

République Algérienne Démocratique Et Populaire

Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté Des Sciences Appliquées

Département De Génie Civil Et Hydraulique



## Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : science et technologies

Filière : génie civil

Option : structures

Présenter par :

M<sup>me</sup> CHAHMA SABAH

*Thème :*

**Etude Des Propriétés Thermo-Mecanique Des Briques En Terre Gypse  
Traditionnel ( Temchemt ) Stabilisée Par Le Ciment Ou Par La Chaux**

**(Cas De La Ville D'ouargla)**

Soutenu publiquement :

Le : / 06/2018

Devant le jury :

- |                    |           |             |
|--------------------|-----------|-------------|
| • DR ELABADI SALEM | Président | UKM OUARGLA |
| • DR.SACI DAHMANI  | Examineur | UKM OUARGLA |
| * DR.CHAIB HACHEM  | Encadreur | UKM OUARGLA |



## Dédicaces

**Je dédié ce modeste travail :**

**A** celle qu'elle a veillée sur moi pendant toujours, ma chère mère,

**A** mon très cher père,

**A** mon très cher mari

**A** toute ma famille, mes frères, mes sœurs,

**A** tous mes amis

**A** tous les enseignants du département de génie civil.





## Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à remercier en premier lieu DIEU Miséricordieux qui m'a donné la volonté et la patience pour achever ce mémoire.

J'adresse ma profonde et respectueuse gratitude à Monsieur CHAIB Hachem directeur de ce mémoire, qui a dirigé ce travail de recherche attentivement et efficacement l'évolution de ce travail.

Je remercie à messieurs FARHAT Hmida, GOUAL enseignants à l'institut de génie civil au l'université Amar Thlidji de Laghouat pour ses conseils et ses directives.

Je remercie vivement Monsieur Elabadi Salem, Maître de conférences à l'Université de Ouargla pour l'honneur qu'il m'a fait présider en acceptant de présider le jury d'examen de ce mémoire.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à messieurs A. KRIKER, Professeur à l'Université de Ouargla et Monsieur SACI Dahmani Maître de conférences à l'Université de Ouargla pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail en acceptant d'en être examinateurs.

A tout le personnel de :

- Laboratoire de travaux publics sud (Ouargla),
- Laboratoire de recherche de Génie Civil de L'Université d'Ouargla
- Laboratoire de recherche de Génie Civil

De l'Université de Laghouat,

- Laboratoire physico chimie de matériaux de l'Université  
De Laghouat

Enfin, Que tous les enseignants qui ont contribué

À ma formation trouveront ici ma profonde reconnaissance



# SOMMAIRE

Dédicace	
Remerciement	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des photos	
Liste des notations	
Résumé	
Introduction	

## CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique

### I. Généralités sur les Techniques de Production des Briques et leurs Propriétés Thermomécaniques

I.2 Histoire de la construction en brique de terre .....	01
I.3. Les Différentes Techniques de Construction.....	02
I.4. Briques de terre crue .....	03
I.4.1 Composition de la brique terre crue .....	03
I.4.2. Fabrication de la brique terre crue.....	03
I.4.3. Les types de constructions en terre .....	04
I.4.3.1 L'adobe .....	05
I.4.3.2 Le pisé.....	08
I.4.3.3 La bauge.....	10
I.4.3.4 Le torchis.....	11
I.4.3.5. Terre Coulée.....	12
I.4.3.6 La brique de terre crue compressée (BTC).....	13
I.4.3.7. Les sacs de terre.....	16
I.4.3.8. Terre Excavée.....	17
I.4.3.9. Mottes De Terre.....	17
I.4.3.10. Terre Façonnée.....	18
I.4.3.11. Blocs Découpés.....	18
I.4.4. Les Caractéristiques de brique terre crue (adobe, pisé, Brique de terre comprimée)	
I.5. Briques en terre cuite.....	19
I.5.1. Composition de la brique terre cuite .....	19

I.5.2.Produits de brique en terre cuite.....	22
I.5.2.1.Briques ordinaires.....	22
I.5.2.2.Briques creuses de terre cuite à perforation horizontale.....	23
I.5.2.3.Brique de terre cuite à perforation verticales (blocs perforés).....	24
I.5.3. Propriété et caractéristique des briques de terre cuite.....	24
I.6. Brique silico-calcaires.....	25
I.6.1.produits Brique silico-calcaires.....	25
I.6.2.Les phénomènes physiques de processus d'autoclave.....	26
I.6.3.La Fabrication .....	27
1.6.4. Les propriétés de brique silico-calcaire .....	28
1.6.5.Les avantages des briques silico-calcaires.....	28
I.7.Conclusion.....	28

## **CHAPITRE II :A) Transfert thermique et méthodes de mesure de la conductivité thermique**

II.1. Introduction :.....	28
II.2. Modes de transfert de chaleur.....	28
II.2.1.Conduction.....	28
II.2.2. Convection.....	29
II.2.3. Rayonnement.....	29
II.3. Quelques définitions énergétiques.....	30
II.3.1. La chaleur.....	30
II.3.2.La température.....	30
II.3.3. La conservation de la chaleur.....	30
II.3.5. Densité de flux thermique.....	30
II.3.6.Conductivité thermique ( $\lambda$ ).....	30
II.3.7. Résistance thermique.....	32
II.3.8. Diffusivité thermique .....	33
II.3.9.Effusivité thermique (E).....	33
II.3.10.Le coefficient de transmission calorifique (U).....	33
II.3. 11.La Chaleur Spécifique.....	33
II.3.12. L'Inertie Thermique.....	34
II.3.14. Capacité thermique (C).....	34

II.3.15. Chaleur latente.....	34
II.3.16.Loi de Fourier.....	35
II.3.17. Équation de la chaleur.....	35
II.5. Transfert de chaleur à travers d'un mur.....	36
II.5.1. Transfert de chaleur à travers une paroi opaque.....	36
II.5.2. Transfert de chaleur à travers d'un mur composite.....	37
II.6. Méthodes de mesures de la conductivité thermique.....	38
II.6.1. Méthode Flash.....	38
II.6.2. Méthodes à sondes.....	39
II.6.3. Méthode de la plaque chaude gardée.....	41
II.1. Introduction.....	42
II.2.Région d'étude .....	42
II.3. Les matériaux de construction locaux .....	43
a. La Pierres.....	44
la brique de terre.....	44
c.Enduit.....	44
d.temchemt.....	44
g.Le palmier .....	45
II.4. Technique de construction en pierre dans le ksar.....	45
II.4.1.Les éléments porteurs.....	46
II.4.2. Les éléments de couverture.....	47
II.5.Conclusion.....	49

### **CHPITRE III : Caractérisation des Matériaux Utilisés.**

#### **B) Quelques données sur les matériaux de constructions utilisé dans l'étude**

III.1.Introduction .....	50
III.2.Les matériaux utilise.....	50
III.2.1.le gypse et les encroutements gypseux.....	50
III.2.1.Formation du gypse.....	50
III.2.2.Répartition des sols gypseu.....	51
III.2.2.1.Dans le monde.....	51
III.2.2.2.En Algérie .....	52
III.2.2.3.Dans la région de Ouargla.....	52
III.2.3. Les principales propriétés du gypse.....	53

III.2.4.Les différents types de gypse: .....	53
III.2.4.1.Le gypse naturel.....	53
III.2.4.2.Le gypse de synthèse .....	54
III.2.5.Timchent.....	55
III.2.5.1.Définition de Timchent (mortier traditionnel) .....	55
III.2.5.2.Période d'apparition de temchent .....	55
III.2.5.4.Fabrication de Temchent .....	56
III.2.5.6.Pathologie de vieillissement .....	57
III.3- Stabilisation.....	57
III.3.1. Ajout de ciment.....	58
III.3.1.1.Définition du ciment.....	58
III.3.1.2.Principe de fabrication des ciments courants.....	58
III.3.1.3.Les Constituants du ciment.....	58
III.3.1.4.Classification des ciments courants.....	59
III.3.1.5. Propriétés des ciments .....	61
III.4.La Chaux .....	63
III.4.1.Définition de la chaux .....	63
III.4.2.Fabrication de la chaux .....	63
III.4.2.1-Préparation du calcaire .....	63
III.4.2.2.Cuisson.....	64
III.4.3.Cycle de la chaux .....	65
III.4.4.Type de chaux.....	65
III.5.Conclusion .....	66
B) Les Essais Sur Des Matériaux Utilisés.....	67
III.1. Introduction .....	67
III.2. Essais d'identification à la nature de la terre.....	67
III.2.1 Les caractéristiques du Timchent .....	68
III.2.1.1. Masses Volumiques : NFP18-558 .....	68
III.2.1.2. Densité naturelle : NF P 94-064.....	71
III.2.1.3. Essai D'équivalent De Sable : NFP 18-598.....	72
III.2.1.4.Analyse granulométrique .....	72

III.2.1.5. Sédimentométrie [NF P 94-057 ].....	74
III.2.1.6. Limites d'Atterberg [NFP 94-051]... ..	77
III.2.1.7. Analyse chimique .....	81
III.2.1.8. Essai au bleu de méthylène [NF P 94-068] .....	84
III.2.1.9. Analyse minéralogique.....	85
a- Observations microscopiques par MEB .....	85
b- La technique de la diffraction X (DR-X).....	87
d-Spectroscopie infrarouge .....	89
III.3.Ciment .....	90
III.4.Propriété de la chaux .....	92
III.4.1.Les caractéristiques physiques .....	92
III.4.2.Résistance .....	92
III.4.3. Indice d'hydraulicité .....	92
III.4.4.Indice de clarté .....	92
III.4.5. Résistance au feu .....	92
III.4.6. Retrait .....	93
III.4.7.Composition chimique de chaux .....	93
III.5.Eau de gâchage .....	95
III.6. Conclusion : .....	95

## **CHPITRE IV : Résultats et Interprétations.**

IV.1. Introduction .....	96
IV.2.Préparation et confection des briques .....	96
IV.2.1.Etapes de préparation .....	96
IV.2.3. préparation des éprouvettes .....	97
<b>IV.3.Résultats obtenus et discussion .....</b>	<b>100</b>
IV.3.1. Masse Volumique .....	100

IV.3.2. Résultat de mesure des propriétés mécaniques.....	102
IV.3.2.1.Essai de la résistance de traction par flexion.....	102
IV.3.2.3 Résistance à la compression .....	105
<b>IV.3.2.4.Essai ultrasonique.....</b>	<b>108</b>
IV.3.3. Essais Thermiques .....	111
IV.3.3.1 Caractéristiques thermiques .....	111
IV.3.3.2 Technique de la Source Plane TPS .....	112
IV.3.3.3. Démarche expérimentale .....	112
IV.3.3.4.Etude des caractéristiques thermiques .....	113
la conductivité thermique $\lambda$ du Temchemt stabilisé par ciment .....	113
Résistance thermique (Rth).....	114
La chaleur spécifique massique.....	115
Résultats de la diffusivité thermique .....	116
La conductivité thermique $\lambda$ du temchemt stabilisé par la chaux .....	118
Résistance thermique (Rth) .....	118
La chaleur spécifique massique.....	119
Résultats de la diffusivité thermique .....	120
IV.4.Conclusion .....	122
Conclusion et Recommandations .....	
Annexes Ix	

## Liste Des Figures

<b>Chapitre I : Synthèse Bibliographique</b>		
<b>A) Généralités sur les Techniques de Production des Briques et leurs Propriétés Thermo-mécaniques.</b>		
Figure (I.1)	"Roue" des techniques de construction en terre	2
Figure (I.2)	Fabrication de la brique terre crue	4
Figure (I.3)	Fabrication des produits de terre cuite	22
Figure (I.4)	Brique pleines et perforées	23
Figure (I.5)	Briques perforées	23
Figure (II.1)	transfert de chaleur par conduction	28
Figure (II.2)	transfert de chaleur par convection	29
Figure (II.3)	Transfert de chaleur rayonnement	29
Figure (II.4)	Représentation de flux thermique	31
Figure (II.5)	Quelques ordres de grandeur de diffusivité thermique	32
Figure (II.6)	Quelques ordres de grandeur d'effusivité thermique	33
Figure (II.7)	Transfert de chaleur à travers une paroi opaque	36
Figure (II.8)	Schémas analogue électrique d'une paroi opaque	36
Figure (II.9)	Schémas d'un mur composite	37
Figure (II.10)	Schémas électrique d'un mur composite.	37
Figure (II.11)	Schéma de principe de la méthode Flash	39
Figure (II.12)	Schéma de principe de la méthode du fil chaud	40
Figure (II.13)	Schéma des transferts autour du fil chaud	41
Figure (II.14)	Schéma de principe de la méthode de la plaque chaude gardée	41
Figure (II.15)	Carte géographique de la cuvette D'ouargla	43
Figure (II.16)	les matériaux de constructions source palmier	45
Figure (II.17)	Les fondations traditionnelles	45
Figure (II.18)	Mur de pierre.	46
Figure (II.19)	Plancher en troncs d'arbres et pierres plates	48
Figure (III.1)	Mécanisme de formation de gypse au milieu marin lagunaire	51
Figure (III.2):	Distribution des sols gypseux dans le monde (F.A.O., 1993).	51
Figure (III.3)	Carte des états de surface des sols de la cuvette de Ouargla	52
Figure(III.4)	Diagramme de Production de Temchemt	56
Figure (III.5)	Fabrication du ciment.	58
Figure (III.6)	Microphotographie d'un clinker.	59
Figure (III.7)	Cycle de la chaux	65

Figure (III.1)	Définition de l'équivalent de sable	72
Figure (III.2)	Courbe granulométrique de Temchemt	76
Figure( III.3)	fuseau de référence recommandé par la norme	77
Figure(III.4)	Présentation des limites d'Atterberg	78
Figure (III.5)	Abaques de CAZAGRANDE	80
Figure (III.6)	présentation graphique	83
Figure (III.8)	MEB VEGA3 TESCAN	85
Figure (III.9)	Diffractomètre x	88
Figure (III.9)	Mécanisme de la diffraction RX	88
Figure III.11	Schéma de principe de l'analyse par spectroscopie d'absorption infrarouge	89
Figure III.12	Spectre infrarouge de temchemt traité(annex N)	90
Figure III.13	Diffractogramme aux rayons X du ciment.	91
Figure III.14	Diffractogramme de la poudre de la chaux par les rayons X.	94
Figure IV.1	Schéma montrant les étapes et le procédé de formulation du mélange	99
Figure IV.2	Variation de la masse volumique en fonction de des pourcentages de ciment	100
Figure IV.3	Variation de la masse volumique en fonction de des pourcentages de la chaux	101
Figure IV.4	résistance à la traction par flexion en fonction du dosage en ciment	103
Figure IV.5	résistance à la traction par flexion en fonction du dosage de la chaux	104
Figure IV.6	Dispositif pour l'essai de traction par flexion (3 points)	106
Figure IV.7	résistance à la compression en fonction du dosage de la chaux	107
Figure IV.8	Vitesse de son en fonction du dosage en ciment	109
Figure IV.9	Vitesse de son en fonction du dosage en chaux	110
Figure. IV.10	Conductivité Thermique en fonction de pourcentage de ciment	114
Figure. IV.11	Résistance Thermique en fonction de pourcentage de ciment	115
Figure. IV.12	La chaleur spécifique massique en fonction de pourcentage de ciment	116
Figure IV.13	La diffusivité thermique en fonction de pourcentage de ciment	117
Figure. IV.14	Conductivité Thermique en fonction de pourcentage de la chaux	118
Figure. IV.15	Résistance Thermique en fonction de pourcentage de la chaux	119
Figure. IV.16	La chaleur spécifique massique en fonction de pourcentage de la chaux	120
Figure IV.17	La diffusivité thermique en fonction de pourcentage de la chaux	121

## Liste Des Tableaux

### Chapitre I : Synthèse Bibliographique

#### A) Généralités sur les Techniques de Production des Briques et leurs Propriétés Thermo-mécaniques.

Tableau (I.1)	les caractéristiques des briques de terre crue (adobe, pisé et BTC)	19
Tableau (I.2)	Propriétés des briques pleins et perforé	24
Tableau (I.3)	La résistance thermique des briques pleins et perforés	25
Tableau(I.4)	Propriétés de la brique creuse	25
Tableau (I.5)	la résistance thermique des Brique creuses	25
Tableau (I.6)	Propriétés de brique silico-calcaire :	28
Tableau. II.1	conductivité thermique de quelques matériaux	30
Tableau (II.2)	les différents types de ciment courants	59

#### CHPITRE III : Caractérisation des Matériaux Utilisés.

Tableau III.1	Masses volumiques apparentes et spécifiques de Temchemt utilisés.	70
Tableau III.2	expose les résultats de l'équivalent de sable obtenus et la qualité correspondante respective de matériau	72
Tableau III.3	Les résultats d'analyse granulométrique par tamisage de Temchemt	74
Tableau III.4	Résultats d'analyse granulométrique par sédimentométrie du temchemt	75
Tableau III.5	Classification des argiles selon Burmister.	79
Tableau III.6	Classification des argiles selon Atterberg.	79
Tableau III.7	Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau	79
Tableau III.8	Résultats d'analyse chimique de Temchemt	83
Tableau III.9	Caractéristiques physiques du ciment utilisé. •	90
Tableau III.10	Composition chimique du ciment utilisé.	91
Tableau III.11	Composition minéralogique du ciment utilisé.	91
Tableau III.12	Fiche technique des propriétés physique et chimiques	94
Tableau III.13	Composition chimique de l'eau (la concentration est donnée en (mg / l))	95

#### CHPITRE IV : Résultats et Interprétations

Tableau IV.1	Composition utilisées (Temchemt (%) + Ciment (%) )	98
Tableau IV.2..	Composition utilisées (Temchemt (%) + la chaux (%) )	98
Tableau IV.3	résultats de la variation de la masse volumique des briques de Temchemt en fonction des pourcentages de ciment :	100

<b>Tableau IV.4</b>	<b>résultats de la variation de la masse volumique des briques de Temchemt en fonction des pourcentages de la chaux:</b>	101
<b>Tableau IV.5</b>	<b>résultats de la résistance à la flexion des briques de temchemt en fonction des pourcentages de ciment</b>	103
<b>Tableau IV.6</b>	<b>résultats de la résistance à la flexion des briques de Temchemt en fonction des pourcentages de chaux</b>	104
<b>Tableau IV.7</b>	<b>résultats de la résistance à la compression des briques de Temchemt en fonction des pourcentages de ciment</b>	106
<b>Tableau IV.8</b>	<b>résultats de la résistance à la compression des briques de temchemt en fonction des pourcentages de la chaux</b>	106
<b>Tableau IV.9</b>	<b>résultats de Vitesse des ondes ultrasoniques en fonction de dosage de ciment</b>	109
<b>Tableau IV.10</b>	<b>résultats de Vitesse des ondes ultrasoniques en fonction de dosage de la chaux</b>	110
<b>Tableau IV.11</b>	<b>Les valeurs de la conductivité thermique <math>\lambda</math> du temchemt stabiliser par ciment</b>	113
<b>Tableau IV.12</b>	<b>les valeurs de la résistance thermique <math>R_{th}</math> du temchemt stabiliser par ciment</b>	115
<b>Tableau IV.13</b>	<b>Les valeurs de La chaleur spécifique du temchemt stabiliser par ciment</b>	116
<b>Tableau IV.14</b>	<b>Les valeurs de diffusivité thermique du temchemt stabiliser par ciment</b>	117
<b>Tableau IV.15</b>	<b>Les valeurs de la conductivité thermique <math>\lambda</math> du temchemt stabiliser par la chaux</b>	118
<b>Tableau IV.16</b>	<b>Les valeurs de la résistance thermique <math>R_{th}</math> du temchemt stabiliser par la chaux</b>	118
<b>Tableau IV.17</b>	<b>Les valeurs de La chaleur spécifique du temchemt stabiliser par la chaux :</b>	119
<b>Tableau IV.18</b>	<b>Les valeurs de diffusivité thermique du temchemt stabiliser par la chaux :</b>	120
<b>Tableau IV.19</b>	<b>le meilleur résultat des caractéristiques thermiques et mécaniques des briques</b>	122

## Liste Des photos

<b>Chapitre I : Synthèse Bibliographique</b>		
<b>A) Généralités sur les Techniques de Production des Briques et leurs Propriétés Thermo-mécaniques.</b>		
Photo (I.1)	Brique Adobe	05
Photo (I.2)	Moule De L'adobe	06
Photo (I.3)	(A) Maison Traditionnelle En Adobe	07
Photo (I.4)	Les Etapes De Construire Un Mur En Pisé	08
Photo (I.5)	Composition De Pisé	
Photo (I.6)	Patrimoine En Pisé	10
Photo (I.7)	Construction En Bauge	10
Photo (I.8)	Technique De Construction En Torchis Alsace France	11
Photo (I.9)	Exemple De Mur En Terre Coulée	12
Photo (I.10)	Une Presse Manuelle Et Hydraulique	13
Photo (I.11)	Brique Pleine En Terre Crue	14
Photo (I.12)	Les Blocs Parasismiques En Terre Crue	15
Photo (I.13)	Les Différents Types De La Brique De Terre Crue.	16
Photo (I.14)	Habitat Troglodytique Habitation De Matmata, Tunisie	17
Photo (I.15)	Maisons Islandaises Médiévales, En Bois, Incrustées Dans Des Mottes De Terre	17
Photo (I.16)	Construction En Terre Façonnée	18
Photo (I.17)	BLT Et Construction En BLT, Burkina Faso	19
Photo (I.18)	Briques Creuses De Terre Cuite A Perforation Horizontale	24
Photo (I.19)	Briques Creuses De Terre Cuite A Perforation Verticale Type G	24
Photo (I.20) :	Produit En Briques Silico-Calcaire, Mur En Brique Silico-Calcaire, Gites Artificiel En Briques Plâtrière Creuses	27
Photo (I.2)	Mur De Pierre.	43
Photo (I.2)	Poutre En Tronc De Palmier	46
Photo (I.3)	Les Piliers En Pierre.	46
Photo (I.4)	Coupole De Forme Carrée Dans Une Habitation Traditionnelle	47
Photo (I.5)	Utilisation De Troncs D'arbres Pour Supporter L'escalier	48

<b>CHPITRE III : Caractérisation des Matériaux Utilisés.</b>		
Photo (III.1)	Photo-Les Différents Types De Gypse:	53
Photo (III.1)	Temchemt	68
Photo (III.2)	Essai Masse Volumique	69
Photo (III.3)	Essai Densité Naturelle	71
Photo(III.4)	Essai Analyse Granulométrique Et Sédimentométrie De Temchemt.	73
Photo (III.5)	Manipulation De L'essai De Limites d'Atterberg	78
Photo (III.6)	Analyse Chimique	82
Photo (III.7)	Essai De Bleu De Méthylène	84
Photo III.8	Observations Des Grains De Temchemt Au MEB .	86
<b>CHPITRE IV : Résultats et Interprétations</b>		
Photo IV.1	Moulage Des Briques	97
Photo IV.2	Démoulage Et Séchage Des Briques	97
Photo IV.3	Dispositif Pour L'essai De Traction Par Flexion (3 Points)	103
Photo IV.4	<b>Dispositif De Rupture En Compression</b>	105
Photo IV.5	<b>Essai Ultrasonique</b>	108
Photo IV.6	Les Echantillon 4x4x2 Ciment + La Chaux	112
Photo IV.7	La Sonde Hot Disk	112
Photo IV.8	<i>Dispositif De Serrage</i>	112
Photo IV.9	Mesure De Propriétés Thermique A L'aide Du System «Hot Disk».	112

## Liste Des Abréviations

- **Alphabétiques :**

a : dimension	.....(cm)
b : dimension	.....(cm)
C : capacité thermique	.....(J/K)
CP : Chaleur spécifique	..... (j/kg.C°)
d : diamètre	.....(mm)
D : diffusivité thermique	.....(m <sup>2</sup> /s)
Di : dilatation thermique	..... (mm/m.k)
e : épaisseur d'éprouvette	.....(cm)
E : effusivité thermique	.....(W/m <sup>2</sup> .K.s <sup>-0,5</sup> )
IP : indice de plasticité	.....(%)
h : Hauteur	.....(cm)
K : La constante de Boltzmann	= 1,38 10 <sup>-23</sup> JK <sup>-1</sup>
L : chaleur latente	.....(J/kg)
m: masse	.....(kg)
MF : module de finesse	.....(%)
P : densité sèche	.....(g/cm <sup>3</sup> )
Q , ΔQ: quantité d'énergie	.....(J, cal)
Rt : résistance à la traction	..... (MPa)
Rc : résistance à la compression	..... (MPa)
R, Rth : Résistance thermique	.....(m <sup>2</sup> .k/w)
T, température	.....(°C,K)
U : coefficient de transmission calorifique	.....(W/m <sup>2</sup> .K)
V : Volume	..... (m <sup>3</sup> )
W : Taux d'humidité	.....(%)
WL : limite de liquidité	.....(%)
Wp : limite de plasticité	.....(%)

**Romains :**

$\lambda$  : Conductivité thermique .....(w/m.k)

$\Phi$  : flux de chaleur .....(W/m<sup>2</sup>)

$\varphi$  : flux thermique .....(W/cal.s)

$\rho$  : masse volumique .....(kg/m<sup>3</sup>)

$\varepsilon$  : déformation .....(%)

FTIR: spectromètre à transformation de fourrier

MEB : microscope électronique à balayage

DRX: diffraction des rayons X

## ملخص:

تتواجد كمية التراب الجبسية بنسبة 19% من المساحة الاجمالية لحوض ورقلة و من جهة أخرى نرى نقص في مصادر الركام و من اجل تجنب هذا المشكل وجب تعويض هذه المواد بمادة أخرى تعطي مقاومة ميكانيكية كبيرة و عزل حراري جيد و الذي سينتج عنه فائدة اقتصادية كبيرة

و في هذا العمل نسعى للبحث عن حل يسمح لنا بتنمين هذه المادة المتواجدة محليا و بكميات كبيرة من خلال تحسين أدائها في مجال مقاومة الضغط و الشد و العزل الحراري و محاولة استغلالها في مختلف مجالات البناء و لأجل ذلك قمنا بصناعة طوب بقاعدة الجبس التقليدي (تمشمت) الذي جعلنا منه العنصر الأساسي ، و اضافة نسب صغيرة متفاوتة من الرابطة ( الاسمنت ، الجير) نتائج هذه التجارب أوضحت ان زيادة نسبة رابطة الاسمنت ساهم في تحسين المقاومة الميكانيكية بخصائص حرارية ضعيفة مقارنة بالنموذج الشاهد عكس الجير الذي حسن الخصائص الحرارية بمقاومة ميكانيكية مقبولة نوعا ما.

**كلمات مفتاحية:** الجبس، تمشمت، الجير، الاسمنت، الخصائص الفيزيائية، الخصائص الميكانيكية، الطوب، الخصائص الحرارية

## Résumé :

Les sols gypseux représentent 19 % de la cuvette d'Ouargla. En revanche, les ressources en granulats sont rares dans la majorité des régions, ce qui nous pousse à chercher des solutions permettant de valoriser ce matériau disponible localement en abondance et d'essayer de l'intégrer d'une façon rationnelle dans le domaine de construction

Dans notre étude nous allons essayer de confectionner des briques à base de temchemt, dont il serait le principal constituant, et par conséquent d'un grand intérêt économique pour la région sud de pays. La méthode expérimentale de formulation de cette brique est basée principalement sur l'optimisation des proportions des différents constituants (liant, temchemt). Ceci dans le but d'obtenir une brique à caractéristiques convenables (résistance mécanique, l'isolation thermique, phonique et autres ...). Les résultats de ces essais nous ont montré que l'augmentation en pourcentage de ciment est bénéfique pour l'amélioration des résistances mécaniques avec des propriétés thermiques faibles par rapport au prototype témoin. et le contraire pour la chaux .

**Mots clés:** Gypse; Temchemt ; La Chaux ; Propriétés Physique ; Propriétés Mécanique ; Brique Ciment ; propriété thermique

## Abstract:

The sol gypsum represented 19% of the bowl of Ouargla on the other hand the resources in granulate are rare in most of the regions which pushes us to look for solutions making it possible to value this locally available material in abundance and to try and find to integrate rationally into the field of construction

In our study we will try to make time-based of which it would be the main constituent and consequently of great economic interest for the southern region of the country

The experimental method of formulation of this brick is mainly based on the optimization of the proportions of the different constituent (binder, timchemt), This in order to obtain a brick with suitable characteristics (mechanical resistance, thermal insulation, phonic and other....), The results of these tests showed us that the increase in percentage of cement is beneficial for the improvement of the mechanical resistances with low thermal properties in comparison with the witness prototype, and the opposite for the lime. **Keywords:** gypseux, Temchemt ,lime physical property, mechanical property, brick, cement , Thermal property,

---

## INTRODUCTION GENERALE

---

La région d'Ouargla (Algérie) est réputée pour avoir de grandes réserves en matériaux dits locaux tel que le sable de dune, le gravier roulé et le gypse, mais malheureusement sont insuffisamment ou pas du tout exploitées.

Les matériaux composites sont anciens, il y a plusieurs millénaires, les artisans de l'Egypte ancienne augmentaient les propriétés mécaniques des briques par adjonction de paille courte à l'argile fraîche. La brique est l'élément le plus utilisé dans la construction, mais sa fragilité (surtout celles fabriquées dans notre région) reste un handicap de son comportement mécanique. Aussi sa résistance thermique faible donne un mauvais confort thermique aux usagers des bâtiments.

L'objectif de ce travail consiste à apporter notre contribution à la valorisation du gypse traditionnel (Temchemt) qui se trouve dans notre région, et de l'intégrer d'une façon rationnelle dans le domaine de la construction.

Le présent travail s'attache, donc, à l'étude des briques à base de Temchemt stabilisée par le ciment ou par la chaux.

Ce travail se divise en quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à une recherche bibliographique présentant les notions fondamentales sur les différents types des briques de terres, à savoir leur composition, leur fabrication, leurs caractéristiques mécaniques et ces propriétés physiques.
- Le deuxième chapitre est propre à une recherche bibliographique qui est composé de deux parties : La partie A présente des notions de transfert thermique et méthodes de mesure de la conductivité thermique.

La partie B est consacrée à un aperçu et une présentation sur la zone d'étude avec une généralité sur les matériaux de construction locaux de la région.

- Le troisième chapitre traite les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans notre étude, pour la composition des briques de Temchemt stabilisée, à savoir, la composition chimique et minéralogique ainsi que les propriétés physiques.

- Le quatrième chapitre est consacré à l'étude des comportements mécaniques et thermique Des briques de Temchemt stabilisée au ciment ou à la chaux, on fait varier le dosage de ces derniers. Nous présentons une conclusion générale sur le Temchemt stabilisée au ciment et celle stabilisée à la chaux en se basant sur les résultats obtenus, et nous donnons quelques recommandations. Enfin, nous espérons que ce travail apportera une contribution modeste au développement et à l'exploitation des briques de Temchemt stabilisée.

# Chapitre I

## Synthèse Bibliographique



---

## I) Généralités sur les Techniques de Production des Briques et leurs Propriétés Thermo-mécaniques.

### I.1. Introduction :

Les briques, depuis longtemps, sont considérées parmi les éléments les plus importants dans le domaine de la construction. La fabrication des briques est passée par plusieurs étapes de développement dont la première est la brique crue, puis la brique cuite, enfin la brique stabilisée. La technologie actuelle permet de réaliser plusieurs types de briques avec des performances supplémentaires pour différentes destinations (Brique de verre, brique cellulaire, brique monobloc ...etc.).

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

### I-2-Histoire :

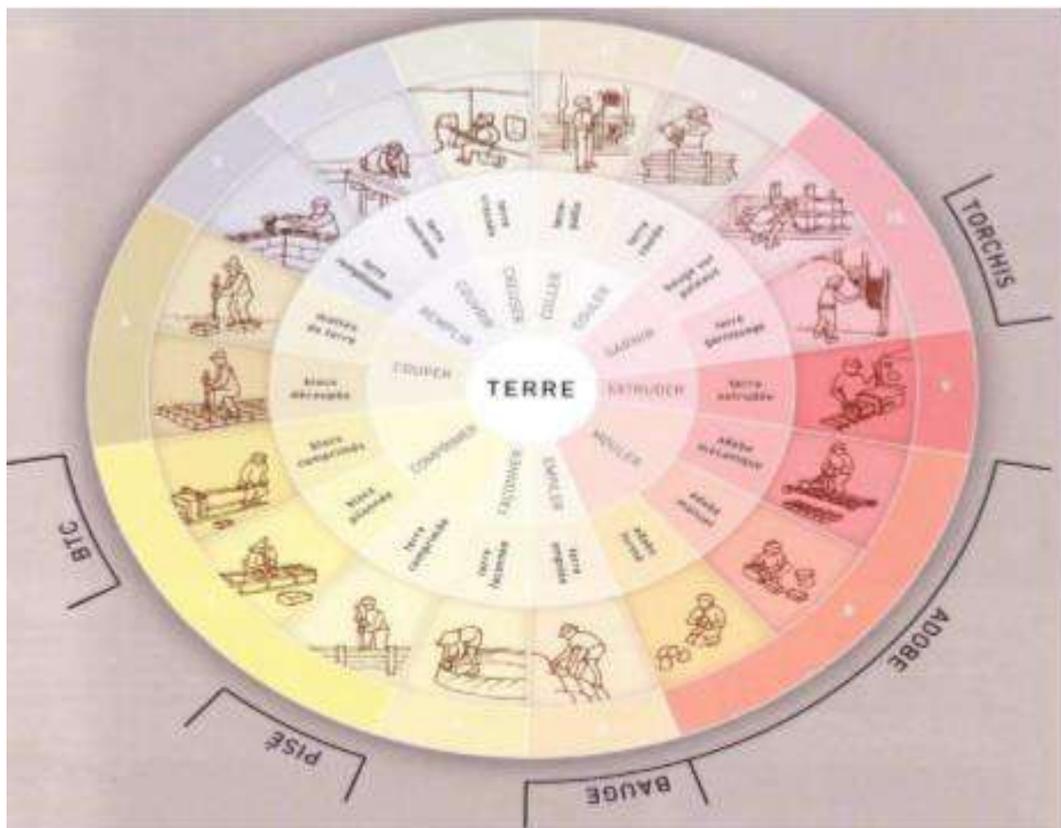
L'origine de la brique remonterait à sept mille ans avant J-C, dans la région du Tigre et de l'Euphrate. Son utilisation se généralisa au III<sup>e</sup> millénaire, comme matériau de construction, lors de l'ère de sédentarisation de l'homme. La nécessité de se protéger de façon durable des intempéries et des prédateurs imposa à l'Homme de trouver un matériau dur et résistant. De plus, la brique est facilement réalisable à partir d'argile ou de terre. Les premières maisons en brique ont été découvertes en Irak, puis en Mésopotamie, et son usage s'étendit rapidement dans tout le Moyen-Orient.

Pendant longtemps, la brique (appelée « adobe ») était simplement moulée puis séchée au soleil, pour la rendre plus résistante. La brique crue permettait de monter des habitations ou des monuments comme la pyramide d'Amenemhat III, mais restait fragile et résistait mal aux intempéries. La cuisson de la brique fut expérimentée 2500 avant J.-C., en Mésopotamie et dans la vallée de l'Indus.

La cuisson permit de réaliser des constructions plus imposantes. En Assyrie et en Grèce, la cuisson de l'argile permit de créer des frises et de réaliser des briques émaillées. Au XV<sup>e</sup> siècle, le nord de l'Italie devint maître dans cet art pour la décoration des habitations et des monuments avec des frises, des guirlandes et des festons.

### I.3. Les Différentes Techniques de Construction :

Il existe différents modes de mise en œuvre de la terre crue. Chacune de ces techniques est née de contextes géographiques différents, de modes de vie particuliers, de coutumes différentes, de climats variés ou encore selon les matériaux disponibles. Les cinq techniques de construction les plus répandues sont les suivantes : le pisé, l'adobe, le torchis, la bauge et les briques de terre comprimée (BTC) mais il en existe de nombreuses autres. Chaque technique a ses spécificités et utilise une terre bien précise. En effet, chacune d'elle demande une courbe granulométrique différente ainsi que des états hydriques et hygrométriques différents. H. Guillaud et h. Houben (1995) ont schématiquement répertorié les douze techniques principales dans une « roue » des technique (Figure I.1 ), mais ils précisent tout de même qu'il en existe environ une centaine dans la réalité. En plus d'être simplificateur, ce tableau circulaire ne fait pas non plus la distinction entre les techniques traditionnelles et les techniques nouvelles.



**Figure (I.1): "Roue" des techniques de construction en terre**

(Anger & Fontaine, 2009; Guillaud & Houben, 1995).

#### I.4. Briques de terre crue :

**Banco** ou **adobe** sont les termes utilisés pour désigner la terre, utilisée avec le moins de transformations possibles en tant que matériau de construction. Le terme terre crue permet surtout de marquer la différence avec la terre cuite : en effet, le matériau terre se trouve aujourd'hui le plus couramment sous sa forme cuite (briques, tuiles).

##### I.4.1. Composition de la brique terre crue :

La terre crue est un matériau minéral granulaire, composé de matière solide, liquide et gazeuse

- **Matière solide** : La fraction solide est constituée de grains, cailloux (taille exprimée en centimètres), de graviers (de 20 mm à 5 mm), de sables (5 mm à 0,06mm), de silts (0,06 mm à 2  $\mu\text{m}$ ), d'argiles, qui sont des plaquettes plutôt que des grains (taille inférieure à 2  $\mu\text{m}$ ) et d'oxydes métalliques qui ont des propriétés colorantes (taille également inférieure à 2  $\mu\text{m}$ ).
- **Matière liquide** : La fraction liquide est constituée d'eau et de corps organiques et minéraux dissous dans cette eau.
- **Matière gazeuse** : La fraction gazeuse est constituée d'azote, d'oxygène, de Gaz carbonique, ainsi que de gaz issus de la vie présente dans la terre.

##### I.4.2. Fabrication de la brique terre crue :

La fabrication d'une brique terre crue passe par les grandes étapes suivantes :

a- Creuser une fosse dans le terrain qui servira de récipient pour mélanger la terre avec la paille et l'eau. Mélanger les ingrédients avec une pelle et laisser reposer deux jours.

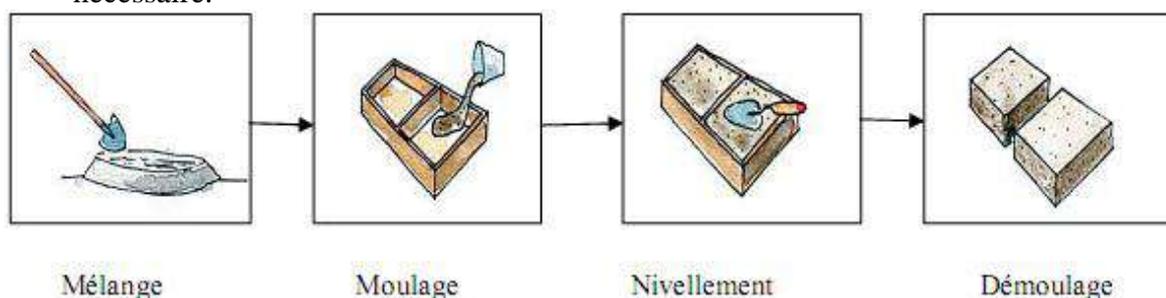
b- Remuer le mélange une fois durant les deux jours, en marchant les pieds nus sur la pâte obtenue.

c- Fabriquer des moules en bois.

d- Verser la pâte préparée dans chaque compartiment, secouer les moules pour aider à compacter la pâte. Le moule doit être propre et préalablement mouillé pour faciliter le démoulage. À la fin, niveler la surface avec une truelle. Les briques présentent un retrait assez important et leur qualité doit être soignée.

5. Laisser bien sécher durant 5 à 10 jours.

6. Renverser les moules sur la terre pour libérer les briques. Taper sur le dos des moules si nécessaire.



**Figure (I.2): Fabrication de la brique terre crue**

- La terre crue c'est le premier type de brique confectionné par l'homme. Cela suite à **plusieurs avantages** :
  - ✓ La terre absorbe et restitue l'humidité.
  - ✓ La terre régule la température par inertie thermique.
  - ✓ La terre est un très bon isolant phonique et acoustique.
  - ✓ La terre utilise peu d'eau en phase de transformation
  - ✓ La terre est une ressource locale abondante et renouvelable.
  - ✓ La terre a des vertus thérapeutiques, soigne les affections de la peau, détruit les bactéries et les acariens.
  - ✓ La construction en terre crue n'utilise que 3% de l'énergie employée dans une construction en béton.

Néanmoins les briques en terre crue présentent un inconvénient principal qui est la main d'œuvre nécessaire à toute construction en terre est souvent importante :

même une petite structure représente 15 tonnes de terre à travailler. et ces constructions nécessite des travaux d'entretien annuels

### **I.4.3. Les types de constructions en terre crue :**

#### **I.4.3.1. L'adobe :**

##### **a. Définition :**

L'adobe est un matériau de construction fait d'un mélange de sol, d'eau et de chaume. Le sol utilisé doit contenir une proportion déterminée d'argile et de sable. Chaque élément du mélange joue son rôle. Le sable réduit la probabilité de microfissures dans le bloc de terre,

l'argile agglutine les particules et le chaume de blé, quant à lui, donne un certain grade de flexibilité à l'ensemble.

Il existe aujourd'hui des unités de production industrialisées qui produisent jusqu'à 20000 blocs par jour.



**Photo (I.1) : Brique adobe**

#### **b- Modes de production de l'adobe :**

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

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

##### **b.1. Le mode de production manuel :**

###### **• Moules simples :**

Il correspond à un moulage traditionnel soit par façonnage manuel ou à l'aide d'un moule Façonnée à la main , la terre est généralement utilisée à l'état de pâte plastique mi-ferme.

La terre peut être employée à deux états hydriques différents, soit sous forme de pâte mi-molle et selon une méthode dite du "coup d'eau" (moule préalablement nettoyé et mouillé pour faciliter le démoulage), soit sous forme de pâte mi-ferme et selon une méthode dite du "coup de sable" (le moule préalablement nettoyé et mouillé est sou-poudré de sable pour faciliter le démoulage). Dans ces deux techniques de moulage manuelles rendements moyens de production se situent de 400 à 600 blocs par jour pour deux ouvriers.

- **Moules multiples :**

Il associe l'utilisation de grands moules à compartiments multiples, généralement en forme d'échelles ou de forme carrée subdivisée en petits compartiments et la livraison de la terre, à l'état assez liquide par brouettes, dumpers ou bulldozers à godet. Parfois la terre est directement déversée depuis le malaxeur qui est alors mobile et tracté par ou sur un camion.

Les moules doivent être manipulés facilement par deux ouvriers (pas trop lourds) et doivent être propres et mouillés avant d'y déverser la terre. Compte tenu de l'état hydrique plus liquide de la terre, les adobes produites de cette façon présentent un risque de retrait et donc de fissuration plus importante.

Il convient donc de compenser ce risque en utilisant une terre dont la texture est riche en gros sables et petits graviers. L'organisation de la production mécanisée se fait autour de deux principaux postes qui sont le malaxage et le moulage et mobilise 5 à 6 ouvriers selon la taille des unités, La production moyenne pour ce type d'organisation est de l'ordre de 8000 à 10 000 blocs par jour

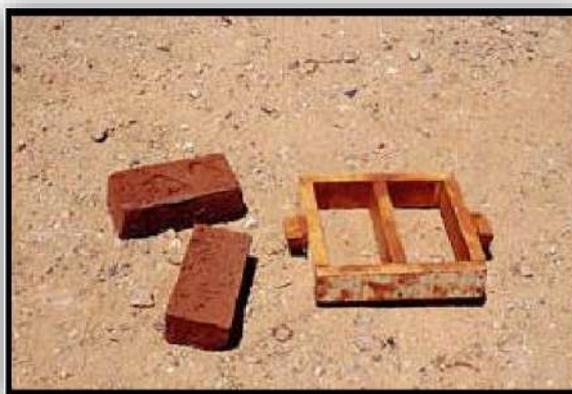


photo (I.2) : moule de l'adobe

### **b.2. Le mode de production mécanisé :**

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

blocs successivement moulés. Ce type de machine permet une production pouvant aller de 20 à 30 000 blocs par jour.

