République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ahmed Draia Adrar
Faculté Des Sciences et de Technologie
Département Des Sciences et Technologie

Mémoire De Fin D'étude En Vue De L'obtention Du Diplôme :
Master En Génie Civil
Option : Géo-matériaux et Structures

Présenté Par :
Hadjahmed Fetiha

THEME

UTILISATION DES MATERIAUX LOCAUX DE LA REGION DE TIMIMOUN COMME UN MATERIAU DE CONSTRUCTION(BTC)

Soutenu Le 01/06/2016 Devant Le Jury Composé De :

Pr	SEMCHA Abdélaziz	**Président**
Mr	DJAAFARI Idriss	**Examinateur**
Mr	ABBOU Mohammed	**Encadreur**

Année Universitaire 2015-2016

Dédicaces

A ma mère

A mon père

A ma belle famille

A tous mes amis (es).

FATIHA.

Remerciements

Avant tout, nous remercions DIEU pour son aide et sa bénédiction.
Nous remercions respectivement, nos chers parents de nous avoir Donner le courage pour achever ce modeste travail.

Nos remerciements à notre encadreur Mr Abbou Mohammed pour ces conseils divers et sa précieuse assistance.

Nous adressons nos sincères remerciements à Mr Semcha Abdelaziz pour son aide et pour sa générosité.

Un grand merci également à melle Samou Djamaa et melle Benyahia Djamaa pour leur soutien au niveau de laboratoire.

Nous citons nos remerciements à tout le personnel du laboratoire de Mécanique des Sols du département ST génie civil.

Merci

Abréviations et symboles utilisés

Al^{+3}: Ion d'aluminium ;

Al_2O_3: Oxyde d'aluminium ;

C : Paramètre de cohésion ;

C_2: Pourcentage des éléments inférieur à deux microns **(%)** ;

Ca^{++}: Ion de calcium ;

C.E.C: Capacité d'échange cationique **(meq/100g)** ;

Cm: Correction due au ménisque ;

Ct : Correction due â la variation de température au cours de l'essai ;

H_2O: Eau ;

Hr : Hauteur **(m)** ;

W_L: Limite de liquidité ;

W_P: Limite de plasticité ;

W_R : Limite de retrait ;

Ip: Indice de plasticité ;

I_R : Indice de retrait ;

K^+:Ion de potassium ;

Mg^{+2}: Ion de magnésium ;

N: Nombre d'Avogadro ;

Na^+: Ion de sodium ;

O^{-2} : Ion d'oxygène ;

Si^{+4}: Ion de silicium ;

SiO_2: Oxyde de silicone ;

Sst: Surface spécifique totale **(m^2/g)** ;

t: Temps **(s)** ;

T-O: Tétraédrique- octaédrique ;

T-O-T : Tétraédrique- octaédrique- Tétraédrique ;

T-O-T-O:Tétraédrique- octaédrique- Tétraédrique- octaédrique ;

Fe^{+2} : Ion de fer ;

OH : Hydroxydes ;

Δh : variation de l'Enthalpie **(cal/mole)** ;

γ_s: Poids spécifique des particules solides ;

Ws : poids du sol sec ;

Vs : volume des particules solides ;

W1 : poids du pycnomètre vide**(g)** ;

W2 : poids du pycnomètre + l'eau distillé **(g)**;

W3 : poids de pycnomètre + l'argile**(g)** ;

W4:poids de pycnomètre +l'argile +l'eau distillée**(g)** ;

σ_W : poids volumique de l'eau à 20°C ;

W: teneur en eau**(%)** ;

VB: valeur au bleu ;

Wopt :La teneur en eau optimale**(%) ;**

γ_{dopt} : Le poids sec optimale**(KN/m^3)** ;

γ_d:Le poids sec**(KN/m^3)** ;

A-T: Argile Timimoun ;

S-T : Sable Tinerkouk ;

λ : Conductivities thermique (W/m.K);

CP : Chaleur spécifique(kJ/m3.K), (J/kg.K) ;

C : capacité thermique (J/K) ;

E : effusivite thermique (W/m2.K.s-0,5)

الملخص

كجزء من برنامج الدولة الجزائرية لتطوير الأقاليم الصحراوية في مجال البناء واستخدام المواد المحلية في هذه المناطق و تشجع الدولة البحث في تثمين المواد المحلية و وتصميم مواد البناء تستجيب لشروط المناطق الصحراوية ذات المناخ الجاف مثل منطقة تيميمون.

في هذا السياق، عملنا على اثنين من مواد المتوفرة اولا مادة الطين من تيميمون والثاني مادة رمل الكثبان من تنيركوك استخدمناه كا ضاف بنسب مئوية تتراوح ما بين 15%الى40%نسبة رملية هذا لتحقيق تحسن في بعض الخواص الميكانيكية لطين.

و اجرينا سلسلة من الاختبارات لتحديد خصائص الطين والرمل الكثبان وقمنا بدراسة صياغة خليط من الطين والرمال وهذا بهدف إيجاد أفضل مزيج يعطى مقاومة جيدة لضغط الميكانيكي .

وأخيرا أعطى خليط 85% من الطين و15% الكثبان الرملية أكثر قوة الضغط الميكانيكي جيد.

Résumé :

Dans le cadre du programme de l'état algérienne pour développer les régions sahariennes sur tous dans le domaine de construction et l'utilisation des matériaux locaux de ces régions. Dans cette optique l'état encourage les recherches dans les sujets de valorisation des matériaux et conception des matériaux de construction répondent aux conditions des zones arides comme la région de Timimoun.

Dans ce contexte, nous avons exploités deux matériaux de trouve en abondance, la première c'est l'argile de Timimoun et le second c'est le sable de dune de Tinerkouk utilisé comme un ajout les pourcentages variant entre 15% à 40%. Cela pour stabiliser et améliorer certaines propriétés mécaniques.

Il est caractérisé l'argile et le sable de dune par une série d'essais d'identification ainsi que étudié une formulation des mélanges entre l'argile et le sable ayant pour objet de trouve le meilleur mélange qui est donné une bonne résistance à la compression.

Finalement le mélange 15% sable de dune plus 85% d'argile a donné la bonne résistance à la compression.

Sommaire :

Chapitre I: Elément bibliographique

I.1Introduction 1
I.2 L'utilisation des terres argileuses dans le domaine de la construction 1
1.2.1 La construction en terre 2
1.2.2 Techniques de construction en terre 3
1.2.3 Blocs de terre comprimée (BTC) 4
1.2.3.1 Diversités des produits de blocs de terre comprimée 5
1.2.3.2 Codes, normes et directives dans le domaine de la construction en terre 7
1.2.4 Les argile 7
1.2.5 La caractérisation du matériau terre en construction 10
1.2.5.1 L'utilisation d'un fuseau de référence dans la construction en terre 10
1.2.5.2 Caractérisation mécanique des matériaux 11
1.2.5.3 Valeurs caractéristiques des matériaux crues 12
Conclusion 13

Chapitre II : Caractéristiques des matériaux utilises

II.1. Introduction 1
II.2.LOCALISATION DES SITES 1
II.2.1.Argile de Timimoun 1
II.2.2. Le sable de dune 2
II.3 ESSAIS D'IDENTIFICATION 2
II.3.1. Identification et classification de l'argile étudiée 3
II.3.1.1 Poids volumique des grains solides Norme NF P94-054 3
II.3.1.2.Analyse granulométrique par sédimentométrie NF P 94-057 4
II.3.1.2. les limites d'Atterberg (NF P94-051) 7
II.3.1.3 Essai au bleu de méthylène à la tâche (NF P94-068) 11
II. 3.1.4 Essai Proctor : (NF P94-093) 16
II.3.2. Identification et classification du sable étudiée 20
II.3.2.1 Masse Volumique (NF P18-554) 20
II.3.2.2 Essai d'équivalent de sable (NF P 18-598) 22
II.2.9 Essai d'Analyse granulométrique NF P18-560 24
II.4 Conclusion 27

Chapitre III : Etude du mélange

III.1 Introduction 1
III.2 Stabilisation 1
III.3 Confection des eprouvettes 1
III.3.1 Matériel spécifique 3
III.3.2 Mélanges 3
III.3.3 Préparation des mélanges 3
III.3.4 Optimisation de la teneur en eau 4
III.3.5 Compactage des mélanges 4
III.3.5 Essai mécanique 7
III.3.5.1 Essai de compression simple 7
III.3.5.2 Présentations des résultats 7
CONCLUSION 12

Chapitre II

Tableau II.1: Poids volumiques secs de quelques minéraux Withman et Lambein in Costet et Sanglérat, 1983 **18**
Tableau II.2: Résultats d'analyse granulométrique par sédimentométrie **20**
Tableau II.3 : Paramètres tirés des limites d'Atterberg **23**
Tableau II.4 **:**Activité des argiles (SKEMPTON 1953) **24**
Tableau II.5: Activité des différents minéraux **24**
Tableau II.6 : Paramètre tirés de l'essai du bleu de méthylène **28**
Tableau II.7 : Classification des sols d'après Philipponnat **28**
Tableau II.8 : Classification d'après Holtz et Gibbs **28**
Tableau II.9 : Les résultats de l'essai proctor normal **31**
Tableau II.10 : Les paramètres de l'essai Proctor **32**
Tableau II.11: Caractéristiques d'identification de l'argile étudiée **33**
Tableau II-1*2* la Masse volumique absolue du sable de dune (T) **35**
Tableau II. 13 : la Masse volumique apparente **36**
Tableau II-14 : Résultats d'essai d'équivalente **37**
Tableau II.15:Résultats d'analyse granulométrique du sable (Tinrkouk) **39**
Tableau II. 16: composition chimique de l'eau **40**

Chapitre III

Tableau III.1 : Moyens de stabilisation des terre remaniées(Houben,2006) **44**
Tableau III .2 : Résultats compactage statique pour l'optimisation de la teneur en eau **47**
Tableau III.3: Résultats de Rc, Et et ξ **53**

INTRODUCTION GENERAL

La terre, matière première naturelle, est utilisée par l'homme dans la construction depuis des milliers d'années.

La terre non cuite, comme la pierre ou le bois, a été un des premiers matériaux utilisés par l'homme pour construire, facilement disponible, la terre a été mise en œuvre suivant différentes techniques, selon les régions et en fonction de ses caractéristiques, pour améliorer celles-ci, la terre a parfois été additionnée de matériaux d'origine minérale ou végétale ou même animale.

Les régions sahariennes de notre pays tel que la région de Timimoun, les matériaux de construction dite traditionnel, l'argile et le sable poser un intérêt économique dans ces régions. Malgré ce matériau (Argile) ont donné caractéristique mécanique.

Dans un souci on a recherché une formulation à base des matériaux locaux de la région de Timimoun pour fabriquer des briques en terre comprimée ayant de bonnes propriétés mécaniques à la compression a fait l'objet de cette étude.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres:

- ***Le 1er chapitre*** abonde des généralités sur l'utilisation des terres argileuses dans le domaine de la construction ses caractéristiques, ses différents procédés techniques, et les normes réglementaires de la construction des produits en terre comprimés. Ainsi que une revue générale sur les argiles et leurs structures et pour finir ce chapitre on a présenté un aperçu général sur les caractéristiques des matériaux terres.
- ***Le 2ème chapitre*** est consacré à la présentation des essais d'identification de l'argile comme matériau de base et le sable de dune comme ajout.
- ***Le 3ème chapitre*** présent le travail expérimental effectué sur le mélange entre deux matériaux qui se trouvent en abondance dans la région de Timimoun. Il regroupe les différents essais d'écrasement réalisés, avec ses résultats et interprétations, pour constituer à la fin une conclusion sur la résistance à la compression du mélange de future formulation pour conception des briques de terre comprimée.

Chapitre I

Elément bibliographique

1.1 Introduction

La terre crue est utilisée pour la construction de bâtiments depuis les temps les plus reculés, comme en témoigne l'habitat traditionnel en de nombreux points de notre planète. Après avoir été abandonnée et oubliée avec l'avènement des matériaux de construction industriels, en particulier le béton et l'acier, elle fait aujourd'hui l'objet d'un regain d'intérêt dans les pays en développement comme dans les pays industrialisés. Ce matériau, souvent critiqué pour sa sensibilité à l'eau et son manque de durabilité, présente dans sa forme actuelle de nombreux avantages pour la construction de logements durables, confortables et économiques (Houben,1996)[1].

1.2 L'utilisation des terres argileuses dans le domaine de la construction

1.2.1 La construction en terre

L'utilisation de terre argileuse comme élément principal de construction remonte à une dizaine de millénaire. A l'heure actuelle, près de deux tiers de la population mondiale vit dans des habitats construits en totalité ou en partie en terre crue. Les zones construites en terre s'étendent sur l'ensemble de nos continents (**Figure I-1**).

Figure I.1 Architecture de terre dans le monde (**Cra terre)**

En Algérie, les techniques de mise en œuvre de la terre crue diffèrent suivant les pratiques et les traditions régionales. Houben et Guillaud (1989)[1] regroupe ces techniques de fabrication dans leur ouvrage sur la construction en terre. La construction en terre permet, suivant les techniques et le type de terre, une multitude d'application allant de l'application d'un enduit à base de terre (utilisation d'une terre fluide), en passant par le torchis, la bauge, les adobes façonnés et moulés à la main (utilisation de la terre plastique) pour finir vers des briques de terre comprimée et le pisé, application consistant à utiliser une terre humide, compactée et façonnée mécaniquement. La terre compactée obtient ces résistances grâce au rapprochement forcée des grains obtenus par le compactage dynamique ou statique de la matière. En revanche, la terre moulée, fluide, gagne sa résistance par le séchage des argiles.

1.2.2 Techniques de construction en terre

A travers le patrimoine mondial des traditions de la construction en terre crue, on dénombre de très nombreuses techniques de construction avec une infinité de variantes adaptées à la qualité de la terre et au degré d'élaboration du savoir-faire, traduisant l'identité des lieux et des cultures. Il existe douze techniques d'utilisation de terre pour la construction présentées sur le diagramme établi par le groupe CRATERRE en 1986 (figure 1.2) (Houben, 2006)[1]. Parmi celle-ci huit sont d'un usage courant et constituent les techniques principales (CRATerre, 1991)[2] :

•**Adobe** : la terre a l'état de pate plastique souvent amendée de paille ou autre fibres, moulée sous forme de briques séchées au soleil.

• **Pisé** : la terre est compactée en masse dans des coffrages, couche par couche et banchée par banchée, avec une dame.

• **Terre-paille :** la terre est dispersée dans de l'eau jusqu'à l'obtention d'un liquide épais homogène que l'on mélange à la paille afin de former un film sur chaque brin. Le matériau ainsi obtenu conserve l'aspect de la paille et est banché pour ériger un mur monolithique qui nécessite une structure porteuse.

• **Torchis :** la terre argileuse, amendée de paille ou autres fibres, recouvre en une ou plusieurs couches des claies qui hourdent une structure en colombages.

•**Terre façonnée :** la terre, souvent amandée de paille ou autres fibres, est façonnée sous forme de murs de la même façon que pour la technique de poterie, sans outil.

•**Terre extrudée :** la terre est extradée par une puissante machine proche ou dérivée du matériel utilisé pour la fabrication de produits destinés à être cuits.

• **Bauge** : la terre, généralement amendée de paille ou autres fibres, est mise sous forme de boules grossières, qui sont empilées les unes sur les autres et entassées légèrement à l'aide des mains ou des pieds jusqu'à ériger des murs monolithiques façonnés. Dans d'autres cas, la bauge est incorporée dans une structure en bois.

