



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF DE M'SILA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention d'un diplôme de
MASTER
FILIERE : GENIE CIVIL
Option : Géotechnique

Par :

ZEGAAR Nabil *et* BENZIANE Benallia

THEME

**Traitement des sédiments du barrage de K'sob
en vue de d'améliorer leurs caractéristiques
physique et mécaniques**

Devant le jury composé de :

Pr BELAGRAA Lari
Dr SEDDIKI Ahmed
Dr BAKIR Nassima

Président
Examineur
Encadreur

Année universitaire : 2021/2022

REMECIEMENTS

Toute ma gratitude et remerciements vont à mon Dieu le tout puissant qui m'a donné la force, la patience, le courage et la volonté pour effectuer ce travail. Mes sincères remerciements vont au président et aux membres du jury de soutenance qui m'ont fait l'honneur d'examiner ce travail.

Je ne saurais oublier d'exprimer mes remerciements à tous les enseignants du département de Génie Civil, ainsi qu'à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à ma formation.

Je remercie particulièrement mon encadreur **Dr. BAKIR Nassima**

- ZEGAAR Nabil -

Je remercie DIEU qui m'a toujours donné la force de passer à travers toutes les épreuves et les découragements, qui m'ont aidée à mener à terme cette recherche dans des bonnes conditions morales et matérielles

Je remercie vivement **Dr. BAKIR Nassima**, pour ses recommandations.

A mes parents et amis, qui m'avez apporté soutien et sympathie tout au long de ces années de travail, sachez qu'il m'est fort agréable de vous exprimer mes vifs remerciements.

A tous les enseignants du département du génie civil de M'sila.

- BENZIANE Benallia -

RESUME

La présente étude vise à réaliser un travail expérimental sur l'identification et le traitement des sédiments de dragages du barrage K'sob.

Les quantités de sédiments rejetés par les opérations de dragage du barrage K'sob et déposés en amont peuvent entraîner une pollution à long terme de l'environnement rural. Ce qui oriente la recherche scientifique vers l'apport de solution quant à la récupération et la réutilisation de ces gisements qui devraient permettre un développement à moyen terme dans le domaine du génie civil.

Nous allons donc présenter dans ce travail l'identification physique puis mécanique de la boue de dragage puis proposer un traitement qui se résume à l'ajout d'un sable concassé dans le but d'améliorer les caractéristiques mécaniques de la vase pour une éventuelle valorisation dans le domaine de génie civil.

Mots clés : Traitement ; Sédiments de dragage ; Barrage K'sob ; Valorisation.

ABSTRACT

This study aims to carry out experimental work on the identification and treatment of dredged sediments from the K'sob dam.

The quantities of sediment discharged by the dredging operations of the K'sob dam and deposited upstream can lead to long-term pollution of the rural environment. This directs scientific research towards providing solutions for the recovery and reuse of these deposits, which should allow medium-term development in the field of civil engineering.

We will therefore present in this work the physical then mechanical identification of the dredging mud and then propose a treatment which boils down to the addition of crushed sand in order to improve the mechanical characteristics of the mud for possible recovery in the field of civil engineering.

Keywords: Treatment; Dredged sediments; K'sob dam; Valuation.

ملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى إجراء أعمال تجريبية لتحديد ومعالجة الرواسب المجروفة من سد كسوب. يمكن أن تؤدي كميات الرواسب التي يتم تصريفها من خلال عمليات التجريف في سد كسوب والتي تترسب عند المنبع إلى تلوث طويل الأمد للبيئة الريفية. وهذا يوجه البحث العلمي نحو تقديم حلول لاستعادة وإعادة استخدام هذه الرواسب، والتي من شأنها أن تسمح بالتنمية على المدى المتوسط في مجال الهندسة المدنية.

لذلك سنقدم في هذا العمل التحديد المادي ثم الميكانيكي لطين التجريف ثم نقترح معالجة تتلخص في إضافة الرمل المسحوق من أجل تحسين الخصائص الميكانيكية للطين من أجل الاستعادة الممكنة في مجال الهندسة المدنية.

الكلمات المفتاحية: علاج؛ رواسب مجروفة سد كسوب تقييم.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	13
CHAPITER I: PRESENTATION DU BARRAGE K'SOB ETDES PROBLEMES ET SOLUTION LIES ALA VASE	
I .1.INTRODUCTION	15
I .2 LES ELEMENT CONSTITUTIFS DE BARRAGE :	15
I.3 LES DIFFERENTS TYPES DE BARRAGES :	16
I.3.1 LES BARRAGES EN REMBLAI :	16
I.3.2 LES BARRAGE EN BETON :	18
I.4 BARRAGES EN ALGERIEN :	20
I.5 GENERALITES SUR OUED ET BARRAGE K'SOB	22
I.6 PRESENTATION DU BARRAGE DE K'SOB:	23
I.7 DEFINITION DE LA VASE :	25
I.8 COMPOSITION DES VASES.....	26
I.8.1 STRUCTURE PHYSICO-CHIMIQUE DES VASE:	26
I.8.2 RHEOLOGIE DES VASES	27
I.9 PROCESSUS DE DECANTATION ET DE TASSEMENT DES VASES.....	28
I.10 LES MODELES D'ESTIMATION DE L'ENVASEMENT.....	31
I.10.1 EVALUATION DE LE VOLUME DE L'ENVASEMENT [NETO 2007].....	31
I.10.2 BATHYMETRIE PAR NIVELLEMENT [PROUCHAL, KER LANN 2006].....	31
I.10.3 Bathymétriq ues Par Sondeurs: «Echosondeur Bathymetrique»	32
I.11 PROBLEMES DE L'ENVASEMENT DES BARRAGES.....	34
I.11.1 LA REDUCTION DE LA CAPACITE	35
I.12 LE DRAGAGE.....	36
I.12.1 TYPES DE DRAGAGE	36
I.12.1.1 DRAGAGE HYDRAULIQUE :	37
I.12.1.2 DRAGAGE MÉCANIQUE.....	37
I.12.1.3 DRAGAGE À L'AMÉRICAINNE	38
I.12.2 DIFFÉRENTS MOYENS DE DRAGAGE.....	38
I.13 LES MOYENS DE LUTTE CONTRE L'ENVASEMENT	39
I.14 CONCLUSION	40
CHAPITRE II: LES TECHNIQUES DE TRAITEMENT	
II.1- INTRODUCTION :.....	42
II.2- Traitement Par La Correction De La Courbe Granulometrique :.....	42
II.3- TRAITEMENT A LA CHAUX ET/OU AUX LIANTS HYDRAULIQUES :.....	42

II.3.1- TRAITEMENT A LA CHAUX :	43
II.3.1.1- FABRICATION DE LA CHAUX :	43
II.3.1.2- DIFFERENTS TYPES DE CHAUX :	44
II.3.1.2.1- CHAUX VIVE :	44
II.3.1.2.2- CHAUX ETEINTE :	45
II.3.1.2.3- CHAUX MAGNESIENNE :	45
II.3.1.2.4- CHAUX HYDRAULIQUE :	45
II.3.1.3- ACTION DE LA CHAUX :	45
II.3.1.3.1- ACTIONS IMMEDIATES :	46
II.3.1.3.2- ACTIONS A LONG TERME (ACTION POZZOLANIQUE) :	47
II.3.2- TRAITEMENT AUX LIANTS HYDRAULIQUES :	48
II.3.2.1- Les CIMENTS :	48
II.3.2.2- LES LIANTS HYDRAULIQUES ROUTIERS LHR : [12]	49
II.3.2.3- ACTION DES LIANTS HYDRAULIQUES : [12]	49
II.3.2.3.1- ACTIONS IMMEDIATES :	49
II.3.2.3.2- ACTIONS A MOYEN ET LONG TERME :	50
II.4- CONCLUSION :	50

CHPITER III: CARACTERISATION GEOTECHNIQUE

III.1 INTRODUCTION :	53
III.2 - PRESENTATION DES ECHANTILLONS	53
III.3 ESSAIS D'IDENTIFICATIONS:	54
III.3.1 TENEUR EN EAU NATURELLE W(%)	54
III.3.2 MESURE DE LA MASSE VOLUMIQUE (NF P 94-053) :	54
III.3.3 PYCNOMETRE (NF P 94-054) :	55
III.3.4 ANALYSE GRANULOMETRIQUE :	56
III.3.5 LIMITES D'ATTERBERG	58
III.3.5.2 MODE OPERATOIRE :	59
III.3.5.3 METHODE DE CASAGRANDE	59
III.3.6 ESSAI AU BLEU DE METHYLENE (VBS)	60
III.4 ESSAIS MECANIQUES :	62
III.4.1 ESSAI PROCTOR NORMAL (NF P 94-093)	62
III.4.2 PRINCIPE DE L' ESSAI PROCTOR :	62
III.4.2.1 PROTOCOLE OPERATOIRE	63
III.4.3 ESSAI PROCTOR MODIFIE :(SELON LA NORME : NF P 94-093)	64
III.4.3.1 MODE OPERATOIRE :	64
III.4.4 ESSAI DE CISAILLEMENT : (NORMES NF P 94- 071)	65

III.4.4.1 MODE OPERATOIRE :.....	65
III.5 CONCLUSION :.....	66

CHAPITER IV: PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS D'ESSAI

IV.1 INTRODUCTION	68
IV.2 TENEUR EN EAU NATURELLE SELON LA NORME NF P94-050 :.....	68
IV.3 LA MASSE VOLUMIQUE SELON LA NORME NF P 94-054 :.....	68
IV.3.1 LA MASSE VOLUMIQUE (Absolu) :.....	68
IV.3.2 METHODE DU PYCNOMETRE A L'EAU :	69
IV.4 ÉQUIVALENT DE SABLE :.....	69
IV.5 ANALYSE GRANULOMETRIQUE SELON LA NORME NF P18-560 :	69
IV.6 ESSAI AU BLEU DE METHYLENE VBS SELON LA NORME NF P 94-068 :.....	71
IV.6.1 CLASSIFICATION De LA VASE SELON LES PARAMETRES DE L'ESSAI:	71
IV.6.2 LA VASE + 5 % SABLE CONCASSE :	72
IV.6.3 LA VASE + 10 % SABLE CONCASSE :	72
IV.6.4 LA VASE + 15 % SABLE CONCASSE :	72
IV.6.5 ÉVALUATION DE LA VALEUR DE BLEU DE DIFFERENTE MELANGE :.....	73
IV .7 LIMITES D'ATTERBERG SELON LA NORME NF P 94-051 :.....	74
IV.7.1 LA LIMITE DE LIQUIDITE SELON LA NORME NF P94-051 :	74
IV.7.2 LA LIMITE DE PLASTICITE :.....	75
IV 7. 3 MATERIAU +5% SABLE CONCASSE :.....	76
IV.7.4 MATERIAU +10% SABLE CONCASSE :.....	78
IV.7.5 Matériau +15% SABLE CONCASSE :.....	79
IV.7.6 ÉVOLUTION DES LIMITES DE LIQUIDITE DES DIFFERENTS MELANGES :	80
IV.7.7 ÉVOLUTION DE L'indice DE PLASTICITE DES DIFFERENTS MELANGES :	81
IV.8 ESSAIS MECANIQUES :	81
IV.8.1 ESSAI PROCTOR SELON LA NORME NF 94-093 :	81
IV.8.1.2 MATERIAU +5% SABLE CONCASSE :	83
IV.8.1.3 MATERIAU +10% SABLE CONCASSE :	84
IV.8.1.4 MATERIAU +15% SABLE CONCASSE :	85
IV.8.1.5 ÉVOLUTION De PROCTOR NORMAL DES DIFFERENTS MELANGES :	86
IV.8.2 ESSAI PROCTOR MODIFIE :	86
IV.8.2.1 VASE SEULE :.....	86
IV.8.2.2 MATERIAU +5% SABLE CONCASSE :	88
IV.8.2.3 MATERIAU +10% SABLE CONCASSE :	89
IV.8.2.4 MATERIAU +15% SABLE CONCASSE :	90
IV.8.2.5 ÉVOLUTION DE PROCTOR MODIFIE DES DIFFERENTS MELANGES :	91

IV.8.3 L'ESSAI DE CISAILLEMENT :	91
IV.8.3.1 ECHANTILLON FAIBLEMENT COMPACTE :	91
IV.8.3.1.1 VASE SEULE :	91
IV.8.3.1.2 VASE +5 % SABLE CONCASSE :	92
IV.8.3.1.3 VASE +10 % SABLE CONCASSE :	92
IV.8.3.1.4 VASE +15 % SABLE CONCASSE :	93
IV.8.3.2 ECHANTILLONS FORTEMENT COMPACTES:.....	93
IV.8.3.2.1 VASE SEULE :	93
IV.8.3.2.2 VASE +5 % SABLE CONCASSE :	94
IV.8.3.2.3 VASE +10 % SABLE CONCASSE :	94
IV.8.3.2.4 VASE +15 % SABLE CONCASSE :	95
IV.9. CLASSIFICATION DU MATERIAU SELON LE GTR :	Error! Bookmark not defined.
IV.10 CONCLUSION.....	95

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I: PRESENTATION DU BARRAGE K'SOB ETDES PROBLEMES ET SOLUTION LIES ALA VASE

Figure I.2: Barrage K'sob.....	15
Figure I.3 : Les élément constitutifs d'un barrage.	16
Figure I.4: Barrage en terre homogène avec tapis drainant.....	16
Figure I.5: Barrage en terre à noyau étanche.....	17
Figure I.6: Barrage en terre à masque.	18
Figure I.7: Barrage en béton.	19
Figure I.8: Barrages à contrefort et à voute multiple.	19
Figure I.9: Une carte montrant quelques barrages en Algérie.....	20
Figure I.10: Vue sur le barrage K'sob lors de sa construction.....	22
Figure I.11: Vue aérienne du barrage du K'Sob par Google Earth 2022.....	23
Figure I.12: Carte de situation géographique.....	24
Figure I.13: Traversée de la vallée de la Charente par l'autoroute.....	26
Figure I.14: Schéma de la composition simplifiée des sédiments portuaires.....	27
Figure I.15: Les différentes phases du tassement (d'après Migniot1989). [9].....	29
Figure I.16: Schématisation de la bathymétrie par nivellement.....	31
Figure I.17: Estimation de l'envasement par la méthode de nivellement (Tachéomètre).....	32
Figure I.18: Schématisation de la bathymétrie par échosondeur.....	33
Figure I.19: dragage hydraulique.....	37
Figure I.20: Dragage mécanique.....	38
Figure I.21: Moyens de lutte contre l'envasement.....	39

CHAPITRE II: LES TECHNIQUES DE TRAITEMENT

Figure II.2: Traitement de remblai à la chaux (Rossi et al .2007).	43
Figure II.3: Cycle de la chaux, Constituants Du Béton Hydraulique.....	44
Figure II.4: Modification immédiate du comportement d'un sol argileux humide provoqué par l'introduction de chaux vive (Rossi et al. 2007).	47
Figure II.5: Le composition du ciment. BETON Degussa Construction Chemicals France.....	48

CHPITER III: Caractérisation Géotechnique

Figure III.1: Barrage K'sob.	54
Figure III.3: Les éprouvettes de la masse volumique.....	55
Figure III.4: la masse volumique absolue par pycnomètre.....	56
Figure III.5: L'analyse granulométrique par des tamis manuellement humide.....	57
Figure III.6: Série de Tamis manuellement.....	58
Figure III.7: Appareillage de limites d'atterberg.	59
Figure III.8: Détermination de la limite de liquidité.....	60
Figure III.9: Formation des rouleaux pour la détermination de Wp.....	60
Figure III.10: Matériels pour essai au bleu de méthylène (VBS).	62
Figure III.11: Matériel de l'essai Proctor normal.....	62
Figure III.12: Compactage de l'échantillon.....	63
Figure III.13: Appareil de cisaillement.....	65
Figure III.14: Résultats d'essai de Cisaillement.....	66

CHAPITRE IV: PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS D'ESSAI

Figure IV.1: Courbe de l'essai analyse granulométrique de vase.	70
Figure IV.3: Courbe de l'essai analys granulometrique sabel concasse.....	71
Figure IV.4: Courbe de la limite de liquidité.....	75
Figure IV.5: Courbe de la limite de liquidité.....	77
Figure IV.6: Courbe de la limite de liquidité.....	78
Figure IV.7: Courbe de la limite de liquidité.....	79
Figure IV.8: La courbe de l'essai Proctor normale.	82
Figure IV.9: La courbe de l'essai Proctor normale Sabel concasse 5%.....	83
Figure IV.10: La courbe de l'essai Proctor normale Sabel concasse 10%.....	84
Figure IV.11: La courbe de l'essai Proctor normale Sabel concasse 15%.....	85

Figure IV.12: La courbe de l'essai Proctor modifie.....	87
Figure IV.13: La courbe de l'essai Proctor modifie sable concasse 5 %.....	88
Figure IV.14: La courbe de l'essai Proctor modifie sable concasse 10 %.....	89
Figure IV.15: La courbe de l'essai Proctor modifie sable concasse 15 %.....	90
Figure IV.16: Droite intrinsèque (Vase seule).....	91
Figure IV.17: Droite intrinsèque (Vase +5% sable concasse).....	92
Figure IV.18: Droite intrinsèque (Vase +10% sable concasse).....	92
Figure IV.19: Droite intrinsèque (Vase +15% sable concasse).....	93
Figure IV.20: Droite intrinsèque (Vase seule).....	93
Figure IV.21: Droite intrinsèque (Vase +5% sable concasse).....	94
Figure IV.22: Droite intrinsèque (Vase +10% sable concasse).....	94
Figure IV.23: Droite intrinsèque (Vase +15% sable concasse).....	95

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I: PRESENTATION DU BARRAGE K'SOB ETDES PROBLEMES ET SOLUTION LIES ALA VASE

Tableau I.1: List des barrages en Algérie:.....	21
Tableau I.2: SUIVANT RESUME LES CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DU BASSIN VERSANT DU K'SOB.....	24

CHAPITRE II: LES TECHNIQUES DE TRAITEMENT

Tableau II.1: Désignation des différents types de ciment en fonction de leur composition dans la norme NF P 15-301, (1994).....	49
---	----

CHAPITRE IV: PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS D'ESSAI

Tableau IV.1 : résultats de teneur en eau W(%).	68
Tableau IV.2 : résultats de la masse volumique.	69
Tableau IV.3: Résultats de l'essai au pycnomètre.	69
Tableau IV.4: Résultats des essais analyse granulométrique.	70
Tableau IV.5: Résultats des essais analyse granulométrique.	70
Tableau IV.6: résultats de l'essai au bleu.	71
Tableau IV.7: Classification des sols d'après Philipponat.	72
Tableau IV.9: Détermination de la limite de liquidité.	74
Tableau IV.10: Valeurs trouvées de la limite de plasticité.	75
Tableau IV.11: Classification selon l'indice de plasticité.	76
Tableau IV.12: Limite de liquidité.....	76
Tableau IV.13: Valeurs trouvées de la limite de plasticité.	77
Tableau IV.14: Limite de liquidité.....	78
Tableau IV.15: Valeurs trouvées de la limite de plasticité.	78
Tableau IV.16: Limite de liquidité.....	79
Tableau IV.17: Valeurs trouvées de la limite de plasticité.	80
Tableau IV.18: les résultats de l'essai Proctor normale.	82
Tableau IV.19: Les résultats de l'essai Proctor normale Sabel concasse 5%.	83
Tableau IV.20: Les résultats de l'essai Proctor normale Sabel concasse 10%.	84
Tableau IV.21: les résultats de l'essai Proctor normale Sabel concasse 15%.	85
Tableau IV.22: Résultats de l'essai Proctor modifie.	86
Tableau IV.23: Résultats de l'essai Proctor modifie sabel concasse 5 %.	88
Tableau IV.24: Résultats de l'essai Proctor modifie sabel concasse 15%.	90
Tableau IV.25: Classification des sols fins selon GTR.....	Error! Bookmark not defined.

NOTATION

WL : Limite de liquidité.

WP : Limite de plasticité.

IP : Indice de plasticité.

VBS : Valeur de bleu.

γ_d : Densité sèche

γ_h : Densité humide

Wopt : La teneur en eau à l'optimum Proctor modifié

CBR : Californian Bearing Ratio

GTR : Guide des terrassements routiers

MO : Matières organiques

d10 : Diamètre de particules pour 10 % de passants cumulés

d30 : Diamètre de particule pour 30 % de passants cumulés

d60 : Diamètre de particule pour 60 % de passants cumulés

IPI : Indice Portant Immédiat

Rc : Résistance à la compression simple

CaO : Chaux vive

Cl : Chlore

MgO : Magnésie

Introduction

Générale

INTRODUCTION GENERALE

Ces dernières années, l'envasement des barrages algériens est devenu de plus en plus inquiétant et fréquent. Plus de 32 106 m³ de boue s'accumulent chaque année au fond du réservoir. Le barrage de K`sob n'échape pas à ce problème.

Le limon du réservoir algérien a atteint des niveaux importants et sa capacité est limitée (diminution importante du stockage de l'eau).

Le désenvasement est un moyen de lutte contre l'envasement, mais les conséquences qui en résultent sont des problèmes liés au dépôt des sédiments et à leur stockage. Il existe plusieurs moyens de contrer ce phénomène, comme le curage, le dragage, l'enlèvement, l'élévation des barrières végétales, voire la réutilisation. Toutes ces méthodes restent incomplètes sans une vision globale des phénomènes qui nécessitent l'apport de toutes les compétences scientifiques dans ce domaine.

Ces quantités de sédiments rejetés par les opérations de dragage et déposés en amont de l'opération peuvent entraîner une pollution à long terme de l'environnement rural. A cet effet, la récupération et la réutilisation de ces gisements devraient permettre un développement à moyen terme dans le domaine du génie civil. Mortier pour la construction de routes, la fabrication de briques et le remplissage de réseaux. Le but de cette étude est de traiter les sédiments dragués pour améliorer leurs caractéristiques mécaniques pour une éventuelle revaloriation dans le domaine du génie civil. Par conséquent, cette étude est divisée en quatre chapitres :

- Le premier chapitre présente la problématique de l'envasement des barrages et la difficulté posée par les sédiments rejetée lors des opérations de dragage.
- Le deuxième chapitre est une présentation des technique de traitement pour améliore les caractéristiques des sédiments de dragage.
- Le troisième chapitre présente les essais d'identifications physiques et mécaniques utilisés pour la caractérisation et le traitement des sédiments de dragage.
- le quatrième chapitre présente les résultats et interprétations de la caractérisation des paramètres physiques et du comportement mécanique avant et après traitement.

A la fin de notre étude, on a exposé l'aboutissement de nos travaux de recherches dans une conclusion générale.

CHAPITER I

**PRESENTATION DU BARRAGE
K'SOB ET DES PROBLEMES ET
SOLUTION LIES A LA VASE**

Chapitre I : PRESENTATION DU BARRAGE K'SOB ET DES PROBLEMES ET SOLUTION LIES A LA VASE

I .1.INTRODUCTION

Les barrages sont les plus grandes installations d'eau exécutées sur des rivières à courant permanent ou des vallées saisonnières afin de stocker leur eau, de réguler son débit, de prévenir les dangers d'inondations et de sécheresses, d'utiliser l'eau pour produire de l'énergie électrique propre, de compenser la pénurie d'eau potable et les usages domestiques, l'industrie, le tourisme, l'agriculture irriguée et d'organiser la navigation fluviale et gouverner l'environnement.

Il y a des barrages qui sont installés à une hauteur relativement petite sur les plages afin de prévenir les risques de marée comme c'est le cas aux Pays-Bas, car ils sont installés sur les grandes rivières afin de parer aux risques d'inondations et de protéger les basses terres habitées environnantes. On les appelle: les barrages de protection.



Figure I.1: Barrage K'sob

I .2 LES ELEMENTS CONSTITUTIFS DE BARRAGE :

Le barrage pourra comprendre plusieurs éléments constitutifs parmi les suivants : Tranchéeparafouille ; marnes inférieures ; molasses ; marnes intercalaires ; étanchéité ; paroi moulée ; tapis étanche ; alluvions du Michelbach ; tour de prise ; matériaux de transition ; alluvions propres ; enrochement ; noyau ; alluvions sales ; alluvions propres ; tapis drainant ; puits de décompression.

Chapitre I : PRESENTATION DU BARRAGE K'SOB ET DES PROBLEMES ET SOLUTION LIES A LA VASE

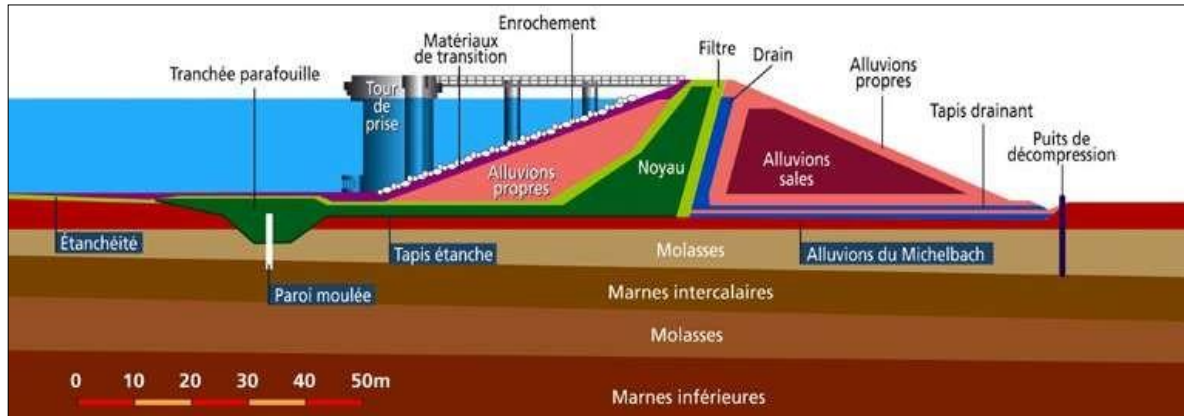


Figure I.2 : Les éléments constitutifs d'un barrage.

