



Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique

Université KASDI Merbah de Ouargla

N° d'ordre : .....

N° de série : .....

Faculté des sciences et sciences de l'ingénieur  
Département d'hydraulique et Génie Civil

## Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de **MAGISTER**  
Filière : **Aménagement Hydraulique et Génie Civil**  
Option : **Génie Civil**

Par :  
**DJOUHRI Mohamed**

## Thème :

**Confection d'une brique à base de sable de dunes**

Soutenu publiquement le : 14/02/2007

Devant le Jury composé de :

<b>HALILAT Mohamed Tahar</b>	<b>Prof</b>	<b>Université de Ouargla</b>	<b>Président</b>
<b>KHENFER Mohamed Mouldi</b>	<b>Prof</b>	<b>Université de Laghouat</b>	<b>Examineur</b>
<b>KRIKER Abdelouahed</b>	<b>M C</b>	<b>Université de Ouargla</b>	<b>Examineur</b>
<b>BENTEBBA Mohamed Tahar</b>	<b>MC</b>	<b>Université de Ouargla</b>	<b>Promoteur</b>
<b>LEGHRIEB Youcef</b>	<b>MACC</b>	<b>Université de Ouargla</b>	<b>Co-Promoteur</b>

# *Dédicace*

*À ma famille*

*À ma promo*

*À tous mes amis*

## Remerciements

Ce travail a été dirigé par D<sub>r</sub> BENTEBBA Mohamed Tahar, Maître de conférence à l'Université de Ouargla, rapporteur de mémoire, qu'il accepte mes meilleurs sentiments et mes sincères remerciements pour ses orientations et ses aides permanentes durant le déroulement de ce travail.

Je tiens à remercier vivement M<sub>r</sub> LEGHRIEB Youcef Maître assistant chargé de cours à l'Université de Ouargla, co-rapporteur, pour ces conseils et son aide si précieux quant à l'élaboration de ce travail.

Mes vifs remerciements au D<sub>r</sub> HALILAT Mohamed Tahar, Professeur à l'Université de Ouargla, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de juger ce travail et de présider le jury d'examen.

J'exprime également ma grande reconnaissance au D<sub>r</sub> A. KRIKER Maître de conférences à l'Université de Ouargla et M<sub>r</sub>. KHENFER.M.M professeur à l'université de Laghouat, pour l'honneur qu'ils m'ont fait et d'avoir accepté de faire partie du jury de soutenance en qualité d'examineur.

J'adresse ma profonde gratitude à mes enseignants de la post-graduation de l'université de Ouargla pour les efforts qu'ils ont déployé afin de contribuer à mon encadrement.

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

## *Table des Matières*

Résumé .....	I
Abstract .....	I
ملخص .....	I
Liste des tableaux .....	II
Liste des figures .....	IV
Liste des photos .....	VI
Introduction Générale .....	01
 <b>Chapitre I Les techniques de production des briques et leurs Caractéristiques</b>	
I.1 introduction .....	02
I.2 Brique de terre cuite .....	02
I.2.1 Matière première utilisée : les argiles .....	02
I.2.2 L'extraction .....	02
I.2.3 Façonnage .....	03
I.2.4 Séchage .....	03
I.2.5 Cuisson .....	05
I.2.6 les propriétés et caractéristiques de brique de terre cuite .....	07
I.1.7 les produits .....	07
I.3 Brique silico-calcaire .....	09
I.3.1 Silico-calcaires denses .....	09
I.3.2 Silico-calcaire léger .....	09
I.3.3 Les phénomènes physiques de processus d'autoclave .....	10
I.3.4 la Fabrication .....	10
I.3.5 propriétés de brique silico-calcaire .....	12
I.4 Bloc de béton (parpaing) .....	13
I.4.1 définition .....	13
I.4.2 La production .....	13
I.4.3 propriétés de Bloc de béton (parpaing) .....	14
I.4.4 Les différents produits de bloc de béton .....	17
I.5 L'adobe .....	17
I.5.1 définition .....	17
I.5.2 La production .....	17
I.5.2.1 Modes de production de l'adobe .....	17
I.5.3 Les produits .....	19
I.6 Le pisé .....	20
I.6.1 définition .....	20
I.6.2 La production .....	20
I.6.3 Les produits : différents types de pisé .....	21
I.7 Les blocs de terre comprimée .....	21
I.7.1 définition .....	21
I.7.2 production des blocs de terre comprimée.....	24
I.7.3 Modes de production des blocs de terre comprimée.....	22
I. 7.4 Les produits .....	22

I.8	Brique de terre crue .....	23
I.8.1	Les avantages de point de vue environnement .....	23
I.8.1.1	Écologique .....	24
I.8.1.2	Économique .....	24
I.8.1.3	Technique .....	24
I.8.1.4	Sanitaire Et Psychologique .....	25
I. 8.2	Les Caractéristiques des briques de terre crue (adobe, pisé, Brique de terre comprimée) .....	25
I. 9.	Les lient hydraulique .....	26
I. 9.1	Chaux .....	26
I. 9.1.1	Définition .....	26
I. 9.1.2	différent type de chaux .....	26
I. 9.1.3	Extraction .....	28
I. 9.1.4	Fabrication des chaux hydrauliques naturelles .....	28
I. 9.1.5	Fabrication des chaux hydrauliques artificielles .....	28
I. 9.1.6	Extinction des chaux hydrauliques .....	28
I. 9.1.7	la chaux de Ouargla .....	29
I. 9.2	Le ciment .....	29
I. 9.2.1	Définition .....	29
I. 9.2.2	Principe de fabrication des ciments .....	29
I. 10	Stabilisation .....	29
I. 10.1	Les procédés de stabilisation .....	30
I. 10.1.1	La stabilisation mécanique .....	30
I. 10.1.2	La stabilisation physique .....	30
I. 10.1.3	La stabilisation chimique .....	30
I. 10.2	Les moyens de stabilisation .....	31
I. 10.2.1	Densification .....	31
I. 10.2.2	Armature .....	31
I. 10.2.3	Liaison .....	31
I. 10.2.4	Imperméabilisation .....	31
I. 10.2.5	Hydrofugation .....	31
I. 10.3	Les modes de stabilisation .....	32
I. 10.3.1	Compression .....	32
I. 10.3.2	Correction de texture .....	32
I. 10.3.3	Ajout de fibres .....	32
I. 10.3.4	Ajout de ciment .....	33
I. 10.3.5	Ajout de chaux .....	34
I. 11	Conclusions .....	35
<b>Chapitre II Les caractéristiques des matériaux</b>		
II.1	introduction .....	36
II.2	Le sable des dunes .....	36
II.2.1	Les caractéristiques des sables des dunes .....	36
II.2.1.1	Masses volumiques .....	36
II.2.1.2	Analyse minéralogique du sable des dunes .....	36
II.2.1.3	Analyse chimique .....	38
II.2.1.4	Analyse granulométrique .....	38

II.2.1.5	Module de finesse .....	39
II.2.1.6	Équivalent de sable .....	39
II.3	Le ciment utilise .....	41
II.3.1	Les caractéristiques de ciment .....	41
II.3.1.1	La masse volumique .....	41
II.3.1.2	Surface spécifique .....	41
II.3.1.3	Temps de prise .....	42
II.3.1.4	Caractéristiques chimiques .....	42
II.3.1.5	Composition minéralogique du clinker .....	42
II.3.1.6	indices d'hydraulicité .....	42
II.4	la chaux utilise .....	43
II.4.1	Les caractéristiques physiques de la chaux .....	43
III.5	Eau de gâchage .....	44
III.6	conclusion .....	45
<b>Chapitre III Les essais sur les briques à base de sable des dunes : résultats et leur interprétation</b>		
III.1	Introduction .....	46
III.2	Formulation théorique de mortier pour confection de brique ....	46
III.2.1	méthodes de formulations des mortiers .....	46
III.2.1.1	Estimation théorique du dosage en fines et la quantité d'eau	47
III.2.2	Formulation expérimentale de mortier pour confection de brique .....	49
III.2.2.1	L'influence de quantité d'eau sur la résistance .....	49
III.3	Les différent compositions d'essais .....	50
III.4	programme des essais .....	51
III.5	Confection des éprouvettes .....	53
III.6	Essai de résistance a la compression .....	53
III.6.1	Résultats et discussions de la composition C1 .....	54
III.6.2	Résultats et discussions de la composition C2 .....	55
III.6.3	Résultats et discussions de la composition C3 .....	56
III.6.4	Résultats et discussions de la composition C4 .....	58
III.6.5	Résultats et discussions de la composition C5 .....	59
III.6.6	Résistance $R_{C28}$ de différentes composition.....	60
III.7	Essai ultrasonique .....	62
III.7.1	Les résultats et discussions .....	64
III.8	détermination de la masse volumique de brique .....	65
III.8.1	Les résultats .....	65
III.9	La porosité .....	67
III.9.1	Les résultats et discussions .....	67
III.10	La compacité .....	69
III.11	Essai d'absorption d'eau par capillarité .....	70
III.11.1	les résultats et discussions .....	71
III.12	la conductivité thermique .....	73
III.13	étude économique .....	74
III.14	Conclusion .....	77

<b>Conclusion générale et recommandations .....</b>	<b>80</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>84</b>
<b>Annexes</b>	

## Liste des tableaux

Tableau (I. 1)	les propriétés des Briques creuses .....	07
Tableau (I. 2)	la Résistance thermique des Briques creuses .....	07
Tableau (I. 3)	propriétés des briques pleines et perforés .....	07
Tableau (I. 4)	la Résistance thermique des briques pleines et perforées .....	07
Tableau (I. 5)	propriétés de brique silico-calcaire .....	12
Tableau (I. 6)	les classes de résistance de bloc de béton .....	14
Tableau (I. 7)	La résistance thermique de blocs creux à parois minces ...	15
Tableau (I. 8)	La résistance thermique de blocs creux à parois épaisses	15
Tableau (I. 9)	Les blocs perforés et pleins .....	15
Tableau (1.10)	Les blocs accessoires .....	16
Tableau (I. 11)	Les blocs creux .....	16
Tableau (I.12)	les Caractéristiques des briques de terre crue (adobe, pisé, Brique de terre comprimée) .....	25
Tableau (I.13)	Différents chaux .....	27
Tableau (II.1)	Compositions chimique de sable .....	38
Tableau (II.2)	Analyse granulométrique de sable des dunes .....	38
Tableau (II.3)	analyse chimique du ciment utilisé .....	42
Tableau (II.4)	Analyse minéralogique du clinker .....	43
Tableau (II.5)	Classes de résistance de chaux hydraulique .....	43
Tableau (II.6)	Composition chimique de l'eau .....	44
Tableau (III.1)	Variation de résistance en fonction de l'âge des différents pourcentages en eau .....	49
Tableau (III. 2)	Programme des essais du composition C1 .....	51
Tableau (III.3)	Programme des essais du composition C2 .....	52
Tableau (III.4)	Programme des essais du composition C3 .....	52
Tableau (III.5)	Programme des essais du composition C4 .....	52
Tableau (III.6)	Programme des essais du composition C5 .....	52
Tableau (III.7)	Résistance à la compression du composition (C1) .....	54



Tableau (III.8) Résistance à la compression du composition (C2) .....	55
Tableau (III.9) Résistance à la compression du composition (C3) .....	57
Tableau (III.10) Résistance à la compression du composition (C4) .....	58
Tableau (III.11) Résistance à la compression du composition (C5) .....	59
Tableau (III.12) Résistance R28 de différents compositions .....	60
Tableau (III.13) la meilleure compositions d'après la résistance .....	62
Tableau (III.14) La Vitesse de son (m/s) .....	63
Tableau (III .15) la meilleure compositions où la vitesse de son est élevée pour différentes teneurs en liant .....	65
Tableau (III.16) Masse volumique du brique à base de sable des dunes .....	66
Tableau (III .17) Présenté la composition ou la masse volumique est élevé pour différentes teneurs en liant .....	66
Tableau (III.18) La variation de porosité en fonction de dosage en liant .....	67
Tableau (III.19) présenté la composition ou la porosité est élevé pour différentes teneuses en liant .....	69
Tableau (III.20) La compacité .....	69
Tableau (III.21) présenté la composition ou la compacité est élevé pour différentes teneurs en liant .....	70
Tableau (III.22) Coefficient d'absorption d'eau par capillarité de brique (C)	71
Tableau (III.23) Présenté la composition ou la coefficient (C) est élevé pour différents teneurs en liant .....	72
Tableau (III.24) La conductivité thermique $\lambda$ .....	79
Tableau (III.25) La résistance à la compression et La conductivité thermique de Brique à base de sable de dunes, Bloc de béton B80, Brique de terre cuite .....	78

## Liste des figures

Figure (I. 1) séchage des briques de terre cuit .....	04
Figure (I. 2) Fabrication des produits de terre cuit .....	06
Figure (I. 3) Brique pleine et perforée et Brique creuse .....	08
Figure (I. 4) types des moules .....	19
Figure (I. 5) les différents blocs de terre comprimée .....	23
Figure (II.1) Diffractogramme de sable des dunes .....	37
Figure (II.2) courbe granulométrique de sable des dunes .....	39
Figure (II. 3) essais équivalents de sable .....	40
Figure (III .1) influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines .....	48
Figure (III.2) la résistance $R_{28}$ en fonction de différents pourcentages en eau.	50
Figure (III. 3) La résistance à la compression en fonction de l'âge du Composition C1 .....	54
Figure (III. 4) La résistance à la compression en fonction de l'âge du Composition C2 .....	56
Figure (III. 5) La résistance à la compression en fonction de l'âge du Composition C3.....	57
Figure (III. 6) La résistance à la compression en fonction de l'âge du Composition C4 .....	58
Figure (III. 7) La résistance à la compression en fonction de l'âge du Composition C5 .....	60
Figure (III .8) la résistance à la compression $R_C 28$ en fonction de dosage en Liant .....	61
Figure (III .9) La vitesse de propagation de son en fonction de dosage en liant .....	64
Figure (III.10) la masse volumique en fonction de dosage en liant .....	66
Figure (III .11) La porosité en fonction de dosage en liant .....	68
Figure (III .12) les constitutions de brique après durcissement .....	68
Figure (III .13) La compacité en fonction de dosage en liant .....	70

Figure (III .14) L'absorption d'eau par capillarité en fonction de dosage en Liant hydraulique .....	72
Figure (III .15) La conductivité thermique en fonction de dosage en liant .....	74

## Liste des photos

Photo (I .1) gisement d'argile de B .Amer à Ouargla .....	03
Photo (I .2), (I .3) produit en briques silico-calcaire .....	11
Photo (I.4) mur en brique silico-calcaire.....	11
Photo (I.5) moules manuelles et moules électronique .....	19
Photo (I. 6) Types des produits en adobe .....	19
Photo (I .7) la paille .....	19
Photos (I.8) presses manuelles .....	22
Photo (I .9) presses motorisées .....	22
Photo A1 Mélange sable des dunes et eau .....	Annexe
Photo A2 L'ajout de liant .....	Annexe
Photo A 3 Graissage des moules crue .....	Annexe
Photo A4 Compactage de mélange .....	Annexe
Photo A5 Finitions des produits .....	Annexe
Photo A 6, A7 Démoulage des produit et nettoyage des moules .....	Annexe
Photo A 8, A9 Conservation des éprouvettes à l'air libre .....	Annexe
Photo A 10 Séchage à 105°C .....	Annexe
Photo A11 Essais absorption d'eau par capillarité .....	Annexe
Photo A12 Essai d'écrasement (résistance à la compression) .....	Annexe
Photo A13 Essai ultrasonique .....	Annexe

## **Introduction générale**

En Algérie, le sable des dunes constitue un énorme gisement environ sur les 2/3 du territoire national. 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'utiliser dans différents domaines de construction. (Bétons, routes, briques etc...). Dans notre étude nous allons essayé de confectionner une brique dite brique à base de sable des dunes (BRSD), 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 différentes constituants (liant, sable). Ceci dans la but d'obtenir une brique à caractéristiques convenables (résistance mécanique, l'isolation thermique, phonique et autres ...).

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

-Le premier chapitre présente les différents types de brique existante, les caractéristiques mécaniques et physiques ainsi que la stabilisation des briques de terre crue.

-Le deuxième chapitre, quant à lui est consacré à la caractérisation des constituants utilisés dans notre travail.

-Le dernier chapitre, expose l'étape expérimentale de notre travail qui consiste à confectionner des briques à base de sable de dunes, et procéder à leurs essais :

-Résistance à la compression, isolation thermique, vitesse de propagation du son, absorption d'eau par capillarité, masse volumique; la compacité; la porosité; ...etc.

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

Le présent mémoire se termine par une série de conclusions et de recommandations dans le souci de mieux valoriser ce nouveau type de matériau de construction.

## **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 Brique de terre cuite**

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

### **I.2.1 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) [2].

### **I.2.2 L'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.



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

### **I.2.3 Façonnage**

Le façonnage des produits (pleins, perforés et creux), est réalisé par deux procédures : étirage et pressage [1] [2] [5] [28] Voir **Figure (I .1)**.

### **I.2.4 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 **Figure (I .2)**. 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.