• **Terre comprimée** : la terre est comprimée sous forme de bloc dans un moule. Auparavant, on compactait la terre dans un moule à l'aide d'un petit pilon, ou en rabattant avec force un couvercle très lourd dans le moule. Aujourd'hui, on utilise des presses dont il existe une grande variété.

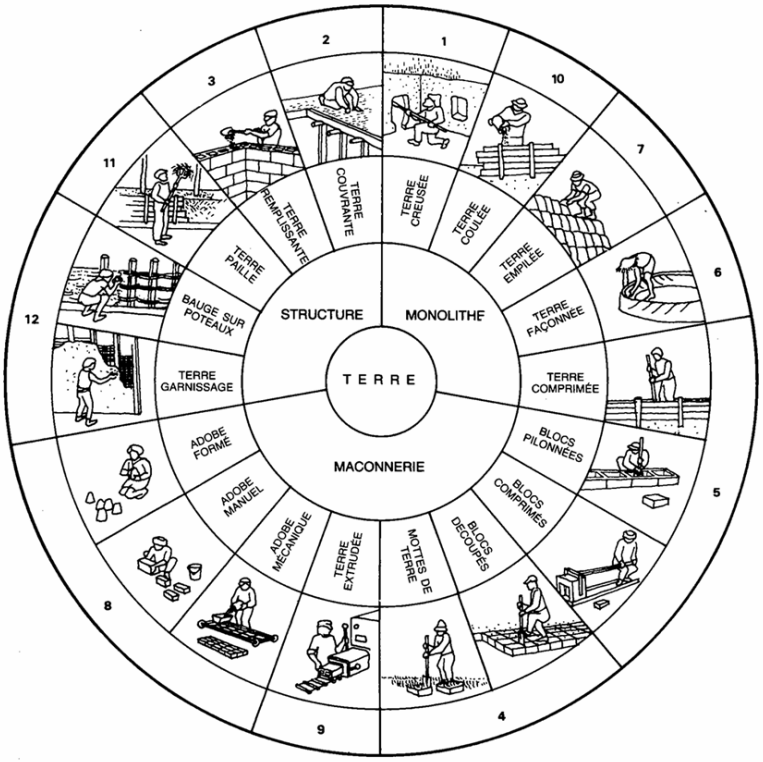


Figure I-2 Schéma des différentes techniques de construction en terre établi par le groupe CRATERRE en 1986 (Houben, 2006).[2].[1].

1.2.3 Blocs de terre comprimée (BTC)

Par rapport à l'histoire de la construction en terre, la technique du bloc de terre comprimée (BTC) est une technique récente. Elle a été développée dans les années 50 dans le cadre d'un programme de recherche sur l'habitat rural en Colombie. Cette technique est une évolution moderne du bloc de terre moulée, plus communément dénommé bloc d'adobe. Au

lieu qu'ils soient moulés à la main dans un cache en bois, les blocs sont obtenus par compression de la terre, légèrement humide dans une presse métallique.

Comparé au bloc moulé à la main, le BTC est très régulier en formes et en dimensions, plus dense et présente une meilleure résistance à la compression et à l'eau (CRATerre, 1991)[2].

L'idée de compacter la terre pour améliorer la qualité et la résistance des blocs de terre moulée est pourtant ancienne et c'est à l'aide de pilons en bois que l'on réalisait les premiers blocs de terre comprimée. Ce procédé est encore utilisé de par le monde. Les premières machines à comprimer la terre auraient été imaginées au XVIIIe siècle. Mais ce n'est qu'au début du XXe siècle que l'on imagina les premières presses mécaniques qui utilisaient de lourds couvercles rabattus avec force dans le moule. Des presses de ce type ont même été motorisées. L'industrie de la brique cuite a ensuite utilisé des presses à compression statique où la terre était comprimée entre deux plateaux. Le développement significatif de l'emploi des presses et de l'utilisation constructive et architecturale du bloc de terre comprimée n'a été finalement engagé qu'à partir de 1952 suite à l'invention de la fameuse petite presse "CINVARAM", imaginée par l'ingénieur Raul Ramirez, au centre CINVA de Bogota, en Colombie.

Elle fut utilisée dans le monde entier. Les années 70 et 80 ont amené l'apparition d'une nouvelle génération de presses manuelles, mécaniques et motorisées et le développement aujourd'hui considérable d'un véritable marché de la production et de l'utilisation du bloc de terre comprimée (Rigassi, 1995).

1.2.3.1 Diversités des produits de blocs de terre comprimée

Aujourd'hui, le marché accueille une large gamme de produits de terre comprimée (Houben, 2006)[1] (voir figure 1.2) :

a. Blocs pleins

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

b. Blocs creux

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

c. Blocs alvéolaires

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

d. Blocs à emboitements

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

e. Blocs parasismiques

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

f. Blocs spéciaux

Les blocs sont fabriqués exceptionnellement pour une application spécifique.

Figure. 1.3 : Différents produits de blocs de terre comprimée.

1.2.3.2 Codes, normes et directives dans le domaine de la construction en terre

Actuellement, les seuls codes complets qui traitent spécifiquement de la construction en bloc de terre comprimée (BTC) se trouvent en Allemagne et en nouvelle Zélande. D'autres pays possèdent des codes qui sont, selon le CRATerre[2], aujourd'hui, largement dépassés comme c'est le cas en Afrique du sud ou en Australie.

La Nouvelle Zélande a publié son code pour les bâtiments en terre crue en 1998. Ce code spécifique est annexé aux réglementations en vigueur dans le secteur du bâtiment. Il comporte entre autres les critères de performances des bâtiments en terre pour ce qui est de la résistance aux tremblements de terre.

D'autres pays ont développé des recommandations ou des prescriptions, tel que le Maroc et la côte d'ivoire qui sont continuellement mis à jour. Le Pérou a intégré des normes parasismiques pour les bâtiments en terre dans le règlement national de la construction et l'Inde a publier en (1994) des directives pour l'amélioration de la résistance au tremblements de terre des bâtiments en maçonnerie non renforcée dont la terre crue.

Aux Etats-Unis la construction en adobe est intégrée aux codes nationaux de construction.

Le « National bureau of Standards » a publié plusieurs documents durant les années 1940. Pendant les années 1970 le « Uniform Building Code (UBC) » était publié au niveau national. Il a subi des modifications pour être adopté dans les différents états, ses règles concernent les briques de terre « adobe » fait à la main. Actuellement, aux USA, il n'y a pas de code spécifique pour le BTC et les projets réalisés appliquent l'UBC conçu à l'origine pour l'adobe.

En France trois anciens textes officiels se rapportent à la construction en terre "Reef DTC 2001 béton de terre et béton de terre stabilisée, 1945", "Reef DTC 2101construire en béton de terre, 1945" et "Reef DTC 2102 béton de terre stabilisée aux liants hydraulique, 1945".

En 1982, à l'occasion du projet du « Domaine de la terre de la ville nouvelle de l'isle d'Abeau » en France, un cahier de charges a été élaboré. Il constituait une référence pour les différents intervenants. Le centre du CRATerre[2] à Grenoble développe un code du BTC pour le gouvernement Français, il est élaboré sur la base d'une concentration entre 22 pays où il sera appliqué.

Sur le plan international, des codes de bon emploi ont été élaborés par l'ONU entre 1958 et 1964 concernant la construction en béton de terre stabilisée. En 1973 le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) a établi un texte normatif à l'occasion du projet « Cissin » à Ouagadougou Burkina Faso. La Réunion International des Laboratoires d'Essais et de recherche sur les Matériaux et les constructions (RILEM) et le Conseil International du Bâtiment pour la Recherche l'Etude et la documentation (CIB) possèdent depuis 1987 un comité technique sur la construction en terre qui élabore des recommandations et spécifications qui peuvent être adoptées comme normes.

1.2.4 Les argiles

Pour comprendre le comportement des sols, il est nécessaire d'étudier un de ses éléments principaux : l'argile, notamment le comportement monominéral des argiles, leurs structures et leurs affinités à l'eau.

1.2.4.1 Définitions

La proportion argileuse d'un sol est la partie granulaire inférieure à 2µm. Ces argiles se regroupent en groupe de micelles constitué de plusieurs cristaux d'argile de formes variées.
Une unité cristalline appelée feuillet est composée de plusieurs structures feuilletées et d'espaces interfoliaires. Cet espace est constitué d'eau et, suivant les différents types d'argile, d'ions solidement fixés (**Gaombalet J**.2004)[3]. L'empilement de ces différentes couches implique une nature différente des argiles.

1.2.4.2 La structure de base

L'unité structurale de l'argile est composée de couches minérales et d'un espace interfoliaire. Le réseau de l'argile est basé sur un ensemble de tétraèdres de silice SiO_4. Ces tétraèdres partagent trois sommets entre eux suivant un plan dit hexagonal. Le sommet restant est partagé avec un octaèdre AlO_6. Il existe différentes combinaisons de tétraèdre et octaèdre suivant le type d'argile [**Gaombalet J**.– **Caillère S, Hénin S, Rautureau M**] .

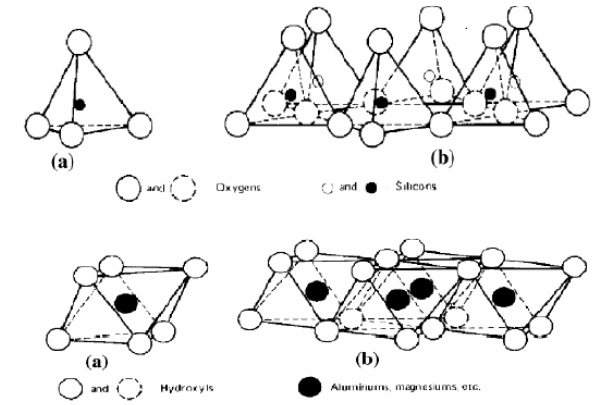


Figure I-4 – Schématisation d'une couche octaédrique (**Gaombalet J**)[3]

La kaolinite est une argile constituée d'une couche de tétraèdre et d'une couche d'octaèdre. La kaolinite ne dispose que de charges négatives à l'extérieur de ses feuillets. Chaque feuillet est relié par une liaison constituée d'hydrogène et sa distance interfoliaire est de l'ordre de 7 Å. La composition chimique de la kaolinite est $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ [**Gaombalet J**.– **Caillère S, Hénin S, Rautureau M**].

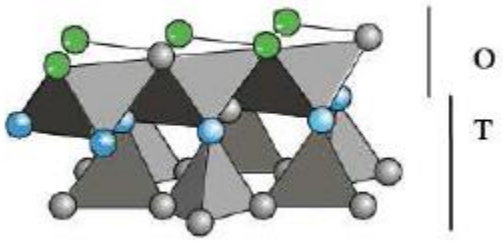


Figure I-5– Schématisation de la kaolinite (**Caillère S, Hénin S, Rautureau M)[4]**.

D'autres structures de feuillets plus complexes existent. Ces structures sont composées tout comme la kaolinite d'une première couche de silice, d'une couche d'alumine puis d'une deuxième couche de silice. La différence entre ces argiles est la nature de l'espace interfoliaire. Cet espace est composé de cations compensateurs permettant d'assurer la liaison entre les feuillets. La dimension d'un feuillet et de son espace est de l'ordre de 10 Å dans ce cas.

- L'illite

La substitution d'une partie des ions de silice par des ions d'alumine procure une différence de charge ionique qui est compensée dans le cas de l'illite par un ion K^+. Cette liaison forte empêche l'introduction de molécules d'eau entre les différents feuillets ce qui rend l'illite peu sensible à l'eau [**Gaombalet J**.– **Caillère S, Hénin S, Rautureau M**].

- Les smectites

Tout comme l'illite, une partie des ions de la structure de base est remplacée. Les atomes d'aluminium sont remplacés par du magnésium voir même du fer. Les cations compensateurs sont soit le sodium ou soit le calcium. Les liaisons interfoliaires ainsi formées sont beaucoup plus faibles ce qui permet à l'eau de s'introduire entre les différents feuillets et de réagir avec ces ions compensateurs (gonflement du sol) [**Gaombalet J**.– **Caillère S, Hénin S, Rautureau M**].

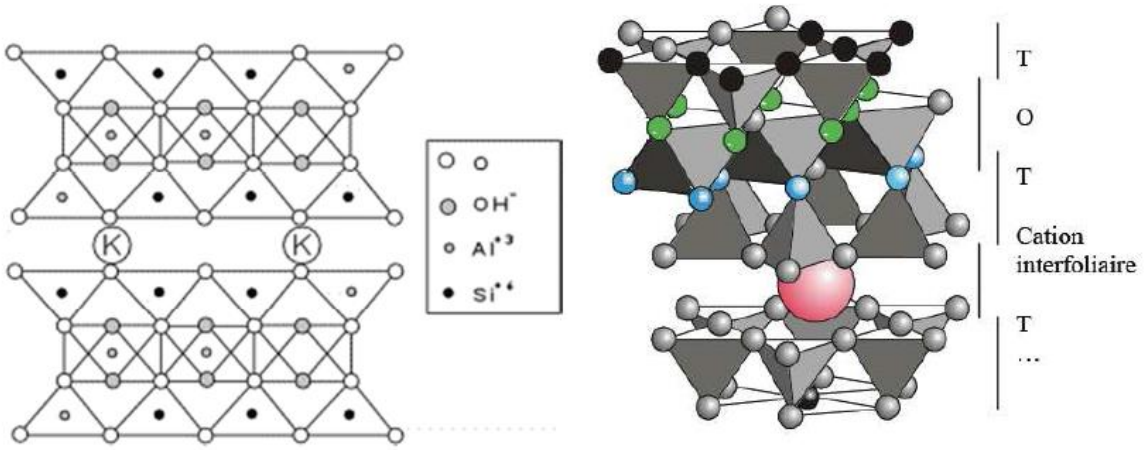


Figure I-6 – Schématisation de l'illite à gauche [**Gaombalet J**][3] et d'une structure argileuse complexe (smectite…) [**Caillère S, Hénin S, Rautureau M**][4].

La figure suivante présente les principaux types d'argile.

.

