

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

N°:.....



**FILIERE : GENIE CIVIL
OPTION : GEOTECHNIQUE**

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par :

SAIDANE Ibtissam et SOUAYB Abd elrazak

Intitulé

**AMÉLIORATION DES CARACTÉRISTIQUES
MÉCANIQUES DES SEDIMENTS DU BARRAGE DE K'Sob
PAR UN TRAITEMENT A BASE DE SABLE DANS LEBUT
DE LEUR UTILISATION DANS DES TRAVAUX ROUTIERS**

Soutenu devant le jury composé de :

Dr BELAGRAA Larbi	Université de M'sila	Président
Dr LAHMADI Azzeddine	Université de M'sila	Examineur
Dr BAKIR Nassima	Université de M'sila	Encadreur

Promotion : 2020 /2021

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail

À nos très Chère Mères, qui avec leur amour et leur patience nous ont donné le meilleur d'elles-mêmes. A nos Pères, qui avec leur sagesse ont su nous épauler et, à nos frères et nos sœurs. A toutes les familles souyeb et saidane.

Une spéciale dédicace à ALI Hamoudi et MADAME Bakir Nassima et à notre groupe de géotechniciens.

Remerciements :

Nous remercions dieu d'abord pour tout.

Nous remercions nos mères qui nous ont donné l'espoir d'exceller dans nos études, et nos pères qui ont sacrifié toute leurs vie afin de nous voir devenir ce que nous somme.

Nous remercions sincèrement l'encadreur de mémoire Madame Bakir pour son aide et sa disponibilité.

Nous remercions également le président et les membres de jury d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous remercions toutes nos familles, nos amis et tous les étudiants du groupe de géotechnique .Et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à accomplir ce travail.

RESUME

En Algérie, le phénomène de l'envasement touche l'ensemble des barrages où d'énormes quantités de sédiments viennent se déposer chaque année au fond des retenues. En géotechnique environnementale, la valorisation des matériaux de dragage et leur utilisation dans la réalisation de certains ouvrages de travaux publics est une voie de plus en plus prospectée par les chercheurs ces dernières années, et constitue par conséquent un axe de recherche en harmonie avec le concept de développement durable.

Le travail proposé vise à déterminer les propriétés physique de la vase du barrage de Ksob, reconnue comme déchet et dont la valorisation pourrait apporter une solution tant économique qu'environnemental à la région de Boukhmissa région de M'sila. Nous visons à améliorer les caractéristiques physiques et même mécaniques, de cette vase par l'ajout d'un sable dans une proportion suffisante afin de l'utiliser dans les travaux routiers.

Mots clés : vase, Oued K'Sob, technique routière, traitement, portance.

ABSTRACT

In Algeria, the siltation phenomenon affects all the dams where huge quantities of sediment are deposited each year at the bottom of the reservoirs. In environmental geotechnics, the valuation of dredged materials and their use in the construction of certain public works is an avenue that has been increasingly explored by researchers in recent years, and therefore constitutes a line of research in harmony with the concept sustainable development.

The proposed work aims to determine the physical properties of the silt from the Ksob dam, recognized as waste and whose recovery could provide both an economic and environmental solution to the Boukhmissa region of M'sila. We aim to improve the physical and even mechanical characteristics of this silt by adding enough sand to use it in road works.

Keywords: vase, Oued K'Sob, road technique, treatment, lift.

ملخص

في الجزائر، تؤثر ظاهرة الطمي على جميع السدود حيث تترسب كميات هائلة من الرواسب كل عام في قاع الخزانات. في الجبوتقنيات البيئية، يعتبر تقييم المواد المجرفة واستخدامها في بناء بعض الأشغال العامة وسيلة تم استكشافها بشكل متزايد من قبل الباحثين في السنوات الأخيرة، وبالتالي فهي تشكل محورًا بحثيًا يتوافق مع مفهوم التنمية المستدامة. يهدف العمل المقترح إلى تحديد الخصائص الفيزيائية للطمي بسد قصب، المعترف به كنفائات والذي يمكن أن يوفر استعادتها حلاً اقتصاديًا وبيئيًا لمنطقة بوخميسة في المسيلة. نهدف إلى تحسين الخصائص الفيزيائية وحتى الميكانيكية لهذا الطمي عن طريق إضافة ما يكفي من الرمل لاستخدامه في أشغال الطرق.

كلمات مفتاحية: الطمي، واد قصب، تقنية الطريقات، علاج، فوة تحمل.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERAL.....	01
 CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE : PROBLEME D'ENVASEMENT D'OUED KSOB ET SOLUTIONS ADOPTEES	
I.INTRODUCTION	3
II.DEFINITION.....	4
III. DIFFERENTS TYPES DE BARRAGE.....	5
a- Les Barrages rigides.....	5
b- Barrages souples.....	6
IV. PROBLEMATIQUE DE L'ENVASEMENT.....	7
IV.1 Réduction de la capacité de la retenue.....	8
IV.2 Cause et origine de l'envasement.....	8
V. LES MOYENS DE LUTTE CONTRE L'ENVASEMENT.....	11
a- Reboisement.....	11
b- Réalisation de barrage de décantation (photos).....	11
c- Surélévation des barrages.....	11
d-Chasses dites à l'Espagnole.....	12
e- Soutirage des courants de densité.....	12
f- Dragage des barrages.....	12
VI. VALORISATION DES SEDIMENTS.....	13
a) Valorisation Des Sédiments Dans Le Domaine Du Génie-Civil.....	13
b) Valorisation dans le béton et mortier.....	14
c) Valorisation dans la fabrication du ciment.....	16
d) Valorisation dans la fabrication de briques.....	16
e) Couche étanche pour un bassin de lagunage.....	17
f) Valorisation Dans La Construction Des Routes.....	18
VII. DEFINITION D'UNE CHAUSSEE.....	19

a) Structure de chaussée.....	20
b) Plateforme support de chaussée.....	20
c) La couche d'assise.....	20
VIII. Les différents types de chaussées.....	21
a) Les chaussées souples.....	21
b) Les chaussées bitumineuses épaisses	22
c) Les chaussées semi-rigides (ou à assise traitée aux liants hydrauliques)..	22
d) Les chaussées à structure mixte.....	23
e) La chaussée à structure inverse.....	24
f) Les chaussées à structure en béton de ciment (rigides).....	24
IX DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES.....	25
a) Le trafic.....	25
b) L'environnement (les conditions climatiques).....	25
c) Le sol support.....	25
d) La qualité des matériaux.....	25
e) Les matériaux routiers.....	25
1) Les granulats.....	25
2) Les caractéristiques exigées des granulats.....	26
3) Choix des catégories de granulats.....	26
4) Les différentes familles de matériaux.....	26
5) Les matériaux pour assises de chaussées.....	26
X. CONCLUSION	27

CHAPITRE II

IDENTIFICATION DES MATERIAUX

I.INTRODUCTION.....	2
II. PRESENTATION ET IDENTIFICATION DES MATERIAUX.....	28
II.1. Origine du matériau utilisé.....	29
III. ESSAIS	
D'IDENTIFICATION.....	30
III.1 La teneur en eau naturelle (w).....	30

III.2 La masse volumique des particules solide ρ_s (méthode du pycnomètre)	31
III.3 La masse volumique des particules solide ρ_s (NF P 94-053)	31
III.4 Analyse granulométrique par tamisage (NF P 94-056)	32
a) Présentation des résultats obtenus pour la vase	33
III.5 Limite d'Atte berg (NF P94-051)	34
a) La limite de liquidité (Wl).....	34
b) La limite de plasticité (Wp).....	34
c) L'indice de plasticité I_p	34
IV. Présentation des résultats des différents matériaux	35
IV.1 Résultats obtenus par l'essai des limites d'Atte berg appliqué à la vase	35
a) Limites de Liquidité.....	35
b) Limite de plasticité W_p (NF P 94-051).....	36
c) Indice de plasticité de la vase I_p (NF P 94-051).....	37
d) Valeur au bleu de méthylène (VBS) de la vase (NFP94 – 068)	38
IV.2 Présentation de quelques résultats des matériaux d'ajout à savoir sable de dune et sable concassé	40
a) Sable de dune.....	40
b) Sable concassé.....	42
V. ÉTUDE DE COMPORTEMENT PHYSIQUE DE MELANGE (VASE + SABLE DE DUNE / VASE + SABLE CONCASSE)	43
V.1 Expression des résultats pour (Vase + 15 % sable de dune)	44
V.1.a) Limite de liquidité.....	44
V.1.b) Limite de plasticité.....	44
V.2 Résultats obtenus pour la vase + 30 % sable de dune	46
V.2 a) Limite de liquidité.....	46
V.2.b) Limite de plasticité.....	46
V.3 Résultats obtenus pour la vase + 15 % sable concassé	47
V.3.a) Limite de liquidité.....	47
V.3.b) Limite de plasticité	48
VI. ÉVOLUTION DES LIMITES DE LIQUIDITE ET DU VBS DES DIFFERENTS MELANGES	49
CONCLUSION	51

CHAPITRE III : ESSAIS DE PORTANCE.

I. INTRODUCTION.....	52
II) COMPACTAGE DES MATERIAUX (NF P94-093).....	52
II.1 Définition du compactage (Arquie et al 1987)	52
II.2 Paramètres influant le compactage (Cordary 1994)	53
II.3 Propriétés des courbes de compactage.....	54
II.4 Le contrôle de compactage sur le chantier.....	55
II.5 Les essais de compactage au laboratoire.....	55
III) ESSAIS REALISES.....	58
III.1 ESSAI PROCTOR.....	58
III.1.1 Expression des résultats.....	58
III.1.2 Discussion des résultats.....	60
III.1.3 Superposition des courbes.....	63
III.2 ESSAI DE PORTANCE CALIFORNIEN CBR.....	64
a) But de l'essai.....	64
b) Principe de l'essai.....	64
c) Matériel utilisé.....	65
d) Mode opératoire.....	65
e) Détermination de l'IPP.....	65
f) Détermination de l'indice CBR après immersion.....	66
g) Expression des résultats.....	67
III.2.1 Résultats des essais CBR immédiats pour les mélanges (vase + sable de dune / sable concasse).....	67
a) La vase.....	67
b) Vase +15% de sable de dune.....	68
c) Vase +30% de sable de dune.....	68
d) Vase +15% de sable concassé.....	69
III.2.2 Résultats des essais CBR après immersion pour les mélanges (vase + sable de dune + sable concasse).....	70
a) Vase sans traitement.....	70
b) Vase +15% de sable de dune.....	71

c) Vase +30% de sable de dune.....	72
d) Vase +15% de sable concassé.....	73
III.2.3 DISCUSSION DES RESULTATS DE L'ESSAI CBR POUR TOUT TYPE D'ECHANTILLON.....	74
III.3 CLASSIFICATION DU MATERIAU SELON LE GTR.....	75
IV. CONCLUSION.....	76

CHAPITRE IV : ESSAIS MECANIQUES

I.INTRODUCTION.....	77
II.ESSAI OEDOMETRIQUE.....	77
II.1 Description et but de l'appareillage.....	77
II.2 Mode opératoire.....	78
II.3 Préparation des échantillons.....	79
II.4 Présentation des résultats.....	80
II.7 Conclusion.....	85
III.1 RESISTANCE AU CISAILLEMENTDES MATERIAUX ETUDIES.....	85
III.1Introduction.....	85
III.2.But de l'essai de cisaillement.....	86
III.3. Mode opératoire de l'essai NF P 94- 071-1.....	86
III.4.Expression des résultats.....	87
a) Vase seule.....	88
b) Vase +15% Sable de dune.....	88
c) Vase +30% Sable de dune	89
CONCLUSION GENERALE.....	90

INTRODUCTION GENERAL

L'envasement des retenues de barrages en Algérie a pris une ampleur important limitant ainsi leur capacité (diminution importante du volume d'eau stockée). Ces dernières années, ce problème devient de plus en plus inquiétant et fréquent, car plus de 32.10^6 m³ de vase se déposent chaque année au fond des retenues. Le désenvasement est un moyen de lutte contre l'envasement néanmoins les conséquences engendrées sont le dépôt sédimentaire et les problèmes liés à son stockage.

C'est pourquoi il est d'une extrême urgence de procéder aux travaux de dragage afin de sauver ces ouvrages mais Le dragage lui-même pose un problème environnemental devant la quantité importante rejetée. Il serait donc plus judicieux de mener une réflexion pour une utilisation dans le domaine de génie civil.

La construction d'ouvrages de génie civil, est un facteur très important pour le développement économique d'un pays. Néanmoins, ceci nécessite une demande en agrégats de plus en plus croissante au point où les carrières restent parfois incapables de satisfaire les besoins nationaux, ceci induit un important déficit en granulats. Face à la surexploitation des sables d'oued et de mer, ayant engendré une menace certaine sur les nappes alluviales et une dégradation inquiétante de l'environnement, des mesures draconiennes sont prises pour la protection des sites d'exploitation situés dans les domaines publics maritimes et hydrauliques. Pour limiter l'extraction abusive des matériaux très utilisés dans la construction, la valorisation est aujourd'hui considérée comme solution d'avenir.

Le travail réalisé, s'inscrit dans ce contexte, il est orienté particulièrement à la valorisation de la vase du barrage d'Oued Ksob comme matériau pour les corps de chaussées (couches de forme et couche de fondation). Ceci est fait à base de mélange de sable de dune ou sable concassée à différentes proportions.

Après avoir identifié les matériaux sélectionnés, les mélanges (vase-sable de dune et vase-sable concassée) sont soumis aux principaux essais mécaniques routiers, à savoir les essais de compactage au Proctor, les essais de portance CBR, les essais de cisaillement direct à la boîte de Casagrande ainsi que les essais à l'œdomètre. Les résultats obtenus sur les différents échantillons, sont comparés ensuite aux exigences des normes en vigueur.

Pour présenter ce travail, nous l'avons scindé en quatre chapitres, synthétisés par une conclusion et quelques perspectives dont :

- ❖ Le chapitre I présente des généralités sur l'envasement du barrage. Il traite principalement, le mécanisme de sédimentation leur cause et origine, moyen de lutte contre l'envasement ainsi que leur valorisation en technique routier.
- ❖ Le chapitre II introduit la partie expérimentale de cette étude. Il est consacré aux différents essais d'identification des matériaux utilisés (vase, sable de dune, sable concassé), afin de déterminer les caractéristiques physiques et chimiques et minéralogiques. Il présente également les détails sur la préparation des différents échantillons utilisés, ainsi que les différents modes opératoires,
- ❖ Dans le chapitre III est présentée la première série d'essai physique et mécanique réalisés au laboratoire à savoir, les essais de compactage Proctor et essais de portance CBR. Ces essais permettent d'évaluer l'aptitude des mélanges étudiés au compactage ainsi que leur portance sous les plus mauvaises conditions hydrométriques. les résultats d'essais et les différentes comparaisons effectuées sous forme de tableaux et de courbes avec les interprétations correspondantes.
- ❖ Le chapitre IV est consacré aux essais de cisaillement direct à la boîte de Casagrande et essais œdométriques. Ces essais permettent de traduire le comportement des matériaux étudiés du point de vue Résistance au cisaillement et variation de volume. Ils permettent de déduire les caractéristiques mécaniques en cisaillement, à savoir l'angle de frottement interne et la cohésion, et enfin, les principaux résultats obtenus et les interprétations correspondantes.
- ❖ Enfin, le présent travail sera terminé par des conclusions synthétisant les principaux résultats obtenus et quelques perspectives pour de futures recherches.

CHAPITRE I

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE : PROBLEME D'ENVASEMENT D'OUED KSOB ET SOLUTIONS ADOPTEES

CHAPITRE I

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

PROBLEME D'ENVASEMENT D'OUED KSOB ET SOLUTIONS ADOPTÉES

I. INTRODUCTION

L'envasement des barrages est l'un des principaux problèmes que rencontrent de nombreux pays dans le monde. Selon le Comité International des Grands Barrages (CIGB), plus de 50.000 grands barrages existants dans le monde avec une capacité très importante de stockage, qui sont menacées par l'envasement qui est une conséquence directe de l'érosion et de la sédimentation.

Le phénomène de l'envasement des barrages est l'aboutissement d'un processus naturel résultant de l'érosion des bassins versants et du sapement des berges des cours d'eau. Ce phénomène naturel enregistre les valeurs les plus élevées dans les régions arides et semi arides comme le Maghreb et plus particulièrement l'Algérie. L'envasement qui représente les dépôts successifs des sédiments, pose des problèmes de quantité et de qualité des eaux des barrages. En matière de quantité, l'infrastructure hydrotechnique Algérienne forte de 74 grands barrages, d'une capacité de 8 milliards de m³ est amputée annuellement d'une capacité de plus de 50 millions de m³. A titre d'exemple, le barrage de Sidi M'Hamed Ben Aouda (Relizane) a reçu un volume de vase égal à 6,7 millions de m³ par année durant la période 1995-2003. Le barrage de l'Oued Fodda (Chlef) capte annuellement un volume de vase de 3,2 millions de m³ (Remini. 1997, Remini et Hallouche, 2007a). Au total, environ 20 grands barrages sont fortement menacés par le comblement total du réservoir si les moyens techniques de lutte ne sont pris en compte (Remini et Hallouche, 2007b).

Dans ce chapitre, nous allons étudier l'envasement du barrage d'Oued Ksob, les étapes du processus de l'envasement, les principaux moyens techniques de lutte, la possibilité de leur valorisation dans le domaine routier.

II. DEFINITION

Les sédiments est un ensemble d'éléments déposés par l'eau, le vent, la glace qui proviennent de l'usure des continents, c'est à dire de la destruction des roches ou d'être vivants. La

destruction se fait par des mécanismes physiques produisant la fragmentation des matériaux et des réactions chimiques donnant des solutions de lessivage (altération chimique). Les éléments solides sont déplacés sous l'effet de la gravité, souvent par l'intermédiaire d'un fluide transporteur (eau, glace), et sous l'effet des variations de pression atmosphérique qui produisent les vents. Les éléments en solution sont transportés par l'eau.

- Une partie des produits de destruction peut s'accumuler momentanément sur place, sans être transportée, et constitue alors une couche d'altération ou éluvion.
- Les débris, dans leur majeure partie, sont déplacés puis déposés, généralement dans l'eau, pour former un sédiment détritique (alluvions au sens large). Les éléments en solution qui précipitent, sans ou avec intervention des êtres vivants, forment un sédiment d'origine chimique ou biochimique. [J.Beauchamp: Sédiments et roches sédimentaires].

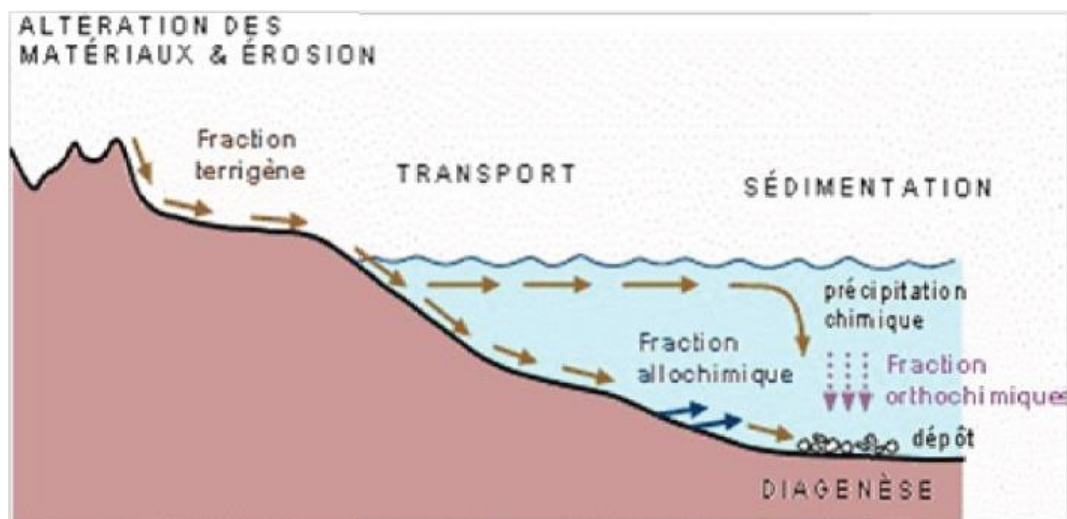


Figure I.1. Processus sédimentaires (P. Deslauriers et J. Couveignes2001)

III. DIFFERENTS TYPES DE BARRAGE

Il existe plusieurs types de barrages et on peut les regrouper en 2 classes principales

a- Les Barrages rigides : Les barrages en béton ou en maçonnerie autorisent des formes qui tiennent compte de la qualité du sol de fondation et de la forme de la vallée, on peut citer :

- ✚ **Barrages poids en béton**
- ✚ **Barrages poids en béton évidé**
- ✚ **Barrage voute**
- ✚ **Barrages contre forts ou a voutes multiples**

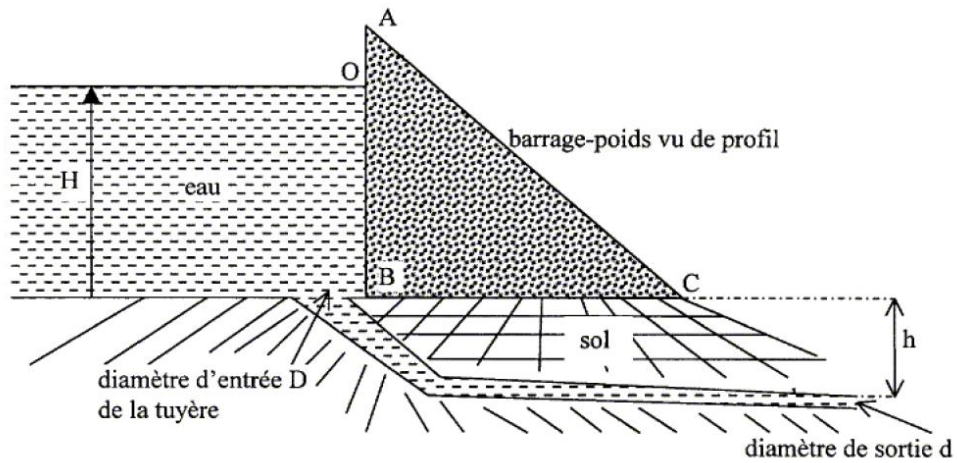


Figure I.2. Schéma d'un barrage poids en béton.

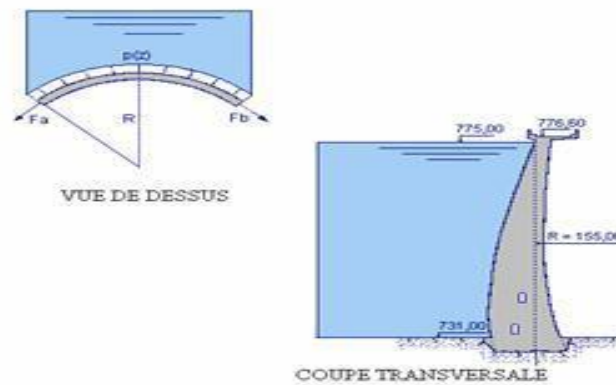


Figure I.3. Schéma d'un barrage poids en voûte.

b- Barrages souples : Les barrages en terre ou en remblai sont construits essentiellement par le sol (meuble ou enrochement). Les matériaux assurent la stabilité, la résistance et l'étanchéité du barrage.

✚ **Barrages en terre homogène**

✚ **Barrages en terre zonée**

✚ **Barrages en enrochement**

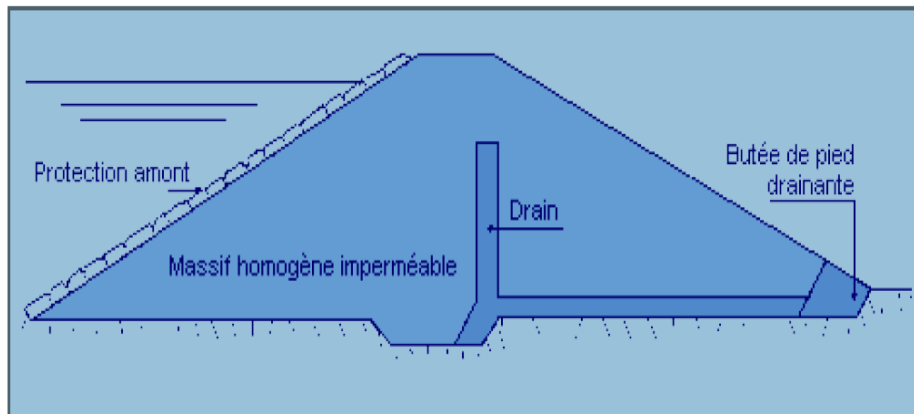


Figure I.4 Barrages en terre homogène

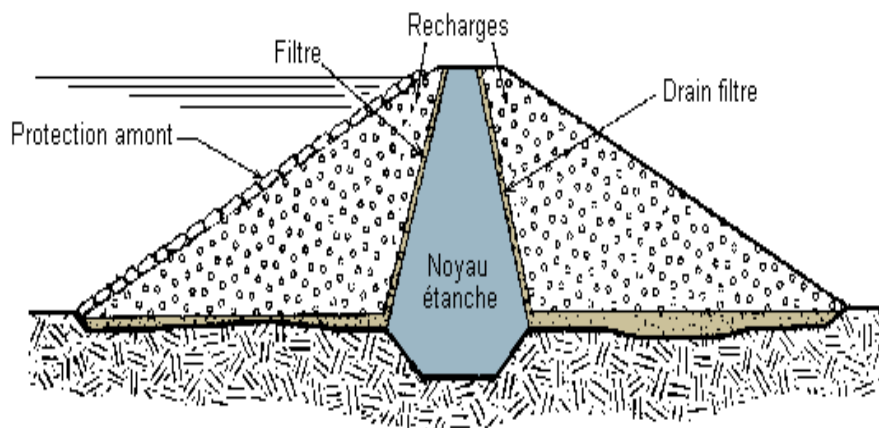


Figure I.5 Schéma d'un barrage en terre à noyau étanche

IV. PROBLEMATIQUE DE L'ENVAISEMENT

Le phénomène de l'envasement réduit progressivement le volume de stockage d'un barrage d'eau, non seulement cet effet direct, mais encore l'enlèvement de la vase déposée au fond au cours de plusieurs années nécessite des techniques spécifiques et coûteuses. Au niveau de la digue du barrage, la vase déposée peut présenter un risque considérable sur la stabilité de l'ouvrage et ces équipements hydrauliques, les études de dimensionnement doivent donc bien estimer le volume mort.

De nombreux pays dans le monde sont touchés par le problème de l'envasement et non seulement l'Algérie. En Afrique, Le Maghreb est considéré comme le plus touché par le problème d'envasement [12], les barrages des pays du Maghreb enregistrent une perte annuelle de capacité de 125 Hm³. La situation s'aggrave encore dans les zones arides et semi-arides où le manque d'eau est très préoccupant.

IV.1 Réduction de la capacité de la retenue

La réduction de la capacité de stockage de l'eau des barrages est sans aucun doute la conséquence la plus dramatique de l'envasement : chaque année le fond vaseux évolue et se consolide avec occupation d'un volume considérable de la retenue. La quantité de sédiments déposés dans les 110 barrages Algériens était évaluée à $560 \cdot 10^6$ m³ en 1995 soit un taux de comblement de 12,5 %; elle a été évaluée à $650 \cdot 10^6$ m³ pour l'année 2000, soit un taux de comblement de 14,5 %. A titre d'exemple, la capacité initiale du barrage de GHRIB (Médéa) était de $280 \cdot 10^6$ m³ en 1939 et n'était plus que de $109 \cdot 10^6$ m³ en 1977. Une projection a été faite pour l'an 2010, d'où il ressort que certains barrages comme par exemple ceux du FERGOUG et des ZARDEZAS finiront par férir si des dispositions radicales ne sont pas prises. Les barrages de OUED EL FODDA, BOUHANIFIA, GHRIB, K'SOB et FOUM EL GHERZA ne pourront plus garantir les quantités d'eau potable et d'irrigation nécessaires (tableau 1).

Tableau 1. Capacités de certains barrages Algériens en l'an 2010

Barrage	Capacité initiale (10^6 m ³)	Quantité de vase en 2010 (10^6 m ³)
Fergoug	18	31
Zardesaz	31	37
Oued El Fodda	228	82
Ghrib	280	227
K'sob	11.6	11.1
Foum El Gherza	47	39.5

IV.2 Cause et origine de l'envasement

Les sédiments proviennent du dépôt des particules en suspension dans l'eau dérivant elles-mêmes de l'érosion des roches et des sols, de matériaux d'origine organiques et de la floculation d'éléments colloïdaux. Les sédiments peuvent donc être d'origine :

- **Endogène** : les particules proviennent de la production autochtone du milieu. Il s'agit de macrophytes comme les plantes aquatiques, les cadavres de microphytes et d'animaux ;
- **Exogène** : il s'agit des particules issues du ruissellement des eaux ou bien transportées par le vent ;

- **Naturelles ou anthropiques** : elles proviennent de l'érosion des sols, de la décomposition de matière végétale, de l'apport de matière en suspension, de matières organiques, de nutriments ou de micropolluants en raison des rejets agricoles, industriels et domestique (Aloui-Labioud Z., 2014).

