



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la
recherche scientifique
Université MHAMED BOUGARA BOUMERDES
Faculté des sciences de l'ingénieur



Mémoires fin d'études

En vue de l'obtention de diplôme de MASTER

Département: Génie Des Procédés

Spécialité: Matériaux en Génie Civil

Filière : Génie Civil

Thème

*Elaboration de briques de terre
stabilisées (BTS) par recyclage des
sédiments de barrage*

Réalisé par :

DEKHLI Ilhem

Promotrice :

M^{me} : RABEHI. B

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier le bon Dieu qui ma donné la santé et le courage d'accomplir ce travail.

Je ne peux pas oublier de présenter ma gratitude à mes parents pour leur patience et les efforts inlassables qu'ils ne cessent de déployer pour moi.

*Je tiens à remercier de façon précise ma promotrice **M^{me} RABEHI.B** pour l'intérêt qu'elle à porter à mon travail.*

Je remercie l'ensemble des enseignants et des enseignantes de département de génie des procédés.

*Je tiens à remercier sincèrement **M^r DRISS. M** et Laboratoire national de l'habitat et de construction **L, N, H, C** et les ingénieurs **OMAR** et **RABAH** pour m'avoir acceptés d'effectuer le stage d'initiation au sein de ce laboratoire.*

Je remercie également les membres de jury qui me font honneur en acceptant d'examiner et de juger mon travail.

*Un grand remerciement pour **M^r BOUAMER MUSTAPHA.***

Enfin, que tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail trouvent ici l'expression de mes sincères gratitudees et mes remerciements les plus sincères.



Dédicace

Quoi que de plus que de pouvoir partager les meilleurs moments de sa vie avec les êtres qu'on aime.

Arrivé au terme de mes études, j'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :

A ma chère maman pour ses encouragements, soutiens et ses prières pour que je réussisse dans ma vie.

A mon cher père qui a fait de moi une femme et pour ses encouragements et son soutien.

A ma très chère sœur Nadia, qu'elle nous a laissés un grand vide, que Dieu la garde dans son vaste paradis, elle restera toujours dans nos cœurs.

- *A mes chers frères, Smail et Mahfoud.*
- *A ma sœur Leila et son époux Smail.*
- *A ma sœur Iman et son époux Badreddine.*
- *A mes adorables nièces Maroua, Yousra et Roudayna.*
- *A mes sœurs de cœur : Manel, Mariem, Zakia, Lynda et Meriem.*
- *A mes amis :*
 - *Wided, Halouma, Fadhila, Kahina, Nadia, Fatiha, Sarah, Rayhana.*
 - *A Mustapha qui m'a toujours aidé (un grand merci pour toi).*
 - *Walid, Hocine, Hamza, Amine et Ahmed.*
- *A tous ceux que j'aime et qui m'aime.*

Ilhem



LISTE DES ABRIVIATIONS

BTS : Bloc de terre stabilisé

C_v : Concentration moyenne

CO₂ : Dioxyde de carbone

SiO₂ : Dioxyde de Silicium

Al₂O₃ : Oxyde d'Aluminium (Alumine)

Fe₂O₃ : Oxyde de Fer

CaO : Oxyde de calcium (la chaux vive)

MgO : Oxyde de Magnesium

K₂O : Oxyde de Potassium

DRX : Diagramme de l'analyse minéralogique

VBS : Valeur de bleu de méthylène

W_p : Limite de plasticité

W_l : Limite de liquidité

I_p : Indice de plasticité

CRS : Ciment résistant au sulfate

E : la quantité d'eau nécessaire en ml.

A : la masse de la vase en g.

C : la masse de ciment en g.

Ab : l'absorption de brique (%).

M_h : la masse des briques après immersion dans l'eau (g).

M_s : la masse des briques séchées (g).

P : la porosité de brique (%).

Sommaire

1. Introduction générale.....	2
-------------------------------	---

Chapitre I

I.1.Introduction.....	3
I.2.Les sédiments de barrage.....	3
I.2.1. Définition et origine des sédiments.....	3
I.2.2. Composition structurale des sédiments.....	4
I.2.3.Le processus de transport et sédimentation.....	5
I.3.Problématique de l'envasement des barrages.....	6
I.4.Causes et origine de l'envasement.....	8
I.5.Définition de la vase.....	9
I.5.1. La définition proposée par Migniot.....	9
I.6.Composition des vases.....	10
I.6.1.Structure physico-chimique des vases.....	10
I.6.2. Rhéologie des vases.....	11
I.7.Valorisation des vases.....	12
I.8.Barrage de KOUDIAT ACERDOUNE.....	12
I.9.Conclusion.....	15

Chapitre II

II.1.Introduction.....	17
II.2.Techniques de construction en terre.....	17
II.3. Blocs de terres stabilisées.....	18

II.4. La terre est un matériau de construction.....	19
II.4.1. Définition.....	19
II.4.2 Composition.....	19
II.4.3. Rappel sur les argiles.....	20
II.4.3.1. Définition.....	20
II.4.3.2. Principaux type d'argile.....	21
a. La kaolinite.....	21
b. La montmorillonite.....	22
c. L'illite.....	22
II.5. La stabilisation.....	23
II.5.1. Définition.....	23
II.5.2.Objectif.....	23
II.5.3. Procédés.....	24
II.5.3.1. Stabilisation mécanique.....	24
II.5.3.2. Stabilisation physique.....	24
II.5.3.3. Stabilisation chimique.....	24
II.5.4. Stabilisation au ciment.....	24
II.5.4.1. Généralités.....	24
II.5.4.2. Mécanisme de la stabilisation au ciment.....	25
II.5.5. Stabilisation à la chaux.....	25
II.5.5.1. Généralité.....	26
II.5.5.2. Mécanisme de la stabilisation a la chaux.....	27
a. Modifications de l'état hydrique.....	28
b. Modification des propriétés géotechniques.....	28
c. Modification des propriétés mécaniques.....	29

Chapitre III

III.1. Introduction.....	32
III.2. Identification de la matière première.....	32
III.2.1. La vase de barrage.....	32
III.2.1.1 Composition chimique.....	32
III.2.1.2. Composition minéralogique.....	33
III.2.1.3. Caractéristiques géotechniques de la vase étudiée.....	34
III.2.1.4. Analyse granulométrique et sédimentométrie.....	37
III.2.1.5. Analyse granulométrique par Laser.....	38
III.2.2. Le ciment.....	39
III.2.2.1.. Caractéristiques chimiques du ciment.....	39
III.2.2.2. Caractéristiques minéralogiques.....	39
III.2.2.3. Caractéristiques techniques.....	40
III.2.2.4. Caractéristiques physiques.....	40
III.2.2.5. Analyse granulométrique par laser	40
III.3. Etapes d'élaboration des BTS a base de boue de barrage.....	41
III.3.1. Préparation de la matière première (la vase).....	41
a. Récupération de la vase.....	41
b. Séchage et broyage.....	41
c. Tamisage.....	41
III.3.2. Elaboration des briques.....	42
a. Le moule.....	42
b. Matériaux utilisée.....	42
c. Matériels utilisés.....	43
d. Préparation des mélanges.....	43

e. Pressage.....	44
f. La cure des blocs.....	44

Chapitre IV

IV.1.Introduction.....	47
IV.2.Essai physique.....	47
IV.2.1.L'absorption.....	47
IV.2.2.La porosité.....	49
IV.2.3.Masse volumique.....	52
IV.3.Essai mécanique.....	55
IV.3.1.La résistance a la compression.....	55
IV.4. Essais thermiques.....	57
IV.4.1.Essai de conductivité thermique.....	57
IV.4.2.La chaleur spécifique.....	60
Conclusion et perspective.....	63

Liste des figures

Chapitre I :

Figure I.1 : Processus sédimentaires.....	4
Figure I.2 : Cycle altération –transport – sédimentation.....	5
Figure I.1 : Envasement de barrage.....	6
Figure I.2 : Importance de l'envasement de Barrages Algériens.....	6
Figure I.3 : Dépôt de vase.....	8
Figure I.4: Traversée de la vallée de la Charente par l'autoroute A10.....	9
Figure I.5: Schéma de la composition simplifiée des sédiments portuaires.....	11
Figure I.6: Récipients à base de la vase barrage LAKHEL (BOUIRA).....	12
Figure I.7 : Briques à base de la vase de barrage LAKHEL (BOUIRA).....	12
Figure I.8 : Barrage de KOUDIATE ACERDOUNE.....	13
Figure I.9 : Retenue de barrage.....	13
Figure I.10 : Corps de barrage.....	14

Chapitre II :

Figure II.1 : blocs de terres stabilisées.....	18
Figure II.2 : Schéma de la structure de la kaolinite.....	21
Figure II.3 : Schéma de la structure de la montmorillonite.....	22
Figure II.4 : Schéma de la structure de l'illite.....	23
Figure II.5 : Modification de l'indice de plasticité du sol traité.....	29
Figure II.6 : Influence d'un traitement à la chaux sur l'allure de la courbe Proctor.....	29

Chapitre III :

Figure III.1 : Diagramme de l'analyse minéralogique	33
Figure III.2 : Essai pour déterminer la limite de plasticité et de liquidité.....	35
Figure III.3 : Essai pour déterminer la valeur de bleu de méthylène.....	35
Figure III.4 : Essai pour déterminer la valeur de PH.....	35
Figure III.5 : Classification des sédiments en fonction de VBS.....	36
Figure III.6 : Diagramme de plasticité de Casagrande pour les différents sédiments.....	36
Figure III.7: Courbe d'analyse granulométrique et sédimentométrique.....	37
Figure III.8 : Courbe d'analyse granulométrique par Laser de la vase	38
Figure III.9 : diagramme d'analyse granulométrie Laser du ciment.....	40
Figure III.10 : vase de barrage de Koudiat Accerdoune.....	41
Figure III.11 : Vase séchée.....	41
Figure III.12 : l'appareille de broyage.....	41
Figure III.13 : Le moule cubique utilisé pour la fabrication des briques.....	42
Figure III.14 : ciment CRS. CEM 1/42.5.....	42
Figure III.15 : vase broyée et tamisée au tamis 1mm.....	42
Figure III.16 : Malaxage des constituants et obtention d'une pate homogène.....	43
Figure III.17 : Pressage et obtention des briques.....	44
Figure III.18 : Le schéma du moule utilisé pour la fabrication des BTC.....	44
Figure III.19 : briques protégés avec du plastique pendant 20 jrs.....	45
Figure III.20 : les briques avant les mettre dans l'eau.....	45
Figure III.21 : briques immergés dans l'eau jusqu'au 28 jrs.....	45

Chapitre IV :

Figure III.1 : masse des briques après l'immersion dans l'eau pendant 24h (M_h).....	47
Figure III.2 : masse des briques sèches (M_s).....	48
Figure III.3 : Histogramme représentatif d'absorption en fonction des % de ciment.....	48
Figure III.4 : masse des briques immergées dans l'eau (M_{sat}).....	50
Figure III.5 : Masse des briques obtenues après séchage à l'étuve (M_{sec}).....	50
Figure III.6 : Masse des briques saturés pesés dans l'eau (balance hydrostatique).....	50
Figure III.7 : Histogramme représentatif de porosité en fonction de % de ciment.....	51
Figure III.8 : Histogramme représentatif de M_v en fonction de % de ciment.....	53
Figure III.9 : Essai de compression.....	55
Figure III.10 : Histogramme représentatif de R_c 28 en fonction du dosage en ciment.....	56
Figure IV.11 : Appareil CTMETRE.....	57
Figure IV.12 : Schéma d'essai de conductivité thermique.....	58
Figure IV.13 : Essai de CTMETRE de CNERIB.....	58
Figure IV.14: Histogramme représentatif de conductivité thermique en fonction de % de Ciment.....	59
Figure IV.15 : Histogramme de chaleur spécifique en fonction de % de ciment.....	60

Liste des tableaux

Chapitre I :

Tableau I.1 : Classification granulométrique des sédiments.....	4
Tableau I.2 : Etat d'envasement de quelques barrages d'Algérie. (2004).....	7
Tableau I.3: Les plus simples définitions des facies d'après Allen.....	10
Tableau I.4 : le barrage en chiffre.....	14

Chapitre III :

Tableau II.1 : Composition chimique de la vase.....	32
Tableau II.2 : Caractéristiques géotechniques de la vase.....	34
Tableau II.3 : Résultats d'analyse granulométrique et sédimentométrique.....	37
Tableau II.4 : Caractéristique chimique du ciment.....	39
Tableau II.5 : Composition minéralogique du ciment.....	39
Tableau II.6 : Caractéristiques techniques du ciment.....	40
Tableau II.7 : Caractéristiques physiques de ciment.....	40

Chapitre IV :

Tableau IV.1 : Résultats d'essai d'absorption.....	48
Tableau IV.2 : Résultats d'essai de porosité.....	51
Tableau IV.3 : les masses humides et sèches des briques en gramme.....	52
Tableau IV.4 : les masses volumiques des briques.....	53
Tableau IV.5 : Résultats d'essai de résistance à la compression.....	55
Tableau IV.6 : Résultat de conductivité thermique.....	59
Tableau IV.7 : Résultat de la chaleur spécifique.....	60

Introduction générale

INTRODUCTION

Actuellement, les boues de dragage des retenues de barrage constituent un problème majeur avec l'importance de leur volume. Il est nécessaire de gérer ces déchets car ils constituent d'une part une contrainte pour l'environnement (inondation des berges avec nuisance esthétique où un danger toxique) et d'autre part, un gisement de matières premières où de matériaux à valoriser.

La récupération des matériaux issus des dragages est une voie concrète pour transformer les vases de déchets gênants en matières premières potentielles et aussi pour augmenter la durée de vie de ce barrage.

Les méthodes d'amélioration mécaniques et hydromécaniques des sols sont coûteuses et demandent un savoir faire élevé ce qui n'est pas toujours permis dans les pays en voie de développement comme l'Algérie. De plus, les méthodes d'amélioration thermiques des sols restent elles aussi efficaces mais dont l'emploi reste limité en raison de leurs coûts très élevés.

Par ailleurs, la méthode d'amélioration chimique des sols par addition de la chaux, du ciment où d'autres ajouts cimentaires restent la plus utilisée et la moins onéreuse. Cette technique s'est développée très rapidement à travers le monde et qui est encore menée à connaître une importante croissance.

Les objectifs fixés dans le cadre de ce programme sont :

- Récupération et valorisation de la vase pour la fabrication de briques de terre stabilisée.
- Etude et caractérisation de la vase (sédiment de dragage)
- Etude des propriétés mécaniques physiques et thermiques des briques élaborées.

Le mémoire est structuré en 4 chapitres :

- Après une introduction générale exposant la problématique et définissant les objectifs et le plan de travail, le premier chapitre présente une généralité sur les sédiments de barrages et le problème d'envasement.
- Le deuxième chapitre présente une des techniques de construction en terre qui est les briques de terre stabilisées ainsi une définition de la stabilisation et ses procédés.
- Le troisième chapitre présente l'étude des caractéristiques de la vase et la méthodologie d'élaboration des briques a base de la vase.
- Le quatrième chapitre consiste en la présentation des résultats et les interprétations.

Ce travail est clôturé par une conclusion générale et recommandation.

Chapitre I : Les sédiments de barrage et le problème d'envasement

I.1.Introduction

Actuellement, les boues de dragage des retenues de barrage constituent un problème majeur avec l'importance de leur volume (l'envasement). Il est nécessaire de gérer ces déchets car ils constituent d'une part une contrainte pour l'environnement et d'autre part, un gisement de matières premières où de matériaux à valoriser.

