

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Kasdi Merbah Ouargla



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES

Département de : Génie Civil Hydraulique

C:.....
R:.....

**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de
Master, Filière : Génie civil
Spécialité : STRUCTURES**

Thème

**Etude d'influence de plusieurs ajouts sur les propriétés
Physico-mécaniques du Pisé à base d'argile d'hadjira**

Présenté par :

- ❖ BOUMADDA Achraf Abdelmadjid
- ❖ HABITA Abdelkader

Soumis au jury composé de :

KHALLOU Abderrazek	Grade MCB	U.K.M. Ouargla	Président
BENCHEIKHE Med Laid	Grade MAA	U.K.M. Ouargla	Examineur
CHAIB Hachem	Grade MCB	U.K.M. Ouargla	Encadreur
KRIKER Abdelouaheb	Grade Pr	U.K.M. Ouargla	Co-Encadreur

Année Universitaire : 2019 / 2020



Dédicace

À nos mères

À nos pères

À nos familles

À nos amis et nos promos

À nos enseignants.





Remerciements

Nous remercions Dieu de nous avoir donné la force de finir ce modeste travail de recherche dans les meilleures conditions.


Nous tenons à remercier par cette occasion, notre encadreur Dr CHAIB Hachem pour son suivi, sa disponibilité, son soutien, sa patience et ses orientations durant l'élaboration de cette recherche et le Professeur KRIKER Abdelouahed pour son suivi de cette recherche. Mes remerciements vont aussi à Mr KCHIRED Ali pour ses encouragements, ses conseils et son aide. J'adresse mes vifs remerciements à tous mes enseignants, qui ont contribué à ma formation.

J'adresse mes remerciements aussi les membres du jury Dr KHALLOU A.R et Mr BENCHEIKHE Med Laid d'avoir accepté d'évaluer ce travail.

J'exprime mes remerciements aux cadres et agents des laboratoires LTPS Ouargla, LNHC Ouargla, LTPS Ghardaïa.

Comme nous remercions nos parents, nos camarades, nos amis et tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Enfin je remercie mes amies BABZIZ DJABER et HOUSSAM BOUIACHA et tous les amis pour leur soutien moral et leur aide, ainsi que tous ceux qui m'ont soutenu et aidé tout au long de cette étude.



Résumé

Notre recherche actuelle s'est orientée à évaluer les matériaux en générale, et en particulier les matériaux locaux et dans le but d'emploi judicieux de ces matériaux, et devant la crise économique mondiale qui touche aussi notre région est qu'il faut la Coexiste avec, et en même temps assuré l'équilibre de la nature par la résolution du problème de pollution qui permet à la survie de plusieurs espèces qui constituent les maillons importants pour l'équilibre de la nature .

Ce sujet de recherche consiste à d'utilisation des matériaux locaux pour la construction. Le but de ce projet est d'évaluer le comportement du Pisé à base d'argile d'El hadjira par l'ajout de la chaux, ciment blanc et plâtre par différents pourcentages, Cette étude technique est basée sur l'application des essais pour la caractérisation mécaniques et thermique de cette dernière .

Nous avons réalisé quelques échantillons de pisé testés, qui ont donné des bonnes propriétés thermiques et mécaniques afin d'essayer de les utiliser dans le domaine de la construction. Nous avons fixé le pourcentage du gravier et argile, et celui de l'ajout de stabilisateur (la chaux, ciment blanc, plâtre) à 1% jusqu'à 5% en masse.

Les résultats de ces tests ont montré que le pourcentage d'augmentation de la chaux est utile pour améliorer le comportement mécanique. La résistance à la compression augmente jusqu'à 43% par rapport l'échantillon de référence. Par contre pas affecté sur des propriétés thermiques.

Mots clé : Pisé, Argile, Gravier, la chaux, ciment blanc, plâtre, caractéristique mécanique, caractéristique thermique.

ملخص

بحثنا الحالي موجه بهدف تقييم المواد بشكل عام، والمواد المحلية بشكل خاص وبهدف الاستخدام الحكيم لهذه المواد، وأمام الأزمة الاقتصادية العالمية التي تؤثر أيضًا على منطقتنا يجب أن نتعايش معها، وفي نفس الوقت تضمن توازن الطبيعة عن طريق حل مشكلة التلوث التي تسمح ببقاء العديد من الأنواع التي تشكل الروابط المهمة لتوازن الطبيعة.

يتكون موضوع البحث هذا من استخدام المواد المحلية في البناء. يهدف هذا المشروع إلى تقييم سلوك اللين المصنوع من طين الحجيرة بإضافة الجير و الأسمنت الأبيض والجص بنسب مختلفة، وتستند هذه الدراسة الفنية إلى تطبيق الاختبارات على التوصيف الميكانيكي والحراري للأخير.

لقد قمنا بعمل بعض العينات المختبرة من الجدار المرصوص، والتي أعطت خصائص حرارية وميكانيكية جيدة لمحاولة استخدامها في مجال البناء. حددنا النسبة المئوية للحصى والطين والنسبة المئوية لإضافة المثبت (الجير والأسمنت الأبيض والجص) إلى 1% حتى 5% بالكتلة.

أظهرت نتائج هذه الاختبارات أن نسبة الزيادة في الجير مفيدة في تحسين السلوك الميكانيكي. تزيد مقاومة الانضغاط حتى 43% مقارنة بالعينة المرجعية. من ناحية أخرى لا تتأثر بالخصائص الحرارية.

الكلمات المفتاحية: الجدار المرصوص، طين، الحصى، الجير، أسمنت أبيض، الجبس، خصائص ميكانيكية، خاصية حرارية.

Abstract

Our current research is oriented to evaluate materials in general, local materials in particular, to establish a judicious use of these materials to overcome the impacts of the global economic crisis and ensure the balance of nature by solving the pollution problem to allows the remnant of several kinds which constitute the important links for the balance of nature.

This research topic aims to use local materials in construction. This study aims to evaluate the performance of the adobe made of El hadjira clay with, lime, white cement, and plaster by different percentages, this technical study is based on the application of tests for the mechanical and thermal characterization of this adobe.

We have done some tested rammed earth samples, which gave good thermal and mechanical properties to try to use them in the construction field. We fixed the percentage of gravel, clay, and the percentage of stabilizer (lime, white cement, plaster) to 1% up to 5% by mass.

The results of these tests have shown that the percentage increase in lime is useful in improving mechanical behavior. The compressive strength increases by up to 43% compared to the reference sample. On the other hand not affect the thermal properties.

Keywords: Rammed Earth, Argile, Gravel, Lime, White Cement, Plaster, Mechanical Properties, Thermal Conductivity

Sommaire

Dédicace	
Remerciements	
Résumé:	I
Sommaire	IV
Liste des Tableaux	VI
Liste Des Figures	VII
Liste Des Notations.....	IX
Introduction Générale	1

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

I.1. Introduction	4
I.2. la terre crue	4
I.2.1. Histoire de la construction en terre crue.....	4
I.3. Les types de constructions en terre crue.....	8
I.3.1. La brique de terre compressée (BTC)	8
I.3.2. L'adobe.....	9
I.3.3. La bauge	13
I.3.4. Le torchis	14
I.3.5. Le pisé	15
I.4. Les Caractéristiques des briques en terre crue	22
I.5. Conclusion.....	24

Chapitre II : Caractérisation des Matériaux Utilisés

II.1. Introduction	26
II.2. Argile.....	26
II.2.1. Analyse granulométrique par sédimentation.....	27
II.2.2. Analyse chimique.....	28
II.2.3. Essai de Diffraction des rayons X, (DRX).....	28
II.2.4. Essai de Limite d'Atterberg	30
II.2.5. Essai de Densité sèche	32
II.2.6. Essai au Bleu de méthylène.....	32
II.3. Les Gravieres	33
II.3.1. Analyse Granulométrique	33
II.3.2. Essai de Masse volumique	34
II.3.3. Essai Micro-Deval en présence d'eau (MDE)	35
II.3.4. Essai Los Angeles	36

II.3.5. La composition chimique	37
II.4. Eau de gâchage.....	32
II.5. La chaux	38
II.5.1. Type de chaux	38
II.5.2. Domaine d'application	39
II.5.3. La composition chimique.....	39
II.6. Plâtre	41
II.6.1. Domaine d'application	41
II.6.2. La composition chimique.....	41
II.7. Ciment blanc	41
II.7.1. Domaine d'application	42
II.7.2. La composition chimique.....	42
II.8. Conclusion.....	43

Chapitre III : Résultats et Interprétations

III.1. Introduction.....	45
III.2. Préparation dePisé.....	45
III.2.1. L'obtention de l'eau de malaxage.....	45
III.2.2. Préparation des échantillons utilisés dans l'étude.....	47
III.3.Essais Mécaniques	48
III.3.1.La Résistance à la Compression	48
III.3.2. Résistance de flexion	49
III.3.3. Essai ultrasonique	50
III.4. Essai thermique.....	50
III.4.1.La conductivité thermique	51
III.4.2. La Résistance thermique	51
III.5. Résultats et Discussions.....	52
III.5.1. Traitement de Pisé par la chaux	52
III.5.2. Pisé stabilisé par Ciment blanc	55
III.5.3. Pisé stabilisé par plâtre	57
III.6. Conclusion	61
Conclusion générale :.....	62
Perspectives :	64
Références Bibliographiques :.....	65
Annexe I.....	67
Annexe II	67

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : Les caractéristiques des briques de terre crue (adobe, BTC et pisé).....	23
Tableau II.1 : Analyse chimique d'argile.	28
Tableau II.2 : Classification des argiles selon Burmister.	31
Tableau II.3 : Classification des argiles selon Atterberg.	31
Tableau II.4 : Résultats de la masse volumique apparente.	34
Tableau II.5 : Résultats de la masse volumique absolue.	34
Tableau II.6 : Résultats de Micro – Deval des graviers.....	36
Tableau II.7 : Résultats de Los Angeles des graviers.....	36
Tableau II.8 : Résultats de los Angeles des graviers.	37
Tableau II.9 : Composition chimique du gravier.	37
Tableau II.10 : Composition chimique de l'eau.	38
Tableau II.11: La composition chimique de la chaux éteint (selon la fiche technique élaborée par l'unité de production de chaux de Ghardaïa, Algérie).....	40
Tableau II.12 : L'Analyse chimique de ciment blanc.....	42
Tableau III.1 : Compositions Utilisées à base du pisé stabilisé par la chaux.	52
Tableau III.2 : Compositions Utilisées du pisé stabilisé par Ciment blanc.	55
Tableau III.3 : Compositions Utilisées à base du pisé stabilisé par plâtre.....	57
Tableau III.4 : Les meilleurs résultats du Pisé utilisé.	60

Liste Des Figures

Figure I.1 : La pyramide de Gizeh.	5
Figure I.2 : a) Mosquée Al Muhdhar au Yémen.....	6
b) Alhambra Grenade.....	6
Figure I.3 : La ville de Shibam au Yémen.....	6
Figure I.4 : Mur en brique de terre crue (adobe).	8
Figure I.5 : Fabrication de BTC.....	9
Figure I.6 : Moulage et séchage des blocs adobes.....	10
Figure I.7 : Moule de l'adobe.	11
Figure I.8 : La maison en Bauge.....	13
Figure I.9 : Le torchis - Halte d'accueil en éco-construction.....	14
Figure I.10 : Château Chabert, XVIIIe siècle.	16
Figure I.11 : Maison ancienne de 130 ans.	17
Figure I.12 : Maison en pisé moderne construite au cours des années 1980.....	17
Figure I.13 : La dame pneumatique en métal.	18
Figure I.14 : Coffrage métallique du pisé moderne.	18
Figure I.15 : Fuseau des terres indicatif pour la fabrication du pisé.....	19
Figure I.16 : Un bâtiment en Pisé moderne.	19
Figure I.17 : Préfabrication des pisés dans une usine.....	20
Figure I.18 : Transport et mise en œuvre des éléments préfabriqués.....	20
Figure I.19 : Un bâtiment construit par 160 éléments préfabriqués.....	20
Figure I.20 : Construction un mur en Pisé.....	21
Figure I.21 : Composition de pisé. [11].....	21
Figure II.1 : L'argile.	26
Figure II.2 : Courbe granulométrique d'argile (El Hdjira).....	27
Figure II.3 : Analyse diffractométrie de l'argile El Hdjira. [15].....	29
Figure II.4 : Présentation des limites d'Atterberg.	30
Figure II.5 : appaillage de limites d'Atterberg.....	31
Figure II.6 : Courbe granulométrique de gravier G1 (3/8) & G2 (8/15).	33

Figure II.7 : La machine micro-Deval.	35
Figure II.8 : La machine los Angeles.....	37
Figure III.1 : Moule et marteau manuel de l'essai Proctor.	46
Figure III.2 : Courbe Proctor de l'argile d'El Hdjira.	46
Figure III.3 : Schéma de préparation des échantillons utilisés dans l'étude.	47
Figure III.4 : Essai de Compression.....	48
Figure III.5 : Essai de Flexion.	49
Figure III.6 : Appareil CT-mètre.	51
Figure III.7 : Résultats des essais mécaniques du Pisé stabilisé par la chaux.	53
Figure III.8 : Résultats des essais thermiques du Pisé stabilisé par la chaux.	54
Figure III.9 : Résultats des essais mécaniques du Pisé stabilisé par ciment blanc.	56
Figure III.10 : Résultats des essais thermiques du Pisé stabilisé par ciment blanc.	57
Figure III.11 : Résultats des essais mécaniques du Pisé stabilisé par plâtre.....	58
Figure III.12 : Résultats des essais thermiques du Pisé stabilisé par plâtre.....	59

Liste Des Notations

a : dimension.....	(cm)
b : dimension.....	(cm)
h : Hauteur	(cm)
W : Taux d'humidité	(%)
WL : limite de liquidité	(%)
Wp : limite de plasticité.....	(%)
IP : indice de plasticité.....	(%)
m : masse.....	(kg)
P : densité sèche.....	(g/cm ³)
V : Volume.....	(m ³)
ρ : masse volumique.....	(kg/m ³)
Rt : résistance à la flexion.....	(MPa)
Rc : résistance à la compression.....	(MPa)
v : vitesse de propagation de son.....	(m/s)
λ : Conductivité thermique.....	(W/m.K)
R, Rth : Résistance thermique	(K.m ² /W)

Introduction Générale

La terre, la pierre et le bois ont été les premiers matériaux de construction utilisés par l'homme avec l'évolution des techniques, des nouveaux matériaux ont été développés comme le béton, le bois, charpente métallique etc. reléguant ainsi les matériaux originels au rang de " primitifs ". Nous sommes peu à peu arrivé à oublier les avantages de la terre comme matériaux de construction. Devant les problèmes écologiques et sociaux, on y revient progressivement. D'autre part, il est estimé à 30% la part de construction en terre dans le monde , essentiellement concentrée dans les pays dits " pauvres" la raison est simple et réside dans l'avantage économique que de telles construction offrent aux habitants de ces pays ou l'incontournable "ciment" provient pour la plupart des peuples ont encore une tradition non négligeable en matière de construction en terre ; on citera par exemple les pays comme le Yémen ,le Maroc et les pays de l'Afrique noir en générale.