L'envasement des retenues et des estuaires est lié directement aux phénomènes de l'érosion. Ces derniers 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 [Semcha A.2008]. 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.

Composition des sédiments

Les vases sont constituées de quatre (04) éléments principaux [Scordia P.Y., 2008]:

- La matrice minérale (quartz, feldspaths ou carbonates) ;
- La fraction argileuse (kaolinite, illite ou smectite) ;
- La fraction organique (débris végétaux, micro-organismes) ;
- Une certaine quantité d'eau, présente sous différentes formes.

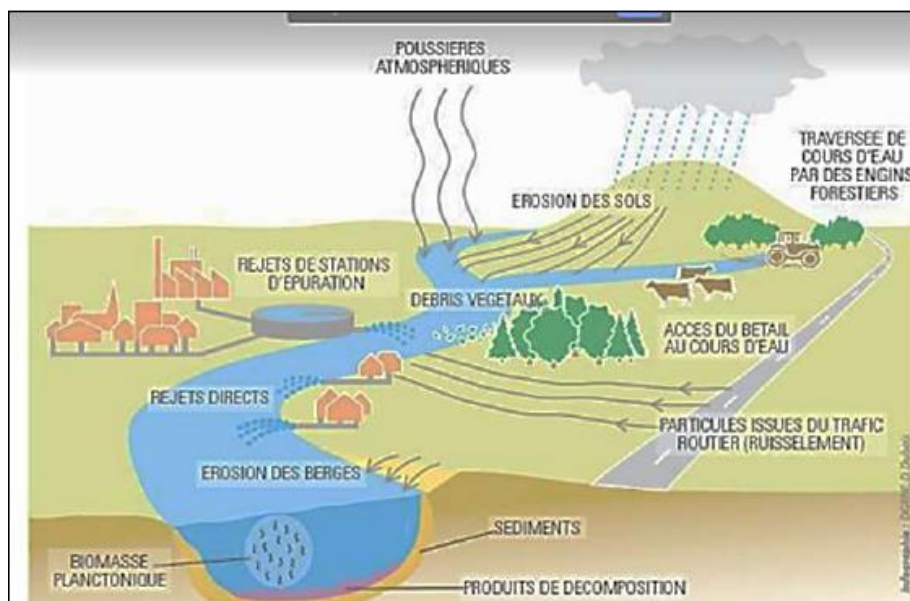


Figure I.6 Origine des sédiments.

Les argiles sont des silicates d'aluminium hydratés qui présentent une structure cristalline en feuillets. Cette constitution permet l'hydratation des argiles, avec parfois un phénomène de gonflement très important. Les principales caractéristiques sont :

- Leur grande surface spécifique, leur permettant de fortes capacités d'échange cationique (donc d'adsorption)
- Leur capacité de rétention de l'eau,
- Leurs propriétés colloïdales.

La souplesse des liaisons entre les feuillets permet aux argiles d'avoir un comportement plastique. La dernière propriété des argiles est l'interaction avec les espaces ioniques. En effet, les charges négatives des argiles sont neutralisées par des cations compensateurs. Or, ces cations peuvent s'échanger avec ceux présents dans le milieu et notamment avec les métaux lourds : c'est le phénomène d'adsorption.

En ce qui concerne la matière organique, on retrouve dans les sédiments tous les composés organiques naturels, issus des végétaux, des algues et des animaux, ou bio synthétisés par la microflore. La décomposition de ces matières est très lente (plusieurs centaines d'années). En général, la proportion massique de matière organique est de l'ordre de 2 à 10% pour les sédiments des cours d'eaux (Shneider G.2001).

La teneur en eau dans la vase est très variable. Généralement, on peut distinguer l'eau libre l'eau colloïdale et l'eau pelliculaire (Marot F., 1998). L'eau capillaire est liée à la matrice solide par des forces de capillarité qui créent entre les grains des forces d'attraction. . L'eau colloïdale permet l'hydratation des colloïdes. De même que l'eau capillaire, elle peut être éliminée par des procédés mécaniques de séparation solide-liquide. L'eau adsorbée et pelliculaire est liée à la surface des particules et construit un film autour d'elles. Cette dernière n'est séparable de la matrice solide que par des moyens thermiques. L'eau de constitution entre dans les formules chimiques des substances pour former les substances hydratées. Comme l'eau pelliculaire, elle peut être éliminée uniquement par des moyens thermiques.

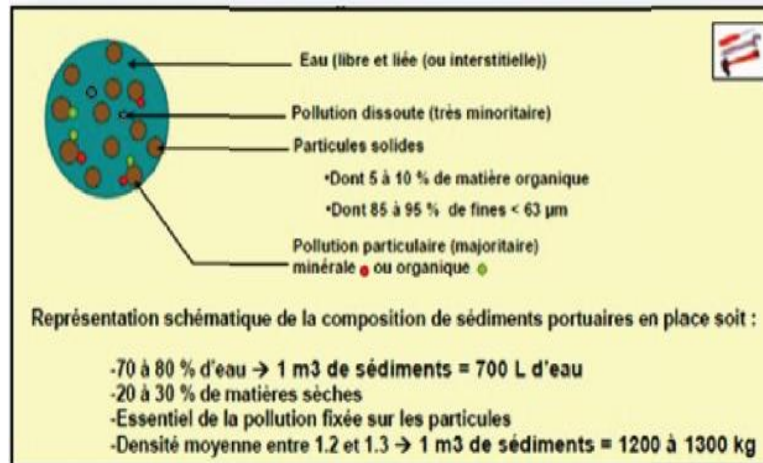


Figure I.7 Schéma de la composition simplifiée des sédiments portuaires
(N.Proulhacker LANN 2006)

V. LES MOYENS DE LUTTE CONTRE L'ENVASEMENT :

La majorité des barrages en Algérie ont une durée de vie de l'ordre d'une trentaine d'année. Il est rare cependant, que l'on puisse admettre à l'issue d'une période aussi courte, l'abondance d'un aménagement hydraulique, particulièrement lorsqu'il s'agit de réservoirs destinés à l'adduction en eau potable ou l'irrigation dont les intérêts socio-économiques justifient une garantie de service illimité. Importe donc, non seulement de prévoir le rythme de comblement de la retenue de façon aussi précise que possible, de manière à prendre les dispositions économiques et sociales qui s'imposent, mais aussi et surtout de sauvegarder au maximum l'existence de la retenue en luttant contre ce phénomène.

Parmi les moyens utilisés en Algérie ; Nous pouvons citer :

a- Reboisement :

La restauration des sols, la formation des banquettes, la plantation de végétation à longues tiges dans les oueds. Il est à noter que les tamaris qui ont poussé à l'amont des barrages de Bouhanifia, du Fergoug, de Cheurfas constituent de véritables pièges à sédiments.

b- Réalisation de barrage de décantation (photos)

Il existe un cas en Algérie, c'est le cas du barrage de Boughezoul qui est exploité partiellement comme bassin de décantation du barrage de Ghrib. Ce barrage a permis de retenir depuis sa création environ 35 106 m³ de vase. Il réduit l'envasement de Ghrib de près de 24 %.

c- Surélévation des barrages

Cette technique a été réalisée sur cinq barrages : Fergoug, Mefiouch, akhada, K'sob, et Zardézas. La surélévation des barrages permet d'augmenter la capacité de la retenue et donc de compenser la valeur envasée.



Figure I.8 Méthode de surélévation des barrages.

d-Chasses dites à l'Espagnole

Méthode utilisée pendant les premières crues pour les barrages de moindre importance (tel que le cas du barrage Hamiz, Beni Amrane, K'sob, ...).

Cette méthode est efficace quand elle est possible. Elle consiste à vider complètement le barrage au début de l'automne et à le laisser vide, toutes les vannes ouvertes, jusqu'aux premières pluies. La première crue enlève sans difficulté les vases de l'année non encore consolidées. (Ref)

e- Soutirage des courants de densité

Le soutirage des courants de densité a donné des résultats spectaculaires en Algérie. Cette méthode est utilisée aux barrages d'Ighil Emda et Oued El Fodda.

f- Dragage des barrages

A travers l'expérience algérienne, le dragage s'est avéré une solution sûre mise à part les difficultés de mise en dépôt et le coût.

Jusqu'à maintenant, l'Algérie a procédé au dragage sur quatre barrages : Le barrage des Cheurfas, le barrage de Foug-El-Gherza, barrage de Fergoug et Hamiz.



Figure I.9 Drague activant dans la retenue du barrage Fom-El-Gherza (Biskra)

VI. VALORISATION DES SEDIMENTS

La valorisation des sédiments rejetés s'impose comme solution aux difficultés de stockage et à la nuisance à l'environnement. Il s'avère donc plus raisonnable de ne plus considérer les vases comme déchets et rechercher des voies de valorisation dans un contexte de développement durable.

a) Valorisation Des Sédiments Dans Le Domaine Du Génie-Civil

Le domaine de la construction consomme des quantités importantes en granulats. La plupart de cette quantité provient de carrières naturelles. Cependant, l'ouverture de nouvelles carrières est soumise à une réglementation de plus en plus sévère et des normes environnementales plus exigeantes. D'un autre côté, le volume annuel de sédiments dragués est de plusieurs millions de mètres cubes. Par conséquent, ce volume important peut constituer une source d'approvisionnement en granulats pour le secteur de la construction. Depuis quelques années, les applications sédimentaires dans le Génie Civil sont de plus en plus étudiées. La composition principale du sédiment est le sable, l'argile et le calcaire. Le pourcentage de ces derniers peut varier selon l'origine du sédiment.

La variation dans la composition permet aux sédiments d'avoir un potentiel de valorisation très variable dans le Génie civil : soit dans la construction des routes, soit comme granulat dans le béton, soit comme matière première dans la fabrication du ciment ou des briques.



Figure I.10 Blocs de bétons réalisés avec des sédiments non-immérgeables traités (droite : Port de Dunkerque, gauche : Rade de Toulon)

b) Valorisation dans le béton et mortier

La production du béton présente un des gros consommateurs de matériaux, et les granulats constituent un des matériaux de base de cette filière. En effet, les granulats sont des matériaux régulièrement utilisés dans la fabrication du béton. Ils proviennent très majoritairement de carrières terrestres et sont issus de gisements alluvionnaires dont la ressource s'épuise. De plus, l'exploitation des carrières devient difficile. Dans ce contexte, l'utilisation des sédiments de dragage sous forme de granulats est amenée à se développer pour répondre aux besoins croissants de la filière de fabrication de béton à base de sédiment.

Achour R., (2013) a étudié la durabilité de deux blocs en béton à base de sédiment marin. Cette étude est divisée en trois étapes :

- La première étape est consacrée à une caractérisation non destructive et destructive des deux bétons contenant 12,5% et 20% de sédiment associé à une caractérisation microstructurale.
- La seconde concerne la durabilité de ces bétons face aux attaques sulfatées externes, à la soumission aux cycles gel/dégel et à la réaction alcali granulat afin d'évaluer l'effet de l'incorporation des sédiments dans les bétons et le comportement de ces derniers.
- Enfin, la troisième étape traite du volet impact environnemental par des essais de lixiviation sur les deux types de bétons.

Agostini F. (2006) a étudié des sédiments contaminés. Dans son travail, il a utilisé un processus de traitement appelé le processus Novosol. Les produits traités ont été ensuite utilisés dans les mortiers en remplacement des granulats naturels. Quatre types de mortier ont été réalisés : mortier de référence MR, mortiers à 33% ; 66% ; 100 % de remplacement du sable par le sédiment traité. La résistance à la compression, le module d'Young, la

perméabilité au gaz, la porosité, la masse volumique ont été mesurés sur divers échantillons à l'âge de 28, 60 et 90 jours. Les résultats ont montré que lorsque la quantité de sédiment dans le mélange augmente, la porosité augmente et la masse volumique diminue. La valeur de la perméabilité intrinsèque du mélange MS33 est très proche de celle du mortier de référence MR ; en revanche les valeurs correspondant à MS66 et MS100 sont plus grandes de trois (03) fois par rapport aux deux premiers. Des mesures de retrait ont aussi été effectuées. Elles ont montré qu'à l'âge de 110 jours, la déformation de MS100 est jusqu'à neuf (09) fois supérieure à celle de MR. Pour les substitutions inférieures, les déformations finales sont trois à six fois supérieures à celle du mortier de référence. De larges fissures ont été observées rapidement sur l'échantillon MS100. Ce phénomène n'a pas été observé ni sur MS33 ni sur MS66. En ce qui concerne la résistance à la compression, les résultats montrent que l'introduction des sédiments traités dans les mortiers conduit à l'amélioration de la résistance à la compression. Une augmentation de 20% est obtenue pour MS33. Selon la courbe de compression en fonction du taux de substitution, la valeur optimale avoisine les 33%. Hors de cette zone, la résistance diminue, mais elle est encore plus grande que celle du mortier de référence. Les auteurs ont conclu que le processus Novosol permet de traiter efficacement les sédiments dragués et contaminés puisqu'il fixe les métaux lourds dans la matrice d'apatite et élimine les combinaisons organiques et que le produit obtenu peut être utilisé comme du sable avec un taux de substitution optimal d'environ 33%.

Ben Allal L. et al., (2011) ont étudié la valorisation des sédiments de dragage des ports de Tanger et Larache (Maroc) dans les mortiers par substitution du sable. Les valeurs des résistances à la compression obtenues ont confirmé qu'une substitution partielle du sable par des sédiments de dragage des ports de Tanger et de Larache dans les mortiers est satisfaisante pour un dosage de 20%.

En Algérie des études de valorisation des vases de dragage de barrages ont été faites, Belas N. et al. (2011) ont valorisé la vase issue du barrage de Fergoug en tant que matériau de construction entrant dans la composition des bétons en l'utilisant, après calcination pour la rendre active, en dosages définis substituables au ciment (10,15 et 20% de vase par rapport au dosage en masse du ciment). Les bétons ainsi confectionnés sont testés vis-à-vis du comportement mécanique en compression et du retrait. Les résultats obtenus montrent de belles perspectives pour les bétons à base de vase qui affichent des performances mécaniques et un comportement au retrait satisfaisants.

c) Valorisation dans la fabrication du ciment

La composition chimique des sédiments (principalement de la silice, quartz, calcite,...) rappelle celle de la matière brute utilisée pour la fabrication du clinker. L'idée est que l'on peut les utiliser dans l'industrie cimentaire. Or très peu d'études existent sur ce sujet. C'est en 2004 que l'étude de cette solution a débuté par Dalton et al. (2004) cité dans (Dang T.A., 2011), ils ont fabriqué du clinker en présence de sédiments et ceci a deux niveaux : au niveau du laboratoire (bench scale) et au niveau semi industriel (pilot scale), la référence étant le ciment Portland ordinaire industriel (full scale).

d) Valorisation dans la fabrication de briques

La fabrication de briques à partir des sédiments de dragage constitue une autre voie de valorisation. Ben Allal L. et al. (2011) ont étudié la valorisation des sédiments provenant des ports de Larache et de Tanger comme matière première dans la fabrication de briques. Les sédiments ont été utilisés dans la fabrication de briques par substitution partielle de l'argile entrant dans la formulation. La confection des briques a été réalisée au sein même d'une briqueterie. La préparation des échantillons de briques consiste en un mélange de 70% de sédiments et 30% d'argile. Après séchage à l'air libre, les matériaux sont broyés puis tamisés à un (01) mm. Après malaxage, moulage et séchage de la pâte, les briques-échantillons sont séchées à une température de cuisson de 920 °C pendant 32 heures. Les premiers constats sont encourageants puisque la fabrication de briques s'est révélée possible.

Semcha A. (2006) s'est intéressé à la fabrication de la brique autoclavée à base de vase. La vase prélevée à l'état solide, dans la zone de rejet sur Oued El Hammam (en aval du barrage) ainsi que dans la région de la Macta, stabilisée au ciment dans des conditions particulières de température, d'humidité et de pression, a donné des résistances à la compression comparables à celles de la brique silico-calcaire.

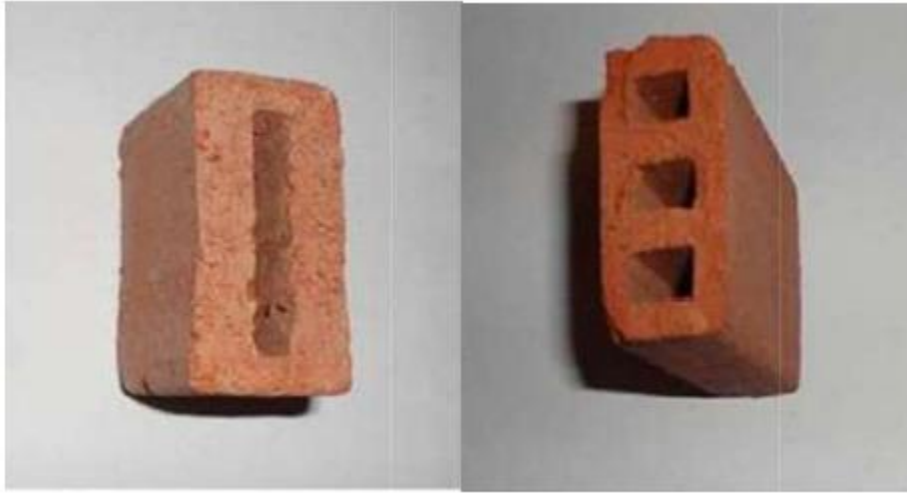


Figure I.11 Briques fabriquées avec un taux de substitution de 70% de sédiments.

e) Couche étanche pour un bassin de lagunage

Les bassins de décantation d'une station d'épuration par lagunage nécessitent une étanchéité pour éviter l'infiltration des eaux usées vers les eaux souterraines et la pollution de la nappe par la suite. Pendant la réalisation et après l'étape de terrassement et l'évacuation des déblais, ces bassins sont couverts par les rouleaux de géo membrane. Ces derniers sont imperméables mais coutent très cher. L'utilisation de la vase de barrages peut servir à minimiser le cout de réalisation et jouer le même rôle d'étanchéité qu'un tapis en géomembrane pour les bassins de décantation. Le même cas pour les centres d'enfouissement techniques ou ce qu'on appelle les décharges publiques. Les déchets sont remblayés dans des bassins qui doivent être étanches pour protéger les eaux souterraines.

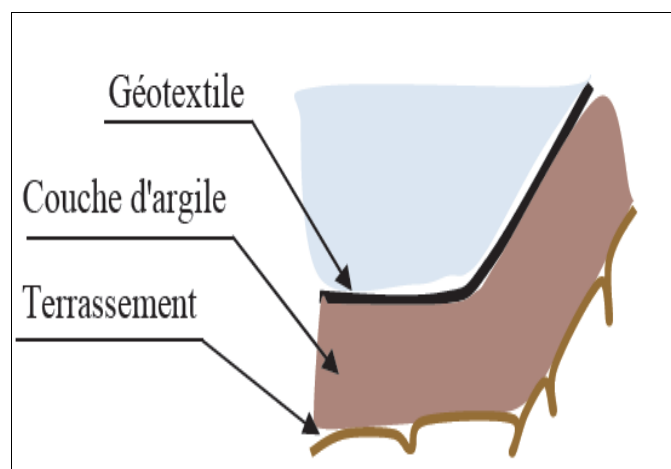


Figure I.12. Valorisation de la vase comme couche étanche pour un bassin de lagunage

f) Valorisation Dans La Construction Des Routes

En géotechnique routière, l'intérêt d'envisager des voies de valorisation réside d'abord dans la demande importante en matières premières et le large éventail de techniques et de qualités acceptables pour les matières premières dans le secteur des travaux publics permettent à un sous-produit de trouver plus facilement un réemploi.

Les projets d'infrastructures dans le domaine des travaux publics nécessitent d'importantes quantités de matériaux dont ceux naturels se font rares et coûteux. Confrontées à la nécessité de trouver des granulats en grande quantité et à faible coût, les entreprises routières se sont rapidement intéressées aux matériaux de recyclage. Ce sujet a été étudié par plusieurs auteurs. Tous les résultats ont donné des avis favorables sur l'utilisation des sédiments dans la construction des routes. Seulement, avant qu'ils soient utilisables, les sédiments doivent être traités pour que leurs caractéristiques physico-mécaniques soient satisfaisantes vis-à-vis des critères géotechniques de la construction routière. Les sédiments se caractérisent par une importante teneur en eau (jusqu'à 200%), en sels (pour les sédiments marins), en argile, en matière organique et parfois en métaux lourds. Ce sont les principaux facteurs qui empêchent l'utilisation des sédiments sans traitement.

Plusieurs études ont été réalisées dans le domaine de valorisation en techniques routières. La méthodologie générale de valorisation décrite dans l'étude de (M. A. Bourabah M.A. et al, 2009) a pour but l'utilisation des sédiments de dragage du barrage de Cheurfas (Algérie) dans une formulation de matériau routier. La formulation retenue est un mélange constitué de 30% de sédiment naturel et de 70% de sable. Pour améliorer les caractéristiques mécaniques du matériau traité, des ajouts de ciment ou de chaux ou une combinaison de ces deux liants ont été effectués. Les auteurs ont conclu que l'ajout d'un matériau granulaire a montré une amélioration de la densité sèche (γ_{dOpt}) et une réduction de la teneur en eau optimale (W_{Opt}), et que l'ajout de liants hydrauliques a permis d'améliorer la portance du matériau ($35 < IPI < 50$) et ont conclu que le sédiment traité peut être utilisé en couche de fondation et de base.

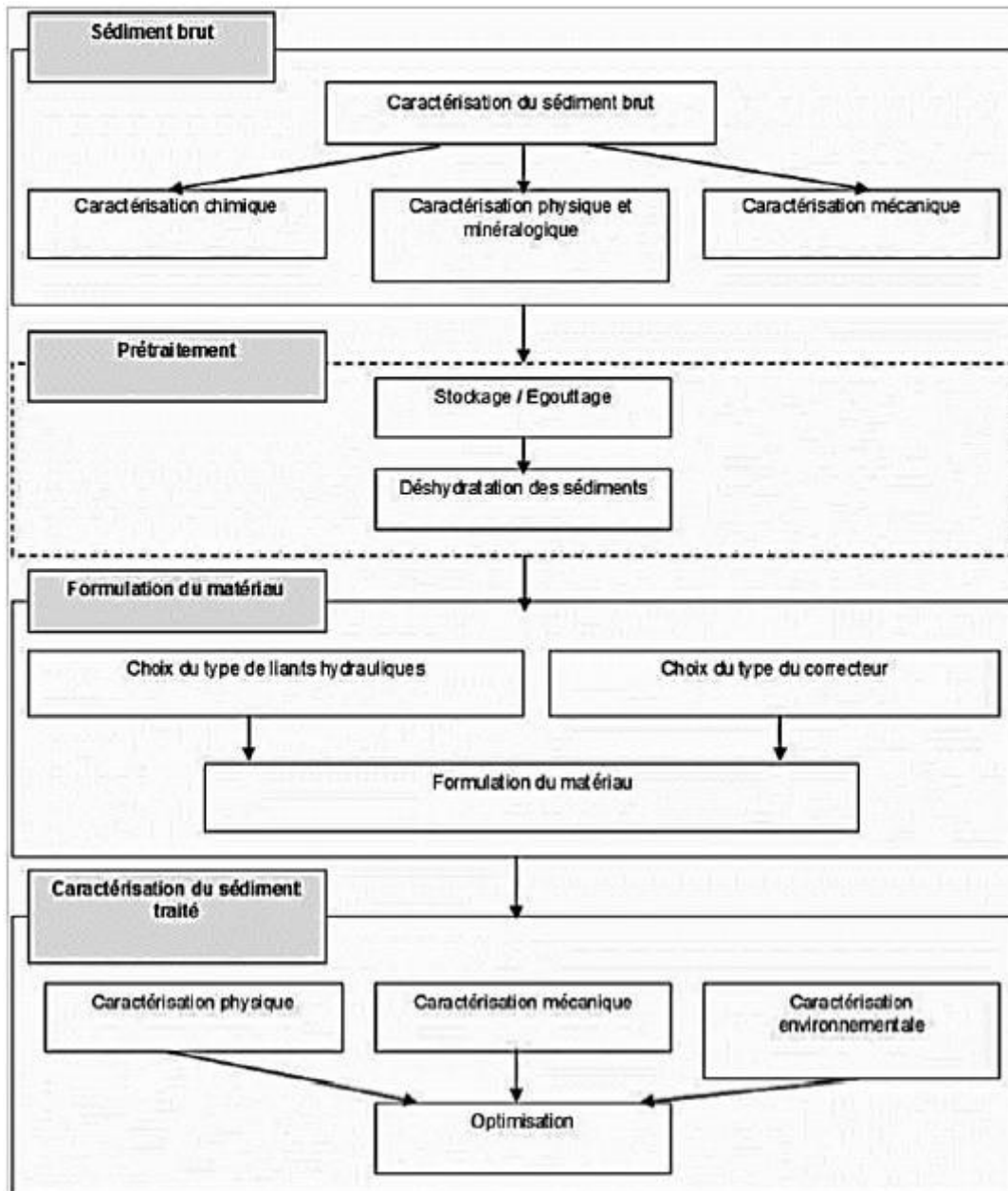


Figure I.13 Approche méthodologique de valorisation des sédiments de dragage en techniques routières.

VII. DEFINITION D'UNE CHAUSSEE

Une chaussée est une structure multicouche constituée de trois parties qui ont chacune un rôle bien défini. Une chaussée est essentiellement destinée à supporter les actions mécaniques des véhicules et à les reporter sur le terrain de fondation sous – jacent, sans que se produisent de déformations permanentes, ni dans le terrain, ni dans la chaussée elle – même. (Coquand, 1978).

a) Structure de chaussée

Une structure routière est constituée d'un certain nombre d'assises superposées qui ont pour rôle essentielle de supporter les charges de trafic et d'assurer leur diffusion selon des niveaux de contraintes supportables par le sol d'infrastructure. En effet, lorsque la contrainte de chargement transmise à travers une couche de chaussée devient supérieure à la charge admissible que celle-ci peut supporter, il s'amorce un processus de dégradation qui conduit inévitablement à la ruine de la structure.

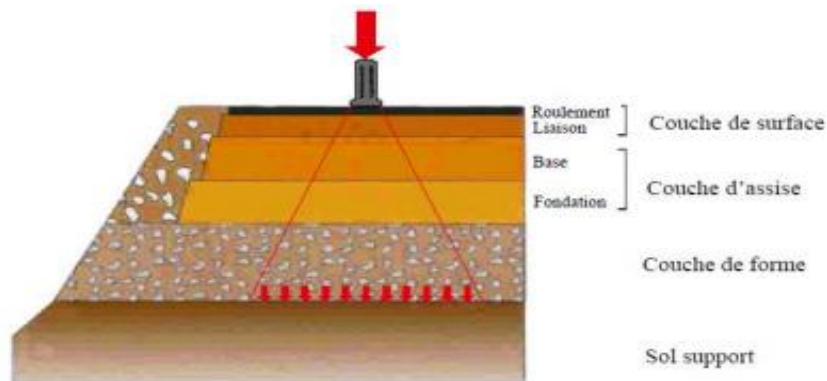


Figure I.14. Les différentes couches qui constituent une chaussée.

b) Plateforme support de chaussée

C'est un ensemble constitué du sol support et d'une couche de forme.

Le sol support : Il est important que le sol soit assez porteur pour supporter la lourdeur engendrée par le trafic, ainsi la portance de la chaussée dépendra essentiellement de la portance du sol support.

La couche de forme : Cette couche, qui ne fait pas partie intégrante de la chaussée, a plusieurs fonctions :

- Pendant les travaux, elle protège le sol support, contribue au nivellement et permet la circulation des engins de chantier ;
- Elle permet de rendre plus homogènes les caractéristiques du sol terrassé et de protéger ce dernier du gel.

c) La couche d'assise

L'assise de chaussée est généralement constituée de deux couches, la couche de fondation, surmontée de la couche de base. Ces couches en matériaux élaborés, le plus souvent liés (bitume, liants hydrauliques), pour les forts trafics, apportent à la chaussée la résistance

mécanique aux charges verticales induites par le trafic. Elles répartissent les pressions sur le support, afin de maintenir les déformations à ce niveau dans les limites admissibles.

1. **Couche de fondation** : Constituée de gravier concassé 0 /40, elle permet la répartition des pressions sur le support ainsi que le maintien des déformations.
2. **Couche de base** : Composée de gravier 0/25 et bitume, elle supporte l'action des véhicules permettant aussi d'atténuer les pressions élevées avant d'être transmise à la couche de fondation.

Couche de surface : Elle est composée des couches de roulement et d'une couche de liaison et elle est en contact direct avec le pneumatique de véhicule et la charge extérieure.

- **Couche de roulement** : C'est la couche supérieure de la chaussée sur laquelle s'exercent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat.
- **Couche de liaison** : Assurer une transition avec les couches inférieures plus rigides.

VIII. Les différents types de chaussées

Les chaussées sont classées selon la nature des matériaux, leur localisation dans la structure de chaussée et l'intensité du trafic (S.E.T.R.A, 1994), on distingue :

a) Les chaussées souples

Ces structures comportent une couverture bitumineuse mince (moins de 15cm), parfois réduite à un simple enduit superficiel, reposant sur une ou plusieurs couches de matériaux granulaires non traités. L'épaisseur globale de la chaussée est généralement comprise entre 30 et 60 cm compactées par couches de 20 à 30 cm.