**c. Les produits :**

Les produits de la fabrication des adobes, manuelle ou mécanisée, sont extrêmement variés. Ils sont le plus souvent directement tributaires des savoir-faire traditionnels et varient quant au type de terre utilisée, au mode de moulage, aux dimensions des blocs (très changeantes) et aux destinations d'emploi plus ou moins spécifiques (blocs spéciaux). Les moules utilisés sont généralement en acier ou en bois (le plus souvent) et de forme très variée. Les dimensions les plus fréquentes de 40 x40x15 cm ou 40x30x15 cm, ou 40x20x10 cm...). On distingue globalement trois principaux types de produits : Produits classique, produits spéciaux, produits antisismiques

**d. Les avantages de l'adobe :**

L'adobe possède plusieurs avantages par rapport aux matériaux industriels qui se résume en

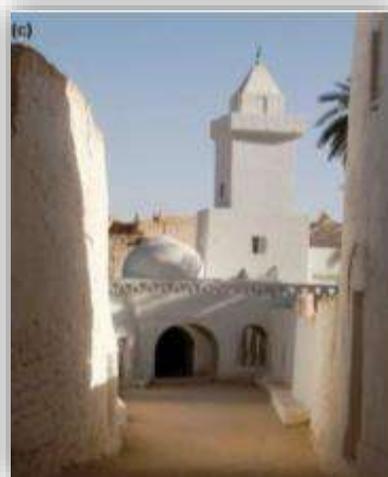
- ✓ Il a la capacité de régulariser l'humidité de l'air.
- ✓ D'emmagasiner la chaleur
- ✓ Réduire la consommation d'énergie.
- ✓ De ne produire virtuellement aucune pollution.
- ✓ Construction peu couteuse.
- ✓ N'entraîne pas la production de gaz

**e. Les inconvénients de l'adobe :**

- ✓ Fragile.
- ✓ Nécessite des travaux d'entretien.



(a)



(b)

photo (I.3) : (a) Maison traditionnelle en Adobe ,(c) Mosquée Cité de Ghadamès en Libye

### I.4.3.2. Les pisés (Terre Comprimée) :

#### a. Définition :

Le pisé, technique séculaire de mise en œuvre de terre crue, offre des qualités d'habitabilité et d'adaptation exceptionnelles mais nécessite une attention et un suivi régulier. Bien protégé et construit, la construction en pisé traverse les siècles et s'adapte tout naturellement aux divers besoins des hommes

Traditionnellement, les bâtiments en pisé portent de « bonnes bottes » et un « bon chapeau ». C'est à dire que le soubassement est traité de manière à éviter les remontées capillaires, (Le plus souvent en galets, en pierre ou en briques de terre cuites maçonnées) et le débord de toiture est suffisant pour éviter le ruissellement de l'eau sur la façade.

Le pisé, quant à lui, est en fait la compaction d'un volume de terre à l'intérieur d'un coffrage de façon manuelle en utilisant un pilon ou à l'aide de machinerie spécialisée. (Figure I.4) montre un exemple de coffrage qui peut être utilisé pour la fabrication de murs en pisé



photo (I.4) :Les Etapes De Construire Un Mur En Pisé

(source : maison suindara.wordpress.com )

**b. Technique de production :**

Le pisé est une technique particulière pour monter un mur en terre crue : celle-ci est compactée (à l'aide d'un pilon) dans des coffrages (appelés banches) de grande largeur qui se superposent pour constituer la hauteur des murs (figure I.4)

Cette technique permet d'utiliser la terre généralement directement issue du site de la construction, et ne nécessite pas de transformation (pas d'utilisation d'énergie pour Altérer ses propriétés basiques) Des « lits de chaux » ou « cordons de chaux » font souvent office de liant entre les différentes « banchée » (hauteur de coffrage). En revanche, cette technique n'est pas applicable avec toutes les terres. En effet, la terre à pisé doit avoir une granulométrie variée : graviers, sables, limons et argiles dans des proportions bien définies, même si selon les lieux d'extraction, la matière se comportera différemment (couleur, tenue aux intempéries,) (Figure I.5)

**c. Les produits : différents types de pisé :**

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

**d. Les avantages de pisé :**

La terre possède de multiples qualités dans le domaine du bâti :

- ✓ Régulateur d'humidité : capacité à laisser transiter la vapeur d'eau.
- ✓ Durée de vie : patrimoine de bâtiments centenaires très présents.
- ✓ Déphasant : il ralentit le transfert de chaleur (et permet un confort d'été indéniable).
- ✓ Élément de forte inertie, c'est-à-dire qu'il a une bonne capacité de stocker la chaleur et de la restituer par rayonnement.
- ✓ Bonne isolation phonique et qualité acoustique. – Reprise aisée, mais nécessitant un savoir-faire

**e. Les inconvénients de pisé :**

- ✓ Travaux d'entretien annuels.



photo (I.6) : Patrimoine en pisé : (a) la grande muraille de Chine, Les Vestiges de El-Mahalla El-Mançoura, « Le camp Victorieux ». Tlemcen

#### I.4.3.3. La bauge (terre-paille) :

Un mur de bauge se façonne en déposant de la terre crue mêlée à de la paille, cette dernière permettant d'améliorer sa cohésion et sa résistance. C'est un mur porteur.



photo (I.7) : Construction en bauge : (a) Maison à Sa'dah Yémen, (b) Bourrine de Vendée ; (c) Mosquée de Bobo Dioulasso

(Sources : fr.db-city.com ; www.saint-jean-de-monts.com )

- a. **Technique de constructions** : Piqueter la surface du mur (extérieure), incrusté des éclats de pierre, permettra une meilleure adhérence de l'enduit
- . b. **Avantage** :
- ✓ Qualité plastique du matériau
  - ✓ Pas besoin de coffrage (pisé), ni d'armature (torchis)

**c. Inconvénients :**

- ✓ Nécessite beaucoup de main d'œuvre
- ✓ Installation des murs très longue

**I.4.3.4. Le torchis :**

C'est un mélange terre-paille ou terre-chanvre coulé entre des banches. La pâte obtenue doit être montée entre les éléments d'une structure en bois ou en brique (à la main ou à la truelle) et doté d'une armature interne (planchettes, branches).

**a. Technique de constructions :**

- Pour fabriquer des grandes quantités de torchis, utilisez une bétonneuse. On fait d'abord un mélange argile + eau pour obtenir une bouillie liquide, on ajoute ensuite de la paille ou du chanvre afin de ramollir le tout, puis de la terre et de la chaux pour le durcissement.
- Il est préférable de consolider l'assise du mur notamment pour limiter les infiltrations : installez donc des pierres, galets, ou morceaux de briques dans la partie basse.

**b. Avantage :**

- ✓ Plus solide que la terre crue seule
- ✓ Séchage rapide
- ✓ Financièrement plus économe que les autres types de terre crue

**c. Inconvénients :**

- ✓ Le chantier peut demander plus d'efforts qui sont proportionnels à la taille du projet.
- ✓ Les normes de construction n'ayant pas encore été établies



photo (I.8) : Technique De Construction En Torchis Alsace France

#### I.4.3.5 .Terre Coulée :

La technique de la terre coulée peut être comparée à la technique du béton maigre coulé. Elle met en œuvre la terre à l'état de boue liquide dont la granularité est de préférence sableuse ou graveleuse. Les avantages de cette technique sont multiples : préparation aisée du matériau, facilité de mise en œuvre et large registre d'applications, mais elle comporte également un gros désavantage : le retrait au séchage est important. La stabilisation peut néanmoins résoudre ce problème. (Fig. I.9). On peut également compartimenter les constructions afin de réduire le retrait ou alors simplement boucher les fissures après séchage lorsque celles-ci ne posent pas de problèmes structurels. Les outils utilisés pour cette technique sont les mêmes que ceux utilisés couramment pour le béton. La terre coulée permet de fabriquer des briques, des pavés et des murs, armés ou non (Guillaud & Houben, 1995) Coulée, Un Béton De Terre.



**photo (I.9) : Exemple de Mur En Terre Coulée**

(source : <http://www.avenirbati.fr/mur-terre-coulee/>)

#### I.4.3.6. La brique de terre crue compressée (BTC) :

La brique de terre compressée est un béton de terre composé de graviers, sables, et d'éléments fins (limons et argiles). On utilise ensuite des presses pour comprimer la brique : manuelles ou motorisées, à transmission mécanique, hydraulique ou pneumatique. Le joint que l'on utilise pour assembler les briques est généralement constitué d'un mortier de chaux, sable et terre (argile). La capacité de charge de ce type de mur est d'environ 700 psi (48 bars) lorsqu'il est juste fini, peut atteindre 1000 psi (68 bars) une fois séché, et entre 2500 à 3900 psi (172 à 268 bars) mélangé à du ciment, sachant que les normes recommandent une capacité de charge de 300 psi (20,6 bars).

**a. Production des blocs de terre comprimée :**

La production des blocs de terre comprimée peut être assimilée à celle des blocs de terre cuite produits sans compactage, exception faite de la phase de cuisson. L'organisation de la production sera selon qu'elle est réalisée dans le cadre de petites unités de production artisanales (ou briqueteries) ou bien dans le cadre d'unités de production semi-industrielles ou industrielles. Les aires de production, de séchage et des stockages varient également selon les modes de production adoptés et les conditions de production issues de l'environnement climatique, social, technique et économique



photo (I.10) : une presse manuelle et Hydraulique.

**b. Techniques de constructions :**

Pour la fabrication des BTC, divers types de presses sont disponibles à l'achat ou à la location : De la presse manuelle qui convient pour un usage personnel et pour autoconstructeurs, jusqu'à la presse motorisée, à transmission mécanique, hydraulique ou pneumatique pour un usage professionnel intensif.

- Il est indispensable de mouiller chaque brique avant de l'installer.
- N'empilez trop de rangées, préférez l'installation d'un rang ou deux sur une plus grande longueur. En effet, sous le poids des briques le mur est très instable, en tous cas jusqu'au séchage du mortier. L'utilisation du ciment comme additif peut réduire le temps de séchage.

**c. Avantage :**

- ✓ La BTC est un matériau écologique : composée essentiellement d'argile, sable et gravillons et d'un peu de ciment, fabriquée sans cuisson.

- ✓ La BTC procure un confort thermique et phonique excellent : de part son inertie thermique et sa masse, un mur en BTC apporte confort thermique et isolation phonique
- ✓ La BTC offre une grande résistance : la résistance à la compression d'une BTC dépasse les 60 bars (60kg/cm<sup>2</sup>)
- ✓ La BTC présente un intérêt architectural et esthétique : en cloison, en mur porteur, la BTC permet une richesse de formes, et de motifs variés dans son utilisation

\* La BTC est simple à mettre en œuvre : la BTC se monte avec un mortier de terre amendé.

Les règles de construction sont simples à suivre.

#### d. Inconvénients :

- ✓ Fabrication des briques longue et fatigante
- ✓ Fragilité : au moindre choc la brique se brise ou s'effrite
- ✓ Se détériore sous l'effet du gel



#### Types De Blocs :

Diversités des produits de blocs de terre comprimée Aujourd'hui, le marché accueille une large gamme de produits de terre comprimée (Houben, 2006)

##### a. Blocs pleins :

Ils sont principalement de forme prismatique (parallélépipèdes, cubes, hexagones multiples, etc.). Leur usage est très varié.



photo (I.11) : Brique pleine en terre crue

##### b. Blocs creux :

On observe normalement de 15 % de creux, 30 % avec des procédés sophistiqués. Les évidements créés au sein des blocs améliorent l'adhérence du mortier et allègent les blocs. Certains blocs évidés permettent la réalisation de chaînages (coffrage perdu).

**c. Blocs alvéolaires :**

Ils présentent l'avantage d'être légers mais exigent des moules assez sophistiqués ainsi que des pressions de compression plus forte que la normale.

**d. Blocs à emboitements :**

Ils peuvent éventuellement permettre de se passer de mortier mais exigent des moules assez sophistiqués et en général des pressions de compression plus ou moins élevées.

**e. Blocs parasismiques :**

Leur forme améliore leur comportement parasismique ou permet une meilleur intégration de systèmes structuraux parasismiques : chaînage par exemple



. photo (I.12) : Les Blocs Parasismiques En Terre Crue

<http://construire-en-btc.blogspot.com/>

**d. Blocs spéciaux :**

fabriqués exceptionnellement pour des applications particulières. (Figure I.13 ) Des moules spécifiques permettent également la réalisation de motifs sur les faces des blocs qui seront visibles afin d'obtenir un effet décoratif du bloc sans avoir recours à un traitement de finition



photo (I.13) : Les différents Types De La Brique De Terre Crue.

<http://ciadastelhas.com.br/tijolo-aparente>

#### I.4.3.7. Les sacs de terre :

La construction en sacs de terre s'inspire de la construction en pisé : on remplit de terre compactée, des sacs de polyéthylène ou polypropylène (utilisés notamment pour le conditionnement des grains). Le mélange peut être constitué de divers matériaux comme de l'argile, du sable, du béton etc.

On obtient ainsi une structure porteuse où les rangées de sacs sont fixées entre elles grâce à du fil barbelé, et à laquelle on applique n'importe quelle type d'enduit. Cette technique a été développée par un architecte américain, Nader Khalili.

**a. Techniques de constructions :** Ce type de construction convient mieux pour des régions à climat chaud. En effet, dans le contexte canadien, il est préférable d'utiliser cette technique pour des locaux non chauffés du type garage ou atelier.

- Il est souvent conseillé d'utiliser un enduit de ciment, renforcé de fibres cellulosiques (papier, carton, ...). On obtiendra une excellente protection contre les rayons du soleil (qui détériorent les sacs) et le temps tout en laissant le mur respirer.
- En remplissant les sacs de roche volcanique écrasée on obtient un mur dont les qualités isolantes équivalent à une construction en ballots de paille.

#### b. Avantage :

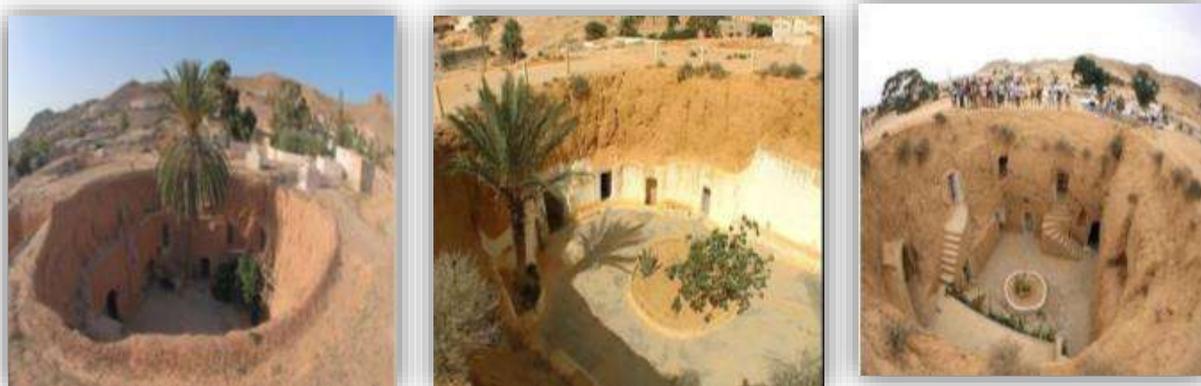
- ✓ Résiste à toutes sortes de temps, intempéries
- ✓ Mur massif très solide

#### c. Inconvénient :

- ✓ Peu recommandé pour des régions froides

#### I.4.3.8. Terre Excavée :

Cette technique donne naissance à des habitats de type troglodytique qui s'adaptent au climat et à la géographie. Il s'agit de creuser (verticalement ou horizontalement) le sol argilo-sableux afin d'y faire apparaître des logements. Par exemple la ville de Matmata en Tunisie (Figure I.14 ) ;



**photo (I.14) : Habitat Troglodytique Habitation De Matmata, Tunisie**

(source : <https://maison-monde.com/les-maisons-troglodytes-de-matmata/>)

#### I.4.3.9. Mottes De Terre :

Cette technique est très ancienne et se retrouve principalement dans les régions des grandes plaines. Il s'agit de construire avec la terre de surface des sols, c'est-à-dire avec des mottes de gazon (Figure I.15). La terre contient donc de nombreuses racines et plantes herbacées. Les racines lui confèrent une résistance due à leur entrelacement. Les avantages de cette technique sont la mise en œuvre rapide et plutôt simple



**photo (I.15) :Maisons Islandaises Médiévales, En Bois, Incrustées Dans Des Mottes De Terre.**

(source : <https://maison-monde.com/maisons-de-gazon-traditionnelles-islande/>)

#### I.4.3.10. Terre Façonnée :

La technique de la terre façonnée se met en œuvre avec de la terre à l'état plastique, sans moule ni coffrage. Cette façon de faire permet d'obtenir une large gamme de formes architecturales souvent très riches tout en réduisant la main d'œuvre et les coûts de construction. (Figure I.16 )



photo (I.16) : Construction En Terre Façonnée

(source : L'architecture en terre construction nouvelle et conservation du patrimoine historique . Teresa Diaz Gonçalves ; Maria Idália Gomes)

#### I.4.3.11. Blocs Découpés :

La taille des blocs découpés se réalise en carrière. L'extraction de ces blocs est semblable à celle de la pierre traditionnelle, c'est-à-dire qu'elle se réalise à l'aide de pioches, burins, coins et scies. Ces carrières présentent une terre suffisamment cohérente et d'une dureté telle qu'on peut directement y tailler des blocs utilisables pour la construction. La terre de ces carrières est généralement riche en éléments carbonatés ou résultants d'une induration latéritique. Les blocs découpés se mettent en œuvre comme des blocs classiques. Selon les régions, cette technique est connue sous différents noms : « tepate » au Mexique, « caliche » aux U.S.A., « mergel » en Hollande, « marl » en Angleterre et « tuf » dans les pays méditerranéens. Les sols du Burkina Faso et de la Libye contiennent de la plinthite (variété de latérite en induration) qui, lorsqu'elle est en contact avec l'air durant quelques mois, devient dure comme la roche et imperméable à l'eau. On retrouve donc dans ces pays de nombreuses constructions en blocs découpés, comme les bâtiments en BLT (blocs latéritiques taillés) au Burkina Faso (photo 1.17)

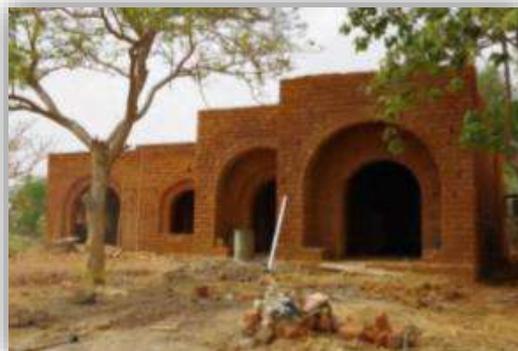


photo (I.17) : BLT et Construction en BLT, Burkina Faso

source : L'architecture en terre construction nouvelle et conservation du patrimoine historique .  
Teresa Diaz Gonçalves ; Maria Idália Gomes)

#### I.4.4. Les Caractéristiques des briques en terre crue :

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

Tableau 1.1: les caractéristiques des briques de terre crue (adobe, pisé et BTC)

Caractéristiques	Types de briques de terre crue		
	Adobe	Pisé	BTC
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	1200 – 1700	1700 – 2200	1700 – 2200
Résistance à la compression (MPa)	2 – 5	< 2,4	< 2,4
Résistance à la traction (MPa)	-	0,5 – 1	-
Conductivité thermique $\lambda$ (W/m°C)	0,46 – 0,81	0,81 – 0,93	0,81 – 1,04
Chaleur spécifique (J/Kg°C)	900	850	
Capacité thermique (KJ/m <sup>3</sup> °C)	1350	510	
Absorption d'eau (%)	5	10 – 20	10 – 20
Isolation acoustique (dB)		50 dB pour 40cm 40 dB pour 20cm	50 dB pour 40cm 40 dB pour 20cm
Retrait au séchage (mm/m)	1	1 – 2	0,2 – 1

## 1.5. La brique terre cuite :

### I.5.1. Composition de la brique terre cuite :

Matériau intemporel en constante évolution, occupe une place prépondérante au cœur de l'habitat. Tuiles, briques, carreaux et revêtements de sol apportent une réponse conjuguant esthétique, performance technique, bien-être, confort, isolation, respect de l'environnement et économie aux bâtisseurs et occupants de logements individuels ou collectifs et de bâtiments non résidentiels du secteur tertiaire ou dépendants de collectivités. Naturelle par essence, la terre cuite est empreinte de modernité. Les procédés et techniques de fabrication ont considérablement évolué ces 20 dernières années. De nombreux programmes d'investissements lourds ont été consentis par les industriels, pour transformer totalement leur outil de production et introduire une plus grande industrialisation dans les processus de fabrication, désormais entièrement automatisés et robotisés.

### Matière première utilisée : les argiles

#### \* Origine :

La décomposition des roches primaires (éruptives) tel que granite, causé par action chimique (oxydation, carbonations...), action physique (variation de température, l'action d'eau, de gel, érosion)

#### a. Processus de production :

##### a.1. extraction :

L'extraction peut se faire par des engins mécaniques : décapeuse, pelles chargeuses ...etc.

La matière première extraite, acheminée à l'usine par camions, voies ferrée, bandes transporteuses.

##### a.2. Façonnage :

Le façonnage des produits (pleins, perforés et creux), est réalisé par deux procédures : étirage et pressage .

##### a.3. Séchage :

Les produits sont façonnés avec une teneur en eau de 15 à 30% (les chiffres exprimés en pourcentage par rapport au poids sec). Il est nécessaire avant la cuisson d'éliminer la plus grande partie de cette eau, par des séchoirs bien réglés. L'énergie consommée varie de  $3.5 \times 10^6$  à  $4.10 \times 10^6$  J/Kg d'eau évacuée, le séchage d'une tonne de produit nécessite une consommation d'énergie électrique de 6 à 13 Kwh.

**a.4.Cuisson :**

C'est la dernière opération que doit subir le bloc d'argile façonné et séché pour devenir ensuite une brique de terre cuite. C'est donc une phase extrêmement importante qui doit se dérouler très progressivement, c'est à dire. que la fournée est soumise à un échauffement régulièrement

croissant jusqu'à la température de cuisson (comprise entre 850° et 1200°C selon l'espèce d'argile utilisée), ensuite elle doit refroidir aussi graduellement.

Il existe une très grande variété de fours, qui peuvent être classer en deux catégories **-principales** : les fours à fonctionnement discontinu et les fours à fonctionnement continu. Dans le premier cas, le mode opératoire comprend le chargement du four, sa mise à feu, son extinction et refroidissement lorsque la cuisson est terminée. Dans un four du type continu, le feu ne s'éteint jamais, et c'est le chargement qui est introduit et extrait du four suivant un cycle régulier

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

- jusqu'à 200° C environ, évacuation de l'eau résiduelle courant le séchage ;
- de 200 à 450° C, décomposition de matière organique;
- de 450à 650° C, décomposition des minéraux argileux avec départ de l'eau de constitution ;
- de 650 à 750° C, décomposition du carbonate de chaux (cas des argiles calcaires);

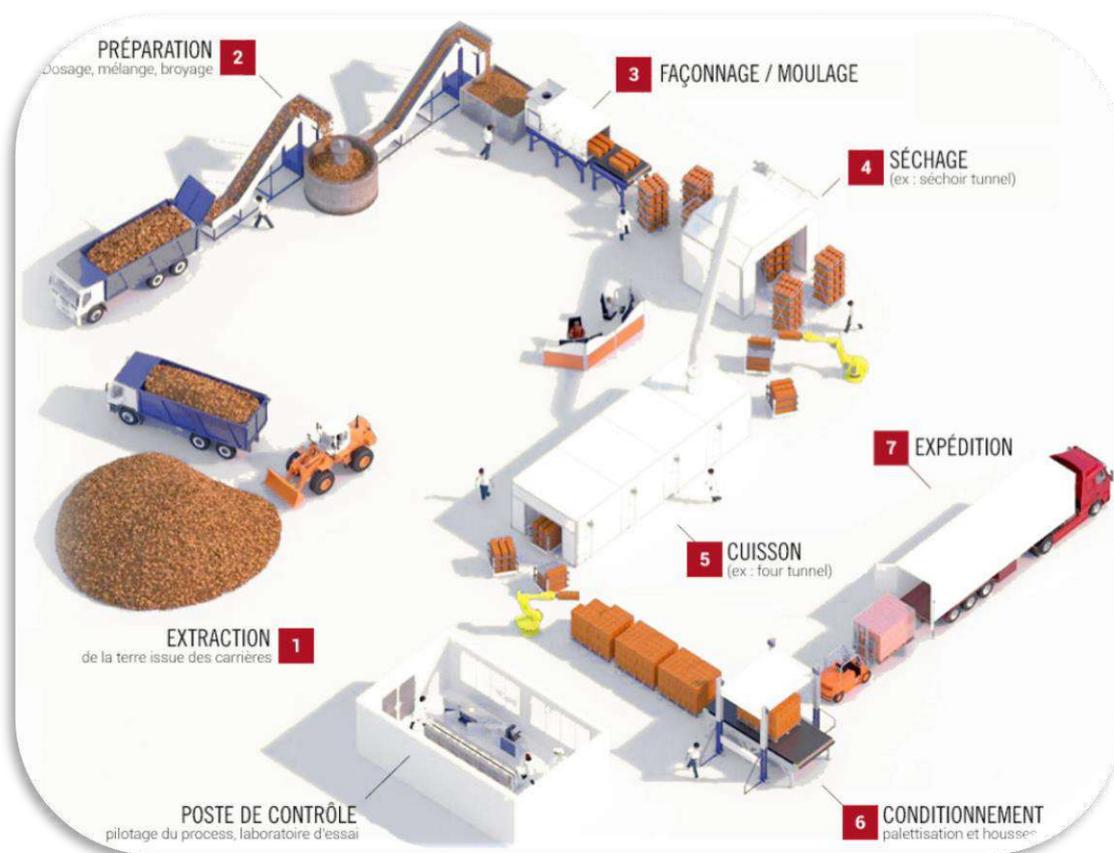


Figure (I.3): Fabrication des produits de terre cuite

## I.5.2. Produits de brique en terre cuite :

### I.5.2.1. Briques ordinaires :

Les briques de terre ordinaire se présentent sous la forme de parallélépipèdes des rectangles obtenus par extrusion « filage » ou éventuellement par pressage lorsqu'il s'agit de brique pleines. Selon la norme XP P13 305 la brique plein ordinaire se compose en deux catégories pleins ou perforés en terre cuite .

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

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

Les trous de la perforation sont faits soit verticalement dans la proportion de 60 % de la section totale, soit horizontalement avec alvéoles parallèles au lit de pose dans la proportion de 40 % de la section totale.

Selon la technologie de fabrication des briques traditionnelles, il est difficile d'obtenir des briques ayant des dimensions exactement précises, à cause du retrait à l'air et retrait de cuisson. Selon la Norme, les tolérances sur les briques peuvent être calibrées de la manière suivante:  $\pm 6$  mm sur la longueur;  $\pm 4$  mm sur la largeur et  $\pm 3$  mm sur l'épaisseur.

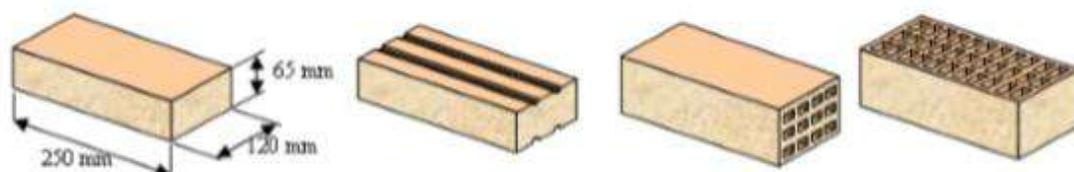


Figure (I.4):Brique pleines et perforées

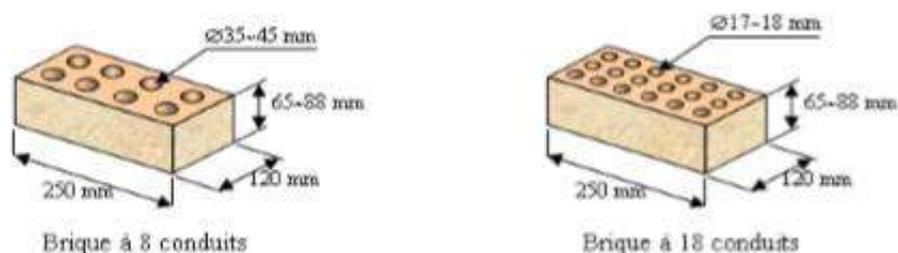


Figure (I.5):Briques perforées.

#### I.5.2.2.Briques creuses de terre cuite à perforation horizontale :

Selon la norme NF P 13-301. Les briques creuses à perforation horizontale sont des produits comportent des perforations sont parallèles au plan de pose et dont la section totale dépasse 40 % de la section du produit . Briques plâtrières : d'épaisseur de 3.5 à 7.5 cm Les briques creuses sont classées :

➤ **D'après la forme :**

type C: à faces de pose continue,

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

➤ **D'après la résistance :** On distingue les briques ordinaires et les briques à résistance garantie.



photo (I.18) : Briques creuses de terre cuite à perforation horizontale

### I.5.2.3. Brique de terre cuite à perforation verticale (blocs perforés)

Les blocs perforés sont des produits permettant d'une paroi réaliser toute l'épaisseur d'avec un seul élément, et comportant des perforations perpendiculaires à la face de pose. Leur largeur est au moins de 14 cm, et la somme des perforations est égale ou inférieure à 60% de la section totale. Selon leurs caractéristiques thermique, ces blocs peuvent être soit des blocs normaux soit des blocs de type G (figure I.19)

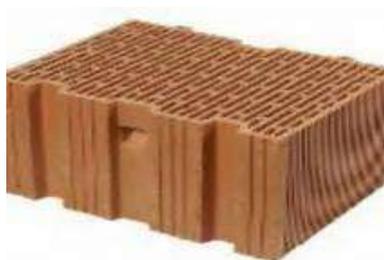


photo (I.19) : Briques creuses de terre cuite à perforation verticale type G

### I.5.3. Propriété et caractéristique des briques de terre cuite :

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

Tableau (I.2) : Propriétés des briques pleins et perforés

Poids spécifique (kg/m <sup>3</sup> )		Environ 1800
Résistance Mécanique	Compression (MPa)	De 5 à 80
	Traction (MPa)	De 0 à 2
	Dilatation thermique (mm/m.k)	0.005
	Gonflement à l'humidité (mm/m)	0.1
	Retrait au durcissement (mm/m)	0.2 à 1.1
	Porosité (%)	5 à 18
Réaction au feu		Très élevé
La conductivité w/m.°C		1.15

**Tableau (I.3) : La résistance thermique des briques pleins et perforés**

Pleines		Perforés	
Epaisseur (cm)	R(m <sup>2</sup> .°C/W)	Epaisseur (cm)	R(m <sup>2</sup> .°C/W)
5.5	0.05	20	0.52
10.5	0.09	30	1.00
22	0.20	35	1.21

**Tableau(I.4) : Propriétés de la brique creuse**

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

**Tableau (I.5) : la résistance thermique des Brique creuses**

E : épaisseur en cm	5	10	20	25
R(m <sup>2</sup> .°C/W)	0.10	0.20	0.39	0.55

Ses propriétés changent par rapport au type d'argile utilisé

### **I.6. Brique silico-calcaires :**

Les briques silico-calcaires sont essentiellement formés d'un mélange de matériaux siliceux finement broyés et de chaux hydratée Ca(OH)<sub>2</sub> appelée chaux grasse (ou ciment portland) soumis Généralement à un traitement à l'autoclave. Deux catégories de produits sont fabriquées et utilisées comme matériaux de construction

#### **I.6.1. produits Brique silico-calcaires :**

##### **a.Silico- calcaires denses :**

Le mélange de silice et de chaux ne constitue généralement pas un liant hydraulique à la température ambiante (la combinaison n'a lieu que si la silice est vitreuse et pouzzolanique), mais il n'en est pas de même en présence de vapeur d'eau sous pression. Les premiers brevets, qui furent pris en 1880 par l'Allemand Michaelis, en 1886 par l'Anglais VAN Derburgh, étaient relatifs à la fabrication de briques silico-calcaire obtenues par un mélange

Soigneusement dosé de chaux et de silice, broyé puis moulé par pression et traité à la vapeur. La première application industrielle a été faite en Allemagne vers 1894. Les pays qui ont les plus fortes productions de produits silico-calcaires denses sont : La Russie, l'Allemagne et la France.

#### **b.Silico- calcaires légers :**

Les briques silico-calcaires légers sont fabriquées à partir des mêmes matériaux que les silico-calcaires denses, mais avec ajout d'un constituant produisant des vides artificiels fermés, sous forme de bulles gazeuses obtenues par réaction chimique. Ils appartiennent à la classe des matériaux appelée Improprement béton cellulaire ou béton gaz.

Les premiers brevets datent de 1890, mais on considère souvent le Suédois J. A Eriksson comme le père de ces produits ; ses brevets datent de 1923 et il utilisa en 1929 le traitement à l'autoclave. Ces produits furent d'abord commercialisés en Suède en 1924 Danemark en 1928 et URSS en 1930. Les principaux producteurs sont la Russie, le Japon, l'Allemagne, la Grande-Bretagne

#### **I.6.2.Les phénomènes physiques de processus d'autoclave :**

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

un produit solide et résistant à l'eau. 
$$\text{Ca(OH)}_2 + \text{SiO}_2 + (n-1) \text{H}_2\text{O} \longrightarrow x \text{CaO} + y \text{SiO}_2 + n \text{H}_2\text{O} \quad (\text{I. 1})$$

Au fur et à mesure que la température s'élève la vitesse de réaction (I. 1) croît. Ce processus a lieu dans les autoclaves sous pression de la vapeur saturée (0.8 - 1.2 MPa) L'augmentation de température et de pression de vapeur est suivie par la dissolution des

composants initiaux. La solubilité des constituants varie avec la température c'est à dire, la solubilité de  $\text{Ca(OH)}_2$  diminue avec l'augmentation de la température et celle du  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) augmente .

**I.6.3. La Fabrication :**

• **Silico-calcaire denses** Le mélange (5-12%) chaux vive (CaO) et sable propre de 0/5 mm et l'eau de l'ordre de (4 à 8 %) de la masse des matières sèches. Généralement des mélangeurs continus alimentent d'une façon régulière la matière comprimée ou comprimée – vibrée suivant les modèles de presses, sous des pressions variant de 15 à 45 MPa, exceptionnellement 60 MPa, après démoulage les produits sont traités dans des autoclaves durant de 6 à 14 h et la pression varie de 0,8 à 1,2 MPa (à 170 - 190°C environ)

• **Silico-calcaire léger :**

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



(a)



(b)



(c)

photo (I.20) : Produit en briques silico-calcaire, Mur en brique silico-calcaire, Gîtes artificiel en briques plâtrière creuses

**1.6.4. Les propriétés de brique silico-calcaire :**

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

• **Tableau (I.6) : Propriétés de brique silico-calcaire :**

Type de brique SC	Brique silico-calcaire dense	Brique silico-calcaire léger
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	600 – 2200	300 – 800
Résistance à la compression (Mpa)	6 – 60	1.5 – 7
Conductibilité thermique $\lambda$ (w/m. °c)	Pour une masse volumique entre 1700-2100 (Kg/m <sup>3</sup> ) 1.16-1.63	Pour une masse volumique entre 0.08 -300 (Kg /m3)
Absorption d'eau	4 à 8 %	-
Isolation acoustique	48 B	-

**1.6.5. Les avantages des briques silico-calcaires :**

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

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

➤ Les briques silico-calcaires sont en générale de même usage que les briques de terre cuite, mais avec certaine restriction, Il est interdit d'utiliser les briques silico-calcaires pour la pose des fondations et des socles parce qu'elles sont moins résistantes à l'eau que les briques de terre cuite . La norme utilisée pour les briques silico-calcaire est (DIN 106), et la norme France (**NF P 14 – 302**).

**I.7.Conclusion :**

La construction en terre crue représente une réponse pertinente aux enjeux actuels et futurs du secteur du bâtiment tant sur le plan environnemental que sanitaire. Il convient donc aujourd'hui de tout mettre en œuvre pour que la filière terre crue algérienne se structure et puisse apporter ses réponses au marché de la construction dans de bonnes conditions et ainsi se développer. Dans le monde, plus d'un milliard d'individus, surtout dans les pays en voie de développement, sont concernés par la crise mondiale de l'habitat. La terre est un matériau qui apporte des réponses intéressantes à cette crise ; ainsi qu'aux préoccupations liées à la recherche de l'équilibre écologique de l'environnement et au développement durable. Outre ses aspects esthétiques d'une matière brute et pure, la terre présente en effet des avantages évidents de faible consommation d'énergie grise (énergie de production). Elle contribue aussi à la construction de maisons à faible consommation d'énergie et même passives par leur apport de masse thermique, de régulation de l'hygrométrie et d'utilisation de murs chauffants (et refroidissants) avec des briques et des enduits en terre pour transfert d'énergie solaire et d'autres énergies renouvelables plus efficaces à basse température.

## **Chapitre II**

**a) Transfert thermique et méthodes  
De mesure de la conductivité thermique**

**b) quelques donnés sur les matériaux**

**Locaux utilisées**



## A)- généralités sur les propriétés thermiques

### II.1. Introduction :

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

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

Les deux notions fondamentales en transferts thermiques sont la température et la chaleur. La température caractérise l'état d'un corps ; la chaleur exprime un échange énergie.

Lorsque deux points dans l'espace sont à des températures différentes, il y a systématiquement transfert de chaleur toujours du corps "chaud" vers le corps "froid". C'est une conséquence directe du deuxième principe de la thermodynamique

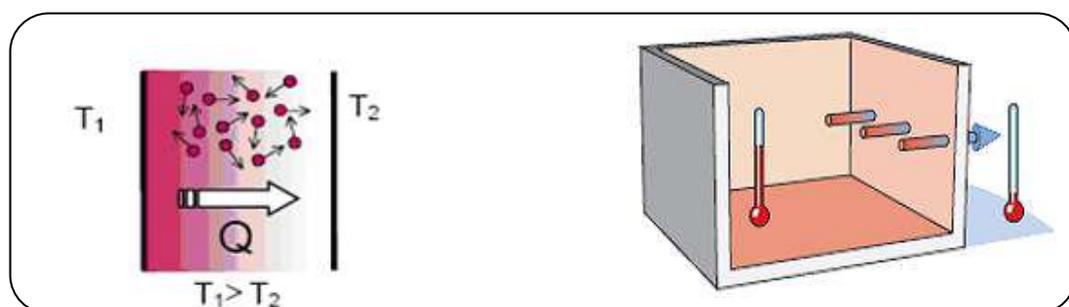
### II.2. Modes de transfert de chaleur :

▪ Les lois régissant les trois modes de Transfert Les trois modes de transfert de chaleur sont régis par trois lois de transport. Ainsi :

- a- La conduction est régie par la loi de Fourier
- b- La convection est régie par la loi de Newton
- c- Le rayonnement est régi par la loi de Stefan-Boltzmann.

#### II.2.1. Conduction:

C'est le mode de transfert qui apparaît toujours dans un fluide ou un solide dès qu'il y a un gradient de température. Il s'agit d'un transfert thermique de proche en proche par chocs microscopiques entre particules d'énergie différente, les particules les plus énergétiques transmettant de l'énergie cinétique à celles qui en ont moins. D'un point de vue phénoménologique elle est décrite par la loi de Fourier (figure.II.1)



(a).La Conduction

(b). La propagation de la chaleur

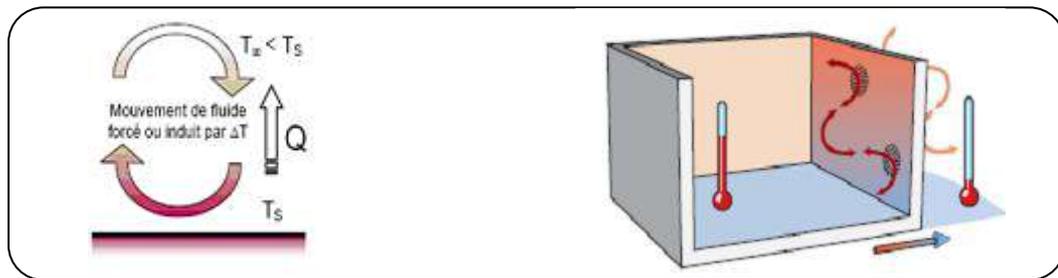
Dans Une paroi

Figure (II.1) : transfert de chaleur par conduction

**II.2.2. Convection :**

La convection est un mode de transfert d'énergie qui implique un déplacement de matière dans le milieu, par opposition à la conduction thermique (diffusion de la matière). La matière est advectée (transportée-conduite) par au moins un fluide. (Figure. II.2).

Ainsi durant la cuisson des pâtes, l'eau se met en mouvement spontanément : les groupes de particules de fluide proches du fond de la casserole sont chauffés, se dilatent donc deviennent moins denses et montent ; ceux de la surface de la casserole sont refroidis par le contact de la surface avec un milieu moins chaud, se contactent donc gagnent en densité et plongent. Le transfert thermique est alors plus efficace que dans le cas de la conduction thermique.

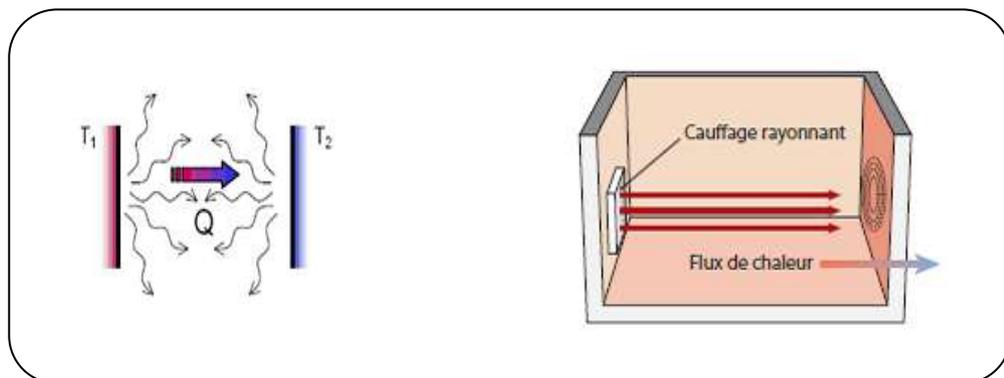


(a).La convection

(b).refroidissement d'un bâtiment sous l'effet du vent

**Figure (II.2) : transfert de chaleur par convection****II.2.3. Rayonnement :**

Les transferts thermiques par rayonnement diffèrent des autres transferts par le fait qu'ils ne nécessitent pas de support matériel pour se propager contrairement à la conduction (support solide) ou à la Convection (support liquide ou gazeux). Tout corps dont la température est supérieure au zéro absolu contient et émet en permanence de l'énergie sous forme de rayonnement



(a).Le rayonnement.

(b). Le corps (1) chaud émet des radiations vers le corps plus froid et le réchauffe.

**Figure (II.3) : Transfert de chaleur rayonnement**

### II.3. Quelques définitions énergétiques:

#### II.3.1. La chaleur :

Forme d'énergie correspondant à l'agitation aléatoire des molécules de la matière, lorsqu'on introduit une quantité de chaleur dans un corps, la température de ce dernier augmente. Dans le cas d'un changement de phase, une partie de cette chaleur est utilisée pour satisfaire les besoins thermiques liés à ce phénomène (fusion, évaporation, etc....).