Malheureusement, cette technique aux nombreux avantages écologiques, thermiques et économiques est supplantée dans de nombreux pays au profit par la construction en béton, type d'architecture qui ne semble pourtant pas adapté à tous les contextes environnementaux et sociaux. De ce fait, dès qu'une personne voit son capital financier s'élever, elle rejette la terre comme matériau de construction et se tourne vers le béton et la tôle. En effet, ces deux matériaux, bien que ne contribuant pas à l'économie locale et ne répondant bien souvent pas aux exigences du climat, Pourtant, les techniques de construction en terre crue évoluent encore aujourd'hui grâce aux différents procédés de stabilisation. Le pisé est par exemple de plus en plus solide. Elles permettent aujourd'hui d'édifier des bâtiments sur plusieurs niveaux, grâce à des ajouts qui permettent d'augmenter leur capacité portante ainsi que leur durabilité.

Il existe de nombreuses techniques de construction en terre. On distingue d'un part, celles où la maçonnerie en terre ne sert que de remplissage avec une ossature différente ; c'est le cas du torchis dont l'ossature est le bois. D'autre part il existe des techniques monolithiques où la maçonnerie est une structure porteuse. On trouve dans cette dernière catégorie le pisé (ou le mur est constitué de bandes successive de terre compactée entre deux banches de bois à l'aide d'un dame), la maçonnerie en adobe (dont les blocs sont fabriqués manuellement dans des moule en bois et le mortier fait de boue de la même terre), la bauge (dont les éléments sont de grandes dimensions, environ 60*60 cm²). Ces modes de construction sont parmi les plus anciens. Récemment seulement sont apparues les maçonneries en bloc de terre compactée ou comprimée (BTC) à l'aide d'un presse manuelle ou

mécanique ; en anglais on utilise le terme CEB (comperssed Erth Block). Le pisé fait l'objet de la présente mémoire.

En Algérie, la construction en terre est très répandue dans toute sa longue histoire, particulièrement dans les zones rurales et les régions arides. Aujourd'hui, on assiste à un regain d'intérêt pour ce matériau. Pour une exploitation rationnelle la terre dans les constructions de notre région et plus précisément dans la production du pisé , en vue de fabriquer des matériaux de construction de qualité, de coût abordable et qui s'accommode avec les conditions climatiques sévères de certaines régions de l'Algérie, et ceci pour améliorer la situation de la population face à la pénurie d'habitat surtout dans les zones rurales.

Dans cet objectif cette étude est lancée. D'un point de vue global le but étude d'influence de plusieurs ajouts sur les propriétés physico mécaniques du pisé à base d'argile d'Hadjira.

Le travail s'articule en trois parties distinctes :

- Le premier chapitre porte sur la recherche bibliographique qui présente les différentes techniques existantes, les caractéristiques mécaniques et physiques de terre crue. Et l'état des constructions en terre crues utilisées dans les régions sahariennes.
- Le deuxième chapitre, est consacré à la caractérisation et étude des propriétés des matériaux utilisés dans notre travail
- Le dernier chapitre expose l'étape expérimentale de notre travail qui consiste à confectionner des éprouvettes du pisé à base d'argile et, de gravier et effectuer leurs essais mécaniques et physiques.

Chapitre I :
Synthèse Bibliographique
Généralités

Généralités

I.1. Introduction

Les régions sahariennes d'Algérie possèdent plusieurs matériaux locaux (l'argile, le gypse ...) qui ont anciennement prouvé leurs efficacités thermiques et mécaniques. Mais malheureusement Les constructions réalisées par des produits cimentaires ne répondent en aucun cas aux exigences climatiques de ces régions qui sont caractérisées par un climat chaud et sec souffrent depuis longtemps de plusieurs problèmes en termes d'habitats et de constructions.

Dans ce chapitre, Nous présentons différents types de constructions en terre crue et les caractéristiques mécaniques et physiques.

I.2. La terre crue

La terre crue est un matériau de construction traditionnel par excellence. On en retrouve la trace à l'âge de Bronze et la muraille de Chine présente des tronçons. De nombreux monuments inscrits au patrimoine mondial de l'humanité sont en terre crue : forteresses marocaines, pyramides d'Egypte. [1] Aujourd'hui encore, environ 40% de l'humanité habite des constructions en terre crue.

I.2.1. Histoire de la construction en terre crue

Banco ou adobe sont les termes utilisés pour désigner la terre, utilisée avec le moins de transformations possible en tant que matériau de construction. La terre, matière première naturelle, est utilisée par l'homme dans la construction depuis des milliers des années. Sa transformation en matériau pour l'habitat ne nécessitant que peu d'énergie et sa disponibilité quasi immédiate lui confèrent encore aujourd'hui un succès incontestable. On estime que 30 % des habitations dans le monde sont construites à base de terre. [2][3]

Antiquité : construire grand avec la terre crue

On construit en terre crue depuis des millénaires. Dans les régions où les pluies sont rares, des édifices en terre crue peuvent même exister encore aujourd'hui. C'est le cas des grandes ziggourats de Mésopotamie comme la ziggourat d'Ur ou celle de Babylone, ces immenses constructions à étages faites de briques crues liées avec du bitume ou de l'asphalte, et intercalées avec des roseaux. En Égypte aussi, certaines pyramides ont un cœur de briques crues, recouvert de pierres calcaires.

La Grande Muraille de Chine, commencée au III^e siècle avant Jésus-Christ, est en partie construite en terre. Elle s'étend sur près de 7 000 km et ses matériaux varient suivant le terrain. Des portions entières sont édifiées en terre crue, seul matériau à disposition localement. La technique utilisée est la bauge.



Figure I.1 : La pyramide de Gizeh.

- **Moyen Âge : des maisons aux édifices prestigieux**

Au Moyen Âge, la construction en terre est la technique la plus couramment employée pour les maisons, car elle coûte quatre fois moins cher que la pierre et offre la meilleure isolation thermique. On a surtout recours à la technique du torchis : les murs des maisons sont constitués d'une armature de branches, remplie d'argile ou d'un mélange de terre et de paille appelé torchis.

À partir du XIII^e siècle apparaît la technique des pans de bois : une ossature en bois, souvent montée à l'avance, est remplie de plâtre ou de torchis. Cette évolution, qui allège l'ensemble, permet de construire des édifices à plusieurs étages.

Mais des édifices très prestigieux peuvent aussi être faits de terre. Ainsi à Grenade, en Espagne, les remparts de l'Alhambra sont en partie construits en pisé. La tour de Comares, haute de 45 m, est la plus haute construction d'Europe en terre crue. Mais le plus haut bâtiment du monde en terre crue se trouve au Yémen : il s'agit du minaret de la mosquée Al Muhdhar qui se dresse à 53 m de haut.

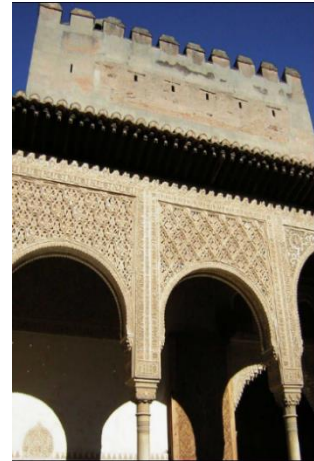


Figure I.2 : a) Mosquée Al Muhdhar au Yémen.

b) Alhambra Grenade.

- **XVI^e siècle : les premiers gratte-ciel**

Les premiers gratte-ciel du monde datent du XVI^e siècle et ils sont en briques crues ! On les trouve dans la ville de Shibam au Yémen. Ces bâtiments hauts de 30 m comptent huit étages et datent pour certains du XVI^e siècle.

Pour éviter qu'ils ne s'effondrent, les constructeurs ont développé des techniques élaborées pour alléger les édifices :

- les murs sont beaucoup plus épais à la base qu'au sommet ;
- les ouvertures sont plus nombreuses et plus larges au fur et à mesure que l'on monte.



Figure I.3 : La ville de Shibam au Yémen.

- **XXe siècle : un abandon partiel**

Dans la première moitié du XXe siècle, les constructions en terre crue restent fréquentes.

Certaines techniques sont très simples à mettre en œuvre et permettent à chacun de construire ou agrandir sa maison. D'autres nécessitent un savoir-faire particulier. Ainsi, les maisons en pisé doivent être réalisées par des charpentiers qui maîtrisent la technique du coffrage en bois

Au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, les pays les plus riches abandonnent majoritairement la construction en terre crue pour reconstruire en verre, béton ou acier. Mais la construction en terre crue reste la règle dans de nombreux pays du monde.

- **XXIe siècle : la redécouverte d'un matériau durable et écologique**

De nos jours, la terre crue intéresse à nouveau les constructeurs, car elle répond à la recherche de solutions respectueuses du développement durable. En effet :

- elle est naturelle et saine. Elle absorbe notamment les ondes électroniques et ne provoque pas d'allergies.
- elle est disponible localement (pas de transport). Les chantiers sont propres et ne génèrent pas de déchet chimique.
- elle ne nécessite pas de transformations coûteuses en énergie. De plus, elle se répare facilement, sans intervention lourde.
- elle possède de bonnes propriétés thermiques et conserve la fraîcheur en été.
- souple et adaptable, elle est compatible avec les anciens matériaux pour la restauration. Et évidemment, elle est complètement recyclable.

Un grand merci à Philippe Malgat, formateur technique chez Étude et Chantier, et spécialiste de la construction en terre crue, et à Antoine-Gaël Marquet.



Figure I.4 : Mur en brique de terre crue (adobe).

I.3. Les types de constructions en terre crue

On a plusieurs techniques de construction utilisant la terre crue comme matériau structural existent : le pisé, la bauge, l'adobe, la brique de terre compressée. D'autres techniques, utilisant la terre crue comme matériau de remplissage (souvent entre les éléments d'une ossature bois) : le torchis, la terre-paille, la terre-copeaux bois. Il est encore possible d'utiliser la terre crue en tant qu'enduit sur un support, en terre crue ou non.

I.3.1. La brique de terre compressée (BTC)

La brique de terre compressée est un béton de terre composé de gravier, de sable et d'éléments fins (limons et argiles). On utilise ensuite des presses pour comprimer la brique : manuelles ou motorisées, à transmission mécanique, hydraulique ou pneumatique. [4][5]

a. Production des blocs de terre comprimée

La production des blocs de terre comprimée peut être assimilée à celle des blocs de terre cuite produits pas compactage, exception faite de la phase de cuisson. L'organisation de la production sera selon qu'elle est réalisée dans le cadre de petites unités de production artisanales (ou briqueteries) ou bien dans le cadre d'unités de production semi-industrielles ou industrielles. Les aires de production, de séchage et des stockages varient également selon les modes de production adoptés et les conditions de production issues de l'environnement climatique, social, technique et économique. [6]



Figure I.5 : Fabrication de BTC.

b. Avantage

- mur facile à mettre en œuvre.
- qualités d'inertie thermique et d'assainissement.
- La BTC est un matériau écologique : composée essentiellement d'argile, sable et gravillons et d'un peu de ciment, fabriquée sans cuisson.
- La BTC offre une grande résistance : la résistance à la compression d'une BTC dépasse les 60 bars (60kg/cm²).

c. Inconvénients

- fabrication des briques longue et fatigante.
- fragilité : au moindre choc la brique se brise ou s'effrite.
- se détériore sous l'effet du gel.

I.3.2. L'adobe

Les premiers éléments de construction préfabriqués utilisés par l'homme étaient des briques moulées en terre crue appelées « adobes », on est une technologie utilisée depuis des millénaires partout à travers le monde.

L'adobe est le nom le plus communément utilisé des briques s'échées au soleil, C'est un matériau de construction fait d'un mélange de sol, d'eau et de chaume. Les briques d'adobe sont moulées à partir d'une terre argileuse humide. A l'origine, ces briques étaient formées à la main. Plus tard (et encore aujourd'hui) Actuellement, des machines sont également employées.

Ce mélange est par la suite déposé à la main dans un moule en bois de façon à fabriquer des petits éléments de maçonnerie, la dimension requise pour être démoulé et séché directement au sol (Figure I.5).

La brique d'adobe peut varier d'une dimension de 15 X 25 X 10 cm soit 30 X 60 X 10cm. 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, en France et Etats Unis d'Amérique. [7]



Figure I.6 : Moulage et séchage des blocs adobes.

a. 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. [8]

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.

1) Le mode de production manuel

• Moules simples

Il correspond à un moulage traditionnel soit par façonnage manuel ou à l'aide d'un moule Façonnée à la main (Figure I.10), la terre est généralement utilisée à l'état de pâte plastique mi-ferme.

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

- **Moules multiples**

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

Les moules doivent être manipulés facilement par deux ouvriers (pas trop lourds) et doivent être propres et mouillés avant d'y déverser la terre. Compte tenu de l'état hydrique plus liquide de la terre, les adobes produites de cette façon présentent un risque de retrait et donc de fissuration plus importante. Il convient donc de compenser ce risque en utilisant une terre dont la texture est riche en gros sables et petits graviers. L'organisation de la production mécanisée se fait autour de deux principaux postes qui sont le malaxage et le moulage et mobilise 5 à 6 ouvriers selon la taille des unités, La production moyenne pour ce type d'organisation est de l'ordre de 8000 à 10 000 blocs par jour. [8]

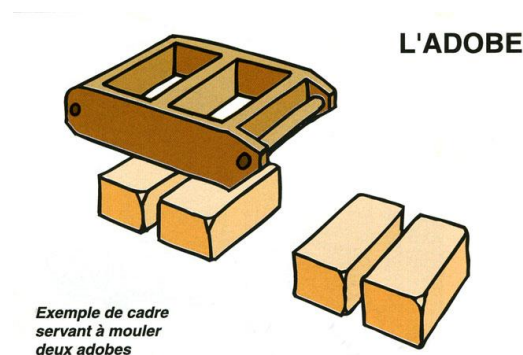


Figure I.7 : Moule de l'adobe.