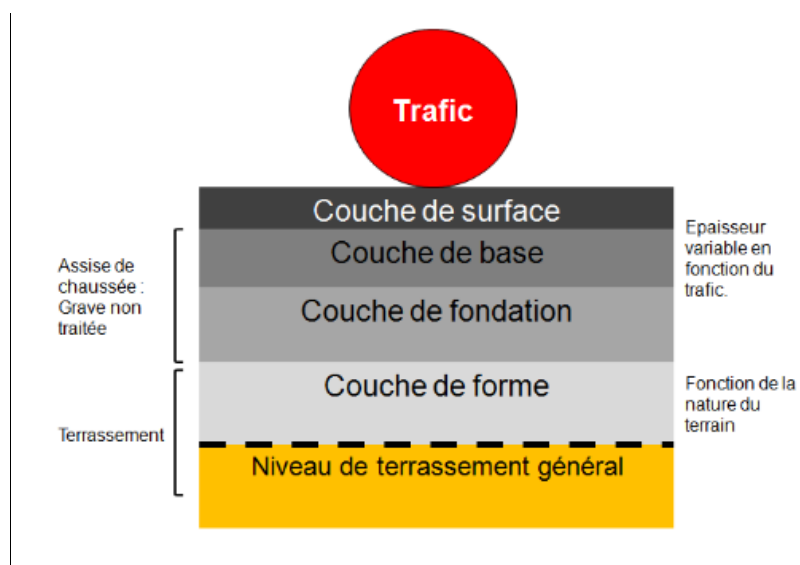


Figure I.15 Structure type d'une chaussée souple.

b) Les chaussées bitumineuses épaisses

Ces structures se composent d'une couche de roulement bitumineuse surmontant un corps de chaussée d'épaisseur comprise entre 15 et 40 cm (composé d'une couche de base et une couche de fondation) en grave traitées aux liants hydrocarbonés ou hydrauliques. Vu la différence d'épaisseur de la couche d'assise entre la chaussée simple et la chaussée épaisse, leur fonctionnement se différent.

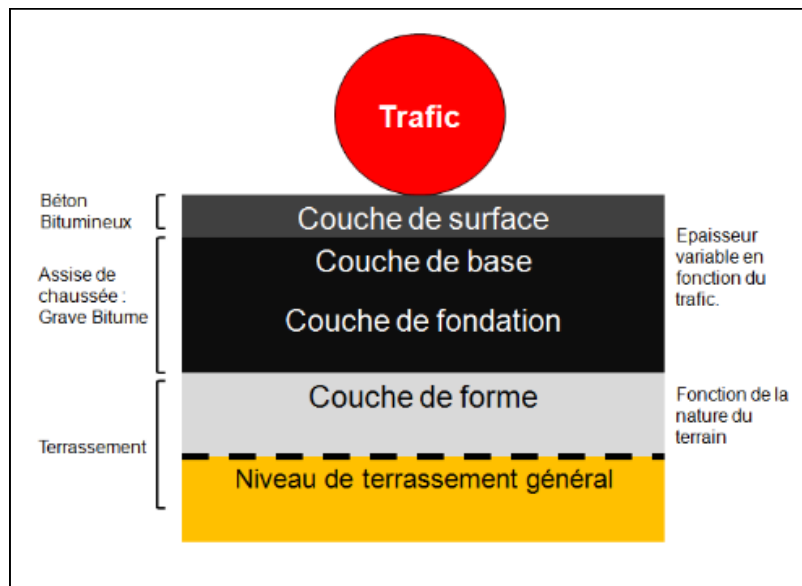


Figure I.16 Structure d'une chaussée bitumineuse épaisse.

La diffusion et l'atténuation des charges du trafic transmises aux sols sont atteints grâce à la rigidité et la résistance en traction.

Le collage des couches a une grande importance pour ce type de chaussée car il permet les allongements maximaux à la base des couches les plus profondes et donc évite les sollicitations en traction de chaque couche, qui conduisent à la ruine prématurée de la structure.

c) Les chaussées semi-rigides (ou à assise traitée aux liants hydrauliques)

Assise traitée aux liants hydrauliques de 20 à 50 cm avec une couche de surface en matériaux hydrocarbonés d'épaisseur 6 à 14 cm.

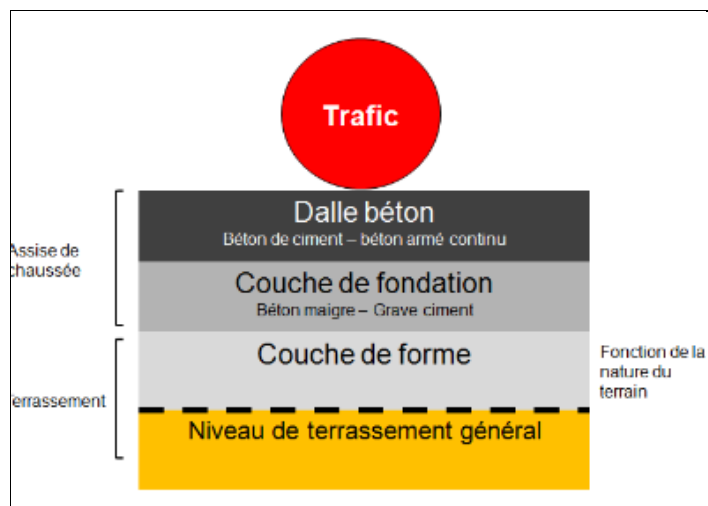


Figure I.17 Structure d'une chaussée semi –rigide.

Le comportement mécanique de cette chaussée est intermédiaire entre celui des chaussées rigides et celui des chaussées souples, la répartition des charges sur le support est bonne mais des contraintes de traction se développent à la base des couches. De plus ces matériaux sont exposés aux retraits thermiques créant ainsi des fissures remontant en surface jusqu'à la couche de forme. Une perte d'étanchéité en est la conséquence conduisant ainsi à une affectation du support avec de multiples déformations ainsi qu'une perte de portance.

d) Les chaussées à structure mixte

Ces structures comportent une couche de surface et une couche de base (10 à 30 cm) en matériaux bitumineux (en général de la grève bitume) sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques (20 à 40cm). L'épaisseur de matériaux bitumineux doit être de la moitié de l'épaisseur totale de la chaussée. Ce type de chaussée empêche la remontée de fissures entre la couche traitée aux liants hydrauliques (retrait) et la couche de grève bitume.

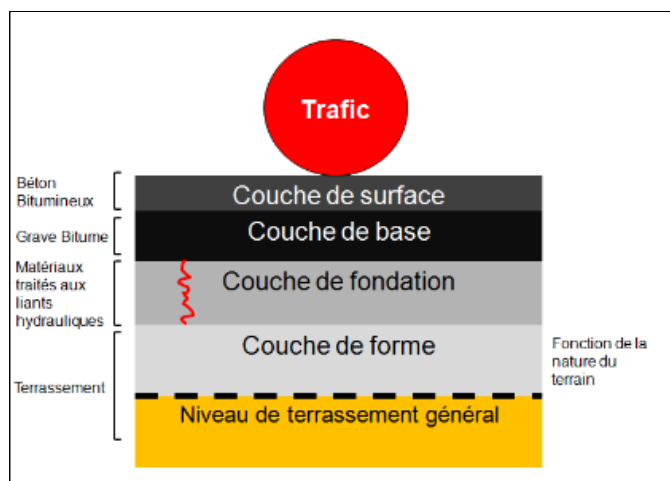


Figure I.18 Chaussée à structure mixte.

e) La chaussée à structure inverse

Ces structures sont formées de couches bitumineuses, d'environ 15 cm d'épaisseur, sur une couche de grave non traitée (environ 12 cm) reposant elle-même sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques. L'épaisseur totale atteint 60 à 80 cm.

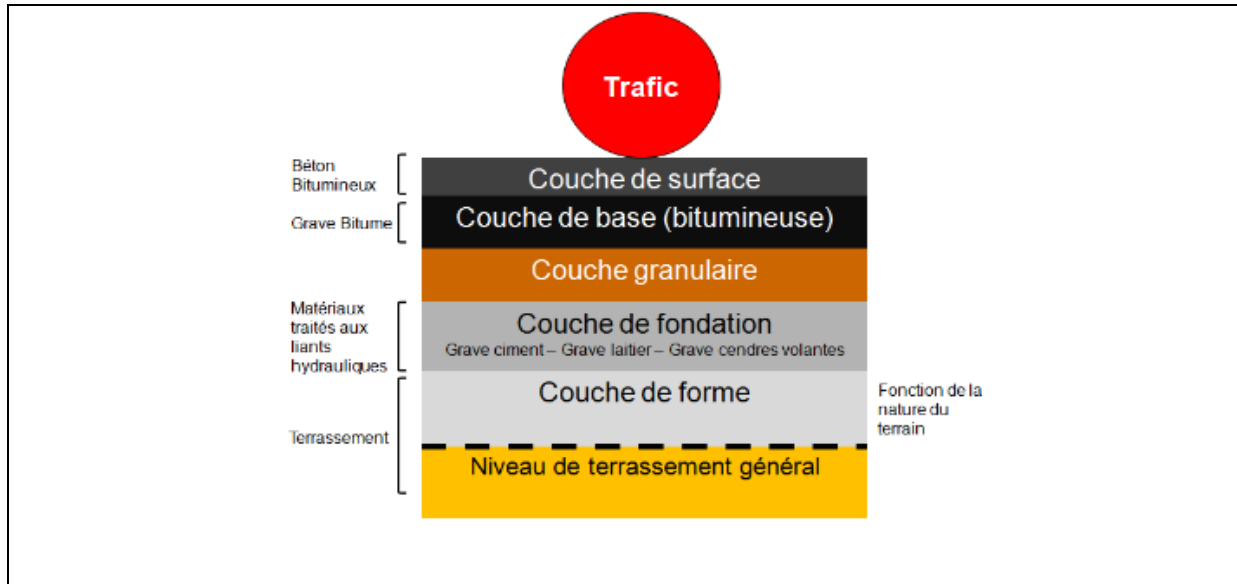


Figure I.19 Chaussée à structure inverse.

f) Les chaussées à structure en béton de ciment (rigides)

Les efforts sont absorbés par ces structures transmettant ainsi très peu au sol..... Leur inconvénient est que la partie basse peut être fragilisée à cause des efforts de traction engendrés par les poutres en béton. La dilatation de ce dernier peut provoquer des fissures si la mise au point de dilatations ou de pré fissuration n'a pas eu lieu.

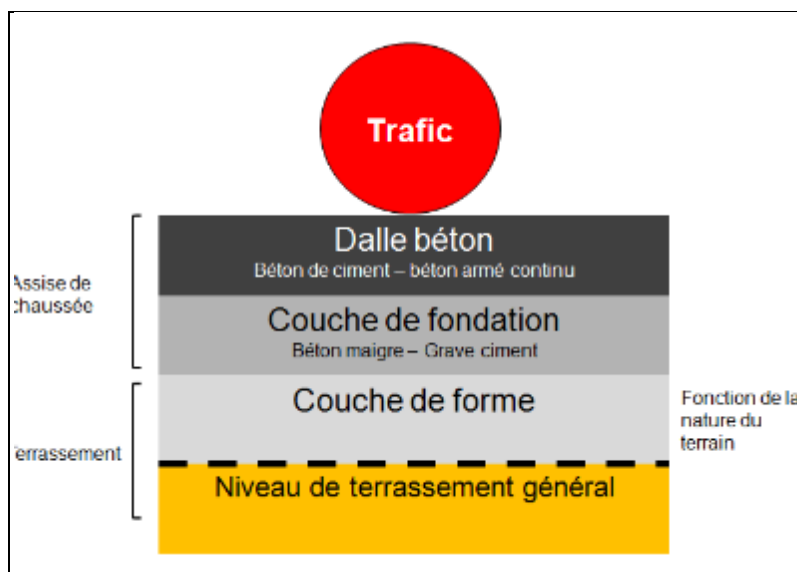


Figure I.20 Chaussée en béton de ciment.

IX DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES

La chaussée doit présenter les qualités recherchées pour qu'elle satisfasse les exigences de l'utilisateur d'une part et pour qu'elle puisse avoir la durée de vie et la qualité de comportement calculées avec toutes les contraintes auxquelles elle est soumise et à moindre coût. Pour cela, en se référant à (Coquand ,1978) et (Faure ,1998), le dimensionnement de la chaussée tient compte des paramètres suivants :

a) Le trafic

C'est le premier paramètre qui entre en jeu pour le dimensionnement d'une chaussée, car le choix des caractéristiques intrinsèques des matériaux est directement lié au poids auxquels sera confrontée notre chaussée.

b) L'environnement (les conditions climatiques)

Le comportement des structures est influencé directement ou indirectement par les conditions climatiques, la température affecte les caractéristiques mécaniques des matériaux bitumineux (module élastique et tenue en fatigue). Elle génère aussi des cycles d'ouverture / fermeture des fissures de retrait des matériaux traités aux liants hydrauliques.

c) Le sol support

Les structures de chaussées reposent sur un ensemble dénommé « plate-forme support de chaussée » constitué du sol naturel terrassé, éventuellement traité, surmonté en cas de besoin d'une couche de forme.

d) La qualité des matériaux

Les matériaux utilisés doivent résister à des sollicitations répétées un très grand nombre de fois (le passage répété des véhicules, notamment lourds).

e) Les matériaux routiers

1) Les granulats :

Les granulats sont des substances granulaires formées d'un ensemble d'éléments solides de dimensions généralement comprises entre 0 et 100 mm ; ces éléments sont obtenus par concassage, criblage etc.... et sont utilisés dans la fabrication de différents matériaux de construction et dans les différentes couches de chaussées. (D.Guy.2007).

En technique routière, l'importance de la qualité des granulats a été longtemps sous-estimée. L'approfondissement des techniques a conduit, peu à peu, les ingénieurs routiers à prendre connaissance de cet ensemble de particules qui forment de 90 à 95 % en poids, des couches de roulement, et de 100% dans la majorité des cas, des fondations des routes. Ces matériaux granulaires sont soumis à de nombreuses sollicitations :

- Les pneus à crampons ;

- l'action polissant des pneus ;
- le trafic lourd et intense ;
- le gel et dégel ;
- l'action de l'équipement de chantier lors de la construction de routes.

Il est donc nécessaire pour lutter contre l'usure des pavages et leur dégradation lors de la construction de routes, de connaître et de caractériser le mieux possible ces ensembles de fragments.

2) Les caractéristiques exigées des granulats

Ces caractéristiques dépendent :

- **De la qualité de la roche**
 - Dureté en présence d'eau mesurée par l'essai Micro Deval en présence d'Eau (M.D.E);
 - résistance au choc mesurée par l'essai Los Angeles (L.A.) ;
- **de la qualité de la fabrication :**
 - Bonne forme (pas trop plats) ;
 - propreté (pas de fines argileuses) ;
 - granularité (courbe granulométrique correcte).

3) Choix des catégories de granulats

Ce choix est à effectuer en fonction de l'intensité du trafic, de la position des granulats dans la chaussée (fondation, base, roulement...), et de la technique employée (enrobé, béton, enduit...).

Il faut définir la catégorie de résistance mécanique (qui dépend des qualités intrinsèques des roches d'origine) et la catégorie des caractéristiques de fabrication.

On utilisera pour cela la directive "Spécifications relatives aux granulats pour chaussées" (S.E.T.R.A.1984), dont il faut impérativement actualiser les catégories avec la version la plus récente de la norme NF P 18-101.

4) Les différentes familles de matériaux

La technique routière française fait appel à trois grandes familles de matériaux, toutes à base de granulats :

- matériaux non liés « GNT » ;
- matériaux traités aux liants hydrocarbonés GB, BB, etc... ;
- matériaux traités aux liants hydrauliques GC.

5) Les matériaux pour assises de chaussées

- **Grave Non Traitée G.N.T. [NF P 98-129. 1994.]**

Utilisation

Plates-formes supports de chaussées ;

Couches de fondation ou fondation /base.

Épaisseur de mise en œuvre 15 à 35 cm.

- **Grave Hydraulique [NF P 98-116. 2000]**

Utilisation

Couches de fondation, base ou fondation /base.

Épaisseur souhaitable d'utilisation 18 à 28 cm ;

Des épaisseurs supérieures peuvent être envisagées avec des ateliers de compactage adaptés.

- **Sable Hydraulique [NF P 98-113.1999]**

Utilisation

Réalisation des couches de fondation.

Épaisseur souhaitable 18 à 32 cm ;

Épaisseur maximale par couche de 32 cm ;

Des épaisseurs supérieures peuvent être envisagées avec des ateliers de compactage adaptés.

- **Béton de Ciment [NF P 98-170.1992]**

Utilisation

Couches de base et/ou couche de roulement ;

Réalisation des fondations de chaussées à revêtement en béton pervibré et des fondations des chaussées à revêtement en pavés de pierre naturelle ou en béton.

X. CONCLUSION

Les barrages algériens sont menacés par l'envasement en raison de désertification accélérée et l'érosion hydrique intense des bassins versants telliens. Pour certaines retenues, la sédimentation annuelle peut représenter des valeurs de l'ordre de 6 % du volume total. Les effets néfastes de ce phénomène sont nombreux, allant de la réduction considérable de la capacité d'emmagasinement et de stockage du barrage, jusqu'à la dégradation nette de la qualité de l'eau du barrage.

L'objectif de ce travail est de trouver une issue pour se débarrasser de cette vase au moindre cout et sans nuire à l'environnement. Il s'agit de les utiliser éventuellement comme matériau dans le domaine routier (en couches inférieures de chaussées). Pour cela de nombreux essais (essais d'identification et essais de portance et essais mécaniques) seront effectués pour confirmer ou non cette piste de valorisation.

Chapitre II
IDENTIFICATION DES
MATERIAUX

CHAPITRE II

IDENTIFICATION DES MATERIAUX

I. INTRODUCTION

L'étude du comportement mécanique d'un matériau passe premièrement par la réalisation d'essais d'identification en laboratoire. Les essais mise en œuvre ont pour objectifs de déterminer les principaux paramètres physiques généralement utilisés en mécanique des sols.

Ainsi sont déterminés :

- La teneur en eau (w) ;
- Masse volumique des grains solides (ρ_s) ;
- Masse volumique humide (ρ_h) ;
- Masse volumique sèche (ρ_d) ;
- Limites d'Atterberg ;
- Valeur au bleu de méthylène
- Équivalent de sable ;

II. PRESENTATION ET IDENTIFICATION DES MATERIAUX

Dans ce travail, les mélanges étudiés sont composés de trois matériaux essentiels, à savoir :

- La vase
- Sable de dune
- Sable concassé



Figure 1.Photos de la vase du barrage d'Oud k'Sob (M'sila).

II.1. Origine du matériau utilisé

La vase utilisée dans cette étude (voir figure 2 et figure 3) est prélevée du barrage d'Oued Ksob Wilaya de Msila

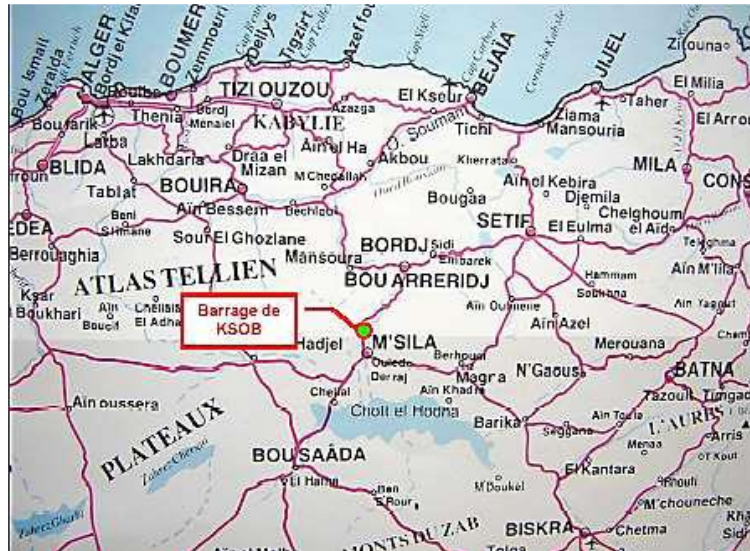


Figure 2. Localisation du barrage de Oued Ksob



Figure 3. Barrage K'sob.

Le Barrage K'sob est situé au lieu-dit HAMMAN entre les monts de Kef El-Ouerad et Djebel El-Gruon à 15 km au Nord-Est de la ville de M'sila sur la route nationale en direction vers la Wilaya de B.B.A fut construit à cet endroit sur l'oued K'sob entre les années 1934 et 1940 permettant l'irrigation du périmètre agricole de la Commune de M'sila. Par suite de

l'envasement progressif de la retenue, sa capacité initiale de 12 hm³ est réduite à 3 hm³ en 1970, sur une hauteur construite de 31m.

Pour remédier à cette situation, la surélévation du barrage K'sob a été prévue dans le cadre du premier plan quadriennal.

La surélévation du barrage sur une hauteur de 15 m portera la capacité utile de la retenue à 29,5 hm³ et assurera une régularisation à l'irrigation de 13.000 ha dont 4.250 ha pour la culture intensive (culture maraîchère, arbres fruitiers et fourrage etc....) et 2.000 ha pour la culture des céréales.

L'évacuateur de crue se compose de deux (02) pertuis de demi-fond équipés de vannes secteurs actionnées par des vérins, commande hydraulique à la côte 585,10 m. Il est équipé de Trois (03) vannes secteur à surface actionnées par treuil à câble à la côte 597,00 m. Il est équipé aussi de trois (03) vannettes de dévasement DN400 bouchées, et une vanne de dévasement DN1000.

La station d'irrigation (Brise charge) est composée d'un bassin circulaire de 300 m³, d'un flotteur et des modules de débit 2500 l/s.

La vidange de fonds dans le corps de la digue st assuré par deux (02) pertuis comprenant chacun un entonnoir de prise en béton situé à l'amont des voûtes à la côte normale 561,80 m chacun de ces pertuis pouvait évacuer 55 m³/s, équipé aussi de (04) vannettes (évacuation 4×2m³/s) de dévasement DN400 actuellement en service.

Les prises d'eau dans le corps de la digue sont équipées de trois (03) prises d'eau à travers la digue : 02 anciennes prises à la côte 561,80 m et la nouvelle prise à la côte 593,10 m qui permettent le débit sortant de 9,5 m³/s nécessaire à l'irrigation[15].

III. ESSAIS D'IDENTIFICATION

Après la récupération du matériau à partir du Barrage de Oued Ksob, une étude d'identification a été réalisée au laboratoire pour déterminer ses caractéristiques physiques.

III.1 La teneur en eau naturelle (w) :

La teneur en eau est déterminée selon la norme NF P94-050 (méthode par étuvage). La détermination de cette teneur consiste à étuver une quantité représentative de matériau à l'état naturel à une température de 75 °C pendant 24 heures.

L'échantillon est alors pesé avant et après étuvage. On détermine alors sa teneur en eau par l'équation suivante : $W = (M_h - M_s) / M_s$.

Tableau II.1 : Teneurs en eau de matériaux étudiées.

Sol	Teneur en eau (W%)
Matériau Vase	49%

La vase étudiée présente une teneur en eau très élevé.

III.2 La masse volumique des particules solide ρ_s (méthode du pycnomètre)

La détermination de la masse volumique des particules solides est effectuée selon la norme NF P94-054. Elle consiste à mesurer le volume des particules solides par un pycnomètre en utilisant l'eau distillée ou déminéralisée.

ρ_s est utilisée pour connaître l'indice des vides, le degré de saturation et la porosité.

L'échantillon de sol est séché à l'étuve puis pesé. Le volume des particules est déduit par pesée à l'aide d'un pycnomètre en substituant de l'eau de masse volumique connue aux particules solides.

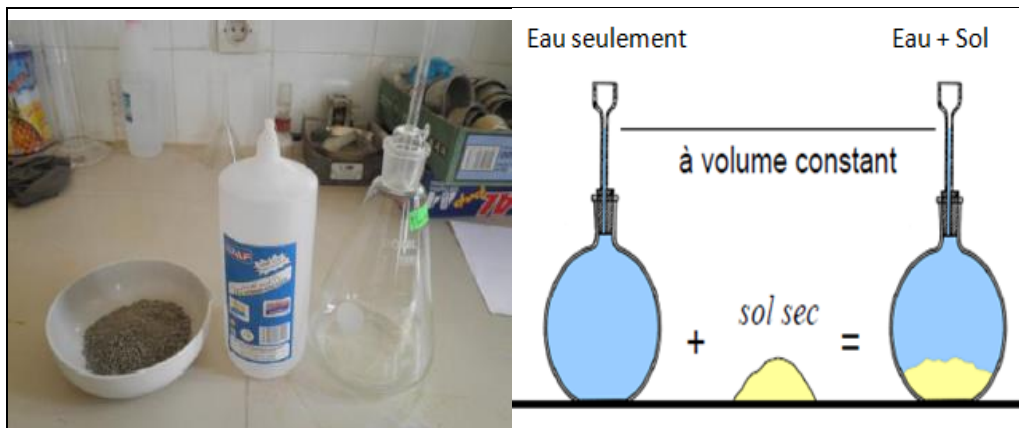


Figure 4. Essai au pycnomètre de la masse volumique spécifique.

La masse volumique des particules solides est calculée avec la formule suivante :

$$\rho_s = \rho_w (M2 - M1) / (M4 - M1 + M2 - M3)$$

Avec :

M1 : Masse du pycnomètre vide + bouchon.

M2 : Masse du pycnomètre + particule solide + bouchon.

M3 : Masse du pycnomètre + particule solide + eau + bouchon.

M4 : Masse du pycnomètres + eau + bouchon.

ρ_w : Masse volumique de l'eau égale à 1 (g/cm³).

Les résultats obtenus pour l'essai réalisé sont présentés dans le tableau III.2.

Tableau II.2 : Résultats de la masse volumique des particules solides.

M₁	68,34
M₂	86,5
M₃	181,9
M₄	171,11
ρ_s	2,59 (g/cm ³).

III.3 La masse volumique des particules solide ρ_s (méthode des éprouvettes graduées) (NF P 94-053) :

Par définition la masse volumique d'un corps est sa masse (apparente ou spécifique) par unité de son volume.

La masse volumique réelle est définie comme le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume occupé par la matière solide, compris les vides contenus dans les grains volume réel) ($\rho = m / V$). Ce rapport est une constante qui est propres aux caractéristiques physiques du granulat.



Figure.5 Mesure de la masse volumique (Méthode des éprouvettes graduées)

Tableau II.3 Résultats de la masse volumique aux éprouvettes graduées

N° d'essai	V1	V2	V2-V1	γ_{abs}
1	160	171,7	11,7	2,57
2	160	172	12	2,50

3	170	171	11	2,72
Moyenne	2,59(g/cm ³).			

III.4 Analyse granulométrique par tamisage (NF P 94-056)

Elle a pour but de déterminer la distribution des particules qui forment le squelette des sols en vue de leur classification.

L'essai consiste à séparer les grains agglomérés d'une masse connue de matériau par brassage sous l'eau, à fractionner ce sol, une fois séché, au moyen d'une série des tamis et à peser successivement le refus cumulé sur chaque tamis. La masse de refus cumulé sur chaque tamis est rapportée à la masse totale sèche de l'échantillon soumis à l'analyse (figure).



Figure.6 Analyse granulométrique

a) *Présentation des résultats obtenus pour la vase.*

Le tableau ci-dessous présente les résultats de l'essai réalisé :

Tableau II.4 Résultats de l'analyse granulométrique de la vase

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulé	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
5	0	0	0,00	100,00	100
4	0	0	0,00	100,00	100
3,15	1,18	1,18	0,12	99,88	100
2	1,39	3,75	0,38	99,63	100
1,25	2,57	6,32	0,63	99,37	99
1	3,56	9,88	0,99	99,01	99
0,63	33,2	43,08	4,31	95,69	96
0,315	36,2	79,28	7,93	92,07	92

0,08	49,3	128,58	12,86	87,14	87
------	------	--------	-------	-------	----

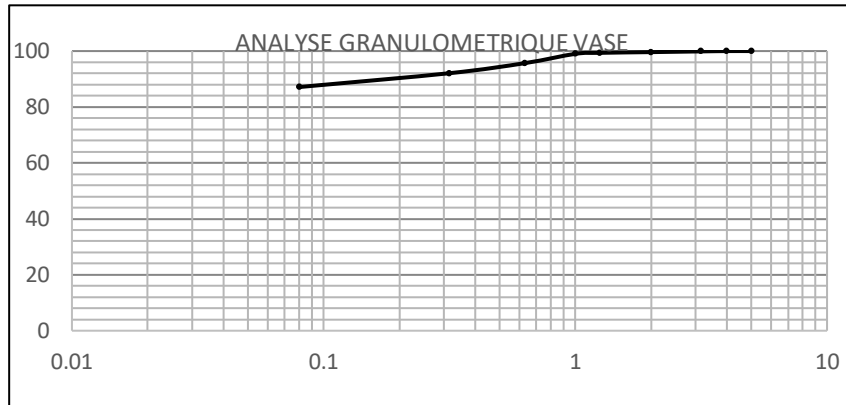


Figure II.7 Courbe granulométrique de la vase

III.5 Limite d'Atterberg (NF P94-051)

Les limites d'Atterberg représentent les teneurs en eau qui délimitent les quatre états de consistance, à savoir, l'état solide (sans retrait), l'état semi-solide (avec retrait), état plastique et état liquide. Ces limites, qui s'expriment en pourcentages, soit : la limite de retrait (W_s), la limite de plasticité (W_p) et la limite de liquidité (W_l).

a) **La limite de liquidité (W_l)** : est la teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états liquide et plastique (sépare l'état liquide de l'état plastique). Elle peut atteindre 1000% dans le cas de certaines argiles, mais généralement elle ne dépasse pas 100%.

b) **La limite de plasticité (W_p)** : est la teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états plastique et semi-solide. A cette teneur en eau, le sol perd sa plasticité et se fissure en se déformant lorsqu'il est soumis à de faibles charges. Cette teneur en eau varie de 0% à 100%, mais elle est généralement inférieure à 40%.

