 1800°C), mais en association avec des minéraux comme les micas, les feldspaths ou les carbonates, la température d'apparition d'une phase liquide lors du frittage se trouve abaissée (Holm2001 ). On peut noter quatre réactions lorsqu'on chauffe une argile kaolinique. Les deux premières sont endothermiques, et les deux dernières sont exothermiques l'eau absorbée est éliminée vers 100 °C. A 600°, la kaolinite perd son eau de cristallisation pour donner la méta-kaolinite. A 980° C environ on a la transformation de la méta-kaolinite en mullite + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Enfinement vers 1200° C on peut observer la transformation rapide de la silice en cristobalite et la réaction entre Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et SiO<sub>2</sub>. Le produit de cette réaction est encore la mullite.



**Fig.I.5:** Schéma des transformations des trois composants principaux des argiles kaolinique.[26]

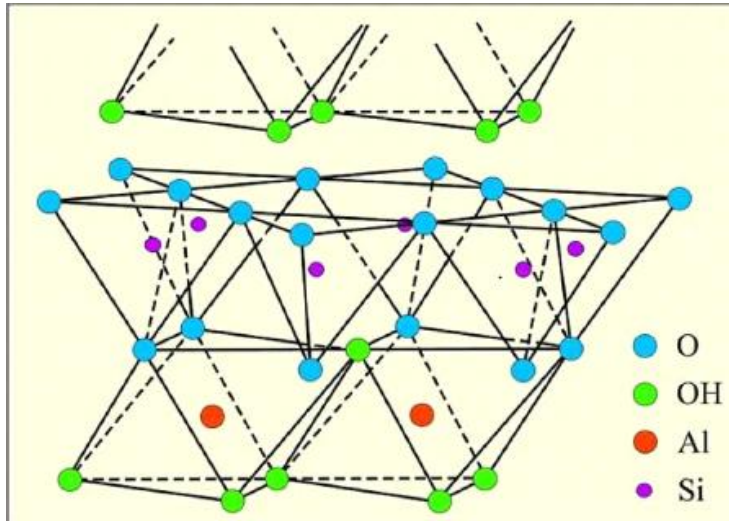


Figure I-6 : Représentation schématique de la structure de kaolinite[2]

### I.7.2 Structure de l'illite

L'illite est constituée d'une couche octaédrique (O) intercalée entre deux couches tétraédriques (T), sa formule théorique est :  $(\text{Si}_{4-x}\text{Al}_x)(\text{Al}_2)\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{K})_x$  avec  $x$  voisin de 0,5.

Les illites sont des minéraux argileux à feuillet de type 2/1 et à équidistance basale stable à 10 Å. Elle présente des substitutions fréquentes de  $\text{Si}_{4+}$  par  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  ou  $\text{Fe}^{3+}$ , les défauts de charge de la maille sont compensés en général par des ions  $\text{K}^+$  logés dans les cavités hexagonales des couches tétraédriques [1]. Ces gros cations assurent la liaison ionique des feuillets adjacents et bloquent l'écart réticulaire à 10 Å quelque soit l'état d'hydratation.

L'argile illitique renferme de faibles quantités d'eau zéolithique et par conséquent ne présente pas de phénomène de gonflement [2].

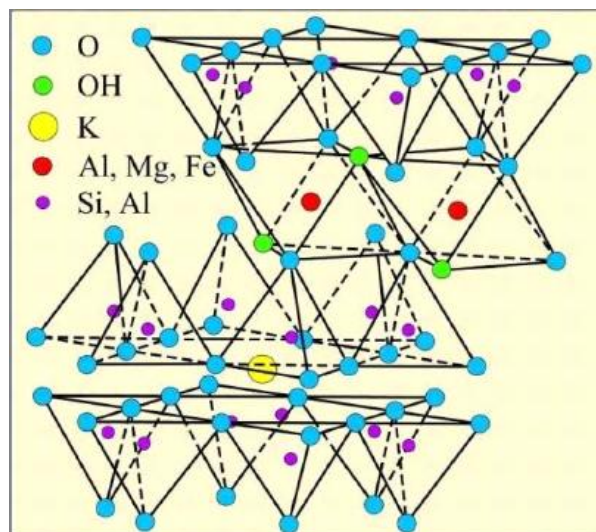


Figure I-7 : Représentation schématique de la structure de l'illite[2].



### I.7.3 Structure de chlorite

Le chlorite est un terme qui a désigné au début les minéraux phylliteux de couleur verte et riche en fer ferreux, Le feuillet élémentaire est de type 2/1/1, avec en position interfoliaires une couche continue de nature hydroxylique (couche octaédrique) déterminant une équidistance basale très stable à 14 Å. La structure des chlorites correspond donc à l'association d'un feuillet 2/1 de type micacé avec une couche interfoliaire supplémentaire et indépendante, constituée d'hydroxyde de magnésium ou de fer ferreux, les feuillets 2/1 sont liés entre eux par cette couche hydroxylique :

- les charges négatives provenant de substitutions diverses dans le feuillet 2/1 sont en effet compensées par les charges positives développées dans la couche octaédrique hydroxylée au sein de laquelle se produisent des substitutions bivalent/trivalent (par exemple :  $Mg^{2+}/Al^{3+}$ ,  $Mg^{2+}/Fe^{3+}$ ,  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ ) [12].
- La couche hydroxylique, appelée couche ou feuillet brucitique, a donc une composition mixte, ferromagnésienne ; du fait de la compensation des charges, elle assure à l'édifice cristallin une très grande stabilité.

La formule structural de chlorite est =  $Mg_5 (Al, Fe) (OH)_8 (Al, Si)_4 O_{10}$

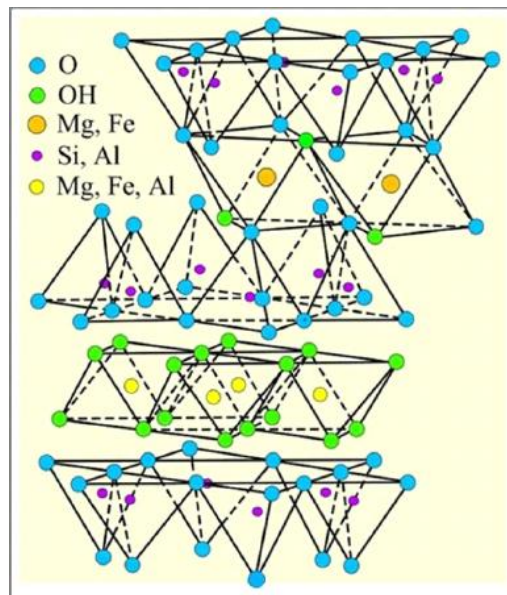


Figure I-8: Représentation schématique de la structure de chlorite[2]

### I.7.4 Structure de vermiculite

Sont des minéraux à aspect de mica et sont proches des illites et chlorites mais avec la propriété d'être gonflants, ils se caractérisent par la présence de cations hydratés dans l'espace interfoliaires, Le complexe interfoliaires comprend généralement des cations Mg ou Ca et 2 couches de molécules d'eau. ainsi, si ces minéraux sont chauffés, ils perdent leur eau interfoliaires et leur distance inter-réticulaire rétrécit à 10 Å, les vermiculites dioctaédrique résultent généralement de l'altération des micas (illite ou muscovite) et sont abondantes dans les sols des zones tempérées, les vermiculites trioctaédrique sont plutôt issues de l'altération des chlorites ou néoformées.

La formule générale des vermiculites est

$(Mg,CaX)(Si(8X).AlX)(Mg,Fe)_6O_{20} \cdot yH_2O$  avec  $X= 1$  à  $1,4$  et  $y$  de l'ordre de  $8$ .  $Mg^{2+}$  et  $Ca^{2+}$  sont les cations compensateurs très facilement échangeables [2].

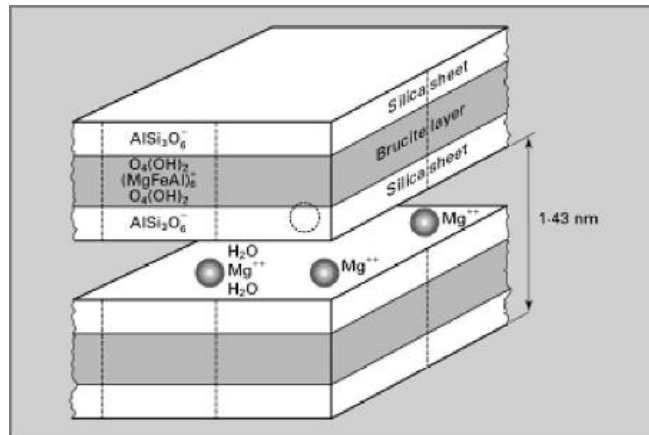


Figure I-9: Représentation schématique de la structure de vermiculite[2]

### I.7.5 Structure de Smectites

Les smectites sont des phyllosilicates de type 2/1 (ou TOT), constituées de deux couches tétraédriques encadrant une couche octaédrique. Les minéraux smectites diffèrent selon que les substitutions isomorphiques sont prédominantes dans les couches tétraédriques et/ou octaédriques ainsi que selon la composition chimique de leurs couches octaédriques, autrement dit suivant que si le minéral est dioctaédrique ou trioctaédrique.

Tableau I-2 : Les différents types de smectites. [2]

SUBSTITUTIONS TETRA.		SUBSTITUTIONS CROISSANTES	
		PAS DE SUBSTITUTIONS	SUBSTITUTIONS $Si^{4+} \leftrightarrow Al^{3+}$   $Si^{4+} \leftrightarrow \begin{matrix} Al^{3+} \\ Fe^{3+} \end{matrix}$
SUBSTITUTIONS OCTA.	PAS DE SUBSTITUTIONS	<b>SMECTITES DIOCTAEDRIQUES</b>	
	SUBSTITUTIONS CROISSANTES	$Al^{3+} \leftrightarrow Mg^{2+}$ MONTMORILLONITES	$Fe^{3+} \leftrightarrow Mg^{2+}$ BEIDELLITES s.l. NONTRONITES s.l.
SUBSTITUTIONS CROISSANTES	PAS DE SUBSTITUTIONS	<b>SMECTITES TRIOCTAEDRIQUES</b>	
	SUBSTITUTIONS CROISSANTES	$Mg^{2+} \leftrightarrow \square$ STEVENSITES	SAPONITE
	SUBSTITUTIONS CROISSANTES	$Si^{4+} \leftrightarrow \begin{matrix} Al^{3+} \\ Fe^{3+} \end{matrix}$ HECTORITE	

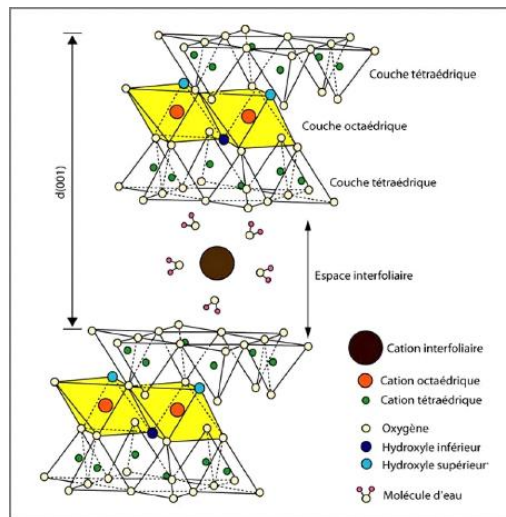
Il existe deux sous-groupes : les smectitetri octaédriques (saponite, steveniste) et les smectites dioctaédrique (beidellite, montmorillonite et nontronites) .

### I.7.5.1 Les Smectites Trioctaédrique

Correspondent aux saponites ou aux stevenistes dont la couche octaédrique contient essentiellement  $Mg^{2+}$ , les substitutions sont alors majoritairement tétraédriques :  $Si^{4+}$  remplacé par  $Al^{3+}$  ou  $Fe^{3+}$  dans la saponite et négligeables dans la steveniste.

### I.7.5.2 Les smectites dioctaédrique

Sont les beidellites, les nontronnaïses et les montmorillonites. dans l'idéal, les beidellites et les nontronites ont un déficit de charge tétraédrique comme les saponites ( $Si^{4+}$  substitué par  $Al^{3+}$ ), alors que les montmorillonites ont un déficit de charge octaédrique ( $Al^{3+}$  substitué par  $Mg^{2+}$  essentiellement). En fait, les smectites dioctaédrique possèdent le plus souvent à la fois des déficits de charges tétraédriques et octaédriques et c'est cette tendance qui les classe parmi les montmorillonites ou les beidellites. Les nontronites sont des beidellites contenant du fer dans la couche octaédrique et éventuellement dans la couche tétraédrique, la montmorillonite est la smectite la plus connue et la plus étudiée; sa structure est schématisée sur la figure I-10.



**Figure I-10 : Représentation schématique de la structure d'une montmorillonite**

Les formules structurales sont très variables d'une smectite à l'autre, même au sein d'une même espèce. Il est donc difficile de proposer une formule structurale générale [1].

On peut quand même donner les formules structurales de quelques espèces parmi les plus courantes:

- a)- Montmorillonite  $R_x(Al_{2-x}Mg_x)O(Si_4)T O_{10}(OH)_2, nH_2O$  ( $R=Na^+$  ou  $1/2Ca^{2+}$ ,  $x$  0,3-0,7).
- b)- Beidellite  $Na_{x+y}(Al_{2-x-t}Fe_{3+t}Mg_x)O(Si_{4-y}Al_y)T O_{10}(OH)_2, nH_2O$ .
- c)- Nontronite  $K_y(Fe_{3+2-x}Al_x)O(Si_{4-y}Al_y)T O_{10}(OH)_2, nH_2O$ .
- d)- Saponite  $(Mg)Na_y(Mg_3)O(Si_{4-y}Al_y)T O_{10}(OH)_2, nH_2O$ .

Par ailleurs, la couche interfoliaires est également de nature variable (cations mono ou divalents avec 1 ou 2 couches d'eau). Les cations qui assurent la compensation du déficit de charge du feuillet T/O/T. sont principalement Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> et K<sup>+</sup>, Ils se localisent en général au-dessus du centre des cavités hexagonales de la couche tétraédrique, à des cotes variables en fonction de leur taille, de leur sphère d'hydratation et du déficit de charges du feuillet [2].

*Tableau I-3. Tableau récapitulatif des différentes argiles selon leur composition chimique (En pourcentage). [R. Bouabid, M. Badraouf ] [2].*

		<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>MgO</b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>
<b>Kaolin</b>	Max	53.72	46.28	00.00	0.00	0.00
	min	53.72	46.28	00.00	0.00	0.00
<b>Montmorillonite</b>	Max	61.47	23.00	4.32	4.65	0.84
	min	48.24	16.54	0.30	0.03	0.12
<b>Illites</b>	Max	54.09	38.84	8.16	5.90	7.98
	min	43.95	21.12	0.72	3.60	5.48
<b>Vermiculites</b>	Max	54.09	38.84	8.16	5.90	4.97
	min	43.95	21.12	0.72	1.84	00.00
<b>Chlorites</b>	Max	43.95	52.00	5.01	10.14	1.52
	min	39.01	32.15	0.00	0.00	00.00

## **I.8 Caractérisation des Argiles**

### **I.8.1 Difractions des Rayons X**

Une des techniques utilisées pour reconnaître les argiles est l'analyse par diffractions de rayons X. Cette technique nécessite une préparation spécifique de l'échantillon, chacune des méthodes de préparation permet d'obtenir des informations différentes sur la structure du minéral.

La préparation désorientée se fait, comme son nom l'indique, à partir d'une poudre compacte dont les constituants auront été désorientés. Plusieurs méthodes sont utilisées:

- la poudre arasée,
- le « sideloading »,
- le « backloading » ou encore
- le « spray-dried ».

La désorientation « parfaite » d'une poudre reste une technique délicate, pouvant être fortement influencée par les éventuelles orientations préférentielles induites par certains minéraux. La poudre désorientée reste la méthode de préparation majoritairement utilisée pour l'identification des phases dans un échantillon minéral.

Cette dernière permet d'obtenir l'ensemble des plans de diffraction des phases constituantes, les argiles, quant à elles, sont plus difficilement différenciables par cette technique, car leurs plans cristallographiques sont pour beaucoup identiques d'une famille à l'autre, les diffractogrammes montrent alors des pics superposés rendant la lecture et l'identification des phases plus complexes.

Cependant, bien que présentant certains inconvénients (pour les phyllosilicates) la vision globale des plans de diffractions permet d'atteindre des paramètres tels que le taux de remplissage de la couche octaédrique, etc.

Une variante de la préparation désorientée consiste à placer la poudre dans un capillaire, cette technique donne des résultats semblables, mais permet de travailler avec des quantités de matières bien inférieures.

La préparation de lames orientées est une méthode mise en place pour discerner les différents phyllosilicates d'un échantillon. Elle consiste à laisser sédimenter un échantillon pendant un laps de temps (loi de Stokes) donné afin d'en récupérer uniquement la fraction  $< 2 \mu\text{m}$ , considérée comme étant la fraction renfermant la phase argileuse «pure».

Cette fraction en solution est ensuite déposée sur une lame de verre, puis séchée. Lors du séchage les particules lamellaires d'argiles vont toutes s'orienter selon leur plan cristallographique (001) (à l'image d'une pile de papier tombant à terre, toutes les pages finissent grande face vers le sol), lorsque l'on soumet cette lame à la diffraction, on n'obtient donc que les raies 001 (c'est-à-dire 001, 002, etc.), ces raies sont caractéristiques des grandes familles de minéraux argileux.

Dans certains cas, les pics de diffractions sont fatalement superposés. Pour différencier les argiles, on effectue alors divers traitements visant à modifier l'espace inter-feuillets : chauffage, acidification, remplacement du cation inter-foliaire... En regardant l'évolution des pics de diffraction aux faibles angles selon le traitement, on peut reconnaître l'argile, outre en géochimie, cette technique est également utilisée par la police scientifique pour essayer de déterminer l'origine des traces de terre qui peuvent constituer un indice lors d'une enquête.

### **I.8.2 Essai au bleu de méthylène**

Pour reconnaître les différents types d'argile on peut pratiquer un essai au bleu de méthylène, en dosant la concentration de bleu de méthylène après un contact avec une argile, on en déduit indirectement la CEC de cette dernière, ce qui permet de classer globalement le minéral.

### **I.8.3 Couleurs**

Les particules d'argile ne sont nullement responsables de la couleur du sol, la couleur rouge, orange, jaune, vert, bleu d'un sol (argileux ou non) est due à l'état du fer dans le sol ( $\text{Fe}^{3+}$  dans les trois premiers cas et  $\text{Fe}^{2+}$  dans les deux derniers), lorsque le sol est d'une couleur tendant vers le blanc, c'est que cet élément a été dissous et évacué hors du profil, Par ailleurs, argile (nom masculin) est le nom d'une couleur d'un gris neutre très pâle tirant sur le blanc.

### **I.8.4 Chimie**

Dans l'eau, les particules d'argile se comportent comme des gouttes d'huile dans la vinaigrette: elles se regroupent et forment des « micelles » en suspension : on dit que l'argile est à l'état « dispersé ». La présence de sels minéraux dissous portant des charges positives ( $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Ti}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Sr}$ ...) provoque la liaison des micelles entre elles : l'argile est floculée, cette propriété des argiles va lui permettre d'être liquide à l'état dispersé, pâteuse dans la boue et solide dans un sol sec, l'argile est un colloïde qui flocule avec des cations.

## **I.9 Formation géologique**

Les argiles désignent de très fines particules de matière arrachées aux roches par l'érosion ainsi que les minéraux argileux ou phyllosilicates (Ces dernières observées au microscope ont la forme de plaquettes, ce qui explique leur plasticité), la plupart de ces particules proviennent de la désagrégation de roches silicatées :

- du granite (mica et feldspath), du gneiss ou encore des schistes, ces particules sont transportées par le vent ou l'eau sous forme de limon ou de vase.
- Les fleuves véhiculent des argiles qui finissent par se déposer en alluvions, dans le cours d'eau lui-même, à son embouchure, dans un lac ou dans la mer.
- Les dépôts peuvent alors sédimenter et former une roche argileuse par diagenèse : déshydratation et compactage.

En tant que roches sédimentaires, les affleurements argileux présentent une succession de strates empilées les un sur les autres.

Les éruptions volcaniques produisent aussi des argilolithes, parfois sous d'éjecta de pierre vitreuse ou de tuf.

### **I.I.9.1 Argiles néoformées**

Les terres argileuses sont composées d'éléments très fins, provenant de la dégradation mécanique et chimique de roches préexistantes (en particulier les micas et les feldspaths), les argiles résultant peuvent rester sur les lieux mêmes de leur formation, comme le kaolin, elles sont le plus souvent entraînées par les eaux ou le vent, se déposant sous forme de masses stratifiées ou parfois en poches lenticulaires ou sphériques, on trouve ainsi les bancs d'argile dans les sédiments depuis l'ère Tertiaire, au pied des montagnes et dans les grandes vallées fluviales, après la dissolution d'un calcaire, des argiles peuvent également se former puis tapisser les dépressions karstiques (les dolines), lors de leurs déplacements, elles peuvent entraîner des minéraux rencontrés sur leur chemin, d'où une très grande variété de finesse, de coloration et de composition, selon les niveaux successifs d'un même gisement et à plus forte raison de l'un à l'autre [03].

### **I.9.2 Argiles et plantes**

Les racines des plantes, par hydrolyse et en symbiose avec la pédofaune, se nourrissent des roches, et sécrètent pour les dissoudre des acides :

Les racines, grâce aux sucres issus de leur photosynthèse, fournissent l'énergie nécessaire aux micros organismes pour qu'ils transforment la roche en éléments absorbables par les racines.

Les besoins des plantes en silice, fer et aluminium sont infimes, or ce sont les éléments constitutifs de la croûte terrestre majoritaires (silicium 26 %, aluminium 7 %, fer 4 %). Donc à mesure que les autres éléments sont prélevés et exportés définitivement (recyclage constant) en surface pour nourrir la plante et le sol, ces trois derniers restent et se concentrent jusqu'à saturation d'autant plus vite que ces éléments sont déjà majoritaires, ils recristallisent alors en argiles (formation d'un précipité).

La formation biologique de l'argile serait maximale dans la zone du sol située entre 5 et 25 cm de profondeur, la production annuelle serait de 0,00001 à 0,002 g par 100 g de matériaux par an, ce qui est relativement lent, en considérant qu'un mètre de terre pèse environ 10 000 tonnes à l'hectare, cela correspond à une production annuelle de 3 à 60 kg à l'hectare sur 30 cm de sol.

Les facteurs influençant positivement la formation de l'argile sont une humidité édaphique élevée (drainage modéré), une température élevée, la grande finesse de grain de la roche-mère, sa richesse en bases et sa friabilité. Plus le sol est ancien plus la formation d'argile est rapide, et c'est finalement le type de sol, donc de climat et de communautés biologiques, qui influe le plus sur la quantité d'argile produite [03].

## **I.10 Les minéraux à pseudo-feuillets et à faciès fibreux**

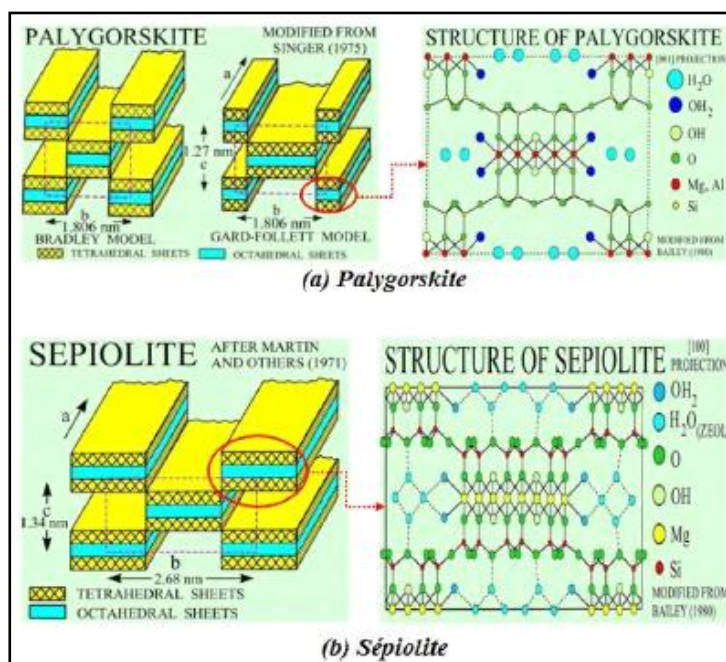
Les minéraux fibreux sont des espèces à pseudo-feuillets, leur faciès fibreux résulte d'une discontinuité du feuillet selon l'axe b ce pseudo-feuillet est constitué de plans continus d'oxygène, dans ces plans, les oxygènes sont aux sommets d'un hexagone plus ou moins régulier. Entre deux plans continus d'oxygène, on trouve deux plans discontinus formés d'oxygène et d'hydroxyle.

