

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université A/Mira de Béjaïa
Faculté de Technologie
Département de Génie Civil
Spécialité Structures
Niveau Master 2



PROJET DE FIN CYCLE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Thème :

***Elaboration de briques en terre crue
à base de différentes argiles***

Réalisées par:

**MESSALI Houda
OUZZANE Yousra**

Encadré par :

Dr. BOUZIDI Mohamed Amin

Co-encadrant :

Mr. SI AHMED Chabane

Membre du jury :

Mme L. BOUSSAA

Mme F. SOUIDI

Année universitaire 2023/2024

Remerciements

En fin projet de fin d'étude finis, alors nous devons des remerciements à toute personne ayant contribué à sa réalisation. D'abord c'est grâce à **Allah** que nous avons eu le courage et la volonté de continuer à travailler. Puis **nos familles** respectives, elles ont toujours été à nos côtés pour nous encourager à donner le meilleur de nous-mêmes et pour nous avoir toujours soutenu malgré les difficultés.

On remercie infiniment **Dr.Bouzidi Mohamed Amin**, sans lui ce travail ne serait pas, il nous a apporté son aide inconditionnel, et a toujours été là pour nous conseiller et aidé dans nos recherches. Vous avez toute notre reconnaissance.

Ainsi **Mr. Si Ahmed Chabane** pour nous avoir suivis tout au long de la réalisation du mémoire. Nous remercions également **M^{me}.Bouzeroura** ingénieur du Laboratoire de recherches, pour avoir été là à chaque fois que nous avons besoin d'aide dans le cadre du laboratoire de recherches. Aussi monsieur **Zoubiri Djamel** pour nous avoir fait confiance en nous laissons travailler dans les deux laboratoires MDC quand nous en avons besoins. Ainsi à l'ensemble du département génie civil.

Nous dirigeons également nos insignes remerciement a toute l'équipe LNHC, pour nous avoir accueillies en stage, mais aussi toute l'équipe du laboratoire pour nous avoir permis de manipuler le matériel et nous avoir appris tout sur le monde professionnel.

Espérons que vous acceptez tous nos sincères remerciements, a toute personne ayant contribuer dans ce travail de près ou de loin.

Houda et Yousra

Dédicaces

Pendant tout mon parcours scolaire, je n'ai cessé de me battre pour arriver là où j'en suis maintenant. Et heureusement que je n'étais pas seule dans ce combat.

Je dédie ce travail premièrement à mon cher père, lui qui m'a toujours soutenu dans mes décisions et mes choix, qui a toujours donné le meilleur de lui pour me fournir tout ce dont j'ai besoin, et m'avoir soutenu moralement pour chaque épreuve que j'ai pu traverser, car oui on ne née pas avec des connaissances, depuis toute petite-il était toujours là à mes côtés depuis aussi loin que je me souviens, il a été mon plus grand fan et lui était, et est toujours mon modèle dans la vie. Grâce à lui j'ai pu vivre aisément sans trop me soucier des choses ce qui m'a permis de me consacrer à mes études. Et à ma maman chérie, avoir été là quand personne d'autre ne croyait en moi, avoir supporté tous mes caprices et avoir laissé libre cours à mes envies sans se soucier du reste, elle était la première personne à m'avoir tenu la main pour m'apprendre à écrire alors oui cela est en partie le fruit de son travail.

Puis à mon grand frère que j'estime beaucoup, nous étions toujours fourrer ensemble depuis notre tendre enfance, il est la lumière qui m'a toujours guidé quand je ne savais pas où donner de la tête, pour m'avoir donné la priorité sans se soucier de sa personne. Malgré mon égoïsme il a toujours su me consoler.

A mon petit frère et ma petite sœur, qui me voient comme un modèle, alors j'ai tous fais pour ne pas les décevoir, j'espère que vous êtes contents du résultat.

Je le dédie aussi à tous les membres de ma famille qui ont été là quand j'en avais besoin, mes grands-parents, mon défunt grand père qui estimait toujours nos réussites scolaires qui avait attendu ce moment avec impatience, dommage qu'il ne soit plus là, malgré cela il sera toujours présent en moi. A mes oncles, mes tantes et mes cousins. Et à mes nièces Tamila et Malak qui m'ont toujours redonner le sourire quand j'en avais besoin.

A ma très chère amie Zahia Sebbane, nous étions là l'une pour l'autre à toujours nous protéger et nous aider mutuellement, car oui on a survécu ensemble à l'université. Merci infiniment.

A tous mes amis, mes camarades, ainsi toute la promo génie civil 2024.

MESSALI Houda

Dédicace

Offrir le fruit de son travail est un acte de gratitude et de reconnaissance envers ceux qui nous sont chers. C'est avec tout mon cœur que je souhaite exprimer ma profonde reconnaissance à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Je dédie ce travail :

À mes parents et frères bien-aimés, qui ont toujours été présents pour moi, offrant un exemple remarquable de diligence et de persévérance. Votre soutien indéfectible, vos encouragements constants et votre amour inconditionnel ont été une source inépuisable de motivation et d'inspiration. Je vous remercie du fond du cœur et j'espère que ce travail saura refléter toute ma gratitude et mon admiration pour vous.

À ma chère binôme, Messali Houda, et à toute sa famille, pour leur soutien et leur amitié. Houda, ton esprit de collaboration, ton dévouement et ton engagement ont été essentiels tout au long de ce parcours.

À mes amis précieux, qui ont été une source constante de soutien et d'encouragement, de près ou de loin. Votre aide, vos conseils et vos mots gentils ont fait une grande différence dans ce voyage. Une mention spéciale à (Wida, Najwa, Ludmila, Ouardia, Amel, Thafath, Yanis, Mohand Seghir, Massi, Karima, Loucif et Billal). Chacun d'entre vous a contribué à ce travail par votre présence, votre soutien moral et vos encouragements. Merci pour votre amitié et votre générosité.

A la mémoire de notre camarade Khalissa Baar paix a son âme.

Ce travail est le fruit de nombreuses heures de labeur, de dévouement et de persévérance, mais il est avant tout le reflet de l'amour et du soutien des personnes extraordinaires qui m'entourent. À vous tous, je vous dédie ce travail avec toute ma reconnaissance et mon affection.

Liste des figures

Figure I.1 : Argile	04
Figure I.2 : Représentations d'un tétraèdre, d'un octaèdre, types d'agencement de tétraèdres et octaèdres respectivement en couches tétraédrique et octaédrique	05
Figure I.3 : Couche tétraédrique (T) : tous les tétraèdres pointent dans le même sens	06
Figure I.4 : Couche octaédrique (O) composée d'octaèdres de gibbsite $Al(OH)_3$ ou de brucite $Mg(OH)_2$	06
Figure I.5 : Structure de la Kaolinite	07
Figure I.6 : structure de l'illite	07
Figure I.7 : structure de la smectite	08
Figure I.8 : La brique émaillée était déjà connue dans la Mésopotamie antique	10
Figure I.9 : Comalcalco, Mexique : pyramide de briques mayas Pyramide de briques mayas au site de Comalcalco, Tabasco, Mexique	10
Figure I.10 : La Brique de terre cuite	11
Figure I.11 : La Brique de terre crue	11
Figure I.12 : Construction en terre dans le monde	12
Figure I.13 : "Roue" des techniques de construction en terre	13
Figure I.14 : Moulage et séchage des blocs adobes	15
Figure I.15 : moule de l'adobe	16
Figure I.16 : Coffrage utilisé dans la conception de murs en pisé	17
Figure I.17 : Construction un mur en pisé	17
Figure I.18 : composition de pisé	18
Figure I.19 : Brique de terre crue compressée réalisée à l'aide d'une presse manuelle	19
Figure I.20 : Brique de terre crue compressée réalisée à l'aide d'une presse manuelle	19
Figure II.1 : Pesée du sol humide	31
Figure II.2 : Coupe d'une carotte de terre	32
Figure II.3 : Paraffine	32
Figure II.4 : Pesage en suspension dans l'eau	32
Figure II.5 : Sol bien paraffinée	32
Figure II.6 : Pesage du cylindre	32
Figure II.7 : Différents échantillons paraffinées	33
Figure II.8 : Sol + série de tamis pour analyse granulométrique	33

Figure II.9 : Tamisage sous l'eau	33
Figure II.10 : Sol pour analyse granulométrique	33
Figure II.11 : Sédiments de sol après séchage	34
Figure II.12 : Pesage de L'échantillon	35
Figure II.13 : Sol mis dans des éprouvettes Gradués	35
Figure II.14 : solution de $(\text{Na}_6(\text{PO}_3)_6, 10\text{H}_2\text{O})$	35
Figure II.15 : Sol avec solution $(\text{Na}_6(\text{PO}_3)_6, 10\text{H}_2\text{O})$	35
Figure II.16 : Mise en repos de l'échantillon	35
Figure II.17 : Agitation de l'échantillon	36
Figure II.18 : Agitateur mécanique	36
Figure II.19 : Mesure de la température	36
Figure II.20 : Densimètre	36
Figure II.21 : Mise en suspension différents échantillons pour la mesure de sédimentométrie	36
Figure II.22 : Emergement du sol dans l'eau	37
Figure II.23 : Tamisage du sol	37
Figure II.24 : Etuvage du tamisa	38
Figure II.25 : Echantillon après étuvage	38
Figure II.26 : Appareille de CASAGRANDE	38
Figure II.27 : Mouillage de l'échantillon sec	39
Figure II.28 : Obtention d'une pate	39
Figure II.29 : Mise en place de la patte dans la coupelle	39
Figure II.30 : Rainurage de la pâte	39
Figure II.31 : Lèvres jointes à 16 coups	40
Figure II.32 : Lèvres jointes à 34 coups	40
Figure II.33 : Prélèvement de pate aux extrémités touchées	40
Figure II.34 : Capsules de prélèvements	40
Figure II.35 : Fissuration du rouleau	41
Figure II.36 : Extrémité du rouleau	41
Figure II.37 : Capsule pour étuvage	41
Figure II.38 : Broyage du sol	43

Figure II.39 : Tamisage du sol	43
Figure II.40 : Pesage de 30g de sol	43
Figure II.41 : 500ml d'eau	43
Figure II.42 : Ajout du sol dans l'eau	43
Figure II.43 : Agitation de l'échantillon	43
Figure II.44 : Système de dosage du VB	43
Figure II.45 : Prélèvement par baguette de verre	43
Figure II.46 : Gouttes prélevés mises sur papier filtre	44
Figure II.47 : Pesage eau + échantillon	45
Figure II.48 : Argile dans le moule à brique	45
Figure II.49 : Moule de brique	45
Figure II.50 : Briques en terre crue emballés dans du papier film	46
Figure II.51 : Briques en terre crue sèches	46
Figure II.52 : Procédure d'écrasement	47
Figure II.53 : brique après écrasement	47
Figure II.54 : sonde du CT	47
Figure II.55 : Un CT mètre	47
Figure II.56 : Appareille utilisé pour la FRX	48
Figure II.57 : Capsule à analyser	49
Figure II.58 : intérieur de l'appareille FTIR	49
Figure II.59 : Appareille d'analyse FTIR	49
Figure II.60 : appareille d'analyse de DRX	50
Figure II.61 : capsules d'échantillons	50
Figure II.62 : mise en place des capsules d'échantillons pour analyses	50
Figure II.63 : Cycle de mouillage	51
Figure II.64 : Briques après humidification	51
Figure III.1 : courbe granulométrique de Kherrata	53
Figure III.2 : courbe granulométrique d'El kseur	53
Figure III.3 : courbe granulométrique de Sétif (1)	54
Figure III.4 : courbe granulométrique de Sétif (2)	54

Figure III.5 : courbe granulométrique de M'sila (1)	55
Figure III.6 : courbe granulométrique de M'sila (2)	55
Figure III.7 : courbe granulométrique de Jijel	56
Figure III.8 : Les ordres de grandeurs des sols	58
Figure III.9 : État d'un sol en fonction de sa teneur en eau	59
Figure III.10 : courbe de limite d'Atterburg	59
Figure III.11 : Histogramme reprinted les échantillons en fonction de WL et WP	62
Figure III.12 : Les échantillons représentés sur l'abaque de casagrande	63
Figure III.13 : Les échantillons représentés sur l'abaque de casagrande	64
Figure III.14 : Les échantillons représentés sur l'abaque de casagrande	65
Figure III.15 : Histogramme qui représente les échantillons en fonction l'indice de consistance	67
Figure IV.1 : les résultats de la DRX	71
Figure IV.2 : spectre d'infrarouge de l'échantillon d'El Kseur	72
Figure IV.3 : spectre d'infrarouge de l'échantillon de Kherrata	72
Figure IV.4 : spectre d'infrarouge de l'échantillon de Jijel	73
Figure IV.5 : spectre d'infrarouge de l'échantillon de M'sila (1)	73
Figure IV.6 : spectre d'infrarouge de l'échantillon de Sétif (2)	74
Figure IV.7 : histogramme de conductivité thermique en fonction de variation d'argiles	75
Figure IV.8 : résistance à la compression des briques de terre crue	75
Figure IV.9 : dégradation des briques des échantillons sans ajout	77
Figure IV.10 : dégradation des briques de l'échantillon d'Ouargla+8% ciment	78
Figure IV.11 : dégradation des briques de l'échantillon de Bejaia (L) + 8% ciment	79
Figure IV.12 : dégradation des briques de l'échantillon d'Oued soummam+8% ciment	79
Figure IV.13 : dégradation des briques de l'échantillon d'Akbou+ 8% ciment	79

Liste des tableaux

Tableau I.1 : différents types d'argiles les plus courants	08
Tableau I.2 : Diffèrent mode d'utilisation de la terre crue	13
Tableau I.3 Les caractéristiques des briques de terre crue (Adobe, Pisé, BTC) [37]	19
Tableau II.1 : Argiles de sols d'origine carotte	27
Tableau II.2 : Argiles de sol de gisements	29
Tableau II.3 : Argiles obtenues par différents mélanges	30
Tableau II.4 : différents types de sol selon le VBS	44
Tableau III.1 : Tableau de teneurs en eau	52
Tableau III.2 : Classification de laboratoires des sols a gros grains [68]	56
Tableau III.3 : classification des sols selon « classification de laboratoires des sols a gros grains »	57
Tableau III.4 : Résultats de l'analyse au bleu de méthylène	57
Tableau III.5 : classification de l'activité argileuse du sol [69]	58
Tableau III.6 : Activité argileuse des sols étudiés	58
Tableau III.7 : qualification des sols en fonction de l'indice de plasticité [69]	60
Tableau III.8 : Le tableau ci-dessous résume les résultats des limites d'Atterburg de tout échantillon utilisé dans l'étude	60
Tableau III.9 : Classification des échantillons sur l'abaque de casagrande	63
Tableau III.10 : Classification des échantillons sur l'abaque de casagrande	64
Tableau III.11 : Classification des échantillons sur l'abaque de casagrande	65
Tableau III.12: Qualificatif du sol en fonction de l'indice de consistance [69]	65
Tableau III.13 : Ce tableau ci-dessous représente les résultats de l'indice de consistance et de sa classification	66
Tableau IV.1 : teneur en CaCO ₃ de quelque sol	68
Tableau IV.2 : Résultats de l'analyse FRX	68
Tableau IV.3 : Classifications des échantillons selon leurs teneuses en CaCO ₃	69
Tableau IV.4 : Analyse des composés par Spectroscopie infrarouge le l'échantillon d'El kseur	72
Tableau IV.5 : Analyse des composés par Spectroscopie infrarouge le l'échantillon de kherrata	72

Tableau IV.6 : Analyse des composés par Spectroscopie infrarouge le l'échantillon de Jijel ...	73
Tableau IV.7 : Analyse des composés par Spectroscopie infrarouge le l'échantillon de M'sila	74
Tableau IV.8 : Analyse des composés par Spectroscopie infrarouge de l'échantillon de Sétif 2	74
Tableau IV.9 : représente la durabilité des briques argiles sans ajout et avec ajout de 10% de sable	76
Tableau IV.10 : représente la durabilité des briques d'argile avec ajout de 8% de ciment ...	78

Table des matières

Introduction générale	01
CHAPITRE I : Synthèse bibliographique	03
I.2 Les argiles	03
I.2.2 Minéralogique de l'argile	04
I.2.2.1 La structure en feuillets	05
I.2.2.2 La couche tétraédrique	05
I.2.2.3 La couche octaédrique	06
I.2.3 Principaux minéraux argileux	06
I.2.3.1 Structure de l'illite	07
I.2.3.2 Structure de smectites	07
I.2.4 Les différents types d'argiles les plus courants	08
I.2.5 Domaines d'utilisation des argiles	08
I.2.6 Utilisation de l'argile comme matériaux de construction	09
I.3 La brique	09
I.3.1 Histoire de la brique	09
I.3.2 Définition de la brique	10
I.3.2.1 La brique de terre cuite	11
I.3.2.2 La brique de terre crue	11
I.3.2.3 La construction en terre crue dans le monde	11
I.3.2.4 Technique de construction en terre	12
I.3.3 Mode d'utilisation de dénominations de la terre crue	13
I.3.4 Fabrication en terre crue	14
I.3.5 Les types de brique crue	14
1- L'adobe	14
2- les pisés	16
3- les blocs de terre comprimée	18
I.3.6 La stabilisation des briques	20
I.3.6.1 Définition de la stabilisation	20
I.3.6.2 Méthodes stabilisatrices	20

I.3.7 Les avantages de la construction en terre crue	22
I.3.8 Inconvénients de la construction en terre crue00.....	23
I.4 Etat de l'art	23
I.5 Conclusion	26
CHAPITRE II : Matériaux et méthodes expérimentales	27
II.1 Introduction	27
II.2 Matériaux utilisées	27
II.2.1 Sols d'origine carotte	27
II.2.2 Sols d'origine gisements	29
II.2.3 Sols mélangés	30
II.3 Procédures expérimentales	30
II.3.1 Caractérisation géotechnique	30
II.3.1.1 Teneur en eau	30
II.3.1.2 Détermination de la densité apparente	31
II.3.1.3 Analyse granulométrique	33
II.3.1.4 Limites d'Atterberg	37
II.3.1.5 Essai au bleu de méthylène	42
II.3.1.6 Confection de briques de terre crue	44
II.3.2 Essai mécanique	46
II.3.3 Essai physique	47
II.3.4 Essai physico-chimique	48
II.3.4.1 La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)	48
II.4 Analyse cristallographie aux rayons X (DRX) (essai minéralogique)	49
II.5 Essai de la durabilité ASTM	50
II.6 Conclusion	51
CHAPITRE III : Caractérisation de la matière première	52
III.1 Introduction	52
III.2 Caractérisation géotechnique	52
III.2.1 Teneur en eau et densité apparente	52
III.2.2 Analyse granulométrique	52

III.2.3 Bleu de méthylène	57
III.2.4 Les limites d'Atterberg	58
III.3 Conclusion	67
CHAPITRE IV : Résultats et discussions	68
IV.1 Introduction	68
IV.2 Caractérisation chimique et minéralogique du sol	68
IV.2.1 Analyse de la spectrométrie de fluorescence X (FRX)	68
IV.2.2 Analyses de la diffraction au rayon X (DRX)	70
IV.2.3 Analyse de spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)	71
IV.3 Caractéristiques mécaniques et physiques des briques de terre crue	75
IV.3.1 Conductivité thermique	75
IV.3.2 Résistance à la compression	76
IV.3.3 Durabilité	76
IV.4 Conclusion	80
Conclusion générale	81

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Le génie civil est un domaine qui s'intéresse à tous ce qui est construction et matériaux. Depuis l'âge de pierre (Mésopotamie) à ce jour ce domaine ne cesse de croître autant que science qui contribue à la survie de l'homme. Ce dernier ne cesse d'exploiter les ressources que la nature offre pour venir à bout de ses différents besoins, car depuis la fabrication de la roue aux présents édifices imposants, le génie civil a toujours su quoi inventer pour satisfaire les attentes de toutes civilisations confondues, pour se faire la bonne gestion de ces ressources est primordiale. Une bonne gestion des matériaux de construction est nécessaire à fin d'œuvrer à la prospérité, cependant plusieurs cultures ont opté à différentes manières de gérer le domaine de la construction. Les romains avec leurs somptueux ouvrages en céramique, les mayas avec leurs pyramides en terre crue constituées d'adobe, les pyramides égyptiennes principalement constituées de terre ainsi que beaucoup d'autres civilisations qui ont investis dans la construction, en bloc terre crue.

Cette méthode évite bien des problèmes tels que le gaspillage de ressource car la terre est présente en abondance sur toute la surface terrestre, en plus de ça sa qualité est qu'elle n'est aucunement nocif à l'écosystème qui est de moins en moins vivable, mais grâce à la méthode de construction en terre crue, le problème de pollution n'est plus. En plus d'être recyclable et protecteur de l'environnement, ce matériau est aussi moins coûteux. Donc question économie, il n'y a pas de meilleur choix sur le marché.

Une bonne connaissance du comportement du matériau de pierre passe par la connaissance de l'influence des propriétés de sa matière première sur le développement des caractéristiques du matériau.

Afin de bien exploiter la terre crue, et définir son utilité et son efficacité en tant que matière première pour fabrication de briques crues, dans ce projet intitulé « Elaboration de briques de terre crue à base de différents argiles » nous avons pris l'initiative de faire une étude approfondie sur la propriété physique, minéralogique, physicochimique, et mécanique de différents sols (à savoir 27 échantillons) que nous avons nous-mêmes classifiés grâce aux essais en laboratoire de caractérisation des sols. Et ceci dans le but d'étudier l'influence des paramètres géotechniques sur les caractéristiques thermique, physique, mécaniques, et de durabilité des briques en terre crue. Le présent mémoire divisé en quatre chapitres nous donne la possibilité de comprendre l'intégralité de ces essais, et d'exploiter au maximum leurs résultats :

- Le premier chapitre qui est un aperçu bibliographique, nous permet de mettre à jour nos connaissances en termes de matériaux, et nous explique l'avancer du monde de la construction dans le domaine de construction en briques de terre, nous y avons mis les différentes définitions du matériau et ses différentes utilisations à travers les siècles et différentes civilisations.
- Le deuxième chapitre nous donne l'opportunité de redécouvrir les différents procédés expérimentaux de chaque analyse, dont la caractérisation, les analyses chimiques, thermiques, et mécaniques.

INTRODUCTION GENERALE

- Le troisième chapitre présente les résultats de différentes analyses faites sur les sols, on présente les résultats de caractérisation qui nous permettent de déterminer la nature et l'appartenance des différents sols à partir
- Le quatrième et dernier chapitre compte les résultats des analyses chimiques, thermiques et mécaniques effectuées sur les briques de terre crue conçues à base des sols étudiés dans les chapitres précédents. Et se conclue en discussion sur les différents résultats obtenus dans ce chapitre.
- Chacun des chapitres présentés est accompagné de figures et tableaux qui aident à mieux comprendre les procédures suivies au cours de la réalisation de différentes étapes de ce projet.

CHAPITRE I Synthèse bibliographique

I.1 INTRODUCTION

Dans le domaine de la construction, il existe plusieurs méthodes et manières d'exploiter les ressources que la nature nous a offertes. En effet l'homme est passé des grottes aux gratte-ciel, mais avant ça il a dû expérimenter plusieurs habitats, notamment les bâtisses romaines, égyptiennes et modernes. Mais en termes de matériaux, le béton reste le plus pilulaire depuis son apparition.

Bien que ça soit solide et sécurisé le béton est nocifs pour notre environnement à cause de l'émission des gaz à effets de serre. Il est responsable de 7% des émissions de gaz carbonique CO₂, et la moitié est produite lors de la fabrication du ciment [2]. Pour y remédier, l'intérêt s'est porté sur la terre crue qui est à l'origine de la construction. « La vraie nouveauté naît toujours dans le retour aux sources. » [Proverbe français]. Il est raisonnable de dire que niveau écologie, et régulation hygrothermique, l'argile est le meilleur écomatériau exploitable qu'on peut trouver grâce à son abondance et son taux de recyclabilité. Grâce à ses vertus historique et écologique, un tiers de l'humanité vit dans des maisons en terre. Ce nombre atteint même plus de la moitié dans les pays du tiers monde [2]. Écologiquement parlant, ce matériau est auto recyclable, d'utilisation infinie ce qui contribue à au bien être de l'être humain quotidiennement à long terme. Qui nous amène à la trouver même dans les bâtisses modernes. [3]

En Algérie, on trouve les constructions en terre crue que nos ancêtres on laisser, preuve que son utilisation remonte à des temps très enceins, en Kabylie et dans l'ensemble des zones rurales et surtout sur le territoire présaharien. On trouve aussi quelques ruines romaines construites exclusivement de terre crue à : Tipaza, Djemila, Timgad ...

Malgré toutes ses qualités et les progrès annoncés dans le domaine de l'utilisation des terres crues, la construction en terre reste susceptible à sa vulnérabilité à l'eau. On manque aussi cruellement de ce domaine de savoir-faire technique ce qui entrave son développement. [4]

I.2 Les Argiles

I.2.1 Définition

On parle dans le domaine des terres de plusieurs définitions des argiles, le terme « argile » en mécanique des sols et des roches, n'est pas le même en physique du sol ; il désigne, selon les cas, un ensemble d'espèces minérales, une famille de roches, une catégorie de sols ou encore une classe granulométrique comprenant des particules minérales, dont le diamètre des grains est inférieur à 2 micromètres [5]

L'argile est un mélange de minéraux argileux et d'**impuretés** cristallines sous forme de débris rocheux de formule générale (Al_2O_3 , $XSiO_2$, YH_2O). Son composant minéral de base est la kaolinite, la montmorillonite, etc. ... [6]

L'argile ou appelé aussi Terre glaise, est une matière naturelle première, résultant de la décomposition des roches mères [7]



Figure I.1 Argile

Les caractéristiques qui font de l'argile un matériau de construction durable : [8]

- Économie d'énergie
- Supériorité thermique
- Moins demandeur en eau
- Durabilité et solidité
- Acoustique supérieure
- Meilleure qualité de l'air intérieur
- Matériau renouvelable
- Écologiquement viable
- Sûreté et sécurité
- Bon élément de structuration en construction

I.2.2 Minéralogie de l'argile

La minéralogie des argiles présente une complexité notable, attribuable à divers éléments constitutifs :

- La présence de couches d'éléments.
- La formation de feuillets élémentaires.

- La composition des particules élémentaires.
- La présence de cristallites ou tactoïdes.

I.2.2.1 La structure en feuillets

Les minéraux argileux se distinguent principalement par une structure en feuillets, ce qui les classe souvent comme phyllosilicates. Ces feuillets se composent de deux couches principales la couche tétraédrique (T ou Te) et la couche octaédrique (O ou Oc), avec des ions d'oxygène et d'hydroxyles (O^{2-} , OH^-) occupant les sommets (**Figure I.2**). Ces ions chargés négativement ont une tendance à se repousser, formant une charpente où des cations peuvent se loger pour assurer la stabilité électrostatique de l'ensemble de la structure

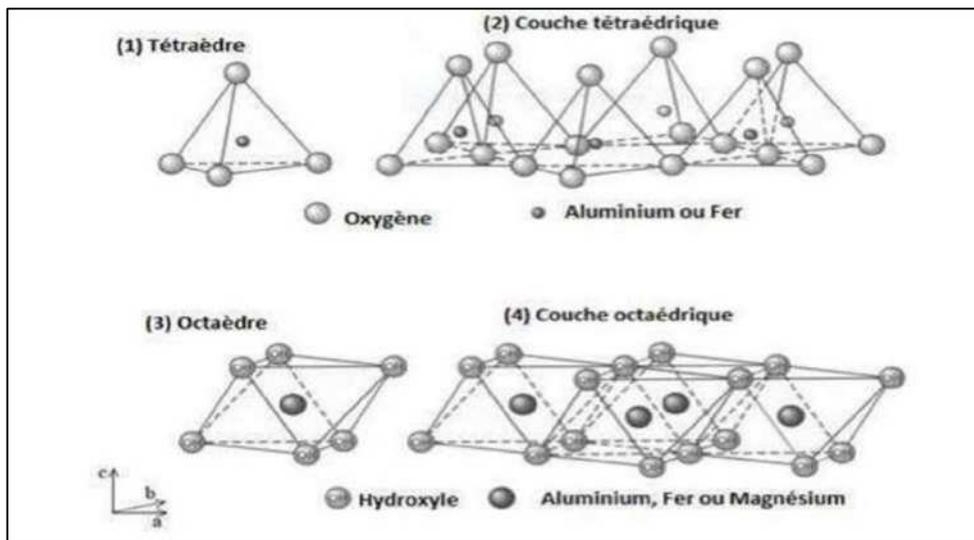


Figure I.2 : Représentations d'un tétraèdre (1) et d'un octaèdre (3), types de l'agencement de tétraèdres et octaèdres respectivement en couches tétraédrique (2) et octaédrique (4)

La structuration des minéraux argileux peut être illustrée comme une unité intégrant un feuillet et un espace inter-foliaire. En règle générale, ce feuillet se compose de deux types distincts de couches. [9]

I.2.2.2 La couche tétraédrique

Il se compose d'un tétraèdre (**Figure I.3**) où quatre ions d'oxygène (O^{2-}) entourent un ion de silicium (Si^{4+}), formant une cavité entre trois sphères en contact. Cette cavité est délimitée par une couche hexagonale d'oxygène, avec l'ion de silicium équidistant des quatre ions d'oxygène. Ce tétraèdre est représenté par une sphère dans la couche d'oxygène adjacente. L'épaisseur de cette couche tétraédrique est de 4,6 Å.

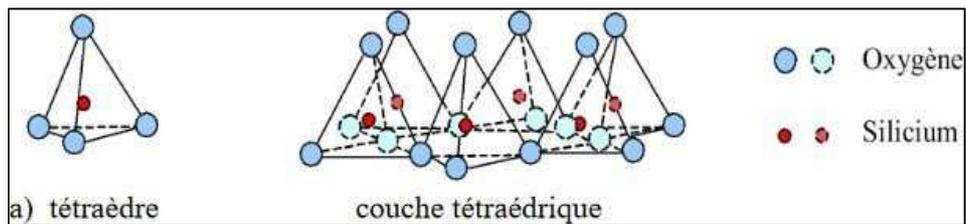


Figure I.3 : Couche tétraédrique (T) : tous les tétraèdres pointent dans le même sens.