I.3 LES DIFFERENTS TYPES DE BARRAGES :

I.3.1 LES BARRAGES EN REMBLAI :

Les barrages en terre comprimée peuvent être divisés en trois types principaux :

- les barrages homogènes ;
- les barrages à noyau étanche ;
- les barrages à masque amont.

A. Barrage en terre homogène :

Un barrage en terre homogène est le type de barrage le plus simple et, sans aucun doute, le plus ancien (Figure I.3). Il consiste à construire en travers du lit de la rivière un massif en terre dont les pentes sont assez douces pour assurer la stabilité et la terre assez imperméable (typiquement de l'argile) pour éviter ne passe au travers du barrage.

Les parements peuvent comprendre des banquettes intermédiaires appelées risbermes, ce qui améliore encore la stabilité et facilite la surveillance et l'entretien.

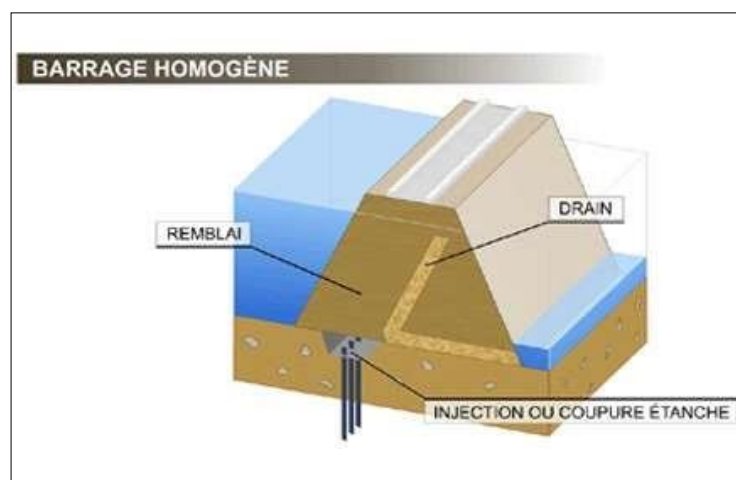


Figure I.3: Barrage en terre homogène avec tapis drainant

Les concepteurs doivent se prémunir contre deux dangers potentiels :

- Ces ouvrages résistent mal à une submersion prolongée importante et par conséquent on doit prévoir une revanche suffisante (notamment pour éviter la submersion par les vagues) et prendre des marges supplémentaires pour l'évacuation des crues.
- La circulation inévitable de l'eau au travers du barrage fait courir des risques d'érosion interne (entraînement des particules du matériau par l'écoulement) et il convient de s'y prémunir par un choix judicieux des matériaux et une mise en soignée [1].

B. Les barrages en terre à noyau :

Si la quantité des matériaux imperméables disponibles sur site est insuffisante pour réaliser tout le corps du barrage, on opte pour un ouvrage à zones avec un noyau en argile assurant l'étanchéité. (Figure I.4) La stabilité du massif sera assurée par des zones perméables appelées recharges.

L'inconvénient est la nécessité de séparer par des filtres de transition les différentes zones. Pour les ouvrages importants, les matériaux grossiers de recharges sont plus résistants que les matériaux argileux, ce qui permet de construire des talus plus raides et de contrôler mieux les écoulements dans le corps du barrage.

Notons que le noyau étanche peut être vertical ou incliné et parfois remplacé par un diaphragme en béton au ciment ou bitumineux [1].

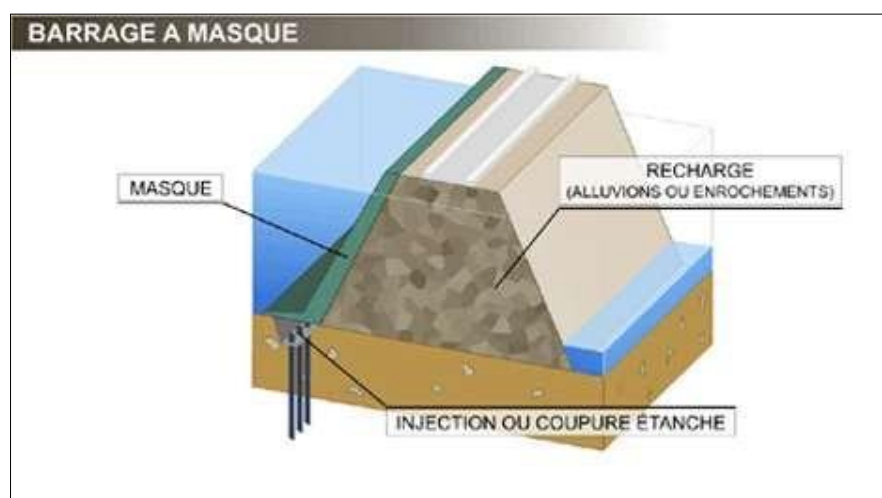


Figure I.4: Barrage en terre à noyau étanche

C. Les barrages en terre à masque :

Les barrages en terre à masque sont des remblais perméables avec un écran imperméable appelé masque placé sur le parement amont. (Figure 1.5)

Le corps du barrage est construit avec un matériau qui assure l'étanchéité (béton, produits bitumineux ou géomembrane) doit être peu déformable et pouvant assurer la stabilité au glissement de l'ensemble de l'ouvrage.

La présence de ce masque sur le parement amont présente un double avantage de pouvoir faire des réparations en cas de dégradation du masque et de permettre de faire des vidanges rapides sans risque de glissements [1].

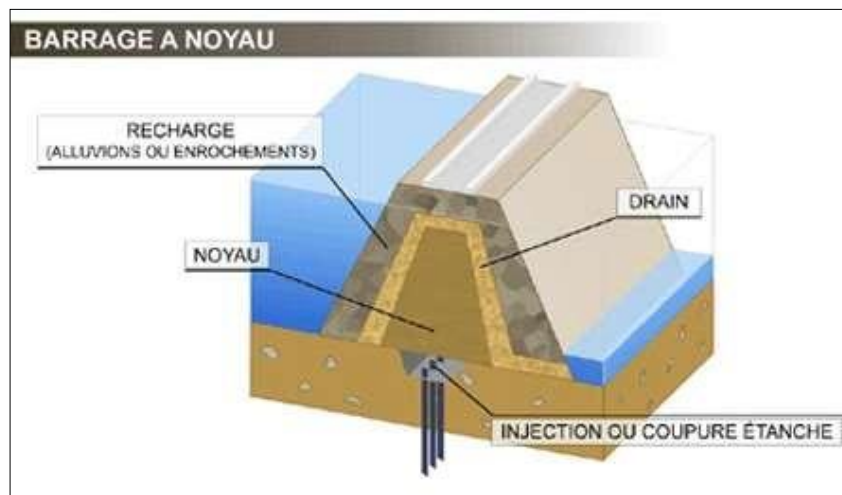


Figure I.5: Barrage en terre à masque.

I.3.2 LES BARRAGE EN BETON :

L'avantage du béton est notamment d'autoriser l'édification d'ouvrages plus résistants. Il en existe deux principaux types:

- les barrages-poids ;
- et les barrages-voûtes.

S'y ajoutent les barrages à contrefort et à voûtes multiples, variantes des deux premiers.

A. Barrage-poids :

Comme son nom l'indique, ce type de barrage oppose son poids à l'eau pour la retenir. En fonction des propriétés de résistance du matériau, la forme triangulaire à l'aval de l'ouvrage s'est peu à peu imposée [2].

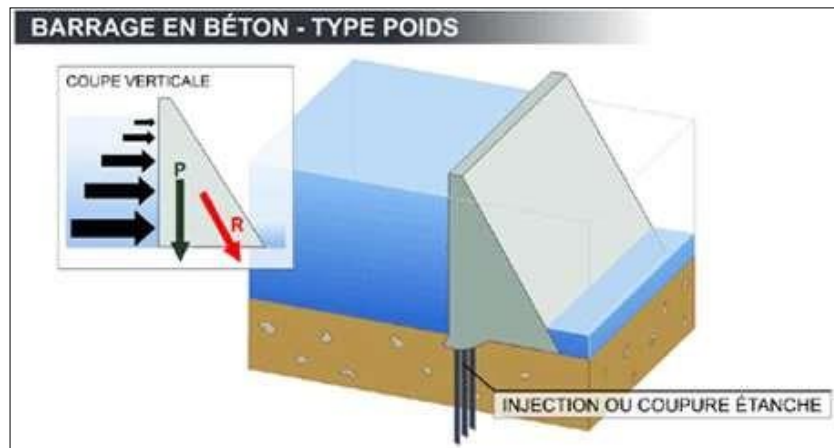


Figure I.6: Barrage en béton.

B. Barrage-voûte :

Le barrage voûte représente l'ultime aboutissement de l'utilisation des propriétés du béton en termes de résistance. Il permet des économies de volume d'au moins 30 % par rapport à un barrage-poids.

On pourrait comparer sa forme à celle d'un pont couché sur l'un de ses côtés, et qui chargerait de l'eau au lieu de véhicules. L'effort de résistance est ainsi en partie reporté par l'arc central sur les rives, permettant de construire des ouvrages moins volumineux, à performance égale.

En revanche, les fondations, sur lesquelles se reporte une grande partie de l'effort, doivent posséder des caractéristiques mécaniques élevées afin de supporter celui-ci [2].

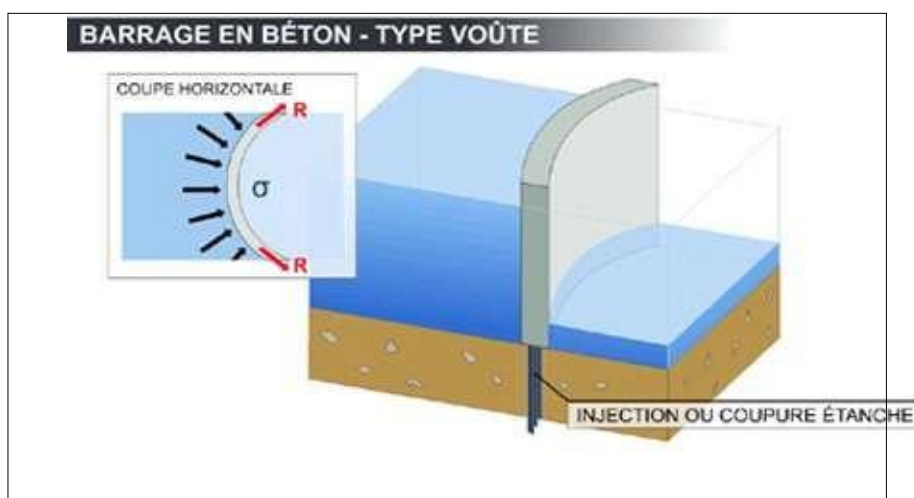


Figure I.7: Barrages à contrefort et à voute multiple.

Chapitre I : PRESENTATION DU BARRAGE K'SOB ET DES PROBLEMES ET SOLUTION LIES A LA VASE

Les autres formes de barrages voûtes sont des variantes des deux premiers types. Le barrage à contrefort est ainsi un barrage poids allégé de l'intérieur. Le barrage à voûtes multiples, quant à lui, repose sur des appuis intermédiaires, lorsqu'une trop grande portée sépare les deux d'un cours d'eau.

I.4 BARRAGES EN ALGERIEN :

Le nombre de barrages achevés jusqu'en 2000 s'élevait à seulement 110 barrages, dont 15 ont été achevés avant l'indépendance et sont pour la plupart de petits et moyens barrages, dont 50 grands barrages d'une capacité supérieure à 10 millions de m³. Le volume total de stockage est de 4,908 milliards m³. Mais la taille moyenne du stock disponible au cours des dix dernières années est estimée à 1,75 milliard m³, seulement l'équivalent de 40% de la capacité totale théorique d'emballage en raison des conditions climatiques (sécheresse) et du problème des barrages boueux.

Des travaux sont également en cours sur un programme de création de 22 nouveaux barrages d'une capacité totale théorique de 7 milliards de m³. Tandis que des études sont en cours pour préparer un projet pour 52 autres barrages à l'avenir.

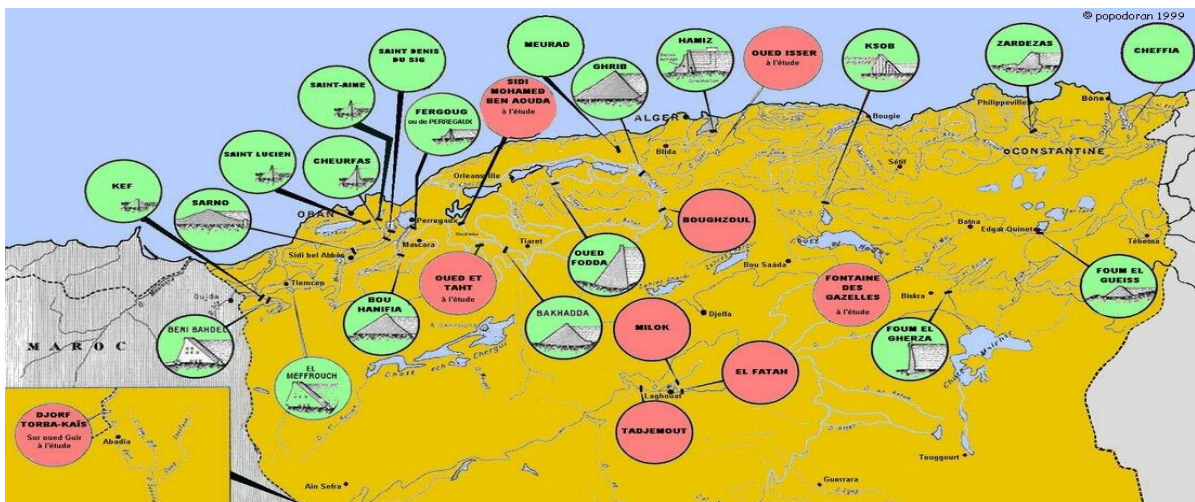


Figure I.8: Une carte montrant quelques barrages en Algérie

Chapitre I : PRESENTATION DU BARRAGE K'SOB ET DES PROBLEMES ET SOLUTION LIES A LA VASE

Tableau I.1: List des barrages en Algérie :

N ⁰	Barrage	Date de la mise en eau	Capacité initiale (Mm ³)	N ⁰	Barrage	Date de la mise en eau	Capacité initiale (Mm ³)
1	Souani	2005	47	30	Keddara	1985	145
2	Boughrara	1999	175	31	Béni Amrane	1988	16
3	Béni Bahdels	1952	63	32	Lekhal	1985	30
4	Mefrouch	1963	15	33	Ksob	1977	30
5	Sidi Abdeli	1988	110	34	Tisedit	2005	167
6	Sarno	1954	22	35	Taksebt	2001	175
7	Ouizert	1986	100	36	Ain Zada	1986	125
8	Bouhanifia	1948	73	37	Ighil Emda	1953	155
9	Fergoug	1970	18	38	Erraguene	1961	200
10	Cheurfas II	1992	82	39	El Agrem	2002	34
11	SM Benaouda	1978	235	40	Béni Hroun	2004	960
12	Bakhada	1963	56	41	H.Grouz	1987	45
13	Dahmouni	1987	41	42	Béni Zid	1993	40
14	Merdja	1984	55	43	Guenitra	1984	125
15	Gargar	1988	450	44	Zardezaz	1977	27
16	Sidi Yakoub	1985	280	45	Zit Emba	2001	117
17	Bouguera	1989	13	46	H. Debagh	1987	200
18	Kouidat Rasfa	2004	75	47	Oued Cherf	1995	157
19	Oued Fodda	1932	228	48	Ain Dalia	1987	82
20	Oued Mellouk	2004	127	49	Chafia	1965	171
21	Harreza	1984	70	50	Mexa	1998	47
22	Deurdeur	1984	115	51	K. Medaouar	2004	69
23	Ghrib	1939	280	52	F. El Gueiss	1939	3
24	Boughezoul	1934	55	53	Babar	1995	41
25	Boukourdane	1992	97	54	Foum Gherza	1950	47
26	Meurad	1860	1	55	F. Gazelles	2000	55
27	Bouroumi	1985	188	56	Brezena	2000	122
28	Ladrat	1989	10	57	Djorf Torba	1969	350
29	Hamiz	1935	21				

I.5 GENERALITES SUR OUED ET BARRAGE K'SOB

M'sila est la 28ème Wilaya de l'Algérie, elle s'étale sur une superficie de 18175Km², avec Plus d'un million d'habitants. Elle s'éloigne de la capitale Alger de 248Km, avec un climat semi- aride et de vocation agro-pastoral. Fondée en 1935 la wilaya contient des gisements de calcaire et d'argile et dispose d'un grand réservoir de sable quartzeux dunaire. L'utilisation de ce sable est élargie à la production du plâtre, céramique ainsi que le ciment.

Le Barrage K'sob est situé à « HAMMAN » entre les monts de Kef El Ouerad et Djebel El Groun à 15 Km au nord de la ville de M'sila sur la route nationale en direction vers la Wilaya de Bordj Bou Arreridj. Il 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, (Figure I.9).

Le K'sob est le plus tellien des rivières du Hodna, son bassin versant s'étend jusqu'à Medjez, station située à environ 8 Km. Il pénètre dans la Medjana après avoir franchi des collines éocènes et miocènes. Son affluent, la rivière Oussedjit-Rhedir, né entre 1700 et 1750 mètres sur le versant Nord de la montagne Sidi Sahab, traverse le bassin synclinal de Bordj Ghedir, puis une zone de collines burdi galiennes avant de se jeter dans le K'sob. Celui-ci, après le confluent, prend une direction Sud- Ouest et contourne le djebel Maadid dans une vallée encaissée qu'il élargit de ses méandres.

Le barrage assurait dans les années 70 l'irrigation de 13000 hectares de terres agricoles, unique à l'échelle de la wilaya, ce barrage n'arrose plus aujourd'hui que 4840 hectares du fait de son envasement avancé.

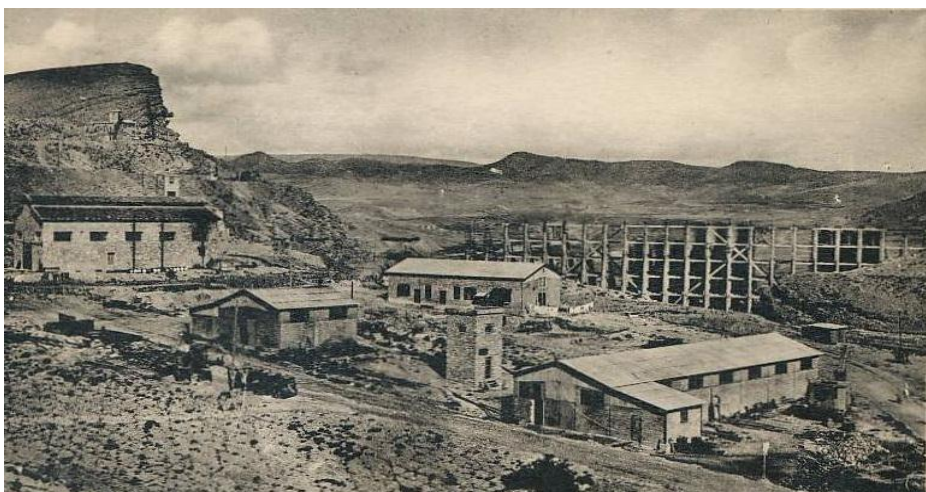


Figure I.9: Vue sur le barrage K'sob lors de sa construction.

I.6 PRESENTATION DU BARRAGE DE K'SOB :

Le Barrage K'Sob est situé à 15 KM au nord-est de la ville de M'sila sur la route nationale endirection vers la Wilaya de B.B.A, entre les monts de Kef El Querad et Djebel El Gruon. Le barrage a été construit sur l'oued K'Sob entre les années 1934 et 1940, pour l'utiliser dans l'irrigation du périmètre agricole de la Commune de M'Sila.

La capacité initiale du barrage est de 12Hm^3 , elle se trouve réduite à 3Hm^3 en 1970 à cause de l'envasement progressif de la retenue. 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 15m portera la capacité utile de la retenue à 29.5Hm^3 et assurera une régularisation à l'irrigation de 13000Ha dont 4250Ha pour la culture intensive (culture maraîchère, arbres fruitiers et fourrage etc....) et 2000Ha pour la culture de céréales.

La surélévation de 1972 à 1976 est à voûtes multiples sur contreforts, encadrés de deux culées formant barrage-poids. Il est composé de quarante-deux (42) voûtes s'appuyant sur deux culées poids de rive et sur quarante et un (41) contreforts dont trente (30) dans la partie centrale. Ce sont des contreforts à béquilles et onze (11) sont des contreforts de l'ancien barrage simplement plongé sans béquilles ni précontrainte. La stabilité latérale est assurée par deux passerelles horizontales superposées et une paroi verticale antisismique reliant entre eux les sommets de tous les contreforts, ainsi que les divers diaphragmes sont renforcés en traversant le barrage de bout en bout, ce qui lui confère une résistance accrue au tremblement de terre.

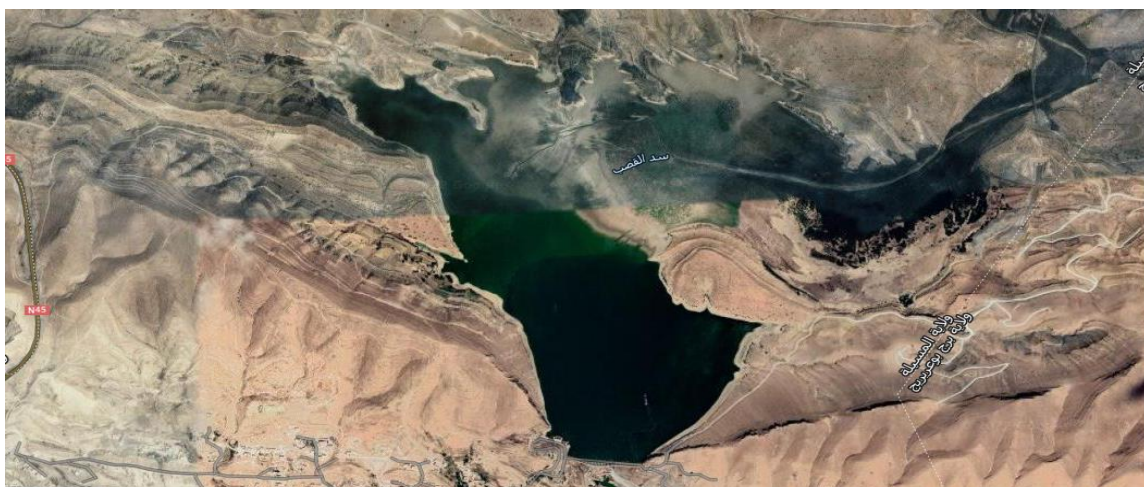


Figure I.10: Vue aérienne du barrage du K'Sob par Google Earth 2022

Chapitre I : PRESENTATION DU BARRAGE K'SOB ET DES PROBLEMES ET SOLUTION LIES A LA VASE

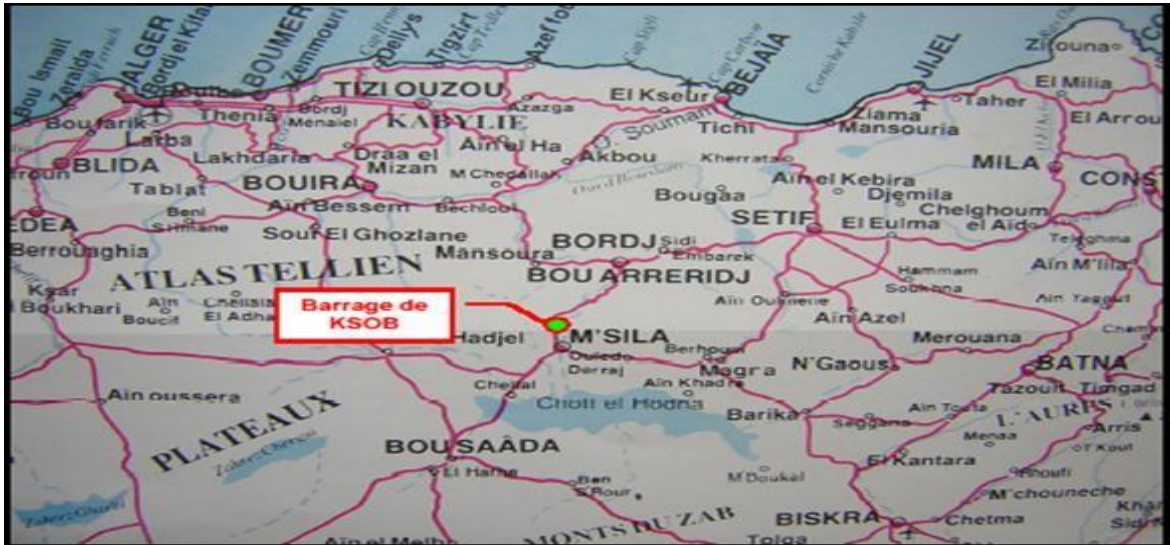


Figure I.11: Carte de situation géographique

Dès 1996, l'Algérie a engagé une nouvelle politique de l'eau, à savoir la « Gestion Intégrée des ressources en eau » pour garantir leur valorisation et durabilité. Ainsi le territoire algérien a été subdivisé en 5 grands bassins versants (Figure I-11). [3]

Le bassin versant du Hodna est le cinquième grand bassin de l'Algérie. Il est situé à 150Km à vol d'oiseau au sud de la côte méditerranéenne (Golf de Bejaïa). L'altitude des sommets des monts du Hodna diminuant d'Est en Ouest oscille entre 1900 et 1000 m, tandis qu'au Sud quelques sommets situés dans l'atlas saharien atteignent 1200 m.