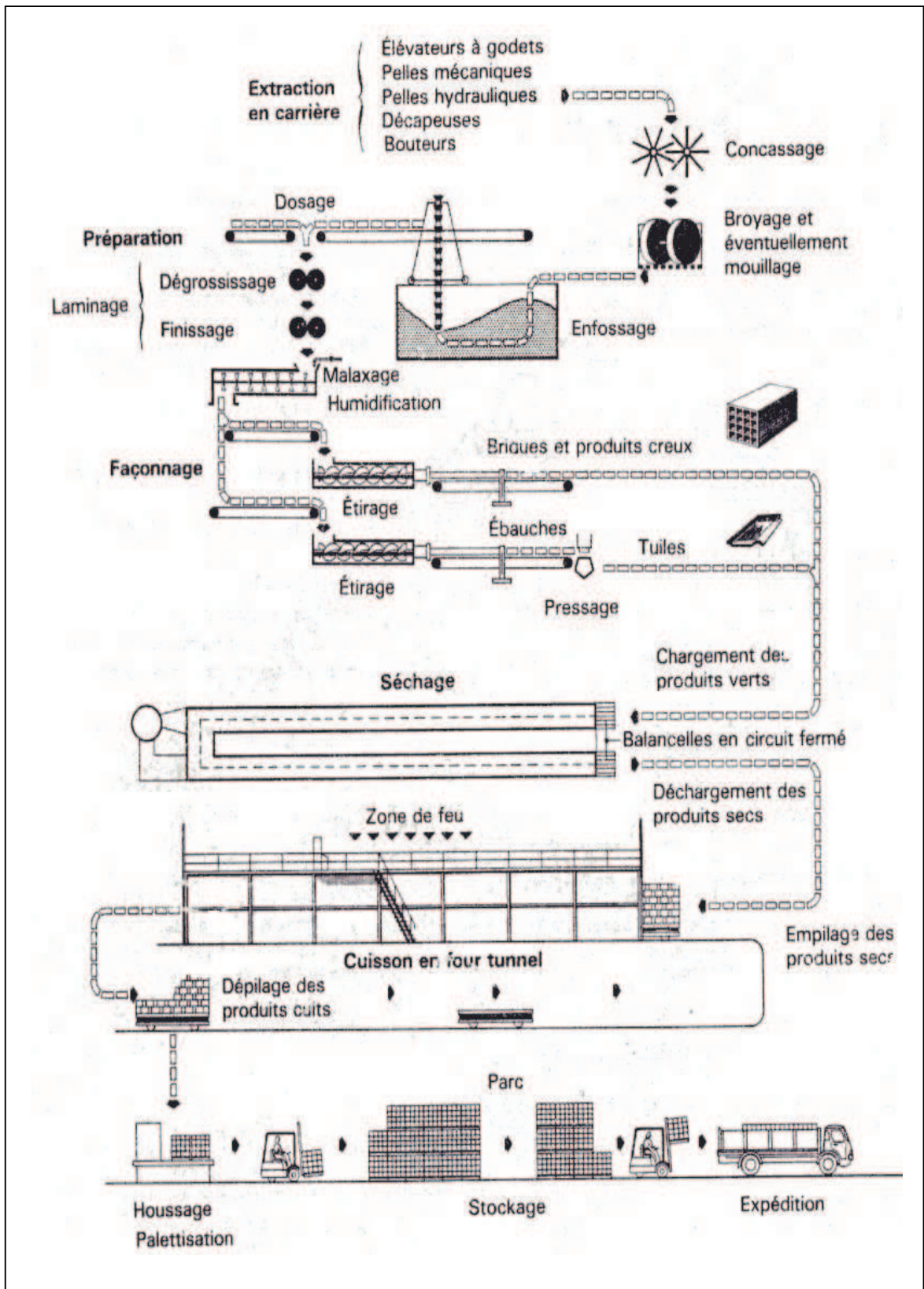


Figure (I. 1) : Fabrication des produits de terre cuite [1]



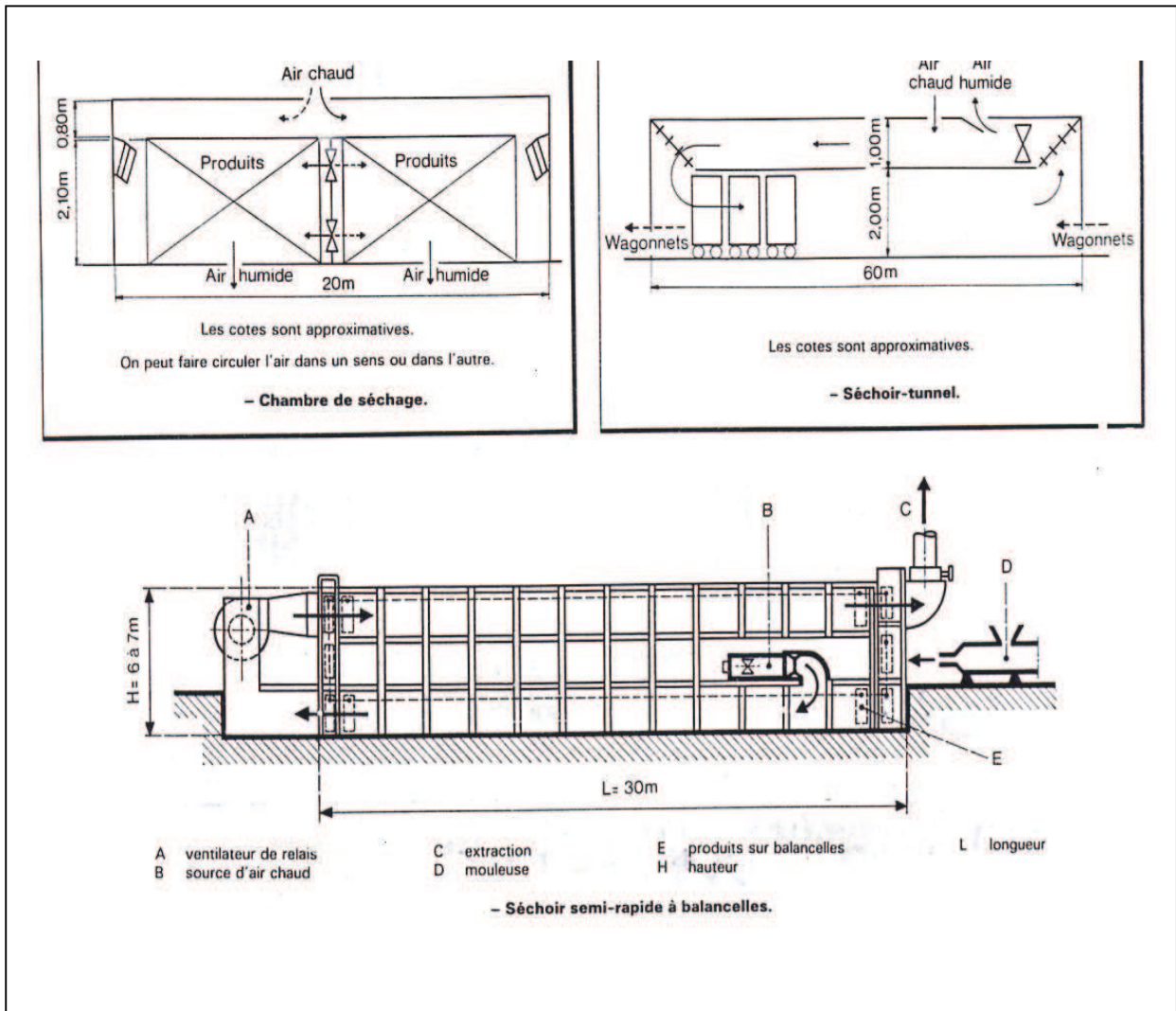


Figure (I. 2) : séchage des briques de terre cuite [1]

### I.2.5 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 et ininterrompu **Figure (I. 2)**.

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);
- [1] [2] [5].**

### I.2.6 les propriétés et caractéristiques de brique de terre cuite

Les propriétés et les caractéristiques de brique de terre cuite sont indiqués dans les tableaux suivants :

**Tableau (I. 1) : les propriétés des Briques creuses [6] [12]**

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

**Tableau (I. 2) : la Résistance thermique des Briques creuses [6]**

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

**Tableau (I. 3) : propriétés des briques pleines et perforés [6]**

Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	1650-2000
Absorption d'eau	30 - 80 %
Isolation acoustique	41 - 54 dB
Résistance à la compression	12.5 - 40 MPa

**Tableau (I. 4) : la Résistance thermique des briques pleines et perforés [6]**

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

\* la Résistance thermique des briques de terre cuite égale 1.15 (W /m<sup>2</sup> °C) [6]

### I.2.7 les produits

Briques pleines ou perforées en terre cuite selon la Norme XP P 13-305.

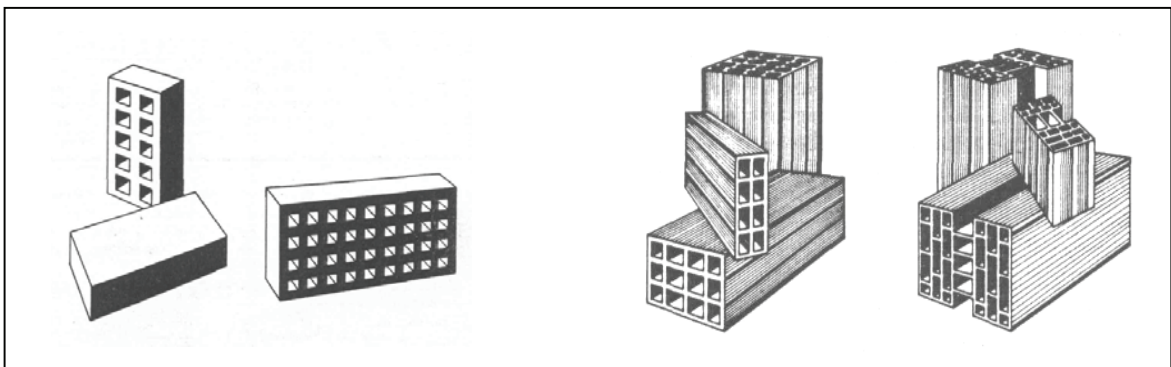
On distingue trois types de produits :

**- Brique pleine**

Brique ne comportant aucune perforation et dont le format d'appellation le plus courant est 6x11x22 cm **Figure (I. 3).**

**- Brique perforée**

Brique comportant des perforations perpendiculaires à la face de pose, la somme des sections des perforations étant inférieure ou égale à 50% de la section totale, et de largeur inférieure à 14 cm **Figure (I. 3).**



**Figure (I. 3) : Brique pleine et perforée et Brique creuse [1]**

**- Bloc perforé**

Brique de grand format, permettant de réaliser toute l'épaisseur brute du mur avec un seul élément, comportant des perforations perpendiculaires à la face de pose, dont la largeur est au moins de 14 cm, dont la hauteur est inférieure ou égale à 30 cm et dont la plus grande dimension ne dépasse pas 60 cm. La somme des sections des perforations est inférieure ou égale à 60% de la section totale.

**- Briques creuses de terre cuite : Norme NF P 13-301**

On distingue deux types de briques creuses :

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

### **I.3 Brique silico-calcaire**

Les briques silico-calcaires sont essentiellement formés d'un mélange des matériaux siliceux finement broyés et de chaux hydratée  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  appelée chaux grasse ( ou de ciment portland ) soumis généralement à un traitement à l'autoclave. Il y a deux catégories de produit ils sont fabriqués et utilisés comme matériaux de construction.

#### **I.3.1 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 et 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 silice broyé puis moule par pression et traite par vapeur , la première application industrielle a été faite en Allemagne vers 1894 les pays qui ont les plus fortes production des briques silico-calcaire dense sont : la Russie , L'Allemagne , les pays bas , la France [5][9][10].

#### **I.3.2 Silico-calcaire léger**

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

Les premiers brevets datant de 1890. Mais on considère souvent le suédois J.A .ERIKSSON comme le père de ces produits , ces brevets datent de 1923 et en 1929 il utilisa le traitement à l'autoclave , ces produits furent d'abord commercialisés en Suède en

1924 au Danemark en 1928 ,en URSS en 1930 . Les principaux producteurs sont la Russie, le Japon, l'Allemagne et la Grande-Bretagne [9] [27].

### I.3.3 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 détrempeés 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.



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 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 [27].

### I.3.4 la Fabrication

#### A. 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) [9][10][27].

### B. Silico-calcaire léger

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

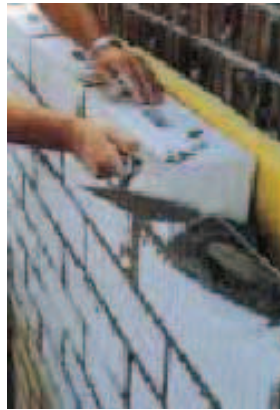


**Photo ( I .2 )**



**photo ( I .3 )**

**Photo ( I .2 ), ( I .3 ) : produit en briques silico-calcaire**



**Photo ( I .4 ) mur en brique silico-calcaire**

### I.3.5 propriétés de brique silico-calcaire

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

**Tableau (I. 5) propriétés de brique silico-calcaire produits, les blocs pleins, Les blocs creux Les blocs spéciaux Figure (I. 5) [13] [18].**

Type de brique SC	Brique silico-calcaire dense	Brique silico-calcaire léger
<b>Masse volumique</b> (kg/m <sup>3</sup> )	600 - 2200	300 - 800
<b>Résistance à la compression</b> (Mpa)	6 - 60	1.5 - 7
<b>Conductibilité thermique</b> $\lambda$ (w/m .°c)	1.16 -1.63 pour un masse volumique enter1700-2100 (Kg /m <sup>3</sup> )	0.08 pour un masse volumique enter 300 (Kg /m <sup>3</sup> )
<b>Absorption d'eau</b>	4 à 8 %	-
<b>Isolation acoustique</b>	48 dB	-

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 [27].

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 [27].



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

#### **I.4 Bloc de béton (parpaing)**

##### **I.4.1 définition**

La fabrication des blocs de béton est née après la première guerre mondiale (1914-1918), vu la nécessité d'une reconstruction rapide, la rareté des pierres à bâtir et leurs coûts élevés dans certains pays européennes, ainsi que le manque de main d'œuvre qualifiée pour l'édification en pierres ou brique cuite. Les blocs en béton ne demandant pas d'outillage compliqués ils prouvent même se réaliser sur chantiers, en usines et en séries [3] [4].

##### **I.4.2 La production**

Pour obtenir un bloc de meilleure qualité, Les règles générales à suivre sont celles concernant les bétons, mais avec quelques précautions supplémentaires :

- la nécessité d'un démoulage rapide pour augmenter le rendement de production.
- Réduire la proportion d'eau à la limite strictement nécessaire pour avoir la résistance maximale .Toutes les quantités d'eau supplémentaires ont un effet de retarder le démoulage, de diminuer la résistance finale et d'augmenter la porosité.

Pour cela la quantité d'eau doit être calculée en fonction de la granulométrie de sable, leur surface spécifique et de son degré d'humidification compte tenue du type de ciment adopté et le mode de compactage (compression, choc, vibration) [4] [5].

##### **Exemple de composition [3]**

- 50kg de ciment
- 90 litres de sable
- 120 litres de gravillon.

**Le matériel utilisé pour fabriquer un béton de bonnes performances est comme suit :**

- **un malaxeur (mélangeur)** : pour mélanger la composition.

- **le moulage** : on utilise des machines tels que : la presse, vibro -pondeuse, table vibrante, pondeuse à grande débit.

- **le séchage** : Il est exécuté soit dans des hangars, soit à ciel ouvert (soleil) au moins durant 24 heures avec un arrosage éventuel ou dans l'étuve. Après cette opération les éléments sont pris en stockage.

#### I.4.3 propriétés de Bloc de béton (parpaing)

\* La masse volumique varie de 1000 à 1500 kg /m<sup>3</sup> [6].

\* La résistance à l'écrasement : elle varie selon les catégories [3] :

- catégorie B 40 : bloc dosé à 250 kg de ciment .leur résistance à la compression à 28 jours est au minimum de 40 bars (en section brute) cette catégorie n'est valable que pour les murs de remplissage (non porteurs).

- catégorie B60 et B80 : blocs dosés de 350 kg de ciment .ils doivent résister respectivement à 60,80 Bars en section brute. Ils servent à réaliser les murs porteurs mais ne doivent supporter que des charges uniformément réparties avec chaînage à chaque niveau.