I.2.Les sédiments de barrage

I.2.1. Définition et origine des sédiments

Les sédiments sont définis comme "un ensemble constitué par la réunion de particules plus ou moins grosses ou de matières précipitées ayant, séparément, subi un certain transport" appelés communément vases.

Les sédiments sont des matériaux solides particuliers qui véhiculent par l'eau, Finissent par décanter sur le fond. Ils proviennent de l'érosion du bassin versant, des Berges, du ruissellement sur les surfaces imperméabilisées et des rejets de toute nature.

Ils sont constitués de particules de différentes tailles selon s'il s'agit de limons, de sables, de graviers, ou de galets. Ces éléments solides se déplacent soit en suspension dans l'eau soit par charriage sur le fond de la rivière. Quand le courant d'eau ralentit suite a un élargissement du cours d'eau ou quand la charge solide excède occasionnellement ce que la capacité de transport permet d'évacuer, les éléments décanter et sédimentent, provoquant l'envasement du cours d'eau. Les sédiments peuvent être d'origines naturelles ou anthropiques.

- Les particules d'origines naturelles peuvent être endogènes (Constituées principalement de matière organique provenant des organismes aquatiques : plantes aquatiques, cadavres de micropyles et d'animaux) ou exogène (particules minérales provenant de l'érosion du bassin versant ou de l'érosion éolienne des sols, ces particules exogènes peuvent être minérales ou Organiques). Celles ci sont issues du ruissellement des fleuves, des effluents ou de l'atmosphère.
- Les particules d'origines anthropiques peuvent être minérales ou organiques (apports de matière en suspension, de matières organiques, de nutriments ou de micropolluants en raison des rejets agricoles, industriels et Domestiques). Le lieu ou se Déposent les particules et leur taille dépendent principalement de la force du Courant et de l'environnement géologique. [1]

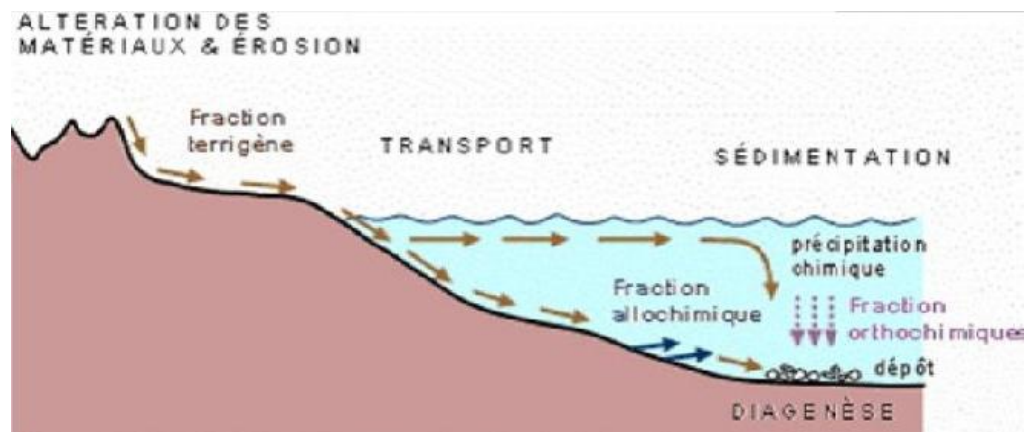


Figure I.1 : Processus sédimentaires (P. Deslauriers et J. Couveignes 2001)

I.2.2. Composition structurale des sédiments

La composition des sédiments est variée. Elle dépend de la constitution des éléments de nature minérale, de l'eau et des matières organiques ainsi que leurs influences sur les propriétés géotechniques du sédiment.

La composition minérale des sédiments diffère selon leur provenance. Les blocs, les cailloux, les graviers et les sables sont des sédiments terrigènes c'est-à-dire, issus de l'érosion des sols, leur nature chimique dépend principalement des terrains érodés. Ils sont classés en fonction de leurs tailles, on distingue ainsi : les argiles et les limons.

Tableau I.1 : Classification granulométrique [Costet et Sanglera, 1981]

Dénomination	Diamètre (mm)
Argile	$d < 0,002$
Limon	$0,002 < d < 0,063$
Sable	$0,063 < d < 2$
Gravier	$2 < d < 20$
Cailloux	$20 < d$

La fraction fine, relative aux particules inférieures à $80 \mu\text{m}$ est la fraction Caractéristique de toute vase. Cette fraction engendre généralement des comportements complexes provoques

par les interactions entre les particules minérales, les interactions de ces particules avec l'eau contenue dans le milieu, les ions présents dans le milieu, et aussi les éléments organiques.

La taille des cations va aussi jouer son rôle, car plus ils seront de grosse taille, plus ils auront de difficultés à s'insérer entre les feuillets, et donc à jouer un rôle dans le comportement des matériaux fins. [1]

I.2.3. Le processus de transport et sédimentation

La désagrégation et l'altération des matériaux rocheux fournissent une matière meuble organisée et peu résistante, qui peut être entraînée par la gravité et les agents d'érosion. Les principaux agents d'érosion sont : l'eau, la glace et le vent. En particulier, les eaux courantes vont transporter la matière meuble jusqu'à une nouvelle situation d'équilibre où une sédimentation va s'effectuer.

Les sédiments ainsi formés seront d'abord des alluvions, c'est-à-dire le dépôt est parfois situé très loin de la partie d'origine de ses éléments. Les alluvions sont susceptibles de se transformer ensuite, par cimentation naturelle, en roches sédimentaires détritiques indurées. L'histoire de la terre étant longue et complexe, ce processus de cycle (altération-transport-sédimentation) peut se reproduire plusieurs fois au cours des temps géologiques.

Le faciès des sédiments sera lié à ses conditions de dépôt, en milieu marin, en milieu lagunaire, en milieu lacustre. Les principaux processus de formation et d'évolution des matériaux sédimentaires.

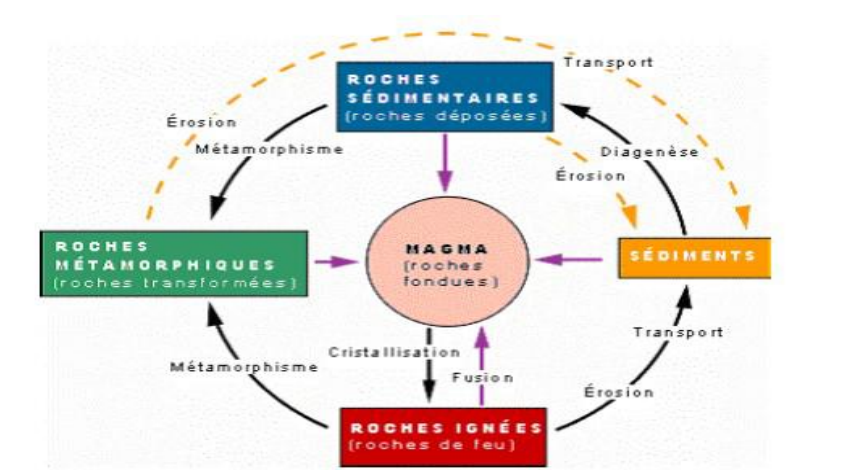


Figure I.2 : Cycle altération – transport – sédimentation (Philippe Joey 2005)

I.3.Problématique de l'envasement des barrages

Le problème d'envasement cause essentiellement aux forts taux d'érosion des bassins versants dont les particules solides sont drainées directement par des cours d'eaux, elles se déposent au fond de la retenue. Les conséquences de cette forte sédimentation sont extrêmement gênantes.

En Algérie, le taux d'érosion spécifique atteint les valeurs les plus élevées d'Afrique du Nord. Les éléments de quantification concernant les taux et les concentrations d'érosion spécifique, issus des travaux de Demmak , Heusch (1982) donnent des chiffres allant de 20 a 500 tonnes/km²/an avec une turbidité comprise entre 16 et 28 g/l.

Ce phénomène entraine l'envasement rapide de nombreuses retenues d'eau. Les barrages réservoirs s'ensavent et perdent de la capacité utile et le rejet de la vase dans les cours d'eau pose d'énormes problèmes écologiques et environnementales.



Figure I.1 : Envasement de barrage



Figure I.2 : Importance de l'envasement des Barrages Algériens (de Mardja Sidi Abed Ghilizane ANB, 2001)

A cet effet l'envasement pose d'énormes problèmes à savoir :

- ✓ **La réduction de la capacité:** chaque année le fond vaseux évolue et se consolide avec occupation d'un volume considérable de la retenue.
- ✓ **La sécurité de l'ouvrage:** l'indépendamment du problème de la diminution de la capacité du réservoir. L'envasement pose un problème sur la stabilité de l'ouvrage, on sait que pour une variation linéaire de la hauteur de la vase, la poussée progresse à la carré de la hauteur. [OUMRANI.N 2009]
- ✓ **Obturation des organes de vidange:** un autre danger présent par L'envasement est celui du non fonctionnement des organes de vidange de fond.

- ✓ **Envasement des canaux d'irrigation:** l'irrigation se fait généralement par de l'eau chargée en sédiments, c'est ainsi que ces particules fines vont se déposer dans les canaux réduisant leurs sections mouillées ceci pose le problème de comblement du réseau des canaux d'irrigation se trouvant à l'aval du barrage.
- ✓ **Dégradation de la qualité de l'eau:** les sédiments véhiculent des Produits chimiques (nitrates, sulfates) provenant en particulier des apports en éléments fertilisants pour les cultures, et se déposant dans les réservoirs entraînant ainsi une dégradation de la qualité de l'eau. [2]

Le tableau suivant résume l'état d'envasement de quelques barrages Algériens d'après plusieurs auteurs ainsi que les données de l'ANBT pour les six barrages du bassin des Côtiers Algérois.

Tableau I.2 : Etat d'envasement de quelques barrages d'Algérie. (2004).

Barrage	Année de mise en service	Volume initial Hm ³	Envasement moyen annuel Hm ³	Perte de volume %
Oued El Fodda	1932	228	2,31	71
Ghrib	1939	280	3,2	72
Ighil Emda	1953	155	1,33	42
Boughezoul	1934	55	0,66	81
Derdeur	1984	110	1,05	25
Taksebt	2001	175	0,27	--
Keddara	1986	145,6	0,05	2,2
El Hamiz	1879	21	0,35	26
Bouroumi	1985	188	0,8	3,4
Meurad	1861	1,2	0,005	83,3
Boukerdane	1992	97	0,21	--

I.4.Causes et origine de l'envasement

L'envasement est un phénomène dont la dynamique est régulière et homogène. Les dépôts s'effectuent de façon linéaire le plus souvent homogène sur le fond des retenues. Cet envasement des retenues et des estuaires est lié directement aux phénomènes de l'érosion ou les processus de ce phénomène ont des définitions diverses, suivant les auteurs. Nous avons retenu la définition qui combine l'arrachement (creusement de la surface du sol, dégradation et altération des roches), le transport et le dépôt de matériaux.

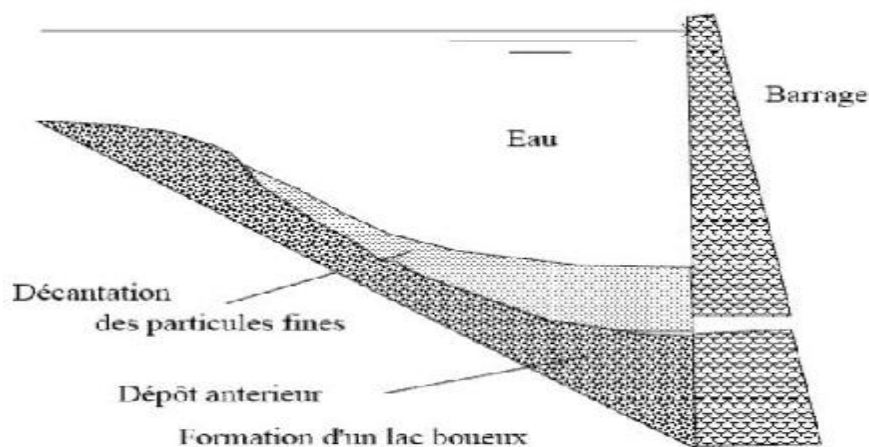


Figure I.3 : Dépôt de vase [2]

L'origine de l'envasement se trouve dans le dépôt de particules solides, minérales et organiques sur le lit du cours d'eau. Elles sont transportées, par charriage, en Suspension ou par ruissellement, pour se déposer dès que le débit du cours d'eau faible. L'érosion, le transport de matériaux et la sédimentation constituent les trois termes de l'évolution géodynamique de la croûte terrestre conduisant à une pénéplanisation des reliefs montagneux sur l'ensemble du globe. Les agents de l'érosion qui sont principalement la pluie, le ruissellement et le vent, ainsi que des facteurs qui vont conditionner les quantités de particules arrachées: caractéristiques des pluies, des sols, de la végétation, de la topographie et enfin les activités humaines.

La définition de l'érosion suivant la trilogie « creusement, transport et accumulation des matériaux » conduit à imaginer un système fluvial idéal comprenant 3 zones:

1. La zone 1 : correspond à la zone de production des matériaux (amont).
2. La zone 2:est celle des transferts des matériaux arrachés en zone 1 (cours d'eau).
3. La zone 3 : couvre les sites des dépôts de ces matériaux (retenues et estuaires).

Il ressort dans les processus de l'érosion que l'eau en est le principal agent moteur. Elle est la cause première de l'altération des roches qui donnent des particules, du détachement et de l'arrachement des agrégats. L'énergie cinétique développée par le ruissellement permet l'enlèvement des agrégats détachés, le creusement du sol et le transport des matériaux qui sont déposés ou accumulés progressivement avec la dissipation de cette énergie. [3]

I.5. Définition de la vase

Le nom de vase (mot emprunté au Néerlandais) est la désignation d'une large famille de sédiments fins, argileux, plus ou moins organiques, pouvant atteindre des teneurs en eau importantes. Elles contiennent une phase minérale dont la granulométrie s'étend des sables, aux argiles et aux colloïdes, une phase organique et une phase liquide. La vase peut se présenter aussi bien à l'état de suspension (crème de vase) que de sol cohérent (sédiment cohésif) présentant alors un caractère plastique, compressible et thixotropique. Elle contient souvent l'habitat d'une faune riche et diversifiée (vers, mollusques, bactéries).

Les vases sont des sols contenant plus de 90% de particules inférieures à 0,2mm, dont la matière organique M.O est comprise entre 2 et 10%. Elles sont composées de sable, limon, argile et de colloïdes organiques. Elles sont en particulier très abondantes dans les estuaires.

Elles sont fréquemment thixotropes.