2) Le mode de production mécanisé

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

b. Les produits

Les produits de la fabrication des adobes, manuelle ou mécanisée, sont extrêmement variés. Ils sont le plus souvent directement tributaires des savoir-faire traditionnels et varient quant au type de terre utilisée, au mode de moulage, aux dimensions des blocs (très changeantes) et aux destinations d'emploi plus ou moins spécifiques (blocs spéciaux). Les moules utilisés sont généralement en acier ou en bois (le plus souvent) et de forme très variée. Les dimensions les plus fréquentes de 40 x40x15 cm ou 40x30x15 cm, ou 40x20x10 cm...). On distingue globalement trois principaux types de produits : Produits classique, produits spéciaux, produits antisismiques. [8][9]

c. Avantage

L'adobe possède plusieurs avantages par rapport aux matériaux industriels sont :

- recommandé et plus adapté pour des cloisons, murs intérieurs.
- Construction peu coûteux.
- Réduire la consommation d'énergie.
- Il a la capacité de régulariser l'humidité de l'air.

d. Inconvénients

- la fabrication exige beaucoup de terre et de main d'œuvre.
- Nécessite des travaux d'entretien.

I.3.3. La bauge

Cette technique consiste à monter des murs massifs en terre par l'empilement de mottes composées d'un mélange plastique de terre et de fibres végétales (la terre crue mêlée à de la paille). Cette dernière permettant d'améliorer sa cohésion et sa résistance. C'est un mur porteur. [6][4]



Figure I.8 : La maison en Bauge.

a. Technique de constructions

C'est une technique qui permet de modeler des formes directement sans l'aide de moulage ou de coffrage, en utilisant la plasticité des terres humides.

La technique de la construction en bauge consiste en l'édification de mur massif, souvent porteur, avec un mélange de terre, d'eau et de fibres végétales voire animales mis en œuvre par empilement de motte à l'état plastique, généralement sans l'aide de coffrage.

Les murs sont constitués d'une succession de couches de terre dites levées généralement d'une soixantaine de centimètres de hauteur. Montée la plupart du temps à la fourche, la levée encore meuble était compactée au bâton, éventuellement taillée au paroir, bêche plate et tranchante, avant d'être lissée ou recompactée.

b. Avantage

- Qualité plastique du matériau.
- Pas besoin de coffrage (pisé), ni d'armature (torchis).
- Piqueter la surfaces du mur (extérieur), incruster des éclats de pierre permettra une meilleur adhérence de l'enduit.

c. Inconvénients

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

I.3.4. Le torchis

C'est un mélange terre-paille ou terre-chanvre coulé entre des banches. La pâte obtenue doit être montée entre les éléments d'une structure en bois ou en brique (à la main ou à la truelle) et doté d'une armature interne (planchettes, branches). Cette technique est surtout utilisée pour les maisons à colombage. [6][4]



Figure I.9 : Le torchis - Halte d'accueil en éco-construction.

a. Technique de constructions

- Pour fabriquer des grandes quantités de torchis, utilisez une bétonneuse. On fait d'abord un mélange argile + eau pour obtenir une bouillie liquide, on ajoute ensuite de la paille ou du chanvre afin de ramollir le tout, puis de la terre et de la chaux pour le durcissement.
- Il est préférable de consolider l'assise du mur notamment pour limiter les infiltrations : installez donc des pierres, galets, ou morceaux de briques dans la partie basse. [10]

b. Avantage

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

c. Inconvénients

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

- Construire en torchis peut prendre énormément de temps vu qu'il faut attendre que chaque couche sèche avant d'appliquer la suivante.
- Le torchis est un matériau très sensible à l'eau et l'humidité dans il faut penser à un enduit d'argile très fine ou de sable ou de chaux pour les murs extérieurs.
- Il est peu adapté pour les zones avec un climat pluvieux.

I.3.5. Le Pisé

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

Le pisé est un mélange de terre, de sable ou de gravier et d'argile crue malaxés puis compactés. On compacte de fines couches de terre légèrement humidifiées entre des coffrages et l'on démoule immédiatement : c'est l'ancêtre du béton. La terre est compactée avec un outil, le "passoir". Le toit, parfois construit en premier, est souvent très débordant afin de protéger les murs en pisé des pluies. Aujourd'hui, on utilise des coffrages métalliques et des outils de compactage pneumatiques comme le fouloir. Certaines normes de construction peuvent parfois obliger les constructeurs à stabiliser la terre à pisé avec des additifs, comme du ciment ou de la chaux, pour en garantir la solidité.

Traditionnellement, les bâtiments en pisé portent de « bonnes bottes » et un « bon chapeau ». C'est à dire que le soubassement est traité de manière à éviter les remontées capillaires, (Le plus souvent en galets, en pierre ou en briques de terre cuites maçonnées) et le débord de toiture est suffisant pour éviter le ruissellement de l'eau sur la façade. [11]

La technique de construction en pisé on distingue principalement deux types de pisé : le pisé anciens et le pisé moderne.

a. Pisé anciens

Le pisé est une technique ancienne, qui a connu un regain d'intérêt dans le monde occidental à la suite des travaux de François Cointeraux (XVIIIe siècle) sur le sujet. Ses ouvrages ont été traduits et diffusés dans le monde entier. En France, on trouve une grande quantité de bâtiments ruraux en

pisé datant des XVIIIe, XIXe et début du XXe siècle dans la région Rhône-Alpes : Isère, vallées de la Saône et du Rhône, Bresse, la Lorraine, etc.



Figure I.10 : Château Chabert, XVIIe siècle.

En Suisse, le philanthrope Henri Zschokke promeut cette technique dès 1817 et son fils, l'architecte Alfred Zschokke (1825-1879), non seulement publie un ouvrage à ce sujet, mais il met cette technique en pratique pour la reconstruction de plusieurs maisons dans le canton d'Argovie, après l'incendie du village de Fislisbach en 1848. Ces bâtiments sont conservés.

En Orient, la technique est utilisée depuis des millénaires, la ville de Bam en est un exemple : fondée au Ve siècle avant notre ère, la cité est toujours debout malgré le séisme de 2003 (les travaux de reconstruction se sont achevés en 2017).

Les savoir-faire ont maintenant presque entièrement disparu en France, malgré un regain d'intérêt pour le matériau terre au bilan écologique exceptionnel (voir les bâtiments récents dans le Nord-Isère construits par Germes de Terre). Des architectes et plasticiens contemporains utilisent également le pisé : Rick Joy, David Easton, Martin Rauch, Kengo Kuma.



Figure I.11 : Maison ancienne de 130 ans.

b. Pisé moderne

On a même inventé des procédés de compactage avec des plaques vibrantes. Ces procédés permettent une plus forte compression. Ce sont des techniques mécanisées qui connaissent un succès grandissant pour la réalisation de murs en pisé, tant en France qu'en Australie, dans le sud-ouest des Etats-Unis, en Corée, ainsi qu'en Allemagne, Suisse et Autriche.



Figure I.12 : Maison en pisé moderne construite au cours des années 1980.

La technique du pisé actuel est une "technique ancienne modernisée". Donc, les spécificités du pisé moderne seront présentées plus en détail dans les sections suivantes : [12]

1. Compactage par une dame pneumatique

La dame manuelle en bois dans le cas du pisé traditionnel est remplacée par une dame pneumatique plus puissante qui permet d'augmenter la rapidité de la fabrication et la densité du pisé moderne. La Figure I.13 présente l'exemple des dames pneumatiques modernes. La dame en général est en métal sous forme circulaire mais elle peut être modifiée par l'ajout d'une plaque de bois carrée suivant les besoins de l'artisan.



Figure I.13 : La dame pneumatique en métal.

2. Mise en œuvre de coffrages du pisé moderne

Les coffrages actuels sont plus larges que les coffrages traditionnels pour la rapidité de la fabrication sur chantier. Ils sont aussi plus rigides pour supporter le choc plus fort de la dame pneumatique (actuellement ils sont en général en métal, Figure I.14).



Figure I.14 : Coffrage métallique du pisé moderne.

3. Extraction de la terre

Il convient de choisir une terre adéquate : non organique, pas trop argileuse car elle se compacterait mal et augmenterait le risque de fissures de retrait, elle n'est pas trop sableuse non plus car elle doit assurer une cohésion. L'exemple le plus connu et le plus cité est le fuseau des terres proposé par CRAterre en 1989 (Figure I.15) qui est seulement indicatif.

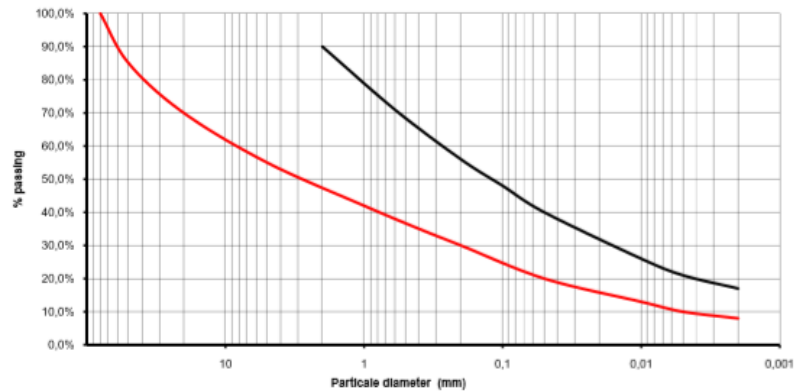


Figure I.15 : Fuseau des terres indicatif pour la fabrication du pisé.

4. Stabilisation du Pisé moderne

Traditionnellement, le pisé est fabriqué à partir de la terre où le liant unique est de l'argile. Il est "pisé non-stabilisé". Aujourd'hui, avec le but de diminuer la sensibilité du pisé moderne à l'eau et d'augmenter sa résistance à la compression, la terre est stabilisée au ciment ou à la chaux. On les appelle des "pisés stabilisés". La Figure I.16 présente un bâtiment en Grande-Bretagne construit avec du pisé moderne stabilisé au ciment.

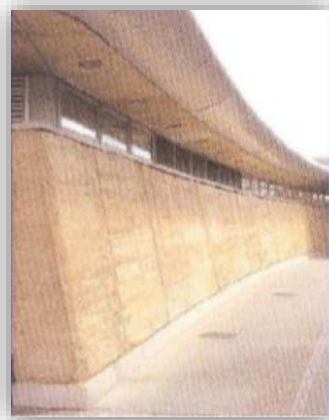


Figure I.16 : Un bâtiment en Pisé moderne.

5. Préfabrication du Pisé moderne

La préfabrication s'est aussi développée. Les Figures I.17, I.18 et I.19 présentent la fabrication des pisés fabriqués en usine, leur transport et mise en œuvre.



Figure I.17 : Préfabrication des pisés dans une usine.



Figure I.18 : Transport et mise en œuvre des éléments préfabriqués.



Figure I.19 : Un bâtiment construit par 160 éléments préfabriqués.

c. Technique de production

Le pisé est une technique particulière pour monter un mur en terre crue : celle-ci est compactée (à l'aide d'un pilon) dans des coffrages (appelés banches) de grande largeur qui se superposent pour constituer la hauteur des murs (figure I.20).

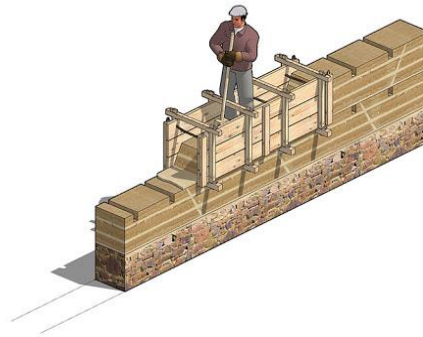


Figure I.20 : Construction un mur en Pisé.

Cette technique permet d'utiliser la terre généralement directement issue du site de la construction, et ne nécessite pas de transformation (pas d'utilisation d'énergie pour Altérer ses propriétés basiques). [11]

Des « lits de chaux » ou « cordons de chaux » font souvent office de liant entre les différentes « banchée » (hauteur de coffrage). En revanche, cette technique n'est pas applicable avec toutes les terres. En effet, la terre à pisé doit avoir une granulométrie variée : graviers, sables, limons et argiles dans des proportions bien définies, même si selon les lieux d'extraction, la matière se comportera différemment (couleur, tenue aux intempéries,) (Figure I.21).

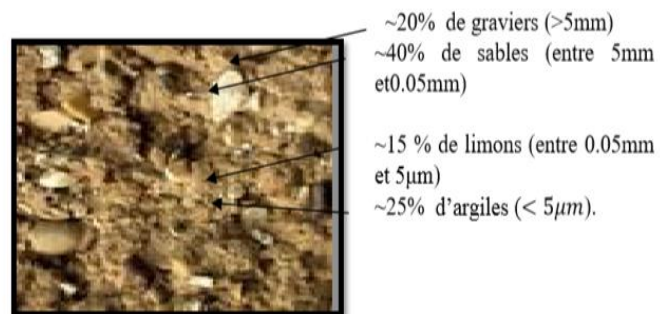


Figure I.21 : Composition de pisé. [11]

d. Avantage

- mur solide et autoporteur.
- très bon isolant thermique et phonique.
- Régulateur d'humidité : capacité à laisser transiter la vapeur d'eau.
- Durée de vie : patrimoine de bâtiments centenaires très présents.
- Reprise aisée, mais nécessitant un savoir-faire. [11]

e. Inconvénients

- Travaux d'entretien annuels.
- très sensible à la pluie, à l'humidité, et au mécanisme gel-dégel.
- formation pratique indispensable pour l'auto constructrice.
- mauvais isolant pour les rebords de fenêtre.

I.4. Les Caractéristiques des briques en terre crue

Les caractéristiques des briques de terre crue sont représentées dans le tableau suivant : [5]

Tableau I.1 : Les caractéristiques des briques de terre crue (adobe, BTC et pisé).

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

I.5. Conclusion

La technique de la construction en terre crue présente de nombreux avantages qui font d'elle une technique de construction d'avenir pour de nombreux pays. En effet, bien que toujours sujette à de nombreuses expérimentations concernant sa stabilisation.

En conclue, les différents types des constructions de terre dans le domaine de construction. Ils sont développés à partir les différents méthodes de fabrication.

Chapitre II :

**Caractérisation des Matériaux
Utilisés**

II.1. Introduction

Tous les matériaux caractérisés par des propriétés physiques, chimiques. Pour déterminer sa nature, et son domaine d'utilis. Dans ce chapitre, nous étudions les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans la fabrication des Pisés suivants :

- L'Argile
- Le gravier
- L'eau
- La chaux
- Le plâtre
- Ciment blanc

II.2. Argile

L'argile brute contient généralement des particules élémentaires dont le diamètre des grains est inférieur à 2 micromètre ($<2\mu\text{m}$) qui représente les individus cristallins (phase minérale pure) appelés minéraux argileux responsable de ses propriétés tel que le gonflement, la plasticité et les propriétés d'adsorption. [13]

Pour notre étude nous avons utilisé l'argile d'El Hdjira.