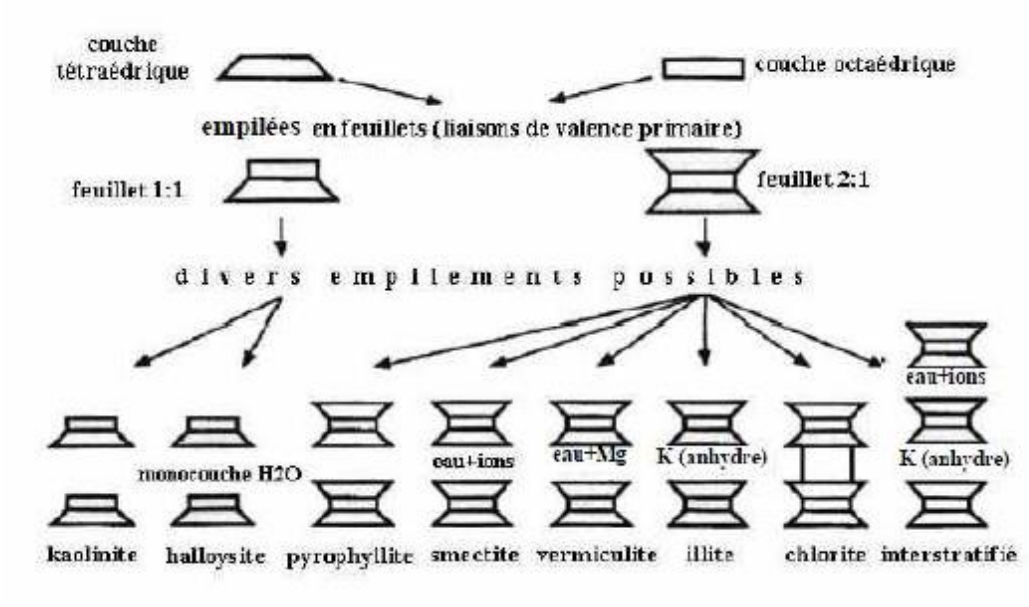


Figure I-7 – Les différents types d'argile

1.2.5 La caractérisation du matériau terre en construction

1.2.5.1 L'utilisation d'un fuseau de référence dans la construction en terre

Par expérience, la caractérisation physique d'une terre permet de définir les capacités à correspondre à une technique permettant son introduction dans le domaine de la construction. La caractérisation des terres est basée sur des essais habituellement utilisés dans le domaine des travaux publics pour caractériser une terre servant de remblai ou de fondation. Par exemple, lors de la compaction d'une couche de forme, un essai Proctor permet de définir la teneur en eau optimale de compactage (ω_{opt}) et la masse volumique sèche du sol (ρ_{opt}) afin d'obtenir les meilleures performances mécaniques (**AFNOR**. NF P94-093)[5].

Les retours d'expérience sur l'utilisation des techniques de construction en terre permet de définir des zones de références sur cette courbe Proctor[5] .La fabrication de BTC, de part la compression de la matière, induit une terre ayant une teneur en eau optimale faible et une masse volumique élevée afin d'obtenir des performances mécaniques importantes. Les limites d'Atterberg[6] de la terre sont des paramètres physiques également étudiés afin de caractériser l'aptitude d'une terre à être utilisée dans la construction. L'utilisation de la terre en adobe demande une limite de liquidité et un indice de plasticité plus importants par rapport à des techniques de construction plus sèche comme la BTC ou le mur en pisé (**Figure I-7**).

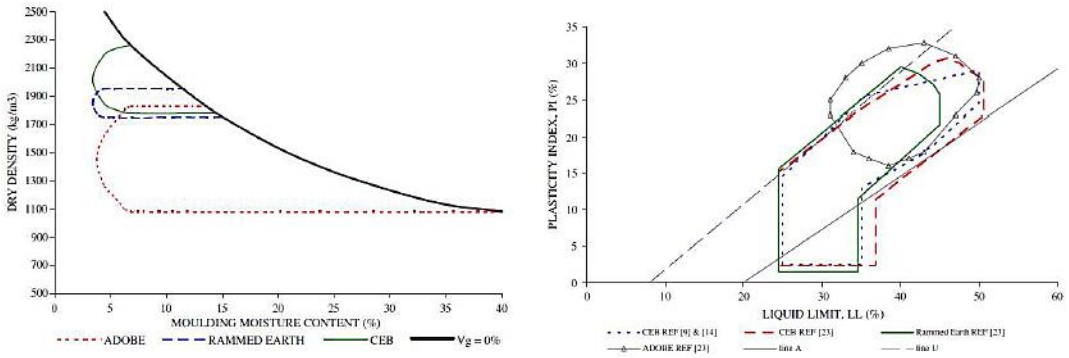


Figure I-8 – Les zones de teneur en eau, de masse volumique optimale et des limites d'Atterberg de la construction en terre [6].

Les retours d'expérience sur la BTC permettent de définir des fuseaux granulaires de référence. Ces fuseaux granulaires empiriques assurent dans la plupart des cas l'absence de désagrément quant à l'utilisation de la terre (**Figure I-9**). En revanche, certaines terres peuvent échapper à ce fuseau et malgré tout convenir à la fabrication de BTC. Doat explique qu'une proportion trop importante en silt provoque après séchage de la brique un retrait trop

important et qu'une proportion trop importante d'élément de taille conséquente diminue les performances de la brique en raison du manque d'argile et de cohésion.

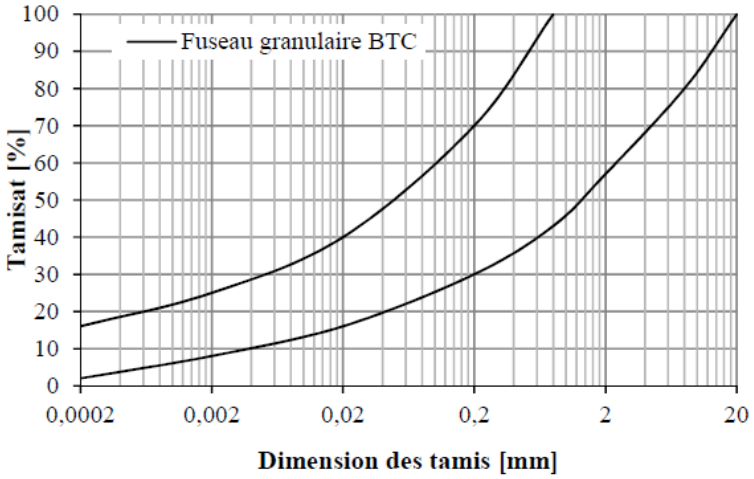


Figure I-9 – Fuseau granulaire empirique des BTC

La corrélation de ces différents paramètres physiques permet donc de préconiser une technique de fabrication de matériau à base de terre crue. Dans la suite de ce chapitre, nous nous intéresserons plus particulièrement aux méthodes de caractérisation des BTC.

1.2.5.2 Caractérisation mécanique des matériaux

Les méthodes de caractérisation mécanique de BTC ont pour but de déterminer le comportement de la brique dans son utilisation future. Contrairement aux blocs traditionnels, aucune norme française n'indique la méthode de caractérisation des BTC. Seule la norme expérimentale Mayotte [**AFNOR**. XP P13-901] indique un type de caractérisation.

Dans son mémoire sur la caractérisation mécanique des BTC, P'kla [7]référence les essais de caractérisation des briques en compression. Il déduit que chacune des techniques donnent des résultats différents pour la caractérisation d'un même matériau.

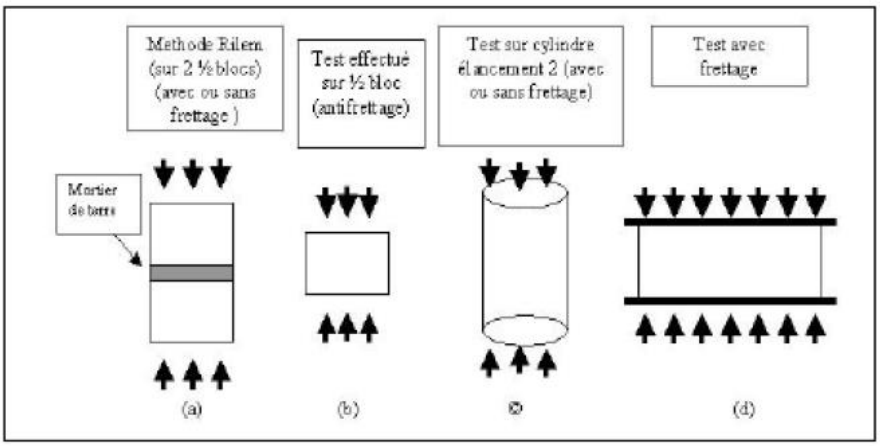


Figure I-10 Méthodes de caractérisation en compression des briques crues [**Pkla A, Mesbah A, Morel VRC**][8]

1.2.5.3 Valeurs caractéristiques des matériaux crues

Comme expliqué précédemment, la caractérisation des matériaux à base de terres dépend de la méthode d'essai. Les caractéristiques mécaniques dépendent aussi de la méthode de fabrication des éprouvettes.

Hakimi [**Hakimi A, Yamani N, Ouissi H**.][9] a testé des cylindres compactés d'élancement de 1,5 et des briques de terre comprimée suivant la méthode RILEM. Il trouve respectivement des valeurs de résistance en compression de 2,67 MPa et de 2,15 MPa pour des masses volumique d'échantillons quasi similaires. Bui [10] a étudié mécaniquement les performances d'une paroi en pisé et des BTC.

Il trouve une résistance de pisé de 1,15 MPa et une résistance de BTC de 1,53 MPa au maximum pour une brique testée dans sa longueur. Il réalise des éprouvettes 11 x 22 cm pour caractériser mécaniquement un mur de pisé et obtient une valeur de résistance de 2 MPa [**Bui, Q.B., Maximilien S, Anger R, Liman A**][11].

Morel trouve par sa méthode de caractérisation en flexion 3 points une résistance de 1,92 MPa. Kouakou [**Kouakou CH, Morel JC**.] a développé un adobe comprimé avec une terre plastique et obtient une résistance maximale de 2,71MPa. Pour ces études en compression sur des matériaux comprimés, les résistances en compression n'excèdent pas les 3 MPa.

En traction, les résistances des matériaux à base de terre crue non stabilisées sont comprises entre 0,1 MPa et 0,5 MPa pour des mortiers à base de terre ou des matériaux compactés [**Pkla A, Mesbah A, Morel VRC**][8]. Ces valeurs sont obtenues par flexion 3 points pour les mortiers et les BTC et par essai de traction par fendage pour les éprouvettes cylindriques.

1.3 Conclusion :

Ce chapitre a tout d'abord permis un aperçu général sur la construction en terre ainsi que les différentes techniques de construction en terre tel que la brique de terre comprimée. Par ailleurs nous avons présenté globalement les argiles et leurs principales structures de base.

Le présent chapitre regroupe quelques caractéristiques du matériau terre en construction tel que la résistance à la compression.

Chapitre II

Caractéristique des matériaux utilisés

II.1. Introduction

Dans le cadre de la détermination des caractéristiques physico-mécanique des matériaux locaux de la région de Timimoun, nous avons procédé des prélèvements des échantillons sur deux nouveaux gisements restent en abondances dans la zone de Timimoun, tel que l'argile et le sable de dune.

Les essais ont été effectués à base de deux matériaux de nature différente, le premier est l'argile rouge de Timimoun, le second est un sable de dune de la ville de Tinerkouk , Le dernier sera utilisé comme sol d'ajout.

Le présent chapitre regroupe les résultats d'essais géotechniques des différents matériaux utilisés (Argile et Sable de dune), ainsi que leurs interprétations.

Commençant d'abord par décrire les sites d'où les échantillons ont été extraits.

II.2.LOCALISATION DES SITES

II.2.1.Argile de Timimoun :

Le site de prélèvement est situé près de la route nationale RN°51 dans le côté gauche en allant vers Adrar.

Par ailleurs la formation géologique superficielle est une argile rougeâtre.

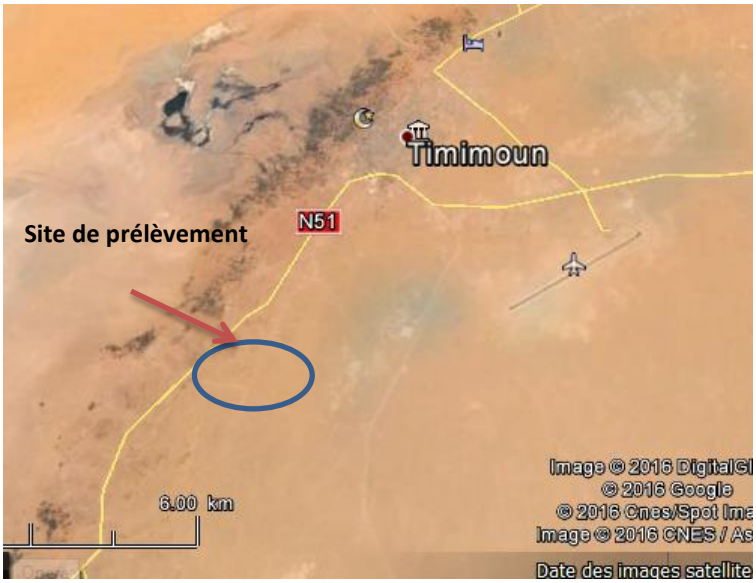


Figure II.1 : Photo satellitaire de la zone de prélèvement de l'Argile

II.2.2. Le sable de dune :

Nous avons procédé au prélèvement des échantillons de sable de dune au niveau de l'Erg occidentale, exactement non lion de la ville de Tinarkouk (Zaouite Debagh).

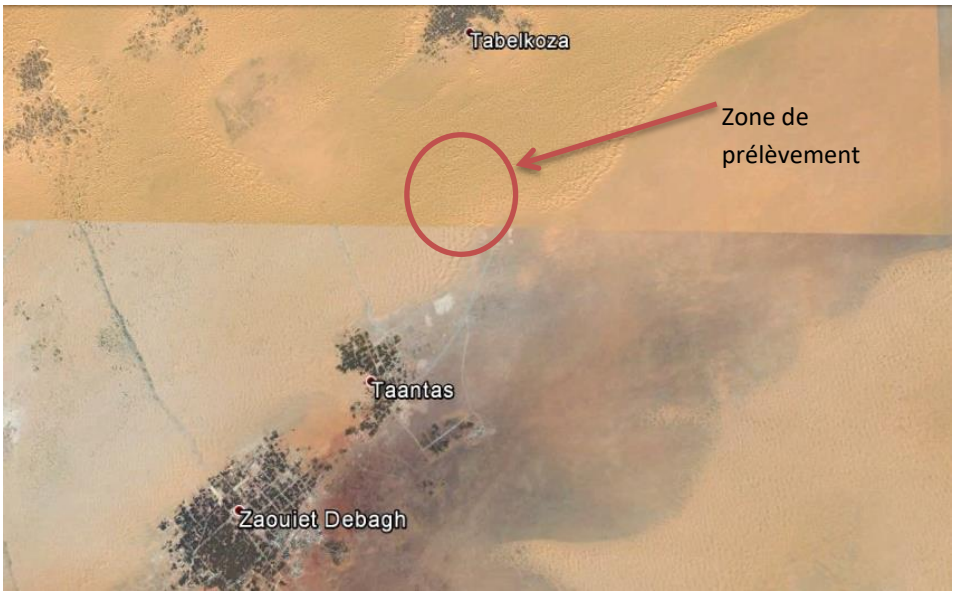


Figure II.2 : Photo satellitaire de la zone de prélèvement du sable

II.3 ESSAIS D'IDENTIFICATION :

L'identification et la classification d'un matériau ont pour but de déterminer un ensemble de propriétés physiques, mécaniques ou chimiques qui permettent de le caractériser. Il existe une série d'essais de laboratoire qui permet d'y parvenir avec précision :

- Poids spécifique des grains solides.
- Analyse granulométrique.
- Limites d'Atterberg.
- Essai au bleu de méthylène.
- Essai de Proctor normal

II.3.1. Identification et classification de l'argile étudiée:

II.3.1.1 Poids volumique des grains solides : Norme NF P94-054

Définition :

Le poids spécifique des grains solides. C'est celui du matériau constituant le squelette solide du sol qui est défini par le quotient du poids de ses grains solides par leur volume absolu.

$$\gamma_s = W_s/V_s$$

Avec :

γ_s : Poids spécifique des particules solides.

W_s : Poids du sol sec.

V_s : Volume des particules solides.