L'empilement des deux plans discontinus forme des octaèdres enchevêtrés créant ainsi un ruban, cette rupture donne naissance à des lacunes qui forment des canaux structuraux entre des rubans, la largeur de ces rubans est caractéristique de chaque famille.

Les oxygènes du plan continu forment la base de tétraèdre dont la pointe est constituée par un oxygène du ruban, ces tétraèdres sont occupés en leur centre par des ions  $Si^{4+}$ .

Les ions  $Mg^{2+}$  ou  $Al^{3+}$  occupent les lacunes octaédriques, les rubans se terminent par des liaisons entre ces cations et des molécules d'eau, on distingue deux principales familles (Figure I11) :

- a)- La famille des palygorskites (appelée aussi attapulгите) où l'empilement des deux plans discontinus fait apparaître un ruban à cinq octaèdres, les particules ont la forme d'aiguilles rigides.
- b)- La famille des sépiolites où l'empilement des deux plans discontinus fait apparaître un ruban à huit octaèdres, les particules ont la forme de fibres flexibles.
- c)- La palygorskite est riche en Mg et Al, sa formule idéale se présente comme :  $Si_8O_{20}Al_2Mg_2(OH)_2(H_2O)_4$ . En revanche, la sépiolite est purement magnésienne, sa formule idéale est :  $Si_6Mg_4O_{15}(OH)_2 \cdot 6H_2O$  [06].

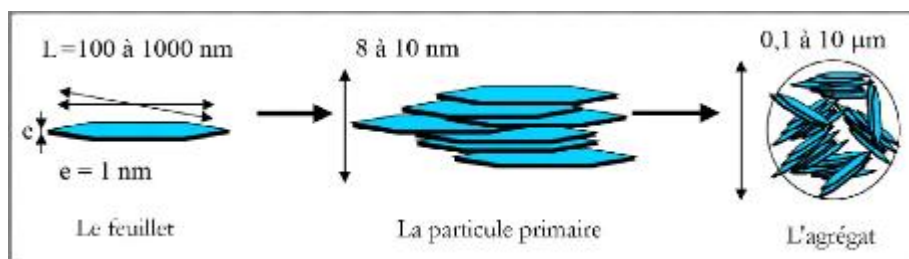


**Figure I-11:** Schéma de la structure des minéraux argileux fibreux[06].

## I.11 Organisation texturale des matériaux argileux

### I.11.1 Organisation multi-échelle de la phase solide

La phase solide du système argileux peut-être décrite à partir de trois unités structurales et de l'arrangement mutuel de ces unités : le feuillet, la particule et l'agrégat.



**Figure I-12:** Structure multi-échelle d'une smectite (exemple de la montmorillonite) [06].

### I.11.1.1 Le feuillet

La première de ces unités est le feuillet, c'est l'unité structurale de base définissant la nature minéralogique, l'appartenance au type d'argile, les propriétés physico-chimiques ainsi que le comportement macroscopique, selon la composition de ce feuillet, sa forme est très variée, l'épaisseur est d'environ 1 nanomètre pour une extension latérale qui peut aller jusqu'au micron, cette anisotropie confère à ces feuillets une certaine souplesse [6].

### I.11.1.2 La particule primaire

La particule primaire est constituée de cinq à dix feuillets identiques empilés et parallèles à leurs plans de base, maintenus par les forces électrostatiques attractives entre les ions inter foliaires et les feuillets [4], elle fait généralement 8 à 10 nanomètres d'épaisseur, la taille des particules est à peu près constante [5].

### I.11.1.3 L'agrégat

L'agrégat est un ensemble de particules primaires orientées dans toutes les directions. Les agrégats ont une taille qui varie de 0.1 à 10 microns [5], en prenant pour référence les données d'Oberlin et Méring (1962) et Van Olphen (1964) et portant sur les minéraux expansibles, Tessier (1975) a proposé une nomenclature pour nommer les différents modes d'association des particules [4] : bord à bord et face à face, l'agrégat constitué de plusieurs particules primaires a été nommé « unité morphologique ».

La figure I-13 représente les différents modes d'associations supposés formant l'agrégat :

- (a) Dispersion,
- (b) Agrégation face-face,
- (c) Association bord-face,
- (d) Association bord-bord

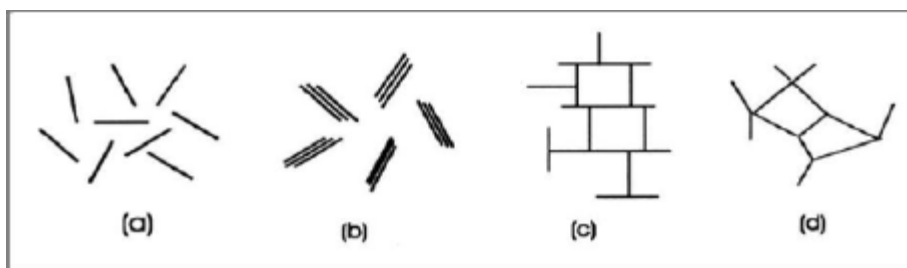


Figure I-13 : Modes d'associations supposés des feuillets de montmorillonite en suspension[5].

### I.11.1.4 Empilements des feuillets

#### I.11.1.4.1 Cas des minéraux homogènes

Si on considère les principales espèces minéralogiques, trois grands types d'empilements sont à considérer:



a) **Empilement ordonné** : Dans ce cas les feuillets sont empilés les uns sur les autres dans un ordre parfait. C'est le cas des phyllosilicates dont l'espace inter foliaire est vide ou anhydre (kaolinites ou illites).

b) **Empilement semi-ordonné (ou désordre translationnel)** : Les feuillets successifs présentent des translations «semi-définies». Les feuillets sont séparés par quelques molécules d'eau, l'épaisseur de la particule est variable et dépend du degré d'hydratation. Ils peuvent glisser latéralement les uns sur les autres.

c) **Empilement désordonné (ou désordre turbostratique)** : Dans ce cas d'empilement, des feuillets successifs présentent des translations et/ou des rotations quelconques dans tout l'édifice, les feuillets sont séparés par un film d'eau permettant une libre rotation autour d'un axe perpendiculaire au plan de la particule [7].

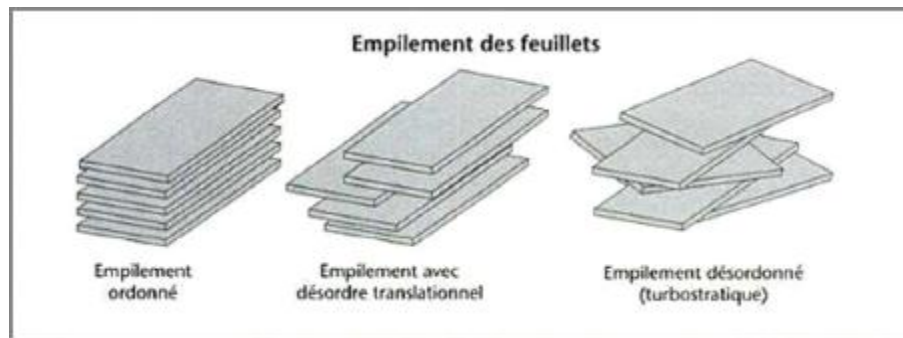


Figure I-14 : Les différents types d'empilement dans les argiles cas des minéraux interstratifiés[7].

#### I.11.1.4.2 Cas des minéraux inter stratifiés

L'empilement se caractérise essentiellement par le mode de succession des feuillets de nature différente suivant la normale à leur plan, ainsi si on considère un minéral inter stratifié qui contient deux types de feuillets A et B, on peut envisager essentiellement trois types d'inter stratifiés:

a) **Ségrégés** : une particule donnée présente des séquences AAABBB , le diagramme de diffraction X est la superposition des diagrammes produits par chacun des constituants.

b) **Réguliers** : une particule donnée comporte alors des séquences ABABAB...AB , une période de sur structure perpendiculairement au plan des feuillets égale à la somme des épaisseurs des deux feuillets apparaît ( $dT=dA+dB$ ). Le diagramme de diffraction X comporte alors des réflexions basales de sur structure correspondant à  $dT$ .

c) **Aléatoires** : c'est-à-dire tous les cas intermédiaires entre les deux décrits précédemment (Figure I-15). Dans ce cas, les diagrammes de diffraction X présentent des réflexions (001) irrationnelles, et leur interprétation est très délicate [8] .

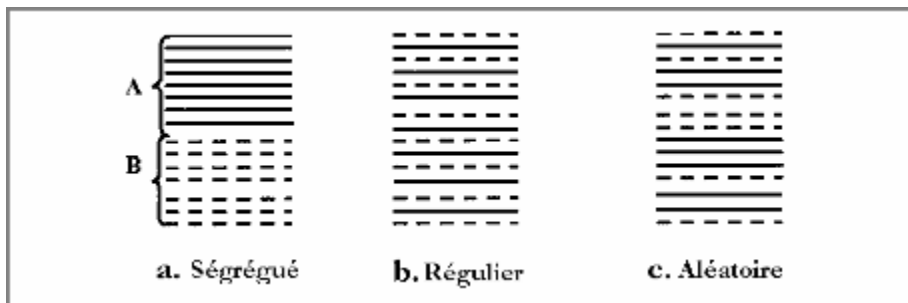


Figure I-15 : Différents modes de succession des feuillets au sein d'une unité interstratifiée. [8]

### I.11.2 Organisation des espaces poreux

L'organisation des matériaux argileux (du feuillet à l'assemblage d'agrégat) ne peut être interprétée que si l'organisation de l'espace poral est prise en considération, la dimension, la forme la distribution des espaces poreux dépendent de la granulométrie du matériau argileux, de son caractère gonflant, du fluide interstitiel et des contraintes[7].

a) **L'espace interfoliaire** : sépare deux feuillets dans un empilement. Il est généralement occupé par les couches d'eau adsorbée (1 à 4) et des cations échangeables, et son épaisseur moyenne est comprise entre 1,5 et 2,5 nm.

b) **L'espace interarticulaire** : séparant les particules argileuses qui forment les agrégats. Il est susceptible de diminuer jusqu'à atteindre la valeur de l'espace inter foliaire pour les argiles fortement compactées, dans ce type d'espace la double couche peut se développer, les micropores lenticulaires sont intérieurs aux particules, à l'échelle de quelques nm.

c) **L'espace inter agrégat** : a une section moyenne comprise entre 1,6 et 16 nm où l'eau circule librement (eau libre) limitant les effets électrostatiques de la double couche.

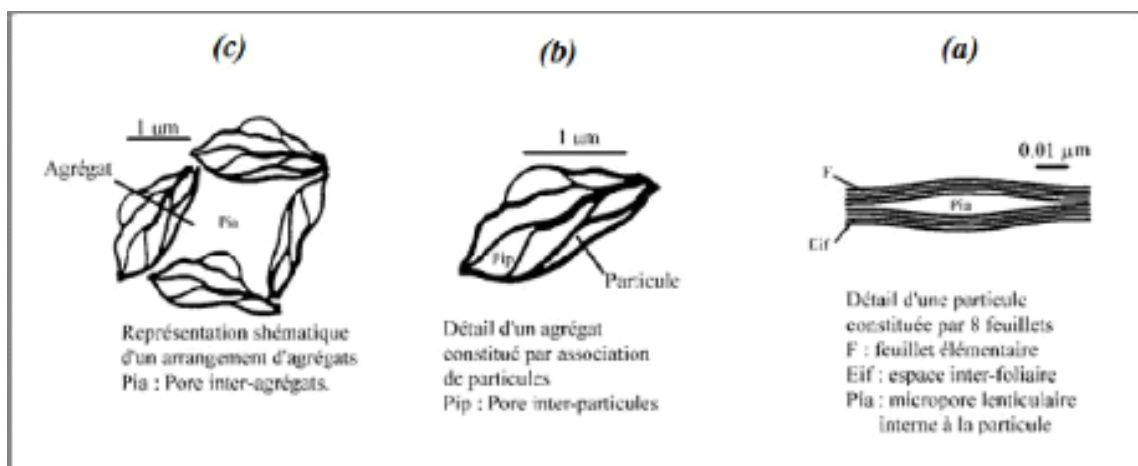


Figure I-16 : Les différents types d'espaces poreux.

## I.12 Généralité sur le Plâtre

Le plâtre désigne principalement un matériau de construction à propriétés isolantes ou ignifuges, fabriqué industriellement à partir de la matière première rocheuse qu'est le gypse. Le terme désigne, dans la pratique, soit la poudre ou matière poudreuse industrielle de départ (le plâtre sec à aviver), soit la pâte constituée d'un mélange de poudre et d'eau à employer (le plâtre prêt), soit le matériau compact, par exemple sous forme de plaques, voire le revêtement de plâtrage ou l'enduit posé.[17]

Les corps chimiques ioniques qui constituent ordinairement la poudre sèche de plâtre sont en réalité diverses formes complexes produites par la déshydratation thermique du gypse, à base d'hémi hydrate de formule  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ , et/ou d'anhydrite  $\text{CaSO}_4$  ou sulfate de calcium anhydre, après gâchage à l'eau, cette poudre incolore à blanche, parfois jaune-pâle ou brune, permet l'obtention d'un matériau blanchâtre relativement durci après séchage, correspondant au gypse reformé qui n'est que du sulfate de calcium dihydraté, de formule  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ . De nombreux adjuvants ou additifs, y compris des charges, pigments et colorants, peuvent aussi entrer dans la composition du plâtre.[17]

### I.12.1 Historique

La fabrication de liants par calcination de la pierre (four à calcination) est aussi ancienne que l'art du potier. Au néolithique, l'homme s'aperçoit probablement que certaines pierres constituant le foyer s'effritent à cause de la chaleur en produisant une poudre se solidifiant une fois humide, du plâtre, ou de la chaux, l'Égypte antique se sert du plâtre pour assembler les pierres des édifices et pour réaliser des enduits (Vallée des Rois).

Les Romains se servent du plâtre pour les enduits et les sculptures. Pline l'Ancien en signale de multiples utilisations domestiques pour fermer de façon étanche les couvercles des récipients destinés à la conservation, en badigeon pour conserver les pommes, en additif pour adoucir les vins.

Par leurs conquêtes, les Romains vont largement diffuser le plâtre dans tout l'Empire, les murs des habitations sont enduits de plâtre et de chaux, les plafonds faits de bois et de plâtre, Il peut servir dans la maçonnerie pour unir les pierres les unes aux autres, les artisans romains développent aussi son emploi comme revêtement extérieur : les tons d'ocre rouge proviennent d'un mélange de briques finement broyées, de pouzzolane, de plâtre et d'eau, le stuc, fait de plâtre et de poudre de marbre, est utilisé pour l'ornementation des édifices[18] .

L'invasion de la Gaule par Jules César donne au plâtre racine dans cette région du monde, les Romains apportent aux populations celtes de nouveaux procédés de construction en maçonnerie et en plâtre, à Lutèce, sur les bords de la Seine, les huttes de la tribu des Parisi font place à des édifices plus solides, le site est privilégié par la nature, car la colline de Montmartre regorge de gypse. Plusieurs vestiges des II<sup>E</sup> et III<sup>E</sup> siècle de notre ère témoignent d'un « premier âge du plâtre » à Paris : dalles, carreaux de plâtre, colonnes, sarcophages, etc.

Au Moyen Âge, l'Homme s'aperçoit que le plâtre résiste mieux au feu que le bois, car c'est un produit ignifuge, donc il l'utilise comme enduit de protection (anti-feu), au Moyen Âge, puis sous l'Ancien Régime, les petites carrières et plâtrières sont nombreuses mais elles fonctionnent de manière intermittente, l'habitat local fait largement appel au plâtre. En Savoie, ce plâtre paysan (gypse cuit) est appelé « greya ».

En 1788, Goethe, dans sa description du Carnaval de Rome, décrit la fabrication du confetti, tel qu'il existait à l'époque. Il était fait de billes de plâtre, réalisées à l'aide d'un entonnoir. C'est

seulement à partir de 1891 que ce confetti commença à être remplacé par sa variante moderne, en papier.

Le plâtre est proposé au XIXE siècle pour la conservation de la viande, est largement exploité dans la moitié nord de la région parisienne. Le « plâtre de Paris » acquiert sa renommée. Parmi ces nombreuses exploitations, celle de Cormeilles-en-Parisis. En 1832, une carrière à plâtre est créée par Pierre Étienne Lambert à Cormeilles. À partir de 1882, Jules-Hilaire Lambert industrialise la production. Dans les années 1930, avec les Frères Lambert, le cycle d'exploitation de la carrière de Cormeilles est complet. Cette carrière est alors la seule en France à alimenter à la fois la fabrication du plâtre, de briques, de chaux hydraulique, et de ciment artificiel par l'emploi des matières de « découverte » : argiles, calcaires, marnes, de 1930 à 1980, la carrière Lambert est la plus grande carrière d'Europe à ciel ouvert (Plâtres Lambert). Au début du XXIIE siècle, la carrière et la plâtrière de Cormeilles-en-Parisis sont exploitées par la société Placoplatre[18] .

## **I.12.2 Propriétés du plâtre**

Les propriétés du matériau plâtre après consolidation imposent une résistance en compression de l'ordre de 10 MPa, le plâtre offre une souplesse qui a permis aux bâtiments de traverser les siècles, et son intérêt est tel, que les réparations modernes faites au ciment provoquent des « points durs » dans les murs, ce qui aboutit souvent à des fissures qui fragilisent la construction, le plâtre est un matériau ignifuge.

## **I.12.3 Résistance au feu**

### **I.12.3.1 Effet bénéfique du plâtre au cours des incendies**

Le plâtre est un matériau incombustible, classé M0. L'eau contenue dans le plâtre (ou dihydrate de sulfate de calcium  $\text{CaSO}_4(\text{H}_2\text{O})_2$ ), en se vaporisant au cours d'un incendie, absorbe ainsi la chaleur et retarde la montée en température, au cours d'un incendie, le plâtre ne libère pas de produit toxique, mais seulement de la vapeur d'eau, si Paris a échappé aux grands incendies depuis la fin du moyen Âge, c'est que le plâtre y a fait son apparition dans les constructions, pour protéger les structures en bois. Un an après le Grand incendie de Londres, l'ordonnance du 18 août 1667 rend obligatoire à Paris de recouvrir le bois des maisons avec du plâtre pour qu'elles résistent au feu[19].

### **I.12.3.2 Caractéristiques structurales des plâtres exposés aux températures et incendies**

Les murs et enduits exposés à des chaleurs moyennes perdent doucement leurs caractéristiques mécaniques à mesure qu'ils perdent les molécules d'eau intégrées dans leur composition chimique, voilà une réaction caractéristique parfaite des phénomènes d'adsorption et désorption à des températures supérieures à 100°C, la cinétique de réaction dépend énormément des deux facteurs, durée et température d'exposition, un autre élément très influent est le mode de diffusion de cette chaleur par : rayonnement, conduction, convection, le rayonnement est le plus destructeur du plâtre, ces phénomènes sont couramment perceptibles sur les murs exposés au rayonnement autour des poêles à bois, en effet ceux-ci ont intrinsèquement des phases peu contrôlées de fort rayonnement[19].

## **I.12.4 Résistance thermique**

Le plâtre est un mauvais conducteur de la chaleur et donc un bon isolant thermique, cette propriété est due à la structure poreuse du plâtre, qui résulte du départ de l'eau lors du séchage. L'isolation thermique est caractérisée par le coefficient de conductivité thermique  $\lambda=0,35 \text{ W/m.K}$  pour le plâtre en moyenne.

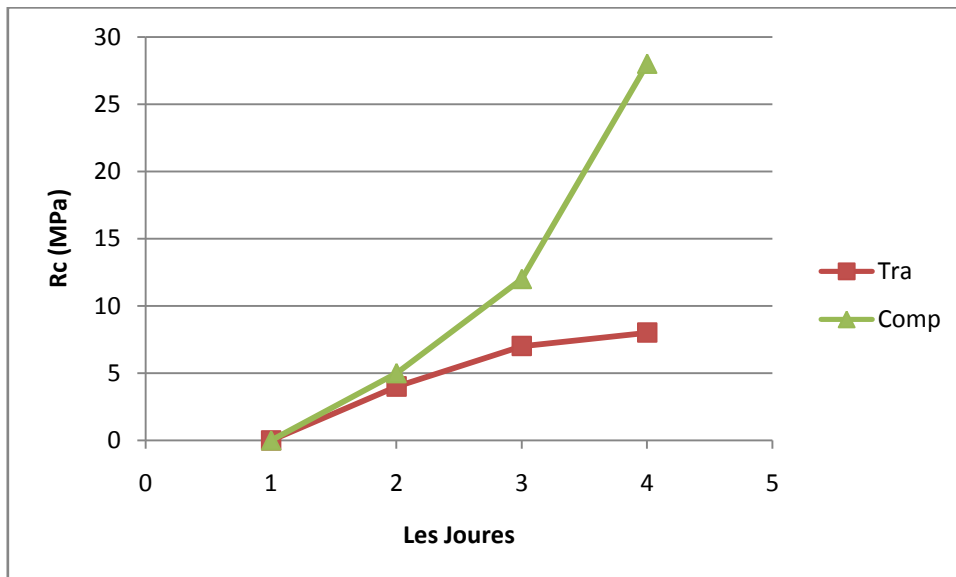
Plus précisément,  $\lambda$  varie avec la masse volumique et la teneur en eau, c'est pourquoi le  $\lambda$  du plâtre peut varier de 0,3 W/m.K à 0,6 W/m.K pour des masses volumiques comprises entre 800 et 1300  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  [17].

### I.12.5 Résistance mécanique

La dureté du plâtre varie d'environ 55 à 80 sur l'échelle de dureté Shore, elle dépend de la proportion d'eau utilisée lors du gâchage, de la qualité de cette eau et du plâtre et de la température et vitesse de séchage[17].

*Tableau I-4. Variation de la résistance en fonction du temps[17]*

Durée (jours)	Traction (MPa)	Compression (MPa)
1	4	5
2	7	12
4	8	28



*Figure I-17 : Les variations des résistance mécanique en fonction de temps suite tableau I.4[17].*

### I.13 Travaux Antérieurs sur la caractéristique thermomécanique de matériaux locaux :

Avant de commencer dans cette étude doit être faire un affichage de procès et les travaux antérieurs sur le même sujet sur une matière locaux,

1. BOUSSAADI Abdeldjalil et BEN ALI Othmane ,dans l'université d'Adrar ,traiter sur l'objectif d'une étude de caractériser ce matériau prélevé de trois différents sites et d'y mener une étude comparative, a partir des résultats préliminaires thermiques et mécaniques obtenus, notre choix s'est porté sur la terre prélevée du site de Tillilane et Timimoune il à effectuer la recherche sur le labo de génie civile de la université Adrar, et pour la méthodologie d'exécution cette étude ils présentons la préparation des échantillons et une description générale de nos essais et un aperçu sur les caractéristiques thermiques et mécaniques à étudier.et donne les caractéristiques physiques des argiles utilisées dans notre étude prélevées d'Adrar Nord et de Timimoune. Enfin une description générale de la partie expérimentale et les résultats obtenus sont présentés. à la fin a été

identifié le rapport du sol dans le mélange de 75 % à 80% pour obtenu un échantillon cohérent exempt de fissures. et a été identifiée comme étant la proportion de ciment et de chaux, ainsi que de 0 à 10 %. Cela est dû parce que le côté économique.

Les résultats montrer que dans le cas que le pourcentage de la chaux est plus grand la conductivité thermique est chute (l'isolation thermique est fort) et la résistance de la compression est faible. et chaque fois que le pourcentage de ciment est plus grand la conductivité thermique est grande c.-à-d. l'isolation et faible et la résistance de la compression supérieur.[09]

**2.** Ainsi que l'étudiante AZIZI Faiza et BOUKHECHBA Ghalia dans la fin d'étude, cette étude a dressé une synthèse de connaissances des caractéristiques physico- chimiques de différents constituants de béton.

Ces matériaux ont été étudiés sur le plan mécanique, mais on note que peu d'études ont été réalisées en thermique, il nous a donc paru nécessaire de procéder à une caractérisation thermique approfondie de ces matériaux pour connaître leurs propriétés thermo physiques.

Sur la base des résultats expérimentaux on remarque que la conductivité thermique de béton argileuse augmenté à cause de l'augmentation de la température et de l'humidité. [20]

**3.** Ainsi que l'article qui réaliser par 03 auteurs, *MOHAMED Sayehgoual, Abderrahim BALI et Michèle Quéneudec*, dans ce travail une étude de l'influence de la teneur en eau et de la température sur la conductivité thermique apparente d'un béton argileux cellulaire (BAC) obtenu par réaction avec la poudre d'aluminium, ce travail entre dans un cadre très général portant sur la valorisation de coproduits argileux par leur transformation en matériaux de construction isolants et isolants porteurs, toutes les mesures ont été effectuées en régime transitoire grâce à l'utilisation de sonde axiale à choc thermique, sur la base des résultats expérimentaux, un modèle d'estimation de la conductivité thermique apparente du BAC en fonction de ces caractéristiques et de son état hygrothermique a pu être établi et validé.