- les blocs pleins de même nature comportant également trois catégories :

\* **B 80**

\* **B120**

\* **B160**

Ces trois catégories sont représentées dans le tableau ci-dessous avec leur classe de résistances (Norme NF P 14-301) :

**Tableau (I.6) : les classes de résistance de bloc de béton**

	Blocs pleins			Blocs creux		
catégorie	B80	B120	B160	B 40	B 60	B 80
Résistance en (MPa)	8	12	16	4	6	8

**Tableau (I. 7) : La résistance thermique des blocs creux à parois minces (NF P 14-301) Epaisseur de parois : 10-20 mm [6]**


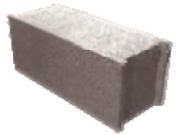

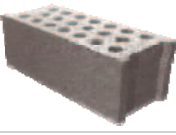
Epaisseur cm	R (w/m <sup>2</sup> .k)
7.5	0.09
12.5	0.13
17.5	0.21
22.5	0.28

**Tableau (I. 8) : La résistance thermique des blocs creux à parois épaisses (NF P 14-301) Epaisseur de parois : 22-28 mm [6]**

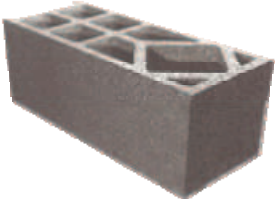
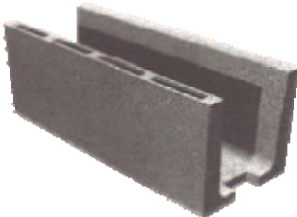
Epaisseur cm	R (w/m <sup>2</sup> .k)
7.5	0.07
12.5	0.10
17.5	0.16
22.5	0.24

#### I.4.4 Les différents produits de bloc de béton selon la norme NF P 14-301




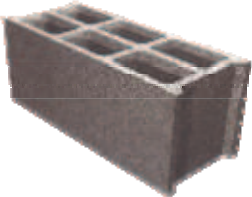
**Tableau (I. 9) : Les blocs perforés et pleins [3]**

Profils	Dimensions E x H x L	Types	Poids unitaires Kg	Classes de résistance disponibles	Photos
	20 x 20 x 40	Plein	31	B80 et B160	
	20 x 20 x 50	Perforé	30	B80 et B120	

**Tableau (1. 10) : Les blocs accessoires [3]**

Types de Blocs	Photos
Bloc d'angle	
Bloc Linteau	

**Tableau (I. 11) : Les blocs creux [3]**

Profils	Dimensions E x H x L	Poids unitaires Kg	Classes de résistances Disponibles	Photos
	10 x 20 x 50	11.00	B 40	
	20 x 20 x 50	17.00	B 40 et B 60	
	20 x 24 x 50	22.00	B 40	

## **I.5 L'adobe**

### **I.5.1 définition**

De nature assez argileuse (jusqu'à 30% de fraction fine), mais très sableuse, la terre est ajoutée d'eau jusqu'à obtenir un état de pâte semi -ferme (15 à 30 % d'eau) puis façonnée à la main ou dans un moule de façon à fabriquer des petits éléments de maçonnerie (blocs, briques). Traditionnellement, pour les terres très argileuses et moins sableuses, on ajoute aussi des fibres végétales hachées en brins courts (suivant longueur du bloc produit), le plus souvent de la paille. Ce matériau est sans aucun doute l'un des plus anciens de l'histoire de la construction puisqu'il constitue la base même de l'architecture mésopotamienne (Sumer, Ninive, Babylone), égyptienne et indous. La construction en adobe est très répandue dans le Monde, de la Chine aux pays du Moyen-Orient, de l'Afrique à l'Amérique latine et Etats Unis d'Amérique . En France. Aujourd'hui, dans beaucoup de pays, la fabrication des adobes demeure très traditionnelle, terre pétrie manuellement, ajoutée de paille et moulée dans des cadres en bois. Le renouveau de l'adobe aux U.S.A. à introduit dès le début du XX<sup>e</sup> siècle l'utilisation de moules à compartiments multiples (en forme d'échelle) ainsi que l'emploi de machines, véritables pondeuses hydrauliques au cadences impressionnantes (jusqu'à 5000 blocs par jour) ainsi que la stabilisation au bitume. Il existe aujourd'hui des unités de production industrialisées qui produisent jusqu'à 20 000 blocs d'adobe par jour [13] [14] [15].

### **I.5.2 La production**

La production des blocs d'adobe doit prendre en compte des étapes successives depuis l'extraction de la terre jusqu'au stockage final du matériau prêt à être utilisé en construction [13] [17] [18].

#### **I.5.2.1 Modes de production de l'adobe**

On distingue deux principaux modes de production des adobes, l'un manuel et l'autre mécanisé traduisant un mode de production traditionnel et un mode de production modernisé [13] [16] [18].

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

#### **• Moules simples :**

Il correspond à un moulage traditionnel soit par façonnage manuel ou à l'aide d'un moule Façonnée à la main **Figure (I. 4)**, la terre est généralement utilisée à l'état de pâte plastique mi-ferme. La terre peut être employée à deux états hydriques différents, soit sous forme de pâte mi-molle et selon une méthode dite du "coup d'eau" (moule préalablement nettoyé et mouillé pour faciliter le démoulage), soit sous forme de pâte mi-ferme et selon une méthode dite du "coup de sable" (le moule préalablement nettoyé et mouillé est sou-poudré de sable pour faciliter le démoulage). Dans ces deux techniques de moulage manuelles rendements moyens de production se situent de 400 à 600 blocs par jour pour 2 ouvriers.

#### **• Moules multiples :**

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

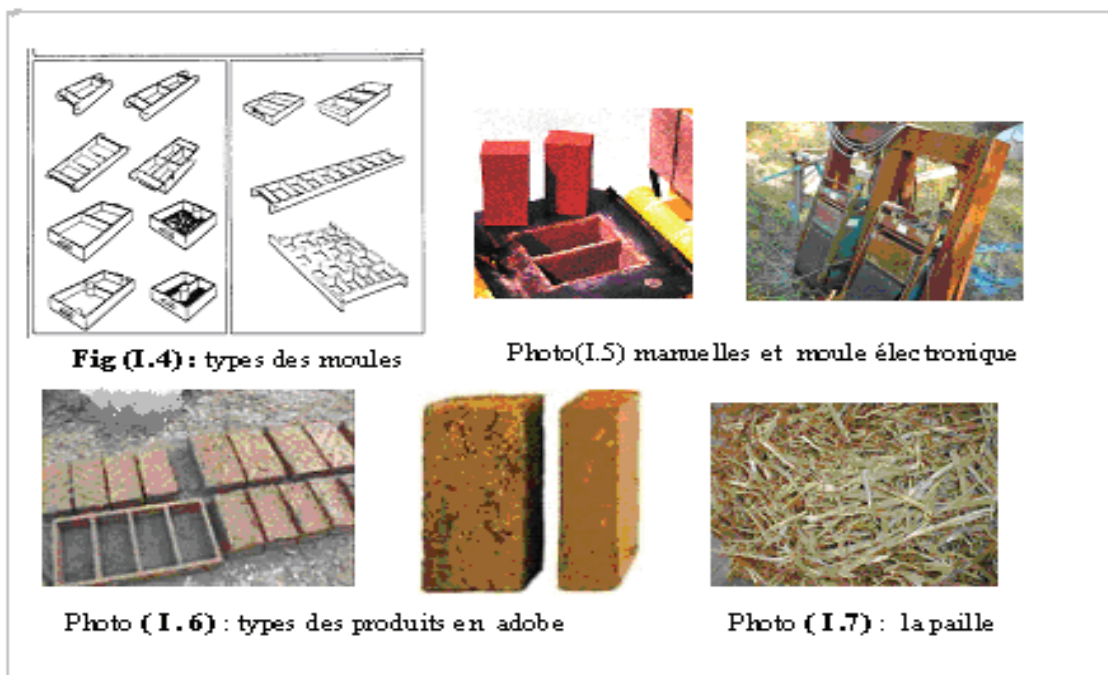
Il convient donc de compenser ce risque en utilisant une terre dont la texture est riche en gros sables et petits graviers. L'organisation de la production mécanisée se fait autour de deux principaux postes qui sont le malaxage et le moulage et mobilise 5 à 6 ouvriers selon la taille des unités, La production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

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

La production mécanisée de blocs d'adobe a été développée dès la fin du XIX<sup>e</sup> 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.

**I.5.3 Les produits :** Les produits de la fabrication des adobes, manuelle ou mécanisée, sont extrêmement variés. Ils sont le plus souvent directement tributaires des savoir-faire traditionnels et varient quant au type de terre utilisée, au mode de moulage, aux dimensions des blocs (très changeantes) et aux destinations d'emploi plus ou moins spécifiques (blocs spéciaux). Les moules utilisés sont généralement en acier ou en bois (le



plus souvent) et de forme très variée. Les dimensions les plus fréquentes de 40 x 40 x 15 cm ou 40 x 30 x 15 cm, ou 40 x 20 x 10 cm ...) On distingue globalement trois principaux types de produits : produits classiques , Produits spéciaux Produits antisismiques [13] [16] [17].

## **I.6. Le pisé**

### **I.6.1 définition**

De nature très sableuse et riche en graviers et cailloux, à peine argileuse (10 à 20 %), la terre est le plus souvent conservée à son état d'humidité naturelle (teneur en eau modifiée si elle est trop sèche ou trop humide) puis déversée dans un coffrage et compactée (à l'aide d'un pilon manuel) jusqu'à constituer un béton maigre de terre qui durcit en séchant. Les coffrages traditionnels sont en bois. Les plus beaux exemples d'architecture en pisé peuvent être observés dans le Maghreb et en Espagne, au Portugal, Mexique, Pérou, Brésil). De nos jours, le pisé reste soit très traditionnel (Maroc, Amérique latine, Chine) soit résolument moderne (Etats Unis d'Amérique, Australie, France) où les coffrages ont considérablement évolués ainsi que le compactage réalisé à l'aide de compresseurs et fouloirs pneumatiques [13] [14] [18].

### **I.6.2 La production**

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

Les rendements de production du pisé varient considérablement selon de multiples paramètres dont les plus agissant sont : l'organisation du chantier et les conditions de travail, le type de coffrage utilisé, le degré de mécanisation. Pour des petits chantiers d'habitat simple, selon le degré de mécanisation, une équipe de 5 à 6 ouvriers (traditionnel) ou de 3 ouvriers (mécanisé) permet d'obtenir des rendements satisfaisant



pouvant aller de 8/10 heures/m<sup>3</sup> à 35 heures/m<sup>3</sup> en organisation traditionnelle et de 5 heures/m<sup>3</sup> à 30 heures/m<sup>3</sup> en organisation mécanisée. Cette large plage est notamment tributaire des conditions de travail [13] [18].

### **I.6.3 Les produits : différents types de pisé**

L'aspect général du matériau pisé, une fois compacté et décoffré est celui d'un "béton maigre de terre", variable selon le type de terre (apparence de graviers et cailloux ou texture plus fine), selon le type de coffrage utilisé et les principes constructifs adoptés pour édifier la maçonnerie de terre en "banchées" successives (en progression horizontale ou verticale avec des coffrages traditionnels) [16] [18].

## **I.7 Les blocs de terre comprimée**

### **I.7.1 définition**

Cette version moderne du bloc de terre crue moulée, ou adobe, emploie des terres aux caractéristiques assez proches de celles du pisé mais pouvant être plus argileuses (jusqu'à 25%) et écrêtées de leurs plus gros éléments (diamètre > 20 mm). La fraction sableuse (gros sables) doit être dominante et la fraction graveleuse (petits graviers) peut être moindre. Le matériau ainsi composé, d'une granulométrie assez uniforme est compacté à un état hydrique peu humide au moyen de presses de type et de registre de performance très divers. La fameuse presse manuelle "Cinva-Ram" mise au point en 1956 en Colombie par l'ingénieur Raul Ramirez fut la première à être fabriquée industriellement et largement diffusée dans le Monde entier. En France, les établissements "Japy" en assuraient la diffusion vers les pays européens et d'Afrique de l'Ouest. Elle fut rapidement et très largement adoptée et contribua au développement de cette technique de construction en blocs de terre comprimée. Cette petite presse manuelle est aujourd'hui dépassée par une nouvelle génération de matériel plus performant, presses manuelles ou semi-mécaniques, mécaniques motorisées, hydrauliques, à compression statique, dynamique ou à vibration, unités foraines mobiles et unités industrielles lourdes, fixes.

Les blocs de terre comprimée non stabilisés (ou stabilisés par l'ajout d'un faible pourcentage de liant hydraulique du type ciment ou chaux) sont des matériaux dotés d'excellentes performances et d'une grande souplesse d'emploi qui caractérise par nature la maçonnerie en petits éléments [13] [14] [17].

### **I.7.2 production des blocs de terre comprimée**

La production des blocs de terre comprimée peut être assimilée à celle des blocs de terre cuite produits par compactage, exception faite de la phase de cuisson. L'organisation de la production sera différente selon qu'elle est réalisée dans le cadre de petites unités de production artisanales (ou briqueteries) au moyen de presses généralement manuelles ou semi- mécanisées, voire motorisées ou bien dans le cadre d'unités de production semi- industrielles et industrielles les principes et modes d'organisation de l'industrie des briques cuites ou des produits silico-calcaires classiques. Les aires de production, de séchage et de stockage varient également selon les modes de production adoptés et les conditions de production issues de l'environnement climatique, technique et économique [14] [17].

### **I.7.3 Modes de production des blocs de terre comprimée**

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

Presses manuelles **Photo (I. 8)**, Presses motorisées, Unités de production foraines (mobiles légères) **Photo (I.9)**, Unités de production fixes.



**Photo ( I .8 )** : presses manuelles

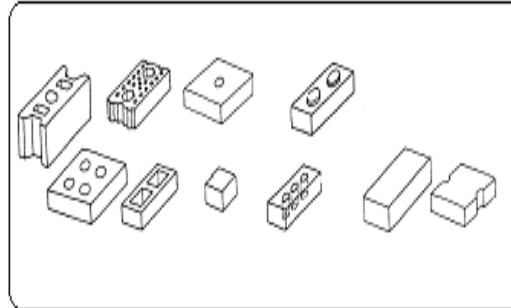


**Photo ( I .9 )** : Presses motorisées

**I. 7.4. Les produits** Les modes de production et types de presses actuellement disponibles sur le marché s'ouvrent sur la réalisation de quatre grandes catégories de

produits, les blocs pleins , Les blocs creux Les blocs spéciaux **Figure (I. 5) [13] [18].**

**Figure (I. 5) : les différent blocs de terre comprimée**



### **I.8 Brique de terre crue**

De nos jours la construction en terre crue est de plus en plus abandonnée dans le monde. Matériau jugé antique et associé aux premiers âges des civilisations du Nil, du Tigre et de l'Euphrate, de l'Indus.

Matériau majeur, il en est car la terre crue demeure encore de nos jours l'un des principaux matériaux de construction de l'homme pour édifier sa demeure et les édifices de la cité. Les strates du temps se sont accumulées sur des sites d'occupation humaine qui régénéraient sans cesse l'édification de leur cadre de vie bâti quotidien. De construire de simples cabanes et modestes demeures [13] [14] [15] [16].

#### **I.8.1 Les avantages du point de vue environnement**

Il apparaît particulièrement important de relever les nombreux avantages que présente la technologie de la construction en terre crue au plan de l'environnement. Cette question devient actuellement très centrale et rejoint celle des problèmes contemporains de société qui prendront davantage de place dans les stratégies politiques, économiques, sociales et culturelles liés à la planification et l'aménagement de la qualité de la vie. On retiendra ici un sens large du concept d'environnement, à la fois au plan écologique, économique, technique, sanitaire et psychologique, culturel et humain [13] [17].

### **I.8.1.1 Ecologique**

La terre crue offre l'avantage d'un bilan pollution et dégradation entièrement positif :

- Elle ne participe pas à la déforestation qu'entraîné par exemple l'emploi des ressources végétales par la cuisson des matériaux de terre cuite.
- Elle ne consomme pas d'énergies non renouvelables (pétrole, gaz, etc.), pour la transformation et la production des matériaux et pour leur mise en oeuvre.
- En exploitant des gisements sur les sites de construction, elle permet une réduction notable de l'énergie nécessaire au transport des matériaux.
- Elle ne contribue pas à une dégradation des paysages
- Elle n'utilise que très peu d'eau, ressource essentielle à la vie des peuples.
- Elle ne produit aucun déchet d'exploitation industriel ou chimique et présente en outre l'avantage d'un recyclage quasi complet [13] [17].

### **I.8.1.2 Economique**

- Elle contribue sous des formes d'application intensive, artisanale et semi industrielle ainsi que par sa grande souplesse d'adaptation, à la dynamisation des sociétés locales par la création d'emplois sur l'ensemble de la chaîne de production (notamment sous ses formes d'applications intensives) et la création d'une plus-value monétaire injectable dans les autres secteurs de l'économie [13] [17].

### **I.8.1.3 Technique**

- Elle offre des propriétés de comportement thermo-physique et hydrique qui contribuent à la régulation des ambiances du confort thermique et à une mise en valeur des mécanismes de fonctionnement bioclimatique de l'habitat : bonne conduction, capacité de stockage énergétique, amortissement des écarts de température, etc.

- Elle ne mobilise le plus souvent qu'un outillage de production et de mise en oeuvre simple (moules, presses, coffrages légers, outils courants de maçonnerie, etc.) [13] [17].

#### I.8.1.4 Sanitaire et psychologique

- Elle contribue au bien-être psychologique par les qualités propres du matériau mise en valeur par l'architecture, telles que texture de surface, couleur de la matière, forme et luminosité du matériau [13] [17].