I.2.2.3 La couche octaédrique

La couche octaédrique est constituée d'un octaèdre au centre duquel se trouve un ion d'aluminium (Al^{3+}) ou de magnésium (Mg^{2+}), équidistant des six groupements hydroxyle (OH^-) situés aux sommets. Ces octaèdres s'assemblent pour former des couches planes appelées couches octaédriques, et la liaison avec la couche tétraédrique se réalise au niveau des atomes d'oxygène. L'épaisseur de cette couche octaédrique est de 5,05 Å. [10]

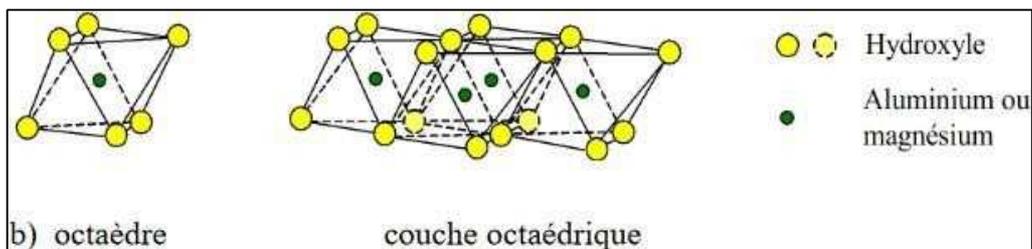


Figure I.4 : Couche octaédrique (O) composée d'octaèdres de gibbsite $\text{Al}(\text{OH})_3$ ou de brucite $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

I.2.2 Principaux minéraux argileux

I.2.2.1 Structure de la kaolinite

La kaolinite est constituée d'une alternance de couches de feuillets tétraédriques (silice) et d'octaédriques (aluminium), comme illustré dans la **(Figure I.5)**, ce qui la qualifie en tant que minéral argileux 1/1, comme le montre la figure. Sa formule théorique est $\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$. Les deux types de feuillets sont liés de manière à former une couche unique d'une épaisseur d'environ 7 Å (0,7 nm) [11], s'étendant indéfiniment dans les deux autres directions. La liaison entre les feuillets est assurée par des liaisons hydrogène, établies entre les hydroxyles de la couche octaédrique et les oxygènes de la couche tétraédrique. Ces liaisons rapprochent les feuillets, empêchant ainsi la pénétration de molécules d'eau, de molécules organiques ou d'ions minéraux, comme illustré dans la **(Figure I.5)**. En conséquence, la capacité de gonflement ou de rétraction des feuillets est absente.

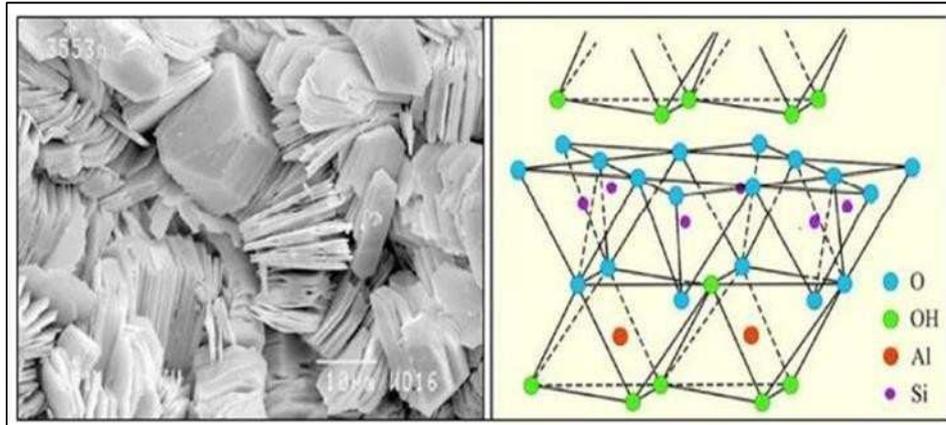


Figure I.5 : Structure de la Kaolinite

I.2.2.3 Structure de l'illite

L'illite se compose d'une couche octaédrique (O) insérée entre deux couches tétraédriques (T), comme illustré dans la Figure 1.15. Sa formule théorique est $(\text{Si}_{4-x}\text{Al}_x)(\text{Al}_2)\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{K})_x$, avec x se situant autour de 0,5 [12]. Les illites sont des minéraux argileux de type 2/1, avec une distance basale stable d'environ 10 Å. Elles présentent souvent des substitutions où le Si^{4+} est remplacé par Mg^{2+} , Fe^{2+} ou Fe^{3+} [12]. Les espaces entre ces atomes sont liés par des atomes de potassium (K). Les ions potassium compensateurs sont faiblement échangeables, ce qui signifie que l'illite a une capacité d'échange cationique (CEC) faible.

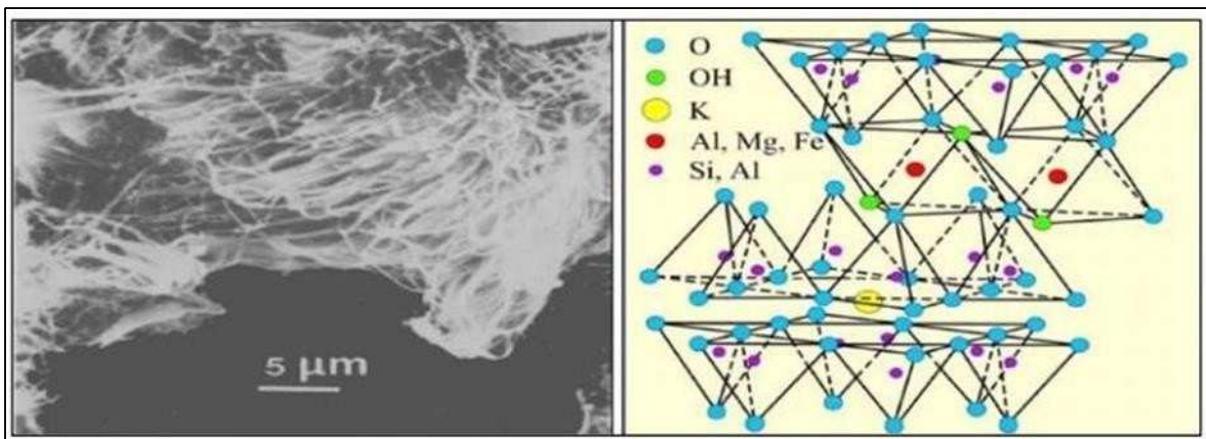


Figure I.6: Structure de l'illite

I.2.3 Structure de Smectites

Parfois appelée la montmorillonite, cette argile est classée comme un minéral 2/1, composé de deux feuillets de silice et d'un feuillet d'aluminium. Chaque couche 2/1 a une épaisseur d'environ 10 Å (1 nm). Les sommets des feuillets de silice sont reliés par de faibles forces de Van der Waals, ce qui permet aux ions échangeables de pénétrer dans la structure et de séparer les couches. Le terme "argile gonflante" découle de la capacité potentielle des espaces interfoliaires à "gonfler". Ainsi, ces argiles présentent une capacité d'échange cationique (CEC) élevée. [12]

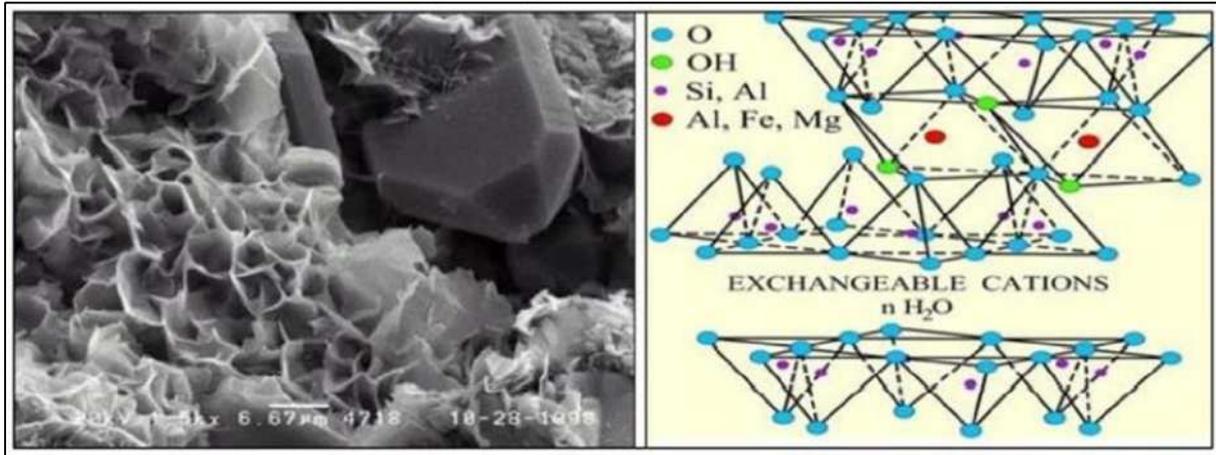


Figure I.7 structure de la smectite

I.2.4 Les différents types d’argiles les plus courants

Tableau I.1 : différents types d’argiles les plus courants

Types de l’argile	Combinaison des feuillets	Formule chimique	Espace inter foliaire
<i>Kaolinite</i>	<i>T-O</i>	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	<i>Liaison hydrogène forte</i>
<i>Illite</i>	<i>T-O-T</i>	$(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)]$	<i>Présence de K^+</i>
<i>Montmorillonite</i>	<i>T-O-T</i>	$(Na,Ca)_{0.3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot n H_2O$	<i>Présence ou pas descations hydrates (Na^+ et Ca^+)</i>

I.2.5 Domaines d’utilisation des argiles [13]

Les argiles ont beaucoup d’utilisations dans différentes industries, comme la santé, la médecine, l’industrie, l’agriculture et la construction. Voici ses différents usages dans ces différents domaines :

➤ Les produits de beauté :

Les argiles sont couramment utilisées dans les masques pour le visage et les cheveux car ils sont purifiants et absorbants.

Elles sont parfaites pour les peaux mixtes à grasses, aidant à prévenir les impuretés et le sébum.

➤ Matériel médical

Les argiles sont utilisées dans la médecine traditionnelle pour traiter des maladies, des soins cutanés et de la santé vétérinaire pour traiter les traumatismes chez les animaux. Elles sont utilisées pour prévenir et traitement des maux de santé.

➤ En industrie

Les argiles sont utilisées dans les produits de la nourriture, comme le pétrolier, la papetière, la céramique et la chimie. Elles servent à texture, à charge ou à piéger des substances chimiques dans divers processus industriels.

➤ Agriculture

Les argiles sont bénéfiques en agronomie, car ils encouragent la croissance des plantes. Elles peuvent améliorer la structure des sols et retenir l'eau et les éléments nutritifs.

➤ Construction

Les argiles sont utilisées dans la fabrication de briques, de poteries et de génie civil pour leurs propriétés plastiques et imperméables.

Elles peuvent stocker des déchets toxiques ou radioactifs car ils peuvent piéger les métaux lourds.

Ces applications montrent que les argiles sont importantes dans beaucoup de secteurs, comme la beauté, l'industrie, la santé et l'environnement.

I.2.6 Utilisation de l'argile comme matériaux de construction

L'argile, utilisée comme matière de construction, offre une multitude de bénéfices qui la placent comme un choix écologiquement responsable, pérenne et peu coûteux.

L'argile se veut un matériau de construction aussi bien ancestral que contemporain, reconnu pour son utilisation simple, sa longévité et sa dimension écologique [14] [15] [16].

Les produits de construction dérivés de l'argile, tels que les briques, revêtements et blocs, répondent aux normes de construction modernes en termes de finition, qualité et coût [14] [16].

L'argile est un matériau polyvalent, permettant une vaste variété d'usages dans la construction, du mur à la façade, sans oublier les espaces verts et terrasses [15].

Outre son aspect économique, l'argile est connue pour son excellente résistance aux conditions climatiques, aux séismes et aux incendies, tout en absorbant les odeurs et en améliorant le confort thermique des édifices [16] [17].

L'argile est un matériau recyclable, facilitant les travaux de réparation et une réutilisation efficace, contribuant ainsi à une approche durable de la construction [18].

I.3 La Brique

I.3.1 Histoire de brique

L'origine de la brique remonterait à 7000ans avant J. C. dans la région du Tigre et de l'Euphrate. Son utilisation se généralise au IIIe millénaire comme matériau de construction avec la sédentarisation de l'homme. L'obligation de se protéger de façon durable des intempéries et des prédateurs impose à l'humanité de trouver un matériau dur et résistant. De plus, la brique est aisément réalisable à partir d'argile_ou de terre. Les premières maisons en brique été

découvertes en Irak puis en Mésopotamie et son usage couvre rapidement dans tout le Moyen-Orient.

Les Figure I.5. Et I.6, montrent respectivement, la brique de Pyramide de Comalcalco, Tabasco, Mexique et la brique émaillée qui était déjà connue dans la Mésopotamie antique [19]



Figure I.8 : La brique émaillée était déjà connue dans la Mésopotamie antique



Figure I.9 : Comalcalco, Mexique pyramide de briques mayas Pyramide de briques mayas au site de Comalcalco, Tabasco, Mexique

Durant une période étendue, le matériau connu sous le nom d'adobe, une forme de terre crue, était couramment moulée et desséché sous les rayons du soleil. Ce procédé permettait de créer aussi bien des adobes simples que des structures aussi imposantes que la pyramide d'Amenemhat III, aussi appelée la pyramide noire. Toutes fois, ce matériau restait vulnérable et présentait peu de résistance face aux conditions climatiques extrêmes. Par la suite les hommes réalisèrent que laisser les briques à l'exposition solaire prolongée les transformait en une matière plus dure et résiliente. De ce fait, ils commencèrent à cuire ces briques, la cuisson de la brique fut expérimentée 2500 avant J. C. en Mésopotamie et dans la vallée de l'Indus. Cette innovation permit la construction de structures plus grandioses et solides. En Assyrie et Grèce, non seulement la cuisson était utilisée pour renforcer les briques, mais aussi pour orner des frises et produire des briques émaillées. Au XV^e siècle, le nord de l'Italie excellait dans cet art, décorant divers bâtiments et monuments avec des frises délicates, des guirlandes et des festons. [19]

En 1830, Auguste Virebent a révolutionné l'industrie de la brique en obtenant un brevet pour un nouveau type de presse à brique. Cette innovation a marqué le commencement de l'ère industrielle pour la brique. De plus, il a conçu un outil novateur, baptisé « plinthotomie ». Cette machine, comparable à un emporte-pièce, était capable de sculpter différentes formes dans de l'argile fraîche. Grâce à cet appareil, il n'était plus nécessaire de faire appel à un sculpteur, ce qui a permis l'industrialisation de la production de briques [20].

La révolution industrielle a conduit à la fusion de plusieurs briqueteries pour former de grandes usines. L'utilisation de fours à charbon a rendu possible la création de fours de plus grandes dimensions, et les hautes cheminées en briques sont devenues des caractéristiques distinctives de ces briqueteries. L'essor du béton et de l'acier après les deux guerres mondiales a conduit au remplacement progressif de la brique.

I.3.2 Définition de la brique

Une brique est un matériau de construction en forme de parallélépipède rectangle. Elle peut être faite de terre argileuse crue ou cuite au four. On l'utilise principalement pour construire des

murs. La brique, un matériau de construction essentiel, est fabriquée en chauffant une petite quantité d'argile préformée à une température spécifique - la température de cuisson. À ce stade, les particules d'argile commencent à se fondre et à se lier, créant une substance avec une texture semblable à celle de la roche. Une fois cuite, la brique maintient une certaine porosité, une caractéristique qui lui donne des propriétés distinctives et la distingue des autres matériaux de construction. [21]

I.3.2.1 La brique de terre cuite

On appelle la brique de terre cuite une brique naturelle qui est fabriquée dans des méthodes traditionnelles. En général, elle est faite à base de sable et d'argile et cuite dans un four à 1200°. Cela rend la construction plus authentique que le parpaing. Elle a souvent une couleur jaune ou rouge car elle est faite d'argile. [22]



Figure I.10 : La Brique de terre cuite

I.3.2.2 La brique de terre crue

La terre crue est un matériau de construction traditionnel. La muraille de Chine a des vestiges de l'âge de Bronze. Beaucoup de monuments du patrimoine mondial sont en terre crue, comme des forteresses [23].

Aujourd'hui, environ 40% des gens habitent dans des maisons en terre crue dans le monde [23]. Elle est facile à mobiliser, Elle n'y a pas de matériel sophistiqué. Cuisson et transformation industrielle pour réduire le CO2. [23]



Figure 1.11 : La Brique de terre crue

I.3.2.3 La construction en terre crue dans le monde

La construction en terre crue connaît un regain d'intérêt à l'échelle mondiale, notamment avec le développement de matériaux de construction adaptés aux différents types de construction et

disponibles localement. Selon un document du [CRATerre] (Centre international de la construction en terre), plus d'un tiers de la population mondiale habite encore dans des maisons en terre. [24]

Les zones construites en terre s'étendent sur l'ensemble des continents (Figure 1.7). Cette technique ancestrale de construction est encore largement utilisée dans de nombreuses régions du globe, en Afrique, en Asie, en Amérique latine et même dans certaines parties de l'Europe et de l'Amérique du Nord.



Figure 1.12 : Construction en terre dans le monde

I.3.2.4 Technique de construction en terre

Les constructions en terre sont solides, ce qui permet de bâtir des édifices durables depuis des millénaires. Quand on regarde les différents bâtiments construits, on constate qu'il existe de nombreuses façons de les réaliser. Il y a en effet différentes méthodes pour utiliser la terre crue. Chacune de ces techniques est née dans des contextes géographiques, des modes de vie, des coutumes et des climats différents, ou selon les matériaux disponibles. Les cinq techniques de construction les plus répandues sont le pisé, l'adobe, le torchis, la bauge et les briques de terre comprimée (BTC), mais il en existe beaucoup d'autres. Chaque technique a ses propres caractéristiques et utilise un type de terre bien spécifique. Chacune d'elles nécessite en effet une granulométrie (taille des grains) et des niveaux d'eau et d'humidité différents [25].

I.3.4 Fabrication en terre crue

La brique crue est également utilisée en Lorraine on y faisait également des briques desséchées au soleil et posées avec un mortier d'argile, la construction étant simple et peu coûteuse. Une partie de terre dont la surface est déterminée en fonction de la taille du bâtiment à construire était labourée dans plusieurs sens ; une masse était appliquée sur cette partie de terre et la forme en surface unie ; puis, par des règles et un tranchant, cette terre battue était coupée en lignes droites, espacées de 8 à 9 pouces, et par d'autres transversales de quatre à cinq pouces de distance. Chacun de ces carreaux ainsi dessiné avait un champ recouvert de briques. Cette terre était laissée bien dessécher et prendre le plus de consistance possible, et, après un temps suffisant, on retirait chaque carreau qui avait alors la forme d'une brique de deux pouces environ d'épaisseur. En posant chaque assise de la même manière sur un lit de terre délayé en consistance de mortier, on élevait un bâtiment avec des pareilles briques. [27]

La technique 'd'adobe' est connue en Méditerranée et en Amérique latine, où elle est encore un patrimoine de nombreuses familles pauvres.

La terre crue est une alternative à une industrie briqueterie qui consomme beaucoup d'énergie. Les fours à brique ont des coûts d'approvisionnement énergétique qui empêchent certaines briqueteries de fabriquer des briques en terre cuite. [28]

I.3.5 Les types de brique crue

Il existe plusieurs types de terre crue entre autres nous citons :

1-L'adobe

1-1 Définition

Des briques moulées en terre crue appelées « adobes » étaient les premiers éléments de construction préfabriqués utilisés par l'homme, une technologie qui a été utilisée depuis des millénaires à travers le monde. L'adobe consiste en un mélange de sable, d'argile, d'une quantité de paille hachée ou d'autres fibres pour la construction. De nature plutôt argileuse (jusqu'à 30% de fraction fine), mais très sableuse, ajoutée d'eau jusqu'à obtenir un état de pâte semi-fermée (15 à 30% d'eau). Chaque composant du mélange a sa fonction. Le sable diminue les risques de microfissures dans le bloc de terre, tandis que l'argile rassemble les particules et la paille hachée apporte une certaine souplesse. [29, 30,31]

Par la suite, ce mélange est placé manuellement dans un moule en bois créé à partir de petits éléments de maçonnerie, de la taille nécessaire pour être démoulé et séché directement au sol. (Figure I.9)

La dimension de la brique d'adobe peut varier de 15 X 25X 10 cm à 30 X 60 X 10 cm. La construction en adobe est très répandue dans le monde entier, y compris en Chine, en Afrique, en Amérique latine, en France et aux États-Unis d'Amérique [29, 30,31]



Figure 1. 14 : Moulage et séchage des blocs adobes

1-2 La réalisation

La réalisation des blocs d'adobe nécessite de suivre une série d'étapes, allant de l'extraction de la terre au stockage final du matériau destiné à la construction [32]

1-3 Les méthodes de réalisation de l'adobe

Deux méthodes principales de réalisation des adobes sont distinguées : l'un manuel et l'autre mécanisé, qui distinguent les méthodes traditionnels et modernes de production.

1-4 La méthode de réalisation manuelle

a) Moules simples

Il est un moulage classique, façonnage manuel ou moule Façonnée à la main (figure I.10), le sol est utilisé en pâte plastique mi-ferme. La terre peut être utilisée à deux niveaux hydriques : pâte mi-molle et selon un procédé dit « coup d'eau » (moule nettoyé et mouillé pour faciliter le démoulage) ou pâte mi-ferme et selon un procédé dit « coup de sable » (le moule nettoyé et mouillé est sou-poudré de sable pour faciliter le démoulage) Les ouvriers effectuent entre 400 et 600 blocs par jour dans ces deux techniques de moulage manuelle.

b) Moules multiples

Il y a des moules grands qui ont des petits compartiments, généralement en forme d'échelles ou de carrée subdivisés en petits compartiments et la terre est livrée à l'état liquide par des brouettes, des dumpers ou des bulldozers. Parfois, on déverse directement la terre depuis un malaxeur qui est mobile et transporté par ou sur un camion. Les moules doivent être propres et mouillés avant d'y déverser la terre. Les adobes qui peuvent se casser dans la terre sont plus liquides que les autres.

Il est préférable de faire une terre qui contient des gros sables et petits graviers. La production mécanisée est organisée autour de deux postes principaux : le malaxage et le moulage. Ils occupent 5 à 6 ouvriers selon la taille des unités. La production moyenne est de 8000 à 10 000 blocs par jour.

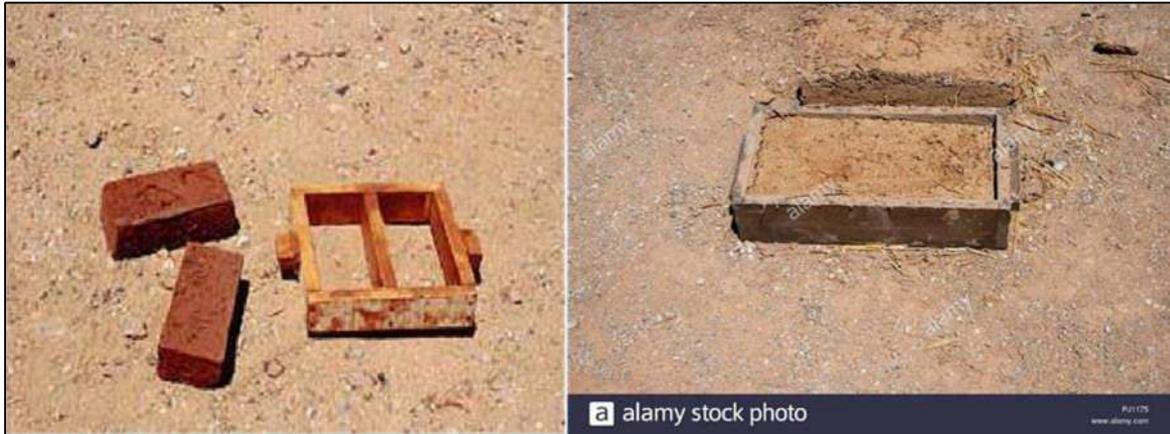


Figure I.15 : moule de l'adobe

1-5 La méthode de réalisation mécanisé

La réalisation mécanisée de blocs d'adobe a commencé aux États-Unis d'Amérique, en particulier par un fabricant californien, Hans Stumpf. Il a créé une machine à traction par un animal domestique, puis à moteur et à pneus, avec une trémie mobile au-dessus d'un moule à compartiments multiples, recevant directement de la terre et déposant les 25 blocs au sol. Ce type de machine peut produire entre 20 et 30 000 blocs chaque jour.

1-6 Les produits

Les produits issus de la production des adobes, qu'elle soit manuelle ou mécanisée, sont très diversifiés. La plupart du temps, ils dépendent directement des compétences traditionnelles et diffèrent en ce qui concerne le type de terre utilisé, le mode de moulage, les dimensions des blocs (très variables) et les utilisations 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 mesures les plus courantes sont de 40 x 40 x 15 cm, 40 x 30 x 15 cm, 40 x 20 x 10 cm, etc. Il existe en général trois catégories principales de produits : Produits traditionnels, produits spécialisés, produits antisismiques [32, 33]

1-7 Les avantages de l'adobe

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

- Il a la capacité de régulariser l'humidité de l'air.
- D'emmagasiner la chaleur.
- Réduire la consommation d'énergie.
- De ne produire virtuellement aucune pollution.
- Construction peu coûteuse.
- N'entraîne pas la production de gaz [29].

2- Les pisés

2-1 Définition

Le pisé est une technique séculaire de mise en œuvre de terres crues qui offre des caractéristiques exceptionnelles d'habitabilité et d'adaptation, mais qui nécessite une attention et un suivi régulier. Le bâtiment a été bien construit et protégé pendant des siècles et s'adapte naturellement aux besoins divers des hommes. [34]

Les bâtiments en pisé sont habituellement en forme de « bonnes bottes » et d'un « bon chapeau ». Ainsi le soubassement est traité de façon à éviter les remontées capillaires (le plus souvent

en galets, en pierre ou en briques de terre cuite maçonnées) et le débord de toiture est suffisant pour éviter le ruissellement de l'eau sur la façade.

Selon lui, la compaction d'un volume de terre à l'intérieur d'un coffrage est effectuée manuellement à l'aide d'un pilon ou d'une machinerie spécialisée.

Un exemple de coffrage est présenté dans la (figure I.16) pour la fabrication de murs en pisé. [30]

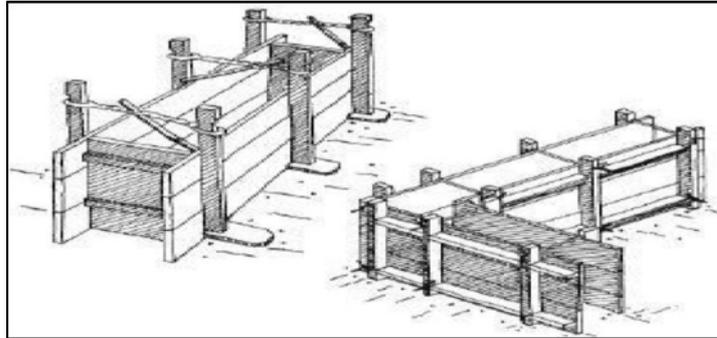


Figure I.16 : Coffrage utilisé dans la conception de murs en pisé [29].

2-2 La technique de production

Le pisé est une technique particulière pour monter un mur en terre crue : il est compacté avec un pilon dans des coffrages de grande largeur qui se superposent pour obtenir la hauteur des murs (figure I.17). [34]

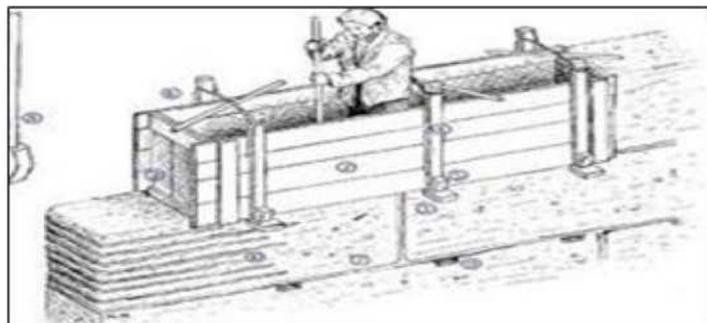


Figure I.17 : Construction un mur en pisé.

Il n'est pas nécessaire de transformer la terre pour Altérer ses propriétés basiques, car cette technique permet d'utiliser la terre généralement directement du site de la construction.

Les « lits de chaux » ou « cordons de chaux » sont souvent utilisés pour relier les différentes « banchées » (hauteur de coffrage).

Cependant, cette technique ne s'applique pas à toutes les terres. La granulométrie de la terre à piser doit être variée : graviers, sables, limons et argiles dans des proportions bien définies, même si les lieux d'extraction auront des caractéristiques différentes (couleur, tenue aux intempéries, etc.). (Figure I.18) [34]

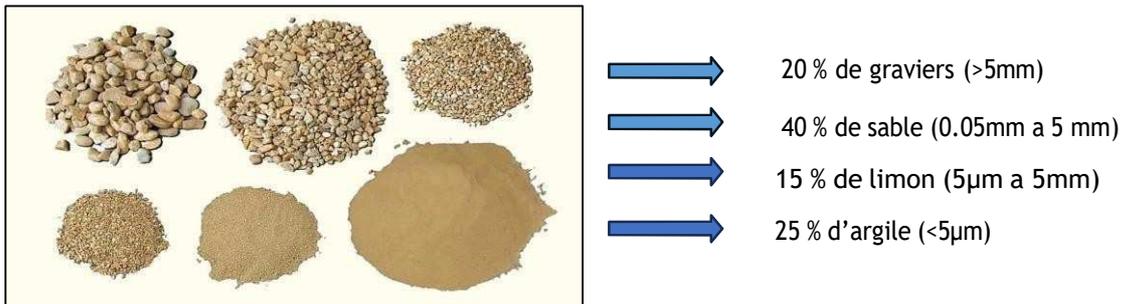


Figure I.18 : composition de pisé.

2-3 Les produits concernent différents types de pisé

Le matériau de terre est un béton maigre, qui peut être différent en fonction du type de terre (comme des graviers et des cailloux ou une texture plus fine), des principes constructifs utilisés pour édifier la maçonnerie de terre en "banchées" successives. [32]

2-4 Les Avantages de pisé

Dans le domaine du bâtiment, la qualité de la terre est multiple : -

Régulateur d'humidité : pouvoir passer la vapeur d'eau.

- Les bâtiments centenaires sont très présents tout au long de la vie.
- Il réduit le transfert de chaleur et assure un confort indéniable durant l'été.
- Objet très inerte, c'est-à-dire très capable de capter et de restituer la chaleur par rayonnement.
- La qualité acoustique et l'isolement phonique.
- Rappel simple, mais avec expertise [34]

3-Les blocs de terre comprimée

3-1 Définition

Les BTC sont des éléments de maçonnerie, de dimensions réduites et de caractéristiques régulières et contrôlées, obtenus par compression statique ou dynamique de terre à l'état humide puis un démoulage immédiat. Les blocs de terre comprimée sont de forme parallélépipédique rectangulaire, pleine ou perforés, avec un relief vertical ou horizontal.

La cohésion des blocs de terre comprimés dépend principalement de la fraction argileuse de la terre (gravier, sable, limon et argile). Cependant, un additif tel que du (ciment, chaux, pouzzolane, etc.) peut être ajouté à la terre pour améliorer ou développer des caractéristiques particulières des produits.

Les caractéristiques finales sont dégradées par la qualité des matières premières de ces BTC.