La situation du bassin du Hodna est située entre deux séries de montagnes au nord et au sud, organisent le bassin autour d'une cuvette fermée presque plate à 400 m d'altitude et reçoit l'écoulement des eaux superficielles de la région. [4].

Le tableau suivant resume les caracteristiques principales du bassin versant du k'sob.

Tableau I.2: Caracteristiques principales du bassin versant du k'sob

Caractéristique	Résultats	Unité
Surface	1460	Km ²
Périmètre	180	Km
Altitude moyenne	1070	M
Indice de graveleuse	1.26	
Indice de pente globale	0.012	m/km

Chapitre I : PRESENTATION DU BARRAGE K'SOB ET DES PROBLEMES ET SOLUTION LIES A LA VASE

Pente moyenne	15.8	m/km
Capacité initiale	11.6	hm ³
Surface de plan d'eau	121	Ha
Superficie du B V	1460	Km ²
Envasement moyen annuel	0.800	Hm ³ /an
Volume de vase existence	15	Hm ³
Hauteur de l'envasement actuel	27	M
Hauteur max	46	M
Longueur	280	M
Cote de retenue normale (R. N)	604,00	Mnga
Cote plus hautes eaux (P.H.E)	605,50	mNGA
Déversoir à SEUIL LIBRE	850,0	m ³ /s
Vidange de fond	2x65,0	m ³ /s

I.7 DEFINITION DE LA VASE :

Le nom de vase (mot emprunte au Néerlandais) est la désignation d'une large teneur en eau importantes. Elles contiennent une phase minérale dont la granulométrie appartient à la famille de sédiments fins, argileux, plus ou moins organiques, pouvant atteindre des s'étend des sables, aux argiles et aux colloïdes, une phase organique et une phase liquide. La vase peut se présenter aussi bien à l'état de suspension (crème de vase) que de sol cohérent (sédiment cohésif) présentant alors un caractère plastique, compressible et thixotropique. Elle contient souvent l'habitat d'une faune riche et diversifiée (vers, mollusques, bactéries). [5]

Les vases sont des sols contenant plus de 90% de particules inférieures à 0,2mm, dont la matière organique M.O est comprise entre 2 et 10%. Elles sont composées de sable, limon, argile et de colloïdes organiques. Elles sont en particulier très abondantes dans les estuaires. Elles sont fréquemment thixotropes. La Figure I.12 donne un exemple de passage de remblai de l'autoroute sur une épaisseur importante de la vase.

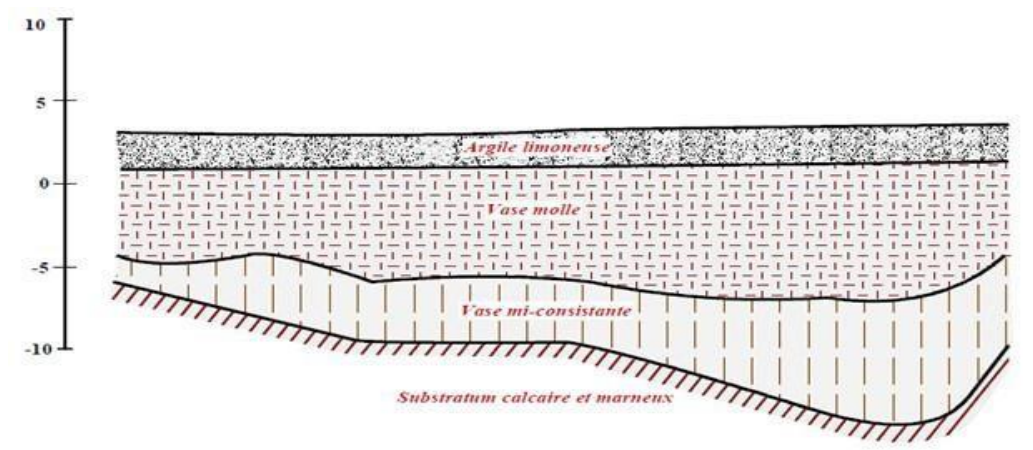


Figure I.12: Traversée de la vallée de la Charente par l'autoroute

I.8 COMPOSITION DES VASES

I.8.1 STRUCTURE PHYSICO-CHEMIQUE DES VASE :

Les sédiments se composent d'une fraction solide et d'une fraction liquide (eau) qui est intimement liées les unes aux autres. Les proportions respectives de chacune de ces fractions sont variables d'un milieu à un autre mais demeurent dans une fourchette, qui par expérience, peut être estimée si l'on considère des matériaux de type vases. [6]

Il y a quatre éléments principaux qui constituent les vases.

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

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

Le schéma ci-dessous retrace les grands ensembles de la composition des sédiments portuaires vis-à-vis notamment de leur siccité ou de leur granulométrie. Figure I.13. [7]



Figure I.13: Schéma de la composition simplifiée des sédiments portuaires

I.8.2 RHEOLOGIE DES VASES

L'étude rhéologique des vases permet de déterminer des paramètres importants pour préciser leur comportement sédimentaire sous une action hydrodynamique. L'un des moyens définissant le mieux de caractère liquide, plastique ou solide, d'une vase, est la rigidité initiale.[8]

Les vases à l'état liquide se comportent en écoulement laminaire comme des fluides dont les paramètres sont indépendants du temps de cisaillement. On peut utiliser les modèles rhéologiques à un, à deux ou à trois paramètres. La loi d'écoulement s'écrit : $\tau = F(G)$

τ : est la contrainte de cisaillement

G :la vitesse de déformation.

Les vases et d'autres mixtures homogènes sol/eau (argile-eau, silts-eau) sont composés d'eau et de grains de sol dont les dimensions moyennes sont comprises entre environ 1 et 80 μm . Elles se comportent comme un ensemble si la concentration est élevée, et ayant dans ce cas des propriétés de corps viscoplastiques.

Elles peuvent être transportées en régime laminaire, transitoire et turbulent. Par contre les mixtures hétérogènes contenant des particules grosses dont les dimensions moyennes sont supérieures à environ 80 μm . sable/eau, galet/eau, se comportent comme des systèmes diphasique et ne peuvent en général être transportées qu'en régime turbulent. Le cisaillement rhéologique ne dépendant pas du temps, leur comportement est influencé surtout par la concentration moyenne (C_v).

G :vitesse de déformation

τ : est la contrainte de cisaillement.

C_v : la concentration moyenne

I.9 PROCESSUS DE DECANTATION ET DE TASSEMENT DES VASES

Une retenue de barrage est une zone d'eau calme où les courants sont atténués c'est-à-dire la présence de la retenue entraîne des hauteurs d'eau temporaires pour les rivières qui s'y jettent et qui deviennent propices au dépôt de sédiments dans des zones d'eau relativement calme.

De plus, une retenue joue le rôle d'entonnoir vis-à-vis des masses d'eaux provenant des bassins versants, auquel s'ajoute un effet de stagnation des eaux dans un espace semi clos.

Elle est donc un territoire privilégié pour le dépôt des particules fines, et joue à l'évidence le rôle de pièger pour la vase. Les processus physico-chimiques de floculation, agrégation et de décantation participent aussi à l'accumulation des sédiments sur le fond. La caractérisation physico-chimique des sédiments est donc primordiale pour la compréhension des phénomènes de sédimentation et de transport des sédiments c'est-à-dire les propriétés physico-chimiques du cours d'eau ont également une influence sur la sédimentation.

D'après les théories de sédimentation de [KYNCH 1952] et de consolidation de [GIBSON 1967], le tassement des vases peut se subdiviser en deux phases : la première phase, c'est la sédimentation en l'absence des contraintes effectives σ' , et la deuxième c'est la consolidation qui commence quand ces contraintes σ' apparaissent.

D'après [MIGNIOT 1989] qui a étudié en laboratoire simultanément les processus de sédimentation et de tassement de plus de 30 vases d'origines diverses. Le suivi de l'évolution de la concentration moyenne d'un culot de tassement en fonction du temps lui permet de distinguer d'une façon générale plusieurs phases.

Figure I.14

Chapitre I : PRESENTATION DU BARRAGE K'SOB ET DES PROBLEMES ET SOLUTION LIES A LA VASE

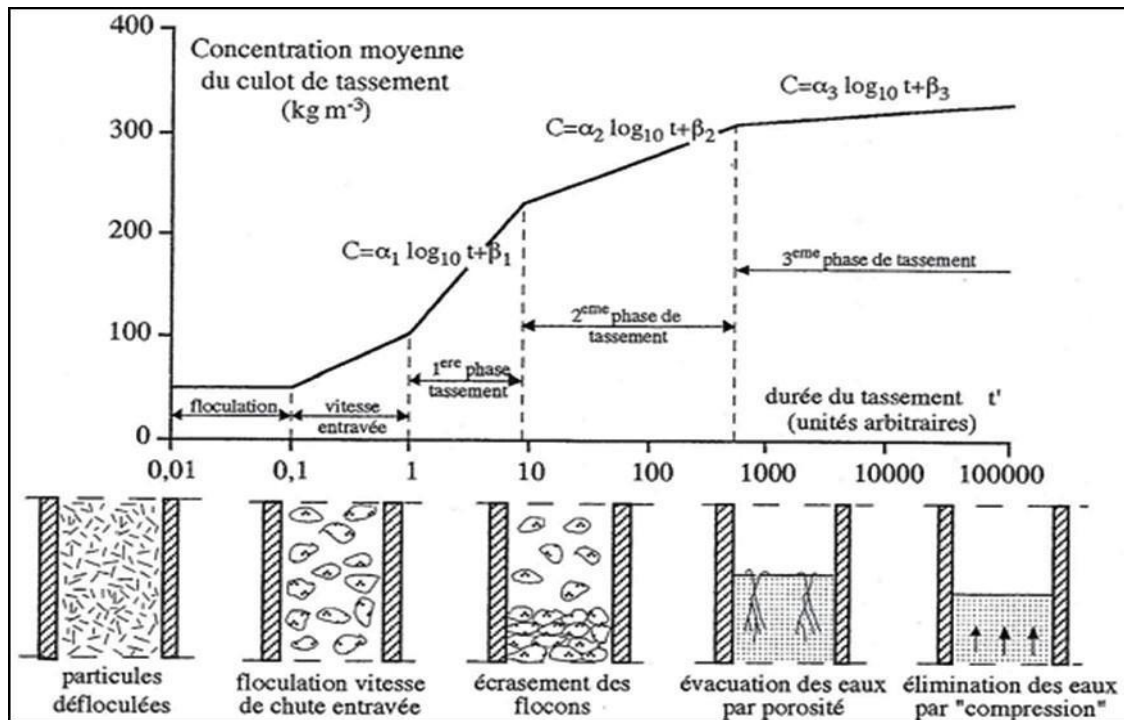


Figure I.14: Les différentes phases du tassement (d'après Migniot1989). [9]

La courbe donnant la concentration moyenne du culot de tassement en fonction du Logarithme du temps permet de distinguer plusieurs phases successives :

1. Le temps de floculation, de quelques minutes en moyenne : c'est à dire au début du processus, les particules élémentaires constituant la vase vont s'agglomérer pour former des agrégats dont la vitesse de chute est nettement plus importante que celle des particules à l'état individuel, c'est la floculation qui dure quelques minutes en moyenne.

2. La chute des flocons à vitesse entravée : Ensuite, on observe successivement la chute des flocons à vitesse entravée

3. Phase01 : La première phase de tassement avec l'élimination d'une partie d'eau interstitielle libre (écrasements des flocons).

4. Phase02 : La deuxième phase de subsidence est plus lente et correspond au drainage de l'eau à travers la porosité.

5. Phase03 : la troisième phase de tassement très lente, se traduit par un arrangement de la structure du dépôt et une perte d'eau des couches adsorbées. Si ces différentes phases du phénomène de tassement sont toujours observées, on doit aussi signaler que chaque matériau a sa propre courbe de tassement qui dépend également des conditions initiales. En état de consolidation, la vase aura des caractéristiques différentes selon ses propriétés et le milieu dans lequel s'effectue le tassement. Ce sont les paramètres suivants qui influent ces propriétés :

Chapitre I : PRESENTATION DU BARRAGE K'SOB ET DES PROBLEMES ET SOLUTION LIES A LA VASE

Les dimensions des particules : d'après Mignot, dans la formule du tassement en fonction du temps :

$$C = \alpha \log t + \beta$$

C: Concentration de la suspension (kg/m^3)

α : Le coefficient dépend du diamètre des grains : c'est une fonction décroissante avec le diamètre

$\langle\langle d \rangle\rangle$ des particules pour toutes les phases du tassement.

- Phase de décantation des flocons : $\alpha = 0,01 + 0,05 d$
 - Phase d'élimination des eaux interstitielles : $\alpha = 0,01 + 0,015 d$
 - Phase d'élimination des eaux fixées aux micelles : $\alpha = 0,01 + 0,001 d$.
1. Le milieu aqueux : les éléments chimiques dissous dans l'eau, ont une Influence variable sur le tassement des particules en suspension.

β : Le coefficient qui dépend de l'état du milieu aqueux (salinité).

1. Les conditions initiales de sédimentation : pour apprécier l'influence des conditions initiales, les deux paramètres surveillés sont :
- La vitesse de tassement : Des mesures des vitesses de chute en eau calme en fonction de la concentration [MIGNOT, THORN, SANCHEZ] ont montré que pour des concentrations faibles la vitesse de chute augmente régulièrement avec la concentration, mais à partir d'une certaine concentration (de l'ordre de 5 à 10 kg m^{-3} , selon les sédiments qui ont été étudiées), la vitesse de chute commence à diminuer quand la concentration augmente.
 - Le tassement final : Les paramètres influents sont la hauteur et la concentration en particules à l'état initial. Plus ces deux paramètres sont élevés plus le tassement final est important, mais plus la vitesse est faible, le mouvement ascendant de l'eau drainée permettant la consolidation est gêné.
 - Les matières organiques : leur présence est limitative du tassement, par la formation de gaz lors de leur décomposition qui perturbent la concentration des dépôts.

[MIGNOT 1989].

$$C = C_0 h_0 / \rho_s h_t$$

- C_0 : Concentration initial (kg/m^3).
- h_0 : hauteur initiale.
- ρ_s : Masse volumiques des sédiments.
- h_t : hauteur du culot a l'instant t.

La présence de sable : elle favorise de façon générale le tassement. Le drainage de l'eau se

Chapitre I : PRESENTATION DU BARRAGE K'SOB ET DES PROBLEMES ET SOLUTION LIES A LA VASE

fait plus facilement lorsque des grains sont dispersés dans les sédiments. (C'est-à-dire les possibilités d'évacuation de l'eau interstitielle contenue entre les particules solides). La perméabilité est augmentée par leur présence.

I.10 LES MODELES D'ESTIMATION DE L'ENVASEMENT

I.10.1 EVALUATION DE LE VOLUME DE L'ENVASEMENT [NETO 2007]

L'accumulation des sédiments véhiculés par les eaux pluviales et venantes se déposer dans la cuvette des barrages, constitue une préoccupation essentielle pour les méthodes d'évaluation du volume des vases. On distingue deux méthodes de mesure.

I.10.2 BATHYMETRIE PAR NIVELLEMENT [PROUCHAL, KER LANN 2006]

Cette méthode présente l'avantage de tenir compte de toute la hauteur de sédiments et est intéressante à mettre en œuvre dans les projets où le toit du substrat n'est pas connu. Il y a plusieurs méthodes utilisées pour le levé bathymétrique par nivellement, on prend quelques exemples :

a. La première méthode de bathymétrie par nivellement est réalisée à l'aide d'un instrument de mesure gradué, à partir du bord et préférentiellement à partir d'une embarcation si les conditions le permettent.

Elle permet soit de mesurer simplement la hauteur totale de vases par enfoncement, soit de mesurer la hauteur d'eau avant et après les travaux, une résistance plus soutenue permet d'apprécier le haut du substrat.

Les mesures sont composées de profils en travers qui pour être représentatifs, doivent être judicieusement localisés et dénombrés. La définition du volume extrait ou à retirer est établie par extrapolation entre deux profils à partir du produit entre la section envasée et la distance

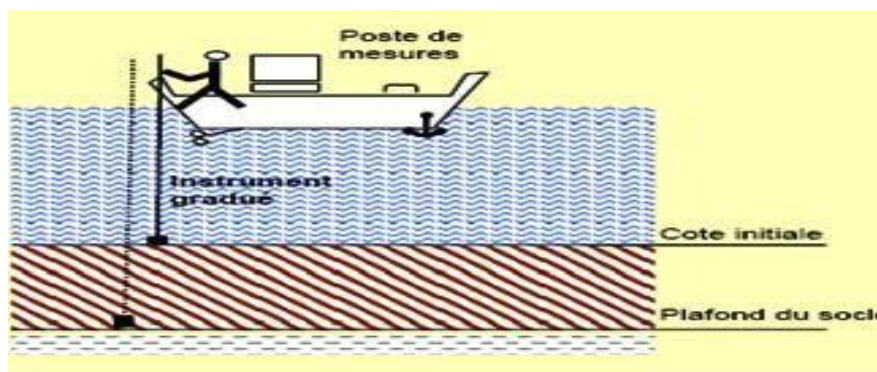


Figure I.15: Schématisation de la bathymétrie par nivellement

- b. la seconde méthode de nivellement est réalisé à l'aide d'une mire sur une embarcation et d'une lunette de visée ou d'un tachéomètre (lunette de visée laser), la hauteur d'eau, le niveau supérieur de la couche de vase et le fond dur sont obtenus (photo I.16). Le relèvement s'effectue point par point selon un profil transversal au cours d'eau. Le nombre de points sera forcément fonction de la largeur du cours d'eau. La carte globale se fait alors par extrapolation des profils transversaux. Il est nécessaire de prendre en compte la cote de l'eau, d'avoir un positionnement précis des profils pour tenir compte des particularités du terrain. Le nivellement n'est généralement pas précis et admet une erreur de 20 %. Le volume de sédiment se fait ensuite par extrapolation entre deux profils.

$$V = S \times L$$

V : volume de sédiments en mètres cubes.

S : section envasée en mètres carrés.

L : distance entre deux points de mesure en mètre.



Figure I.16: Estimation de l'envasement par la méthode de nivellement (Tachéomètre)

I.10.3 Bathymétries par sondeurs : «échosondeur bathymétrique»

Le dernier appareil a mesuré la profondeur par échosondeur, une véritable révolution dans la mesure de l'eau profonde. Cette sonde de l'écho, le type moderne a été inventé pour la première fois dans les années de la Première Guerre mondiale sur les sites physicien français Ange evin. Les mesures bathymétriques permettent de suivre l'évolution du volume des sédiments accumulés.

Bathymétrie par sondeurs (Figure I.17) Le volume des sédiments est calculé par informatique avec, comme hypothèse de départ, la cote du projet à atteindre. (Un

Chapitre I : PRESENTATION DU BARRAGE K'SOB ET DES PROBLEMES ET SOLUTION LIES A LA VASE

point de sonde = couple (distance, angle) Pratiquement mesure (t, θ) et exploitation (y, z). Deux approches pour estimer (t, θ): Mesure de l'instant d'arrivée à angle fixe, mesure de l'angle en fonction du temps d'arrivée.

A l'aide des nouvelles technologies de sondeurs, cette technique peut-être utilisable dans une hauteur d'eau restreinte. Cette technique s'applique à partir de sondeurs mono ou multi-faisceau. [XAVIER LURTON, JEAN MARIE AUGUSTIN]

Dans notre barrage, L'Agence Nationale des Barrages (ANB) a confié au groupement d'Entreprises HYDRODRAGAGE-C.T.SYSTEMS, un marché. L'objet du marché est l'exécution des levés bathymétriques et topographiques de dix-neuf (19) barrages en exploitation «Juillet 2004».

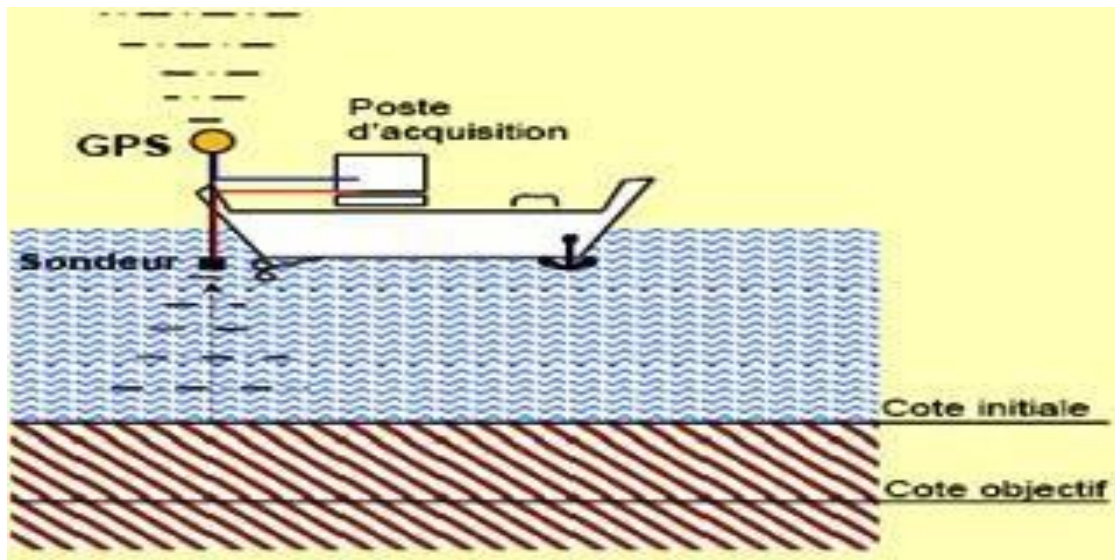


Figure I.17: Schématisation de la bathymétrie par échosondeur

Les moyens d'utiliser pour les levés Bathymétriques par échosondeur.

- Une embarcation pneumatique semi rigide.
- Une station de référence.
- Un sonar avec une fréquence de 200khz.
- Un GPS portable avec un récepteur GPS RTK 6502.
- Un PC portable avec le logiciel DTM 2000.
- Une barre d'étalonnage.

Au début du travail, l'hydrographe étalonne l'échosondeur par la barre d'étalonnage à différentes profondeurs. Il valide ainsi la profondeur du transducteur et la vitesse de

Chapitre I : PRESENTATION DU BARRAGE K'SOB ET DES PROBLEMES ET SOLUTION LIES A LA VASE

propagation des signaux ultrasonores dans l'eau du barrage. La distance entre profils est choisie en fonction du terrain par le logiciel de guidage DTM 2000.