La limite de retrait (W_s) : est la teneur en eau limite qui sépare l'état semi-solide de l'état solide. C'est la teneur en eau maximale que peut contenir le sol sans charge de volume.

c) **L'indice de plasticité I_p** : Il représente la différence entre les limites de liquidité et de plasticité. Il définit donc l'étendue du domaine plastique.

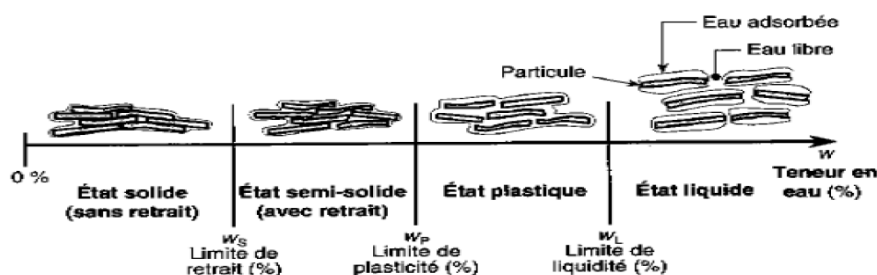


Figure II.8 Différents états de consistance (Robitaille et Tremblay, 1997).

IV. Présentation des résultats des différents matériaux

IV.1 Résultats obtenus par l'essai des limites d'Atterberg appliqué à la vase

a) Limites de Liquidité

Pour déterminer la limite de liquidité, on étend sur une coupelle une couche de matériau dans laquelle on trace une rainure au rayon d'un instrument en forme de V (figure II.9). On applique à la coupelle des chocs semblables en comptant le nombre de chocs nécessaires pour fermer la rainure sur 1 cm, on mesure alors la teneur en eau de la pâte.

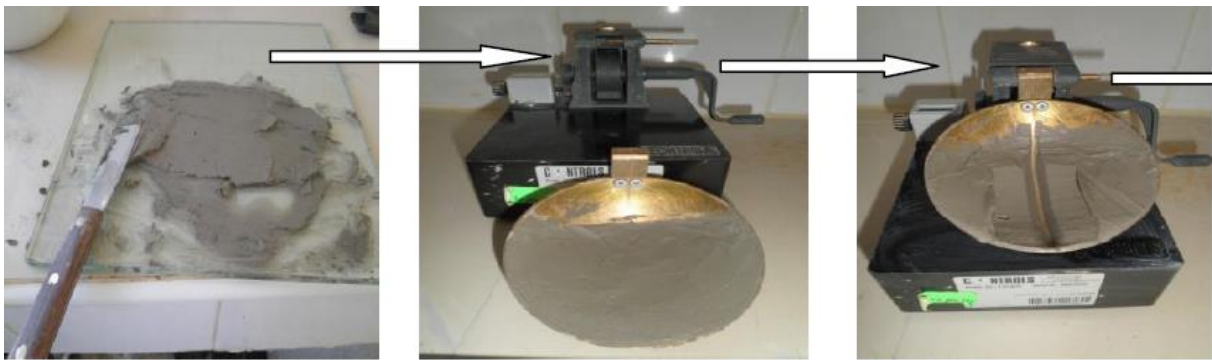


Figure II.9 Détermination de la limite de liquidité

Par définition, la limite de liquidité est la teneur en eau qui correspond à une fermeture en 25 chocs.

Si on étudie la relation qui lie le nombre de chocs N à la teneur en eau W , on constate que la courbe représentative de cette relation est une droite en coordonnées semi-logarithmique lorsque le nombre de chocs est compris entre 15 et 35. On réalise quatre essais qui doivent s'échelonner régulièrement entre 15 et 35 ou, mieux, entre 20 et 30 chocs. La droite la plus représentative est ensuite tracée à partir des points expérimentaux (figure III.11).

Pour le même intervalle des valeurs de N la formule approchée :

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

Représente également assez bien les résultats expérimentaux. On peut donc employer avec prudence cette relation qui permet de déterminer la limite à l'aide d'une ou deux mesures seulement.

Les résultats sont donnés au tableau 5, et représentés par la figure II.10.

Tableau II 5. Présentation des résultats pour la limite de liquidité de la vase.

	Essai 1		Essai 2		Essai 3	
Nbre de coups	16		23		31	
N° de la tare	1	2	K	I	S	I
Masse de la tare	24,2	24,7	14	13,8	23,5	23,7
M (Sol Humide +tare)	30,8	30,6	30,6	30,4	36,8	37,5
Masse (Sol Sec+tare)	28,3	28,4	24,6	24,7	32,4	33
Masse l'eau	2,5	2,2	6	5,7	4,4	4,5
Masse du sol sec	4,1	3,7	10,6	10,9	8,9	9,3
Teneur en eau (%)	60,98	59,46	56,60	52,29	49,44	48,39
Moyenne (%)	60,22		54,45		48,91	

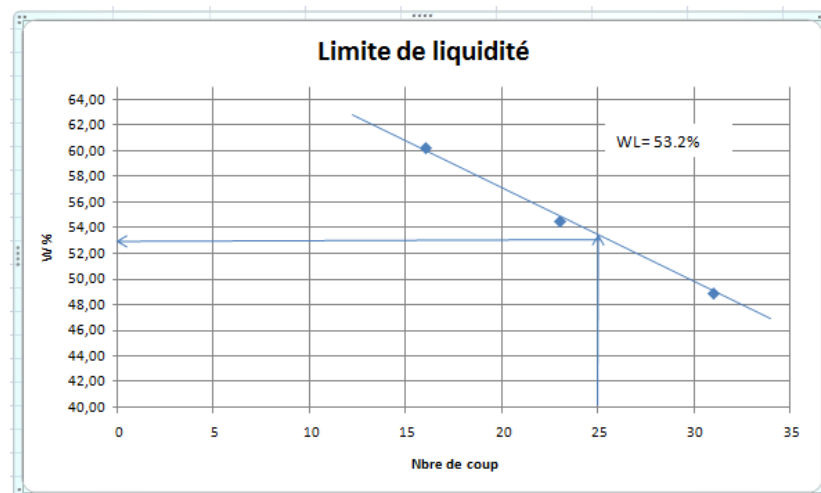


Figure II 10 Limite de liquidité

À partir de cette courbe on tire la limite de liquidité à 25 coups est égale à 53.2%

Donc : $W_L = 53.2\%$

b) Limite de plasticité W_p (NF P 94-051)

Pour déterminer limite de plasticité, on roule l'échantillon en forme de cylindre qu'on amincit progressivement (figure II.11).la limite de plasticité est la teneur en eau du cylindre qui se brise en petits tronçon de 1 à 2 cm de long au moment où son diamètre atteint 3 mm.il

faut donc réaliser des rouleaux de 3 mm de diamètre sans pouvoir faire de rouleaux plus fin. On exécute en général deux essais pour déterminer cette limite.

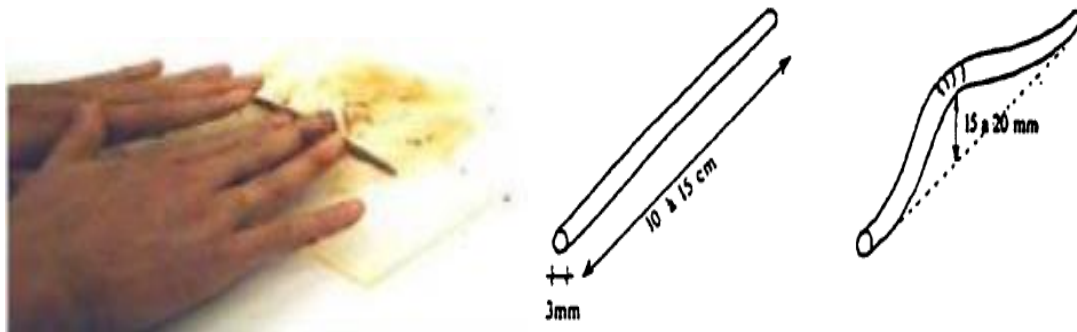


Figure II.11 Détermination de la limite de plasticité.

Ces deux limites sont d'une importance fondamentale en géotechnique car elles indiquent la sensibilité d'un sol aux modifications de sa teneur en eau (J.Léreu, 2006).

Les résultats sont donnés au tableau II.6 et représentés par la figure II.12.

Tableau II.6 Présentation des résultats pour la limite de plasticité.

	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Masse de la tare	42	46,2	43,1
Masse (Sol Humide	45,4	49,2	45,3
Masse (Sol Sec +tare)	44,6	48,5	44,8
Masse l'eau	0,8	0,7	0,5
Masse du sol sec	2,6	2,3	1,7
WP	30,8	30,4	29,4
Moyenne (%)	30,2		

c) Indice de plasticité de la vase I_p (NF P 94-051),

L'indice de plasticité, noté I_p , est le paramètre le plus couramment utilisé pour caractériser l'argilosité des sols, Il s'exprime par la relation :

$$I_p = W_L - W_p$$

Il mesure l'étendue du domaine de plasticité, domaine pendant lequel on peut travailler le sol .Il a une grande importance dans tous les problèmes de géotechnique routière ; Il est préférable qu'il soit le plus grand possible. (J.Léreu ;2006)

L'application numérique nous donne une valeur de : $I_p = 23$

Le GTR 92 (guide technique pour la Réalisation des remblais et des couches de forme septembre 1992) retient pour I_p les seuils d'argilosité suivants :

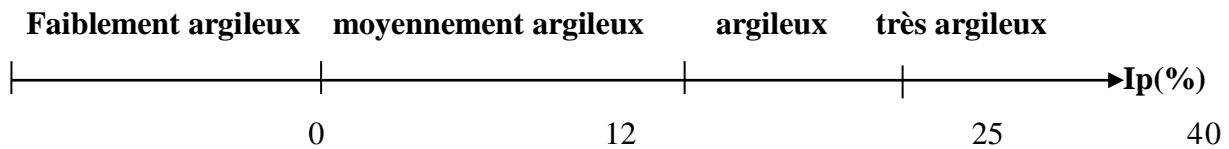


Figure II 12. Classification de sol selon GTR 1992.

➤ D'après la classification GTR 92 la vase est **un sol argileux**.

Tableau IV. 8 Classification des sols fins selon l'indice de plasticité I_p

Indice de plasticité	Degré de plasticité
$0 < I_p < 5$	Non plastique (l'essai perd sa signification dans cette zone de valeurs)
$5 < I_p < 15$	Moyennement plastique
$15 < I_p < 40$	Plastique
$I_p > 40$	Très plastique

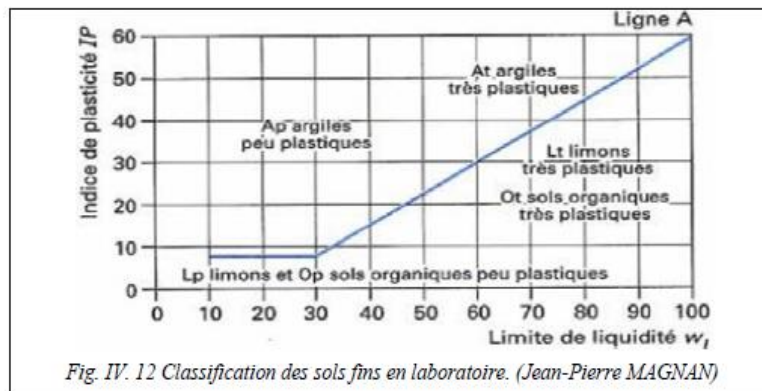


Fig. IV. 12 Classification des sols fins en laboratoire. (Jean-Pierre MAGNAN)

Figure II.13 Classification de la vase selon le LPC.

D'après la classification LPC Présentés dans la figure ci –dessus, on se repère sur le tableau ci-dessus et à l'issu des valeurs trouvés, à savoir $WL = 53.2$ et $IP=23$, on peut conclure que Notre matériau est un **limon ou un sol organique plastique**.

d) Valeur au bleu de méthylène (VBS) de la vase (NF P 94 – 068).

Cet essai permet de mesurer la quantité et l'activité de la fraction argileuse contenue dans le sol. L'essai s'effectue sur 70 g de matériau trempé dans 0,5 litre d'eau distillée et maintenus en permanence sous agitation.



Figure II.14 Matériel d'essai au bleu de méthylène – *Essai à la tâche*.

L'essai consiste à mesurer par dosage la quantité de bleu de méthylène pouvant être adsorbé par l'échantillon de sol testé. Plus la fraction argileuse est importante plus elle adsorbe du bleu de méthylène. Le test permet de repérer l'instant de la saturation au bleu, des particules d'argile. On prélève une goutte de liquide contenant le sol imbibé de bleu, que l'on dépose sur un papier filtre spécial.

- Si la goutte centrale bleu est entouré d'une zone humide incolore le test est négatif, on continue alors le dosage au bleu.
- Si le test est positif, la zone humide est teintée de bleu c'est-à dire on arrête le dosage.



Figure II.15 Résultats de l'essai à la tâche.

La valeur au bleu du sol est donnée par la relation suivante :

$$VBS = Mb / Ms \times 100 \text{ et } Mb = V \times 100$$

Avec :

Mb : la masse de bleu permettant la saturation par adsorption (g) ;

Ms : masse sèche de la prise d'essai (g) ;

V : volume de solution de bleu utilisée (cm³).

Tableau II.7 Valeurs de VBS

VBS (en gr de bleu pour 100g de sol)	Désignation du sol
$VBS \leq 0.2$	Sol sableux
$0.2 < VBS \leq 2.5$	Sol limoneux
$2.5 < VBS \leq 6$	Sol limoneux – argileux
$6 < VBS \leq 8$	Sol argileux
$VBS > 8$	Sol très argileux

Tableau II.8 Valeurs de VBS obtenus pour la vase.

essai	M de vase	D de eau	VBS
1	30g	500ml	3,16
2	30g	500ml	3,25
Moy	319		

$$VBS_{(vase)} = 3,19$$

D'après la classification de Philipponat la valeur du bleu de notre vase est égale à 3.19 ($2,5 < VB < 6$). Notre sol appartient donc à la classe des «**sols limoneux argileux**».

IV.2 Présentation de quelques résultats des matériaux d'ajout à savoir sable de dune et sable concassé.

a) Sable de dune

Le sable de dune utilisé dans notre étude est un matériau naturel prélevé de la région de Boussaâda wilaya de M'sila (figure II.16)



Figure II.16 Photos de l'origine de prélèvement du sable.

Après la récupération de matériau, une étude d'identification a été réalisée au laboratoire pour déterminer ses caractéristiques physiques et qui sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II.9 Equivalent de sable du sable de dune

Masse vol des particules solides	2,57 (g/cm ³).
Équivalent de sable	92

❖ **Analyse granulométrique du sable de dune**

Le tamisage effectué a été réalisé sur un échantillon de sable sec et les résultats obtenus de cet essai sont présentés dans le tableau qui suit :

Tableau II.10 Résultats de l'analyse granulométrique du sable de dune

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulé	Pourcentage Refus	Pourcentage passant	Observations
5	0,03	0,03	0,00	100,00	100
4	0,24	0,27	0,03	99,97	100
3,15	1,18	1,45	0,15	99,86	100
2	1,39	4,02	0,40	99,60	100
1,25	2,57	6,59	0,66	99,34	99
1	3,56	10,15	1,02	98,99	99
0,63	72,35	82,5	8,25	91,75	92
0,315	419,28	501,78	50,18	49,82	50
0,08	280,43	782,21	78,22	21,78	22

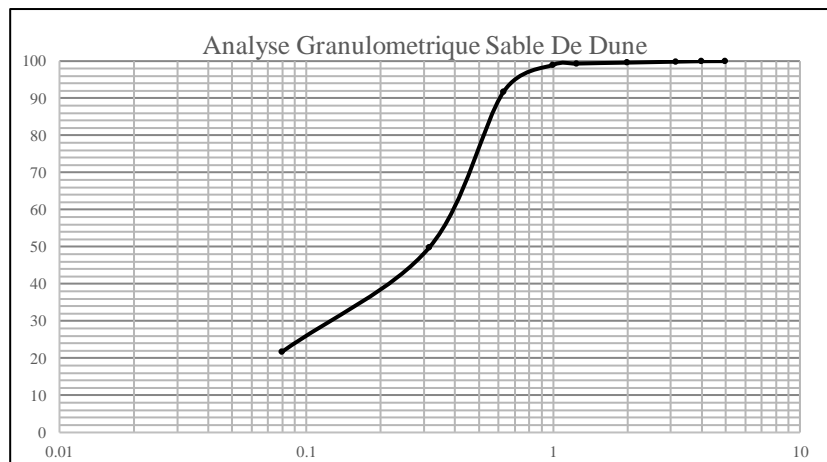


Figure II.17 Courbe granulométrique du sable de dune.

b) Sable concassé

Le sable concassé utilisé dans notre étude est pris à partir du matériau disponible au niveau de notre université (Figure II.18)



Figure II.18 Sable Concassé

Après la récupération du matériau, une étude d'identification a été réalisée au laboratoire pour déterminer leurs caractéristiques physiques du sable concassé et les valeurs sont donnés sur le tableau suivant :

Tableau II.11 Equivalent de sable du sable concassé

Masse vol des particules solides	2,61 (g/cm ³).
Équivalent de sable	60,41

❖ **Analyse granulométrique du sable concassé.**

Pour le sable concassé, un tamisage sec a été effectué sur un échantillon de sable concassé dont les résultats obtenus sont présenté dans le tableau qui suit et représenté par la courbe granulométrique.

Tableau II.12 Résultats de l'analyse granulométrique : sable concassé

Ouverture	Refus partiel	Refus cumulé	Pourcentage	Pourcentage	Observations
			refus	passant	
5	10	10	1,00	99,00	99
4	3	13	1,30	98,70	99
3,15	8	21	2,10	97,90	98
2	216	237	23,70	76,30	76
1	264	501	50,10	49,90	50
0,63	152	653	65,30	34,70	35
0,315	179	832	83,20	16,80	17
0,08	21	853	85,30	14,70	15

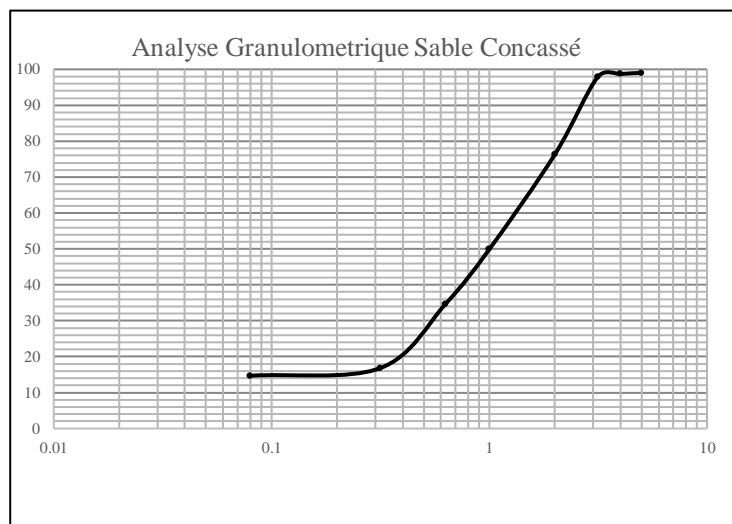


Figure II.19. Courbe granulométrique du sable concassé

V. ÉTUDE DE COMPORTEMENT PHYSIQUE DE MELANGE (VASE + SABLE DE DUNE / VASE + SABLE CONCASSE).

Une série d'essai a été réalisée dans la présente étude sur des échantillons de vase avec différentes proportions sable, à savoir :

Vase + 15% sable de dune.

Vase + 30 % sable de dune.

Vase + 15% sable concassée.

V.1 Expression des résultats pour (Vase + 15 % sable de dune)

V.1.a) Limite de liquidité

Les résultats obtenus sont donnés au tableau suivant puis sont représentés par le graphique de la figure correspondante.

Tableau II.13 Limite de liquidité (Vase + 15 % sable de dune)

	Essai 1		Essai 2		Essai 3		Essai 4	
Nbre de coups	18		24		30		34	
N° de la tare	1	2	K	I	S	I	A	I
Masse de la tare	23,85	24,16	20	24	23,6	24,1	12,3	13,9
M (Sol Humide +tare)	38,9	40,3	30,23	37	40,8	38,1	22,4	22,2
M (Sol Sec + tare)	33,7	34,8	26,8	33,1	35,8	34,05	19,8	20,1
Masse l'eau	5,2	5,5	3,43	3,9	5	4,05	2,6	2,1
Masse du sol sec	9,85	10,64	6,8	9,1	12,2	9,95	7,5	6,2
Teneur en eau (%)	52,79	51,69	50,44	42,86	40,98	40,70	34,67	33,87
Moyenne (%)	52,24		46,65		40,84		34,27	

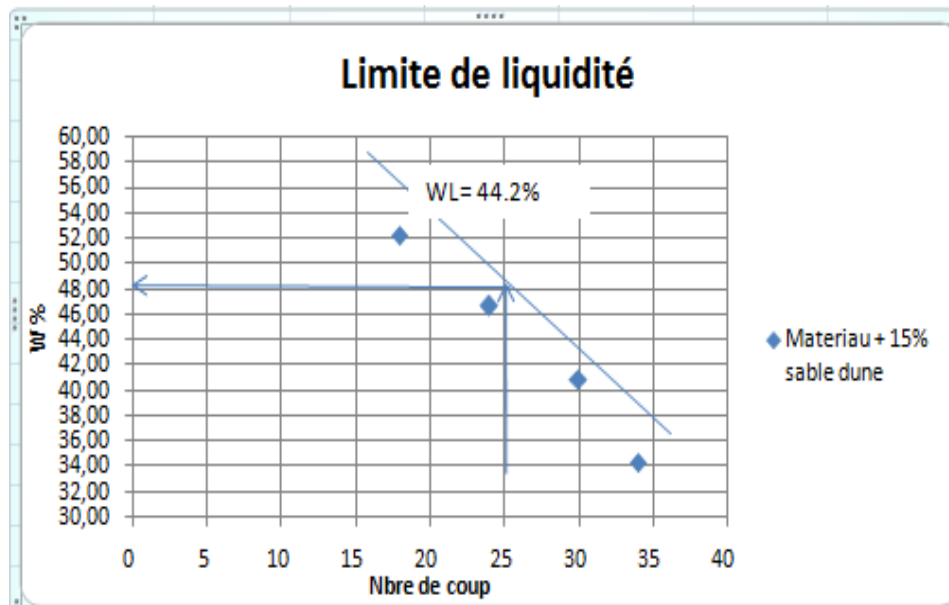


Figure II.20 Courbe Limites de liquidité (Vase + 15 % sable de dune).

V.1.b) Limite de plasticité

Les résultats obtenus sont donnés au tableau suivant puis sont représentés par le graphique de la figure correspondante.

Tableau II.14 Résultats essai de limites de plasticité (Vase + 15 % sable de dune)

	Essai 1		Essai 2		Essai 3	
Masse de la tare	8,72	27,34	21,04	23,55	19,74	24,09
Masse (Sol Humide +tare)	9,8	28,9	22,3	25,22	24,7	25,2
Masse (Sol Sec +tare)	9,58	28,59	22,06	24,86	23,6	24,94
Masse l'eau	0,22	0,31	0,24	0,36	1,1	0,26
Masse du sol sec	0,86	1,25	1,02	1,31	3,86	0,85
WP	25,6	24,8	23,5	27,5	28,5	30,6
Moyenne (%)	26,7					

Le tableau ci-dessous présente la récapitulation des résultats des essais des limites d'Atterberg.

Tableau II.15 Récapitulation des résultats des essais des limites d'Atterberg.

Limite de liquidité	44.2
Limite de plasticité	26.7
Indice de plasticité (I_p)	17.5

Tableau IV. 8 Classification des sols fins selon l'indice de plasticité I_p

Indice de plasticité	Degré de plasticité
$0 < I_p < 5$	Non plastique (l'essai perd sa signification dans cette zone de valeurs)
$5 < I_p < 15$	Moyennement plastique
$15 < I_p < 40$	Plastique
$I_p > 40$	Très plastique

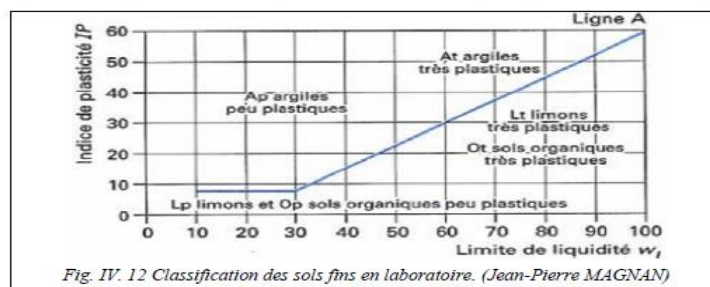


Figure II.20 Classification du mélange (Vase + 15 % sable de dune)

On se repère sur le tableau ci-dessus et l'issu des valeurs trouvé avec $w_l = 44.2$ et un $IP = 17.5$ on peut conclure que notre matériau est un **limon peu plastique**.

V.2 Résultats obtenus pour la vase + 30 % sable de dune

V.2 a) Limite de liquidité

Les résultats obtenus sont donnés dans ce qui suit comme tableau et représentés par les figure correspondantes.

Tableau II.16 Limite de liquidité la vase + 30 % sable de dune

	Essai 1		Essai 2		Essai 3		Essai 4	
Nbre de coups	17		24		26		34	
N° de la tare	1	2	K	I	S	I	A	I
Masse de la tare	23,85	24,1	20	24	23,6	24,1	12,3	13,8
M (Sol Humid+tare)	38,9	40,3	30,23	37	40,8	38,1	22,4	22,2
M (Sol Sec +tare)	34,7	35,9	27,6	33,6	36,5	34,6	20,1	20,1
Masse l'eau	4,2	4,4	2,63	3,4	4,3	3,5	2,3	2,1
Masse du sol sec	10,85	11,8	7,6	9,6	12,9	10,5	7,8	6,3
Teneur en eau (%)	38,71	37,29	34,61	35,42	33,33	33,33	29,49	33,33
Moyenne (%)	38,00		35,01		33,33		31,41	

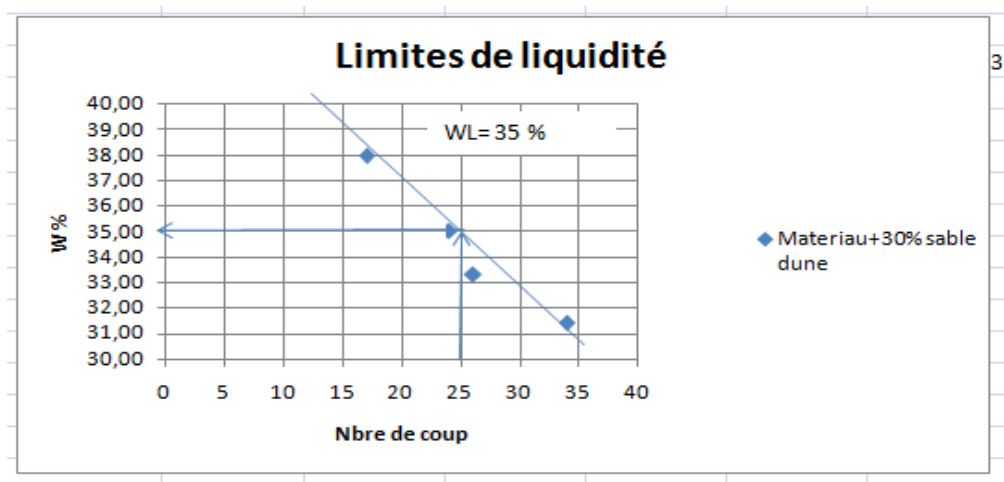


Figure II.21 Limite de liquidité de la vase + 30 % sable de dune

V.2.b) Limite de plasticité

Tableau II.17 Limite de plasticité de la vase + 30 % sable de dune

	Essai 1		Essai 2		Essai 3	
Masse de la tare	20,5	10,1	21,1	16,8	20,8	15,8
Masse (Sol Humide +tare)	22,6	12,1	23,2	18,4	22,7	22,8
Masse (Sol Sec +tare)	22,18	11,68	22,8	18,1	22,35	21,6
Masse l'eau	0,42	0,42	0,4	0,3	0,35	1,2

Masse du sol sec	1,68	1,58	1,7	1,3	1,55	5,8
WP	25,0	26,6	23,5	23,1	22,6	20,7
Moyenne (%)	23,6					

Le tableau ci-dessous présente la récapitulation des résultats des essais des limites d'Atterberg du mélange vase + 30 % sable de dune.