La qualité de l'exécution des différentes étapes de fabrication (préparation, malaxage, compression, cure) est déterminée par la terre et l'additif. [35]



Figure (I.19) (I.20) : Brique de terre crue compressée réalisée à l'aide d'une presse manuelle

3-2 Réalisation de blocs de terre comprimés

Les blocs de terre comprimés peuvent être assimilés aux blocs de terre cuits produits sans compactage, sauf pour la phase de cuisson. La production sera organisée en petites unités de production artisanales (ou briqueteries) ou en unités de production semiindustrielles ou industrielles. Les aires de production, de séchage et de stockage varient également en fonction des modes de production et des conditions de production en fonction de l'environnement climatique, social, technique et économique [31]

3-3 Les avantages de bloc de terre comprimé

- La BTC est un matériau écologique composé principalement d'argile, de sable, de gravillons et d'un peu de ciment, fabriqué sans cuisson.
- Un mur en BTC permet un confort thermique et phonique excellent grâce à son inertie thermique et sa masse.
- La résistance à la compression d'une BTC dépasse les 60 bars (60 kg/cm²)
- L'intérêt architectural et esthétique de la BTC : en cloison, en mur porteur, la BTC offre une diversité de formes, de motifs dans son utilisation.
- Il est facile de mettre en place la BTC en utilisant un mortier de terre modifié. Il s'agit de règles de construction simples [36]

Tableau I.3 Les caractéristiques des briques de terre crue (Adobe, Pisé, BTC) : [37]

Caractéristique	Type de brique de terre crue		
	Adobe	Pisé	BTC
Masse volumique (Kg/m³)	1200-1700	1700-2200	1700-2200
Résistance (MPA) à la compression	2-5	<2.4	<2.4
Résistance à la traction (MPA)	-	0.5-1	-
Conductivité (W/m.°C) thermique	0.46-0.81	0.81-0.93	0.81-1.04
Chaleur spécifique (J/Kg.°C)	900	850	-

Capacité thermique (KJ/m³. °C)	1350	850	-
Absorption d'eau (%)	5	10-20	10-20
Isolation acoustique (dB)	-	50 dB pour 40 cm 40 dB pour 20 cm	50 dB pour 40 cm 40 dB pour 20 cm
Retrait au séchage (mm/m)	1	1-2	0.2-1
Emploi en maçonnerie	Porteur	Porteur	Porteur
Surface	Irrégulière	Rugueuse a lisse	Lisse
Esthétique	Pauvre	Bon a excellent	Moyen a bon

I.3.6 La stabilisation des briques

I.3.6.1 Définition de la stabilisation

La stabilisation est un ensemble de procédés physique, chimique ou mécanique visant à améliorer les caractéristiques d'une brique, en particulier sa résistance portante, sa sensibilité à l'eau et sa durabilité. Elle doit permettre :

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

I.3.6.2 Méthodes stabilisatrices

Il existe en général trois grands procédés de stabilisation :

a) La stabilité mécanique

La densification est un procédé de stabilisation mécanique qui permet d'améliorer la brique en modifiant sa densité naturelle. Le compactage consiste essentiellement à réduire la porosité du matériau en resserrant les particules. Dans de bonnes conditions, le compactage provoque une diminution de la perméabilité, de la compressibilité, de l'absorption d'eau et du gonflement.

Les résistances mécaniques augmentent initialement et à terme. Le compactage à lui seul permet d'obtenir un matériau ayant des caractéristiques mécaniques élevées. Cependant, ces matériaux sont très sensibles à l'eau. En contact avec de l'eau, la brique se transforme en plastique et ne supporte plus du tout la compression. Un tas de boue se forme au fond du seau après l'immersion d'une brique de terre dans un seau d'eau. Si les briques de terre sont bien abritées (grands débords de toiture, barrières contre le rejaillissement, soubassements assez hauts) Drainage au pied de mur), pas besoin de stabilisation.

b) Ajouts des fibres

La stabilisation à l'aide de fibres est une méthode courante dans les méthodes traditionnelles de construction de terre. Elle implique entre autres l'ajout de paille dans les terres pétrissées et appliquée sur des clayonnages en bois ou moulées sous forme de blocs de terre séchée au soleil.

L'incorporation de fibres a de multiples effets : diminution, voire suppression de la fissuration de retrait, accélération du séchage par élimination de l'humidité à l'extérieur du matériau, agrandissement du matériau, augmentation de la résistance à la traction, qui est probablement l'avantage le plus important.

Les fibres utilisées, outre la paille qui est la plus utilisée, comprennent également d'autres fibres végétales comme balle de céréales, fibres de chanvre, de noix de coco, de sisal, débris du teillage du lin ou du chanvre, charges végétales légères comme sciures de bois et copeaux. Dans certaines traditions, on utilise également des fibres d'origine animale, telles que des poils, des crins ou des bourgs d'animaux, ainsi que des fibres de synthèse, telles que du cellophane, de l'acier ou du verre. [39] [40]

c) Stabilisation par voie chimique

La stabilisation chimique change les caractéristiques d'une brique de terre grâce à l'action de certains adjuvants. Pour réduire la susceptibilité à l'eau, on applique généralement des produits (liants hydrauliques, par exemple) qui rendent les sols traités moins sensibles à l'eau. L'adjonction de la chaux ou du ciment avec des liants hydrauliques permet de lier les grains de sable tout en stabilisant l'argile de terre. Les caractéristiques mécaniques ainsi que la sensibilité à l'eau sont améliorées. Il faudra veiller à ce que l'eau de gâchage ne contient ni de matière organique ni de sulfates. Selon Remillon, cité par Ottou (1987), la méthode anglaise considère que tous les sols peuvent être utilisés, à l'exception de ceux dont la nature est trop plastique, c'est-à-dire ceux dont l'indice de plasticité est supérieur à 20% et ceux contenant des sulfates nuisibles au ciment ou aux chaux ou aux matières organiques. [38]

La liaison, qui consiste à introduire dans une terre d'autres matériaux (liants hydrauliques par exemple) ou produits chimiques, modifie ses propriétés par la génération de réactions physico- chimiques pouvant conduire à la formation d'une matrice d'enrobage ou de liaison des particules ou à la formation d'un autre matériau. [39] [40]

- Imperméabilisation

On introduit dans la terre une matière insensible à l'eau (bitume, bentonite, etc.) qui va combler les vides, les pores et les fissures et rendre la terre étanche. Ce traitement améliore la résistance à l'érosion et stabilise le gonflement et le retrait [39] [40].

- **Ajout de chaux**

Les travaux de stabilisation des terres à la chaux ont commencé dès le début du XXe siècle et ont suscité un intérêt grandissant dans le secteur du bâtiment.

- Mécanisme

- Dans une terre humide, la chaux vive subit une réaction d'hydratation qui provoque un dégagement important de chaleur.
- La carbonatation due à une conversion de la chaux en dioxyde de carbone de l'air contenu dans la terre en ciments carbonate.
- Le mécanisme le plus important, c'est la réaction pouzzolanique. Les minéraux argileux sont dissous en milieu alcalin, ce qui conduit à la formation de silicates, d'aluminium et de calcium (recombinaison de la silice et de l'alumine des minéraux argileux) qui cimentent les grains entre eux. [39]

- Efficacité de dosage

La terre est asséchée grâce à la réaction exothermique d'hydratation des chaux. La plasticité est réduite pour 2 à 3% de chaux ajoutée, les dosages en chaux sont généralement réalisés entre 6 et 12 %. [39] [40]

b) Stabilisation physique

La stabilisation physique améliore les caractéristiques du matériau en corrigeant la granulométrie (texture) Sikali a étudié la stabilisation granulaire d'une latérite par l'ajout de gravillons concassés en 1987, selon Ottou (1987), en diminuant l'indice de plasticité du matériau de base ou en lui conférant une certaine cohésion. Il a observé que la portance du matériau étudié augmente significativement pour un pourcentage optimal du matériau d'apport. [38]

Il s'agit essentiellement d'une intervention sur la texture de la terre en modifiant sa composition granulaire en tamisant des fractions de grains excédentaires ou en apportant des fractions de grains faisant défaut. [39] [40]

I.3.7 Les avantages de la construction en terre crue [41]

- **Avantage écologique**

La terre crue est un matériau abondant et naturel qui se recycle facilement. Son extraction et son utilisation nécessitent très peu d'énergie grise, ce qui en fait un choix écologique intéressant.

- **Avantage économique**

Dans le contexte économique actuel, les techniques de construction en terre crue offrent une alternative intéressante aux matériaux de construction plus coûteux comme le béton et l'acier. De plus, la construction en terre crue utilise principalement des énergies naturelles ou renouvelables, ce qui la rend peu coûteuse.

- **Avantage culturel**

L'utilisation de la terre crue permet de valoriser les savoir-faire traditionnels et de prendre conscience de l'intérêt patrimonial de ce mode de construction.

- **Avantage sanitaire**

La terre crue offre de bonnes propriétés de régulation hygrométrique. Elle absorbe l'humidité en excès, la stocke et la restitue lorsque l'air devient trop sec. Son inertie thermique ralentit également les échanges de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur, contribuant ainsi au confort des occupants.

Après avoir longtemps été éclipsée par les constructions industrielles, la construction en terre crue connaît aujourd'hui un regain d'intérêt grâce à ses excellentes propriétés environnementales.

I.3.8 Inconvénients de la construction en terre crue

- Dégradation des briques sous l'action des intempéries

Un inconvénient majeur de la construction en terre crue est la dégradation des briques sous l'action des intempéries. La succession des phénomènes climatiques tels que la pluie, le soleil, le froid, l'humidité et le vent détériore progressivement le matériau. - **Faible résistance des briques non stabilisées**

Un autre inconvénient est la faible résistance des briques de terre crue non stabilisées. Cette fragilité peut compromettre la durabilité des structures construites avec ce type de matériau.

I.4 Etat de l'art

- **(P. Muñoz, et al, 2020)**, dans leurs étude ils ont évalué la résistance de l'adobe renforcé avec des déchets provenant de l'industrie du papier et de la pâte à papier (PPR) afin de démontrer sa compatibilité. Diverses séries ont été réalisées, avec une variation du taux de substitution jusqu'à 20%, et une évaluation des caractéristiques technologiques et toxiques. On constate que la résistance à la compression peut être augmentée jusqu'à 190%, tandis que la conduction thermique peut être réduite de près de 30% pour remplacer 125% de PPR. [42]
- **(Dormohamadi M, et Al ,2020)**, dans la recherche effectuer, il a été examiné que l'influence de la compaction dynamique sur les caractéristiques mécaniques des adobes en utilisant des sols argilo-limoneux d'Ardakān, Yazd, Iran. Il met l'accent sur les résistances à la compression, à la traction et à la flexion en relation avec la répartition granulométrique du sol. Selon les résultats, il semblerait que la stabilité mécanique de stabilisation soit également influencée par la composition du minerai. L'étude impliquait l'analyse d'échantillons provenant de six mines différentes et l'étude de leurs caractéristiques physiques, minérales et chimiques. Selon les résultats, la compaction dynamique a augmenté la résistance à la compression de 79,43%, la résistance à la traction de 42,422 % et la résistance à la flexion de 75,00% par rapport aux adobes non compactés. Ainsi, le compactage dynamique est une méthode acceptée pour la fabrication de matériaux de sol conformes à l'adobe. [43]
- **(Colbert Babéa, et Al ,2020)**, dans leurs étude ils ont utilisé des blocs d'adobe fabriqués à partir de terre avec des quantités différentes de millet résidu. Les briquets sont testés pour leurs caractéristiques géotechniques, mécaniques, thermiques et de durabilité. Selon les résultats, les fibres de millet peuvent améliorer la résistance à la compression et la conductivité thermique de 38 et 23%, respectivement, avec 2% et 4% de fibres de millet. De plus, l'utilisation de fibres de millet dans les matrices argileuses conduit à des composites plus résistants par rapport aux matrices pures. Cela transforme les fibres de millet en un soutien, améliorant les caractéristiques thermomécaniques et la résistance des briques. Ainsi, les briques en fibre de millet peuvent être utilisées sans dommage et à un prix abordable comme matériaux de construction.[44]

- **(Moussa Ouedraogo, et Al, 2020)**, dans leurs études ils ont étudié l'influence du papier phonio sur les caractéristiques physiques, thermiques et mécaniques des adobes. Les premiers matériaux (so et phonio papier du Burkina Faso) ont été analysés à l'aide de différentes méthodes, telles que les méthodes chimiques, minéralogiques, géotechniques et microstructurales. On étudia les caractéristiques physiques et mécaniques des adobes, en mettant l'accent sur leur comportement en ce qui concerne la détérioration et les fractures. Le phonio papier, qui contient de la quasi-cristalline et des hémicelluloses, présente une absorption accrue de l'eau et une porosité significativement augmentée en raison du malaxage. La nature isolante de la cellulose et sa faible densité ont contribué à une diminution significative de la conductivité thermique. L'utilisation de petites. [46]
- **(Abdelhak MAACHI, et Al, 2021)**, L'étude caractérise d'abord la nature pétrographique et les propriétés physiques de deux sites de construction en utilisant l'analyse granulométrique, la densité spécifique, la limite de liquidité et l'indice de plasticité. Les propriétés physiques de deux blocs de béton (adobe et terre comprimée) sont ensuite mesurées, les résultats montrant que les propriétés les plus affectées sont la rétention d'eau et le comportement au feu. Elle comprend des essais de résistance à la compression pour des cycles de chauffage afin de mesurer la perte mécanique en fonction de la température. L'étude comprend également des essais de pression hydrostatique suivant le protocole standard NORDTEST pour quantifier le potentiel de régulation des variations de l'humidité relative dans les constructions en béton. [48]
(Carmen Salazar-Hernández, et al, 2021), dans leurs études ils ont étudié Quatre consolidant pour la conservation des bâtiments en adobe ont été synthétisés et évalués à l'aide de briques d'adobe provenant de Guanajuato, au Mexique. Les consolidant étaient à base de TEOS, de nanoparticules de silice, de PDMS-OH et d'un consolidant hybride. Les résultats ont montré que la silice colloïdale améliorait la porosité du gel de TEOS et que le PDMS améliorait la flexibilité, évitant ainsi les fissures. L'ajout de ces deux composants au gel de TEOS s'est avéré être un excellent traitement de consolidation pour les matériaux d'adobe. [49]
- **(Weinan Han. Feng Wu, et al, 2023)**, dans leurs études ils ont étudié les propriétés de compression de la maçonnerie en pisé renforcée par des composites à base de fibres. Les composites comprenaient de la résine époxy et du polyuréthane en phase aqueuse, ainsi qu'une combinaison des deux. Des essais de compression uni-axiale ont été menés sur douze maçonneries d'adobe, dont trois n'ont pas été renforcées et les autres ont été renforcées par des polymères renforcés par des fibres (PRF), une matrice de terre renforcée par des fibres (FREM) et des polymères renforcés par des fibres avec une matrice de terre (PRF-EM). Les résultats ont montré que les PRF amélioraient la résistance de 56,4 %, tandis que la matrice de terre renforcée par des fibres (FREM) n'augmentait que faiblement la résistance en raison d'une défaillance prématurée due au décollement. Le PRF et le PRF-EM ont empêché la formation et la propagation des fissures, tandis que le FREM a réduit la largeur des fissures principales. [50]

- **(Mahgoub M. SALIH, et al, 2020)**, dans leurs étude ils ont examiné les recherches sur l'utilisation de déchets comme renforcement dans la production d'adobe brique. Le recyclage de ces déchets offre des matériaux de construction durables et une protection de l'environnement. L'étude examine les conséquences des additifs résiduels sur les caractéristiques physiques et mécaniques des briques d'adobe. Les résultats montrent des caractéristiques améliorées grâce à l'ajout d'additifs à l'azote. Il est bénéfique pour les ingénieurs et les designers qui recherchent des solutions écologiques, ainsi que pour les chercheurs qui développent des méthodes pour évaluer, optimiser et tester les performances des matériaux recyclés. [51]
- **(Rosa Angélica Lara-Ojeda, et al, 2022)**, dans leur étude ils ont examiné l'utilisation du zeolite comme stabilisateur pour l'adobe, mettant en évidence sa capacité à améliorer ses caractéristiques physiques et chimiques. Les adobes ont été fabriqués avec différents types de sol et de sable, en maintenant un rapport de 1:1 entre le sol et le sable. On a constaté que le comportement de l'adobe est influencé par la relation synergique entre le sol, le zeolite et le lime, avec des variations significatives de la résistance à la compression même dans des conditions d'humidité extrêmes. La composition chimique du sol a également eu un impact sur l'évolution de la réaction de Pouzzolane. La stabilisation des adobes à 15% de zeolite a démontré le meilleur comportement mécanique, ce qui fait de la zeolite une alternative prometteuse pour les systèmes de construction d'adobe. [52]
- **(Yacine Labiad, et al, 2023)**, dans leurs étude ils ont examiné l'utilisation des Alfa fibers et du briquet résiduel dans la fabrication de blocs compressés d'eau (CEB). L'étude étudie les effets des Alfa fibers sur les performances mécaniques et thermiques des CEB contenant du briquet. Le taux de déchets de brique a été optimisé à 20%, tandis que le taux d'Alfa fibers a varié de 0 à 0,5% du poids sec du bloc. Selon les résultats, l'ajout d'Alfa fibers au CEB permet de rendre le composite plus clair, d'augmenter l'absorption des capillaires et la résistance compressive de 40% et 111.25%, respectivement, ainsi que d'améliorer l'isolation,

diminuant la conductivité thermique de 13%. Cela suggère que l'utilisation d'Alfa fibers et de matériaux de brique usagés dans le CEB peut contribuer à l'économie circulaire. [53]

I.5 Conclusion

Effectivement, la construction en terre crue présente de nombreux avantages sur le plan environnemental. Contrairement aux briques traditionnelles en terre cuite, les briques en terre crue ne nécessitent pas de cuisson, ce qui réduit considérablement les émissions de gaz carbonique. De plus, l'argile utilisée dans la construction en terre crue est une ressource naturelle illimitée et recyclable, ce qui en fait un matériau écologique. Il existe différents types de briques en terre crue, tels que le pisé, le torchis, la bauge, l'adobe et les briques de terre crue compressée. Les argiles utilisées sont généralement composées d'un mélange d'argile, de limon, de sable et parfois de gravier, auxquels peuvent être ajoutés des liants. Ces matériaux offrent une alternative durable et écologique dans le domaine de la construction.

L'ensemble de ces résultats souligne le potentiel des pratiques durables dans la construction, en montrant comment l'intégration de matériaux non conventionnels peut conduire à des solutions de construction plus résilientes et plus respectueuses de l'environnement. Qu'il s'agisse de renforcer l'adobe avec des fibres ou d'introduire de nouveaux stabilisateurs comme la zéolite, ces études soulignent l'importance d'explorer des ressources alternatives pour créer des matériaux de construction qui soient non seulement robustes mais aussi respectueux de l'environnement. Cette recherche ouvre la voie à de futurs développements dans les pratiques de construction durable, en offrant un aperçu de la manière dont les déchets peuvent être réutilisés efficacement pour améliorer les performances des éléments de construction traditionnels.

CHAPITRE II : Matériaux et méthodes expérimentales

II.1.Introduction

Afin de déterminer la nature et caractéristiques d'un sol, des essais de laboratoire sont nécessaires. Ces derniers suivent les normes à respecter qui imposent un mode opératoire et qui expliquent la procédure à suivre pendant tout l'essai ainsi des explications, le but et l'utilité de l'essai. En procédant ainsi, la caractérisation du sol se fera par rapport à ses propriétés chimique et aux propriétés physiques.

II.2. Matériaux utilisées

Pour notre étude on a utilisées des sols de provenant différentes localisations qu'on a séparément analysées, le but est de déterminer leurs nature ainsi leurs classification.

Le choix de ces argiles est justifié par une composition et caractérisation différent pour chaque échantillon au niveau minéralogique, la différence d'argilosité et leur granulométrie qui jouent un rôle important dans les propriétés des briques.

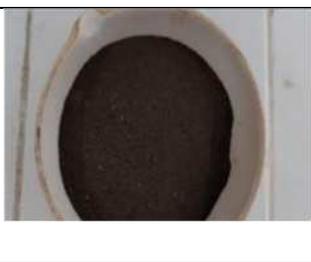
II.2.1. Sols d'origine carotte

Les sols en forme de carottes sont des sondages différents qui ont été fournis par le laboratoire national de l'habitat et la construction, ces derniers sont découpés mis à l'étuve puis broyés en 2 étapes, manuellement puis à l'aide d'un broyeur. Le tableau ci-dessous représentés tous les échantillons de la sorte :

Tableau II.1 : Argiles de sols d'origine carotte

Dénomination du sol	couleur	profondeur	Lieu de sondage	Figures représentatifs
El-kseur	grise	11.5-12m	El-kseur Bejaïa	
Kherrata	Marron	15m	Kherrata Bejaïa	
M'sila 01	Jaune	4m	Wilaya de M'sila	

Chapitre II MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

M'sila 02	marron	5m	Wilaya de M'sila	
Sétif 01	rouge	/	Wilaya de Sétif	
Sétif 02	rouge	/	Wilaya de Sétif	
Djidjel	noir	/	Wilaya de Djidjel	
Hassi Messaoud 01	Marron claire	4.8m	Wilaya d'Ouargla	
Hassi Messaoud 02	Blanc	6m	Wilaya d'Ouargla	

Chapitre II MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

II.2.2 Sols d'origines gisements

Ces deniers ont été recueillis comme grains, sont directement mis à l'étuve puis broyer à l'aide d'un broyeur. Le tableau ci-dessous les désigne :

Tableau II.2 : Argiles de sol de gisements

Dénomination du sol	couleur	Lieu de prise	Figures représentatifs
Oued Soummam	Gris	Wilaya de Bejaïa	
Remilla	Gris	Wilaya de Bejaïa	
Bejaïa L	Gris	Wilaya de Bejaïa	/
Ouargla	Marron	Wilaya d'Ouargla	
Djelfa	Rouge	Wilaya de Djelfa	
Biskra	Marron	Wilaya de Biskra	/
Akbou	Gris foncé	Wilaya de Bejaïa	/

Chapitre II MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

II.2.3 Sols mélangés

Ce sont des argiles obtenues par :

- Le mélange de différentes argiles déjà traités.
 - Le mélange de 10% de sable avec une argile spécifique.
 - Le mélange de 8% de ciment avec de différentes argiles.
- Le sable utilisé est de la wilaya de Bouira commune d'El Adjiba.
- Le ciment utilisé est un ciment conforme à la norme NA 442 éditions 2013 (NA EN 1971 :2012) [54].

Le tableau ci-dessous représente les différentes argiles obtenues :

Tableau II.3 : Argiles obtenues par différents mélanges

Nom	Matériau ajoutés	Pourcentage du Matériau
Mélange 01	Oued Soummam	50%
	Sétif 02	50%
Mélange 02	Akbou	50%
	Sétif 02	50%
Mélange 03	Remilla	50%
	Sétif 02	50%
Mélange 04	M'sila	50%
	Biskra	50%
Mélange 05	Sétif	33.33%
	Remilla	33.33%
	Akbou	33.33%
Mélange 06	Sétif 02	25%
	M'sila 02	25%
	Djidjel	25%
	Hasssi Messaoud 02	25%
Akbou	Sable	10%
Oued Soummam	Ciment	8%
Akbou	Ciment	8%
Ouargla	Ciment	8%
Béjaïa (L)	Ciment	8%

II.3. Procédures expérimentales

II.3.1. Caractérisation géotechnique

II.3.1.1. Teneur en eau [NF P 94-050] [55]

Chapitre II MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

1. Principe de l'essai

En procédant à l'étuvage, l'échantillon perd instantanément sa masse d'eau par séchage. La masse de l'échantillon et de l'eau évaporée sont mesurées par pesage.

2. Mode opératoire
On coupe une certaine quantité de l'échantillon qui est en forme de carotte de sol, on le met dans une tare numérotée de masse m_t préalablement mesurée. Comme montrer dans la figure suivante



Figure II.1 : Pesée du sol humide

Sa masse initiale est P_{h+T} qui est le (poids de l'échantillon humide + tare), étuvé à 105°C pendant 24h. Après cela peser l'échantillon sec est peser la nouvelle masse est P_{s+T} qui est (poids sec + tare).

Le pourcentage de la teneur en eau est donné par la formule suivante : $\omega = \frac{m_e}{m_s} \times 100$

Avec :

m_e = masse de l'eau

m_s = masse du sol sec

II.3.1.2. Détermination de la densité apparente [NF P 94-053] [56]

1. But de l'essai

La présente norme a pour objectif la détermination, en laboratoire, de la masse volumique des sols fins. Cette norme définit les termes employés et les paramètres mesurées, spécifie les caractéristiques de l'appareillage, fixe le mode opératoire et précise les résultats à présenter.

La masse volumique des sols est un paramètre d'état. Utilisé avec la teneur en eau (NFP 94-050) et la masse volumique des particules solides (NFP 94-054) il permet de déterminer l'indice des vides, la porosité, le degré de saturation et la masse volumique du sol sec.

2. Principe de l'essai

L'essai consiste à mesurer successivement les paramètres masse et volume qui caractérisent un même échantillon de sol.

La détermination de la masse volumique se fait par plusieurs méthodes, et pour cela le choix s'est porté sur la « Méthode par immersion dans l'eau », cette dernière consiste à peser, paraffiner et peser en suspension dans l'eau.

3. Mode opératoire L'échantillon doit présenter un cylindre d'environ 10cm de hauteur, son obtention se fait par coupe horizontale d'une carotte de terre prélevée d'une certaine profondeur comme la montre la figure :

Chapitre II MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES



Figure II.2 : Coupe d'une carotte de terre

Une fois l'échantillon obtenu bien rasé et peser, l'étape suivante est son émergement dans la substance appeler « paraffine », une couche pas trop épaisse de cette dernière enveloppe l'échantillon, une fois sèche, le pesage en suspension dans l'eau peut se faire.



Figure II.3 : Paraffine



Figure II.4 : Pesage en suspension dans l'eau



Figure II.5 : Sol bien paraffinée



Figure II.6 : Pesage du cylindre

Une fois les résultats de la pesée avant et après paraffinage obtenues, la teneur en eau et d'autres paramètres peuvent aisément être calculés.



Figure II.7 : Différents échantillons paraffinés

II.3.1.3. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique est une étape fondamentale pour la classification d'un sol. Cela consiste à mesurer la dispersion des grains d'un sol suivant leurs dimensions, c'est-à-dire leurs diamètres respectifs. Puis reporter sur une courbe granulométrique les résultats ainsi obtenus.

II.3.1.3.1. Méthode par tamisage à sec après lavage [NFP 94-056] [57]

1. Principe de l'essai

L'essai consiste à séparer les grains agglomérés d'un échantillon d'une masse connue de matériaux par brassage sous l'eau, à fractionner ce sol, une fois séché, au moyen d'une série de tamis et à peser successivement le refus cumulé sur chaque tamis.

2. Mode opératoire

La diversité des fines contenues dans un sol s'agglomère pour construire des grains. Un échantillon pré-pesé de sol sec de (500g à 600g) lavé dans un tamis de (D0.080mm) les passant son récupérer pour l'analyse granulométrique par sédimentation, le refus est ainsi mis à l'étuve sécher à une température de 105°C pour 24h. Des tamis d'ouvertures de mailles décroissantes du haut vers le bas fut installer pour faire passer l'échantillon sec au travers.



Figure II.8 : Sol + série de tamis
Pour analyse granulométrique



Figure II.9 : Tamisage sous l'eau



Figure II.10 : Sol pour analyse
granulométrique

Le refus des tamis est pesé pour le calcul du pourcentage de granulats passés pour ainsi dire le remplissage du tableau granulométrique.

Ce pourcentage est calculé par rapport au passant du poids initial sec du sol, si 500g ont été prise du sol en question, ça représente 100% du sol qui sera m_i pour ainsi dire « masse initiale ». Puis les différentes masses respectives des refus (m_1 m_2 m_3 ... m_n). Méthode de calcul :

$$100 - \frac{m_1 \times 100}{m_i} = \text{passant } \%$$

II.3.1.3.2. Méthode par sédimentation [NF P 94-057] [58]

1. But de l'essai

L'analyse granulométrique par sédimentométrie permet de déterminer la distribution en poids des particules fines (de diamètre inférieur à 0.08mm) d'un sol en fonction de leurs dimensions de donc elle complète l'analyse par tamisage.

2. Principe de l'essai

Dans un liquide au repos, des grains de diamètres différents sédimentent à de vitesses différentes. La sédimentométrie se base sur la loi de Stokes exprimant la relation entre la vitesse limite de sédimentation (v) et le diamètre (D) d'une particule solide sphérique. En l'appliquant à des grains de forme quelconque, on n'obtiendra que des diamètres équivalents.

L'analyse granulométrique par sédimentométrie n'est donc applicable qu'aux particules plus petites que 0.08mm. D'autre part, les particules d'une certaine grosseur peuvent entraîner mécaniquement dans leur chute des particules plus fines. Cet effet perturbateur ne semble pas encore avoir été quantifié.



Figure II.11 : Sédiments de sol après séchage

3. Mode opératoire

La partie tamisage est complétée par cet essai, la boue recueillie dans l'essai précédant est mise dans l'étuve à sécher à une température de 105°C pendant 24h. Il en résulte une poudre sèche. Dans un bûcher, 50g de cette poudre sont ajoutée à 30ml d'une solution de défloculant d'hexamétoposphate de sodium ($\text{Na}_6(\text{PO}_3)_6 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), 500ml d'eau sont ajouter à ce dernier.



Figure II.12 : Pesage de L'échantillon



Figure II.13 : Sol mis dans des éprouvettes Gradués



Figure II.14 : défloculant d'hexamétaphosphate de sodium

Après avoir mélangé le tout, le mélange a une durée minimum de repos de 12H.



Figure II.15 : Sol avec solution ($\text{Na}_6(\text{PO}_3)_6 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)



Figure II.16 : Mise en repos de l'échantillon

Le contenu du bicher ainsi traité est versé dans le récipient de l'agitateur mécanique pendant 2 minutes à pour la séparation de particules fines.

Chapitre II MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES



Figure II.17 : Agitation de l'échantillon



Figure II.18 : Agitateur mécanique

Introduire un thermomètre pour la température et un densimètre pour la mesure de la densité après des laps de temps prédéfinis.



Figure II.19 : Mesure de la température



Figure II.20 : Densimètre



Figure II.21 : Mise en suspension différents échantillons pour la mesure de sédimentométrie

Chapitre II MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

II.3.1.4. Limites d'ATTERBERG [NFP 94-051] [59]

1. But de l'essai

Cette norme destinée à la détermination des deux limites d'ATTERBERG (limites de plasticité du rouleau et limite de liquidité à la coupelle) s'appliquent aux sols dont les éléments passent à travers le tamis de dimensions d'ouvertures de mailles de 0.4mm.

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

2. Principe de l'essai

L'essai s'effectue en deux phases :

- Recherche de la teneur en eau pour laquelle une rainure pratiquée dans un sol placée dans une coupelle de caractéristiques imposées se ferme lorsque la coupelle et son contenu ont soumis à des chocs répétés.
- Recherche de la teneur en eau pour laquelle un rouleau de sol, de dimensions fixées et confectionné manuellement, se fissure.