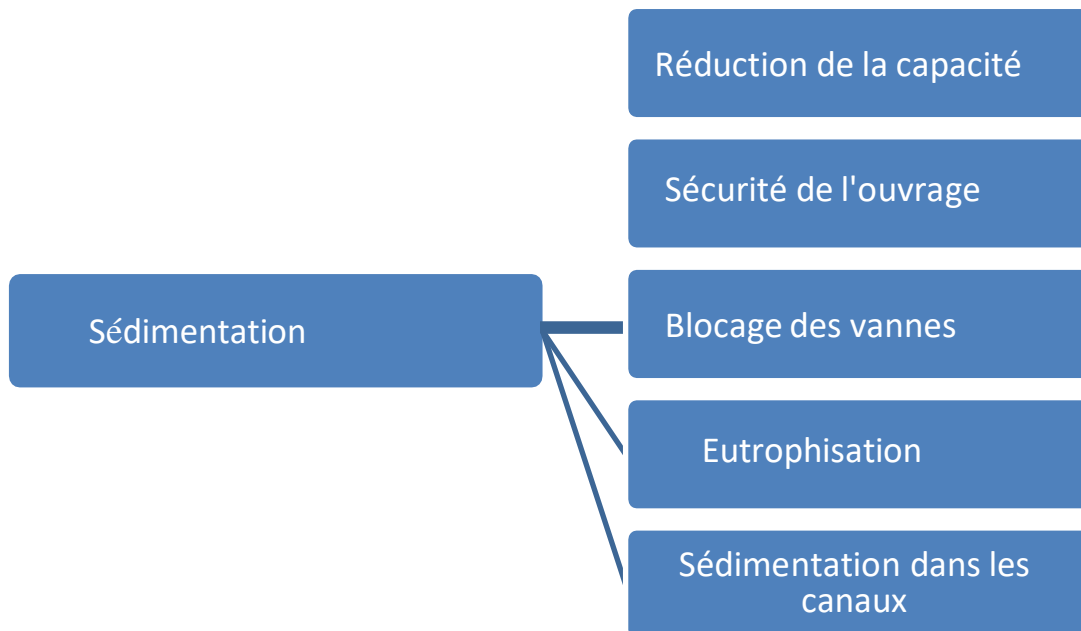
Le long d'un profil, les données sont émises en continu mais l'enregistrement se fait toutes les deux

(2) secondes. La direction des profils, généralement perpendiculaire aux rives, est choisie par l'hydrographe qui calcule le cap et navigue à cap constant. Durant le levé, il arrive de constater des formes de fond particulières sur les profils (des hauts fonds ou des fosses).

I.11 PROBLEMES DE L'ENVASEMENT DES BARRAGES

L'envasement des barrages pose d'énormes problèmes au niveau du réservoir lui-même, mais aussi en amont et en aval du réservoir. Elle entraîne la réduction de la capacité utile du barrage, le blocage des organes de vidange, la sédimentation peut mettre la stabilité de l'ouvrage en danger.

Elle peut aussi accélérer l'eutrophisation du lac. Les sédiments en suspension dans l'eau distribuée par les canaux, à partir des barrages, se déposent dans ces ouvrages, réduisent leur débitante, et rendent difficile leur exploitation, et elle a même un impact sur la qualité de l'eau.



I.11.1 LA REDUCTION DE LA CAPACITE

- **Réduction de la capacité**

La réduction de la capacité de stockage de l'eau 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.

- **Sécurité de l'ouvrage**

L'envasement pose un problème sur la stabilité de l'ouvrage. On sait que pour une variation linéaire de la hauteur de la vase, la poussée progresse au carré de la hauteur (Oumrani N.2009).

La sédimentation des retenues a un impact sur la sécurité des barrages, par la mise en danger de la stabilité de l'ouvrage du fait de l'augmentation de la force hydrostatique produite par le remplacement accélère du volume d'eau par la vase. Ceci se traduit par l'accroissement de la masse spécifique qui peut atteindre 1,8 t/m³.

Ce cas a été signalé aux barrages de Zardezas, et de K'sob. (Oumrani N., 2009) ont signalé que si le taux de comblement d'une retenue dépasse 50% de la capacité initiale et la vase est en contact de l'ouvrage, dans ce cas, il faut prendre au sérieux la stabilité du barrage.

- **Blocage des vannes**

La présence des courants de densité dans une retenue accélère la sédimentation, et peut avoir comme impact l'obturation des organes de vidange. La non maîtrise du mécanisme des courants de densité peut avoir un effet néfaste sur les vannes de fond. En effet, l'ouverture tardive des vannes de fond, par rapport à l'arrivée des courants de densité, favorise la consolidation des vases près des pertuis de vidange et rend plus difficile leurs manœuvres.

Actuellement, elle se trouve sous 40 m de hauteur de vase. La vanne du barrage de Fom El Gherza s'est obturée durant le période 1981-1989. Celle du barrage de Zardezas a été bloquée durant les années 90.

- Des exemples ont été donnés par (Remini B., 2003) :

1/ Barrage de Oued el Fodda (Chlef): la vanne de fond a été bloquée depuis 1949 et se trouve maintenant sous plus de 40 m de vase.

2/ Barrage Chambon (France) : la vanne a été obturée en 1955, la solution adoptée a été la construction d'une nouvelle vanne de vidange, achevée en 1962.

3/ Barrage Fom el Gherza (Biskra): la vanne de fond a été bloquée de 1982 à 1989.

- **Accélération de l'eutrophisation**

Chapitre I : PRESENTATION DU BARRAGE K'SOB ET DES PROBLEMES ET SOLUTION LIES A LA VASE

Une fois déposées, les particules solides se tassent, et se consolident suivant leur nature, et les conditions physico-chimiques du milieu. Du fait de l'eutrophisation qui en résulte, la qualité de l'eau se dégrade très sérieusement. Plusieurs cas ont été signalés dans la région de l'Afrique du nord. En effet, les déficits en oxygène, enregistrés près du fond du barrage El Khattabi (Maroc) au cours de la saison d'été, ont provoqué une activité de biodégradation dans les zones profondes (2001).

• Sédimentation dans les canaux d'irrigation

Un autre problème délicat pose par la sédimentation qui s'étend cette fois-ci à l'aval du barrage. En effet, l'irrigation par l'eau chargée provoque le dépôt des sédiments dans les canaux. La section mouillée diminue avec le temps et par conséquent le débit d'écoulement. Ce problème impose leur entretien, et leur dévasement d'une manière périodique.

I.12 LE DRAGAGE

Le dragage est une opération ayant pour objet le prélèvement de matériaux, notamment boues, limons, sables et graviers, au fond d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau à l'aide de moyens mécanique, hydraulique ou pneumatique dans le but d'aménagement ou d'entretien, c'est-à-dire tous travaux nécessaires pour rétablir un cours d'eau dans sa largeur et sa profondeur naturelle. Cela exclut un approfondissement ou un élargissement du lit.

D'après Musa 1981, dans sa thèse, définit les dragages comme étant «des terrassements effectués sous l'eau avec des engins flottants au moyen de procédé mécanique ou par aspiration». En fait, les procédés peuvent être mécaniques, hydrauliques ou pneumatique cette définition correspond assez bien à l'idée que l'on se fait aujourd'hui du dragage dans notre environnement très industrialisé.

Le dragage peut également être défini de façon générale comme l'ensemble des actions caractérisées par un prélèvement de matière par excavation sous l'eau par un déversement de ces produits dans la veine de l'eau, cote aval de la retenue ou sur le rivage.

L'opération de dragage peut se décomposer en plusieurs étapes : Etudes préalables et caractérisation des sédiments, choix de la filière de destination, extraction des boues, transport des matériaux de dragage, et traitement, mais selon certains auteurs, la récupération d'une capacité de stockage par dragage est une opération très coûteuse qui n'est pas économique pour les grandes retenues. Depuis les années 2000, plus de 20 millions de m³ de vase ont été extraits de nos barrages.

Un nombre important de barrages ont été récupérés par la technique de dragage et leur

durée de vie se trouvent prolongée de plusieurs années.

I.12.1 TYPES DE DRAGAGE

Différentes techniques de dragage ont été développées selon Benasla M. (2015). Il est courant de classer les équipements de dragage selon leur principe général de fonctionnement, trois catégories peuvent être recensées :

I.12.1.1 DRAGAGE HYDRAULIQUE :

Cette technique nécessite une drague suceuse refouleuse et une conduite flottante et terrestre pour l'évacuation du produit dragué (vase et eau) jusqu'à la zone de rejet. Les figures I.18 et I.15 montrent cette technique de dragage.

Les matériaux sont désagrégés par jets d'eau sous pression ou par rotation d'un outil et mis en suspension pour être aspirés et évacués par des pompes vers les points de stockage.

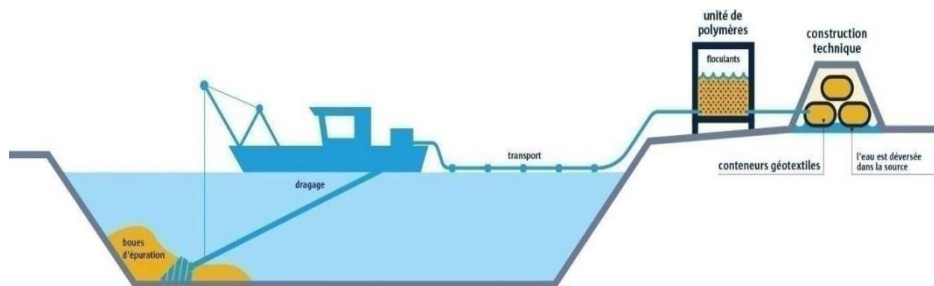


Figure I.18: dragage hydraulique

I.12.1.2 DRAGAGE MÉCANIQUE

Il consiste au dragage par des moyens comme le montre la figure 1.19:

- **Drague à godets** : C'est une technique qui nécessite un tapis roulant pour l'évacuation des produits dragués de la retenue jusqu'à la zone de rejet.
- **Benne preneuse** : C'est un engin qui sera mis sur un ponton flottant et nécessite des chalands pour évacuer le produit dragué.
- **Matériel de terrassement** : Il consiste à draguer avec des équipements tels que des taureaux, des excavatrices, des chargeurs hydrauliques et des camions pour le transport de la boue.

Remarque : Cette solution de dragage ne peut être réalisée que si la retenue est vide.

Toutefois la technique de dragage la plus appropriée nécessite au préalable la résolution

Chapitre I : PRESENTATION DU BARRAGE K'SOB ET DES PROBLEMES ET SOLUTION LIES A LA VASE

des problèmes :

- l'extraction et le transport des vases de la retenue en utilisant un volume d'eau minimum.
 - la définition et localisation de la zone de rejet susceptible de recevoir les matériaux dragues de la retenue,
- l'exploitation en continu de la retenue d'eau en même temps que le dévasement.
- l'exploitation en continu de la retenue d'eau en même temps que le dévasement.

I.12.1.3 DRAGAGE À L'AMÉRICAINNE

C'est une technique particulière qui consiste à provoquer la remise en suspension des sédiments au moyen d'une hélice ou d'air comprimé dans les cours d'eau ou chenaux à fort courant, comme l'illustre la figure I.19. Les sédiments sont repris dans le flux et se redéposent le plus souvent en aval. Dans certains cas, une conduite de refoulement peut assurer le transfert des sédiments à plusieurs kilomètres du lieu de dragage.

Le dragage à l'américaine consiste à rejeter en continu dans la veine d'eau les matériaux dragues afin d'utiliser le courant naturel pour évacuer les produits. Elle se pratique pour des Fleuves et rivières à fort débit.



Figure I.19: Dragage mécanique

I.12.2 DIFFÉRENTS MOYENS DE DRAGAGE

- Tapis roulant
- Chalands vides par des bennes preneuses au niveau des rives
- Chalands vides directement en amont dans la retenue

Chapitre I : PRESENTATION DU BARRAGE K'SOB ET DES PROBLEMES ET SOLUTION LIES A LA VASE

- Transport hydraulique par conduites flottantes et terrestres en utilisant un volume minimum d'eau,
- Par engins de terrassement, Pour l'épandage de la vase dans l'oued ou dans la zone de rejet, il est important de :
- veillez à ne pas obstruer l'oued de façon à assurer l'écoulement de l'eau durant les chasses de vidange de fond ou les déversements du barrage
- identifier les zones de rejet le long de l'oued
- définir les aires de stockage de préférence sur les rives de la retenue pour la récupération des eaux après décantation.

I.13 LES MOYENS DE LUTTE CONTRE L'ENVASEMENT

Les ouvrages hydrauliques qui souffrent directement des conséquences de l'érosion et le transport solides (envasement ou sédimentation) étant les barrages qui voient leurs capacités diminuées sous l'effet de ces phénomènes, les moyens de lutte contre l'envasement des retenues peuvent être classés en deux genres : les moyens préventifs et les moyens curatifs.

En résumé, les moyens de lutte contre l'envasement dans les organigrammes selon (Remini B, 2003) sont indiqués dans la figure I.20.

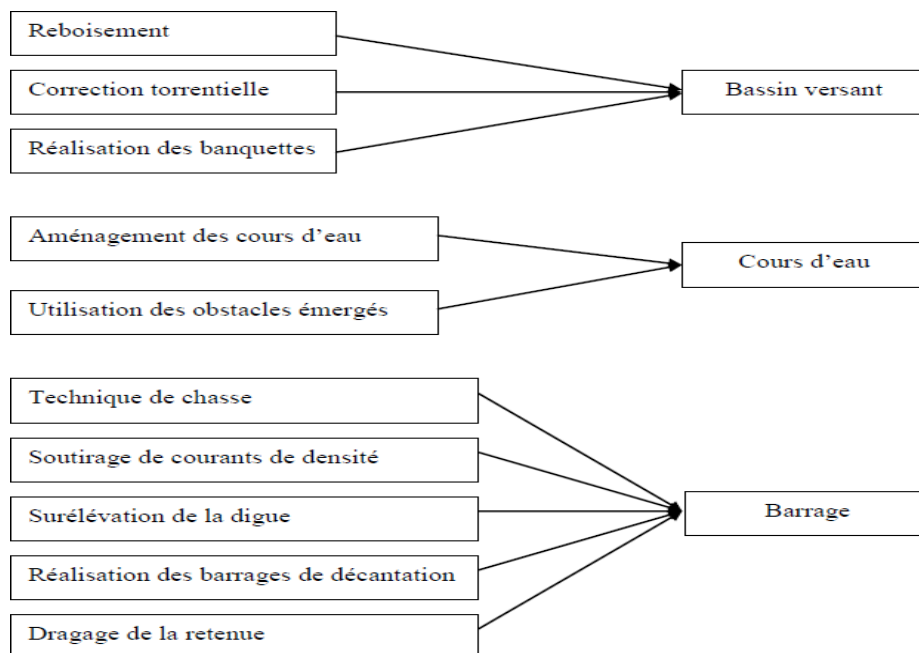


Figure I.20: Moyens de lutte contre l'envasement

I.14 CONCLUSION

A la fin de ce premier chapitre, L'envasement est un phénomène naturel très complexe qu'il faut étudier de l'amont a l'aval du barrage, il est devenu actuellement une réelle menace pour l'infrastructure hydraulique, tant au niveau de la réduction rapide de la capacité utile du barrage qu'à celui de la sécurité de l'ouvrage lui-même.

En Algérie la durée de vie d'un barrage est calculée en fonction du taux d'envasement. La plupart des barrages en Algérie ont une durée de vie de l'ordre d'une trentaine d'année à cause de phénomène de l'envasement, Ils sont dans une situation critique, leur exploitation reste en dessous de leur capacité réelle.

Le dragage de la retenue est devenu une solution indispensable pour prolonger la durée de vie de cet ouvrage, L'envasement de la retenue augmente d'une année à l'autre.

CHAPITRE II

LES TECHNIQUES DE TRAITEMENT

II .1- INTRODUCTION:

Le traitement du sol est une technique utilisée pour améliorer la structure physique du sol, c'est grâce à des expériences que nous utilisons plusieurs matériaux.

Les techniques comportent de nombreuses méthodes de préparation telles que le mélange avec la chaux ou les liants hydrauliques ou la correction granulaire pour améliorer les performances mécaniques pendant la durée du travail.

La préparation se fait dans des laboratoires spéciaux de sélection de la production ou à des doses appropriées pour obtenir des performances mécaniques absolues et la plage de la teneur en eau du mélange.

II .2-TRAITEMENT PAR LA CORRECTION DE LA COURBE

GRANULOMETRIQUE:

L'objectif principal d'apport d'un correcteur granulométrie est pour améliorer le squelette granulaire afin de réduire les vides. Les sédiments traités présentant en une porosité très importante. Pour réduire cette porosité, il est possible d'envisager d'ajouter un correcteur granulométrique aux sédiments qui joue un rôle de diluant par modification les paramètres de nature. [10]

La méthodologie proposée par Dubois (**Dubois V., 2006**) est utilisée. Cette méthodologie est principalement basée sur :

La limitation de la proportion de la fraction fine dans les mélanges ;

- L'optimisation de la distribution granulométrique ;
- La limitation de la quantité de matières organiques ;
- L'optimisation de la quantité de sédiments fins. [11]

II .3- TRAITEMENT A LA CHAUX ET/OU AUX LIANTS HYDRAULIQUES:

Le traitement consiste à mélanger les matériaux avec des liants minéraux afin d'améliorer leurs caractéristiques et leur donner une résistance compatible avec les exigences recherchées. Dans le cadre de ce travail, grâce aux études précédentes, les sédiments contiennent une proportion importante de particules fines et une teneur en matière organique moyenne. Les additifs choisis sont le ciment et la chaux. [10]

II .3.1- TRAITEMENT A LA CHAUX

Depuis fort longtemps, la chaux a été employée pour stabiliser les routes et chemins en milieu agricole et les voies forestières et autres chemins divers. Son utilisation perdure encore aujourd'hui pour modifier les caractéristiques physiques du sol, elle sert à diminuer le pourcentage d'eau contenu dans un sol humide et à flocculer les argiles du sol provoquant ainsi une réaction physico-chimique qui permet le passage d'une structure plastique à une composition stable grumeleuse. Elle sert aussi à modifier les caractéristiques du sol, ainsi elle agit pour solubiliser la silice et l'alumine contenues dans l'argile et former un silicate et aluminat de calcium. Le liant ainsi composé agglomère les composants du sol et augmente la dureté. [10]



Figure II.1: Traitement de remblai à la chaux (Rossi et al .2007).

II .3.1.1- FABRICATION DE LA CHAUX

Le cycle de la chaux consiste à cuire le calcaire pour former la chaux vive (CaO). La chaux éteinte Ca(OH)_2 , peut alors être produite en ajoutant de l'eau à la chaux vive. Dans la figure ci-dessous, on peut remarquer que le dioxyde de carbone contenu dans les produits dérivés du calcaire (CaCO_3) possède la capacité unique d'être transformés de l'atmosphère et réagir avec la chaux éteinte pour la reconvertir en calcaire. Cette réaction représente la première réaction de durcissement des mortiers historiques. Ce cycle de continuité s'appelle le cycle de la chaux.

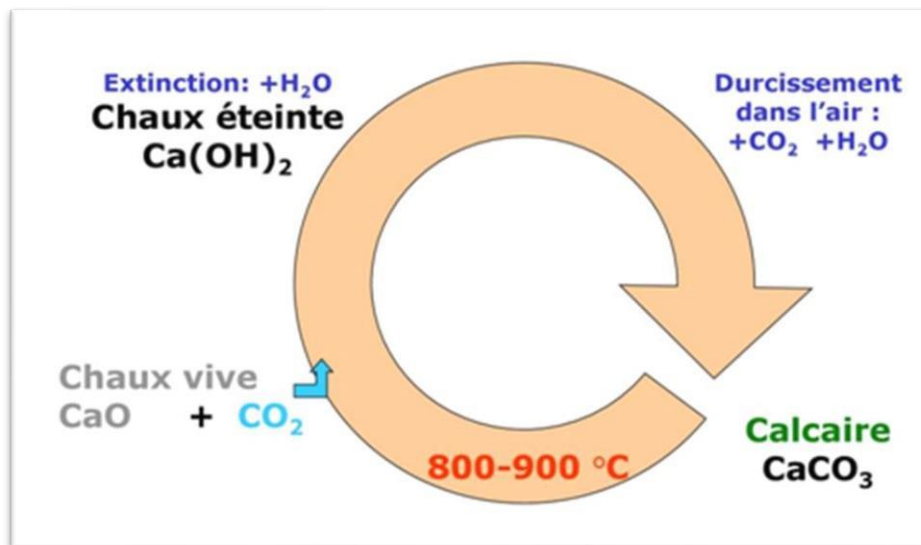


Figure II.2: Cycle de la chaux, Constituants Du Béton Hydraulique

II .3.1.2- DIFFERENTS TYPES DE CHAUX

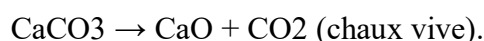
La chaux est obtenue par calcination d'un calcaire (celui-ci représente 20% de la couche terrestre), selon la nature du calcaire utilisé, la cuisson permet la fabrication de plusieurs types de chaux :

- chaux aérienne provenant d'un calcaire pur ;
- chaux magnésienne provenant d'un mélange de calcaire et de carbonate de magnésium ;
- chaux hydraulique provenant d'un calcaire argileux.

Les chaux utilisées en technique routière sont essentiellement les chaux aériennes. Elles se présentent sous deux formes : [10]

II .3.1.2.1- CHAUX VIVE

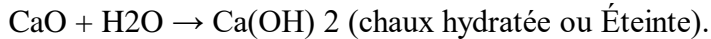
Constituée principalement d'oxyde de calcium CaO, généralement à plus de 90%. La calcination du calcaire (carbonate de calcium) entraîne la formation de chaux vive (oxyde de calcium) et de gaz carbonique (dioxyde carbonique).



Réaction endothermique nécessitant 425 kilocalories par kilogramme de calcaire. Cette réaction s'effectue à une température voisine de 900°C et s'accompagne d'une perte de poids d'environ 45% correspondant à la perte en gaz carbonique.

II .3.1.2.2- CHAUX ETEINTE

Contient essentiellement de l'hydroxyde de calcium Ca(OH)_2 . Elle est obtenue par extinction de la chaux vive selon la réaction d'hydratation suivante :



II .3.1.2.3- CHAUX MAGNESIENNE

On distingue 3 types de chaux aériennes selon le % de calcaire ou d'oxyde de Magnésium :

à- Chaux calcique (CL) : Chaux fabriquée à partir d'un calcaire Ca CO_3 pur ou contenant moins de 5% d'oxyde de magnésium MgO .

b- Chaux magnésienne : Chaux fabriquée à partir d'un calcaire Ca CO_3 contenant de 5% à 34% d'oxyde de magnésium.

c- Chaux dolomitique (DL) : Chaux contenant de l'oxyde de calcium et de 34% à 41% d'oxyde de magnésium. "DL" (Dolomite Lime). Ces chaux contiennent MgO ou Mg(OH)_2 après hydratation.

II .3.1.2.4- CHAUX HYDRAULIQUE

Provenant d'un calcaire argileux, riche en fer, alumine et surtout en silice (provenant des marnes ou argiles) environ 15 à 20 %. A température entre 800 et 1500°C, le CaO du calcaire se combine avec ces éléments et forme des silicates de calcium, des aluminates et des Ferro-aluminates de calcium que l'on trouve sous l'appellation standard XHN (chaux Hydraulique Naturelle), c'est déterminé par la norme NFP15-310 dans la nouvelle norme on parle de chaux hydraulique naturelle NHL (en anglais Naturel Hydraulique Lime).

II .3.1.3- ACTION DE LA CHAUX

L'incorporation de la chaux dans un sol provoque :

- Des actions dites « immédiates » qui se produisent dès l'instant où le mélange sol-chaux est constitué.

- Des actions dites « à long terme » qui se produisent durant plusieurs mois, voire plusieurs années après la mise en œuvre du sol traité. [12]

II .3.1.3.1- ACTIONS IMMEDIATES

Elles portent sur l'état hydrique et sur l'argilosité du sol :

➤ **Modification de l'état hydrique :**

Ces modifications dépendent de la forme sous laquelle la chaux se trouve et de la quantité introduite.

- **La chaux vive :** provoque un abaissement de la teneur en eau du sol par l'action combiné des trois phénomènes suivants :
 - Hydratation de la chaux vive selon la réaction [GTS] :
$$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaO}(\text{OH})_2 + 15,5 \text{ kcal}$$
 - Vaporisation d'une certaine quantité d'eau produite par la chaleur dégagée par la réaction d'hydratation.
 - Apport de matière sèche.
- **La chaux éteinte :** agit également sur la teneur en eau, mais cette fois uniquement par le phénomène d'apport de matière sèche. [12]
- **Le lait de chaux :** produit à l'inverse une élévation de la teneur en eau. Sur le chantier l'abaissement de la teneur en eau peut atteindre 4 à 6%.

➤ **Modification des caractéristiques de la fraction argileuse du sol :**

Dès son incorporation dans un sol argileux humide, la chaux agit sur les charges électriques des particules fines et modifie les champs électriques inter particulaires, ce qui entraîne leur floculation. Cette floculation se traduit géotechniquement par:

- Une élévation importante de la limite de plasticité sans modification significative de sa limite de liquidité, il Ya donc réduction de l'indice de plasticité.
- Une augmentation de la résistance au cisaillement du sol.
- Une modification des caractéristiques de compactage du sol. [12]

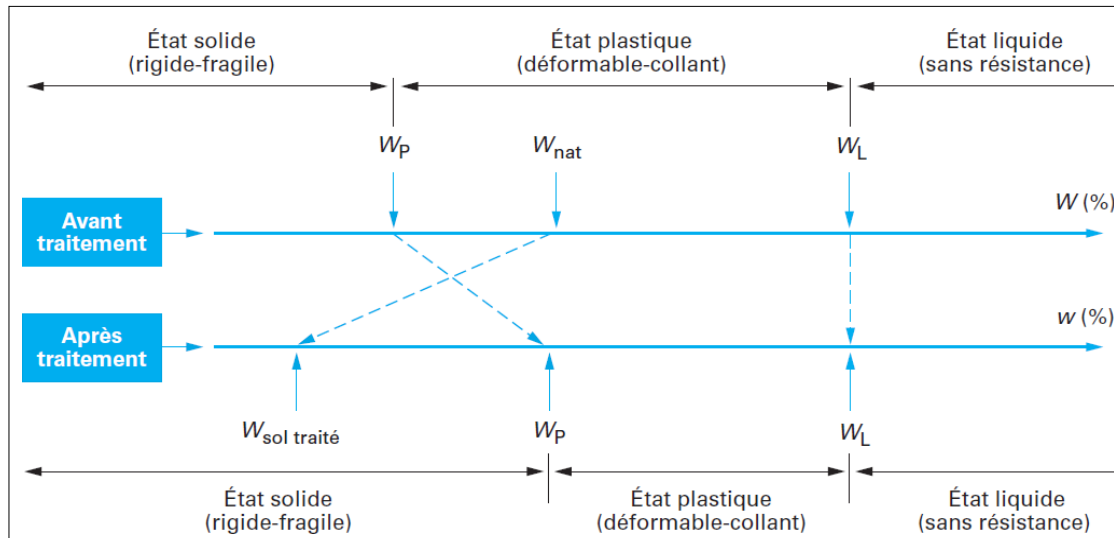


Figure II.3: Modification immédiate du comportement d'un sol argileux humide provoqué par l'introduction de chaux vive (Rossi et al. 2007).