Les résultats montrent que la conductivité thermique apparente évolue presque linéairement en fonction du taux de saturation en eau, mais uniquement à basse température ( $T < 20^{\circ}\text{C}$ ) c'est à dire en l'absence du phénomène d'évaporation-condensation.

Pour des températures  $T \geq 20^{\circ}\text{C}$ , la conductivité thermique apparente n'évolue plus linéairement mais présente une brusque variation dans la zone ( $0.20 \leq Sr \leq 0.50$ ) puis continue à croître lentement dans la zone ( $0.50 < Sr \leq 1.00$ ). Cette partie met en évidence les effets d'évaporation condensation sur la conductivité thermique apparente, ce phénomène apparaît clairement lorsque la température est proche de  $40^{\circ}\text{C}$  et est très marqué à  $60^{\circ}\text{C}$ , il est d'autant plus marqué que le taux de microporosité est important.

**4.** Slimani et Akide dans l'université Ahmed d'Adrar ont fait une étude sur les argiles stabilisées avec les fibres, ils ont trouvé que les fibres dans les blocs de terre 'la dobe' donne des résultats positifs. Parce que l'isolation thermique des fibres est plus forte et aussi elles sont diminuées la masse volumique de la dobe, donc de façon générale ils ont améliorés les caractéristiques physiques et thermiques des blocs de terre, la grande valeur de la conductivité thermique obtenue dans cette étude est ( $0.15 \text{ w/mc}^{\circ}$ ).[22]

**5.** Dans le même domaine d'étude à la université de kasdi merbah ouaregla, Melle HAKOUME Soumia, présenter sur l'objectif de recherche est de préparer des briques en terre cuite et les examiner par la suite à l'aide de certains essais mécaniques et thermiques. ils réalisé quelques prototypes par les briques testés, qui ont donné des bonnes propriétés thermiques et mécaniques afin d'essayer de les utiliser dans le domaine de la construction. ils fixé le pourcentage du sable à 30%, et celui de la fibre de 0% à 3% en masse.

Les résultats de ces essais ont montré que l'augmentation en pourcentage de fibre est bénéfique pour l'amélioration des propriétés thermiques avec des résistances mécaniques acceptables, et obtenus à 14h un écart de température très remarquable comparé au prototype témoin[23].

De la partie expérimentale celle-ci comporte deux volet à savoir Le premier volet qui donne un

aperçue sur les caractéristiques des matériaux utilisés dans l'étude (l'argile, le sable des dunes, l'eau et les fibres). Le sable utilisé est un sable des dunes extrait de Sidi Khouiled qui se caractérise par :

- Module de finesse d'ordre  $Mf = 1.23$  ;
- Granulométrie serré.

L'argile utilisée est une argile extraite de gisement de Beldet Âmer daïra de Touggourt Wilaya de OUARGLA qui se caractérise par :

- Une granulométrie de grande proportion de limon (65%) ;
- La densité sèche =  $1.91 \text{ g/cm}^3$  Indice de plasticité d'ordre 43.96% ;
- Nature d'argile très plastique.

L'eau de gâchage est de robinet de l'artisan Nizla Touggourt OUARGLA avec une salinité acceptable, les fibres utilisées sont des fibres de surface de palmier dattier de Ouargla (type Dokar) qui se caractérise une masse volumique apparente faible, Un taux d'absorption d'eau assez élevé qui dépasse les 200 %.

Deuxième volet est consacré à l'étude expérimentale. des séries d'essais sont effectués sur des différents types de compositions avec une variation des pourcentages en argile et en fibres palmier dattiers :

- 70% argile et 30% sable
- 69 % argile et 30 % sable et 1% fibres
- 68 % argile et 30 % sable et 2% fibres
- 67 % argile et 30 % sable et 3% fibres

Brique témoin (brique industrielle 12 trous)[23].

**6.** Le travail des auteurs suivantes, Moro Olivier BOFFOUE 1, Koffi Clément KOUADIO 1, Conand Honoré KOUAKOU 1, Aka Alexandre ASSANDE 1, Anne DAUSCHER 2, Bertrand LENOIR 2 et Edjikemé EMERUWA 1[24].

Ce travail vise à déterminer la résistance à la compression et la conductivité thermique des blocs à base d'argile comprimée et stabilisée au ciment d'une part et à étudier la variation de ces propriétés en fonction de la teneur en ciment d'autre part. Les mesures réalisées indiquent que la résistance des blocs sans ciment est de 3,7 MPa par « voie sèche » pour une conductivité thermique de  $0,91 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  (déterminée à l'aide d'un fluxmètre). L'incorporation de ciment entraîne une variation de ces deux propriétés. Ainsi on note d'abord une baisse de la résistance suivie d'une augmentation au delà de 4 % de ciment. Toutefois la conductivité thermique des blocs ayant les teneurs en ciment les plus importantes reste proches de celle des blocs sans ciment.

Donc, dans cette étude il a présentent des bonnes résistances et de faibles conductivités thermiques. Ces paramètres varient en fonction de la teneur en ciment. En effet en faible quantité (0 à 2 %), le ciment engendre la diminution la résistance à la compression et de la conductivité thermique. Au-delà de 5 %, on observe une augmentation de ces deux propriétés. La simulation de l'utilisation de ces blocs dans les conditions extrêmes (mesure de la résistance par voie humide) permet de dire qu'il faudrait une teneur minimale en ciment de 5 % pour que les blocs soient conformes à la norme d'utilisation des blocs de terre stabilisée en Côte d'Ivoire. Il en est de même pour la conductivité thermique qui augmente à partir de 5 % de ciment mais reste toutefois dans des proportions voisines du matériau sans ciment, ces valeurs étant relativement faibles, nous pouvons dire que l'apport du ciment tout en améliorant les propriétés physiques et mécaniques n'altère pas les propriétés thermiques, ce qui constitue donc un avantage pour ce matériau.

**7.** Dans le journal Leonardo Journal of Sciences en a trouve une article en longue anglait réalisée par Joshua FOLARANMI , le présent article fait état de la détermination de l'effet des additifs sur conductivité de l'argile, l'échantillon d'argile a été recueilli à partir d'un dépôt, l'échantillon d'argile a été nettoyé, trempé, séché, broyé et tamisé.

Divers pourcentages de cendres et sciure de bois ont été ajoutés, les mélanges ont été utilisés pour former des disques de diamètre 4,2 cm chaque, l'appareil à disque a été utilisé pour déterminer la conductivité thermique de chaque disque et a été trouvé pour être  $0.25 \text{ W/mK}$  pour aucune teneur

en humidité. L'échantillon d'argile avec la sciure comme additif a donné la plus petite valeur de conductivité thermique de (0,06W /mK) que l'argile avec des cendres[25].

**8.** On a trouve un article en arabe sous titre,« L'étude du comportement thermique pour le matériau composite était constituée d'une résine de polyester insaturé renforcée par des palmiers et des fibres de verre », publier par Babylon Université / Sciences de l'ingénieur / Volume 9 Journal / Numéro 5: 2004.

Dans cette étude du comportement thermique d'une substance composite composée d'une résine polycarbonate renforcée non imprégné Aster fibre de palmier et autre matériau renforcé de fibre de verre et ensuite combiner les deux types de fibres pour former un hybride de matériau composite a été aussi calculer la mesure de la conductivité thermique, on a utilisé l'équation de Fourier pour calculer le coefficient de la conductivité thermique du matériau composite produit comme indiqué dans les dessins qui représentent la relation de coefficient de conductivité thermique avec la température.

**9.** Une travaille réaliser par H. BaccourZghal a,\*, M. Medhioub b & T. Mhiri a ,Cette étude porte sur la détermination de la composition minéralogique ainsi que les propriétés physiques et mécaniques des produits de cuisson de deux échantillons argileux A<sub>1</sub> et A<sub>2</sub>, jugés représentatifs, prélevés dans une formation à dominance argileuse dans le sud tunisien.

Pour des températures atteignant 900°C, les produits de cuisson offrent des valeurs élevées de porosité apparente, ce qui se traduit par des céramiques peu denses avec de faibles résistances mécaniques, au dessus de 900°C jusqu'à 1200°C les produits obtenus font apparaître la mullite et la cristobalite et les céramiques sont denses avec des résistances mécaniques assez élevés, sans déformation ou défauts.

Ces matériaux argileux peuvent être utilisés pour la production des produits de terre cuite et aussi pour la formulation des céramiques à tesson peu poreux.

Le résultat de cette étude l'analyse minéralogique des échantillons A<sub>1</sub> et A<sub>2</sub> prélevés de la formation Kirchaou indique la présence de l'illite, kaolinite comme minéraux essentiels, l'analyse chimique montre une forte teneur en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, la richesse en fer de ces argiles leur confère une couleur rouge caractéristique après cuisson, leur richesse en fondants permet sa cuisson à des températures relativement basses.

Les essais technologiques ont démontré des propriétés industrielles convenables de ces argiles : un intervalle de frittage moyen à 90°C et une température de cuisson basse, une résistance à la flexion très forte ce qui est un facteur très favorable dans l'utilisation de cette argile en céramiques, la perte au feu moyenne et enfin un retrait de cuisson acceptable, peut être corrigé par l'ajout d'un dégraissant comme la chamotte ou sable siliceux. au terme de cette étude, nous pouvons considérer l'argile de formation Kirchaou comme étant une argile performante pouvant être utilisée dans le domaine de la céramique, ces résultats intéressants confirment la possibilité d'utilisation des argiles triasiques dans l'industrie céramique, surtout que l'importance des réserves et la facilité d'exploitation sont très encourageantes [29].

**10.** Faresse Moussa Roufa[27], il comprend l'essais expérimentaux pour déterminer les propriétés mécaniques et thermiques du béton et du mélange de matériaux isolants thermiques, le travail a été réalisé en deux étapes, au premier étage, cinq blocs de béton avec des dimensions de (300mm x 300 mm x 50mm) ont été moulés contenant des grains de bouchons avec un pourcentage volumique d'isolation de (15%, 20%, 25%, 30% , 35%).

Ensuite, la conductivité thermique des éprouvettes a été testée à différentes températures. En même temps, cinq cubes standards avec des dimensions (150 mm x 150 mm x 150 mm) ont été moulés à partir des mêmes mélanges précédents, et le test de résistance à la compression a été effectué pour chaque échantillon. Les étapes de travail précédentes ont été répétées pour la



deuxième étape associée à l'ajout de grains d'amiante au béton comme matériau isolant au lieu du liège.[27]

Les résultats de la conductivité thermique ont été montrés dans des courbes à des températures différentes et des pourcentages volumétriques, et ont été traités statistiquement à l'aide du programme (SPSS, version 15), puis les relations suivantes ont été établies:

- $K = 0,555 + 0,007 T_{av} - 1,532 \emptyset$  (pour les blocs de béton contenant du liège)
- $K = 0,565 + 0,011 T_{av} - 1,021 \emptyset$  (pour blocs de béton contenant de l'amiante)

Les valeurs de la conductivité thermique des blocs contenant du liège ont été comprises entre (0,22-0,65) W / m C°, ces valeurs étaient inférieures aux autres qui contiennent un même pourcentage d'amiante dans les mêmes conditions d'essai, qui variaient entre ( 0,44-0,9) W / m.C°.

Les résultats de la résistance à la compression des cubes de béton ont été montrés comme des courbes, il montre que les valeurs pour les spécimens qui contiennent du liège ont été comprises entre (12-32) N / mm<sup>2</sup>, moins de valeurs que celles des spécimens équivalents qui contiennent de l'amiante dans laquelle les valeurs variaient entre (25-40) N / mm<sup>2</sup>.

De là, nous concluons que l'ajout du béton mousse réduit la conductivité thermique (augmentation de l'isolation thermique) et en même temps réduit la résistance à la compression du béton durci, et la valeur de conductivité de la gamme thermique de modèles contenant le bouchon entre (0,22 à 0,65). W / m O m ils sont inférieurs à ceux qui contiennent les mêmes proportions volumique de l'amiante et les mêmes conditions d'essai, qui variaient entre la valeur (0,44 à 0,9). W / m o m.

Ces valeurs sont inférieures à la normale conductivité thermique du béton comprise entre (1,13) W / m. O m à 1,4 W / m. O m en béton haute densité, il a été établi une relation mathématique entre la conductivité thermique du mélange et la température moyenne de l'échantillon et le matériau d'isolation volumétrique du rapport dans le mélange en utilisant un logiciel statistique (SPSS version 15) et comme suit:

- (Moules à béton contenant du liège)  $k = 0,555 + 0,007 T_{av} - 1,532 \emptyset$ .
- (Moules en béton contenant de l'amiante)  $k = 0,565 + 0,011 T_{av} - 1,021 \emptyset$ .

En ce qui concerne la résistance à la compression est plus élevée pour les modèles contenant de l'amiante que ceux contenant du liège allant valeur pour les modèles contenant le bouchon entre (12-32) Newton / mm<sup>2</sup>, tandis que pour les modèles contenant de l'amiante était compris entre (25-40 ) Newton / mm<sup>2</sup>, et donc la plupart sont honnêtes en termes d'utilisation dans la construction en tenant compte du fait que la valeur minimale de résistance à la compression du béton utilisé dans des installations qui sont exposées à des colonnes haute contraintes multiples structures de bâtiments étages ne doit pas être inférieure à (17,2) Newton / mm<sup>2</sup>.

Enfin, je recommande d'utiliser ces mélanges dans la note de construction que le mélange est le plus approprié pour l'utilisation de toutes les installations, y compris les bâtiments qui sont exposés à des contraintes élevées contenons le bouchon (20%), où la valeur de la résistance à la compression de ce mélange (25) Newton / mm<sup>2</sup>, et les plages de conductivité thermique entre (0,33 à 0,54) W / m. o m à différentes températures, ajouter que le liège est le coût disponible et pas cher par rapport à l'amiante, tel que recommandé d'effectuer des recherches en ajoutant des articles ensemble pour améliorer la résistance à la compression des mélanges contenant les taux de liège supérieur à (20%), ainsi que choisir d'autres matériaux isolants comme additifs pour le béton et la réalisation comparatives.[27]

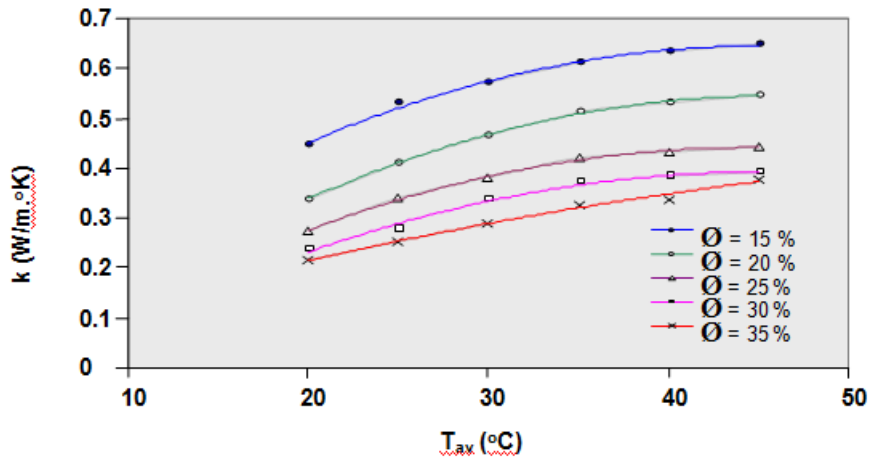


Figure I-18: La relation entre la conductivité de ciment et liège avec la température d'éprouvette.[27] .

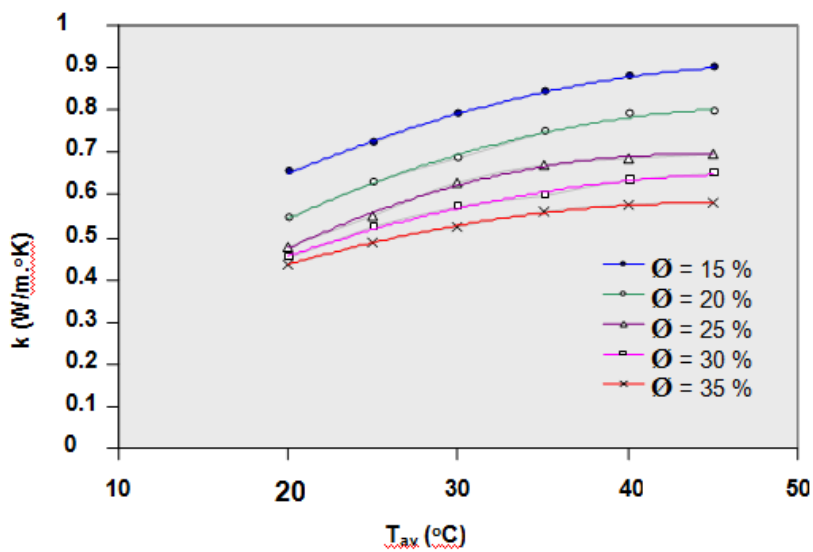


Figure I-19: La relation entre la conductivité du mélange ciment et isbissete avec la température d'éprouvette.[27] .

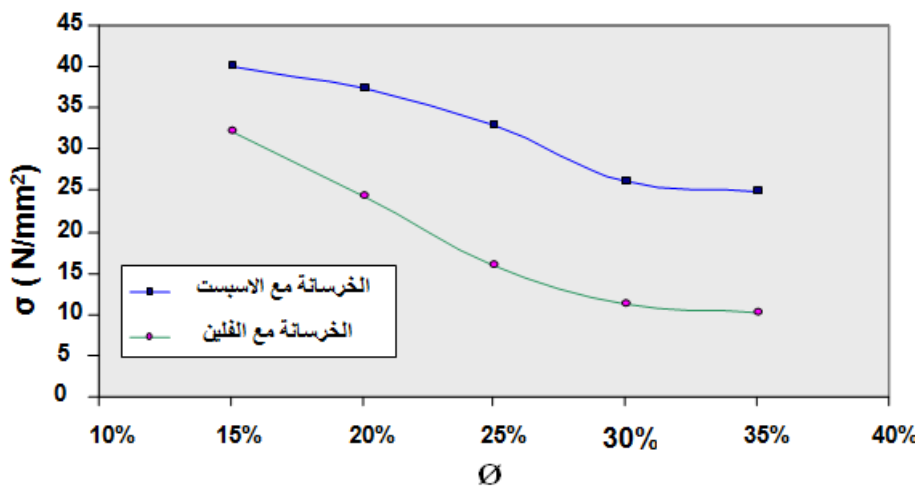


Figure I-20: La relation entre la résistance de compression d'éprouvette et la pourcentage volumique de matières isolante.[27] .

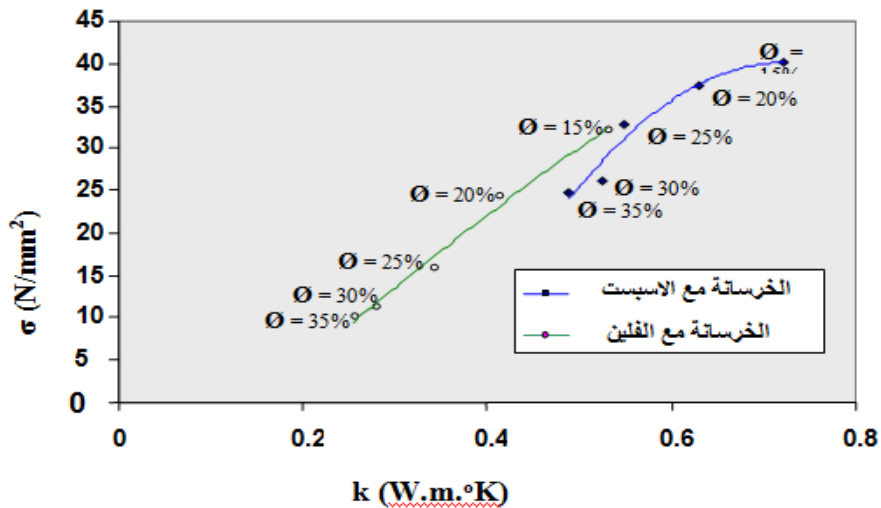


Figure I-21: La relation entre la résistance de compression d'éprouvette et la conductivité thermique d'éprouvette.[27]

#### I.14 Les gisements d'argile au niveau de la wilaya d'Adrar :

A travers les contées du Sud et principalement au niveau des régions d'Adrar et Timimoune, il existe des gisements d'argile qu'il faut répertorier et surtout connaître leurs caractéristiques physico-chimiques, ces renseignements sont précieux et peuvent être la source de l'exploitation de ces gisements en vue de leurs applications dans des projets de constructions en génie civil, nous allons prendre connaissance du contexte géologique de ces terrains et du climat en fonction de la nature des argiles [09] .

Beaucoup de gisements d'argile se trouvent en abondance au niveau de la région d'Adrar comme dans d'autres contées éloignées du désert saharien, les gisements sont :

Tableau I-5. Les gisements d'argile au niveau de la wilaya d'Adrar[09]

N	Commune de gisement
01	Adrar (la zone d'El Hamel, Adrar nord)
02	ZaouietKounta
03	Reggan
04	Tsabit
05	Tamantit

06	Mragen
07	Bouda
08	Sbaa
09	Tidmayan
10	Timimoun

## I.15 Conclusion

Nous avons présenté des notions et des généralités sur l'argile selon l'origine, la formation, la composition à l'échelle mondiale et les grands groupes des minéraux d'argile et leur Classification et leurs propriétés ainsi que les domaines de leurs utilisations, et nous avons présenté des notions et des généralités sur la deuxième matériaux le plâtre, dans cette partie nous avons donné un résumé global sur les problématiques et les objectifs de cette étude.

Ensuite nous avons présenté une aperçu sur les travaux aux niveaux mondiale et locale, et enfin un aperçu général sur les gisements d'argile au niveau de wilaya d'Adrar été présenté.

# **Chapitre II**

**Caractérisation géotechnique et  
mécanique des matériaux  
locaux**



## II.1.Introduction

Dans le cadre de la favorisation des matériaux locaux, Nous avons fait plusieurs essais soit ou niveau de laboratoire de l'université d'Adrar ou bien laboratoire privé (LTPO), L'essai Limite D'Atterberg et L'analyse granulométrique par sédimentométrie parmi les essais ce qui nous avons travaillé pour déterminer les caractéristique physique de l'argile Dédié à l'étude,

Pour le développement de notre connaissance des matériaux locaux utilisés a' la construction dans la région de l'wilaya d'Adrar et ses environs, pour déterminer les propriétés physiques et mécanique des matériaux disponibles dans ce domaine et de travailler pour les développer était parmi nous Objectifs,

Nous avons présentons la préparation des déférents essais et leur comportement physicomécaniques et le description générale sur les modes opératoires de ces essais, enfin on donne une conclusion sur tout les travaux réalisée ce chapitre.

## II.2. Les Caractéristiques Géotechnique (Essai Identifier)

### II.2.1 Limites D'Atterberg

#### II.2.1.1 Définition et Objectif

Les limites d'Atterberg sont des essais qui permettent de définir des indicateurs qualifiant la plasticité d'un sol, et plus précisément de prévoir le comportement des sols pendant les opérations de terrassement, en particulier sous l'action des variations de teneur en eau, notons que cet essai se fait uniquement sur les éléments fins du sol et il consiste à faire varier la teneur en eau de l'élément en observant sa consistance, ce qui permet de faire une classification du sol

L'objectif de l'essai limites d'Atterberg est d'obtenir des informations de l'index de base sur le sol utilisé pour estimer les caractéristiques de résistance et de règlement, il est la principale forme de classification des sols cohésifs.

Le sol fin est testé pour déterminer les limites liquides et plastiques, qui sont des teneurs en humidité qui définissent les frontières entre les Etats consistance matérielle, ces tests standardisés produire des chiffres comparables utilisées pour l'identification des sols[31].

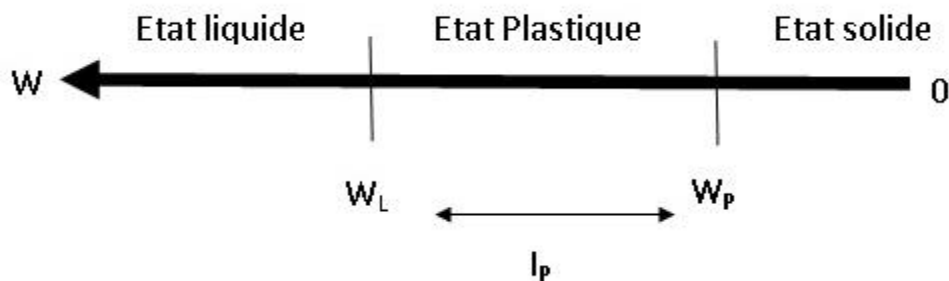


Figure II.1.Limite D'Atterberg[32]

### II.2.1.2 Domaine d'application

Cet essai s'applique généralement sur les sols comportant un pourcentage de fines  $80\mu\text{m}$  supérieure à 35%, la détermination de l'argilosité d'un sol par les limites d'Atterberg plutôt que par l'essai VBS est à privilégier des que le sol est argileux à très argileux[32].