3. Mode opératoire

a. Préparation du sol

Après échantillonnage du sol et homogénéisation par brassage, une masse de matériau m est mise à imbiber dans un récipient d'eau à la température ambiante, pendant au moins 24 h.



Figure II.22 : Emergement du sol dans l'eau



Figure II.23 : Tamisage du sol

Cette masse m , exprimée en grammes, doit être supérieure à 200 fois la dimension des plus gros éléments de sol appréciée visuellement et exprimée en millimètres. De même elle doit être telle que le tamisage au tamis de 0.4 mm donne au moins 200 g de particules solides. Une fois imbibé, le matériau est tamisé par voie humide au tamis de 0.4 mm. L'eau de lavage et le tamisage sont recueillis dans un bac.

Après une durée de décantation d'au moins 12 h, sans aucun additif destiné à accélérer le dépôt ni sans utilisation d'un procédé quelconque de centrifugation, l'eau claire du bac est siphonnée sans entraîner de particules solides. L'eau excédentaire est évaporée à une température ne dépassant pas 50 °C.



Figure II.24 : Etuvage du tamisa



figure II.25 : Echantillon après étuvage

b. Détermination de la limite de liquidité

Avant de procéder aux essais, il faut s'assurer que la largeur de la pointe de l'outil à rainurer est inférieure à 2,2 mm, la hauteur de chute de la coupelle est de 10 mm (tolérance - 0,1 mm, + 0,5 mm).

Le réglage se fait à l'aide d'une cale de contrôle de 10 mm d'épaisseur. Si nécessaire la plaque coulissante de l'appareil de CASAGRANDE est déplacée de telle sorte que la hauteur de chute de la coupelle soit égale à l'épaisseur de la cale, lorsque la came, commandée par la manivelle, positionne la coupelle au point le plus haut.



Figure II.26 : Appareille de CASAGRANDE

Puis vient le processus de préparation de l'échantillon soumis à l'essai qui consiste à malaxée la totalité du tamisa afin d'obtenir une pâte homogène et presque fluide.

Chapitre II MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES



Figures II.27 : Mouillage de l'échantillon sec



Figure II.28 : Obtention d'une pâte

La réalisation de l'essai se fait en répartissant avec la spatule, dans la coupelle propre et sèche, une masse d'environ 70 g de pâte. Cette pâte étalée en plusieurs couches afin d'éviter d'emprisonner des bulles d'air, présente en fin d'opération un aspect symétrique. La pâte recouvre le fond de la coupelle, sauf sur une partie d d'environ 3 cm et son épaisseur au centre est d'ordre de 15 à 20 mm.



Figure II.29 : Mise en place de la pâte dans la coupelle

Partager la pâte en deux, comme représenté sur la figure , au moyen de l'outil à rainurer, en le tenant perpendiculairement à la surface de la coupelle et en présentant sa partie biseautée face à la direction du mouvement.

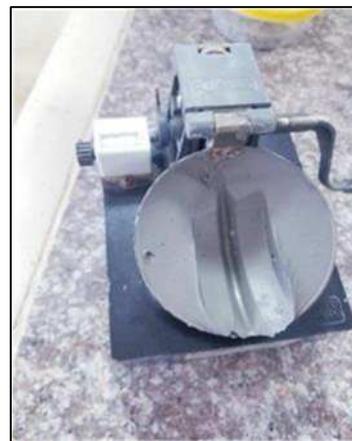


Figure II.30 : Rainurage de la pâte

Chapitre II MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

Fixer délicatement la coupelle sur le support métallique de l'appareil de CASAGRANDE.

Actionner la came de façon à soumettre la coupelle à une série de chocs à la cadence de 2 coups par seconde, ($2 \pm 0,25$) coups par seconde en cas d'utilisation d'un moteur).

Noter le nombre N de chocs nécessaires pour que les lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur d'environ 1 cm. La fermeture de la rainure doit se produire par affaissement de la pâte dans sa masse et non par glissement sur la paroi de la coupelle. La coupelle rugueuse a pour but d'éviter ce glissement. Elle doit être employée lorsque le phénomène se produit (avec les pâtes sableuses par exemple).



Figure II.31 : Lèvres jointes à 16 coups



Figure II.32 : Lèvres jointes à 34 coups

Si N est inférieur à 15, le processus est recommencé avec un matériau plus sec et homogénéisé à nouveau (le séchage peut, éventuellement, être accéléré par un malaxage sous flux d'air chaud à une température inférieure à 50 ° c).

Si N est supérieur à 35, l'opération est renouvelée sur un prélèvement de pâte auquel a été ajouté un peu d'eau distillée ou déminéralisée. L'essai n'est poursuivi que lorsque N est compris entre 15 et 35.

Prélever dans la coupelle, à l'aide d'une spatule, environ 5 g de pâte, de chaque côté des lèvres de la rainure et au voisinage de l'endroit où elles se sont refermées, afin d'en déterminer la teneur en eau.



Figure II.33 : Prélèvement de pâte aux extrémités touchées



Figure II.34 : Capsules de prélèvements

Chapitre II MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

Le prélèvement est placé dans une capsule ou boîte de Pétri de masse connue et pesé immédiatement avant d'être introduit dans l'étuve pour dessiccation conformément à la norme [NF P 94-050].

L'opération complète est effectuée au moins quatre fois sur la même pâte, mais avec une teneur en eau différente à chaque fois.

Les nombres de chocs de la série d'essais doivent encadrer 25 et l'écart entre deux valeurs consécutives doit être inférieur ou égal à 10.

Le calcul de la teneur en eau de ce dernier se fait par rapport à la quantité d'eau ajouté au sol sec lui-même. Tout cela à fin d'obtenir les teneurs en eau des différents échantillons de différents coups obtenus, à fin de déterminer la teneur en eau équivalente à 25 coups pour déterminer la limite de liquidité du sol (W_L): $W_L = W \times \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121}$

N : nombre de coups

W_L : limite liquidité

W : teneur en eau

L'obtention de la limite de liquidité peut aussi se faire à partir d'une courbe de teneur en eau ($W\%$) en fonction du nombre de choque (N), en prélevant directement la valeur à 25 coups.

c. Détermination de la limite de plasticité

Former une boulette à partir de la pâte préparée. Puis rouler la boulette sur une plaque lisse, à la main ou éventuellement à l'aide d'une plaquette, de façon à obtenir un rouleau qui est aminci progressivement jusqu'à ce qu'il atteigne 3 mm de diamètre.

La cadence du mouvement de la main doit être régulière. Pour que l'amincissement du rouleau se fasse de manière continue et sans effectuer de coupure dans le sens de sa longueur.

Le rouleau au moment où il atteint un diamètre de $3,0 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ doit avoir environ 10 cm de longueur et ne doit pas être creux, pour l'obtention de la limite de plasticité, simultanément, le rouleau se fissure.



Figure II.35 : Fisuration du rouleau



Figure II.36 : Extrémité du rouleau



Figure II.37 : Capsule pour étuvage

Chapitre II MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

Si aucune fissure n'apparaît, le rouleau est réintégré à la boulette. La pâte est malaxée tout en étant séchée légèrement, éventuellement sous un flux d'air chaud à une température inférieure à 50°C. Puis reformer un nouveau rouleau.

Prélever, une fois les fissures apparues, la partie centrale du rouleau et la placer dans une tare de masse connue, la peser immédiatement et l'introduire dans l'étuve, afin de déterminer sa teneur en eau [norme NF P 94-050] [57]. Effectuer un deuxième essai sur une nouvelle boulette.

La limite de plasticité (W_P) obtenue à partir de cet essai servira à calculer l'indice de plasticité du sol.

II.3.1.5. Essai au bleu de méthylène [NFP 94-068] [60]

1. But de l'essai

La norme a pour objet de préciser la méthode de détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux au moyen de l'essai au bleu de méthylène «à la tâche».

La valeur de bleu de méthylène d'un sol (VBS) mesure la capacité d'adsorption d'un sol ou d'un matériau rocheux. Elle constitue un des paramètres d'identification de la classification des sols.

2. Principe de l'essai

L'essai consiste à mesurer par dosage la quantité de bleu de méthylène pouvant être adsorbée par le matériau mis en suspension dans l'eau. Cette quantité est rapportée par proportionnalité directe à la fraction 0/50 mm du sol. La valeur de bleu du sol est directement liée à la surface spécifique des particules constituant le sol ou le matériau rocheux.

Le dosage s'effectue en ajoutant successivement différentes quantités de bleu de méthylène et en contrôlant l'adsorption après chaque ajout. Pour ce faire, on prélève une goutte de la suspension que l'on dépose sur un papier filtre, ce qui provoque la création d'une tache.

L'adsorption maximale est atteinte lorsqu'une auréole bleu clair persistante apparaît à la périphérie de la tâche.

3. Mode opératoire

Pour ce faire, une quantité de sol de 50g pré-sécher écraser au pilon et tamiser dans un tamis de maillage 5mm.

Chapitre II MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES



Figure II.38 : Broyage du sol



Figure II.39 : Tamisage du sol



Figure II.40 : Pesage de 30g de sol

L'échantillon ainsi mis dans un bicher avec 500ml d'eau distillée pour commencer la suspension. Pendant toute la durée du dosage, l'agitation permanente (vitesse 400 tr/min \pm 100 tr/min) doit être telle que toutes les particules de sol en suspension soient mises en mouvement.



Figure II.41 : 500ml d'eau



Figure II.42 : Ajout du sol dans l'eau



Figure II.43 : Agitation de l'échantillon

À l'aide du dispositif de dosage, introduire dans la suspension 5 cm³ à 10 cm³ de solution de bleu selon l'argilosité estimée du matériau (10 cm³ pour les matériaux les plus argileux) ; au bout de 1 min \pm 10 s, procéder à l'essai de la tache sur papier filtre, ce dernier doit être posé sur un support adapté non absorbant. Le prélèvement de l'échantillon se fait par une baguette en verre tromper dans le mélange pour recueillir une goutte qui se pose délicatement sur le papier filtre.



Figure II.44 : Système de dosage du VB



Figure II.45 : Prélèvement par baguette de verre

La goutte prélever doit former un dépôt central compris entre 8mm et 12mm de diamètre.

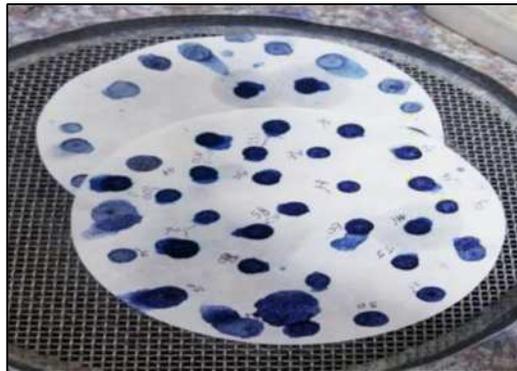


Figure II.46 : Gouttes prélevées mises sur papier filtre

Le calcul du volume du bleu de méthylène dans le sol (V_{BS}) se fait comme suite :

$$V_{BS} = \frac{V_B}{m_e}$$

V_B = volume de bleu de méthylène ajoutée m_e

= masse de l'échantillon (30g)

Le tableau suivant représente le seuil du volume de bleu de méthylène :

Tableau II.4 : différents types de sol selon le VBS

Seuil de VBS (g/100g)	Type
< 0.1	Sol insensible à l'eau (notamment si passant $80\mu\text{m} < 12\%$)
0.1 – 0.2	Début de la sensibilité à l'eau
0.2 – 1.5	Limite des sols sablo-limoneux
1.5 – 2.5	Sol limoneux peut plastique
2.5 – 6	Sol limoneux de plasticité moyenne
6 – 8	Sol argileux
> 8	Sol très argileux

II.3.1.6. Confection de briques crues

1. Préparation de l'échantillon

Sécher au préalable les différentes argiles à une température de 105°C . Après séchage, l'échantillon doit être finement broyé à l'aide d'un broyeur.

Chapitre II MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

Séparation des différents échantillons, puis procéder au pesage de 100g de matière pour chaque éprouvette, une fois tous bien préparé on procède à la conception

2. Mode opératoire

Dans un récipient, verser 100g de sol préalablement préparé puis s'aider d'un bicher pour peser la quantité d'eau nécessaire à la confection, cette quantité diffère d'un échantillon à un autre par leur limite de plasticité, prendre la valeur de la limite plasticité de chaque un pour l'obtention d'une pâte bien homogène.



Figure II.47 : Pesage eau + échantillon

Après un bon malaxage manuel, préparer le moule à brique puis verser le mélange dedans.



Figure II.48 : Argile dans le moule à brique



Figure II.49 : Moule de brique

A la fin du compactage manuelle du mélange, démoulage et en enfin obtention d'une brique de terre crue.



Figure II.50 : Briques en terre crue emballés dans du papier film

La brique humide obtenue, bien emballer avec papier film, et laisser au repos pendant 14 jours. Le délai passé, procéder au déballage de la brique puis étuvage pendant 24h pour bien sécher. Une fois la brique bien sécher, le passage aux essais de durabilité, conductivités thermique et écrasement à fin de définir sa résistance. A noter que les dimensions des briques sont de $(5 \times 8 \times 1) \text{cm}^3$.



Figure II.51 : Briques en terre crue sèches

II.3.2 Essai mécanique

II.3.2.1 Ecrasement [61]

Une brique est mise horizontalement sur le creux de l'assiette d'écrasement, puis une pression constamment en hausse s'exerce sur cette dernière jusqu'à sa fissuration. Sa limite de résistance est afficher sur l'écran de l'appareille.



Figure I.52 : Procédure d'écrasement



Figure I.53 : brique après écrasement

II.3.3 Essai physique

II.3.3.1 Conductivité thermique [NF EN 12664] (2001) [62]

- Principe de l'essai

La présente norme détermine la conductivité thermique (λ) des briques qui est relative à la performance thermique d'un matériau et des produits pour le bâtiment. Elle traduit la capacité d'un matériau à assurer un transfert de chaleur par conduction lorsqu'il est soumis à une différence de température. La méthode utilisée consiste à mesurer simultanément le flux thermique et la température sur les deux faces d'un échantillon soumis à un gradient de température imposé par deux plaques échangeuses.

- Mode opératoire

Les briques utilisés pour cette expérience sont des briques de (75×45×1) cm qui respectent la norme qui est de (60×40×1) cm. L'évaluation de la conductivité thermique a été réalisée à une température ambiante à l'aide d'un CT mètre.

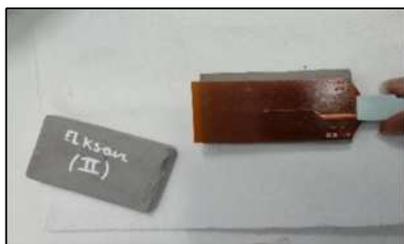


Figure I.54 : sonde du CT



Figure I.55 : Un CT mètre

Ce dernier est équipé d'une sonde mise soigneusement entre deux briques, cette paire d'échantillon est soumise à un flux thermique délivré sous forme d'effet Joule par le CT mètre. L'évolution de température mesurée au cours du temps par un thermocouple permet de déterminer la conductivité thermique du matériau. Un écran est présent aussi pour afficher les résultats mesurés.

II.3.3. Essais physico-chimiques

II.3.3.1. Analyse spectrométrie de fluorescence X (FRX)

- Définition

La fluorescence X constitue une méthode analytique polyvalente permettant d'identifier la composition chimique d'une gamme étendue d'échantillons, incluant les solides, les liquides, les boues et les poudres libres. Elle est également employée pour évaluer l'épaisseur et la composition des couches et des revêtements. Cette technique peut détecter des éléments allant du béryllium (Be) à l'uranium (U), couvrant des concentrations allant de 100 % en poids à des niveaux inférieurs au ppm.



Figure II.56 : Appareil utilisé pour la FRX

- Principe de l'essai

La fluorescence X est une méthode d'émission atomique, elle mesure la longueur d'onde et l'intensité de la lumière dans le cas des rayons X émise par les atomes énergisés de l'échantillon.

L'émission de rayons X fluorescents dotés d'énergies discrètes caractérisant les éléments présents dans l'échantillon se fait par l'irradiation par un faisceau de rayons X primaire depuis un tube à rayons X. [63].

I.3.3.2. La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)

Réaliser une analyse FTIR en laboratoire est une méthode rapide et non destructrice pour identifier la composition chimique et détecter les impuretés ou les contaminations dans une variété de matériaux, allant des plastiques et polymères, aux lubrifiants et produits pharmaceutiques.

Cette technique facilite l'innovation et l'amélioration des produits en permettant une compréhension approfondie des interactions moléculaires et des propriétés des matériaux.

Couplée à différentes techniques d'analyses telles que l'ATG, la RMN ou encore la chromatographie, la Spectroscopie IFTR est notamment utilisée pour :

Chapitre II MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

- Déterminer la nature d'un polymère ou d'un additif.
- De caractériser un dépôt ou une pollution.
- D'étudier l'évolution d'un matériau au cours du temps (oxydation, migration, changement d'état...). [64] L'analyse consiste à mélanger 0.09g de KBR mélangé à 0.002g d'échantillon d'argile.

Compacter à l'aide d'une presse hydraulique, une pastille se forme pour ensuite être analysée à l'aide de l'appareil d'analyse à infrarouge à transformation de Fourier.



Figure II.57 : Capsule à analysée



Figure II.58 : intérieur de l'appareil FTIR



Figure II.59 : Appareil FTIR

II.4. Analyse cristallographie aux rayons X (DRX) (essai minéralogique)

La diffraction des rayons X (DRX) est une technique analytique basée sur la diffraction des rayons X par la matière notamment lorsque celle-ci est cristalline. Son objectif est d'étudier les différentes phases de la matière. La diffraction des rayons X est une diffusion élastique. Ce terme désigne le fait que les photons ne perdent pas d'énergie, leur longueur ne change pas. Cela donne des interférences autant marquées que la matière est ordonnée. En ce qui concerne les matériaux cristallins, on parle de diffusion.

La diffraction des rayons X permet donc d'obtenir des informations quantitatives que l'on retrouve dans l'arrangement même des éléments d'un matériau. On retrouve également des

informations qualitatives qui permettent d'identifier les différents composés cristallins d'un matériau et leurs formes cristallographiques.

L'appareil de mesure est appelé chambre de diffraction lorsqu'il est photographique et diffractomètre lorsqu'il comporte un système de comptage des photons. Les données obtenues forment un diagramme de diffraction ou diffractogramme. [65]



Figure II.60 : appareil d'analyse de DRX



Figure II.61 : capsules d'échantillons



Figure II.62 : mise en place des capsules d'échantillons pour analyses

II.5 Essai de la durabilité ASTM D559-57-1977

Les essais d'humidification/séchage ont été réalisés sur des éprouvettes parallélépipédiques de dimensions $(7 \times 4.5 \times 1) \text{ cm}^3$. Ces éprouvettes ont été manuellement fabriquées et conservées dans du papier film pendant 14 jours, puis séchées à l'étuve pendant 24h. Après séchage à 100%, deux éprouvettes de chaque échantillon (27 échantillons) ont été soumises à des cycles de mouillage/séchage répétitif. 12 cycles d'humidification et séchage ont été réalisés selon la norme ASTM D559-57-1977.

Un cycle de mouillage et séchage est divisé en deux étapes, à savoir :

1. La première phase consiste à immerger l'éprouvette dans l'eau pendant 5h.
2. La deuxième phase consiste à placer les éprouvettes dans une étuve à 105°C pendant 42h

Entre chaque cycle de mouillage et séchage, les échantillons de briques sont pesés pour déduire la prise et perte de masse générée par cette expérience. [66]



Figure II.63 : Cycle de mouillage



Figure II.64 : Briques après humidification

II.6. Conclusion

Les matériaux et méthodes expérimentales utilisés dans notre étude ont été présentés dans ce chapitre. La présentation des résultats de caractérisations des matériaux étudiés se fera dans le chapitre qui suit.

Chapitre III CARACTERISATION DE LA MATIERE PREMIERE

CHAPITRE III : Caractérisation de la matière première

III.1. Introduction

La caractérisation des argiles est essentielle pour déterminer leur adéquation à diverses applications dans le domaine de la construction. Ce chapitre se concentre sur leurs classifications en utilisant des essais spécifiques : l'analyse granulométrique, le test au bleu de méthylène et les limites d'Atterberg. Ces méthodes évaluent respectivement la distribution des tailles de particules, la capacité d'adsorption et les propriétés plastiques des argiles. Les résultats permettent de classer les argiles selon leurs propriétés, facilitant leur sélection et utilisation optimale dans différents contextes industriels.

III.2. Caractérisation géotechnique des sols

III.2.1. Teneur en eau et densité apparente

Le tableau ci-dessous montre les résultats obtenus d'après les essais de teneur en eau et densité apparente sur quelques échantillons. Cela dit, la variation n'est pas très présente pour les teneurs en eau, cependant la densité sèche est inversement proportionnelle à la teneur en eau.

Tableau III.1 : Tableau de teneurs en eau

N° :	Nom de l'échantillon	Teneur en eau w (%)	Densité humide γ_h (t/m ³)	Densité sèche γ_d (t/m ³)	Teneur en eau de saturation W_s (%)	Degré de saturation S_r (%)
1	Kherrata	20,88	2,02	1,67	22,88	91,26
2	EL kseur	24,3	2,04	1,64	23,97	100
3	Sétif (1)	28,12	2,03	1,58	26,29	100
4	Sétif (2)	23	2,06	1,67	22,88	100
5	M'sila (1)	21,12	2,04	1,68	22,52	93,78
6	M'sila (2)	19,14	2,043	1,71	21,48	89,11

D'après les résultats obtenus : par rapport à la teneur en eau W on remarque que ça varie entre 19% et 28%, et la teneur en eau de saturation W_s varie entre 21% et 26%.

Par rapport à la densité humide γ_h et la densité sèche γ_d on a obtenues des résultats très proches.

Par rapport aux degrés de saturation on a eu des résultats de 89% jusqu'à 100%.

III.2 .2. Analyse granulométrique

Les résultats de cette analyse sont représentés sous forme de courbes granulométriques ayant en ordonnées les refus cumulés et en abscisses les diamètres de maille de tamis équivalents.



Figure III.1 : courbe granulométrique de Kherrata

La figure III.1 représente une courbe granulométrique discontinue du sol de Kherrata. Ce dernier, selon la courbe a plus de fins que de grains de gros diamètres car après le tamis 0.08mm, une hausse de refus se fait remarquer, preuve que c'est un sol argileux.

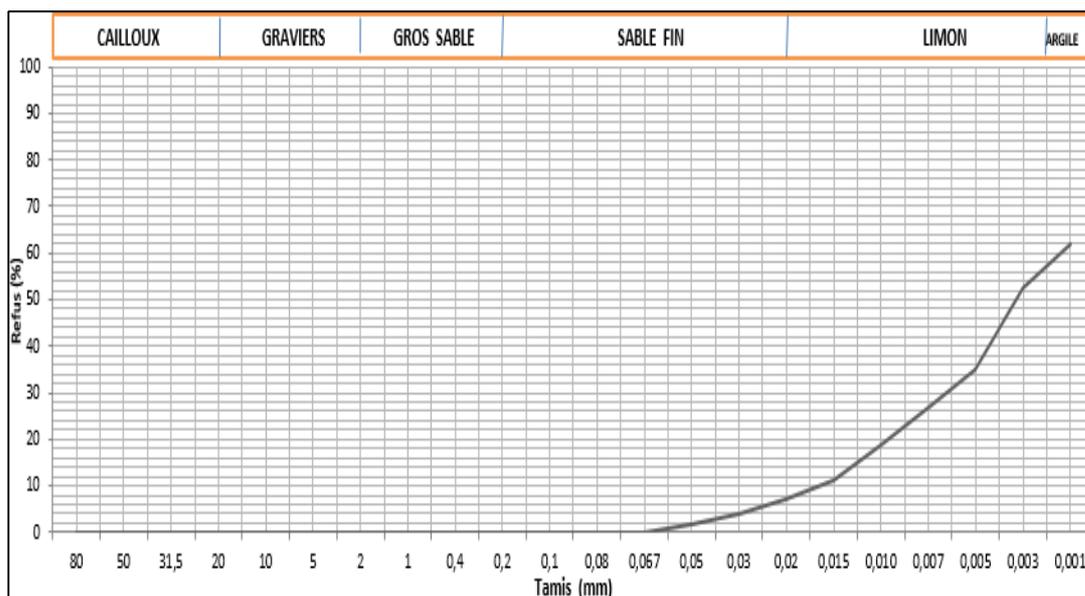


Figure III.2 : courbe granulométrique d'El kseur

La figure III.2 représente une courbe granulométrique continue du sol d'El kseur. Ce dernier, selon la courbe et un sol très fins, son analyse granulométrique par tamisage après lavage a donné un pourcentage de 100% de passants sans aucun refus recueilli, ce qui signifie que c'est un sol fin et d'après le graphe de sa granulométrie, on conclut que c'est un sol argileux.

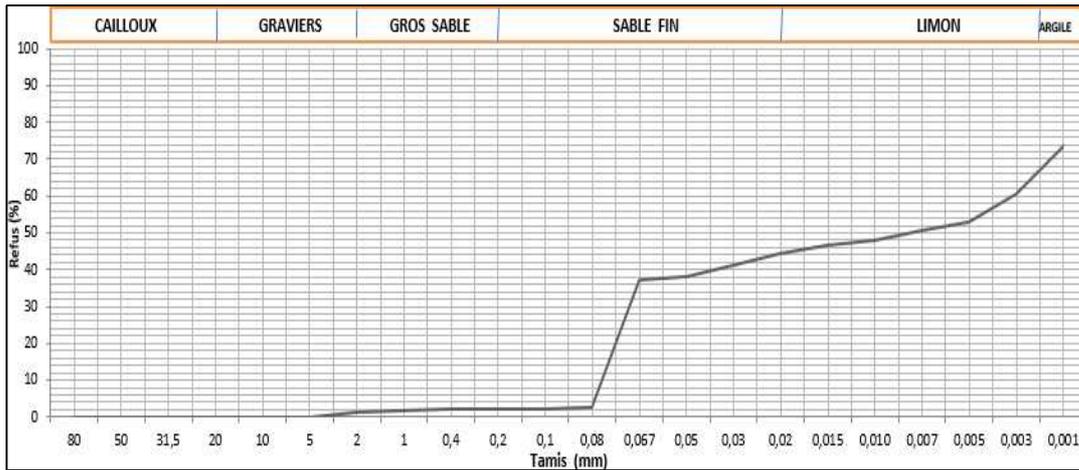


Figure III.3 : courbe granulométrique de Sétif (1)

La figure III.3 représente une courbe granulométrique discontinue du sol nommé Sétif01. Ce dénier, à une discontinuité au niveau des grains fins, car le pourcentage de refus est mince par rapport aux plus petits diamètres, en présence des fins, le sol est argileux.

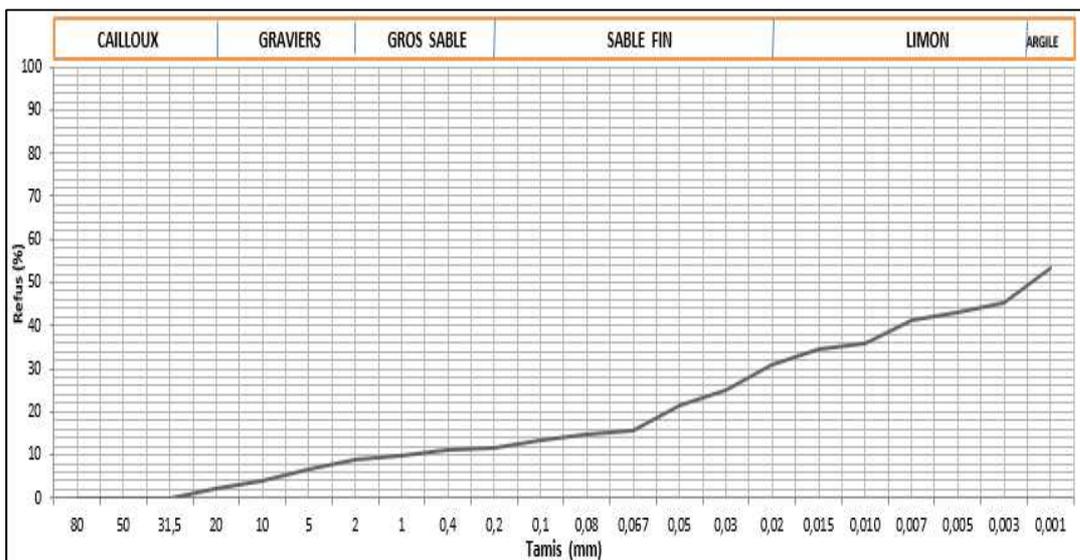


Figure III.4 : courbe granulométrique de Sétif (2)

La figure III.4 représente une courbe granulométrique continue du sol de Sétif 02. Ce dénier, selon la courbe représente la baisse des diamètres de grain ce qui signifie que les grains sont de plus en plus petits jusqu'à attendre le seuil des argiles.

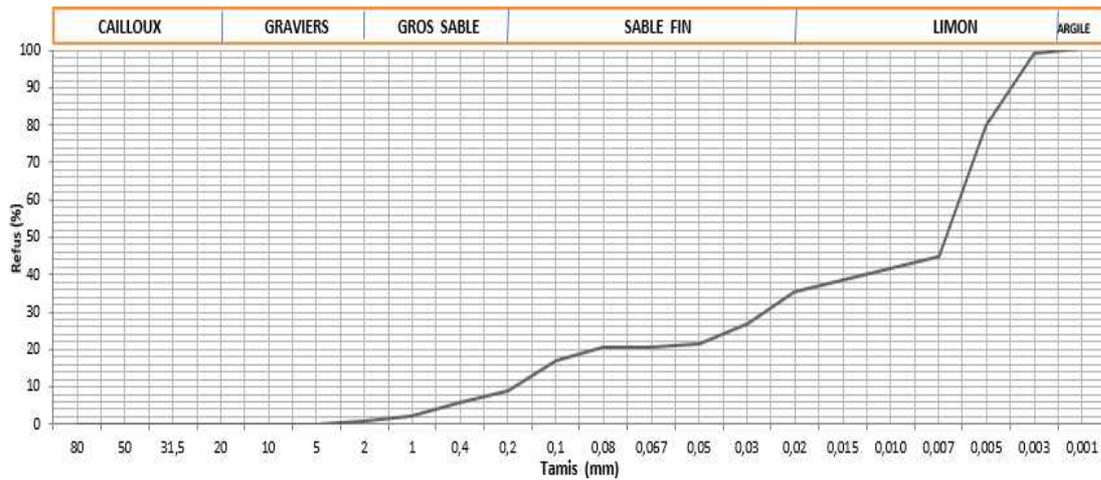


Figure III.5 : courbe granulométrique de M'sila (1)

La figure III.5 représente une courbe granulométrique discontinue du sol de M'sila 01. Se dénier, selon la courbe, a une hausse considérable de limons avant d'entrer dans la catégorie des argiles.