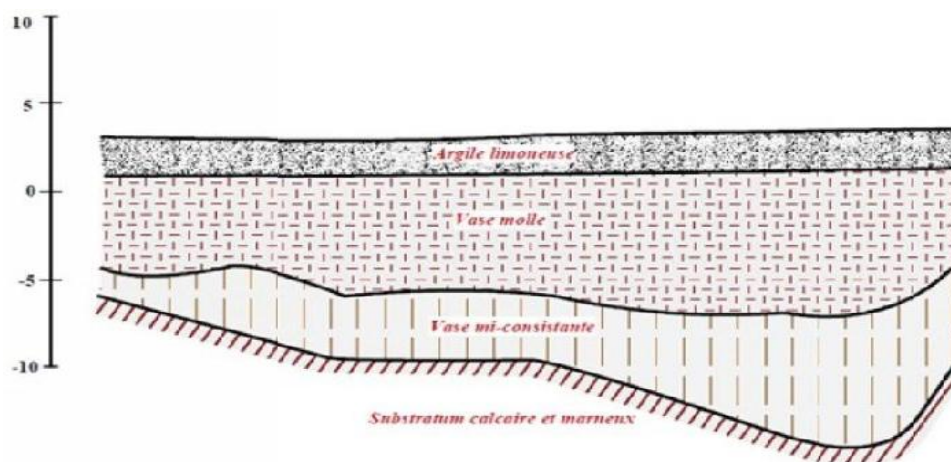


Figure I.4: Traversée de la vallée de la Charente par l'autoroute A10 (Scetauroute, 1986) citée par Cours Cnam Géotechnique GGC 112 C

I.5.1. La définition proposée par Migniot

«Les vases sont des sédiments complexes qui couvrent une gamme étendue de particules inférieures à 40 microns mais peuvent contenir une quantité notable d'éléments sableux» [2]

Voir tableau (3). Les différentes classes de sédiments interviennent rarement seules.

On définit alors différents faciès lithologiques qui varient encore avec les auteurs et les pays.

Tableau I.3: Les plus simples définitions des faciès d'après Allen .

Dénomination	Caractéristique
Sable	Plus de 80 % d'éléments supérieurs à 50 μm
Sable vaseux	De 20 à 80 % d'éléments supérieurs à 50 μm
Vase	Plus de 80 % d'éléments inférieurs à 50 μm

I.6. Composition des vases

I.6.1. Structure physico-chimique des vases

Les sédiments se composent d'une fraction solide et d'une fraction liquide (eau) qui est intimement liées les unes aux autres. Les proportions respectives de chacune de ces fractions sont variables d'un milieu à un autre mais demeurent dans une fourchette, qui par expérience, peut être estimée si l'on considère des matériaux de type vases.

Il y a quatre éléments principaux constitues Les vases :

1. La matrice minérale (quartz, feldspaths ou carbonates).
2. La fraction argileuse (kaolinite, illite ou smectite).
3. la fraction organique (débris végétaux, micro-organismes, acide fulvique et humiques).
4. Une certaine quantité d'eau, présente sous différentes formes.

La distribution granulométrique d'un sédiment constitue son empreinte physique, elle caractérise la taille des particules, constituant la phase solide du matériau. Pour l'obtenir, il est procédé à un tamisage mécanique. En dessous d'une taille de 20 μm , il est nécessaire de recourir à des mesures au laser, qui utilisent le principe de la diffraction de la lumière cohérente sur un écoulement d'une suspension très diluée de fines. Il est communément considéré que les «Vases» correspondent à la fraction inférieure à 63 μm . [4]

Le schéma ci-dessous retrace les grands ensembles de la composition des sédiments portuaires vis-à-vis notamment de leur siccité ou de leur granulométrie. [5]

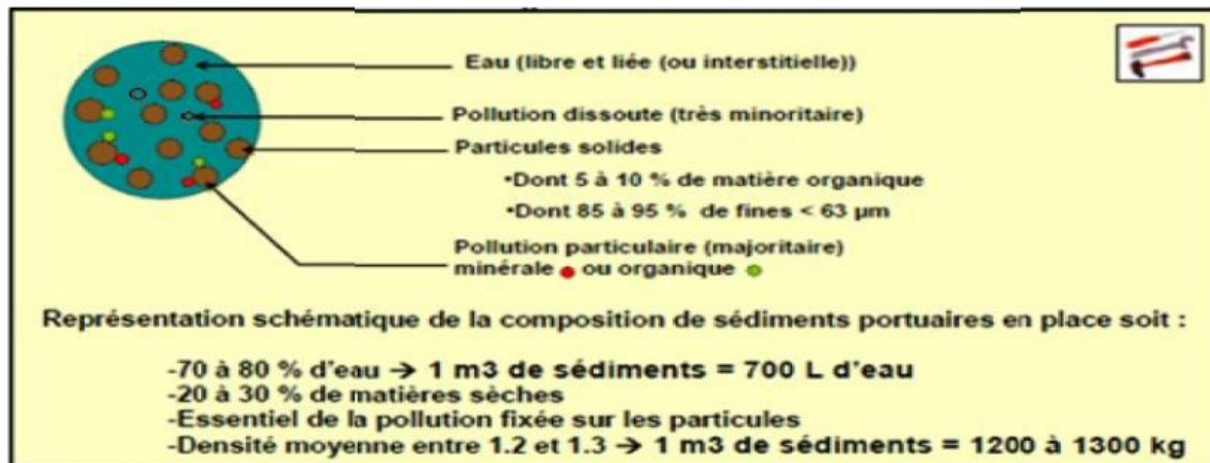


Figure I.5: Schéma de la composition simplifiée des sédiments portuaires

I.6.2. Rhéologie des vases

L'étude rhéologique des vases permet de déterminer des paramètres importants pour préciser leur comportement sédimentaire sous une action hydrodynamique. L'un des paramètres définissant le mieux de caractère liquide, plastique ou solide, d'une vase, est la rigidité initiale. Les vases à l'état liquide se comportent en écoulement laminaire comme des fluides dont les paramètres sont indépendants du temps de cisaillement. On peut utiliser les modèles rhéologiques à un, à deux ou à trois paramètres.

La loi d'écoulement s'écrit $\tau = F(G)$

τ : est la contrainte de cisaillement

G: la vitesse de déformation.

Les vases et d'autres mixtures homogènes sol/eau (argile-eau, silts-eau) sont des composés d'eau et de grains de sol dont les dimensions moyennes sont comprises entre 1 et 80 μm . Elles se comportent comme un ensemble si la concentration est élevée, et ayant dans ce cas des propriétés des corps viscoplastiques. Elles peuvent être transportées en régime laminaire, transitoire et turbulent. Par contre les mixtures hétérogènes contenant des particules grosses dont les dimensions moyennes sont supérieures à environ 80 μm . sable/eau, galet/eau, se comportent comme des systèmes biphasiques et ne peuvent en général être transportées qu'en régime turbulent. Le cisaillement rhéologique ne dépend pas du temps, leur comportement est influencé surtout par la concentration moyenne (C_v). C_v : la concentration moyenne [6]

I.7. Valorisation des vases

En Algérie, l'exploitation de la vase pour la fabrication des matériaux de construction peut s'avérer utile vu le déficit en matériaux de construction que connaît le pays.

Une étude orientée vers l'utilisation de la vase pour la fabrication de la brique a été réalisée sur la vase de onze barrages algériens les plus envasés et a donné des résultats satisfaisants.

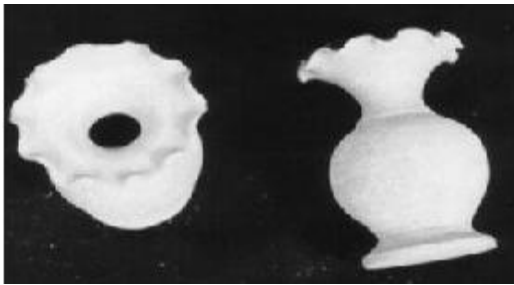


Figure I.6: Récipients à base de la vase du barrage LAKHEL (BOUIRA)

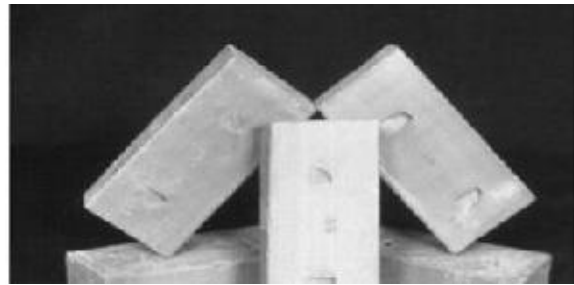


Figure I.7 : Briques à base de la vase du barrage LAKHEL (BOUIRA)

La vase doit être considérée comme un produit bénéfique et non un simple rejet dont les difficultés de stockage posent un problème d'environnement. Valorisée, elle peut être une alternative aux coûts des opérations de dragage.

I.8. Barrage de KOUDIAT ACERDOUNE

Le barrage de KOUDIAT ACERDOUNE sur l'OUED ISSER est situé à une douzaine de km au sud de LAKHDARIA, Wilaya de BOUIRA, à peu près à 60 km à l'Est d'Alger.

Le bassin versant amont s'étendant sur 2790 km² est suffisant pour alimenter un réservoir de large capacité, de plus 400 millions de mètres cubes. Ce volume peut être transféré gravitairement vers LEKHDARIA et la retenue de KEDDARA pour l'irrigation de la plaine de la MITIDJA et des périmètres agricoles du bas ISSER, mais aussi pour approvisionner en eau potable les populations d'Algérois.



Figure I.8 : Barrage de KOUDIATE ACERDOUNE

Les caractéristiques principales des ouvrages de l'aménagement sont résumées ci-dessous pour le projet de TRACTEBEL : elles ne correspondent pas à celles réalisées : elles sont cependant décrites pour que le lecteur ait une version globale des changements qui on du être apportés au cours de la construction.

○ **Retenue :**

Niveau Normal (RN)	311m
Niveau des plus hautes eaux (NHE).....	319.64m
Niveau minimum d'exploitation	260-247m
Volume de la tranche morte.....	120hm ³
(Après 30 ans d'exploitation)	
Volume utile	520hm ³
Volume total.....	640hm ³



Figure I.9 : Retenue de barrage

○ **Barrage :**

Type: barrage poids en béton compacté au rouleau (BCR)

Hauteur maximale :

- Au-dessus du terrain naturel : 101m
- Au-dessus de la fondation : 121m

Longueur en crête 425m

Largeur maximale au niveau :

- De terrain naturel : 102m
- Fruit du parement amont 0.4h/1v
- Fruit du parement aval 0.5h/1v
- Cote de la crête 321m



Figure I.10 : Corps de barrage

Tableau I.4 : le barrage en chiffre

Année de construction	2002
Année de Mise en eau	2008
Capacité	640 hm ³
Capacité dernier levé (2004)	640 hm ³
Apport moyen interannuel	220hm ³ /an
Evaporation annuelle	1260 mm/an
Surface du bassin versant	2790 km ²
Hauteur	121m
Longueur	425 m
Côte retenue Normale (R.N)	311m
Côte Plus Hautes Eaux (P.H.E)	319,64 m
Déversoir à SEUIL LIBRE	7000m ³ /sec
Vidange de Fond	470m ³ /s
Volume de Terrassement	4,817hm ³
Volume de béton	1,900hm ³
Injection	126000ml

I.9.Conclusion

On peut conclure, que le fond des barrages est constitués de plusieurs éléments précipité qui sont générés par des facteurs internes et externes, dont elle peut être influencés négativement le barrage et l'eau qui contient. Mais ces précipités « la vase » peuvent être exploités dans plusieurs domaines et plus particulièrement dans les matériaux de construction (brique, tuille...etc).

Chapitre II :

Les blocs de terre stabilisées ou comprimées

II.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

II.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. [9]

Parmi celle-ci huit sont d'un usage courant et constituent les techniques principales:

- **Adobe** : la terre a l'état de pâte plastique souvent amendée de paille ou autres 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 amendée 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 extrudée 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.

II.3. Blocs de terres stabilisés



Figure II.1 : blocs de terres stabilisés

Par rapport à l'histoire de la construction en terre, la technique du bloc de terre stabilisé (BTS) 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 BTS est très régulier en formes et en dimensions, plus dense et présente une meilleure résistance à la compression et à l'eau. [10]

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 stabilisés. Ce procédé est encore utilisé de par le monde. Les premières machines à comprimer la terre auraient été imaginées au XVIII^e 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. [11]

II.4. La terre est un matériau de construction

II.4.1. Définition

Le sol est la fraction solide de la sphère terrestre. A la surface du sol, la terre est un matériau meuble, d'épaisseur variable, qui supporte les êtres vivants et leurs ouvrages et où poussent les végétaux. La terre est formée à partir d'une roche mère par des processus très lents de dégradation et par des mécanismes très complexes de migration de particules. Il en résulte une infinité de sortes de terres avec une variation illimitée de leurs caractéristiques. La terre végétale ou sol des agronomes, riche en matière organique, surmonte la roche mère, plus ou moins altérée. Lorsqu'ils sont meubles et contiennent peu de matière organique, les niveaux superficiels des sols sont utilisables pour la construction en terre. [9]

II.4.2 Composition

La terre est constituée d'un mélange en proportions variables de quatre sortes d'éléments : les graviers (5-20 mm), les sables (0.08-5 mm), les limons (2 μm -0.08 mm), et les argiles (< 2 μm). Comme nous l'avons constaté, la terre est composée de matériaux inertes (graviers, sables) et de matériaux actifs (silts, argiles). Les premiers jouent un rôle de squelette et les seconds celui de liant, tel un ciment. La terre a donc une structure comparable à celle du béton avec un liant différent. [9]

Les proportions des éléments constituant les terres vont déterminer leurs comportements et leurs propriétés, par exemple, lorsqu'ils sont soumis à des variations d'humidité certains changent de volume, d'autres non.

Les premiers sont instables et les autres stables. Cette notion de stabilité, c'est-à-dire d'aptitude à supporter les alternances d'humidité et de sécheresse sans variations des propriétés, est fondamentale pour un matériau de construction. [12]

Vu l'importance des argiles comme liant dans la fabrication des BTC, et pour pouvoir analyser les mécanismes responsables des modifications qui apparaissent dans le sol traité, il est utile de rappeler certaines propriétés physico-chimiques des argiles.

II.4.3. Rappel sur les argiles

Les argiles sont des minéraux issus de la décomposition de roches. Il s'agit de matériaux hétérogènes à différentes échelles. A l'échelle macroscopique, elles sont souvent associées à d'autres minéraux (quartz, feldspath...). A l'échelle microscopique, elles présentent une structure en feuillet. Il est important de prendre en compte la nature physicochimique des argiles, du fait que leur comportement rhéologique est gouverné par les interactions entre les feuillets argileux. Dans cette partie, et pour définir cette nature physicochimique, on présente la caractérisation minéralogique des différents niveaux d'organisation qui constituent les argiles

II.4.3.1. Définition

Il n'y a pas de définition universelle du terme « argile ». En effet, il en existe autant que de disciplines. Elles se fondent sur les propriétés physiques étudiées, comme par exemple la plasticité, sur l'emploi qui en est fait ou encore sur la structure cristallographique.

L'argile à l'état naturel est rarement composée d'un seul minéral. Ainsi, elle correspond souvent à un mélange de phyllosilicates ; le minéral majoritaire lui donne alors son nom.

Il y a, de plus, de nombreux minéraux associés comme les carbonates (dolomite, diobertite, calcite, aragonite...), la silice (quartz, cristobalite, tridymite), des oxydes et hydroxydes d'aluminium (corindon, gibbsite, diaspre,...) ou encore des minéraux ferrières (lepidocrocite, maghemite...).

Le terme argile désigne donc un mélange de minéraux argileux associé à d'autres minéraux (feldspaths, quartz etc.) ainsi que des impuretés (oxyde de fer, etc.). Par ailleurs, ce mélange est caractérisé par une certaine plasticité et des grains ayant une taille inférieure à 2 μm .