Figure II.1 : L'argile.

Nous avons effectué les essais suivants sur l'argile :

- Analyse granulométrique sédimentation.
- Analyse chimique.
- Diffraction des rayons X.
- Limite d'Atterberg.
- Densité sèche.
- Bleu de méthylène.

II.2.1. Analyse granulométrique par sédimentation

Selon la norme NF P94-056/ NF P94-057, l'analyse granulométrique par sédimentation est un essai qui complète l'analyse granulométrique par tamisage, l'essai a pour objet de détermination de la distribution pondérale de la taille des particules fines de sols de dimension inférieure à 0,08mm. [14]

Les résultats d'analyse granulométrique par tamisage (la norme NF P 94-056) et l'analyse granulométrique par sédimentation (la norme NF P 94-057) sont représenté sur La courbe suivant

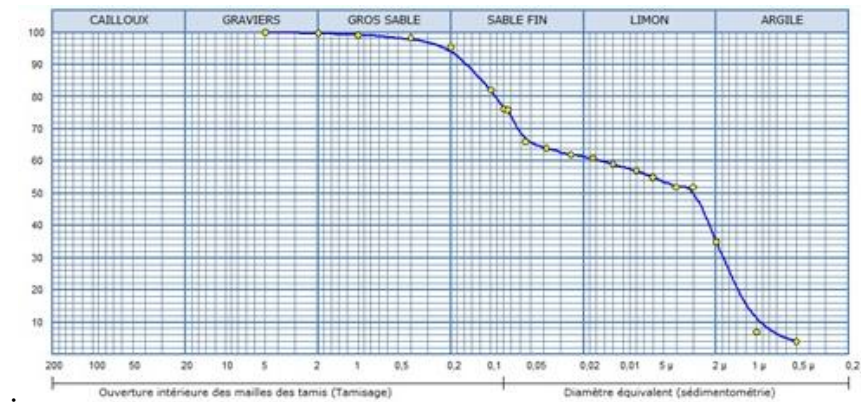


Figure II.2 : Courbe granulométrique d'argile (El Hdjira).

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

≈ 05% gros sable

≈ 33% sable fin

≈ 27% limon

≈ 35 % argile

II.2.2. Analyse chimique

Cet essai est réalisé au niveau de laboratoire des travaux publics de sud L.T.P.S Ouargla. Les résultats d'analyse chimique sont représenté sur Le tableau suivant :

Tableau II.1 : Analyse chimique d'argile.

	Composants	Pourcentages(%)
<i>Insolubles NF P 15-461</i>	Insolubles	84
<i>Sulfates BS 1377</i>	SO ₃	1
	Ca SO ₄ / 2H ₂ O	3
<i>Carbonates NF P 15-461</i>	SO ₄	1
<i>Chlorures méthode de MOHR</i>	NaOH	10
	NaCl	1

II.2.3. Essai de Diffraction des rayons X, (DRX)

La diffraction des rayons X (DRX, abréviation de l'anglais « X-ray diffraction ») est une puissante technique sans effets destructeurs destinée à caractériser les matériaux cristallins. Elle donne des informations sur les structures, les phases, les orientations privilégiées du cristal (texture) et d'autres paramètres structurels comme la taille moyenne du grain, la cristallinité, la tension et les défauts des cristaux.

Les pics de diffraction des rayons X sont produits par interférence constructive d'un faisceau monochromatique de rayons X diffusé à des angles spécifiques de chaque jeu de plans réticulaires compris dans un échantillon.

Les intensités des pics sont déterminées par la distribution des atomes à l'intérieur du réseau. Par conséquent, le schéma de diffraction des rayons X est l'empreinte digitale du dispositif atomique périodique dans un matériau donné.

Une recherche dans la base de données standard ICDD des schémas de diffraction des rayons X permet de faire une identification rapide de phase dans une grande quantité d'échantillons cristallins.

Pour résumer, la diffraction des rayons X repose sur l'enregistrement d'un diffractogramme et sur l'analyse des pics de ce diagramme qui permet de caractériser les cristallites présents dans l'échantillon à partir des éléments suivants :

Position des pics : analyse qualitative, identification de phases cristallines présentes.

Largeur des pics : taille et forme des cristallites, contraintes internes.

Intensité des pics : estimation de composition chimique, analyse quantitative, orientation préférentielle. [15]

La courbe représente les résultats obtenus pour l'argile d'El Hdjira.

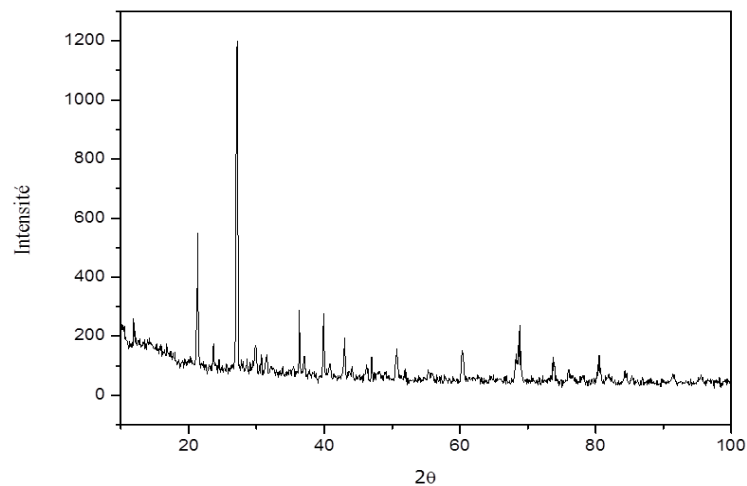


Figure II.3 : Analyse diffractométrie de l'argile El Hdjira. [15]

Nous constatons que l'échantillon argileux est constitué essentiellement de minéraux associés de quartz et de Montmorillonite, ainsi que la Bentonite.

II.2.4. Essai de Limite d’Atterberg

Les limites Atrabag sont des valeurs numériques qui expriment la fin d'un état et le début d'un nouvel état du sol, en d'autres termes ; Les points de séparation entre les trois états du sol, c'est-à-dire les valeurs numériques du rapport de l'eau.

Selon la norme NF P 94-051, les limites d’Atterberg sont des teneurs en eau pondérales, caractéristiques du sol. Elles correspondent à des comportements particuliers de celui-ci sous l’action des variations de la teneur en eau. Ces limites sont déterminées sur la fraction de sol passant au travers du tamis 400µm. [14]

Les deux limites utilisées sont : [14]

- **limite de liquidité (WL)** : C'est la quantité d'humidité massique (eau) du sol, moment auquel la transition d'un état semi-liquide à un état plastique.
- **limite de plasticité (WP)** : C'est la quantité d'humidité massique (eau) du sol, moment auquel la transition d'un état plastique à un état solide.

A partir des résultats obtenus, nous déterminons l’indice de plasticité. [14]

- **IP : indice de plasticité** : C'est la différence entre la limite de plasticité et la limite de liquidité.

$$IP = WL - WP$$

Les teneurs en eau étant exprimées en pourcentage, l’indice de plasticité est un nombre sans unité.

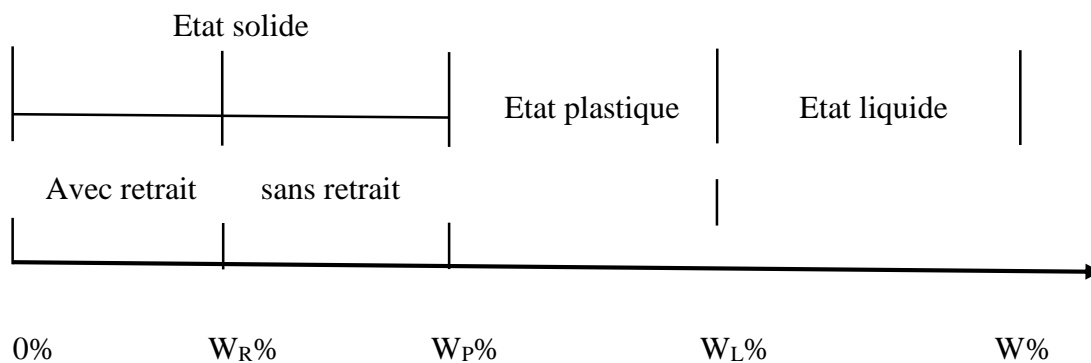


Figure II.4 : Présentation des limites d'Atterberg.



Figure II.5 : appareil de limites d'Atterberg.

- Classification des argiles selon les limites d'ATTERBERG :

Les argiles sont classées suivant leur plasticité ; BURMISTER (1967) propose une classification détaillée de la plasticité des argiles en fonction de l'indice de plasticité. [14]

Tableau II.2 : Classification des argiles selon Burmister.

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

Atterberg (1973) classifie la plasticité des argiles en trois niveaux comme montrés dans le tableau II.3.

Tableau II.3 : Classification des argiles selon Atterberg.

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

Les résultats obtenus des limites d'Atterberg sont :

$$WL = 46.50 \%$$

$$WP = 21.21 \%$$

$$IP = 46.50 - 21.21 = 25.29 \%$$

D'après Atterberg et Burmister, et par son indice de plasticité ($I_p = 25.29$) notre argile d'une plasticité élevé.

II.2.5. Essai de Densité sèche

Le résultat de la densité sèche est mesuré selon la norme NF P 94/064. La densité sèche $P = 2.06 \text{ g/cm}^3$.

II.2.6. Essai au Bleu de méthylène

Selon la norme (NF EN 933-9), cet essai permet de mesurer la capacité des éléments fins à absorber de bleu de méthylène tant absorbé préférentiellement par l'argile, les matières organiques et les hydroxydes de fer cette capacité rend compte globalement de l'activité de surface de ces éléments. [14]

On appelle « valeur de bleu » des fines, la quantité exprimée en gramme de bleu de méthylène, elle est donnée par la formule suivante :

$$VBS = 10 \frac{V}{m}$$

La valeur du bleu du sol est (sans unité). Avec :

V : Volume de bleu ajouté en cm^3 .

m : la masse de l'échantillon en gramme.

On distingue les valeurs suivantes :

$VBS \leq 0,2$	sols sableux (sol insensible à l'eau).
$0,2 < VBS \leq 2,5$	sols limoneux (sol peu plastique et sensible à l'eau).
$2,5 < VBS \leq 6$	sols limono-argileux, (sol de plasticité moyenne).
$6 < VBS \leq 8$	sols argileux.
$VBS > 8$	sols très argileux.

Le VBS de l'argile utilisé est égale 4.8 ; donc sols limono-argileux, (sol de plasticité moyenne).

II.3. Les Graviers

Les graviers ont des origines semblables à celles des sables, ils proviennent de la désagrégation des roches. La dimension maximale des agrégats est conditionnée, d'une part, par la distance minimale à réaliser, d'autre part, de la distance minimale entre les différents armatures de l'ouvrage. La fraction 3/8 est considérée comme sable concassé.

Dans notre étude deux classes de gravier ont été utilisées.

- gravier G1 (3/8)
- gravier G2 (8/15)

II.3.1. Analyse Granulométrique

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondérés respectifs des différentes familles des grains constituant l'échantillon. Cet essai est défini par la norme (NF P18-560). Pour les deux classes de gravier, les analyses granulométriques effectuées sont représentées dans la figure II.4.

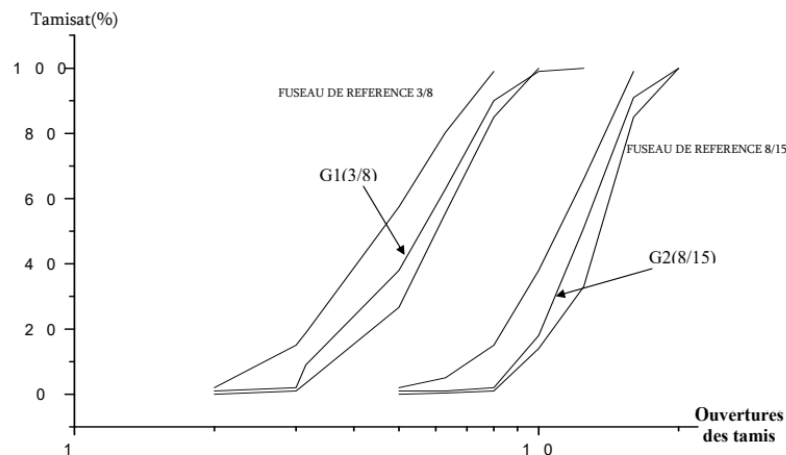


Figure II.6 : Courbe granulométrique de gravier G1 (3/8) & G2 (8/15).

Ces résultats montrent que les courbes granulométriques pour les deux classes de gravier, se situent dans les fuseaux recommandés dans le domaine de construction. [16]

II.3.2. Essai de Masse volumique

a. Masse volumique apparente

La masse volumique apparente du gravier, c'est la masse à l'état naturel du matériau rapporté à l'unité de volume, y compris les grains et les vides, elle est donnée par la formule suivante. [17]

$$\rho_a = M_t/V_t$$

M_t = La masse totale d'échantillon

V_t = Le volume total d'échantillon

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau II.4 : Résultats de la masse volumique apparente.

Classe	3/8	8/15
M.V.apparente	1.506	1.46

b. Masse volumique absolue :

C'est la masse par unité de volume de la matière qui contient les grains solides sans tenir compte les vides existants entre les grains, elle est donnée par la formule suivante : [17]

$$\rho_s = M_s/V_s$$

M_s = La masse des grains solides

V_s = Le volume des grains solides

Tableau II.5 : Résultats de la masse volumique absolue.

classe	3/8	8/15
M.V.absolue	2.613	2.661

II.3.3. Essai Micro-Deval en présence d'eau (MDE)

- **Principe**

L'essai Micro-Deval (MDE) est destiné à appréhender la résistance à l'usure par attrition d'un granulat.

Quatre échantillons identiques, de fraction 10/14 mm, sont soumis à un cycle d'usure, en présence d'eau, par contact avec des billes d'acier à l'intérieur d'un cylindre en rotation.

Le degré d'usure est apprécié par détermination de proportion d'éléments fins. Inférieurs à 1.6 mm générée au cours de l'essai.