#### II.3.2. La température :

C'est la manifestation mesurable de la chaleur stockée. On dit aussi que la température est liée à la moyenne d'énergie cinétique due au mouvement des atomes et molécules du corps par la relation :

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{3}{2} k T$$

#### II.3.3. La conservation de la chaleur :

Une fois que l'énergie a été transformée en chaleur, cette dernière se "conserve" lors des différents transferts qu'elle subit.

$$Q + \Delta Q = Q'$$

#### II.3.5. Densité de flux thermique :

La densité de flux thermique (ou flux thermique surfacique), c'est le flux thermique par unité de surface. La densité de flux thermique s'exprime en watt par mètre carré ( $W \cdot m^{-2}$ )

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

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

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

#### II.3.6. Conductivité thermique ( $\lambda$ ) :

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

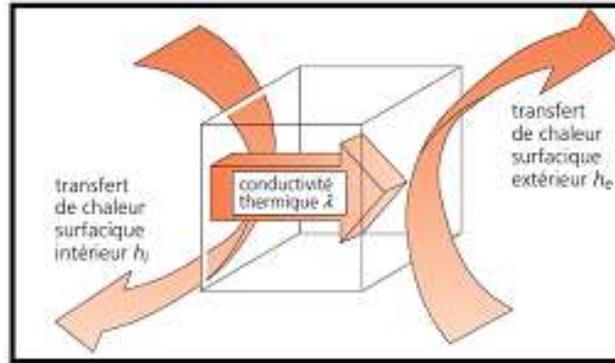


Figure (II.4) : Représentation de flux thermique

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

La conductivité thermique est aussi obtenue par une formule empirique qui dépend de la vitesse de propagation de son, la densité sèche et la porosité. La formule s'établit comme suite :

$$\lambda = a_0 + a_1 V + a_2 \cdot \rho + a_3 \cdot \eta$$

V : vitesse de propagation de son ;

$\rho$ : la densité sèche ;

$\eta$ : la porosité ;

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

Tableau. II.1: conductivité thermique de quelques matériaux

Matériaux	Conductivité $\lambda$ (W/m.K)	Matériaux	Conductivité $\lambda$ (W/m.K)
Ciment portland	0,29	Caoutchouc	0,16
Béton	1,7	Eau	0,6
Air	0,025	Verre	1,1
Bois	0,04 – 0,4	Brique plein	1,16
Alcool, huile	0,1 – 0,21	Liège	0,046
Sol	1,5	Polystyrène	0,209
		Mercure	8,47

### II.3.7. Résistance thermique :

La résistance thermique représente la résistance de l'élément à la transmission de chaleur à travers son épaisseur, elle est généralement connue sous le terme de « isolation thermique ». L'augmentation de la résistance thermique implique que l'élément est isolant. Elle s'exprime en  $\text{m}^2 \cdot \text{K}^1 \cdot \text{W}^{-1}$ .

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

Où :  $e$  : l'épaisseur de l'élément  
 $\lambda$ : la conductivité de l'élément

### II.3.8. Diffusivité thermique :

Représente la vitesse de pénétration et atténuation d'une onde thermique dans un milieu, Plus La diffusivité thermique est petite, plus grande sera la capacité thermique et meilleur sera le Confort d'été. La diffusivité thermique est une propriété dynamique du matériau car elle Intervient dans les transferts en régime transitoire de température. Elle s'exprime en  $(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$

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

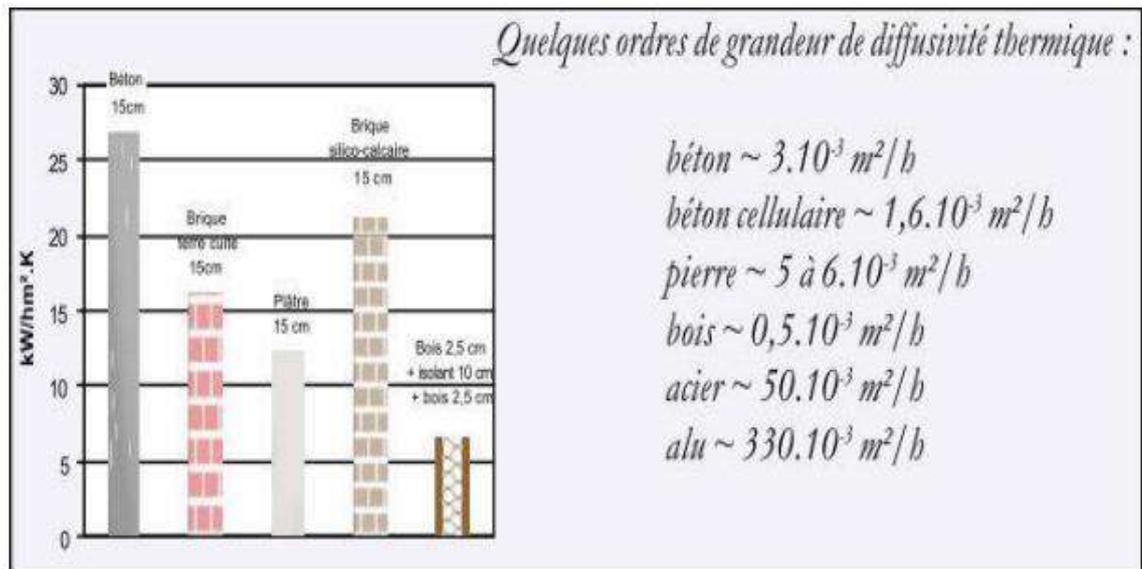


Figure (II.5) : Quelques ordres de grandeur de diffusivité thermique

### II.3.9. Effusivité thermique (E) :

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

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

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

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

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

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

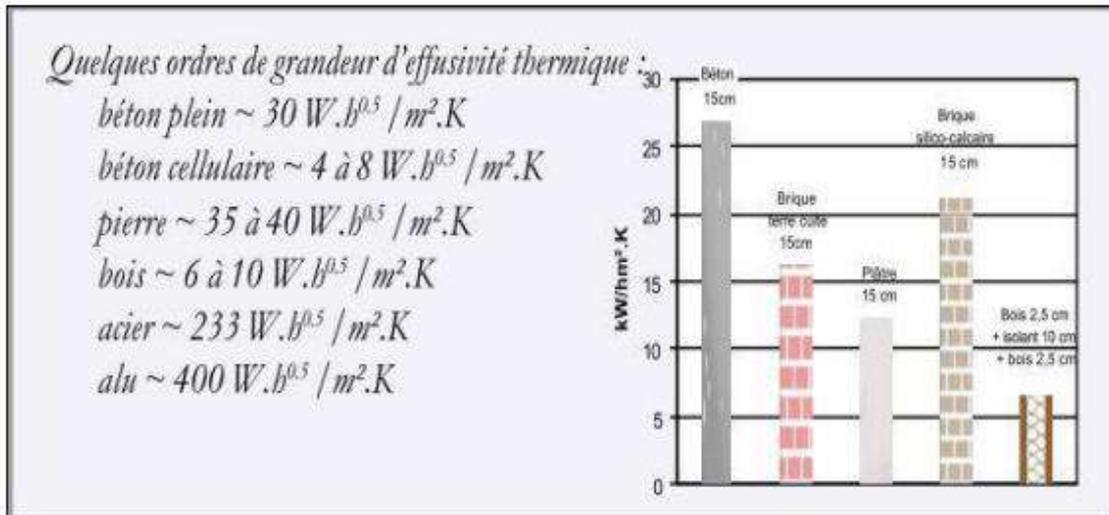


Figure (II.6) : Quelques ordres de grandeur d'effusivité thermique

**II.3.10. Le coefficient de transmission calorifique (U) :**

Le coefficient de transmission calorifique U caractérise les déperditions thermiques d'un matériau ou d'une paroi. C'est l'inverse de la résistance thermique (R). Plus U est faible, plus la paroi est isolante. Il est exprimé en watt par mètre carré degré  $W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$  ou Kelvin  $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$

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

**II.3. 11. La Chaleur Spécifique :**

$$\Delta Q = m \cdot Cp \cdot \Delta T$$

La Relation Fondamentale

Exprime que, si un corps de masse m stocke  $\Delta Q$  (j), sa température s'élèvera de  $\Delta T$ .

$Cp$ , la chaleur spécifique (en  $J / (kg \cdot K)$ ) est une propriété physique des matériaux et elle dépend généralement de la température. Elle caractérise sa capacité à emmagasiner de la chaleur. La chaleur spécifique d'une substance est fonction de sa structure moléculaire et de sa phase.

**II.3.12. L'Inertie Thermique :**

Est la capacité d'un matériau à stocker l'énergie, traduite par sa capacité thermique. Plus l'inertie est élevée et plus le matériau restitue des quantités importantes de chaleur (ou de fraîcheur), en décalage par rapport aux variations thermiques extérieures (le matériau mettant plus de temps à s'échauffer ou à se refroidir). En général plus un matériau est lourd et plus il a d'inertie.

L'inertie thermique est utilisée en construction pour atténuer les variations de température extérieure, et permet de limiter un refroidissement ou une surchauffe trop importante l'intérieur. Elle n'est à toutefois pas toujours adaptée aux locaux occupés et chauffés de manière intermittente.

Pour bien utiliser l'inertie d'un bâtiment, il faut considérer la vitesse de réponse des matériaux pour transmettre une variation de température, traduite par la diffusivité thermique. En effet, l'inertie permet de tempérer les amplitudes journalières de températures intérieures face aux variations de températures extérieures, ce qui est générateur de confort et d'économie pour les locaux chauffés en permanence.

**II.3.13 Capacité thermique massique (chaleur spécifique ; chaleur massique) (cP)**

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

**II.3.14. Capacité thermique (C) :**

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

$$C = Cp * m$$

Où : C : est la capacité thermique ;

Cp : est la chaleur spécifique ;

m : est la masse.

**II.3.15. Chaleur latente :**

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

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

Ou :  $\Delta Q$  : est l'énergie (Joules ou calories)

m : est la masse (Kg)

### II.3.16. Loi de Fourier :

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

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

### II.3.17. Équation de la chaleur :

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

$$\lambda \nabla^2 T + P_i = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

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

$\nabla^2$  : désigne le laplacien de la température.

$P_i$  : est l'énergie produite au sein même du matériau en  $\text{W.m}^{-3}$

. Elle est souvent nul (cas des dépôts de chaleur en surface de murs, par exemple).

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

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

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

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

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

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

Les interactions continues des facteurs climatiques sur l'enveloppe des bâtiments impliquent des transferts d'énergie à travers ses parois (murs ou toiture) (figure II.8). Ces transferts sont des processus qui se produisent simultanément dans les deux directions. C'est

Le cas des murs réels constitués de plusieurs couches de matériaux différents et où le ne connaît que les températures  $T_{f1}$  et  $T_{f2}$  des fluides en contact avec les deux faces du mur de surface latérale  $S$

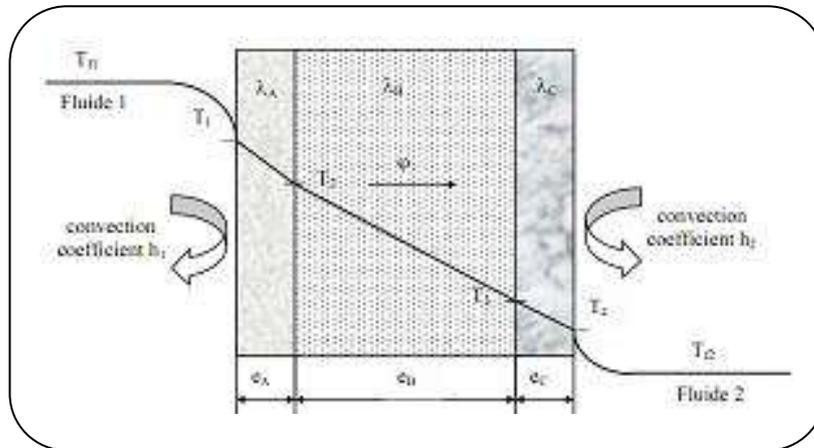


Figure (II.7) : Transfert de chaleur à travers une paroi opaque

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

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

D'où

$$\text{Fluide 1 : } (T_{f1} - T_1) = \frac{\varphi}{h_1 S} = R_{hf1} \cdot \varphi$$

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

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

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

$$\text{Fluide 2 : } (T_4 - T_{f2}) = \frac{\varphi}{h_2 S} = R_{hf2} \cdot \varphi$$

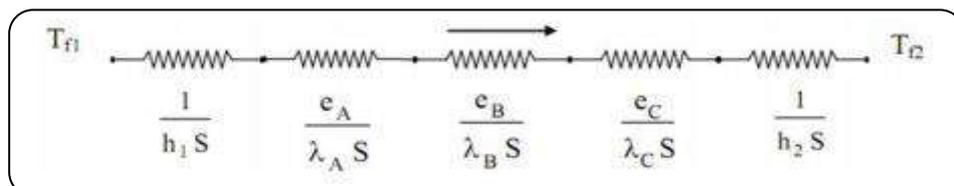


Figure (II.8) : Schémas analogue électrique d'une paroi opaque.

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

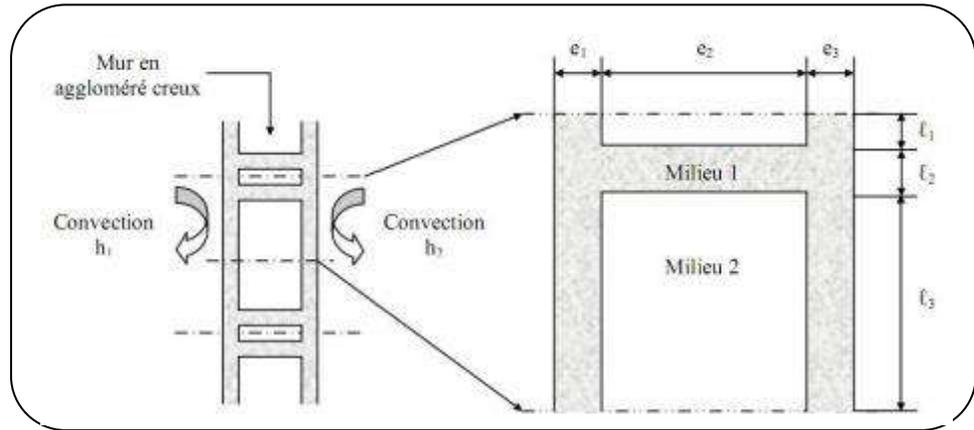
$h_1$ ,  $h_2$  : Coefficient de transfert de chaleur par convection.

Le flux de chaleur devient :

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

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

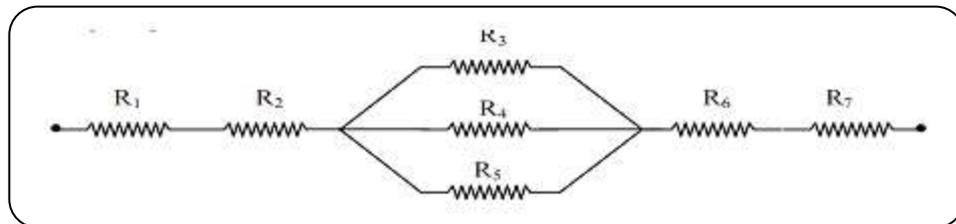
C'est le cas le plus couramment rencontré dans la réalité où les parois ne sont pas isotropes. Considérons à titre d'exemple un mur de largeur L constitué d'agglomérés creux.



**Figure (II.9) : Schémas d'un mur composite.**

En supposant le transfert unidirectionnel et en tenant compte des axes de symétrie, on peut se ramener au calcul du flux à travers l'élément isolé sur la droite de la (figure II.10) et calculer la résistance thermique R équivalente d'une portion de mur de largeur L et de hauteur  $l = l_1 + l_2 + l_3$  en utilisant les lois d'association des résistances en série et en parallèle par la relation si après [29]:

Selon le schéma électrique équivalent suivant :



**Figure (II.10) : Schémas électrique d'un mur composite.**

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

avec :

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

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

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

## II.6. Méthodes de mesures de la conductivité thermique :

La connaissance des caractéristiques thermiques d'un matériau de construction est indispensable pour permettre à l'ingénieur de juger de son application. Pour cela, dans les laboratoires, ingénieurs et chercheurs ont recours à diverses méthodes pour évaluer les propriétés thermiques d'un matériau en fonction de leurs besoins. Les plus classiques utilisent des capteurs de température de contact comme la méthode Flash, celle du fil chaud, de la plaque chaude gardée, des sondes thermiques. Les plus évoluées, sans contact, se servent de la radiométrie infrarouge. Une revue des principales méthodes employées par de nombreux auteurs est ici brièvement présentée au dessous.

Le choix d'une méthode de mesures de la conductivité thermique dépend de certains paramètres. En effet, lorsque le choix de la combinaison matériau-précision se pose de manière précise, de nombreux paramètres sont à prendre en compte :

Le type de produit : milieu granulaire, milieu semi-infini.

Le type de régime thermique car il peut être stationnaire, transitoire, ou quasi établi.

Le type de forme géométrique du milieu (2D, 3D, axisymétrique, ...)

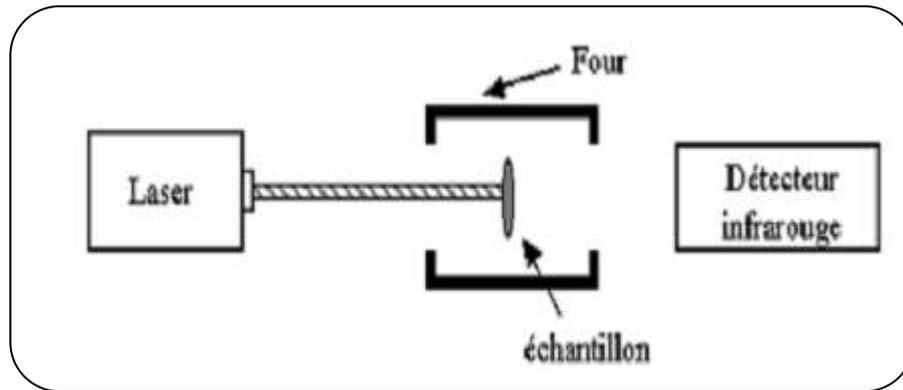
Les dimensions et les rapports de dimensions.

La simplicité de la méthode.

Les tolérances (ou précisions) de certains paramètres.

### II.6.1. Méthode Flash :

Un échantillon à faces parallèles (figure 1.9 [46]), initialement isotherme, est soumis sur l'une de ses faces à une impulsion thermique de courte durée et uniforme. Un thermocouple en contact avec la face opposée au flash permet d'enregistrer l'élévation de sa température à partir de l'émission du flash sur la face avant. Une modélisation du transfert de chaleur permet d'estimer la diffusivité thermique des matériaux



**Figure (II.11) : Schéma de principe de la méthode Flash**

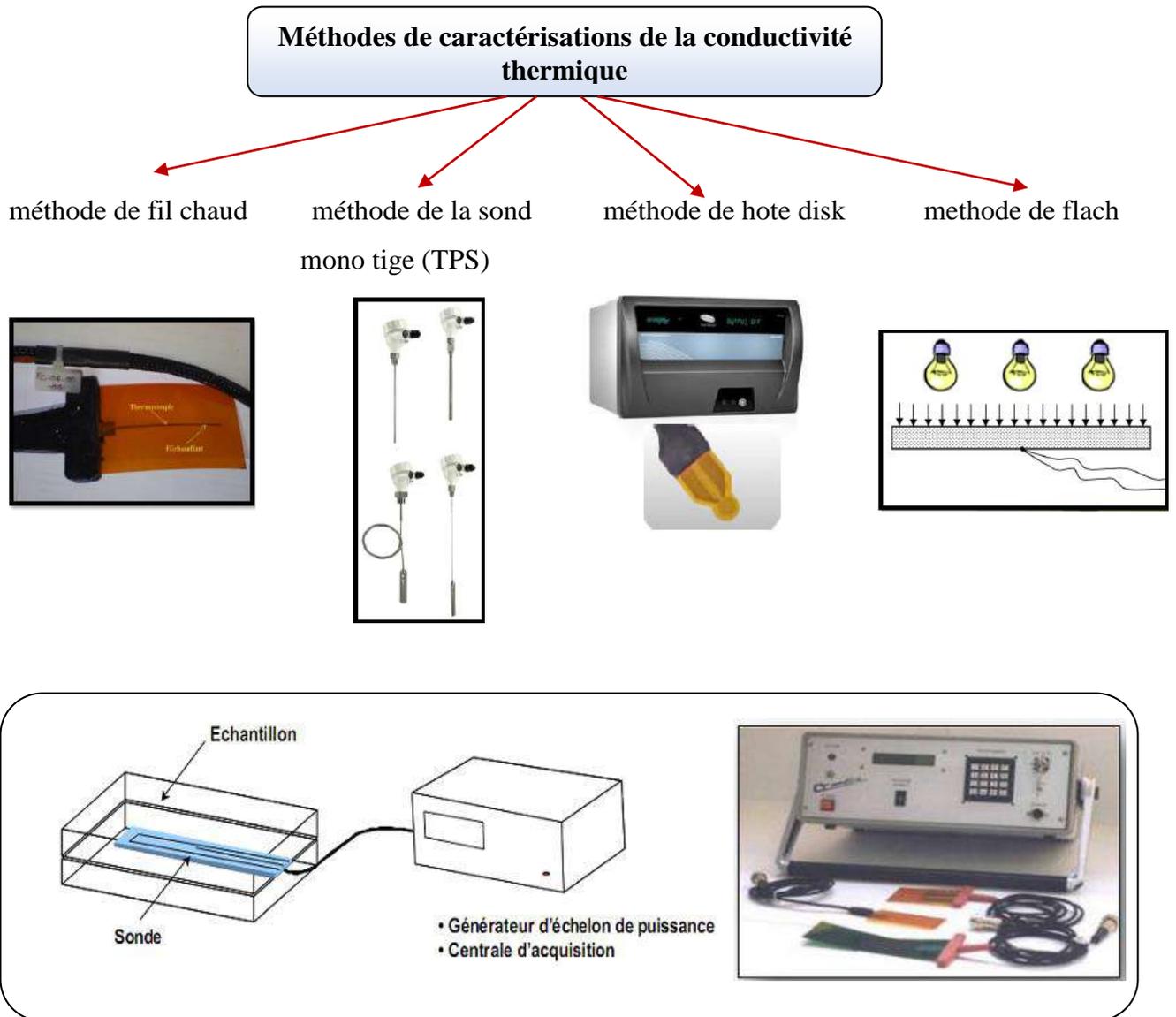
L'estimation de la diffusivité thermique se exécute : par la méthode de Parker, celle des temps partiels ou des moments temporels ou bien à partir d'un modèle complet. Ces modèles sont présentés en détail par Yves JANNOT [46]. Ils sont revisités par KOSSI [45], mettant en œuvre une méthode inverse. Cette méthode est limitée à des matériaux peu légers et non poreux du fait qu'elle repose sur des exigences : le flux lumineux est absorbé par la face avant sans pénétrer dans la pièce et, la mesure exécutée sur la face arrière est une grandeur proportionnelle à l'élévation de la température. Une variante est utilisée à l'Institut Pascal1, avec comme moyen de mesure du champ de diffusivité thermique, une caméra thermique et un rayonnement lumineux de l'échantillon par une lampe. La température à la face arrière est suivie jusqu'à stabilisation. La résolution de l'équation de la chaleur permet d'estimer la diffusivité thermique en traçant un thermogramme qui s'ajuste à la courbe des valeurs expérimentales.

1. Unité Mixte de Recherche UMR 6602 CNRS/UBP/IFMA de CLERMONT FERRAND, France.

### **II.6.2. Méthodes à sondes:**

Les méthodes du fil chaud, de la plaque chaude, du «hot disc» et du ruban chaud sont identifiées comme des méthodes à sondes. Elles ont pour objectif d'évaluer une caractéristique thermique : la conductivité thermique pour le fil chaud (Norme ISO 8894), l'effusivité thermique pour le plan chaud, etc, à partir de l'élévation en température de la sonde chaude. Elles consistent donc, à placer une sonde chauffante entre les surfaces de deux échantillons du matériau à caractériser, d'épaisseurs supposées infinies et initialement isothermes, à l'exemple de la méthode du fil chaud que montre la figure]; ensuite on applique un flux de chaleur constant à la sonde chauffante et on relève l'évolution de la température de cette sonde. On considère que le transfert de chaleur autour de la sonde et au centre de l'échantillon est radial.

Par une modélisation de l'évolution de la température à ce lieu, on estime la caractéristique thermique du matériau. Les méthodes à sonde sont très adaptées à des matériaux très diffusifs.



**Figure (II.12) : Schéma de principe de la méthode du fil chaud      Photo (I.1) : CT-mètre**

Le CT-mètre (figure 1.11) est un appareillage développé par le CSTB Grenoble (Hébert Sallée) qui utilise ce principe de mesure conformément à la norme NF EN 99315 et donne directement la valeur de la conductivité thermique avec une précision de 5% au maximum.

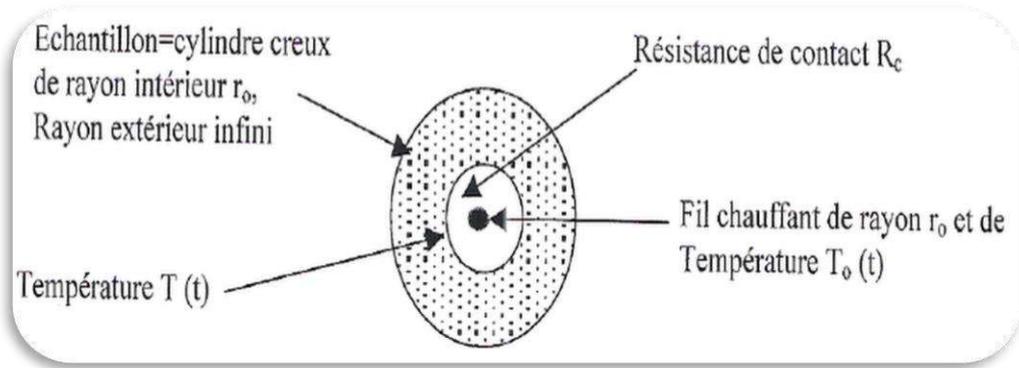


Figure (II.13) : Schéma des transferts autour du fil chaud

### II.6.3. Méthode de la plaque chaude gardée :

Elle est conforme aux normes ISO 8302 et NF EN19462 . La plaque chaude produisant par effet Joule une puissance de chauffe  $\phi_0$  uniforme et constante est placée entre deux échantillons identiques du matériau à tester (figure 1.12 ). Les faces extérieures des échantillons sont chacune en contact avec une plaque de refroidissement en matériau assez conducteur et maintenue à température inférieure à celle de la plaque chaude. Une température de garde  $\phi_1$  est entretenue autour de la plaque chaude pour garantir un transfert unidirectionnel vers les matériaux à mesurer. Les thermocouples placés sur les deux faces des échantillons détectent les variations de température  $\Delta T_{\downarrow}$  et  $\Delta T_{\uparrow}$  et la conductivité thermique peut être estimée par l'équation 1.11 pour un volume donné  $e \times S$  de la plaque chauffante.

$$\lambda = e\phi_0 S (\Delta T_{\downarrow} + \Delta T_{\uparrow}) \quad (1.11)$$

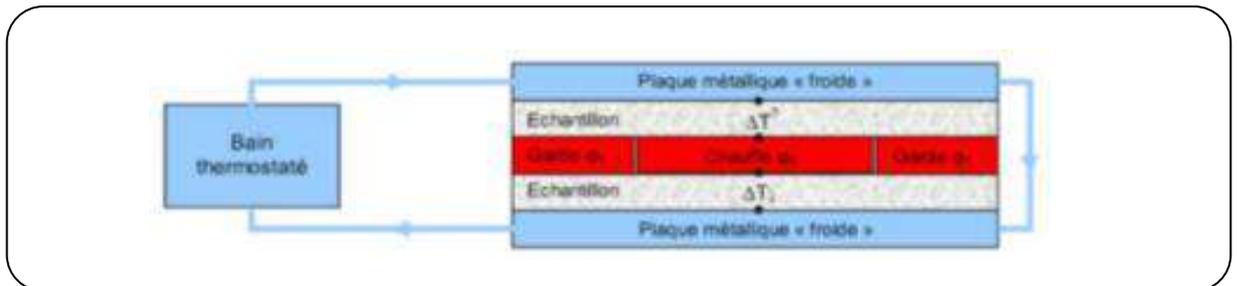


Figure (II.14) : Schéma de principe de la méthode de la plaque chaude gardée

Cette méthode qui donne une précision de la mesure assez bonne ne s'applique qu'aux isolants dont on peut négliger les résistances de contact par rapport à la résistance du matériau.

---

## B) quelques données sur les matériaux locaux utilisés

### II.1. Introduction :

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

### II.2. Région d'étude :

La région de Ouargla est située au nord-Est du Sahara septentrional. Elle s'étend sur une superficie de 163,233 Km<sup>2</sup> (khadraoui,2006). Les communes qui font partie de la région de Ouargla sont : **Ouargla, N'goussa, Rouissat, Ain El Beida, Sidi Khouiled**(D.P.A.T, 2012). Les formations géologiques de la région de Ouargla contiennent, en plus de la nappe superficielle, deux grands ensembles aquifères du Sahara septentrional, qui sont le continental intercalaire (CT) et le complexe terminal (CT) (khadraoui, 2006; Idder, 2007).

Le climat du pays de Ouargla est un climat particulièrement contrasté malgré la latitude relativement septentrionale. L'aridité s'exprime non seulement par la température élevée en été et par la faiblesse des précipitations. Mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air (Rouvillois-Brigol, 1975).

Les sols de la zone aride de l'Algérie présentent une grande hétérogénéité et ils se composent essentiellement des sols minéraux bruts, des sols halomorphes et des sols hydromorphes (Halitim, 1988). La région de Ouargla se caractérise par des sols légers, à prédominance sableuse et une structure particulière. Ils sont caractérisés par un faible taux de matière organique, un pH alcalin, une bonne aération et une forte salinité. On distingue trois types de sol qui sont les sols salsodiques, sols hydromorphes et sols minéral brut (Halilat,1993)

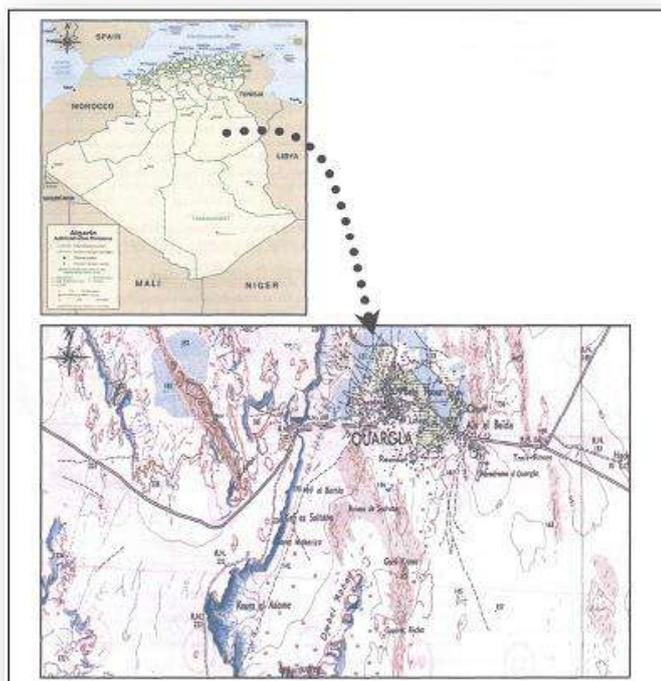


Figure (II.15) : Carte géographique de la cuvette D'ouargla (En carta, 2007)

La géologie de la région se caractérise par des formations sédimentaires qui se sont accumulées dans la région avec le temps, notamment le continental intercalaire qui est constitué d'une série gréseuse dont l'épaisseur atteint les 200m. Cette série détritique forme un important aquifère de 400 m, reposant par un substratum correspondant à la série imperméable du cénomanien anhydrique et argileux (A.N.R.H, 2008). Le Quaternaire, se caractérise par des affleurements d'alluvions récents et des dépôts sableux (A.N.R.H. 2008).

### II.3. Les matériaux de construction locaux :

\*Au paravent dans cette région ont utilisé :

#### a.La Pierres :

C'est une grande pierre de dimensions variables extrait du sol de la région à une profondeur d'environ 2,5m ; qui se compose de « gypso-calcaire ». les pierres plates sont réservées au agencement horizontaux



**Photo (I.2) : Mur de pierre.**

**b. La brique crue (ou la brique de terre) :**

De la taille d'un parpaing, elle est fabriquée à partir des sols les plus argileux (le Toub) la terre mouillée, pétrie et moullée et ensuite séchée au soleil

c) le sable : argileux, il est utilisé directement comme mortier, non argileux, il entre dans la composition de certain liant.

**c. Enduit** ; fait à base de Timchemt (mélange de terre paille, l'enduit et les revêtements son grossiers

**d. Le Temchemt** : sorte de plâtre traditionnel de couleur grise ou rosé (voir chapitre 3 plus détaillé)

**e. Le plâtre** : il est produit industriellement celle TEMCHEMT ,On l'appelle communément « platra » devenue terme générique ,sa prise est très rapide

**f. La chaux :**

La chaux est utilisé comme liant dans la construction (pierre ou brique de terre) comme enduit et comme peinture, la chaux est obtenue à partir de carbonates extraits de chebka.

**g. Le palmier :**

Cet arbre est entièrement utilisable mais il n'est mis en œuvre qu'après sa mort afin de ne pas détruire le palmier étant la recharge principale de la ville ,la construction emploie le stipe (tronc ), la palme et la gaine qui est la base de la nervure de palme

**\*Le stipe (tronc) :**

il est utilisé entier pour réaliser de Gross poutre , il peut être scité, dans le sens de la longueur , en 2.3 ou 4 parties. Qui donneront des poutres présentant une face plante de 20 à 30 centimètres de coté sur 2 à 5m de long ( pour le plafond )

**\*palme :( touffa)**

elle est d'abord séchée pour être utilisé entière ou dépouillée et réduite à la nervure

\*La gaine : de forme triangulaire et relativement résistance est le plus souvent utilisée comme appui et dans le remplissage

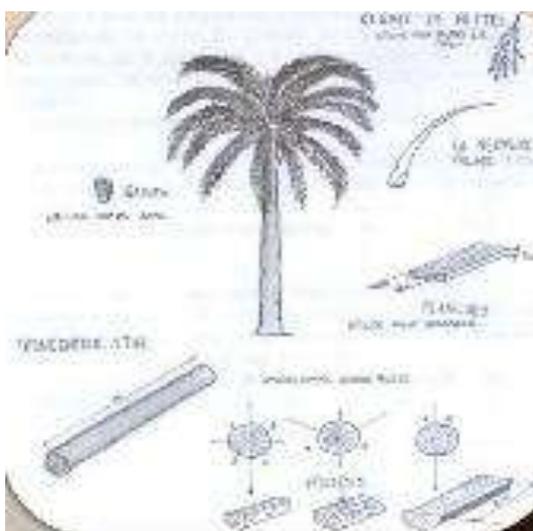


Figure (II.16) : les matériaux de constructions source palmier

## II.4. Technique de construction en pierre dans le ksar:

### II.4.1. Les éléments porteurs:

#### a. Les fondations :

La fouille pour fondation se fait sous forme d'un longitudinal, le sable mou est extrait et enlevé jusqu'à l'apparition du bon sol. La pose des fondations soit pour les murs à doubles façades ou à façade unique ou pour les piliers se fait par l'intermédiaire des pierres relativement grandes de taille, qui sont enfuis dans le mortier de chaux rugueux avec agitation. Les prières sont posées avec précaution et de manière intersectée pour former un bloc homogène sur lequel se répartissent les poids de façon régulière.



Figure (II.17) : Les fondations traditionnelles.

### b. Mur de pierre :

Ils sont composés de moellons plus ou moins gros qui forment une maçonnerie irrégulière, Différentes façons de mettre des pierres dans différentes tailles et dimensions et l'épaisseur des murs, il y a des murs d'une épaisseur de 15 cm, 30 cm, 40 cm et basé sur le principe d'une seule et est l'interdépendance entre les pierres. Pouvant atteindre 1 m à la base pour se réduire sur la terrasse à une acrotère de 15 cm comme le mur de la figure suivante

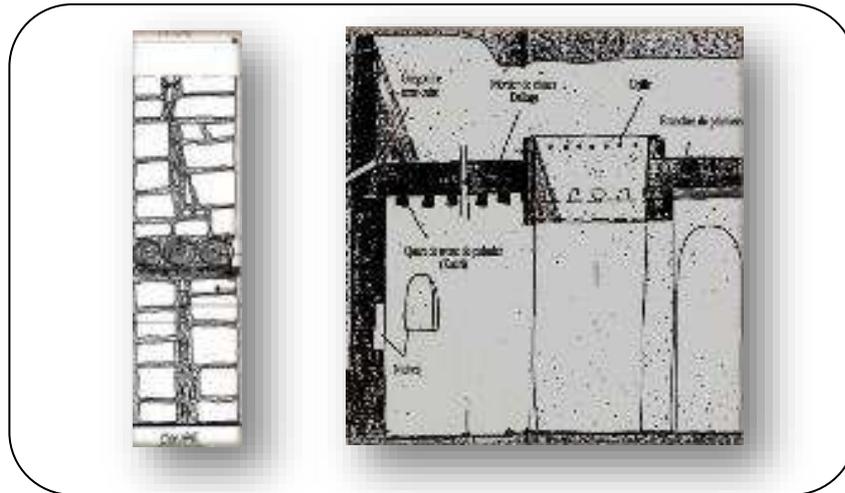


Figure (II.18) : Mur de pierre.

### c. Les piliers en pierre :

Les piliers constituent un élément essentiel dans la structure de la construction du Ksar, nous les trouvons au centre de la structure de l'habitation, elles forment ensemble des têtes de formes carrées où se rencontrent les solives principales en bois qui supportent les plafonds. Les poids se répartissent principe ont été érigés les piliers supportant les arcades et les voutes dans les mosquées. Ils sont de coupe rectangulaire ou circulaire, la moyenne des ses dimensions est des 50 cm environ ils sont construits à l'aide de pierres.

### d. Les poutres et linteaux :

On utilise de grosse pièces de bois taillées dans le stipe du palmier leur extrémités sont noyées dans le Temchemt ,ces poutre qui supporte des murs , et souvent une partie des infrastructure de l'étage sont placées le cœur en dessous



**Photo (I.2) : poutre en tronc de palmier**

**e. Arcs :**

Ils sont réalisés en moellons posés en « assises » successives, face à face suivant deux techniques : l'arc peut être défini par quelques étais durant le temps de la prise du timchemt ou au moyen d'un coffrage perdu.



**Photo (I.3) : Les piliers en pierre.**

**f. Mortier entre les pierres :**

Mortier de l'utilisateur entre les pierres est Timchemt.

**g. Poutres ouvertures :**

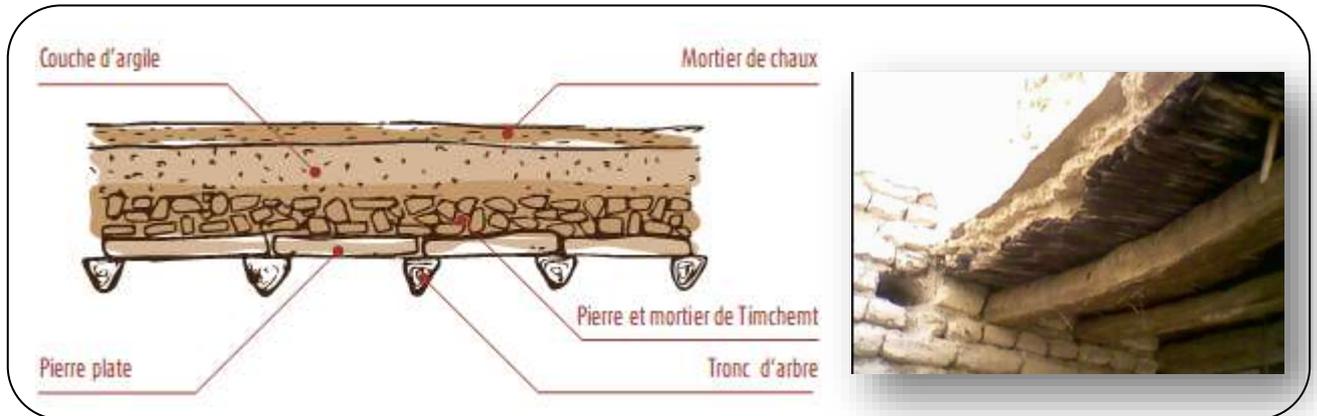
Les poutres d'ouvertures des fenêtres et des portes dans des bâtiments traditionnels sont généralement des troncs de palmier.

**II.4.2. Les éléments de couverture :**

**a. Plafond traditionnel :**

La structure porteuse des planchers est constituée de solives en stipe de palmier scié dans la longueur, ces solives sont espacées de 30 cm en moyen, occasionnellement, on utilise des rondins ou des troncs d'autres arbres mais la technique reste la même.

Les pierres sont utilisées également dans la construction des plafonds et des voutes, elle prend parfois une forme plate étendue, et se manière alignée et proche, fixées par le liant qui est en plâtre pour la plupart des fois, et parfois en mortier de chaux.



**Figure (II.19) : a. Plancher en troncs d'arbres et pierres plates b. Plancher en troncs de palmiers et voûtains dans une habitation du ksar**

**b. Les coupoles :**

Les coupoles recouvrent certains espaces et palier d'escalier surtout dans les palais. Celles des galeries sont portées en partie par ses murs et par deux arcs doubleaux qui s'accrochent aux colonnes et aux murs de la galerie. Les coupoles des k'bous ont la même configuration que celles de la galerie avec des dimensions plus importantes et des hauteurs plus élevées.

On les réalise en moellons et Temchemt certains sont coffrés avec un croisé de nervure de palme qui prend appui sur les piliers



**Photo (I.4) : Coupole de forme carrée dans une habitation traditionnelle**

**c. Les voutes :**

La construction des voutes relève de la même technique que celle des arcs, pierre montées au temchemt sur coffrage perdu de nervures de palme, ce sont des voutes de faible portées,

souvent moins d'un mètre, si elles sont renforcées par des arcs doubleaux, on peut dépasser légèrement cette limite, les berceaux sont en général un peu écrasés, en forme d'anse de panier.

#### d. Les escaliers :

Ils sont construits, soit sur un blocage de pierres, soit sur deux murettes, soit sur un arc, soit encore sur des poutres de palmier. la maçonnerie est formée de moellons liés au Temchemt additionnel ou non de sable, la cohésion et l'équilibre de l'ensemble sont assurés par la bonne résistance et la grande adhérence du Temchemt, les marches finies sont brutes d'enduit ou badigeonnées



Photo (I.5) : Utilisation de troncs d'arbres pour supporter l'escalier

#### II.5.Conclusion :

L'étude menée dans ce chapitre vise à exposer :

Des généralités et le principe de calcul de transfert thermique (comme la conductivité, la résistance...etc) d'un mur ou d'une paroi opaque.

Les méthodes pratiques de mesurer de la conductivité thermique par plusieurs méthodes. La méthode dite "in stationnaire" est la méthode le plus simple est le plus adapté. Dans notre étude nous avons utilisées le CT-mètre pour obtenir les caractéristiques thermiques des différents types de briques.

D'après la conclusion de l'étude de ( PFE Hkkoum Soumia 2015) on peut dire que la ville d'Ouargla consomme une quantité énorme en termes d'énergie électrique, destiné vers la climatisation surtout dans la période estival.

- Pour consomme basse d'énergie, utiliser l'architecture bioclimatique des bâtiments, qui Permet de réaliser des constructions intégrées à leur environnement et optimales pour les

# Chapitre III

## Caractérisation des Matériaux Utilisés



## A) Quelques données sur les matériaux utilisés

### III.1.Introduction :

La brique de notre étude est un mélange composé de temchemt, les liant ( ciment ou la chaux) et d'eau de gâchage. La qualité de cette brique est, sans doute, liée aux caractéristiques de ses constituants. Dans ce chapitre nous allons présenter les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans la composition des briques.

### I.Les matériaux utilise :

#### III.1.le gypse et les encroutements gypseux :

Le sulfate de calcium existe naturellement sous deux formes sable :

- Hydratée avec deux molécules d'eau par molécule de sulfate c'est le **gypse** ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ce qui correspond à environ 79% de Sulfate de calcium associé à 20.93%d'eau.
- Anhydre ,appelée anhydrite naturelle ( $\text{CaSO}_4$ )

Chacune de ces formes se présente sous de multiple aspects, liés à leurs condition de formation et leur purté

Entre ces deux états stable , il existe une phase transitoire instable , obtenue facilement de facon artificielle ,ce que l'on appelle le semi hydrate de calcium ( $(\text{CaSO}_4 \cdot 0.5 \text{H}_2\text{O})$ )

#### III.1.1.Formation du gypse:

Le gypse est une roche sédimentaire évaporitique. Il se forme au niveau des lagunes et parfois des lacs salés des régions semi-arides (ex : Lacs du salar d'Uyuni en Bolivie). Dans les deux cas, de l'eau salée se retrouve piégée temporairement sans alimentation en eau douce. L'eau va alors s'évaporer rapidement. Ceci entraîne le dépôt des sels ( $\text{Ca}^{++}$ , sulfates) qui étaient dissous dans l'eau .On le classe donc, d'un point de vue chimique, dans les sels.