Expression des résultats :

D'après les résultats obtenus de l'essai, la valeur du poids spécifique des grains solides (γ_s) est égale à 2,61 g/cm^3.

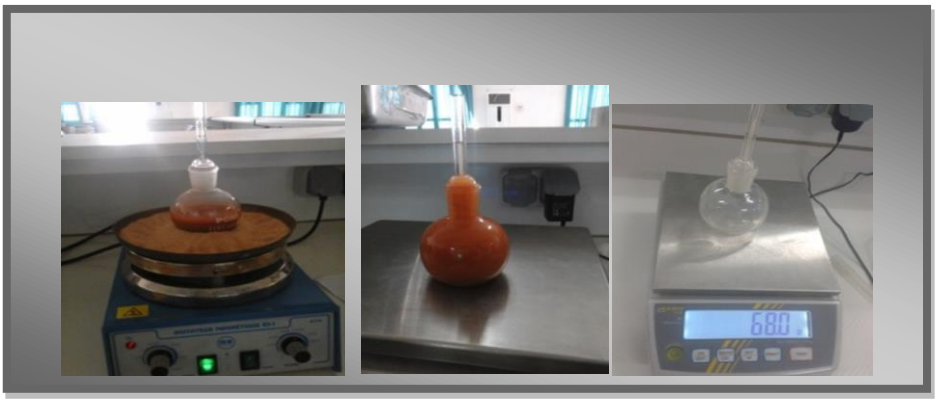


Figure II.3: Poids volumique des grains solides

Le tableau II.1 montre les valeurs des poids volumiques secs de quelques minéraux caractéristiques d'après Withman et Lambein, in Costet et Sanglérat, 1983.

Tableau II.1: Poids volumiques secs de quelques minéraux Withman et Lambein in Costet et Sanglérat, 1983.

Minéraux	γ_s (KN/m3)
Quartz	26,6
K-Feldpath	25,4 à 25,7
Na-Ca- Feldpath	26,2 à 27,6
Calcite	27,2
Dolomite	28,5
Muscovite	27 à 31
Chlorite	26,1 à 29
Kaolinite	26,1 à 26,4
Illite	28,4 à 27,4
Montmorillonite	27,5 à 27,8
Attapulgite	23,0

A première vue et suivant les valeurs du poids volumique sec, notre argile est proche du Na-Ca-Feldspath, chlorite et la kaolinite.

II.3.1.2.Analyse granulométrique par sédimentométrie NF P 94-057:

- **Le principe et le but d'essai** :

Fondé sur la loi de Stockes ou la vitesse de sédimentation des particules en suspension dans un milieu dépend de leurs diamètres.

Relier la densité lue, d'une part au diamètre des grains encore en suspension et d'autre part au pourcentage pondéral de ceux – ci par rapport au poids total de l'échantillon en suspension.

Permët de traces ne courbe granulométrique des éléments fins sous forme des tamisât cumulé, en fonction des diamètres des particules.

- **Mode opératoire :**

L'analyse par sédimentation est un essai géotechnique qui complète l'analyse granulométrique par tamisage. Les particules inférieures à 80 µm séparées du reste du sol par tamisage sont mises en suspension dans de l'eau additionnée d'un défloculant. Les particules sédimentent à différentes vitesses en relation avec leur taille. Au moyen d'un densimètre est mesurée l'évolution dans le temps de la masse volumique de la solution et la profondeur d'immersion de l'appareil. La distribution pondérale de la taille des particules est calculée à partir de ces données.

Figure II.4: Analyse granulométrique par sédimentométrie

La loi est appliquée aux éléments d'un sol pour déterminer des diamètres équivalents de particules.

La loi de Stockes s'écrit comme suit :

$$V = g\,\frac{\gamma s - \gamma w}{18\eta} \times d^2$$

Avec :

V : vitesse de la décantation de la particule (m/s)

d : diamètre de la particule (cm)

γ_s : poids spécifique de la particule (g/cm^3)

γ_w : poids spécifique du liquide utilisé (g/cm^3)

η : viscosité dynamique du liquide.

g : accélération de la pesanteur (981 cm/s^2)

Les résultats obtenus sont représentés graphiquement sur la courbe dite « courbe granulométrique ».

Les valeurs obtenues de nos essais sont regroupés dans le tableau ci-après :

Tableau II.2: Résultats d'analyse granulométrique par sédimentométrie

Temps de lecture (min)	Lecture nombre de graduation (Rt)	Température (T°)	F Facteur	R_B	Ht	P% < D	D (mm)
30	1.012	19	0.0138	1	15.02	96.36	0.075
1	1.011	18	0.0139	1	15.31	88.33	0.054
2	1.011	18	0.0139	1	15.31	88.33	0.038
5	1.010	18	0.0139	1	14.2	80.30	0.0234
10	1.009	18	0.0139	1	14.49	72.27	0.0167
30	1.0078	17	0.01418	1	14.838	62.63	0.00996
60	1.007	16	0.01435	1	15.07	56.21	0.00719
120	1.006	16	0.01435	1	15.36	48.18	0.00513
240	1.0051	17	0.01418	1	15.621	40.95	0.00361
1440	1.00095	17	0.01418	1	16.82	7.62	0.00153
2880	1.000	18	0.0139	1	17.35	0	0.00107

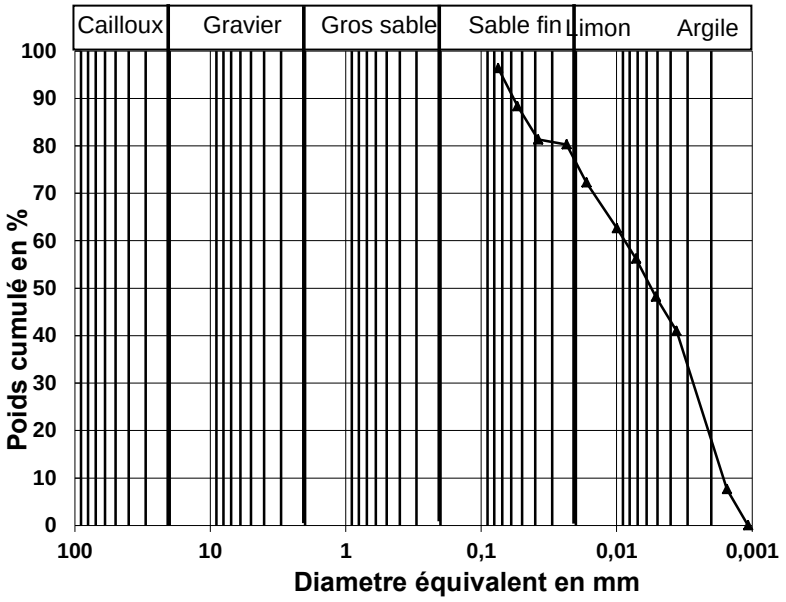


Figure II.5 : La courbe d'analyse granulométrique de l'argile étudiée

A partir de la courbe granulométrique (figure II.5) nous remarquons que notre sol est un sol fin, plus de 96% des éléments ont un diamètre inférieure à 80µm dont les éléments inférieur à 2 µm est de 30 %.

II.3.1.2. les limites d'Atterberg (NF P94-051)

Les limites d'Atterberg sont des teneurs en eau conventionnelles qui fixent un état du sol, on les mesure sur la fraction des terres passant au tamis de 0.425mm

Les limites utilisées sont :

- Limite de liquidité : qui sépare les états liquide et plastique ;
- Limite de plasticité : qui sépare les états plastique et semi-solide ;
- Limite de retrait : qui sépare les états semi-solide et solide.

Ces limites se déterminent au moyen d'un appareil normalisé, appelé « coupelle de Casagrande » figure II.6

Figure II.6 : Apiparel de Casagrande manuel

Définition des indices :

- Indice de plasticité I_P : C'est la différence entre les limites de liquidité et de plasticité. Cet indice défini l'étendue du domaine plastique figure II.7

$$I_P = W_L - W_P$$

- Indice de liquidité I_L :

$$I_L = 1 - IC$$

$$I_L = W - W_p / I_P$$

- Indice de consistance I_C : Rapport défini par la formule suivante :

$$I_C = W_L - W / I_P$$

Avec :

W : teneur en eau naturelle.

- Indice de retrait I_R :

$$I_R = W_C - W_R$$

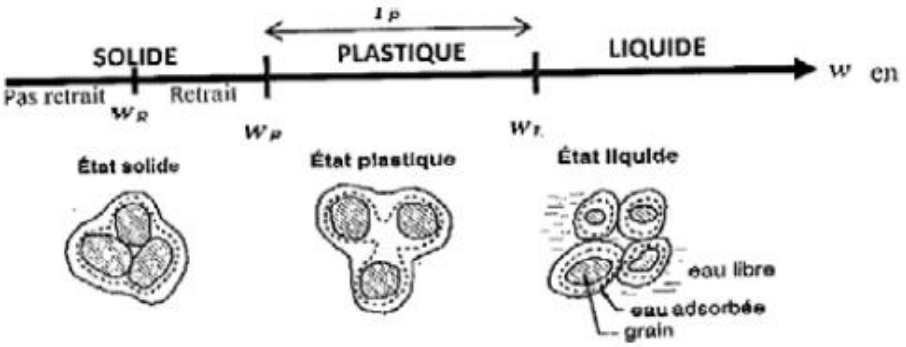


Figure II.7 : Etats de consistance d'un sol.

Avec :

W_L : limite de liquidité.

W_P : limite de plasticité.

W_R : limite de retrait.

I_P : indice de plasticité.

Activité des argiles :

D'après Skempton l'activité $\mathbf{A_C}$, est définie comme le rapport de l'indice de plasticité $\mathbf{I_P}$ à la teneur en particules argileuses (teneur en particules de dimensions inférieures à 2 µm) :

$$A_C = \frac{\text{Indice de plasticité } I_P}{\% \text{ Elements } \langle \text{ à } 2\mu}$$

Les résultats obtenus des essais des limites sont présentés sur le tableau II.2 :

Tableau II.3 : Paramètres tirés des limites d'Atterberg.

Paramètres	W_L	W_P	W_R	I_P	I_R	A_C
Valeurs (%)	49,86	26	17,93	23,86	31,93	0,79

Pour les sols fins, il est d'usage de reporter les valeurs de « **IP** » et « **WL** » sur un diagramme ayant « **IP** » en ordonnée et « **WL** » en abscisse. Ce diagramme est appelé « diagramme de Casagrande » figure II.8

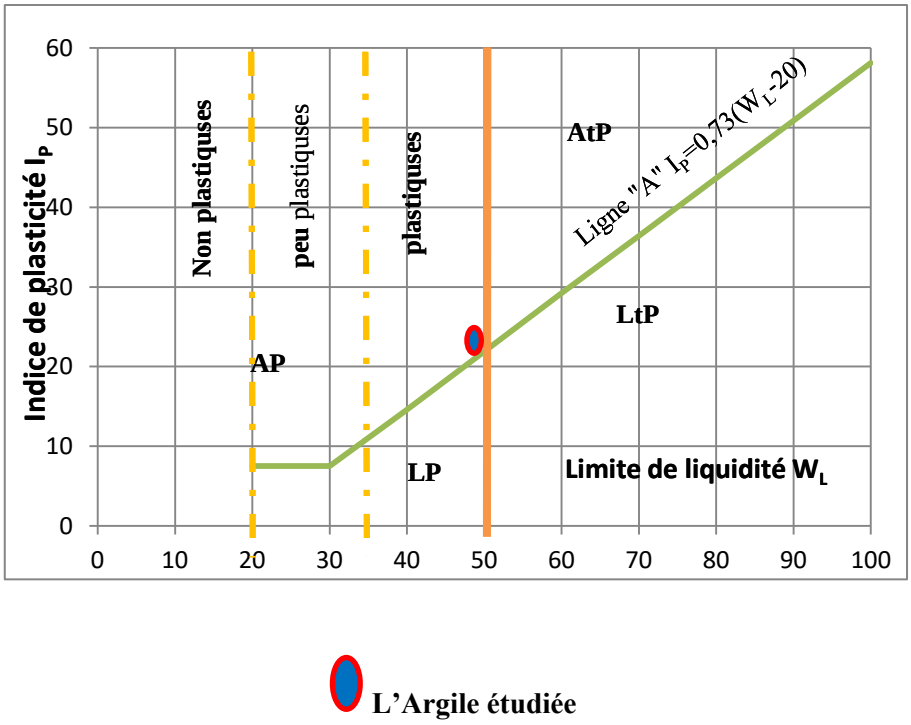


Figure II.8 : classification des sols fins sur le diagramme de Casagrande (Philipponnat et Hubert, 1977).

En utilisant ce diagramme, nous remarquons que l'argile de Timimoun se classe parmi les sols : **Argileux plastiques**.

D'après les résultats obtenus de la formule de Skempton, et en utilisant le tableau II.3, on peut dire que nous sommes en présence **d'argile peu active à normal.**

Tableau II.4 **:** Activité des argiles (SKEMPTON 1953)

Activité (Ac)	**Dénomination**
0 < Ac < 0,5	Inactif
0,5 <Ac < 0,75	Peu actif
0,75 < Ac < 1,25	Normal
1,25 <Ac < 2	Actif
Ac > 2	Très actif

On peut aussi connaître la nature de notre argile en comparant son activité à celles de certains minéraux donnés par le tableau **II.4 :**

Tableau II.5: Activité des différents minéraux

Minéral	**Activité**
Montmorillonite Na	4 – 7
Montmorillonite Ca	1,5
Illite	0,5 – 1,3
Koolinite	0,3 – 0,5
Calcite	0,2
Quartz	0

L'argile de la région de Timimoun est proche du minéral Illite Cette approche n'est que significative et qui doit pour plus de précisions tenir compte aussi de quelques paramètres physiques et chimiques.

II.3.1.3 Essai au bleu de méthylène à la tâche : (NF P94-068)

- **Introduction :**

L'essai au bleu de méthylène mesure la surface spécifique des particules argileuses du sol. L'essai dit « à la tâche » mesure la surface spécifique totale (interne + externe) des particules, tandis que l'essai au bleu optique, dit «turbidimétrique», mesure leur surface spécifique externe.

- **Principe de l´essai**

On injecte successivement des doses élémentaires d´une solution de bleu de méthylène dans le bain aqueux contenant la prise d´essai. On contrôle l´adsorption du bleu après chaque ajout, en effectuant une tache sur un papier filtre Pour un simple contrôle de conformité, la quantité de bleu spécifiée est injectée en une seule fois.
La figure II.9 représente l'appareillage utilisé

Figure II.9 :L'appareillage de l'essai du bleu.