Tableau II.18 Récapitulatif des résultats des essais des limites d'Atterberg.

Limite de liquidité	36
Limite de plasticité	23.6
Indice de plasticité (Ip)	12.4

Tableau IV. 8 Classification des sols fins selon l'indice de plasticité I_p

Indice de plasticité	Degré de plasticité
$0 < I_p < 5$	Non plastique (l'essai perd sa signification dans cette zone de valeurs)
$5 < I_p < 15$	Moyennement plastique
$15 < I_p < 40$	Plastique
$I_p > 40$	Très plastique

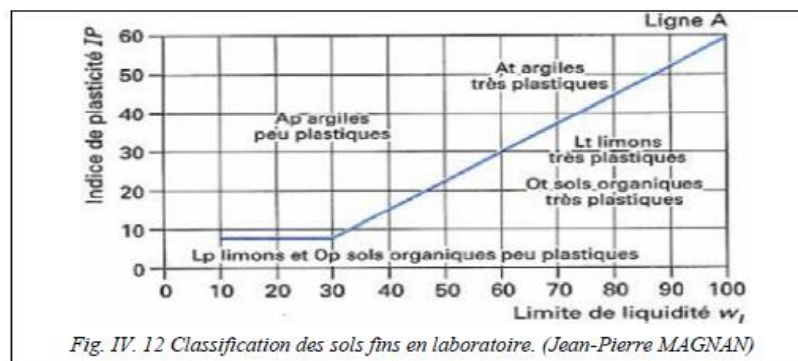


Figure II.22 Classification du mélange (Vase + 30 % sable de dune)

On se repère sur le tableau ci-dessus et à l'issue des valeurs trouvées : $WL = 36$ et un $IP = 12.4$ on peut conclure que Notre matériau est un **limon peu plastique**.

V.3 Résultats obtenus pour la vase + 15 % sable concassé

V.3.a) Limite de liquidité

Les résultats obtenus sont donnés dans ce qui suit comme tableau et représentés par les figures correspondantes.

Tableau II.19 Limite de liquidité de la vase + 15 % sable concassé.

	Essai 1		Essai 2		Essai 3		Essai 4	
Nbre de coups	16		21		26		34	
N° de la tare	1	2	K	I	S	I	A	I
Masse de la tare	12,4	24,1	23,2	24,1	27,2	3,7	8,7	23
M (Sol Humide +tare)	28	31	32,1	36,3	41,7	17	23,6	38
Masse (Sol Sec +tare)	23,2	28,9	29,5	32,8	37,7	13,4	19,6	34,2
Masse l'eau	4,8	2,1	2,6	3,5	4	3,6	4	3,8
Masse du sol sec	10,8	4,8	6,3	8,7	10,5	9,7	10,9	11,2
Teneur en eau (%)	44,44	43,75	41,27	40,23	38,10	37,11	36,70	33,93
Moyenne (%)	44,10		40,75		37,60		35,31	

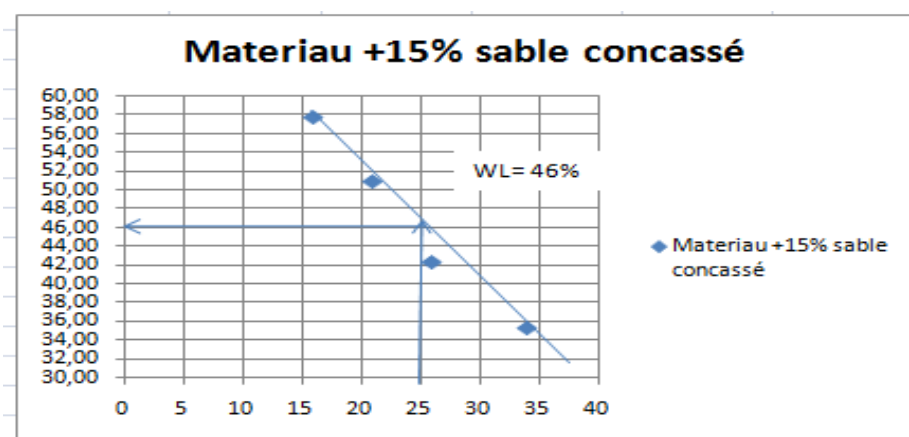


Figure II.23 Limite de liquidité de la vase + 15 % sable concassé

V.3.b) Limite de plasticité

Tableau II.20 Limite de plasticité de la vase + 15 % sable concassé

	Essai 1		Essai 2		Essai 3	
Masse de la tare	4,6	23,8	21,3	12,7	21,1	12,8
Masse (Sol Humide +tare)	6,3	25,2	22,8	14,1	22,3	14,8
Masse (Sol Sec +tare)	5,92	24,9	22,47	13,8	22,06	14,38
Masse l'eau	0,38	0,3	0,33	0,3	0,24	0,42
Masse du sol sec	1,32	1,1	1,17	1,1	0,96	1,58
WP	28,8	27,3	28,2	27,3	25,0	26,6

Moyenne (%)	27,2
-------------	------

Le tableau ci-dessous présente la récapitulation des résultats des essais des limites d'Atterberg de la vase + 15 % sable concassé.

Tableau II.21. Récapitulatif des résultats des essais des limites d'Atterberg.

Limite de liquidité	46
Limite de plasticité	27.2
Indice de plasticité (Ip)	18.8

Tableau IV. 8 Classification des sols fins selon l'indice de plasticité I_p

Indice de plasticité	Degré de plasticité
$0 < I_p < 5$	Non plastique (l'essai perd sa signification dans cette zone de valeurs)
$5 < I_p < 15$	Moyennement plastique
$15 < I_p < 40$	Plastique
$I_p > 40$	Très plastique

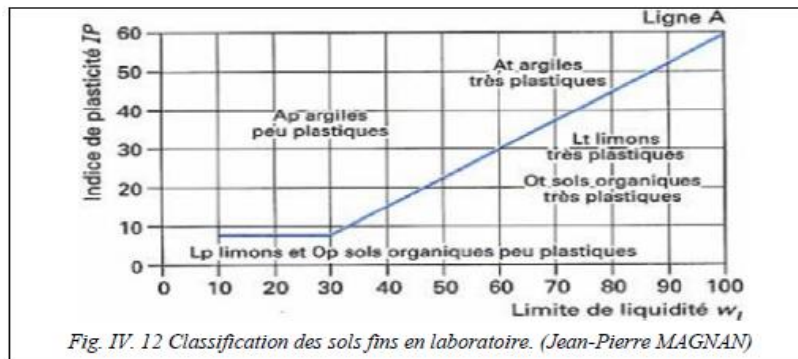


Figure II.24. Classification du mélange (Vase + 15% sable concassé)

A partir des valeurs du tableau ci-dessus et à l'issue des valeurs trouvés dont $W_L=46$ et $IP=18.8$, on peut conclure que notre matériau **est un limon peu plastique**.

VI. ÉVOLUTION DES LIMITES DE LIQUIDITE ET DU VBS DES DIFFERENTS MELANGES

Sur l'histogramme qui suit nous avons présenté les différents résultats obtenus afin de les comparer et d'en tirer les conclusions qui en découlent.

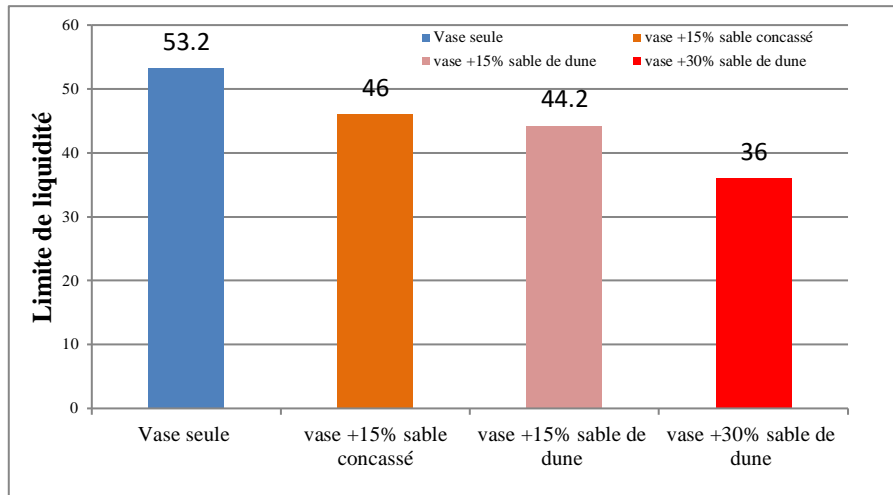


Figure II.25 Évolution des limites de liquidité des différents mélanges

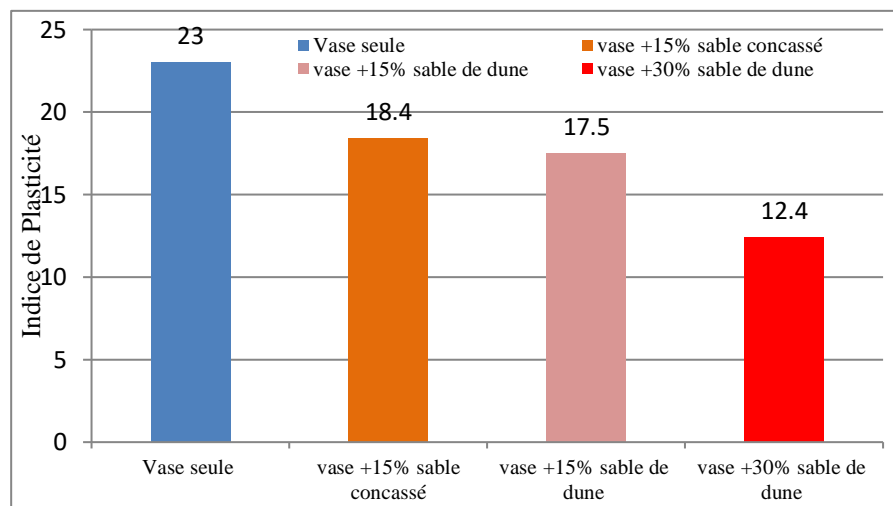


Figure II.26 Évolution des limites de plasticité des différents mélanges

- ❖ La figure II.25 montre clairement que la limite de liquidité de la vase seul est très élevée par rapport aux autres mélanges, elle passe de 53.2 à 36 pour le mélange à 36% sable de dune et c'est dû à la nature même du matériau (vase). L'ajout de sable diminue la limite de liquidité et l'évolution de l'indice de plasticité des différents mélanges est conséquente.

L'ajout de sable diminue l'indice de plasticité.

- ❖ L'évolution de la valeur de VBS est illustrée dans la figure ci-dessous. A l'issu des résultats trouvé on constats que ajout de sable augmente la propreté de la vase notamment avec un pourcentage de sable de dune à 30 %.

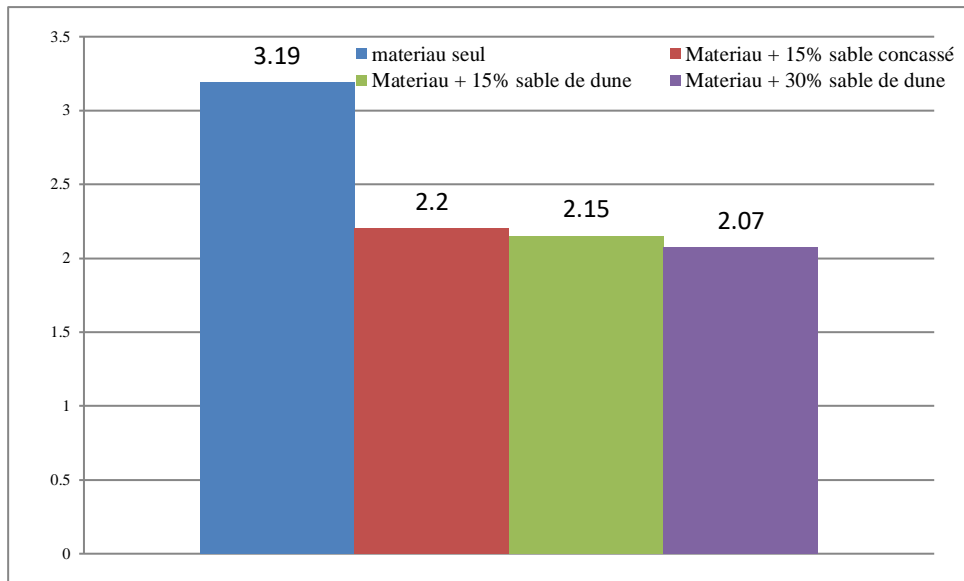


Figure II.27 Évolution du VBS des différents mélanges

CONCLUSION

Ce chapitre a été consacré à l'identification des matériaux étudiés, afin de mieux présenter leurs aspects physiques. Les résultats obtenus ont permis d'avoir une idée sur la nature des matériaux étudiés. Ceci contribue sensiblement à mettre en évidence leur comportement sous les différents types de sollicitations auxquelles ils seront soumis. Nous avons étudié aussi leur comportement physique de différents mélanges. Les prochains chapitre sont consacrés à l'étude de la portance puis des essais mécaniques appliqués au sol sans et avec traitement.

CHAPITRE III
ESSAIS DE PORTANCE

CHAPITRE III

ESSAIS DE PORTANCE

I) INTRODUCTION

Dans le but de résoudre les problèmes de stabilité et de déformation que l'on rencontre lors de l'élaboration d'un projet, l'ingénieur a mis en œuvre de multiples techniques d'amélioration des sols. Ces méthodes nous offrent de meilleures caractéristiques géotechniques et des propriétés mécaniques et physiques des terrains et des matériaux d'apport.

Plusieurs méthodes d'améliorations et de stabilisation des sols ont été créées, l'une des plus simples et la plus utilisée est "le compactage". Ce dernier permet l'augmentation de la densité et de la capacité portante en appliquant une force extérieure statique ou dynamique. C'est l'une des méthodes les plus anciennes et la plus importante dans l'amélioration et la stabilité des sols ce qui la rend indispensable notamment dans les travaux de routes et de barrages.

Étant un essai qui étudie la portance des sols, l'essai CBR avant et après immersion est directement lié au compactage. C'est un essai indispensable pour tous travaux routiers, il permet le dimensionnement des chaussées.

Dans ce chapitre nous présenterons principalement les résultats des essais de compactage ainsi que des essais CBR avant et après immersion que nous avons effectué au niveau du laboratoire de mécanique des sols de notre faculté. D'autres essais mécaniques ont été effectués et que nous allons exposer ci-après, sont ceux œdométriques et de cisaillement.

II) COMPACTAGE DES MATERIAUX (NF P94-093) :

II.1 Définition du compactage (Arquie et al 1987) :

Étant une méthode de stabilisation agissant en surface des sols, le compactage permet la réduction du volume du sol instantanément en resserrant les grains les uns contre les autres, réduisant ainsi les vides remplis d'air, permettant par conséquent un meilleur comportement des sols, notamment les remblais et les couches de chaussées

Après compactage, le sol acquière :

- Une augmentation de la capacité portante
- Une augmentation de la résistance au cisaillement
- Une augmentation de la densité sèche (γ_d/γ_w)
- Une diminution de la perméabilité ;
- Une diminution de la compressibilité.

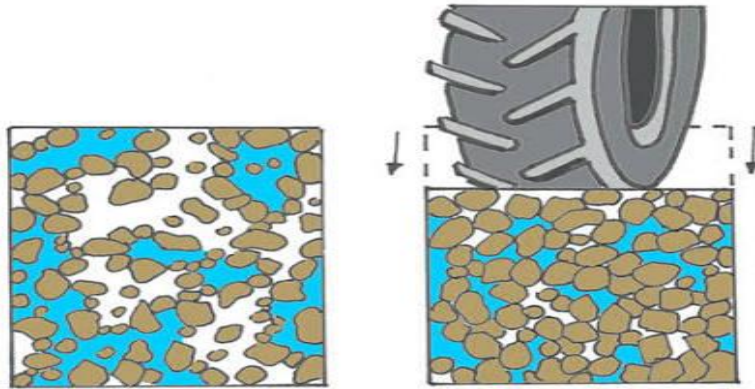


Figure III.1 : Compactage des sols.

Mettant le matériau dans un état suffisamment serrée, le compactage évite le tassement ultérieur, les mouvements relatifs sont réduits ou supprimés, diminuant ainsi l'attrition. En réduisant le volume des vides, le compactage augmente la densité apparente sèche et diminue la perméabilité qui est fonction de l'indice des vides. Il entraîne aussi une élévation des caractéristiques mécaniques. Le resserrage des grains augmente le nombre de contacts entre eux ainsi que leur frottement

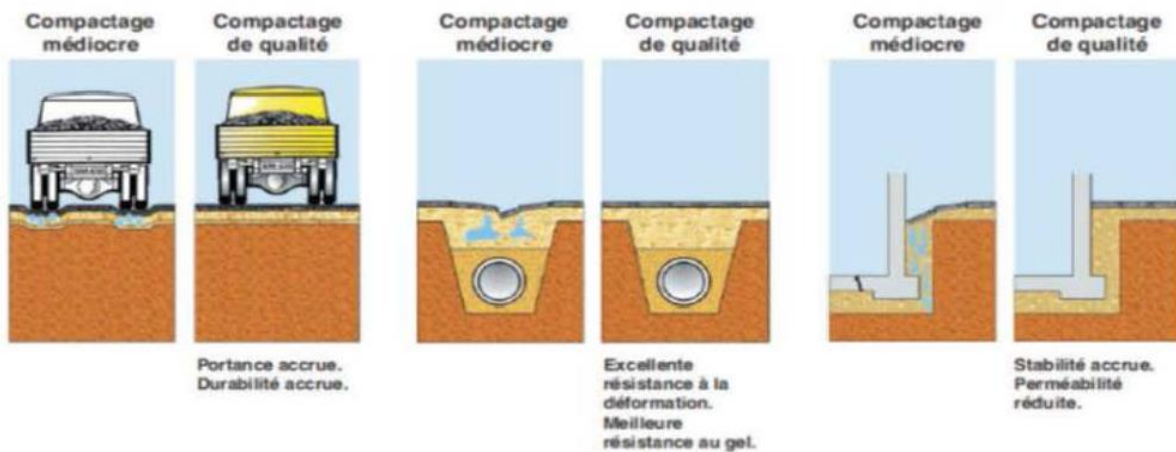


Figure III 2. Objectifs du compactage

II.2 Paramètres influant le compactage (Cordary 1994) :

Le compactage est fonction de quatre paramètres principaux :

- Masse volumique.
- Teneur en eau.

- Énergie de compactage.
- Type de sol.

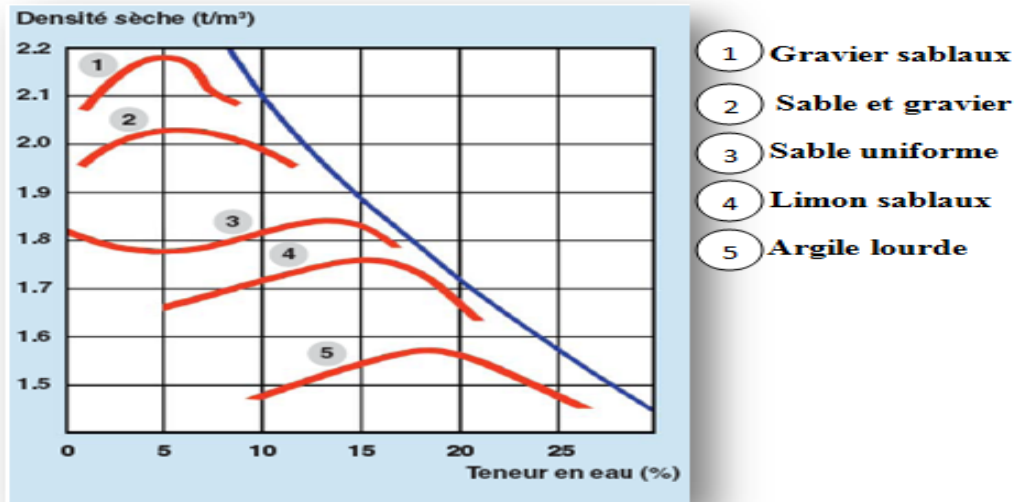


Figure III 3. Influence de la nature du sol sur la courbe Proctor.

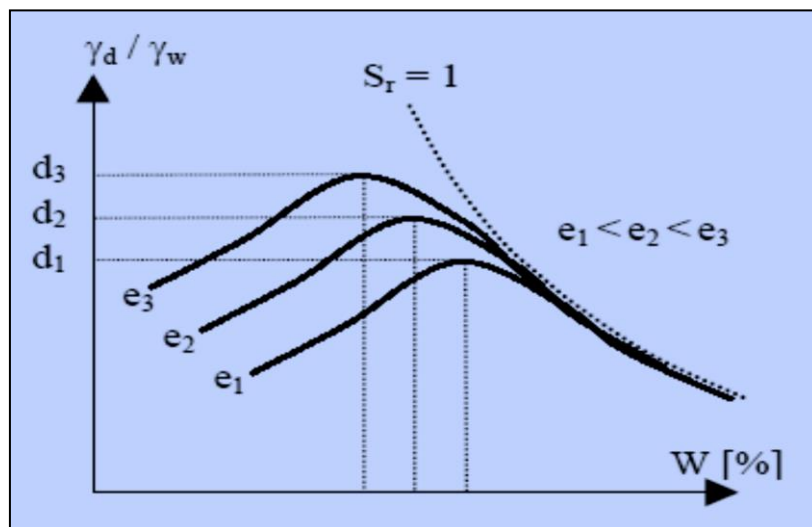


Figure III.4 : Influence de l'énergie de compactage

II.3 Propriétés des courbes de compactage :

Partons d'une terre absolument sèche dans la nature, les terres possèdent, au départ, une certaine teneur en eau, de structure bien déterminée, caractérisée par une densité ρ_{d0} ; l'ajout de l'eau permettra de suivre les propriétés de la courbe de compactage. (H.VARRLET, 1966).

II.4 Le contrôle de compactage sur le chantier

L'étude au laboratoire permet de déterminer la teneur en eau optimale à laquelle il faut compacter le sol pour l'amener à sa densité sèche maximale. Il faut donc pouvoir contrôler si sur chantier on arrive à obtenir les valeurs recherchées. La teneur en eau est contrôlée en prélevant plusieurs échantillons à différents endroits et les passer à l'étuve.

La difficulté réside dans la détermination du volume de l'échantillon prélevé. Il faut contrôler la teneur en eau des remblais qui arrivent sur chantier.

- Si $W_n = W_{opt}$, le compactage est effectué
- Si $W_n < W_{opt}$, le sol doit être arrosé avant compactage jusqu'à atteindre W_{opt}
- Si $W_n > W_{opt}$, le sol doit être aéré pour sécher. En cas de mauvais temps, le compacter superficiellement afin d'empêcher l'eau de pluies de s'infiltrer pour l'aérer lorsque le beau temps est de retour.

II.5 Les essais de compactage au laboratoire :

Les essais de compactage effectués en laboratoire permettent de déterminer la masse volumique sèche maximale pour une énergie de compactage donnée. (Robitaille et Tremblay, 1997).

Les principaux types d'essais de compactage pratiqués en laboratoire sont les suivants :

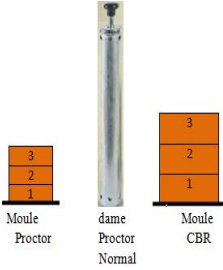
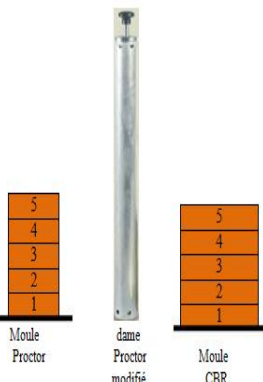
- Les essais Proctor.
- L'essai à la table vibrante.

a) L'essai Proctor :

L'essai Proctor est un essai de compactage d'un échantillon de matériau humidifié à différentes teneurs en eau pour en déduire la teneur en eau optimale et la densité sèche maximale correspondante γ_d . On distingue deux principaux essais :

- **Essai Proctor normal** : l'énergie de compactage au niveau de cet essai est relativement faible et correspond à un compactage modéré. C'est un essai utilisé au niveau des sols de remblais tel que les barrages en terre, les digues ..., il est aussi utilisé dans le but de limiter les tassements ultérieurs au niveau des terrassements.
- **Essai Proctor modifié** : A l'inverse de l'essai Proctor normal, l'essai Proctor modifié à une énergie de compactage importante. C'est un essai utilisé pour des études de sol de fondations (routes, pistes d'aérodromes,...). On fait référence au Proctor modifié pour les couches de chaussées (pistes d'aérodrome). Cet essai vise une augmentation de la résistance mécanique de la couche. Le compactage obtenu par l'essai Proctor modifié correspond au compactage maximum que l'on peut obtenir sur les chantiers avec des engins de compactage puissants.

Tableau III.1 Modalités d'exécution des essais Proctor normal et modifié (AFNOR ,1999)

Nature de l'essai	Caractéristique de l'essai	Moule Proctor	Moule CBR	Schéma récapitulatif
Essai Proctor normal	Masse de dame	2490 g	2490g	3 couche, à raison de : 25 coups 56 coups par couche par couche 
	Diamètre du mouton	51 mm	51 mm	
	Hauteur de chute	305 mm	305 mm	
	Nombre de couches	3	3	
	Nombre de coups par couche	25	56	
Essai Proctor modifié	Masse de dame	2490 g	2490g	5 couche, à raison de : 25 coups 56 coups par Par couche couche 
	Diamètre du mouton	51 mm	51 mm	
	Hauteur de chute	305 mm	305 mm	
	Nombre de couches	3	3	
	Nombre de coups par couche	25	56	

❖ **Matériel utilisé**

Pour cet essai nous avons à notre disposition :

- Moule CBR,

- Dame Proctor Modifié,
- Règle à araser,
- Balance,
- Étuve,
- Éprouvette graduée.

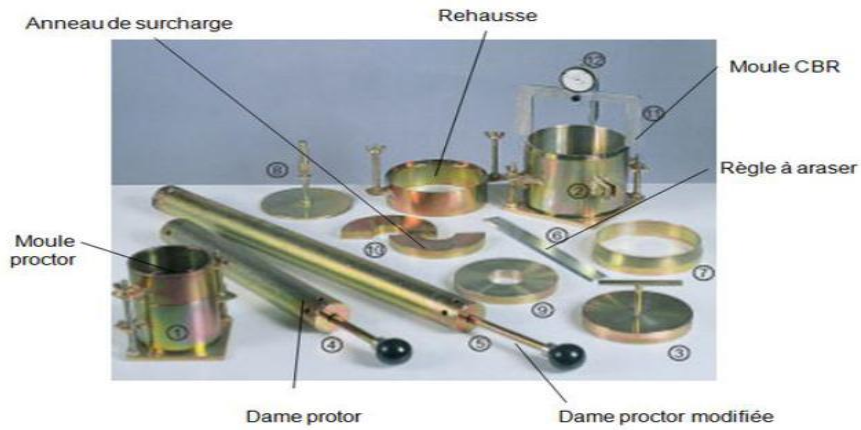


Figure III.5 : Matériels utilisés pour l'essai Proctor modifié

❖ **Mode opératoire**

Le mode opératoire de l'essai Proctor modifié est schématisé par la figure suivante :

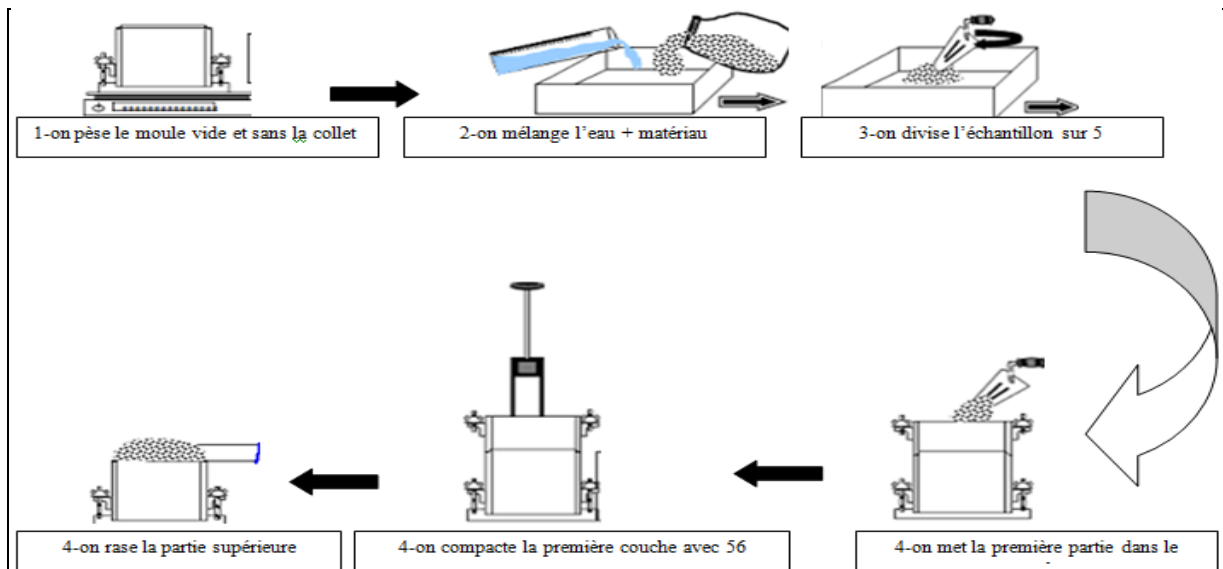


Figure III.6 Différentes étapes d'exécution de l'essai Proctor modifié

III) ESSAIS REALISES

Une série d'essai Proctor modifié et de CBR immédiat et après immersion, ont été réalisés dans le laboratoire de l'Université puis ont été complétés lors du stage au laboratoire central des travaux publique l'LCTP antenne de M'sila. Dans la présente étude les essais ont portés sur des échantillons de vase avec différentes proportions de sable de dune puis de sable concassé, à savoir :

- Essai sur la vase seule
- Vase + 15% sable de dune.
- Vase + 30 % sable de dune.
- Vase + 15% sable concassée.