- Le sulfate de calcium ( $\text{CaSO}_4$ ) s'hydrate et cristalise dans le système monoclinique pour former le gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).cette hydratation ( fixation d'eau ) s'accompagne d'une augmentation de volume et s'opère selon la relation suivante :



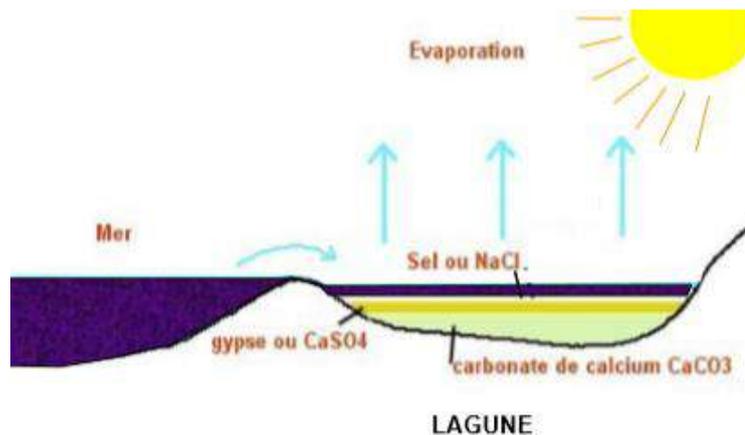


Figure (III.1) : Mécanisme de formation de gypse au milieu marin lagunaire

### III.1.2. Répartition des sols gypseux :

#### III.1.2.1. Dans le monde :

Les sols gypseux sont largement répandus dans les zones arides et semi arides, leur surface totale est estimée de 707.000 km<sup>2</sup> (Boyadgiev, 1985). Ils sont localisés dans les régions des déserts, avec une moyenne des précipitations annuelles inférieure à 250 mm (Watson, 1983, 1985).

Ils se rencontrent au Nord d'Afrique, Sud-Ouest de l'Asie, la partie méditerranéenne de l'Europe (Van Alphan et Rios Romero, 1971), l'Argentine, le Chili, et l'Australie (F.A.O., 1990).

L'étendue des sols gypseux à travers le monde est difficile à limiter (Herrero et Porta, 2000). Ces sols occupent plus de 200 millions d'hectares (F.A.O., 1990; Nettleton, 1991; Eswaren et Gong, 1991; Mashali, 1993; 1996, Boyadgiev et Verhey, 1996). Ces résultats sont loin d'être précis (Jafarzadeh et Zinc, 2000). Car seulement des petites surfaces de sols gypseux ont été étudiées (Herrero et Porta, 2000).

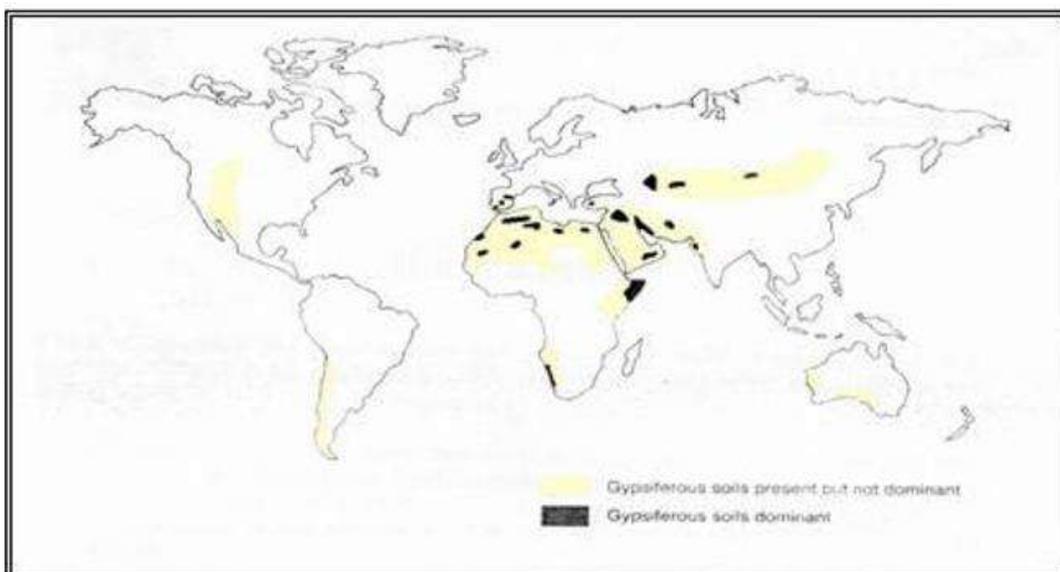


Figure (III.2): Distribution des sols gypseux dans le monde (F.A.O., 1993).

### III.1.2.2.En Algérie :

En Algérie, les sols gypseux occupent une superficie de 7966,3 Km<sup>2</sup> et d'un pourcentage de 3,3% de la surface totale de pays, et 12,2% de la superficie totale des sols gypseux du monde(F.A.O,1990).

Globalement, la présence des sols gypseux en Algérie est signalée dans les régions suivantes : Oran, Mostaganem, Saida, Tiaret, Ksar-Echellala, Djelfa, Msila, les Bordures des chotts et des Zahrez, Boussaâda, Hodna, Mechria, El-Bayad, Khenchela, Batna, Adrar, Ouargla, Ain sefra, Laghouat, Biskra, El-Oued et Touggourt(Ouamer,2008).

### III.1.2.3.Dans la région de Ouargla :

Les sols gypseux se trouvent dans la partie Est (aux bords des chotts et des sebkhas) et sud (plateau) de la cuvette de Ouargla. Ils s'étendent sur une superficie d'environ 4578 ha, ce qui représente 19 % de la superficie de la cuvette (Hamdi-Aïssa et Girard, 2000).

Les croûtes gypseuses sont très fréquentes dans la région de Bour El Haïcha, et elles ont été observées aussi à N'Goussa et El-Bour dans la même région par Youcef (2016) et Youcef et al. (2014).

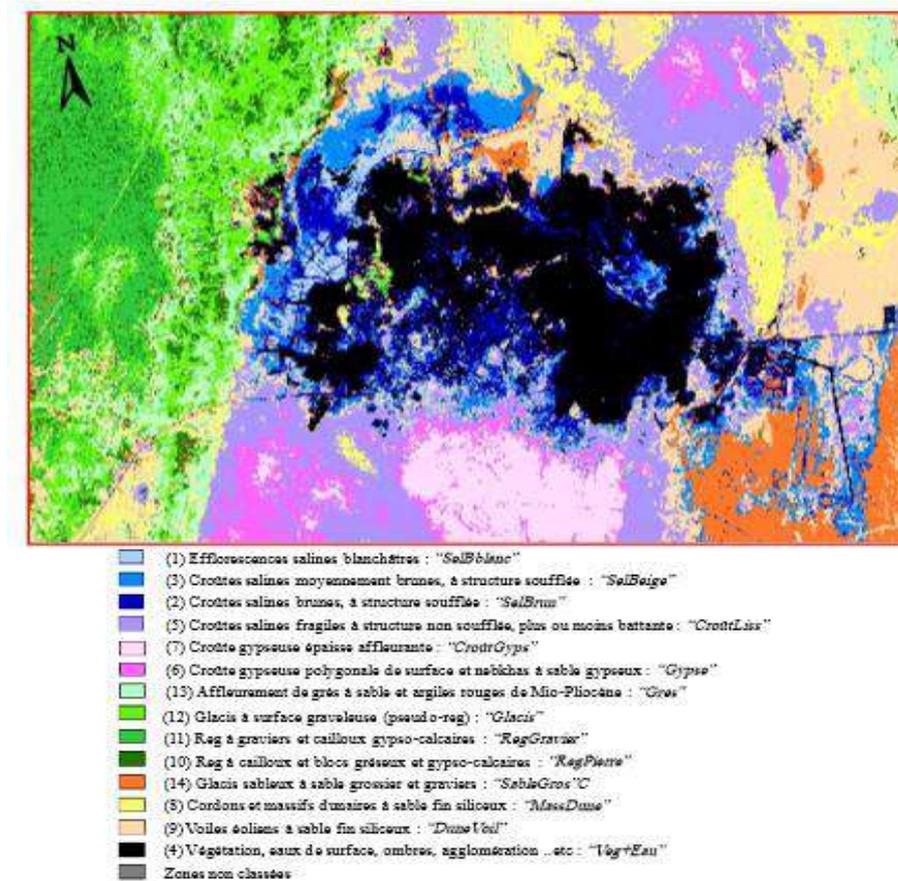


Figure (III.3) : Carte des états de surface des sols de la cuvette de Ouargla (Hamdi-Aïssa, 2001).

**III.1.3. Les principales propriétés du gypse :**

Le gypse est constitué essentiellement de Sulfate de Calcium à deux molécules d'eau de formules ( $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ) ce qui correspond à environ 79% de Sulfate de calcium associé à 20.93% d'eau. Le gypse commercial cependant, atteint rarement cette composition théorique. Non seulement il contient fréquemment des impuretés de diverses sortes telles que (calcaire, argile, sable, silice, Magnésie,..etc.), mais sa teneur en eau peut également varier s'il a été chauffé par des rayons du soleil tropical.

La norme Américaine ASTM spécifie qu'aucun matériau ne peut être considéré comme gypse s'il contient moins 64,5% en poids de ( $\text{CaSO}_4, \text{H}_2\text{O}$ ). Quand il est suffisamment hydraté pour le gypse est incolore ou blanc, mais les impuretés changent sa couleur en gris, brun, rouge, ou parfois rose).

Le gypse est un peu soluble dans l'eau, sa solubilité passe par un maximum de 2.54 g/l à 35°C, il est soluble dans l'acide Chlorhydrate HCl dilué, aux températures ambiantes il est relativement insoluble dans l'acide sulfurique  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Les Chlorures de Sodium NaCl et de Magnésium MgCl augmentent considérablement sa solubilité dans l'eau. Mis à part sa relative instabilité vis-à-vis de l'eau, c'est une substance inerte résistante aux agents chimiques précoces.

Des essais de laboratoire ont montré qu'à 50°C en atmosphère sèche, le gypse se transforme relativement vite, en semi-hydrate. En deux ans un morceau d'un pouce d'épaisseur fut complètement transformé en semi-hydrate.

Portés à des températures comprises entre 110et150°Cà 160°C,il perd environ 3/4de son eau de cristallisation.

**III.1.4.Les différents types de gypse:****III.1.4.1.Le gypse naturel:**

Le gypse appartient à la famille des évaporites qui sont les roches sédimentaires les plus solubles dans l'eau. On considère généralement que le gypse résulte de l'évaporation de l'eau des lagunes marines sursaturées. Les gisements les plus importants datent de l'ère secondaire ou tertiaire. Le gypse est présent en quantités relativement importantes dans la nature.

Le gypse cristallise dans le système monoclinique. À l'échelle moléculaire, il présente une structure feuilletée dans laquelle alternent une couche d'eau et deux couches de sulfate de calcium. Les principales variétés que l'on rencontre dans la nature sont :

- **Sous forme macro-cristallisée** : le gypse lamellaire, le fer de lance, le gypse lenticulaire, la rose des sables (photo.III.1).

- **Sous forme micro-cristallisée** : l'albâtre, le gypse fibreux, le gypse albâtre (figureI.3), le gypse éolien ,ou bien des sélénite (photo.III.1)

Le gypse exploité dans l'industrie plâtrière est une roche micro-cristallisée à grains généralement fins (gypse saccharoïde). Il est rarement pur et se trouve mélangé

à des impuretés en nombre et proportion variables d'une carrière à l'autre : argile, silice, dolomie, Anhydrite, etc



(a) :Rose des sables



(b) : Albâtre



(d) : Sélénite

**Photo (III.1) : Les différents types de gypse**

#### III.1.4.2.Le gypse de synthèse :

Il est le résultat d'une réaction chimique industrielle, principalement à partir de la fabrication des acides phosphorique, borique, fluorhydrique, citrique, tartrique et autres; à partir de l'oxyde de titane et de la désulfuration des fumées dans les centrales thermiques.

#### III.1.5.Timchent :

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

##### III.1.5.1.Définition de Timchent (roche gypse) :

est une roche sédimentaire évaporitique du gypse, Provenant des mêmes roches sources gypso-calcaire situés dans les zone a climat aride et semi-aride il est constitué en majeure partie du sulfate de calcium semi hydraté (  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$  ) selon la réaction :



- il est Utilisé comme un liant hydraulique pour lier les murs et les planchers sont également utilisés dans les carreaux, le décor sculpté, enduit intérieur et extérieur ,Il prend de couleur grise après la cuisson au four traditionnel pour une période allant de (4 à 5 h) jusqu'à plusieurs jours avant son utilisation avec dans le processus de construction.

### III.1.5.2.Période d'apparition de temchemt :

En Algérie, l'apparition de temchemt remonte au 10ème siècle (fondation de la pentapôle du M'Zab). Son usage est contemporain.

### III.1.5.3.Caractéristique de temchemt :

- c'est un matériau de construction non combustible qui ralenti de façon importante la propagation du feu assurant un haut niveau de protection passive contre les incendies et un bon isolant thermique et acoustique.
- La déshydratation du gypse est la base de la fabrication des temchemt. Il est connu que suivant les conditions dans lesquelles s'opèrent cette déshydratation (le degré de température, la durée de cuisson), les caractéristiques des Temchemt obtenus seront différentes.
- Le timchent est séparé des résidus de sa fabrication. Par rapport à la chaux, la calcination du temchemt consomme 5 à 6 fois moins de bois, combustible rare dans certaines régions dont celle du OUARGLA et M'Zab.
- Le temps de prise de Temchemt est très rapide : ½ à 2 jours.
- Le Temchemt est en voie de disparition car beaucoup de gisements de gypse sont aujourd'hui épuisés. Le plâtre produit industriellement le remplace progressivement. Ce dernier est communément appelé "PLATNA"; dénomination générique inscrite sur les sacs. Du point de vue de ses qualités physico-chimique, il équivaut au timchent. Sa prise est aussi rapide.
- l'utilisation du plâtre industriel en remplacement du Temchemt est jugée satisfaisante du point de vue de la conservation et du confort thermique. Sur le plan esthétique, les aspects de finition offerts par les nouveaux outils diffèrent des textures obtenues traditionnellement mais sont acceptables sur le bâti ancien.

III.1.5.4.Fabrication de Temchemt :

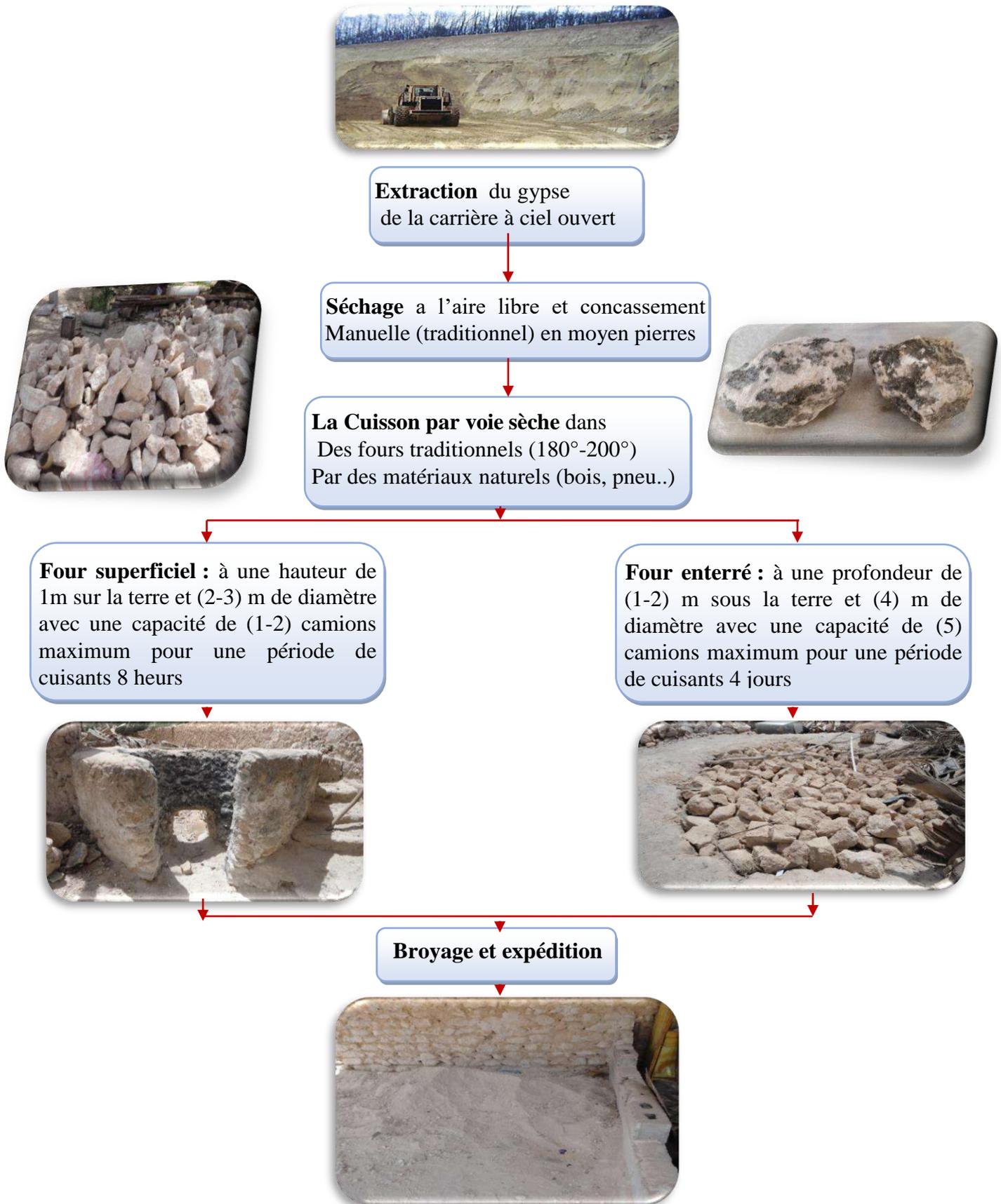


Figure (III.4) Diagramme de Production de Temchemt

**III.1.5.6. Pathologie de vieillissement :**

- **Liée au matériau et aux conditions climatiques** : En Algérie, les principaux facteurs d'altération de timchemt cités, sont :
- les infiltrations d'eau de pluie,
- les remontées capillaires dans les maçonneries, la condensation.
- De mauvaises conditions de mise en œuvre de Temchemt peuvent également être la cause de dégradations diverses.
- Les effets observés sont le manque ou la perte d'adhérence, les gonflements, le faïençage, le farinage, les taches brunâtres ou jaunâtres. De manière générale, le Temchemt est une technique essentiellement d'usage dans des régions peu humides et soumises à de très faibles précipitations.

**III.2- Stabilisation :****\*- Définition :**

La stabilisation est un ensemble de procédés physiques ou chimiques visant à améliorer les caractéristiques d'une brique terre, en parti au lieu sa résistante portante, sa sensibilité à l'eau et sa durabilité, elle doit permettre :

- De réduire le volume des vides entre les particules solides. - De colmater les vides que l'on peut supprimer. - Créer des liens ou d'améliorer les liaisons existant entre les particules (résistances mécanique). L'amélioration de ces caractéristiques doit garder un caractère irréversible

**III.2.1. Ajout de ciment :**

La stabilisation au ciment a été développée dès le début du XX<sup>e</sup> siècle dans les Travaux publics pour la construction de routes et de pistes d'aérodromes. Ce n'est que plus Récemment, soit après la Seconde Guerre Mondiale, qu'elle a été appliquée aux travaux de Bâtiment. Les techniques sont aujourd'hui totalement maîtrisées.

**A- Mécanismes :**

Ajouté à la terre, le ciment hydraté réagit de deux façons : d'une part avec lui Même en formant un mortier de ciment pur hydraté et d'autre part avec la fraction Sableuse selon le mécanisme classique de formation d'un mortier Mais, le ciment réagit Également avec les argiles selon trois phases :

- l'hydratation produit des gels de ciment à la surface ;
- progression de l'hydratation les gels de ciment pénétrant en profondeur ;
- interpénétration des gels de ciment

### B –Efficacité et dosage :

Les dosages dépendent de la texture et de la structure de la terre ainsi que du mode de production du matériau mais l'on considère qu'il faut au moins 6% de ciment pour obtenir de bons résultats. Au-delà de 10 %, la stabilisation au ciment n'est économiquement plus rentable

#### III.2.1.1.Définition du ciment :

Le ciment est un produit moulu du refroidissement du clinker qui contient un mélange de silicates et d'aluminates de calcium porté à 1450-1550 C° , température de fusion . Le ciment usuel est aussi appelé liant hydraulique, car il a la propriété de s'hydrater et durcir en présence d'eau, et par ce que cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium



photo(III.2) :poudre de ciment courant

#### I.2.1.2.Principe de fabrication des ciments courants :

Le principe de la fabrication du ciment est le suivant : calcaires et argiles sont extraits des carrières, puis concassés, homogénéisés, portés à haute température (1450 °C) dans un four. Le produit obtenu après refroidissement rapide (la trempe) est le clinker.

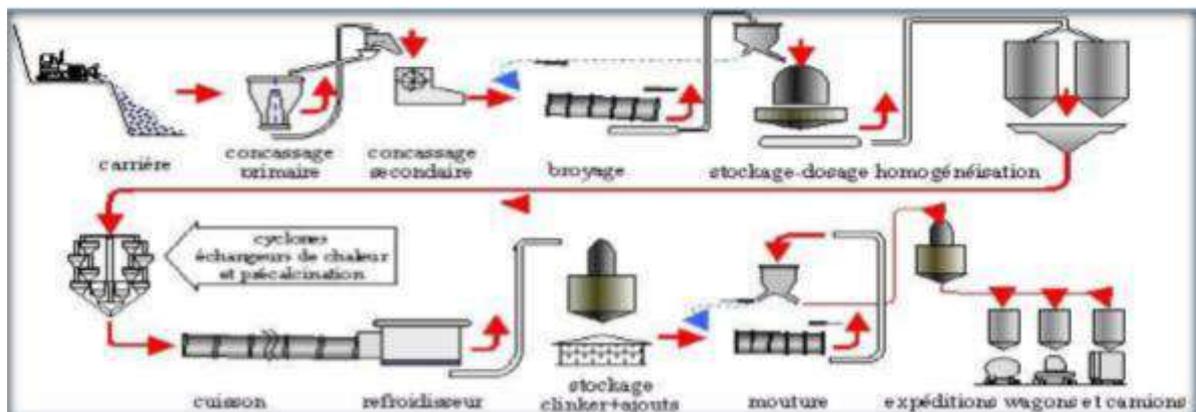


Figure (III.5): Fabrication du ciment.

#### III.2.1.3.Les Constituants du ciment:

**a.Clinker** C'est un produit obtenu par cuisson jusqu'à fusion partielle (clinkirisation) du mélange calcaire + argile, dosé et homogénéisé et comprenant principalement de la chaux (CaO)

de la silice ( $\text{SiO}_2$ ) et de l'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Le mélange est en général constitué à l'aide de produits naturels de carrière (calcaire, argile, marne...). C'est le clinker qui, par broyage,

En présence d'un peu de sulfate de chaux (gypse) jouant le rôle de régulateur, donne des Portland. Les éléments simples ( $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) se combinent pour donner les constituants minéraux suivants (Figure (III.6)).

- Silicate tricalcique ( $\text{C}_3\text{S}$ ) :  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  (Alite).
- Silicate bicalcique ( $\text{C}_2\text{S}$ ) :  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  (Bélite).
- Aluminate tricalcique ( $\text{C}_3\text{A}$ ) :  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ .
- Ferroaluminate calcique ( $\text{C}_4\text{AF}$ ) :  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  (Célite).

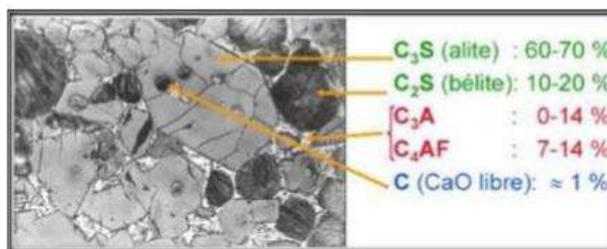


Figure (III.6): Microphotographie d'un clinker.

#### b. Le gypse ( $\text{CaSO}_4$ ) :

L'addition de gypse au clinker a pour but de régulariser la prise du ciment, notamment de ceux qui contiennent des proportions importantes d'aluminate tricalcique. Grâce à ce gypse, la prise du ciment, c'est-à-dire le début de son durcissement, s'effectue au plus tôt une demi-heure après le début de l'hydratation. Sans gypse, la prise serait irrégulière et pourrait intervenir trop rapidement

#### III.2.1.4. Classification des ciments courants :

Selon que des constituants, autres que le gypse, sont ou non ajoutés au clinker lors des opérations de fabrication, on obtient les différents types de ciments définis par la norme NF EN 197 1.

Le tableau (I.2) ci-dessous donne la liste des différents types des ciments courants normalisés avec indication, pour chacun deux, de leur désignation propre et des pourcentages respectifs de constituants qu'ils comportent.

• **Tableau (I.2):les différents types de ciment courants**

désignations	Types de ciments	Teneur en clinker	Teneur en% de l'un de constituants suivant : laitier-pouzzolanes-cendres-calcaires schistes-fumées de silice	Teneur en constituants secondaires (filler)
C P A- CEM I	Ciment portland	95à100%		0 à 5%
C PJ-CEM II/A CPI-CEMII/B	Ciment portland Composé	80à 94% 65 à79%	-de 6à20% de l'un quelconque des constituants, sauf dans les cas ou les constituant est des fumées de silice auquel cas la proportion est limitée à 10% -de 21à35%avec les mêmes restrictions que ci-dessus	0à5% 0à5%
CHF-CEM III/A CHF-CEM III/B CLK-CEMIII/C	Ciment de haut-fourneau	35à64% 20à34% 5à19%	-35à65% de laitier de haute-fourneau -66à80% de laitier de haut fourneau -81 à95% de laitier de hautfourneau	0à5% 0 à5% 0à5%
CPZ-CEMIV/A CPZ-CEMIV/B	ciment pouzzolanique	65 à90% 45à64%	-10à35%de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces dernières étant limitées à10%. - 36à55%comme ci-dessus	0à5% 0à5%
CLC-CEM V/A CLC-CEM V/B	Ciment au laitier et aux cendres	40à64% 20à39%	-18à30% de laitier de hautfourneau et 18 à30% de cendres siliceuses ou de pouzzolanes. -31 à50%de chacun des 2 constituants comme ci-dessus	0à5% 0à5%

En plus des ciments courants cités précédemment, il existe des ciments Courants à caractéristiques complémentaires comme le cas des ciments résistant aux sulfates (CRS), ciments pour travaux à la mer, ciments pour travaux au contact d'eaux très pures.....

**III.2.1.5. Propriétés des ciments :****a. Caractéristique physiques :****a.1. Comportement physico –chimique de la pâte :**

Le ciment est essentiellement constitué de :

- Silicate tricalcique : C3S
- Silicate bicalcique : C2S
- Aluminate tricalcique- : C3A
- Aluminoferrite tétracalcique: C4AF

Une fois la poudre de ciment mélangée à l'eau, les réactions d'hydratation se développent, il se produit alors une cristallisation qui aboutit à un nouveau système de constituants hydratés stables avec formation de cristaux en aiguilles plus ou moins enchevêtrées produisant la prise. Cette réaction chimique accompagne d'un dégagement de chaleur plus ou moins important selon les ciments et la rapidité de prise.

**a.2. Prise :**

La prise du ciment c'est-à-dire le passage de la pâte de ciment (ciment + eau) d'une consistance fluide à un état solide est une phase essentielle dans la fabrication du béton ou mortier puisqu'elle donne sa cohésion au matériau. La norme spécifie, suivant les ciments, un temps de prise minimal de : 1h30 pour les ciments des classes 32,5 et 32.5R. 1h pour les ciments des classes 42,5-42,5R-52,5-52,5R. D'une façon générale les temps de prise sont supérieurs à ces valeurs minimales, l'ordre de grandeur étant de 2h 30 à 3h30 pour la grande majorité des ciments, ces valeurs s'entendant pour une température ambiante de 20°C.

**a.3. Durcissement :**

Une fois la prise amorcée, le phénomène d'hydratation se poursuit, c'est la période de durcissement rapide qui se poursuit pendant des mois voire des années au cours desquelles les résistances mécaniques continuent de croître. Lorsqu'on désire un durcissement rapide, on choisit des ciments de classe élevée et de préférence de classe « R » c'est-à-dire ayant la caractéristique complémentaire. « Rapide ».il est également possible d'utiliser du ciment alumineux fondu CA, qui après quelques jours a atteint la quasi-totalité de sa résistances .

**a.4. Chaleur d'hydratation :**

La dissolution des différents constituants est exothermique et, selon leurs pourcentages relatifs, le dégagement de chaleur est donc plus ou moins important, c'est le cas par exemple des ciments

riches en C3A que l'on s'intéresse à les temps chaud. Suivant les ciments, cette chaleur est comprise à 12 heures, approximativement, entre 65 j/g par exemple pour certains CHF-CEM III/B et 300 j/g pour certains CPA-CEM I.

**a.5.Finesse de mouture :** La finesse de mouture, également appelée finesse Blaine, exprimée en  $\text{cm}^2/\text{g}$ , représente la surface spécifique ou surface développée d'une masse de 1kg de ciment. Elle est, d'une façon générale, comprise entre 3000 et 3500  $\text{cm}^2/\text{g}$ , certains ciments prompts naturels « CNP » ont un Blaine supérieure à 4500  $\text{cm}^2/\text{g}$  [3]. Plus la finesse est grande, plus les résistances sont précoces et élevées, mais par contre, plus les risques de retrait et par conséquent de fissuration ainsi que d'événement du Ciment sont accrus.

**a.6.Retrait :**

Lorsque l'élément du béton ou mortier se trouvera dans une atmosphère ayant une humidité relative inférieure à celle d'équilibre de l'élément, les dimensions de ce dernier diminuent ; c'est le retrait. On mesure le retrait sur des éprouvettes prismatiques de mortier de 16 cm de longueur et d'une section droite de 4×4cm, conservées dans l'air à une température de 20°C et une hygrométrie de 50% . La norme impose les valeurs limites, à 28 jours, de :

- 800 $\mu\text{m}/\text{m}$  pour les ciments portland CPA-CEM I ET CPJ-CEMII de classe 32,5R.
- 1000 $\mu\text{m}/\text{m}$  pour des types de ciment identique mais des classes 32,5R-42,5 et 42,5R.

**Les principaux paramètres agissant sur le retrait sont :**

□ la nature du ciment ; □ la finesse de mouture ; □ le dosage en ciment, dans le béton ; □ le dosage en eau ; □ la propreté et nature des granulats ;

**a.7.Gonflement :**

Si l'élément se trouve dans une atmosphère à humidité relative supérieure à celle d'équilibre de l'élément, les dimensions de ce dernier augmentent ; c'est le gonflement. Ce qui entraîne l'apparition des tensions internes.

**III-Ajout de la chaux :**

La stabilisation des terres à la chaux a été développée grâce aux travaux routiers dès le début du XX<sup>e</sup> siècle et suscite un intérêt croissant dans le domaine du bâtiment.

**A - Mécanismes :**

- L'absorption d'eau : dans une terre humide, la chaux vive subit une réaction d'hydratation qui s'accompagne d'un important dégagement de chaleur
- La carbonatation qui résulte d'une réaction de la chaux avec le dioxyde de carbone de l'air contenu dans la terre et qui forme des ciments carbonates ;

- La réaction pouzzolanique que l'on considère être mécanisme le plus important. Il contribue à une dissolution des minéraux argileux en milieu alcalin suivi d'une création de silicates et de l'aluminium et de calcium (recombinaison de la silice et de l'alumine des minéraux argileux) qui cimente les grains entre eux .

**B - Efficacité et dosage :**

la réaction exothermique d'hydratation de la chaux contribue à assécher la terre.

Pour 2 à 3% de chaux ajoutée, on observe une diminution de la plasticité, On pratique en général des dosages en chaux de l'ordre de 6 à 12 %.

**III-La Chaux :****III-1-Définition de la chaux :**

La chaux est une matière généralement poudreuse et de couleur blanche, obtenue par décomposition thermique (pyrolyse) du calcaire. Elle est utilisée depuis l'Antiquité, notamment dans la construction.

Chimiquement, c'est un oxyde de calcium avec plus ou moins d'oxyde de magnésium mais la désignation usuelle de chaux peut englober différents états chimiques de ce produit.

**III-2-Fabrication de la chaux :****III-2-1-Préparation du calcaire :**

Avant d'être cuit, le calcaire doit être préparé. La première opération consiste à forer des trous à intervalles réguliers. Ces trous sont ensuite remplis d'explosif, puis on procède au tir de mine Une fois le tir effectué, il subsiste au pied du front de taille des pierres d'une grosseur allant de quelque centimètre à un mètre cube.

Le calcaire est déposé dans des bennes par des pelles mécaniques ou des chargeuses puis transporté vers un concasseur qui réduit sa granulométrie. Il est ensuite criblé. Il en résulte alors trois produits de granulométries différentes.

- Les 0 à 30 mm pouvant être commercialisés en l'état ou réduit en poudre pour des applications spécifiques. Ils sont destinés à être cuits dans des fours rotatifs.
- Les 30 à 60 mm pour un traitement similaire ou pour leur cuisson en Four vertical.
- Les 60 à 200 mm également pour cuisson en four vertical.

**III-2-2-Cuisson :****Combustibles :**

Il est nécessaire de porter le calcaire à une température suffisamment élevée pour le transformer en chaux vive. Pour ce faire, tout type de combustible peut être utilisé.

- Le gaz naturel (méthane), c'est le plus commode et le plus utilisé.
- Le plus ancien, le bois. Il est employé en bûches mélangées à la pierre, ou réduit en sciure, dans les fours modernes.
- Le fuel lourd et ses résidus plus épais, également pour les fours modernes. Le Charbon, qui a pleinement participé à la révolution industrielle, est mélangé au calcaire ou injecté sous forme pulvérulente. Les fours : il y a plusieurs type des fours, en détermine deux type :

**1- Four à cycles alternés :**

Ce type de four est constitué de deux cuves métalliques reliées à leurs bases par un tunnel. Le combustible est injecté au sommet d'une cuve, les gaz issus de la combustion descendent à travers la masse de calcaire, traversent le tunnel puis viennent chauffer la masse de l'autre cuve.

A intervalles réguliers, le cycle s'inverse. Combustion dans la deuxième cuve et réchauffage de la première. Pendant l'inversion, une nouvelle charge de calcaire est introduite dans une cuve, l'équivalent en chaux en est retiré à la base.

Ces fours, de conception récente, ont des capacités de production variant de 100 à 300 tonnes par jour, voire 500 tonnes. Ils acceptent indifféremment des combustibles liquides, solides ou gazeux.

**2- Four rotatif :**

Le four rotatif est assez peu employé du fait de sa forte consommation énergétique, cependant il reste indispensable pour la cuisson des petites granulométries. Il est constitué d'un tube présentant une légère pente et tournant lentement sur son axe. Le calcaire est introduit par l'orifice le plus élevé. Dans le même temps, un bruleur injecte le combustible à l'autre extrémité. La chaux est évacuée en continu par ce même côté. Ces fours acceptent également tout type de combustible et sont très souples en débit.

**III-3-Cycle de la chaux :**

Reprendre leur forme originale. Le cycle de la chaux consiste à cuire le calcaire pour former la chaux vive ( $\text{CaO}$ ). La chaux éteinte ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) peut alors être produite en ajoutant de l'eau à la chaux vive. Dans le diagramme ci-dessous, on peut remarquer que le dioxyde de carbone contenu dans Les produits dérivés du calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ) possèdent la capacité unique d'être transformés et de l'atmosphère peut alors réagir avec la chaux éteinte pour la reconvertir en calcaire. Cette réaction représente la première réaction de durcissement des mortiers historiques. Ce cycle de continuité s'appelle le cycle de la chaux :

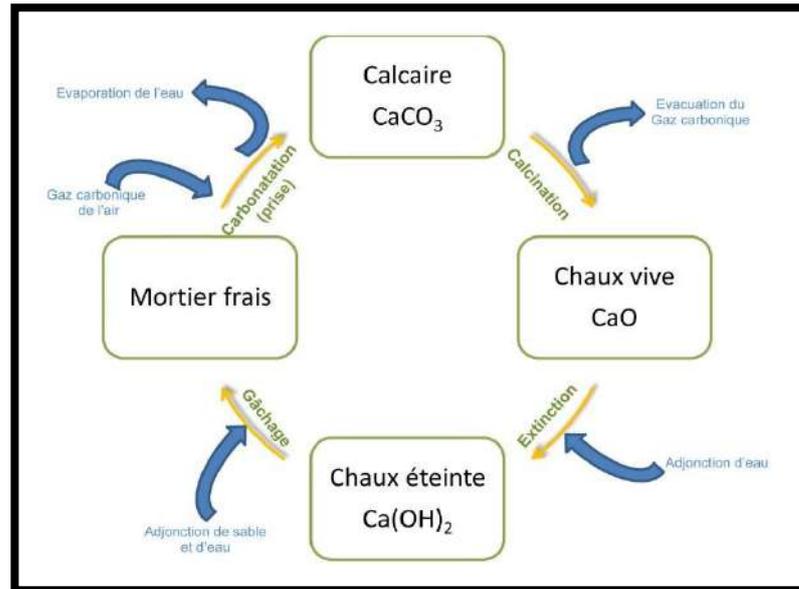


Figure (III.7): Cycle de la chaux

### III-4-Type de chaux :

Selon la nature du calcaire utilisé, la cuisson permet la fabrication de plusieurs types de chaux.

#### III-4-1-Chaux aériennes :

La chaux aérienne, que l'on trouve sous l'appellation standard CAEB (chaux aérienne éteinte pour le bâtiment) est déterminée par la norme NFP 15510. elle correspond à la chaux aérienne, très pure

##### III-4-1-1-Chaux vive :



#### III-4-2-Chaux magnésiennes :

On distingue 3 types de chaux aériennes selon le % de calcaire ou d'oxyde de Magnésium

- ❖ **Chaux calcique (CL) :**  $\text{MgO} < 5\%$  Chaux fabriquée à partir d'un calcaire  $\text{CaCO}_3$  pur ou contenant moins de 5% d'oxyde de magnésium  $\text{MgO}$ . définie par Vicat .alors de chaux calcique. CL (calcique lime).
- ❖ **Chaux magnésienne :**  $5\% < \text{MgO} < 34\%$ . Chaux fabriquée à partir d'un calcaire  $\text{CaCO}_3$  contenant de 5% à 34% d'oxyde de magnésium.
- ❖ **Chaux dolomitique (DL) :**  $34\% < \text{MgO} < 41.6\%$  Chaux contenant de l'oxyde de calcium et de 34% à 41% d'oxyde de magnésium. "DL" (Dolomite Lime)

Ces chaux contiennent  $\text{MgO}$  ou  $\text{Mg(OH)}_2$  après hydratation.

**III-4-3-Chaux hydraulique :**

Provenant d'un calcaire argileux, riche en fer, alumine et surtout en silice (provenant des marnes ou argiles) environ 15 à 20 %. A température entre 800 et 1500°C, le CaO du calcaire se combine avec ces éléments et forme des silicates de calcium, des aluminates et des Ferro-aluminates de calcium que l'on trouve sous l'appellation standard XHN (chaux X Hydraulique Naturelle) c'est déterminée par la norme NFP15310 dans la nouvelle norme on parle de chaux hydraulique naturelle .NHL ( en anglais Naturel Hydraulique--lime ).

**III.5.Conclusion :**

Dans cette étude bibliographique, on étudier les propriétés des matériaux utilisé dans notre étude , et on a choisi l'ajout de ciment ou la chaux comme une mode de stabilisation pour confectionner Une brique à base de sol temchemt

---

## B) Les Essais Sur Des Matériaux Utilisés.

### III.1. Introduction :

La connaissance des caractéristiques du sol ou de la terre à stabiliser est un facteur très important.

Des essais doivent être effectués pour :

- Vérifier l'aptitude du sol considéré à la stabilisation.
- Déterminer ce type de traitement le mieux adapté du double point de vue de l'économie (type de stabilisant pourcentage) et des performances techniques (résistances mécaniques et thermique).

La brique à base de Temchemt est un mélange composé de Temchemt, et de liant (ciment, chaux hydraulique) et d'eau de gâchage. La qualité de cette brique est, sans doute, liée aux caractéristiques de ses constituants.

### III.2. Essais d'identification à la nature de la terre (Essais au laboratoire)

Dans ce chapitre nous allons étudier les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans la composition des briques à savoir :

- La masse volumique absolue.
- La masse volumique apparente.
- Densité naturelle
- Equivalent de sable. ;
- la granulométrie ;
- limite Atterbergue
- la composition chimique ;
- bleu de méthylène
- Analyse minéralogique ;

Tous ces essais cités dans cette partie ont été réalisés au sein du laboratoire des travaux publics L.T.P.S Sud OUARGLA, selon les normes européennes (en particulier française) sauf les essais minéralogiques et thermiques a été faites au niveau de laboratoire d'universitaire de Laghouat.

Ensuite nous allons donner le principe des méthodes utilisé dans la détermination des caractéristiques thermiques et mécaniques étudiés.

### III.2.1 Les caractéristiques du Timchent (gypse traditionnel) :

Le Temchemt c'est un gypse traditionnel de couleur grise sa matière primaire d'origine est le gypse qui contient du sulfate de calcium hydraté de formule chimique  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , il appartient à la classe chimique des sulfates, et de la sous classe des hydratés sans anions, et de la famille des évaporites.

Dans le but de valoriser les matériaux locaux et leur utilisation le Temchemt utilisé dans notre recherche provient de la région d'OUARGLA dit (HAJRAT Ouargla) et il est de nature granuleuse (bloc) Provenant des mêmes roches sources gypso-calcaire, cuite au four traditionnel ( $200^\circ - 150^\circ$ ) pour une période allant de (4 à 5 h) jusqu' a des jours avant de l'utiliser avec des pierres dans le processus de construction.



photo (III.1) : Temchemt

Afin de le mieux définir les essais suivants ont été réalisés sur un échantillon broyé pour certains et en bloc pour d'autres.

#### III.2.1.1. Masses Volumiques : NFP18-558

##### a- Masses Volumiques Apparente :

- Définition :

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules. La masse volumique apparente d'un matériau pourra avoir une valeur différente suivant qu'elle sera déterminée à partir d'un matériau compacté ou non compacté.

Est donnée par la formule suivante :

$$\gamma_{\text{app}} = \frac{M_1 - M_2}{V}$$

Avec :

$\gamma_{app}$  : Masse volumique apparente.

$M_1$ : Masse de matériau.

$M_2$ : Masse de la mesure vide.

$V$ : Volume total du matériau.

- L'essai est répété 4 fois pour un volume de 1 litre et la moyenne de ces essais donne la valeur de la masse volumique apparente.

#### **b-Masses Volumiques Absolues :**

- **Définition :**

La masse volumique absolue  $\gamma_s$  est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains. Méthode de pycnomètre Cette méthode est très simple et très rapide. Toutefois sa précision est faible. Les résultats donnés par :

$$\gamma_s = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

Avec :

$\gamma_s$  : Masse volumique spécifique ;

$M$  : Masse d'échantillon

$V=V_1-V_2$  : Volume absolu.



**a : masse volumique Absolu**

**b : masse volumique Apparent**

**photo (III.2) : Essai masse volumique**

Les résultats des essais de la masse volumique apparente et la masse volumique absolu de sable sont

**Tableau III.1: Masses volumiques apparentes et spécifiques de Temchemt utilisés.**

Masse volumique	$\gamma_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> )
Gypse traditionnel (Temchemt)	1.39	2.18

### III.2.1.2. Densité naturelle : NF P 94-064

La Définition de la densité naturelle est la même que celle de la densité apparente, la première nomination est attribuée aux sols pulvérulents, la seconde au sol cohésifs

#### ❖ But de l'essai :

L'essai vise l'objectif de déterminer la masse volumique d'un sol fin par le bais de pesées hydrostatique

#### ❖ Principe d'essai :

L'essai consiste à suivre les étapes ci-dessous :

Peser un échantillon de sol cohésif et enregistrer sa masse (M1).