#### I. 8.2 les Caractéristiques des briques de terre crue (adobe, pisé, Brique de terre comprimée)

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

**Tableau (I.12) : les Caractéristiques des briques de terre crue (adobe, pisé, Brique de terre comprimée) [6] [13]**

Caractéristiques	Type de brique de terre crue		
	Adobe	Pisé	BTC
Masse volumique K/m <sup>3</sup>	1200 - 1700	1700-2200	1700 - 2200
Résistance à la compression MPa	2.10 <sup>-3</sup> - 5.10 <sup>-3</sup>	< 2.4	< 2.4
Conductibilité thermique $\lambda$ (w/m .°c)	0.46 - 0.81	0.81 - 0.93	0.81 -1.04
Absorption d'eau %	5	10 - 20	10 - 20
Isolation acoustique dB	-	50 dB pour 40cm 40 dB pour 20cm	50 dB pour 40cm 40 dB pour 20cm
Retrait au séchage mm/m	1	1 - 2	0.2 - 1

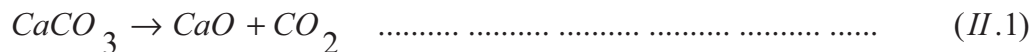
## I.9 Les Lient Hydraulique

### I.9.1Chaux

#### I.9.1.1Définition

On peut supposer que les hommes de la préhistoire ont découvert la chaux à partir du moment où ils ont maîtrisés le feu : des pierres calcaire entourant un foyer, et le feu brûlant nuit et jour, celles-ci ont fini par se décarbonater. Sous l'action de la pluie, ces pierres se sont re-hydratées se transformant ainsi en chaux .Les premières traces de la fabrication organisée de la chaux remontent à 10000 ans avant JC en Mésopotamie. La plupart des peuples de l'antiquité connaissaient la chaux : égyptiens, étrusques, phéniciens, grecs, romains.

Le chaux, substance caustique .solide, blanche lorsqu'elle est pure, Elle est obtenue par calcination du calcaire et d'autres formes de carbonate de calcium. Selon la formule chimique suivante :



Carbonate de calcium (calcaire) → oxyde de calcium (chaux vive) + anhydride carbonique (gaz carbonique).

La chaux pure, également appelée chaux vive ou chaux caustique, est constituée d'oxyde de calcium (CaO). Le produit commercial contient en général des impuretés, tels que des oxydes d'aluminium, de fer, de silicium et de magnésium. La chaux traitée par l'eau dégage une grande quantité de chaleur et se transforme en hydroxyde de calcium, vendu dans le commerce en fûts métalliques et se présente sous forme de morceaux ou de poudre blanche et sous le nom chaux éteinte ou chaux hydratée ou chaux hydrauliques naturelles Il existe des chaux hydrauliques artificielles qui résultent du broyage simultané de clinker de ciment et de fillers calcaires [2] [4] [10].

#### I.9.1.2 différents types de chaux :

En résumé selon la roche et le traitement subi, on obtient les différentes chaux citées sur le tableau voir la page suivant.

Tableau :(I.13) Différents chaux [4]

Roche ou Constituant d'origine	Calcination au dessus de 900°	Extinction Par hydratation	Après tamisage et broyage, produits commercialisés	Nature de la chaux
Calcaire pur	Chaux vive	Non	Chaux vive	Chaux vive
		Chaux éteinte	Chaux aérienne pour bâtiment CAEB Hydrate de chaux. chaux blutée, fleur de chaux	Chaux aérienne (ou grasse)
Calcaire argileux	Chaux vive + silicates et aluminates	Chaux éteinte +silicates et aluminates	chaux hydraulique naturelle (XHN)	chaux hydraulique
Clinker +fillers calcaires	Non	Non	Chaux hydraulique artificielle (XHA)	

Parmi les chaux aériennes, on distingue [10] [20] :

**a. La chaux grasse** : obtenue par cuisson de calcaire pur, puis extinction

La densité apparente est de 0.400 et masse volumique 2250 Kg/m<sup>3</sup>, elle dissout dans l'eau. Ceci est un très grave inconvénient.

**b. La chaux maigre** : obtenue par cuisson de calcaire marneux. C'est-à-dire contenant des matières étrangères.

La densité apparente est de 0.500 et sa masse volumique 2300 Kg/m<sup>3</sup>.

### **I.9.1.3 Extraction**

Les roches calcaires sont extraites de carrières à ciel ouvert ou souterraines. Abattage, les roches dures sont reprises par des chargeurs, puis transportées vers des ateliers de concassage et de criblage [10].

### **I.9.1.4 Fabrication des chaux hydrauliques naturelles**

La Matière première est Calcaires argileux (teneur en argile entre 1 5 et 20%) [10].

#### **\* La cuisson**

La cuisson s'effectue dans des fours verticaux, dans lesquels un mélange de pierre et de charbon est introduit à la partie supérieure.

La pierre descend lentement, en traversant une zone de préchauffage (vers 200°) Elle traverse ensuite une zone de calcination (à partir de 900°C).

La zone de cuisson se situe à une température variant entre 1000 et 1200°C, la chaux vive recueillie à la sortie du four passe par un traitement destiné à éteindre complètement la chaux libre.

Lorsque aucune adition n'est effectuée, à l'exception facultative de celle du grappiller, le terme pur peut être appliqué à la chaux hydraulique naturelle (XHN pur) [2][10] .

### **I.9.1.5 fabrication des chaux hydrauliques artificielles**

Chaux hydrauliques artificielles sont des liants fabriqués à partir de clinker et de fillers calcaires.

### **I.9.1.6 Extinction des chaux hydrauliques**

1- par immersion : on met la chaux dans des paniers qu'on plonge dans l'eau; ce procédé est exactement le même que celui utilisé pour éteindre la chaux grasse.

2- Par aspiration : on étale la pierre cuite en couche de 15 à 20 cm.

On l'arrose légèrement, puis on la retourne et on l'arrose à nouveau de manière que toute la masse soit bien humectée [10].



### **I.9.1.7 la chaux de Ouargla**

Le calcaire abonde dans notre région (calcaire de KEM ELADHEME et de SEBKHAT MELLALA ) KEM ELADHEME situe environ de 12 Km sud-ouest de la ville de Ouargla passe par la route de ELGOULIA, à une superficie de 10 Km<sup>2</sup> .

Le calcaire D' KEM ELADHEME est d'âge créacé, à des bonnes propriétés géophysiques et mécaniques (dure, blanchâtres.) [34].

### **I.9.2Le ciment**

#### **I.9.2.1définition**

Le ciment est un liant hydraulique, c'est à dire capable de faire prise dans l'eau. Il se présente sous l'aspect d'une poudre très fines qui, mélangée avec de l'eau, forme une pâte faisant prise et durcissant progressivement dans le temps.

Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium..

Le ciment est l'élément actif du mortier et du béton. Mélangé à l'eau, il constitue une pâte qui enrobe les granulats et joue le rôle de lubrifiant et de colle [21] [22] [23].

#### **I.9.2.2Principe de fabrication des ciments**

La fabrication du ciment comporte les étapes suivantes [21] [22] [31] :

- 1 - Extraction
- 2 - Concassage
- 3 - Préparation du cru
- 4 - Pré -homogénéisation
- 5 - Broyage du mélange
- 6 - Homogénéisation
- 7 - Cuisson
- 8 - Refroidissement du clinker
- 9- Broyage du ciment

### **I.10. stabilisation**

Les caractéristiques de très nombreuses variétés de terre peuvent être améliorées grâce à l'ajout de stabilisants. La stabilisation consiste donc à modifier les caractéristiques

d'une terre en vue de les améliorer. Elle induit des processus de modification qui agissent directement sur le système terre-eau-air et permet l'obtention de propriétés permanentes qui peuvent convenir à une ou des applications particulières du matériau terre en construction.

Il est en effet possible d'intervenir sur deux des principales caractéristiques d'une terre qui sont : la texture et la structure. Ces interventions visent notamment à agir sur trois propriétés principales qui sont : la porosité, la perméabilité et la résistance mécanique. Les principaux objectifs que l'on poursuit en intervenant sur ces caractéristiques et ces propriétés sont : la réduction de la porosité et du gonflement-retrait de la terre, l'obtention d'une meilleure cohésion, l'amélioration de la résistance à l'érosion et l'imperméabilisation de surface, l'obtention de meilleures résistance à la compression sèche et humide, à la traction et au cisaillement [13] [14] [15].

#### **I.10.1. Les procédés de stabilisation**

On dénombre trois principaux procédés de stabilisation.

##### **I.9.1.1. La stabilisation mécanique**

Par compactage de la terre qui modifie sa compressibilité et sa densité, sa résistance mécanique, sa perméabilité et sa porosité [13] [15] [16].

##### **I.10.1.2 La stabilisation physique**

Il s'agit essentiellement d'une intervention sur la texture de la terre en modifiant sa composition granulaire par tamisage de fractions de grains excédentaires ou par apport de fractions de grains faisant défaut [13] [15] [16].

##### **I.10.1.3 La stabilisation chimique**

L'ajout à une terre d'autres matériaux (liants hydrauliques par exemple) ou de produits chimiques, en modifie ses caractéristiques en générant des réactions physico-chimiques qui peuvent entraîner la création d'une matrice d'enrobage ou de liaison des particules ou même la formation d'un autre matériau (réaction pouzzolanique entre l'argile et la chaux par exemple) [13] [15] [16].

## **I.10.2 Les moyens de stabilisation**

Les principaux moyens de stabilisation : densifier, armer, liasonner, imperméabiliser, hydrofuger [13] [15] [16].

### **I.10.2.1 Densification**

On peut densifier la terre par pétrissage ou compactage. Ce moyen évacue l'air en réduisant les pores et canaux capillaires, il contribue à réduire la porosité du matériau et à augmenter sa densité [13] [15] [16].

### **I.10.2.2 Armature**

Il s'agit d'introduire une armature dans la terre généralement constituée de fibres d'origine végétale (paille), animales (poils), minérale ou synthétique. Ce moyen crée un réseau de fibres omnidirectionnel qui améliore notamment les résistances à la traction et au cisaillement, contribue à réduire le retrait [13] [15] [16].

### **I.10.2.3 Liaison**

Dans ce cas, la matrice inerte est aussi introduite dans les argiles et forme des liaisons chimiques stables entre les cristaux d'argile. Ce moyen induit la formation d'autres matériaux par réaction physico-chimique (le cas de la réaction pouzzolanique argile-chaux). Ce moyen améliore la résistance mécanique et à l'érosion [13] [15] [16].

### **I.10.2.4 Imperméabilisation**

Une matière insensible à l'eau (bitume, bentonite, etc.) est introduite dans la terre qui va remplir les vides, pores et fissures et imperméabiliser la terre. Ce moyen contribue à améliorer la résistance à l'érosion et à stabiliser le gonflement et le retrait [13] [15] [16].

### **I.10.2.5 Hydrofugation**

Dans ce cas, on modifie l'état de l'eau interstitielle et l'on réduit la sensibilité des plaquettes d'argile à l'eau. Ce moyen qui fait intervenir des produits chimiques (chlorure de calcium, acides, aminés quaternaires ou résines) [13] [15] [16].

### **I.10.3. Les modes de stabilisation**

Les principaux modes de stabilisation qui correspondent aux principaux moyens de stabilisation précédemment évoqués [13] [15] [16].

#### **I.10.3.1 Compression**

La stabilisation par compactage ou compression est un mode qui correspond à des procédés traditionnels de réalisation de bâtiments en terre compactée dans des banches ou en blocs de terre comprimée. L'effet direct du compactage est de réduire les vides et donc l'air, de fermer la porosité et donc la perméabilité, d'augmenter la densité et donc la résistance à la compression [13] [15] [16].

#### **I.10.3.2 Correction de texture**

La correction de texture consiste à modifier la texture initiale de la terre, par tamisage (écrêtement) de fractions de grains excédentaires, ou par apport de fractions de grains faisant défaut. L'opération de tamisage est en général pratiquée sur les terres trop riches en éléments grossiers (cailloux et graviers) et l'opération d'apport sur des terres trop riches en fractions de grains fins (argiles notamment) en augmentant les quantités des grains grossiers (apport de gros sables, graviers et cailloux). On aura préalablement pris soin d'établir le tracé de la courbe granulométrique de la terre initiale et l'on prendra un soin égal à bien vérifier les résultats obtenus en traçant la nouvelle courbe granulométrique après avoir modifié la texture initiale de la terre [13] [15] [16].

#### **I.10.3.3 Ajout de fibres**

La stabilisation par ajout de fibres est couramment employée dans les techniques de construction en terre traditionnelles. Elle consiste notamment à ajouter de la paille dans les terres qui sont travaillées par pétrissage puis appliquées sur des clayonnages en bois ou moulées sous forme de blocs de terre séchée au soleil.

L'ajout de fibres joue plusieurs rôles : réduction, voire élimination de la fissuration de retrait, accélération du séchage par drainage de l'humidité vers l'extérieur du matériau, allègement du matériau, augmentation de la résistance à la traction, ce qui est sans doute le meilleur avantage.

Les fibres employées, hormis la paille qui est la plus courante sont aussi d'autres fibres végétales telles que balle des céréales, fibres de chanvre, de noix de coco, de sisal, débris du teillage du lin ou du chanvre, charges végétales légères telles que sciures de bois et copeaux. On utilise aussi dans certaines traditions des fibres d'origine animale telles que poils, crins ou bourre d'animaux et plus récemment des fibres de synthèse telles que cellophane, fibres d'acier ou de verre [13] [15] [16].

#### **I.10.3.4 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 [13] [15] [16].

#### **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 [13] [15] [16].

#### **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 bon résultats. Au-delà de 10 %, la stabilisation au ciment n'est économiquement plus rentable [13] [15] [16].

### **I.10.3.5. Ajout de 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 [13] [15] [16].

#### **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 %[13] [15] [16].

## I. 11 Conclusions

Cette étude bibliographique, nous a permis d'étudier tous types de briques existants dans le domaine de construction à savoir : les briques cuites, les briques crues, les briques stabilisées, ainsi que leurs développements dans l'histoire de la construction.

Sur la base :

- Les différents procédures des fabrications : four (brique de terre cuite), four autoclave (brique silico-calcaires). Les principales caractéristiques mécaniques et physiques de chaque type de ces briques.

Plusieurs modes de stabilisation des briques sont présentés dans ce chapitre : compression, correction de texture, ajout de fibres,...etc

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

\*Résistance mécanique;

\*Isolation thermique et acoustique ;

\*Durabilité ;

Et même vis à vis du prix de revient (aspect économique).

En effet, chaque type de brique peut présenter des avantages et des inconvénients, en se basant sur les caractéristiques précédentes. Notre travail de recherche, consiste à valoriser le sable des dunes de la région de Ouargla par son incorporation et utilisation pour la confection d'une brique.

Dans notre travail on a choisit l'ajout de ciment et/ou la chaux hydraulique comme une mode de stabilisation pour confectionner une brique à base de sable des dunes .En ce qui suit, on va essayer de présenter l'influence de ces ajouts sur les caractéristiques mécaniques et physiques de brique.

## II.1 Introduction

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

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

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

## II.2 Le sable des dunes

Le sable des dunes est le résultat d'une érosion et d'une sédimentation des différentes roches suivie d'un transport fluvial et parfois éolien. La plus grande partie des formations sableuses est constituée de quartz. Il est caractérisé par une granulométrie fine et très serrée. Et pour notre étude on a utilisé le sable des dunes de Ain EL Beida (OUARGLA).