II .3.1.3.2- ACTIONS A LONG TERME (ACTION POUZZOLANIQUE)

Cette action se produit entre la chaux et les minéraux argileux présents dans le sol.

On rappelle que le principe de l'action pouzzolanique repose sur la possibilité, en milieu de pH élevé (supérieur à 12), de mise en solution de la silice, de l'alumine, des oxydes de fer présents dans les minéraux argileux sous des formes cristallisées plus au moins altérées. Ces éléments en solution réagissent ensuite avec la chaux pour former des ferro-silico-aluminates de chaux insolubles qui précipitent et cristallisent en présence d'eau créant ainsi des liaisons de même nature que celles produites avec les liants hydrauliques. [12]

Cette action se traduit par l'augmentation de l'indice CBR après 4 jours d'immersion.

Les facteurs intervenant dans la cinétique de la prise hydraulique des mélanges sol- chaux sont notamment :

- La température du milieu ;
- La quantité et la nature de la fraction argileuse présente dans le sol. Plus cette quantité est élevée et plus les édifices cristallins des minéraux argileux concernés sont altérés (smectites, montmorillonites), plus la mise en solution de la silice et de l'alumine est rapide et les cristallisations importantes.
- L'état hydrique du sol. La présence dans le sol d'une quantité d'eau libre suffisante est indispensable pour assurer tout d'abord l'ionisation à pH élevé du milieu nécessaire à la solubilisation, puis l'hydratation de ces composés conduisant à la cimentation des particules granulaires. [12]

II .3.2- TRAITEMENT AUX LIANTS HYDRAULIQUES

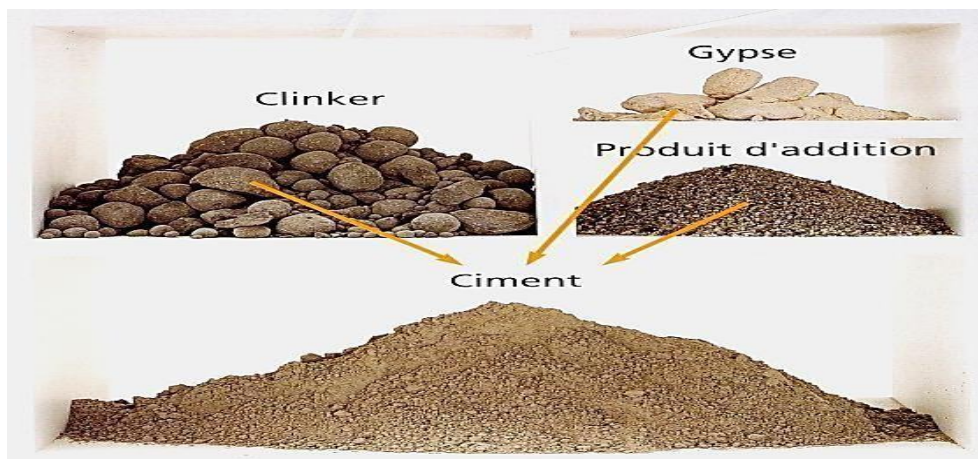
Les liants hydrauliques sont des produits, qui en fait d'eau, s'hydratent en donnant éclosion à des liquide cristallines insolubles et résistantes qui agglomèrent les éléments granulaires du sol. Ce rareté dit « connecteur hydraulique », confère au sol une persévérance indéfrisable lesquels l'poids dépend de: [12]

- la nature du matériau,
- type de liant,
- le dosage en liant,
- la compacité atteinte à la mise en œuvre,
- la température du milieu et de l'âge du mélange.

II .3.2.1- IES CIMENTS

Les ciments sont constitués généralement d'une proportion plus ou moins importante de clinker Portland (clinker) et de différents autres constituants.

Le clinker est obtenu par cuisson, aux environs de 1450°C, d'un mélange (le cru) composé d'environ 80% de calcaire et 20% d'argile, ensuite il est finement broyé.



**Figure II.4: Le composition du ciment. BETON Degussa Construction Chemicals
France**

Les constituants ajoutés au clinker sont des laitiers de hauts fourneaux, des pouzzolanes, des cendres volantes, une faible quantité de gypse (de l'ordre de 3%). [12]

Tableau II.1: Désignation des différents types de ciment en fonction de leur composition dans la norme NF P 15-301, (1994).

Désignation	Notation	Clinker K	Laitier de haut fourneau S	Fumées de silice D	Pouzzolanes naturelles Z	Cendres volantes		Schistes calcinés T	Calcaires L	Constituants secondaires
						siliceuses V	calciques W			
Ciment Portland	CPA-CEM I	95 – 100	—	—	—	—	—	—	—	0 – 5
Ciment Portland composé	CPJ-CEM II/A	80 – 94	← 6 – 20 ^{4) 5)} →							
	CPJ-CEM II/B	65 – 79	← 21 – 35 ^{4) 5)} →							
Ciment de haut fourneau	CHF-CEM III/A	35 – 64	36 – 65 ⁵⁾	—	—	—	—	—	—	0 – 5
	CHF-CEM III/B	20 – 34	66 – 80 ⁵⁾	—	—	—	—	—	—	0 – 5
	CLK-CEM III/C	5 – 19	81 – 95	—	—	—	—	—	—	0 – 5
Ciment pouzzolanique	CPZ-CEM IV/A	65 – 90	—	← 10 – 35 ⁵⁾ →		—	—	—	—	0 – 5
	CPZ-CEM IV/B	45 – 64	—	← 36 – 55 ⁵⁾ →		—	—	—	—	0 – 5
Ciment au laitier et aux cendres	CLC-CEM V/A	40 – 64	18 – 30 ⁵⁾	—	← 18 – 30 ⁵⁾ →		—	—	—	0 – 5
	CLC-CEM V/B	20 – 39	31 – 50 ⁵⁾	—	← 31 – 50 ⁵⁾ →		—	—	—	0 – 5

-

II .3.2.2- LES LIANTS HYDRAULIQUES ROUTIERS LHR [12]

Des LHR ont été étudiés et mis au point depuis plusieurs années pour le traitement dessous en place ou en centrale et pour la fabrication de matériaux d'assise de chaussées.

Les principes d'action des LHR ne sont pas différent de ceux des ciments, car on y trouve, mais en proportion différentes, les mêmes constituants et donc des phénomènes de prise hydraulique de même nature, mais le plus souvent avec des ciments spécifiques. Les LHR présentent certains avantages notamment :

Leurs coûts de fabrication plus faible, car certains de ces constituants ne nécessitent pas de cuisson spécifique.

- Leur possibilité de mieux s'adapter à un cas de chantier particulier.

II .3.2.3- ACTION DES LIANTS HYDRAULIQUES [12]

Dans le cas des liants hydrauliques, ce sont principalement les modifications à moyen et à long terme qui sont recherchées.

II .3.2.3.1- ACTIONS IMMEDIATES

- **Modification de l'état hydrique :**

Les actions immédiates portent principalement sur l'état hydrique du sol qui subit un

assèchement du fait de l'ajout d'une certaine quantité de matière sèche et, dans une moindre mesure, de la perte d'eau consommée dans l'hydratation du liant. [12]

II .3.2.3.2- ACTIONS A MOYEN ET LONG TERME

Elle résulte de la prise hydraulique qui confère aux matériaux traités une résistance en traction qui devient alors prédominante dans leur comportement.

On peut considérer que la prise hydraulique se développe en trois étapes. La durée de chacune d'elles dépend de la nature du liant et de la température du mélange :

- La première étape est celle du démarrage de la prise (phase dormante). Elle correspond au temps nécessaire à la mise en solution et la précipitation sous forme de gel des silico-ferro-aluminates de calcium dans l'eau libre du sol. Ce temps qui correspond au délai de maniabilité peut varier entre 2 et 24 heures, voire 48 h après fabrication du mélange. Ce délai est très important dans les opérations de traitement des sols, car il fixe la durée possible des opérations de mise en œuvre
- La deuxième étape correspond au 'développement de la cristallisation du gel' et donc de la rigidification du mélange provoquant la prise proprement dite
- La troisième étape correspond à la phase de durcissement durant laquelle on observe une poursuite de la croissance des résistances mécaniques

En traitement de sol, les durées de prise et du durcissement interviennent pour évaluer, d'une part, le temps au bout duquel il est possible de solliciter mécaniquement le matériau traité (notamment la possibilité d'être circulé par les engins de chantiers) et, d'autre part, les délais d'étude nécessaires pour caractériser les résistances pouvant être escomptées à long terme avec la formule du mélange retenue. [12]

II.4- CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons examiné comment traiter les sédiments afin d'améliorer leurs performances mécaniques pour les techniques routières.

On doit noter que, quelques soient les voies de valorisation, le traitement des sédiments est obligatoire et doit satisfaire aux exigences environnementales, économiques et techniques.

En général, la stabilisation des sédiments par des techniques de traitement aide à améliorer la structure physique qui est dans un état bas. Pour cette raison, les ajouts comme le ciment, la chaux ou la correction granulaire rendent les performances mécaniques plus fortes et plus résistantes à l'effondrement ou à la fissure

Dans un contexte de développement durable, la valorisation des sédiments reste pour l'instant à explorer au stade de la recherche, que ce soit dans la dépollution des sédiments ou dans la gestion des quantités des matières.

La théorie du traitement des sédiments permet d'obtenir un meilleur rendement à moindre coût et des matériaux locaux, ce qui est avantageux pour les techniques routières ou d'autres domaines.

CHPITER III
Caractérisation
Géotechnique

III.1 INTRODUCTION :

Après la présentation du barrage de k'sob vient l'étape de présenter les différents essais et le matériel utilisé en vue de déterminer les caractéristique physique et mécanique de la vase sans traitement. Le programme établi de ces essais devait se voir exécuter dans des laboratoires, qui sont celui de notre université « Université Mohamed Boudiaf de M'sila» et celui du laboratoire du bureau d'étude de Sidi Thamer.

Essais d'identifications :

- La teneur en eau (w) ;
- La masse volumique ;
- Équivalent de sable ;
- Pycnomètre ;
- Analyse granulométrique ;
- Les limites d'Atterberg ;
- L'essai au bleu de méthylène ;

Essais Mécaniques :

- Essai Proctor normal ;
- Essai Proctor modifié ;
- Essai cisaillement à la boîte ;

III.2 - PRESENTATION DES ECHANTILLONS

Le prélèvement effectué en mars 2022 a été réalisé manuellement à l'aide d'une pelle dans le bassin à proximité du barrage de K'sob et était réservé au stockage des boues draguées et récupérées au fond de la rizière du barrage. Voir Figure III.1.



Figure III.1: Barrage K'sob.

III.3 ESSAIS D'IDENTIFICATIONS

III.3.1 Teneur en eau naturelle W(%)

La détermination de la teneur en eau d'un sol, qui se définit par poids de l'eau contenu dans l'échantillon, le poids des vides étant négligeable. La teneur en eau représente un paramètre important, car elle définit l'état hydrique du matériau et intervient directement lors de la valorisation en matériaux routiers. Les sédiments étudiés sont des matériaux de couleur grise. La phase organique présente une sensibilité à la température ; pour cela, les sédiments ont été séchés en étuve à 40°C, selon la norme NF P 94-050. La teneur en eau est définie en (%) comme le rapport de la masse humide sur la masse sèche.

III.3.2 Mesure de la masse volumique (NF P 94-053) :

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

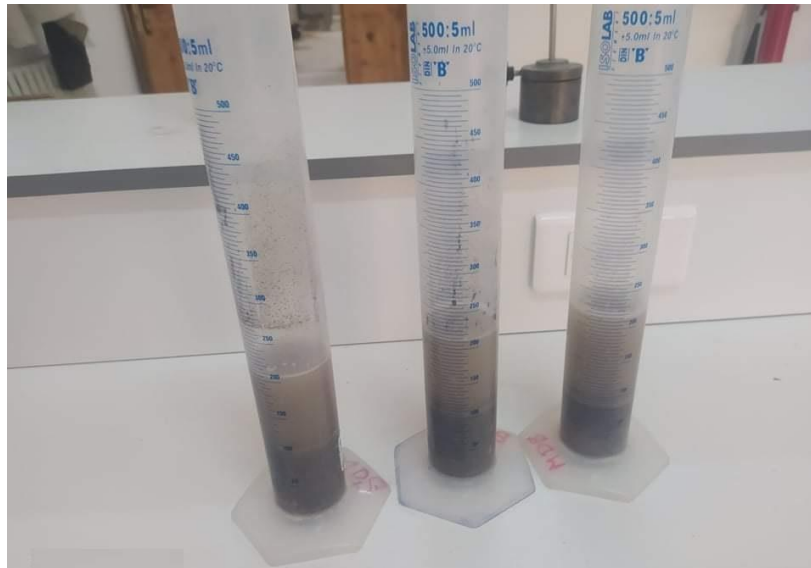


Figure III.2: Les éprouvettes de la masse volumique

B- La masse volumique apparente

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) ($\rho = m / V$).

La masse volumique d'un granulat est le rapport entre sa masse et son volume. Pour un granulat donné, ce rapport est une constante qui est propre aux caractéristiques physiques du granulat. Elle permet alors de caractériser un granulat et d'établir un lien entre sa masse et son volume.

Le volume des grains est appelé le volume absolu et le volume des grains avec l'air est appelé le volume apparent. Puisqu'il existe deux volumes pour désigner un granulat.

La densité des grains solides du sol est donnée directement par la formule :

$$D_s = \frac{\rho_s}{\rho} = \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_1 - m_3 - m_2}$$

III.3.3 Méthode du Pycnomètre (NF P 94-054) :

A- but : La présente norme a pour objet la détermination, au pycnomètre à eau, de la masse volumique des particules solides de sol.

B- Appareillage :

- Pycnomètre ;
- Volume : 150 ml ;
- Poids : Masse 50 g ;

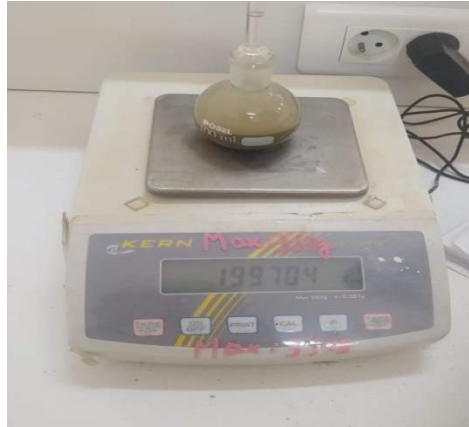


Figure III.3: la masse volumique absolue par pycnomètre

C-Mode opératoire :

La prise d'essai est introduite dans le pycnomètre. Le pycnomètre est débarrassé de toute particule qui aurait pu adhérer sur sa surface extérieure puis est pesé avec son bouchon (m_2). Le ballon du pycnomètre est ensuite rempli d'eau distillée ou déminéralisée maintenue à la température ambiante. Lorsque le désaéragage est terminé, le bouchon avec son tube repère est placé sur le ballon du pycnomètre. Le remplissage est effectué avec de l'eau distillée ou déminéralisée jusqu'au repère et complété, si besoin, au bout de 30 min. Le pycnomètre est séché et pesé (m_3). Puis le pycnomètre est vidé, nettoyé et rempli d'eau distillée ou déminéralisée jusqu'au repère du bouchon. Au bout de 30 min, le niveau est à nouveau mis en coïncidence avec le repère. L'ensemble, une fois essuyé, est pesé (m_4).

La masse volumique des particules solides est déterminée à partir de la formule suivante :

avec:

$$\frac{\rho_w (m_2 - m_1)}{(m_4 + m_2 - m_1 - m_3)} =$$

m_1 : masse du pycnomètre vide,

m_2 : masse du pycnomètre contenant la prise d'essai,

m_3 : masse du pycnomètre, du sol et de l'eau,

m_4 : masse du pycnomètre plein d'eau,

ρ_w : masse volumique de l'eau conventionnellement prise égale à 1 000 kg/m³.

III.3.4 ANALYSE GRANULOMETRIQUE :

Le sédiment est une matrice relativement hétérogène constituée d'eau, de matériaux inorganiques et de composés anthropiques [Bonnet, 2000]. Généralement le sédiment est

décrit par sa composition minéralogique et sa structure. Dans le secteur des travaux routiers, pour une classification des matériaux selon le « Guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme » [GTR. 1992], la distribution granulométrique constitue le premier paramètre d'entrée dans les tables de classification. L'analyse granulométrique de cette étude s'obtient par deux opérations successives et complémentaires : le tamisage par voie humide pour des particules de dimensions $\geq 80\mu\text{m}$ (0.08mm), l'essai est effectué selon la norme (NF P94-056, 1992). Cette méthode consiste à fractionner un matériau granulaire au moyen d'une série de tamis de taille décroissante (Figure III.4).

Les dimensions des mailles sont choisies en fonction du but de l'essai et de la nature des échantillons. La vase a été passés par des tamis de $80\mu\text{m}$, jusqu'à 2mm. Après avoir versé les sédiments dragués sur le tamis supérieur, on doit agiter les tamis manuellement ou mécaniquement ou bien mélanger les matériaux en les trempant avec de l'eau comme dans notre cas. Après tamisage, les refus sont récupérés et séchés jusqu'à atteindre leur masse sèche. La fraction inférieure à $80\mu\text{m}$ est alors analysée grâce au sédimentométrie par densimètre (NF P94-057, 1992).



Figure III.4: L'analyse granulométrique par des tamis manuellement humide

Le Matériels utilisé pour la granulométrie est le suivant :

- Une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture intérieure des mailles est respectivement de haut en bas (5 - 4 - 3.15 - 2 - 1 - 0.63 - 0.08) ;
- Tamis manuellement ;

- Balance précision



Figure III.5: Série de Tamis.

III.3.5 LIMITES D'ATTERBERG

On détermine par cet essai la limite de liquidité et la limite de plasticité d'un sol. Cet essai est réalisé sur la partie de sol passant au tamis de 4 mm.

a)-limite de liquidité (wL) : ar définition, la limite de liquidité est la teneur en eau (exprimée en %) qui correspond à une fermeture en 25 chocs

b)- limite de plasticité (wp) : La limite de plasticité est définie comme étant la teneur en eau (exprimée en%) du fuseau qui se brise en petits tronçons de 1 à 2cm de long au moment où son diamètre atteint 3cm.

c)-indice de plasticité (IP) : L'indice de plasticité I_p est la différence entre la limite de plasticité et la limite de liquidité, il mesure l'étendue du domaine plastique et s'exprime donc par la relation : $I_p = W_L - W_P$

III.3.5 .1 Matériels spéciales

Pour la limite de liquidité et de plasticité (1^{ère} méthode) :

- Appareil de Casa grande.
- Outil à rainurer.

- Une spatule.
- Surface lisse non absorbante



Figure III.6: Appareillage de limites d'atterberg.

Pour la limite de liquidité (2ème méthode) :

- -Appareil de pénétration à cône (la masse de la tige +le cône =240g).

III.3.5.2 Mode opératoire

- Brasser l'échantillon du sol ;
- Imbiber le sol dans un bac d'eau 24heures ;
- Tamisé le matériau par voie humide au tamis 0,4mm.
- Après une durée siphonnée l'eau clair du bac;
- L'eau excédentaire est évaporée à une température de 50°.

III.3.5.3 Méthode de casagrande

La limite de liquidité est déterminée à l'aide de la méthode de Casagrande [norme NFP 94 051]. L'essai consiste à déterminer la relation entre la teneur en eau et le nombre de chocs imposés à une coupelle contenant le matériau, induisant la fermeture, sur un (1) cm, d'une rainure préalablement formée dans le matériau. Par définition, la limite de liquidité est la teneur en eau qui correspond à une fermeture sur un centimètre pour 25 chocs.



Figure III.7: Détermination de la limite de liquidité

*La limite de plasticité est déterminée par la méthode du rouleau [norme NF P 94 051].

- Former une boulette à partir de pâte préparée de la limite de liquidité ;
- rouler la boulette sur plaque lisse de façon obtenu un rouleau de 10cm de longueur et 3,0mm à ± 5 de diamètre ;
- La limite de plasticité est obtenue lorsque le rouleau se fissure ;
- Prélever la partie fissurée du rouleau et l'introduire dans l'étuve pour déterminer sa teneur en eau ;
- Effectuer plusieurs essais avec des nouvelles boulettes.



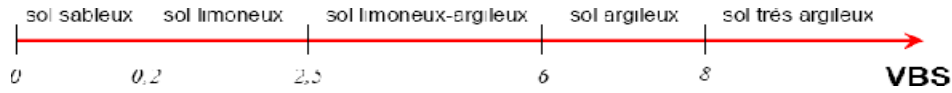
Figure III.8: Formation des rouleaux pour la détermination de W_p

III.3.6 ESSAI AU BLEU DE METHYLENE (VBS)

L'essai au bleu de méthylène permet d'apprécier l'activité argileuse. Dans cette étude, l'essai est réalisé suivant la norme NF P 94 068. Il consiste à déterminer la quantité de bleu de méthylène nécessaire pour recouvrir d'une couche mono moléculaire de la surface des particules d'un matériau en suspension dans l'eau. Ce paramètre intervient dans la classification GTR (GTR, 2000), pour caractériser les sols fins et pour distinguer les différentes familles de sols

On appelle valeur au bleu de méthylène d'un sol VBS, la quantité exprimée en gramme de bleu de méthylène adsorbée par 100 g de fines

$$VBS (g) = m_{bleu}$$



Le matériel utilisé pour cet essai est :

- Un dispositif de dosage permettant d'injecter par 10 cm³ , des volumes de solution de bleu et de connaître la quantité totale injectée ;
- Un chronomètre, un papier-filtre blanc, une baguette de verre
- Un agitateur mécanique à ailettes ;
- Un récipient cylindrique d'une capacité minimale de 3 000 cm³ ;
- Un tamis de maille 80 mm.
- d- Mode opératoire :
- Préparer la solution de bleu de méthylène 10 g/l
- Mettre la prise 30g (tamisé au tamis 0,080 mm) dans le récipient puis ajouter 500 ml d'eau distillée ;
- Agiter l'ensemble par un agitateur à ailettes à vitesse (700 ± 100);
- Injecter dans le récipient 5 à 10 cm³ de solution de bleu de méthylène à l'aide d'une burette de 50 ml ;
- L'agitateur permanent doit être tel que les particules soient en mouvement ;
- Prélever une goutte du liquide à l'aide d'une baguette en verre et la déposer sur le papier filtre;
- Apparition autour du dépôt central d'une auréole bleu claire : test positif ;
- Apparition autour du dépôt central d'une auréole incolore : test négatif ;
- L'essai termine que si l'on obtient 5 tests positifs espacés chacun d'une minute sans n'ajouter la solution de bleu



Figure III.9: Matériels pour essai au (VBS).
bleu de méthylène

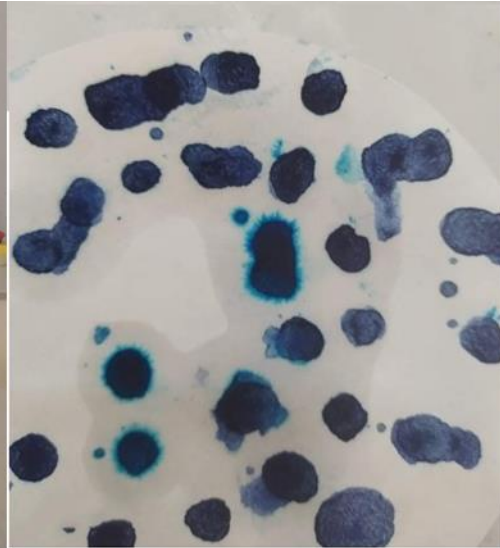


Figure II.10 Test positif.

III.4 ESSAIS MECANIQUES :

III.4.1 Essai proctor normal (NF P 94-093)

L'essai Proctor a pour but de déterminer la teneur en eau à laquelle doit être compacté un sol pour obtenir la densité sèche maximum, par un compactage d'intensité donné.