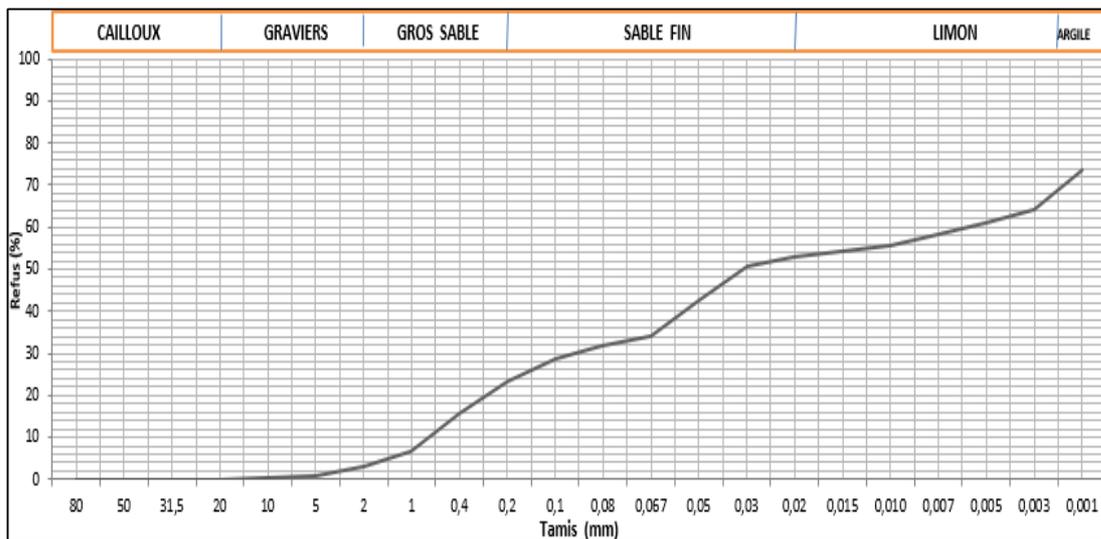


Figure III.6 : courbe granulométrique de M'sila (2)

La figure III.6 représente une courbe granulométrique discontinue du sol de M'sila 02 qui fais partie de la catégorie des argiles pour un diamètre de grains très fins.

Chapitre III CARACTERISATION DE LA MATIERE PREMIERE

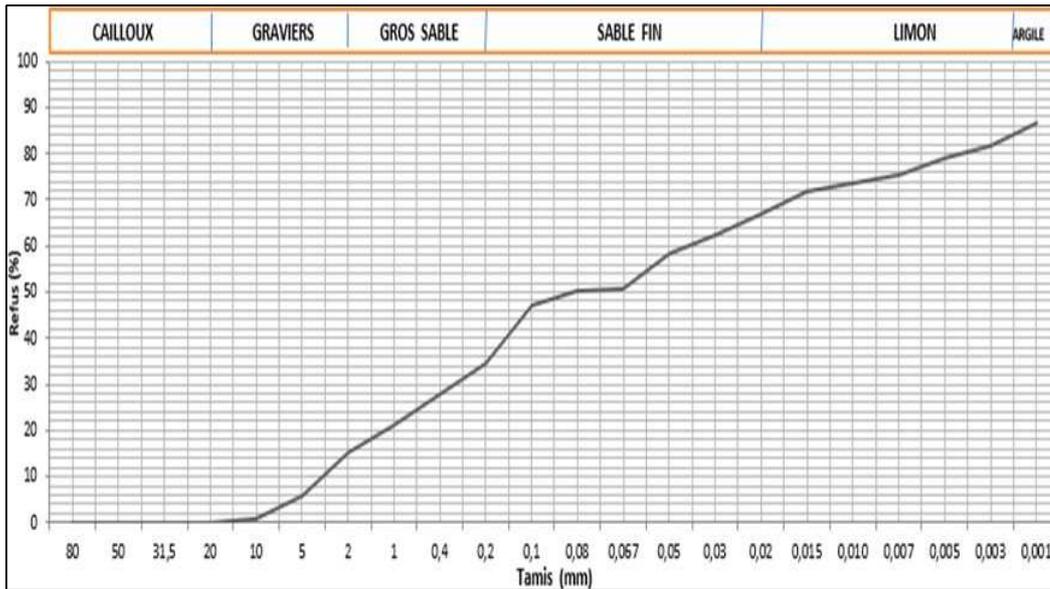


Figure III.7 : courbe granulométrique de Jijel

La figure III.7 représente une courbe granulométrique continue du sol de Jijel. Ce dernier contient plus de limon ce qui mène à la conclusion que c'est un sol limoneux plus tôt qu'argileux.

Tableau III.2 : Classification de laboratoires des sols a gros grains [68]

Définitions		Symbols	Conditions	Désignation géotechnique	
GRAVES	Plus de 50% des éléments > 0.08mm Ont un diamètre > 2 mm	Moins de 5 % d'élément < 0.08 mm	Gb $Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ Et $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$ compris entre 1 et 3	Grave propre bien graduée	
		Plus de 12 % d'éléments < 0.08 mm	Gm	Une des conditions de Gb non satisfaite	Grave propre mal graduée
			GL	Limite d'Atterberg au-dessous de la ligne A	Grave limoneuse
		GA	Limite d'Atterberg au-dessus de la ligne A	Grave argileuse	
SABLES	Plus de 50% des éléments > 0.08 mm ont un diamètre < 2 mm	Moins de 5% d'élément < 0.08 mm	Sb $Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ Et $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$ compris entre 1 et 3	Sable propre bien gradué	
		Sm	Une des conditions de Sb non satisfaisante	Sable propre mal gradué	

Chapitre III CARACTERISATION DE LA MATIERE PREMIERE

		Plus de 12 % d'élément < 0.08 mm	SL	Limite d'Atterberg au-dessous de la ligne A	Sable limoneux
			SA	Limite d'Atterberg de la ligne A	Sable argileux
Lorsque 5 % < % inférieur à 0.08 mm < 12 on utilise un double symbole					

Les classifications de sols étudiés se font selon le tableau III.2. Tout cela est résumé dans le tableau ci-dessous (tableau III.3) :

Tableau III.3 : classification des sols selon « classification de laboratoires des sols a gros grains »

N° :	Échantillons	Classification
1	Kherrata	Sable argileux
2	El Keur	Sable argileux
3	Sétif (1)	Sable argileux
4	Sétif (2)	Sable argileux
5	M'sila (1)	Sable argileux
6	M'sila (2)	Sable argileux
7	Jijel	Sable argileux

D'après la classification des sols du L.C.P.C., on constate que ces échantillons sont classés sous la catégorie "Sable argileux".

III.2.3 Bleu de méthylène V_{BS}

Les résultats de l'analyse au bleu de méthylène de quelques échantillons sont représentés dans le tableau ci-contre :

Tableau III.4 : Résultats de l'analyse au bleu de méthylène

Les échantillons	Le volume de bleu de méthylène (cm ³)	Le volume de bleu de méthylène de sol VBS (g/100g)
Kherrata	115	3,8
EL Kseur	120	4
Hassi Messoud (1)	129	4,3
Remila	90	3,16

D'après les résultats de ce tableau et l'ordre de grandeur ci-dessous, les échantillons étudiés sont dans un intervalle de [2,5 ; 6]. Ce qui signifie que ce sont des sols limoneux-argileux.

Chapitre III CARACTERISATION DE LA MATIERE PREMIERE

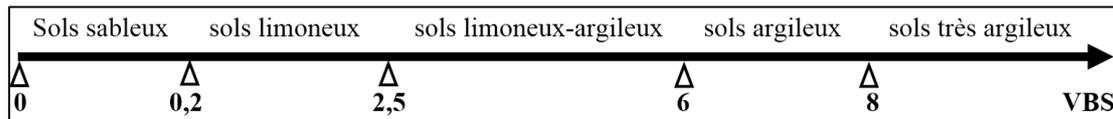


Figure III.8 : Les ordres de grandeurs des sols

- L'activité de bleu de la fraction argileuse : [69]
L'activité argileuse A_{CB} est le rapport entre la valeur de bleu de méthylène V_{BS} déterminée selon la norme [NF P 94-068] et la teneur C_2 en particules de dimensions inférieures à 0.2mm estimée selon la norme NF P 94-057 (voir Tableau III.4) :

$$A_{CB} = V_{BS} / C_2$$

Tableau III.5 : classification de l'activité argileuse du sol [69]

Activité de la fraction argileuse du sol	Qualificatif
$0 \leq A_{CB} \leq 3$	Inactive
$3 < A_{CB} \leq 5$	Peu active
$5 < A_{CB} \leq 13$	Moyenne
$13 < A_{CB} \leq 18$	Active
$18 < A_{CB}$	Très active

Le tableau suivant représente l'activité argileuse (A_{CB}) des échantillons, le sol de Kherrata était classifié Actif sous une activité de la fraction argileuse du sol de 13,071, et le sol d'El-Kseur qui était classifié moyenne actif sous une activité de la fraction argileuse du sol de 9,03.

Tableau III.6 : Activité argileuse des sols étudiés

Les échantillons	ACB	Classification
Kherrata	13,071	Active
EL Kseur	9,03	Moyenne active

III.2.4. Les Limites d'Atterberg

Ce diagramme représente les limites de consistance du sol en fonction de sa teneur en eau.

Chapitre III CARACTERISATION DE LA MATIERE PREMIERE

1. État stable : À une teneur en eau très faible, le sol demeure solide sans aucun retrait. Quand la quantité d'eau augmente, le sol commence à se rétracter.

2. État Plastique : Le sol présente une plasticité entre la limite de retrait (WR) et la limite de plasticité (WP).

Indice de Plasticité (IP) : Le niveau d'eau dans lequel le sol montre une plasticité. Le calcul se fait en utilisant la formule $(WL - WP)$, où (WL) représente la limite de liquidité et (WP) la limite de plasticité.

3. État Liquide : Quand la quantité d'eau devient supérieure à la limite de liquidité (WL), le sol passe d'un état plastique à un état liquide.

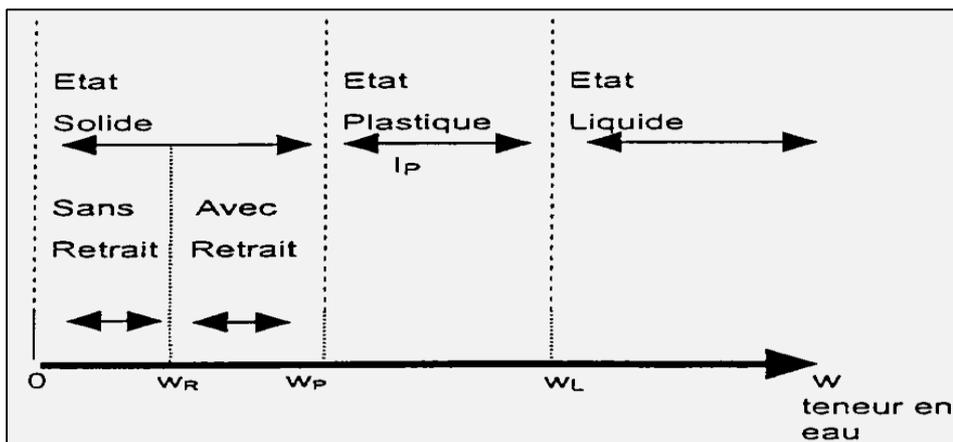


Figure III.9 : État d'un sol en fonction de sa teneur en eau

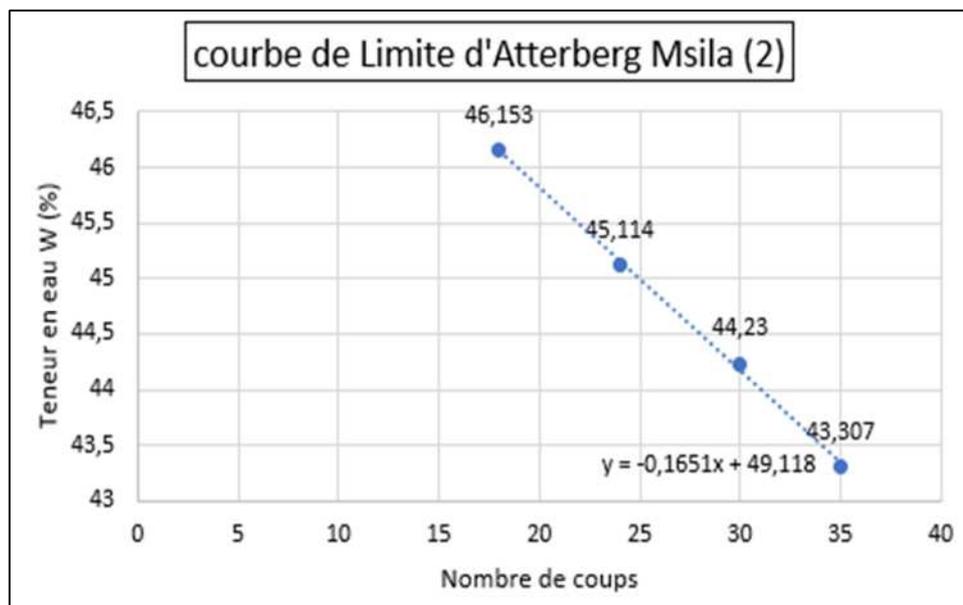


Figure III.10 : courbe de limite d'Atterburg

La représentation graphique de la courbe de limite d'Atterberg permet de voir clairement comment la teneur en eau est liée au nombre de coups pour ce sol particulier. Les résultats reflètent une tendance prévisible et permettent de mesurer précisément la limite liquide du sol étudié, qui s'élève à 44,905%.

Chapitre III CARACTERISATION DE LA MATIERE PREMIERE

Tableau III.7 : qualification des sols en fonction de l'indice de plasticité [69]

Indice de plasticité (%)	Qualificatif
$I_p \leq 12$	Non plastique
$12 \leq I_p \leq 25$	Peu plastique
$25 \leq I_p \leq 40$	Plastique
$I_p \geq 40$	Très plastique

Tableau III.8 : Le tableau ci-dessous résume les résultats des limites d'Atterburg de tout échantillon utilisé dans l'étude :

N°:	Les échantillons	Limite de liquidité WL	Limite de plasticité WP	L'indice de plasticité IP	Qualificatif
1	Kherrata	48,464	19,884	28,58	Plastique
2	El kseur	42,263	20,695	21,568	Peu plastique
3	Sétif (1)	67,679	25,015	42,664	Plastique
4	Sétif (2)	57,503	23,558	33,945	Plastique
5	M'sila (1)	53,327	22,32	31,007	Plastique
6	M'sila (2)	44,905	20,11	24,795	Peu plastique
7	Jijel	33,076	16,33	16,746	Peu plastique
8	Hassi Massoud (1)	49,25	24,85	24,4	Peu plastique
9	Hassi Massoud (2)	61,547	25,893	35,654	Plastique
10	Ouargla	51,206	22,691	28,515	Plastique
11	Remila	42,908	18,665	24,243	Peu plastique
12	Djelfa	62,805	27,1	35,705	Plastique
13	Bejaia (L)	36,763	18,3	18,463	Peu plastique
14	Biskra	60,373	30,07	30,303	Plastique
15	Oued Soummam	27,234	15,87	11,364	Non plastique
16	Akbou	39,094	20,001	19,093	Peu plastique
17	Adjiba (sable)	26,942	13,196	13,746	Peu plastique

Chapitre III CARACTERISATION DE LA MATIERE PREMIERE

18	Oued Soummam + Sétif (2)	42,369	19,714	22,655	Peu plastique
19	Akbou+ Sétif (2)	48,299	21,78	26,519	Plastique
20	M'sila (1) +Biskra	56,85	26,195	30,655	Plastique
21	Sétif (2) + M'sila (2) + Jijel + Hassi Massoud (2)	49,258	21,473	27,785	Plastique
22	Remila+ Sétif (2)	50,206	21,112	29,094	Plastique
23	Sétif (1) + Remila + Akbou	49,894	21,227	28,667	Plastique
24	Ouargla+ 8% ciment	51,206	22,691	28,515	Plastique
25	Bejaia (L)+ 8% ciment	36,763	18,3	18,463	Peu plastique
26	Oued soummam+8% ciment	27,234	15,87	11,364	Non plastique
27	Akbou+ 8% ciment	39,094	20,001	19,093	Peu plastique
28	Akbou+ 10%Sable	37,879	19,321	18,558	Peu plastique

-Les échantillons ayant un IP élevé, comme Sétif (1) avec 42,664, sont considérés comme "plastiques", ce qui signifie qu'ils ont une capacité notable à se déformer sans rupture.

- Les échantillons présentant un IP modéré (comme Akbou avec 19,093) sont qualifiés peu plastique, ce qui les rends moins déformables que les sols plastiques mais plus stables que les non plastiques.

- Les échantillons ayant un faible IP, tels qu'Oued Soummam avec 11,364, sont considérés comme "non plastiques". Cela indique qu'ils ont une capacité de déformation limitée et sont plus enclins à se fissurer sous contrainte.

-En ajoutant 10% de sable à Akbou, l'indice de plasticité diminue légèrement, le plaçant dans la catégorie peu plastique. Ce qui peut améliorer la stabilité et la capacité portante du sol.

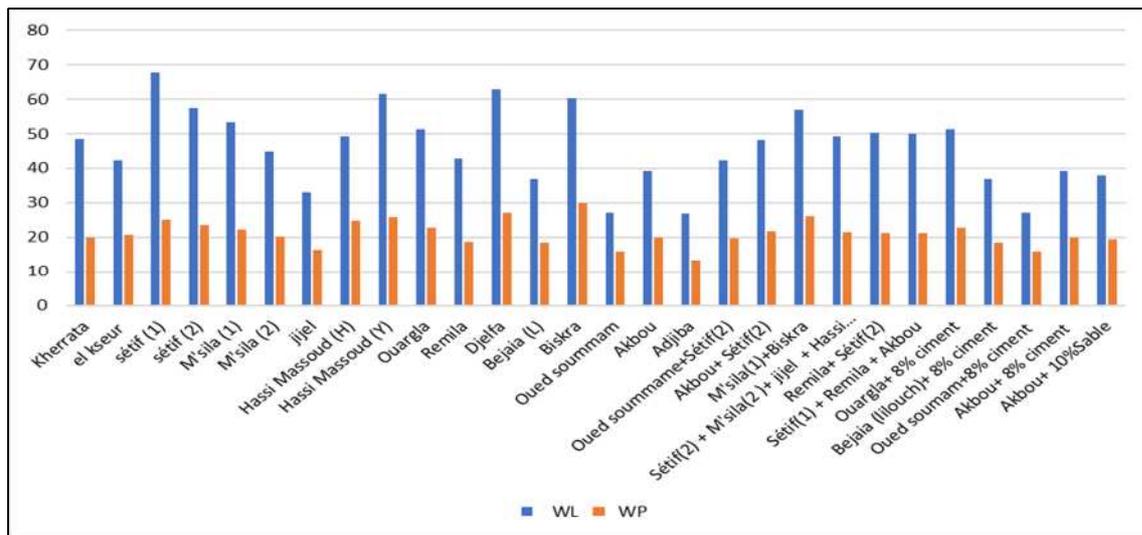


Figure III.11 : Histogramme represent les échantillons en fonction de WL et WP

- Les valeurs les plus élevées de LL se trouvent dans les échantillons 5, 20 et 1.
- Les valeurs les plus faibles de LL se trouvent dans les échantillons 26 et 28.
- Les valeurs les plus élevées de limite de plasticité se trouvent également dans l'échantillon 5.
- Les valeurs les plus faibles de LP se trouvent dans les échantillons 17 et 26.
- Les échantillons avec l'additif (sable) montrent de meilleures performances en termes de réduction de la limite de liquidité et de la limite de plasticité.

Les résultats obtenus à partir de l'abaque de casagrande sont présentés de manière détaillée dans les figures III.12, III.13 et III.14, ainsi que dans les tableaux III.9, III.10 et III.11.

D'après la classification dans l'abaque de Casagrande, on observe que les différents échantillons d'argile sont classés en trois catégories principales : l'argile très plastique, l'argile de plasticité moyenne et le limon peu plastique.

Chapitre III CARACTERISATION DE LA MATIERE PREMIERE

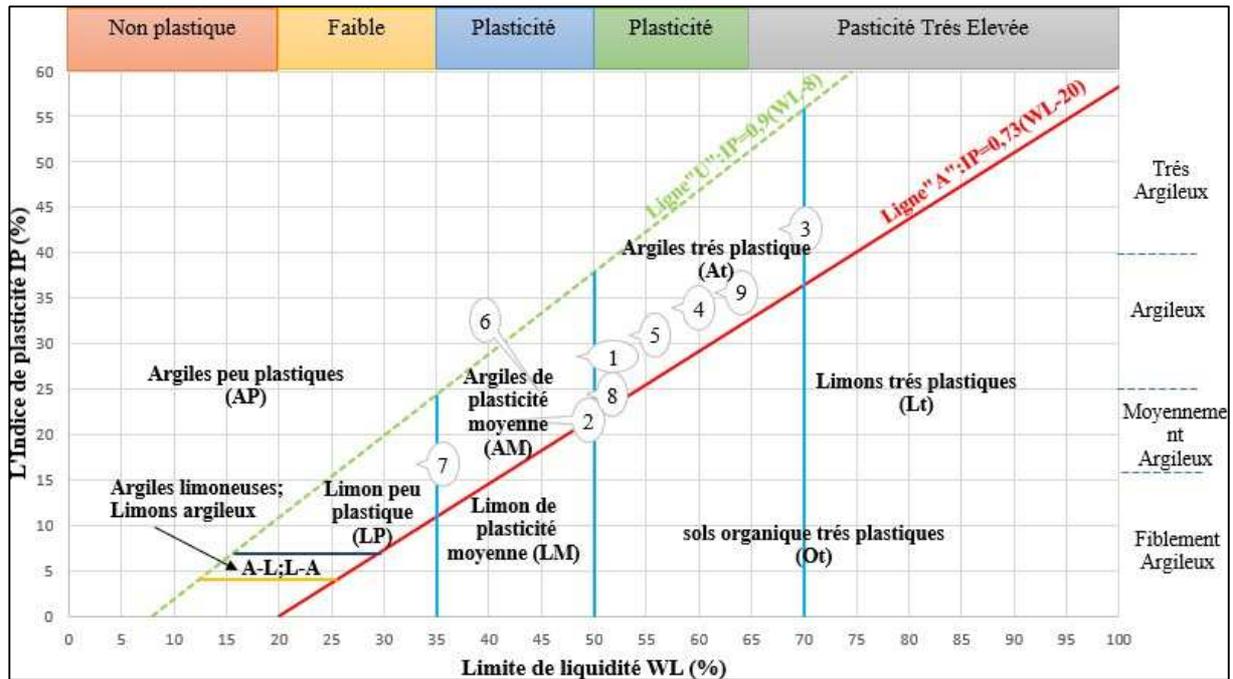


Figure III.12 : Les échantillons représentés sur l'abaque de casagrande

Tableau III.9 : Classification des échantillons sur l'abaque de casagrande

N°:	les échantillons	La Classification
1	Kherrata	Argile de plasticité moyenne
2	El kseur	Argile de plasticité moyenne
3	Sétif (1)	Argile très plastique
4	Sétif (2)	Argile très plastique
5	M'sila (1)	Argile très plastique
6	M'sila (2)	Argile de plasticité moyenne
7	Jijel	Limon peu plastique
8	Hassi Massoud (H)	Argile de plasticité moyenne
9	Hassi Massoud (Y)	Argile très plastique

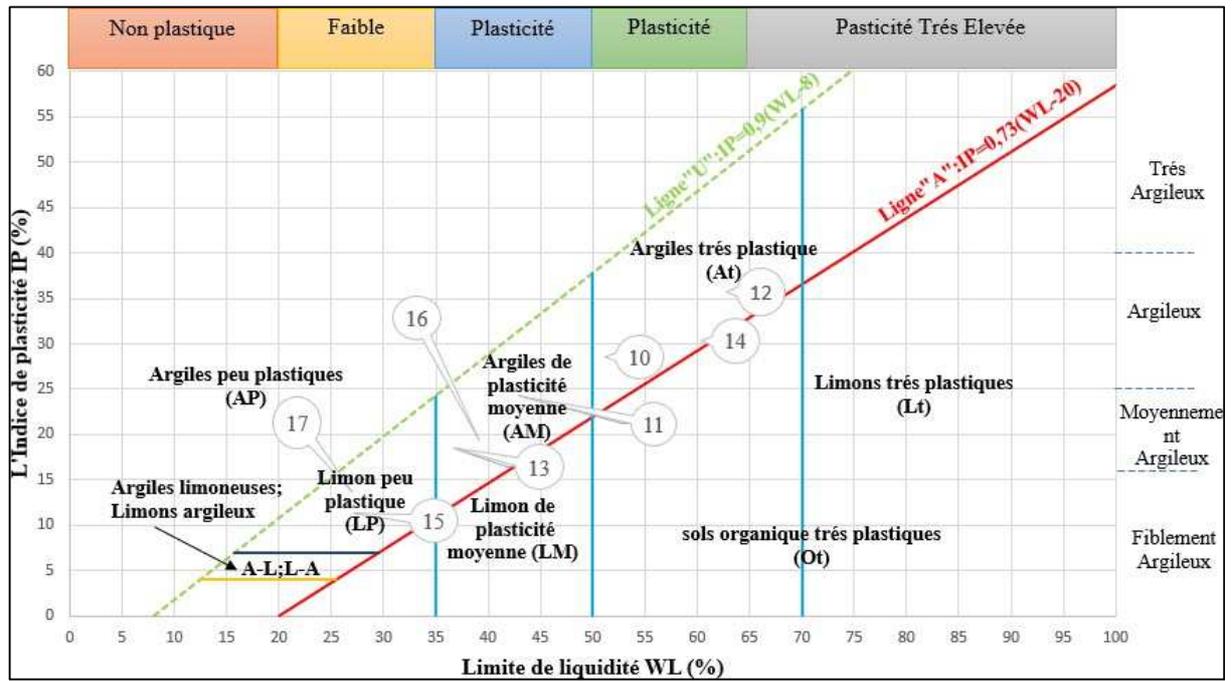


Figure III.13 : Les échantillons représentés sur l'abaque de casagrande

Tableau III.10 : Classification des échantillons sur l'abaque de casagrande

N°:	les échantillons	La Classification
10	Ouargla	Argile très plastique
11	Remila	Argile de plasticité moyenne
12	Djelfa	Argile très plastique
13	Bejaia (L)	Argile de plasticité moyenne
14	Biskra	Argile très plastique
15	Oued Soummam	Limon peu plastique
16	Akbou	Argile de plasticité moyenne
17	Adjiba	Limon peu plastique

Chapitre III CARACTERISATION DE LA MATIERE PREMIERE

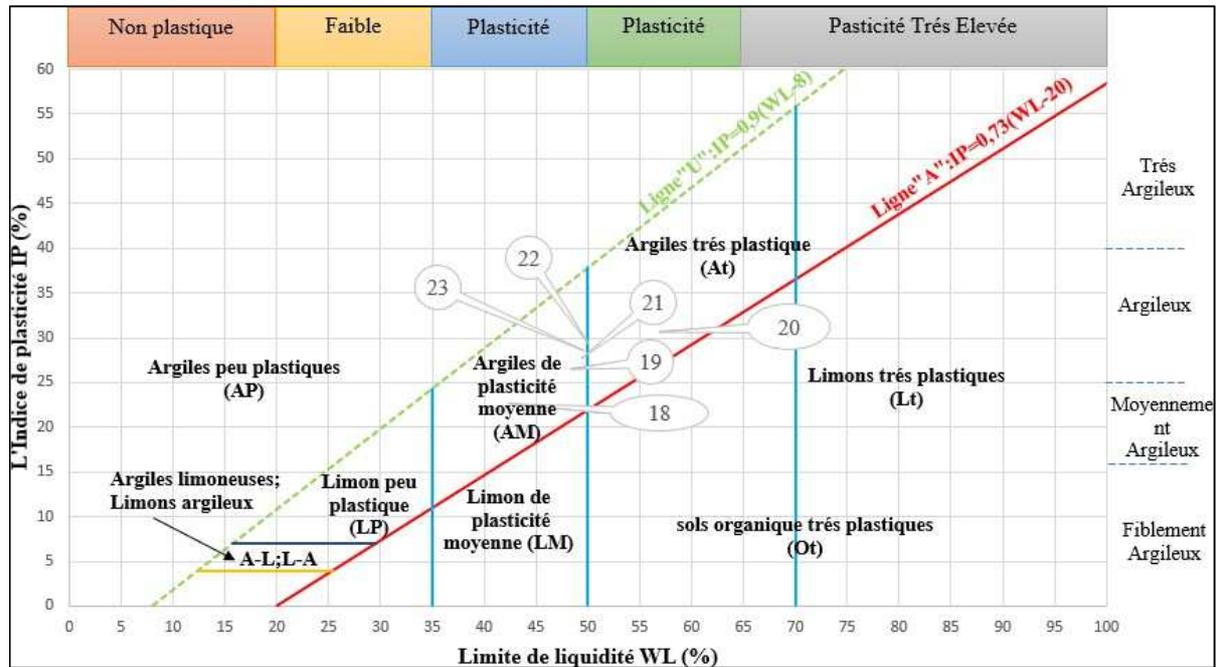


Figure III.14 : Les échantillons représentés sur l'abaque de casagrande

Tableau III.11 : Classification des échantillons sur l'abaque de casagrande

N°:	Les échantillons	La Classification
18	Oued soummame+Sétif(2)	Argile de plasticité Moyenne
19	Akbou+ Sétif(2)	Argile de plasticité Moyenne
20	M'sila(1)+Biskra	Argile très plastique
21	Sétif(2) + M'sila(2) + jijel + Hassi Massoude(Y)	Argile de plasticité Moyenne
22	Bejaia04 (Rmila)+ Sétif(2)	Argile de plasticité Moyenne
23	Sétif(1) + Bejaia 04 + Akbou	Argile de plasticité Moyenne

Tableau III.12: Qualificatif du sol en fonction de l'indice de consistance [69]

IC	< 0	0	0,25	0,5	0,75	1	> 1
Consistance	Liquide	Très molle	Molle	Ferme	Très ferme	Dure	

Chapitre III CARACTERISATION DE LA MATIERE PREMIERE

Tableau III.13 : Ce tableau ci-dessous représente les résultats de l'indice de consistance et de ça classification

les échantillons	Ic	Classification
1)Kherrata	0,9651505	Très ferme
2) El kseur	0,8328542	Très ferme
3) sétif (1)	0,927222	Très ferme
4) sétif (2)	1,0164384	Dure
5) M'sila (1)	1,0387009	Dure
6) M'sila (2)	1,0411784	Dure
7) jjjel	1,2142601	Dure
8) Hassi Massoud (H)	0,925	Très ferme
9) Hassi Massoud (Y)	1,0311045	Dure
10) Ouargla	1,7957566	Dure
11) Remila	1,769913	Dure
12) Djelfa	1,7589973	Dure
13) Bejaia (L)	1,9911715	Dure
14) Biskra	1,992311	Dure
15) Oued soummam	2,3965153	Dure
16) Akbou	2,0475567	Dure
17) Adjiba	1,9599884	Dure
18) Oued soummame+Sétif(2)	1,362569	Dure
19) Akbou+ Sétif(2)	1,3876466	Dure
20) M'sila(1)+Biskra	1,510031	Dure
21) Sétif(2) + M'sila(2)+ jjjel + Hassi Massoude(Y)	1,0560194	Dure
22) Remila+ Sétif(2)	1,3303774	Dure
23) Sétif(1) + Bejaia 04 + Akbou	0,4134952	Dure
24) Ouargla+ 8% ciment	1,7957566	Dure
25) Bejaia (lilouch)+ 8% ciment	1,9911715	Dure
26) Oued soumam+8% ciment	2,3965153	Dure
27) Akbou+ 8% ciment	2,0475567	Dure
28) Akbou+ 10%Sable	2,0411143	Dure

D'après les résultats de ce tableau on constate que la majorité des échantillons sont des sols dures mise a part les ces quatre échantillons 1,2,3 et 8 sont des sols très fermes.