II.4.3.2. Principaux type d'argile

Il existe plusieurs familles d'argiles qui rassemblent des dizaines d'espèces. Mais ceux sont trois grands types d'argiles dont la présence dans le sol est la plus fréquente : la kaolinite, l'illite et la montmorillonite.

a. La kaolinite

Les kaolinites sont des argiles dioctaédriques de type 1:1 (ou T-O) avec une épaisseur du feuillet de l'ordre de 7,2 Å. Quand deux feuillets de kaolinite sont superposés, les O^- présents sur la surface supérieure et les H^+ de la surface inférieure développent entre eux une liaison hydrogène O-H forte, assurant avec les liaisons de Van der Waals une grande stabilité à un empilement de feuillets vis-à-vis des actions de l'eau. Par conséquent, les particules sont stables et leur structure élémentaire n'est pas affectée par l'eau.

Les cristallites (association de plusieurs feuillets), qui résultent de cet empilement, sont des plaquettes rigides dont l'extension latérale est de quelques centaines de nm et qui ne permettent pas la pénétration de l'eau au sein de l'espace inter foliaire et la substitution entre les feuillets. La liaison hydrogène forte entre les feuillets explique l'importance du nombre de feuillets par particule de kaolinite (de quelques dizaines à quelques centaines de feuillets solidement liés l'un à l'autre) et la faible valeur de la surface spécifique qui ne dépasse pas généralement 45 m²/g. [11]

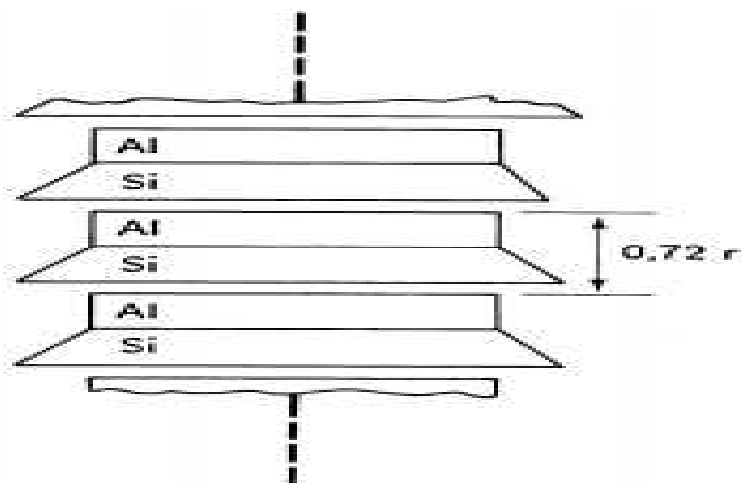


Figure II.2 : Schéma de la structure de la kaolinite, (d'après Lambe, 1953)

b. La montmorillonite

Le feuillet élémentaire (type 2:1 ou T-O-T) est constitué de deux couches tétraédriques de silice encadrant une couche octaédrique d'alumine. L'empilement des feuillets est désordonné chaque feuillet est tourné dans son plan par rapport au précédent et a une extension latérale extrêmement importante par rapport à son épaisseur qui est d'environ 9,6 Å. Ce désordre de feuillets et la constitution des faces inférieures/supérieures de ces argiles ne permettent pas le développement d'une liaison hydrogène entre les feuillets, ce qui facilite leur écartement et l'adsorption des molécules variées (cations, eau, molécules organiques) au niveau de l'espace inter foliaire qui s'écarte.

Par conséquent, la montmorillonite est très sensible à l'eau et un important gonflement de la particule peut se produire par adsorption de molécules d'eau entre les feuillets. L'épaisseur du feuillet peut alors varier de 9,6 Å à 15 Å, voire plus selon la nature du cation compensateur et l'hydratation de l'espace inter foliaire. Les montmorillonites sont généralement calciques, plus rarement sodiques suivant la nature du cation prédominant (calcium, sodium). Il est connu que le sodium confère des propriétés de gonflement supérieures à celles permises par la présence de calcium comme cation échangeable dans une argile. [15]

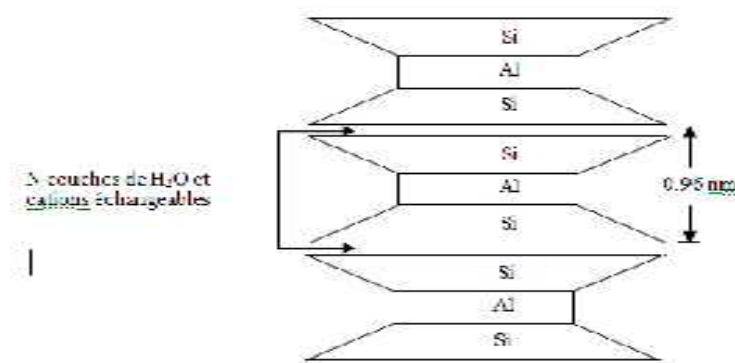


Figure II.3 : Schéma de la structure de la montmorillonite, (d'après Lambe, 1953)

c. L'illite

Sa structure (type 2:1) est proche de celle de la montmorillonite mais elle possède un déficit de charge plus élevée dû aux substitutions ioniques par des cations inter foliaires de potassium K⁺. Les cations K⁺ ont la particularité de posséder exactement la même dimension que les cavités de surface où ils sont piégés. Cette liaison des feuillets par les ions potassium anhydre est très forte et empêche que les molécules d'eau ne parviennent à entrer entre les feuillets, rendant ces ions non échangeables et hydratables. Les illites ont des feuillets d'équidistance fixe à 9,6 Å. Ce caractère leur confère un plus faible potentiel de gonflement que celui des montmorillonites et la constitution de particules de grandes tailles. [11]

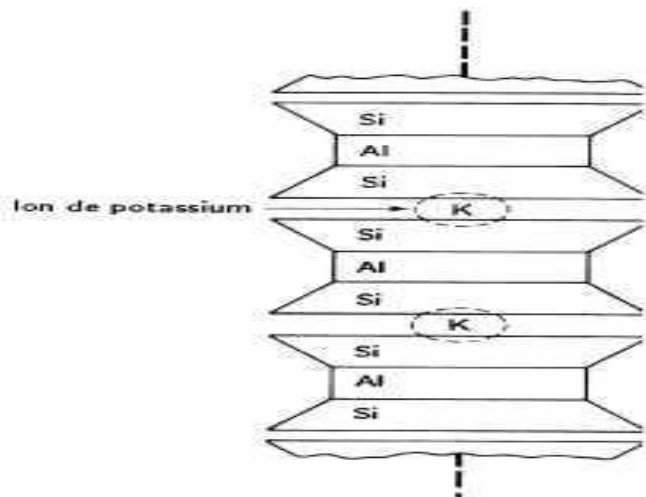


Figure II.4 : Schéma de la structure de l'illite. D'après Lambe, 1953.

II.5. La stabilisation

II.5.1. Définition

Le Centre des Nations Unies pour les établissements humains a défini la stabilisation d'un sol comme étant, la modification des propriétés d'un système terre-eau-air pour obtenir des propriétés permanentes compatibles 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. [9]

II.5.2. Objectif

Les principaux objectifs de stabilisation des sols sont [11] :

- 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)

II.5.3. Procédés

On dénombre trois procédés de stabilisation [11] :

II.5.3.1. Stabilisation mécanique

La stabilisation mécanique est le terme général utilisé pour la stabilisation du sol par compactage. Ce procédé modifie les propriétés de la terre (la densité, la compressibilité, la perméabilité et la porosité), en intervenant sur la structure.

II.5.3.2. Stabilisation physique

Les propriétés d'une terre peuvent être modifiées en intervenant sur la texture : mélange contrôlé de fractions de grains différentes (argile et sable).

II.5.3.3. Stabilisation chimique

La stabilisation de la terre est assurée par l'ajout d'autres matériaux ou de produits chimiques qui modifient ses propriétés, soit du fait d'une réaction physicochimique entre les particules de la terre et le produit ajouté soit en créant une matrice qui lie ou enrobe les particules. On peut citer, en particulier du ciment, de la chaux, du bitume, et de sous-produits industriels. Le choix et la quantité de matériau ou de produit chimique à ajouter dépendent de la nature du sol et du degré d'amélioration de la qualité du sol souhaité.

Le traitement du matériau terre par des produits chimiques se fait pratiquement de deux manières :

- a. Un traitement dans la masse (introduction dans la masse du sol d'une quantité minimale de stabilisant).
- b. Un traitement de surface (enduits, badigeons, hydrofuges), pour protéger la surface par imprégnation sur la partie exposée.

II.5.4. Stabilisation au ciment

II.5.4.1. Généralités

Le ciment est sans doute l'un des meilleurs stabilisants pour le bloc de terre stabilisé. L'ajout de ciment, avant la compression, permet d'améliorer les caractéristiques du matériau, en particulier sa résistance à l'eau, par l'irréversibilité des liens qu'il crée entre les particules les plus grosses. Le ciment va agir principalement sur les sables et les graviers comme dans le béton ou dans un mortier sable-ciment. De ce fait, il est inutile, voire néfaste, d'utiliser des terres trop argileuses (> 30 %). [11]

D'après VENUAT, tous les ciments normalisés conviennent en principe pour la stabilisation des sols, mais la préférence est donnée aux ciments de classes faibles, car une grande résistance n'est pas nécessaire. Alors que d'autres auteurs (DOAT), préconisent un type de ciment selon la nature du sol :

- Sol contenant un certain pourcentage d'argile : emploi du ciment riche en alite C₃S et bélite C₂S qui donne, après hydratation, beaucoup de portlandite, Ca(OH)₂. VERDEYEN conseille le ciment pour les sols dont la teneur en argile n'excède pas 20 à 30 % (I_p < 25 %) (VERDEYEN, 1971).

II.5.4.2. Mécanisme de la stabilisation au ciment

La poudre de ciment contient plusieurs phases différentes. Les phases principales sont: l'alite (C₃S), la bélite (C₂S), l'aluminate tricalcique (C₃A), l'aluminoferrite tetracalcique (C₄AF) et la périclase (MgO). Des phases mineures sont également trouvées: la chaux libre (CaO), les sulfates de sodium et de potassium (Na₂SO₄ et K₂SO₄). [16]

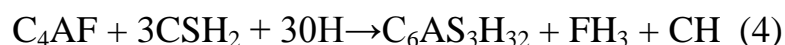
Suivant les proportions de ces éléments, les ciments pourront avoir des propriétés différentes. Par exemple, une forte teneur de C₃S donnera une résistance élevée, par contre un ciment à forte teneur en C₃A aura une faible résistance à l'action des eaux agressives. Une fois le mélange avec le sol est réalisé, le ciment va se dissoudre et s'hydrater si la quantité d'eau est suffisante pour former des constituants hydratés. La principale réaction nouveaux composés: la portlandite (CH) et le silicate de calcium hydraté (C-S-H : 3CaO.2SiO₂.3H₂O) :



L'hydratation des aluminates tricalciques (C₃A) dépend de la teneur en gypse du ciment. En présence de gypse, l'ettringite est formée ce qui contribue à l'augmentation de la résistance :



En l'absence de gypse, les C₃A réagissent avec l'eau pour donner des C₄AH₁₃, C₂AH₈, et des C₃AH₆. Les C₄AH₁₃ et C₂AH₈ sont instables. Sous l'action de la chaleur d'hydratation, ils se transforment en C₄AH₈. La phase ferrite (C₄AF) réagit rapidement en présence de gypse pour former de l'ettringite selon la réaction suivante :



La minéralogie et la granulométrie des sols traités influent peu sur les effets du ciment puisque la poudre de ciment contient en elle-même tout ce dont elle a besoin pour réagir et former des produits cimentaires ; le ciment va créer des liens physiques entre les particules augmentant ainsi la résistance des sols.

Pour le cas des sols pulvérulents, leurs particules ont des tailles plus grandes que celles des grains de ciment, donc elles peuvent être revêtues de ciment. Le ciment peut réagir avec lui-même ou avec le squelette granulaire du sable.

Dans le cas des sols cohérents, beaucoup de particules sont plus fines que les grains de ciment, donc elles ne peuvent pas être revêtues par du ciment. Cependant, suite au compactage appliqué sur les hydrates de ciment, ces derniers forment un squelette rigide qui sera de plus en plus résistant à mesure que l'hydratation avance, menant à l'augmentation de la résistance. [17]

De plus, une réaction en trois étapes avec de l'argile se produit [11] :

1. L'hydratation provoque la formation de gels de ciment à la surface des agglomérats d'argile. La chaux libérée pendant l'hydratation du ciment réagit aussitôt avec l'argile. La chaux est vite consommée et l'argile entame une dégradation.

2. Progression de l'hydratation, la désagrégation des agglomérats d'argile ; ceux-ci sont pénétrés en profondeur par les gels de ciment.

3. Interpénétration intime des gels de ciment et des agglomérats argileux. L'hydratation persiste, mais plus lente.

Dans certains cas, les particules d'argile pourront ralentir la prise du ciment en formant autour des grains une enveloppe protectrice. La composition chimique et minéralogique des argiles ainsi que leur quantité jouent donc un rôle fondamental dans les phénomènes d'interaction qui auront lieu et qui se poursuivront dans le temps entre elles et le ciment. [18]

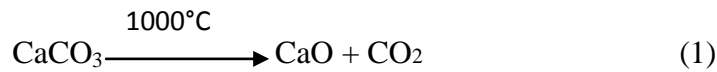
II.5.5. Stabilisation à la chaux

II.5.5.1. Généralité

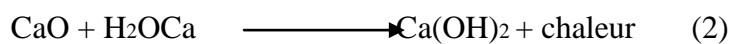
L'utilisation de la chaux dans la stabilisation des sols est connue depuis l'antiquité. Elle a été utilisée comme stabilisant de la chaussée par les Romains et d'autres civilisations anciennes.

La chaux est une matière généralement poudreuse et de couleur blanche, obtenue par décomposition thermique du calcaire. Chimiquement, c'est un oxyde de calcium avec plus ou moins d'oxyde de magnésium, mais la désignation usuelle de chaux peut englober différents états chimiques de ce produit. On les distingue notamment dans le langage courant par rapport à leurs utilisations dans la construction :

– La chaux vive est le produit direct de calcination du calcaire, principalement de l'oxyde de calcium (CaO).



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



– La chaux hydraulique contient en plus des silicates et des aluminates, car elle provient de calcaires argileux. Elle est appelée « hydraulique » parce qu'elle durcit en présence d'eau.

Tous les types de chaux peuvent être employés, mais la préférence est donnée néanmoins aux chaux aériennes qu'aux chaux hydrauliques. La chaux est surtout conseillée pour les sols contenant une fraction argileuse de 20 % et les sols ayant IP > 17 et LL > 40.

La chaux éteinte est beaucoup plus conseillée que la chaux vive, car cette dernière présente deux inconvénients majeurs : conservation difficile à l'abri de l'humidité avant son emploi et manipulation pénible lors des mélanges [19]. Le Roux a prouvé que pour des sols riches en kaolinite, la résistance (de 2 jusqu'à 90 jours) croît avec la teneur en chaux, mais que pour des sols riches en illite, un optimum de 5% de chaux se caractérise à moyen et à long terme. [11]

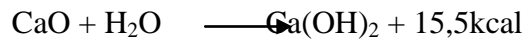
II.5.5.2. Mécanisme de la stabilisation a la chaux

Le traitement à la chaux vive ou hydratée (chaux éteinte) s'effectue dans le cas des sols fins contenant une forte teneur en argile. La chaux vive s'utilise de préférence lorsque les sols sont très humides. Pour les sols assez secs, on peut employer soit de la chaux vive soit de la chaux éteinte avec complément d'eau nécessaire pour que les réactions chimiques aient lieu dans de bonnes conditions. Théoriquement, l'incorporation de chaux dans les sols provoque les réactions suivantes :

a) Modifications de l'état hydrique

Le choix du type de chaux dépend de la teneur en eau du sol. Si le sol est trop humide, la chaux vive est préconisée, si le sol est à teneur en eau proche de celle optimale de Proctor, la chaux éteinte pourra être utilisée et si le sol est trop sec, il est possible d'utiliser le lait de chaux.