- Envelopper, selon un protocole expérimental particulier, l'échantillon en question par de la paraffine l'ensemble est repesé, sa masse de la paraffine est donc déduite (M1-M2) et son volume (VP) aussi, connaissant sa masse volumique
- L'échantillon paraffiné est plongé dan un volume V1d'eau pour déduire son **propre volume (V1 -V2 )**
- Le volume de l'échantillon de sol est déduit par soustraction du volume de la paraffine du volume total de l'échantillon paraffine ;  

$$V_{ech} = (V2 - V1) - VP$$
- la masse volumique de l'échantillon testé est donc :

$$\rho_n = \frac{M_1}{V_{ech}}$$

Et enfin la densité naturelle :

$$d_n = \frac{\rho_n}{\rho_w}$$



photo (III.3) : Essai densité naturelle

Le résultat de la densité est mesuré :  $P = 1.51 \text{ g/cm}^3$

Le résultat appartient à l'intervalle 1.4 à 1.8 selon lérau (2006), ce matériau est classe lâche malgré la distinction observée entre eux.

### III.2.1.3. Essai D'équivalent De Sable : NFP 18-598

#### ❖ But :

L'essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté du Temchemt, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5 mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

#### ❖ Exécution de l'essai :

La solution lavant ayant été siphonnée dans l'éprouvette cylindrique, jusqu'au trait repère inférieur, la prise d'essai humide, correspondant à une masse sèche de  $120 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$  de matériau, est versée soigneusement à l'aide de l'entonnoir dans l'éprouvette posée verticalement. Pendant  $10 \text{ min} \pm 10 \text{ s}$  ; Agitation de l'éprouvette ; Lavage Laisser reposer pendant  $20 \text{ min} \pm 10 \text{ s}$ .

#### ❖ Expression des résultats :

La figure III.1 montre schématiquement, les dimensions à considérer dans l'essai de l'équivalent de sable

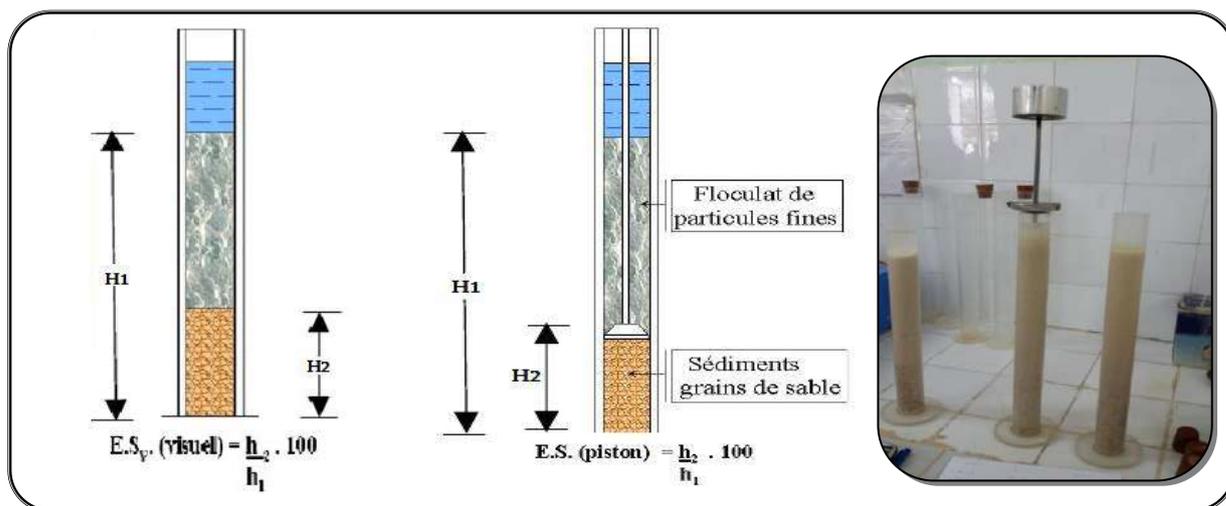


Figure (III.1) : Définition de l'équivalent de sable

On mesure les éléments suivants :

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

-h2 : sable propre seulement.

Tableau III.2 : expose les résultats de l'équivalent de sable obtenus et la qualité correspondante respective de matériau

		ES	Limite de valeur	Observation
<b>Temchemt</b>	<b>ESV %</b>	38,80	$E.S.V \leq 60$	<b>Donc sol non plastique</b>
	<b>ESP %</b>	37.14	$E.S.P \leq 60$	

- Suivant la norme le Temchemt est un Sable argileux, risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité ou vérification plus précise de la nature des fines par un essai au bleu de Méthylène.

#### III.2.1.4. Analyse granulométrique :

##### ❖ Méthode par tamisage à sec après lavage : NF 94-056

L'analyse granulométrique joue un rôle déterminant dans la composition du mélange. En effet, elle permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 63 mm, à l'exclusion des fillers (sédimentation).

**❖ But de l'essai :**

Le but de l'analyse granulométrique est d'étudier la taille de ces particules et de mesurer l'importance relative de chacune des fractions du sol de dimensions bien

Définies : gros éléments, graviers, sable, limon, argile.

**➤ Cette essai permet de :**

- Représenter la répartition en poids des différents éléments contenus dans Temchemt.
- Faire une classification du Temchemt.

**❖ Principe de l'essai :**

Il consiste à faire passer un échantillon de sol à travers différent tamis de diamètre Décroissant et de peser le refus de tamisage de chaque tamis pour pouvoir tracer la courbe granulométrique à fin de classer notre sol .Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue. Les masses des différents refus ou celles des différents tamisas sont rapportées à la masse initiale de matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique).



**photo (III.4) : Essai analyse granulométrique et Sédimentométrie de Temchemt.**

Les résultats d'analyse granulométrique par tamisage sont représentée sur le tableau suivant :

Tableau III.3 : Les résultats d'analyse granulométrique par tamisage de Temchemt

Masse de l'échantillon = 500 g				
tamis (mm)	Refus partiel en (g)	Refus cumulé en (g)	Refus cumulé en (%)	Tamisât en(%)
31.5	0,00	0,00	0,00	100
20	21,06	21,06	4,212	96
10	35,78	56,84	11.368	89
5	50,03	106.87	21,374	79
2	45,89	152,76	30,552	69
1	28,76	181,52	36,304	64
0.4	26,81	208,33	41,666	58
0.2	26,95	235,28	47.056	53
0.1	35,59	270,87	54.174	46
0.08	4,20	275,07	55.014	45

### III.2.1.5. Sédimentométrie [NF P 94-057 ] :

#### ❖ But de l'essai

Le tamisage n'est plus possible, lorsque la dimension des particules est inférieure à 100  $\mu$  ; donc on a recours à la Sédimentométrie.

Le but de cet essai est de mesurer sans commettre une grande erreur à différentes époques à l'aide d'un densimètre une suspension de sol.

Il permet de tracer complètement la courbe granulométrique.

#### ❖ Principe de l'essai

L'essai utilise le fait que dans un milieu liquide au repos, la vitesse de décantation des grains fins à très fins est fonction de leur dimension. La loi de Stokes donne, dans le cas de grains sphériques de même masse volumique, la relation entre le diamètre des grains et leur vitesse de sédimentation. Par convention, cette loi est appliquée aux éléments d'un sol pour déterminer des diamètres équivalents de particules.

❖ **Exécution de l'essai** : On pèse 40 g du matériau contenu dans les sachets, on verse de l'eau distillée dans une éprouvette graduée jusqu'à obtention d'un demi- litre, puis on verse 40 g de l'échantillon dans l'éprouvette, on met cette éprouvette sous l'air pendant 1H30mm,

puis 30mm, après avoir mis l'éprouvette sous l'air, on ajoute au matériau un agent défloculant tel que le silicate de soude ou le pyrophosphate de soude ou du phosphate de sodium. La solution se prépare à partir d'un litre d'eau distillée et de 102 gr de phosphate de sodium solide.

On attend 1H30 mm après avoir mis l'agent défloculant sous l'air, on remplit l'éprouvette d'eau distillée jusqu'à litre. On laisse le matériau se stabiliser et les particules se décanter pendant une durée de 18 heures à 24 heures

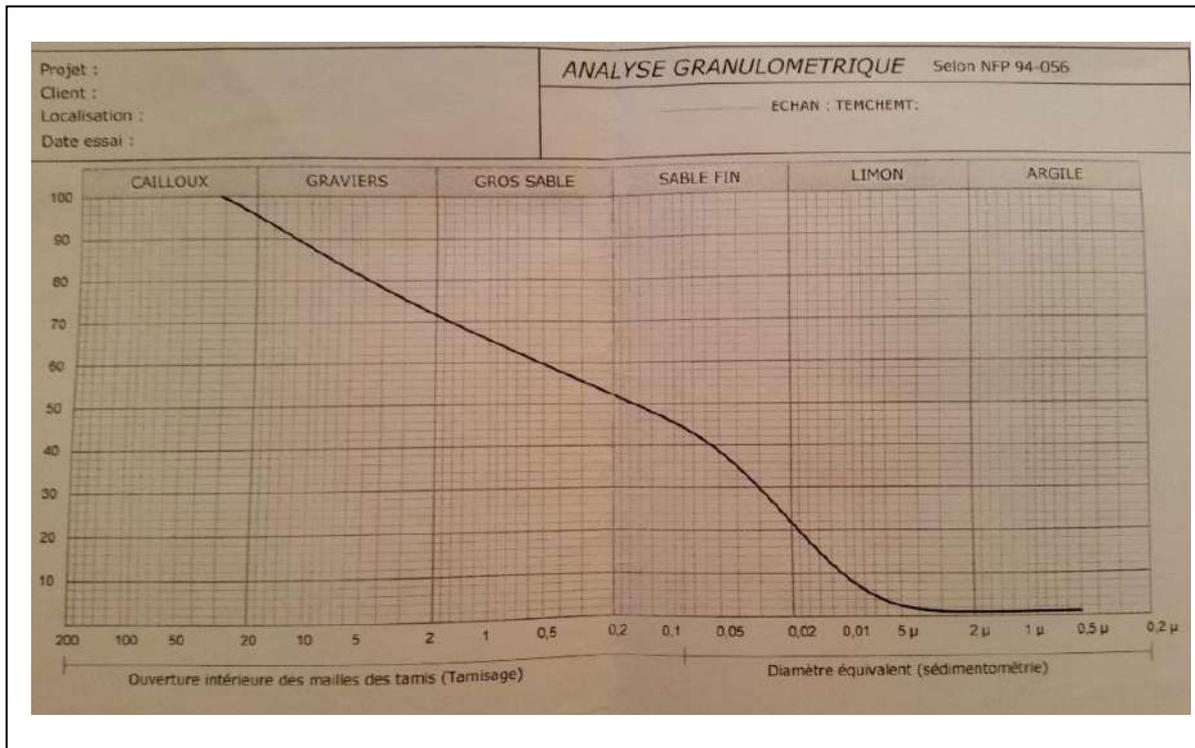
Après cette stabilisation, on agite pendant 2 mn l'ensemble de la solution à l'aide d'un agitateur afin de séparer les grains à nouveau. On ne touche plus l'éprouvette pour ne pas perturber les particules. On plonge le densimètre dans l'éprouvette et on prend les lectures. Au cours de l'essai on plonge le thermomètre pour relever la température. Les résultats de notre échantillon sont inscrits sur le tableau suivant :

**Tableau III.4: Résultats d'analyse granulométrique par sédimentométrie du temchemt**

T (C°)	Temp s	Durée de chute	R'=r-1000 R : lecture an densimètre	Correction (C)	Lecture corrigée R1=R'-C	Diamètres (D)	% des éléments (D) sur l'ensemble de l'échantillon
16°	8 :50	30''	21	0.410	20.59	0.075	45
16°	8 :51	01'	20	0.410	19.59	0.055	43
16°	8 :52	02'	19.5	0.410	19.09	0.038	42
16°	8 :55	05'	16	0.410	15.59	0.025	34
16°	9 :00	10'	6.5	0.410	6.09	0.017	13
16°	9 :10	20'	3	0.410	2.59	0.012	6
16,5°	9 :30	40'	2.5	0.410	2.09	0.008	5
17°	10 :10	80'	2.2	0.410	1.79	0.006	4
17°	11 :30	160'	1	0.410	0.59	0.004	1
18°	14 :10	320'	1	0.410	0.59	0.003	1
16°	24 h	1440	1	0.410	0.59	0.002	1
16°	48 h		1	0.410	0.59	0.001	1
16°	72 h		1	0.410	0.59	0.0005	1

### ❖ Courbe granulométrique :

Les pourcentages des refus cumulés, ou ceux des tamisats cumulés sont représentés sous la forme d'une courbe granulométrique en portant les diamètres des tamis en abscisse, sur une échelle logarithmique, et les pourcentages des refus en ordonné sur une échelle arithmétique



**Figure III.2: Courbe granulométrique de Temchemt**

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

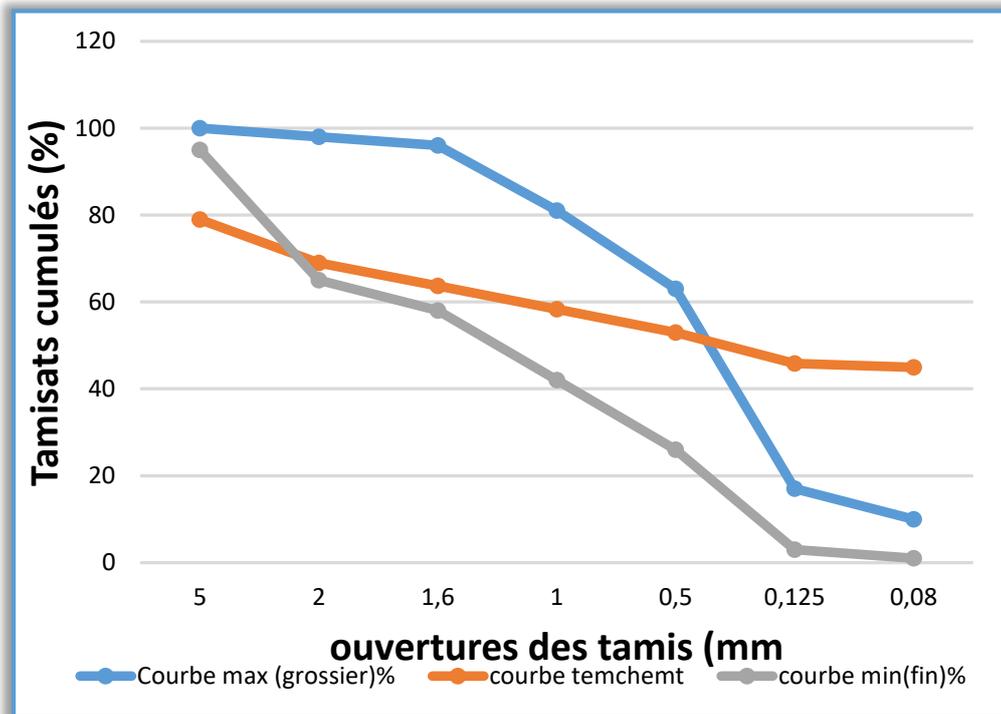
- 20% limon; 30% sable fin ; 20 % gros sable ; 25 % graviers, 5 % cailloux

### ❖ Module de finesse [NF P 18-540] :

Le module de finesse caractérise la granularité des sables. Il est égale au 1/100<sup>e</sup> de la somme des refus exprimés en pourcentages sur la série des tamis : 0.16, 0.315, 0.63 ,1.25, 2.5 et 5mm.

$$Mf = \frac{1}{100} \sum [ R_c (0,16) + R_c (0,315) + R_c (0,63) + R_c (1,25) + R_c (2,5) + R_c (5) ]$$

Le module de finesse du sable **Mf = 3.73** Lorsque MF est supérieur à (**Mf > 3.3**) c'est-à-dire notre le Temchemt est à rejeter pour le béton. Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons (NF P 18-540).



**Figure III.3: fuseau de référence recommandé par la norme**

La Figure (III.3) montre que la courbe granulométrique est partiellement située à l'extérieur du fuseau de référence recommandé par la norme AFNOR NFP 18-541 pour la confection des bétons et des mortiers.

#### III.2.1.6. Limites d'Atterberg [NFP 94-051] :

##### • But de l'essai :

Les limites d'Atterberg sont des paramètres géotechniques destinés à identifier un sol et à caractériser son état au moyen de son indice de consistance.

##### • Principe de l'essai :

L'essai effectuée en deux phases :

- Recherche de la teneur en eau pour laquelle une rainure pratiquée dans le sol placé dans une coupelle de caractéristiques imposées se ferme lorsque la coupelle et son contenu sont soumis à des chocs répétés
- . - Recherche de la teneur en eau pour laquelle un rouleau de sol, de dimension fixée et confectionné manuellement se fissure.

##### • Equipement nécessaire :

- Appareil de Casagrande.
- Etuve de dessiccation à température réglable à 105 C<sup>0</sup> et à 50 C<sup>0</sup> de classe d'exactitude C.
- Balance numérique
- Capsules ou tares , spatules, truelles



photo (III.5): Manipulation de l'essai de limites d'Atterberg

les limites sont déterminées sur la fraction de sol passant au travers du tamis 400 $\mu$ m

Les deux limites utilisées sont :

- **W<sub>L</sub>** : limite de liquidité : teneur en eau d'un sol remanié caractérisant la transition entre un état liquide et un état plastique.
- **W<sub>P</sub>** : limite de plasticité : teneur en eau d'un sol remanié caractérisant la transition entre un état plastique et un état solide.

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

- **I<sub>P</sub>** : indice de plasticité : Cet indice définit l'étendue du domaine plastique du sol entre les limites de liquidité et de plasticité :

$$I_P = W_L - W_P$$

Le teneur en eau étant exprimées en pourcentage, l'indice de plasticité est un nombre sans dimension.

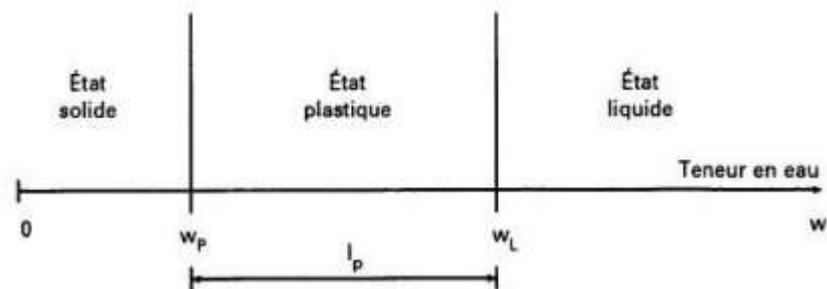


Figure.III.4 : Présentation des limites d'Atterberg

• **Classification des argiles selon les limites d'ATTERBERG :**

Les argiles sont classées suivant leur plasticité ; BURMISTER (1967) propose une Classification détaillée de la plasticité des argiles en fonction de l'indice de plasticité.

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

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

Atterberg (1973) classe la plasticité des argiles en trois niveaux comme montrés dans le tableau III.6.

**Tableau III.6 : Classification des argiles selon Atterberg.**

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

**Tableau III.7 : Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau ci-dessous :**

Limite de liquidité WL	41.10
Limite de plasticité Wp	34.42
Indice de plasticité Ip	6.68

D'après Atterberg et Burmister, on peut classer notre Temchemt par son indice de plasticité (IP = 6.68) la nature de Temchemt est un limon peu plastique (sable argileux)

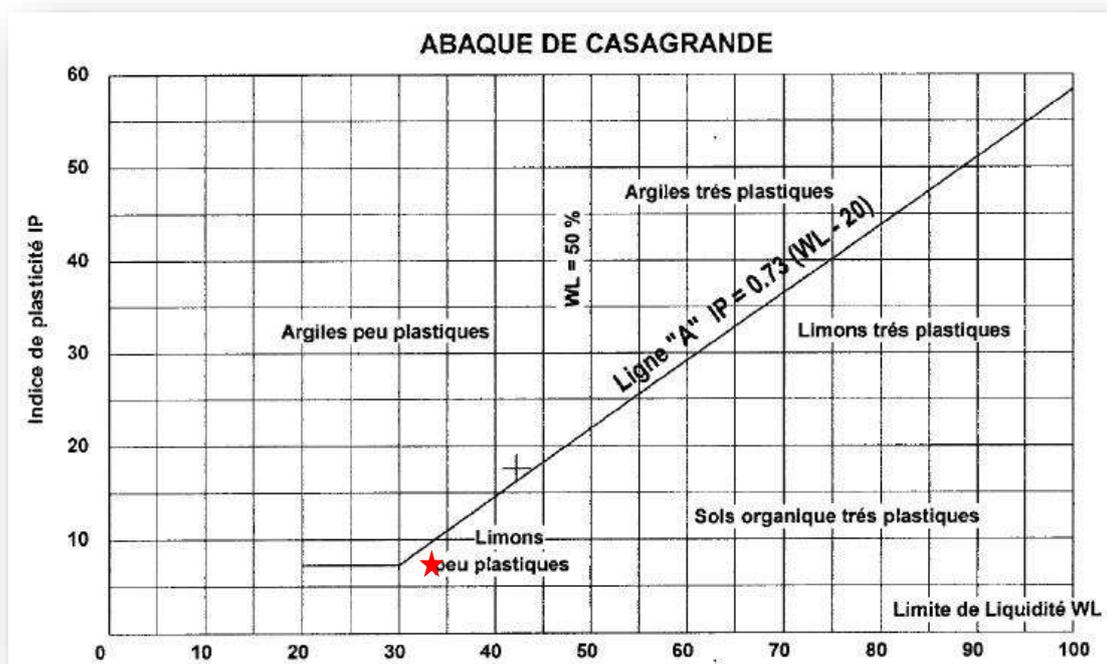


Figure III.5: Abaques de CAZAGRANDE

### III.2.1.7. Analyse chimique

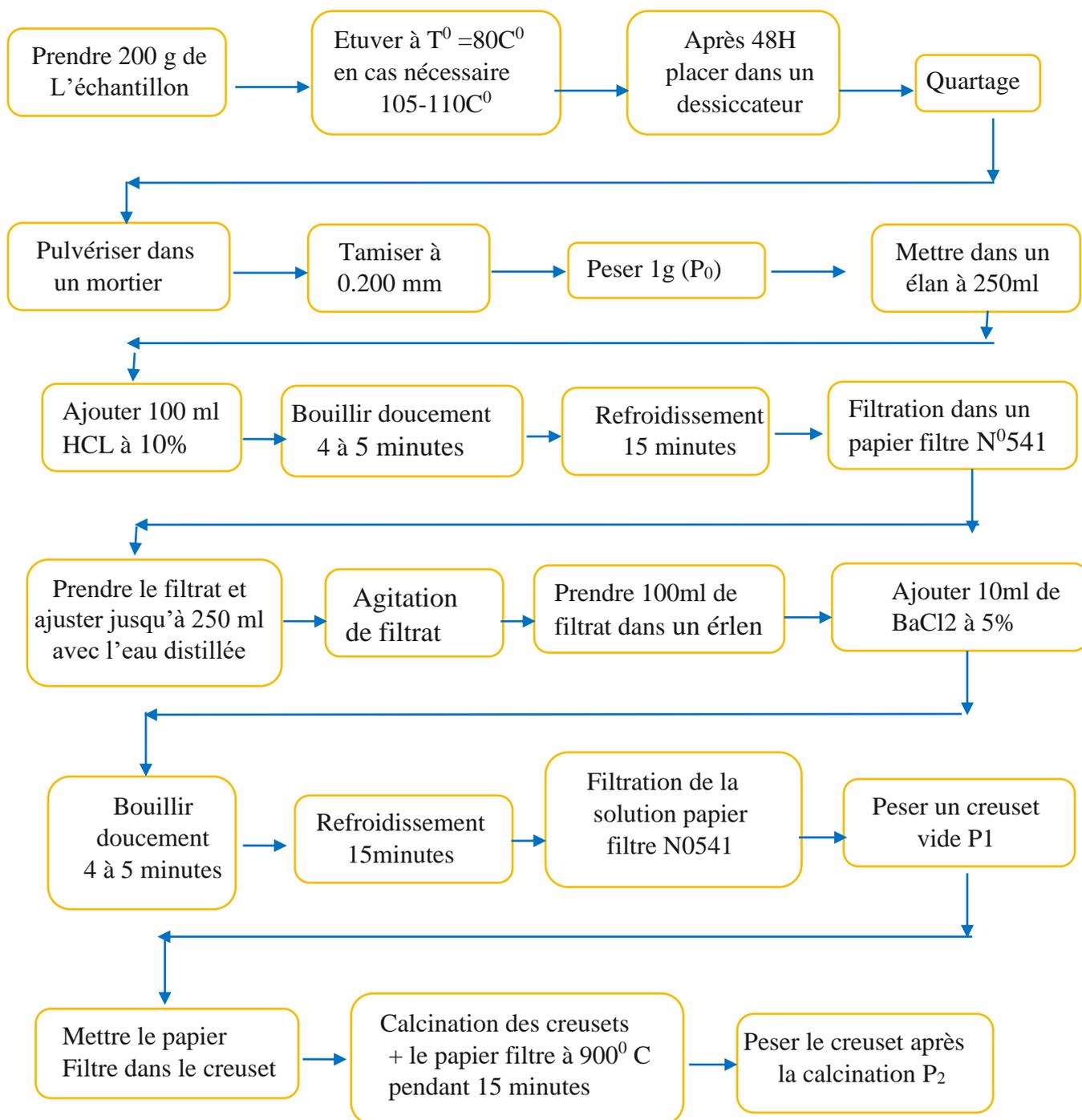
- **But de l'essai**

- ✓ Identifier les éléments constitutifs de tuf (chlorures, carbonates, sulfates).
- ✓ Déterminer le pourcentage des éléments.
- ✓ Le pH est mesuré par une électrode de verre (NF T 90-008) ; le titre alcalimétrique

est déterminé par volumétrie avec un acide minéral dilué (NF EN ISO 9963-1)

**Ph= 8.8 basic**

- Principe de détermination de la teneur en sulfates :



- Les formules des calculs :

- $SO_3^{-2} = 34.3 \times (P_2 - P_1) / P_0$
- $CaSO_4 = 184.23 \times (P_2 - P_1) / P_0$



(a)

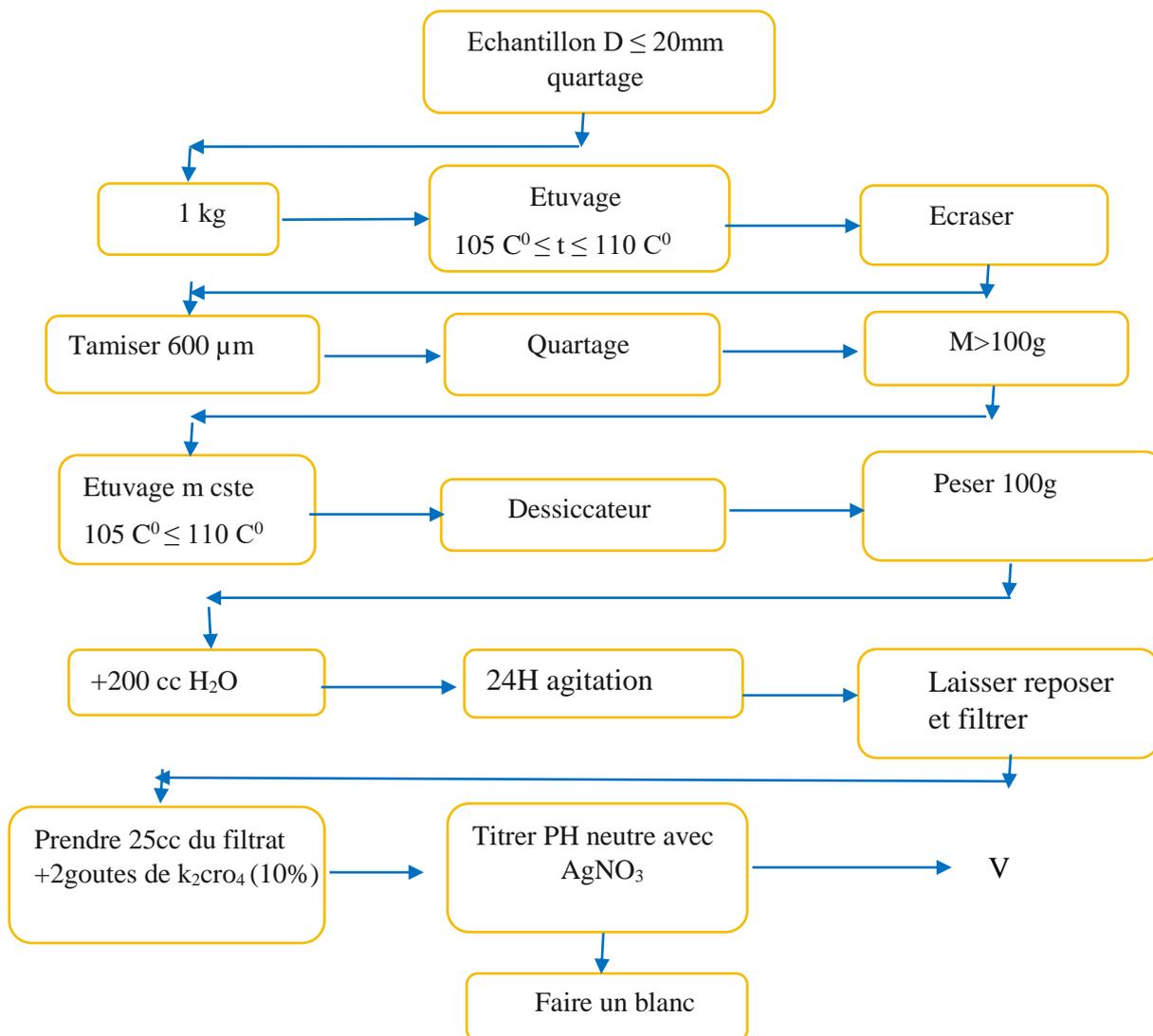
(b)

(c)

(d)

photo (III.6) : Analyse chimique : (a) Essai de chlorure ; (b) Essai de carbonates; (c) Essai de dosages des sulfates ; (d) PH

• Principe de détermination dosage des chlorures :



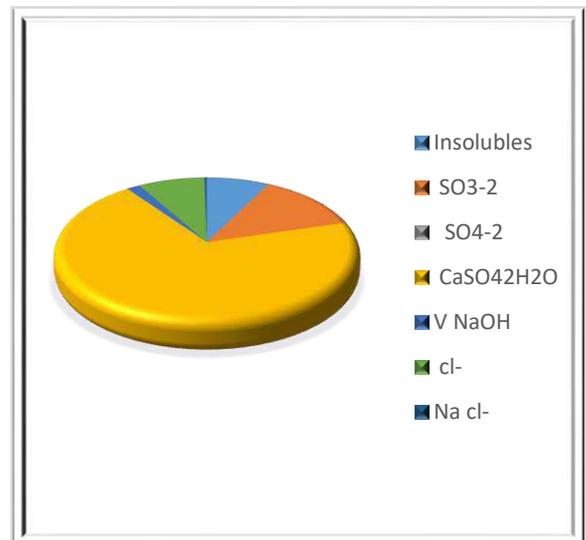
Apparition de signes de couleur rouge des dépôts de sel NaCl

Si :

- $V=25$  cc
- $\text{AgNO}_3 : 0,02\text{N}$   $T \text{ Ag NO}_3 / \text{Cl}^- = 7,09 \cdot 10^{-4}$
- $\text{Cr} \% = 56,72 \cdot 10^{-4}$   $\implies$   $\text{NaCl} \% = 1,64 \cdot \text{Cl}^-$
- Le tableau suivant illustre le résultat d'analyse chimie pour le Temchemt:

**Tableau III.8 : Résultats d'analyse chimique de Temchemt**

Les essais	Temchemt
-Taux des Insolubles %	9,23
-Taux des Sulfates $\text{SO}_3^{-2}$ %	15,94
- $\text{SO}_4^{-2}$ %	19,15
- $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	85,64
- Taux des Carbonates $\text{CaCO}_3$ %	2
-V NaOH	9,8
-Taux des Chlorures $\text{Cl}^-$ %	0,352
- NaCl%	0,577
PH	8.8



**Figure (III.6) : présentation graphique**

#### III.2.1.8. Essai au bleu de méthylène [NF P 94-068] :

##### ❖ But de l'essai :

Cet essai a pour but d'évaluer l'influence des fines d'origine argileuse contenues dans les sables et grave d'origine naturelle ou artificielle.

##### ❖ Principe de l'essai :

On fixe sur les grains d'argile des molécules de bleu de méthylène et par test simple on évalue la quantité de bleu fixé, on en déduit la valeur du bleu méthylène.

##### ❖ Matériels utilisés :

- 1-Balance de précision
- 2-Un b cher plastique ou verre

- 3- Un agitateur à ailettes de diamètre 70 à 80 mm et de vitesse de rotation 600 à 800 tr/min
- 4- Une burette de 100 ml
- 5- Papier filtre sans cendre (<0.010)
- 6- Une baguette en verre de 8 mm de diamètre
- 7- Une solution de bleu de méthylène qualité médicinale à 10g/l
- 8- Eau déminéralisée



photo (III.7) : Essai de bleu de méthylène

Ce test consiste à injecter, successivement des dosages précis de bleu de méthylène jusqu'à avoir saturation des particules d'argiles.

La valeur de bleu est exprimée par la formule suivante :

$$VBS = 100 \frac{V \times 0.01}{M}$$

Avec **V** : volume de bleu méthylène absorbé ;

**M** : la masse de prise d'essai.

- L'essai au bleu de méthylène donne  $VBS = 0.4 \% \leq 1 \%$  (selon [NF P 94-068])

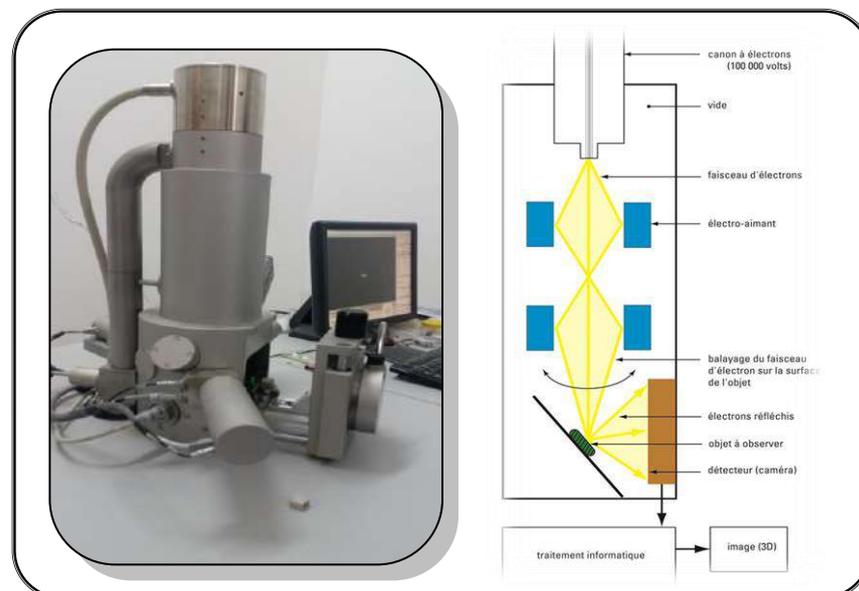
Notre sol est entre  $0.2 \leq VBS \leq 2.5$  , cela implique qu'il n'est pas très absorbant. Sol limoneux ( sol peu plastique et sensible à l'eau ).

**. III.2.1.9. Analyse minéralogique :**

Pour l'examen microscopique de Temchemt on utilise généralement :

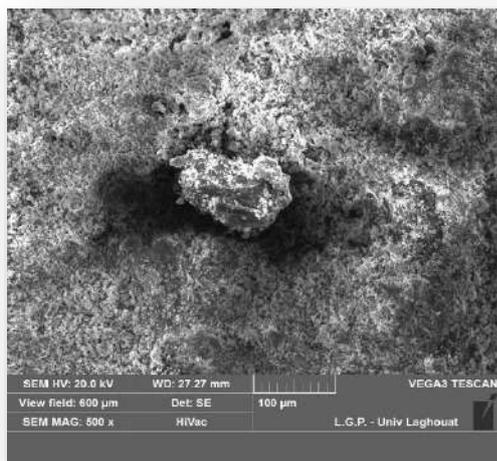
**a- Observations microscopiques par MEB :**

La microstructure des échantillons a été observée et analysée à l'aide d'un microscope électronique à balayage (MEB) **VEGA3 TESCAN**, Département « génie des procédés à l'université de LAGHOUAT », comme le montre la figure III.14. Le MEB permet d'observer la topographie de surface d'un échantillon en balayant sa surface par un faisceau d'électrons et en recueillant l'image formée. Vu que les échantillons ne sont pas conducteurs, une métallisation des surfaces est nécessaire en les recouvrant d'une couche fine d'or. Deux méthodes permettent d'obtenir ce résultat. Pour cette étude, la pulvérisation cathodique a été employée. Elle consiste à déposer sur l'échantillon des atomes arrachés à un morceau de métal (or) par de l'argon ionisé dans une enceinte à vide partiel.

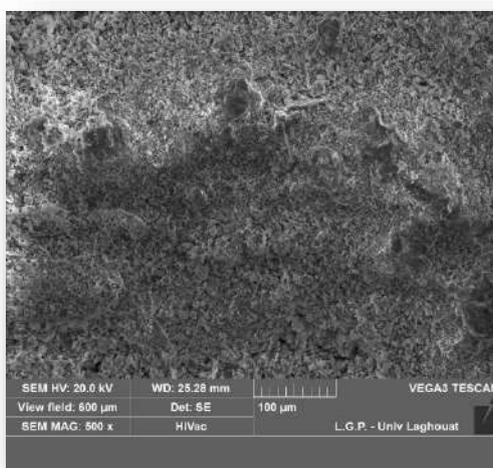


**Figure (III.8) :MEB VEGA3 TESCAN**

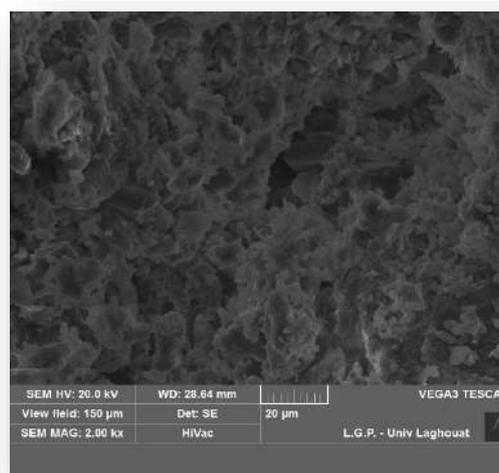
Les photos présentées à grande échelle par la figure III-14 montrent les trois échantillons de Temchemt (de différent dosage) visualisés par microscope électronique à balayage (MEB).



(a)–Temchemt 100%



(b) – Temchemt +3% ciment



(d) –Temchemt + 3% la chaux

photo III.8: Observations des grains de temchemt au MEB

**• Interprétation des résultats :**

Il apparaît que la microstructure de temchemt traité au ciment est plus compacte, dense et cohérente par rapport au temchemt traité à la chaux ou bien le témoin, car le ciment forme une coque enrobant chaque grain de temchemt. La topographie de la coque moule de chaque grain assure leur liaison.

- l'échantillon (b) a une structure non poreuse alors que celle de (a) et (d) sont poreuses. C'est ce qui justifie la différence dans leurs résultats des essais mécaniques et thermique

- Un liant adéquat a fin d'assurer la bonne cohésion de l'ensemble des granulats.

Une partie de matières ajoutées comme liant n'a pas un caractère réfractaire, elles sont ajoutées en très petits pourcentages.

**b- La technique de la diffraction X (DR-X) :**

Cette méthode, nous a révélé la composition minéralogique de notre produit, la procédure trouve son principal emploi dans la détermination des minéraux et chaque corps cristallin, produit un spectre qui rend compte de sa structure interne et qui, par suite, est caractéristique de cette substance.

On peut considérer que tout diffractomètre x est une sorte « d'empreinte digitale » spécifique qui permet de distinguer un minéral

Pour reconnaître un corps à partir de son diffractogramme. On dispose d'un fichier de carte signalétique et de livre où les minéraux sont classés en fonction de leurs trois raies les plus importantes. Cette méthode est essentiellement qualitative.

. Pour effectuer une analyse de DRX, on procède de la manière suivante :

- broyage de l'échantillon.

- préparation de perles ou pastilles. En effet, lorsqu'un échantillon est bombardé par des rayons X, ce rayonnement provoque l'émission de son spectre. Ce spectre est appelé diffraction par rayon X (DRX) car le mode d'excitation concerne les photons.