III.1 ESSAI PROCTOR

III.1.1 Expression des résultats

Pour chaque éprouvette compactée il convient de calculer :

- La teneur en eau ;
- La masse du matériau sec contenue dans le moule ;
- La masse volumique du sol humide ;
- La densité sèche ρ_d .

On portera chaque mesure de la densité sèche sur un graphe en fonction de la teneur en eau correspondante. Les résultats ainsi que les courbes obtenus sont présentés ci-dessous :

a) Échantillon vase seule ;

Les résultats obtenus de l'essai Proctor sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III.2 : Résultats de l'essai Proctor Modifié de la vase sans traitement

Teneur en eau Initiale (%)	Masse humide $M_h(g)$	Masse volumique humide $\gamma_h(g/cm^3)$	Masse volumique sèche $\rho_d(g/cm^3)$
16	1659	1.75	1.51
18	1725.3	1.82	1.54
20	1899.7	2	1.67
22	1798	1.9	1.55
24	1758.6	1.86	1.5

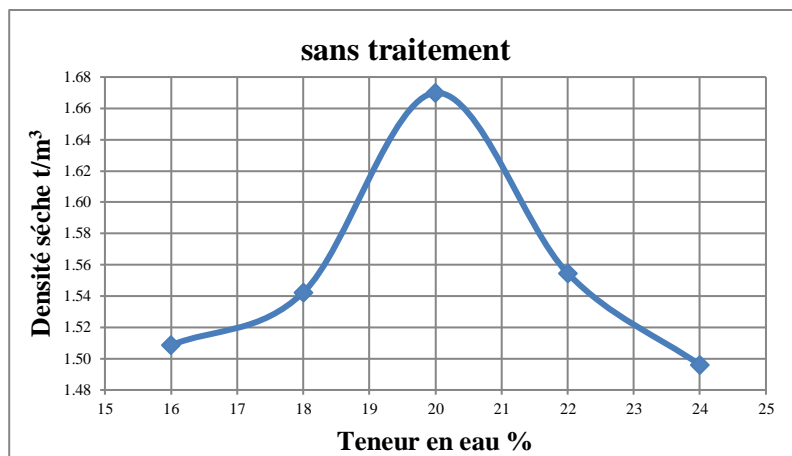


Figure III.7 Courbe Proctor de la vase d'Oued K'Sob

b) Échantillon vase +15% sable de dune

Les résultats obtenus de l'essai Proctor pour le mélange vase avec 15% de sable de dune sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III.3 Résultats de l'essai Proctor du matériau vase+15% sable de dune

Teneur en eau initiale(%)	Masse humide $M_h(g)$	Masse volumique humide $\gamma_h(g/cm^3)$	Masse volumique sèche $\rho_a(g/cm^3)$
10	1878.6	1.98	1.8
12	1943.4	2.05	1.83
14	2001	2.11	1.85
16	1990.8	2.1	1.81
20	1981.3	2.09	1.74

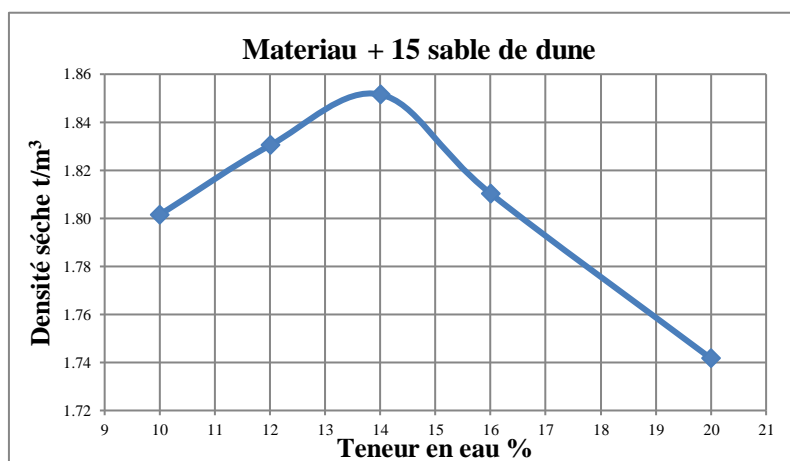


Figure III.8 Courbe Proctor « vase +15% sable de dune ».

c) Échantillon vase +30% sable de dune

Les résultats obtenus de l'essai Proctor pour le mélange vase avec 30% de sable de dune sont résumés dans le tableau suivant puis présentés sur la figure :

Tableau III.4 Résultats de l'essai Proctor du matériau vase+30% sable de dune

Teneur en eau initiale(%)	Masse humide $M_h(g)$	Masse volumique humide $\gamma_h(g/cm^3)$	Masse volumique sèche $\rho_d(g/cm^3)$
8	1796.7	1.9	1.75
10	1863.6	1.97	1.79
12	1982.2	2.09	1.87
14	1950	2.06	1.80
16	1928.6	2.03	1.75

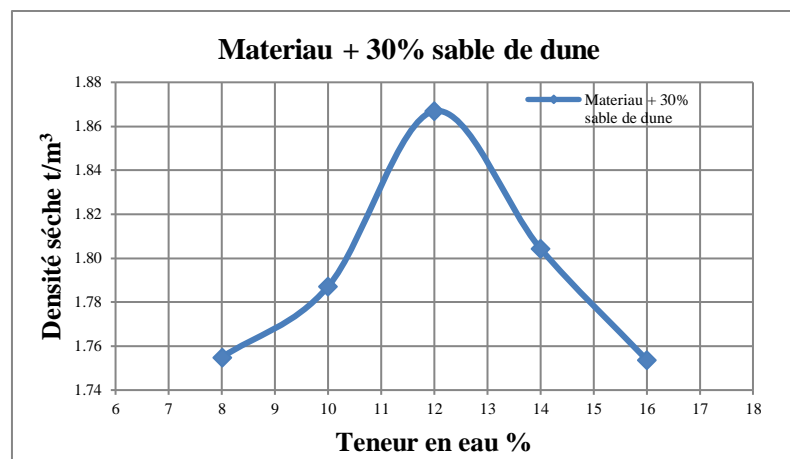


Figure III.9 Courbe Proctor « vase +30% sable de dune ».

III.1.2 Discussion des résultats

a) Sable de dune

La variation de la masse volumique sèche max et la teneur en eau optimal sont présentées sur les figures et tableaux suivants.

- La sensibilité à l'eau des mélanges se traduit par des formes de courbes bombées. Selon la figure, on remarque que pour le matériau vase, la courbe de compactage se présente en forme bombée remarquable, ce qui explique la sensibilité de ce matériau à l'eau, relativement aux autres mélanges.

Pour les mélanges à 15%, 30% de sable de dune, les courbes Proctor sont déplacées vers la droite, elles présentent une forme de plus en plus aplatie avec l'ajout du sable, ce qui traduit leur faible sensibilité à l'eau, notamment celui de l'ajout de 30% de sable.

Par ailleurs la teneur en eau à l'OPM diminue avec le pourcentage de sable de dune additionnée, elle atteint sa valeur min de 12 % pour un pourcentage de sable de 30%.

- A partir des mêmes courbes, nous pouvons constater qu'un accroissement du pourcentage de sable de dune de 15% à 30% conduit à une augmentation de la masse volumique sèche à l'optimum respectivement de 1.65 à 1.89 ;

Tableau III.5 Évolution de la teneur en eau des différents mélanges

Échantillon	Teneur en eau w(%)	$\rho_a(g/cm^3)$
Vase seule	20	1.65
Vase + 15 % sable de dune	14	1.85
Vase + 30% sable de dune	12	1.89

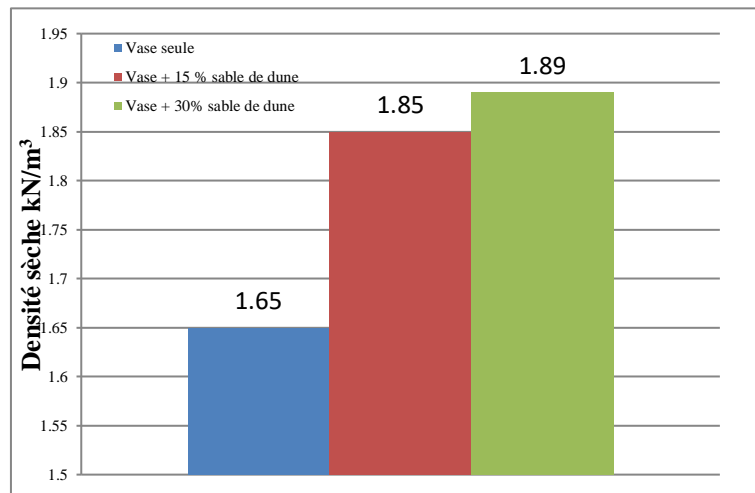


Figure III.10 Évolution de la teneur en eau des différents mélanges

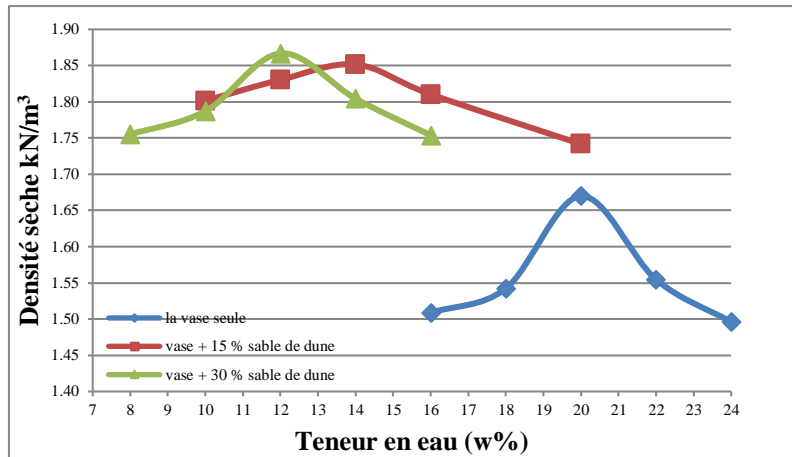


Figure III.11 Évolution de la masse volumique des différents mélanges.

b) Sable concassé

Pour le mélange à 15% de sable concassé, la courbe Proctor est déplacée vers la droite, elle présente une forme de plus en plus aplatie, ce qui traduit la faible sensibilité du matériau à l'eau. Les résultats sont représentés par les tableaux et illustrés par les courbes suivantes.

Tableau III.6 Résultats de l'essai Proctor du matériau vase + 15 % sable concassé.

Teneur en eau initiale(%)	Masse humide $M_h(g)$	$\gamma_h(g/cm^3)$	$\gamma_d(g/cm^3)$
10	1798.6	1.90	1.72
12	1890.7	1.99	1.78
14	1955.8	2.06	1.81
16	1938.7	2.05	1.76
18	1936.6	2.04	1.73

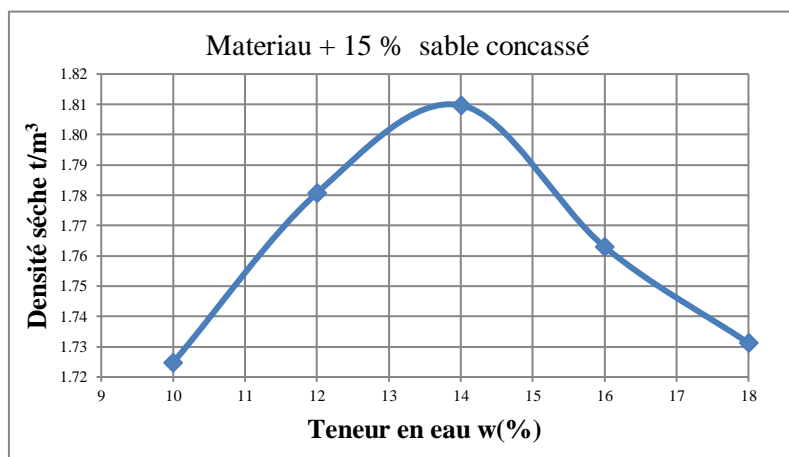


Figure III.12 Courbe Proctor du mélange de la vase à 15% de sable concassé.

III.1.3 Superposition des courbes :

Les mêmes remarques peuvent être faite par rapport au sable concassé (tableau III.6, Figure III.13), c'est-à-dire que l'ajout de 15% a mené à l'amélioration de la densité sèche du mélange, en effet on peut remarquer que cette dernière est passée de 1,65 à 1,81g/cm³.

Tableau III.6 Résultats comparatifs

Échantillon	w(%)	$\rho_d(g/cm^3)$
Vase seule	20	1.65
Vase+15% sable concassé	14	1.81

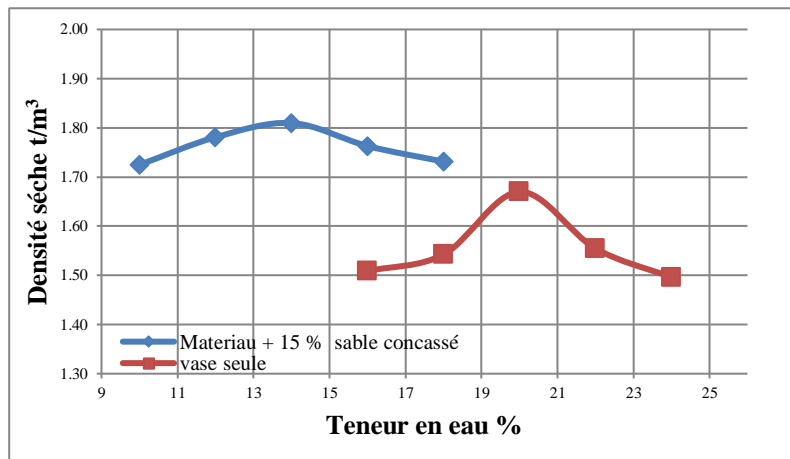


Figure III.13 Évolution de la teneur en eau de la vase comparée à celle du mélange (vase +15% S.C)

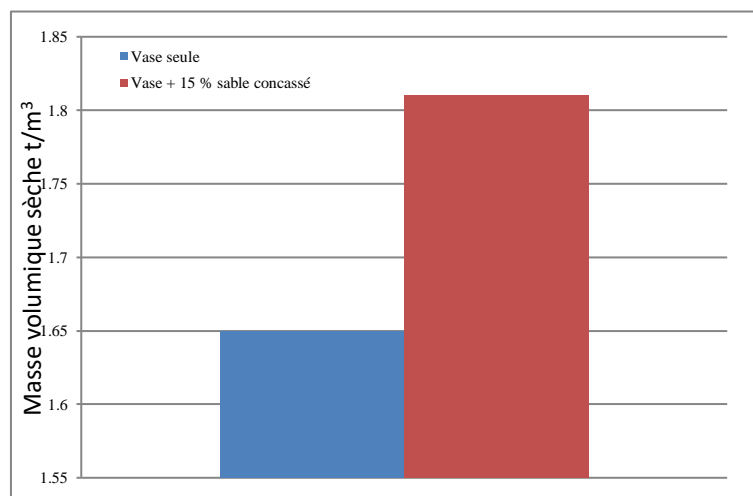


Figure III.14 Évolution de la masse volumique sèche de la vase comparée à celle du mélange (vase +15% S.C)

III.2 ESSAI DE PORTANCE CALIFORNIEN CBR (Californian Bearing Ratio test) :

L'essai CBR est l'un des principaux essais routiers, il fut entrepris à l'origine par le département des routes de l'état de Californie peu avant la 2ème guerre mondiale. Le corps des ingénieurs de l'armée américaine adopta cette méthode pendant la guerre puis la développa et l'améliora. Plus tard, elle fut utilisée pratiquement par tous les pays du monde.

a) But de l'essai :

Cet essai a pour but, d'évaluer la portance (résistance au poinçonnement) du sol ou d'un matériau utilisé dans la construction des ouvrages en terre ou des assises de chaussées, c'est à-dire sa résistance à la rupture (l'aptitude des matériaux à supporter les charges), cette caractéristique est indispensable dans les travaux routiers, en particulier pour la confection des remblais et les couches de forme, dans lesquels on ne peut admettre que de faibles déformations.

b) Principe de l'essai :

Le matériau est compacté généralement à la teneur en eau optimale suivant les procédures de l'essai Proctor modifié dans un moule CBR compacté 55 coups par couche (5 couches). Au cours de cet essai, l'échantillon est poinçonné par un piston normalisé de 19,35 cm² de section, enfoncé à une vitesse constante de 1.27 mm/mn. Les valeurs particulières des deux forces ayant provoqué les enfoncements de 2.5 et 5 mm, sont alors rapportées aux valeurs 13.35 et 20 KN, qui sont les forces observées dans les mêmes conditions sur un matériau de référence.

Les essais de CBR permettent de déterminer les indices, selon le but recherché et la fonction de ce sol :

- L'indice Portant Immédiat (IPI), pour évaluer l'aptitude du matériau à supporter la circulation des engins pendant la durée du chantier, ainsi que pour la déterminer la portance du matériau sous les surcharges de la chaussée.
- L'indice CBR après immersion (IPP), c'est pour déterminer la portance du matériau sous les plus mauvaises conditions hygrométriques (présence d'eau).

L'indice CBR est par convention, la plus grande des deux valeurs suivant :

$$I_{(2,5)} = \frac{\text{Effort de pénétration à 2,5 mm d'enfoncement(en KN)}}{13,35} \times 100$$

$$I_{(5)} = \frac{\text{Effort de pénétration à 5 mm d'enfoncement(en KN)}}{20} \times 100$$

La capacité de portance du sol est d'autant meilleure que l'indice C.B.R est plus élevé.

Dans le cas de l'indice CBR après immersion, est calculé le gonflement linéaire relatif G :

$$G = \frac{\Delta h}{h} \times 100$$

Avec :

Δh = variation de la hauteur mesurée (mm).

H : hauteur initiale de l'éprouvette, soit 116mm.

c) Matériel utilisé :

Pour la confection des éprouvettes, nous aurons besoins : d'un moule CBR, d'une dame Proctor modifiée, d'un disque d'espacement, d'une règle à araser, d'un bac, d'une éprouvette graduée, d'une balance et d'une étuve

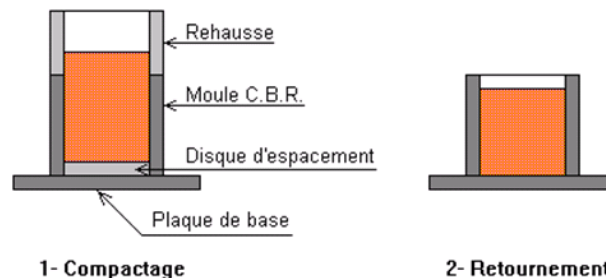


Figure III.15 Confection de l'éprouvette pour essai CBR.

❖ Matériel de poinçonnement :

Une presse de capacité minimale de 50 KN de 10 mm de course, équipée d'un poinçon cylindrique en acier de 19,35 cm² de section et de 10 cm de longueur. Munie de dispositifs de mesure de l'enfoncement et de l'effort de poinçonnement.

d) Mode opératoire :

Les essais CBR avant et après immersion, sont réalisés au laboratoire selon la norme française (NF P94-078). Avant de versé le sol dans le moule il faut respecter les étapes suivantes:

- Rejoignez la plaque de base et le moule CBR.
- Placer une feuille de papier filtre au fond du moule.
- Peser à vide l'ensemble « moule+ plaque de base ».
- Déterminer le volume qui sera occupé par l'éprouvette de sol une fois compactée.
- Fixer la rehausse.

e) Détermination de l'IPP

- Placer l'ensemble sur la presse, en position centrée par rapport au piston. Procéder au poinçonnement de la manière suivante :

- Approcher la face supérieure de l'éprouvette vers le piston jusqu'à ce qu'il vienne affleurer le matériau.
- Régler la mise à zéro du dispositif dynamométrique et celle du comparateur mesurant l'enfoncement du poinçon.
- Exécuter le poinçonnement en maintenant une vitesse de pénétration à 1,27 mm/min.
- Noter les efforts de poinçonnement correspondant aux enfoncements de 1,25 - 2 - 2,5 - 5 - 7,5 et 10 mm et arrêter le poinçonnement à cette valeur.
- L'éprouvette est alors démoulée, pesée et introduite dans l'étuve réglée à 105 °C pour déterminer sa teneur en eau.



Figure III.16 Photos des échantillons CBR dans l'eau

f) Détermination de l'indice CBR après immersion (mesure du gonflement relatif) :

- Placer un papier- filtre à la surface puis disposer au-dessus le disque de gonflement et les surcharges comme indiqué précédemment.
- Fixer le trépied support de comparateur sur le bord supérieur du moule et positionner le comparateur au centre du trépied.
- Placer l'ensemble dans le bac d'immersion de telle sorte que l'eau recouvre de 1 à 2 cm l'éprouvette.
- Effectuer la mise à zéro du comparateur.
- Après 4 jours d'immersion, mesurer la hauteur de gonflement Δh indiquée par le comparateur.
- Laisser égoutter quelques minutes et retirer le trépied, le comparateur, les surcharges et le disque de gonflement.
- Placer l'échantillon sur la presse, replacer les surcharges comme précédemment et procéder au poinçonnement.

g) Expression des résultats :

Une série d'essai CBR a été réalisée dans la présente étude sur des échantillons de la vase et de sable, afin de déterminer les indices portant immédiat (IPI) et l'indice CBR après immersion.

Plusieurs échantillons ont été préparés, à savoir :

- Vase seule.
- Mélange de vase + (15, puis 30%) de sable de dune.
- Mélange de vase + 15% de sable concassé.

III.2.1 Résultats des essais CBR immédiats pour les mélanges (vase + sable de dune / sable concasse)

a) La vase

Les résultats obtenus pour l'échantillon étudié sont résumés dans le tableau III.7 qui suit puis représenté par la figure III.17

Tableau III.7 Résultats de l'essai CBR Immédiat pour la vase sans traitement

déplac du piston	dépla de force (mm)	la force (KN)
0,625	0,1	0,14
1,25	0,2	0,22
2	0,3	0,30
2,5	0,3	0,34
5	0,4	0,44
7,5	0,5	0,51
10	0,5	0,54
L'indice le plus grand	2,55	

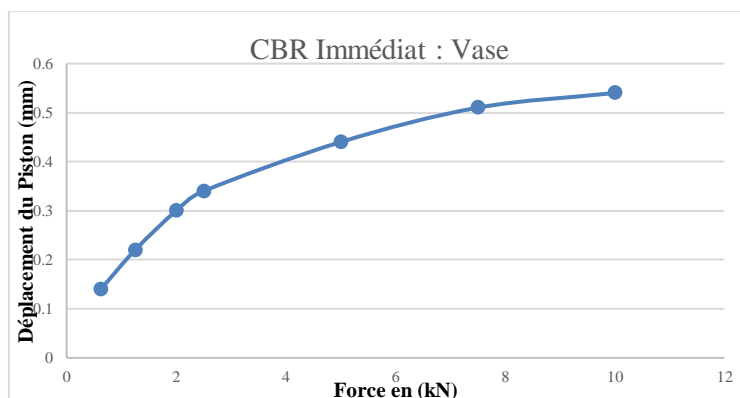


Figure III.17 Courbe de l'essai CBR Immédiat pour la vase sans traitement

b) Vase +15% de sable de dune

Les résultats obtenus pour l'échantillon étudié sont résumés dans le tableau qui suit puis représenté par la figure III.18

Tableau III.8 Résultats de l'essai CBR Immédiat pour la vase+15% de Sable de Dune.

dép de piston	dép de force (mm)	la force (KN)
0,625	0,2	0,17
1,25	0,2	0,24
2	0,3	0,3
2,5	0,3	0,33
5	0,4	0,41
7,5	0,4	0,47
10	0,5	0,51
L'indice le plus grand	2,47	

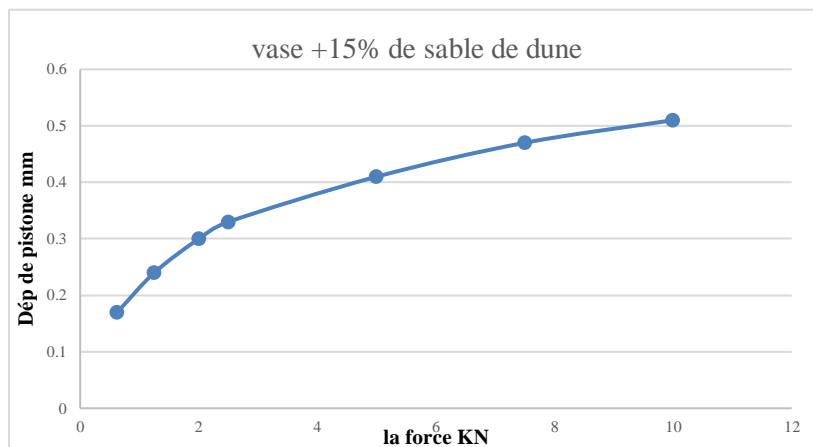


Figure III.18 Courbe de l'essai CBR Immédiat pour la vase+15% de Sable de Dune.

c) Vase +30% de sable de dune

Les résultats obtenus pour l'échantillon étudié sont résumés dans le tableau qui suit puis représenté par la figure III.19.

Tableau III.9 Résultats de l'essai CBR Immédiat pour la vase+30% de Sable de Dune.

dép de piston	dép de force (mm)	la force (KN)
0,625	0,2	0,16
1,25	0,3	0,3
2	0,3	0,35
2,5	0,4	0,38
5	0,4	0,47
7,5	0,5	0,52
10	0,5	0,55
L'indice le plus grand	2,85	

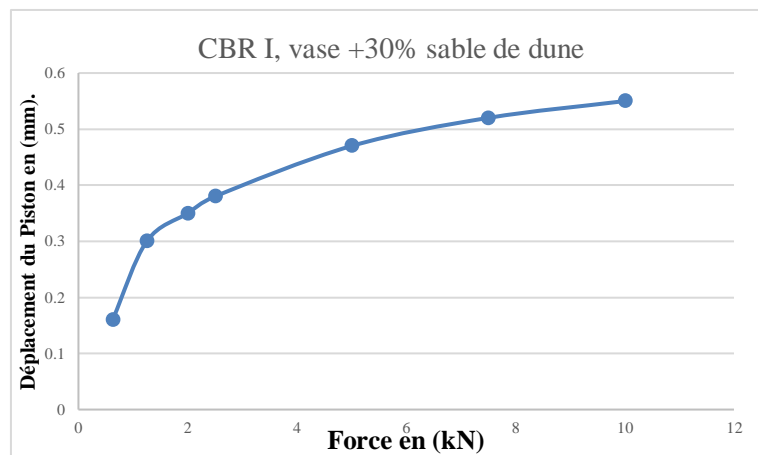


Figure III.19 Courbe de l'essai CBR Immédiat pour la vase+30% de Sable de Dune.

d) Vase +15% de sable concassé

Les résultats obtenus pour l'échantillon étudié sont résumés dans le tableau qui suit puis représenté par la figure III.20

Tableau III.10 Résultats de l'essai CBR Immédiat pour la vase+15% de Sable Concassé.

dép de piston	dép de force (mm)	la force (KN)
0,625	0,1	0,13
1,25	0,2	0,23
2	0,3	0,3
2,5	0,3	0,34
5	0,4	0,44
7,5	0,5	0,5
10	0,5	0,52
L'indice le plus grand	2,55	

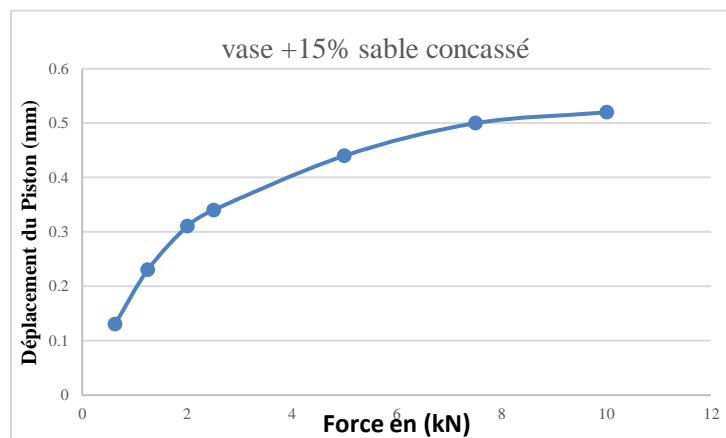


Figure III.20 Courbe de l'essai CBR Immédiat pour la vase+15% de Sable concassé.