La figure II.10 représente le mode opératoire de l'essai au bleu de méthylène (à la tache)

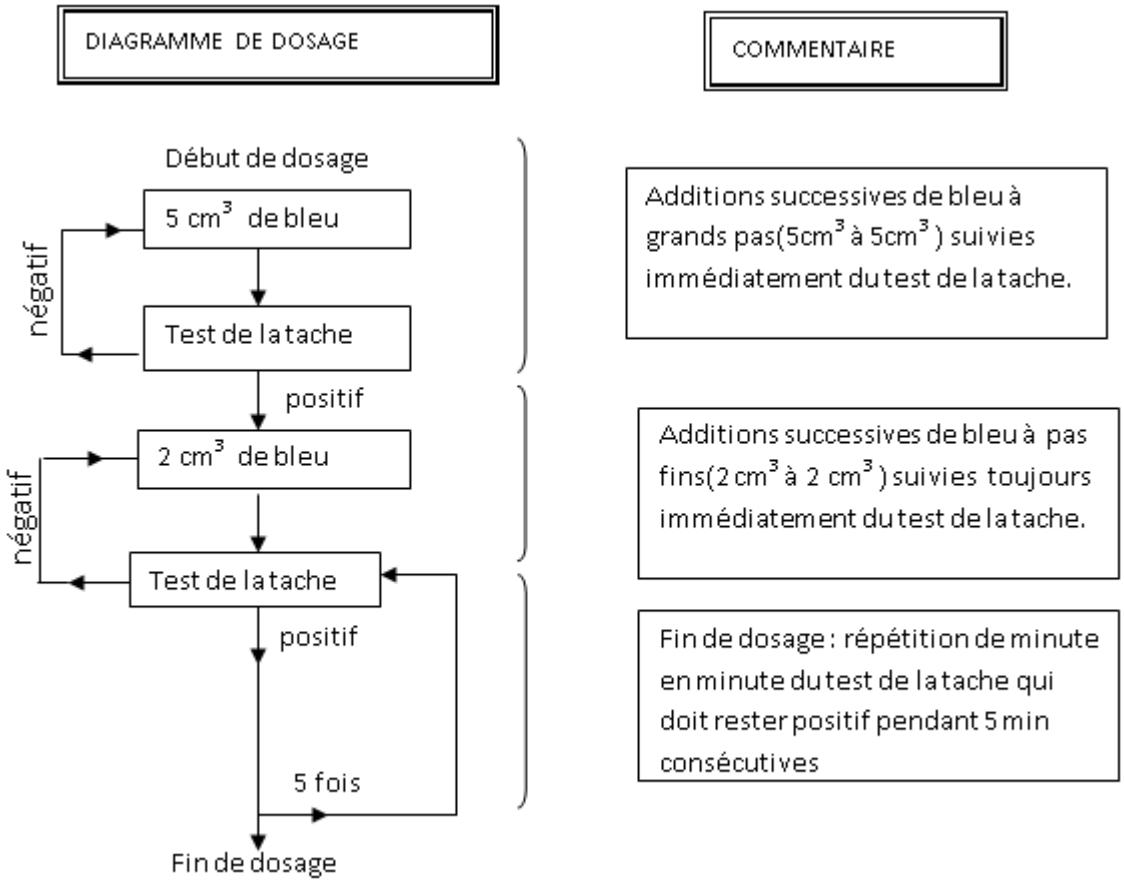


Figure II.10 : Schéma synoptique du processus opératoire de l'essai du bleu à la tache (Scaeffner, 1989).

La figure II.11 représente le Test de la tâche.

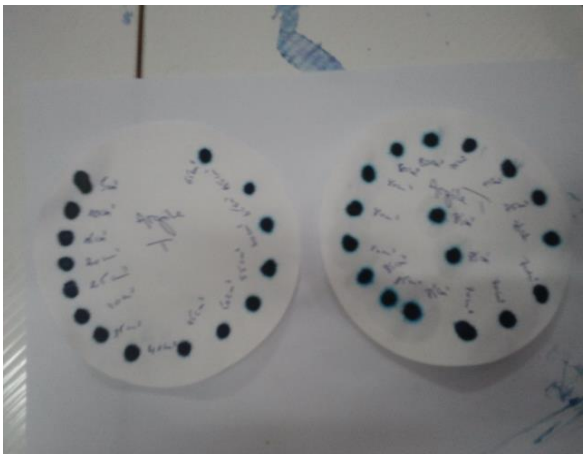


Figure II.8 : Test de la tache

Paramètres tirés de l'essai :

- La valeur du bleu V_B est donnée par la relation suivante :

$$V_B = \frac{\text{nombre de cm}^3 \text{ de solution}}{\text{poids de la prise}}$$

- La surface spécifique totale est donnée par :

$$S.S.T = \left(\frac{V_B}{100}\right).\left(\frac{N}{373}\right).130.10^{-20}$$

Avec :

$V_B/100$: Fraction en % du bleu (< 2µ

N : nombre d'Avogadro = $6.023.10^{+23}$

373 : masse molécule du bleu de méthylène en gamme.

130.10^{-20} : surface en cm^2 d'une molécule d'eau.

Alors :

$$S.S.T = 20.93\ V_B\ (5m^2/g)$$

N = 100 V_B (fraction O/D) / C2

N : Indice de nocivité de la fraction argileuse.

C_2 : terme de pourcentage des éléments < 2 µ de la fraction argileuse.

Tableau II.6: Paramètre tirés de l'essai du bleu de méthylène.

Paramètre	Argile de Timimoun
V_B (cm^3/g)	8,5
SST (m^2/g)	117,90
N	28,33

Les ordres de grandeurs des valeurs du bleu des sols d'après Philipponnat sont représentés dans le tableau II.6 :

Tableau II.7 : Classification des sols d'après Philipponnat.

La valeur de bleu	**Type de sol**
$V_B < 0.2$	Sols sableux
$0.2 < V_B < 2.5$	Sols limoneux
$2.5 < V_B < 6$	Sols limoneux argileux
$6 < V_B < 8$	Sols argileux
$V_B > 8$	Sols très argileux

D'après la classification de Holtz et Gibbs les argiles peuvent être classées suivant leur surface spécifique selon le tableau II.7 :

Tableau II.8 : Classification d'après Holtz et Gibbs.

Argiles	**Surface spécifique (m^2 / g)**
Montmorillonite Ca^{++} Na^{++}	300 à 800
Illite	40 à 60
Kaolinite	5 à 20
Elément non argileux	1 à 3

Le premier paramètre tiré de l'essai est la valeur du bleu $\mathbf{V_B}$.

- D'après les résultats obtenus, la valeur du bleu de notre argile est supérieure à 8, donc cette argile appartient aux sols très argileux, d'après le tableau II.6.
- L'autre paramètre tiré de l'essai est la surface spécifique totale ; on a remarqué que notre argile est classé entre deux grande famille la limite inférieure des montmorillonites et la limite supérieure des illites (tableau II.7).
- On peut aussi classer notre argile sur le diagramme de nocivité présenté sur la figure II.9 à partir de l'indice de nocivité ; on remarque que l'échantillon se classe parmi les sols nocifs.

N		M %
	N > 18 sols très nocifs	
18	12 < N ≤ 18 sols nocifs	90
12	8 < N ≤ 18 sols actifs	75
	5 < N ≤ 8 sols normaux	
8	3 < N ≤ 5 sols peut actifs	50
5	1 < N ≤ 3 sols inactifs	10
3		0
1	N ≤ 1 sols non argileux	

Figure II.9 : Diagramme de nocivité (Lautrin, 1987).

II. 3.1.4 Essai Proctor : (NF P94-093)

a. Introduction :

Le compactage est un procédé de stabilisation mécanique des sols (remblai, route, etc.…). Il a pour but de limiter les tassements, diminuer la perméabilité et d'améliorer les caractéristiques mécaniques du sol.

b. But de l'essai :

L'essai Proctor a pour but de déterminer la teneur en eau optimale correspondante à la densité sèche maximale.

c. Appareillage utilisé :

- Moule Proctor.
- Appareil de compactage (manuelle).
- Boite à pétri.
- Etuve.
- Balance de précision de 10 g et 0.001 g.

d. Mode opératoire :

- Etuvage de l'échantillon jusqu'à poids constant.
- Démolir les mottes de terre.
- Prendre 3 kg d'échantillon.
- Ajouter une quantité d'eau mesurée au sol et homogénéiser le mélange.
- Remplir le moule en 3 couches de damant chacune au moyen de 25 coups.
- Enlever la hausse et araser la dernière couche.
- Faire la pesée du sol contenu dans le moule.
- Prélever à la fin de l'expérience un échantillon de la couche supérieure et un autre de celle du milieu afin de déterminer la teneur en eau.

Les résultats de l'essai sont consignés dans le tableau en annexe I . L'essai Proctor permet de tracer la courbe du poids volumique sec en fonction de la teneur en eau représentée sur la figure II.9.

Figure II.12 : Photos présentant le mode opératoire de l'essai proctor

Tableau II.9 : Les résultats de l'essai proctor normal

Pourcentage d'eau (%)	W (%)	γ_d (g/cm^3)
18	18.63	1,37
20	21.47	1,43
22	22,72	1,50
24	24,32	1,51
26	26,88	1,49
28	28,55	1,46

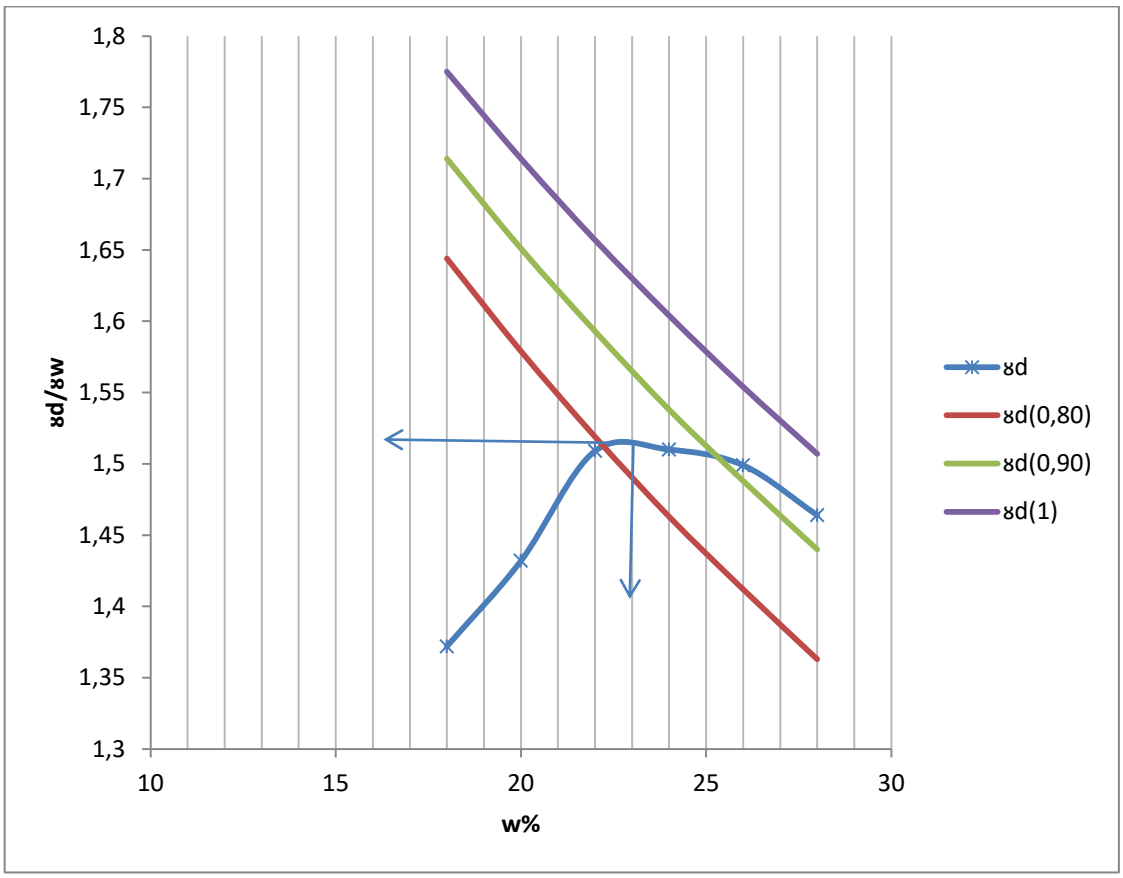


Figure. II.10: Courbe Proctor **normal de l'argile de Timimoun**

✓ Les paramètres obtenus sont résumés dans le tableau II.9 :

Tableau II.10 : Les paramètres de l'essai Proctor

Paramètre	Coté sec (OPN-2)	OPN	Coté humide (OPN+2)
γd (g/cm^3)	1,50	1,51	1,49
ω %	22	24	26

Tableau II.11: Caractéristiques d'identification de l'argile étudiée.

Paramètres	**Indice**	**Unité**	**Valeur**
Densité des grains solides	γ_s	g/cm^3	**2,61**
Limite de liquidité	W_L	%	**49,86**
Limite de plasticité	W_P	%	**26**
Limite de retrait	W_R	%	**17,93**
Indice de plasticité	I_P	%	**23,86**
Indice de retrait	I_R	%	**23,93**
Eléments inférieurs à 2 µ	C_2	%	**30**
Activité	A_C	-	**0.79**
Valeur du bleu de méthylène	V_B	%	**8,5**
Indice de nocivité	N	-	**28,93**
Surface spécifique totale	SST	m^2/g	**117,80**
Densité sèche à OPN	γ_{dOPN}	g/cm^3	**1,51**
Teneur en eau à OPN	W	%	**24**

II.3.2. Identification et classification du sable étudiée :

II.3.2.1 Masse Volumique (NF P18-554)

La masse volumique d'un granulat est le rapport entre sa masse et son volume. Pour un granulat donné, ce rapport est une constante qui est propres aux caractéristiques physiques du granulat. Elle permet alors de caractériser un granulat et d'établir un lien entre sa masse et son volume. La masse volumique permet donc de connaitre le volume d'un granulat lorsque l'on connait sa masse et réciproquement

- **la masse volumique absolue:**

C'est la masse de l'unité de volume absolu d'un corps, c'est-à-dire de la matière qui constitué ce corps, sans tenir compte du volume des vides pouvant exister dans ou entre les grains.

- **Mode opératoire**

Méthode de l'éprouvette graduée cette méthode est très simple et très rapide et elle utilise du matériel très courant de laboratoire (voire la Photo II.9) :

1. Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau.

2. Peser un échantillon sec M de granulat (environ 300g) et l'introduire l'éprouvette en prenant soit d'éliminer toutes les bulles d'air.

3. Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume V_2. La masse volumique est alors:

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

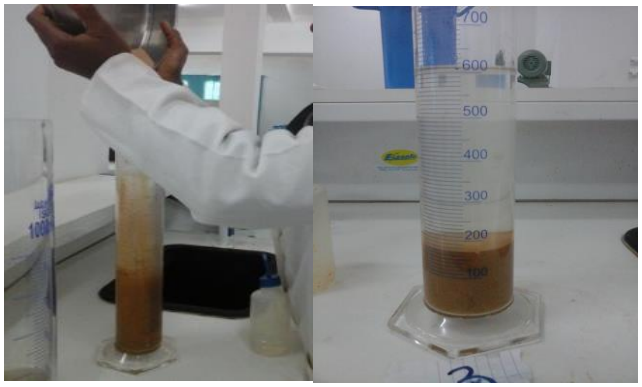


Figure II.11 Photos méthode de l'éprouvette graduée (la masse volumique absolue)

Tableau II-*12* la Masse volumique absolue du sable de dune (T)

Masse Volumique	***Sable de dune (Timimoun)***		
Masse Volumique Absolue En g/cm³	*Essai 1*	*Essai 2*	*Essai 3*
	2,7	2,5	2,5
	2,57		

✓ la masse volumique apparente :

C'est la masse de l'unité de volume apparent d'un corps, cette fois en tient compte du volume des vides qui pouvant exister dans ou entre les grains.