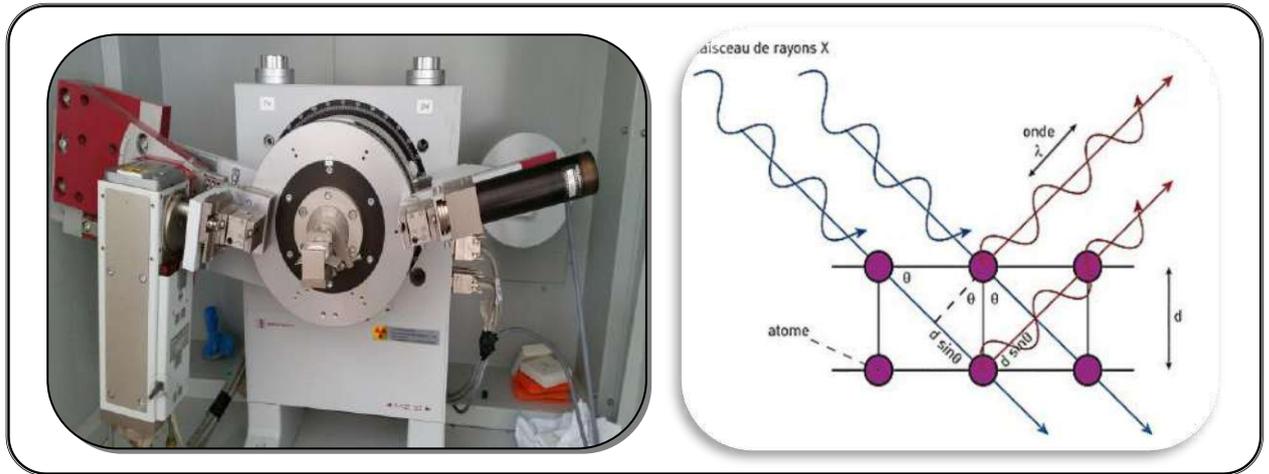


Figure III.9: Diffractomètre x

Figure III.9: Mécanisme de la diffraction RX

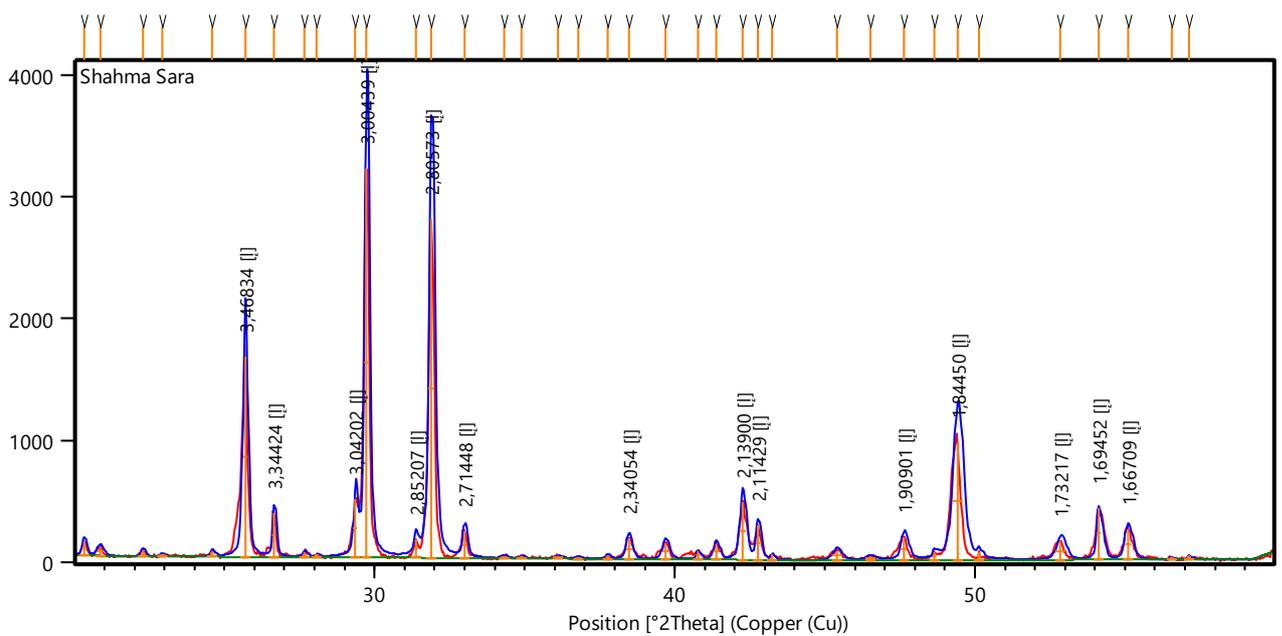


Figure III.10. Diffractogramme de Temchemt

• **Interprétation des résultats :**

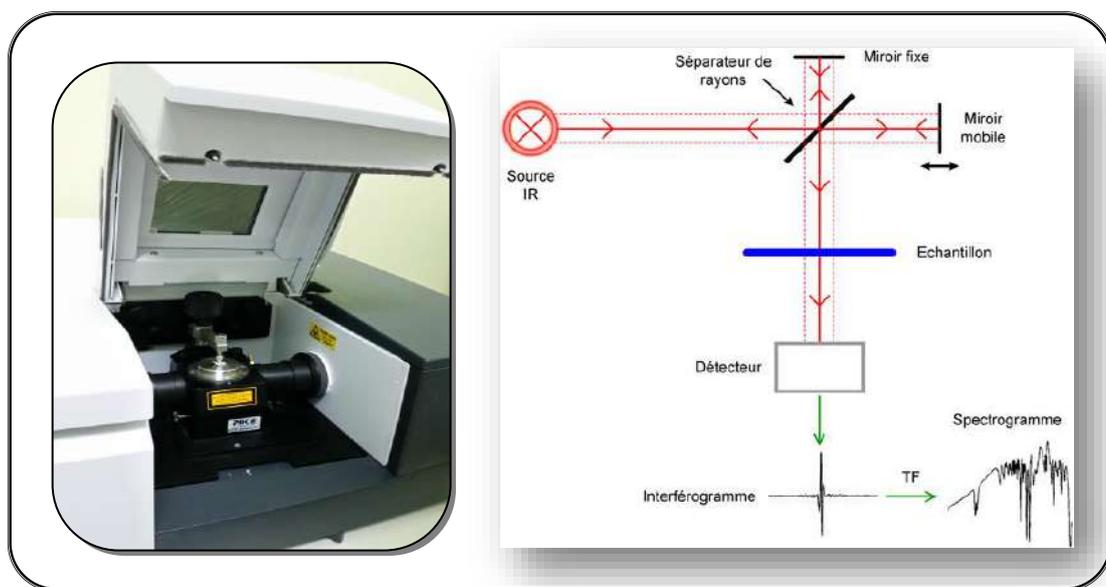
Ce qu' il faut retenir dans ce Diffractogramme **Figure III-1**, (qui a été effectué au niveau du laboratoire de physique à l'université de LAGHOUAT),C'est que notre Temchemt est sulfaté tout au long du parcours des pics obtenus, on peut constater ce qui suit:

- Le sulfate  $Ca\ 2SO_4$  forme une grande part des minéraux avec un pourcentage de 96 %.
- Le NaOH trouvé avec des pourcentages faibles au tour de 4%

**d-Spectroscopie infrarouge :**

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) est une technique d'analyse physico-chimique qui permet de donner des informations sur les liaisons entre les noyaux atomiques et leurs arrangements. Cette méthode permet d'accéder directement à l'information moléculaire, à la nature chimique et à l'organisation structurale des matériaux analysés.

La spectroscopie infrarouge consiste pour les minéralogistes un outil de caractérisation de la cristallinité de Temchemt par observation des intensités relatives des bandes de vibration des hydroxyles de structure.



**Figure III.11 : Schéma de principe de l'analyse par spectroscopie d'absorption infrarouge**

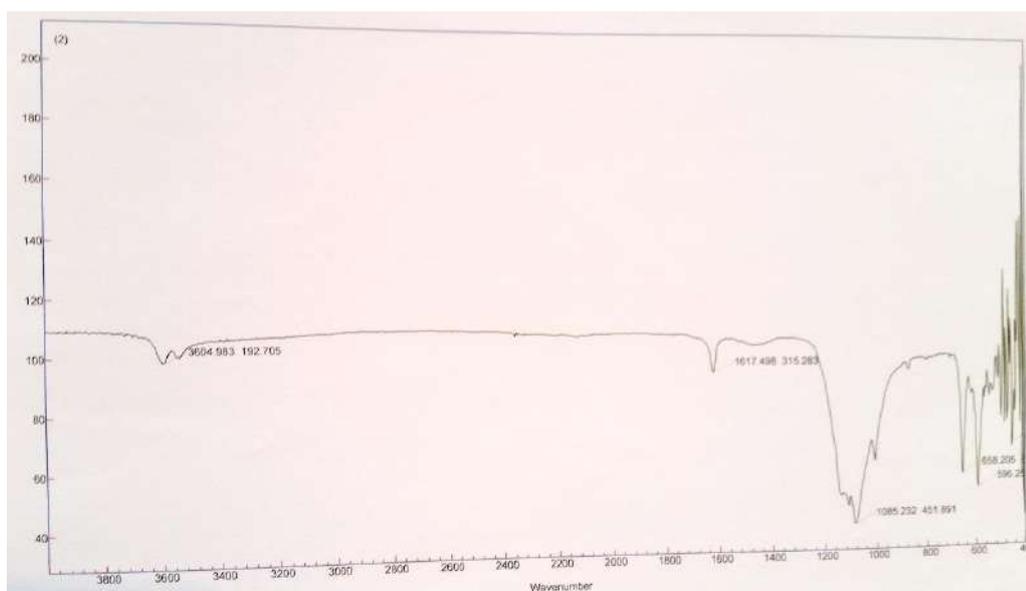
➤ **Spectroscopie infrarouge de Temchemt :**

La figure 11, représentent le spectre IR de notre échantillon de temchemt .

En ordonnée, la transmittance en %, qui représente le pourcentage de lumière ayant traversé l'échantillon. □ En abscisse, le nombre d'onde (l'inverse de la longueur d'onde) en  $\text{cm}^{-1}$ .

On peut voir sur la figure cite ci-dessus que le timchiment identifie par :

- D'une part par les vibrations d'élongation de la liaison S-O des sulfates qui apparaissent sous forme des pics  $596\text{cm}^{-1}$ - $658\text{cm}^{-1}$  et  $1085\text{cm}^{-1}$
- Et d'autre part par les pics caractéristiques des liaisons O-H qui apparaissent sous forme d'un doublet à  $3604\text{cm}^{-1}$  et non doublet à  $1617\text{cm}^{-1}$



**Figure III.12: Spectre infrarouge de temchemt traité(annex N)**

### III.3.Ciment :

Nous avons utilisé un seul type de ciment au cours de cette expérimentation. Il s'agit d'un ciment portland composé CPJ-CEM II /A 42.5 NA 442 (MATINE). Provenant de la cimenterie de LAFARGE usine de Msila, dont les caractéristiques sont regroupées dans les tableaux qui suivent  
\*these saiti 2010 \*

**Tableau III.9 : Caractéristiques physiques du ciment utilisé. •**

Les essais	Les caractéristiques
• Masse volumique absolue	<b><math>\rho_s = 3100 \text{ kg/m}^3</math></b>
• se volumique apparente	<b><math>\rho_a = 1030.05 \text{ kg/m}^3</math></b>
• Consistance normale	<b><math>E/C=0.25-0.28</math></b>
• Début de prise	<b><math>DP=150-170 \text{ minute}</math></b>
• Fin de prise	<b><math>FP = 3:30-4:30 \text{ (h)}</math></b>
• Surface spécifique Blaine	<b><math>SSB=3700 \text{ cm}^2/\text{g}</math></b>

Tableau III.10 :Composition chimique du ciment utilisé.

* Perte au feu %	5.50-6.50
* Résidus insolubles %	0.70-1.50
* Teneur en sulfate (SO <sub>3</sub> ) %	1.80-2.30
* Teneur en oxyde de magnésium(MgO)%	1.60-1.80
• Teneur en chlorures %	0.01-0.02
* Teneur équivalent en alcalis%	0.40-0.50

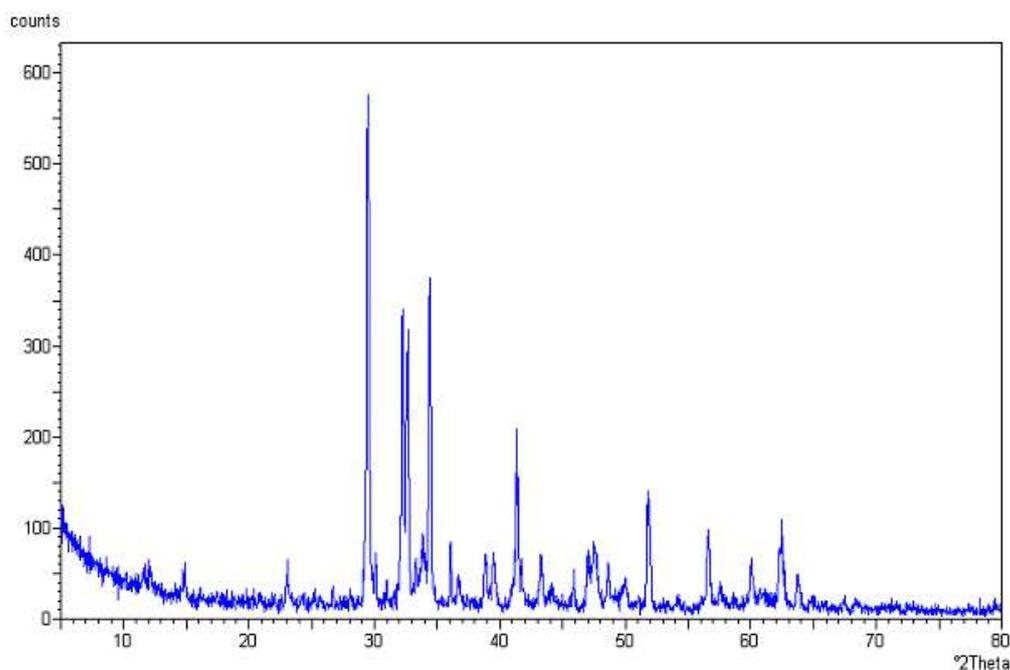


Figure III.13: Diffractogramme aux rayons X du ciment.

La composition minéralogique du ciment a révélé que le ciment utilisé contient des pourcentages appréciables de chaux et de silice, cela peut conférer aux temchemt élaborés des performances requises.

**III.4. Propriété de la chaux :****III.4.1. Les caractéristiques physiques :**

Le mortier de chaux naturelle pure NHL 5 obtient ses résistances en 2 temps :

- une prise initiale de type hydraulique (avec l'eau), grâce à la présence de silice qui Permet de bonnes résistances mécaniques à court terme.
- une prise secondaire, dite aérienne (avec l'air), grâce à la présence de calcaire pur qui Limite le retrait et développe les résistances mécaniques à long terme. Le taux de chaux Aérienne hydratée présent est de l'ordre de 30 %, très supérieur aux exigences de la Norme (9%).

-la masse volumique est 1,3g/cm<sup>3</sup>

-surface spécifique de Blaine 8000/cm<sup>2</sup>

-le début de prise 2 à 3 minutes

**III.4.2. Résistance :**

Ces liant ne sont jamais employés purs mais sous forme de mortier, à titre de Comparaison, on utilise des mortiers normalisés dont on calcule la résistance à la Compression à une certaine échéance.

**III.4.3. Indice d'hydraulicité :**

L'indice d'hydraulicité est obtenu par le rapport entre les aluminates / silicates et la Teneur en carbonate de calcium du calcaire utilisé lors de fabrication de la chaux. Plus Cette valeur est élevée, plus la prise hydraulique est importante

**III.4.4. Indice de clarté :**

Il précise une valeur comprise entre 0 et 100. Les chaux très blanches ont un indice Proche de 100 c'est le cas des chaux aérienne ; les chaux hydrauliques naturelles sont Légèrement colorées ; cette coloration provient des oxydes contenus dans le calcaire Employé.

**III.4.5. Résistance au feu :**

Un corps résiste au feu tant que la chaleur ne vient pas briser la molécule qui le Constitue ou modifier sa structure, s'il n'est pas soumis à de tels processus il résistera Au feu jusqu'à atteindre sa température de fusion ainsi .la silice, et les corps ou mélanges qui en contiennent, subit une transformation de structure vers 560° , à cette Température elle n'est pas réfractaire les produits réfractaires ne peuvent contenir de silice ;le calcaire se décompose entre 600 et 800°C ; il perd certaines de ses qualités ; la chaux vive est réfractaire mais la chaux hydratée

perd son eau les liants réfractaires sont issus de la chimie de l'alumine et de sa combinaison avec le calcium ce sont les ciments réfractaires (fondus ou frittés) .

#### **III.4.6. Retrait :**

Il est défini par la norme NPF15 433 il ne possède pas d'unité intrinsèque de mesure. Le retrait est la diminution dimensionnelle que subit le liant durant la prise. L'utilisation de chaux aérienne ou hydraulique naturelle, de ciment pour la fabrication Et la mise en œuvre du mortier entraîne des phénomènes de retrait. Selon la résistance Mécanique des liants utilisés, la fissuration engendrée peut avoir des effets Dommageables, notamment dans les enduits.

L'emploi de liant de faible résistance est préférable. En effet, le retrait engendre alors Une fissuration, importante par la taille du réseau, et non par la taille des fissures Habituelles, dans le cas des liants très résistants. De plus, avec les liants moins Résistants la possibilité de resserrage de l'enduit permet d'accompagner le retrait en fermant les microfissures qui se forment progressivement.

#### **III.4.7 Composition chimique de chaux :**

Une analyse chimique de la chaux utilisé a été effectuée en utilisant la méthode de diffractométrie par rayons X au labo.physique à l'université de LAGHOUAT, les résultats de cette technique sont présentés sur le diffractogramme ci-dessous .

L'analyse des résultats et en s'appuyant sur la banque des donnés, montre que la chaux utilisée possédé deux types de calcites et qui sont :

- $\text{Ca}(\text{OH})_2$  avec un système Rhombohédral;
- $\text{CaCO}_3$  avec un système Hexagonal.

Il est montré aussi que le  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  est l'espèce la plus prépondérante par rapport au  $\text{CaCO}_3$ . Ce qui affirme que la chaux utilisée est une chaux aérienne.

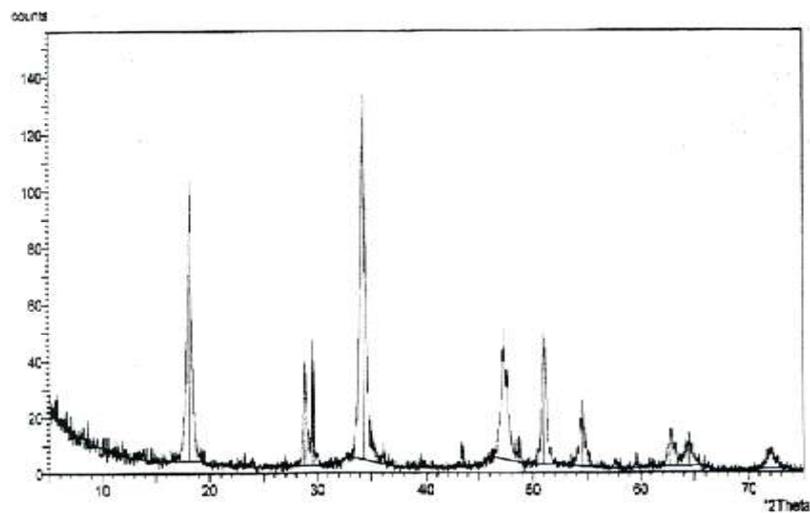


Figure III.14: Diffractogramme de la poudre de la chaux par les rayons X.

Tableau III.12: Fiche technique des propriétés physique et chimiques de la chaux

<i>Caractéristiques de base</i>	<i>La fiche technique de la chaux</i>
Apparence physique	Poudre blanche sèche
CaO [%]	> 73.3
MgO [%]	< 0.5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	< 2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	< 1.5
SiO <sub>2</sub> [%]	< 2.5
SO <sub>3</sub> [%]	< 0.5
Na <sub>2</sub> O [%]	0.4 - 0.5
CO <sub>2</sub> [%]	< 5
CaCO <sub>3</sub> [%]	< 10
Densité spécifique [g/cm <sup>3</sup> ]	2
Plus de 90 µm [%]	< 10
Plus de 630 µm [%]	0
Matériau insoluble [%]	< 1
Densité apparente [g/l]	600-900

**III.5. Eau de gâchage :**

L'eau utilisée est celle du robinet du laboratoire de génie civil de l'université de Ouargla, l'eau sert d'une part à l'hydratation du ciment et d'autre part elle permet la fluidification de la pâte. Dès que l'eau entre en contact avec le ciment anhydre, elle réagit pour se combiner et former les hydrates de ciment.

L'analyse chimique de l'eau a été effectuée au laboratoire centrale de traitement des eaux de EP ALGERIENNE DES EAU d'unité d'Ouargla et elle a donné la composition suivante :

**Tableau III.13 :** Composition chimique de l'eau (la concentration est donnée en (mg / l))

Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	CaCO <sub>3</sub>	PH
200	150	20	200	500	50	400	500	6.5-8.5

**III.6. Conclusion :**

Dans ce chapitre on a essayé de caractériser le Temchemt de (Ouargla) suivant les normes "AFNOR". C'est un sol qui est un peu grossier avec une granulométrie étalée, leur module de finesse est de l'ordre de 3,74 et d'une densité = 1.51 g/cm<sup>3</sup> faible plasticité. Donc ce sol est hors normes de point de vue construction. Les liants hydrauliques utilisés sont : le ciment et la chaux hydraulique existants sur le marché ; Ils sont normalisés et approuvés par les normes Algériennes de construction

L'eau de gâchage est celle de robinet du laboratoire de faible salinité.

## **Chapitre IV**

# **Résultats et Interprétations**



---

## Résultats et Interprétations

### IV.1. Introduction :

L'étude expérimentale de notre travail consiste à déterminer les caractéristiques thermiques et mécaniques des briques à base de Temchemt de Ouargla) pour améliorer ces caractéristiques on va ajouter à ces briques le ciment ou la chaux pour les stabilisés. Dans notre travail on va préparer des éprouvettes avec des différents pourcentages des liants (ciment ou chaux) .Et comparé avec des éprouvettes références sans stabilisants, de terre crue, de parpaing et de plâtre.

Puis différents essais ont été effectués sur les briques à savoir :

➤ **Essais mécaniques :**

- Résistance à traction par la flexion
- La résistance à la compression
- Vitesse de propagation de son

➤ **Essai thermiques :**

- conductivité thermique ( $\lambda$ )
- résistance thermique ( $R_{th}$ )
- chaleur spécifique ( $C_P$ )
- la diffusivité thermique ( $D$ )

Ces essais sont effectués au laboratoire de Génie Civil de l'université KASDI MERBAH de Ouargla, et Amar Theleigi Laghouat

### IV.2.Préparation et confection des briques :

#### IV.2.1.Etapes de préparation :

Lors de la préparation des briques Les étapes citées ci-dessous ont suivi :

- a- On pèse les quantités nécessaires des différents matériaux :** Temchemt, ciment, chaux et l'eau.
- b- Préparation des moules en métal :** après le nettoyage et graissage à l'aide d'une huile pour faciliter le démoulage les moules sont prêts pour utilisation
- c- le malaxage :**

- L'opération est exécutée manuellement comme suit :

Malaxage manuel de Temchemt et le liant (ciment ou chaux) sec en ajoutant une quantité d'eau de gâchage et on malaxe le mélange durant 30 à 40 secondes. On ajoute le reste d'eau, puis on malaxe pendant 120 à 180 secondes, jusqu'à l'obtention d'une pâte homogène et bien mouillée.



**Photo IV.1 : moulage des briques**

- d- **Les coulages des éprouvettes** : cette opération est exécutée en couches successives compactés manuellement à l'aide d'une plaque métallique d'épaisseur 1 cm.
- e- Une opération de finitions est exécutée sur le parement supérieur des éprouvettes pour obtenir des surfaces lisses.
- f- Après démoulage les éprouvettes sont conservées à l'air libre au sein du laboratoire.



**Photo IV.2 : démoulage et séchage des briques**

#### **IV.2.3. - préparation des éprouvettes :**

Les éprouvettes utilisées sont des éprouvettes prismatiques qui doivent être conformes à la norme NF P 18-400. Pour la confection et la conservation des éprouvettes, se reporter, suivant la catégorie de l'essai à celle des normes NF P 18-404 ou NF P 18405.

## ❖ Dimension des moules :

Les essais ont été réalisés sur des éprouvettes prismatiques de dimension :

- (240×115×52mm) selon la Norme DIN 106 pour la détermination des propriétés mécanique.
- (40x40x160mm) pour la détermination des propriétés mécanique et thermique.

**Tableau IV.1 : Composition utilisées (Temchemt (%) + Ciment (%)) :**

Echantillons	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
Temchemt (%)	100	99	98	97	30	0	0
Ciment (%)	0	1	2	3	0	0	0
Grivlette( témoin) (%)	0	0	0	0	0	100	0
Plâtre (témoin) (%)	0	0	0	0	0	0	100
L'argile (témoin) (%)	0	0	0	0	70	0	0

Nous avons fabriqué 6 éprouvettes dans chaque dosage.

**Tableau IV.2..Composition utilisées (Temchemt (%) + la chaux (%)) :**

	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub> '	C <sub>2</sub> '	C <sub>3</sub> '	C <sub>4</sub> '	C <sub>5</sub> '	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
Temchemt (%)	100	99	98	97	96	95	30	0	0
La chaux (%)	0	1	2	3	4	5	0	0	0
Grivlette( témoin) (%)	0	0	0	0	0	0	0	100	0
Plâtre (témoin) (%)	0	0	0	0	0	0	0		100
L'argile (témoin) (%)	0	0	0	0	0	0	70	0	0

Nous avons fabriqué 3 éprouvettes dans chaque dosage.

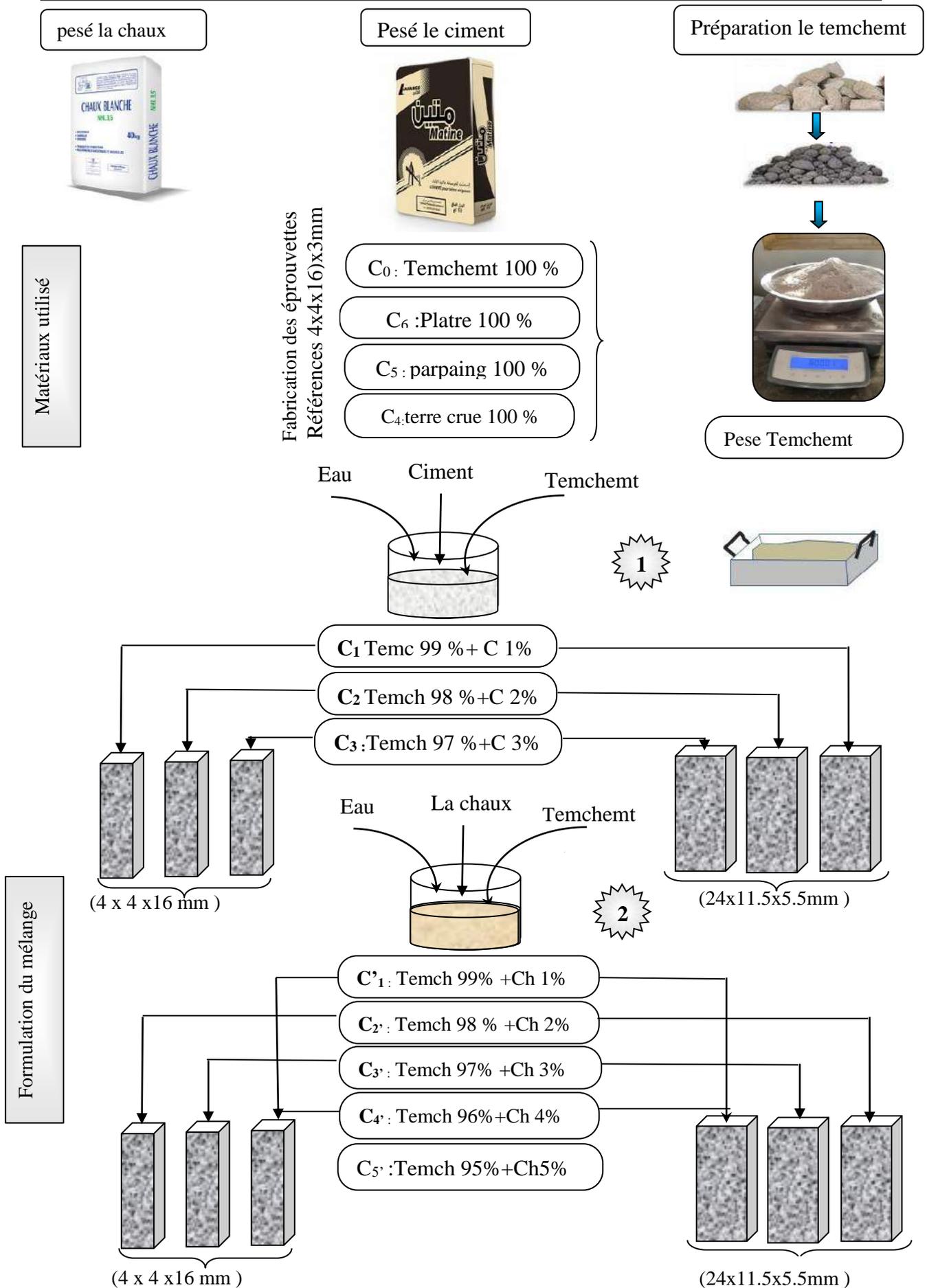


Figure IV.1: Schéma montrant les étapes et le procédé de formulation du mélange

## IV.3. Résultats obtenus et discussion :

## IV.3.1. Masse Volumique :

Le tableau montre la variation de la masse volumique des briques en fonction des différents pourcentages Temchemt et de ciment et la chaux.

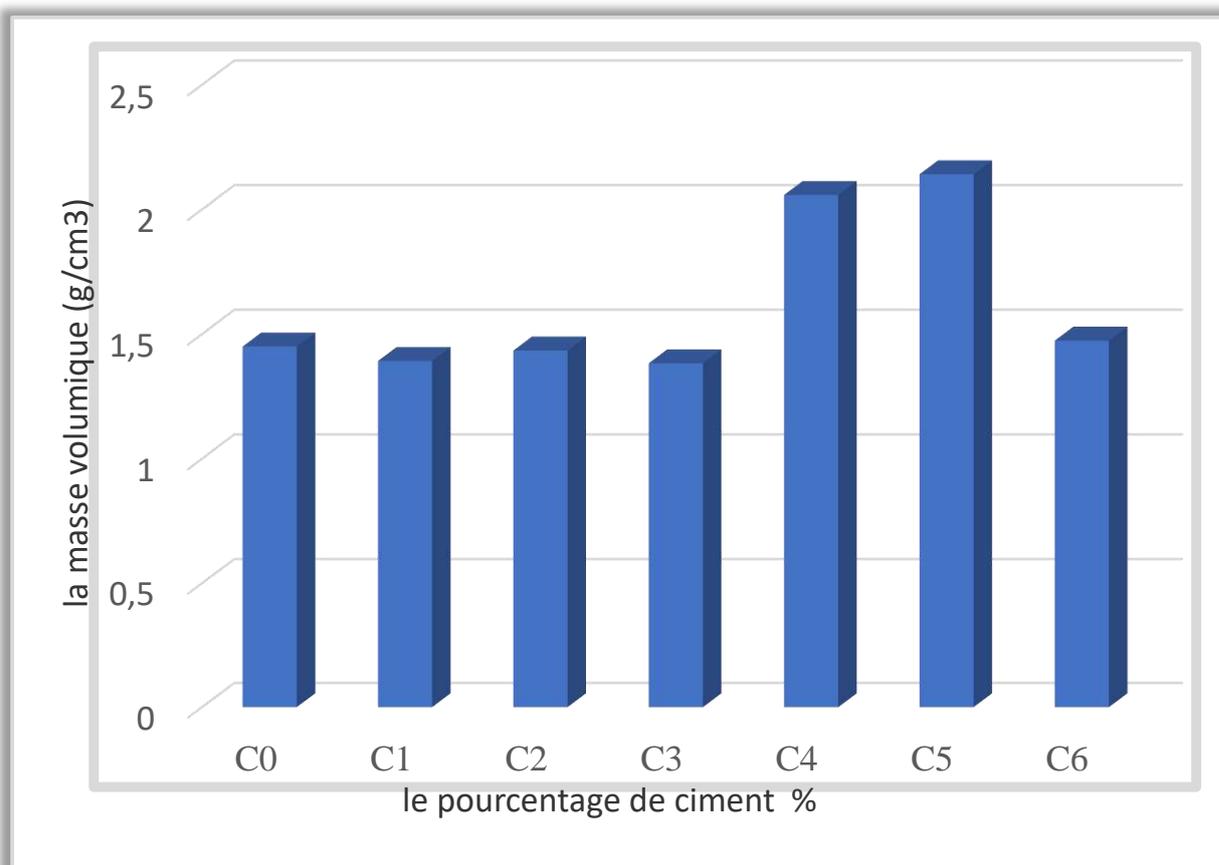
**Tableau IV.3 : résultats de la variation de la masse volumique des briques de Temchemt en fonction des pourcentages de ciment :**

Échantillons	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
$\rho$ ( g/ cm <sup>3</sup> )	1.449	1.392	1.434	1.383	2.057	2.141	1.474

## ❖ Légende :

$M$  ( g ) : la masse de l'échantillon -  $V$  ( cm<sup>3</sup> ) : volume de l'échantillon

$\rho$  ( g/ cm<sup>3</sup> ) : masse volumique de l'échantillon -  $\rho_{\text{moy}}$  ( g/ cm<sup>3</sup> ) : la moyen de la masse volumique



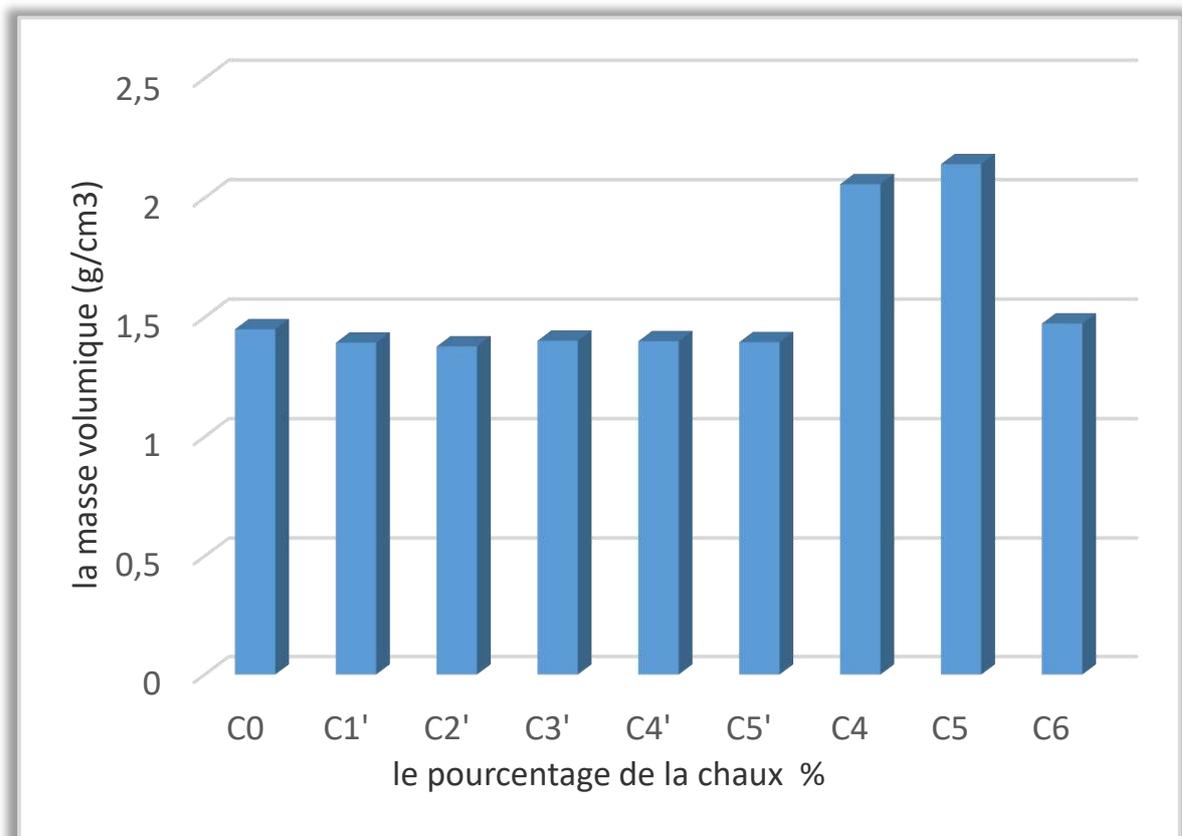
**Figure IV.2 : Variation de la masse volumique en fonction de des pourcentages de ciment**

A partir la figure (IV.2 ) nous constatons :

- Une diminution légère de la masse volumique en fonction de l'augmentation du pourcentage de ciment dans le mélange. En effet la masse volumique du ciment est plus petite que celle de Temchemte.
- La masse volumique des échantillons (C<sub>4</sub>) et (C<sub>5</sub>) sont les plus élevées et ça dû à l'augmentation de la masse de composants de parpaing et l'adhérence des grains d'argile ainsi que le plâtre
- La masse volumique des échantillons (C<sub>0</sub>) est élevée par rapport à celle du (C<sub>1</sub>), (C<sub>2</sub>), (C<sub>3</sub>) et ça dû à l'absence du ciment

**Tableau IV.4 : résultats de la variation de la masse volumique des briques de Temchemt en fonction des pourcentages de la chaux:**

Échantillons	C <sub>0</sub>	C <sub>1'</sub>	C <sub>2'</sub>	C <sub>3'</sub>	C <sub>4'</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.449	1.394	1.378	1.402	1.400	2.057	2.141	1.474



**Figure IV.3 : Variation de la masse volumique en fonction de des pourcentages de la chaux**

A partir la figure (IV.3) nous constatons :

- Une diminution légère de la masse volumique en fonction de l'augmentation pourcentage des de la chaux dans le mélange,. En effet la masse volumique du Temchemt est plus grande que celle de la chaux.
- La masse volumique de l'échantillon (C<sub>0</sub>) est élevée par rapport à celle du (C<sub>1</sub>'), (C<sub>2</sub>'), (C<sub>3</sub>'), (C<sub>4</sub>'), (C<sub>5</sub>') et ça dû à l'absence de la chaux
  - La masse volumique des échantillons (C<sub>4</sub>) et (C<sub>5</sub>) et ( C<sub>6</sub>) sont les plus élevées que les autres compositions et ça dû à la présence du grivlette et le plâtre et l'argile qui augmente la masse volumique

### IV.3.2. Résultat de mesure des propriétés mécaniques :

Pour la réalisation des essais nous avons confectionné au total 30 briques (4x4x16),et 27 briques (24x11.5x5.2) dont 3 briques pour chaque composition.

Pour les calculs des résultats nous avons pris la moyenne entre les résultats obtenus

#### IV.3.2.1.Essai de la résistance de traction par flexion:

##### ❖ -Principe d'essai

Des éprouvettes prismatiques sont soumises jusqu'à rupture à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs. La charge maximale atteinte au cours de l'essai est enregistrée et la résistance en flexion est calculée.

##### ❖ Conduite de l'essai :

Cet essai est établi suivant la norme EN 196-1. La figure III.6 présente le dispositif à rouleau utilisé en flexion trois points ; comportant deux appuis à rouleau distant de 100 mm sur lesquels repose l'éprouvette prismatique 40x40x160 mm, et un troisième rouleau équidistant des deux premiers, transmettant une charge concentrée  $F_f$ .

##### ❖ Expression des résultats :

La formule qui nous permet de calculer la résistance à la flexion est comme suit :

$$R_f = 1,5 \frac{F_f}{b^3} l ..$$

Où : R : Résistance à la flexion en MPa ;

$F_f$  : Charge de rupture de l'éprouvette en flexion N ;

l : Longueur qui sépare les deux appuis inférieurs en mm ;

b : Côté de l'éprouvette en mm.

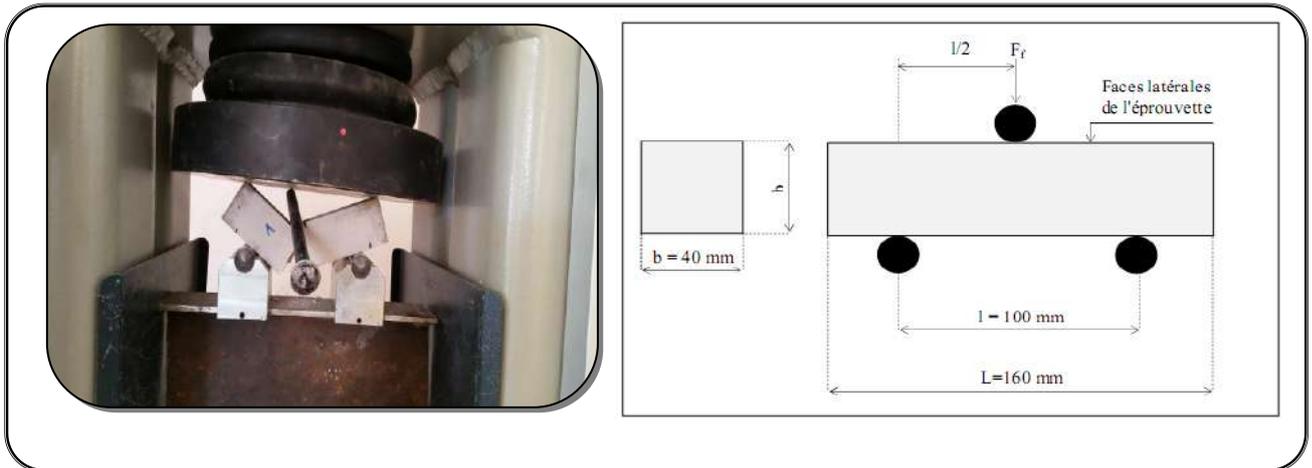


Photo IV.3 : Dispositif pour l'essai de traction par flexion (3 points)

La variation de la résistance à la flexion des briques selon les compositions proposées est représentée dans le tableau suivant :

Tableau IV.5 : résultats de la résistance à la flexion des briques de temchement en fonction des pourcentages de ciment

Echantillons	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
R <sub>f</sub> MPa	2.96	3.28	3.74	3.90	0.81	2.34	8.04

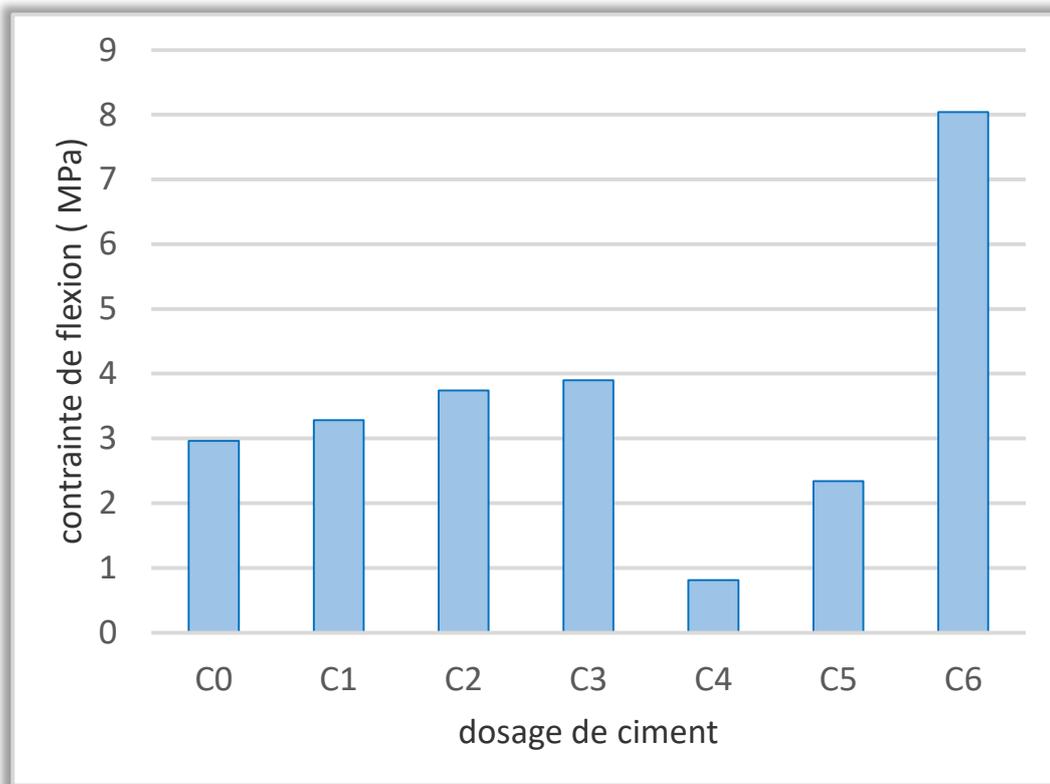
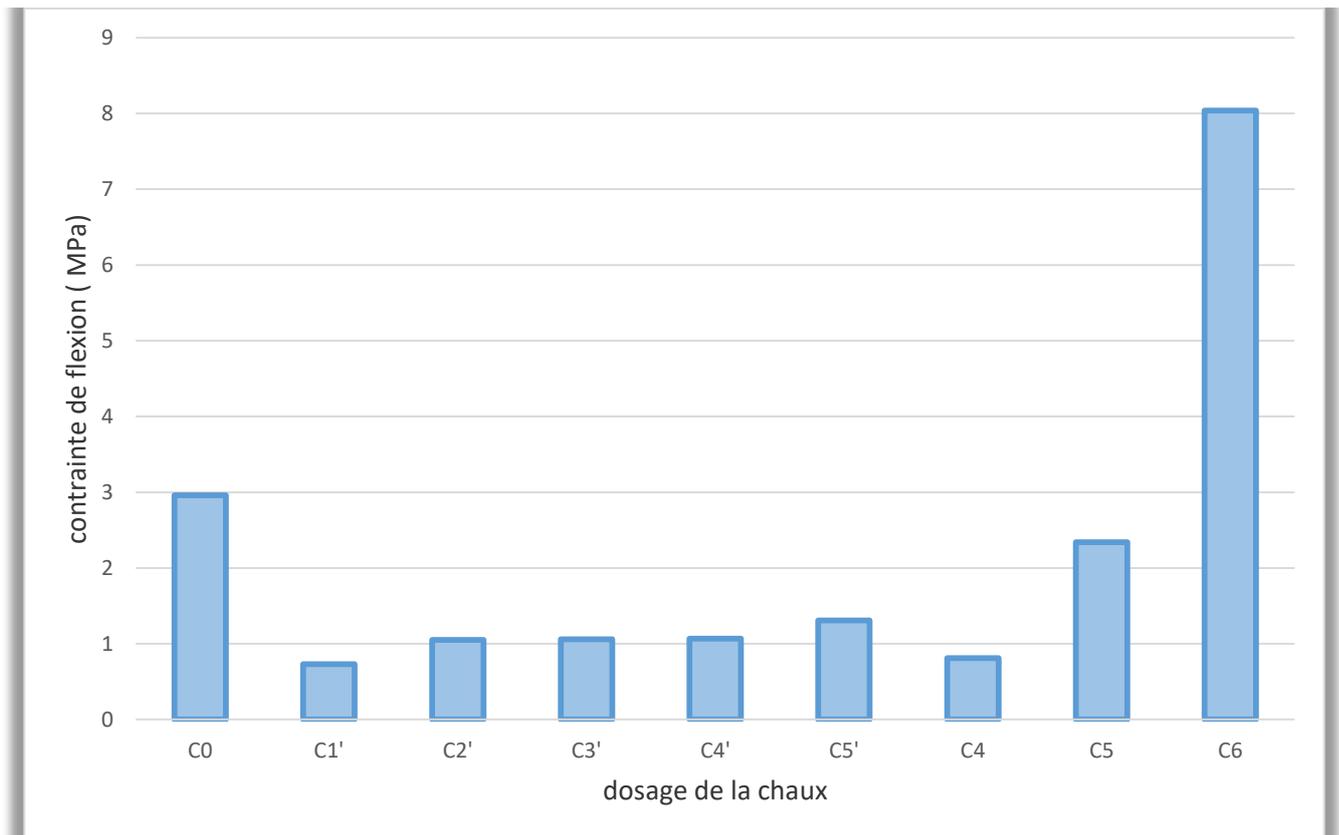


Figure IV.4 : résistance à la traction par flexion en fonction du dosage en ciment

**Tableau IV.6 : résultats de la résistance à la flexion des briques de Temchemt en fonction des pourcentages de chaux**

Echantillons	C <sub>0</sub>	C <sub>1'</sub>	C <sub>2'</sub>	C <sub>3'</sub>	C <sub>4'</sub>	C <sub>5'</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
R <sub>f</sub> MPa	2.96	0.73	1.05	1.06	1.07	1.31	0.81	2.34	8.04



**Figure IV.5 : résistance à la traction par flexion en fonction du dosage de la chaux**

D'après les figures (IV.4) et (IV.5) on remarque une diminution de la résistance à la traction par flexion entre C<sub>0</sub> et C<sub>1</sub> puis une presque stabilité entre C<sub>1</sub>- C<sub>4</sub>.