### II.2.1 Les caractéristiques de sable des dunes

#### II.2.1.1 Masses volumiques

Les résultats des essais de la masse volumique apparente  $\rho_a$  et la masse volumique absolue  $\rho_s$  de sable est :

$$\rho_a = 1471 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_s = 2564 \text{ kg/m}^3$$

#### II.2.1.2 Analyse minéralogique du sable des dunes

Suivant les mesures menées à partir de diffractogramme **figure (II-1)**, qui a été effectuée au niveau du laboratoire de physique à l'université de OUARGLA, on peut constater ce qui suit :

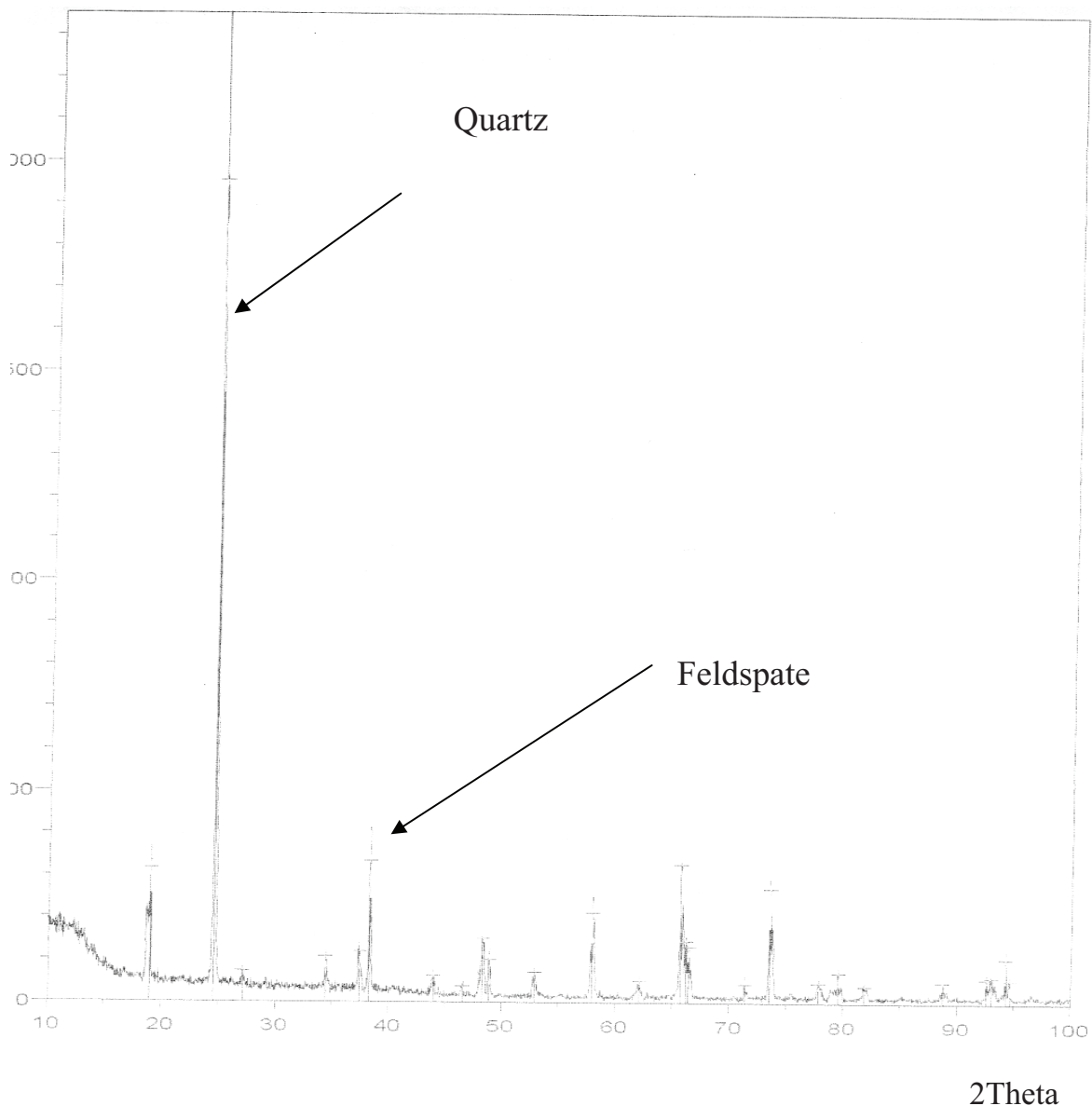
- Le quartz forme une grande part des minéraux avec un pourcentage de 80 %.



- Le gypse se trouve sous forme des grains fin de couleur blanchâtre avec un Pourcentage de l'ordre de 3 %.
- Le feldspath et la calcite sont trouvé avec des pourcentages faibles au tour de 10 % [30].

La **figure (II.1)** présente le diffractogramme pour les analyses minéralogiques du sable des dunes.

Lintensity /cps



**Figure (II.1) : Diffractogramme de sable des dunes**

### II.2.1 .3Analyse chimique

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

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

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

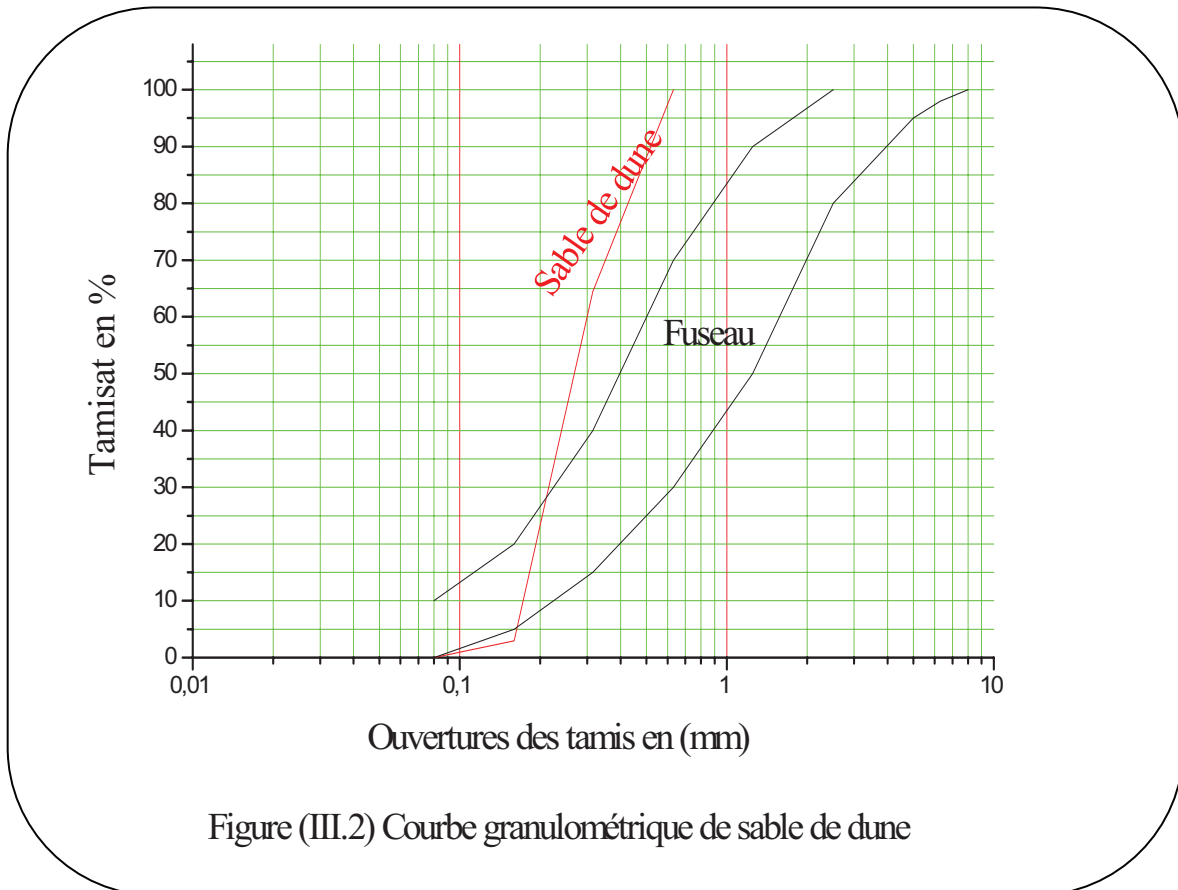
Nous remarquons que le pourcentage du (SO<sub>4</sub> Ca), (SO<sub>4</sub>) est inférieur au seuil préconisé. De ce fait le sable utilisé est non agressif.

### II.2.1 .4 Analyse granulométrique

Cet essais est réalisé suivant la **norme NF P18 560** .L'échantillon représentatif doit avoir une masse comprise entre 200D et 600D [ 25 ] , où D est la plus grande dimension des granulats à les résultats obtenus sont présentes sur la figure ( II.2).

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

Ouvertures des Tamis (mm)	Refus cumulé en%	Tamisât en%
5	0	100
2,5	0	100
1,25	0	100
0,63	0	100
0,315	35.53	64.47
0,16	97.06	2.94
0,08	99.98	0.02



La fig(III.2) montre que la courbe granulométrique est partiellement située à l'extérieur du fuseau de référence recommandé par la norme pour la confection des bétons et des mortiers. Cela est dit vraisemblablement à la nature de sable de dunes qui est très fin.

#### II.2.1 .5 Modules de finesse (norme NF P18 304)

Le module de finesse d'un sable est égal au  $1/100^e$  de la somme des refus cumulés des tamis de 0.16à5 mm [25].

Pour les sables utilisés dans notre étude on a trouvé la valeur suivante :

$$M_F = 1.33$$

Le module de finesse du sable fin utilisé dans la confection du béton doit être situé entre 1.7- 2.8, de ce fait nous remarquons que  $M_F$  du sable utilisé est inférieur à celui recommandé par la norme.

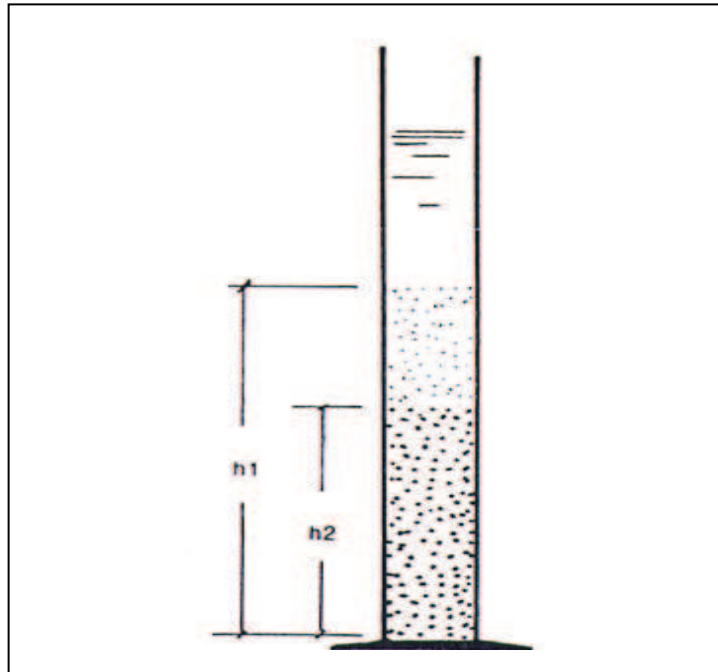
#### II.2.1 .6 Equivalent de sable :(norme NF P 18 598)

Cet essai, utilisé de manière courant pour évaluer la propreté des sables .l' essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossier .une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent

de sable qui quantifie celui-ci l'essai est effectué sur fraction 0/5 mm du matériau à étudier . On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout au bout de 20 minutes on mesure les éléments suivants [25] :

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

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



**Figure (II. 3) : Essais équivalent de sable**

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

Les résultats obtenus sont les suivants :

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

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

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

### II.3. Le Ciment Utilise

Le ciment utilisé est un ciment **CPJ-CEMII/A32.5** disponible sur le marché, fabriqué par la cimenterie de **Ain Touta (Batna)**.

#### II.3.1 Les caractéristiques de ciment

##### II.3.1.1 la masse volumique

Les résultats des essais de la masse volumique et de la masse volumique absolue du ciment utilisé sont [35] :

- La masse volumique apparente :  $\rho_a = 2120 \text{ kg/m}^3$
- La masse volumique absolue :  $\rho_s = 3034 \text{ kg/m}^3$

##### II.3.1.2 Surface spécifique

Elle est mesurée par comparaison avec un ciment de référence dont la surface spécifique est connue. Il s'agit de faire passer un volume d'air connu à travers une poudre de ciment, plus la surface spécifique de cette poudre est importante et plus le temps mis par l'air pour traverser la poudre est longue. Dans les conditions normalisées, la surface spécifique est proportionnelle à  $\sqrt{t}$ . L'appareil d'essai est appelé « Blaine »

La surface spécifique de Blaine est donnée par la formule suivante (**Norme NF P 15 442**) :

$$SSB = \frac{K \sqrt{e^3} \sqrt{t}}{\rho (1-e) \sqrt{\eta}} \dots\dots\dots(II.5)$$

t : temps de passage de l'air dans la couche de la poudre en seconde

$\eta$  : viscosité de l'air à la température de l'essai

$\rho$  : masse volumique absolue en  $\text{g/cm}^3$

k : constante de l'appareil

e : porosité

La surface spécifique du ciment utilisé suivant les essais réalisés au laboratoire de la cimenterie de Ain Touta est de  $3859 \text{ cm}^2/\text{g}$  [35]

### II.3.1.3 Temps de prise

Il constitue une indication précieuse pour la mise en œuvre des mortiers et des bétons normaux. Il varie en fonction de la nature du ciment (à prise lente ou rapide), de la finesse de mouture qui favorise l'hydratation et de la température qui influe sur la vitesse des réactions chimiques et accélère la prise. Il est généralement supérieur à 90 mn pour les ciments courants à une température de 20°C. L'essai de prise est réalisé avec l'appareil de Vicat [33] [23]. Le temps de prise du ciment utilisé est [35] :

- Début de prise : 03h
- Fin de prise : 07h .

### II.3.1.4 Caractéristiques chimiques

L'analyse chimique du ciment utilisé d'après [35] a révélé l'existence des éléments qui sont présentés en pourcentages dans le **tableau (II.5)**

**Tableau (II.3) : analyse chimique du ciment utilisé**

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	PAF
21.90	5.73	3.13	60.18	1.85	2.29	0.19	0.83	4.07

Nous remarquons que le ciment utilisé contient des pourcentages appréciables de chaux et de silice % alcalis = Na<sub>2</sub>O + 0.658K<sub>2</sub>O = 0.736 > 0.6% Mais il n'y a pas risque de réaction alcalis-granulats car ces derniers ne sont pas des calcaires dolomitiques.

### II.3.1.5 Composition minéralogique du clinker

Le clinker est obtenu par la cuisson des matières premières constituées principalement de calcaire et d'argile. Il est composé essentiellement par les quatre phases cristallines qui sont données dans **Tableau (II.6)** suivant [29] [30].

**Tableau (II.4) : Analyse minéralogique du clinker**

Composé	Silicate tricalcique 3CaO, SiO <sub>2</sub> (C3S)	Silicate bicalcique 2CaO.SiO <sub>2</sub> (C2S)	Aluminate tricalcique 3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (C3A)	Alumino-ferrite Tétracalcique 3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Moyenne	55.05 ± 2.27	19.97 ± 1.85	9.44 ± 0.27	9.27 ± 0.24

On remarque que le clinker a un pourcentage élevé de C3S, donc il présente de forte résistance initiale.

### II.3.1.6 Indices D'hydraulicité

L'indice d'hydraulicité ou indice de Vicat, le rapport de la fraction acide du ciment à la fraction basique [2].  $I = (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) / (\text{CaO} + \text{MgO})$  (II.6)

Pour le ciment utilise  $I = 0.44 < 0.5$  donc le ciment est neutre [29] [30].

## II.4. La Chaux Utilise

La chaux hydraulique utilisée est une chaux hydraulique artificielle **XHA 60** disponible sur le marché, fabriqué par l'usine de CHTABA (CONSTANTINE).

### II.4. 1 Les caractéristiques physiques de la chaux

#### \*La résistance

Les chaux hydrauliques appartiennent à l'une des trois classes de : 30, 60 et 100. (Norme NF P 15 310 et NF PIS 312) [10].

**Tableau (II.5) classes de résistance de chaux hydraulique**

Classe	Résistances à la compression en MPa	
	7 jours	28 jours
30	1	3
60	3	6
100	5	10

**\*la masse volumique apparente :**

\* 650 et 900 Kg/m<sup>3</sup> pour les XHN 60 et XHN 100

\* 600 et 750 Kg/m<sup>3</sup> pour les XHN 30

**\*la masse volumique absolue :**

Varie entre 2600 - 2900 (kg/m<sup>3</sup>)

**\*la couleur**

la chaux hydraulique en poudre est jaune claire avec nuances grisâtres ,elle est plus claire que le ciment et contient au moins 10% de chaux libre .

**\*la granulométrie**

Sa granulométrie doit être telle que refus au tamis d'ouverture de maille 200µm < 10%.

**\*la surface spécifique Blaine :** varie entre 3000 -8000 (cm<sup>2</sup>/g).

**\*le début de prise :** ne peut pas avoir lieu avant 150 minutes.

**II.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 ciments.

L'analyse chimique de l'eau a été effectuée au laboratoire de traitement des eaux de l'université de Ouargla et elle a donné la constitution suivante :

**Tableau (II.6) : composition chimique de l'eau [29] [30]**

Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO3 <sup>-</sup>	SO4 <sup>-</sup>	HCO3 <sup>-</sup>	PH
242	125	31	536	755	14.5	755	124	7.75

les concentrations sont données en mg/l.



### **III.6 Conclusion**

Dans ce chapitre on a essayé de caractériser le sable de dunes de Ain El- beida (Ouargla).c'est un sable qui est très propre et très fin avec une granulométrie serré, leur module de finesse est de l'ordre de 1.33 .Donc ce sable est hors normes de point de vue construction. Les liants hydrauliques utilisés sont : le ciment et la chaux hydraulique existants sur le marche; Ils sont normalisés et approuvés par les normes Algériennes de constructions.