### II.2.1.3 Préparation d'échantillon (labo génie civil a université d'Adrar et labo LTPO)

- 1- Prélèvement doit être représentatif pour un échantillon homogène et idéal
- 2- Imbiber une masse environ de 500g de matériau dans l'eau à la température ambiante pendant 24 heures.
- 3- Siphonné ce matériau par une voie humide et garde le passante de tamis de  $400\mu\text{m}$
- 4- Garde les fraction inférieure à  $400\mu\text{m}$  recueillir le matériau dans un bac
- 5- Après une durée de décantation d'un moins 24h, l'eau est siphonné sans entrainer des particules solides.
- 6- Place le mélange dans le étuve sous une température moine de 105 degré pour dégagé l'eau de siphonage pour obtenir une pate idéal



Figure II.2 : Broyage (labo LTPO Adrar)[Auteur]

### II.2.1.4 Limite de liquidité

La limite de liquidité ( $W_L$ ) caractérise la transition entre un état plastique et un état liquide. C'est la teneur en eau pondérale, exprimée en pourcentage, au-dessus de laquelle le sol s'écoule comme un liquide visqueux sous l'influence de son propre poids[31].

Formule de la teneur en eau pondérale: Masse d'eau (g)/Masse de sol sec (g),



pour déterminer la limite de liquidité sur le norme NFP -94 – 051, on appliquant la formule suivante :

$$W_L = W \times (N|25)^{0.121} \quad (II-1)$$

#### II.2.1.4.1 Le matérielle utilisé (labo génie civil a université d'Adrar)

- Appareil de Casagrande
- Coupelle rugueuse
- Rainure, pissette, spatule
- Plaque de verre
- Etuve
- Balance



Figure II.3 : *Appareillage* de Casagrande[Auteur]



Figure III:Préparation de l'essai Limite d'Atterberg [Auteur]

#### II.2.1.4.2 Le Mode Opératoire

- 1-Mélangé l'argile avec une quantité d'eau jusque l'argile être une pate homogène
- 2- Obtenue La pâte est placée dans une coupelle de 100 mm de diamètre environ
- 3- Tracé sur la pâte lissée une rainure normalisée avec un outil spécial.
- 4- À l'aide d'une came, on fait subir une série ( $N$ ) de chocs à la coupelle.

- 5- On observe en fin d'expérience le contact des deux lèvres environ 1 cm de la rainure.
- 6- Prélever les deux cotés des lèvres chaque une a un tare métallique à l'endroit ou elles se sont refermé environ grammes de sol.
- 7- La limite de liquidité est la teneur en eau en % qui correspond à une fermeture les deux lèvres de sol en 25 chocs.



**Figure II.5 :**Opération de rinçage l'argile (labo génie civil a université d'Adrar) [Auteur].



**Figure II.6 :**Réalisation de Rainure (labo génie civil a université d'Adrar) [Auteur]

**Tableau II.1. :** Les donner de limite de liquidité avent les résultat (Argile Timimoune)

	1 <sup>er</sup> Essai		2 <sup>eme</sup> Essai		3 <sup>eme</sup> Essai	
<b>Nombre de coupe</b>	18		25		30	
<b>N° de la tare</b>	F <sub>6</sub>	G <sub>1</sub>	C <sub>4</sub>	B <sub>2</sub>	F <sub>7</sub>	C <sub>2</sub>
<b>Poids totale humide</b>	23.7	26.6	26.3	24.4	21.6	26.7
<b>Poids de la tare</b>	12.6	13.1	13.4	14.2	12.6	13.4

### II.2.1.5 Limite de plasticité

La limite de plasticité ( $w_p$ ) caractérise la transition entre un état solide et un état plastique. Cette limite indique la teneur en eau pondérale, en pourcentage, optimale pour travailler un sol et favoriser le compactage. En dessous de cette limite, le sol est friable ou facilement travaillé d'un point de vue agronomique. La limite de plasticité est déterminée par le modelage d'un petit fil avec la partie fine d'un sol sur une surface plane, non poreuse. La procédure est définie dans la norme ASTM D 4318. Si le sol est plastique, ce petit fil conserve sa forme jusqu'à un diamètre très étroit. L'échantillon peut alors être reformulé et l'essai est répété. Comme la teneur en humidité diminue à cause de l'évaporation, le fil commence à se briser à grands diamètres. La limite de plasticité est définie comme étant la teneur en eau, où le fil se casse à un diamètre de 3 mm (environ  $1/8$  "). Un sol est considéré comme non-plastique, si un fil ne peut pas rouler jusqu'à 3 mm, quel que soit le taux d'humidité de la partie fine du sol.[31]

#### II.2.1.5.1 Le matériel et matériaux utilisé (labo génie civil a université d'Adrar)

- Plaque de marbre
- Sèche cheveux
- Etuve
- Balance
- Spatule
- Pissette
- chronomètre indiquant la seconde
- Pâte d'argile



**Figure II.7** :Réalisation de rouleau d'argile (labo génie civil a université d'Adrar) [Auteur]

#### II.2.1.5.2 Le mode opératoire

- 1- On mélange l'échantillon d'argile avec des quantités variables d'eau.
- 2- on façonne avec la pâte un rouleau de 6 mm de diamètre pour une centaine de mm de longueur.
- 3- Puis on atteint 3 mm de diamètre en le roulant (souvent avec les doigts), après 5 à 10 aller-retour maximum. La limite de plasticité est la teneur en eau en % du rouleau qui se fissure et se brise lorsqu'il atteint un diamètre de 3 mm.
- 4- La précision de l'essai est de l'ordre du demi-point de teneur en eau

5- détermination de la limite de liquidité et du point de teneur en eau pour la détermination de la limite de plasticité.

### II.2.1.5.3 Classement de L'indice de Plasticité

L'indice de plasticité mesure l'étendue de la plage de teneur en eau dans laquelle le sol se trouve à l'état plastique suivant la valeur de leur indice de plasticité (**IP**), les sols peuvent se classer comme suit :

**Tableau II.2. : Classement de L'indice de plasticité (Ip)**

Indice de plasticité	Degré de plasticité
$0 < I_p < 5$	Non plastique (l'essai perd sa signification dans cette zone de valeurs)
$5 < I_p < 15$	Moyennement plastique
$15 < I_p < 40$	Plastique
$I_p > 40$	Très plastique

La plasticité est une propriété caractéristique des éléments très fins ou argileux du sol, en relation avec l'existence de couches d'eau adsorbée avec ou sans électrolytes dissociés. on conçoit donc que les limites d'Atterberg et l'indice de plasticité d'un sol varient non seulement avec l'importance de sa fraction argileuse mais également avec la nature des minéraux argileux.

**Tableau II.3. : Les donner de la limite de plasticité avant les résultat**

	1 <sup>er</sup> Essai	2 <sup>eme</sup> Essai	3 <sup>eme</sup> Essai
<b>N de la tare</b>	A1	B2	C4
<b>Poids totale humide</b>	7.10	7.30	7.70
<b>Poids de la tare</b>	5.60	5.70	5.70

## II.2.2 Analyse granulométrique par sédimentométrie

### II.2.2.1 Définition

L'Analyse granulométrique par sédimentométrie complète l'analyse par tamisage, elle s'applique aux éléments de diamètre inférieur à 0,08mm, cet essai est basé sur la loi de Stokes qui exprime la relation entre la vitesse de sédimentation d'une particule solide dans un liquide (eau) et les diamètres de cette particule.

### II.2.2.2 Principe de L'essai

- ✓ basé sur la loi de Stokes qui mesure la vitesse ( $v$ ) de décantation des particules sphériques
- ✓ Fonction de la viscosité du milieu
- ✓ Défloculant pour décoller les feuillets d'argile
- ✓ solution d'hexamétaphosphate de sodium à 5%
- ✓ Mesure de la masse volumique du liquide avec un Densimètre et À 0.5, 2, 5, 10, 20, 40, 80 minutes, 4 et 24 heures [33]

### II.2.2.3 Mode d'opérateur

- 1-Prendre deux éprouvettes a essais de 1 litre de contenance.
- 2-prendre  $60\text{cm}^3$  de défloquant et ajout  $440\text{ cm}^3$  d'eau distillée pour obtenir une solution  $500\text{ cm}^3$ .
- 3-diviser la solution obtenue ( $500\text{cm}^3$ ) entre les deux éprouvettes a raison de  $250\text{cm}^3$  chacune.
- 4-prendre l'une des deux éprouvette et la compléter avec de l'eau distillé jusqu'à 1 liter cette éprouvette sera appelée dorénavant l'éprouvette \*B\* l'autre éprouvette sera dite l'éprouvette\*A\*.
- 5-prendre 20 gammes de sol.
- 6-verser ces 20 grammes de sol dans le récipient de l'agitateur mécanique et verser dessus une certaine quantité de solution de éprouvette\*A\*.
- 7-procéder a l'agitateur mécanique pendant environ 3 min.
- 8-verser la suspension dans l'éprouvette \*A\*(veillez a bien rincer le récipient et les ailettes de l'agitateur pour ne pas perdre le matériau).
- 9-compléter l'éprouvette\*A\* avec de l'eau distillée jusqu'à 1 litre.
- 10-procéder a une homogénéisation a l'aide de l'agitateur manuel.
- 11-plonger le densimètre avec précaution dans la suspension immédiatement après le déclenchement du chronométrer et procéder aux lectures (on les appellera **Rt**).les temps de lecture : 30s ; 1min ; 2 ; 5 ; 10 ; 30 ; et 60min.
- 12-A la fin de lectures \*B\*.procéder a la lecture de la densité de la solution de l'éprouvette \*A\* et introduit dans l'éprouvette \*B\*.procéder a la lecture de la densité de la solution de éprouvette \*B\*(on l'appellera **Rb**).
- 13-retire le densimètre, le nettoyer et le ranger définitivement.
- 14-A l'aide du thermomètre, procéder a lecture de la température de la solution de l'éprouvette\*B



*Figure II.8: Les Appareillage de l'analyse granulométrique par sidimentométrie [Auteur]*

#### II.2.2.4 Calcule le diamètre des particules non décantées

Le calcul de diamètre des particules non décantées selon l'application de la fourmille suivante

$$D = F \frac{\sqrt{Ht}}{t} \quad (II-2)$$

F : facteur donné par l'abaque

t : est le temps de lecture en minute

Ht : est la profondeur effective du centre de poussé du densimètre en centimètre Elle est donnée par la fourmille suivante :

$$H_t = H - 100 \times (R_t - R_b) - H_c \quad (II-3)$$

**Avec :**

H<sub>c</sub> : est le déplacement de la suspension du a l'introduction du densimètres .Elle est prise (par convention ) égale a' 0potur les trois premier lecteur et égale à 1,4 cm pour la suite.

H : la distance séparant le milieu du boule du densimètre de la graduation 1,000 .

H<sub>0</sub> , H<sub>1</sub> , h<sub>1</sub> étant des caractéristiques géométrique du densimètre.

$$H = H_0 + 0.5 \times h_1 \quad (II-4)$$

$$H = 11,10 + 0,5 \times 2,15$$

$$H = 12,17$$

### Remarque

- Pour les cinq premières lectures, le densimètre n'est pas retiré de la suspension,
- Après la 5ème lecture, une fois celle-ci effectuée, et ça sera le cas pour les autres lectures (deux lectures : celle de 30 min et celle de 60 min), le densimètre qui est retiré de la suspension, nettoyer et ranger ; soigneusement,
- Pour reprendre les lectures et à chaque fois, le densimètre est introduit dans la suspension environ 30 secondes avant la lecture

#### II.2.2.5 Calcul du pourcentage des particules non décantées

Le pourcentage des particules en suspension est donné par la formule suivante :

$$P = \left[ 100 \times \frac{V_s}{m} \times \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_w} \times \rho_w \right] (R_t - R_\beta) \quad (II-5)$$

$V_s$  : Volume de la suspension 1L

$m$  : Masse de la prise d'essai (20g)

$\rho_s$  : Masse volumique des grains solides

$\rho_w$  : Masse volumique de l'eau

$R_t$  : Lecture de l'éprouvette A au temps  $t$

$R_\beta$  : Lecture de l'éprouvette B (Éprouvette témoin)

### II.3 Les propriétés mécaniques

L'objectif de cette partie est de déterminer la résistance mécanique (à l'aide d'essais de compression simple avec mesure de la déformation principalement). Elle quantifie la résistance d'un matériau à la pénétration sous une certaine charge  $F$  qui oppose une surface de l'éprouvette. Aussi, il existe plusieurs variétés d'essais pour estimer la résistance ou la rigidité des matériaux comme la dureté ; la ductilité ; la densité ; la fragilité ; les essais de compression simple ; .....etc. mais dans notre étude nous avons basé l'essai de compression simple :

#### II.3.1 Essai de compression simple

L'essai de compression simple est l'essai par lequel nous avons choisi d'étudier le comportement mécanique du mélange induré. Pour pouvoir réaliser le plus grand nombre d'essais et ainsi construire la banque de données la plus complète possible, nous avons besoin d'un essai rapide et fiable. De plus, nous voulions comparer nos résultats à ceux de la littérature. C'est pourquoi nous avons retenu cet essai plutôt que l'essai triaxial, plus difficile à mettre en place et moins communément utilisés dans le domaine.

### II.3.2 Préparation des éprouvettes

Nous remplissons la pate d' argile (04) échantillon de chaque essai dans une moule cylindrique de dimension  $R=2,25\text{cm}$  et  $h=10\text{ cm}$ , démoulée L'éprouvette avant place l' dans l'appareille Les surfaces sont rectifiées de manière à ce qu'elles soient planes et parallèles, le jour même de l'essai de écrasement chaque une et leur date de écrasement 7j ,14j ,21j ,28jour une déplacement et la force appliquée sont enregistrés toutes les 5 secondes. L'essai est contrôlé en déplacement, avec une vitesse de  $1,27\text{cm}/\text{minute}$ . L'essai est arrêté lorsque la force mesurée par le capteur a diminué d'au moins 10 % par rapport à la plus grande force mesurée. Ceci permet de s'assurer que l'on est bien allé jusqu'à la rupture de l'éprouvette.

### II.3.3 La Machine CBR

Les essais de compression simple sont réalisés sur une presse électrique de type CBR d'une capacité maximale de 50 kN.

Le CBR TESTER machine est conçue pour effectuer une évaluation en laboratoire de la valeur CBR de la route sous bases et de sous-classe, et la détermination de la force de matériaux cohérents qui ont des tailles de particule maximale inférieure à 19 mm ( $3/4 \ll$  ).



Figure II.9:Le CBR TESTER (labo génie civil a université d'Adrar) [Auteur]

### II.3.4 Méthode de calcul de résistance

Pour déterminer la résistance à la compression :

- On prend la lecture après l'écrasement (la valeur de la force). F
- On devise la force sur la surface de la base de l'échantillon S

La résistance  $R_c = F/S$

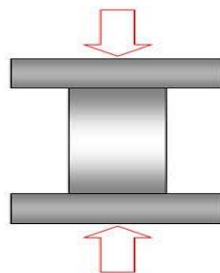
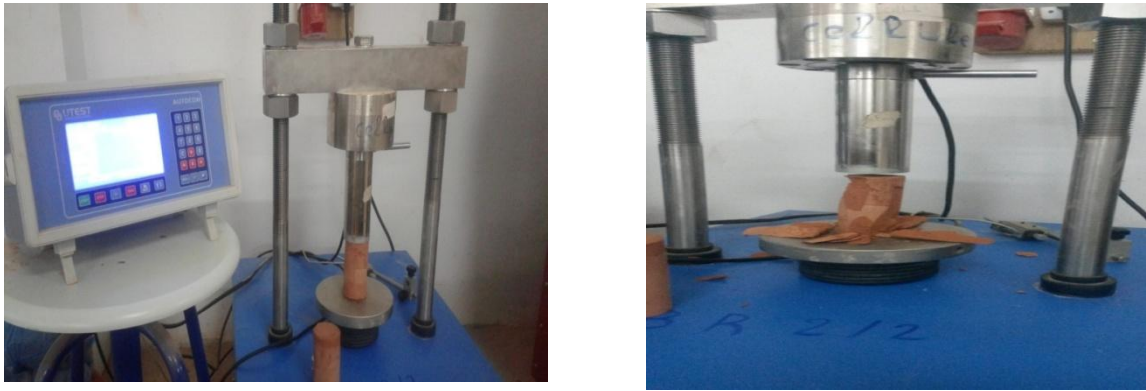


Figure II.10:Résistance à la compression simple[09]





*Figure II.11 : Mode d'écrasement à la compression simple (Labo GC U Adrar). [Auteur]*

### II.3.4.1 Résultat d'écrasement

*Tableau II .4: Les lecteurs d'écrasement (Argiles Timimoune)*

Matériau	70%A+30%S	70%A+25%S+5%P	70%A+22%S+8%P	70%A+20%S+10%P
F(KN ) 7J	1,80	4 ,022	4,134	4,257
F(KN ) 14J	1,934	4 ,149	4,259	4,440
F(KN ) 21 J	2,31	4 ,450	4,522	4,629
F(KN ) 28 J	2,775	5 ,110	5 ,703	6,593
S(cm2)	15,89			

## II.4 Conclusion

L'importance de cette recherche, le fait que tous les résultats que nous nous occuperons dans le dernier chapitre dépend de la validité et l'exactitude des essais géotechniques et mécaniques contenues dans ce chapitre, si vif que tous les travaux soient exécutés conformément aux critères scientifiques convenus.

Dans le premier paragraphe du chapitre, nous avons choisi l'essai de l'analyse granulométrique sédimentométrie et l'essai de limite d'Atterberg, pour fournir les moyens nécessaires pour accomplir au niveaux de labo de génie civile de l'Université d'Adrar, nous avons expliqué l'importance de ces essais et la façon dont sont menées et aussi le travail que nous avons fait dans le laboratoire avec accès.

Dans le deuxième alinéa de ce chapitre, nous avons choisi l'essai de test de résistance à la compression simple, en utilisant la machine de testeur de CBR numérique au niveau de labo génie civile de université, et disposent d'une lecture exacte de la force de pression qui se caractérise par cette machine.

Nous avons recueilli les données des essais passées dans les tableaux, de les extraire, les résultats que nous allons en discuter avec une partie de l'analyse et la discussion et la conclusion au chapitre IV.

# **Chapitre III**

**Transfert de Chaleur et les Propriétés  
Thermique des Matériaux locaux**

### III. Généralités Sur Les Transferts De Chaleur

#### III.1 Introduction

La thermodynamique permet de prévoir la quantité totale d'énergie qu'un système doit échanger avec l'extérieur pour passer d'un état d'équilibre à un autre.

La thermique (ou thermocinétique) se propose de décrire quantitativement (dans l'espace et dans le temps), l'évolution des grandeurs caractéristiques du système, en particulier la température, entre l'état d'équilibre initial et l'état d'équilibre final.

#### III.2 Définitions

##### III.2.1 Champ de température

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

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

##### III.2.2 Gradient de température

Si l'on réunit tous les points de l'espace qui ont la même température, on obtient une surface dite surface isotherme, la variation de température par unité de longueur est maximale le long de la normale à la surface isotherme, cette variation est caractérisée par le gradient de température [10] :

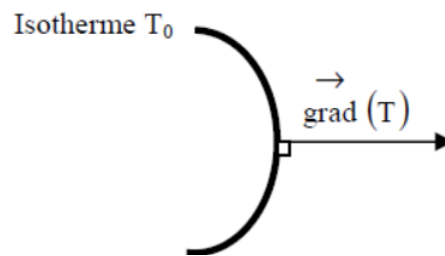


Figure III.1 : Isotherme et gradient thermique.

$$\text{grad}(T) = n \frac{\partial T}{\partial n} \quad (\text{III-1})$$

$\vec{n}$  : vecteur unitaire de la normale.

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

##### III.2.3 Flux de chaleur

La chaleur s'écoule sous l'influence d'un gradient de température des hautes vers les basses températures, la quantité de chaleur transmise par unité de temps et par unité d'aire de la surface isotherme est appelée densité de flux de chaleur [10] :

$$\Phi = \frac{1}{S} \frac{dQ}{dt} \quad (\text{III-2})$$

Où  $S$  est l'aire de la surface d'échange ( $\text{m}^2$ ).

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

$$\varphi = \frac{dQ}{dt} \quad (\text{III-3})$$

### III.3 Formulation d'un problème de transfert de chaleur

#### III.3.1 Bilan d'énergie

Il faut tout d'abord définir un système (S) par ses limites dans l'espace et il faut ensuite établir l'inventaire des différents flux de chaleur qui influent sur l'état du système et qui peuvent être :

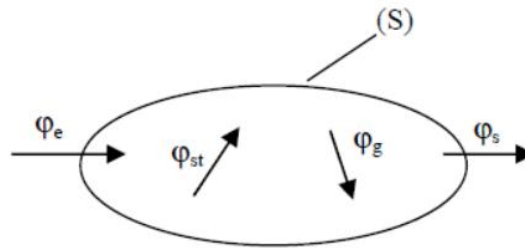


Figure III.2 : Système et bilan d'énergétique[10].

$\varphi_{st}$  Flux de chaleur stocké.

$\varphi_g$  Flux de chaleur généré.

$\varphi_e$  Flux de chaleur entrant.

$\varphi_s$  Flux de chaleur sortant.

On applique alors le 1er principe de la thermodynamique pour établir le bilan d'énergie du système (S) :

$$\varphi_e + \varphi_g = \varphi_s + \varphi_{st} \quad (\text{III-4})$$

#### III.3.2 Expression des flux d'énergie

Il faut ensuite établir les expressions des différents flux d'énergie, en reportant ces expressions dans le bilan d'énergie, on obtient l'équation différentielle dont la résolution permet de connaître l'évolution de la température en chaque point du système [10].

### III.4 Les différents modes de transferts

Lorsque deux systèmes sont à des températures différentes, le système le plus chaud cède de la chaleur au plus froid, il y a échange thermique ou encore transfert thermique entre ces deux systèmes.

Cette situation se rencontre dans de nombreuses situations industrielles (moteurs thermiques ou même électriques, centrales électriques au fuel au gaz, etc..., électronique) ou domestique (chauffage de l'habitat).

Un transfert d'énergie donne lieu à un flux de chaleur qui correspond à un déplacement de l'énergie du plus chaud vers le plus froid. Comme on le verra par la suite, le flux de chaleur dont la

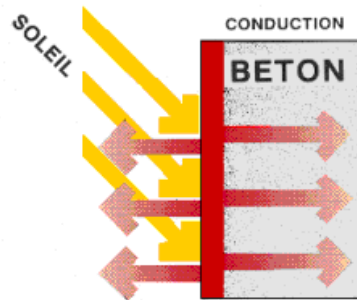
densité locale est notée  $\varphi$  est une grandeur vectorielle, ce qui signifie qu'un flux de chaleur est caractérisé non seulement par son intensité mais aussi par sa direction.

Il est défini en chaque point de l'espace et a l'unité d'une densité surfacique de puissance ( $W/m^2$ ), il existe trois modes essentiels de transferts de chaleur : la conduction, le rayonnement et la convection.

### III.4.1 La conduction

On sait que la température est une fonction croissante de l'agitation moléculaire dans un corps, qu'il soit solide, liquide ou gazeux, considérons pour l'instant un corps solide au sein duquel la température varie, l'agitation moléculaire élevée de la zone chaude communiquera de l'énergie cinétique aux zones plus froides par un phénomène appelé conduction de la chaleur.

La conduction est un phénomène de diffusion qui permet donc à la chaleur de se propager à l'intérieur d'un corps solide, il en est de même pour un liquide ou un gaz mais on verra par la suite que pour eux, la convection est un autre mode de transfert de chaleur possible, notons enfin que la conduction de la chaleur n'est pas possible dans le vide puisqu'il n'y a pas de support moléculaire pour cela [11].



*Figure III.3 : Exemple illustrant le mode de transferts de chaleur (la conduction). [11].*

### III.4.2 Le Rayonnement

La chaleur du soleil frappe pourtant notre planète alors qu'il n'y a aucun support solide, liquide ou gazeux au delà de l'atmosphère terrestre. Ceci signifie donc que l'énergie thermique peut tout de même traverser le vide.

Ce mode de transfert s'appelle le rayonnement. Il correspond à un flux d'ondes électromagnétiques émises par tout corps, quelle que soit sa température, comme on l'imagine, le rayonnement électromagnétique est d'autant plus élevé que sa température est grande.