III.4.2 Principe de l'essai proctor :

L'essai Proctor consiste à compacter dans un moule normalisé, avec une énergie de compactage normalisée (dame de masse normalisée tombant d'une hauteur constante), un échantillon du matériau à différentes valeurs de teneur en eau pour en déduire :

- La teneur en eau optimale.
- La densité sèche maximum correspondante.



Figure III.10: Matériel de l'essai Proctor normal

III.4.2.1 Protocole operatoire

- On prend 2 kg de sol préalablement préparé qu'on verse dans un bac.
- On ajoute une certaine quantité d'eau proportionnelle au poids du sol utilisé.
- A l'aide de la truelle on malaxe bien le sol.

On remplit le moule Proctor normalisé en trois couches puis après avoir versé chaque couche, on compacte l'aide de la dame Proctor normal en 25 coups en respectant la hauteur de chute et en assurant une répartition équitable des coups sur la surface à compacter. On procède de la même manière après la mise en place de la 2eme et 3eme couche.

On réitère 5 fois le même mode opératoire en ajoutant à chaque fois d'eau au matériau, on collecte les résultats pour tracer une courbe sur laquelle il est reporté la teneur en eau en abscisses et la densité sèche correspondants en ordonnées.

Comme indiqué figure III 12. A la fin de l'essai, la hausse est retirée et on arase la surface du moule. Connaissant sa masse et son volume on peut déterminer la masse volumique humide ρ_h du matériau compacté. La teneur en eau, obtenue par étuvage à 105°C, permet ensuite de calculer sa masse volumique sèche γ_d . En faisant varier les teneurs en eau.



Figure III.11: Compactage de l'échantillon

III.4.3 ESSAI PROCTOR MODIFIE :(SELON LA NORME : NF P 94-093)

L'essai Proctor a pour but de déterminer la teneur en eau optimale pour un sol de remblai donné et des conditions de compactage fixées, qui conduit au meilleur compactage possible ou encore capacité portante maximale.

Le principe de l'essai consiste à humidifier un sol à plusieurs teneurs en eau et à la compacter selon un procédé et une énergie conventionnelle. Pour chacune des valeurs de teneur en eau considérée, on détermine la masse volumique sèche du sol et l'on établit la courbe des variations de cette masse volumique en fonction de la teneur en eau. Cette courbe appelée courbe Proctor présente une valeur maximale de la masse volumique sèche, elle est obtenue pour une valeur particulière de la teneur en eau. Ce sont ces deux valeurs qui sont appelées caractéristiques de compactage Proctor modifié.

- Matériel spécifique :
- Moule Proctor avec embase et hausse ;
- Dame Proctor modifiée ;
- Règle à araser

III.4.3.1 Mode opératoire

- L'échantillon est séché dans l'étuve à 50 C° ;
- Diviser l'échantillon en cinq parts égales ;
- Humidifier chacun des parts à une teneur en eau;
- Peser du moule vide ;
- L'embase, la hausse sont fixées au moule puis le disque d'espacement est introduit avec un papier- filtre;
- La part est divisée en cinq couches (environ de 650g pour chaque couche), chaque couche reçoit 56 coups ;
- Après compactage, la hausse et le disque d'espacement sont enlevées ;
- Le surplus est arasé ;
- Effectuez-la pesée du moule ;
- prélever une petite quantité de sol en haut du moule et en bas du moule pour en déterminer la teneur en eau ;
- Ces opérations sont répétées sur chacune des cinq parts de matériau ;

Pour chaque éprouvette compactée, il convient de calculer : La teneur en eau, La masse de sol contenu dans le moule, La masse du sol sec ; courbe $\gamma_d = f(w)$ et on détermine son maximum.

III.4.4 ESSAI DE CISAILLEMENT : (NORMES NF P 94- 071)

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. Il 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 III.12: Appareil de cisaillement

III.4.4.1 Mode opératoire :

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 introduction de l'éprouvette dans la boîte et remplissage de cette dernière avec de l'eau, la déformation verticale commence.

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 (τ , σ). Il est alors simple de déterminer l'angle de frottement φ' et la cohésion C' respectivement la pente et l'ordonnée à l'origine de ces droites



Figure III.13: Résultats d'essai de Cisaillement

III.5 CONCLUSION :

La mécanique des sols est une théorie qui exprime les règles du sol naturel. La mécanique des matériaux a un rôle très important en tant que science de l'ingénieur qui ne peut être comparée qu'à la science de la "résistance des matériaux". Sans connaître les principes de la mécanique des sols à travers les essais en laboratoire que nous avons menés, il est impossible d'obtenir et d'arriver à une conception, des installations industrielles modernes, telles que des bâtiments résidentiels, en particulier la construction de routes à plusieurs étages, la construction en terre, la construction de génie hydraulique, tels que les barrages en terre, les barrages hydrauliques et les bâtiments de centrale électriques pour la production d'électricité entre autre .

CHAPTER IV

PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS D'ESSAIS

CHAPITER IV : PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS D'ESSAI

IV.1 INTRODUCTION

Ce chapitre regroupe l'ensemble des résultats des essais réalisés sur le sol étudié et leur interprétation. Comporte les essais d'identification (teneur ue en eau analyse granulométrique masse volumique, limites d'Atterberg, l'essai au bleu de méthylène, l'essai au pycnomètre) et les essais mécaniques (Proctor normal et modifié, Cisaillement à la boîte).

IV.2 TENEUR EN EAU NATURELLE SELON LA NORME NF P94-050 :

La teneur en eau de la vase du barrage de K'sob est déterminé par un séchage d'un échantillon humide dans une étuve réglée à 60° dans le but de ne pas brûler la matière organique. Les résultats sont présentés dans le tableau IV.1

Tableau IV.1 : résultats de teneur en eau W(%).

Numéro de la tare	ESSAI 1	ESSAI 2	ESSAI 3
Masse de la tare	24.44	24.19	24.03
Mh + tare	125.67	137.34	130.69
Ms +tare	99.64	106.74	101.61
Masse de l'eau	26.03	30.6	29.03
Masse de sol sec	75.2	82.55	77.58
w(%)	34.61	37.06	36.71
Moyenne	36.12		

IV.3 LA MASSE VOLUMIQUE SELON LA NORME NF P 94-054 :

IV.3.1 LA MASSE VOLUMIQUE (Absolu) :

L'essai de la masse volumique absolue a été réalisé par deux types d'essais dont le premier est celui des éprouvettes gradués. La masse volumique du sol (ρ_{abs}) est le rapport de la masse de ces particules solides (m_s) par leur volume (V).

$$\rho_{abs} = m_s / (V_1 - V_2)$$

Les résultats sont regroupés dans le tableau IV.2

Tableau IV.2 : résultats de la masse volumique.

ESSAI	1	2	3
V1	150	150	150
V2	205	207	206
V2-V1	55	57	56
Pabs	2.72	2.63	2.67
pabs moy	2.67		

Avec :

V1 : volume d'eau (cm³)

V2 : volume d'eau après ajoute le sol (cm³)

pabs : la masse volumique absolu (g /cm³)

Ms : la masse de sol (g)

IV.3.2 METHODE DU PYCNOMETRE A L'EAU :

Les résultats obtenus par la méthode du Pycnomètre sont donnés au tableau IV.3

Tableau IV.3: Résultats de l'essai au pycnomètre.

Ms= 50 g	1	2	3	4
M1	69.76	69.76	69.76	69.76
M2	119.2	119.2	119.2	119.2
M3	199.7	199.9	199.9	200
M4	174.8	174.8	174.8	174.8
pabs	2.01	2.031	2.031	2.039
pabs moy	2.027			

IV.4 ÉQUIVALENT DE SABLE

Les résultats obtenus par la méthode de l'équivalent de sable sont donnés

Équivalent de sable	61,12
---------------------	-------

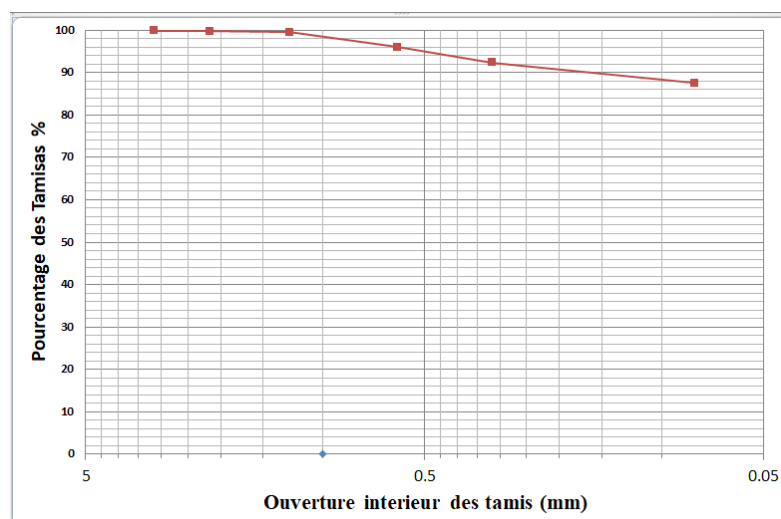
IV.5 ANALYSE GRANULOMETRIQUE SELON LA NORME NF P18-560

Le tableau ci-dessous présente les résultats des essais réalisés :

Tableau IV.4: Résultats des essais analyse granulométrique.

Poids total (gramme) 1000				
Tamis (g)	Partiel (g)	Cumulé (g)	Refus(g)	Tamisats (%)
3.15	1.12	1.12	0.11	99.89
2.15	1.29	2.41	0.24	99.76
1.25	2.34	4.75	0.47	99.53
0.6	35.8	40.55	4.05	95.95
0.315	36.23	76.78	7.67	92.33
0.08	48.6	125.38	12.53	87.47

Figure IV.1: Courbe de l'essai analyse granulométrique de vase.



Le tableau ci-dessous présente les résultats des essais réalisés

Tableau IV.5: Résultats des essais analyse granulométrique.

Poids total (gramme) 1000				
Tamis (mm)	Partiel (g)	Cumulé (g)	Refus	Tamisats (%)
5	0.01	0.01	0	100
4	0.27	0.28	0.03	99.97
3.15	1.2	1.48	0.15	99.85
2	1.41	2.89	0.28	99.72
1	6.15	9.04	0.91	99.09
0.63	73.35	82.39	8.23	91.77
0.315	421.27	503.66	50.36	49.64

CHAPITER IV : PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS D'ESSAI

0.08	284.34	788	78.8	21.2
------	--------	-----	------	------

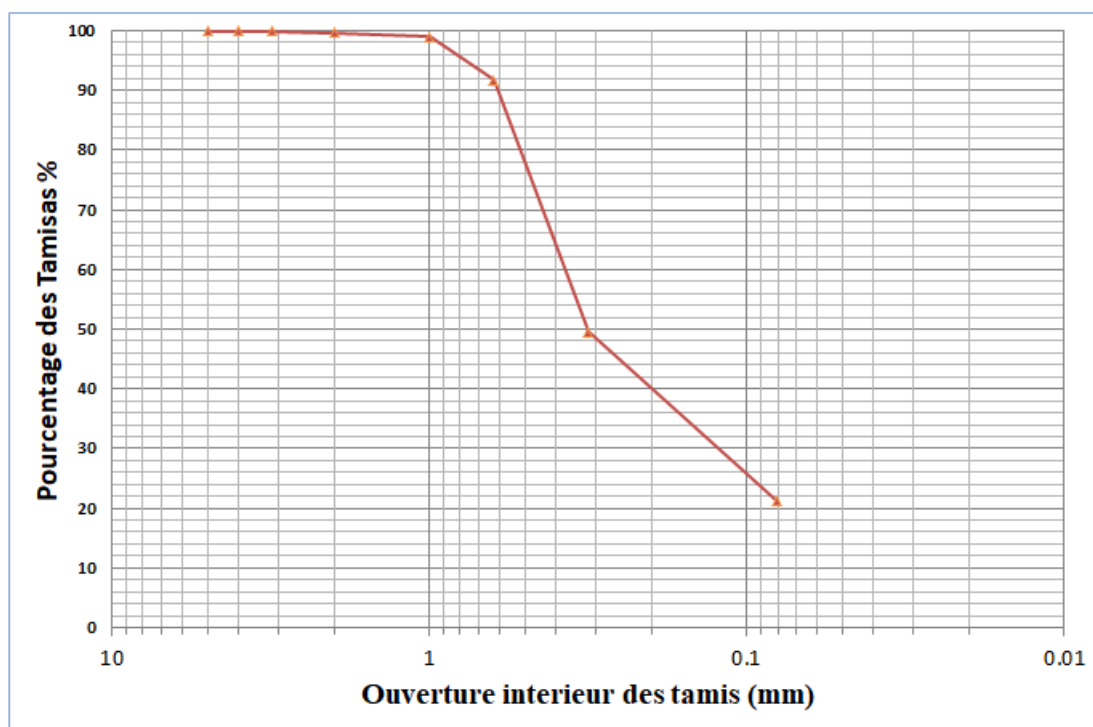


Figure IV.2: Courbe de l'analyse granulométrique du sable concasse.

IV.6 ESSAI AU BLEU DE METHYLENE VBS SELON LA NORME NF P 94-068 :

On a réalisé trois (3) essais au bleu de méthylène, les résultats obtenus sont repris dans le Tableau IV.6

Tableau IV.6: résultats de l'essai au bleu.

ESSAI	Masse de sol	Masse d'eau	VBS	Moy VBS
1	40 g	500ml	3.88	4.04
2	40 g	500ml	4.5	
3	40 g	500ml	3.75	

IV.6.1 CLASSIFICATION De LA VASE SELON LES PARAMETRES DE L'ESSAI

Le tableau suivant donne la classification du sol selon les résultats trouvés par l'essai au bleu de méthylène, en effet il peut déterminer l'argilosité du sol.

Tableau IV.7: Classification des sols d'après Philipponat.

VBS (en grammes 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

D'après la classification de philipponat la valeur du bleu de notre vase égale 4.04 ($2,5 < VB < 6$). Notre sol appartient donc à la classe des «sols limoneux argileux».

IV.6.2 LA VASE + 5 % SABLE CONCASSE :

VBS	3.33
------------	-------------

D'après la classification de philipponat la valeur du bleu de notre vase égale 3.33 ($2,5 < VB < 6$). Notre sol appartient donc à la classe des «sols limoneux argileux».

IV.6.3 LA VASE + 10 % SABLE CONCASSE :

VBS	2.83
------------	-------------

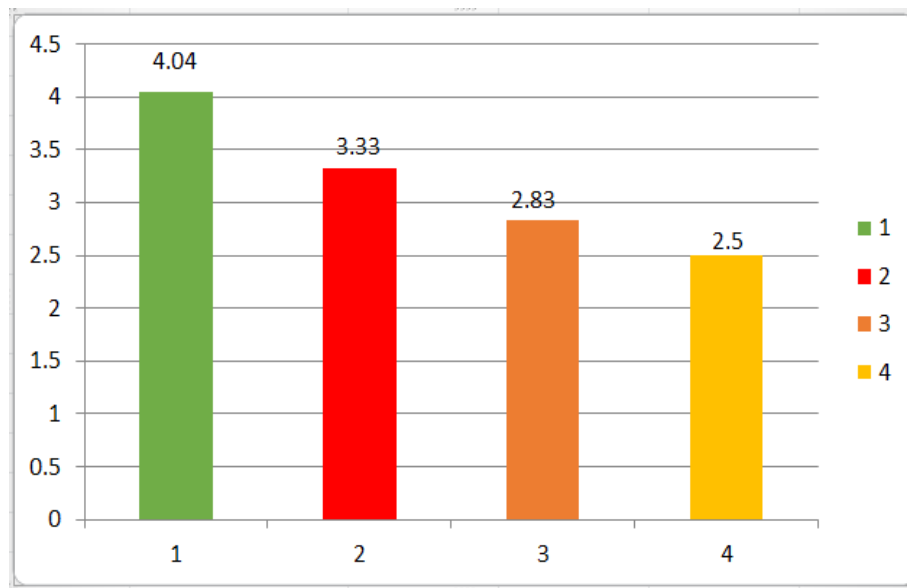
D'après la classification de philipponat la valeur du bleu de notre vase égale 2.83 ($2,5 < VB < 6$). Notre sol appartient donc à la classe des «sols limoneux argileux».

IV.6.4 LA VASE + 15 % SABLE CONCASSE :

VBS	2.50
------------	-------------

D'après la classification de philipponat la valeur du bleu de notre vase égale 2.50 ($2,5 < VB < 6$). Notre sol appartient donc à la classe des «sols limoneux argileux».

IV.6.5 ÉVALUATION DE LA VALEUR DE BLEU DE DIFFERENTE MELANGE :



1-vase seule

2- La vase + 5% sable de concasse

3- La vase + 10% sable de concasse

4- La vase + 15% sable de concasse

INTERPRETATION DES RESULTATS :

Évolution de la valeur de VBS est illustrée dans la figure ci-dessus. A l'issu des résultats trouvé on constats que ajout de sable concasse augmente la propreté de la vase notamment avec un pourcentage de 15 % de sable concassé.

IV .7 LIMITES D'ATTERBERG SELON LA NORME NF P 94-051 :

Les limites de liquidité et de plasticité, dites limites d'Atterberg ou limites de consistance, sont des paramètres géotechniques destinés à identifier les sols, caractériser leur consistance et permettre de ce fait de les classer (NFP 94-051).

IV.7.1 LA LIMITE DE LIQUIDITE SELON LA NORME NF P94-051 :

Le tableau ci-dessous présente la récapitulation des résultats d'essai de limite de liquidité.

Tableau IV.8: Détermination de la limite de liquidité.

	Essai 1		Essai 2		Essai 3	
Nbre de coups	16		22		34	
N° de la tarre	1	2	3	4	5	6
Masse de la tarre	2.31	2.18	2.38	2.05	2.44	1.78
Masse (Sol Humide +tarre)	33.92	33.47	34.98	28.27	25.02	26.71
Masse (Sol Sec +tarre)	23.14	22.89	24.11	19.59	17.7	18.62
Masse l'eau	10.78	10.58	10.87	8.68	7.32	8.09
Masse du sol sec	20.83	20.71	21.73	17.54	15.26	16.84
Teneur en eau (%)	51.75	51.08	50.2	49.48	47.96	48.04
Moyenne (%)	51.41		49.48		48	

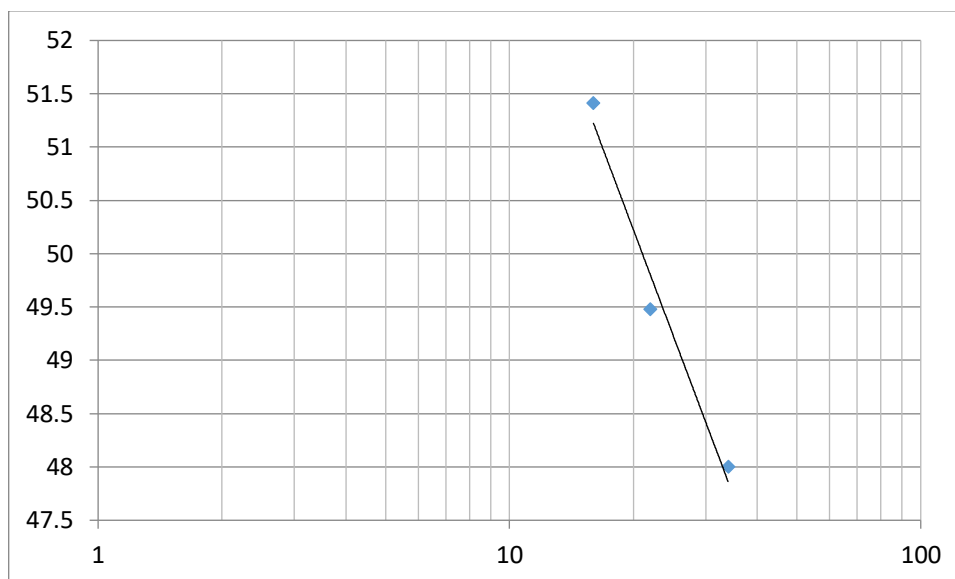


Figure IV.3: Courbe de la limite de liquidité.

IV.7.2 LA LIMITE DE PLASTICITE

Le tableau ci-dessous présente la récapitulation des résultats d'essai de limite de plasticité.

Tableau IV.9: Valeurs trouvées de la limite de plasticité.

	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Masse de la tarre	1.36	2.13	2.01
Masse (Sol Humide +tarre)	3.6	3.87	3.22
Masse (Sol Sec +tarre)	3.12	3.45	2.94
Masse l'eau	0.48	0.42	0.28
Masse du sol sec	1.49	1,32	0.93
WP	32.21	31.81	30.1
Moyenne (%)	31.37		

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

Formulaire du calcule : $I_p = \omega L - \omega p$

Limite de liquidité	49.3
Limite de plasticité	31.37
Indice de plasticité (Ip)	17.93

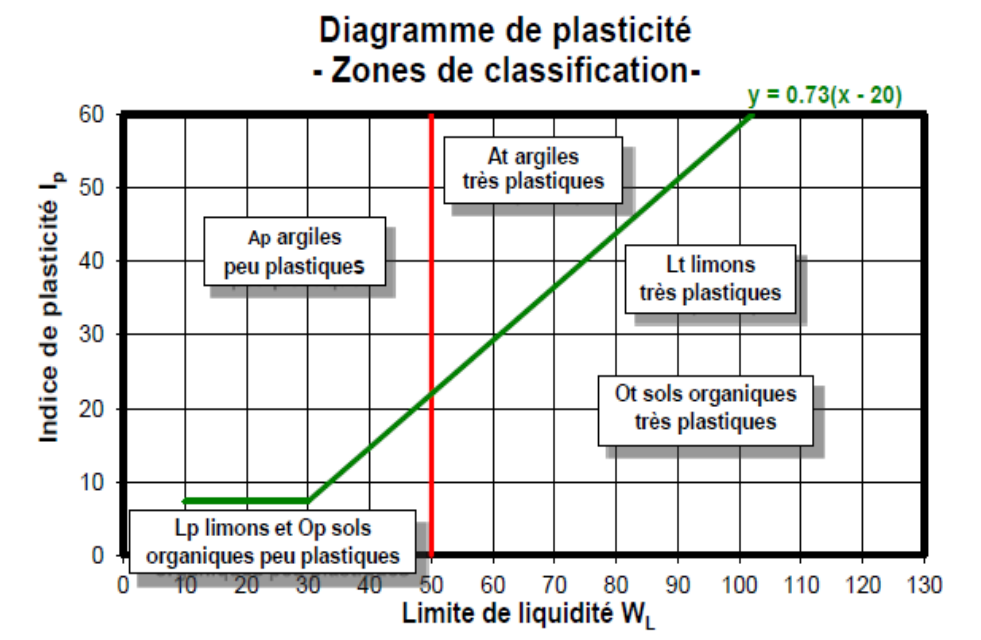


Tableau IV.10: Classification selon l'indice de plastic

Indice de plasticité	Degré de plasticité
$0 < I_p < 5$	Sol non plastique
$5 < I_p < 30$	Sol peu plastique
$30 < I_p < 50$	Sol plastique
$50 < I_p$	Sol très plastique

CONCLUSION : À partir des résultats trouvés à partir de l'essai et le diagramme de Casagrande (Philipponnat et Hubert.1997), on remarque que notre sol « vase » se classe parmi les sols **Limon et sol organique peu plastiques Op**.

IV 7. 3 MATERIAU +5% SABLE CONCASSE

Tableau IV.11: Limite de liquidité.

Essai	Essai 1		Essai 2		Essai 3	
Nbre de coups	18		22		34	
N° de la tarre	1	2	3	4	5	6
Masse de la tarre	2.31	2.18	2.38	2.05	2.44	1.78
Masse (Sol Humide +tarre)	32.52	34.93	26.35	27.86	29.59	27.54
Masse (Sol Sec +tarre)	22.99	24.57	19.09	20.19	21.59	21.05
Masse l'eau	9.53	10.36	7.26	7.77	8.36	6.49
Masse du sol sec	20.68	22.39	16.93	18.04	19.15	19.28
Teneur en eau (%)	46.08	46.26	43.39	43.07	43.65	37.06
Moyenne (%)	46.17		43.23		40.35	

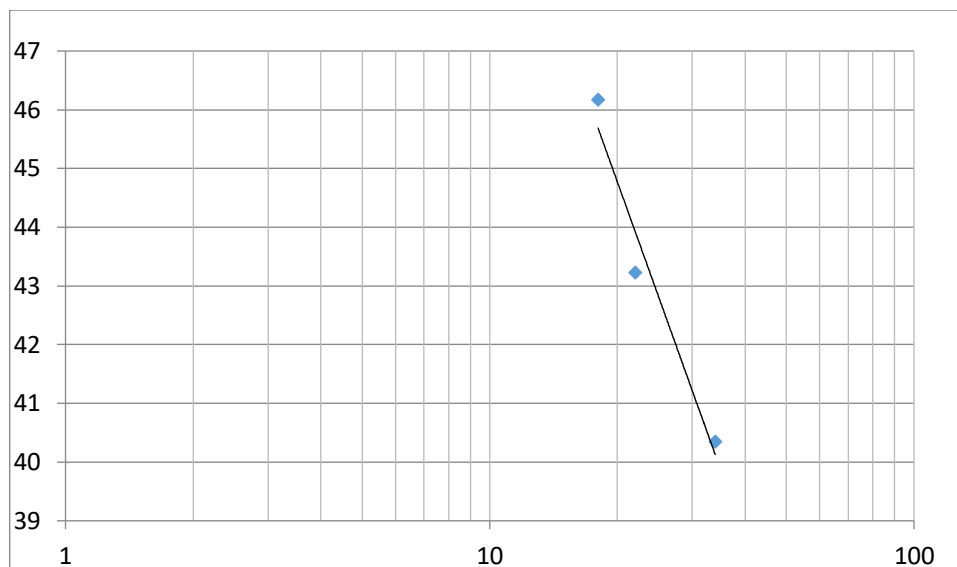


Figure IV.4: Courbe de la limite de liquidité.