Une augmentation minimale entre C<sub>4</sub>-C<sub>5</sub>

Une augmentation franche de la résistance à la traction par flexion entre C<sub>5</sub>-C<sub>6</sub> et ça due à la bonne résistance et adhérence des liants (ciment ou chaux) par rapport à celle du Temchemt.

Les briques de Temchemt stabilisées par le ciment ont données une résistance plus élevée que celles stabilisées à la chaux.

### IV.3.2.3 Résistance à la compression :

#### ❖ Objectifs de l'essai :

Cet essai a pour objet la détermination de la résistance à la compression ou la résistance à l'écrasement d'une partie de la brique après l'essai de flexion.

#### ❖ Principe de l'essai :

Cet essai est régi suivant la norme EN 196-1, exécuté avec une presse (Photo IV.4) pour Matériaux durs, comportant une mâchoire inférieure fixe et une mâchoire supérieure mobile. L'éprouvette étudiée est soumise à une charge croissante jusqu'à la rupture, la résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette. La figure suivante montre le dispositif expérimental de l'essai de compression.

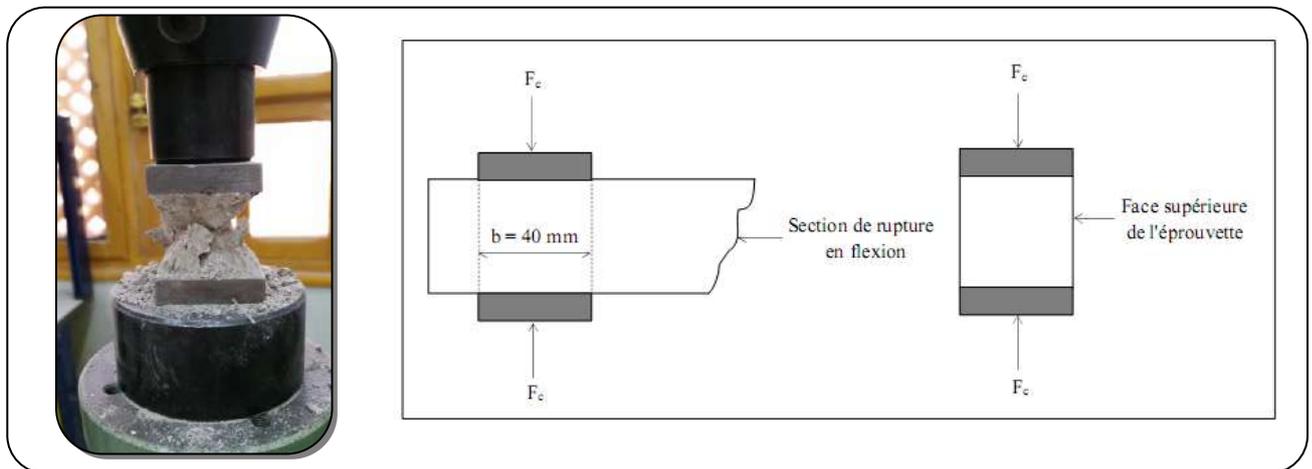


Photo IV.4 : Dispositif de rupture en compression

#### ❖ Expression des résultats :

La résistance à la compression est donnée par l'équation suivante :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2}$$

Où :

$R_c$ : Résistance à la compression en MPa ;

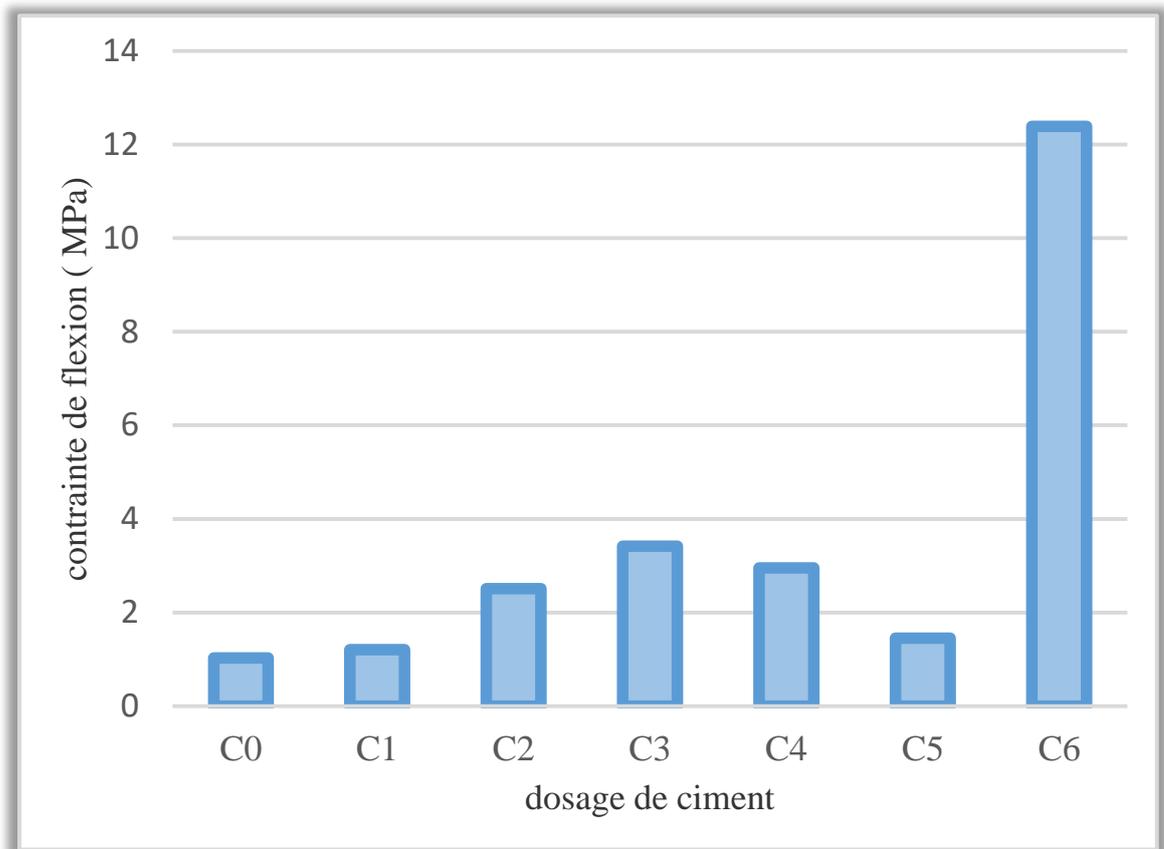
$F_c$  : Charge de rupture en N ;

$b$  : Côté de l'éprouvette en mm.

La variation de la résistance à la compression des briques selon les compositions proposées est représentée dans le tableau suivant :

**Tableau IV.7: résultats de la résistance à la compression des briques de Temchemt en fonction des pourcentages de ciment**

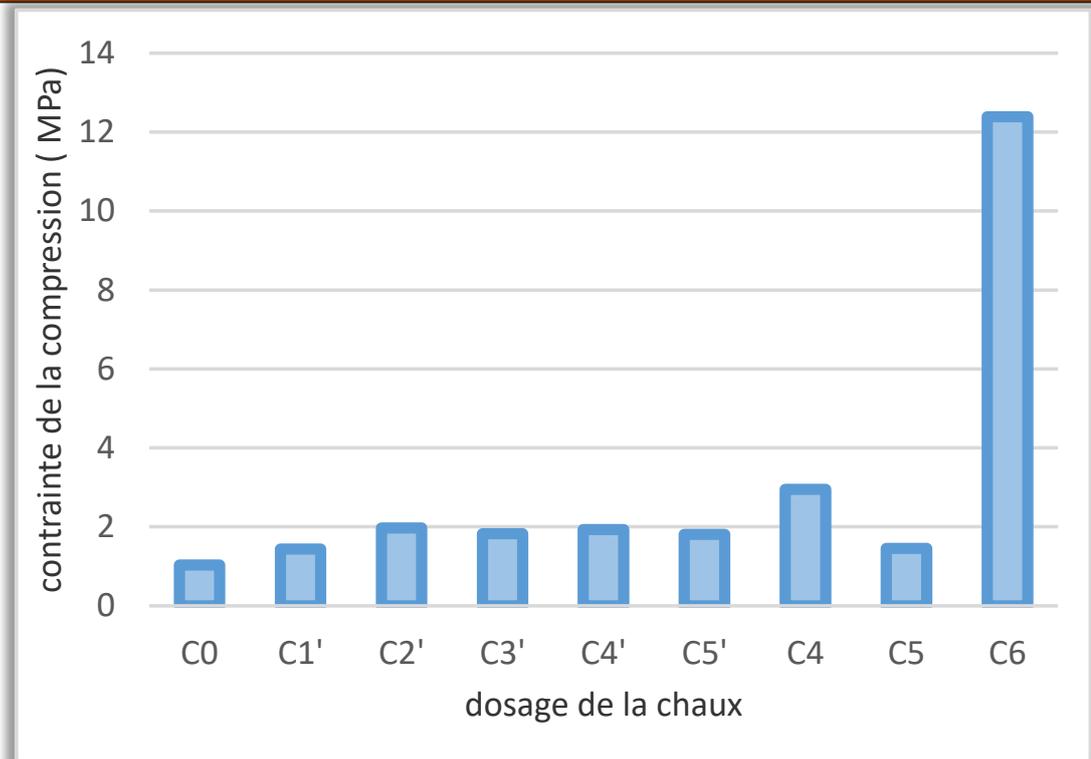
Echantillons	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
R <sub>c</sub> MPa	1.03	1.21	2.51	3.42	2.95	1.45	12.39



**Figure IV.6 : Dispositif pour l'essai de traction par flexion (3 points)**

**Tableau IV.8 : résultats de la résistance à la compression des briques de temchemt en fonction des pourcentages de la chaux**

Echantillons	C <sub>0</sub>	C <sub>1'</sub>	C <sub>2'</sub>	C <sub>3'</sub>	C <sub>4'</sub>	C <sub>5'</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
R <sub>c</sub> MPa	1.03	1.44	1.97	1.83	1.93	1.81	2.95	1.45	12.39



**Figure IV.7 : résistance à la compression en fonction du dosage de la chaux**

D'après figure(IV.6) et (IV.7) on remarque que la résistance à la compression des briques de Temchemt est augmentée légèrement en fonction du dosage du ciment ou la chaux.

La valeur maximale de la résistance à la compression à 15 jours est obtenue dans les briques C<sub>5</sub>, La valeur minimale de la résistance en compression à 15 jours est obtenue dans les de dosage C<sub>0</sub> %

Ceci peut être expliqué que la résistance des briques est influencée par la modification de la texture, où l'importance de la force d'adhésion entre Temchemt et le ciment .

En conséquence, l'augmentation de la résistance à la compression selon le dosage de Liant est expliquée par une diminution de taux de vide entre les graines de Temchemt

- notons que les valeurs de la résistance à la compression restent toujours supérieures aux brique témoins de plâtre une preuve de la bonne adhérence entre ces grains et inférieurs aux briques témoins de parping une preuve de la mauvaise adhérence de la matrice du mélange
- Si nous comparons nos résultats de résistance par rapport aux résultats des références nous pouvons dire que nos briques sont moyennes à acceptable de point vue résistance.
- Dans cette étude nous n'avons pas utilisé un pourcentage plus de 3% au ciment, il sera souhaitable d'étudier le pourcentage optimal dans une étude ultérieure

**IV.3.2.4. Essai ultrasonique :****❖ Appareille utilisée :**

L'appareillage est essentiellement constituée d'un générateur d'impulsion électrique de plusieurs transducteurs (un émetteur et un ou plusieurs récepteur) et d'un dispositif de chronométrage permettant de mesurer l'intervalle de temps qui s'écoule entre le départ de l'impulsion générée par le transducteur –émetteur et la détection de son arrivée au transducteur-récepteur, ou le temps qui s'écoule entre passage de cette impulsion entre deux transducteur .

**❖ Objectifs d'essai :**

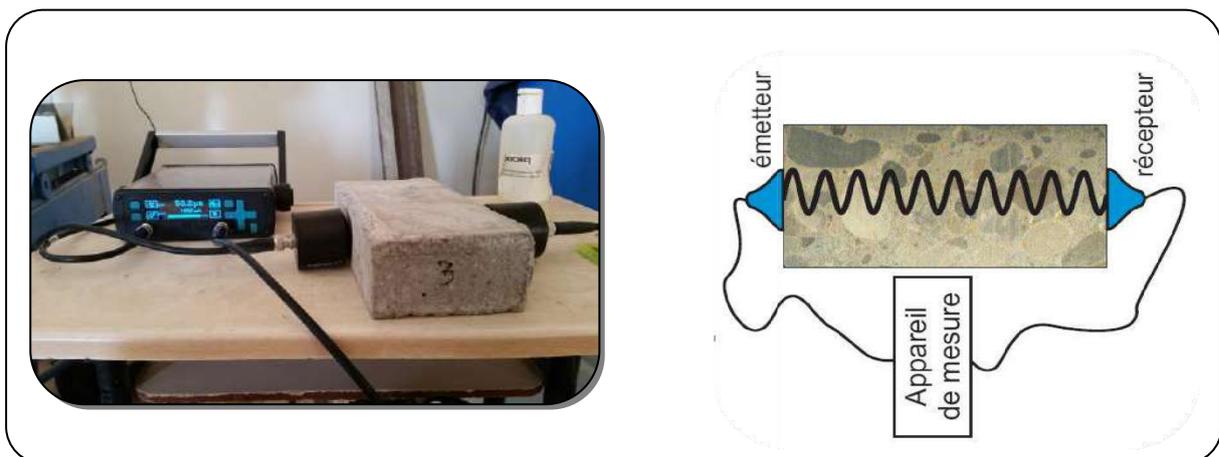
Mesure de la vitesse des impulsions ultrasoniques de vibrations longitudinaux passant à travers le brique peut être utilisé pour les applications suivantes :

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

**❖ Principe de l'essai :**

Mesure du temps de propagation de la première impulsion des ondes appelées ondes longitudinales généré par un transducteur entre deux points déterminés de la brique. On peut à partir du temps de propagation mesuré, exprimer une vitesse

Conventionnelle de propagation : c'est le quotient de la distance entre transducteur par le temps mesuré.



**Photo IV.5 : essai ultrasonique**

## ❖ Expression des résultats :

La vitesse conventionnelle de propagation est calculée par la formule :

$$V = \frac{L}{T}$$

**L** : est la distance entre le transducteur en mètres

**T** : est le temps de propagation en secondes.

La vitesse des ondes sonores dans la brique dépend des caractéristiques élastiques, de la densité et de la teneur en humidité. C'est pourquoi, il est possible de faire des indications sur la régularité du brique la fissuration, les endroits creux et sur les dommages dus au gel ou au feu.

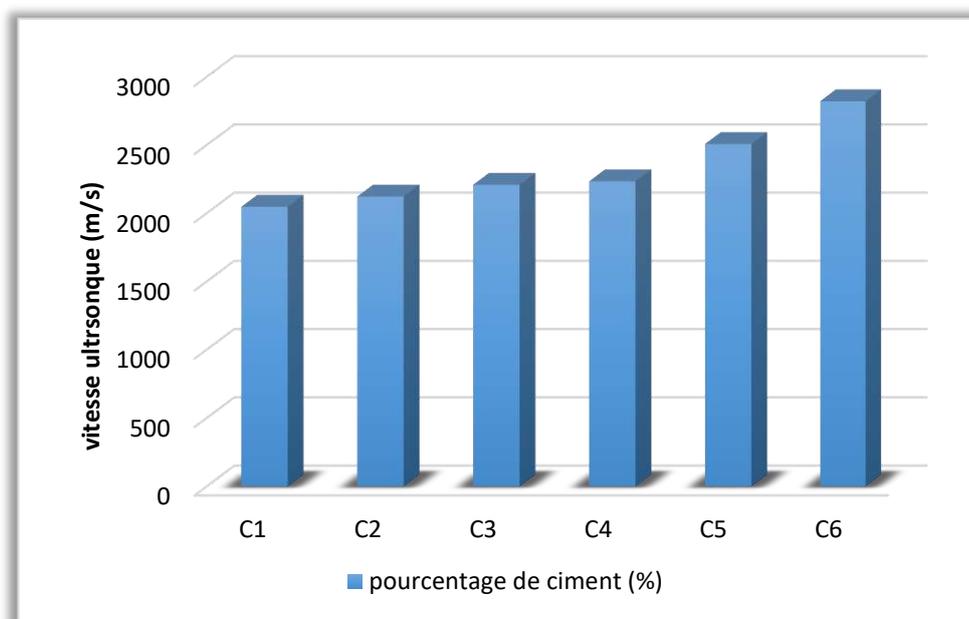
A partir des temps de propagation mesurés et de la distance de propagation, on calcule V, la célérité ou vitesse ultrasonique des ondes.

Pour la réalisation des essais nous avons confectionné au total 27 briques (24x11.5x5.2) dont 3 briques pour chaque composition.

Pour les calculs des résultats nous avons pris la moyenne entre les résultats obtenus

**Tableau IV.9: résultats de Vitesse des ondes ultrasoniques en fonction de dosage de ciment**

Echantillons	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
V m/s	2048.45	2123.34	2209.49	2234.54	2821.92	2678.8	2821.92



**Figure IV.8 : Vitesse de son en fonction du dosage en ciment**

D'après les figures (IV.8) on remarque que la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques augmente en fonction de l'augmentation du dosage en liant ciment, cette augmentation est due essentiellement à l'amélioration de la compacité des temchemt stabilisée par le ciment .

Tableau IV.10 :résultats de Vitesse des ondes ultrasoniques en fonction de dosage de la chaux

Echantillons	C <sub>0</sub>	C <sub>1'</sub>	C <sub>2'</sub>	C <sub>3'</sub>	C <sub>4'</sub>	C <sub>5'</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
V m/s	2048.45	1875.58	1012.58	Détruire		2508.38	2821.92	2678.8	2821.92

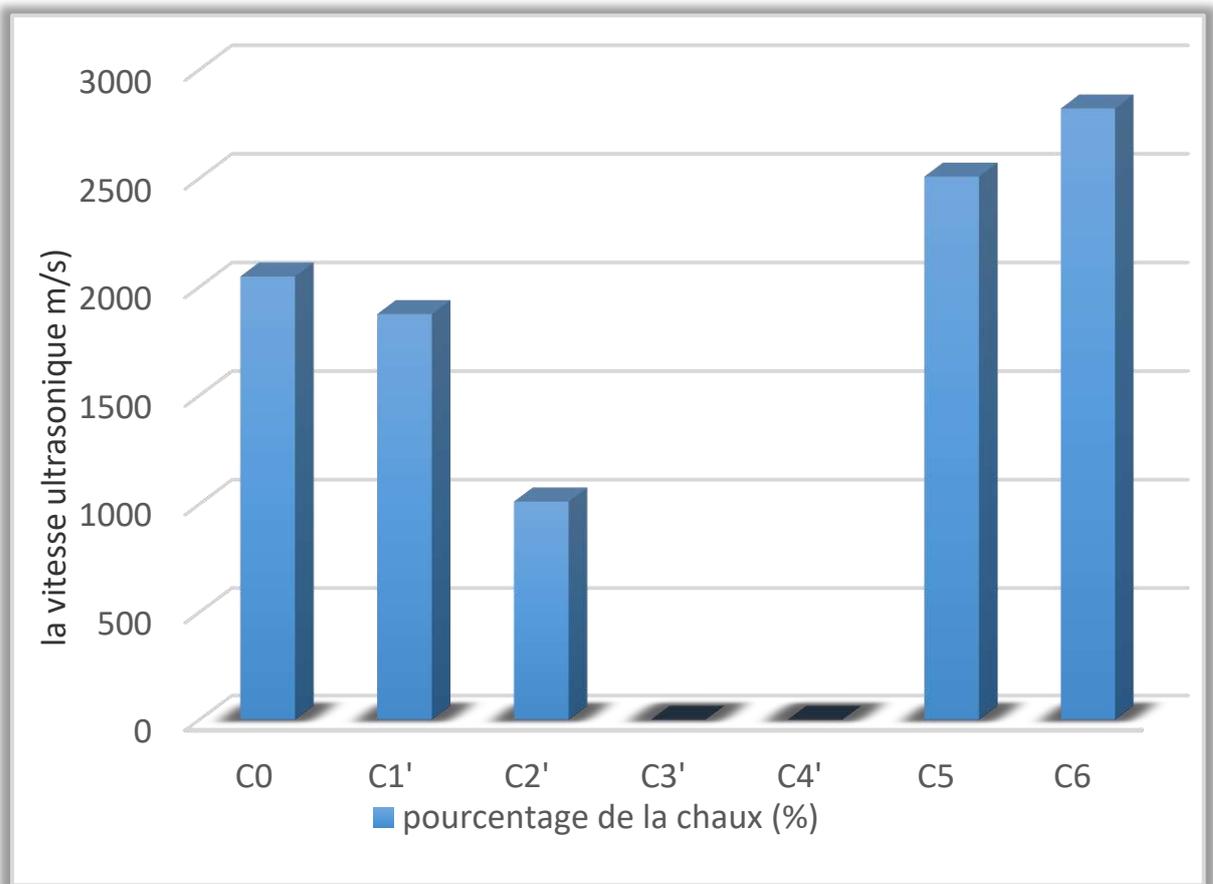


Figure IV.9 : Vitesse de son en fonction du dosage en chaux

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

Les briques de la composition (C<sub>4'</sub>) et (C<sub>4''</sub>) ont été toutes fissurées et détruire, ceci peut être expliqué par la faible cohésion et l'adhérence de cette matrice.

On constate que la compacité des briques stabilisée par le ciment est plus grande que celles stabilisée par la chaux.

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

- la masse volumique ;
- la résistance à la compression ;

Le choix des briques dépend de la vitesse du son qui donne une résistance de compression convenable. Cet essai est réalisé au laboratoire de béton université KASDI MERBAH Ouargla.

### IV.3.3. Essais Thermiques :

#### IV.3.3.1 Caractéristiques thermiques :

Les propriétés isolantes des matériaux de construction se quantifient au travers de deux paramètres usuels : la conductivité thermique «  $\lambda$  » et la diffusivité «  $a$  ». Ceux-ci dépendent des caractéristiques intrinsèques des constituants, de la microstructure du matériau et des conditions de conservation (rôle de l'eau).

Cette partie est consacrée à l'étude du phénomène de conduction en milieu sec et saturée de manière expérimentale. Dans notre travail expérimental on a pu réaliser l'essai thermique permettant de calculer la conductivité thermique  $\lambda$  et la diffusivité thermique  $\alpha$ .

**La diffusivité thermique «  $a$  »** d'un matériau exprime la vitesse de propagation d'une perturbation thermique dans un milieu, elle est exprimée en ( $m^2/s$ ).

Tandis que **la conductivité thermique «  $\lambda$  »** exprimée en  $W.m^{-1}.K^{-1}$ , traduit l'aptitude d'un matériau à conduire la chaleur

Pour cette mesure il existe plusieurs méthodes d'essai, nous avons utilisé dans notre cas la méthode dite de la Source Plane TPS .

#### IV.3.3.2 Technique de la Source Plane TPS :

##### ❖ Avantages de la méthode TPS :

Les principaux avantages de la technique TPS (Transient Plane Source ou Hot Disk) sont :

- Elle ne demande pas un matériel sophistiqué ;
- Elle peut faire la mesure de plusieurs paramètres thermiques à la fois ;
- Elle peut être utilisée pour la mesure d'une large gamme de propriétés et dans différentes conditions (liquides, hautes et basses températures, plaques...) ;

- L'utilisation de capteurs avec une grande surface permet de couvrir une grande surface à l'échelle du volume élémentaire représentatif ;
- Les mesures peuvent être faites sur des échantillons de diverses formes et de différentes tailles, à condition de posséder au moins une surface plane ;
- Elle est utilisable pour la mesure des propriétés thermophysiques des matériaux anisotropes ;

#### IV.3.3.3. Démarche expérimentale :

La conductivité thermique, la diffusivité thermique et la chaleur spécifique par unité de volume de chaque mortier durcis, ont été déterminées en utilisant la technique **Hot Disk TPS 1500 de Thermal Constant Analyzer Test System (Photo II.7)** disponible au niveau du laboratoire de génie civil, division : Développement et Valorisation des Matériaux Locaux « Durabilité et Transfert thermique » de l'université de Laghouat.



Photo IV.6 : Les échantillon 4x4x2 ciment + la chaux



Photo IV.7 : La sonde Hot Disk



Photo IV.9 : Mesure de propriétés thermique à l'aide du système «Hot Disk».



Photo IV.8. Dispositif de serrage.

#### • Laboratoire de recherche de Génie Civil De l'Université de Laghouat

L'essai consiste à serrer la sonde de dimensions (40x60mm) celle dans la (Photo IV.9) entre deux échantillons des mêmes dimensions (40x40x20mm) selon un dispositif sandwich tenu entre un support (voir Photo IV.8) afin d'empêcher de bouger les échantillons, ensuite on délivre un flux de chaleur d'une puissance égal à (0.25W) pour l'état saturé des échantillons et (0.55W) pour l'état

sec. On obtient par la suite le graphe des températures expérimentales  $T_0$  enregistrées à chaque seconde.

La durée totale du régime transitoire varie de 40 à 80 secondes selon état (sec).

Le thermographe enregistrant l'élévation de la température dans la sonde TPS a montré que

L'évaluation des paramètres thermiques peut être effectuée en utilisant une plage de points de Mesures située entre 60 à 160 de chaque série de mesure.

#### IV.3.3.4. Etude des caractéristiques thermiques :

Les propriétés de transferts thermiques sont directement liées aux constituants, à la Morphologie du milieu (matrice solide et réseau poreux) et aux interactions entre les différents types de transferts existant dans le matériau. Les propriétés isolantes des matériaux de construction se quantifient au travers de deux paramètres usuels : la conductivité thermique  $\lambda$  et la diffusivité  $a$ . Ceux-ci dépendent des caractéristiques intrinsèques des constituants, de la microstructure du Matériau et de son état hydrique.

##### ❖ la conductivité thermique $\lambda$ du Temchemt stabilisé par ciment :

La conductivité thermique  $\lambda$  des matériaux est la propriété la plus couramment étudiée car Elle dépend uniquement de la structure du matériau et de ses composants.

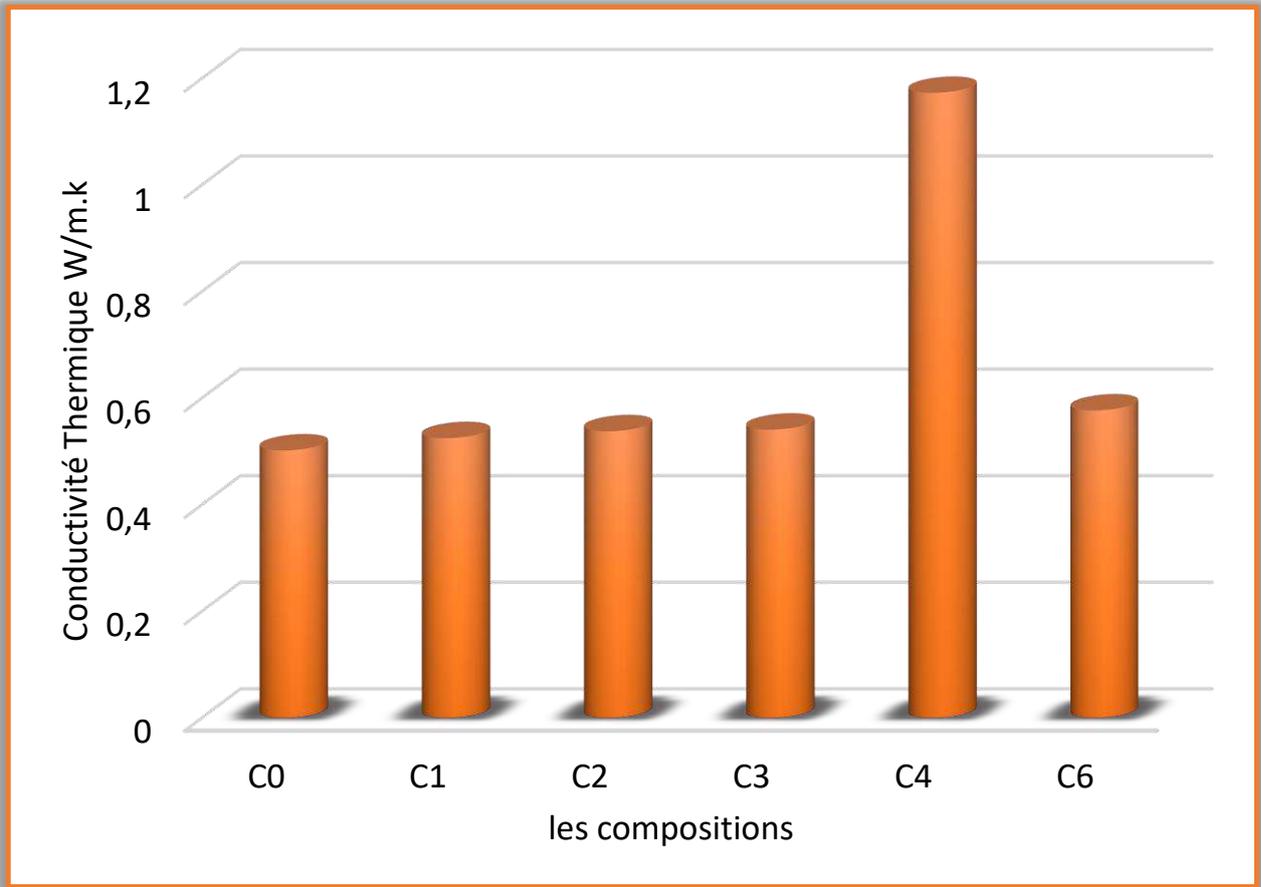
Elle renseigne sur le pouvoir d'isolation thermique d'un matériau donné. En effet, la Conductivité thermique mesure la capacité d'un matériau à conduire de la chaleur. Elle varie avec La masse volumique du matériau.

La technique de mesure que nous avons utilisée pour déterminer la conductivité thermique Est la méthode dite Source Plane TPS dont la démarche expérimentale est détaillée et décrite au début. Chaque résultat représente la moyenne de trois mesures effectuées sur chaque échantillon. Les valeurs moyennes des conductivités thermiques  $\lambda$ , du temchemt +ciment pour différents pourcentages obtenues avec la méthode du Source Plane TPS, sont reportés dans **le tableau IV.11**.

**Tableau IV.11: Les valeurs de la conductivité thermique  $\lambda$  du temchemt stabiliser par ciment**

Les compositions	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>6</sub>
$\lambda$ (W/m.k)	0.502	0.525	0.538	0.541	1.173	0.577

La figure IV.10 montre la variation de la conductivité thermique des briques en fonction des différents pourcentages du temchemt et ciment + brique témoins



**Figure. IV.10: Conductivité Thermique en fonction de pourcentage de ciment**

D'après les figures (IV.10) , nous remarquons une augmentation de la conductivité thermique en fonction de l'augmentation du dosage en ciment.

Cette augmentation est due à la conductivité plus élevée du ciment.

Les propriétés des matériaux sont fortement corrélées aux types de liaison entre les atomes, l'augmentation de la conductivité thermique constatée dans notre cas est due aux fortes liaisons atomiques entre les atomes de la matrice du mélange ainsi que leur empilement

Les briques d'argile pure C<sub>4</sub> est le plus élevé avec C<sub>6</sub> parce que elle est très dense et les particules d'argile et le plâtre sont très fines par rapport aux particules de Temchemt , l'augmentation du % de ciment dans le mélange fait diminuer le volume des vides qui favorise l'augmentation de la conductivité thermique.

#### ❖ Résistance thermique (R<sub>th</sub>) :

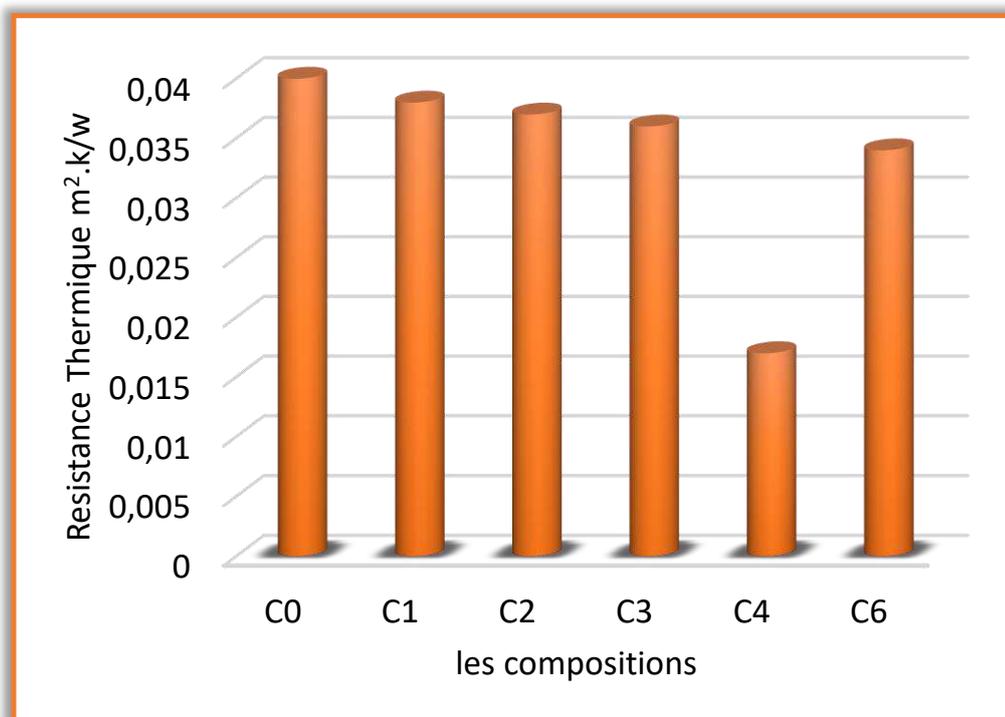
La résistance thermique représente la résistance de l'élément à la transmission de chaleur à travers son épaisseur, elle est généralement connue sous le terme de « isolation thermique ». L'augmentation de la résistance thermique implique que l'élément est isolant. Elle s'exprime en  $W.m^{-2}.K^{-1}$

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda}$$

**Tableau IV.12: Les valeurs de la résistance thermique  $R_{th}$  du temchemt stabiliser par ciment**

Les compositions	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>6</sub>
$R_{th}$ (m <sup>2</sup> .k/w)	0.040	0.038	0.037	0.036	0.017	0.034

La figure IV.11 montre la variation de la conductivité thermique des briques en fonction Des différents pourcentages du temchemt et ciment + brique témoins



**Figure. IV.11: Résistance Thermique en fonction de pourcentage de ciment**

- L'histogramme de la figure IV.11 indique que la résistance thermique à automatiquement diminué car elle est inversement proportionnelle à la conductivité thermique
- Les résultats obtenus montrent que le temchemt (C<sub>0</sub>) , possède un pouvoir isolant thermique meilleur à celui des autre composant
- L'argile a une mauvaise Résistance Thermique

❖ **La chaleur spécifique massique :**

Le tableau (IV.13) regroupe la variation de la chaleur spécifique des briques en fonction du pourcentage de ciment dans la confection de nos briques.

**C<sub>p</sub> (MJ/m<sup>3</sup>.K)**

Tableau IV.13: Les valeurs de La chaleur spécifique du temchemt stabiliser par ciment

Les compositions	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>6</sub>
C <sub>p</sub> (MJ/m <sup>3</sup> .K)	1,193	1,150	0,992	1,231	1,537	1,004

La figure IV.12 montre la variation de **La chaleur spécifique massique** des briques en fonction Des différents pourcentages du temchemt et ciment + brique témoins

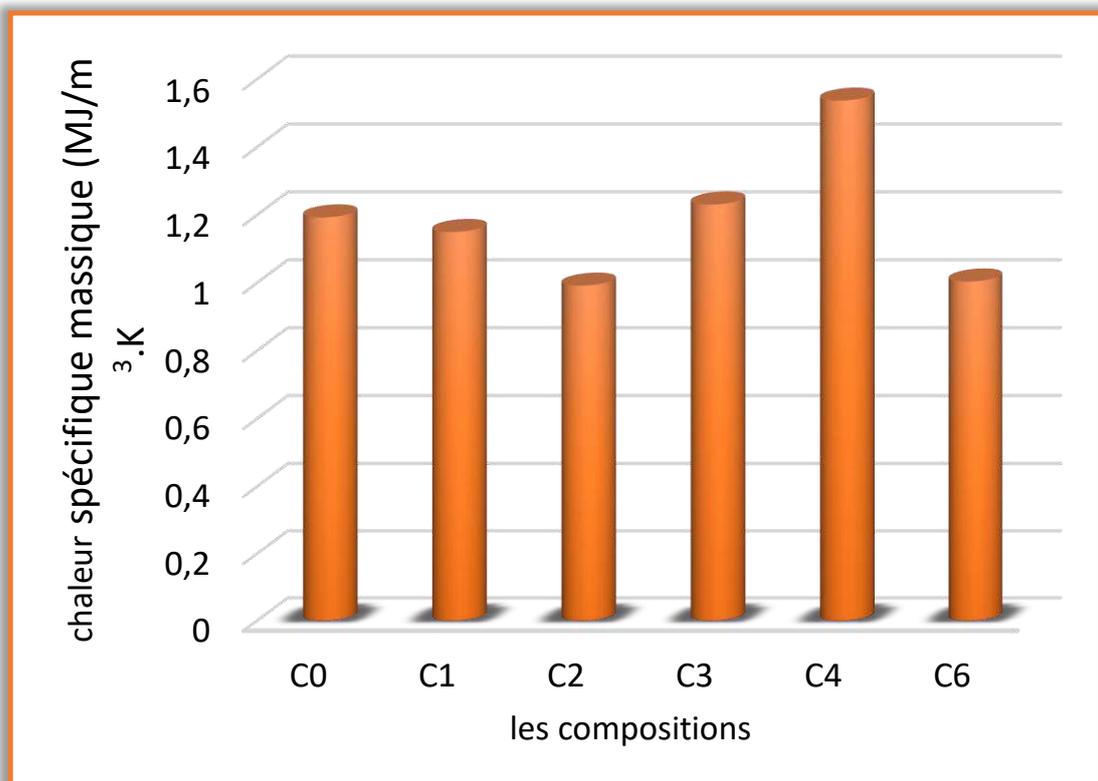


Figure. IV.12: La chaleur spécifique massique en fonction de pourcentage de ciment

A partir la figure (IV.12) nous remarquons que :

Une augmentation de la chaleur spécifique en fonction de dosage de ciment C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>..car la chaleur spécifique du ciment est plus importante que celle des sols temchemt, Cela est logique du fait que théoriquement Cp varie dans le même sens que  $\lambda$

#### ❖ Résultats de la diffusivité thermique :

Les mesures de la diffusivité thermique ont été effectuées en utilisant la technique de la sonde plane (TPS). La sonde est placée en sandwich entre deux éprouvettes (4x4x2 cm<sup>3</sup>) préalablement jumelés. Le dispositif expérimental utilisé est celui représenté en Photo II.7.

Elle s'exprime en (mm<sup>2</sup>/s) .

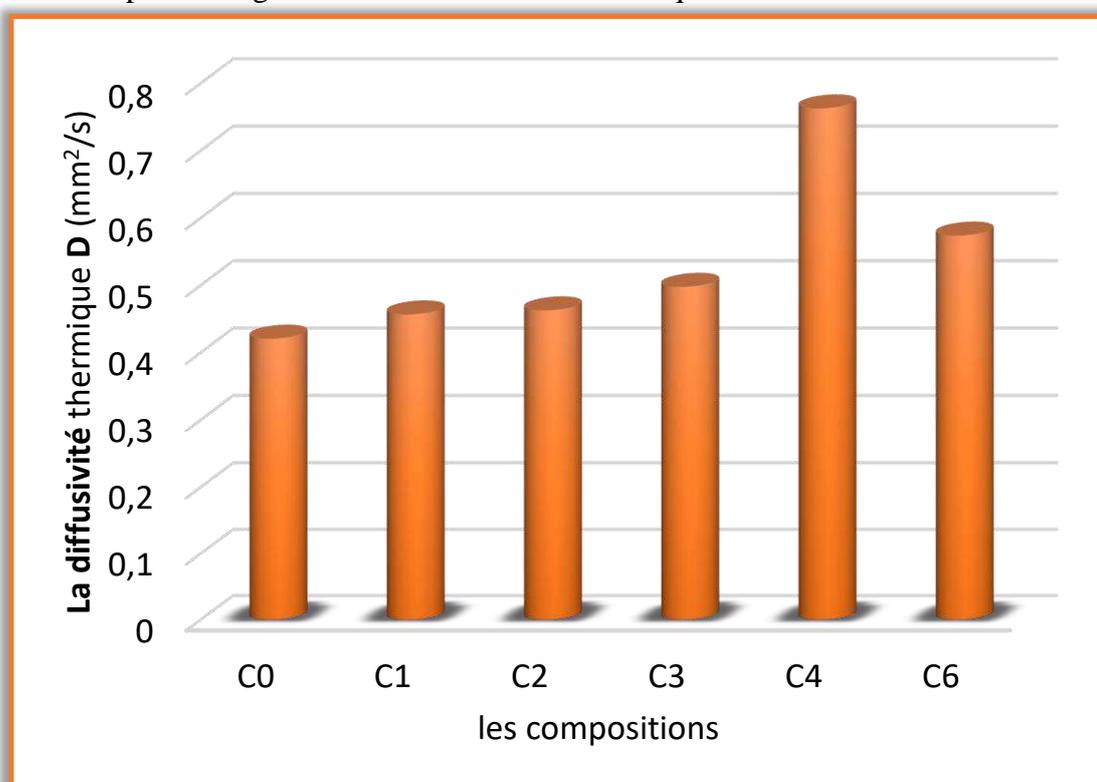
$$D = \frac{\lambda}{\rho \cdot cp}$$

Les résultats de mesures de la diffusivité thermique, sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau IV.14: Les valeurs de diffusivité thermique du temchemt stabiliser par ciment**

Les compositions	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>6</sub>
D (mm <sup>2</sup> /s)	0,421	0,457	0,463	0,498	0,763	0,575

La figure IV.13 montre la variation de diffusivité thermique des briques en fonction Des différents pourcentages du temchemt et ciment + brique témoins



**Figure IV.13. La diffusivité thermique en fonction de pourcentage de ciment**

D'après la figure **IV-13**, la diffusivité thermique décrit la rapidité d'un déplacement des calories à travers la masse d'un matériau et en référence au paragraphe précédent Nous remarquons nettement que le matériau qui se réchauffe plus et celui qui a une diffusivité plus grande donnée par le pourcentage de 3%.