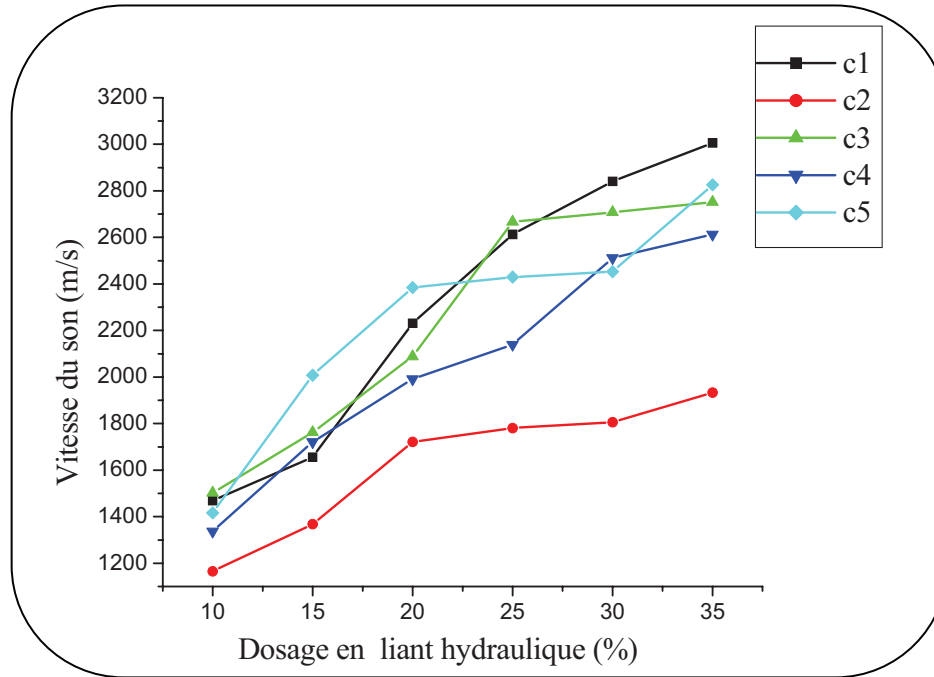


Figure (III .9) La vitesse de propagation du son en fonction du dosage en liant

### III.7.1 les résultats et discussions

Le tableau (III.14) montre la variation de vitesse de propagation du son en fonction des différents dosages en liant dans les différentes compositions à 28 jours .

Analysons la figure (III .9) on peut constater une évolution de la vitesse de propagation de son en fonction de l'augmentation de la teneur en liant dans les différentes compositions.

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

- la compacité;
- la résistance à la compression;
- l'isolation thermique.

Le choix des briques d'après la vitesse du son est ainsi lié avec la résistance à la compression (référence B80).

Le tableau (III .15), donne, les vitesses les plus élevées pour chaque teneur affectée à la meilleure composition.

**Tableau (III .15) la meilleure composition où la vitesse du son est élevée pour les différentes teneurs en liant**

Dosage	10%	15%	20%	25%	30%	35%
Composition	C3	C5	C5	C3	C1	C1
la vitesse du son ( m/s)	1502.9	2007.7	2385.3	2666,7	2841,5	3005,8

**III.8 détermination de la masse volumique de brique : (Norme NBN B 24.206)**

On pèse l'éprouvette après séchage dans une étuve portée à la température de 105°C jusqu'à la masse constante, M le volume de l'éprouvette, V ce volume exprimé en m<sup>3</sup>.

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

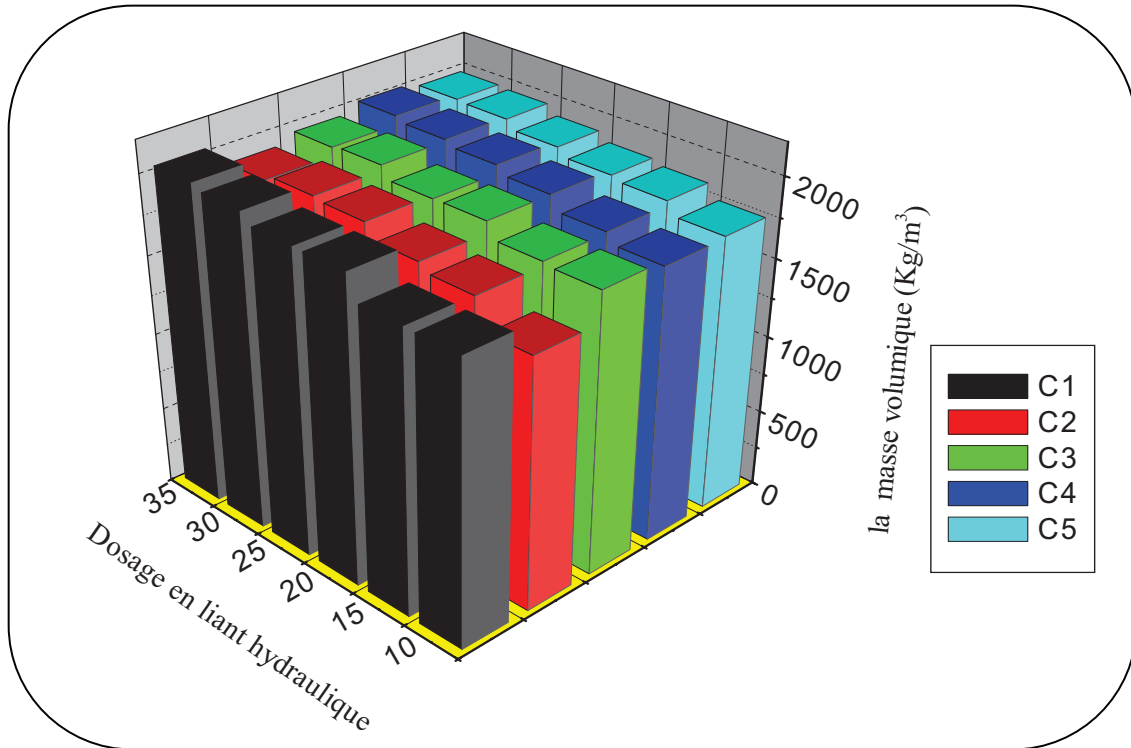
$$\rho = \frac{M}{V} \dots\dots\dots \text{(III. 10)}$$

**III.8.1 Les résultats**

Le tableau (III.16) montre la variation de la masse volumique en fonction des différents dosages en liant de différentes compositions à 28 jours.

**Tableau (III.16) : masse volumique de la brique à base de sable de dunes**

Composition Dosage en liant	C1	C2	C3	C4	C5
10%	1783,72	1594,93	1787,20	1748,88	1759,33
15%	1787,21	1780,24	1804,62	1811,59	1839,46
20%	1940,50	1829,01	1900,18	1898,69	1863,85
25%	1940,50	1919,59	1895,20	1947,46	1912,62
30%	2003,21	1937,01	1968,86	1978,81	1966,30
35%	2034,56	1902,17	1953,60	2006,68	1974,43



**Figure (III .10) : la masse volumique en fonction du dosage en liant hydraulique**

A partir de figure (III.10), nous constatons une évolution de la masse volumique en fonction de l'augmentation de la teneur en liant dans les différentes compositions. Le tableau (III.17) donne, la masse volumique la plus élevée en fonction de pourcentage en liant hydraulique pour chaque composition.

**Tableau (III.17) la composition où la masse volumique est élevée pour différentes teneurs en liant**

Dosage	10%	15%	20%	25%	30%	35%
Composition	C3	C5	C1	C4	C1	C1
la masse volumique (Kg/m <sup>3</sup> )	1783,72	1839,46	1940,50	1947,46	2003,21	2034,56

La meilleure brique dépend essentiellement de sa masse volumique, du fait que le poids de brique diminue que la charge totale de la structure est diminuée, cela a des répercussions directs sur les aspects technique et économique.

### III.9 La porosité

La porosité d'un matériau est le rapport entre le volume des pores et le volume total. Les pores des briques sont généralement reliés entre eux, la porosité exerce une influence déterminante sur certaines propriétés de la brique (isolation thermique, phonique, résistance au gel et vieillissement etc...)

La porosité est une notion complexe qui ne peut pas se résumer à un chiffre.

Les normes donnent diverses méthodes d'essai relatives à l'absorption d'eau, qui donnent chacune certaines informations sur la porosité.

$$\eta = (1 - \delta_s / \delta_p) \quad (\%) \quad \dots\dots\dots(\text{III. 11})$$

$\delta_s$  : la masse volumique absolue ( $\text{Kg/m}^3$ )

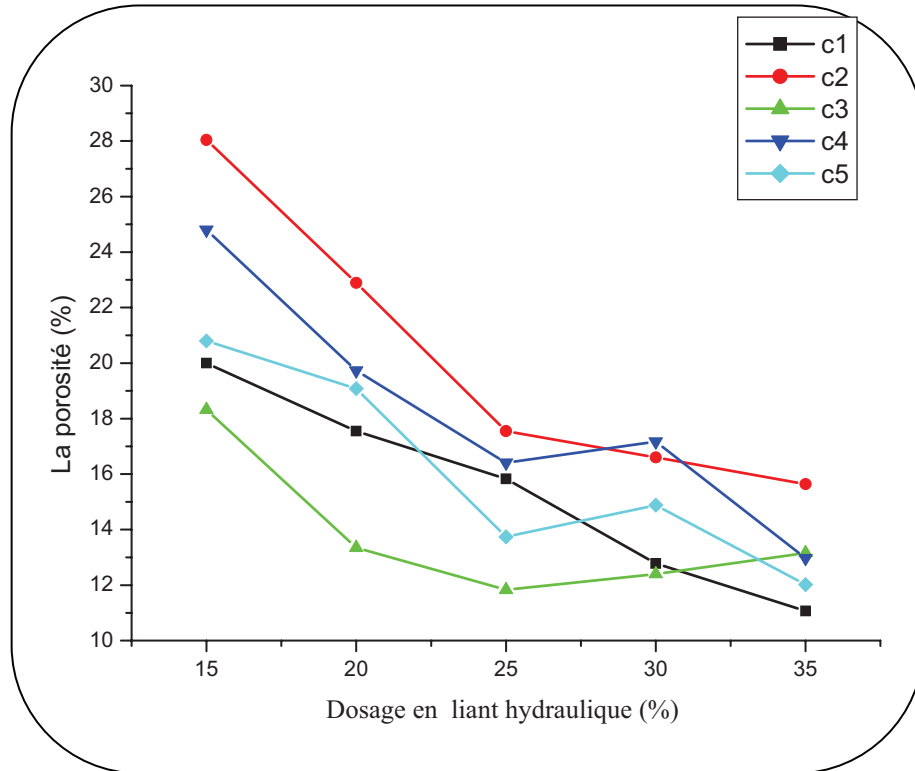
$\delta_p$  : la masse volumique apparente ( $\text{Kg/m}^3$ )

#### III.9.1 les résultats et discussions

Le tableau (III.18) montre la variation de porosité en fonction des différents dosages en liant de différentes compositions à 28 jours.

**Tableau (III.18) : La variation de porosité en fonction du dosage en liant**

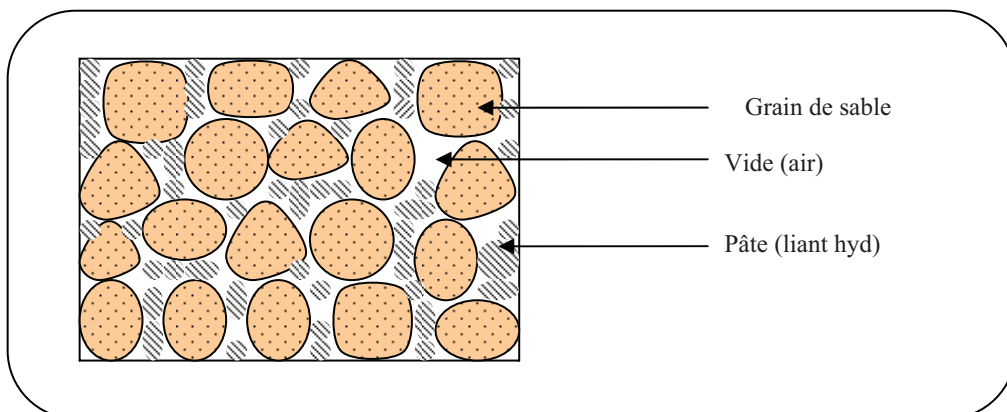
Composition Dosage en liant	C1	C2	C3	C4	C5
10%	24,80 ± 0,38	31,67±2,29	33,39±0,57	30,33±0,57	29,57±0,19
15%	27,09±0,38	28,04±1,72	18,32±1,14	24,80±0,38	20,80±0,19
20%	17,55±0,0	22,89±0,38	13,35±0,76	19,73±0,11	19,08±0,76
25%	15,83±0,19	17,55±1,14	11,83±0,38	16,41±0,76	13,74±0,38
30%	12,78±0,57	16,60±0,57	12,40±1,34	17,17±1,14	14,88±0,76
35%	11,07±0,00	15,64±0,76	13,16±0,19	12,97±0,7	12,02±0,57



**Figure (III .11) : La porosité en fonction du dosage en liant hydraulique**

A partir de figure (III .11) on peut constater une diminution de la porosité en fonction de l'augmentation de la teneur en liant et des compositions.

Lorsque la porosité diminue, la compacité et la résistance à la compression augmentent .cette dernier est proportionnelle au dosage du liant dans la matrice figure (III.12).



**Figure (III .12) : les constitutions de brique après durcissement**

Le tableau suivant donne la porosité la plus élevée en fonction de pourcentage en liant hydraulique pour chaque composition à 28 jours .

**Tableau (III.19) présenté la composition où la porosité est élevée pour différentes teneurs en liant**

Dosage	10%	15%	20%	25%	30%	35%
Composition	C3	C2	C2	C2	C2	C2
la porosité	33,39	28,04	22,89	17,55	16,60	15,64

D'après la figure (III.19) nous constatons que la porosité diminue avec l'augmentation du teneur en liant.

### III.10 La compacité

La Compacité est définie comme étant le rapport du volume solide sur le volume total (V) correspond au complément à l'unité de la porosité.

La compacité ( $c_p$ ) de l'éprouvette est déterminée par la formule :

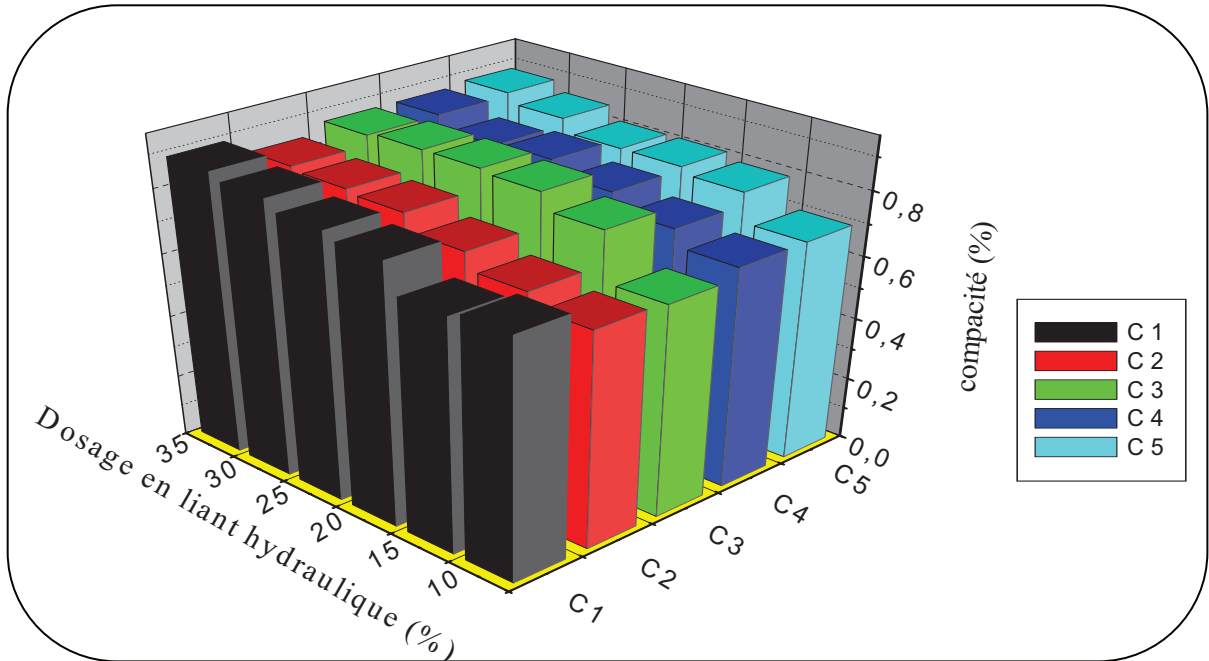
$$c_p = \frac{V - v}{V} = 1 - \frac{v}{V} \dots\dots\dots(III.12)$$

$v$  : Volume de vide                       $V$  : volume total

Le tableau (III.20) montre la variation de compacité en fonction des différents dosages en liant de différentes compositions à 28 jours.

**Tableau (III.20) : La compacité**

Composition Dosage en liant	C1	C2	C3	C4	C5
10%	0,75	0,68	0,67	0,70	0,70
15%	0,73	0,72	0,82	0,75	0,79
20%	0,82	0,77	0,87	0,80	0,81
25%	0,84	0,82	0,88	0,84	0,81
30%	0,87	0,83	0,88	0,83	0,85
35%	0,89	0,84	0,87	0,87	0,88



**Figure (III .13) : La compacité en fonction du dosage en liant**

A partir de figure (III .13) nous constatons une évolution de la compacité des compositions en fonction de l'augmentation de la teneur en liant.

Le tableau (III .11) donne, la compacité le plus élevée pour chaque teneur affectée à la meilleure composition.