Tableau IV.12: Valeurs trouvées de la limite de plasticité.

	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Masse de la tarre	1.63	2.13	2.01
Masse (Sol Humide +tarre)	4.64	4.95	4.75
Masse (Sol Sec +tarre)	3.96	4.33	4.15
Masse l'eau	0.68	0.62	0.6
Masse du sol sec	2.33	2.2	2.14
WP	29.18	28.18	28.03
Moyenne (%)	28.46		

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

Formulaire du calcule : $I_p = \omega L - \omega p$

Limite de liquidité	43
Limite de plasticité	28.46
Indice de plasticité (Ip)	14.54

CONCLUSION : À partir les résultats trouvés à partir de l'essai et le diagramme de Casagrande (Philipponnat et Hubert.1997), on remarque que notre sol « vase » se classe parmi les sols « **Limon et sol organique peu plastiques Op** ».

CHAPITER IV : PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS D'ESSAI

IV.7.4 MATERIAU +10% SABLE CONCASSE :

Tableau IV.13: Limite de liquidité.

Essai	Essai 1		Essai 2		Essai 3	
Nbre de coups	17		23		32	
N° de la tarre	1	2	3	4	5	6
Masse de la tarre	1.46	1.88	2.53	1.99	2.28	1.84
Masse (Sol Humide +tarre)	29.77	28.94	32.48	29.62	28.01	29.04
Masse (Sol Sec +tarre)	20.93	20.43	23.54	21.34	20.52	21.09
Masse l'eau	8.84	8.5	8.94	8.28	7.49	7.95
Masse du sol sec	19.47	18.56	21.01	19.35	18.24	19.25
Teneur en eau (%)	45.4	45.79	42.55	42.79	41.06	41.29
Moyenne (%)	45.6		42.67		41.17	

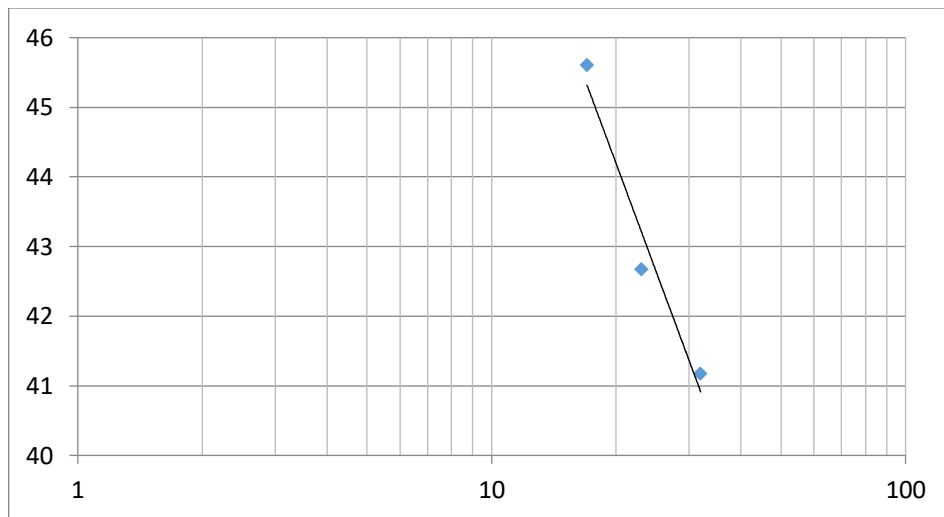


Figure IV.5: Courbe de la limite de liquidité.

Tableau IV.14: Valeurs trouvées de la limite de plasticité.

	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Masse de la tarre	1.35	1.77	2.04
Masse (Sol Humide +tarre)	3.29	3.31	3.72
Masse (Sol Sec +tarre)	2.84	2.96	3.34
Masse l'eau	0.45	0.35	0.38
Masse du sol sec	1.49	1.19	1.3
WP	30.2	29.41	29.23
Moyenne (%)	29.61		

CHAPITER IV : PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS D'ESSAI

Le tableau ci-dessous présente la récapitulation des résultats des essais des limites d'Atterberg. Formulaire du calcul : $I_p = \omega L - \omega p$

Limite de liquidité	42.8
Limite de plasticité	29.61
Indice de plasticité (Ip)	13.19

CONCLUSION : À partir des résultats trouvés à partir de l'essai et le diagramme de Casagrande (Philipponnat et Hubert.1997), on remarque que notre sol « vase » se classe parmi les sols « **Limon et sol organique peu plastiques Op** ».

IV.7.5 Matériau +15% SABLE CONCASSE :

Tableau IV.15: Limite de liquidité.

Essai	Essai 1		Essai 2		Essai 3	
Nbre de coups	19		23		32	
N° de la tarre	1	2	3	4	5	6
Masse de la tarre	5.57	5.6	5.57	5.43	5.55	5.58
Masse (Sol Humide +tarre)	30.08	29.4	27.66	28.29	34.72	31.54
Masse (Sol Sec +tarre)	22.43	22	21.24	21.78	26.41	24.03
Masse l'eau	7.65	7.4	6.42	6.71	8.31	7.81
Masse du sol sec	16.86	16.4	15.67	16.35	20.86	18.45
Teneur en eau (%)	45.37	45.12	40.97	41.02	39.83	40.7
Moyenne (%)	45.24		40.99		40.26	

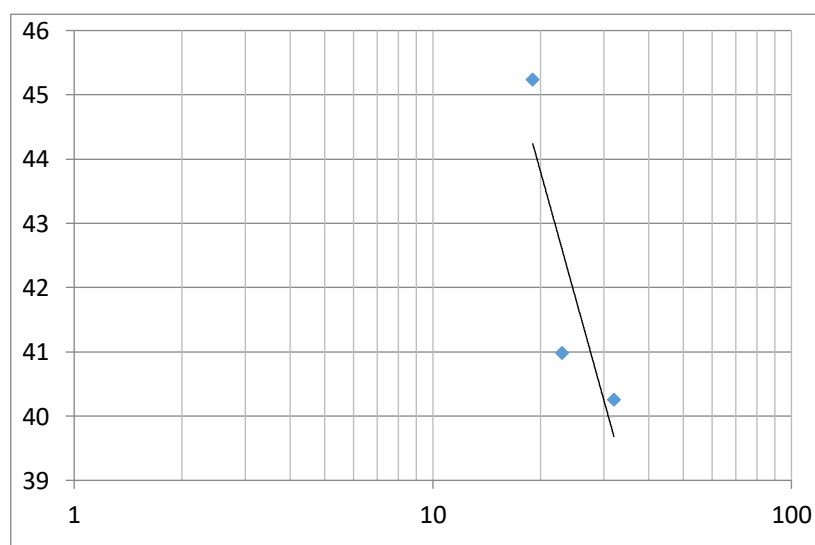


Figure IV.6: Courbe de la limite de liquidité.

Tableau IV.16: Valeurs trouvées de la limite de plasticité.

	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Masse de la tarre	1.83	2.09	2.12
Masse (Sol Humide +tarre)	3.67	3.88	4.09
Masse (Sol Sec+tarre)	3.25	3.47	3.64
Masse l'eau	0.42	0.41	0.45
Masse du sol sec	1.42	1.38	1.52
WP	29.57	29.71	29.6
Moyenne (%)	29.63		

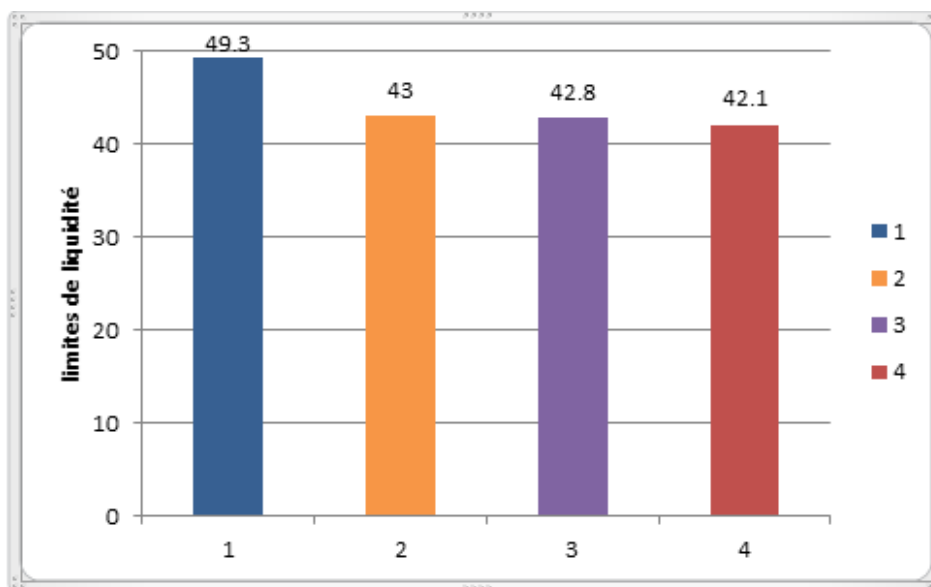
Le tableau ci-dessous présente la récapitulation des résultats des essais des limites d'Atterberg.

Formulaire du calcule : $I_p = \omega L - \omega p$

Limite de liquidité	42.1
Limite de plasticité	29.63
Indice de plasticité (Ip)	12.47

CONCLUSION : À partir les résultats trouvés à partir de l'essai et le diagramme de Casagrande (Philipponnat et Hubert.1997), on remarque que notre sol « vase » se classe parmi les sols « **Limon et sol organique peu plastiques Op** ».

IV.7.6 Evolution des limites de liquidite des differents melanges :

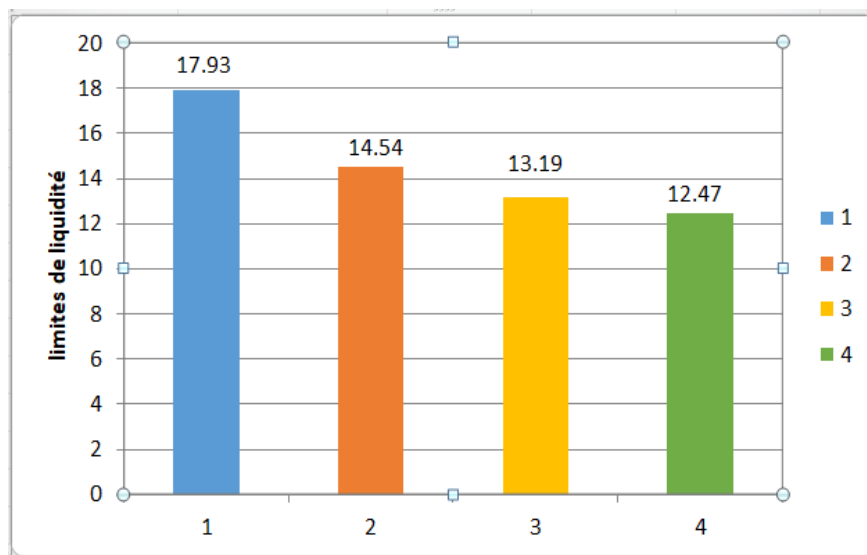


1- vase seule / 2- La vase + 5% sable de concasse / 3- La vase + 10% sable de concasse
 4- La vase + 15% sable de concasse

COMMENTAIRE :

La figure montre clairement que la limite de liquidité de la vase seul très élevé par rapport au d'autre mélange passe de 49.3 à 42.1 et cela est dû à la nature du matériau (vase).

IV.7.7 Evolution de l'indice de plasticite des differents melanges :



1- vase seule / 2- La vase + 5% sable de concasse / 3- La vase + 10% sable de concasse
4- La vase + 15% sable de concasse

COMMENTAIRE :

La figure montre clairement que l'indice de plasticité de la vase seul très élevé par rapport au d'autre mélange passe de 17.93 à 12.47 et ça due a la nature de matériau (vase).

IV.8 ESSAIS MECANQUES :

IV.8.1 ESSAI PROCTOR SELON LA NORME NF 94-093 :

La présente norme déterminé les caractéristiques de compactage d'un sol qui sont la teneur en eau optimale (W_{opt} en %) et la masse volumique sèche maximale (ρ_d max). Le principe de l'essai Proctor consiste à humidifier un matériau a plusieurs teneurs en eau et à le compacter avec une dame normalisée, pour chacune des teneurs en eau, selon un procédé et une énergie conventionnelle. Pour chacune des valeurs de teneur en eau considérée, on déterminé la masse volumique sèche du matériau et on trace la courbe de variation de cette masse volumique en fonction de la teneur en eau

Le tableau IV-17 résume les caractéristiques des essais du Proctor normale effectués sur le sol étudié.

IV.8.1.1 VASE SEULE :

Tableau IV.17: les résultats de l'essai Proctor normale.

Teneur en eau approximative (%)	14%		18%		20%		22%		24%	
Masse du moule (g)	1716.1		1716.1		1716.1		1716.1		1716.1	
Volume du moule (cm ³)	928.6		928.6		928.6		928.6		928.6	
Masse du sol humide avec moule (g)	3326.10		3488.40		3560.20		3556.20		3530.10	
Masse du sol humide (g)	1610.00		1772.30		1844.10		1840.10		1814.00	
Masse volumique humide (g/cm ³)	1.73		1.91		1.99		1.98		1.95	
Masse sol humide + tare (g)	39.60	44.00	50.40	48.10	64.70	47.70	51.80	50.90	59.50	61.20
Masse sol sec + tare (g)	35.70	39.40	43.10	41.93	53.70	40.50	43.10	42.50	48.50	50.10
Masse de la tare (g)	10.10	10.00	10.20	10.20	10.10	10.00	10.20	10.10	10.10	10.20
Teneur en eau W (%)	15.23	15.65	22.19	19.45	25.22	23.61	26.44	25.93	28.65	27.82
Teneur en eau W (%)	15.44		20.82		24.41		26.18		28.23	
Masse volumique sèche (g/cm³) ; $\rho_d = \rho_h / (1+W)$	1.50		1.58		1.60		1.57		1.52	

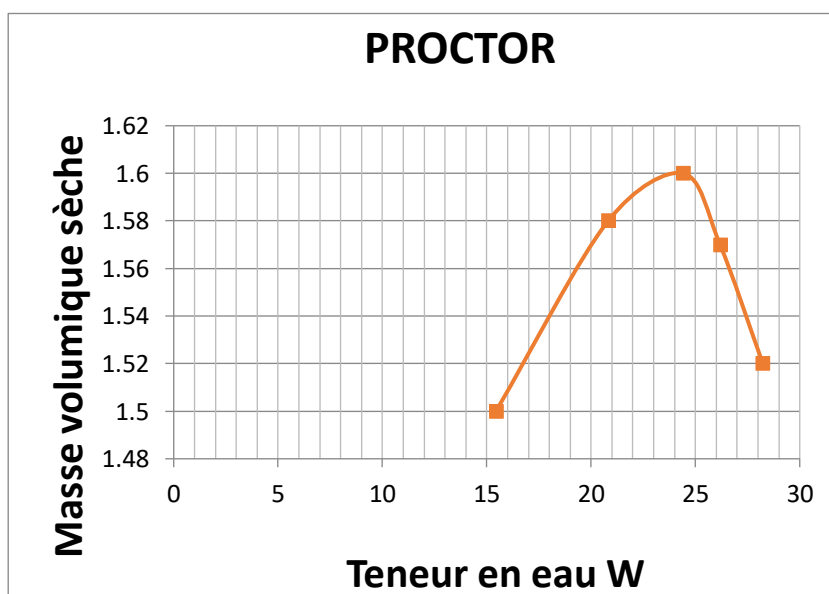


Figure IV.7: La courbe de l'essai Proctor normale.

IV.8.1.2 MATERIAU +5% SABLE CONCASSE :

Tableau IV.18: Les résultats de l'essai Proctor normale Sabel concasse 5%.

Teneur en eau approximative (%)	14%		18%		20%		22%		24%	
Masse du moule (g)	1716.1		1716.1		1716.1		1716.7		1716.1	
Volume du moule (cm ³)	928.6		928.6		928.6		928.6		928.6	
Masse du sol humide avec moule (g)	3424.40		3581.70		3617.10		3541.50		3507.40	
Masse du sol humide (g)	1708.30		1865.60		1901.00		1824.80		1791.30	
Masse volumique humide (g/cm ³)	1.84		2.01		2.05		1.97		1.93	
Masse sol humide + tare (g)	43.00	47.00	51.90	57.01	68.10	61.60	61.20	62.60	64.20	65.20
Masse sol sec + tare (g)	38.10	41.70	44.97	48.28	57.20	52.42	50.80	52.20	52.50	53.20
Masse de la tare (g)	10.20	10.10	10.20	10.20	10.10	10.00	10.20	10.10	10.10	10.20
Teneur en eau W (%)	17.56	16.77	19.93	22.81	23.14	21.64	25.62	24.70	27.59	27.91
Teneur en eau W (%)	17.17		21.37		22.39		25.16		27.75	
Masse volumique sèche (g/cm³) ; $\rho_d = \rho_h / (1 + W)$	1.57		1.66		1.67		1.57		1.51	

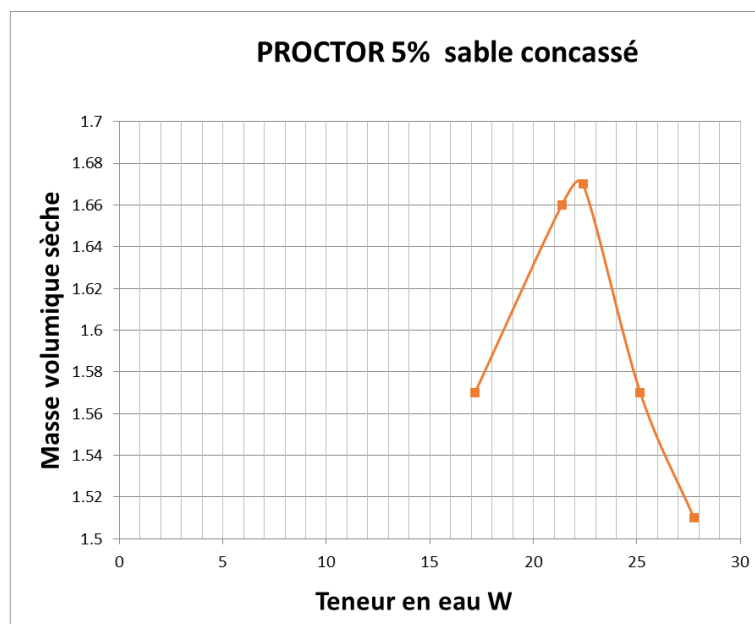


Figure IV.8: La courbe de l'essai Proctor normale Sabel concasse 5%.

CHAPITER IV : PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS D'ESSAI

IV.8.1.3 MATERIAU +10% SABLE CONCASSE :

Tableau IV.19: Les résultats de l'essai Proctor normale Sabel concasse 10%.

Teneur en eau approximative (%)	14%		18%		20%		22%		24%	
Masse du moule (g)	1716.1									
Volume du moule (cm ³)	928.6									
Masse du sol humide avec moule (g)	3372.30									
Masse du sol humide (g)	1656.20		1827.30		1869.40		1853.80		1809.60	
Masse volumique humide (g/cm ³)	1.78		1.97		2.01		2.00		1.95	
Masse sol humide + tare (g)	41.80	39.70	48.60	44.60	61.30	57.10	62.10	67.60	74.90	68.10
Masse sol sec + tare (g)	37.10	35.60	42.70	39.10	52.79	49.00	52.30	56.00	61.40	55.70
Masse de la tare (g)	10.10	10.20	10.20	10.00	10.10	10.10	10.20	10.20	10.20	10.20
Teneur en eau W (%)	17.41	16.14	18.15	18.90	19.62	19.93	23.28	25.33	26.37	27.25
Teneur en eau W (%)	16.77		18.53		19.78		24.30		26.81	
Masse volumique sèche (g/cm³) ; $\rho_d = \rho_h / (1+W)$	1.53		1.66		1.68		1.61		1.54	

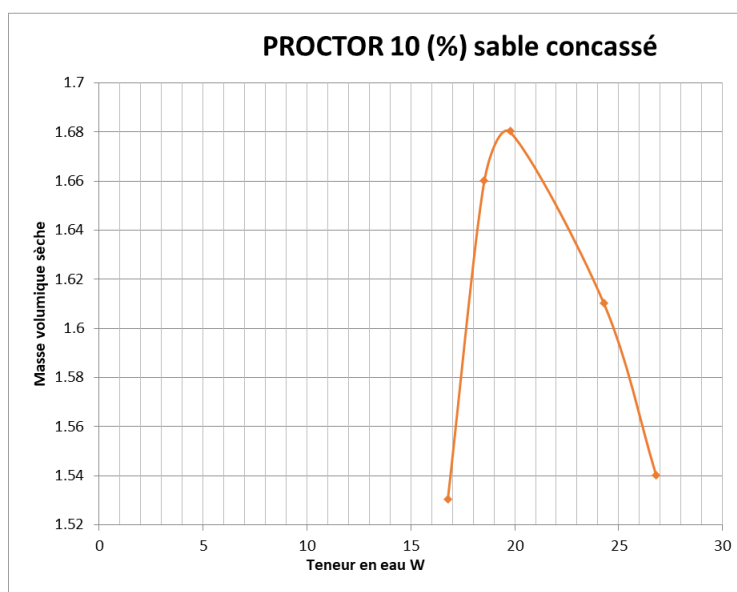


Figure IV.9: La courbe de l'essai Proctor normale Sabel concasse 10%.

CHAPITER IV : PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS D'ESSAI

IV.8.1.4 MATERIAU +15% SABLE CONCASSE :

Tableau IV.20: les résultats de l'essai Proctor normale Sabel concasse 15%.

Teneur en eau approximative (%)	14%		16%		18%		20%		22%	
Masse du moule (g)	1716.1		1716.1		1716.1		1716.1		1716.1	
Volume du moule (cm ³)	928.6		928.6		928.6		928.6		928.6	
Masse du sol humide avec moule (g)	3448.50		3555.10		3608.20		3604.40		3549.50	
Masse du sol humide (g)	1732.40		1839.00		1892.10		1888.30		1833.40	
Masse volumique humide (g/cm ³)	1.87		1.98		2.04		2.03		1.97	
Masse sol humide + tare (g)	45.20	39.80	47.50	49.40	48.60	53.80	48.00	52.60	68.50	67.80
Masse sol sec + tare (g)	40.50	36.10	41.90	43.20	42.33	46.49	41.40	44.60	56.60	56.10
Masse de la tare (g)	10.10	10.10	10.20	10.10	10.10	10.00	10.20	10.20	10.20	10.20
Teneur en eau W (%)	15.46	14.23	17.67	18.73	19.56	19.45	21.15	23.26	25.65	25.49
Teneur en eau W (%)	14.85		18.20		19.51		22.20		25.57	
Masse volumique sèche (g/cm ³) ; $\rho_d = \rho_h / (1+W)$	1.62		1.68		1.70		1.66		1.57	

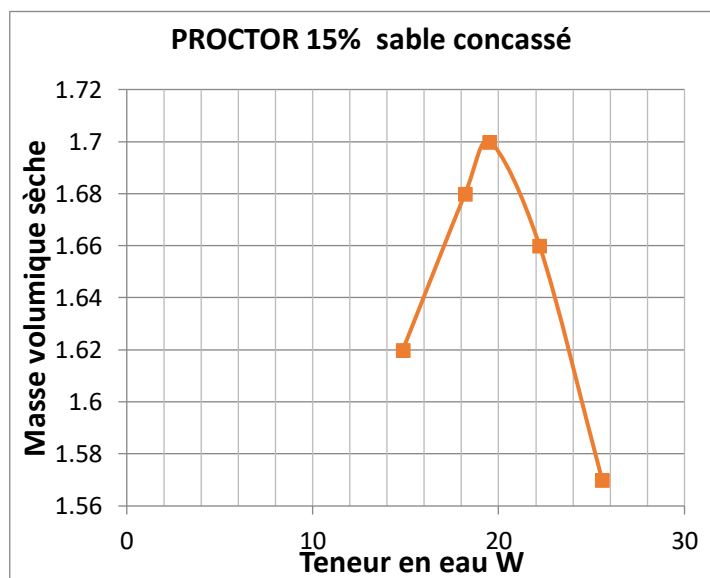
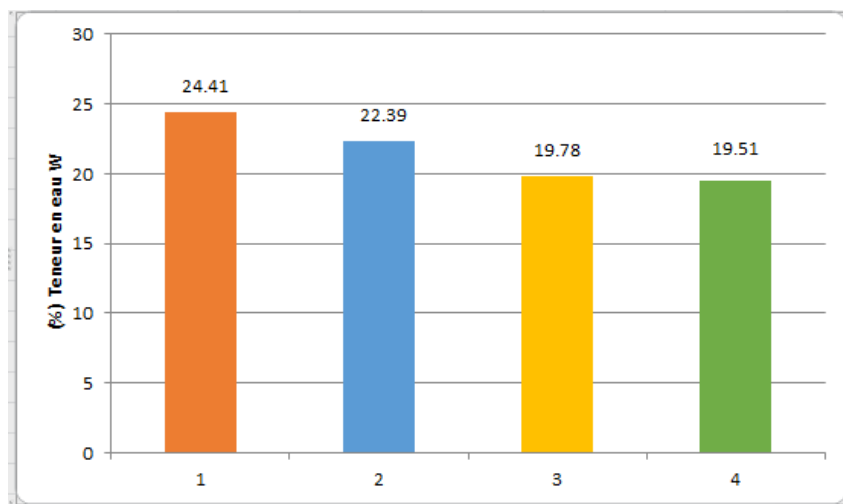


Figure IV.10: La courbe de l'essai Proctor normale Sabel concasse 15%.