- **Mode opératoire**

❖ Le processus de l'essai est fait selon les étapes suivantes:

- Maitre l'échantillon dans un entonnoir spécial (normalisé) à 10 cm environ au-dessus d'un litre, et ouvrer la fermeture à la base de l'entonnoir.
- Verser ainsi le granulat toujours au centre de la mesure, jusqu'à ce qu'il déborde tout autour en formant un cône.
- Araser à l'aide d'une règle.
- Peser le contenu.

La méthode est fiable si le processus est respecté. Il est par contre recommandé de faire plusieurs essais de prendre la moyenne des résultats.

La masse volumique est la grandeur qui permet de passer de la masse d'un matériau, au volume occupé par ce même matériau (volume absolu inclue les vides**).**

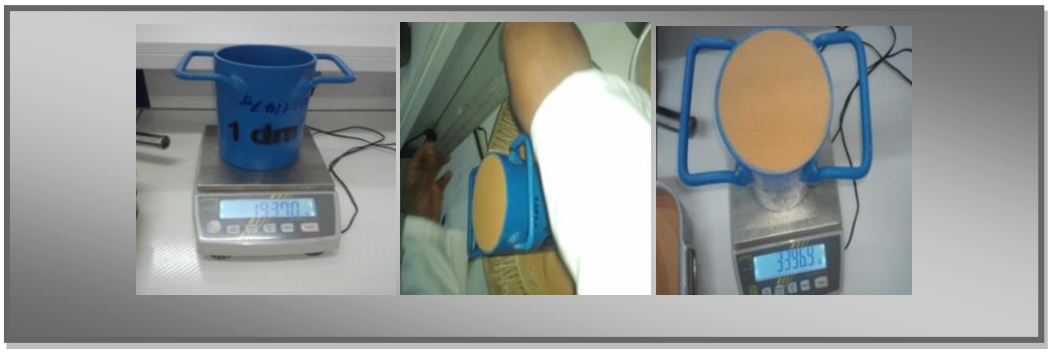


Figure II.11 Photos représentent le mode opératoire de la masse volumique apparente

Tableau II.13 : la Masse volumique apparente

Masse Volumique	**sable de dune de Timimoun**		
Masse Volumique Apparente En g/cm³	*Essai 1*	*Essai 2*	*Essai 3*
	1,44	1,45	1,45
	1,45		

II.3.2.2 Essai d'équivalent de sable (NF P 18-598):

L'équivalent de sable est un indicateur, utilisé en géotechnique, caractérisant la propreté d'un sable, il indique la teneur en fines

L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans les éléments sableux plus grossiers.

- **Principe de l'essai**:

L'essai consiste à verser un échantillon de sable et une petite quantité de dans un cylindre gradué et d'agiter de façon à détacher les revêtements argileux des

particules de sable de l'échantillon. On complète alors le sable en utilisant le reste de solution floculant afin de faire remonter les particules de fines en suspension au-dessus du sable. Après 20 min, les hauteurs des produits sont mesurées

- **Mode opératoire** et **Matériel utilise:**

Tamiser l'échantillon

Peser 120 g pour préparer l'échantillon

Verser l'échantillon dans l'éprouvette

Remplier l'éprouvette avec la solution lavant

Laisser reposer 10 minutes

Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon de caoutchouc

Faire subir à l'éprouvette sur 90 cycles.

Laisser reposer pendant 20 minutes

Mesurer h1 à l'aide d'une règle (niveau supérieur du floculat par rapport au fond de l'éprouvette) .

Mesurer h2 (hauteur jusqu'au sable sédimentée par rapport au fond de l'éprouvette

Figure II.12 Photos d'essai d'equivalant de sable

- **Le calcule** :

Calculer l'équivalent de sable avec la relation suivante :

ESp=(h'2/h1) ×100

Les résultats obtenus sont présentes ci-dessous.

Tableau II-14 : Résultats d'essai d'équivalente

N° d'éprouvette	h1 (cm)	h'2 (cm)	ESP(%)	La valeur moyenne
1	10,2	9	88,23	**92,13**
2	10,1	9,1	94,06	
3	10,2	9,6	94,12	

Suite aux résultats obtenus nous avons conclus que le sable de dune est un sable propre.

II.3.2.3Analyse granulométrique NF P18-560

Analyse granulométrique : est l'opération consistant à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon, en fonction de leurs caractéristiques (poids, taille). Analyse granulométrique par tamisage**.** L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles des grains constituant l'échantillon

- **Principe de l´essai :**

L´essai consiste à fractionner au moyen d´une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l´échantillon et de la précision attendue. Les masses des différents refus ou celles des différents tamisats sont rapportées à la masse initiale de matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique)

Nous pouvons déterminer un certain nombre de paramètres utiles à la connaissance de nos granulats. Parmi ces paramètres ou peut citer :

Le coefficient d'uniformité, noté C_u et donné par la relation :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{..... (II.6)}$$

D_{10}, D_{30}, D_{60} représentent les diamètres correspondants respectivement aux tamisas cumulés de 10% et 30% et 60%.

Le coefficient de courbure noté C_c et donné par la relation :

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad \text{..... (II.7)}$$

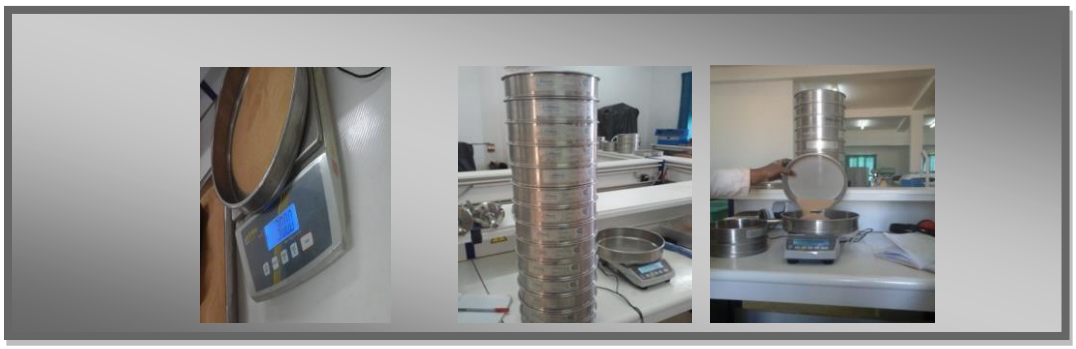


Figure II.13 photos mode opératoire d'analyse granulométrique

Tableau II.15:Résultats d'analyse granulométrique du sable (Tinrkouk)

Tamis (mm)	R partiel(g)	Rc (g)	Rc (%)	T (%)
5	0	0	0	100
4	0	0	0	100
2.5	0	0	0	100
2	0	0	0	100
1.60	0	0	0	100
1.25	0	0	0	100
0.630	0	0	0	100
0.500	0	0	0	100
0.315	1.9	1.9	0.19	98.1
0.200	854.3	856.2	85.62	14.38
0.160	85.9	942.1	94.21	5.79
0.080	57.5	999.6	99.96	0.04
0.063	00	999.6	99.96	0.04
Fond	0	999.6	99.96	0.04

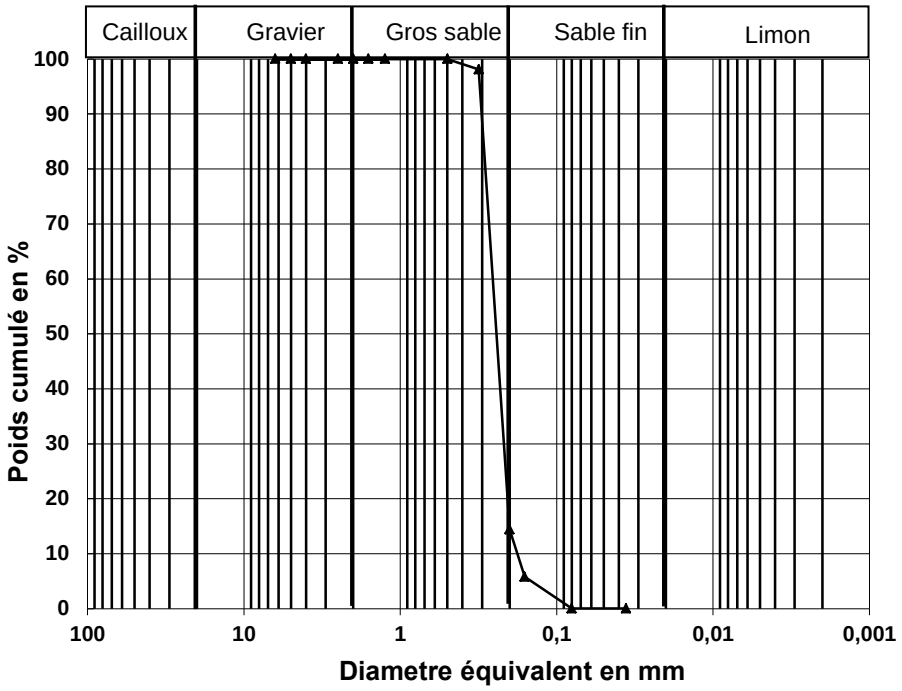


Fig.II.8: Courbe d'Analyse granulométrique par tamisage

Classification de sol selon LCPC :

Pour D_{50um} R_C % : 99.96 > 50 donc sol grossier ou sol grenus

Pour D_{2um} R_C % : 0 < 50 donc

Pour D_{80um} T_C % : 0.04 < 50

C_U = 1.38 Cc = 1.057

Sable propre mal gradué.

Module de finesse :

Selon la norme Française [NFP 18-540] le module de finesse est égal au 1/100e de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante :0,80, 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 … mm.

MF=1/100*∑(Refus cumulés en % des tamis{0, 80- 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 – 5 …})

Application numérique

M_f = 1/100* R_C % (5+2.5+1.25+0.63+0.315+0.16+0.080)

M_f sable = 1,943 %

❖ Eau de gâchage

L'eau utilisée est celle du robinet du laboratoire de génie civil de l'université d'Adrar. L'eau permet à la fluidification de la pâte ; l'analyse chimique de l'eau a été effectuée au niveau de laboratoire de traitement des eaux (ANRH) d'Adrar
Le détaille en annexe

Tableau II.16: composition chimique de l'eau

Ca++	Mg++	Na++	Ka+	Cl-	So_4--
200.00	150.00	200.00	12.00	500.00	400.00

Les concentrations sont données en mg/l.

II.4 Conclusion :

Ce chapitre est une initiation d'une recherche menée sur la caractérisation des gisements de la région de Timimuon en vue de leurs utilisations en génie civil comme un matériau de construction. Les propriétés physico-mécaniques du gisement d'argile montrent qu'on est en présence d'un matériau plastique non nocif et appartient aux sols très argileux. La mer de sable (Sable de dune) qui se trouve en abondance, classé comme un sable propre. Cependant pour complétera la caractérisation de ces gisements nécessite une analyse chimique et minéralogique.

De point de vue économique avec une conservation du patrimoine de la région. De ce fait, un travail expérimental doit être mené dans le but d'optimiser une formulation à base de ces matériaux locaux (Argile plus sable). Cela pour conception des briques de terre comprimées (BTC).

Le chapitre suivant présente l'étude préliminaire du mélange de l'argile comme un matériau de base et le sable de dune comme un ajout.

Chapitre III

Etude du mélange

III.1 Introduction :

Le présent chapitre regroupe un aperçu général sur la stabilisation de la terre et ses objectifs. Cependant une étude de formulation a été effectuée entre deux matériaux dites tradionnel, l'argile et le sable de dune. Cela pour conception d'un bloc de terre comprimé.

Par ailleurs l'étude du mélange l'argile plus l'ajout de sable comme un stabilisant ayant pour objet d'optimiser la formule et améliorer les caractéristiques mécaniques et physiques.

Ce chapitre présente aussi les mélanges, les procédures de confection des éprouvettes, les essais des écrasements ainsi que leurs résultats.

III.2 Stabilisation :

- ***Définition***

Le Centre des Nations Unies pour les établissements humains a définit la stabilisation d'un sol comme étant, la modification des propriétés d'un système terre-eau-air pour obtenir des propriétés permanentes compatible avec une application particulière (United Nations**,** 1992).

Mais la stabilisation est un problème complexe car de très nombreux paramètres interviennent. Il faut en effet connaître : les propriétés de la terre, les améliorations envisagées, l'économie du projet, les techniques de mise en œuvre de la terre choisie pour le projet et la maintenance du projet réalisé (Houben, 2006).

- *Objectifs*

Les principaux objectifs de stabilisation des sols sont (Winterkorn, 1975; Nations Unies, 1992; Symons, 1999):

- l'obtention de meilleures caractéristiques mécaniques de la terre (augmenter les résistances à la compression, à la traction et au cisaillement),
- la réduction de la porosité et les variations de volume (réduire le retrait et le gonflement à l'eau),
- l'amélioration de la résistance à l'érosion du vent et de la pluie (réduire l'abrasion de surface et la perméabilité à l'eau).

- Moyens de stabilisation

Dans la littérature, on peut trouver divers classifications, selon : la nature, la forme, etc. Selon Rigassi (Rigassi,1995), il y a six modes de stabilisations :

– Densifier.

– Armer.

– Enchainer.

– Liaisonner.

– Imperméabiliser.

– Hydrofuger.

Chaque stabilisant n'agit pas obligatoirement selon un procede exclusif, mais il peut aussi cumuler plusieurs procédés : physique et chimique (Houben,2006) (tableau III.1).

Tableau III.1 : Moyens de stabilisation des terre remaniées (Houben,2006).

Stabilisant		Nature	Procédé	Moyens	Principe	Symbole
Sans apport de stabilisant			Mécanique	Densifier	Créer un milieu dense qui bloque les pores et les canaux capillaires	
Avec apport de stabilisant	Stabilisants inertes	Minéraux	Physique			
		Fibres		Armer	Créer une armature omnidirectionnelle qui réduit le mouvement	
	Stabilisant physico-chimique	Liants	Chimique	Enchainer	Créer un squelette inerte qui s'oppose à tout mouvement	
				Liaisonner	Former des liaisons chimiques stables entre les cristaux d'argile	
		Hydro-phobants		Imperméabiliser	Entourer les grains de terre d'un film imperméable et boucher les pores et canaux	
				Hydrofuger	Éliminer au maximum l'adsorption et l'absorption d'eau	

III.3 CONFECTION DES EPROUVETTES

III.3.1 Matériel spécifique :

Pour la confection des éprouvettes nécessaires au programme d'essai, on a conçu un moule selon la norme. Il est composé de 5 éléments. Le moule est muni d'un piston pour assurer la transmission de la contrainte de compactage de la presse au mélange.

Le schéma du moule dans la presse est présenté sur la figureIII.1.

Figure III.1: Le schéma du moule utilisé pour la confection des éprouvettes

III.3.2 Mélanges

D'après des études menées par Mesbah et al. (Mesbah, 1999) et P'KLA (P'KLA, 2002), le compactage statique est mieux adapté aux sols argileux, et que la détermination de la teneur en eau optimale pour le BTC à partir de l'essai Proctor est inappropriée, car l'énergie de compactage n'est pas la même que celle d'un compactage statique utilisé pour la fabrication du BTC.