Nous constatons une évolution de la diffusivité thermique en fonction de l'augmentation du pourcentage de ciment. D'après l'équation qui détermine  $D = \lambda / \rho \cdot Cp$  nous avons vu que  $\lambda$ ,  $\rho$  et  $p$

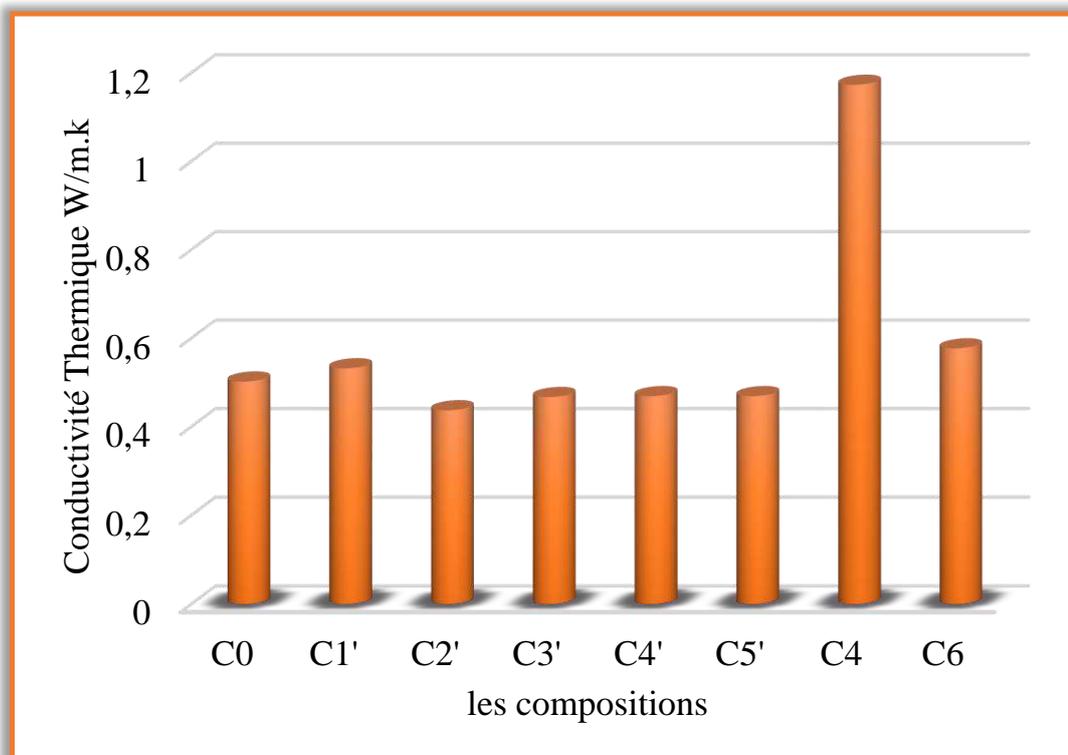
diminuent avec l'augmentation de sable .C'est logique lorsque  $\lambda / r.C_p$  augmente avec l'augmentation de % ciment.

**La conductivité thermique  $\lambda$  du temchemt stabilisé par la chaux :**

**Tableau IV.15:Les valeurs de la conductivité thermique  $\lambda$  du temchemt stabiliser par la chaux**

Les compositions	C <sub>0</sub>	C <sub>1'</sub>	C <sub>2'</sub>	C <sub>3'</sub>	C <sub>4'</sub>	C <sub>5'</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>6</sub>
$\lambda$ (W/m.k)	0.502	0,532	0,437	0,467	0,469	0,486	1.173	0.577

La figure IV.14 montre la variation de la conductivité thermique des briques en fonction des différents pourcentages du temchemt et la chaux + brique témoins



**Figure. IV.14: Conductivité Thermique en fonction de pourcentage de la chaux**

❖ **Résistance thermique (R<sub>th</sub>) :**

**Tableau IV.16:Les valeurs de la résistance thermique R<sub>th</sub> du temchemt stabiliser par la chaux**

Les compositions	C <sub>0</sub>	C <sub>1'</sub>	C <sub>2'</sub>	C <sub>3'</sub>	C <sub>4'</sub>	C <sub>5'</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>6</sub>
R <sub>th</sub> (m <sup>2</sup> .k/w)	0.040	0,037	0,045	0,043	0,042	0,041	0.017	0.034

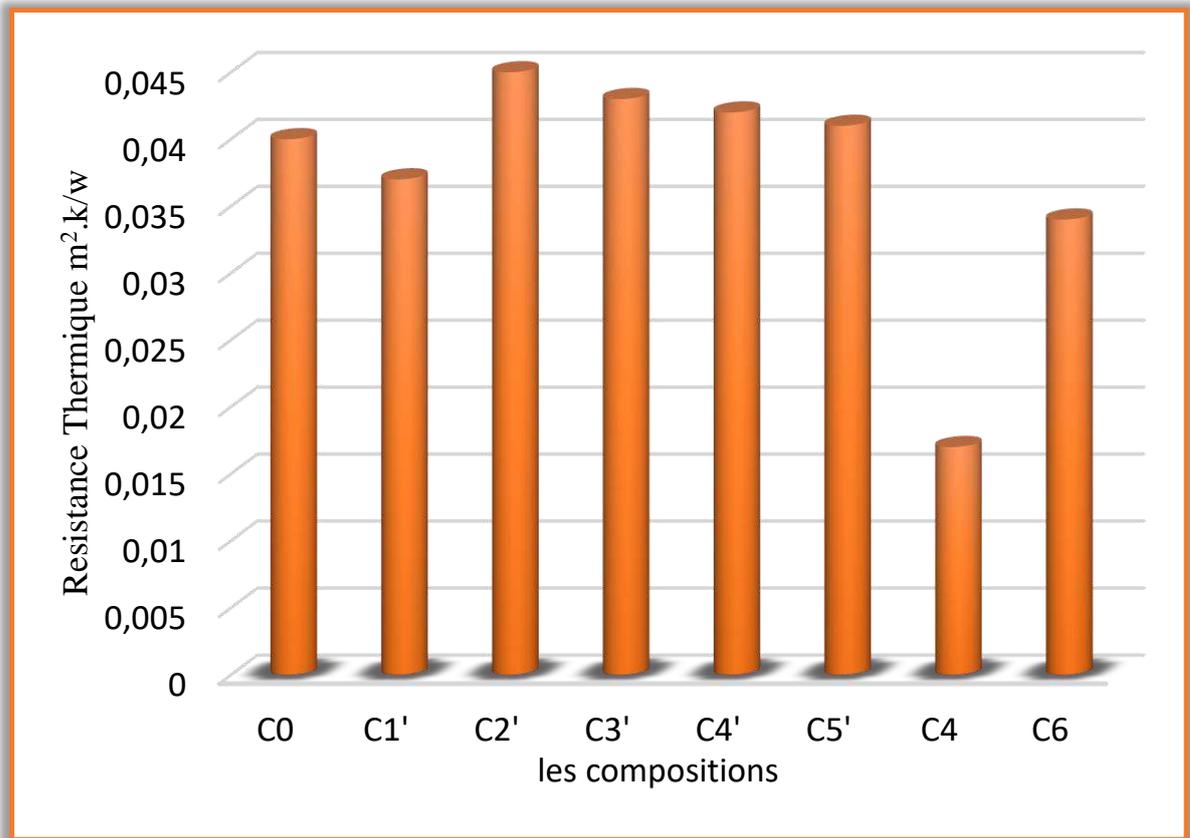


Figure. IV.15: Résistance Thermique en fonction de pourcentage de la chaux

❖ **La chaleur spécifique massique :**

Le tableau (IV.17) regroupe la variation de la chaleur spécifique des briques en fonction du pourcentage de la chaux dans la confection de nos briques.

Tableau IV.17: Les valeurs de La chaleur spécifique du temchemt stabiliser par la chaux :

Les compositions	C <sub>0</sub>	C <sub>1'</sub>	C <sub>2'</sub>	C <sub>3'</sub>	C <sub>4'</sub>	C <sub>5'</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>6</sub>
C <sub>p</sub> (MJ/m <sup>3</sup> .K)	1,193	1,313	0,965	1,201	1,270	1,061	1,537	1,004

La figure IV.16 montre la variation de **La chaleur spécifique massique** des briques en fonction Des différents pourcentages du temchemt et chaux + brique témoins

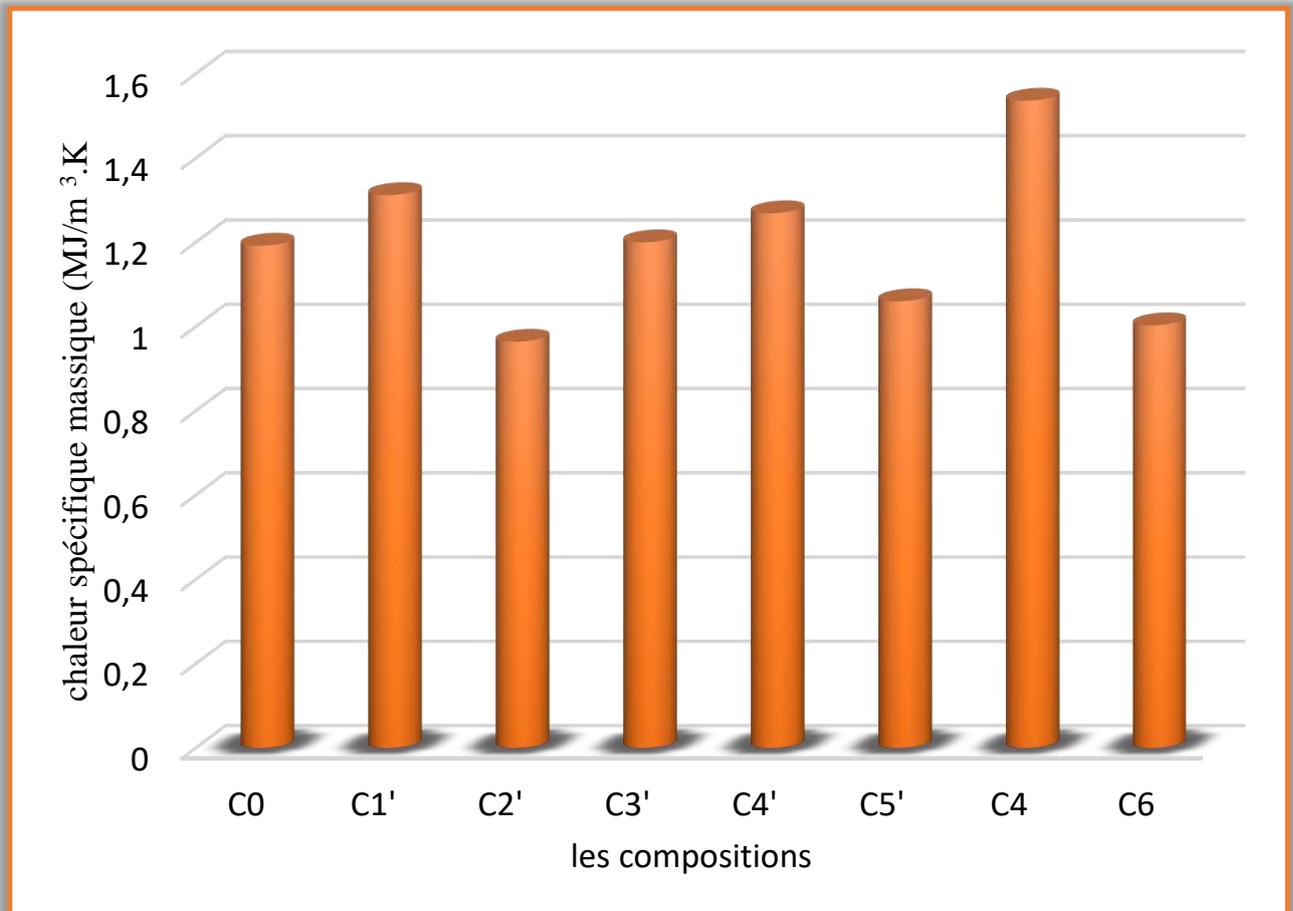


Figure. IV.16: La chaleur spécifique massique en fonction de pourcentage de la chaux

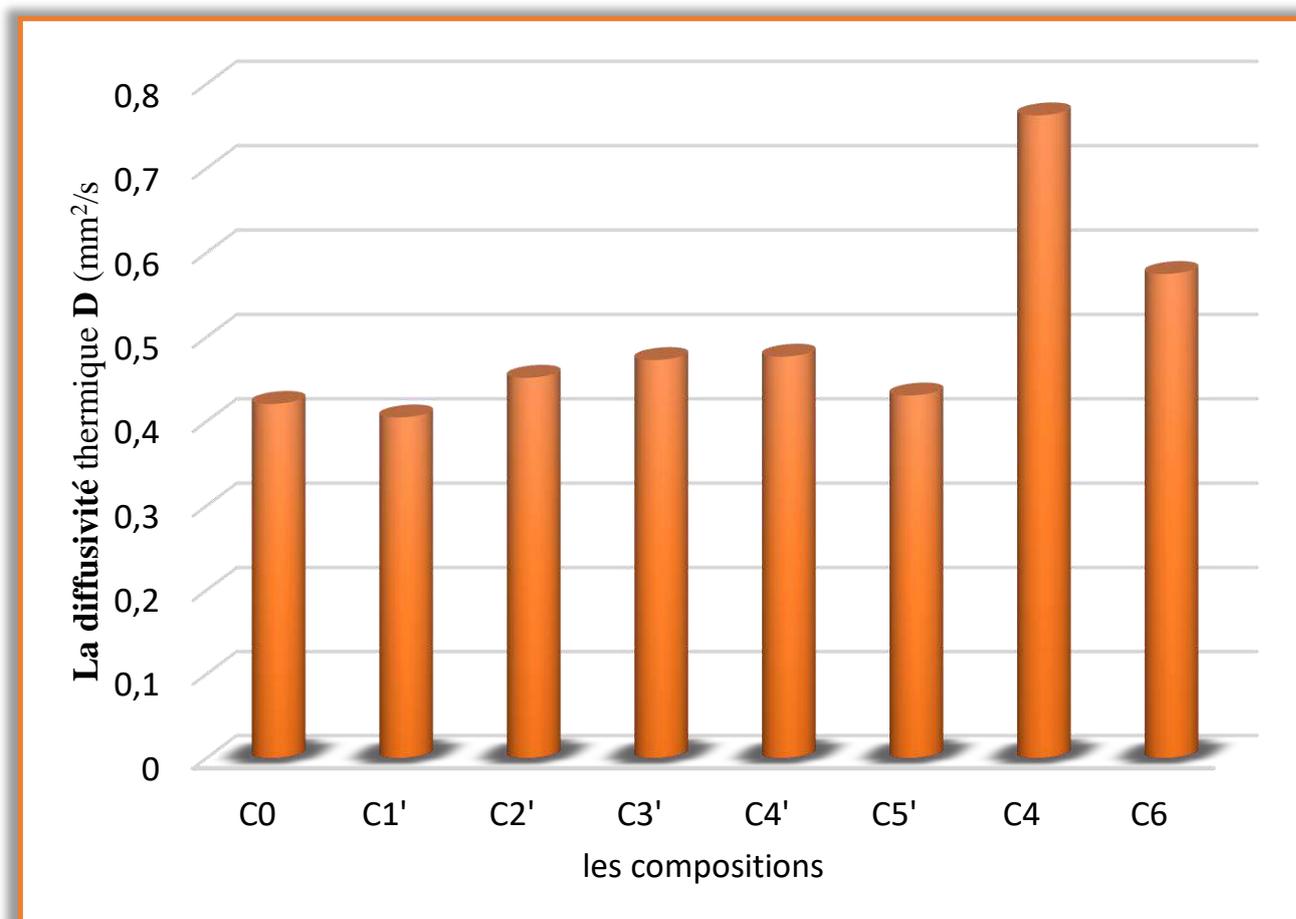
❖ Résultats de la diffusivité thermique :

Les résultats de mesures de la diffusivité thermique, sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau IV.18: Les valeurs de diffusivité thermique du temchemt stabiliser par la chaux :

Les compositions	C <sub>0</sub>	C <sub>1'</sub>	C <sub>2'</sub>	C <sub>3'</sub>	C <sub>4'</sub>	C <sub>5'</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>6</sub>
D (mm <sup>2</sup> /s)	0,421	0,405	0,452	0,473	0,477	0,431	0,763	0,575

La figure IV.17 montre la variation de diffusivité thermique des briques en fonction Des différents pourcentages du temchemt et la chaux + brique témoins



**Figure IV.17 ; La diffusivité thermique en fonction de pourcentage de la chaux**

D'après les figures (IV-16) et (IV-17), nous constatons que :

- La conductivité thermique augmente lorsque la masse volumique augmente, car on diminue la proportion de vides, dans le matériau ; en effet l'ajout de la chaux à la matrice conduit à une forte variation de la densité.
- Et au contraire la résistance thermique augmente en fonction du dosage de la chaux
- la chaleur spécifique de la chaux est plus importante que celle des Temchemt
- On constate aussi que la résistance thermique des Temchemt stabilisée par la chaux elle est Meilleure que celle stabilisée au ciment

En présente le meilleur résultat des caractéristiques thermiques et mécaniques des briques De Temchemt stabilisées par ciment ou la chaux

Ciment : (dosage 3%)

Tableau IV.19 :le meilleur résultat des caractéristiques thermiques et mécaniques des briques

caractéristiques thermiques et mécaniques des briques de Temchemt	Ciment Echantillons C <sub>3</sub> %	La chaux Echantillons C <sub>5</sub> %
*Conductivité thermique : $\lambda_{\text{moy}}$ (w/m.k)	0.541	0.486
*Résistance thermique : R <sub>th</sub> (m <sup>2</sup> .k/w)	0.036	0.041
*La chaleur spécifique massique : C <sub>p</sub> (MJ/m <sup>3</sup> .K)	1.231	1.061
*Diffusivité thermique : D (mm <sup>2</sup> /s)	0.498	0.431
*Traction par flexion : R <sub>f moy</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	3.90	1.31
*Résistance à la compression : R <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	3.42	1.81

#### IV.4. Conclusion :

L'analyse et l'interprétation des résultats obtenus après avoir réalisé les essais pour la détermination des propriétés mécanique et thermique des briques confectionnées nous a permis d'en tirer comme conclusion :

- ✚ La composition C<sub>3</sub> (avec 3% de ciment) est la composition optimale pour une bonne résistance à la flexion nous avons obtenu un gain résistance de  $R_f 3\% \text{ ciment} = 1.31 \times R_f 0\%$  plus que deux fois.
- ✚ La composition C<sub>3</sub> avec 3% de ciment représente la composition idéale pour une résistance élevée à la compression, nous avons obtenu un gain résistance de :  $R_c 3\% \text{ ciment} = 3.32 \times R_c 0\%$  plus que trois fois, En effet, l'ajout du ciment dans la composition de la brique a amélioré ces propriétés mécaniques, mais n'a joué aucun rôle dans l'aspect thermique au contraire pour, L'ajout de la chaux dans les briques influe négativement sur leurs résistance à la compression et à la flexion et positivement sur l'aspect thermique
- ✚ La vitesse de propagation des ondes ultrasoniques est augmenté en fonction de l'augmentation du pourcentage de ciment cela confirme notre hypothèse : que l'incorporation du ciment fait diminuer le % de vide ce qui augmente la conductivité thermique.
- ✚ Si nous comparons nos résultats de résistance par rapport aux résultats des références nous pouvons dire que nos briques sont moyennes à acceptable de point vue résistance.

---

## CONCLUSION GENERALE

---

L'objectif principal de cette étude est d'apporter notre contribution à la valorisation des matériaux de construction locaux et élargir le domaine de son utilisation de façon rationnel. Le matériau valorisé est le temchemt qui se trouve après la cuisson en forme de gypse au sud algérien. Dans ce domaine, il existe très peu de travail de recherche à ce sujet localement à l'heure actuelle.

Le travail que on a effectué consiste à apporter une contribution à la valorisation des sols Temchemt et de l'intégrer d'une façon rationnelle dans le domaine de construction, en substituant l'utilisation des briques en ciment comme murs extérieures par celles en Temchemt

A partir cette recherche on peut conclue : L'étude bibliographique, tirée d'un nombre important de références bibliographiques et qui est basée sur une synthèse des résultats expérimentaux, montre que :

- ✓ La composition et la formulation des briques de terres sont très variées L'habitat en terre apporte du confort, un sentiment de sécurité et une sensation de bien-être (solidité du bâtiment).
- ✓ Le traitement des terres naturels contribuent efficacement à l'amélioration des propriétés mécaniques à savoir la résistance à la compression est la résistance à la flexion;
- ✓ Les propriétés physiques des briques de Temchemt sont affectées par l'ajout d'autres produits.

La première étape de notre travail expérimental consiste à faire tout d'abord une caractérisation générale des matériaux utilisés, et elle a montré que :

- ✓ La terre utilisée est un Temchemt de la région de Ouargla, de couleur grise après la cuisson, à Module de finesse d'ordre  $M_f = 3.71$  granulométrie étalée et un peu grossier, d'une résistance à la compression faible, densité sèche  $1.51 \text{ t/m}^3$ . Indice de plasticité d'ordre  $6.68 \%$
  - ✓ Le ciment utilisé est provient de la cimenterie de LAFARGE usine de Msila, de type CPJ 42.5 de masse volumique apparent  $1030.05 \text{ Kg/m}^3$  et surface spécifiques  $3700 \text{ g/cm}^2$
-

---

✓ La chaux utilisée est une chaux vive de la région de Saida de masse volumique  $1,3\text{g/cm}^3$ , et surface spécifique  $8000\text{g/cm}^2$ .

✓ La chaux utilisée possède deux types de calcites et joue un rôle important comme retardateur de prise et aussi dans la stabilisation du milieu basique du temchemt après la réaction de l'hydratation. Cela est très bénéfique pour éviter la corrosion des armatures s'il existe.

L'eau de gâchage est de robinet de laboratoire universitaire OUARGLA avec une salinité acceptable.

Dans la deuxième étape, on a étudié l'effet de la stabilisation des sols Temchemt par le ciment ou par la chaux, sur les caractéristiques mécaniques et sur les propriétés thermique des briques de terre stabilisée. L'étude montre que la stabilisation Temchemt par le ciment ou par la chaux produit un nouveau matériau de propriétés mécaniques très améliorées, mais l'influence sur la résistance thermique est négative.

L'analyse des résultats montre que:

- ✓ L'augmentation du pourcentage en masse des stabilisants améliore notablement la résistance à la flexion, et la résistance à la compression des briques surtout celle stabilisées par le ciment;
- ✓ Une nette diminution de la résistance thermique des briques de Temchemt stabilisée en fonction du dosage en liant en restant toujours inférieure à celle des briques en ciment;
- ✓ L'augmentation du pourcentage en masse des stabilisants augmente la densité du nouveau matériau ;
- ✓ La vitesse de propagation des ondes ultrasoniques est d'autant plus grande que le pourcentage en masse des stabilisants est grand.

Pour cela ; nous recommandons, d'utiliser des briques fabriquées par Temchemt stabilisées par le ciment, pour la réalisation des murs extérieurs dans les bâtiments à cause de leur résistance mécanique améliorée ; et aussi à cause de leur résistance thermique faible par rapport à celle des briques fabriquées en ciment.

Enfin, nous souhaitons que notre travail contribue d'une façon rationnelle à une plus large diffusion de l'utilisation de Temchemt dans le domaine de la construction.

---

---

## ❖ RECOMMANDATION :

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

- Un choix judicieux des matériaux de construction participe à la réduction des températures de l'air ambiant à l'intérieur des locaux. Leurs effets thermiques dépendent de deux qualités principales, la résistance thermique et la capacité calorifique.
- Etudier l'influence de la température de cuisson sur les propriétés physique et thermomécaniques des matériaux de construction (Temchemt) ; et les briques aussi. .
- Pour améliorer la résistance mécanique et isolation thermique de cette brique, on peut ajouter des additions présentant de bonne résistance mécanique et isolation thermique tel que les sciures de bois, les fibres végétales (fibres de palmier dattier ; fibres d'échela ; ciment colle...).
- Pour mieux caractériser ce type de brique de Temchemt, nous conseillons De réaliser d'autres essais à savoir : le retrait, le fluage, la résistance au choc, l'érosion et la Durabilité.
- Le comportement de Temchemt vis-à-vis de l'humidité
- Etude des caractéristiques de brique de Temchemt utilisé dans la construction d'habitat.
- Utiliser des dispositifs architecturaux de protection tels que toiture opaque, casquette, coupole etc...
- Le boisement est obligatoire dans la région saharienne pour diminuer l'effet de la chaleur.
- Encourager l'idée de la construction par les matériaux locaux en se basant sur la stratégie de la conception bioclimatique



## *Références Bibliographiques*

- [1] **AVLISET I**, « Matériaux de terre cuite » Technique de l'ingénieur, 1994 .
- [2] **CORPUS** « Mur de briques en terre crue » Architecteur traditionnelle méditerranéenne,2006.
- [3] **Fédération Belge De La Brique**, « Fabrication de brique » ,www.brique.be.
- [4] **CONSULTING A.**,« Production De Briques D'argiles » , Lagnane .Sénégal.
- [5] **Collection Memento Technique** « Tuiles et briques de terre cuite » édition le moniteur, Paris 1998.
- [6] **Fiche Technique Qualiremo** ,« La terre crue » , « www. tkTerreCrue.html. » ,Avril 2008.
- [7] **CHAIB HACHEM** « contribution à l'étude des propriétés thermomécaniques des briques en terre confectionnée par des fibres végétales locales ( cas de la ville de Ouargla » , thèse de doctorat UNIVERSITÉ DE OUARGLA, 2017.
- [8]**RICHARD P.**, «Adobe » ,mémoire Maître en environnement ,Université de Sherbrooke Canada, Octobre 2010.
- [9]**MAKRI M.**, « Projet GE12 Construction en terre » Technologie Compiègne , 2010.
- [10] **CRA Terre EAG** « Bloc de terre comprimée volume I »Manuel de production .
- [11] **RHONE A .**, « Le pisé » www .ageden.org , Edition Décembre2010.
- [12]**CRA Terre** « Blocs de terre comprimée normes » Série Technologies.
- [13] **LIVERT S**, «Bâtir un mur en briques de terre compressée », Février2011.
- [14] **Fiche Technique Matériaux** [http://oci.cstb .fr/simulation/choix\\_proc.asp](http://oci.cstb.fr/simulation/choix_proc.asp) .
- [15] **Matériaux De Construction** « Cours en ligne matériaux de construction » ,
- [16] **Fédération Belge De La Brique** « La brique de terre cuite » , Juin2006.
- [17] **GIOVANNI P.**, « La brique fabrication et tradition constructives » , édition EYROLLES, Octobre 2004 .
- [18] **DELEBECQUE R.**, « Éléments de Construction Bâtiment » , Edition Delagrave 1990.
- [19] **Alain M.et ARELETTE Z .**, « Habitat traditionnel dans le monde » Eléments pour une approche , UNESCO Aout 1983.
- [20] **HAFSI. M** « Réhabilitation du patrimoine ksourien à travers la revitalisation de l'habitat» thèse de doctorat Ecole Nationale Polytechnique Alger, Avril 2013 .

- [21] **CHAOUICHE M**, « Les ksour » thèse de doctorat Ecole Nationale Polytechnique Alger, Avril 2013 université de Constantine 2008 .
- [22] **OPMV** « Entretien et restauration des façades des constructions traditionnelles dans la vallée du M'Zab » 2011.
- [23] **MEKHERMECHE A.** « Contribution à l'étude des propriétés mécaniques et thermiques des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des Ksours sahariennes » mémoire de magister Université de Ouargla 2012.
- [24] **MEUKAMP P., NOUMOWE A., JANNOT Y et Duval. R** « Caractérisation thermophysique et mécanique de briques de terre stabilisées en vue de l'isolation thermique de bâtiment » Materials and Structures / Matériaux et Constructions, Vol. 36, 2003, pp 453-460 Aout –Septembre 2003.
- [25] **BOUVENOT A.**, « Transferts de chaleur », Edition 2010.
- [26] **YVES J.**, « transferts thermiques », Ecole des mines Nancy, Edition 2012.
- [27] **SCHMID J.** ; « Transmission e la chaleur » Edition OPU ; 1987
- [28] **MOKHTARI A, BRAHIMI K et BENZIADA R.** ; « Architecture et confort thermique dans les zones arides. Application au cas de la ville de Bechar » Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°2 (2008) pp 307 – 315, Algérie ; 2008.
- [29] **He Y.**, « Rapid thermal conductivity measurement with a hot disk sensor, Part 1 : Theoretical considerations », Thermochemica Acta, Vol 436, pp 122-129, 2005.
- [30] **Cheng P, Tsau H** , « The effective stagnant thermal conductivity of porous Media with periodic structures », J.Porous Media, vol 2, pp 19-38, 1999.
- [31] **Buonanno G, Carotenuto A**, « The effective thermal conductivity of a porous medium with interconnected particles », Int.J.Mass.Transfer, vol 40, pp 393-405, 1997.
- [32] **Givoni,B**, « Comfort, climate analysis and building design guidelines», Energy and Buildings, Vol. 18, pp 11 - 23, 1992. [108] Givoni,B, « Building design principles for hot humid regions. Renewable Energy», Vol. 5(2), 906-916, 1994.
- [33] **Humphreys M A**, « The dependence of comfortable temperatures upon indoor air and outdoor climate, In: K. Ccna and J.A. Clark (Eds.) », Bioengineering, Thermal Physiology and Comfort, Elsevier, Amsterdam, 1981.
- [34] **Fiche Thermique**, « Isolation thermique » Mairie de Paris , Edition Novembre 2009.
- [35] **GUERMITI LAID.**, « Contribution a l'amélioration de certaines caractéristiques du béton de structure à base de sable de dune corrigé et renforcé par des fibres métalliques » , thèse magistère, UNIVERSITÉ DE OUARGLA, 2013.

- [36] **Chafi Nardjes.**, « Matrice cimentaire renforcée de fibres valorisation des sous produits (polystyrène, copeaux d'acier et copeaux de bois)», thèse magistère, Université Mentouri Constantine, 2005.
- [37] **CLONED J.**, « Les matériaux isolantes thermiques pour le bâtiment », Centre d'animation régional en matériaux avancé, Mai 2010.
- [38] **REME**, « Guide maghrébin des matériaux d'isolation thermique de bâtiment », Edition 2010.
- [39] **YVES J.**, « Théorie et pratique de la métrologie thermique » Ecole des mines Nancy, Edition 2008.
- [40] **CHABI. M , DAHLI .M** « Une nouvelle ville saharienne Sur les traces de l'architecture traditionnelle» l'université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou (Algérie).
- [41] **ALAIN L.**, «Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques » édition Le Moniteur ,2005.
- [42] **Fiche Thermique** « Isolation thermique », Mairie de Paris ,Edition Novembre2009.
- [43] **SAINT G.**, « Introduction à la thermique de bâtiment », Edition 2012.
- [44] **FRANÇOISE F.**, « Les propriétés thermiques des matériaux et les références métrologiques »Laboratoire national métrologie et d'essais Paris, Décembre 2010.
- [45] **MEDJELEKH D.**, « Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment »mémoire de magister université Mentouri de Constantine , 2006.
- [46] **MFOURA.**, « Simulation des paramètres du confort thermique d'hiver en Algérie » thèse de doctorat, université Mentouri Constantine, 2008.
- [47] **ALAIN M. et ARLETTE Z.**, « Habitat traditionnel dans le monde éléments pour une approche» Etablissement humains et environnement socio-culturel UNESCO Aout1983.
- [48] **M'SELLEM H. et ALKAMA D.**, « Le confort thermique entre perception et évaluation par les techniques d'analyse bioclimatique - Cas des lieux de travail dans les milieux arides à climat chaud et sec », Revue des Energies Renouvelables, 2009.
- [49] **BENTCHIKOU M.** « Contribution A L'étude Et A L'élaboration De Matériaux Composites Pour L'isolation Thermique Cas de béton de fibres de papiers recyclés » thèse de doctorat Ecole Nationale Polytechnique Alger, Mai 2008.
- [50] **Certu A.** « Le confort thermique » mémento technique du bâtiment , Juillet 2003.
- [51] **DUPAIN R.** « Granulas, sols, ciments et bétons » Caractéristique des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire, Edition1995.
- [52] **CHERAIT Y.**, « Elément de matériaux de construction et essais »,Edition 2006.
-

- [53] **FILALI M.**, « Conductivité thermique apparente des milieux granulaires soumis à des contraintes mécaniques : modélisation et mesures » thèse de doctorat ,école doctorale TOULOUSE , Février 2006.
- [54] **MICHEL J.**, « Guide pratique de l'isolation thermique des bâtiments », Edition Eyrolles ,1977.
- [55] **RIGACCIA** « La mesure de conductivité thermique » Ecole de mine PARIS centre énergétique.
- [56] **Sylvain MEILLE.**, « Etude du comportement mécanique du plâtre pris en relation avec sa microstructure », thèse de doctorat, L'INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE LYON, 2001.
- [57] **HAMIDA MOHAMED LAMINE.**, « Effet de l'humidité sur les caractéristiques thermiques et mécaniques de matériaux utilisés dans la construction », thèse de magister, UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE, 2010.
- [58] **Daniel DALIGAND.**, « Le plâtre“, technique de l'ingénierie », 2001.
- [59] **DJOUDI Amina.**, « Caractérisation structurale et rhéologique des bétons de plâtre et leur renforcements par les fibres végétales du palmier dattier », thèse de magister, UNIVERSITE DE LAGHOUAT, 2001.
- [60] **C.N.E.R.I.B.**, « Recommandations pour la construction en plâtre“, Centre National d'Etudes et de Recherche Intégrées au Bâtiment », 2003.
- [61] **SOLTANE.M.L.**, « Contrôle technique d'un prototype de quatre logements en plâtre à Biskra »,C.N.E.R.I.B, MATLOC 91, PP 101-104, 1991.
- [62] **SONEBI.M.**, « Opération expérimentale d'un logement construit en mortier plâtre banche à Rabat », centre expérimentale du bâtiment, 1989.
- [63] **ZUBER.F.**, « Pour une construction en plâtre », communication, Lafarge, 1989.
- [64] **KHENFER M.M.**, « Caractérisation structural et rhéologique des ciments et plâtres renforcé de fibres de cellulose », Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, 1990.
- [65] **DJOUHRI Mohamed.**, « Confection d'une brique à base de sable de dunes », thèse magistère, UNIVERSITÉ DE OUARGLA, 2007.
- [66] **OUACHES .R, DEVALLES.B.**, « Le PH des acides et des bases », Chimie générale, OPU Alger, Publisud Paris, 1988.
- [67] **ALDEBERT.R.**, « Rénovation du grand Louvre à la gloire du plâtre », Le moniteur des travaux publics

[68] **site d'internet** [www.mssmat.ecp.fr/home/moyens/microscopie/principes/microscope électronique a balayage](http://www.mssmat.ecp.fr/home/moyens/microscopie/principes/microscope_electronique_a_balayage)

[69] **site d'internet**. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Diode\\_%C3%A9lectroluminescente sol-gel-un-procede-issu-de-la-chimie-douce#top](https://fr.wikipedia.org/wiki/Diode_%C3%A9lectroluminescente_sol-gel-un-procede-issu-de-la-chimie-douce#top).

[70] **prof. Mohammed Elkhamis Tidjani**. Cours de méthodes d'analyse et caractérisation des matériaux. Univ de Oouargla (2016).

[71] **site d'internet** [https:// maison suindara.wordpress.com](https://maison-suindara.wordpress.com) .

[72]: **site d'internet** <http://www.avenirbati.fr/mur-terre-coulee>.

[73] **site d'internet** [www.saint-jean-de-monts.com](http://www.saint-jean-de-monts.com)

[74] **TAFRAOUI Ahmed** : « Contribution à la valorisation de sable de dune de l'erg occidental » (Algérie). Thèse de doctorat à l'INSA de TOULOUSE, 2009.

[75] **M.O'Farrell, B.B.Sabir, S.Wild** : Strength and chemical resistance of mortars containing brick manufacturing clays subjected to different treatments. Cement and concrete composites 28 (2006) pp790-79

[76] **C.Boutin** : « Conductivité thermique du béton cellulaire autoclavé :modélisation par méthode auto cohérente ». Matériaux et constructions 29 (1996") p609-615

[77] مداخلة عن التثمينت من اعداد الأستاذ كشير علي 2018

[78] قبالة مبارك " تطور مواد وأساليب البناء في العمارة الصحراوية" شهادة الماجستير في علم الاثار – 2010 بسكرة

# **Les Annexes**



**a.1 tamisage de l'échantillon**



**a.2 Broyage de l'échantillon**



**a.3. Coulage de l'échantillon**



**a.4. Essais de flexion**



**a.5. Essai de compression**



**a.6. Dispositif de serrage**

# Timchent Technical sheet

- **introduction**

The optimal use of natural resources is one of the fundamental principles of the construction of the ksour in the south and specifically the abundant resources on the construction site (no transport of materials). The study of building materials amounts to defining their level of adaptation to climate, which concerns the management of solar and terrestrial radiation through the walls, according to the materials that compose them, their thickness and their coating.

## 1. Définition of Timchent (traditional mortar) :

Is an evaporitic sedimentary rock of gypsum, originating from the same gypso-limestone source rocks located in arid and semi-arid climate zones.

It consists for the most part of calcium sulphate semi hydrate ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) according to the reaction :



- It is used as a hydraulic binder to bind walls and floors and also used in tiles, carved decor, indoor and outdoor coating, it takes gray after traditional baking for a period ranging from (4 to 5h) to several days before its use in the construction process.

## 2. Time of occurrence of timchent :

In Algeria, the appearance of timchent goes back to the 10th century (foundation of the pentapole of the m'zab). Its use is contemporary.

## 3. Characteristics of timchent :

- It is a non-combustible building material that significantly slowed the spread of fire providing a high level of passive fire protection and good thermal and acoustic insulation.
- The dehydration of gypsum is the base of the manufacture of timchent. It is known that according to the conditions under which this dehydration is carried out (the degree of temperature, the duration of cooking), the characteristics of the timchent obtained will be different.
- The timchent is separated from the residues of its manufacture. Compared lime, the calcination of gypsum consumes 5 to 6 times less wood, a rare fuel in certain regions, including that of ouargla and m'zab.
- The time of taking timchent is very fast : 1/2 to 2 days

- Timchemt is endangered because many desoposits of gypsum are now exhausted . the industrially produced plaster gradually replaces it . the latter is commonly called “PLATNA”, generic name inscribed on the bags .

From the point of view of its physico-chemical qualities , it is equivalent to time . his catch is also fast .

- The use of industrial plaster as a replacement for timchemt is considered satisfactory from the point of view of conservation and thermal comfort . aesthetically, the finishing aspects offered by the new tools differ from the textures obtained traditionally but are acceptable on the old frame.

#### 4.Temchemt manufacture :

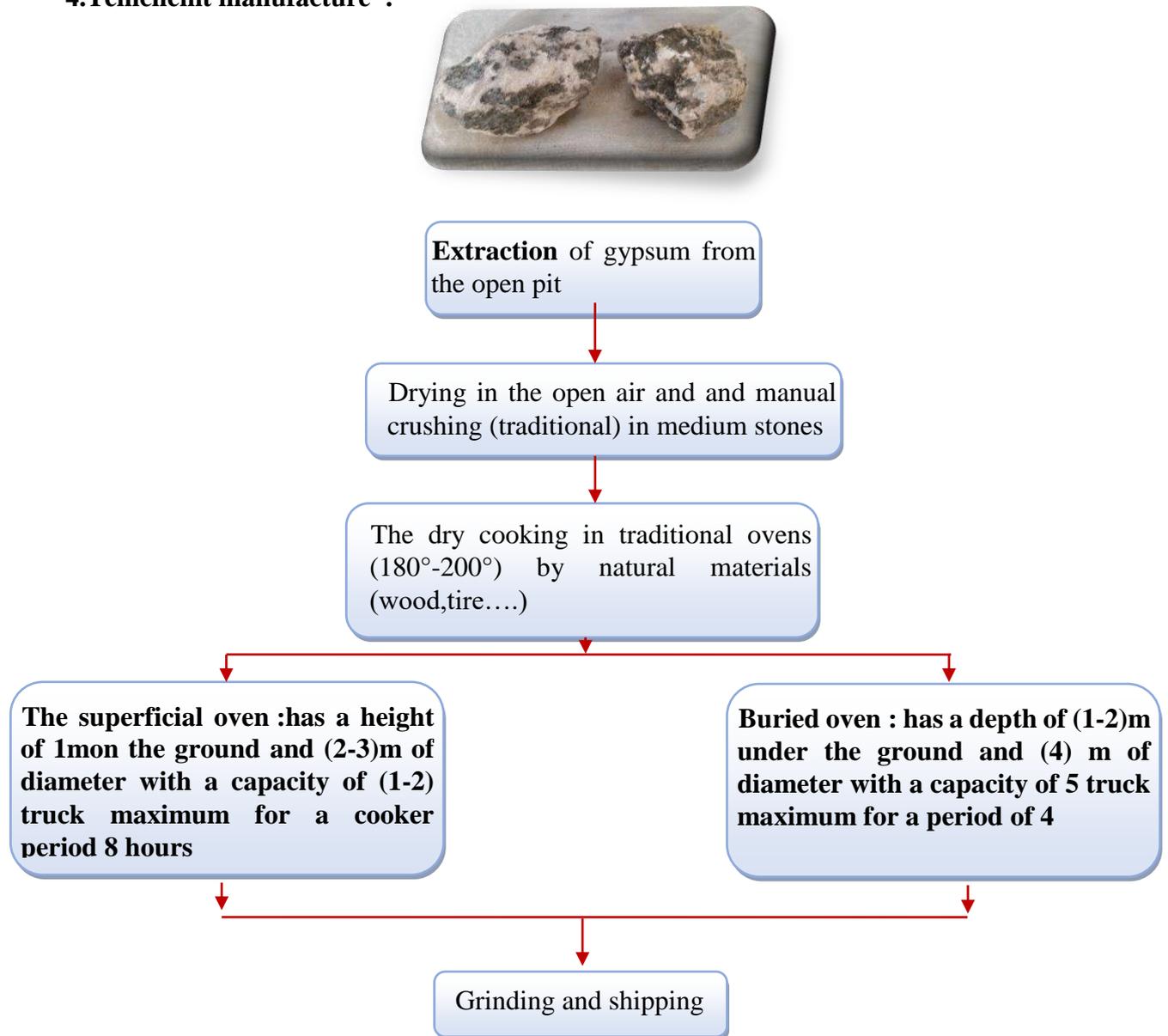


Figure II.2- Temchemt production chart

## 5.Pathology of aging :

- Related to materials and weather conditions : in Algeria , the main factors of alteration of timchemet cited are :
- The infiltration of rainwater
- Capillary lifts in masonry , condensation
- Poor conditions of implementation of timchemet can also be the cause of degradation various
- The effects observed are the lack or loss of ether swelling , faiencage , chalking , brown or yellowish spots . in general, chemistry is a technique mainly used in areas of low humidity and subjected to very low rainfall

### ➤ The characteristics of timchemt :

- Natural density :  $\rho = 1.51 \text{ g/cm}^3$
- Mass volumic apparent :  $\gamma_{\text{app}} = 1.39 \text{ (g/cm}^3\text{)}$
- Mass volumic absolute:  $\gamma_s = 2.18 \text{ (g/cm}^3\text{)}$
- plasticity index :  $I_p = 6.68$
- blue methelen :  $VBS = 0.4$
- Compressive Strength :  $R_c = 1.03 \text{ MPa}$
- Flexural Strength:  $R_f = 2.96 \text{ MPa}$
- Velocity of ultrasonics waves :  $V \text{ m/s} = 2048.45$
- Thermal conductivity  $\lambda$  of Temchemt:  $\lambda = 0.502 \text{ (W/m.k)}$
- The specific heat massive:  $C_p = 1,193 \text{ (MJ/m}^3\text{.K)}$
- Thermal diffusivity:  $D = 0,421 \text{ (mm}^2\text{/s)}$
- Thermal resistance :  $R_{th} = 0.040 \text{ (m}^2\text{.k/w)}$