Comme pour la conduction, ce sont les interactions entre atomes et molécules qui sont à l'origine de ce rayonnement, elles peuvent le générer, ce qui diminue leur énergie, ou encore l'absorber, ce qui l'augmente, de par sa nature, le rayonnement n'intervient que dans les milieux transparents (gaz, verre, vide) ou semi-opaque (gaz + fumées de  $CO_2$ , gaz + vapeur d'eau) [11].

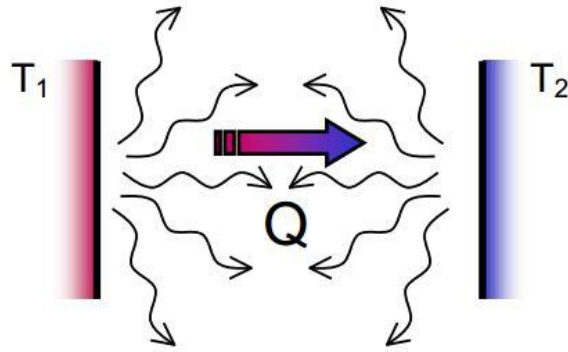


Figure III.4 : Exemple illustrant le mode de transferts de chaleur (le rayonnement). [35].

### III.4.3 La Convection

Un débit ou une circulation de liquide ou de gaz peut transporter avec lui une certaine quantité d'énergie thermique, ce transport de chaleur porte le nom de convection thermique, ce transport de l'énergie par un écoulement est analogue au transport d'autres quantités scalaires (non vectorielles) : transport d'une concentration de sel par de l'eau, transport de l'humidité par l'air, ... On retiendra donc que dans la convection, la chaleur se sert du fluide comme véhicule pour se déplacer.[11]

Sans entrer dans les détails, notons qu'il existe deux types de transferts convectifs :

- La convection forcée dans laquelle l'écoulement du fluide est forcé par un dispositif mécanique quelconque (pompe ou gravité pour un liquide, ventilateur pour de l'air).
- La convection naturelle : lorsqu'il existe une différence de température entre deux points d'un fluide, le fluide chaud, qui aura une masse volumique plus faible que le fluide froid aura tendance à monter sous l'effet de la poussée d'Archimède.

Il y aura ainsi circulation naturelle du fluide sous l'effet de la chaleur qui, par ailleurs, sera transportée avec lui : on parle de convection naturelle, si l'on prend l'exemple d'un chauffage domestique, l'eau chaude qui arrive dans les radiateurs circule par convection forcée, entretenue par le circulateur (petite pompe située dans la chaufferie) tandis que l'air des pièces de la maison circule par convection naturelle depuis le radiateur autour duquel il s'échauffe jusqu'au plafond vers lequel il s'élève avant de redescendre pour former un circuit fermé.

En convection on caractérise le flux de chaleur  $\Phi$  qui est extrait par le fluide de température  $T_0$  d'une paroi de surface  $S$  à la température  $T_p$  par :

$$\Phi = h_s (T_p - T_0) \quad (\text{III-5})$$

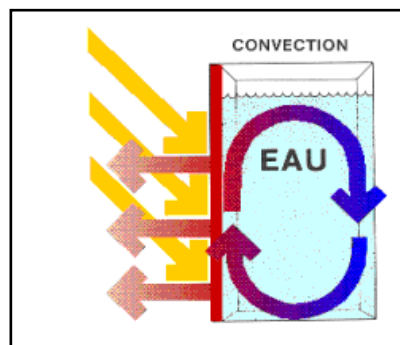


Figure III.5 : Exemple illustrant le mode de transferts de chaleur (la convection). [11]

### III.5 Combinaison des différents modes de transferts

Dans beaucoup de situations, il y a coexistence de 2 ou même 3 des modes de transferts thermiques d'écrits précédemment, fort heureusement, il est fréquent qu'un mode soit prépondérant et simplifie l'analyse, avant de finir ce paragraphe, signalons que certains échanges de chaleur s'accompagnent d'un changement d'état (vaporisation, condensation, fusion, congélation).

Ces phénomènes se comportent alors comme une source (ex. de la condensation) ou un puits de chaleur (ex. de la vaporisation), le dessin de la figure II.3 qui représente une fenêtre à double vitrage synthétise l'ensemble des exemples cités.

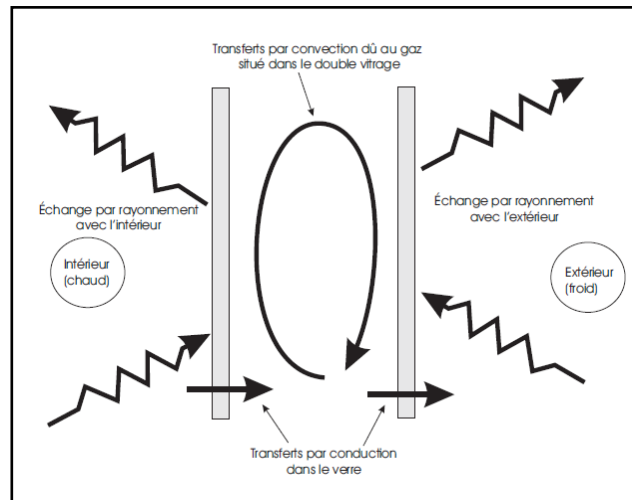


Figure III.6 : Exemple illustrant les différents types de transferts de chaleur. [11]

### III.6 Transfert de chaleur par conduction

#### III.6.1 Loi de Fourier

Le transfert de la chaleur par conduction est un transport de chaleur dans un milieu immobile ou mobile sans remous turbulent, ce mode de transport de la chaleur est le seul à exister au sein d'un solide opaque, aussi la conduction concerne essentiellement les solides, dans les liquides et les gaz le transport de la chaleur par conduction est très souvent négligeable devant les deux autres types de transport de la chaleur.

Le flux de chaleur (dimension  $W/m^2$ ) transféré par conduction dans une direction donnée est proportionnel au gradient de température dans cette direction, cette loi, dite de Fourier, est donc telle que la composante sur l'axe Ox du flux est égale à :

$$\varphi_x = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \quad (III-06)$$

$\varphi_x$  est la composante du flux sur l'axe Ox et T la température au point considéré, dans cette loi, postulée dès 1822 par Fourier, le coefficient de proportionnalité  $\lambda$  est une caractéristique physico-chimique du point matériel désignée sous le nom de conductivité ou conductibilité thermique, dans le système international, elle s'exprime en  $W/m.K$ .

Dans le tableau suivant sont reportées les conductivités de quelques corps solides, liquides et gazeux, d'une façon générale, les métaux sont beaucoup plus conducteurs de la chaleur que les substances non métalliques.

Les gaz sont plutôt mauvais conducteurs : le caractère isolant de la laine de verre est dû à la présence de l'air emprisonné entre les fibres.

**III.1 Tableau:** Valeurs physiques de la conductivité thermique de quelques corps métalliques[12].

<b>Matériau</b>	<b>Chroum</b>	<b>Argent</b>	<b>Cuiver</b>	<b>Alumin</b>	<b>Zinc</b>	<b>Fer(pure)</b>	<b>Acier Inox</b>	<b>Mercure</b>
$\lambda$ ( $W\ m^{-1}\ K^{-1}$ )	<b>449</b>	<b>419</b>	<b>386</b>	<b>204</b>	<b>112</b>	<b>73</b>	<b>16</b>	<b>8.2</b>
<b>Matériau</b>	<b>Ardoise</b>	<b>Grés</b>	<b>Verre</b>	<b>Papier</b>	<b>Chéne</b>	<b>Laine de Verre</b>	<b>Eau</b>	<b>Aire</b>
$\lambda$ ( $W\ m^{-1}\ K^{-1}$ )	<b>2.2</b>	<b>1.8</b>	<b>0.78</b>	<b>0.48</b>	<b>0.17</b>	<b>0.038</b>	<b>0.556</b>	<b>0.0262</b>

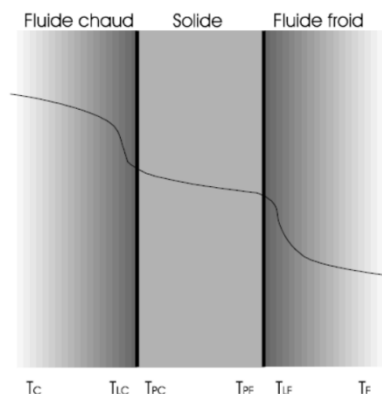
### III.7 Transfert de chaleur par convection

Le transfert de chaleur par convection apparaît entre deux phases dont l'une au moins est mobile, en présence d'une différence de température, le mouvement des phases peut être provoqué par une dégradation d'énergie mécanique, le transfert de chaleur est dit de convection forcée, le mouvement peut être provoqué par l'existence même du transfert de chaleur par suite de l'apparition dans le milieu d'une différence de masse volumique, le transfert de chaleur est dit de convection naturelle ou libre.

Dans ce qui suit, nous nous limiterons au transfert de chaleur par convection forcée qui est le mode de transfert de chaleur essentiel pour de nombreux appareils industriels de transfert de l'énergie thermique.

Définition des conductances partielles et globales de transfert par convection l'écoulement de la phase mobile de faisant généralement à l'intérieur ou à l'extérieur de conduites, dans de nombreux problèmes industriels le transfert de chaleur par convection forcée se fait entre deux phases mobiles séparées par une phase solide.

Imaginons un fluide chaud à la température  $T_C$  s'écoulant d'un côté d'une paroi métallique et un fluide froid à la température  $T_F$  s'écoulant de l'autre côté de la paroi d'épaisseur  $x$ , en régime stationnaire, les distributions de température observées entre le fluide chaud et le fluide froid sont voisines de celles schématisées sur la Figure III.7 [12].



**Figure III.7 :** Exemple illustrant les différents types de transferts de chaleur[12].

L'étude des écoulements d'un fluide à l'intérieur ou à l'extérieur d'une conduite montre qu'il est toujours possible de répartir la distribution des vitesses du fluide en deux zones principales :

- Une première zone située au voisinage de la paroi. Son épaisseur occupe toute la conduite si



L'écoulement est laminaire mais elle décroît très rapidement lorsque l'écoulement devient de plus en plus turbulent. Dans cette première zone, le transport de la chaleur, se fait, comme le transport de la matière et de la quantité de mouvement, par diffusion moléculaire.

- Une deuxième zone située au delà de la première, et dans laquelle le fluide est animé d'un mouvement tourbillonnant aléatoire entraînant très rapidement une égalisation de la vitesse de la température et des compositions du fluide.

En écoulement turbulent, dans la première zone ou couche limite, les gradients de température, de vitesse et de compositions sont très importants, de telle sorte que la résistance principale au transfert est localisée dans la couche limite [12].

### III.8 Transfert de chaleur par rayonnement

La plupart des corps matériels solides, liquides ou gazeux, portés à une température supérieure à 0 K émettent un rayonnement électromagnétique. Lorsque ce dernier est absorbé, il est transformé en énergie thermique.

Tout corps qui émet ce type de rayonnement est capable d'absorber un rayonnement de même nature, ainsi il apparaîtra entre deux corps capables d'émettre ce type de rayonnement un échange de chaleur dit par rayonnement, ce type d'échange existe même lorsque les deux corps sont à la même température mais dans ce cas le débit net de chaleur échangé est nul (les deux corps sont dits en équilibre thermique).

Le débit de chaleur croît au fur et à mesure que la différence de température entre les deux milieux augmente mais il dépend aussi du niveau des températures, on peut dire dès à présent que les échanges par rayonnement augmentent et deviennent prédominants aux températures élevées.[12]

#### III.8.1 Lois du cosinus ou loi de Lambert

Soient deux éléments de surface  $d_{S1}$  et  $d_{S2}$  échangeant un rayonnement :

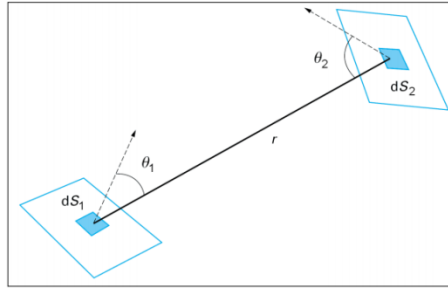
- L'élément  $d_{S1}$  est vu du centre de  $d_{S2}$  sous l'angle solide :

$$d\omega_2 = \frac{d_{S1} \cdot \cos \theta_1}{r^2} \quad (\text{III-07})$$

- L'élément  $d_{S2}$  est vu du centre de  $d_{S1}$  sous l'angle solide :

$$d\omega_1 = \frac{d_{S2} \cdot \cos \theta_2}{r^2} \quad (\text{III-08})$$

Avec  $r$  la distance entre les centres de  $d_{S1}$  et  $d_{S2}$ .



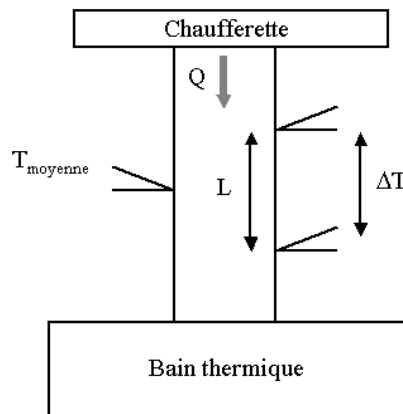
*Figure III.8 : Exemple illustrant la loi de LOMBERT.*

### III.9 Les Méthodes des mesures la conductivité thermique

Il existe plusieurs méthodes pour mesurer la conductivité thermique , et nous allons parler à certains d'entre eux certains d'entre eux [13]

#### III.9.1 Etat Stationnaire

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



*Figure III.9 : Schéma mesure conductivité thermique état stationnaire[13]*

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

$$\lambda = \frac{Q \cdot L}{A \cdot dT} \text{ (equivalent a } \frac{dT}{L} \cdot \lambda = \frac{Q}{A} \text{)} \quad \text{(III-9)}$$

Si dT n'est pas trop important (de l'ordre de 1 °C), la conductivité thermique mesurée est celle correspondant à la température moyenne mesurée par le troisième thermocouple. Le principe de la mesure repose alors sur l'hypothèse que la totalité du flux de chaleur passe par l'échantillon. La

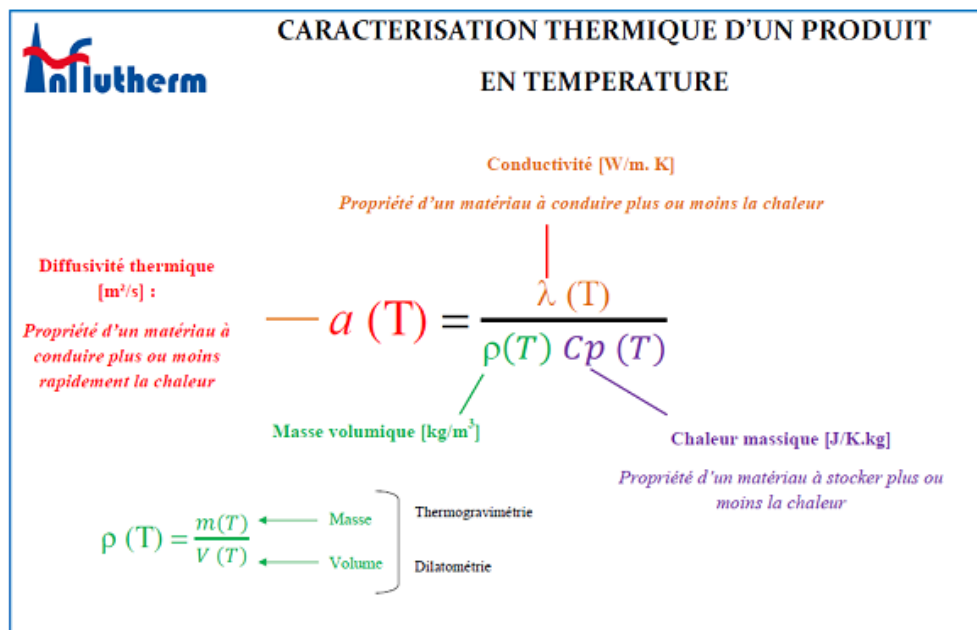
précision de la mesure dépend donc de la capacité à éliminer les pertes thermiques, que ce soit par conduction thermique par les fils, convection par le gaz résiduel, radiation par les surfaces de l'échantillon ou pertes dans la chaufferette .

la mesure s'effectue donc dans des conditions adiabatiques. Pour assurer la meilleure précision possible, l'échantillon dont on souhaite mesurer la conductivité thermique est donc placé dans une chambre de mesure sous vide (pour minimiser la convection), cette chambre est elle-même enveloppée dans plusieurs boucliers thermiques dont la température est régulée (afin de minimiser les effets radiatifs), enfin, les fils des thermocouples sont choisis de manière à conduire le moins possible la chaleur.

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

### III.9.2 La Méthode Indirecte

Il s'agit de mesurer la conductivité en passant par la mesure de la chaleur massique, de la diffusivité thermique et de la masse volumique. [13]



**Figure III.10 : Schéma mesure conductivité thermique méthode indirecte.**

### III.9.3 La Méthode De La Plaque Chaude Gardee Iso 8302

Isolation thermique détermination de la résistance thermique et des propriétés connexes en régime stationnaire-Méthode de la plaque chaude gardée, la conductivité thermique et la résistance thermique sont mesurées à température ambiante plus ou moins 20°C, la précision de mesure est de l'ordre de 5%. [13]

L'échantillon est constitué d'une paire d'éprouvettes de dimensions nominales 500x500mm et d'épaisseur comprise entre 30 et 80mm (pour les matériaux poreux : épaisseur >4 x dimension moyenne des grains), les épaisseurs doivent être les plus proches possible (<2%) et de masses

volumiques voisines, le taux d'humidité doit rester faible et constant entre le début et la fin de la mesure. [13]

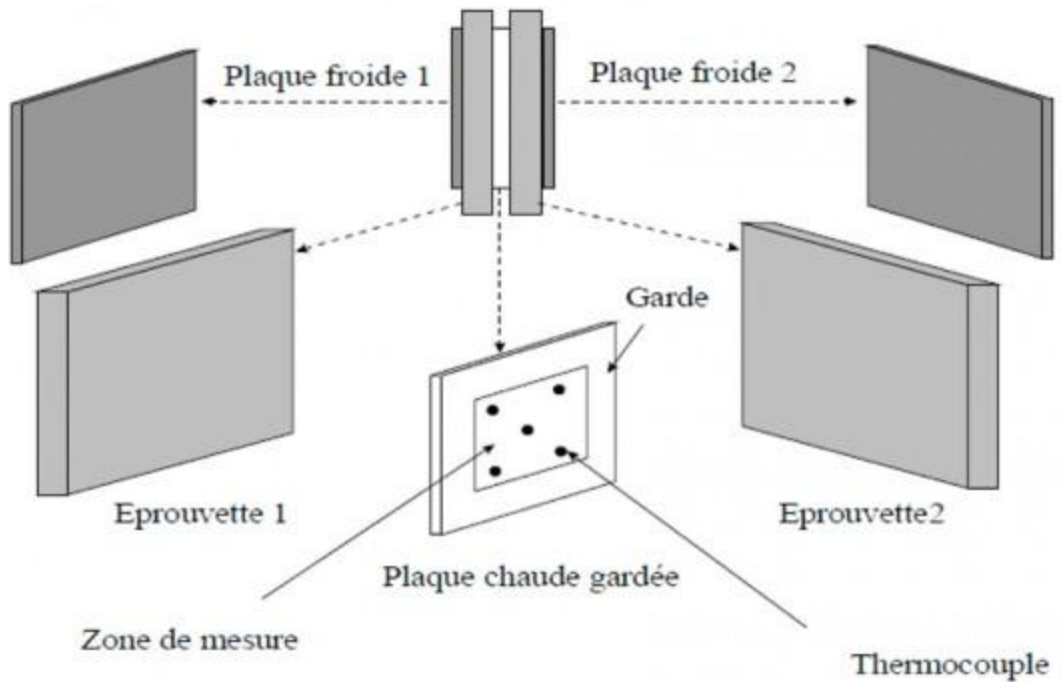


Figure III.11: Schéma illustrant le principe de mesure [13].

#### III.9.4 La Méthode Du Hot Disk

La méthode, régie par la Norme Internationale ISO 22007-2 :2008, est basée sur l'utilisation d'un capteur plan transitoire, la conductivité thermique est mesurée dans la gamme de température de  $-40^{\circ}\text{C}$  à  $300^{\circ}\text{C}$  et de  $300^{\circ}\text{C}$  à  $1000^{\circ}\text{C}$ , la précision de mesure est de l'ordre de 5 à 10%.

La sonde est placée entre deux morceaux plans de l'échantillon à caractériser. Les sondes sont déclinées en plusieurs diamètres et permettent de caractériser des échantillons de toute taille.

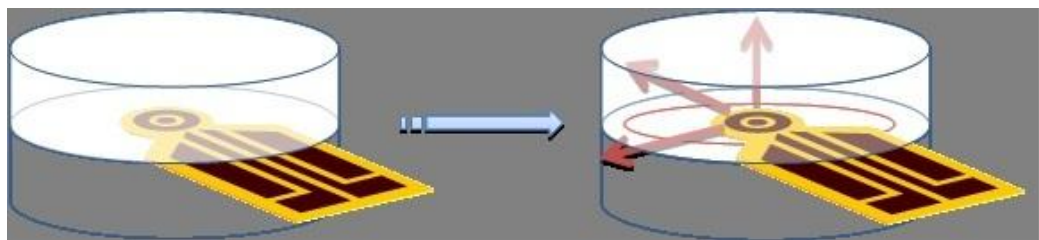
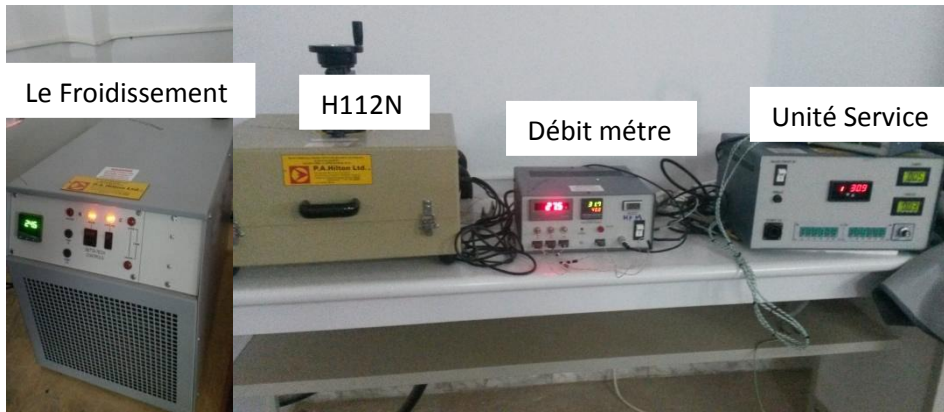


Figure III.12: Schéma illustrant le principe de mesure la conductivité [13].

### III.9.5 La méthode de plaque chaude et plaque froide

Dans l'étude que nous entreprenons pour calculer la conductivité thermique de la façon dont nous avons utilisé la plaque chauffante et plaque froide en utilisant le dispositif de mesure (Apparatus.P.A. Hillton Ltd England). Version H112N, qui existe dans laboratoire de génie civile à l'université Adrar, se compose en trois appareils, plaque plate commandée PID et chauffage électrique et d'un refroidissement, avec un débitmètre de chaleur .



*Figure III.13:Image illustrant l'appareille PA.Hillton LTD version H112N (labo GC Université Adrar) [Auteur] .*

#### III.9.5.1 Caractéristiques de l'appareille H112N

Un accessoire haut de banc conçu pour permettre aux élèves d'étudier facilement les conductivités thermiques relatives des matériaux de construction typiques.

Le **H112N** utilise une méthode relative de base de mesure de la conductivité thermique sur une norme internationale ISO 8301. However en raison de sa conception, le **H112N** permet une enquête simple , à faible coût.

Le H112N utilise une plaque plate commandée PID de chauffage électrique et d'un refroidissement par eau plaque plate avec un débitmètre de chaleur intégré et hautement sensible, les 300mm x 300mm échantillon à tester est pris en sandwich entre les plaques refroidies et chauffées épaisseur de l'échantillon maximum est de 75 mm, la température maximale de la plaque chaude 70 ° C.

L'ensemble est contenu dans une enceinte à isolation thermique pour réduire au minimum les pertes de chaleur.

Le système de chargement fourni assure que la même force de serrage est appliquée à tous les échantillons.

Le débitmètre de la chaleur donne une sortie à un indicateur numérique de la commande spécifique et de la console d'instrumentation. thermocouples spéciaux sont agencés de manière à mesurer les températures moyennes de chaque côté de l'échantillon d'essai, ce qui permet le gradient de température à travers l'échantillon et par conséquent la conductivité thermique doit être déterminée.

L'épaisseur de l'échantillon de test peut être mesurée in situ à l'aide de l'indicateur à cadran sur le mécanisme de serrage.