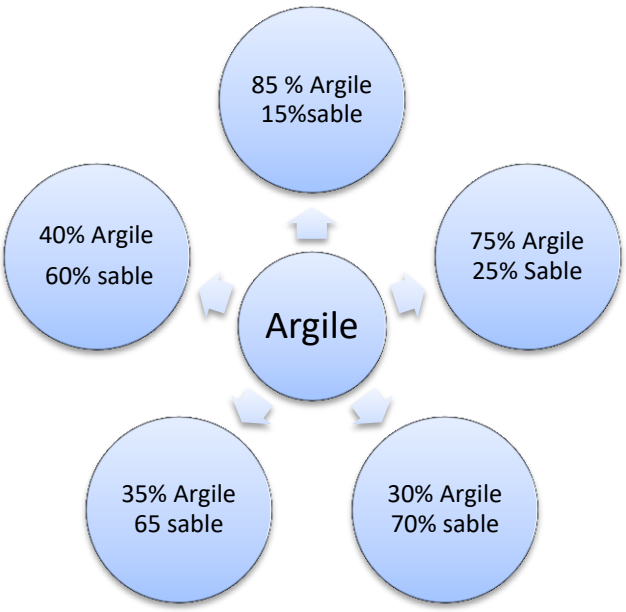


Figure III.2 : Combinaison des mélanges des éprouvettes

III.3.3 Préparation des mélanges

Les meilleures conditions de malaxage sont réunies lorsqu'on dispose d'un sol sec. Cela nécessite un séchage préalable du sol. Alors, après avoir séché l'argile et le sable de dune dans l'étuve pendant 24 h à 105 °C, les matériaux (Argile+ sable) sont d'abord mélangés à sec puis malaxés avec l'eau dans un malaxeur à ciment de 5 litres avec une vitesse de 139 tr/min. L'homogénéisation des mélanges à sec est effectuée pendant deux minutes. Le malaxage avec l'eau a été effectué pendant deux minutes. Finalement le matériau est mis en place et compacté juste après le malaxage.

III.3.4 Optimisation de la teneur en eau

La teneur en eau a une action primordiale sur le comportement des matériaux. Pour tous les matériaux testés, naturels ou reconstitués, surtout lorsqu'ils sont fins, pour obtenir une fabrication homogène des éprouvettes, il est donc indispensable de déterminer cette teneur en eau optimale pour chaque composition.

Les éprouvettes sont fabriquées à l'aide d'une presse hydraulique à force imposée. Durant toute l'opération d'optimisation on a appliqué trois contraintes de compactage (1MPa, 1,5 MPa et 2 MPa).

La figureIII.3 et la figure III.4 montrent l'optimisation obtenue pour l'argile.

La figure III.5 présenté la variation de la densité sèche en fonction de la teneur en eau, cela ayant pour optimiser le pourcentage d'eau (W_{opt}).

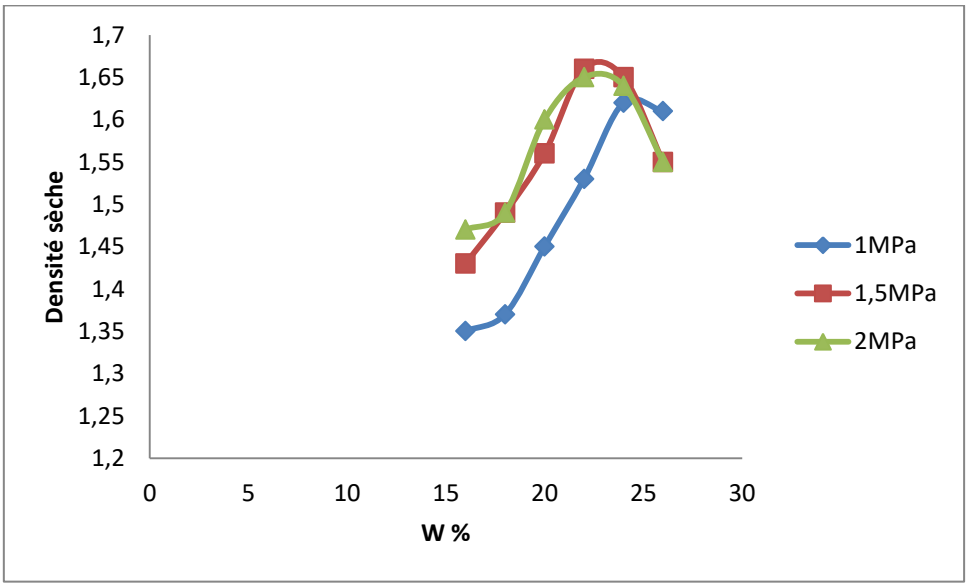


Figure III.3: Les résultats de l'essai de compactage statique de l'argile

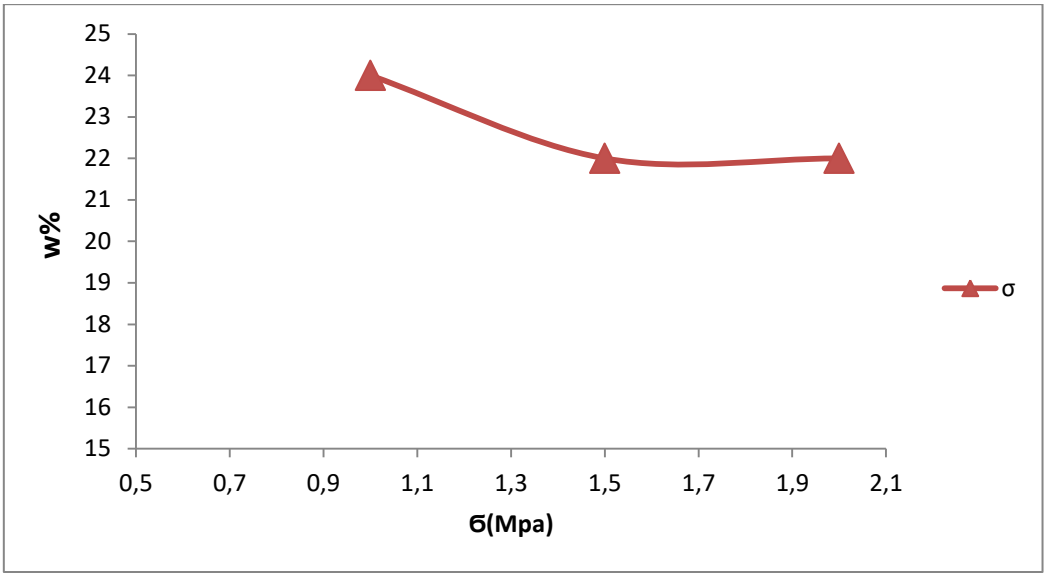


Figure III.4: La variation de la teneur en eau en fonction de la contrainte de confection

Tableau III .2: Résultats compactage statique pour l'optimisation de la teneur en eau

w %	16	18	20	22	24	26
б=1(MPa)						
ɣd g/cm^3	1,35	1,37	1,45	1,53	1,62	1,61
б=1.5(MPa)						
ɣd g/cm^3	1,43	1,49	1,56	1,66	1,65	1,55
б=2(MPa)						
ɣd g/cm^3	1,47	1,49	1,6	1,65	1,64	1 ,55

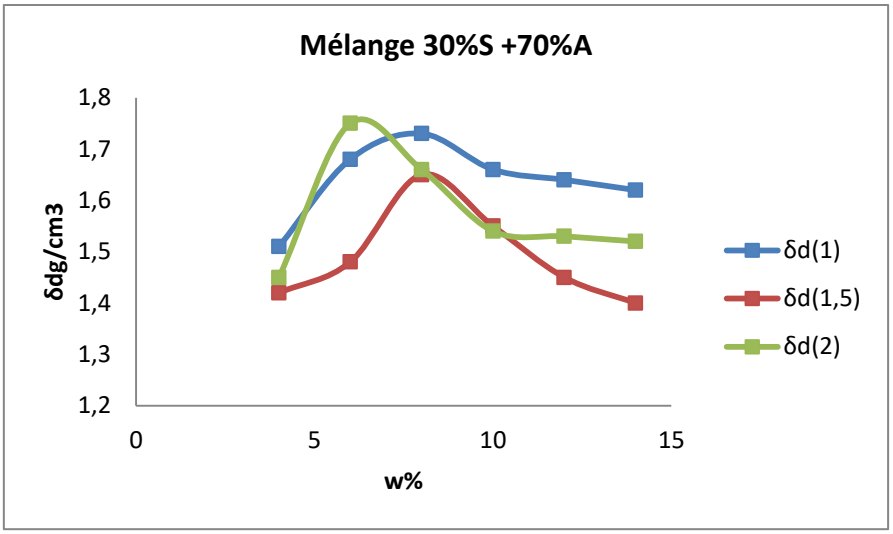


Figure III.5: Les résultats de l'essai de compactage statique du mélange (70%A+30%S)

Commentaire :

Suite aux résultats obtenus nous avons constaté ce qui suit :

-La courbe de compactage statique de l'argile est la même allure que la courbe de Proctor.

- La variation de la teneur en eau optimale de l'argile en fonction des contraintes de confection est insérée dans la fourchette 22% à 24%.

- Par ailleurs la teneur en eau optimale des mélanges généralement est égale à 8%.

III.3.5 Compactage des mélanges

Les mélanges sont compactés selon le mode statique à simple effet par le biais d'une presse hydraulique : le plateau inférieur de la presse se déplace entraînant l'ensemble – moule + mélange + piston, le plateau supérieur reste fixe. L'opération est conduite jusqu'à l'affichage sur l'écran de lecture de la pression voulue (50KN).

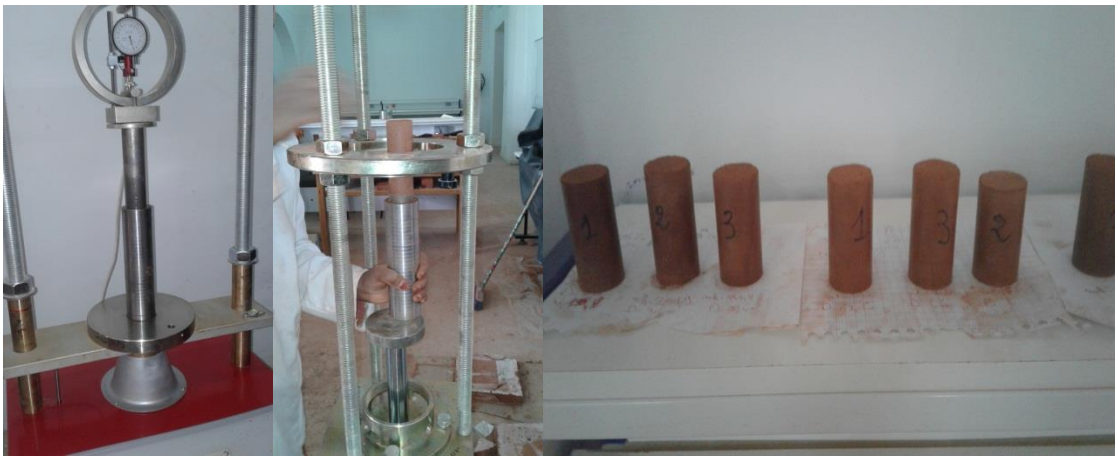


Figure III.5: Photos d'essai de compactage des mélanges.

III.3.5 Essai mécanique :

On s'intéresse dans cette étude à déterminer les caractéristiques mécaniques suivantes : la résistance en compression des mélanges de l'essai de compression simple puis le module tangent ou bien module de Young (E). Pour chaque mélange, trois éprouvettes ont été testés.

III.3.5.1 Essai de compression simple

- ✓ **Résistance à la compression**

Cet essai permet de déterminer la résistance nominale en compression simple des éprouvettes cylindriques de l'élancement 2.

La résistance à la compression est donnée par la formule

$$\mathrm{Rc} = \frac{F}{S}$$

Où :

Rc : Résistance à la compression des blocs en (MPa).

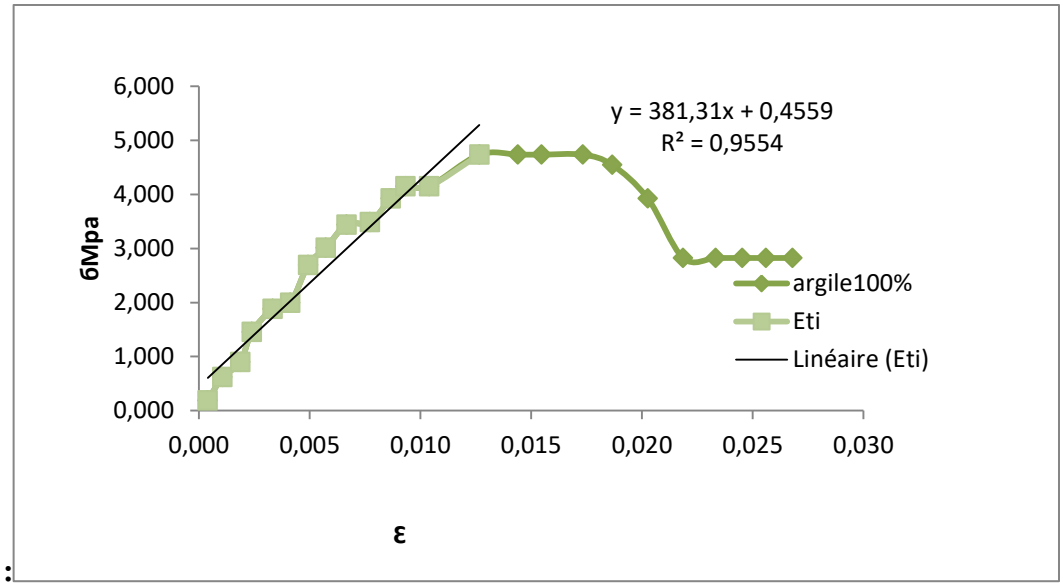
F : Charge maximale supportée par les eux demi-blocs (N).

S : Surface moyenne des faces d'essai en (mm^2)

III.3.5.2 Présentations des résultats :

L'analyse et à l'interprétation des résultats d'un programme expérimental, qui a comme but, l'étude de l'ajout du sable de dune sur la résistance mécanique à savoir la résistance à la compression simple.

Les figures ci-dessous représentés la résistance à la compression de différentes mélanges (le détaille en annexe).