- **Méthode d'essais**

- a. Prise d'essai de 500g lavée et séchée.
- b. Mise en place dans un tambour avec 5kg de billes métalliques calibrées et 2.5 litres d'eau.
- c. Applique une rotation de 12000 tours au tambour à la vitesse de 100 tours/minute.
- d. Retire alors la prise d'essai, pour lavage au-dessus d'un tamis de 1.6 mm
- e. Peser le refus à ce tamis après séchage (M, exprimé en g).



Figure II.7 : La machine micro-Deval.

Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau II.6 : Résultats de Micro – Deval des graviers.

Classe des graviers	3/8	8/15	Spécifications
MDE	10	11.2	≤ 25

II.3.4. Essai Los Angeles

Cette mesure est destinée à évaluer l'aptitude des granulats à se fragmenter sous l'action du trafic. Seul l'essai Los Angeles est pris en compte pour l'élaboration de la classification (l'essai de fragmentation dynamique étant un test plus rapide qui doit être confirmé par un essai Los Angeles). L'essai Los Angeles se pratique sur les classes granulaires 4/6, 6/10 ou 10/14 en les introduisant dans un tambour en présence de boulets d'aciers normalisés. La rotation de l'ensemble dans le tambour entraîne une fragmentation du granulat introduit. A l'issue de l'essai, on recueille le matériau et on le crible en le lavant sur un tamis d'ouverture 1,6 mm. La masse de passant permet de calculer le coefficient Los Angeles. [18]

On peut retenir les ordres de grandeurs suivants :

Tableau II.7 : Résultats de Los Angeles des graviers.

LA	Appréciation
< 15	Très bon à bon
15 à 25	Bon à moyen
25 à 40	Moyen à faible
> 40	Médiocre



Figure II.8 : La machine los Angeles.

Tableau II.8 : Résultats de los Angeles des graviers.

Classe des graviers	3/8	8/15	Spécifications
LOS ANGELES	20	25	≤ 25

II.3.5. La composition chimique

Le tableau II-6 donne la composition chimique du gravier. [19] Cette analyse chimique est réalisée au laboratoire de LTPS de Ouargla

Tableau II.9 : Composition chimique du gravier.

Calcit CaCO_3	Sulfate $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Les Insolubles
55 à 70 %	0 à 5 %	Le reste

II.4. Eau de gâchage

L'analyse chimique de l'eau a été effectuée au laboratoire de traitement des eaux de l'UKM Ouargla, L'eau utilisée est celle du robinet de la ville Ouargla. Et elle a donné la constitution suivante : [20]

Tableau II.10 : Composition chimique de l'eau. [20]

Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺⁺	Na ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	PH	salinité
242	125	31	536	755	14,5	755	124	7,75	2799

Les concentrations sont données en mg/l.

On remarque que l'eau ne contient pas d'éléments nocifs en pourcentage important et à une faible salinité.

II.5. La chaux

La chaux est un liant issu de la cuisson du calcaire, la calcination, à très haute température : environ 900 °C. Après traitement, elle se présente sous la forme d'une poudre claire conditionnée en sacs, généralement de 10 à 15 kilos. Ce liant est notamment utilisé dans l'industrie de la construction pour préparer les mortiers et les peintures. C'est un matériau bon marché et écologique. [21]

Utilisation de la chaux dans la stabilisation des sols est connue depuis l'antiquité. Surtout conseillée pour les sols contenant une fraction argileuse de 20 % et les sols ayant IP > 17 et LL > 40.

II.5.1. Type de chaux

Selon la nature du calcaire utilisé, la cuisson permet la fabrication de plusieurs types de chaux on distingue :

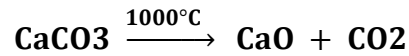
A. La chaux aérienne

Ou chaux éteinte, est obtenue par la réaction de la chaux vive avec de l'eau. Elle est constituée surtout d'hydroxyde de calcium (Ca(OH)₂). Elle est dite « aérienne », car elle réagit avec le CO₂ de l'air.



B. La chaux vive

Est le produit direct de calcination du calcaire, principalement de l'oxyde de calcium (CaO).

**C. La chaux hydraulique**

Elle est appelée « hydraulique » parce qu'elle durcit en présence d'eau. La chaux hydraulique naturelle pure est quant à elle le produit de la calcination d'une roche composée essentiellement de carbonate de calcium (le calcaire) et d'éléments qui, lors de la cuisson, se transforment en silicates et aluminates de calcium.

Tous les types de chaux peuvent être employés, mais la préférence est donnée néanmoins aux chaux aériennes qu'aux chaux hydrauliques.

II.5.2. Domaine d'application

- Des propriétés hydrauliques sont principalement utilisées dans la confection de mortiers, enduits et badigeons ainsi que dans la fabrication du béton de chanvre.
 - Les chaux aériennes calciques sous forme vive entrent dans la composition du béton cellulaire et des briques silico-calcaires.
 - Les chaux aériennes, principalement calciques à l'état vive, sont utilisées pour le traitement des sols et des matériaux (recyclage, valorisation, réemploi).
 - La chaux aérienne calcique, sous forme vive ou hydratée, est utilisée comme composant, et éventuellement activateur, dans des liants à base de ciments, laitiers, cendres volantes, etc.
- [22]

II.5.3. La composition chimique

Dans cette étude on a utilisé la chaux éteint produite par l'unité de chaux de Ghardaïa (Algérie). La composition chimique de la chaux éteint, selon la fiche technique élaborée par l'unité de production, est présentée dans le tableau :

Tableau II.11: La composition chimique de la chaux éteinte (selon la fiche technique élaborée par l'unité de production de chaux de Ghardaïa, Algérie). [23]

Désignation	NHL	
Provenance	Usines ERCO de Hassasna (wilaya de Saida, Algérie)	
Propriétés physiques	Densité volumique	600-900 g/l
	Coefficient d'absorption	<5
	Sensibilité au gel	
	Volume d'extinction	2.73 cm ³
	Refus à 90 µm	
Composition chimique	Humidité	< 5
	CaO	> 83.3%
	MgO	< 0.5%
	Fe ₂ O ₃	< 2%
	Al ₂ O ₃	< 1.5%
	SiO ₂	< 2.5%
	SO ₃	< 2.5%
	Na ₂ O	< 4.7-0.5%
	CO ₂	< 5%
	CaCO ₃	< 10%
	Inslubles dans HCl	< 1%

II.6. Plâtre

Le Plâtre est une roche sédimentaire dite évaporitique qui se forme au niveau des lagunes : de l'eau salée se retrouve piégée et s'évapore rapidement, entraînant des dépôts de calcium et de sulfate. D'un point de vue chimique, on classe cette roche dans les sels.

Le gypse est une forme naturelle hydratée du sulfate de calcium (CaSO_4), qui se forme par dépôts de roches sédimentaires. [24] Il peut également être synthétisé en laboratoire.

II.6.1. Domaine d'application

Dans cette étude on a utilisé le Plâtre produite par l'unité de chaux de Ghardaïa (Algérie).

Plâtre de préfabriqué de granulométrie plus ou moins grossière et a durcissement rapide il est utilisé pour :

- Plâtre de préfabrication.
- Plâtre de construction.
- Plâtre spécial pour moulage.
- Plâtre pour les industries céramiques.
- Plaque de plâtre carreaux de plâtre et élément de cloison.

II.6.2. La composition chimique

La composition chimique présente dans le tableau :

Tableau II.12 : Composition chimique de Plâtre. [25]

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Perte/feu
7.18	2.25	1.06	31.37	2.42	34.42	0.47	0.00	20.80

II.7. Ciment blanc

Le ciment blanc est un ciment Portland, il est fabriqué à partir des matières premières brutes particulièrement choisies qui sont généralement la craie pure et l'argile blanche (kaolin) contenant de très petites quantités d'oxyde de fer et d'oxyde de manganèse. Le ciment blanc est fréquemment

choisi par les architectes pour son utilisation dans la fabrication du béton Blanc, blanc cassé ou coloré, qui sera exposé, à l'intérieur ou à l'extérieur des édifices, au regard du public.

II.7.1. Domaine d'application

- **Ouvrages en béton esthétiques** : comme les éléments architecturaux tels qu'appuis de fenêtre, seuils de porte, piliers d'entrée, couronnements de murs, corniches, bandeaux, etc.
- **Décoration extérieure** : comme allées en béton (murets, bancs, bouchardé ...etc.

II.7.2. La composition chimique

Les résultats des analyses chimiques réalisées sur un échantillon de ciment blanc utilisé sont présentés dans le tableau :

Tableau II.12 : L'Analyse chimique de ciment blanc. [23]

composition	CaCO ₃	Cl-	NAaCl	CaSo ₄ ,2H ₂	SO ₃	Insolubles
pourcentage	82 %	0 %	0 %	7 %	1 %	10 %

Le Tableau montre que les éléments dans le ciment est CaCO₃ en pourcentage environ de 82 %, les teneurs en sulfates et en chlorures sont très faible.

II.8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons essayé d'identifier les caractéristiques des matériaux utilisés suivant les normes "AFNOR" Les conclusions qu'on peut tirer de la caractérisation de ces matériaux sont :

- L'argile utilisée est une argile de la région d'El Hdjira de qui est plastique élevé et d'une densité sèche =2,06 g/cm³.
- L'eau de gâchage est celle de robinet du laboratoire de faible salinité.
- Nous avons préparé deux classes de gravier, soit 3/8 et 8/15 d'Ouargla que les courbes granulométriques pour les deux classes de gravier, se situent dans les fuseaux recommandés.
- Nous avons également identifié diverses stabilisations (la chaux, ciment blanc et plâtre) et La composition chimique ces matériaux.

Chapitre III

Résultats et Interprétations

III.1. Introduction

L'étude expérimentale de notre travail consiste à déterminer les caractéristiques thermiques et mécaniques du pisé à base d'argile d'El Hdjira, stabilisées par (ciment blanc, plâtre et la chaux) de dimensions (7x 28 x 7) cm, par l'utilisation graviers de Ouargla (3/8 et 8/5). C'est à dire divers essais ont été effectués sur les éprouvettes confectionnées pour savoir :

❖ Essai mécanique :

- La résistance à la compression ;
- La résistance à la flexion ;
- Essai Ultrasonique.

❖ Essai thermiques :

- Conductivité thermique ;
- Résistance thermique.

Il est à noter que tous ces essais sont effectués aux :

- au laboratoire de Génie Civil de l'université KASDI MERBAH - Ouargla, dans des conditions ambiantes de laboratoire. (Température $T = 30 \pm 3$ °C et HR% = 35 ± 3 %).
- Laboratoire des travaux publics sud LTPS Ouargla et Ghardaïa.
- Laboratoire études géosciences LEC Ouargla.
- Laboratoire LNHC Ouargla.

III.2. Préparation de Pisé

III.2.1. L'obtention de l'eau de malaxage

- **Essais Proctor**

L'essai Proctor a pour but de déterminer la teneur en eau optimale (ω_{optimum}) pour un sol de remblai donné à laquelle doit être compactée ce sol pour obtenir la densité sèche maximum (γ_{proctor}) .

Les caractéristiques de compactage Proctor d'un matériau sont déterminées à partir des essais dits : Essai Proctor normal ou Essai Proctor modifié.

L'essai Proctor consiste à mesurer le poids volumique d'un sol disposé en trois couches dans un moule Proctor de volume connu, dans chaque couche étant compacté avec la dame Proctor l'essai répété plusieurs fois et on varie à chaque fois la teneur en eau (16% 14% 12% 10% 8%) et on fixe l'énergie de compactage (3*25).

Appareillage : Moules Proctor avec leurs hausses de compactage

Diamètre du moule : 10,16cm.

Hauteur du moule : 11,17cm.

Volume du moule : 948,55 cm³.

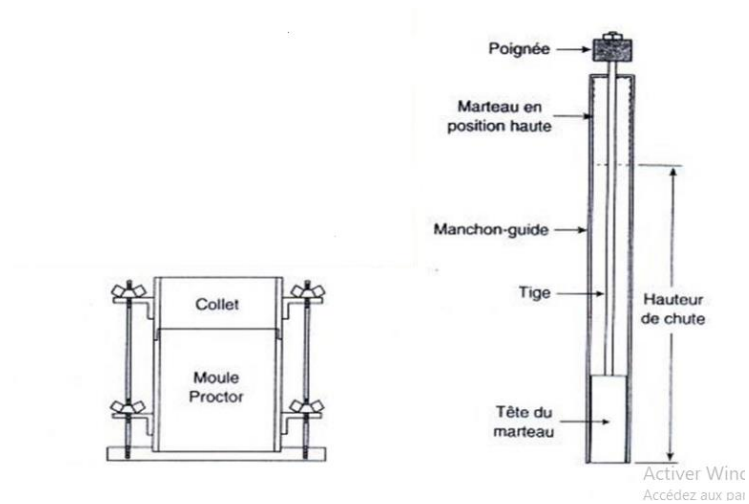


Figure III.1 : Moule et marteau manuel de l'essai Proctor.

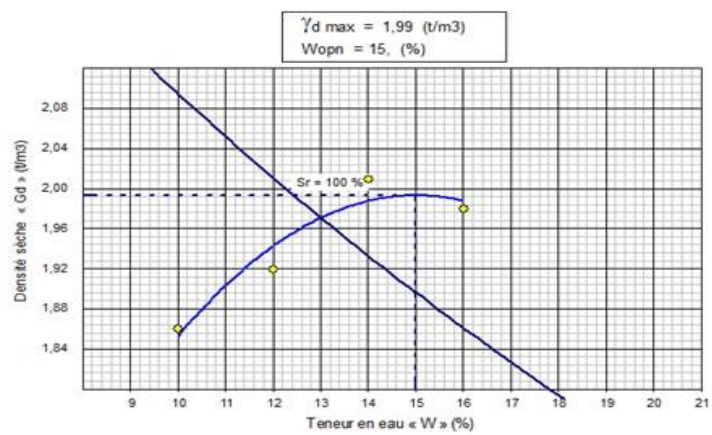


Figure III.2 : Courbe Proctor de l'argile d'El Hdjira.

La quantité d'eau optimale pour la confection de Pisé à base de l'argile d'El Hdjira est 15 %.

III.2.2. Préparation des échantillons utilisés dans l'étude

Pour la préparation des échantillons, nous avons suivi les étapes suivantes :

1. Préparation et pesée des matériaux utilisés ;
2. Mélangez les ingrédients avant d'ajouter de l'eau ;
3. Ajouter de l'eau de gâchage et mélanger manuellement ;
4. Remplissez les moules avec le mélange obtenu ;
5. Compactage avec un petit pèsoir;
6. Nivellement de surface ;
7. Démoulage et séchage à l'air libre.

Dans le cas de l'ajout de chaux. Ajouter à l'eau de gâchage. Par rapport au ciment blanc et au plâtre, ils sont ajoutés avec l'argile et les graviers, puis mélangés.