Au contact de l'eau, la chaux vive s'hydrate pour donner des chaux éteintes selon la réaction :



Cette réaction est fortement exothermique, ceci permet d'abaisser significativement la teneur en eau des sols, l'abaissement total de la teneur en eau est approximativement de 1% par pour cent de chaux vive introduite [GTS. 2000].

b) Modification des propriétés géotechniques

Les charges négatives portées en surface des particules d'argiles sont responsables de l'établissement d'un champ électrostatique autour d'elles. Ce champ permet le développement de la double couche d'eau entourant les argiles (eau libre et eau liée). L'hydratation de la chaux fournit une quantité importante d'ion Ca^{2+} et OH^- qui modifie la charge superficielle des argiles et donc la structure de la double couche dont l'extension diminue. On observe alors une diminution du volume apparent des particules et une contraction du sol suite à la formation de ponts de calcium entre les particules d'argiles. Ces particules s'agglomèrent en grains dont la taille moyenne dépasse la valeur de $2 \mu\text{m}$ (floculation/agglomération). Les floccs ainsi formés sont stables, peu sensibles à l'eau. La modification de la nature des grains solides entraîne une modification des propriétés géotechniques des sols argileux. On observe généralement :

- Une augmentation des limites de plasticité, le décalage de l'indice de plasticité étant lié à la quantité de chaux utilisée

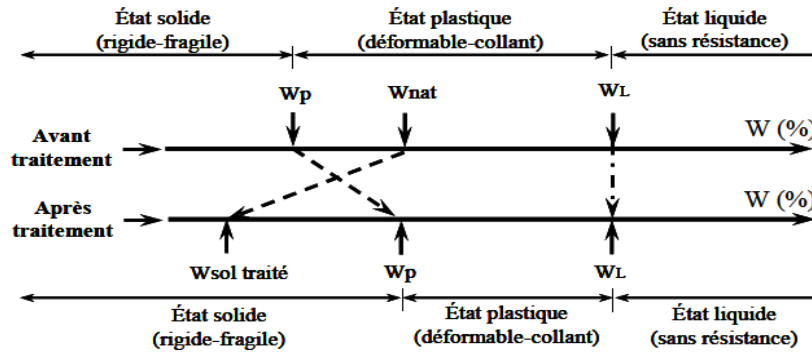


Figure II.5 : Modification de l'indice de plasticité du sol traité [GTS. 2000]

Une modification de l'allure de la courbe de compactage : la courbe Proctor du matériau traité s'inscrit en dessous de celle du matériau naturel, elle est plus aplatie. L'optimum de densité sèche a lieu pour une teneur en eau supérieure tandis que la densité sèche correspondante à cet optimum diminue (Figure 18). Cela veut dire que pour une même énergie de compactage, le sol traité a besoin d'une quantité d'eau optimum supérieure pour donner une densité sèche maximale inférieure à celle du sol naturel.

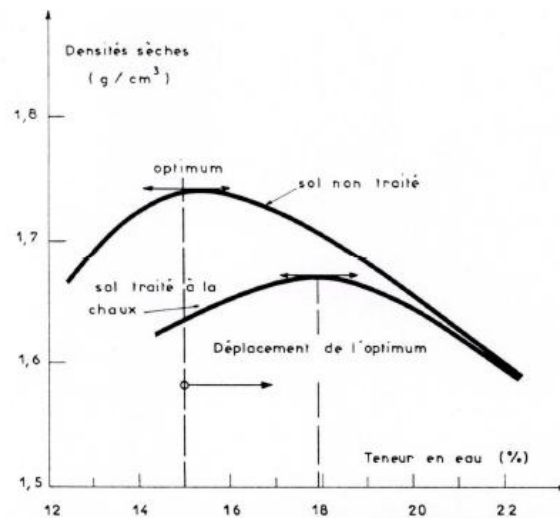


Figure II.6 : Influence d'un traitement à la chaux sur l'allure de la courbe Proctor [Venuat 1980]

c) **Modification des propriétés mécaniques**

Suite à l'hydratation de la chaux, les réactions entre les produits hydratés, la silice et l'alumine en solution forment deux nouveaux produits de réaction pouzzolanique. Ces produits sont appelés des C-S-H ($3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$: silicates de calcium hydratés), des CAH ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Ca(OH)_2 \cdot 12H_2O$: aluminates de calcium hydratés) et des C-A-S-H

(aluminosilicates de calcium hydratés). La réaction de la chaux sur les argiles permet donc la consommation des argiles et la formation de nouveaux minéraux aux propriétés liantes. Tout ceci a pour conséquences :

- un accroissement de la cohésion, de la dureté, de la résistance au poinçonnement,
- une augmentation du module de déformation et des résistances mécaniques,
- une meilleure résistance au gel,
- une diminution des variations volumiques (retrait, gonflement) et une augmentation de sensibilité à l'immersion sous l'eau.

La minéralogie du sol traité a une influence sur la puissance de la réaction pouzzolanique. Les études précédentes ont montré qu'un traitement à la chaux est mieux adapté aux sols argileux alors que les sols sableux sont traités aux liants hydrauliques seuls. La quantité en chaux nécessaire, de même que les caractéristiques mécaniques du matériau dépendent de la nature des argiles. Les meilleures caractéristiques mécaniques sont obtenues avec la kaolinite, puis l'illite et enfin les smectites. Ces caractéristiques ne sont pas corrélées à la réactivité de ces argiles. En effet, en terme de réactivité, Le Roux [1969] a montré que :

- les montmorillonites sont très actives et donneraient des constituants hydratés bien cristallisés C_4AH_{13} et C_3AH_6 ,
- les kaolinites réagiraient moins rapidement en formant un silicate mono calcique CSH et bi calcique C_2SH ainsi que C_3AH_6 ,
- les illites seraient moins réactives et plus difficilement attaquables.

La réaction pouzzolanique a une cinétique lente : il faut plusieurs mois de cure à $20^{\circ}C$ pour atteindre les caractéristiques mécaniques définitives. Cette cinétique dépend également de la température de cure. Pour les chantiers, il est signalé qu'au dessous de $5^{\circ}C$ la cinétique de la réaction pouzzolanique est très ralentie mais la réaction reprend dès que la température augmente. [17]

Chapitre III :

Matériaux et procédures expérimentales

III.1. Introduction

L'utilisation de la vase de barrage dans n'importe quel domaine, nécessite une étude détaillée sur des échantillons prélevés sur site. Cette étude est basée sur les résultats de plusieurs analyses d'identification.

Le présent chapitre a pour but d'étudier les caractéristiques chimiques, minéralogiques et géotechniques de la vase de barrage afin de l'utiliser dans la fabrication des briques de terre stabilisée.

III.2. Identification de la matière première

III.2.1. La vase de barrage

La vase de barrage qu'on a utilisée comme matière première, a été récupérée du barrage **KOUDIAT-ACERDOUNE** qui se trouve à la wilaya de **BOUIRA**.

III.2.1.1 Composition chimique

La composition chimique de la vase est indiquée dans le tableau ci – dessous

Tableau III.1 : Composition chimique de la vase.

Constituants	Teneur en %
CO₂	20.1
SiO₂	44.6
Al₂O₃	11.5
Fe₂O₃	5.11
CaO	14.3
MgO	1.10
SO₃	0.523
K₂O	1.13
Na₂O	0.598
P₂O₅	0.174
TiO₂	0.69

III.2.1.2. Composition minéralogique

- Diagramme de l'analyse minéralogique :

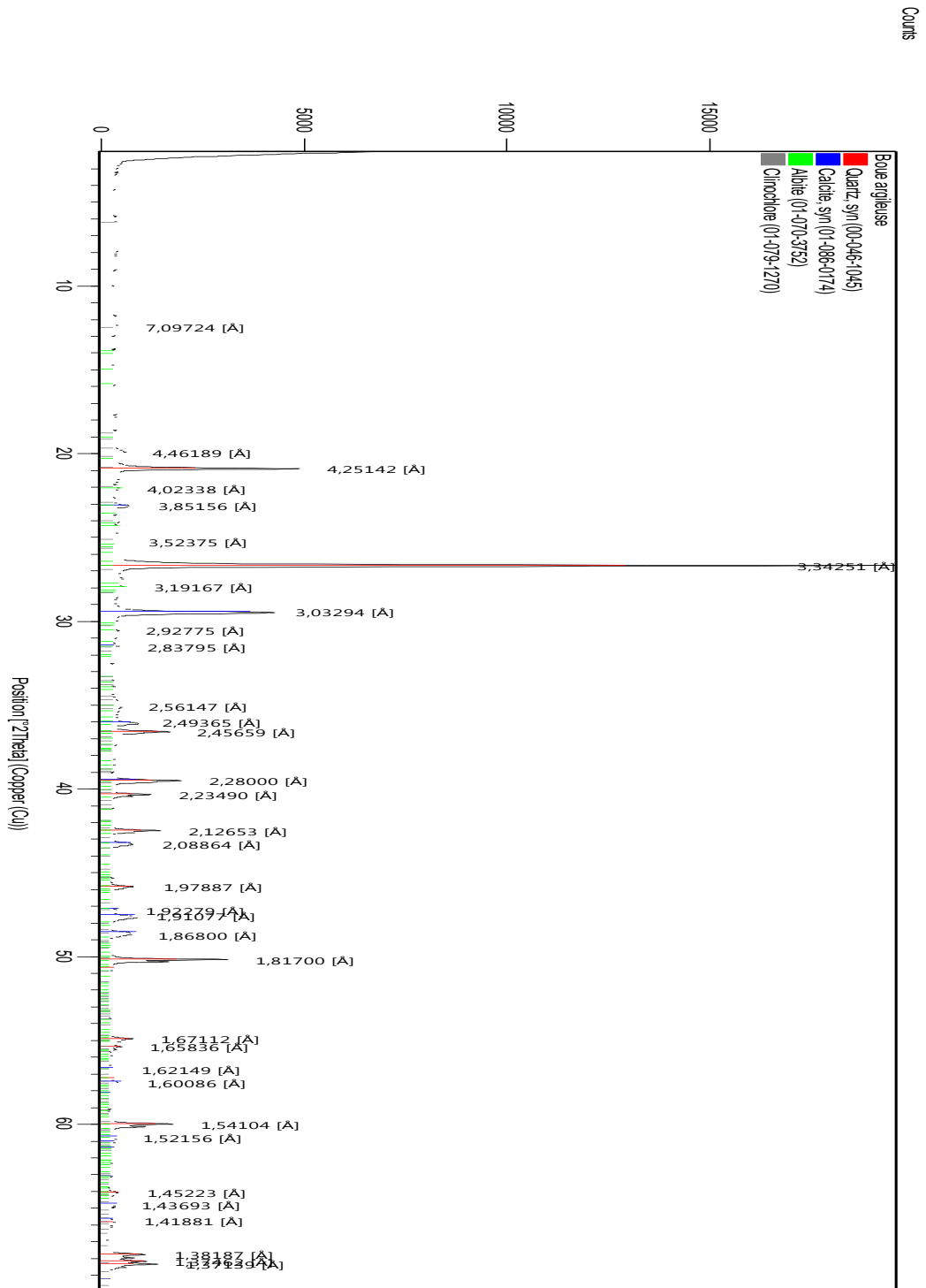


Figure III.1 : Diagramme de l'analyse minéralogique (DRX) de la vase.

1	Quartz	Si O ₂
2	Calcite	Ca (C O ₃)
3	Albite	(Na _{0.98} Ca _{0.02}) (Al _{1.02} Si _{2.98} O ₈)
4	Clinochlore	(Mg _{2.96} Fe _{1.55} Fe _{1.36} Al _{1.275}) (Si _{2.622} Al _{1.376} O ₁₀) (O H) ₈

III.2.1.3. Caractéristiques géotechniques de la vase étudiée

Tableau III.2 : Caractéristiques géotechniques de la vase.

La norme	Caractéristiques	La vase
NF P94-051 1993	Limite de liquidité (%)	35
	Limite de plasticité(%)	19
	Indice de plasticité(%)	16
NF P94-068 1998	VBS (g de bleu de méthylène / 100 g de sol)	2.5
NF P94-047/055 1998/ 1993	Matière organique(%)	0.73
X 31-103 1981	PH	8.60
NF P94-093 1999	Propriétés de compactage	Proctor standard
	$Y_{opt}(t/m^3)$	1.82
	$\gamma_{max}(\%)$	13.67



Figure III.2 : Essai pour déterminer la limite de plasticité et de liquidité.



Figure III.3 : Essai pour déterminer la valeur de bleu de méthylène.



Figure III.4 : Essai pour déterminer la valeur de PH.

- Selon le « **guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme** » [GTR.1992] :

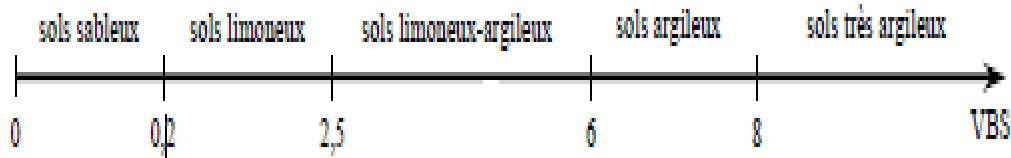


Figure III.5 : Classification des sédiments en fonction de VBS

➤ $VBS = 2.5$ donc notre sol est classé avec **les sols limoneux-argileux**

- **le diagramme de plasticité de CASAGRANDE**

CASAGRANDE (1948) a établi une classification des sols fins en fonction de leur limite de liquidité et leur indice de plasticité par un diagramme dit de plasticité (figure III.6). Ce graphique distingue les sols fins « très plastiques » lorsque $wL > 50\%$ des sols fins « peu plastiques » pour $wL < 50\%$.

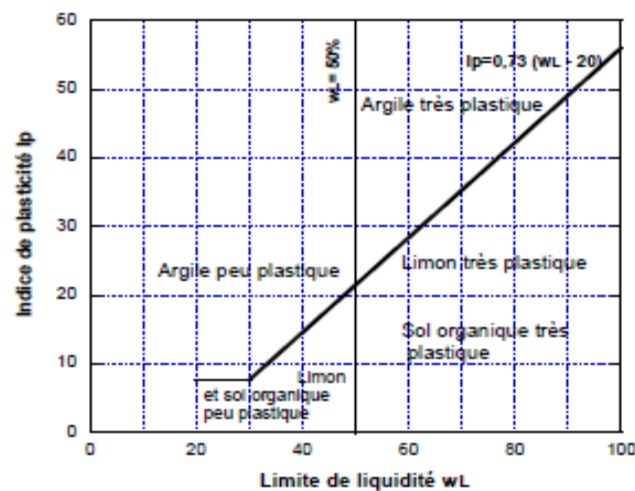


Figure III.6 : Diagramme de plasticité de Casagrande pour les différents sédiments

[Holtz et al 1991]

➤ $wL = 35$
 $I_p = 16$ } → **Argile peu plastique.**

III.2.1.4. Analyse granulométrique et sédimentométrique

Tableau III.3 : Résultats d'analyse granulométrique et sédimentométrique.