L'appareil permet la résistance thermique des échantillons à doser et la mesure d'échantillons reliés en série (empilés). Cela permet à la formule relative des résistances thermiques individuels et la résistance thermique globale d'un échantillon à étudier empilés.

Le **H112N** accessoire permettra étude comparative de la conductivité thermique de la construction d' échantillons de matériaux et est conçu spécifiquement à des fins d'enseignement. Nécessite l' unité de service de transfert de chaleur H112 pour le fonctionnement.[14]



**Figure III.14:** L'appareil de conductivité thermique (plaque chaude et plaque froide) [Auteur].

#### III.9.5.1.1 Capacité Expérimentale de l'appareil H112N

- La mesure rapide de la conductivité thermique des matériaux présentant une résistance thermique dans la plage de 0,1 à 1,4 m<sup>2</sup> K / W. (Résistance = épaisseur / conductivité)
- Mesure de la résistance thermique des matériaux de construction typiques.
- Mesure de la résistance thermique des échantillons minces empilés de matériaux de construction[14].

#### III.9.5.2 H112 de transfert de chaleur Unité de service

##### III.9.5.2.1 Caractéristiques d'unité de service

Un banc entièrement instrumentée supérieure unité de service de transfert de chaleur d'alimentation en courant alternatif régulée et réglable pour l'ensemble des modules optionnels et un certain nombre de prises de courant auxiliaires.

L'unité comprend une instrumentation qui est commun à tous les modules, ce qui est un indicateur numérique de la température de 12 points et numérique de mesure de courant et de tension. Le cas échéant, l'instrumentation supplémentaire est fournie avec les différents modules optionnels.

L'unité de service de transfert de chaleur Hilton H112 est monté banc, fonctionne à partir d'une source d'alimentation électrique monophasé conventionnel et fournit à la fois le contrôle et l'instrumentation pour chacune des quinze unités expérimentales facultatives[14].

##### III.9.5.2.2 Capacité Expérimentale

Pour une description détaillée et les capacités expérimentales se référer aux fiches de données individuelles pour chaque unité en option.

##### III.9.5.2.2 Service requis

###### Électrique:

**A :** 220-240 volts, monophasé, 50Hz (avec de la terre / terre), Courant de ligne jusqu'à 6A à 230v.

**Ou**

**B:** 110-120 volts, monophasé, 60 Hz (avec de la terre / terre), Courant de ligne jusqu'à 10A à 110V.



*Figure III.15: L'appareil H112 de transfert de chaleur Unité de service(labo GC Université Adrar)  
[Auteur].*

### III.10 Technique expérimentale

#### III.10.1 Elaboration des échantillons

L'échantillon utilisé dans cette étude a été réalisée à l'Université d'Adrar, qui dépend de la préparation des 04 échantillons du type avec des dimensions de modèles carrés ( $27 \times 27 \times 4 \text{ cm}^3$ ) pour mesurer la conductivité thermique, adoptée dans le processus de préparation de la matière première sur l'argile rouge de Timimoune, avec du sable pour assurer la stabilité et le manque de cohésion et d'additif de craquage est ici le matériau de gypse et faire varier la proportion de chaque substance dans le mélange de proportion autre donnée par ce qui suit:

**A<sub>1</sub>**-70% d'Argile et 30% de sable.

**A<sub>2</sub>**-70% d'Argile et 25% de sable et 5% de Plâtre.

**A<sub>3</sub>**-70% d'Argile et 22% de sable et de 8% de Plâtre .

**A<sub>4</sub>**-70% d'Argile et 20% de sable et 10% de Plâtre.

Chacun apporte un mélange séparément en ajoutant de l'eau pour obtenir une suspension homogène dans chaque échantillon et le mélange est placé dans un métal préalablement préparé pour ce modèle de fin, et nous manuellement en appuyant sur le mélange dans le moule pour obtenir une bonne compactage statique.



*Figure III.16: Moule métallique utilisée pour préparer l'éprouvettes de la conductivité thermique*



*Figure III.17: Mélange 70% Argile + 20% Sable + 10% Plâtre [Auteur].*



*Figure III.18: le mélange d'éprouvette avec l'eau. [Auteur].*



*Figure III.19: Rempli le moule. [Auteur].*

**NB :**

- 1- La masse de mélange nécessaire pour remplir le moules est 08 kg.
- 2- La quantités d'argile et de sable ne dépassent pas le taux de 30% et 70% pour obtenir une brique non fissurée et stable.



### III.11 Calcul de quantité

Pour calculer la proportion de chaque substance dans un mélange, nous comptons sur la façon tripartite dans le compte à partir du modèle 08 kg.

#### III.11.1 Exemple de calcul la quantité de chaque matériaux

**Eprouvette A<sub>1</sub> :**

08 Kg → 100%

X kg → 70 % Quantité d'Argile.

$X = (70 \times 08) / 100 = 5.6$  kg , Donc la quantité d'Argile est 5.6 kg.

08 Kg → 100%

X kg → 30 % Quantité de Sable.

$X = (30 \times 08) / 100 = 2.4$  kg , Donc la quantité d'Argile est 2.40 kg.

*III.2 Tableau: La quantité de chaque matériau dan les mélanges. [Auteur].*

	Argile (Kg)	Sable (Kg)	Plâtre (Kg)	Eau (L)
<b>A<sub>1</sub>(70% A+30% S)</b>	<b>5.6</b>	<b>2.4</b>	<b>00</b>	<b>2.00</b>
<b>A<sub>2</sub>(70% A+25% S+5% P)</b>	<b>5.6</b>	<b>2.00</b>	<b>0.4</b>	<b>2.10</b>
<b>A<sub>3</sub>(70% A+22% S+8% P)</b>	<b>5.6</b>	<b>1.76</b>	<b>0.64</b>	<b>2.30</b>
<b>A<sub>4</sub>(70% A+20% S+10% P)</b>	<b>5.6</b>	<b>1.60</b>	<b>0.80</b>	<b>2.50</b>

#### III.11.2 Calcule la conductivité thermique

La conductivité thermique est calculée à l'aide de l'appareille H112N

$$\lambda = \frac{e[(K_1 + (K_2 \times T)) + ((K_3 + (K_4 \times T)) \times HFM) + ((K_5 + (K_6 \times T)) \times HFM^2)]}{\Delta T}$$

**Avec :**

**λ:** La conductivité thermique par (W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>) avec **R = e/ λ.**

**e :** épaisseur de l'échantillon.

**T̄ = (T<sub>2</sub>+T<sub>1</sub>)/2 :** la moyenne de degré de température de deux plaques.

**HFM :** lecteur de début de chaleur par micro volte.

**ΔT = T<sub>1</sub> – T<sub>2</sub>** par C° : la différence thermique entre les deux plaques.

**Les constantes**

K1= -31.7383K4= 0.0558

K2= 0.4792K5= 0.0279

$K_3 = -31.7383$   $K_6 = -0.0005$

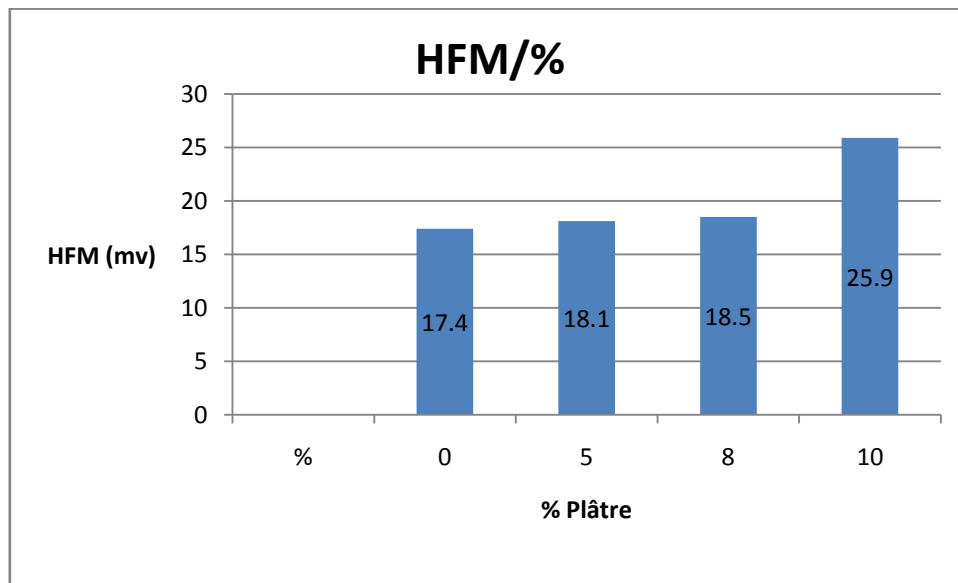
**Le coefficient de conductivité thermique :**  $\mu = 1/R$  par  $(W.m^{-1}.K^{-1})$ .

**Le flux thermique  $\emptyset$**  par  $(J/m^3K)$ .

Renvoyé à la calibration de l'équation sur le papier de test sont disponibles avec la machine H112N constantes.

**III.3 Tableau:** La lecture sur l'appareille H112N[Auteur].

<b>Argile Timimoune</b>	<b>Argile( 70%) +Sable( 30%)</b>	<b>A( 70%)+S( 25%) +5% Plâtre</b>	<b>A( 70%)+S( 22%) +8% Plâtre</b>	<b>A( 70%)+S( 20%) +10% Plâtre</b>
<b>HFM</b>	<b>17.4</b>	<b>18.1</b>	<b>18.50</b>	<b>25.9</b>
<b>T<sub>1</sub>(C°)</b>	<b>19.30</b>	<b>19.1</b>	<b>19</b>	<b>19.10</b>
<b>T<sub>2</sub>(C°)</b>	<b>37.00</b>	<b>37.00</b>	<b>37.20</b>	<b>37.00</b>
<b><math>\bar{T}</math></b>	<b>28.15</b>	<b>28.05</b>	<b>28.10</b>	<b>28.05</b>



**Figure III.20:** HFM par apport pourcentage de l'ajout. [Auteur].

### III.12. Interprétation

Après 28 jours de séchage nous avons mis les échantillons dans le dispositif H112 N de manière séquentielle pour mesurer la conductivité thermique, le dispositif situé au niveau du laboratoire de génie civil Adrar.

Jusqu'à temps plein pour prendre des lectures de l'appareil à trois heures pour chaque échantillon, que nous prenons les températures et la début de chaleur (HFM).

Le figure III.20 montre la variation entre le HFM et % de plâtre, et nous avons remarquons une augmentation dans lecteur début de chaleur (HFM), par apport à l'augmentation de la proportion des valeurs ajoutées plâtre.

L'évaluation de valeur HFM très faibles entre 0% et 8% ,jusqu'à 10% le proportion est élève.

### III.13 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons parlé d'apprendre sur généralités d'ordre général sur la conductivité thermique, nous abordé après que les différents types de transfert thermique qui sont la conduction, rayonnement et la convection et avec quelques détails, puis nous avons parlé dans ce chapitre sur les différents procédés et dispositifs de mesure de la conductivité thermique, nous avons choisi La méthode de plaque chaude et plaque froide , on a utilise l'appareil H112 qui disponible au niveau de laboratoire de génie civil à l'Université d'Adrar, et dans ce dernier partie nous avons parlé sur les moyens et les étapes de la préparation d'échantillons qui seront soumis à la mesure de la conductivité thermique.

A travers tous les essais que nous avons effectués, l'objectif est d'obtenir un bloc de terre stabilisé avec le plâtre ayant une bonne isolation thermique et une résistance mécanique à la compression acceptable, les résultats obtenus sont présentés dans le quatrième chapitre avec les analyses et les interprétations.

# **Chapitre IV**



## **Résultats et Discussions**



## **IV. 1 Introduction**

Dans ce chapitre, nous fournissons tous les résultats obtenus dans les essais précédentes, y compris à l'essais géotechnique et mécanique et la conductivité thermique, comme nous l'avons mis ces résultats sous forme des tableaux et résumés sous forme des courbes, nous devons faciliter le processus d'analyse et de tirer des conclusions.

Dans ce chapitre également, une comparaison pour voir la relation entre les proportions d'additifs de ciment, de la chaux et le plâtre et des matériaux de base l'argile, et adopté dans cette comparaison à l'essai précédente effectuée par les étudiants Boussaâdi et Ben Ali, l'an dernier qui utilisent le ciment et la chaux comme additif et l'essai nous avons réalisé au cours de cette étude, nous avons utilisé comme additif dans lequel le plâtre, l'argile est extraite de la région Timimoune comme un facteur clé commune entre les deux essais.

## **IV. 2 Limite d' Atterberg et l'analyse granulométrique par Sédimentométrie**

### **IV. 2.1 Limite d'Atterberg**

#### **IV. 2.1.1 Limite de liquidité et plasticité**

*Tableau IV.1. : Résultats de Limite de liquidité (Argile Timimoune)*

	<b>1<sup>er</sup> Essai</b>		<b>2<sup>eme</sup> Essai</b>		<b>3<sup>eme</sup> Essai</b>	
<b>Nombre de coupe</b>	<b>18</b>		<b>25</b>		<b>30</b>	
<b>N° de la tare</b>	F <sub>6</sub>	G <sub>1</sub>	C <sub>4</sub>	B <sub>2</sub>	F <sub>7</sub>	C <sub>2</sub>
<b>Poids totale humide</b>	23.7	26.6	26.3	24.4	21.6	<b>26.7</b>
<b>Poids totale sec</b>	19.4	21.5	22.1	21.1	19.3	<b>23.5</b>
<b>Poids de la tare</b>	12.6	13.1	13.4	14.2	12.6	<b>13.4</b>
<b>Poids de l'eau</b>	4.3	5.1	4.2	3.3	2.3	<b>3.2</b>
<b>Poids de sol sec</b>	6.8	8.4	8.7	6.9	6.7	<b>10.1</b>
<b>Teneur en eau</b>	63.24	60.71	48.28	47.83	34.33	<b>31.68</b>
<b>Moyenne</b>	61.97		48.05		<b>33.01</b>	
<b>W<sub>L</sub></b>	59.55		48.05		<b>33.74</b>	
<b>Moyenne W<sub>L</sub></b>	<b>27.26</b>					

*Tableau IV.2. : Résultats de Limite de plasticité (argile Timimoune)*

	<b>1<sup>er</sup> Essai</b>	<b>2<sup>eme</sup> Essai</b>	<b>3<sup>eme</sup> Essai</b>
<b>N de la tare</b>	A1	B2	<b>C4</b>
<b>Poids totale humide</b>	7.10	7.30	<b>7.70</b>
<b>Poids totale sec</b>	6.90	7.10	<b>7.46</b>
<b>Poids de la tare</b>	5.60	5.70	<b>5.70</b>
<b>Poids de l'eau</b>	0.20	0.20	<b>0.24</b>
<b>Poids de sol sec</b>	1.30	1.40	<b>1.76</b>
<b>Teneur en eau</b>	15.38	14.29	<b>13.64</b>
<b>Moyenne</b>	<b>14.44</b>		

#### **IV. 2.1.2 Interprétation**

A la lumière des résultats de test d'Atterberg, effectués sur l'échantillon, qui permettent de calculer des limites de plasticité et de liquidité assez précises, et très importantes pour la détermination du type de sol, les essais ont donné des valeurs de limite de liquidité est de 45.55% et limite de plasticité 14,44 % et la valeur d'indice de plasticité est de 31,11%.

En se référant au diagramme de CASAGRANDE, on peut en déduire qu'on est en présence d'un matériau inorganique de moyenne plasticité.

La valeur de limite de plasticité 14,44 montre que la teneur en eau de notre prélèvement qui a perdu sa plasticité et se fissure en se déformant est un moyen pourcentage, lorsqu'il est soumis à de faibles charges. Cette limite sépare l'état plastique de l'état semi-solide.

Lorsque le sol est à l'état plastique, sa teneur en eau est plus grande et ses particules sont plus éloignées les unes des autres. Les films d'eau absorbés sont beaucoup plus épais, mais ils se touchent encore, la cohésion du sol est plus faible qu'à l'état semi-solide. Sous de petites charges, le sol se déforme sans fissures. La zone de plasticité a mentionnée une adsorption assez importante.

Dans cette zone de plasticité l'absorption assez importante de l'eau  $W_L=45,55\%$ , sa teneur en eau est si élevée qu'il n'existe pratiquement plus aucune cohésion entre les particules, qui sont entourées de leur film d'eau absorbé et isolées les unes des autres par l'eau libre. Le sol peut alors se comporter comme un liquide visqueux d'une consistance variant.

*Tableau IV.3. : Les résultats de différents Indices de limite d'Atterberg (Argile de Timimoun)*

	$W_L(\%)$	$W_P(\%)$	$I_P(\%)$
Argile Timimoun	45,55	14,44	31,11

#### IV. 2.1.3 Explication des Résultats

A la lumière des ces résultats et en basant sur l'Abaque de CASAGRANDE on peut classer ce matériau comme une **Argile Limon peu plastique** d'une absorption assez important, ces caractéristiques favoriser ce matériau à plusieurs utilisation dans les domaines de construction.

#### IV. 2.2 Granulométrie Par Sédimentométrie

La Sédimentométrie a pour objectif de déterminer la répartition en poids des grains du sol fin suivant leur dimension pour des fines particules inférieures à 0,08 mm, En effet, lorsque le diamètre des particules est faible, le tamisage ne permet plus d'obtenir des résultats précis de la composition des éléments fins.

A première vue, la courbe granulométrique permet d'identifier le type de matériau qui compose l'échantillon analysé. Si on examinant la courbe granulométrique d'échantillon constituée d'argile, on trouve les proportions respectives de chaque type de sol exprimées en pourcentages, par ailleurs, la forme de la courbe granulométrique obtenue apporte les renseignements suivants :

La fraction des particules de sable fin est 26.36%, et la fraction des limons est de 29.85, et plus de 40 % de particules sont de nature argileuse.

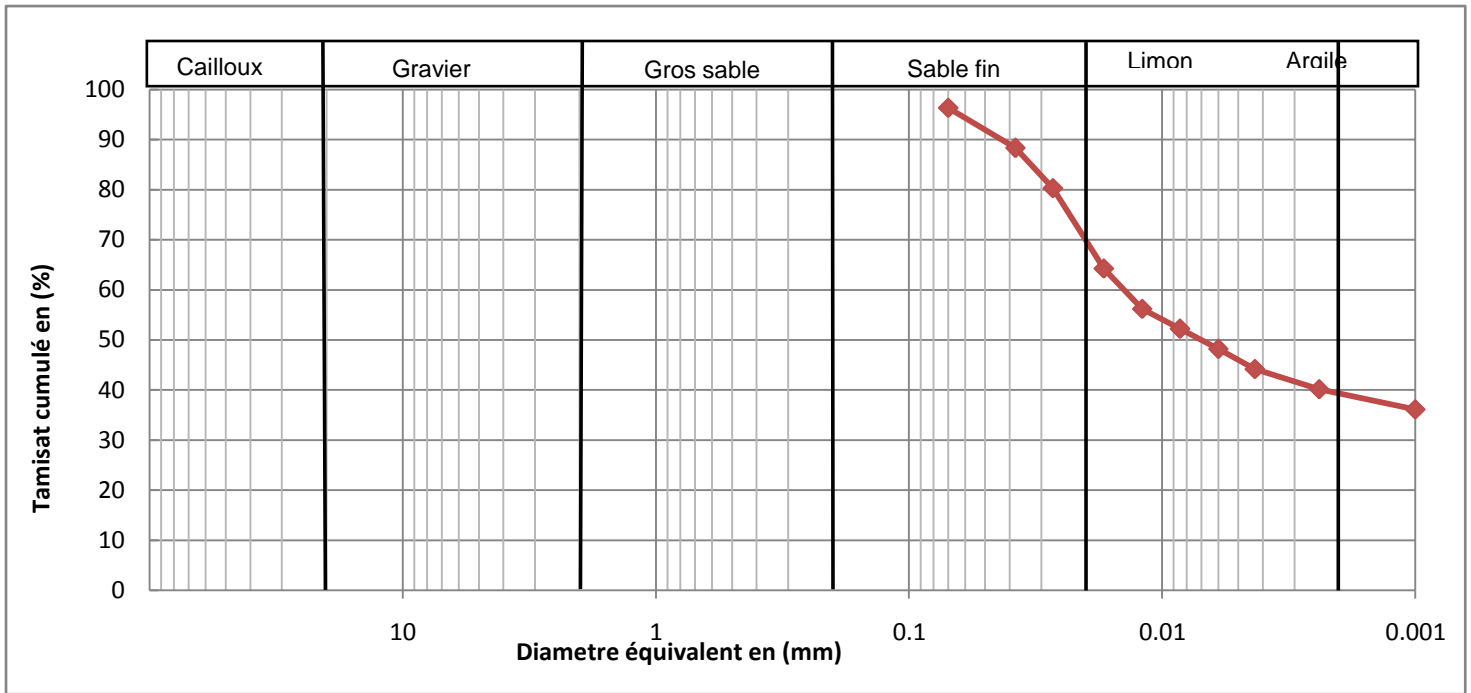
De plus, d'après la courbe granulométrique, on en déduit l'appellation de matériau étudié est comme une argile-limoneuse- sableuse.

#### IV. 2.2.1 Résultats d'analyse granulométrique par sédimentométrie

*Tableau IV.4 : Les résultats de granulométrie par sédimentométrie (Argiles Timimoune)*

Temps			Lecteur de Nombre de Graduation (Rt)	Température (C)°	Facture (F)	(Rb)	(Ht)	P%<D	D(mm)
H	Min	S							
0	0	30	1.013	28	0,01242	1,001	9,595	96,36	0,070
0	1		1.012	28	0,01242	1,001	9,810	88,33	0,038
0	2		1.011	28	0,01242	1,001	10,025	80,30	0,027
0	5		1.009	28	0,01242	1,001	9,055	64,24	0,017
0	10		1.008	28	0,01242	1,001	9,270	56,21	0,012
0	20		1.0075	28	0,01242	1,001	9,377	52,19	0,0085
0	40		1.0070	28	0,01242	1,001	9,480	48,18	0,0060
1	20		1.0065	28	0,01242	1,001	9,590	44,16	0,0043
4	0		1.006	30	0,01242	1,001	9,700	40,15	0,0024
24	0		1.0055	28	0,01242	1,001	9,807	36,13	0,0010





*Figure IV.1 : Courbe d'analyse granulométrique d'argile par sidimentométrie*

### IV. 3 Comportement Mécanique

#### IV. 3.1 Interprétation des résultats

##### IV. 3.1.1 Résultats d'écrasement

Les essais de compression simple permettent de déterminer la résistance du matériau, le Module (E) ainsi que la déformation à la rupture. et la résistance à la compression simple notée  $R_C$  se détermine selon la formule :

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

*Tableau IV.5: Les Résultats globale d'écrasement .*

Mélange	70%A+30% S	70%A+25%S +5%P	70%A+22%S+ 8%P	70%A+20%S+ 10%P
<b><math>R_C</math>(MPa) de 07 jours</b>	1.1327	2.5311	2.6016	2.679
<b><math>R_C</math>(MPa) de 14 jours</b>	1.21711	2.6110	2.6803	2.7942
<b><math>R_C</math>(MPa) de 21 jours</b>	1.4537	2.8005	2.8458	2.9131
<b><math>R_C</math>(MPa) de 28 jours</b>	1.7463	3.2158	3.589	4.14915

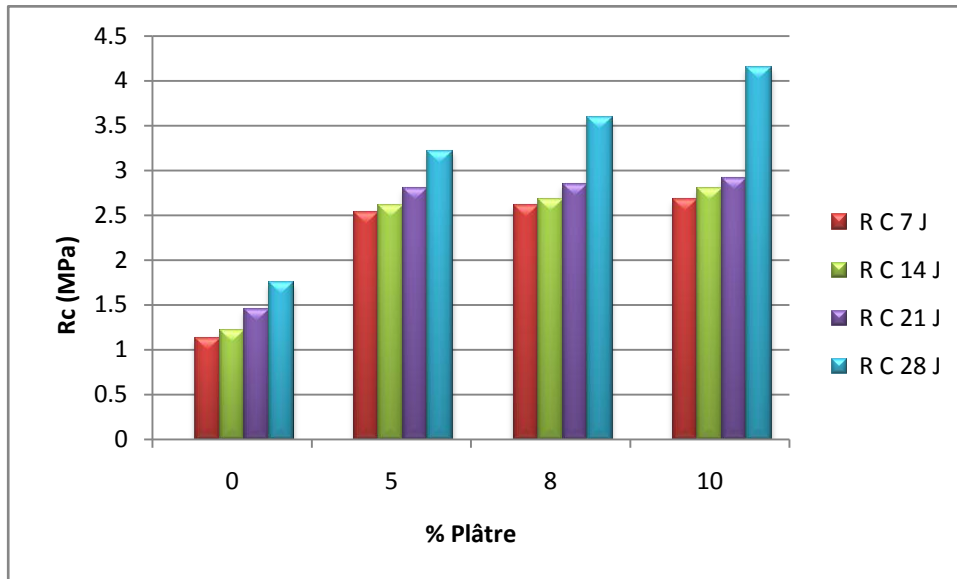


Figure IV.2 : La Résistance a la compression des échantillons en fonction de % de plâtre.