Figure III.3 : Schéma de préparation des échantillons utilisés dans l'étude.

III.3.Essais Mécaniques

III.3.1.La Résistance à la Compression

Cet essai effectuée après avoir l’essai de flexion, cette dernière rende l’éprouvette en deux parties, l’essai est réalisé à l’aide d’un appareil spécifique selon la norme (NF P 18-407). Les éprouvettes qui sont préparées à partir de essai de flexion, Centré entre deux plaque métalliques de façon que l’axe vertical du l’éprouvette coïncide avec l’axe des blocs de chargement, La charge est appliquée au éprouvette de manière continue jusqu’à le rupteur et l’écrasement total.

Cet essai a pour but de connaître la contrainte de compression de l’éprouvette du pisé.

Les essais de résistance à la compression ont été réalisés au sein du laboratoire LNHC Ouargla.

La contrainte de compression se calcule comme suit :

$$R_c = \frac{F_c}{S} \dots \dots \dots (III-1)$$

Avec :

R_c : la contrante de compression en Méga Pascal (MPa)

F_c : Charge de compression appliquée en Newton (N)

S : Section en mm².

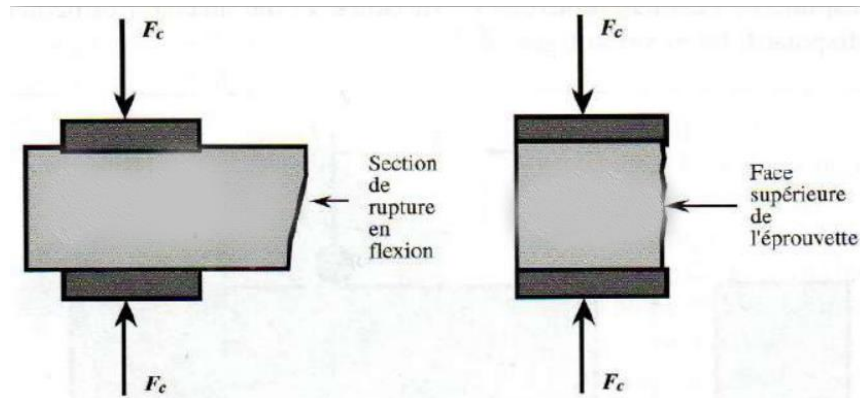


Figure III.4 : Essai de Compression.

III.3.2. Résistance de flexion

L'essai de flexion a été conçu à la base pour évaluer le module d'élasticité et la résistance à la traction.

La résistance à la flexion se calcule par l'intermédiaire d'une charge concentrée selon la norme (NFP 18-407), et exécuté sur des éprouvettes (7x7x28) cm. La charge à la rupture de chaque échantillon est notée.

Le principe de l'essai Comportant deux appuis à rouleau distant de 210 mm sur lesquels repose l'éprouvette (7x7x28) cm, et un troisième rouleau transmettant une charge concentrée

La contrainte de flexion se calcule comme suit :

$$R_f = \frac{3FL}{2bh^2} \dots\dots\dots (III-2)$$

Avec :

R_f : Résistance à la flexion en (MPa) ;

F : La Charge de rupture de l'éprouvette en flexion (N)

L : Longueur d'éprouvette en mm

b : Largeur d'éprouvette en mm

h : Hauteur d'éprouvette en mm

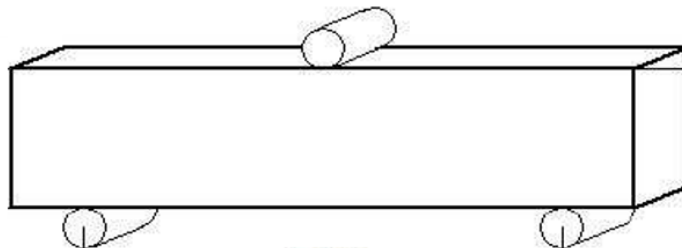


Figure III.5 : Essai de Flexion.

III.3.3. Essai ultrasonique

La mesure de la vitesse des impulsions ultrasoniques de vibrations longitudinales passant à travers l'éprouvette peut être utilisée pour les applications suivantes :

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

a. Le principe de l'essai

Consiste à mesurer la vitesse du son à l'intérieur du pisé, On produit un train d'impulsion de vibration au moyen d'un émetteur appliqué sur l'une des faces de l'élément à contrôler. Après avoir franchi une longueur de parcours (L) dans l'éprouvette, l'impulsion de vibration est convertie en un signal électrique à l'aide d'un récepteur et la base de temps électronique permet de mesurer le temps de propagation des ondes ultrasonores.

Pour notre cas on a utilisant des éprouvettes de dimensionnement (7x7x28 cm), et pour faciliter la transmission de la propagation des ondes sonique en utilisant une pâte de contact, une fois l'appareil est en mis en marche la vitesse conventionnelle de propagation est calculée par la formule suivante :

$$v = \frac{l}{t}$$

l : est la distance entre le transducteur en mètres.

t: est le temps de propagation en secondes.

III.4. Essai thermique

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

III.4.1. La conductivité thermique

La conduction thermique est un mode de transfert thermique provoqué par une différence de température entre deux régions d'un même milieu, qui a pour objet de mesurer la conductivité thermique de pisé.

La mesure s'effectue en plaçant la sonde entre deux briques puis lancer la mesure par la machine CT-METRE, on utilise la sonde anneau de puissance 0,5 watt, elle s'exprime par $W.m^{-1}.K^{-1}$.

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



Figure III.6 : Appareil CT-mètre.

III.4.2. La Résistance thermique

La capacité d'un matériau à s'opposer au froid et au chaud est mesurée par sa résistance thermique. La résistance thermique est représentée par la lettre R et elle est exprimée en $K.m^2/W$. Plus la résistance thermique est élevée plus le matériau est isolant.

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

Où :

e : l'épaisseur de l'élément

λ : la conductivité de l'élément.

III.5. Résultats et Discussions

La préparation, le fonctionnement étaient réalisés dans laboratoire de Génie Civil de l'université KASDI Merbah Ouargla.

III.5.1. Traitement de Pisé par la chaux

Nous avons proposé pour notre travail les cinq compositions (argile + graviers (3/8 et 8/15) + chaux) suivantes :

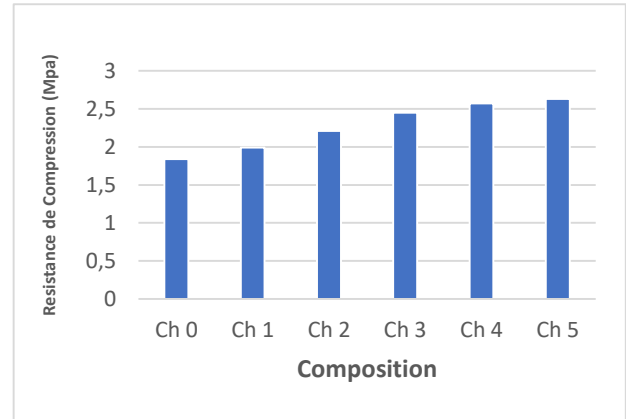
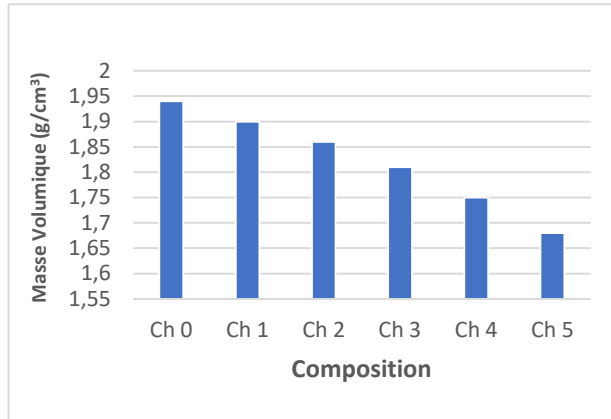
Tableau III.1 : Compositions Utilisées à base du Pisé stabilisé par la chaux.

	Ch 0	Ch 1	Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 5
Argile %	50	49	48	47	46	45
Graviers 8/15 %	10	10	10	10	10	10
Graviers 3/8 %	40	40	40	40	40	40
La chaux %	00	01	02	03	04	05

- **La composition de référence** : C0 : 50% argile +10% graviers (8/15) +40% graviers (3/8).

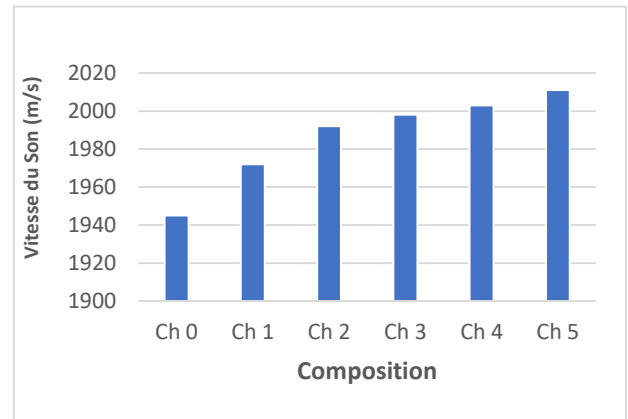
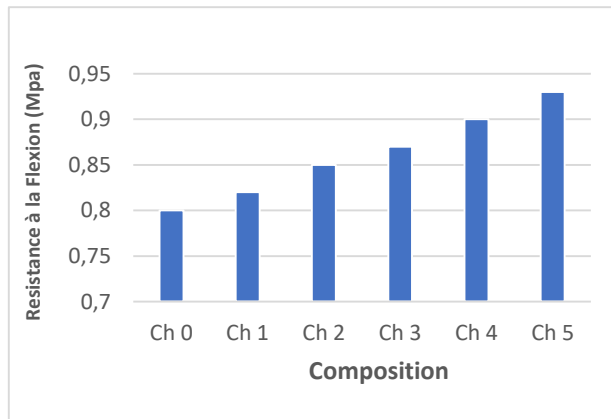
Les quatre histogrammes suivants sont affichés donne La figure III.7 :

- Montre la variation de la masse volumique des pisées en fonction des différents pourcentages de la chaux.
- Les résultats de résistance à la compression.
- Les résultats de résistance à la flexion.
- Les résultats de vitesse de son.



a. Résultats de Masse Volumique.

b. Résultats de la Compression.



c. Résultats de la Flexion.

d. Résultats de la vitesse du son

Figure III.7 : Résultats des essais mécaniques du Pisé stabilisé par la chaux.

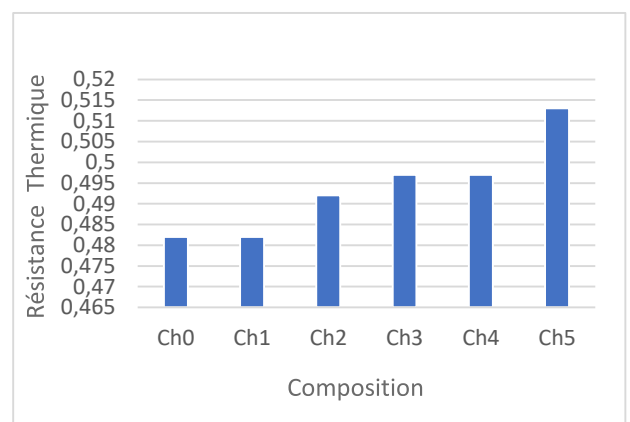
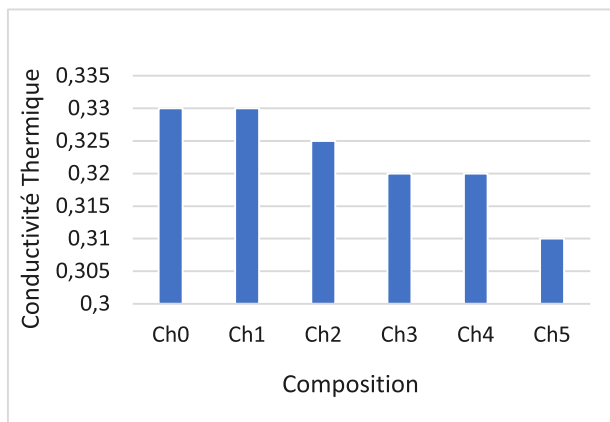
D'après les résultats on remarque :

- Notez sur la courbe (1) que les valeurs sont en baisse, et c'est un retour car la masse de volumique de l'argile plus grande que la masse volumique de la chaux.
- L'ajout de la chaux donne une influence positive d'un point de vue mécanique (compression et flexion).
- La résistance à la compression de l'Échantillon Ch5 a augmenté jusqu'à de pourcentage 43% par rapport à l'échantillon de référence Ch0.
- La composition Ch5 donne meilleur résultat.

- L'essai de la vitesse du son a confirmé les résultats de Les essais mécaniques (résistance à la compression et à la flexion).

Les deux histogrammes suivants sont affichés donne La figure III.8 :

- Montre la variation de la conductivité thermique des Pisés en fonction des différents pourcentages de La chaux.
- Montre la variation de la résistance thermique des Pisés en fonction des différents pourcentages de La chaux.



a. la conductivité thermique.

b. la résistance thermique.

Figure III.8 : Résultats des essais thermiques du Pisé stabilisé par la chaux.

D'après les résultats on remarque :

- Une convergence des résultats thermiques.
- Le traitement de Pisé par la chaux donne une influence positive d'un point de vue mécanique par contre n'influe pas sur le côté thermique.
- La résistance thermique Presque stable malgré l'augmentation du pourcentage de la chaux.
- Les échantillons donnent généralement un bon comportement thermique.

III.5.2. Pisé stabilisé par Ciment blanc

Nous avons proposé pour notre travail les cinq compositions (argile + graviers (3/8 et 8/15) + Ciment blanc) suivantes :

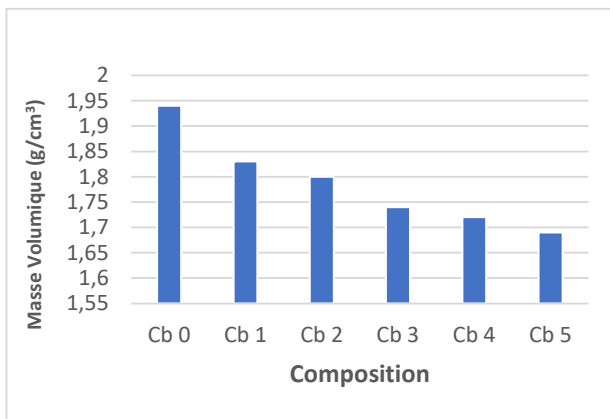
Tableau III.2 : Compositions Utilisées du Pisé stabilisé par Ciment blanc.