:

Figure. III.6 : La résistance à la compression de l'Argile sans ajout

- **Mélange : argile (85%) + sable (15%)**

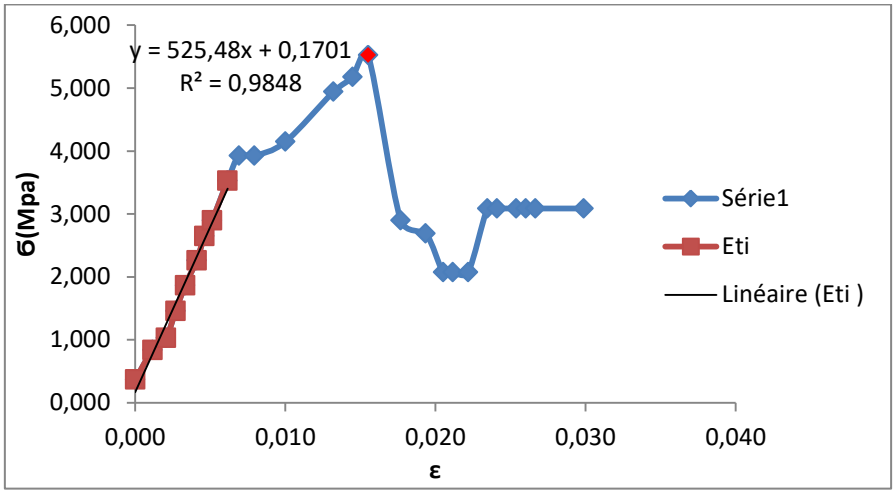


Figure III.7: la courbe de la contrainte –déformation du mélange

- **Mélange : argile (75%) + sable (25%)**

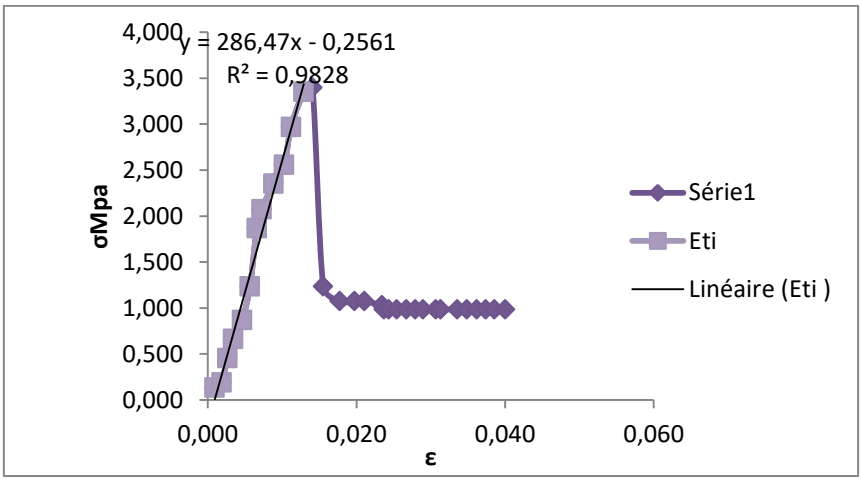


Figure. III.8: La courbe de la contrainte –déformation du mélange

- **Mélange : argile (70%) + sable (30%)**

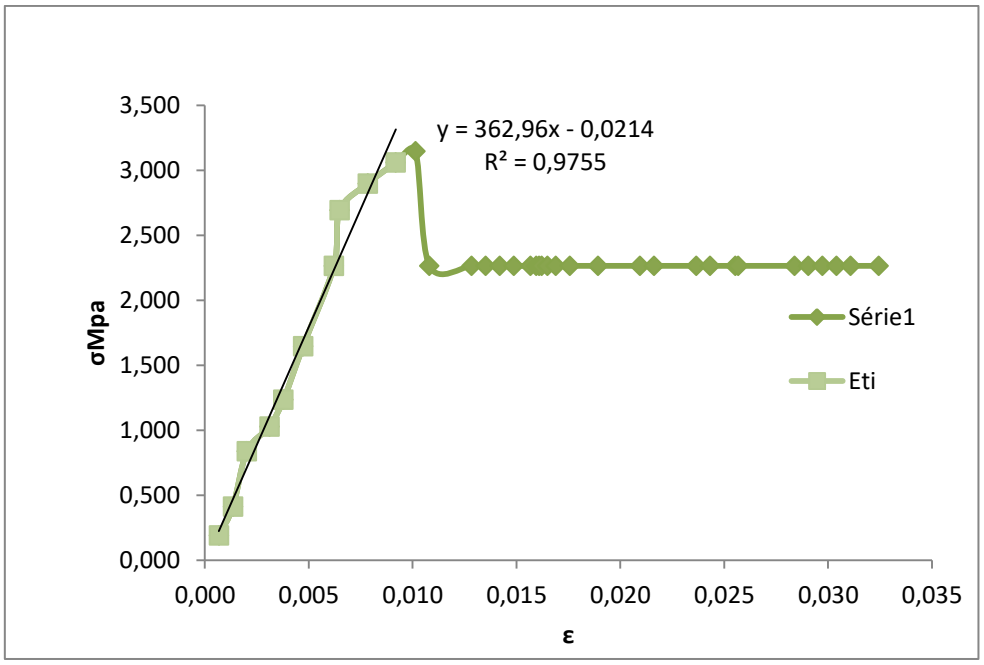


Figure III.9: La courbe de la contrainte –déformation du mélange

- **Mélange : argile (65%) + sable (35%)**

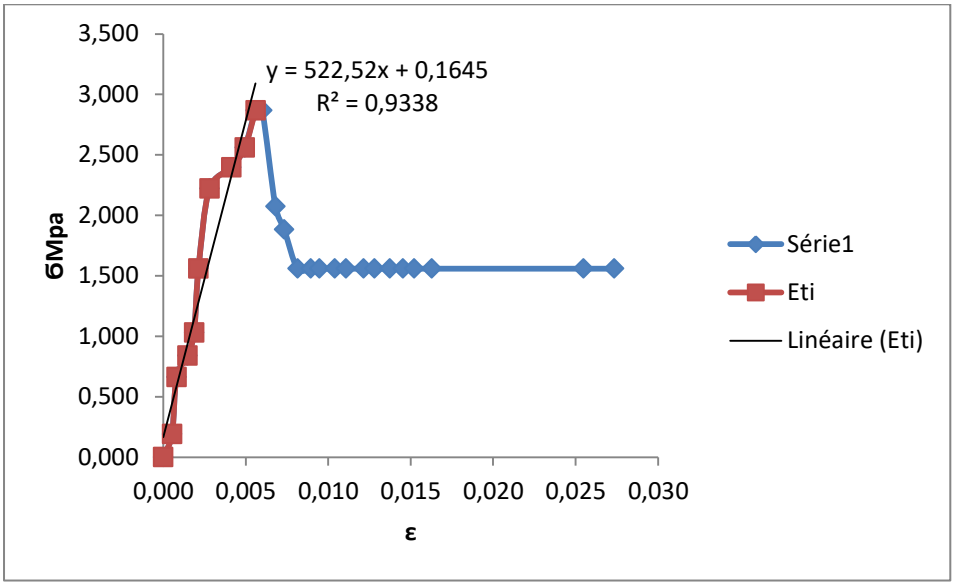


Figure III.10 : La courbe de contrainte –déformation du mélange

- **Mélange : argile (60%) + sable (40%)**

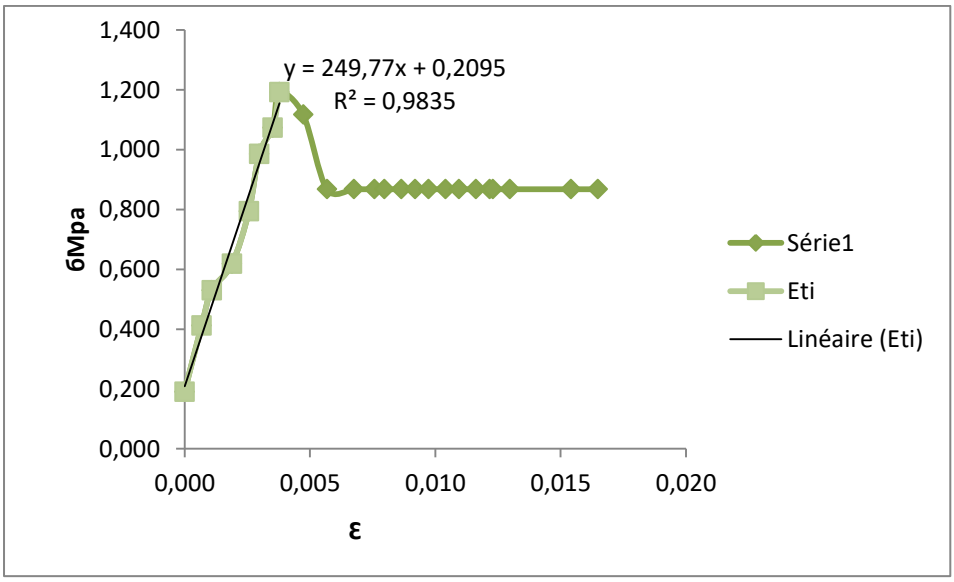


Figure III.11 : La courbe de la contrainte –déformation du mélange

Le tableau ci-après regrouper les valeurs de l'essai de compression obtenues

Tableau III.3: Résultats de Rc, Et et ξ

mélange (%)	Et (Mpa)		Résistance à la compression(Mpa)		Déformation	
Argile 100%			RC max	Moyenne	ξr (%)	Moyenne
	359.19	389.1	4.67	4.6	1.8	1.4
	426.76		4.4		1.1	
	381.31		4.7		1.2	
15%S+85%A	538.86	520.4	5.08	5.4	1.2	1.9
	525.48		5.5		1.5	
	496.75		5.5		2.9	
25%S+75%A	286.47	209.5	3.39	3.2	1.4	2.3
	90.16		3.1		3.5	
	251.95		3.1		2.0	
30%S+70%A	248.52	323.7	3.10	3.1	1.3	1.0
	362.96		3.1		1.0	
	359.51		3.1		0.8	
35%S+65%A	168.96	302.2	2.69	2.7	1.3	1.0
	522.52		2.9		0.5	
	215.23		2.5		1.3	
40%S+60%A	216.96	284.2	1.17	1.2	0.6	0.4
	385.77		1.1		0.3	
	249.77		1.2		0.4	

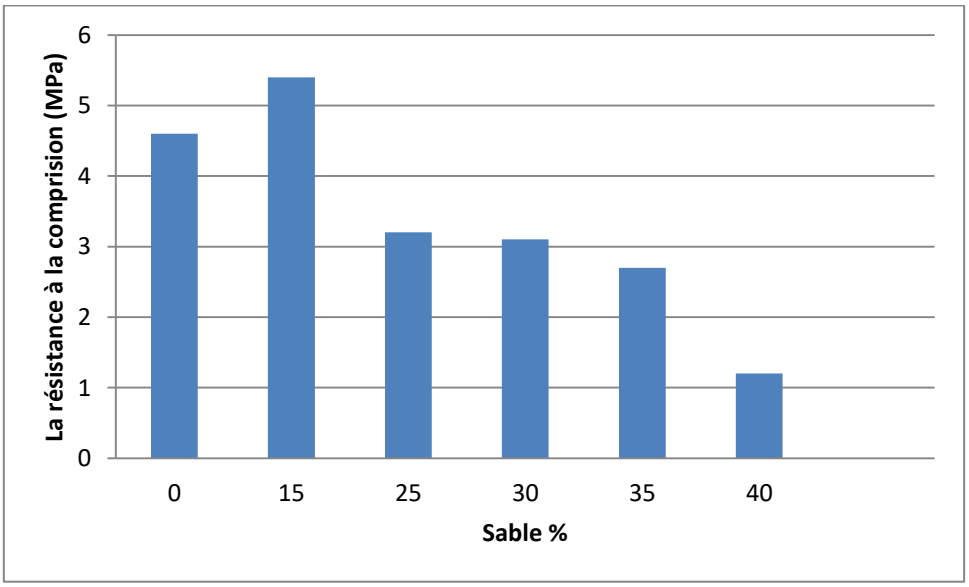


Figure III.12 : Effet de l'ajout du sable sur la résistance à la compression

Commentaire :

D'après les résultats obtenus ci-dessus, nous avons conclus les constations suites :

- La masse volumique est une caractéristique intrinsèque du matériau qui dépend de plusieurs paramètres : la composition, le malaxage et autres. On a observé une augmentation de la masse volumique en fonction de la contrainte de confection (1MPa, 1,5MPa et 2MPa).
- L'ajout de sable de dune est influé sur la masse volumique sèche une fois augmente le pourcentage on a une diminution de la masse volumique.
- La résistance mécanique à la compression simple est diminuée en fonction de l'augmentation du taux du sable de dune.

III.4 CONCLUSION :

Comme conclusion de ce chapitre et a Á travers les résultats obtenus, il est conclu ce qui suit :

- L'ajout de sable est influé négativement sur la masse volumique sèche (diminution).
- On remarque que l'ajout de sable de dune a conduit à une diminution de la résistance à la compression.
- L'ajout de 15% de sable de dune a donné une résistance à la compression maximale du mélange, ainsi que le module de Young (Et).

Par ailleurs pour valider ces résultats, il faut compéter par d'autres essais physiques et chimiques ….etc.

CONCLUSION GENERALE

En général, nous pouvons dire que les résultats de cette étude peuvent faire la lumière sur les aspects de la caractéristique mécanique telle que la résistance à la compression.

Cette étude montre que l'identification des matériaux une étape indispensable. Cela pour classer, déterminer les caractéristiques physique mécanique et chimiques.

Dans notre recherche, nous avons proposé des mélanges de l'argile rouge de la région de Timimoun comme matériau de base et le sable de dune de l'erg occidentale près de la ville de Tinerkouk utilisé comme ajout, les deux gisements à ciel ouvert qui se trouvent en abondance afin d'optimiser le taux de sable ajouter et d'améliorer la résistance à la compression.

Ce travail une initiation de recherche sur l'exploitation des matériaux locaux de la région de Timimoun. Les résultats obtenus après l'expérience que nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- La densité sèche du mélange augmente par l'effet du compactage
- Le compactage statique adapter pour le sol argileux ayant pour déterminer les caractéristiques optimales (densité sèche maximale et teneur en optimale).
- Une variation de la densité sèche en fonction des pourcentages de sable de dune.
- Le mélange 15% sable plus 85% argile a donné la bonne résistance à la compression environ 5,4 MPa et la meilleure valeur de module de Young.

Finalement les résultats obtenus restent préliminaires donc des essais compléments pour enrichir les donnes sur les matériaux locaux de la région de Timimoun.

[2]. GATE. Bloc de terre comprimée. Eléments de base. , Eschborn, Allemagne, 28 p, 1991.

[1]. Traité de construction en terre. 3ème ed. Parenthèse, editor. France: Habitat Ressource; 1989. p. 355.

Gaombalet J. Le gonflement des argiles et ses effets sur les ouvrages douterrains de stockage. Ecole polytechnique; 2004.

Cabane N. SOLS TRAITES A LA CHAUX ET AUX LIANTS HYDRAULIQUES : des éléments perturbateurs de la stabilisation. ENS des mines de Saint-Etienne; 2004.

Caillère S, Hénin S, Rautureau M. Minéralogie des argiles Tome 01. Dunod, editor. Masson; 1982. p. 184.

AFNOR. NF P94-093 Sols: reconnaissance et essais - Détermination des références de compactage d'un matériau - Essai Proctor normal. Essai Proctor modifié.

Jiménez Delgado MC, Guerrero IC. The selection of soils for unstabilised earth building: A normative review. *Construction and Building Materials* [Internet]. 2007 Feb [cited 2013 Mar 11];21(2):237–51. Available from: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061805002497

AFNOR. NF P94-051 Sols: reconnaissance et essais - Détermination des limites d'Atterberg - Limite de liquidité à la coupelle - Limite de plasticité au rouleau.

P'kla A. Caractérisation en compression simple des blocs de terre comprimée (BTC) Application aux maçonneries "BTC-Mortier de terre". INSA de Lyon; 202AD. p. 234.

Pkla A, Mesbah A, Morel VRC. Comparaison de méthodes d 'essais de mesures des caractéristiques mécaniques des mortiers de terre. 2003;36(March):108–17.

Hakimi A, Yamani N, Ouissi H. Rapport: Résultats d ' essais de résistance mécanique sur échantillon de terre comprimde. *Materials and structures*. 1996;29(December):600–8.

Bui QB. Stabilité des structures en pisé: Durabilité, caractéristiques mécaniques. INSA de Lyon; 2008. p. 250.

Bui, Q.B., Maximilien S, Anger R, Liman A. Comportement de murs en pisé soumis à une compression localisée. *31ème rencontre de l'AUGC: De l'expérimentation à la modélisation en Génie Civil*. Cachan; 2013. p. 9.