#### IV. 3.1.2 Interprétation des résultats

D'après la préparation des éprouvettes d'écrasement par l'ordonné de chaque mélange ( 7jours ; 14jours ; 21jours et 28jours ) nous avons écrasé chaque série des éprouvettes suivant la date d'écrasement et on a constaté que tous les résultats en fit extrusive à travers la résistance à la compression cela est dû à leur pourcentage des ajouts (sable , plâtre) et la date d'écrasement,

Aussi nous avons constaté que l'ajout plâtre donne une bonne résistance à la compression de l'argile et développe ses comportements d'une façon générale

Nous avons souligner la déférence le plus vaste dans la résistance a la compression des mélanges qui né pas contiens aucune pourcentage de plâtre et les autre mélanges presque une déférence de 1.35 MPa, mais les autres mélanges, de même manière nous avons remarqué une mince déférence du 07 à 10 N/cm<sup>2</sup> sur tout les mélanges d'argile qui contiennent une pourcentage de plâtre quelle que soit l'âge de mélange, donc on a conclu que le plâtre améliore les comportements mécanique de l'argile.

#### IV. 3.1.3 Explication des Résultats

- D'un façon générale le plâtre contient des caractéristique utile dans le domaine de utilisation de l'argile de sorte que il donne une bonne résistance a la comprissions sachant que ce dernier parmi les priorités de nous étude.
- La présence de sable dans chaque mélange c'est juste pour réduire l'effet de retrait ce qui a causé des risques major d'une coté de résistance a la compression, et augmenter la conductivité thermique d'autre coté.
- La faiblesse des trois premiers échantillons de coté de résistance a la compression au premier échantillon et cela est dû l'absence totalement de plâtre, donc l'ajout plâtre augmente la résistance de chaque sérié des échantillon suivante la quantité de plâtre ajouté.

## IV. 4 Comportement Thermique

### IV. 4.1 Les Résultats Obtenus

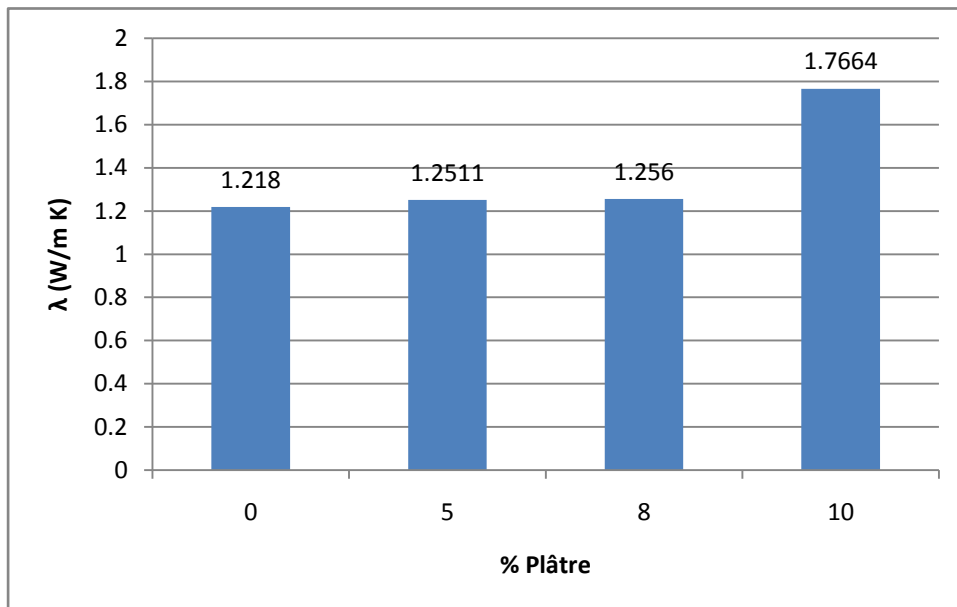
Grâce à des expériences passées que nous avons fait et nous avons parlé dans le chapitre précédent dans ce chapitre, nous essayons de recueillir tous les lecteurs et les résultats dans une table et la transformer en un graphique montrant la valeur de conductivité thermique en termes de proportions d'additifs.

#### IV. 4.1.1 Les Résultats de la Conductivité Thermique

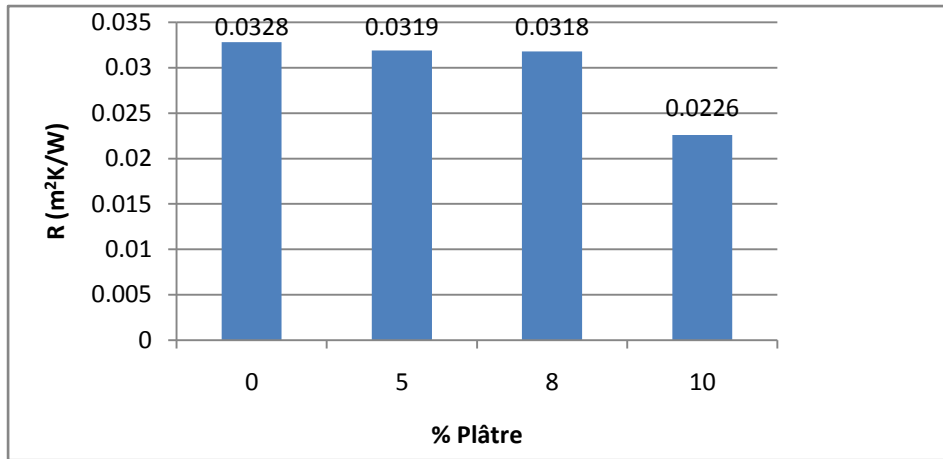
*Tableau IV.6 : Les Résultat de La conductivité thermique.*

Argile Timimoune	Argile( 70%) +Sable( 30%)	A( 70%)+S( 25%) +5% Plâtre	A( 70%)+S( 22%) +8% Plâtre	A( 70%)+S( 20%) +10% Plâtre
$\Delta T$	17.70	17.90	18.50	17.90
Conductivité thermique $\lambda$ (W/m K)	1.2180298	1.2511384	1.2564473	1.7664197
Résistance thermique $R$ (m <sup>2</sup> K/W)	0.0328399	0.0319709	0.0318358	0.0226447
Coefficient de conductivité $\mu$ (W/m <sup>2</sup> K)	30.450745	31.27846	31.411183	44.160492

Les figures suivantes (Figure IV.6) (Figure IV.2),représentent les résultats du tableau précédent de la variation de la conductivité et résistance thermique en fonction les effets des Ajouts plâtre.



*Figure IV.3: La Conductivité des échantillons en fonction de % d' Ajout.*



*Figure IV.4: La Résistance thermique des échantillons en fonction de % de plâtre.*

#### IV. 4.1.2 Interprétation

- Une Augmentation sur les valeurs de conductivité thermique entre 0.03 W/m K et 0.51 W/m K, par apport % de plâtre, et une augmentation sur les valeurs de coefficient de conductivité (Figure IV.4).
- Amenuisement sur les valeurs des résistances thermiques (Figure IV.5).
- Le mélange (Argile + Sable) a une bonne résistance thermique car la valeur de la conductivité thermique est faible.
- Chaque fois que le pourcentage de la plâtre est plus grand dans notre échantillon, la conductivité thermique augmente et la résistance thermique diminue.
- L'évolution des valeurs de conductivité thermique sera négligeable entre 0% et 8%, mais ce l'évolution est remarquable à un pourcentage de 10%.

#### IV. 4.1.3 Explication des résultats

- Le mélange (Argile+Sable) a une bonne résistance thermique car la valeur de la conductivité thermique est petite.
- Le brique stabilisé avec le plâtre donne une faible résistance thermique.

### IV. 5 Etude comparative entre la résistance thermique et la résistance mécanique

**Tableau IV.7 :** La Résistance thermique et la résistance à la compression d'argile.

Mélange	Résistance thermique R (m²K/W)	Résistance à la compression MPa (28 j)
Argile( 70%) +Sable( 30%)	0.0328399	1.7463
A( 70%)+S( 25%) +5% Plâtre	0.0319709	3.2158
A( 70%)+S( 22%) +8% Plâtre	0.0318358	3.5890
A( 70%)+S( 20%) +10% Plâtre	0.0226447	4.1491

Le figure suivantes (Figure IV.7) ,représentent les résultats du tableau précédent de la variation de résistance thermique et résistance à la compression en fonction les effets des Ajouts plâtre.

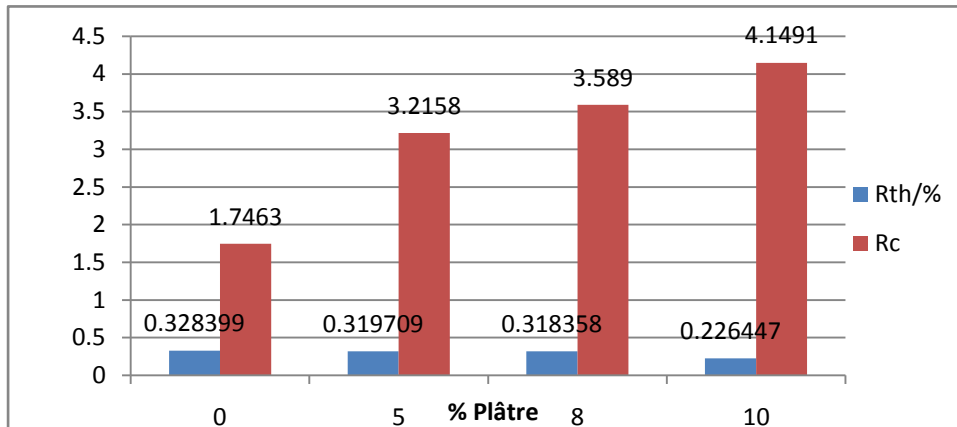


Figure IV.5 : La résistance thermique et la résistance à la compression d'Argile en fonction de pourcentage de plâtre .

#### IV. 5.1 Interprétation

- Le bloque stabilisé avec le plâtre donne une bonne résistance a la compression, pour atteindre la valeur de 1.7 MPa et 4.14 MPa .
- L'évolution de la résistance thermique déprécier sur face exigü, entre 0% et 10% de plâtre ,déprécier entre 0.032 m<sup>2</sup>K/W et 0.022 m<sup>2</sup>K/W.
- Les valeurs des résistance à la compression est a élevé, mais de bonne résultats effectuer sur les valeur de résistance à la compression dans le mélange de 10%.
- Dans le mélange ( Argile + Sable), donne une valeur plus haute de la résistance thermique et plus faible valeur de la résistance a la compression.

#### IV. 5.2 Explication des résultats

- De plâtre donne plus de force au mélange et la cohésion du taux plus élevé dans le mélange.
- Si le ratio De plâtre a diminué dans le mélange, la valeur de résistance thermique est bonne, et si la proportion du plâtre a augmenté dans le mélange avec une diminution de la proportion de sable, la valeur de résistance thermique est trop faible.

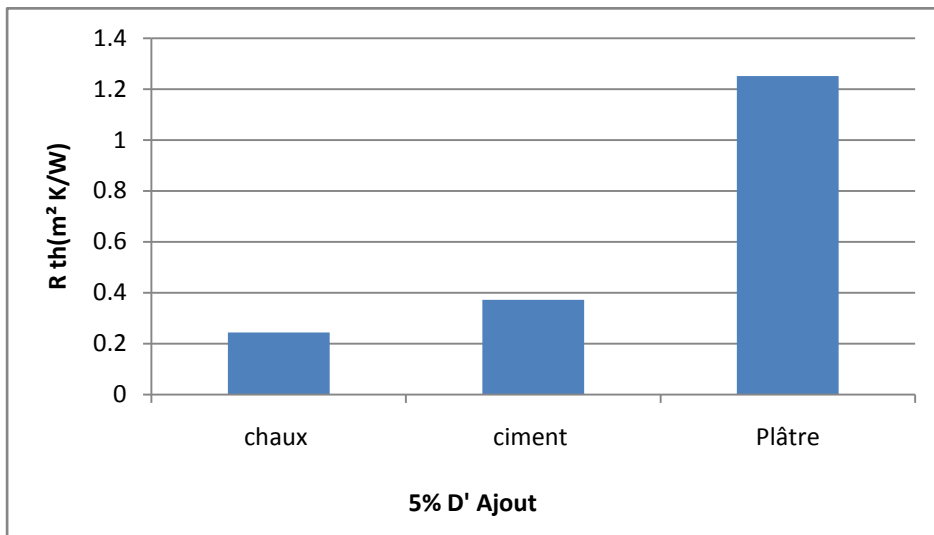
### IV. 6 Effet de type d'ajouts sur le comportement thermique et mécanique

Au départ, il faut noter que l'étude précédente des étudiants de Ben Ali et Bousaâdi ont été utilisés sur deux différents types d'argile, le premier type pour la région de l'Adrar et la seconde pour la zone de Timimoune, ont été utilisés sur les additifs de la chaux et du ciment, mais dans notre étude, nous avons attiré l'attention sur l'argile Timimoune et ont été utilisé l'additifs de plâtre .

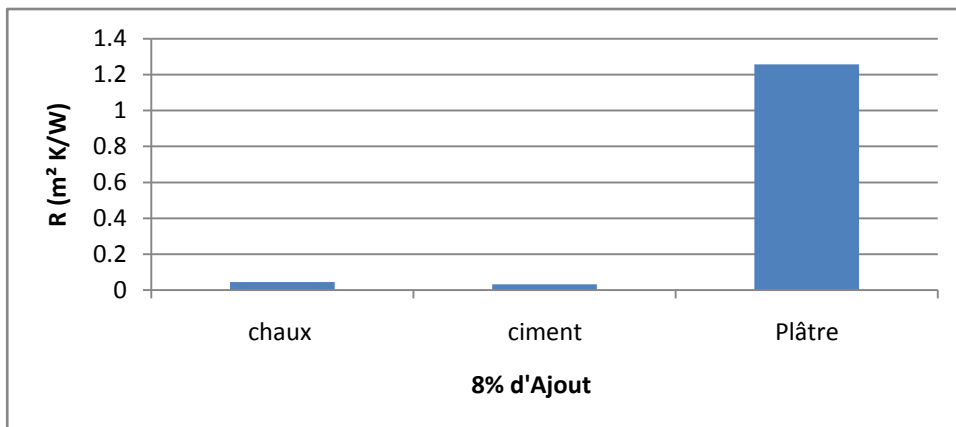
Nous allons essayer de faire dans ces paragraphes comparant les résultats scientifiques contenus dans les deux essais, en particulier dans les mêmes proportions d'additifs dans les deux expérimentations(5%,08%).d'ajouts

**Tableau IV.5:** La Résistance thermique et la résistance à la compression d'Argile.

Mélange	Résistance thermique R (m <sup>2</sup> K/W)	Résistance à la compression MPa (28 j)
5%chaux [09]	0.244292	4.28
8%chaux [09]	0,372373	1.71
5%ciment [09]	0.044158	10.42
8%ciment [09]	0.032743	12.36
5% Plâtre [Auteur]	0.0319709	3.2158
8% Plâtre [Auteur]	0.0318358	3.5890



*Figure IV.6: Effet de type d'ajouts sur le Résistance thermique.*



*Figure IV.7: Effet de type d'ajouts sur le Résistance thermique.*

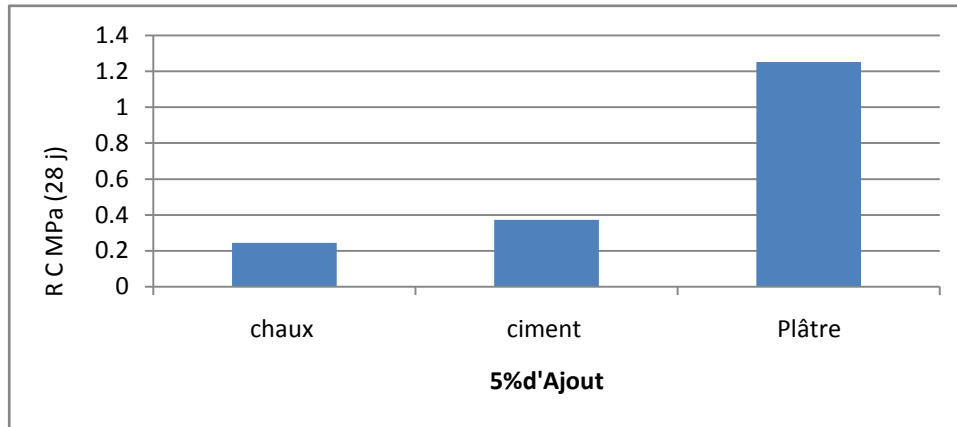


Figure IV.8: Effet de type d'ajouts sur le Résistance à la compression

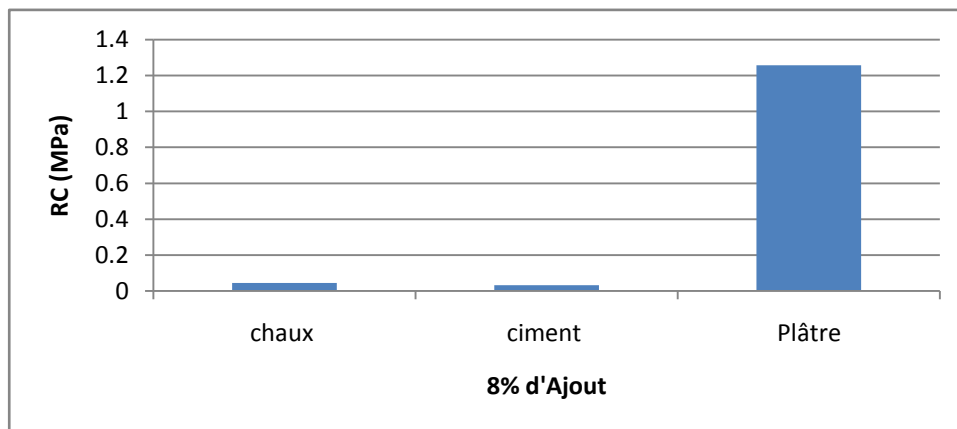


Figure IV.9: Effet de type d'ajouts sur le Résistance à la compression

- Premièrement le ciment et la chaux et le plâtre sont ajoutés pour stabiliser notre brique et améliorer leurs caractéristiques soit mécaniques ou thermiques ou les deux.
- La résistance à la compression en fonction des pourcentages de chaux est très faible et diminue, mais dans le plâtre et le ciment la résistance a été augmentée de chaque série des échantillons.
- Le ciment est utilisé dans l'expérimentation comme additif mieux en termes de résistance à la compression par rapport aux résultats d'autres additifs chaux et plâtre.
- L'argile est respirante. Au contraire du plâtre ou du ciment, l'argile est perméable à la vapeur d'eau. Les pores ouverts permettent donc de maintenir des murs plus secs et d'éviter des ponts thermiques dus à la présence d'humidité dans les murs.
- La valeur de la conductivité thermique est très faible, à des taux différents de chaux, puis commence à augmenter au taux de 8 % de ciment, et a enregistré une forte proportion à 08 pour cent de chaux.
- La meilleure conductivité thermique trouvée dans la chaux, par rapport à d'autres additifs.

## IV. 7 Conclusion

La région d'Adrar caractérisée par une température élevée, qui affectent souvent la vie normale du peuple, surtout quand il est livré avec des bâtiments de béton, ce qui constitue un obstacle majeur dans le confort thermique de la population.

Il est devenu nécessaire, penser à trouver des solutions de rechange pour le béton armé, afin d'atteindre les objectifs de ce qui précède, et que nous croyons qu'ils sont dans l'utilisation des matériaux locaux pour l'isolation thermique.

Par conséquent, dans cette étude, pensez à la fabrication de moules d'argile ont de bonnes propriétés thermiques, propriétés mécaniques et acceptables, pour contribuer à la réduction de la consommation d'énergie électrique et la valorisation des ressources locales pour améliorer le taux de chaleur à l'intérieur des bâtiments.

Les résultats de ces expériences montrent que la conductivité thermique des échantillons sont bons à chaque fois que je l'ai dit la proportion de matériau de plâtre tandis que la valeur de résistance thermique augmente dans le même échantillon.

Le mélange de plâtre est un matériau isolant faible ne réalise pas les objectifs fixés à la hauteur, mais il donne de bons résultats en appuyant sur la résistance à la fabrication de moules en argile solides.





# **Conclusion Générale**



## Conclusion Générale

Dans les années soixante fin **Rachel Carson** a sorti son livre intitulé *SilentSpring*, qui est en réponse aux problèmes de l'énergie et les aspects de la dégradation de l'environnement, la désertification et la pénurie des ressources naturelles, le monde a mis en garde à l'importance de créer une architecture locale concerne un pays sans que les autres, surtout après l'échec cuisant des matériaux de béton, qui a été caractérisée en exagérant l'application les concepts de la modernité, se concentrent sur les aspects mécaniques et techniques excessive, le manque de concentration sur les aspects patrimoniaux et culturels et les aspects environnementaux.

Nous appelons nos recherches pour faire référence à l'architecture du système de construction écologique local, il est fonctionnel en parallèle avec l'environnement vital par les sorties autocontrôle du système avec le moins d'impacts négatifs sur l'environnement et la consommation d'énergie.

L'objectif de cette étude est de trouver des moules d'argile ont de bonnes propriétés thermiques, propriétés mécaniques et acceptables pour contribuer à la réduction de la consommation d'énergie électrique et de valorisation des ressources locales pour améliorer le confort thermique dans les bâtiments.

Pour cela, nous avons adopté dans cette recherche pour atteindre les objectifs ci-dessus à la fois l'argile extraite de la carrière Timimoune comme matériau de base, le sable comme matériau de stabilisation, ainsi que le plâtre comme additifs, aux fins de l'industrie des moules en argile donnera des résultats satisfaisants pour les propriétés physique, thermiques et mécanique.

Grâce à nos expériences nous arrivés aux conclusions suivantes:

- Le bloque stabilisé avec le plâtre donne une bonne résistance a la compression, pour atteindre la valeur de 1.7 MPa et 4.14 MPa.
- L'évolution de la résistance thermique déprécier sur face exigu, entre 0% et 10% de plâtre, déprécier entre 0.032 m<sup>2</sup>K/W et 0.022 m<sup>2</sup>K/W.
- De plâtre donne plus de force au mélange et la cohésion du taux plus élevé dans le mélange.
- Si le ratio de plâtre a diminué dans le mélange, la valeur de résistance thermique est bonne, et si la proportion du plâtre a augmenté dans le mélange avec une diminution de la proportion de sable, la valeur de résistance thermique est trop faible.

Enfin, nous mettons l'accent dans cette étude sur la nécessité d'étendre les analyses expérimentales à d'autres mélanges afin d'obtenir un meilleur compromis entre les propriétés mécaniques et thermiques des matériaux argileux stabilisés par un liant.