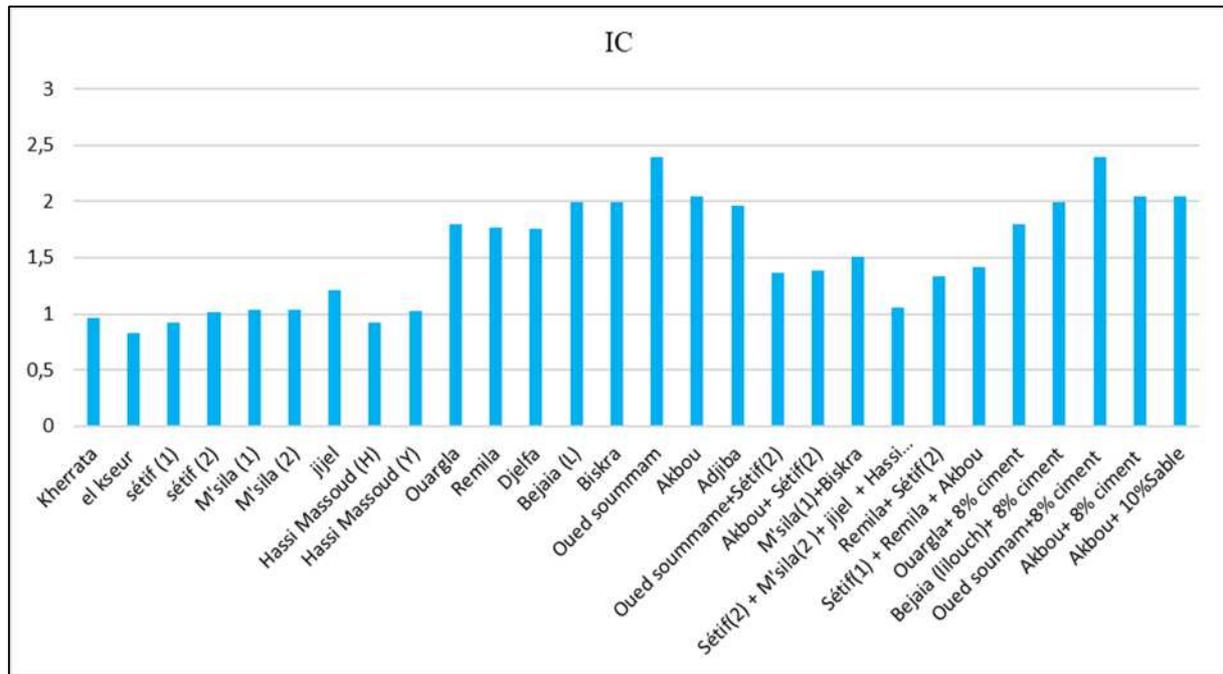


Figure III.15 : Histogramme qui représente les échantillons en fonction l'indice de consistance

Cette courbe illustre les indices de consistance (IC) de divers échantillons. On observe une grande variabilité des indices de consistance, les valeurs allant de 0,5 à plus de 2,5.

Les échantillons tels que Kherrata, El Kseur et Sétif (1) présentent les indices de consistance les plus bas, se situant entre 0,5 et 1.

D'autres sites, comme Hassi Messaoud (H), M'sila (2) et Djelfa, affichent des indices de consistance intermédiaires, compris entre 1 et 1,5.

Enfin, les sites comme Akbou, Sétif (2) et Akbou avec 10% de sable montrent les indices de consistance les plus élevés, atteignant ou dépassant 2,5.

III.3. Conclusion :

Suite aux divers essais et analyses que nous avons menés, nous avons pu caractériser les échantillons que nous avons étudiés. Les résultats de ces essais indiquent clairement que les échantillons sont composés majoritairement d'argiles appartenant à différentes catégories. Ce qui encourage leur utilisation dans la fabrication de briques.

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Introduction

Les précédents chapitres avaient pour but d’expliquer les différents procédés expérimentaux de caractérisation du matériau ainsi que les différentes définitions du matériau utilisé.

Ce chapitre quant à lui est consacré aux résultats des analyses physiques, chimiques, et mécanique des argiles utilisées. Et les discussions relatives aux résultats obtenus.

IV.2. Caractérisation chimique et minéralogique du sol

La composition minéralogique diffère d’un sol à l’autre. Cette différence de constitution peut être conclue à partir d’essais chimiques. Le carbonate de calcium [CaCO₃] est un minerai qui compose essentiellement le calcaire rocheux. Ce dernier peut aussi contenir du magnésium. [70] et est courant de le retrouver dans les argiles. Les sol peuvent être classé suivant leur teneur en CaCO₃. Le tableau ci-dessous résume se classement : [70].

Tableau IV.1 : teneur en CaCO₃ de quelque sol.

CaCO ₃	Dénomination
0-10	Argile ou Limon
10-30	Argile calcaire
30-70	Marne
70-90	Calcaire marneux
90-100	Calcaire

IV.2.1. Analyse de la spectrométrie de fluorescence X (FRX)

L’analyse de la spectrométrie de fluorescence X est utilisée pour déterminer la composition chimique des échantillons.

Les résultats de l’analyse pour chaque sol sont représentés dans le tableau suivant : (Tableau IV.2).

Tableau IV.2 : Résultats de l’analyse FRX

N°:	les échantillons	E.L (%)	Mg (%)	Al (%)	Si (%)	Ca (%)	Fe (%)	K (%)	S (%)
1	Kherrata	63,01	\	7,47	18,46	4,35	4,5	1,54	\
2	el kseur	52,56	1,4	9,24	21,27	8,69	4,38	1,58	\
3	sétif (1)	57,09	2,43	6,69	16,93	12,06	3,31	\	\
4	sétif (2)	56,19	2,11	5,93	15,58	16,11	2,92	\	\
5	M'sila (1)	53,37	\	6,5	15,4	13,6	3,86	\	6,24
6	M'sila (2)	58,38	1,28	6,68	15,6	12,5	3,72	\	\
7	jijel	55,92	\	8,53	16,15	\	3,55	1,45	\
8	Hassi Massoud (1)	57,64	4,23	6,44	19,04	6,81	2,72	1,41	1,08
9	Hassi Massoud (2)	62,16	2,61	5,8	19,85	4,56	2,7	1,23	\

10	Ouargla	58,26	1,46	6,71	21,21	6,78	3,12	1,29	\
11	Remila	54,34	1,7	6,94	20,27	10,15	3,77	1,42	\
12	Djelfa	53,93	3,01	8,12	17,27	9,91	4,12	2,83	\
13	Bejaia (L)	52,14	1,53	7,86	20,39	11,9	3,55	1,48	\
14	Biskra	53,13	1,83	8,66	21,75	7,05	4,11	1,53	1,36
15	Oued soummam	54,85	1,48	6,24	15,53	13,74	3,75	\	3,19
16	Akbou	54,92	1,63	6,47	20,28	11,14	3,22	1,23	\
18	Oued soummame+Sétif(2)	53,91	1,69	6,71	16,84	15,25	3,42	\	1
19	Akbou+ Sétif(2)	53,62	1,93	6,29	19,05	13,78	3,11	\	\
20	M'sila(1)+Biskra	49,86	1,21	7,43	19,1	11,46	4,18	1,02	5,21
21	Sétif(2) + M'sila(2)+ jijel + Hassi Massoude(Y)	52,9	2,01	7,44	20,4	9,97	3,41	1,17	2,16
22	Remila+ Sétif(2)	52,66	1,56	5,71	16,06	14,78	3,09	\	4,85
23	Sétif(1) + Bejaia 04 + Akbou	57,23	1,7	7,01	18,33	9,9	3,68	1,14	\
24	Ouargla+ 8% ciment	55,11	1,61	6,79	20,52	10,5	3,01	1,17	\
25	Bejaia (lilouch)+ 8% ciment	52,67	1,54	7	18,34	14,55	3,31	1,28	\
26	Oued soummam+8% ciment	52,06	1,49	6,69	16,69	17,18	3,64	\	\
27	Akbou+ 8% ciment	51,92	2,11	6,08	19,16	14,96	3,04	1,14	1,21
28	Akbou+ 10%Sable	52,86	1,93	6,58	20,74	11,87	3,3	1,3	\

D'après les résultats obtenus dans ce tableau, on constate que le principal composant des argiles est le Si (Silicone) avec un pourcentage plus important que les autres éléments. Puis vient l'aluminium (Al) et le Calcium (Ca) à des pourcentages qui diffère d'un échantillon à l'autre. Il y'a aussi le fer (Fe) à faible concentration par rapport aux éléments cité en premier, mais pas aussi faible que les éléments secondaires tel que e Magnésium (Mg), le potassium (K), et le Sulfure (S) qui sont à faible concentration, voire même inexistant dans quelques argiles.

Le tableau 3 résume la classification des différent sol étudié suivant leur teneur en CaCO_3 .

Tableau IV.3 : Classifications des échantillons selon leurs teneuses en CaCO_3

N°	les échantillons	CaCO_3	La classification
1	Kherrata	10,875	Argile calcaire
2	el kseur	21,725	Argile calcaire
3	sétif (1)	30,15	Marne
4	sétif (2)	40,275	Marne
5	M'sila (1)	34	Marne
6	M'sila (2)	31,25	Marne
7	jijel	0	Argile ou Limon
8	Hassi Massoud (1)	17,025	Argile calcaire

9	Hassi Massoud (2)	11,4	Argile calcaire
10	Ouargla	16,95	Argile calcaire
11	Remila	25,375	Argile calcaire
12	Djelfa	24,775	Argile calcaire
13	Bejaia (L)	29,75	Argile calcaire
14	Biskra	17,625	Argile calcaire
15	Oued soummam	34,35	Marne
16	Akbou	27,85	Argile calcaire
17	Oued soummame+Sétif(2)	38,125	Marne
18	Akbou+ Sétif(2)	34,45	Marne
19	M'sila(1)+Biskra	28,65	Argile calcaire
20	Sétif(2) + M'sila(2) + jijel + Hassi Massoude(Y)	24,925	Argile calcaire
21	Remila+ Sétif (2)	36,95	Marne
22	Sétif(1) + Bejaia 04 + Akbou	24,75	Argile calcaire
23	Ouargla+ 8% ciment	26,25	Argile calcaire
24	Bejaia (lilouch)+ 8% ciment	36,375	Marne
25	Oued soumam+8% ciment	42,95	Marne
26	Akbou+ 8% ciment	37,4	Marne
27	Akbou+ 10%Sable	29,675	Argile calcaire

La majorité des échantillons sont des argiles calcaires, cela est proportionnelle aux taux de Ca initiale de chacun, plus le taux de calcium est élevé plus le CaCO_3 est présent dans la matière.

IV.2.2. Analyse de la diffraction au rayon X (DRX)

La composition minéralogique diffère d'un échantillon à l'autre, pour identifier les différentes phases minérales cristallisées présents dans un échantillon, il faut appliquer la méthode de la diffraction des rayons X.

Les échantillons choisis pour cette expérience sont :

- Argile de Kherrata
- Argile d'El-Ksreur
- Argile de Jijel
- Argile de M'sila 02
- Argile de Sétif 02

Les résultats de l'analyse pour chaque sol sont représentés dans la courbe suivant :

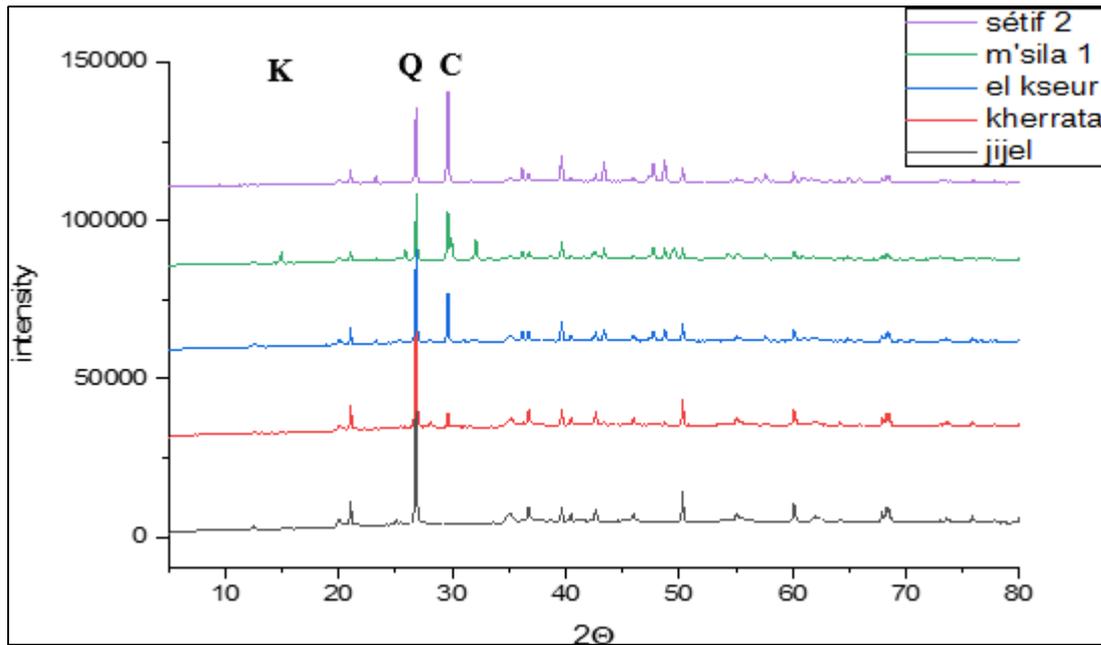


Figure IV.1 : les résultats de la DRX

Cette courbe représente les diagrammes de diffraction des rayons X (DRX) de différents échantillons d'argile. Les principaux pics observés sont marqués par les lettres K (Kaolinite), Q (Quartz) et C (Calcite), qui correspondent probablement à des minéraux spécifiques présents dans les échantillons.

- Les échantillons de Sétif 2, El Kseur et Kherrata présentent des pics de quartz et de calcite.
- L'échantillon de M'sila 1 montre des pics de quartz, de calcite et de kaolinite.
- L'échantillon de Jijel affiche des pics de quartz et de kaolinite.

IV.2.3. Analyse de spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier

Les échantillons choisis pour cette expérience sont :

- Argile de Kherrata
- Argile d'El-Ksseur
- Argile de Jijel
- Argile de M'sila 02
- Argile de Sétif 02

Les résultats de l'analyse pour chaque sol sont représentés dans les courbes et les tableaux suivants :

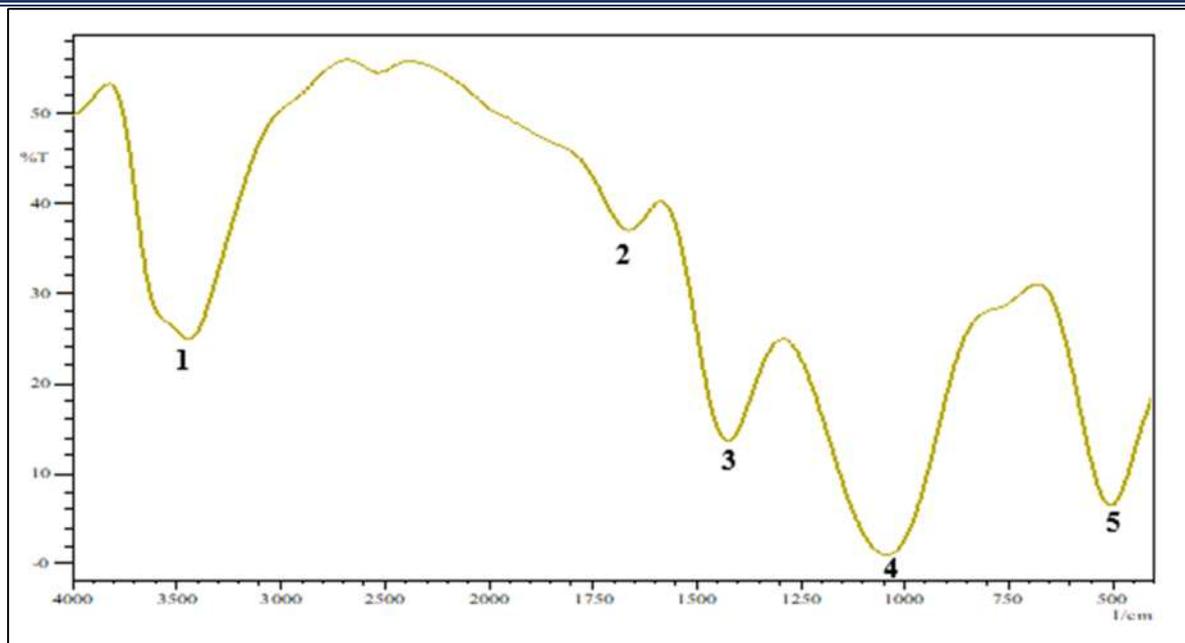


Figure IV.2 : spectre d'infrarouge de l'échantillon de el kseur

Tableau IV.4 : Analyse des composés par Spectroscopie infrarouge le l'échantillon el kseur

Numéro du pic	Nature de l'Absorption	Origine
1	O-H	Eau
2	H-O-H	Eau
3	H-O-H	Eau
4	Si-O	Quartz
5	Si-O-Si	Quartz

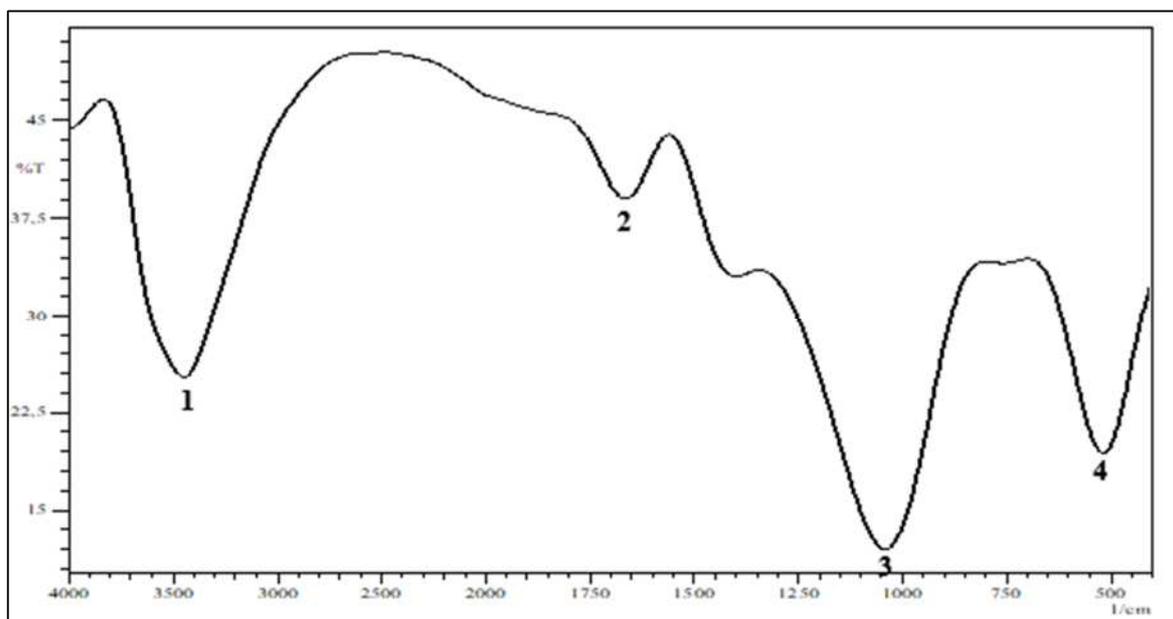


Figure IV.3: spectre d'infrarouge de l'échantillon de kherrata

Tableau IV.5 : Analyse des composés par Spectroscopie infrarouge le l'échantillon de kherrata

Numéro du pic	Nature de l'Absorption	Origine
1	O-H	Eau
2	C=O	CaCO ₃
3	Si-O	Quartz
4	Al-OH	Argile

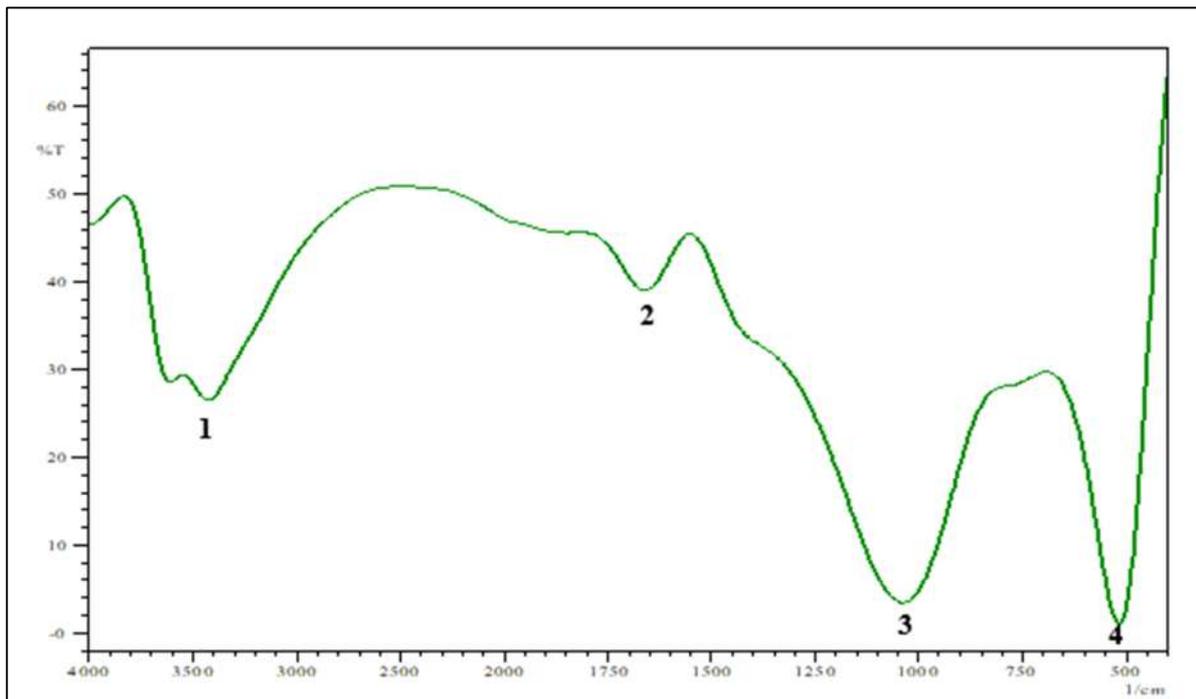


Figure IV.4 : spectre d'infrarouge de l'échantillon de Jijel

Tableau IV.6 : Analyse des composés par Spectroscopie infrarouge le l'échantillon de Jijel

Numéro du pic	Nature de l'Absorption	Origine
1	O-H	Eau
2	H-O-H	Eau
3	Si-O	Quartz
4	Al-OH	Argile

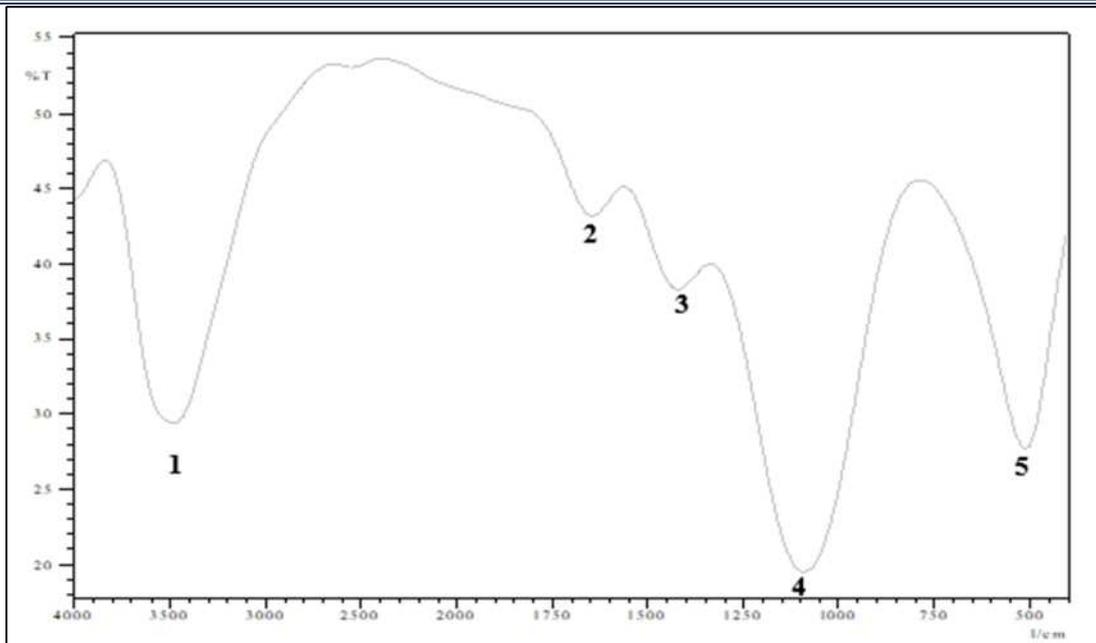


Figure IV.5 : spectre d'infrarouge de l'échantillon de M'sila 1

Tableau IV.7 : Analyse des composés par Spectroscopie infrarouge le l'échantillon de M'sila 1

Numéro du pic	Nature de l'Absorption	Origine
1	O-H	Eau
2	C-H	Matière organique
3	O-H	Eau
4	Si-O	Quartz
5	O-H	Eau

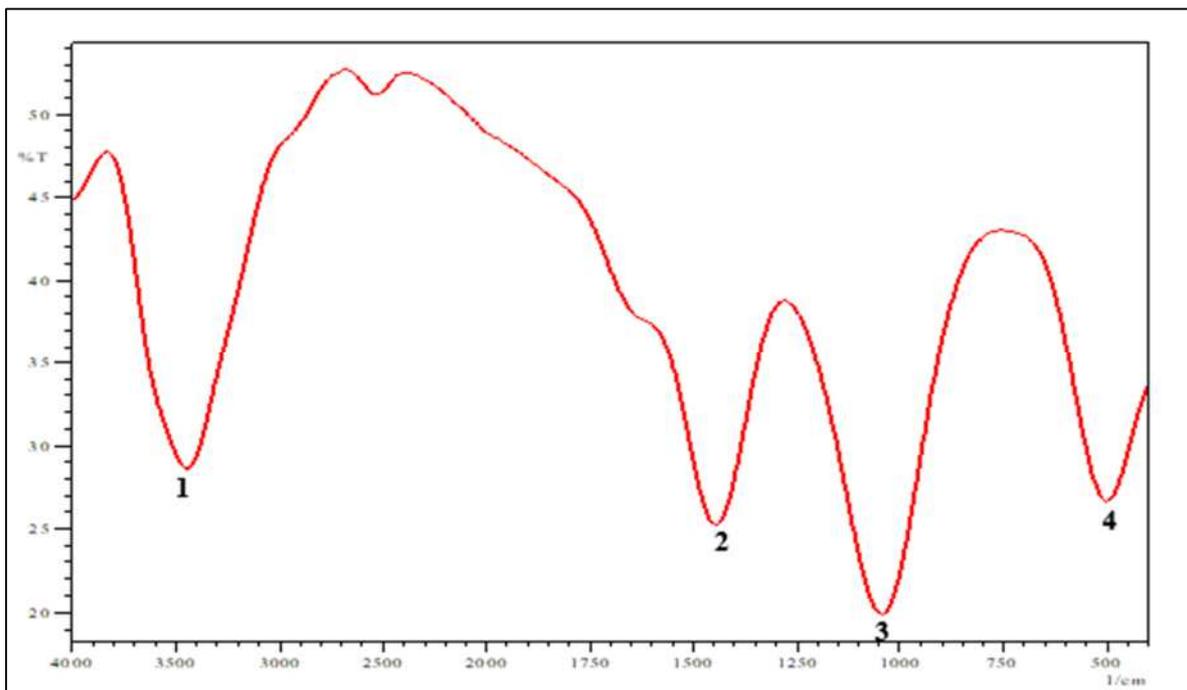


Figure IV.6 : spectre d'infrarouge de l'échantillon de Sétif 2

Tableau IV.8 : Analyse des composés par Spectroscopie infrarouge de l'échantillon de Sétif 2

Numéro du pic	Nature de l'Absorption	Origine
1	O-H	Eau
2	O-H	Eau
3	Si-O	Quartz
4	O-H	Eau

Les principales natures de l'Absorption révèlent principalement la présence de Quartz de composé aluminosilicate, d'eau et de calcaire.

IV.3. Caractéristiques mécaniques et physiques des briques de terre crue

IV.3.1. Conductivité thermique

Les résultats d'analyse de conductivité thermique sont représentés en histogrammes dans la figure (Figure IV.7), en fonction de variations des sols.