Analyse Granulométrique		Analyse sédimentométrique	
Tamis (mm)	Tamisat (%)	Diamètre équivalent	Tamisat (%)
63,00	100,00	72,30 μm	72,58
50,00	100,00	51,12 μm	71,39
40,00	100,00	36,47 μm	68,99
20,00	100,00	23,26 μm	66,59
16,00	100,00	16,59 μm	64,20
10,00	100,00	11,83 μm	63,00
8,00	100,00	8,43 μm	59,41
6,30	100,00	6,01 μm	57,01
5,00	98,67	3,50 μm	54,62
4,00	98,00	1,44 μm	53,42
2,00	95,33		
1,00	92,67		
0,40	88,00		
0,20	82,67		
marqu0,10	76,00		
0,08	75,33		

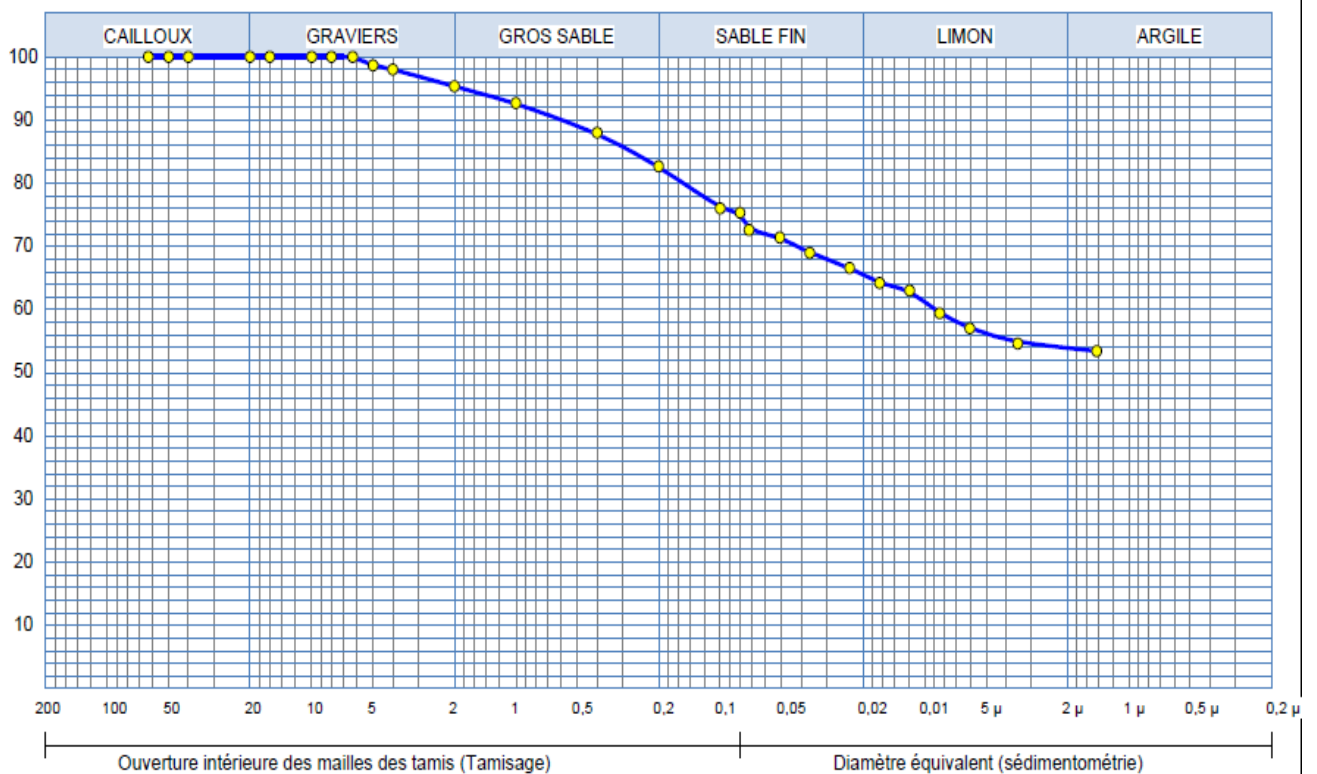


Figure III.7 : Courbe d'analyse granulométrique et sédimentométrique.

III.2.1.5. Analyse granulométrique par Laser

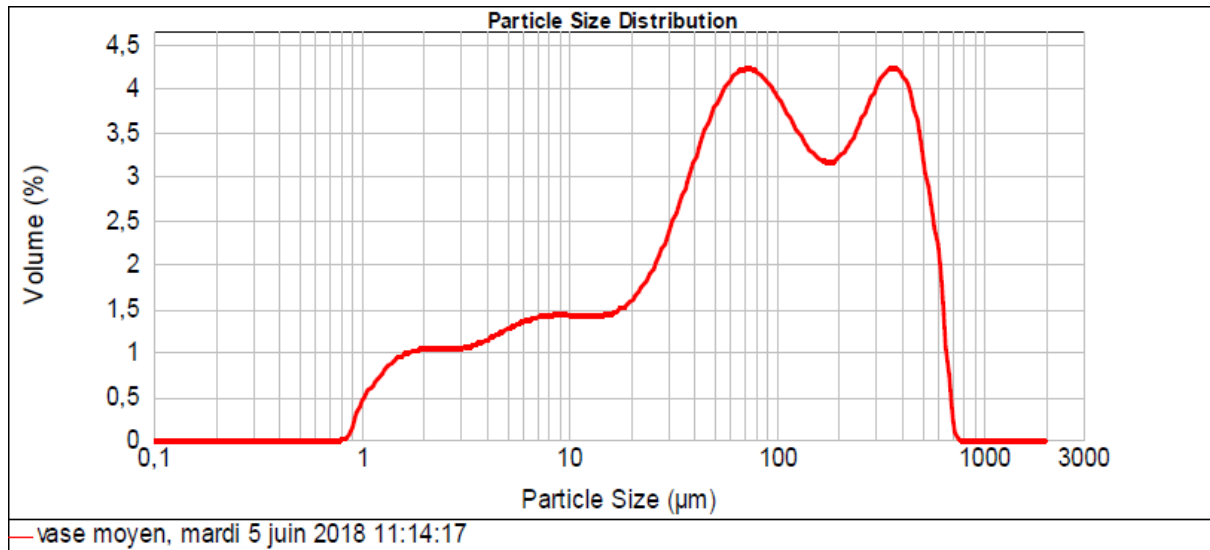


Figure III.8 : Courbe d'analyse granulométrique par Laser de vase.

III.2.2. Le ciment

Le ciment est un liant hydraulique (qui durcit sous l'action de l'eau). Le ciment utilisé pour notre étude est un ciment résistant au sulfate (C.R.S) CEM1 MOKAOUM PLUS de Lafarge qui est un ciment de haute performance.

III.2.2.1.. Caractéristiques chimiques du ciment

Tableau III.4 : Caractéristique chimique du ciment.

Composition chimique	Teneur %
Teneur en sulfate SO ₃	1.8 à 3
Teneur en oxyde de magnésium MgO	1.2 à 3
Teneur en chlorure	0.01 à 0.05
Perte au feu	0.5 à 3

III.2.2.2. Caractéristiques minéralogiques

Tableau III.5 : Composition minéralogique du ciment

Minéraux	Teneur %
C ₂ S	17.17
C ₃ S	57.23
C ₃ A	08.83
C ₄ AF	09.52

III.2.2.3. Caractéristiques techniques

Tableau III.6 : Caractéristiques techniques du ciment.

Classe de ciment	Début de prise	Fin de prise
42.5 MPa	> 60 min	200-400 min

III.2.2.4. Caractéristiques physiques

Tableau III.7 : Caractéristiques physiques

Consistance normal %	25 à 28
Finesse méthode Blain cm ² /g	3200 à 3800
Retrait µm/m	<1000
Expansion mm	< 2.0
Chaleur d'hydratation	< 270 J/g

III.2.2.5. Analyse granulométrique par laser

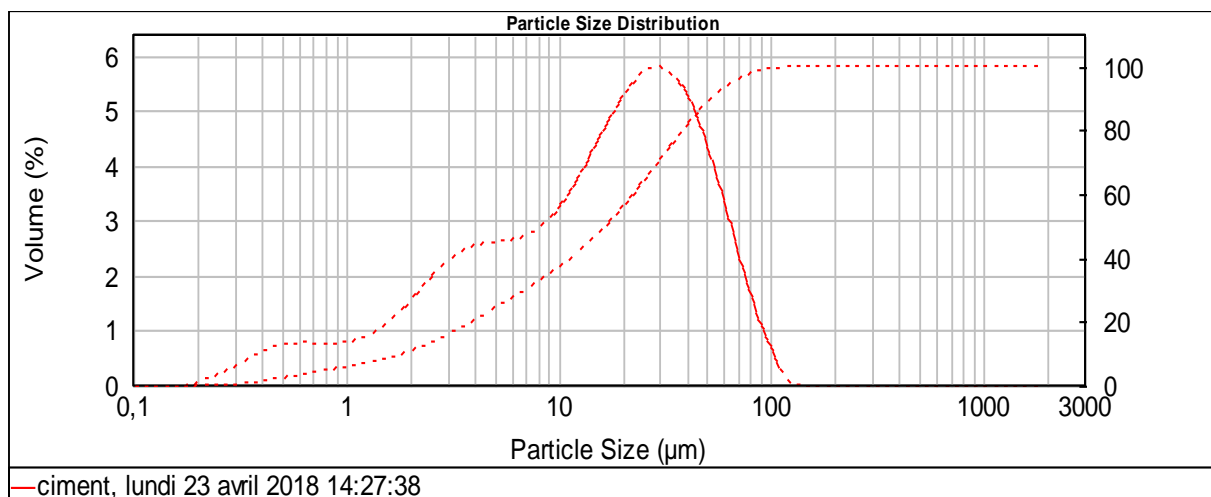


Figure III.9 : diagramme d'analyse granulométrie Laser du ciment.

III.3. Etapes d'élaboration des BTS a base de boue de barrage

III.3.1. Préparation de la matière première (la vase)

a. Récupération de la vase

La vase utilisée comme matière première à été récupère du barrage de KOUDIAT ACCERDOUNE, l'échantillonnage s'est fait sur dans déférentes régions du barrage.

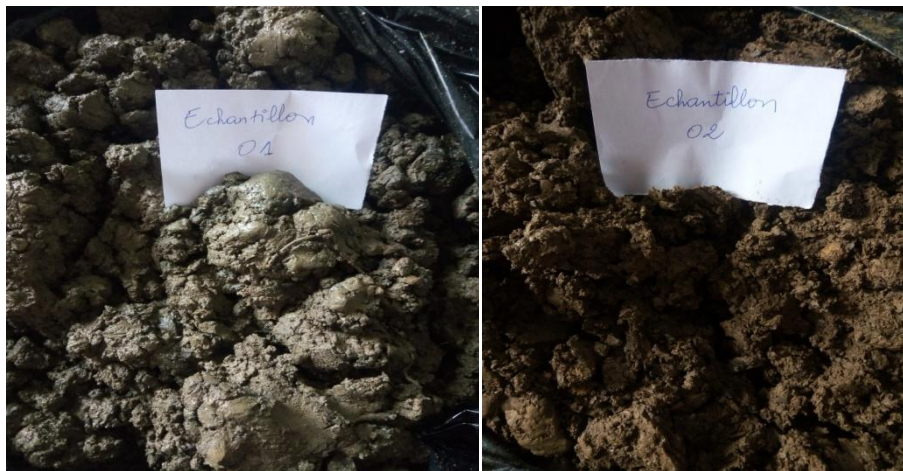


Figure III.10 : vase de barrage de KOUDIAT ACCERDOUNE.

b. Séchage et broyage



Figure III.11 : Vase séchée



Figure III.12 : l'appareille de broyage.

c. Tamisage

Un tamisage de 1 mm pour séparer les gros grains qui seront renvoyés au broyeur pour réduire leurs tailles selon un cycle fermé.

III.3.2. Elaboration des briques

a. Le moule

Le moule utilisé est le moule cubique de dimension 10x10x10 cm.



Figure III.13 : Le moule cubique utilisé pour la fabrication des briques.

b. Matériaux utilisés

- La vase broyée et tamisée au tamis 1mm.
- Le ciment CRS. CEM 1/42.5.



Figure III.14 : ciment CRS. CEM 1/42.5 Figure III.15 : vase broyée et tamisée au tamis 1 mm.

c. Matériels utilisés

- La balance
- Eprouvette gradué
- Malaxeur

d. Préparation des mélanges

Les échantillons destinés a cette étude sont réalisés a partir de la vase obtenue après broyage et tamisage, on a proposé d'utilisé 1000 g dans chaque brique.

A cette quantité on a ajouté 3 différentes proportions de ciment en substitution avec les pourcentages de (7,10, 14%).

A chaque mélange de ces constituants sec, on a ajouté une quantité d'eau de gâchage déterminé selon la formule suivante :

$$E = 0.2 A + 0.4 C \quad [20]$$

E : la quantité d'eau nécessaire en ml.

A : la masse de la vase en g.

C : la masse de ciment en g.

Le mélange constitué est malaxé jusqu'à l'obtention d'une homogénéité parfaite, après on le verse dans le moule.



Figure III.16 : Malaxage des constituants.

e. Pressage

Généralement le pressage se fait dans des appareils spéciales pour les briques de terre stabilisées mais dans notre cas on a utilisé l'appareil d'essai de compression avec une force de 25 KN.



Figure III.17 : Pressage et obtention des briques.

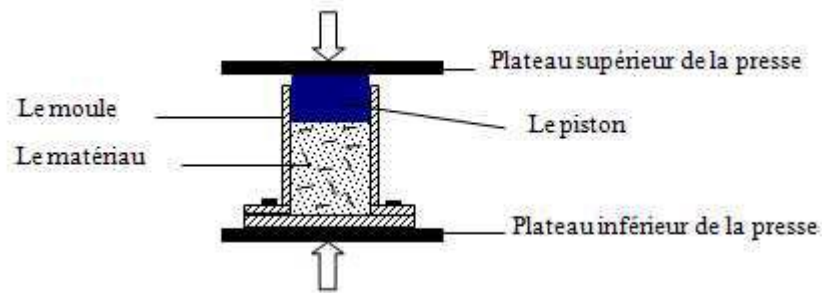


Figure III.18 : Le schéma du moule utilisé pour la fabrication des BTS

f. La cure des blocs

Pendant la période de cure les blocs doivent être protégés avec du plastique durant 20 jours après on les met dans l'eau jusqu'au 28^{ème} jour.



Figure III.19 : briques protégés avec du plastique pendant 20 jrs.



Figure III.20 : les briques avant de les mettre dans l'eau.



Figure III.21 : briques immergés dans l'eau jusqu'au 28 jrs.

Chapitre IV : **Résultats et interprétations**

IV.1. INTRODUCTION

Le présent chapitre s'intéresse à la présentation des résultats physico mécaniques obtenus ainsi que les remarques et les interprétations.

IV.2. Essais physiques

IV.2.1. L'absorption

Pour déterminer l'absorption on utilise la loi suivante :

$$Ab\% = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100$$

Avec :

Ab = l'absorption de brique (%).

Mh = la masse des briques après immersion dans l'eau (g).

Ms = la masse des briques séchées (g).