	C _b 0	C _b 1	C _b 2	C _b 3	C _b 4	C _b 5
Argile%	50	49	48	47	46	45
Graviers 8/15%	10	10	10	10	10	10
Graviers 3/8%	40	40	40	40	40	40
Ciment blanc %	00	01	02	03	04	05

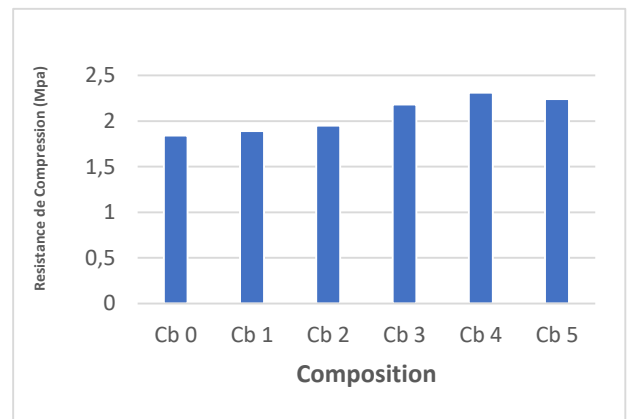
- **La composition de référence** : Cb 0 : 50% argile +10% graviers (8/15) +40% graviers (3/8).

Les quatre histogrammes suivants sont affichés donne La figure III.9 :

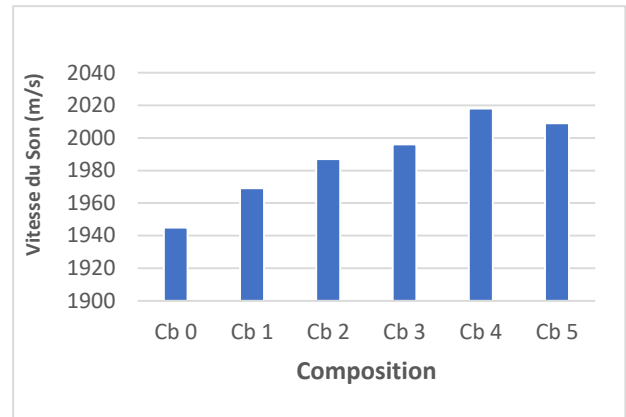
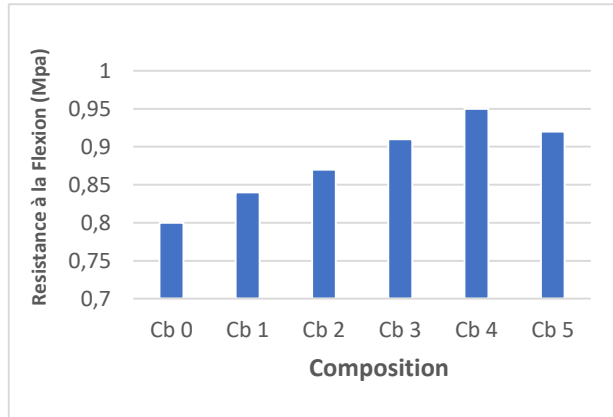
- La variation de la masse volumique des Pisés en fonction des différents pourcentages de Ciment blanc.
- Les résultats de résistance à la compression.
- Les résultats de résistance à la flexion.
- Les résultats de vitesse du son.



a. Résultats de Masse Volumique.



b. Résultats de la Compression.



c. Résultats de la Flexion.

d. Résultats de la vitesse du son.

Figure III.9 : Résultats des essais mécaniques du Pisé stabilisé par ciment blanc.

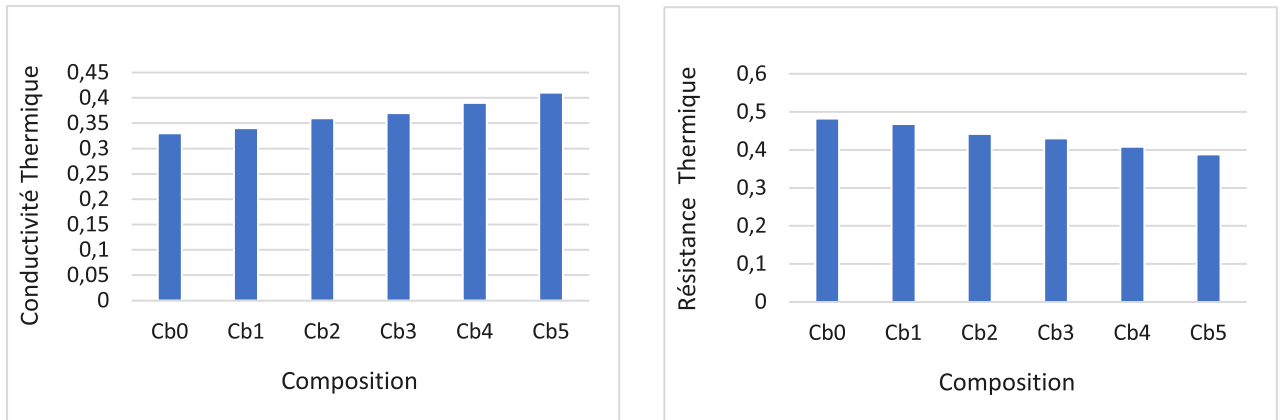
D'après l'expérimentation on remarque :

- Notez sur la courbe (1) que les valeurs sont en baisse, et c'est un retour car masse volumique d'argile plus grand de masse volumique de ciment blanc.
- La résistance à la compression des toutes compositions est très proche est acceptable suite au tableau I.1 ($R_c=1.89 < 2\text{Mpa}$).
- La résistance à la compression de l'Échantillon Cb4 a augmenté jusqu'à de pourcentage 25% par rapport à l'échantillon de référence Cb0
- Le ciment blanc a joué un rôle de liant, ce qui a augmenté la résistance à la flexion et à la compression (donne une influence positive de point de vue mécanique) jusqu'à 4%.
- La composition C4 donne des meilleurs résultats.
- La résistance à la flexion et à la compression d'échantillon (C5) est faible d'un point de vue mécanique, et c'est dû à revêtement de ciment blanc pour les granulaires de l'échantillon, qui réduisait leur résistance.
- L'essai de la vitesse du son a confirmé les résultats de L'essai mécanique (résistance à la compression et à la flexion).

Les deux graphiques suivants sont illustrés à La figure III.10 :

- a. Montre la variation de la conductivité thermique des Pisés en fonction des différents pourcentages de ciment blanc.

b. Montre la variation de la résistance thermique des Pisés en fonction des différents pourcentages de ciment blanc.



a. la conductivité thermique.

b. la résistance thermique.

Figure III.10 : Résultats des essais thermiques du Pisé stabilisé par ciment blanc.

D'après l'expérimentation on remarque :

- L'ajout de ciment blanc donne d'influence positive à point de vue mécanique par contre d'influence passive a côté thermique.
- L'influence passive de l'ajout de ciment blanc est due à sa faiblesse à coté thermique.
- Malgré les résultats imparfaits mais il reste acceptable.

III.5.3. Pisé stabilisé par plâtre

Nous avons proposé pour notre travail les cinq compositions (argile + gravier (3/8 et 8/15) + plâtre) suivantes :

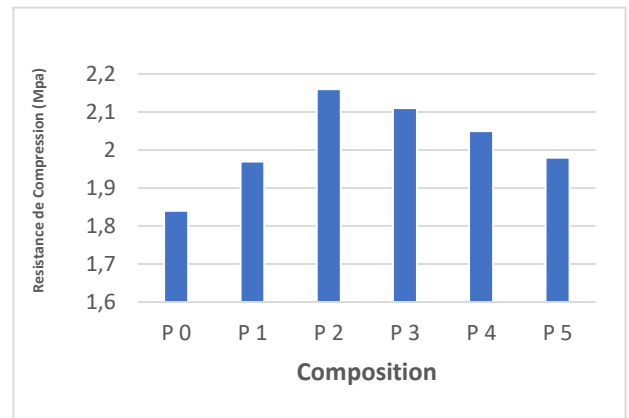
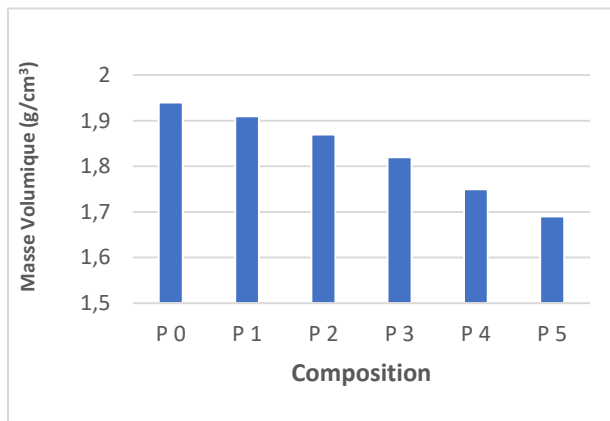
Tableau III.3 : Compositions Utilisées à base du Pisé stabilisé par plâtre.

	P 0	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5
Argile %	50	49	48	47	46	45
Graviers 8/15 %	10	10	10	10	10	10
Graviers 3/8 %	40	40	40	40	40	40
Plâtre %	00	01	02	03	04	05

- La composition de référence : P0 : 50% argile +10% graviers (8/15) +40% graviers (3/8).

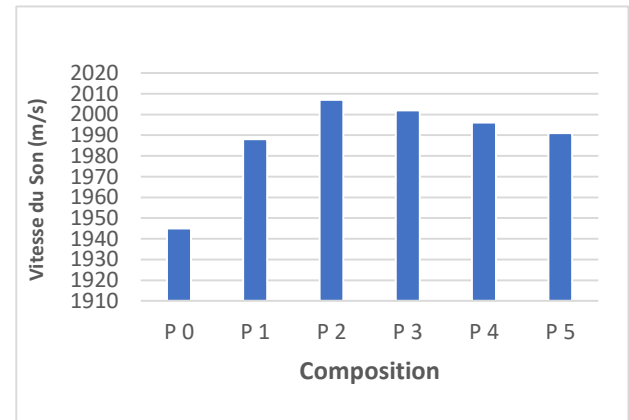
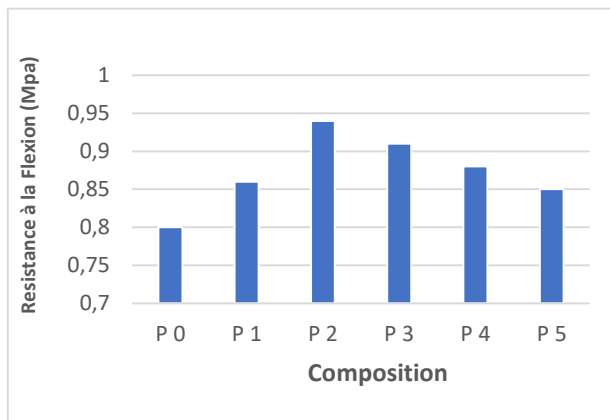
Les quatre histogrammes suivants sont affichés donne La figure III.11 :

- a. Montre la variation de la masse volumique des pisées en fonction des différents pourcentages de plâtre.
- b. Les résultats de résistance à la compression.
- c. Les résultats de résistance à la flexion.
- d. Les résultats de la vitesse du son.



a. Résultats de Masse Volumique.

b. Résultats de la Compression.



c. Résultats de la Flexion.

d. Résultats de la vitesse du son

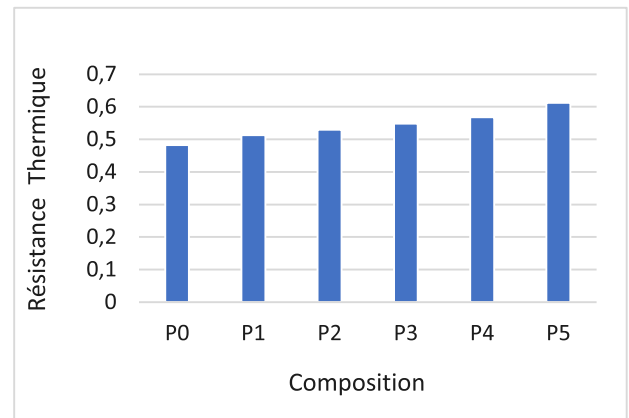
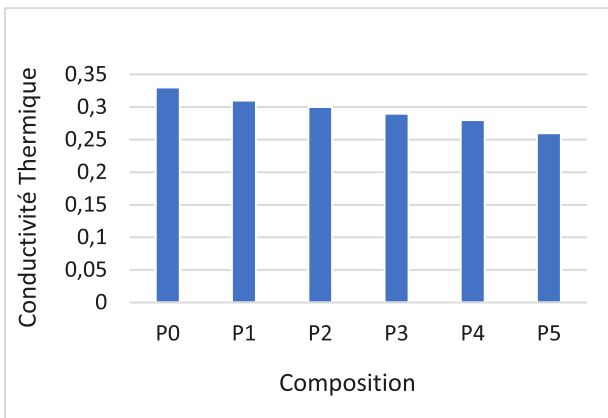
Figure III.11 : Résultats des essais mécaniques du Pisé stabilisé par plâtre.

D'après l'expérimentation on remarque :

- Notez sur la courbe (a) que les valeurs sont en baisse, et c'est un retour car masse de volumique d'argile plus grand de masse volumique de plâtre.
- Une augmentation et une diminution dans les valeurs de la résistance à la compression et à la flexion, Ce phénomène s'explique en deux Phases :
 - Phase 1 : Une augmentation de la résistance à la compression et la flexion en termes d'augmentation du pourcentage de plâtre jusqu'à 2 %, ce qui est sous l'influence du plâtre qu'est assuré une bonne cohésion du mélange.
 - Phase 2 : Diminution de la résistance à la compression et à la flexion à partir au pourcentage 3% le plâtre dans cette phase joue un rôle passive entre les granulats des compositions (le plâtre revête les granulaires des échantillons).
- La résistance à la compression et la flexion des échantillons sont acceptables
- La composition P2 donne meilleur résultat.

Les deux histogrammes suivants sont affichés donne La figure III.12 :

- a. Montre la variation de la conductivité thermique des Pisés en fonction des différents pourcentages de plâtre.
- b. Montre la variation de la résistance thermique des Pisés en fonction des différents pourcentages de plâtre.



a. la conductivité thermique.

b. la résistance thermique.

Figure III.12 : Résultats des essais thermiques du Pisé stabilisé par plâtre.