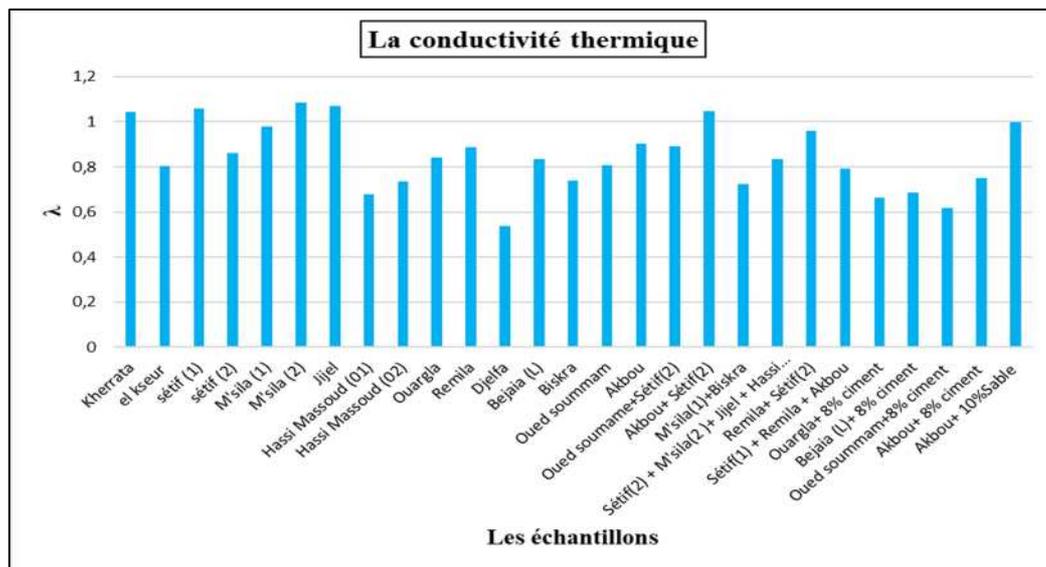


Figure IV.7 : histogramme de conductivité thermique en fonction de variation d'argiles

Le graphique indique que selon la variation d'argiles, la conductivité thermique peut augmenter, ou au contraire diminuer. Tous les résultats sont compris entre [0,5 ; 1,1], l'argile ayant obtenu la plus petite valeur de conductivité thermique (λ) est celle de Djelfa avec une valeur de (0,538). L'argile ayant une conductibilité thermique plus haute que les autres est celle de M'sila 02 avec une conductivité de (1,084). Cette différence est due au transfert de chaleur médiocre entre les grains de sol « Djelfa » contrairement à celle du sol « M'sila02 », car le transfert de chaleur se fait principalement au niveau des points de contact entre les grains d'un sol. D'après cela on constate que plus l'argile est plastique la conductivité thermique diminue, l'argile de moyenne plasticité la conductivité thermique est moyenne, et l'argile limoneux augmente la conductivité thermique.

IV.3.2. Résistance à la compression

La figure (Figure IV.2) représente la résistance à la compression de différentes briques en fonction de variation des argiles :

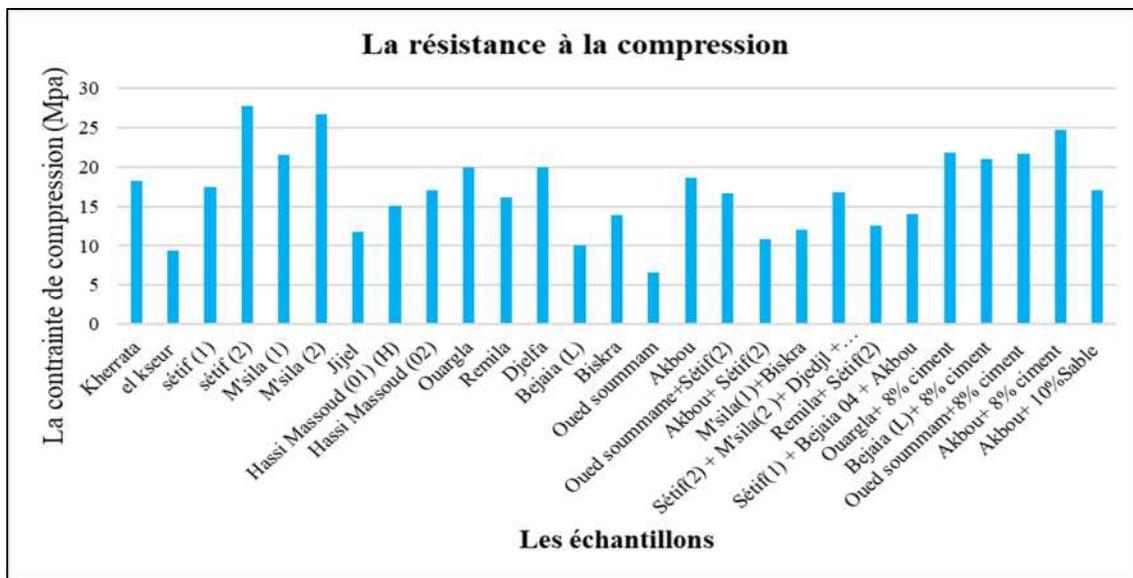


Figure IV.8 : résistance à la compression des briques de terre crue

Cet histogramme représente la résistance à la compression des briques fabriqués à partir des différents échantillons de sol déjà étudié. Les différents résultats montrent que la teneur en eau notamment l'indice de plasticité est un facteur essentiel à la résistance. Car le sol ayant la plus grande résistance est celui de Sétif 02 avec l'IP le plus important qui est de (42,66%), et bien entendu la brique la moins résistante est celle d'Oued Soummam avec l'IP le plus bas qui est de (11.36%).

A partir des résultats précédents et des constats, la conclusion se fait sur le fait que la teneur en eau d'un sol influence directement sur sa résistance à la compression. Plus le sol est plastique, plus sa résistance augmente.

IV.3.3. Durabilité

Afin de tester la durabilité des briques confectionnés avec les argile caractérisé, des briques avec 100% argile sont confection avec 'autre contenant 10% de sable ou encore 4 à 8% de ciment. Le tableau ci-dessous représente la durabilité des briques en fonction de la masse à partir de différents cycles de mouillage/séchage.

Tableau IV.9 : représente la durabilité des briques argile sans ajout et avec ajout de 10% de sable .

N°:	Les échantillons	n°:	masse initiale	1er cycle
1	Kherrata	1	85,8	\
		2	92,8	\
2	el kseur	3	92,3	88,7
		4	94,2	\

3	sétif (1)	5	92,2	\
4	sétif (2)	7	84,5	70,5
		8	88,4	78,2
5	M'sila (1)	9	95,2	\
		10	92,3	\
6	M'sila (2)	11	88,7	\
		12	91,7	77
7	Jijel	13	91,1	\
		14	92,7	\
8	Hassi Massoud (1)	15	94,8	89,3
		16	81,2	75,4
9	Hassi Massoud (2)	17	85,9	74,2
		18	87,2	76,7
10	Ouargla	19	86,7	\
		20	83,6	\
11	Remila	21	78,1	\
		22	91,1	\
12	Djelfa	23	76,4	\
13	Bejaia (L)	25	90,1	\
		26	83	\
14	Biskra	27	73,7	60,1
		28	\	\
15	Oued soummam	29	92,4	\
		30	89,9	\
16	Akbou	31	92,9	\
		32	90,8	\
18	Oued soummame+Sétif(2)	33	91,1	80,2
		34	92,3	\
19	Akbou+ Sétif(2)	35	87,5	\
		36	89,4	\
20	M'sila(1)+Biskra	41	81,1	\
		42	75,4	\
21	Sétif(2) + M'sila(2)+ jijel + Hassi Massoude(2)	43	83,3	\
		44	81,1	\
22	Remila+ Sétif(2)	45	113,7	\
		46	\	\
23	Sétif(1) + Bejaia 04 + Akbou	53	85,5	\

		54	84,8	\
28	Akbou+ 10%Sable	51	90,3	\
		52	84,7	\

Les briques sans ajout n'ont pas pu résister au premier cycle de test. La terre cru à elle seul a une faible résistance a l'eau



Figure IV.9 : dégradation des briques des l'échantillons sans ajout

Selon les résultats obtenus dans le tableau qui représente la durabilité des briques d'argile sans ajout et avec ajout de 10% de sable on constate que les briques sont durables que d'un cycle.

Tableau IV.10 : représente la durabilité des briques d'argile avec ajout de 8% de ciment

N° :	24		25		26		27	
Echantillons	Ouargla+ 8% ciment		Bejaia (L)+ 8% ciment		Oued soummam+8% ciment		Akbou+ 8% ciment	
n° :	37	38	39	40	47	48	49	50
Masse initiale	93,1	91,1	94,7	94,7	86,6	88,2	94,9	90
1 er cycle	93,1	91,1	94,6	94,7	86	87,5	94,9	89,9
2 éme cycle	93	91,1	94,6	94,7	86	87	94,8	89,9
3 éme cycle	93	91,1	94,6	94,7	86	86,3	94,8	89,9
4 éme cycle	93	91,1	94,6	94,7	86	85,2	94,8	86,9
5 éme cycle	93	90,9	94,6	94,7	86	83,7	94,8	86,9
6 éme cycle	92,6	89,7	94,6	94,7	86	78,6	94	86,8
7 éme cycle	92,6	89,7	94,6	94,7	86	\	94	86,8
8 éme cycle	92,6	89,7	94,6	94,7	\	\	93,9	86,8
9 éme cycle	92,6	89,2	94,6	94,6	\	\	93,4	86,8
10 éme cycle	91,3	87,1	88,7	88,2	\	\	89,8	84,4
11 éme cycle	89,4	85,2	88,7	\	\	\	89,8	84,4
12 éme cycle	88,2	84,9	88,6	\	\	\	\	83,9

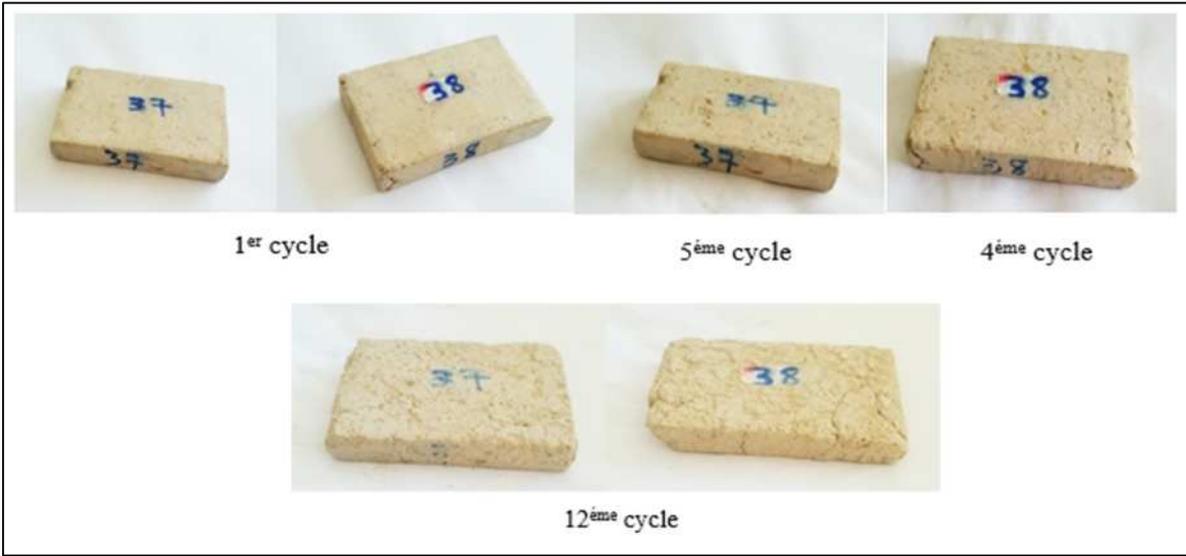


Figure IV.10 : dégradation des briques de l'échantillon de Ouargla+8% ciment

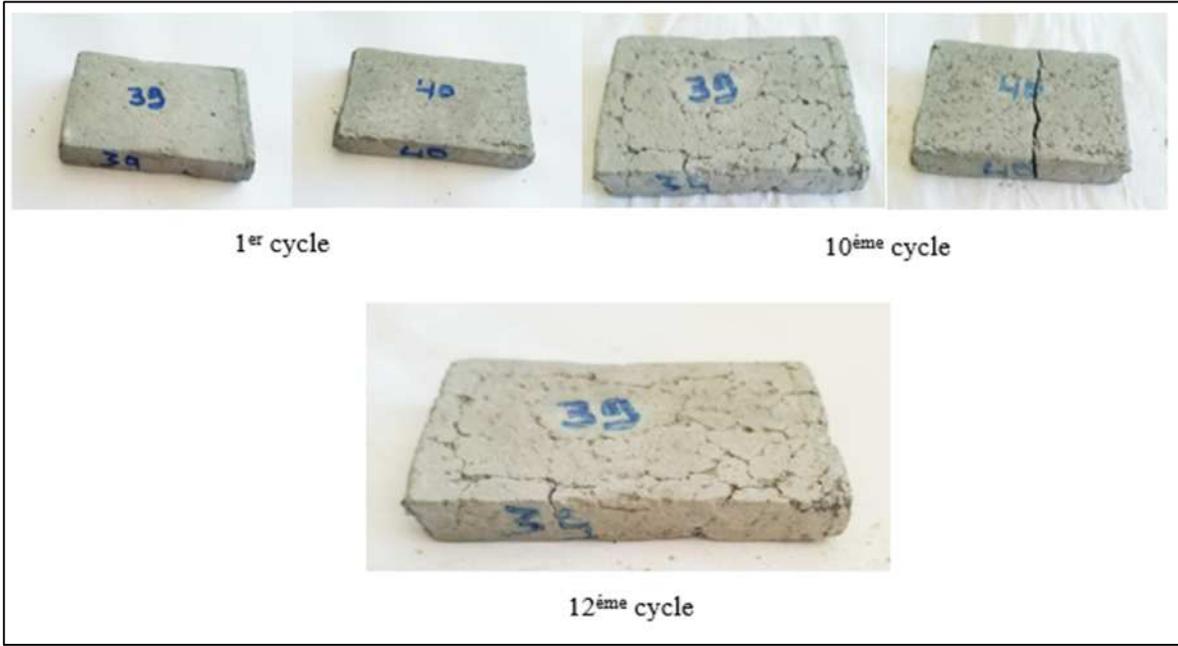


Figure IV.11 : dégradation des briques de l'échantillon de Bejaia (L)+ 8% ciment



Figure IV.12 : dégradation des briques de l'échantillon d'Oued soummam+8% ciment



Figure IV.13 : dégradation des briques de l'échantillon d'Akbou+ 8% ciment

Dans le tableau qui représente la durabilité des briques d'argile avec ajout de 8% de ciment on a conclu plusieurs changements pour chaque échantillon qu'on a testé sur 2 briques qui ont été observés comme suite :

- L'échantillon de Ouargla : une stabilité de masse du 1er cycle jusqu'à au 5ème cycle pour la brique N°37 et au 4ème cycle pour la brique N°38. A partir du 5ème cycle une légère diminution de masse a été remarquée pour les deux briques 37 et 38.
- L'échantillon de Bejaia (L) : une stabilité de masse du 1er cycle jusqu'à 9ème cycle pour les deux briques N°39 et N°40, A partir du 10ème cycle la brique N°40 a été ruinée, et la brique N°39 a diminué légèrement.
- L'échantillon d'Oued soummam :
 - Brique N° 47 a été stable du 1er jusqu'au 7ème cycle et a été ruinée.
 - Brique N°48 a eu une légère diminution de masse du 1er cycle au 6ème cycle, et a été ruinée au 7ème cycle.
- L'échantillon d'Akbou :
 - Brique N°49 : une stabilité de masse du 1er cycle jusqu'à 9ème cycle, à partir du 10ème jusqu'au 11ème cycle une légère diminution, et la brique a été ruinée.
 - Brique N°50 : une légère diminution de masse jusqu'à 12ème cycle.

IV.4. Conclusion

Dans ce chapitre les analyses chimiques, minéralogiques, et mécaniques des argiles utilisées ont été présentées, et montrent que la composition chimique et minéralogique des sols influence leurs propriétés mécaniques et physiques. En outre la teneur en eau et la plasticité des sols sont des facteurs clés affectant la conductivité thermique et la résistance à la compression des briques de terre crue. La durabilité des briques peut-être améliorée avec l'ajout de ciment ainsi leur potentiel pour des applications pratiques.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

La technique de construction en bloc de terre crue, ancrée dans l'histoire depuis l'antiquité, représente une méthode rapide et économique de bâtir. En termes de vitesse d'exécution, elle rivalise avec les matériaux industriels, tout en nécessitant peu d'outillage, le moule étant l'unique équipement essentiel pour la fabrication des briques.

Le développement de la construction en terre crue est limité par des facteurs (économiques, durée de construction, et durabilité). Par rapport à l'économie, il y'a une compétitivité sur le marché notamment par rapport au coût de la matière. Le coût d'exécution étant élevée pour certaines techniques comme le pisé ou le torchis. Limitée par le temps de séchage, la durée de construction peut être prolonger. La capacité structurelle limitée par rapport au béton ce qui fais que sa durabilité par rapport au béton est médiocre, aussi une mauvaise résistance à l'eau.

Cette étude a permis d'identifier les caractéristiques géotechniques et physico-mécaniques d'argiles de différentes régions d'algerie avec pour objetctif la conception de briques de terre crue. Nous avons d'abord fait une présentation des caractéristiques optimales de différentes argiles. Puis la conception d'éprouvettes sur les quelles une série d'essais mécanique et chimique ont été portés.

Elle nous a permis aussi de suivre la dégradation de différentes briques de terre crue après l'analyse des résultats obtenus. Ce qui se conclue en :

- la caractérisation géotechnique a permis de déterminer la nature de différentes argiles.
- La plasticité de l'argile influe sur la conductivité thermique et la résistance à la compression des briques de terre crue.
- la composition chimique et minéralogique des sols influence leurs propriétés mécaniques et physiques.
- La durabilité des briques peut être amélioré avec l'ajout de ciment, ainsi leur potentiel pour des applications pratiques.
- Les argiles les plus plastiques sont les plus favorable pour l'élaboration de briques en terre crue.

En perspective on prévoit d'étudier d'autres méthodes pour l'analyse de durabilité, tester d'autres types de liants pour améliorer la résistance et la durabilité des briques.

ANEXE



UNITE DE BEJAIA

Structure : LABO

DÉTERMINATION DES LIMITES D'ATTERBERG

Selon NF P 94-051 / Mars 1993

N° Dossier : Projet :
Sondage / Puits : Profondeur : Ech I Nature :
Matériel vérifié : El-Kaou

Température de Séchage, préparation : Séchage teneur en eau :
Date de début d'essai : Date de fin d'essai :
Balance N° : Étuve N° :

Résultats { $W_L = 42,263$
 $W_P = 20,695$ IP = 21,568

II - LIMITE DE PLASTICITÉ (W_P)

	1 ^{er} Essai		2 ^{ème} Essai		3 ^{ème} Essai	
N° de la tare	60,9	647	671			
Poids total humide (g)	10,683	10,253	10,712			
Poids total sec (g)	10,571	10,155	10,584			
Poids de la tare (g)	10,037	9,675	9,199			
Poids de l'eau (g)	0,112	0,098	0,128			
Poids du sol sec (g)	0,534	0,480	1,385			
Teneur en eau (%)	20,97	20,42	9,242			
Moyenne (%)	20,695					

$W_P = 20,695 \%$

LE CHARGÉ D'ESSAI

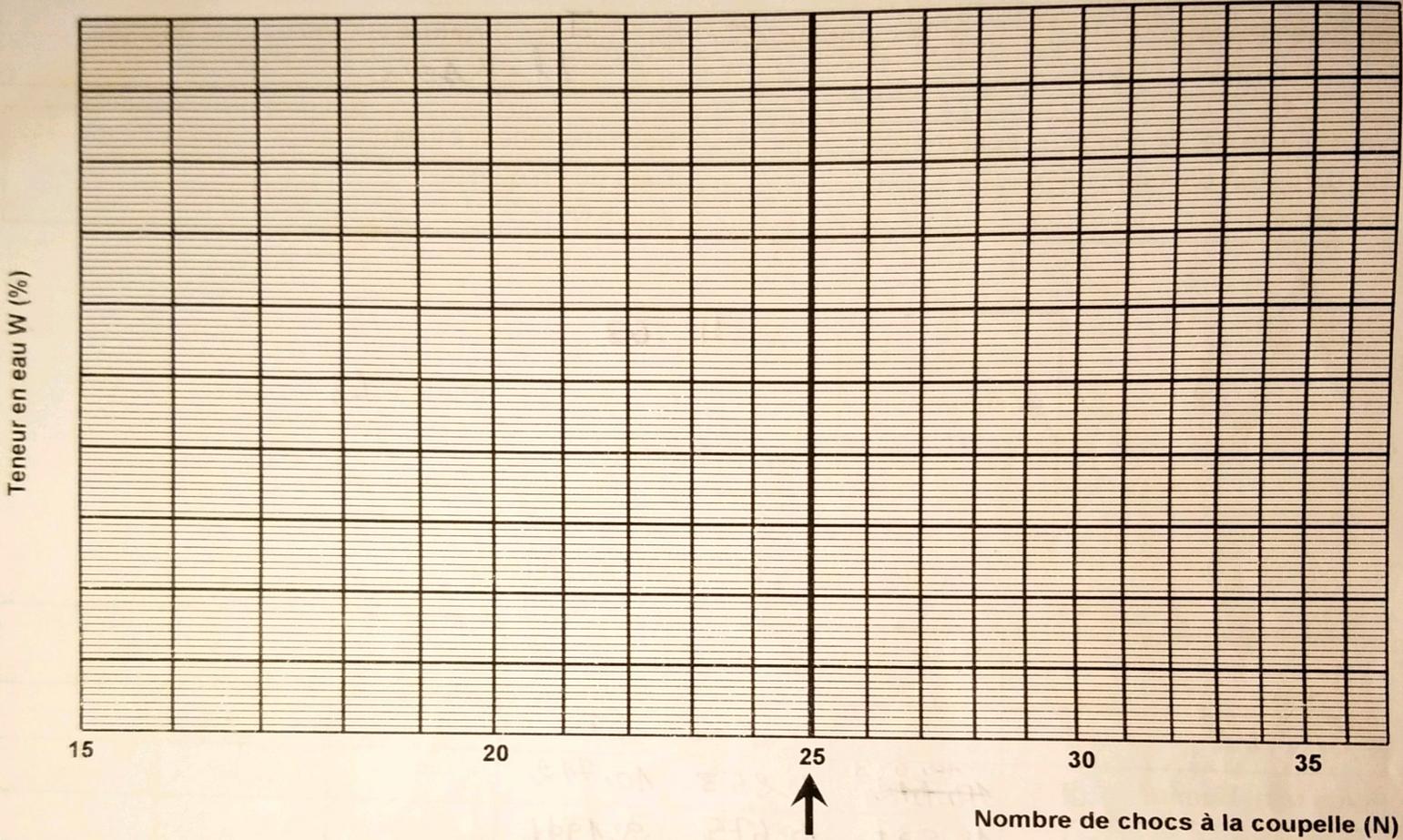
LE RESPONSABLE DE LA STRUCTURE

I - LIMITE DE LIQUIDITE (W_L)

$$W_L = W \cdot \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121}$$

Coupelle { Lisse (*)
Rugueuse (*)

(* Rayer la mention inutile)



	1 ^{er} Essai		2 ^{ème} Essai		3 ^{ème} Essai		4 ^{ème} Essai		5 ^{ème} Essai	
Nombre de coups	15		20		25		30			
N° de la tare	653	600	673	631	686	694	643	665		
Poids total humide (g)	21,160	17,530	20,368	18,138	18,206	21,600	24,012	17,853		
Poids total sec (g)	17,804	14,926	16,934	15,618	15,747	18,136	19,601	15,310		
Poids de la tare (g)	10,154	8,952	9,036	9,815	9,937	9,915	8,924	9,148		
Poids de l'eau (g)	3,356	2,604	3,434	2,523	2,459	3,464	4,411	2,543		
Poids du sol sec (g)	7,650	5,974	7,898	5,803	5,810	8,221	10,677	6,162		
Teneur en eau (%)	43,869	43,588	43,479	43,421	42,328	42,135	41,313	41,269		
Moyenne	43,728		43,452		42,229		41,291			

44,728

PROVINCE DE BEJAIA

Structure : LABORATOIRE

TENEUR EN EAU - DENSITE APPARENTE

Selon NF P 94-050 Septembre 1995 / NF P 94-053 Octobre 1991 (Méthode par immersion dans l'eau)

N° Dossier : /2024 Projet :
 Sondage / Puits : 193 Profondeur : / Nature :
 Matériel vérifié : Ech ①

Date de Début d'essai : Fin d'essai :
 Température de la salle Début d'essai : Fin d'essai :
 Température de séchage : 50 °C 105 °C Balance N° : 164 Etuve N° : 805
 Echantillon : Intact Paraffiné Intact Non Paraffiné Reconstitué

Echantillons	I	II	III	IV
N° Tare	11	66		
P.H + Tare (g)	87,45	78,02		
P.S + Tare (g)	73,42	66,00		
P. Tare (g)	16,161	16,148		
P. Eau (g)	14,03	12,02		
P. Sol sec (g)	57,259	49,852		
Teneur en eau (%)	24,50	24,11		
Moyenne	24,30			
PH + Paraffine (g)	371,40			
Poids humide (g)	362,00			
Poids paraffine (g)	9,40			
P. Matériaux dans l'eau (g)	183,54			
Volume brut (cm³)	187,86			
Volume paraffine (cm³)	10,68			
Volume net (cm³)	177,18			
Densité humide γ_h (t/m³)	2104			
Teneur en eau (%)	24,30			
Densité sèche γ_d (t/m³)	1,64			

M O Y E N N E

N° Echantillons	W (%)	γ_h (t/m³)	γ_d (t/m³)	Ws (%)	Sr (%)
I	24,30	2104	1,64	23,97	100

LE CHARGÉ D'ESSAI

LE RESPONSABLE DE LA STRUCTURE



UNITE DE BEJAIA

Structure : LABORATOIRE

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Méthode par tamisage à sec après lavage selon NFP 94-056 / Mars 1996

Méthode par sédimentation selon NFP 94-057 / Mai 1992

N° Dossier : _____ Projet: _____
 Sondage / Puits : _____ Profondeur : 15 / 2.5 Nature : _____

Matériel vérifié :
Granulométrie par tamisage :
 Date d'essai : _____
 Poids de l'échantillon : 600g (g)
 Température de séchage 50° C 105° C
Sédimentométrie :
 Date de Début d'essai : _____ Fin d'essai : _____
 Masse utilisé : 50g (g)
 Poids spécifique du sol : $\gamma_s = 2.70 \text{ t/m}^3$ (conventionnelle)
 Section de l'éprouvette : $A = \text{cm}^2$
 Densimètre : $H_0 = \text{cm}$ $H_1 = \text{cm}$ $h_1 = \text{cm}$ $V_d = \text{cm}^3$
 Balance N° : 194 Etuve N° : 808

Tamis (mm)	Masse des refus cumulés (g)	Passant (%)
100		
80		
63		
50		
40		
31.5		
25		
20		
16		
10		
8		
6.3		
5		
4		
2		
1.25		
1		
0.63		
0.40		
0.25		
0.20		
0.125		
0.100		
0.080	<u>0</u>	<u>100</u>

Date	t (mm)	Lecture R	Temp. (°C)	C.M/C.D/C.T
<u>8H35</u>	30 s	<u>24.198</u>	<u>19.9</u>	<u>-0.018</u>
<u>8H36</u>	1	<u>24.3</u>	<u>19.9</u>	<u>0.012</u>
<u>8H37</u>	2	<u>24</u>	<u>19.9</u>	<u>?</u>
<u>8H40</u>	5	<u>23</u>	<u>19.9</u>	<u>?</u>
<u>8H45</u>	10	<u>22</u>	<u>19.9</u>	<u>?</u>
<u>8H55</u>	20	<u>20</u>	<u>19.9</u>	<u>?</u>
<u>9H15</u>	40	<u>18</u>	<u>19.9</u>	<u>?</u>
<u>9H55</u>	80	<u>16</u>	<u>19.9</u>	<u>?</u>
<u>12H38</u>	240	<u>11.8</u>	<u>20.2</u>	<u>+0.037</u>
<u>8H35</u>	1440	<u>9.8</u>	<u>19.4</u>	<u>-0.108</u>

LE CHARGÉ D'ESSAI

LE RESPONSABLE DE LA STRUCTURE

ech I



UNITE DE BEJAIA

Structure : LABO

DÉTERMINATION DES LIMITES D'ATTERBERG

Selon NF P 94-051 / Mars 1993

N° Dossier : Projet : E.H. (II) Kessata bejaia
Sondage / Puits : Profondeur : Nature :
Matériel vérifié :

Température de Séchage, préparation : Séchage teneur en eau :
Date de début d'essai : Date de fin d'essai :
Balance N° : Étuve N° :

Résultats { $W_L = 48,464$
 $W_P = 19,884$ IP = 28,18

II - LIMITE DE PLASTICITÉ (W_P)

	1 ^{er} Essai		2 ^{ème} Essai		3 ^{ème} Essai	
N° de la tare	681	640	679	607		
Poids total humide (g)	9,732	9,961	9,793	9,328		
Poids total sec (g)	9,657	9,861	9,708	9,241		
Poids de la tare (g)	9,276	9,372	9,296	8821		
Poids de l'eau (g)	0,087	0,100	0,087	0,083		
Poids du sol sec (g)	0,381	0,409	0,412	0,424		
Teneur en eau (%)	19,68	19,64	20,63	19,78		
Moyenne (%)	19,66		20,10			

$W_P = 19,884$ %

LE CHARGÉ D'ESSAI

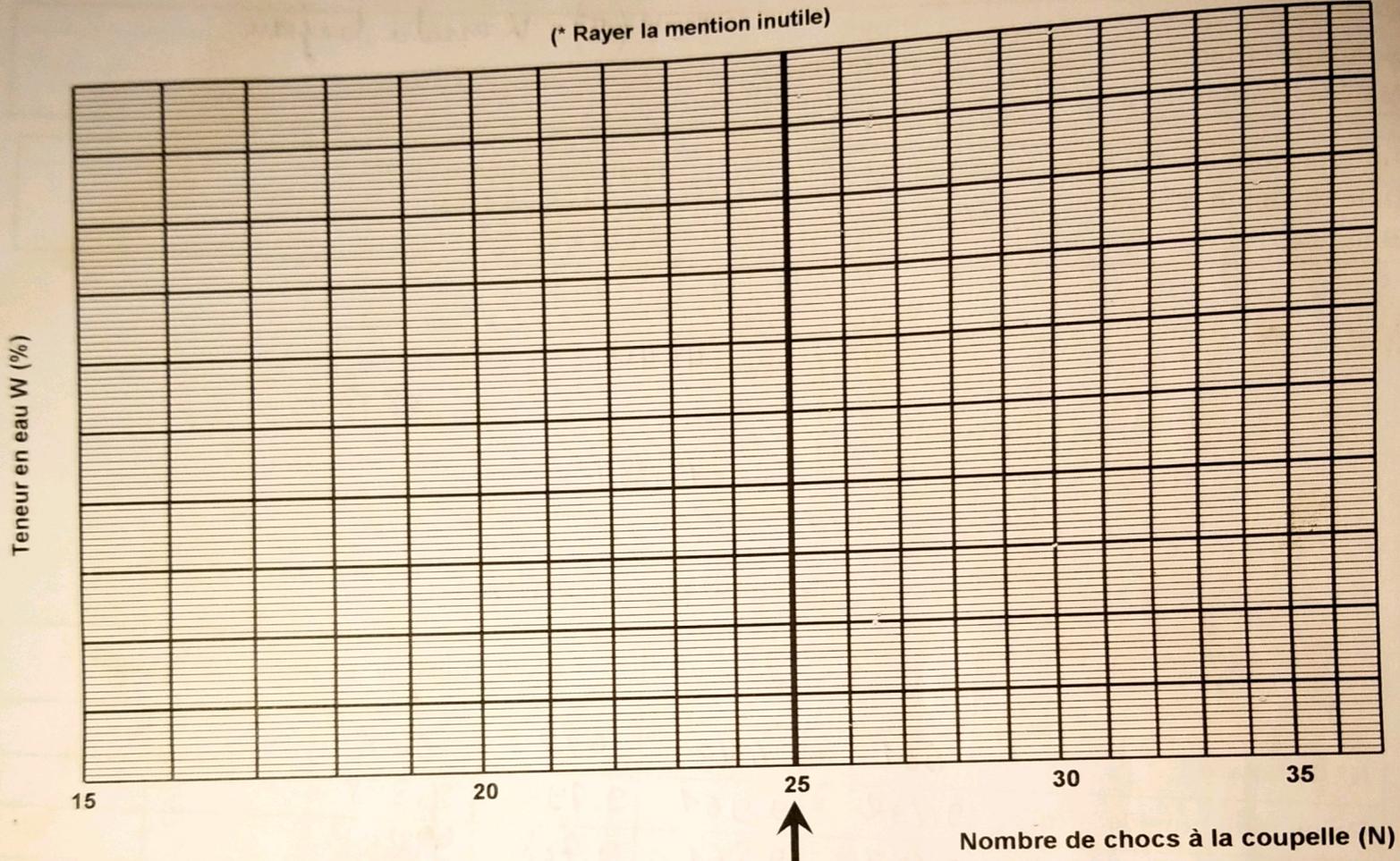
LE RESPONSABLE DE LA STRUCTURE

I - LIMITE DE LIQUIDITÉ (W_L)

$$W_L = W \cdot \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121}$$

Coupelle { Lisse (*)
Rugueuse (*)