III.2.2 Résultats des essais CBR après immersion pour les mélanges (vase + sable de dune / sable concasse)

a) Vase sans traitement

Les résultats obtenus pour l'échantillon étudié sont résumés dans le tableau qui suit puis représenté par la figure III.21

Tableau III.11 Résultats de l'essai CBR après immersion pour la vase sans traitement.

dép de piston	dép de force (mm)	la force (KN)
0,625	0,2	0,24
1,25	0,3	0,29
2	0,3	0,35
2,5	0,4	0,38
5	0,5	0,54
7,5	0,7	0,72
10	0,9	0,93
L'indice le plus grand	2,85	

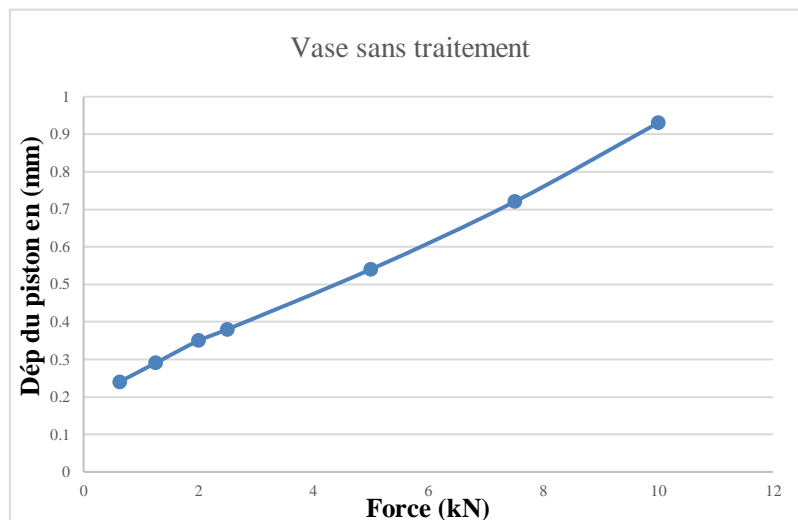


Figure III.21 CBR après immersion de la vase

b) Vase +15% de sable de dune

Les résultats obtenus pour l'échantillon étudié sont résumés dans le tableau qui suit puis représenté par la figure III.22

Tableau III.12 Résultats de l'essai CBR après immersion pour la vase+15% de Sable de Dune.

dép de piston	dép de force (mm)	la force (KN)
0,625	0,3	0,28
1,25	0,3	0,35
2	0,4	0,41
2,5	0,4	0,45
5	0,6	0,66
7,5	0,8	0,89
10	1,1	1,13
L'indice le plus grand	3,37	

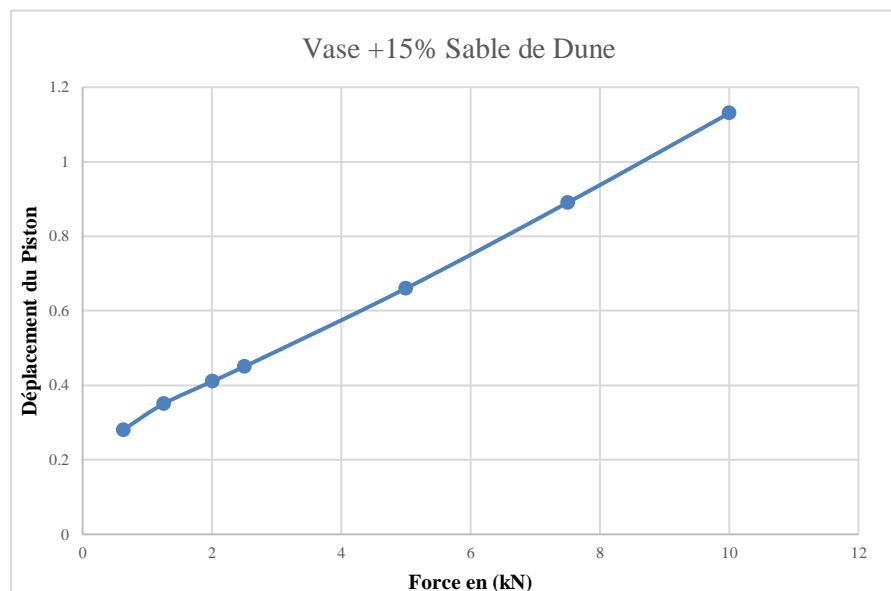


Figure III.22 CBR après immersion du mélange vase+15% sable de dune.

c) Vase +30% de sable de dune

Les résultats obtenus pour l'échantillon étudié sont résumés dans le tableau qui suit puis représenté par la figure III.23

Tableau III.13 Résultats de l'essai CBR après immersion pour la vase+30% de Sable de Dune.

dép de piston	dép de force (mm)	la force (KN)
0,625	0,2	0,19
1,25	0,3	0,27
2	0,3	0,37
2,5	0,5	0,48
5	0,8	0,82
7,5	1,0	1,04
10	1,3	1,39
L'indice le plus grand	4,1	

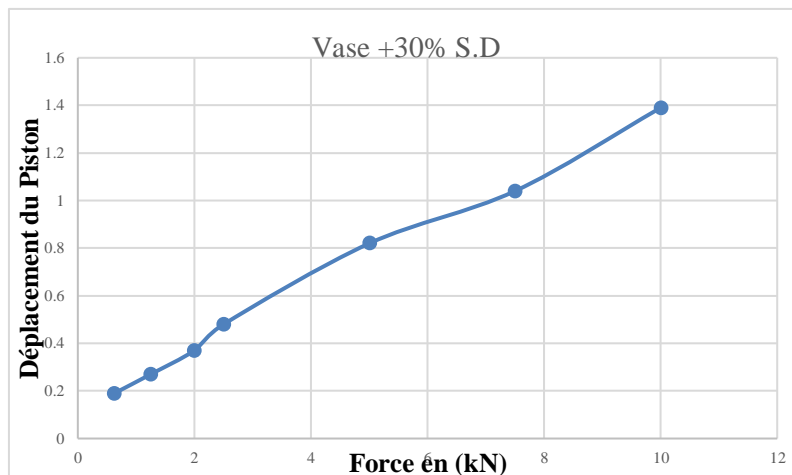


Figure III.23 CBR après immersion du mélange vase+30% sabel de dune.

d) Vase +15% de sable concassé

Les résultats obtenus pour l'échantillon étudié sont résumés dans le tableau qui suit puis représenté par la figure III.24

Tableau III.14 Résultats de l'essai CBR après immersion pour la vase+15% de Sable Concassé.

dép de piston	dép de force (mm)	la force (KN)
0,625	0,1	0,15
1,25	0,2	0,25
2	0,3	0,36
2,5	0,4	0,44
5	0,7	0,76
7,5	1,0	1,06
10	1,3	1,35
L'indice le plus grand	3,8	

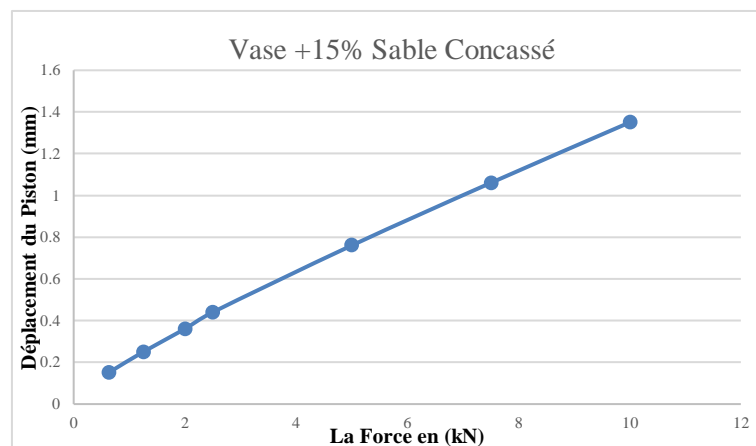


Figure III.24 CBR après immersion du mélange vase+15% sable concassé.

III.2.3 DISCUSSION DES RESULTATS DE L'ESSAI CBR POUR TOUT TYPE D'ECHANTILLON.

Les résultats des essais de portance CBR immédiats (IPI) réalisés présentés sur les figures III.17 jusqu'à figures III.20, et dont les résultats sont résumés au tableau III.15, permettent de constater à première vue que les courbes enfoncements-forces correspondantes aux mélanges (vase seule, puis vase + sable de dune/ concassé) se regroupent en un fuseau dont les résultats sont très proches les uns des autres et qui se situe dans l'intervalle 2.47-2.85. Le meilleur résultat enregistré étant celui obtenu en rajoutant 30% de sable de dune à la vase. Cependant pour le CBR après immersion nous remarquons clairement que l'ajout de sable a amélioré la portance de la vase. En effet elle le IPP est passé de 2.85 pour la vase seule à 3.8 pour un ajout de 15% de sable concassé, et à 4.1 pour un ajout de 30% de sable de dune.

Tableau III.15 Récapitulatif des résultats de l'essai CBR pour tout type d'échantillon.



Échantillon	Gonflement relatifs G(%)			Indice CBR immédiat (%)			CBR après immersion (%)		
	H(mm)	Δh(mm)	G(%)	I _(2,5)	I ₍₅₎	IPI	I _(2,5)	I ₍₅₎	IPP
Vase seule	1171	3197	2,73	2,55	2,2	2,55	2,85	2,7	2,85
V+15% S.D		3313,9	2,83	2,47	2,05	2,47	3,37	3,3	3,37
V+30% S.D		3291	2,81	2,85	2,35	2,85	3,6	4,1	4,1
V+15% S.C		3278	2,80	2,55	2,20	2,55	3,3	3,8	3,8

Nous donc conclure que le sable de dune et même celui concassé améliorent la portance des mélanges et leur offre une meilleure stabilité après immersion.

III.3 CLASSIFICATION DU MATERIAU SELON LE GTR

En tenant compte des résultats de CBR immédiat et après immersion, les limites d'Atterberg et du bleu de méthylène, la vase peut être classée selon GTR, comme le montre le tableau III.16.

Tableau III.16 Classification des sols fins selon GTR

Classe A		Classification des sols fins			
Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique	
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Paramètres d'état	Sous classe fonction de l'état
D _{max} ≤ 50 mm et Tamisat à 80 μm > 35%	Sols fins	VBS ≤ 2,5 ⁽¹⁾ OU I _p ≤ 12	A₁ Limos peu plastiques, loess, silt alluvionnaires, sables fins peu pollués, arènes peu plastiques...	IPI ⁽¹⁾ ≤ 3 OU W _n ≥ 1,25 W _{OPN}	A ₁ th
				3 < IPI ⁽¹⁾ ≤ 8 OU 1,10 ≤ W _n < 1,25 W _{OPN}	A ₁ h
				8 < IPI ≤ 25 OU 0,9 W _{OPN} ≤ W _n < 1,1 W _{OPN}	A ₁ m
				0,7 W _{OPN} ≤ W _n < 0,9 W _{OPN}	A ₁ s
				W _n < 0,7 W _{OPN}	A ₁ ts
		12 < I _p ≤ 25 ⁽¹⁾ OU 2,5 < VBS ≤ 6	 A₂ Sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques arènes...	IPI ⁽¹⁾ ≤ 2 OU I _c ⁽¹⁾ ≤ 0,9 OU W _n ≥ 1,3 W _{OPN}	A ₂ th
				2 < IPI ⁽¹⁾ ≤ 5 OU 0,9 ≤ I _c ⁽¹⁾ < 1,05 OU 1,1 W _{OPN} ≤ W _n < 1,3 W _{OPN}	A ₂ h
				5 < IPI ≤ 15 OU 1,05 < I _c ≤ 1,2 OU 0,9 W _{OPN} ≤ W _n < 1,1 W _{OPN}	A ₂ m
				1,2 < I _c ≤ 1,4 OU 0,7 W _{OPN} ≤ W _n < 0,9 W _{OPN}	A ₂ s
				I _c > 1,3 OU W _n < 0,7 W _{OPN}	A ₂ ts
		25 < I _p ≤ 40 ⁽¹⁾ OU 6 < VBS ≤ 8	 A₃ Argiles et argiles marnées, limons très plastiques...	IPI ⁽¹⁾ ≤ 1 OU I _c ⁽¹⁾ ≤ 0,8 OU W _n ≥ 1,4 W _{OPN}	A ₃ th
				1 < IPI ⁽¹⁾ ≤ 3 OU 0,8 ≤ I _c ⁽¹⁾ < 1 OU 1,2 W _{OPN} ≤ W _n < 1,4 W _{OPN}	A ₃ h
				3 < IPI ≤ 10 OU 1 < I _c ≤ 1,15 OU 0,9 W _{OPN} ≤ W _n < 1,2 W _{OPN}	A ₃ m
				1,15 < I _c ≤ 1,3 OU 0,7 W _{OPN} ≤ W _n < 0,9 W _{OPN}	A ₃ s
				I _c > 1,3 OU W _n < 0,7 W _{OPN}	A ₃ ts
		I _p > 40 ⁽¹⁾ OU VBS > 8	A₄ Argiles et argiles marnées, très plastiques...	Valeurs seuils des paramètres d'état, à définir à l'appui d'une étude spécifique	
A ₄ th					
A ₄ h					
A ₄ s					

Malgré l'ajout de sable mais à des pourcentages qui restent comme même pas suffisant puisque nous remarquons que les résultats obtenus peuvent être classés entre A1 et A2.

Nous pouvons alors dire que c'est **un sol limons argileux peu plastique**.

IV. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons présenté les résultats obtenus aux essais de compactage Proctor et aux essais de portance CBR. En se basant particulièrement sur ces résultats, nous pouvons conclure que les matériaux étudiés (mélange vase + sable de dune et sable concassé) ont présenté dans certains cas des comportements très intéressants, particulièrement pour des teneurs en sable de dune au voisinage de 30%. De tels mélanges peuvent être proposés pour une utilisation en couches inférieures de chaussées (couches de forme et couches de fondation) de faible à moyen trafic, à condition d'obtenir des résultats acceptables sous d'autres essais routiers exerçant d'autres types de sollicitations. Certains de ces essais feront l'objet du prochain chapitre.

CHAPITRE VI
ESSAIS MECANIQUES

CHAPITRE VI

ESSAIS MECANIQUES

I. INTRODUCTION

L'œdomètre est un appareil de laboratoire utilisé en géotechnique, cet appareil permet de mesurer l'entassement d'un échantillon de sol sous un effort donnée en fonction du temps afin d'en déterminer ses propriétés mécaniques lors de calculs de mécanique des sols.

Dans ce chapitre nous allons étudier le comportement mécanique de la vase seule puis avec traitement en utilisant deux essais principaux, essai œdométrique et essai de cisaillement afin de déterminer les paramètres mécaniques définissant la réaction du sol vis-à-vis des efforts imposés.

II. ESSAI OEDOMETRIQUE

II.1 Description et but de l'appareillage

L'œdomètre sert à réaliser les essais de compressibilité au laboratoire permettant d'évaluer le tassement et le gonflement du matériau au cours du temps. Il détermine par conséquence les indices de compression C_c et de gonflement C_s ou C_g , ainsi que la consolidation des échantillons sous certain paliers de chargement dont il évalue le coefficient de consolidation vertical C_v (norme XP 94-090-1). L'essai œdométrique fournit d'une part une courbe de compressibilité, dite « courbe œnométrique » reliant la contrainte effective et l'indice des vides, et d'autre part des « courbe de consolidation » qui caractérisent l'évolution des déformations au cours du temps sous un chargement donné.

L'appareil œdométrique utilisé est l'œdomètre a chargement par l'avant il comporte :

- ❖ Une cellule œdométrique muni d'un réservoir de saturation, d'un anneau métallique rigide de section cylindrique, de deux pierres poreuse et d'un dispositif permettant de répartir uniformément la contrainte appliquée sur la surface de l'échantillon,
- ❖ Un dispositif de chargement ou bâti de chargement indéformable, accompagné d'une série de masse permettant d'appliquer les cycles de chargement-déchargement souhaités,
- ❖ Un système de mesure (comparateur ou capteur) pour mesurer les variations de hauteur de l'échantillon sous les différents chargements-déchargements appliqués.

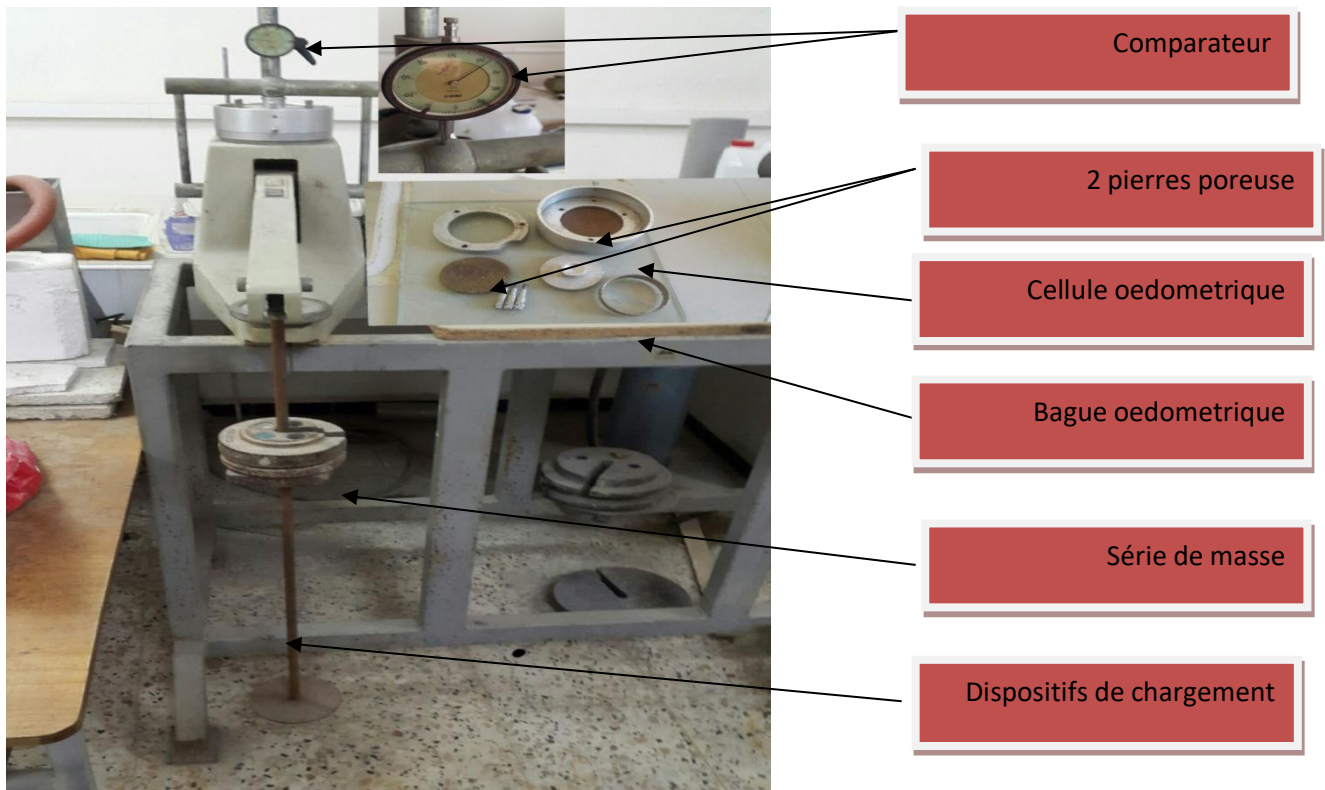


Figure.IV.1 : appareille œdométrique.

II.2 Mode opératoire

L'essai s'effectue sur une éprouvette de matériau placée dans une enceinte cylindrique rigide (cellule œdométrique) figure VI.2.

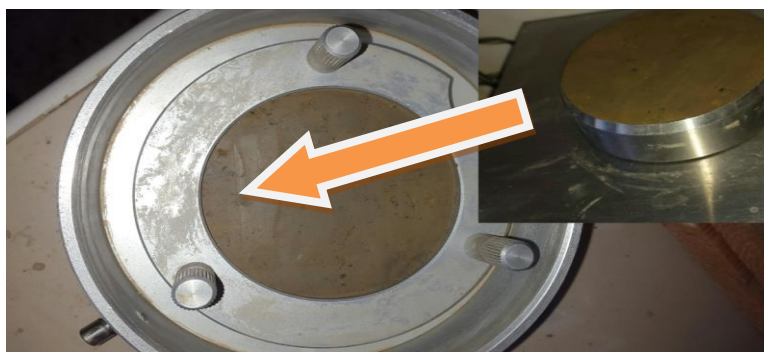


Figure VI.2 Matériau placé dans l'enceinte cylindrique de l'œdomètre.

Un dispositif applique sur cette éprouvette un effort axial vertical, l'éprouvette étant drainée en haut et en bas et maintenue saturée pendant tout l'essai.

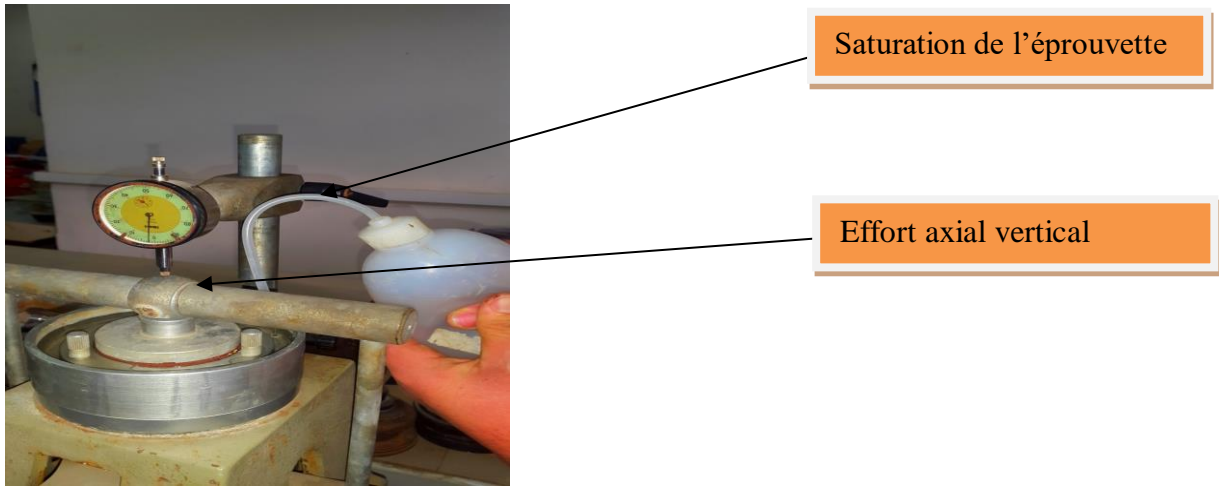


Figure VI.3 Mise en place de l'échantillon à l'essai œdométrique

Le chargement est appliqué par palier dans un ordre croissant (chargement), puis décroissant (déchargement).

Les variations de hauteur de l'éprouvette sont mesurées pendant l'essai en fonction de la durée d'application (24h pour chaque chargement) par le système de mesure (comparateur).

II.3 Préparation des échantillons :

Le sol est soumis à un essai Proctor modifié dans lequel on taille notre échantillon selon le cas. Il sera porté par exemple à un teneur en eau $w_{opt}=20\%$ pour la vase seul, puis à la teneur en eau $w_{opt}=16\%$ pour (vase + sable concassé 15%), puis $w_{opt}=14\%$ (vase+ sable dune 30%), et enfin à $w_{opt}=12\%$ pour la vase+sable dune à 15%).



Malaxage

compactage

découpage

Figure.IV.4 : préparation des échantillons

II.4 Présentation des résultats

Les résultats obtenus à partir de l'essai œdométrique sont récapitulés dans les tableaux suivants puis représentés sur les figures correspondantes.

Tableau IV.1 Résultats œdométrique pour vase seule

Échantillon 1 : Vase seule							
Sect de l'éch S(cm ²)	Haut init h ₀ (mm)	Charge (kg)	Contrainte (kPa)	Lecteur Δh (mm)	h=h ₀ -Δh	$h_p = \frac{wd}{\gamma_s * s}$	$e = \frac{h-h_p}{h_p}$
44.15	20	1	22.646	0.45	19,55	15,11	0,224
		4	90.587	1,05	18,95		0,206
		16	362.349	1,77	18,23		0,172
		32	724.699	2,29	17,71		0,107
		64	1449.398	3,27	16,73		0,118
		16	362.349	3,1	16,9		0,14
		1	22.646	2,47	17,53		0,224

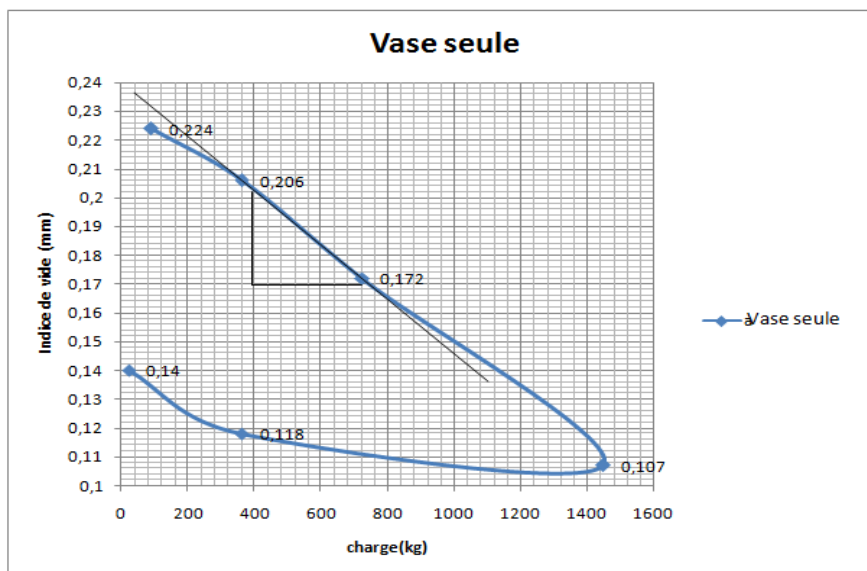


Figure IV.5 Courbe de compressibilité de la Vase seule.

Calcul de l'indice de gonflement

$$C_s = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma'} = \frac{0,24 - 0,21}{\log(600) - \log(400)} = 0,1229$$

Tableau.IV.2 Résultats de l'essai œdométrique (Vase +15% sable concassé).