D'après l'expérimentation on remarque :

- Une augmentation de la résistance thermique en termes d'augmentation du pourcentage de plâtre (L'ajout de plâtre donne d'influence positive de côté thermique).
- L'influence positive de l'ajout de plâtre est dû à la conductivité thermique du plâtre.
- La résistance thermique a automatiquement augmenté car elle est inversement proportionnelle à la conductivité thermique.

Tableau III.4 : Les meilleurs résultats du Pisé utilisé.

Les Essais	La composition de référence	Pisé traité par la chaux	Pisé stabilisé par ciment blanc	Pisé stabilisé par plâtre
Masse Volumique (g/cm ³)	1.94	1.68	1.72	1.87
Résistance à la Compression (Mpa)	1.84	2.63	2.31	2.16
Résistance à la Flexion (Mpa)	0.8	0.93	0.95	0.94
Vitesse du Son (m/s)	1945	2011	2018	2007
Conductivité Thermique W.m ⁻¹ .°C ⁻¹	0.3	0.31	0.39	0.3
Résistance Thermique m ² .K ¹ .W ⁻¹	0.482	0.513	0.408	0.53

III.6. Conclusion

Selon l'étude expérimentale sur les propriétés thermiques et mécaniques de différentes compositions, on peut tirer les conclusions suivantes :

- L'influence de l'ajout de stabilisant donne un Pisé plus léger et de meilleures performances thermiques et mécaniques.
- La résistance à la compression du Pisé augmente jusqu'à 43% par rapport l'échantillon de référence cas de Traitement par la chaux.
- Le pourcentage d'augmentation de plâtre est utile pour améliorer les propriétés thermiques.
- L'ajout de ciment blanc augmenté la résistance de compression jusqu'à de pourcentage 25%.
- L'ajout de ciment blanc donne d'influence passive à propriétés thermique.

Conclusion générale et Perspectives

Conclusion générale :

Les résultats finaux de cette étude, il comprenait de nombreux aspects qui ont un impact de plusieurs ajouts sur les propriétés physico mécaniques et thermique du Pisé à base d'argile d'El Hadjira.

Ce travail consistait à la contribution de production d'un Pisé local.

Les propriétés thermiques et mécaniques sont améliorées à partir Pisé à base d'argile local. Pour cela, nous avons confectionné des éprouvettes. Mais il s'agit d'influence de quelques stabilisants (la chaux, ciment blanc et plâtre).

Nous avons mené d'une série d'essais thermomécaniques. Donc, nous concluons notre recherche avec ceci :

- La première partie c'est la recherche bibliographique qui s'est étalée sur un aperçu détaillé sur les techniques utilisées, ainsi que la technologie de confection des différents types des briques, nous avons constaté que la Construction en terre comporte une palette très large d'avantages : propriété mécanique, propriété thermique avec une excellente isolation, hygiénique, respect de l'environnement. À la vue de ces caractéristiques.
- La deuxième partie c'est la partie expérimentale, nous avons donné les caractéristiques générales des matériaux utilisés qui sont (l'argile, Le gravier, l'eau et ...).

L'argile extraite de gisement d'El Hadjira de OUARGLA qui se caractérise par :

- Une convergence de granulométrie.
- La nature de l'argile est une argile qui est plastique élevé ; argile est constituée essentiellement de minéraux associés de quartz et de la kaolinite. Et d'une densité sèche =2,06 g/cm³.
- Nous avons préparé deux classes de gravier, soit (3/8) et (8/15) d'Ouargla. Les courbes granulométriques pour les deux classes de gravier, se situent dans les fuseaux recommandés.

- L'eau utilisée est celle du robinet du laboratoire de génie civil de l'université d'Ouargla. Avec une salinité acceptable.
- Nous avons également défini la différente stabilisation (la chaux, ciment blanc et plâtre) et La composition chimique ces matériaux.
- La troisième partie est une étude expérimentale. Une série des essais est réalisée sur trois types de Pisés, Pisé à base de l'argile d'El Hadjira avec des différences stabilisation par pourcentage (la chaux, ciment blanc, plâtre).

Après l'expérimentation, nous avons tiré la conclusion suivante :

- Les ajoutes donne influence positive l'argile d'El Hdjira en termes de propriétés mécaniques et thermique et donne un pisé plus léger.
- Le pourcentage d'augmentation de plâtre est utile pour améliorer les propriétés thermiques de Pisé.
- L'ajout de ciment blanc à pourcentage 4 % donne une augmentation de résistance à la compression 25%.
- Traitement de Pisé par la chaux a pourcentage 5% augmentation la résistance à la compression jusqu'à 43%.
- Sur le plan économique, l'utilisation de ces matériaux contribue à réduire la quantité de matériaux importés et à réduire la consommation d'énergie nécessaire à l'utilisation des matériaux étudiés dans la construction de maisons.

Perspectives :

D'après les résultats obtenus par cette recherche, et en vue d'une future utilisation rationnelle et efficaces de ces matériaux, on va poser quelques perspectives pour compléter cette recherche :

- Etudier l'humidité et l'absorption.
- Faire l'essai de résistance de feu.
- Faire une étude thermique sur des prototypes réalisés par Pisés.
- Etudier durabilité des Pisés.

Références Bibliographiques :

- [1] Fiche technique Qualiremo, « La terre crue », « [www. tkTerreCrue.html](http://www.tkTerreCrue.html). », Avril 2008
- [2] Richard-Philippe Wafer. ; Article « L' ADOBE, UNE SOLUTION DURABLE POUR LA CONSTRUCTION D'HABITATIONS ÉCOLOGIQUES DANS UNE ZONE À FORTE ACTIVITÉ SISMIQUE COMME LE CHILI » UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE Octobre 2010
- [3] Passerelles site © Bibliothèque nationale de France – 2015 (http://passerelles.bnf.fr/reperes/terre_crue_01.php#top)
- [4] LIVERT S., « Bâtir un mur en briques de terre compressée », Février 2011.
- [5] lptr l'ESTAQUE Marseille « fiche technique mur en brique de terre crue » Collegiul Tecnic Buzau mai 2010
- [6] lptr l'ESTAQUE Marseille « fiche technique mur en brique de terre crue » Collegiul Tecnic Buzau mai 2010 Dr.hachim chaib
- [7] Stabilisé des structures en pisé : durabilité, caractéristique mécanique ; 13novembre2008, BUI QUOC-Bao
- [8] DJOUHRI M. ; « Confection d'une brique à base de sable de dune » mémoire magister, Université de Ouargla, 2007 .
- [9] CORPUS « Mur de briques en terre crue » Architecteur traditionnelle méditerranéenne, 2006, pages.(7-1)
- [10] CHAIB Hachem, « contribution à l'étude des propriétés thermomécaniques des briques en terre confectionnée par des fibres végétales locales (cas de ville de Ouargla) », Mémoire doctorat 2017.
- [11] RHONE A. ; « Le pisé » www.ageden.org, Edition septembre 2015
- [12] BUI Quoc-Bao ; « Stabilité des structures en pisé : durabilité, caractéristiques mécaniques » thèse de doctorat, l'institut national des sciences appliquées de LYON 2008 .
- [13] AMIROUCHE Leila. Etude de pouvoir de sorption du cuivre II, du zinc II et des polyphénols par les bentonites sous l'effet des irradiations micro-onde. Université de Mouloud Mammeri de TIZI-OUZOU. P.3-5 ,2011.
- [14] GORISSE F. ; « Essais et contrôle des bétons », Edition Eyrolles, vol.2, Paris ; 1978.

- [15] SAADA R. OTHMANI A ; « Etude des Caractéristiques Thermomécaniques du pisé » mémoire magister, Université de Ouargla, 2019.
- [16] A. BENTATA. Mémoire de Magister, " Etude Expérimentale d'un Béton avec Le Sable de Dune", Université d'Ouargla 2003.
- [17] Poster_colas2004 https://www.colas.com/fichiers/fckeditor/File/pdf/mesure_essai/24-colas.pdf
- [18] J. NADAH. Thèse de doctorat, « VALORISATION D'UNE CRAIE DU NORD DE LA France EN ASSISE DE CHAUSSEE ROUTIERE », ECOLE CENTRALE DE LILLE 2010 – P 43
- [19] C.T.T.P ,1999 « choix de formulation de sable de enrobé » -Ouargla- P 21
- [20] A. MOKHTARI, « Influence des ajouts de fines minérales sur les Performances Mécaniques des Bétons Renforcés de Fibres Végétales de Palmier Dattier » mémoire magister, Université de Ouargla, 2006.
- [21] <https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/maison-chaux-5840/>
- [22] https://www.idrrim.com/ressources/documents/6/3254,Note-d-Info-29-IDRRIM-Norme-Chaux_F.pdf
- [23] Y. DOUIB, « Étude des propriétés thermo-mécaniques des briques de terre renforcées par des fibres de palmiers dattier traitées par la chaux » mémoire magister, Université de Ouargla, 2019.
- [24] Saint-Gobain, PLACOPLATRE [en ligne]. Disponible sur : Source <http://www.placoplatre.fr/LENVIRONNEMENT/Le-gypse/L-extraction-du-gypse> [consulté le 15 mai 2018]
- [25] Aticl Etude des propriétés mécaniques et physico-chimiques de l'argile vaseuse et de l'argile gréseuse provenant de la région de M'sila (Algérie) M. BIBIa , B. BELOUAHRIa , M.A. CHIKOUCHEa M. HATTABb 19ème Congrès Français de Mécanique Marseille, 24-28 août 2009.

Annexe I

*S.P.A. OASIS PLATRE - GHARDAIA – Société Par Action au Capital Social de : 187.225.000,00
BP n° 11 G.T Zone Industrielle Bounoura Gharadaïa Tel : 029.873.330 /029.873.082 Fax : 029.873.345
Email: spaopg@a.yahoo.fr*



FICHE TECHNIQUE

DESCRIPTION :

Plâtre de moulage haute gamme qui bénéficie d'une très grande dureté et permet une excellente reproduction des détails les plus fins

UTILISATION ET DOMAINES D'APPLICATION :

Plâtre de préfabriqué de granulométrie plus ou moins grossière et à durcissement rapide il est utilisé pour :

- Plâtre de préfabrication,
- Plâtre de construction,
- Plâtre spécial pour moulage,
- Plâtre pour les industries céramiques,
- Plaque de plâtre, carreaux de plâtre et élément de cloison.

CONDITIONNEMENT :

Sac de 40 Kilogrammes.

ASPECT :

Blanchâtre.

MISE EN OEUVRE :

Le plâtre doit être utilisé de préférence froid, après quelques jours de stockage. Le gâchage peut être manuel ou mécanique doux avec du matériels propre le type de turbine (dimension, vitesse et forme) ainsi le temps d'agitation, la pureté de l'eau et le taux de gâchage influent sur le temps de coulabilité, les résistances mécaniques et la porosité du plâtre hydraté.



Scanned by TapScanner

Photo N°1 : Fiche technique de plâtre Gharadaïa.

DONNEES TECHNIQUES

Densité apparente	8 kg/l
Densité du produit sec	1.4 kg/l
Shore D	60
Expansion	1.5 mm/m
Taux de gâchage recommandé	P/E : 200 à 210% E/P : 47 à 50%

TEMPS D'EMPLOI (Minutes) :

Saupoudrage	Temps de repos	Mélange	Coulage	Démoulage
1	2	2 à 4	5 à 6	20 à 25

Dosage recommandé pour le moulage :

Eau / Plâtre = 0.75 volume.

Résistance à la compression simple (à 07 jours) : 20.40 kg/cm².

Résistance à la flexion (Eprouvette (4 x 4 x 16 cm)) :

- 20.60 kg/cm² (à 07 jours),
- 54.20 kg/cm² (à 07 jours).

Temps de prise : 11 à 14 minutes.

Humidité : H = 0.2%.

Eau gâchage : 0.55 l/kg.

Temps de moulage : 04 à 06 minutes.

Finesse :

+ 630 µm	7.30%
+ 400 µm	8.00%
+ 315 µm	4.90%
+ 160 µm	28.50%
+ 125 µm	31.50%
< 125 µm	19.80%



Scanned by TapScanner

Photo N°2 : Fiche technique de plâtre Ghardaïa.

BERRIANE CHAUX ET MATERIAUX DE CONSTRUCTION

B . C . M . C

SPA AU CAPITALE DE : 2 978 000.00 DA

CHAUX DOLOMITIQUE VIVE & ETEINTE.

La chaux dolomitique vive est produite à partir de gisements de calcaire dolomitique de qualité supérieure. La chaux dolomitique (MgO·CaO) est un composé chimique couramment utilisé. Il s'agit d'un solide blanc, caustique, alcalin et cristallin. Sous sa forme commerciale, la chaux dolomitique renferme souvent de petites quantités de dioxyde de silicium et de quantités d'oxydes d'aluminium et de fer à l'état de traces.

Les produits de chaux vive dolomitique ont plusieurs usages, notamment l'utilisation comme fondant et conditionneur de laitier, et comme désinfectant, et comme produit:

- Dans la fabrication de l'acier, dans la production d'aluminium, de magnésium, d'hydroxyde de magnésium, de calcium métallique, de cuivre, de zinc, de plomb, d'or, d'argent, et d'uranium.
- Dans les applications environnementales (Traitement des fumées acides, Incinération d'ordures ménagères, traitement des eaux usées).
- Dans l'amendement des sols en agriculture. Etc...

HISTORIQUE

Notre société possède une vaste expérience dans le domaine de la chaux ou elle en produise de la chaux vive depuis 1975. Avec une capacité moyenne de six tonnes / jour.

Nous présentons un produit de qualité compté le deuxième en Algérie.

Photo N°3 : Fiche technique La chaux de berriane.

FICHE TECHNIQUE DE NOTRE CHAUX

Chaux dolomitique à forte teneur en magnésie (Mgo) jusqu'à 23 %

Couleur: Blanche

Finesse: Bonne

Composition chimique moyenne

Teneur en :

Cao actif = 59 % à 64 %

Mgo = 21% à 23 %

Fe₂O₃ + Al₂O₃ → Traces

Sulfates → Traces

Le Directeur :

A.SALAHOUELHADJ



Photo N°4 : Fiche technique La chaux de berriane.

Annexe II



Photo N°1 : Argile d'El Hdjira.



Photo N°2 : Le Gravier (8/15).



Photo N°3 : Le Gravier (3/8).



Photo N°4 : Mélangé le composite.



Photo N°5 : Remplissage des moules.



Photo N°6 : des échantillons.



Photo N°7 : Essai de flexion.



Photo N°8 : Essai de flexion.



Photo N°9 : Essai de compression.



Photo N°10 : Essai vitesse du son.



Photo N°11 : Essai vitesse du son.



Photo N°12 : l'appareille d'ultrasonique.