**Tableau (III.21) présenté la composition où la compacité est élevée pour différentes teneurs en liant**

Dosage	10%	15%	20%	25%	30%	35%
Composition	C3	C5	C1	C4	C1	C1
la compacité	0,67	0,79	0,82	0,84	0,87	0,89

### III.11 Essai d'absorption d'eau par capillarité : (Norme NBN B 24.206)

L'essai est exécuté sur un échantillon composé de 3 produits, séchés à l'étuve et portés à la température de  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  jusqu'à l'obtention d'une masse constante. La masse  $M_1$  de produit séché puis immergé le produit pendant 10 minutes suivant sa face de pose dans un récipient placé sur un plan horizontal et rempli d'eau de telle manière



que la face immergée du produit se retrouve à 5 mm au-dessous du niveau d'eau. Le matériau est pesé sa masse est  $M_2$ . Le pouvoir de succion de l'eau exprimé en  $\text{g/cm}^2$  est caractérisé par le coefficient C donné par la formule suivante :

$$C = \frac{(M_2 - M_1) \times 100}{S \sqrt{t}} \dots\dots\dots (IV .13)$$

S : surface horizontale mouillée en  $\text{cm}^2$ .

t : temps d'immersion en minutes.

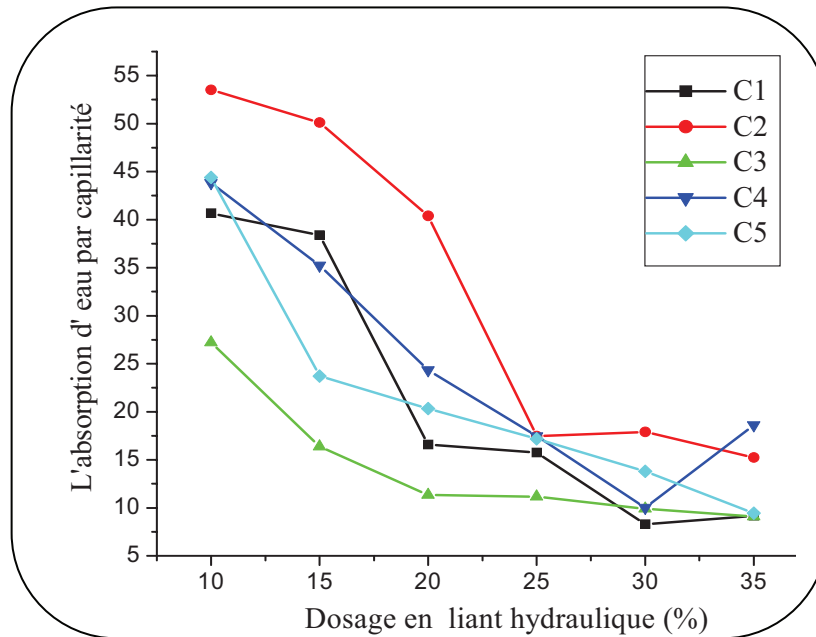
$M_1, M_2$  : en g

### III.11.1 les résultats et discussions

Le tableau (III.22) montre le coefficient d'absorption d'eau par capillarité en fonction des différents dosages en liant des différentes compositions à 28 jours :

**Tableau (III.22) : coefficient d'absorption d'eau par capillarité de brique (C)**

Composition Dosage en liant	C1	C2	C3	C4	C5
10	40,67± 0.00	53,53±1.48	27,21±6.59	43,82±0.29	44,39±0.29
15	3839± 0.29	50,12±3.15	16,38±1.95	35,23±1.43	23,7±0.86
20	16,59± 0.86	40,38±0.86	11,34±0.68	24,34±6.59	20,33±0.29
25	15,75± 0.86	17,47±1.43	11,17±0.27	17,47±0.86	17,18±5.16
30	8,30± 0.29	17,9±0.98	9,916±0.75	10,02±2.01	13,80 ± 4.0
35	9,16± 0.57	15,23±0.80	9,09±0.31	18,61±0.86	9,45±1.43



**Figure (III .14) : L'absorption d'eau par capillarité en fonction de dosage en liant hydraulique**

A partir de la **figure (III .14)** nous constatons une réduction d'absorption d'eau en fonction de l'augmentation de la teneur en liant des différentes compositions.

Le tableau suivant donne, le coefficient d'absorption d'eau la plus élevée pour chaque teneur de liant affectée à la meilleure composition.

**Tableau (III.23) présenté la composition ou la coefficient (C) est élevé pour différents teneurs en liant**

Dosage	10%	15%	20%	25%	30%	35%
Composition	C2	C2	C2	C2	C2	C4
coefficient (C)	53.53	50.12	40.38	17.47	17.9	18.61

D'après la tableau **(III. 23)** .Nous constatons que lorsque le dosage en liant augmente le coefficient d'absorption d'eau par capillarité diminue. Cette caractéristique est un paramètre qui influe sur l'obtention d'une brique convenable .

Les pores existant au sein de la matrice de la brique, influe sur l'absorption d'eau par capillarité, plus le taux de vide augmente plus l'absorption augmente

### III.12 La conductivité thermique

Le coefficient de conductivité thermique  $\lambda$  d'un matériau est : la quantité de chaleur traversant le matériau dans un état stationnaire, par unité de surface, de temps et de gradient thermique dans ce matériau ; l'unité est le (W/m.c.) .

La conductivité thermique est 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 suit :

$$\lambda (W.m^{-1}C^{-1}) = a_0 + a_1 V + a_2 \rho + a_3 \eta \dots\dots\dots(III.14)$$

V : vitesse de son .

$\rho$  : la densité sèche .

$\eta$  : la porosité.

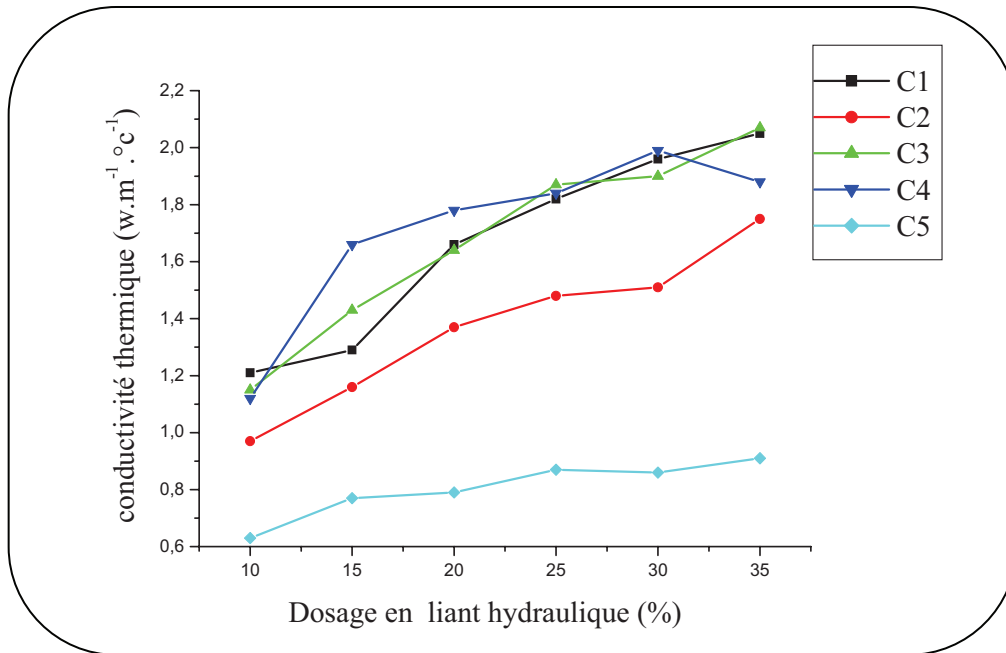
$$a_0 = 0.64 ; a_1 = 0.371 ; a_2 = 0.209 ; a_3 = - 2.82$$

#### III.12.1 les résultats et discussions

Le tableau (III.24) montre la variation de La conductivité thermique en fonction des différents dosages en liant de différentes compositions à 28 jours.

Tableau (III.24) : La conductivité thermique  $\lambda (W.m^{-1}C^{-1})$

Composition Dosage en liant	C1	C2	C3	C4	C5
10%	1,21	0,97	1,15	1,12	0,63
15%	1,29	1,16	1,43	1,66	0,77
20%	1,66	1,37	1,64	1,78	0,79
25%	1,82	1,48	1,87	1,84	0,87
30%	1,96	1,51	1,90	1,99	0,86
35%	2,05	1,75	2,07	1,88	0,91



**Figure (III .15) : La conductivité thermique en fonction de dosage en liant hydraulique**

A partir de la figure (III.15) nous remarquons les évolutions de la conductivité thermique en fonction de l'augmentation de la teneur en liant des différentes compositions.

L'augmentation de l'isolation thermique dépend de la nature et le pourcentage de liant utilisé, en conséquence l'isolation thermique présente un avantage de point de vue économique en diminuant le pourcentage de liant et un inconvénient de point de vue résistance mécanique.

### III .13 Étude économique

#### Prix des matériaux dans le marché

1kg ciment = 7DA

1kg chaux hydraulique = 4DA

1kg sable des dunes = 0.12DA

Estimation de prix des différentes compositions des briques BRSD d'après les matières premières (ciment, chaux hydraulique, sable des dunes)

### Composition C1

	Masse (kg)	Sable (Kg)	Ciment (Kg)	chaux H (Kg)	prix d'une brique (DA)
10 %	2,56	2,30	0,26	0	2,07
15 %	2,57	2,18	0,38	0	2,95
20 %	2,79	2,23	0,56	0	4,17
25 %	2,79	2,09	0,70	0	5,12
30 %	2,88	2,01	0,86	0	6,28
35 %	2,92	1,90	1,02	0	7,38

### Composition C2

	Masse (kg)	Sable (Kg)	Ciment (Kg)	chaux H (Kg)	prix d'une brique (DA)
10 %	2,29	2,06	0	0,23	1,19
15 %	2,56	2,17	0	0,38	1,84
20 %	2,62	2,10	0	0,52	2,41
25 %	2,75	2,07	0	0,69	3,09
30 %	2,78	1,95	0	0,83	3,67
35 %	2,80	1,82	0	0,98	4,25

### Composition C3

	masse (kg)	sable (Kg)	Ciment (Kg)	chaux H (Kg)	prix d'une brique (DA)
10 %	2,56	2,31	0,13	0,13	1,69
15 %	2,59	2,20	0,19	0,19	2,40
20 %	2,73	2,18	0,27	0,27	3,26
25 %	2,76	2,07	0,34	0,34	4,04
30 %	2,83	1,98	0,42	0,42	4,90
35 %	2,80	1,82	0,49	0,49	5,62

### Composition C4

	Masse (kg)	Sable (Kg)	Ciment (Kg)	chaux H (Kg)	prix d'une brique (DA)
10 %	2,51	2,26	0,15	0,10	1,73
15 %	2,60	2,21	0,23	0,16	2,53
20 %	2,72	2,18	0,33	0,22	3,42
25 %	2,79	2,10	0,42	0,28	4,30
30 %	2,84	1,99	0,51	0,34	5,18
35 %	2,88	1,87	0,60	0,40	6,07

### Composition C5

	Masse de brique (kg)	Sable (Kg)	Ciment (Kg)	chaux H (Kg)	prix d'une brique (DA)
10 %	2,52	2,27	0,10	0,15	1,59
15 %	2,64	2,24	0,16	0,24	2,33
20 %	2,67	2,14	0,21	0,32	3,04
25 %	2,74	2,06	0,27	0,41	3,82
30 %	2,82	1,98	0,34	0,51	4,64
35 %	2,83	1,84	0,40	0,60	5,38

Notre étude économique est basée sur les prix des matières premières sans tenir en compte les coûts de main d'œuvres qui dépendent de certains paramètres tels que :

- Le rendement.
- La mécanisation.

D'après les tableaux précédents, on constate que le prix unitaire de brique optimale (C5, 20%) est d'ordre de 3 DA. Ce prix est concurrent aux prix des briques existantes, actuellement, sur le marché.

### III.14 conclusion

D'après l'étude expérimentale où nous avons effectué les différents essais mécaniques et physiques, nous pouvons choisir les briques à base de sable de dunes ayant les caractéristiques optimales, se fait selon les aspects suivants :

- L'aspect technique (résistance à la compression, et l'isolation thermique)
- L'aspect économique (le prix de revient du produit)

#### **\*Le choix d'après la résistance à la compression :**

Dans notre choix, nous avons pris comme référence, la résistance à la compression de la brique (parpaing) de classe B80 **Tableau (III.25)** où la résistance à la compression est égale à 8 MPa. Ce choix a été opté du fait, que la confection de la brique à base de dunes est semblable à celui des parpaings courants.

De ce fait le choix de la composition des briques et leurs dosages optimaux est donné selon les compositions suivantes : (C1, 20%), (C2 ,35%), (C3 ,20%), (C4 ,20%), (C5 ,20%).

Maintenant si nous prendrons en considération à la fois la résistance à la compression et la masse volumique de la brique, nous remarquons que lorsque la masse volumique augmente la résistance à la compression et la compacité de la brique augmente aussi, par ailleurs l'absorption d'eau de la brique diminue.

Nous avons opté pour notre choix les briques ayant une résistance adéquate et un poids acceptable (léger) , c'est pour cela que nous avons pris les briques de compositions : C5, C4, C3 ayons un dosage de 20% de liant.

Si on tient compte de l'absorption d'eau comme un paramètre, notre choix va vers une brique ayant une absorption d'eau faible, qui est dans notre cas la composition C5.

#### **\*Le choix de brique d'après l'isolation thermique :**

Concernant l'isolation thermique de la brique à base du sable de dunes nous constatons que lorsque l'isolation thermique augmente la masse volumique, la vitesse

du son et la compacité sont diminués par contre la porosité et l'absorption d'eau s'augmentent

D'après la bibliographie, nous avons pris comme référence, la conductivité thermique de brique de terre cuite **Tableau (III.25)** où cette dernière est égale à 1.21 ( $\text{W.m}^{-1}\text{.}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ), de ce fait notre choix dépend de la nature et le pourcentage de liant : (C2.15%), (C3.10%) et (C4.10%)

**Tableau (III.25) : La résistance à la compression et La conductivité thermique de Brique à base de sable de dunes, Bloc de béton B80, Brique de terre cuite**

	Bloc de béton B80	Brique de terre cuite	Brique a base de sable de dunes (C5 20%)	Différence
<b>La résistance à la compression (MPa )</b>	8	-	8.68	0.68 (+ 8.5 %)
<b>La conductivité thermique <math>\lambda</math> (<math>\text{W.m}^{-1}.\text{.}^{\circ}\text{C}^{-1}</math>)</b>	-	1.21	0.79	0.42 (-34.7 %)

Le choix de la brique à base de sable de dunes dépend aussi du coût de revient cependant, le choix sera porté sur la nature et le pourcentage de liant.

Enfin, notre choix sera fait à base de trois paramètres à savoir la résistance à la compression , l'isolation thermique et le coût de revient de la brique souhaitée.

De ce fait nous avons choisi la brique de composition C5 à dosage en liant 20%

La brique C5 se compose comme suit :

- \* 8 %de ciment CPJ 32.5 ;
- \*12 % de chaux hydraulique ;
- \*80 % de sable de dunes;
- \*14 % d'eau.



A notre avis c'est la brique le plus commode sur le plan à la fois technique et économique qui présente les caractéristiques mécaniques et physiques suivantes :

- **La résistance à la compression  $R_{28} = 8.68$  MPa ;**
- **La conductivité thermique  $\lambda = 0.79$  (W.m<sup>-1</sup>.°C<sup>-1</sup>) ;**
- **vitesse de propagation de son  $V = 2385.3$  m/s ;**
- **Coefficient d'absorption d'eau par capillarité  $C = 20.33\%$  ;**
- **La masse volumique  $\rho = 1863$  Kg/m<sup>3</sup>.**

**Tableau (III.14) : La Vitesse de son (m/s)**

<b>Composition</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>
<b>Dosage en liant</b>					
<b>10%</b>	1468,9 ± 00	1165,9 ± 14.6	1502,9 ± 30.5	1336,8 ± 15.1	1416.9 ± 80.7
<b>15%</b>	1656.1 ± 59.9	1368,4 ± 84.2	1762,7 ± 56	1721,8 ± 31.6	2007.7 ± 13.5
<b>20%</b>	2231.7 ± 00	1721,8 ± 50.5	2088,3 ± 38.7	1992,3 ± 69.3	2385.3 ± 73.5
<b>25%</b>	2613,1 ± 33.2	1780,8 ± 46.9	2666,7 ± 00	2139,9 ± 39.9	2429.9 ± 45.4
<b>30%</b>	2841,5 ± 9.1	1805,6 ± 3.6	2708,3 ± 56.4	2512,1 ± 12.1	2452.8 ± 26.7
<b>35%</b>	3005,8 ± 69.5	1933,1 ± 40.9	2751,3 ± 52.9	2613,1 ± 3	2826.1 ± 58.6

## Conclusion générale

Le but de ce travail consistait à la confection de brique à base de sable de dunes (BRSD), après avoir effectué une série d'essais sur des éprouvettes (brique), notre travail s'est scindé en deux parties :

- **A.** partie bibliographique qui s'est étalée sur un aperçu détaillé sur les techniques utilisées, ainsi que la technologie de confection des différents types de briques à savoir :

- brique de terre crue ;
- brique de terre cuite;
- brique de terre stabilisée.