Échantillon 2 : Vase + 15 % sable concassé)							
Sect de l'éch S(cm ²)	Hauteur initiale h ₀	Charge (kg)	Contrainte (kPa)	Lecteur Δh(mm)	h=h ₀ -Δh	$h_p = \frac{wd}{\gamma_s * s}$	$e = \frac{h-h_p}{h_p}$
44.15	20	10	22.646	0.22	19,78	15,11	0,286
		40	90.587	0,56	19,44		0,264
		160	362.349	1,19	18,81		0,239
		320	724.699	1,7	18,3		0,173
		640	1449.398	2,27	17,73		0,182
		160	362.349	2,13	17,87		0,196
		10	22.646	0.22	19.78		0,286

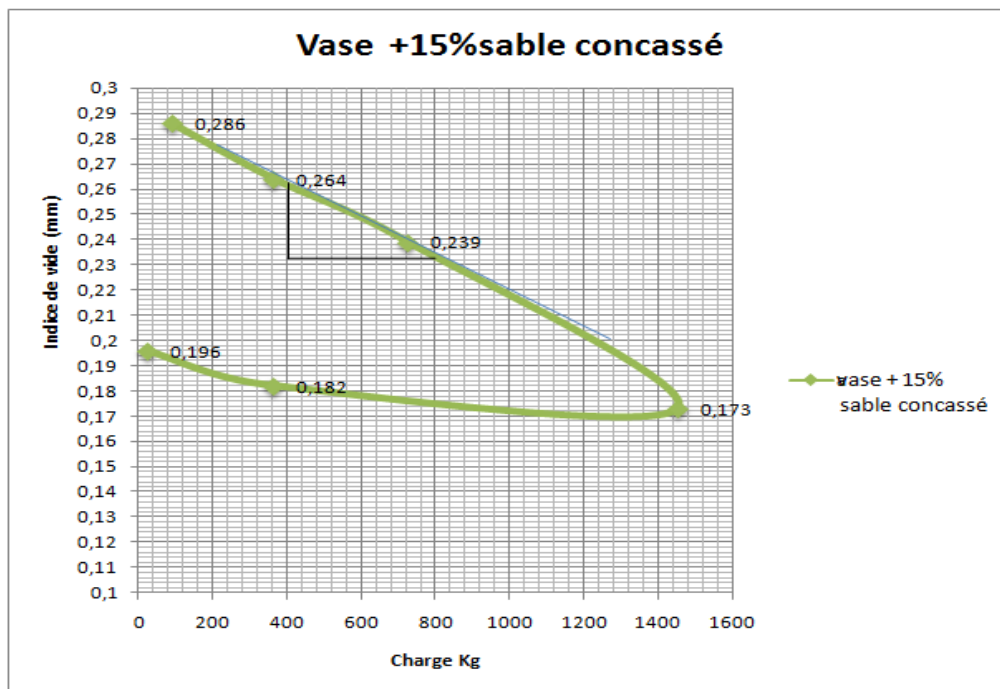


Figure IV.6 Variation de l'indice des vides en fonction de la charge (Vase +15% sable concassé)

Calcul de l'indice de gonflement

$$C_s = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma'} = \frac{0,261 - 0,233}{\log(800) - \log(400)} = 0,0930$$

Tableau IV.3. Résultats de l'essai œdométrique (Vase +15% sable de dune)

Échantillon 3 : Vase + 15% sable de dune							
Sect de l'éch S(cm ²)	Haut init h ₀ (mm)	Charge (kg)	Contrainte (kPa)	Lecteur Δh (mm)	h=h ₀ - Δh	$h_p = \frac{wd}{\gamma_s * s}$	$e = \frac{h-h_p}{h_p}$
44.15	20	10	22.646	0,17	19,83	15,11	0,253
		40	90.587	0,92	19,08		0,228
		160	362.349	1,65	18,35		0,207
		320	724.699	2,13	17,87		0,156
		640	1449.398	2,53	17,47		0,165
		160	362.349	2,40	17,6		0,173
		10	22.646	2,28	17,72		0,253

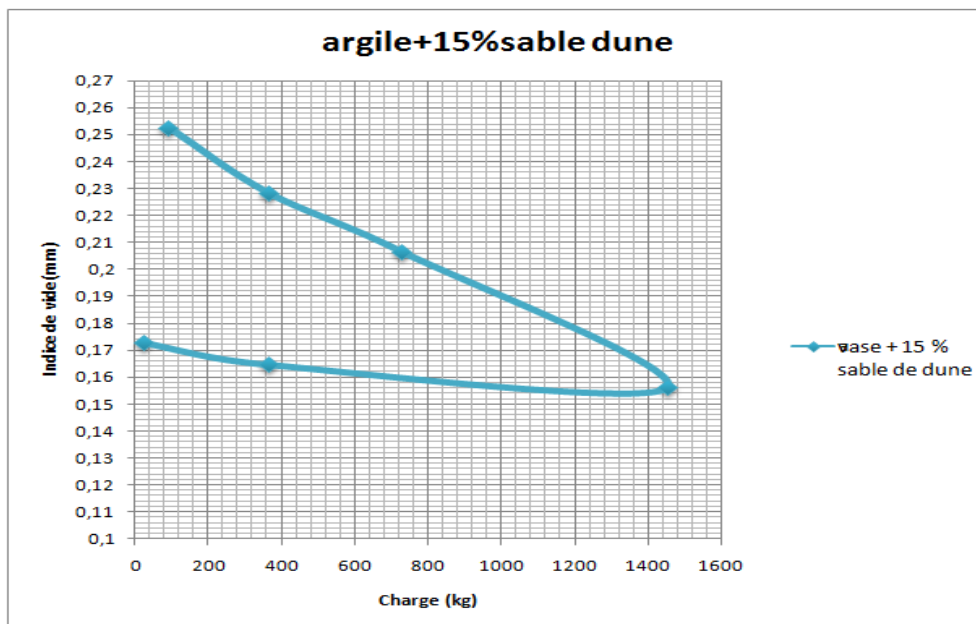


Figure IV.7 Variation de l'indice des vides en fonction de la charge (vase +15% sable de dune)

Calcul de l'indice de gonflement

$$C_s = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma'} = \frac{0,226 - 0,202}{\log(800) - \log(400)} = 0,0797$$

Tableau IV.4. Résultats de l'essai œdométrique (Vase + 30% sable de dune).

Échantillon 4 : Vase + 15% sable de dune)							
Section de l'échantillon S(cm ²)	Hauteur initiale h ₀	Charge (Kg)	Contrainte (Kpa)	Lecteur Δh(mm)	h=h ₀ -Δh	$h_p = \frac{pd}{\gamma_s - s}$	$e = \frac{h-h_p}{h_p}$
44.15	20	10	22.646	0,16	19,84	15,11	0,286
		40	90.587	0,56	19,44		0,266
		160	362.349	0,86	19,14		0,242
		320	724.699	1,38	18,62		0,204
		640	1449.398	1,8	18,2		0,213
		160	362.349	1,67	18,33		0,224
		10	22.646	1,20	18,5		0,286

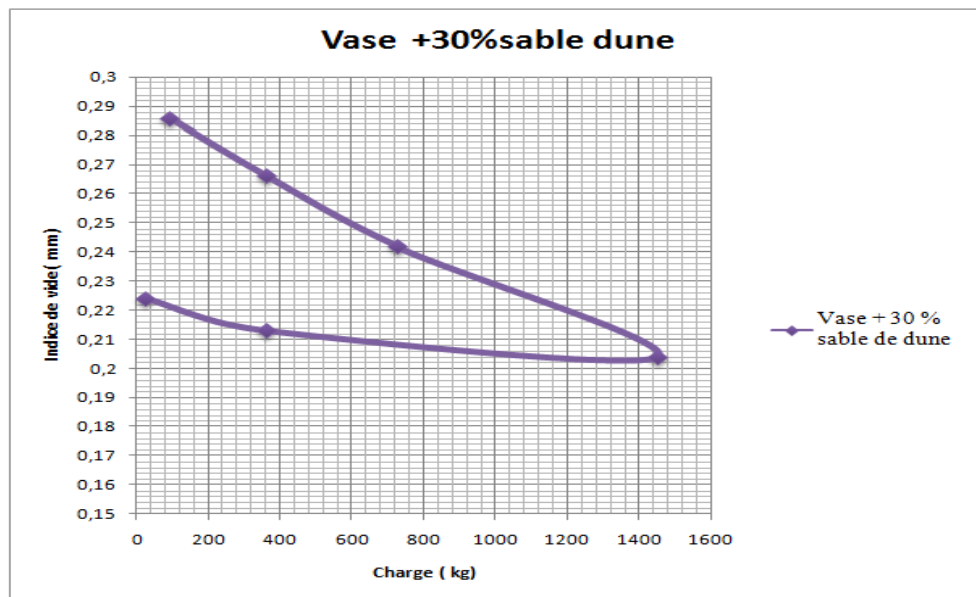


Figure IV.8 variation de l'indice des vides en fonction de la charge (Vase +30% sable de dune)

Calcul l'indice de gonflement :

$$C_s = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma'} = \frac{0,278 - 0,25}{\log(600) - \log(200)} = 0,0586$$

II.5 Interprétation des résultats

Le tableau IV.5 récapitule les valeurs de gonflement finales en fonction des différents pourcentages d'ajout. Nous pouvons constater que le sable réduit considérablement le gonflement de la vase notamment le sable de dune avec un pourcentage de 30%.

Tableau.IV.5. valeurs de gonflement en fonction de la teneur d'ajout

%d'ajout	Vase	V+15% S.C	V+15%SD	V+30%SD
Indice de gonflement	0,1229	0,0930	0,0797	0,0586

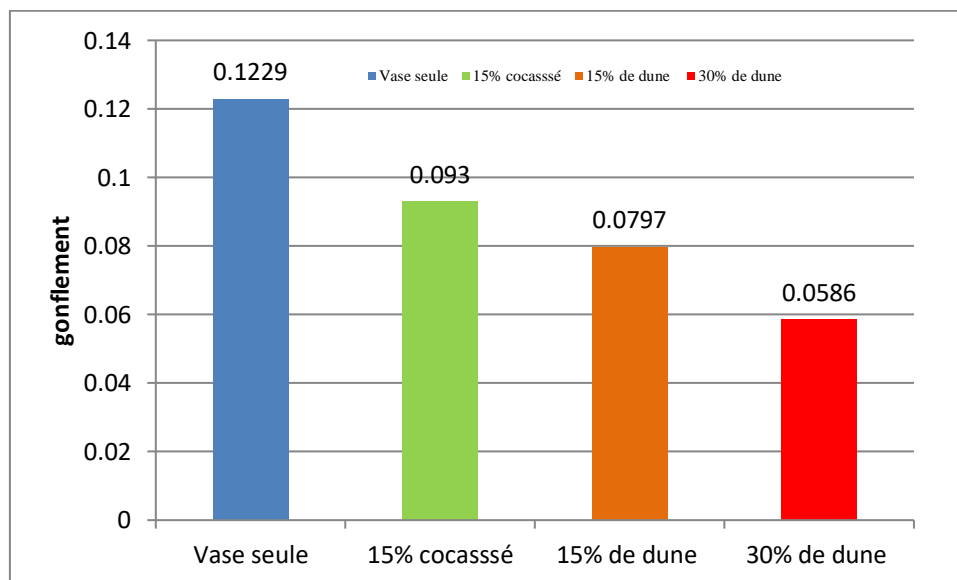


Figure IV.9 Evolution de l'indice de gonflement en fonction des différents mélanges

III.7 Conclusion

Le gonflement des sols est un phénomène très complexe qui fait intervenir un grand nombre de paramètres intrinsèques et environnementaux. Lors de cette étude, nous avons essayé de faire une caractérisation mécanique de notre matériau de base qui est la vase puis de voir l'influence des ajouts de différentes nature et différents pourcentages sur ces caractéristiques. A l'issue de cette étude nous pouvons faire une première constatation par rapport au gonflement et qui s'est manifesté par une réduction du potentiel de gonflement avec l'augmentation du taux d'ajout.

La constatation la plus importante à signaler dans la stabilisation au sable est que la réduction du gonflement est proportionnelle au pourcentage de l'ajout et que le potentiel de gonflement

diminue avec l'augmentation de ce dernier. Les meilleures réductions sont obtenues pour des teneurs en sable de dune à 30%,

III. RESISTANCE AU CISAILLEMENT DES MATERIAUX ETUDIES

III.1 Introduction

Dans tous les problèmes de stabilité des sols (étude de fondation, ouvrages de soutènement, remblais, talus, etc.), il est nécessaire de connaître la résistance du sol. Cette résistance est souvent difficile à déterminer, spécialement lorsqu'il s'agit d'un sol cohérent.

Dans ce chapitre nous allons étudier la résistance au cisaillement des mélanges la vase seule puis avec ajout de sable (de dune ou concassé) en utilisant la boîte de cisaillement.

III.2. But de l'essai de cisaillement

Il s'agit de déterminer les caractéristiques mécaniques d'un sol en procédant au cisaillement rectiligne d'un échantillon sous charge constante.

L'essai de cisaillement permet de tracer la courbe intrinsèque du sol étudié, et de déterminer son angle de frottement interne ϕ et sa cohésion C .

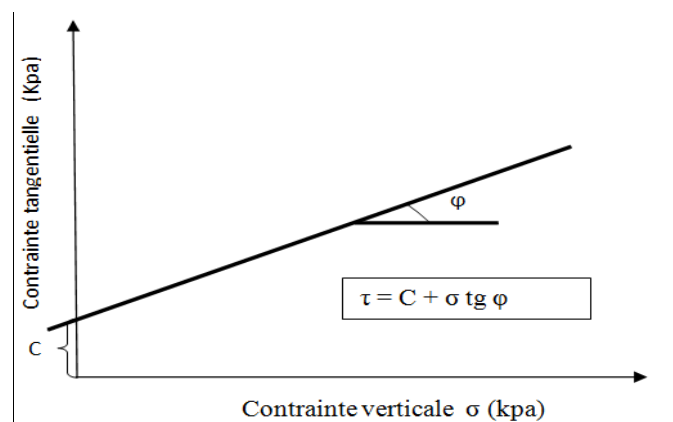


Figure IV.10. Courbe intrinsèque

III.3. Mode opératoire de l'essai NF P 94- 071-1 :

L'essai s'effectue sur une éprouvette de sol placée dans une boîte de cisaillement constituée de 2 demi-boîtes indépendantes. Le plan de séparation des 2 demi-boîtes constitue un plan de glissement correspondant au plan de cisaillement de l'éprouvette.

L'essai consiste à :

- Appliquer sur la face supérieure de l'éprouvette un effort vertical (N) maintenu constant pendant la durée de l'essai.

- Produire après consolidation de l'éprouvette (sous l'effet de N), un cisaillement selon le plan horizontal de glissement des 2 demi-boîtes l'une par rapport à l'autre en leur imposant un déplacement relatif δl à vitesse constante.
- Mesurer l'effort horizontal de cisaillement T correspondant.



Figure IV.11 Appareil de cisaillement

Au cours de l'essai, les déplacements verticaux (de tassement) et horizontal (relatif des 2 demi-boîtes l'une par rapport à l'autre), sont mesurés. Pour pouvoir tirer (C et ϕ), les paramètres de cisaillement. L'essai doit être effectué au moins 3 fois sur des échantillons ayant les mêmes dimensions, préparés dans les mêmes conditions, cisailés à la même vitesse mais soumis à des efforts verticaux différents (exemple : 50, 100 et 200 kPa). Après consolidation, le cisaillement débute dont la vitesse est bien Déterminée (≥ 1 mm/mn pour un sol pulvérulent).

On obtient ainsi les courbes de cisaillement effort-déformation et l'on peut en déduire les droites et il est alors simple de déterminer l'angle de frottement et la cohésion C.

III.4.Expression des résultats

Les essais de cisaillement à la boîte sont réalisés sur les échantillons suivants :

- La vase seule.
- Vase + 15 % sable concassé.
- Vase + 15% sable de dune.
- Vase + 15% sable de dune.

Cet essai est réalisé en mettant le matériau en place dans le boîtier de 50x50 cm de côté. Les échantillons sont taillés dans un sol compacté à l'essai Proctor modifié et dont la teneur en eau de chaque échantillon est de $w_{opt} = 20\%$ pour vase seul, $w_{opt} = 16\%$ pour (vase + 15% sable concassé), $w_{opt} = 14\%$ (vase+ 30% sable dune) et $w_{opt} = 12\%$ pour vase+15% sable dune.

Trois carrée sont donc façonnés aux dimensions de la boîte de cisaillement. Les pressions de consolidation appliquées sont: 50, 100,200 kPa pour le même matériau préparé dans les mêmes conditions de compactage et de teneur en eau.



Figure IV.12. Photos des échantillons soumis à l'essai de Cisaillement

a) Vase seule :

Les résultats obtenus à partir de l'essai de cisaillement sont illustrés par la figure suivante :

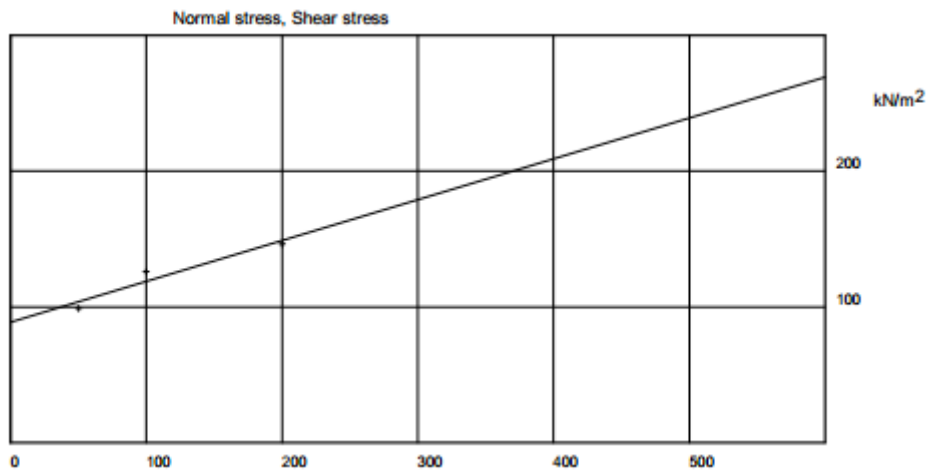


Figure IV.13 Courbe de Cisaillement (Vase seule).

b) Vase +15% Sable de dune.

Les résultats obtenus à partir de l'essai de cisaillement sont illustrés par la figure suivante :

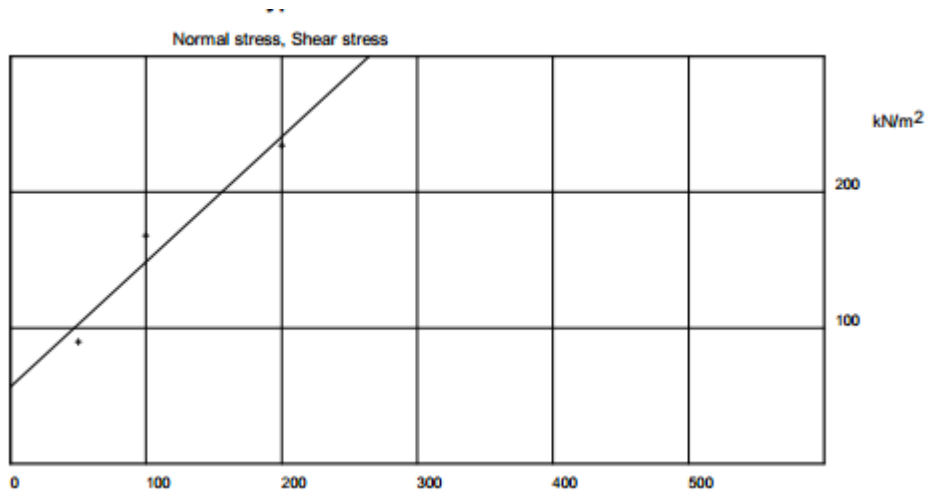


Figure IV.14 Courbe de Cisaillement (Vase +15% sable de dune).

c) Vase +30% Sable de dune :

Les résultats obtenus à partir de l'essai de cisaillement sont illustrés par la figure suivante :

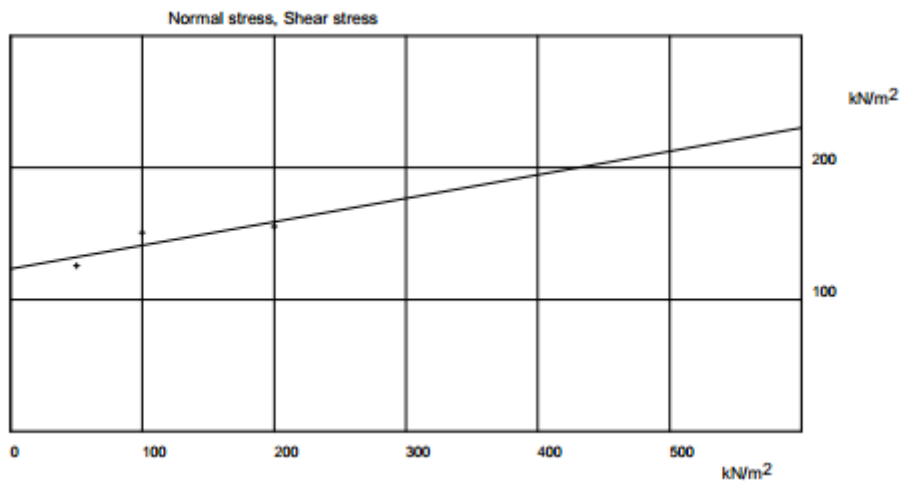


Figure IV.15 Courbe de Cisaillement (Vase +30% sable de dune).

Les courbes présentées sur les figures IV.13, jusqu'à la figure IV.15 montrent que la résistance au cisaillement des différents mélanges augmente avec l'accroissement des contraintes verticales. En effet, l'augmentation des contraintes normales appliquées accentue la

compacité de l'échantillon, cela conduit au resserrement des grains et donc, un frottement plus important et une résistance plus grande à la sollicitation.

A partir de ces courbes on remarque qu'il y a, en général, une augmentation des valeurs de c et ϕ , cohésions et angle de frottement des mélanges par rapport au matériau vase seule. Ce qui se traduit par une meilleure résistance conséquente à l'ajout du sable comme matériau de traitement.

Tableau IV.6 Cohésion des différents mélanges

Mélange	Cohésion(Kpa)
Vase Seule	88,61
Vase + 15% sable de dune	56,63
Vase + 30% sable de dune.	123,16

Tableau IV.7 Angle de frottement des différents mélanges

Mélange	Angle de frottement ϕ (°)
Vase Seule	16,74
Vase + 15% sable de dune	42,62
Vase + 30% sable de dune.	10,10

IV. Conclusion :

A la lumière des résultats obtenus dans ce chapitre, nous pouvons conclure que l'ajout de sable présente des résultats très intéressants au cisaillement direct à la boîte comme à l'essai œdométrique. Le comportement mécanique des différents mélanges est sensiblement amélioré comparé à celui de la Vase seule.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La consommation de matériaux lors de la construction des routes étant énorme, le recyclage des matériaux de chaussée permet la réutilisation des matériaux existant avec ou sans modification des caractéristiques des matériaux.

Cette étude expérimentale s'inscrit dans ce même contexte, elle a pour objectifs, l'exploitation et la valorisation d'un matériaux locaux (Vase) et traité avec un sable afin d'être utilisé dans le domaine des travaux publics, particulièrement, dans les corps de chaussées (couches de forme et couches de fondation).

Les matériaux sélectionnés (vase et sable) présentent plusieurs avantages que ce soit sur le plan économique ou sur le plan environnemental, à savoir :

- Disponibilité ;
- Facilité de préparation.

Les résultats obtenus à l'issue des essais réalisés sur des échantillons reconstitués à base de mélanges du la vase et de sable permettent de tirer les conclusions suivantes :

- Les mélanges étudiés développent des densités sèches réduites comparativement à celles développées par la vase seule, néanmoins, elles restent assez importantes et satisfaisantes comparativement aux seuils fixés par les normes dans le cas d'un matériau routier.

- L'ajout de sable notamment sable de dune à 30% améliore la portance des mélanges même en présence d'eau (après immersion), tout en présentant des gonflements faibles. Ces résultats sont très intéressants.

Les mélanges étudiés présentent des résistances très intéressantes au cisaillement direct à la boîte, traduite particulièrement par des angles de frottement interne très importants.

Les mélanges étudiés (la vase + sable de dune ou sable concassé) présentent ainsi des comportements et des propriétés mécaniques très intéressantes, notamment pour des teneurs en sable de dune au environ de 30%.

D'après les résultats obtenus, la vase de barrage Oued K'seb peut être considéré comme un déchet, mais comme un matériau valorisable dans les techniques routiers.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Rimini (1997a). « Envasement des retenues de barrages en Algérie : importance, Mécanismes et moyen de lutte par la technique du soutirage ». Thèse de Doctorat d'état, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger.
- [2] (Rimini et Hal louche, 2007b) « l'Algérie plus d'un siècle de désenvasement des Barrages» (Partie II), Les eaux douces et de surface chapitre8.
- [3] (J.Beauchamp) : Sédiments et roches sédimentaires
- [4] (P. Des lauriers et J. Couveignes, 2001) : Le cycle de formation des Roches : École Édouard-Mont petit, Montréal, juin 2001 Science animée.
- [5] Z. LABIOD : « Valorisation des boues de curage du barrage de Bouhanifia », 2^{ème} Séminaire national sur les ressources en eau, centre universitaire de Mascara (Algérie), 21 à 22 Avril 2002.
- [6] [Sécha A.2008]. « Erosion spécifique et caractérisation de la résistance au cisaillement des sédiments du barrage de Fergoug » B Mekerta, A Sécha, F Rahman, JP Troalen, X^{èmes} Journées Nationales Génie Civil Génie Côtier 1, 14-15
- [7] (Schneider G.2001) : « Le curage des sédiments des cours d'eau ». Le courrier de l'environnement de l'INRA (France) 2000
- [8] (Marot F., 1998). « LES SCIENCES DE LA TERRE AU SERVICE DES SITES ET SOLS POLLUÉS ». ÉTAT DE L'ART. [https://halinsu. Archives ouvertes.fr/docs/00/95/74/77/PDF/Marot.pdf](https://halinsu.archives-ouvertes.fr/docs/00/95/74/77/PDF/Marot.pdf)
- [9] [PROULHAC.N, KER LANN, 2006] Rapport Final du Schéma Directeur de gestion et de valorisation des sédiments de dragage de Rouen et Tancarville. Département de La Gironde. Bassin d'Arcachon
- [10] Ben Allal L. et al, (2011). « Valorisation des sédiments de dragage portuaire du nord du Maroc dans des matériaux de construction en terre cuite », Costal and Maritime Méditerranéen Conférence (2011). Available from <http://www.paralia.fr/cmcm/e02-28-benallal.PDF>.
- [11] Agostini F. (2006) : « Inertage et valorisation des Sédiments de dragage marins » Agostino - 2006 - tel. Archives-ouvertes.fr
- [12] (LCPC, 1987) : Essai de cisaillement à la boîte, Laboratoire centrale des ponts et Chaussées.

- [13] (Techouani, 1999). « Influence de la perméabilité d'un milieu granulaire sur la résistance au cisaillement. Application aux matériaux : granite, grès, calcaire, sable d'oued ». A meddah- 2011 - dl.ummtto
- [14] D. TESSIER : Recherches expérimentales sur l'organisation des particules dans les argiles. Application à l'étude de 4 pâtes argileuses « calciques » en voie de dessiccation. Thèse pour l'obtention du diplôme d'ingénieur CNAM. Laboratoire de géologie appliquée, 1975.
- [15] Arque G. & quot;Théorie générale de l'influence de la teneur en eau sur les résultats du compactage & quot;, BLPC. p. 61- 62. Vol. 179.
- [16] Cordary D, 1995. Mécanique des sols
- [17] Varlet H, & quot; Barrages, Réservoirs : barrages en terre et en enrochements. Paris : Eyrolles, 1966. p. 36 -58. Tome II
- [18] Arque G. & quot; Théorie générale de l'influence de la teneur en eau sur les résultats du compactage & quot;, BLPC. p. 61- 62. Vol. 179
- [19] Robitaille, V. and Tremblay, D. (1997) Mécanique des sols théorie et pratique. Modulo ed., Québec.

LES NORMES

- NF P 11-300, septembre 1992 : Classification des matériaux utilisables dans la construction des Remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.
- NFP 94-068, Novembre 1993. Sols : reconnaissance et essai - Mesure de la quantité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux. Détermination de la valeur de bleu de Méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux par l'essai à la tache
- NF P 94-050, septembre 1995. Sols : reconnaissance et essai - Détermination de la teneur en eau Pondérale des sols. Méthode par étuvage
- NF P 94-054, octobre 1991. Sols : reconnaissance et essai - Détermination de la masse volumique des particules solides des sols. Méthode du pycnomètre à eau.
- NF P 94-056, mars 1996. Sols : reconnaissance et essai - Analyse granulométrique. Méthode par Tamisage à sec après lavage.
- NF P 94-093, Décembre 1993. Sols : reconnaissance et essai - Détermination des caractéristiques de compactage d'un sol : essai Proctor normal, essai Proctor modifié.
- NF P 94-071-1, août 1992. Sols : reconnaissance et essai - Essai de cisaillement rectiligne à la Boite : cisaillement direct.

- NF P 94-051, mars 1993. Sols : reconnaissance et essai – Détermination des limites d'Atterberg – Limite de liquidité à la coupelle- limite de plasticité au rouleau.

RESUME

En Algérie, le phénomène de l'envasement touche l'ensemble des barrages où d'énormes quantités de sédiments viennent se déposer chaque année au fond des retenues. En géotechnique environnementale, la valorisation des matériaux de dragage et leur utilisation dans la réalisation de certains ouvrages de travaux publics est une voie de plus en plus prospectée par les chercheurs ces dernières années, et constitue par conséquent un axe de recherche en harmonie avec le concept de développement durable.

Le travail proposé vise à déterminer les propriétés physique de la vase du barrage de Ksob, reconnue comme déchet et dont la valorisation pourrait apporter une solution tant économique qu'environnemental à la région de Boukhmissa région de M'sila. Nous visons à améliorer les caractéristiques physiques et même mécaniques, de cette vase par l'ajout d'un sable dans une proportion suffisante afin de l'utiliser dans les travaux routiers.

Mots clés : vase, Oued K'Sob, technique routière, traitement, portance.

ABSTRACT

In Algeria, the siltation phenomenon affects all the dams where huge quantities of sediment are deposited each year at the bottom of the reservoirs. In environmental geotechnics, the valuation of dredged materials and their use in the construction of certain public works is an avenue that has been increasingly explored by researchers in recent years, and therefore constitutes a line of research in harmony with the concept sustainable development. The proposed work aims to determine the physical properties of the silt from the Ksob dam, recognized as waste and whose recovery could provide both an economic and environmental solution to the Boukhmissa region of M'sila. We aim to improve the physical and even mechanical characteristics of this silt by adding enough sand to use it in road works.

Keywords: vase, Oued K'Sob, road technique, treatment, lift.

ملخص

في الجزائر، تؤثر ظاهرة الطمي على جميع السدود حيث تترسب كميات هائلة من الرواسب كل عام في قاع الخزانات. في الجيوتقنيات البيئية، يعتبر تقييم المواد المجرفة واستخدامها في بناء بعض الأشغال العامة وسيلة تم استكشافها بشكل متزايد من قبل الباحثين في السنوات الأخيرة، وبالتالي فهي تشكل محورًا بحثيًا يتوافق مع مفهوم التنمية المستدامة. يهدف العمل المقترح إلى تحديد الخصائص الفيزيائية للطمي بسد قسوب، المعترف به كفايات والذي يمكن أن يوفر استعادتها حلاً اقتصادياً وبيئياً لمنطقة بوخميسة في المسيلة. نهدف إلى تحسين الخصائص الفيزيائية وحتى الميكانيكية لهذا الطمي عن طريق إضافة ما يكفي من الرمل لاستخدامه في أشغال الطرق.

كلمات مفتاحية: الطمي، واد قسوب، تقنية الطريفات، علاج، قوة تحمل.