(* Rayer la mention inutile)



	1 ^{er} Essai		2 ^{ème} Essai		3 ^{ème} Essai		4 ^{ème} Essai		5 ^{ème} Essai	
Nombre de coups	16		20		27		34			
N° de la tare					11,23	11,23	619	611		
Poids total humide (g)	19,141	18,249	16,238	17,847	17,291	17,437	18,214	17,014		
Poids total sec (g)	11,868	11,343	13,902	11,220	13,424	14,938	11,163	14,982		
Poids de la tare (g)	9,103	9,679	9,164	9,817	9,442	9,763	9,881	10,176		
Poids de l'eau (g)	3,276	2,906	2,336	2,627	1,882	2,479	2,641	2,062		
Poids du sol sec (g)	6,362	8,664	4,738	1,403	3,982	1,191	1,678	4,376		
Teneur en eau (%)	41,493	31,306	49,304	48,621	46,886	47,719	46,689	47,122		
Moyenne	41,399		48,962		47,302		46,904			

UNITE DE BEJAIA

Structure : LABORATOIRE

TENEUR EN EAU - DENSITE APPARENTE

Selon NF P 94-050 Septembre 1995 / NF P 94-053 Octobre 1991 (Méthode par immersion dans l'eau)

N° Dossier : /2024 Projet : EVNH LOT N° 01 ZAL
Sondage / Puits : 193 Profondeur : / Nature :
Matériel vérifié : ECH (II)

Date de Début d'essai : Fin d'essai :
Température de la salle Début d'essai : Fin d'essai :
Température de séchage : 50 °C 105 °C Balance N° : 164 Etuve N° : 805
Echantillon : Intact Paraffiné Intact Non Paraffiné Reconstitué

Echantillons	I	II	III	IV
N° Tare	11 15			
P.H + Tare (g)	69,48 72,71			
P.S + Tare (g)	60,18 62,86			
P. Tare (g)	16,16 15,143			
P. Eau (g)	9,30 9,85			
P. Sol sec (g)	44,02 47,72			
Teneur en eau (%)	21,12 20,64			
Moyenne	20,88			
PH + Paraffine (g)	397,17			
Poids humide (g)	386,60			
Poids paraffine (g)	10,57			
P. Matériaux dans l'eau (g)	104,15			
Volume brut (cm³)	203,02			
Volume paraffine (cm³)	12,01			
Volume net (cm³)	191,01			
Densité humide γ_h (t/m³)	2,02			
Teneur en eau (%)	20,88			
Densité sèche γ_d (t/m³)	1,67			
M O Y E N N E				
N° Echantillons	W (%)	γ_h (t/m³)	γ_d (t/m³)	Ws (%) Sr (%)
	20,88	2,02	1,67	22,88 100

LE CHARGÉ D'ESSAI

LE RESPONSABLE DE LA STRUCTURE

UNITE DE BEJAIA

Structure : LABORATOIRE

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

Méthode par tamisage à sec après lavage selon NFP 94-056 / Mars 1996

Méthode par sédimentation selon NFP 94-057 / Mai 1992

N° Dossier : _____ Projet: _____
 Sondage / Puits : _____ Profondeur : _____ / Nature : _____

Matériel vérifié : <input checked="" type="checkbox"/>					Tamis (mm)	Masse des refus cumulés (g)	Passant (%)
Granulométrie par tamisage :					100		
Date d'essai : 14/03/2024					80		
Poids de l'échantillon : 500 (g)					63		
Température de séchage <input type="checkbox"/> 50° C <input checked="" type="checkbox"/> 105° C					50		
Sédimentométrie :					40		
Date de Début d'essai : 17/03/2024 Fin d'essai : 1/03/2024					31.5		
Masse utilisé : 50g (g)					25		
Poids spécifique du sol : $\gamma_s = 2.70 \text{ t/m}^3$ (conventionnelle)					20		
Section de l'éprouvette : $A = \text{cm}^2$					16		
Densimètre : $H_0 = \text{cm}$ $H_1 = \text{cm}$ $h_1 = \text{cm}$ $V_d = \text{cm}^3$					10		
Balance N° : _____ Etuve N° : _____					8	0	100
					6.3	4	99,20
Date et heure	t (mn)	Lecture R	Temp. (°C)	C.M/C.D/C.T	5	6	98,80
8h35	30 s	16	20,7	+0,133	4	10	98,00
8h36	1	15,8	/	"	2	20	96,00
8h37	2	15	20,8	+0,142	1.25	30	94,00
8h40	5	14	/	"	1	36	92,8
8h45	10	13,5	/	"	0.63	46	90,8
8h55	20	13	20,9	+0,171	0.40	56	88,80
9h15	40	12,3	/	"	0.25	64	87,20
9h55	80	11,8	/	"	0.20	66	86,8
12h35	240	10	21,9	+0,361	0.125	74	85,20
8h35	1440	7	21,6	+0,304	0.100	78	84,40
					0.080	82	83,6

LE CHARGÉ D'ESSAI

ECH(2)

LE RESPONSABLE DE LA STRUCTURE



MINISTRE DE L'HABITAT, DE L'URBANISME ET DE LA VILLE

المخبر الوطني للسكن والبناء

LABORATOIRE NATIONAL DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION

E.P.E./S.P.A AU CAPITAL DE 800 000 000 DA - R.C. N°008 13183-16/00

Direction Régionale Est



UNITE DE BEJAIA

Structure : LABO

DÉTERMINATION DES LIMITES D'ATTERBERG

Selon NF P 94-051 / Mars 1993

N° Dossier : Projet : Nature : *Sitif* ⊕
 Sondage / Puits : Profondeur :
 Matériel vérifié :

Température de Séchage, préparation : Séchage teneur en eau :
 Date de début d'essai : Date de fin d'essai :
 Balance N° : Étuve N° :

Résultats { $W_L = 17,103$
 $W_P = 23,118$ } IP = 33,94

II - LIMITE DE PLASTICITÉ (W_P)

N° de la tare	1 ^{er} Essai		2 ^{ème} Essai		3 ^{ème} Essai	
		636	638	60A	679	
Poids total humide (g)	10,536	9,671	10,794	9,706		
Poids total sec (g)	10,457	9,584	10,717	9,627		
Poids de la tare (g)	10,126	9,214	10,382	9,296		
Poids de l'eau (g)	0,079	0,087	0,077	0,079		
Poids du sol sec (g)	0,331	0,370	0,335	0,331		
Teneur en eau (%)	23,867	23,513	22,981	23,867		
Moyenne (%)	23,69		23,426			

$W_P = 23,558$ %

LE CHARGÉ D'ESSAI

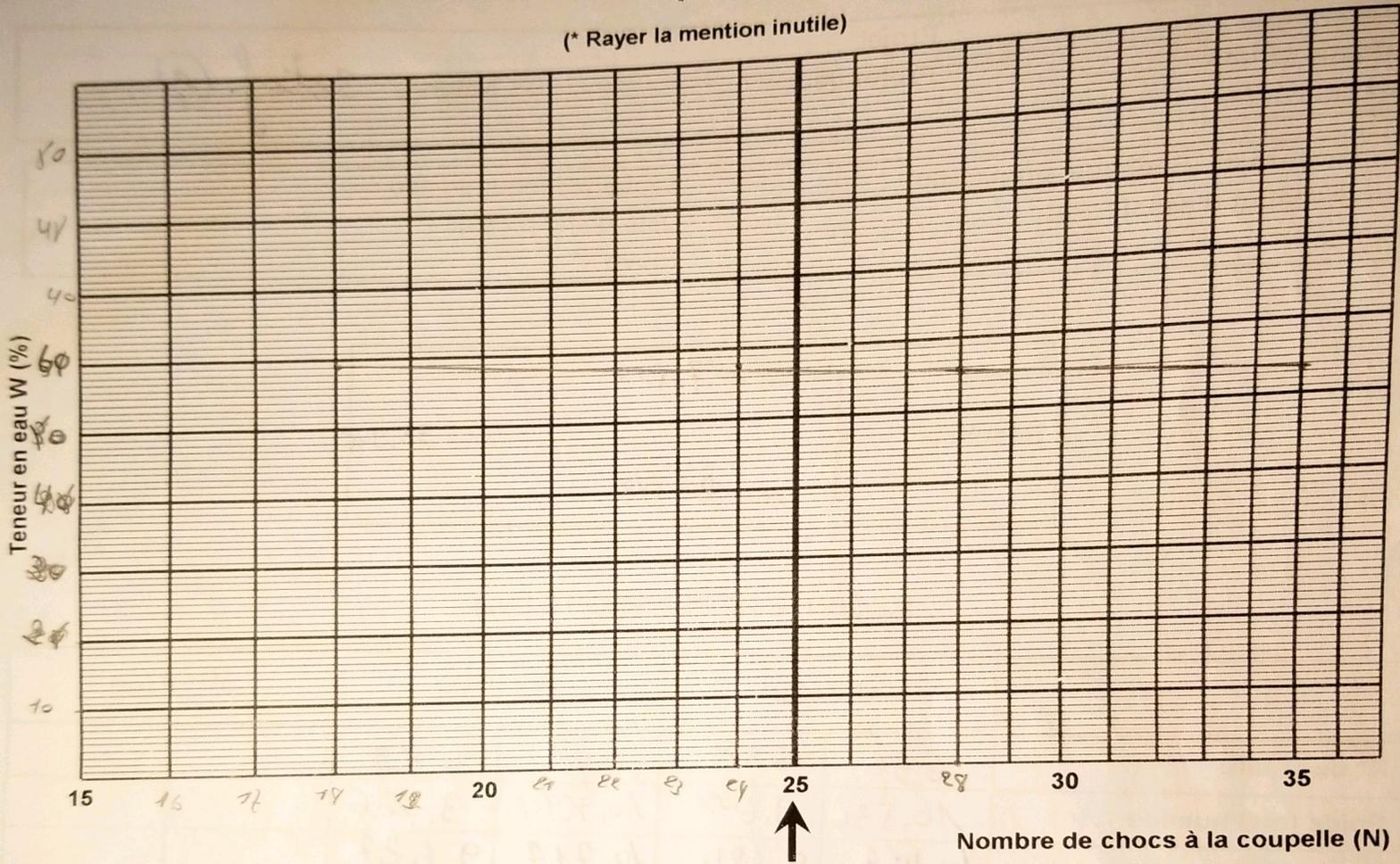
LE RESPONSABLE DE LA STRUCTURE

I - LIMITE DE LIQUIDITÉ (W_L)

$$W_L = W \cdot \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121}$$

Coupelle } Lisse (*)
} Rugueuse (*)

(* Rayer la mention inutile)



	1 ^{er} Essai		2 ^{ème} Essai		3 ^{ème} Essai		4 ^{ème} Essai		5 ^{ème} Essai
Nombre de coups	18		24		28		38		
N° de la tare	678	692	631	663	632	662	644	688	
Poids total humide (g)	13,910	14,684	13,649	13,449	13,486	14,367	13,295	12,941	
Poids total sec (g)	12,512	13,843	12,254	12,197	12,086	12,662	12,198	11,726	
Poids de la tare (g)	10,148	10,732	9,815	10,105	9,626	9,681	10,181	9,478	
Poids de l'eau (g)	1,395	1,841	1,395	1,212	1,400	1,705	1,097	1,211	
Poids du sol sec (g)	2,367	3,111	2,439	2,092	2,460	3,011	2,017	2,211	
Teneur en eau (%)	58,938	59,177	57,191	59,847	56,910	56,628	54,382	53,911	
Moyenne	59,056		58,521		56,762		54,781		



MINISTÈRE DE L'HABITAT, DE L'URBANISME ET DE LA VILLE

المخبر الوطني للسكن والبناء

LABORATOIRE NATIONAL DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION

E.P.E./S.P.A. AU CAPITAL DE 800.000.000 DA - R.C. N°008 13183-16/00

Direction Regionale Est



UNITE DE BEJAIA

Structure : LABORATOIRE

TENEUR EN EAU - DENSITE APPARENTE

Selon NF P 94-050 Septembre 1995 / NF P 94-053 Octobre 1991 (Méthode par immersion dans l'eau)

N° Dossier : /
 Sondage / Puits :
 Matériel vérifié :

Projet : setef - 07
 Profondeur : 20
 Nature : 803

Date de Début d'essai : Fin d'essai :
 Température de la salle Début d'essai : Fin d'essai :
 Température de séchage : 50 °C 105 °C Balance N° : 164 Etuve N° : 805
 Echantillon : Intact Paraffiné Intact Non Paraffiné Reconstitué

Echantillons		I	II	III	IV
N° Tare		41	65		
P.H + Tare	(g)	84,06	78,25		
P.S + Tare	(g)	70,95	66,89		
P. Tare	(g)	15,184	16,35		
P. Eau	(g)	13,11	11,36		
P. Sol sec	(g)	55,77	50,54		
Teneur en eau	(%)	23,51	22,48		
Moyenne		23,00			
PH + Paraffine	(g)	510,42			
Poids humide	(g)	50,145			
Poids paraffine	(g)	10,97			
P. Matériaux dans l'eau (g)		256,70			
Volume brut	(cm³)	255,72			
Volume paraffine	(cm³)	121,46			
Volume net	(cm³)	243,26			
Densité humide γ_h (t/m³)		2,106			
Teneur en eau	(%)	23,00			
Densité sèche γ_d (t/m³)		1,67			

M O Y E N N E

N° Echantillons	W (%)	γ_h (t/m³)	γ_d (t/m³)	Ws (%)	Sr (%)
	23,00	2,106	1,67	22,88	Non

LE CHARGÉ D'ESSAI

LE RESPONSABLE DE LA STRUCTURE



SITE DE BEJAIA

Structure : LABORATOIRE

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Méthode par tamisage à sec après lavage selon NFP 94-056 / Mars 1996
 Méthode par sédimentation selon NFP 94-057 / Mai 1992

N° Dossier : /2024
 Sondage / Puits : 193
 Projet :
 Profondeur : /
 Nature : Setef (2)

Matériel vérifié : <input type="checkbox"/>					Tamis (mm)	Masse des refus cumulés (g)	Passant (%)
Granulométrie par tamisage :					100		
Date d'essai :					80		
Poids de l'échantillon : 500g (g)					63		
Température de séchage <input type="checkbox"/> 50° C <input type="checkbox"/> 105° C					50		
Sédimentométrie :					40		
Date de Début d'essai : Fin d'essai :					31.5		
Masse utilisé : 50g (g)					25	0	100
Poids spécifique du sol : $\gamma_s = 2.70 \text{ t/m}^3$ (conventionnelle)					20	12	97,6
Section de l'éprouvette : A = cm ²					16	12	97,6
Densimètre : H ₀ = cm H ₁ = cm h ₁ = cm V _d = cm ³					10	20	96
Balance N° : Etuve N° :					8	24	94,2
					6.3	30	94
Date et heure	t (mn)	Lecture R	Temp. (°C)	C.M/C.D/C.T	5	34	93,2
8H28	30 s	24,8	19,9		4	36	92,8
8H29	1	23	"		2	44	91,2
8H30	2	22	"	1.25	48	90,4	
8H33	5	20	"	1	50	90	
8H38	10	19	"	0.63	54	89,2	
8H48	20	18,5	"	0.40	56	88,8	
9H08	40	17	20,0	0.25	58	88,4	
9H48	80	16,5	20,1	0.20	59	88,2	
12H28	240	16	20,5	0.125	62	87,6	
8H26	1440	14		0.100	68	86,4	
				0.080	74	84,2	

LE CHARGÉ D'ESSAI

LE RESPONSABLE DE LA STRUCTURE

Références bibliographiques

- [1] https://marcelle.media/de-largile-crue-construire-des-immeubles/?fbclid=IwAR2GJIB5_O67I0LODxhmLqABUoN7RQ9GcPnS1_gAdthxaiG4wOmMbMTztIk , Consulté le 23/03/2024 à 22h
- [2] Florian Champire. Étude expérimentale du comportement hydro-mécanique de la terre crue compactée pour la construction. Génie civil. Université de Lyon, 2017.
- [3] Thibaud Mauffre. Compréhension et optimisation des échanges hydriques entre surface et volume dans les enduits en terre crue- Lyon
- [4] Agostino Walter Bruno, Domenico Gallipoli, Céline Perlot-Bascoules, Joao Mendes, Nicolas Salmon Briques de terre crue : procédure de compactage haute pression et influence sur les propriétés mécaniques
- [5] Koulouchi salim (2007) « Etude expérimentale des mélanges sable-bentonite leur performance comme barrières de confinement dans CET » Thèse de doctorat de l'université Mentouri de Constantine-Algérie .
- [6] Pédro G. (1994). Les minéraux argileux, Constituants et propriétés du sol. Edition Masson. Michel D. (2003). Annuaire des minéraux du Canada
- [7] ABDELLAHI ELY, (2010), Synthèse et propriétés de biosorbants à base d'argiles encapsulées dans des alginates : application au traitement des eaux. Thèse de Doctorat, Chimie et Microbiologie de l'eau, Université de Limoges, 3 pp.
- [8] L'argile: Matériau plébiscité dans l'éco-construction. Ecozen.fr, Consulté le 02/04/2024
- [9] M. Tatiana DIATTA., « Matière première argileuses du Sénégal : caractéristique et applications aux produits céramiques de grande diffusion », these de doctorat, Ecole Doctorale Sciences, Technologies et Ingénierie (ED-STI) & Ecole Doctorale, Sciences et Ingénierie en Matériaux, Mécanique, Energétique et Aéronautique (SIMMEA), Université . Assane Seck De Ziguinchor et l'Université De Limoges, Le 23 Mai 2016
- [10] H. Mohamed., « Contribution à l'amélioration du procédé de fabrication de la céramique » ,Mémoire de magister, Faculté des sciences et sciences de l'ingénieur, Département de genie des procedes, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2007
- [11] Fabian Valencia CARACTERISATION DES PARTICULES FINES D'UN MATÉRIAU GRANULAIRE DE FONDATION PAR L'ESSAI AU BLEU DE MÉTHYLÈNE
- [12] Grim, 1968. Caillère et al, 1982. Le Sol: Constitution, structure. Phénomènes aux interfaces. 457 pages .
- [13] Tout savoir sur l'argile : quelle argile choisir pour quel usage ? Sophie, Le lundi 22 mai 2023 ; <https://blog.lafourche.fr> , Consulté le 06/04/2024
- [14] L'argile – le matériau de construction le plus ancien du monde mais aussi le plus moderne, <http://www.claytec.be/fr>, Consulté le 06/04/2024

[15]	L'argile : une alternative durable aux matériaux de construction traditionnels ,15 octobre 2023,Habitat , https://www.enerzine.com ,_Consulté le 06/04/2024
[16]	Pourquoi utiliser l'argile crue comme matériau de construction. https://www.immodeco.net ,_Consulté le 06/04/2024
[17]	Eco construction : aperçu et fiche technique des murs en argile. https://suwan-organicfarmstay.com , Consulté le 06/04/2024
[18]	De l'ancien au nouveau - quelles sont les performances de l'argile en tant que matériau de construction durable ?, https://www.dlubal.com/fr , Consulté le 06/04/2024
[19]	Sandrine Banessy et Jean-Jacques Germain, La brique, l'or rouge du Midi Toulousain, p. 53
[20]	La briqueterie de Virebent, Mairie de Launaguet. Consulter le 14/04/2024
[21]	Brique matériau, Wikipédia. Consulter le 14/04/2024
[22]	tout savoir sur la brique de terre cuite ; « https://www.biohome.info/brique-terrecuite/ » ; aout 21,2021 / Eco habitat. Consulter le 12/04/2024
[23]	Fiche technique Qualiremo ,« La terre crue » , « www. tkTerreCrue.html . », Avril 2008
[24]	DEAL Guyane - Ministère de l'Environnement.Document préparatoire au séminaireformation " Construire en terre crue de Guyane"
[25]	Jehanne PAULUS,2014-2015, CONSTRUCTION EN TERRE CRUE, Travail de fin d'études
[26]	CRATerre, Traité de construction en terre, Marseille, 1989.
[27]	A. Sénac et J. J. Jung, Bulletin des sciences agricoles et économiques, quatrième section du Bulletin universel des sciences et de l'industrie, vol. 3 1825.
[28]	Fermeture d'une briqueterie sur le site « Belgique : la briqueterie Wienerberger de Wanlin ferme » [archive], lesarchivesdelaterrecuite.blogspot.com (consulté le 24 mai 2019).
[29]	RICHARD P., «Adobe » ,mémoire Maître en environnement ,Université de Sherbrooke Canada, Octobre 2010.
[30]	MAKRI M., « Projet GE12 Construction en terre » Technologie compiégnme , 2010.
[31]	CRA Terre EAG « Bloc de terre comprimée volume I »Manuel de production .
[32]	DJOUHRI M., « Confection d'une brique à base de sable de dune » mémoire magister ,Université de Ouargla, 2007.

[33]	CORPUS « Mur de briques en terre crue » Architecteur traditionnelle méditerranéenne, 2006.
[34]	RHONE A ., « Le pisé » www .ageden.org , Edition Décembre2010.
[35]	CRA Terre « Blocs de terre comprimée normes » Série Technologies.
[36]	LIVERT S., «Bâtir un mur en briques de terre compressée », Février2011.
[37]	Fiche technique matériaux http://oci.cstb .fr/simulation/choix proc.asp
[38]	Ottou J. M. A. (1987), contribution à l'étude de la stabilisation des sols latéritiques par association compactage dynamique liant hydraulique en vue de l'élaboration de blocs pour la construction. Mémoire fin d'étude, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique, Yaoundé.
[39]	CRATerre Centre International pour la Construction en Terre, H. GUILLAUD, Ecole d'Architecte de Grenoble, Encyclopédie de Bâtiment Tome 2 Edition Wake 1997.
[40]	CRATerre, H. HOUBEN et H. GUILLAUD, Traité de Construction en Terre, Edition Parenthèses, Marseille, 1989
[41]	DEAL Guyane - Ministère de l'Environnement.Document préparatoire au séminaire reformation " Construire en terre crue de Guyane"
[42]	P. Muñoz, V. Letelier, L. Muñoz, M.A. Bustamante. (2020), « Briques d'adobe renforcées avec des déchets de papier et de pâte à papier améliorant les propriétés thermiques et mécaniques », a r t i c l e i n f o
[43]	Mansoure Dormohamadi & Reza Rahimnia(2020), « Effet combiné du compactage et de la teneur en argile sur les propriétés mécaniques des briques d'adobe », Journal Pre-proof
[44]	Colbert Babéa, Dieudonné Kaoga Kidmoa, tombeau Ahmat, Rachel Raïssa Ngonon Mvondoc, Raphaël Belinga Essama Boumd, Noël Djongyanga(2020), « Caractérisation thermomécanique et durabilité des adobes renforcés par des fibers de déchets de millet (sorghum bicolor) », A R T I C L E I N F O
[46]	Moussa Ouedraogo,a,b, Kalifala Daob, Younoussa Millogoa,b, Jean-Emmanuel Aubertc, Adamah Messand, Mohamed Seynoub, Lamine Zerbob, Moussa Gominae(2020), « Propriétés physiques, thermiques et mécaniques des adobes stabilisés avec de la paille de fonio (Digitaria exilis) ». A R T I C L E I N F O
[48]	Abdelhak MAACHI, Philippe DEVILLERS, Jonathan RABARY, Stéphane CORN, Marie

	SALGUES, Laurent APRIN1, Rodolphe SONNIER, Éric GARCIA-DIAZ (2021), « Influence de la terre sur les propriétés physiques de briques de terre crue », Conference Paper
[49]	Carmen Salazar-Hernández, María Jesús Puy-Alquiza , Raúl Miranda-Avilés ,Mercedes Salazar-Hernández, Juan Manuel Mendoza-Miranda, Cristina Daniela Mocada-Sánchez, Julio del Ángel-Soto (2021), « Comparative study of TEOSconsolidants for adobe building Conservation », Journal of Sol-Gel Science and Technology (2021) 97:685–696
[50]	Weinan Han . Feng Wu . Yuan Cheng . Haitao Wang . Shenglin Chu (2023), « Compressive performance of adobe masonry strengthened with glass-fiber reinforced matrix composites », ARTICLE
[51]	Mahgoub M. SALIH, Adelaja I. OSOFERO , Mohammed S. IMBABI (2020), « Critical review of recent development in fiber reinforced adobe bricks for sustainable construction », Front. Struct. Civ. Eng. 2020, 14(4): 839–854
[52]	Rosa Angélica Lara-Ojeda , Juana María Miranda-Vidales , Lilia NarváezHernández , and Juan Manuel Lozano-de Poo (2022), « A New Mixture Criterion for the Improvement of the Compressive Strength of Adobe Using Zeolite as Stabilizer », KSCE Journal of Civil Engineering (2022) 26(8):3549-3559
[53]	Yacine Labiad, Abdelaziz Meddah ,Miloud Beddar, Lysandros Pantelidis (2023), « Study on characterization, mechanical, and thermal properties of Alfa fber–reinforced compressed earth blocks incorporating crushed brick waste », Arabian Journal of Geosciences (2023) 16:575
[54]	FICHE TECHNIQUE CIMENT « ligne 2 » / GROUPE INDUSTRIEL DES CEMENTS D'ALGERIE, SOCIETE DES CEMENTS D'AIN EL KEBIRA
[55]	NORME [NF P 94-050].Détermination de la teneur en eau pondérale.
[56]	NORME [NF P 94-053]. Détermination de la masse volumique des sols fins en laboratoire
[57]	NORME [NF P 94-056]. Analyse granulométrique, méthode par tamisage à sec après lavage
[58]	NORME [NF P 94-057]. Analyse granulométrique des sols, méthode par sédimentation
[59]	NORME [NF P 94-051]. Détermination des limites d'Atterberg
[60]	NORME [NF P 94-068]. Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux
[61]	NF EL 196-1
[62]	NORME [NF EN 12664] (2001)
[63]	https://www.malvernpanalytical.com/fr/products/technology/xray-analysis/x-rayfluorescence . Consulté le 22/05/2024 à 20h

[64]	https://filab.fr/nos-moyens-techniques/laboratoire-danalyses-chimiques-par-irtfftir/#:~:text=Analyse%20FTIR%2C%20un%20moyen%20technique%20de%20pointe&text=En%20comparant%20le%20spectre%20d,%C3%A0%20de%20tr%C3%A8s%20faibles%20concentrations.] consulté le 23/05/2024 à 12h
[65]	https://www.analytice.com/diffraction-des-rayons-x-drx-analyse-et-caracterisation-des-materiaux-en-laboratoire/ . consulté le 22/05/2024 à 19h
[66]	NORME ASTM
[67]	[NF P94-064 Novembre 1993]
[68]	DOCUMENT TECHNIQUE REGLEMENTAIRE « D.T.R B.C.2.32 »
[69]	XP P 94-011 : Description — Identification — Dénomination des sols
[70]	Arezki née Djadouf samia, thèse : étude et caractérisation thermo-physique et mécanique des matériaux allégés : cas de la brique à base d'argile pauvre en chaux alléger avec ajout du grignon d'olive. 2016/2017

Résumé

Ce mémoire explore l'influence des paramètres géotechniques sur les caractéristiques thermiques, physiques, mécaniques et de durabilité des briques en terre crue. Des analyses de laboratoire telles que l'analyse granulométrique, les limites d'Atterberg, le bleu de méthylène, ont été réalisées sur l'argile. Les tests de résistance à la compression, la conductivité thermique, la durabilité, la spectrométrie de fluorescence X, la diffraction aux rayons X et la spectroscopie infrarouge ont été effectuées sur les briques d'argiles crues. Les résultats révèlent que les argiles très plastiques possèdent les conductivités thermiques les plus faibles avec les résistances à la compression les plus importantes tout en augmentant la résistance à la compression, mais seules les briques avec un ajout de 8% de ciment ont montré une durabilité suffisante. Notre étude conclue que la composition chimique et minéralogique des argiles influence de manière significative leurs propriétés mécaniques et physiques.

Abstract

This dissertation explores the influence of geotechnical parameters on the thermal, physical, mechanical and durability characteristics of mud bricks. Laboratory analyses such as particle size analysis, Atterberg limits and methylene blue were carried out on clay. Compressive strength, thermal conductivity, durability, X-ray fluorescence spectrometry, X-ray diffraction and infrared spectroscopy tests were carried out on raw clay bricks. The results reveal that highly plastic clays have the lowest thermal conductivities with the highest compressive strengths, but only bricks with 8% cement addition showed sufficient durability. Our study concludes that the chemical and mineralogical composition of clays significantly influences their mechanical and physical properties.

الملخص

للطوب والتمانة والميكانيكية والفيزيائية الحرارية الخصائص على الجيوتقنية البارامترات تأثير الأبروحة هذه تستكشف إجراء تم الطين على الأزرق والميثيلين أتربيرج وحدود الجسيمات حجم تحليل مثل معملية تحاليل إجراء تم الطيني، السينية الأشعة وانحراف، السينية بالأشعة الفلوري الطيف وقياس، والتمانة، الحراري والتوصيل، الانضغاط قوة اختبارات بأدنى يتمتع اللدونة عالي الطين أن النتائج أظهرت. الخام الطيني الطوب على الحمراء تحت بالأشعة الطيفي والتحليل وخلصت. كافية متانة أظهر فقط الأسمنت من 8% إليه المضاف الطوب ولكن، انضغاطية قوة أعلى مع حراري توصيل والفيزيائية الميكانيكية خواصه على كبير تأثير له للطين والمعدني الكيميائي التركيب أن إلى دراستنا