# Annexe

## ANNEXE

*Annexe 01 : Evolution de la consommation pour les différents mois de 2009-2015 .*

Année		Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
2009	PMA	79	52	52	53	95	121	118	121	119	71	56	59
	PS	79	52	52	53	83	106	107	115	114	68	56	59
	PM	43	47	42	40	95	121	118	121	119	71	44	35
	CN	46	24	22	21	31	37	36	42	35	28	27	22
	CM	49	25	24	23	33	39	41	50	43	30	29	25
2012	PMA	77	77	69	77	149	179	193	199	184	131	78	74
	PS	77	77	69	77	132	151	189	199	176	119	78	74
	PM	66	61	64	68	149	179	193	197	184	131	63	64
	CN	30	33	34	30	44	56	75	70	52	31	29	36
	CM	33	36	35	32	43	55	94	91	70	42	32	41
2015	PMA	225	202	197	196	201	264	277	279	273	272	266	249
	PS	225	198	197	194	201	249	277	270	271	271	261	246
	PM	218	202	197	196	197	264	272	<b>279</b>	273	272	266	249
	CN	48	46	46	48	52	51	39	39	40	55	73	55
	CM	52	49	<b>48</b>	50	52	52	59	58	58	61	77	61

PMA : Pointe mesurée journalière

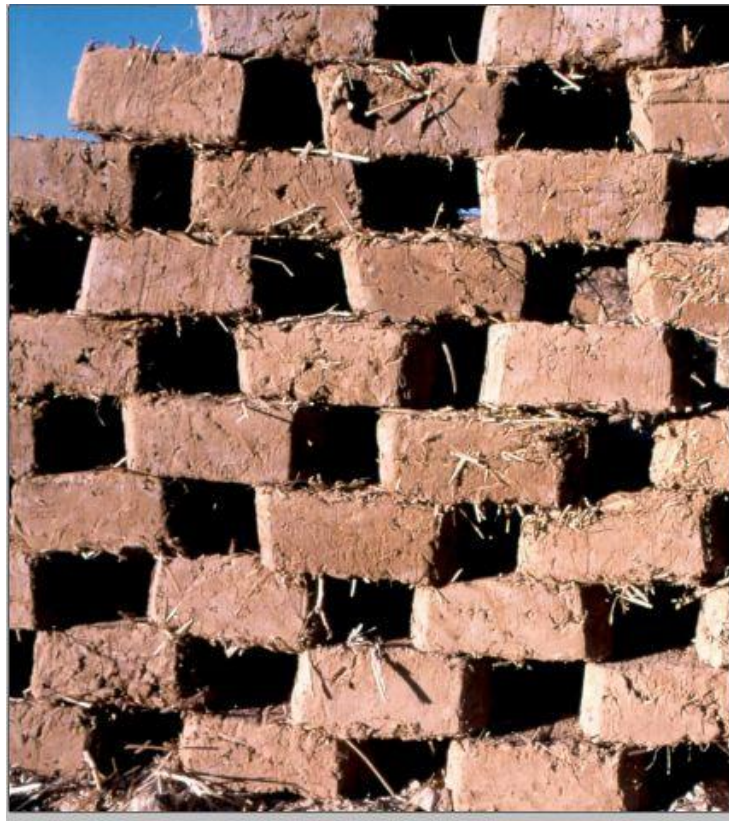
PS : Pointe de soirée

PM : Pointe de matinée

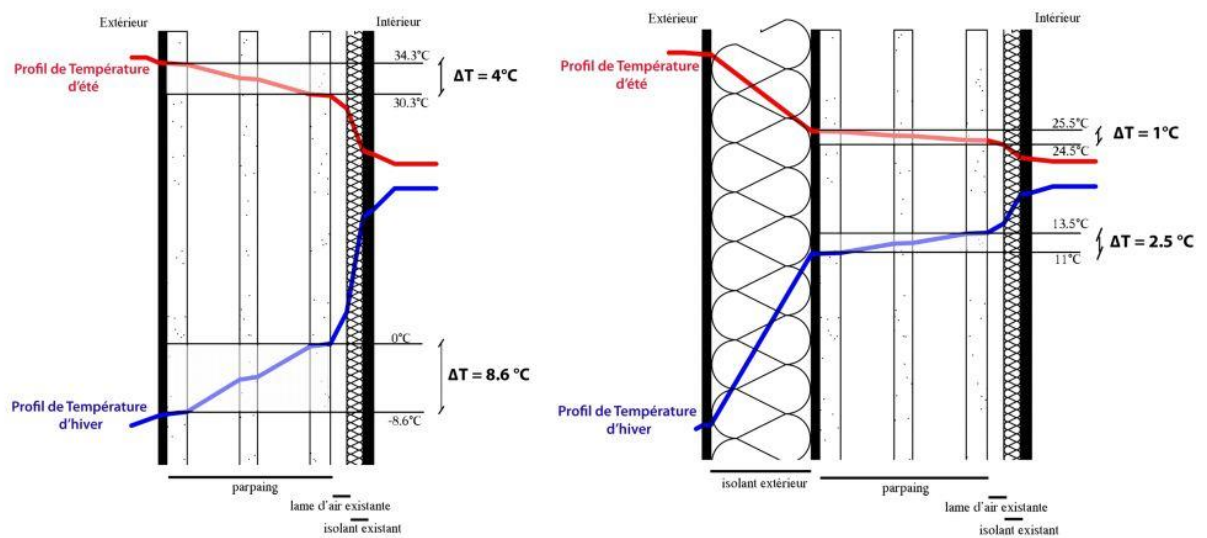
CN : Creux de nuit

PM : Creux de matinée

## ANNEXE

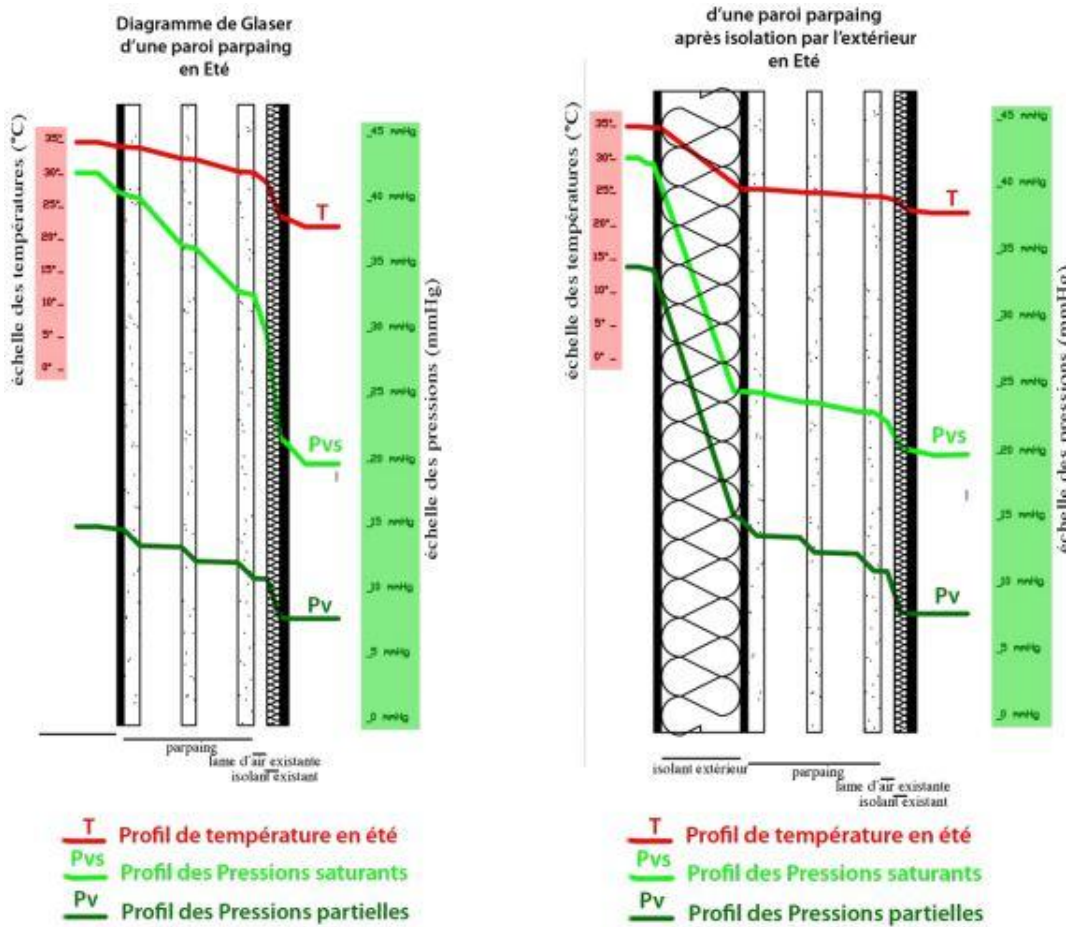


Annexe 02 : Exemple illustrant le mélange d'Argile + Fibre .

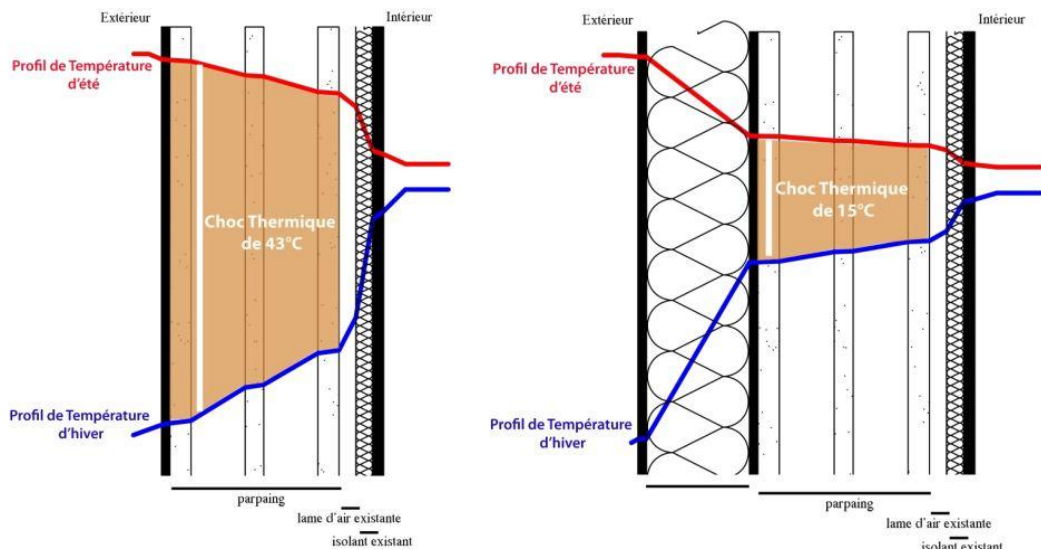


Annexe 03 : Profil de température avec une paroi de mur .

# ANNEXE

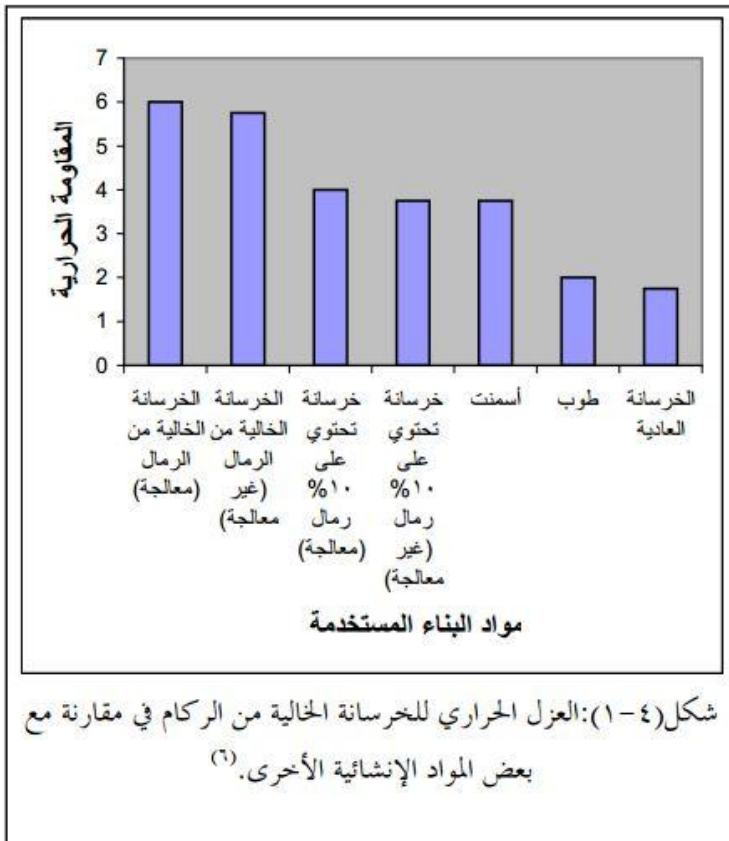


Annexe 04 : Diagramme de Glaser d'une mure en été .

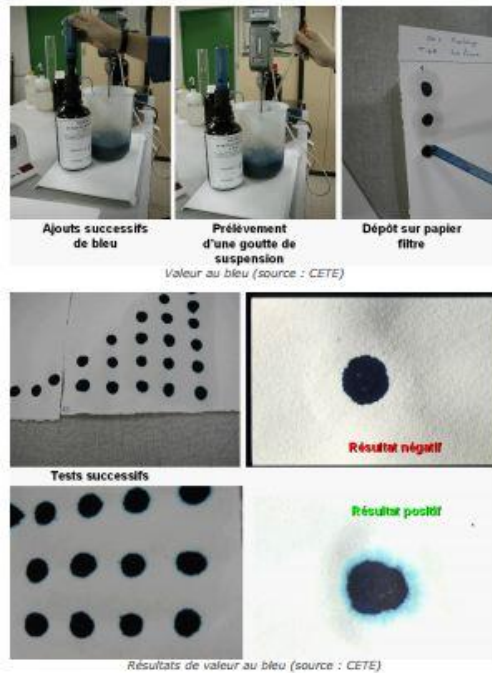


Annexe 05 : Choc thermique avec une paroi de mur .



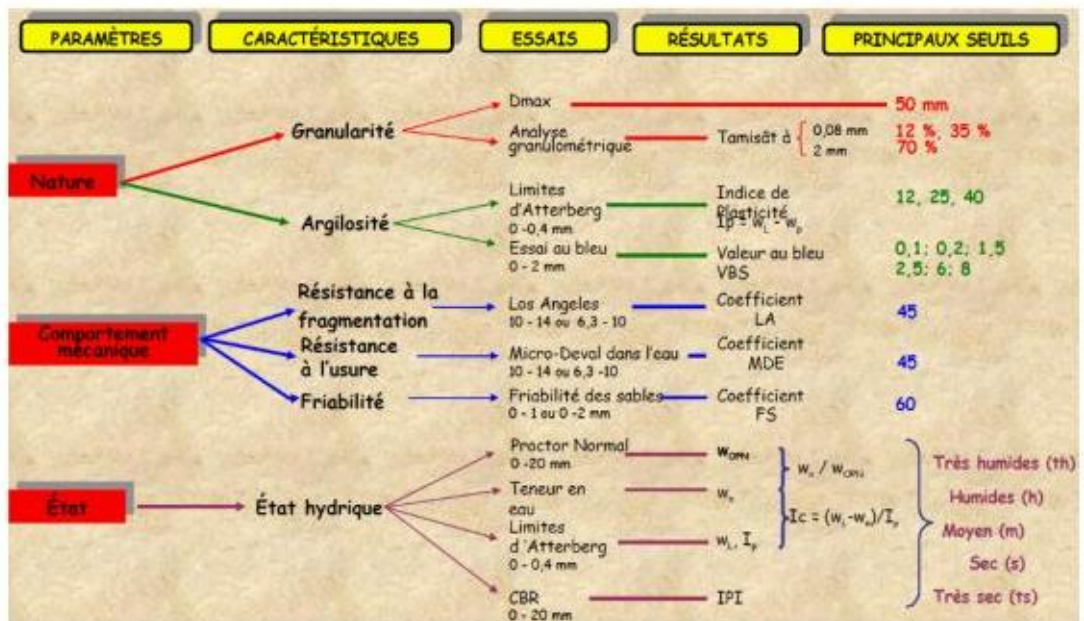


Annexe 06 : Isolation thermique .



Annexe 07 : Essai de bleu .

# ANNEXE



Annexe 08: Tableau Synthétique de la classification GTR pour les sols.

# ANNEXE

## Annexe 09 : Courbe de la limite de liquidité et plasticité (Argile de Timimoune)

### RAPPORT D'ESSAI

#### Limites d'Atterberg

NF P 94 - 51

Client : Université d'adral AHMED DRAIA

N° Projet : Memoir

Projet : projet de fin d'étude MASTR 2 gíeo matirieux

Réf. Client :

Endroit : Gisment timimoune

N° rapport :

Rév :

Echantillon n° :

Provenance :

Sondage n° :

Endroit de prélèvement :

Profondeur :

Prélevé par :

Reçu le :

Matériaux :

Date prélèvement :

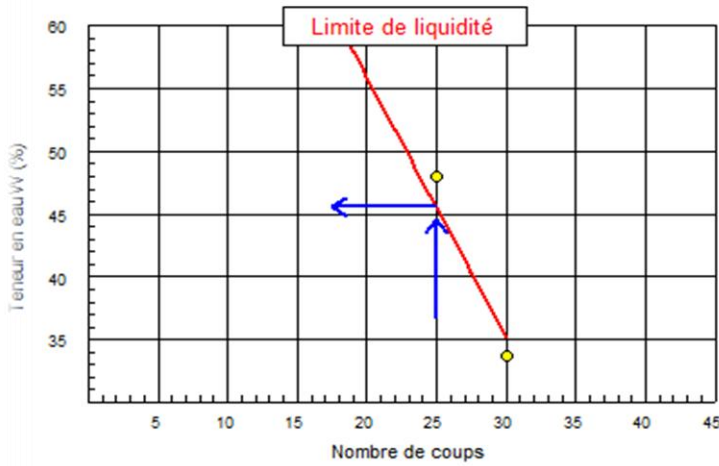
Date essais :

Limite de Liquidité (%) : WL = 45,55

Teneur en eau naturelle (%) : Weau =

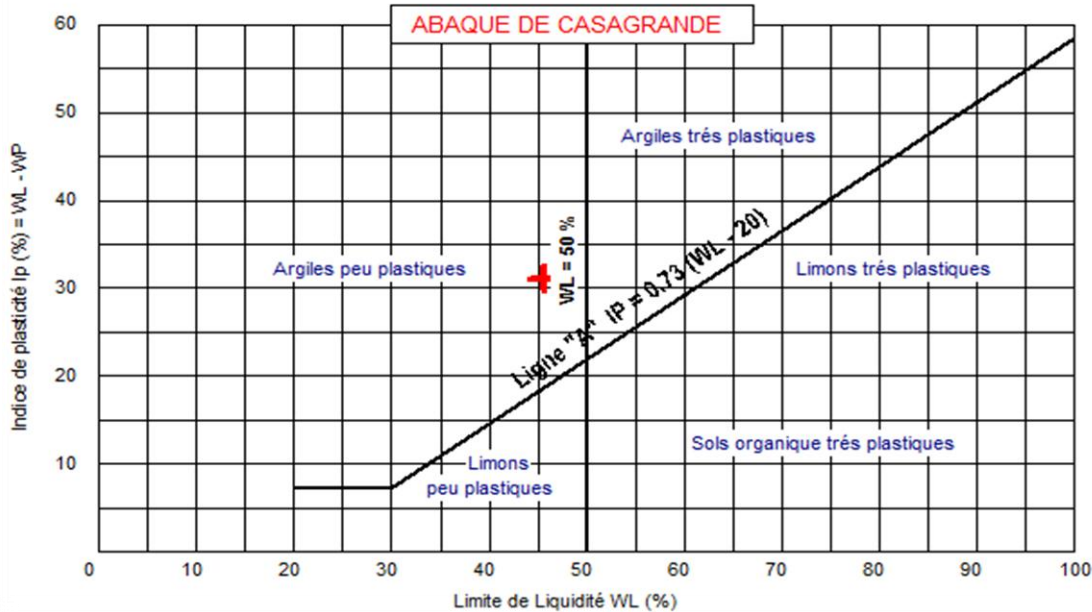
Limite de Plasticité (%) : WP = 14,44

Indice de Plasticité (%) : IP = 31,11



#### Limite de plasticité

Ech N°	W (%)
1	15,38
2	14,29
3	13,64



# Bibliographie

---

- [1]. J.M. THOUANI Nana.1999 et M. Callaud.2004 : Cours de mécanique des sols Tome I : Propriétés des sols.
- [2]. Abdelhadi EL HACHMI, « Argile et minéraux argileux: propriétés physico-chimiques et propriétés et propriétés des collât » ; Université Abdelmalek Essaadi - Master fondamentale Chimie 2013.
- [3]. Argile (homonymie), Pour les articles homonymes.
- [4] M. Gautier. «Interactions entre argile ammonie et molécules organiques dans le contexte du stockage des déchets». Thèse de doctorat. Université d'Orléans (2008), 276 pages.
- [5] L. Bouna. «Fonctionnalisation des minéraux argileux d'origine marocaine par Tio<sub>2</sub> en vue de l'élimination par photocatalyse de micropolluants organiques des milieux aqueux». Thèse de doctorat. Université de Toulouse (2012), 298 pages.
- [6] F. Valencia. «Caractérisations des particules fines d'un matériau granulaire de fondation par l'essai au bleu de méthylène». Rapport GCT-2008-0, Département de génie civil faculté des sciences et de génie, Université LAVAL (Canada), 2008.
- [7] N. Jozja. « Étude de matériaux argileux albanais. Caractérisation ( multi-échelle) d'une bentonite magnésienne». Impact de l'interaction avec le nitrate de plomb sur la perméabilité. Thèse de doctorat. Université d'Orléans(2003), 293 pages.
- [8] A. Benchabane. «Etude du comportement rhéologique de mélanges argiles -polymères. Effets de l'ajout de polymères». Thèse de doctorat. Université Louis Pasteur - Strasbourg I (2006), 228 pages.
- [9] Boussaâdi A, Ben Ali O, « Caractérisation thermomécaniques des matériaux locaux à bas d'argile » Cas d'Argile d'Adrar et Timimoune, Soutenu Le 01/06/2016.
- [10] Yves Jannot ,« Cours Transferts thermiques ,2ème année Ecole 2 des Mines Nancy,».
- [11] PHILIPPE Marty « COURS DE TRANSFERTS THERMIQUES, Conduction et rayonnement ,2012-2013, GENIE DES PROCEDES, Licence L3, Université e Joseph Fourier, Grenoble, version 9 Juillet 2012 Philippe.Marty@hmg.inpg.fr.
- [12] Transfert de chaleur ,U T C.
- [13] [www.influtherm.com](http://www.influtherm.com)
- [14] Thermal-Conductivity-of-Building-Material, [www.p-a-hilton.co.uk/products/H112N-](http://www.p-a-hilton.co.uk/products/H112N-) .
- [15] « The Effect Of Adding Thermal Insulating Grains To Concrete On Thermal Conductivity And Compressive Strength» .Journale Techni V24 .2.2011.
- [16] Argile, « BV Platre Argile » .

- [17] [www.fr.wikipedia.org](http://www.fr.wikipedia.org)
- [18] Plin l'Ancien, Histoire naturelle, XV, 18, 4 ; XX, 39, 1, XV, 18, 5, XIV, 24, 1; 25, 5 et XXIII, 24, 2.
- [19] «le-plâtre et la résistance au feu» ,[www.creargos.com](http://www.creargos.com).
- [20] AZIZI F, BOUKHECHBA G, « Influence de la température et de l'humidité sur la propriété thermo-physique des matériaux locaux a base d'argile -argile d'Adrar et Timimoune », Université d'Adrar.2015/2016. Année université 2015/2016.
- [21] MOHAMED SG, BALI A, Michèle Quéneudec ,« L'influence de la température et de la teneur en humidité sur la conductivité thermique des bétons argileux cellulaires », .2002.
- [22] SLIMANI et AKDI « L'isolation thermique des structure 'de base argileux' dans les zones Saharien et saches »2013/2014 page78-79.
- [23] HEKOUME Soumia « Etude des caractéristiques thermiques et mécaniques des briques en terre cuite traditionnelles dans les régions de la wilaya de Ouargla », université de kasdi merbah ouaregla,20/05/2015.
- [24] MORO OB1, KOFFI CK1, AKA ALEXANDRE A , CONAND HONORE K, DAUSCHER A2, LENOIR B2, EMERUWA B2, « Influence de la teneur en ciment sur les propriétés thermomécaniques des blocs d'argile comprimée et stabilisée » .
- [25] J FOLARANMI,« Effect of Additives on the Thermal Conductivity of Clay», Leonardo Journal of Sciences, ISSN 1583-0233,Issue 14, January - June 2009,p. 74-77.
- [26] Konecheloo M « Caractérisation, estimation et valorisation de gisements d'Argil bassin des charents »,Sciences de l'ingénieur , Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2007. Francais.
- [27] « تأثير إضافة حبيبات مواد عازلة الحرارة إلى الخرسانة المستخدمة في البناء على الموصلية الحرارية ومقاومة  
فارس موسى روفاء » الانضغاط  
28دراسة السلوك الحراري لمادة مركبة مكونة من راتنج البولي أستتر غير المشبع المقوى بألياف النخيل وألياف الزجاج ،لقحطان خلف [ -  
الخرزجي ،الجامعة التكنولوجية وعلي إبراهيم الموسوي. مجلة جامعة بابل / العلوم الهندسية/ المجلد 9/ العدد 5 : 2004.
- [29] H. Baccour Zghal , M. Medhioub b & T. Mhiri a, « caractérisation physicochimique et mécanique de matériaux céramiques obtenus a partir des argiles tunisiennes », **Verres, Céramiques & Composites, Vol.1, N°2 (2011), 25-33.**
- [30] SPE Adrar« Présentation PIAT et Scenarios Critiques 04\_Chapitre III»,2016.
- [31] FLORIAN W, MONCEF R H, PHONG N, H SEHAQUI, NAFAÏ I,« Rapport D'identification des Sols », 18 Octobre 2010.
- [32] Fiche N°03 Limite d'Atterberg.

-[33] Myriam OLIVIER – CEREMA / DTCE Ali MESBAH - ENTPE / DGCB « construction en terre » focus sur la fabrication et la construction en blocs de terre compressée 5 – essais d'identification des sols ; DGCB Cayenne, Guyane, 11-15 avril 2016.

-[34] <http://argile.bvplatre.be/>.

-[35] Josèphe FOURIER «Théorie Analytique de la chaleur» 1822.