Figure IV.1 : masse des briques après l'immersion dans l'eau pendant 24h (M_h)



Figure IV.2 : masse des briques sèches (M_s)

Résultat

Tableau IV.1 : Résultats d’essai d’absorption

% de ciment	Ab (%)
14	2.906
10	3.133
7	4.698

Le graphe

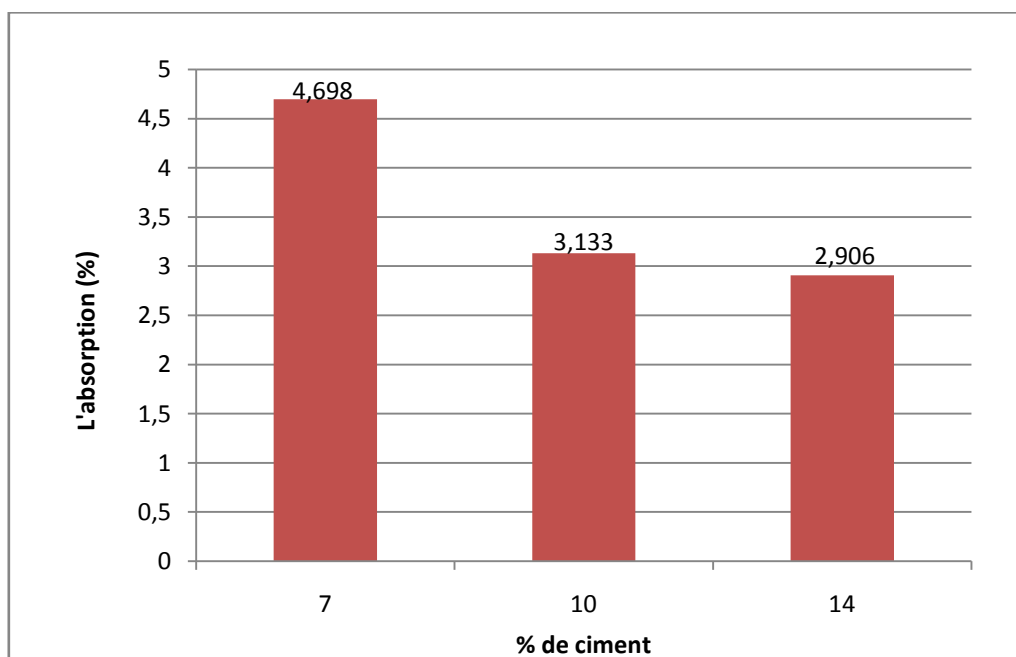


Figure IV.3 : Histogramme représentatif d’absorption en fonction des % de ciment.

On remarque que :

- L'absorption de brique avec un pourcentage de ciment de 7% est de ($A_b = 4.698 \%$).
- Pour un pourcentage de ciment de 10% dans la brique une diminution d'absorption ($A_b = 3.133 \%$)
- Même pour un pourcentage de ciment de 14 % dans la brique l'absorption va diminuer ($A_b = 2.906\%$).

Donc :

- Quand le pourcentage de ciment augmente, l'absorption diminue.

IV.2.2. La porosité

Pour déterminer l'absorption on utilise la loi suivante :

$$P\% = \frac{M_{\text{sat}} - M_{\text{sec}}}{M_{\text{sat}} - M_a} \times 100$$

Avec :

$P\%$ = la porosité de brique (%).

M_{sat} = la masse de brique après immersion dans l'eau (g).

M_{sec} = la masse de brique après séchage (g)

M_a = la masse de brique saturée pesée dans l'eau (Balance hydrostatique) (g).



Figure IV.4 : masse des briques immergées dans l'eau (M_{sat}).



Figure IV.5 : Masse des briques obtenues après séchage à l'étuve (M_{sec}).



Figure IV.6 : Masse des briques saturés pesés dans l'eau (balance hydrostatique) (M_a).

Résultats

Tableau IV.2 : Résultats d'essai de porosité

% de ciment dans l'échantillon	P (%)
14	4.95
10	5.21
7	7.92

Le graphe

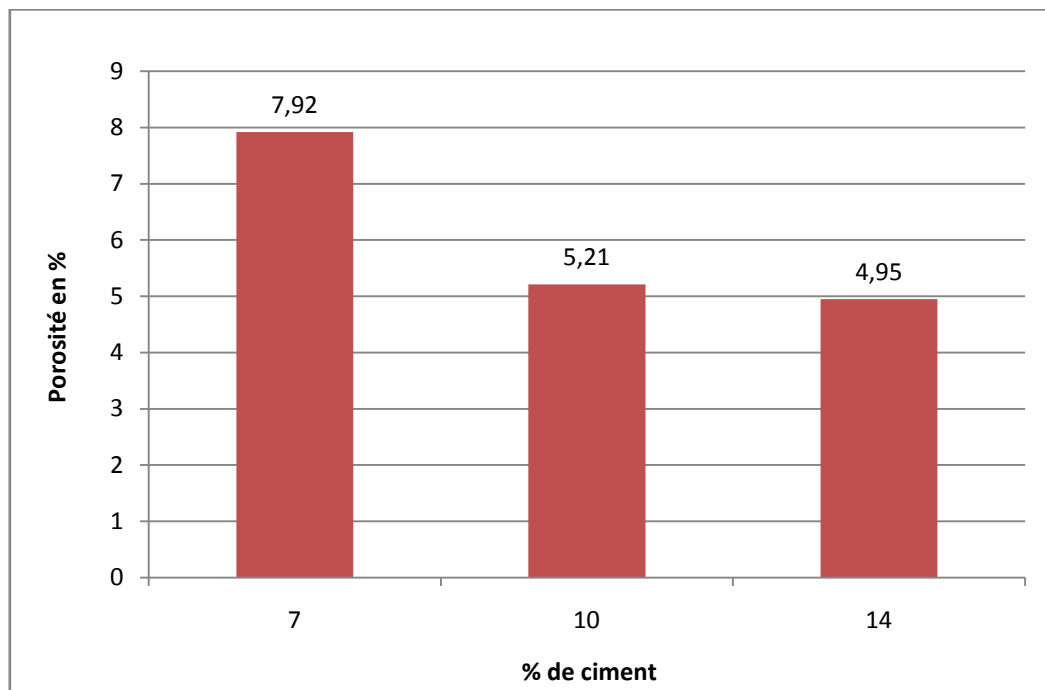


Figure IV.7 : Histogramme représentatif de porosité en fonction de % de ciment.

On remarque que :

- La porosité de brique pour un pourcentage de ciment de 7 % est égale à ($P = 7.92 \%$).
- La porosité de brique avec un pourcentage de ciment de 10% diminue ($P = 5.92 \%$).
- La porosité de brique ayant un pourcentage de ciment de 14 % va encore diminuer ($P = 4.95\%$).

Donc :

- Plus le pourcentage de ciment augmente, la porosité diminue.

Interprétation

D'après les résultats des essais physiques absorption et porosité on a constaté que plus le pourcentage en ciment augmente plus l'absorption d'eau diminue et la porosité diminue elle aussi à son tour. Le résultat obtenu peut être expliqué par la densification de la structure grâce à la présence d'hydrates qui ont contribué à combler les vides et densifier encore plus la structure permettant ainsi de réduire le taux de vide dans nos briques.

IV.2.3.Masse volumique

- Les masses des briques sont :

Tableau IV.3 : les masses humides et sèches des briques en gramme.

% de ciment dans la brique	Masse humide (g)	Masse sèche (g)
14	1114	1032
10	1153	1075
7	1166	1066

- Le volume des briques :

$$V = 500 \text{ cm}^3$$

Résultats

Tableau IV.4 : les masses volumiques des briques.

% de ciment dans la brique	Mv (frais) (g/cm ³)	Mv (durci) (g/cm ³)
14	2.228	2.064
10	2.306	2.120
7	2.332	2.132

Le graphe

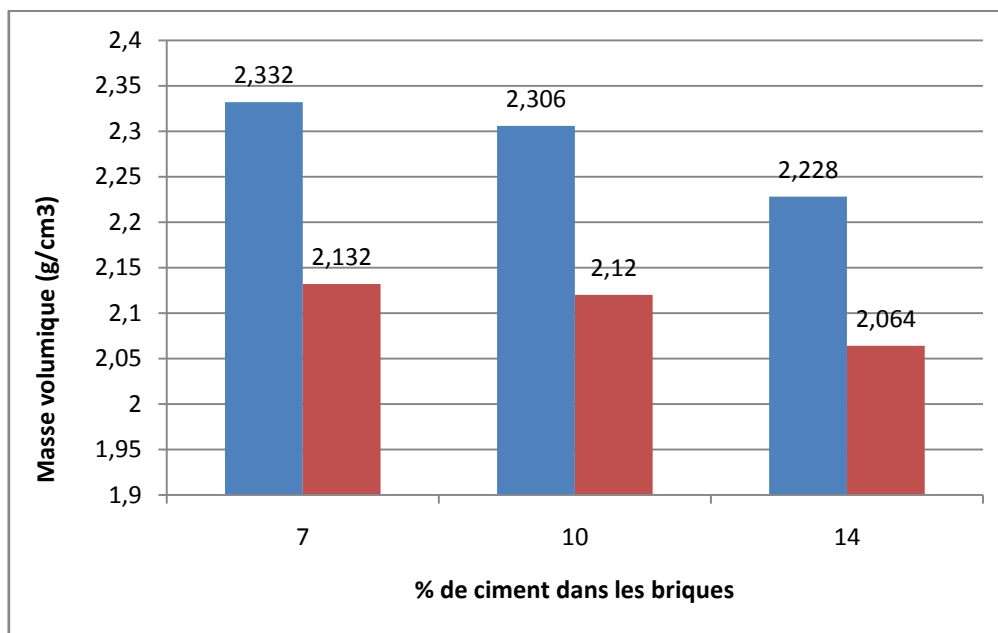


Figure IV.8 : Histogramme représentatif de masse volumique en fonction de % de ciment.

Interprétations

On remarque que :

- Pour un pourcentage de 7% de ciment la masse volumique humide prend une valeur de 2.332g/cm^3 et une masse volumique sèche de 2.132 g/cm^3 .
- Pour un pourcentage de 10% de ciment les masses volumiques humide et sèche vont diminués ($Mv\text{ humide} = 2.306\text{g/cm}^3$; $Mv\text{ sèche} = 2.150\text{ g/cm}^3$).
- Pour un pourcentage de 14 % de ciment les masses volumiques humide et sèche vont aussi diminués ($Mv\text{ humide} = 2.228\text{g/cm}^3$; $Mv\text{ sèche} = 2.064\text{ g/cm}^3$).

Donc :

- Quand le pourcentage de ciment dans la brique augmente, les masses volumiques humide et sèche vont diminués mais avec des petites valeurs.

IV.3.Essai mécanique

IV.3.1. La résistance a la compression

Les essais ont été réalisés a l'aide d'une presse hydraulique (Toni Technik) avec une vitesse de chargement de $0.5\text{N/mm}^2.\text{s}$.



Figure IV.9 : Essai de compression.

Résultat

Tableau IV.5 : Résultats d'essai de résistance a la compression.

% de ciment dans la brique (%)	Resistance a la compression à 28 jours (MPa)
14	7.05
10	4.62
7	4.09

Le graphe

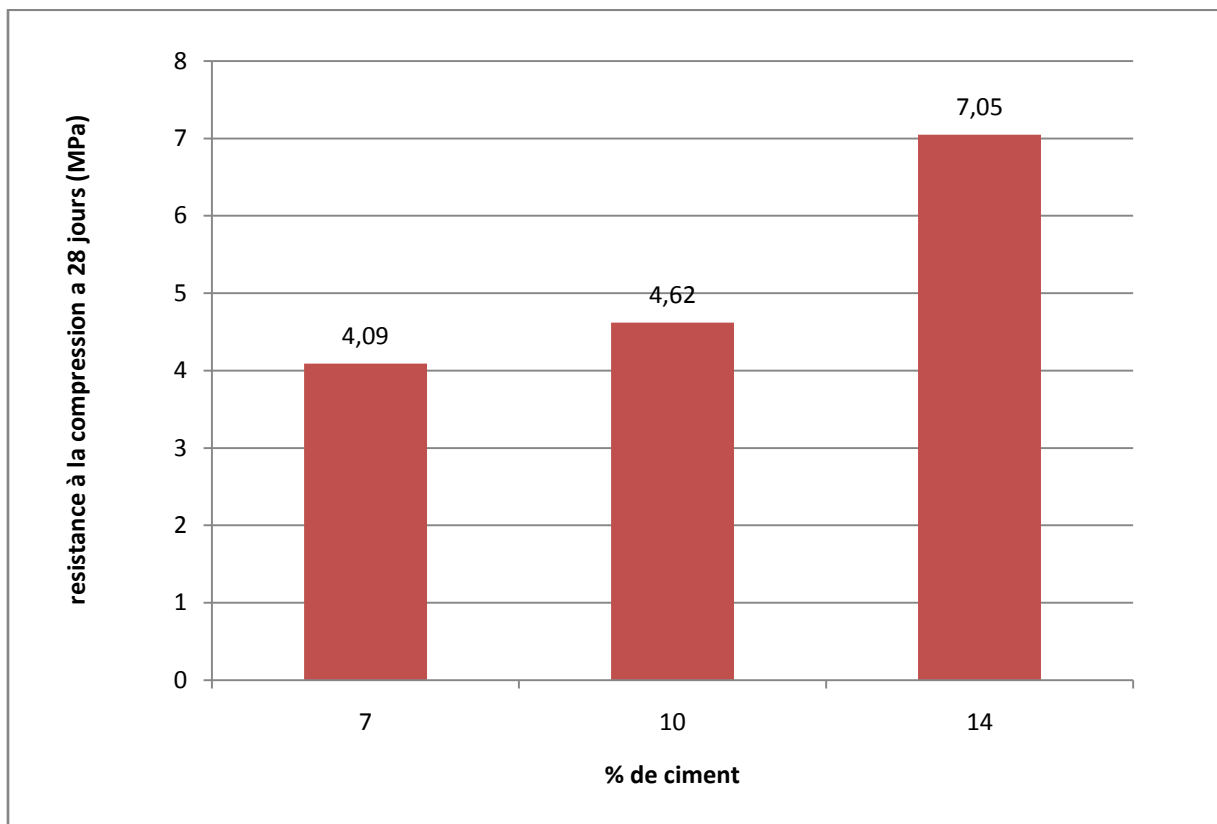


Figure IV.10 : Histogramme représentatif de Rc 28 en fonction du dosage en ciment.

Interprétation

D'après **figure IV.10** on remarque que la résistance a la compression a 28 jours des blocs de terre augmente en fonction du dosage en ciment.

La valeur maximale de la résistance a compression à 28 jours est obtenue dans le bloc de terre de dosage 14% de ciment et égale à 7.05 MPa.

La valeur minimale de la résistance en compression à 28 jours est obtenue dans le bloc de terre ayant un pourcentage de ciment de 7% et égale a 4.09 MPa.

Ceci peut être expliqué par la modification de la texture du matériau vue la présence du liant qui est le ciment qui a développé des réactions d'hydratation améliorant ainsi les

propriétés liantes et augmentant la compacité et la résistance des blocs en plus du compactage par pressage.

IV.4.Essais thermiques

IV.4.1.Essai de conductivité thermique

Appareil utilisé : Le CTMETRE

Le **CTMETRE**, appareil de contrôle non destructif Thermique, a été élaboré dans le but de permettre d'évaluer avec précision, les paramètres thermiques d'un certain nombre de matériaux, et de contrôler la production des matériaux isotropes et homogènes par prélèvements [21].