Nous avons abordé dans cette partie :

- les principales caractéristiques physico- mécaniques ;
- les procédés ;
- les moyens ;
- les modes utilisés dans la stabilisation de terre destinée à la fabrication de brique.

**B.** partie expérimentale, celle-ci comporte deux volets à savoir :

a- Dans le premier volet, nous avons donné les caractéristiques générales des matériaux utilisés qui sont:

- Ciment CPJ32.5.
- Chaux hydraulique XHA60.

Le sable utilisé est un sable de dunes de Ain Beida Ouargla qui se caractérise comme suivant :

- bonne propreté  $E_{sp} = 93.8$  ;
- la finesse avec une granulométrie très serrée ;
- module de finesse de l'ordre de 1.33.

L'eau de gâchage est une eau de robinet de laboratoire de génie civil de l'université de Ouargla avec une salinité acceptable.

b- Le deuxième volet de l'expérimentation comporte une série d'essais sur différents types de compositions (C1 ; C2 ; C3 ; C4 ; C5) avec variation de dosage en liant (10 ; 15 ; 20 ; 25 ; 30 ; et 35 %), après l'expérimentation nous pouvons tirer les conclusions suivants:

L'augmentation de dosage du liant provoque :

- une augmentation de la résistance à la compression.
- une augmentation de vitesse de propagation d'ondes soniques à travers les éprouvettes.
- une augmentation de masse volumique et de la compacité.
- une augmentation de conductivité thermique.
- une réduction de la porosité.
- une diminution de l'absorption d'eau par capillarité.

La variation de ces paramètres est due à la nature et le pourcentage de liant dans les compositions.

Le choix de la brique s'appuie sur les aspects suivants :

- aspect technique (résistance à la compression, isolation thermique et le taux d'absorption d'eau).
- aspect économique (coût de revient du produit).

En prenant en considération les deux aspects précédents, dans le souci d'un choix adéquat, nous avons opté pour une brique de composition (C5, 20%), qui présente les caractéristiques optimales et un prix de revient acceptable, en comparaison avec les briques commercialisées, notre brique est acceptable sur tous les aspects.

Il est à signaler que l'utilisation des compositions précédentes est beaucoup plus dictée par les besoins en terme de caractéristiques physiques et mécaniques souhaitées.

Les principales caractéristiques qui dictent le choix de la composition sont:

- Brique confectionnée à base de sable de dunes donne une meilleure résistance à la compression d'où on peut l'utiliser comme un élément porteur.

- Par rapport à l'isolation thermique, à quelques compositions présentait une bonne isolation quoique leur résistance à la compression est faible mais il est acceptable dans certaines conditions.

- concernant les compositions qui présentent un taux élevé d'absorption d'eau par capillarité, il faudra l'éviter dans les zones souffrant du phénomène de la remontée de la nappe surtout au niveau des fondations et des éléments en contact avec le sol.

### **Recommandations**

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

\* l'utilisation des moyens industriels dans la confection des briques (BRSD), permettant l'obtention des briques ayants des caractéristiques physiques et mécaniques meilleures.

\* Le sable de dunes présente une granulométrie très serrée ce qui influe sur la compacité, par conséquent sur la résistance mécanique, pour parer à cette anomalie une correction par l'ajout de produits fins peut présenter une solution tel que (filler de calcaire, fumées de silice, cendre volante...). ;

\* Pour améliorer l'isolation thermique de cette brique, on peut ajouter des additions présentant de bonne isolation thermique tel que (les sciures de bois ; les fibres végétales tel que fibres de palmier dattier ; fibres d'elhelfa ...).

\* Pour mieux caractériser ce type de brique ; nous conseillons de réaliser d'autres essais tel que : l'isolation acoustique, le retrait, la résistance au choc, l'érosion et la durabilité.

\* l'utilisation de ces matériaux dans la confection des briques peut présenter des avantages à la fois techniques et économiques.

\* Enfin, dans certains ouvrages où l'aspect ornemental est primordial l'utilisation d'un ciment blanc est plus esthétique.

**Références Bibliographique**

- [1] **L. ALVISET**, Matériaux de Terre Cuite "Techniques de l'Ingénieur" 1994.
- [2] **A. KOMAR**, Matériaux et Elément de Construction, Edition MIR 1978.
- [3] **E. Oliver**, Les Maçonneries, Edition ISBN 1974
- [4] **M. DURIEZ, JARRAMBIDE**, Nouveau Traite De Matériaux De Construction Edition DUNOD 1962.
- [5] **E OLIVER** ,Technologie des Matériaux de Construction, Edition ISBN 1976
- [6] **R. Delebecque**, Éléments de Construction "Bâtiment", Edition Delagrave 1990.
- [7] **Collection Mémento Technique**, Tuiles et Briques de Terre Cuite, Edition Moniteur paris 1998.
- [8] Recueil de Norme Française "Bâtiment Maçonneries " Edition AFNOR, 1984.
- [9] **M VENUAT**, Produits Silico-calcaire "Techniques de l'Ingénieur"1994.
- [10] Réunion **D'ingénieurs**, Matériaux de Construction, Edition Eyrolles 1979.
- [11] **CNERIB**, Règles de Conception Et de Calcul des Maçonnerie DTR (C2-45) , Edition CNERIB 1997.
- [12] **H. RENAUD**, Murs Poutres Planchers, Edition Eyrolles 2002.
- [13] **CRATerre Centre International pour la Construction en Terre, H. GUILAUD**, Ecole d'Architecte de Grenoble, Encyclopédie de Bâtiment Tome 2 Edition Wake 1997.
- [14] **CRATerre, P. DOAT, .et AL**, Construire en Terre, Edition Alternative Paris, 1983.
- [15] **CRATerre, H .HOUBEN et H .GUILLAUD**, Traité de Construction en Terre, Edition Parenthèses, Marseille, 1989.
- [16] **VOLHARD, F**, La Construction en Terre-Paille, Ancien Matériau Nouvelle Technique, Edition CRATerre, Grenoble, 1991
- [17] **CRATerre, H. HOUBEN et VERNEY, ENTPE, OLVIRER, M. MESBAH, A .et MICHEL, PH**, Construction en Terre Crue : les matériels français, Edition CRATerre, Grenoble, 1987.
- [18] **CRATerre, H .HOUBEN, H et VERNEY, P.E.** Bloc de Terre Comprimée : choix De matériel de production, Editions du CDI, Bruxelles, 1988.

- [19] **CNERIB**, Béton de Terre Stabilise, Edition CNERIB 1988.
- [20] **G .BAUD**, La Construction de Bâtiment "Maçonnerie Et Béton Arme "  
Edition Spes 1981.
- [21] **(ATHIL)**, Guide Pratique pour l'Emploi des Ciments, Edition Eyrolles 1998.
- [22] **G. DEUX, J. FESTA**, Nouveau Guide du Béton et de ses Constituants  
Edition Eyrolles 1998.
- [23] **Cimbeton** Fiches Techniques CIM Béton C2/1 ciment 1997
- [24] **SABLOCRETE**, Béton de Sable, presses de l'école des ponts et de chaussées  
France 1994.
- [25] **R. DUPAIN, R. LANCHON, J. C. SAINT- ARROMMAN**, Granulats, Sols,  
Ciments et Bétons, Edition Casteilla 1995.
- [27] **N. ARABI**, Mémoire de Magister "Etude des Brique Silico-calcaire à  
Base de Laitier Granule, Université De Anaba 1988.
- [28] **M. L. LOUCEF**, Mémoire de Magister"Elaboration de Brique Réfractaire à  
Base de la Dolomie de Ain Mimoun (INMC) Boumerdes 1997.
- [29] **I .BENTATA**. Mémoire de Magister, " Etude Expérimentale d'un Béton avec  
Le Sable de Dune", Université de Ouargla 2003.
- [30] **S .ABANI**, Mémoire de Magister, caractérisation et durabilité des béton  
renforcés de fibres végétales de palmier dattier Béton de Fibre de palmier datte  
. Université de Ouargla 2003
- [32] **CNAT Revue "** bâtiment "N ° 35 .1990.
- [32] **(CNAT)** les ciments rapport technique.
- [33] **(CETIM)** journée d'information (ciments bétons adjuvants).
- [33] **(CNAT)** Cahier des prescriptions techniques CPT relatif aux ciments.
- [34] Rapport De Direction De Mine Ouargla.
- [35] société des ciments de ain-touta filiale ERCE SCIMAT Fiche  
Technique (ciment), mois avril /2005.
- [36] **H.KHELAFI** , contribution à l'étude expérimentale de la brique silico-  
Calcaire, SEMENAIRE BISKRA 2000.





Photo A1 : Mélange sable de dunes et eau



Photo A2 : L'ajout de liant



Photo A3 : Graissage des moules crue

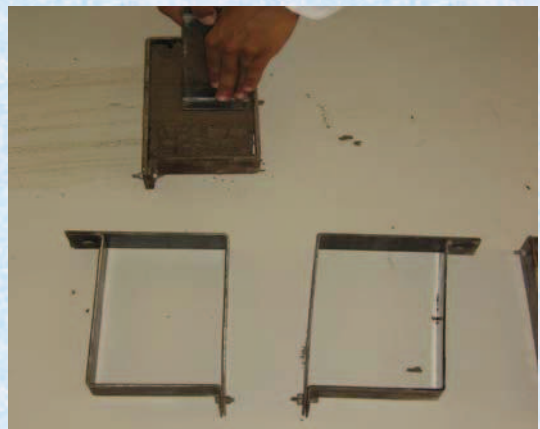


Photo A4 : Compactage de mélange

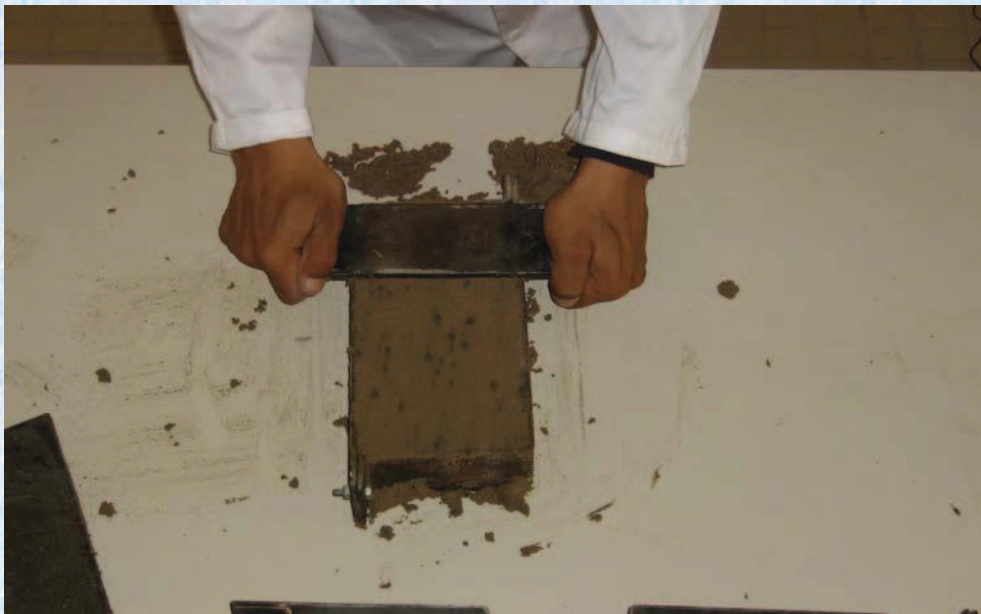


Photo 5 : Finitions des produits



Photo A 6, A7 : Démoulage des produit et nettoyage des moules

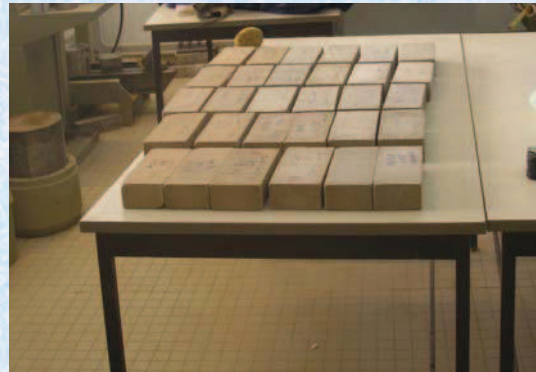
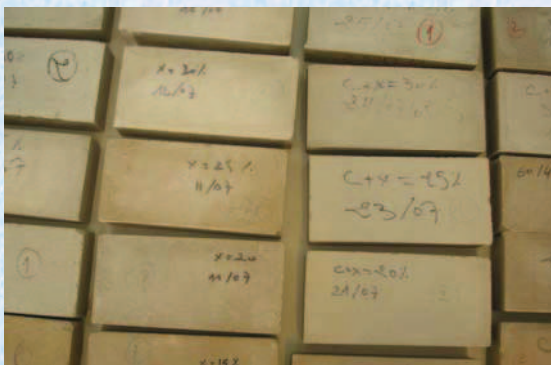


Photo A 8, A9 : Conservation des éprouvettes à l'air libre



Photo A 10 : Séchage à 105°C



Photo A11 : Essais absorption d'eau par capillarité



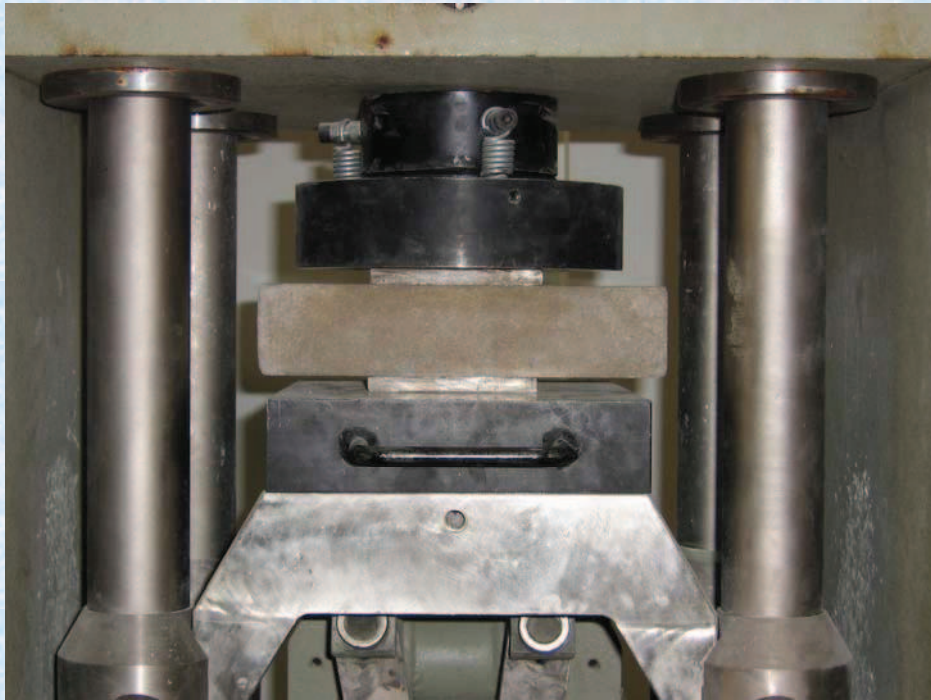


Photo A12 : Essai d'écrasement (résistance à la compression)

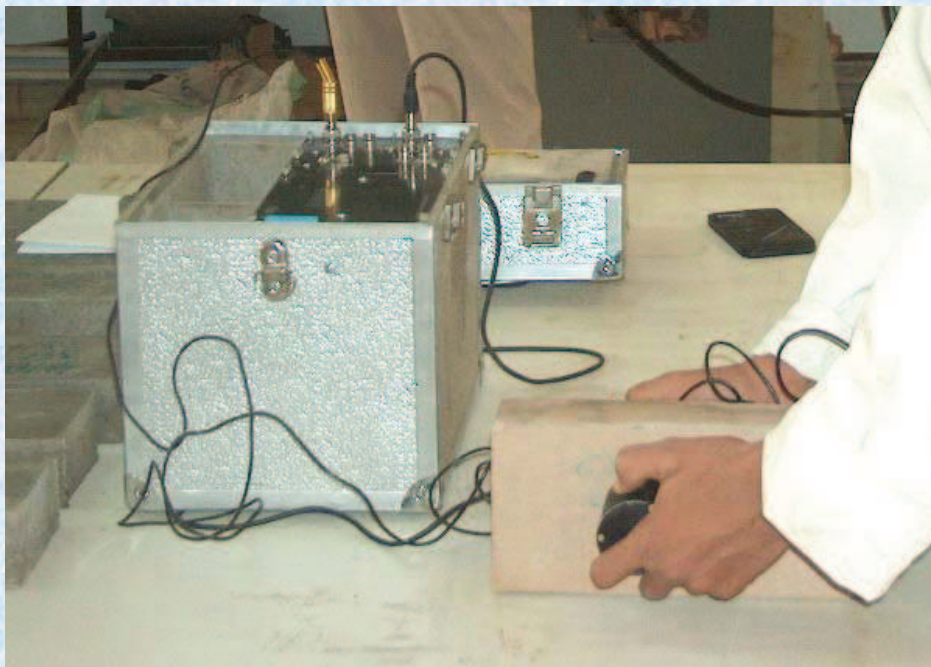


Photo A13 : Essai ultrasonique