Figure IV.11 : Appareil CTMETRE.

Principe d'utilisation

La mesure est réalisée par l'intermédiaire d'un CT mètre et d'une sonde placée entre deux plaques du matériau à caractériser. Un créneau de puissance est envoyé à la sonde via le CT mètre et se propage dans le matériau. Pendant le chauffage, le CT mètre enregistre toutes les 2 s la température au niveau de la surface de contact, on détermine la valeur de la conductivité thermique et chaleur spécifique.[21]

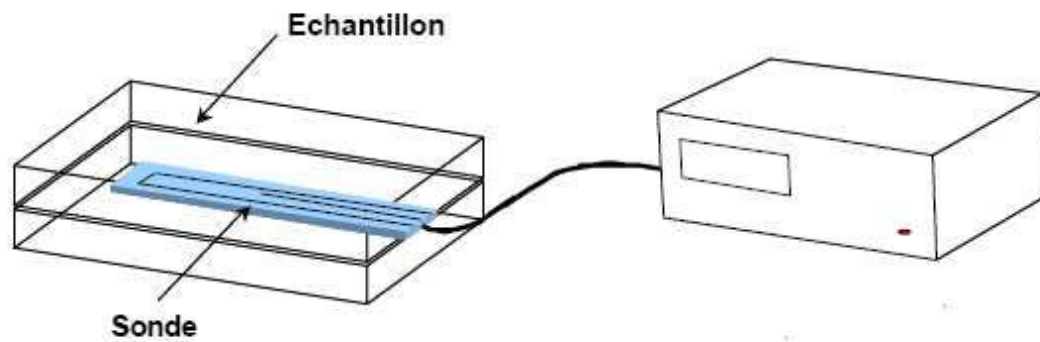


Figure IV.12 : Schéma d'essai de conductivité thermique.



Figure IV.13 : Essai de CTMETRE de CNERIB

La conductivité thermique (λ)

La conductivité thermique est une grandeur physique caractérisant le comportement des matériaux lors du transfert thermique par conduction, elle représente la quantité de chaleur transférée par unité de surface et par une unité de temps sous un gradient de température de un degré par mètre. [21]

Résultats

Tableau IV.6 : Résultat de conductivité thermique.

% de ciment dans la brique	λ (W/m K)
14	0.843
10	0.708
7	0.655

Le graphe

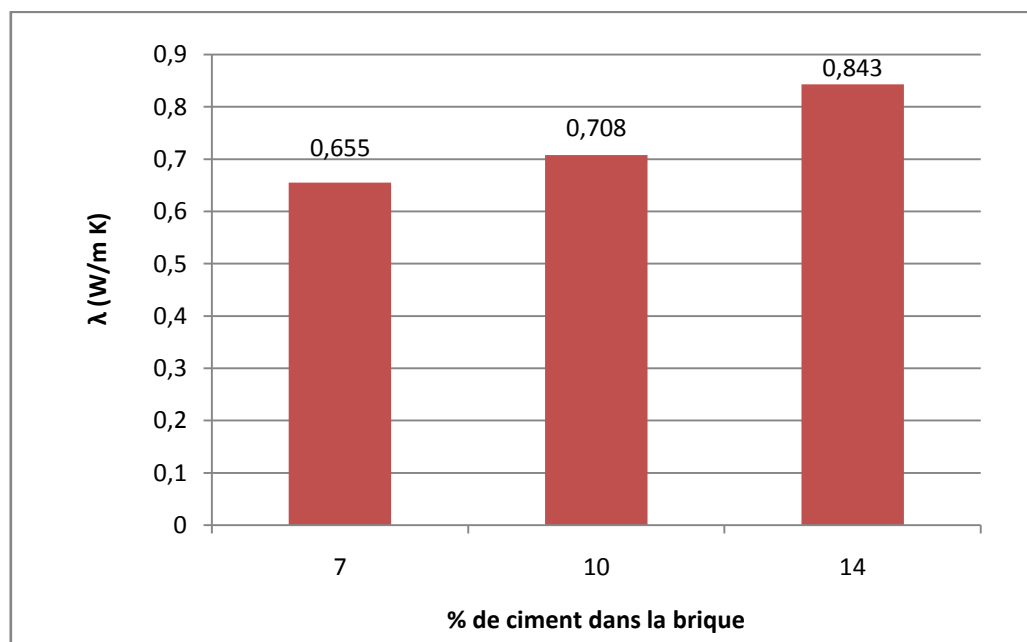


Figure IV.14 : Histogramme représentatif de conductivité thermique en fonction de % de ciment.

D'après la **figure IV.14** on remarque une augmentation de la conductivité thermique en fonction de l'augmentation du dosage en ciment.

Pour un pourcentage de ciment de 7 % dans le bloc de terre la conductivité thermique égale a 0.655W/m.K et pour un pourcentage de 14 % la conductivité thermique a augmenté et égale à 0.843 W/m.K.

IV.4.2.La chaleur spécifique

Résultat

Tableau IV.7 : Résultat de la chaleur spécifique.

% de ciment dans la brique	Chaleur spécifique C_p (kj/m ³ .k)
14	2630.6
10	2155.4
7	2001.2

Le graphe

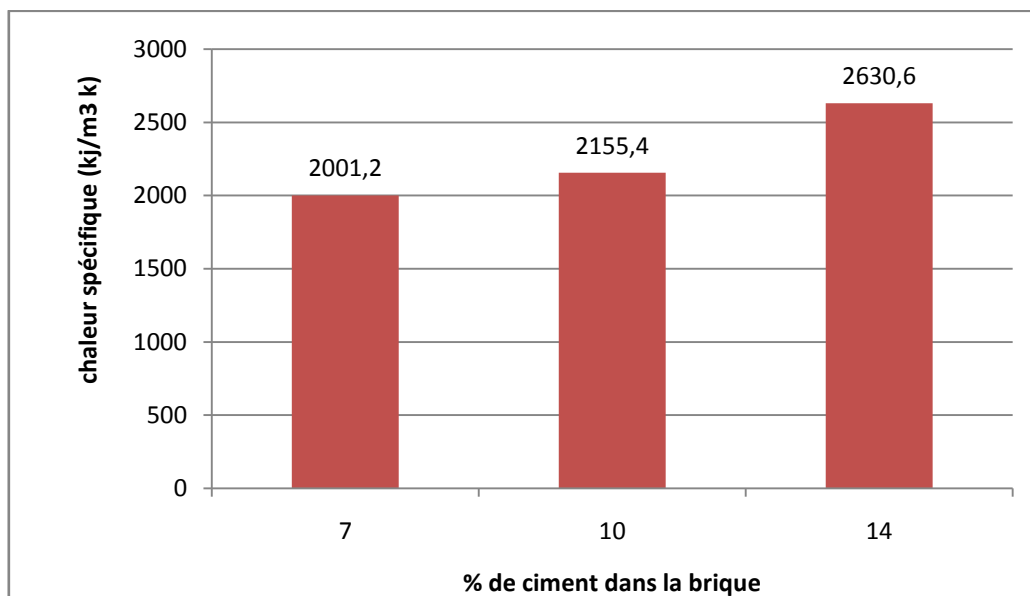


Figure IV.15 : Histogramme représentatif de chaleur spécifique en fonction de % de ciment.

D'après la **figure IV.15** on remarque une augmentation de la chaleur spécifique en fonction de l'augmentation du dosage en ciment.

Pour un pourcentage de ciment de 7 % dans le bloc de terre la chaleur spécifique égale a $2001.2 \text{ kJ/m}^3.\text{k}$ pour un pourcentage de 14 % la chaleur spécifique va augmenté et égale a $2630.6 \text{ kJ/m}^3.\text{k}$.

Interprétation

L'analyse des propriétés thermique des briques élaborées tels que conductivité thermique et la chaleur spécifique indique un bon comportement .L'accroissement des valeurs du coefficient de conductibilité thermique λ , pour les différents dosages, est du à la présence du ciment, en effet plus la quantité de ce dernier augmente plus les valeurs de λ le sont à leur tour. Les valeurs obtenues restent toujours dans les normes.

Conclusion et perspective

Conclusion et perspective

L'objectif principal de ce travail est l'élaboration et la caractérisation de briques de terre stabilisées à base de sédiments de barrage.

Pour bien mener ce travail, on a commencé par l'identification de la matière première (la vase) ensuite on a procédé à l'élaboration des briques à base de vase et de différents pourcentages de ciment (7, 10, 14) ajouté en substitution.

Les résultats obtenus nous ont permis de tirer les conclusions suivantes:

- Plus le pourcentage de ciment augmente, la porosité et l'absorption vont diminués à cause de la densification de la structure.
- La masse volumique diminue en augmentant le pourcentage de ciment mais avec des petites valeurs.
- la résistance à la compression à 28 jours des blocs de terre augmente en fonction du dosage en ciment. La valeur maximale de la résistance à la compression à 28 jours est obtenue pour le bloc de terre de dosage 14% de ciment et égale à 7.05 MPa .Ceci est expliqué par la modification de la texture du matériau vu la présence du liant qui va réagir et augmenter la cohésion et les propriétés liantes du matériau.
- L'analyse des propriétés thermique des briques élaborées tels que la conductivité thermique et la chaleur spécifique indique un bon comportement .L'accroissement des valeurs du coefficient de conductivité thermique λ , pour les différents dosages, est dû à la présence du ciment, en effet plus la quantité de ce dernier augmente plus les valeurs de λ le sont à leur tour. Les valeurs obtenues restent toujours dans les normes.

On dernier on peut dire que l'élaboration des BTS à base des sédiments de barrage peut être une des solutions proposées pour la lutte contre un problème écologique qui est l'envasement des barrages et un problème économique qui est l'approvisionnement en matières premières pour l'élaboration de briques apte à être utilisées dans les régions chaudes du pays.

Conclusion et perspective

La vase de barrage est considérée comme un déchet qu'on peut valoriser dans le domaine de la construction des briques de terre stabilisées à cause de leurs propriétés remarquables.

L'utilisation des briques de terre stabilisées à base de la vase est recommandée dans les régions où le climat rencontre des changements de température entre le jour et la nuit (phénomène de gel-dégel). Par exemple, c'est une solution de construction dans le sud Algérien.

Références bibliographiques

- [1] **S. Boumediane** «Etude et valorisation des sédiments de dragage du barrage Bakhadda,» 2010/2011.
- [2] **R. B. A. J. M. A.** «Livre de l'envasement des barrages,» 1997.
- [3] **D.TESSIER**, «Recherches experimentales sur l'organisation des particules dans les argiles.Application à l'etude de 4 pates argileuses "calcique" en voie de dessiccation.Thèse pour l'obtention du diplôme CNAM.Laboratoire de géologie appliquée,» 1975.
- [4] **Département de La Girond**, «Rapport Final du Shéma Directeur de gestion et de valorisation des sédiments de dragage de Rourn et Tancarville,» 2006.
- [5] **M. S. A. B.BEKHTI**, «Modélisation de la sédimentation dans les retenues de barrages en Algérie(barrage Es-saada),» janvier-fevrier-mars 2012.
- [6] **L. VONLANTHEN**, «Rapport technique /domaine du batiment-génie civil,» Janvier 2014.
- [7] **P. D. e. T. Couveignes**, «le cycle de formation des roches,» Ecole Edouard-Montpetit, Montréal, juin 2001.
- [8] **S. Boumesiane**, «Etude et valorisation des sédiments de dragage du barrage Bakhadda,» 2010/2011.
- [9] **Houben. H et Guillard. H** , « Traité de construction en terre » 2006.
- [10] **CRATerre**, « Construire en terre crue en zone tropicale » 1991.
- [11] **Taallah Bachir**, « étude de comportement physico-mécanique du bloc de terre comprimé avec fibre » 2004.
- [12] **Doat**, « Construire en terre par le CRATerre » 1979.
- [13] **Michot**, « Caractéristiques thermo physiques de matériaux a base d'argile : évolution avec des traitements thermiques jusqu'au 1400°c » 2008.

[15] **Saiyouri Nadia**, « Approche microstructurale et modélisation des transferts d'eau et de gonflement dans les argiles non saturés » 1996.

[16] **Moszkowicz**, « Stabilisation-solidification des déchets » 2001.

[17] **Abriak Noredine**, « valorisation des sédiments marins et fluviaux en technique routière » 2009.

[18] **Vénuat.M**, « traitements des sols a la chaux et au ciment » 1980.

[19] **Le Roux-Bull**, « traitement des sols argileux par la chaux » 1969.

[20] **Groupe Afrique science** « Influence de la teneur en ciment sur les propriétés thermomécaniques des blocs d'argile comprimée et stabilisée » 2015 p 36.

[21] **KRAMI Abderraouf et REGGADI Sidi Mohamed** « Étude des briques de terre gypso-calcaire stabilisée par le ciment ou par la chaux » Ouargla 2011.

Résumé

Résumé

Dans une optique de développement durable, l'étude présentée met en évidence les difficultés de la lutte contre l'envasement des retenues et l'épuisement de ressources naturelles et propose des voies de valorisation des vases issues du dragage, dans la formulation des briques de terre stabilisées.

Notre travail vise principalement la récupération de la boue des barrages pour l'élaboration des briques de terre stabilisées. Après traitement et identification de la matière première (la vase), cette dernière est mélangée avec des différents teneurs de ciment en substitution.

Les résultats obtenus montrent que la méthode et les conditions de préparation des BTS à base de la vase et de ciment a été efficace et elle donne des caractéristiques intéressantes de point de vue résistance mécanique et conductivité thermique.

Mots-clés : Brique de terre stabilisée, vase, ciment, résistance mécanique, conductivité thermique

Abstract

With a view to sustainable development, the study presented highlights the difficulties of the fight against the siltation of reservoirs and the depletion of natural resources and proposes ways of valorization of vases resulting from dredging, in the formulation of bricks stabilized.

Our work is mainly aimed at recovering sludge from dams for the production of stabilized clay bricks. After treatment and identification of the raw material (the mud), the latter is mixed with different cement contents in substitution.

The results obtained show that the method and the conditions for the preparation of BTS based on the sludge and cement was effective and it gave interesting features from the point of view of mechanical resistance and thermal conductivity.

Keywords: stabilized Clay bricks, the mud, cement, mechanical resistance, thermal conductivity.

المخلص

من منظور التنمية المستدامة، الدراسة المقدمة تسلط الضوء على صعوبات مكافحة الترسبات الراكدة في قاع الحواجز المائية والسدود، واستنفاد الموارد الطبيعية، وتعرض طرق لتثمين الترسبات الناتجة عن الانجراف، في صياغة لبنات من التربة المثبتة.

عملنا هذا يهدف أساساً إلى استرجاع رواسب وأحوال السدود لإعداد لبنات التربة المثبتة بعد معالجتها ودراسة خصائص المادة الأولية (الرواسب). هذه الأخيرة تم خلطها مع كميات من الاسمنت بنسب مختلفة.

أظهرت النتائج المتحصل عليها أن هذه الطريقة و شروط إعداد لبنات التربة المثبتة باستعمال الرواسب و الاسمنت فعالة وأعطت ميزات مهمة من ناحية المقاومة الميكانيكية و الناقلية الحرارية.

الكلمات المفتاحية: لبنات التربة المثبتة، الرواسب، الاسمنت، المقاومة الميكانيكية، الناقلية الحرارية.