IV.8.1.5 Evolution de proctor normal des differents mélanges



1-vase seule

2- La vase + 5% sable de concasse

3- La vase + 10% sable de concasse

4- La vase + 15% sable de concasse

COMMENTAIRE :

La figure montre clairement que la proctor normal de la vase seul très élevé par rapport au d'autre mélange passe de 24.41 à 19.51 et cela est du à la nature de matériau (vase).

Et la masse volumique sèche « optimale » est passée de 1.6 pour la vase seule à 1.67 puis 1.68 pour atteindre 1.7 pour 15% d'ajout de sable concassé. L'augmentation est faible mais doit être signalée, ceci étant pour un faible compactage.

IV.8.2 ESSAI PROCTOR MODIFIE :

IV.8.2.1 VASE SEULE :

Tableau IV.21: Résultats de l'essai Proctor modifie.

Teneur en eau approximative (%)	14%	16%	18%	20%	22%
Masse du moule (g)	1825.5	1825.5	1825.5	1825.5	1825.5
Volume du moule (cm ³)	928.6	928.6	928.6	928.6	928.6
Masse du sol humide avec moule (g)	3716.20	3730.10	3737.40	3688.40	3664.10
Masse du sol humide (g)	1890.70	1904.60	1911.90	1862.90	1838.60
Masse volumique humide (g/cm ³)	2.04	2.05	2.06	2.01	1.98

CHAPITER IV : PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS D'ESSAI

Masse sol humide + tare (g)	61.50	56.90	47.40	48.70	59.40	58.70	61.00	57.80	62.30	61.10
Masse sol sec + tare (g)	52.70	50.90	40.15	42.35	50.97	52.33	53.10	50.10	53.60	52.10
Masse de la tare (g)	18.30	18.30	10.20	10.40	18.10	18.10	18.10	17.60	17.20	17.30
Teneur en eau W (%)	25.58	18.40	24.21	19.87	25.65	18.61	22.57	23.69	23.90	25.86
Teneur en eau W (%)	21.99		22.04		22.13		23.13		24.88	
Masse volumique sèche (g/cm ³) ; $\rho_d = \rho_h / (1+W)$	1.67		1.68		1.69		1.63		1.59	

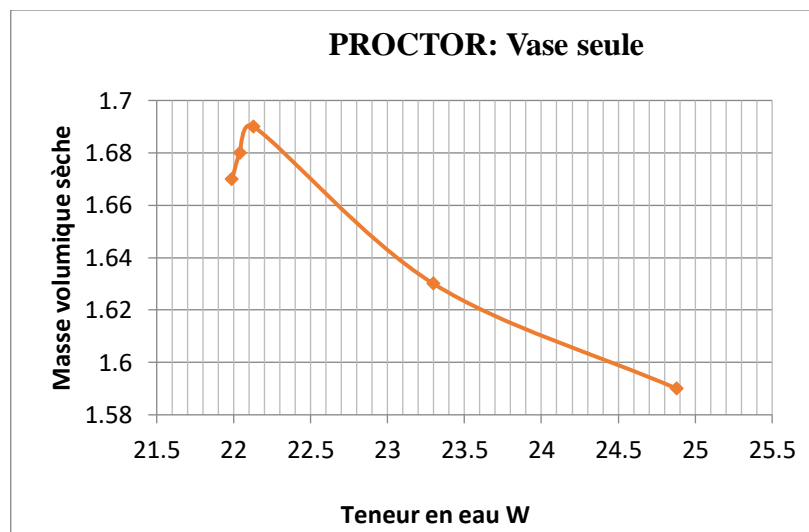


Figure IV.11: La courbe de l'essai Proctor modifié.

CHAPITER IV : PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS D'ESSAI

IV.8.2.2 MATERIAU +5% SABLE CONCASSE :

Tableau IV.22: Résultats de l'essai Proctor modifie sable concasse 5 %.

Teneur en eau approximative (%)	14%		16%		18%		20%		22%	
Masse du moule (g)	1825.5		1825.5		1825.5		1825.5		1825.5	
Volume du moule (cm ³)	928.6		928.6		928.6		928.6		928.6	
Masse du sol humide avec moule (g)	3724.30		3762.50		3798.70		3691.70		3656.60	
Masse du sol humide (g)	1898.80		1937.00		1973.20		1866.20		1831.10	
Masse volumique humide (g/cm ³)	2.04		2.09		2.12		2.01		1.97	
Masse sol humide + tare (g)	59.00	61.10	42.20	41.70	38.70	41.40	47.20	41.30	41.10	40.20
Masse sol sec + tare (g)	53.48	53.42	37.70	36.10	34.10	36.10	40.20	35.60	34.70	33.80
Masse de la tare (g)	18.30	18.30	10.10	10.10	10.10	10.10	10.10	10.00	10.20	10.10
Teneur en eau W (%)	15.69	21.87	16.30	21.54	19.17	20.38	23.26	22.27	26.12	27.00
Teneur en eau W (%)	18.78		18.92		19.78		22.76		26.56	
Masse volumique sèche (g/cm³) ; $\rho_d = \rho_h / (1+W)$	1.72		1.75		1.77		1.64		1.56	

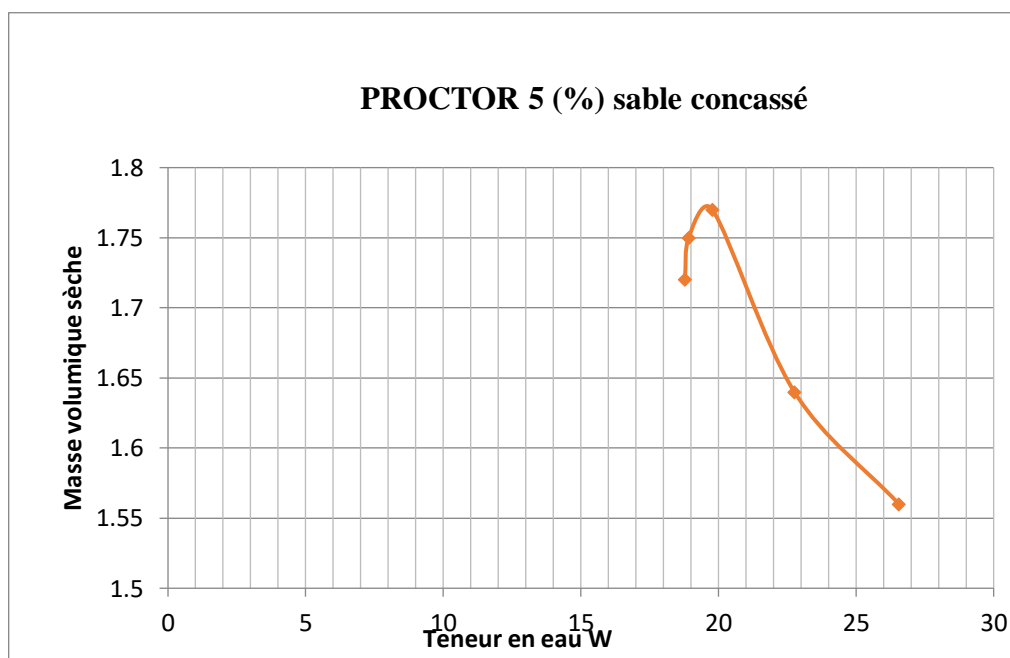


Figure IV.12: La courbe de l'essai Proctor modifie sable concasse 5 %.

IV.8.2.3 MATERIAU +10% SABLE CONCASSE :

Tableau IV.23 : Résultats de l'essai Proctor modifie sable concasse 10 %.

Teneur en eau approximative (%)	10%		14%		18%	
Masse du moule (g)	1825.5		1825.5		1825.5	
Volume du moule (cm ³)	928.6		928.6		928.6	
Masse du sol humide avec moule (g)	3642.50		3781.50		3765.40	
Masse du sol humide (g)	1817.00		1956.00		1939.90	
Masse volumique humide (g/cm ³)	1.96		2.11		2.09	
Masse sol humide + tare (g)	38.00	37.10	39.50	38.90	44.00	42.80
Masse sol sec + tare (g)	35.22	34.70	34.80	34.90	37.70	36.60
Masse de la tare (g)	10.20	10.10	10.10	10.00	10.10	18.10
Teneur en eau W (%)	11.11	9.76	19.03	16.06	22.83	33.51
Teneur en eau W (%)	10.43		17.55		28.17	
Masse volumique sèche (g/cm³) ; $\rho_d = \rho_h / (1+W)$	1.77		1.79		1.63	

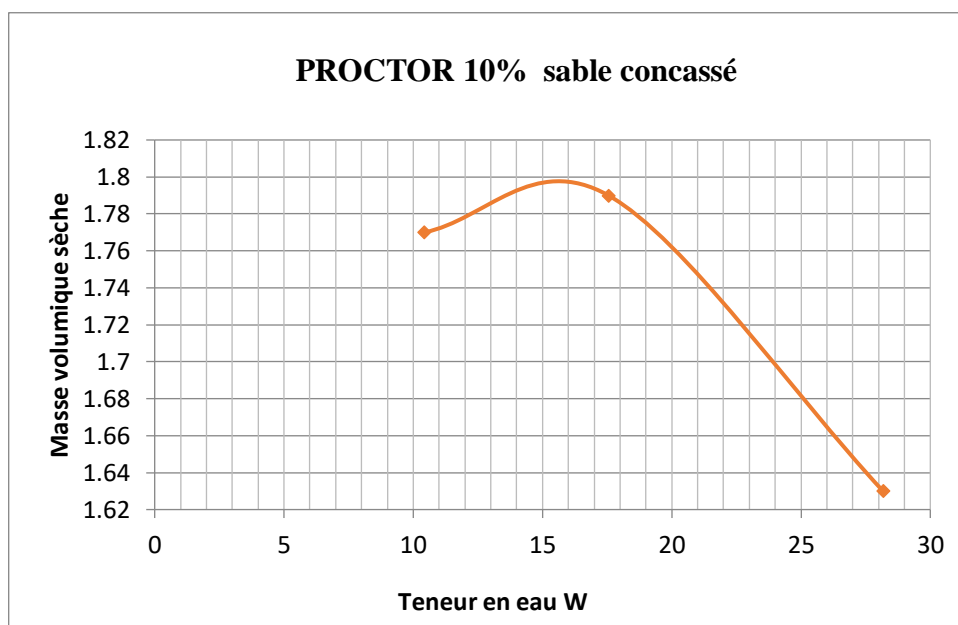


Figure IV.13: La courbe de l'essai Proctor modifie sable concasse 10 %.

IV.8.2.4 MATERIAU +15% SABLE CONCASSE :

Tableau IV.23: Résultats de l'essai Proctor modifie sable concasse 15%.

Teneur en eau approximative (%)	10%		14%		18%	
Masse du moule (g)	1825.5		1825.5		1825.5	
Volume du moule (cm ³)	928.6		928.6		928.6	
Masse du sol humide avec moule (g)	3689.10		3766.60		3729.80	
Masse du sol humide (g)	1863.60		1941.10		1904.30	
Masse volumique humide (g/cm ³)	2.01		2.09		2.05	
Masse sol humide + tare (g)	65.40	64.20	55.90	55.00	56.90	57.20
Masse sol sec + tare (g)	59.00	58.20	50.20	49.70	50.30	50.10
Masse de la tare (g)	18.10	18.10	17.30	18.10	17.60	17.20
Teneur en eau W (%)	15.65	14.96	17.33	16.77	20.18	21.58
Teneur en eau W (%)	15.31		17.05		20.88	
Masse volumique sèche (g/cm³) ; $\rho_d = \rho_h / (1+W)$	1.74		1.79		1.70	

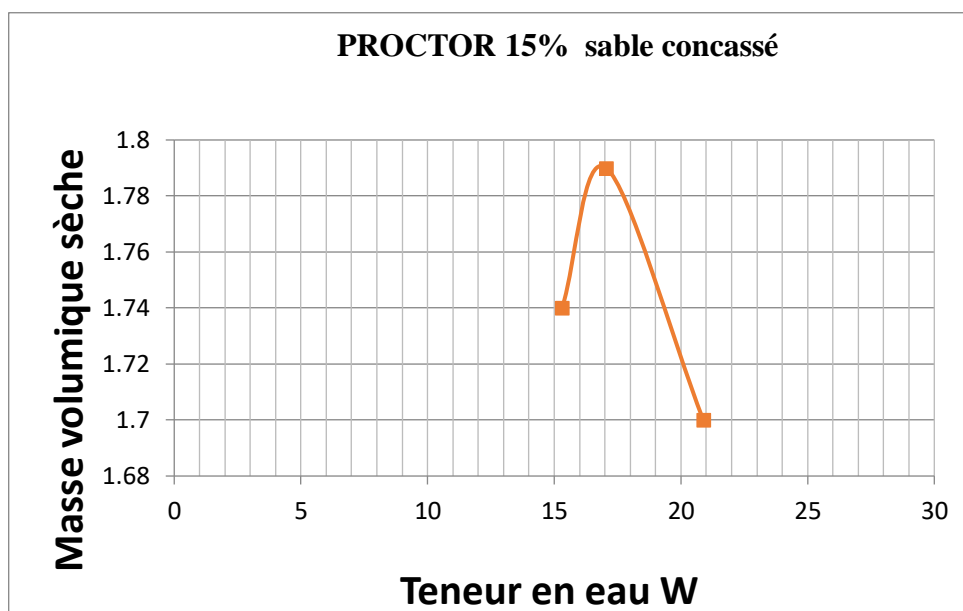
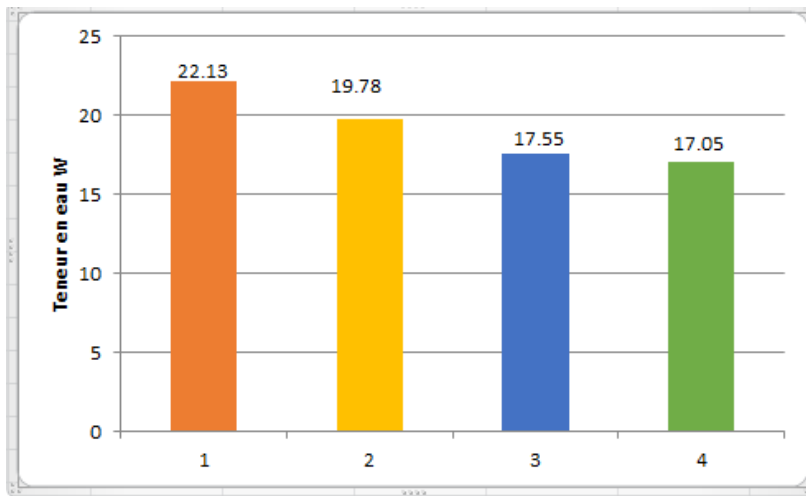


Figure IV.14: La courbe de l'essai Proctor modifie sable concasse 15 %.

IV.8.2.5 ÉVOLUTION DE PROCTOR MODIFIE DES DIFFERENTS MELANGES :



1-vase seule

2-vase+5%sablede concasse

3- La vase + 10% sable de concasse

4- La vase + 15% sable de concasse

COMMENTAIRE :

La figure montre clairement que la proctor modifié de la vase seul très élevé par rapport au d'autre mélange passe de 22.13 à 17.05 et ca due a la nature de matériau (vase) argileux

IV.8.3. L'ESSAI DE CISAILLEMENT :

IV.8.3.1 Echantillon faiblement compacte :

IV.8.3.1.1 Vase seule :

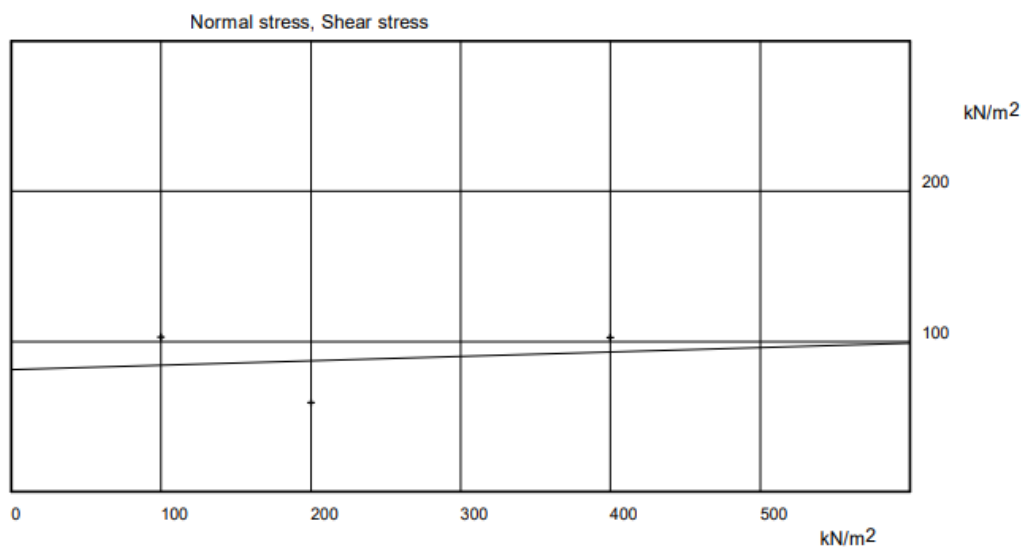


Figure IV.15: Droite intrinsèque (Vase seule).

Cohesion= 81.39 kN/m²

Angle of shear resistance= 1.68 deg

IV.8.3.1.2 VASE +5 % SABLE CONCASSE

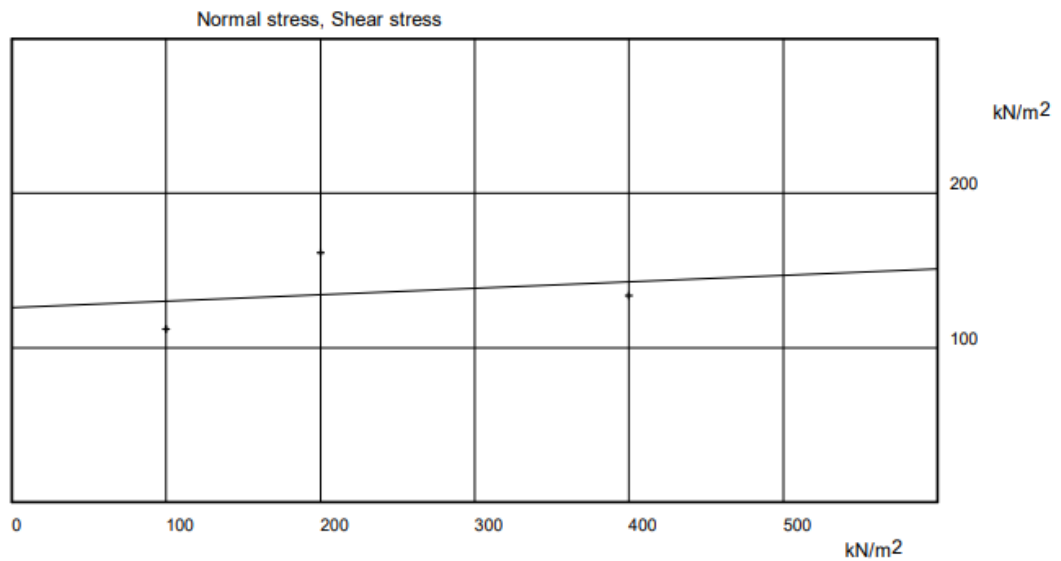


Figure IV.16: Droite intrinsèque (Vase +5% sable concasse).

Cohesion= 125.83 kN/m²

Angle of shear resistance= 2.41 deg

IV.8.3.1.3 VASE +10 % SABLE CONCASSE :

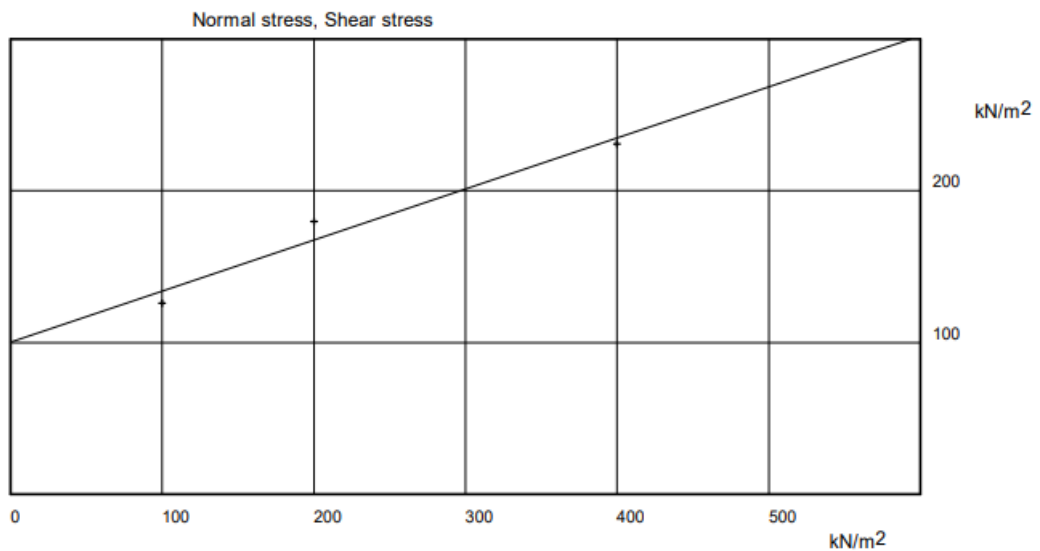


Figure IV.17: Droite intrinsèque (Vase +10% sable concasse).

Cohesion= 100.28 kN/m²

Angle of shear resistance= 18.60 deg

IV.8.3.1.4 VASE +15 % SABLE CONCASSE :

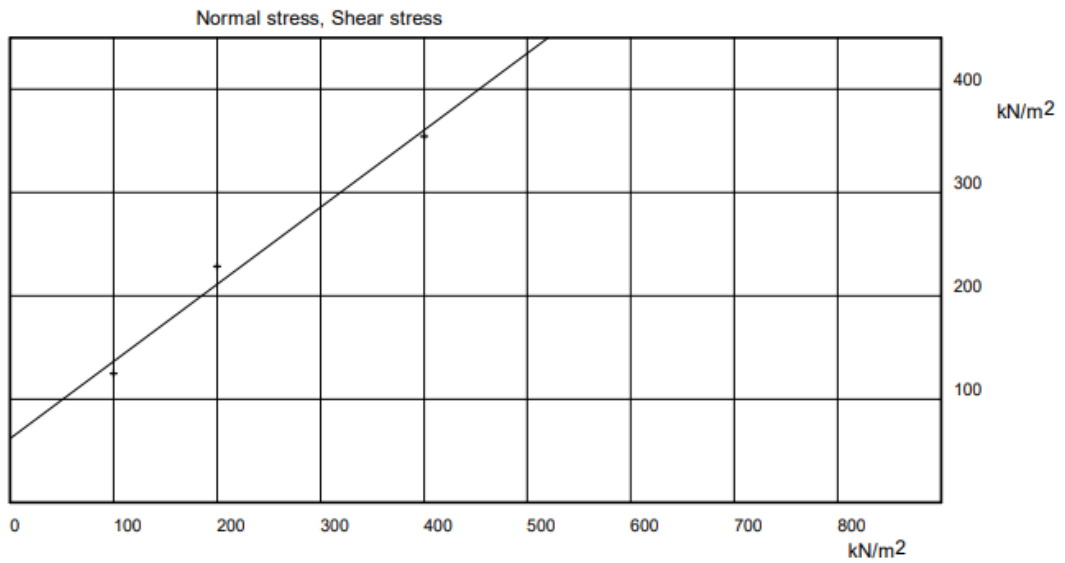


Figure IV.18: Droite intrinsèque (Vase +15% sable concasse).

Cohesion= 61.81 kN/m²

Angle of shear resistance= 36.75 deg

IV.8.3.2 ECHANTILLONS FORTEMENT COMPACTES

IV.8.3.2.1 VASE SEULE :

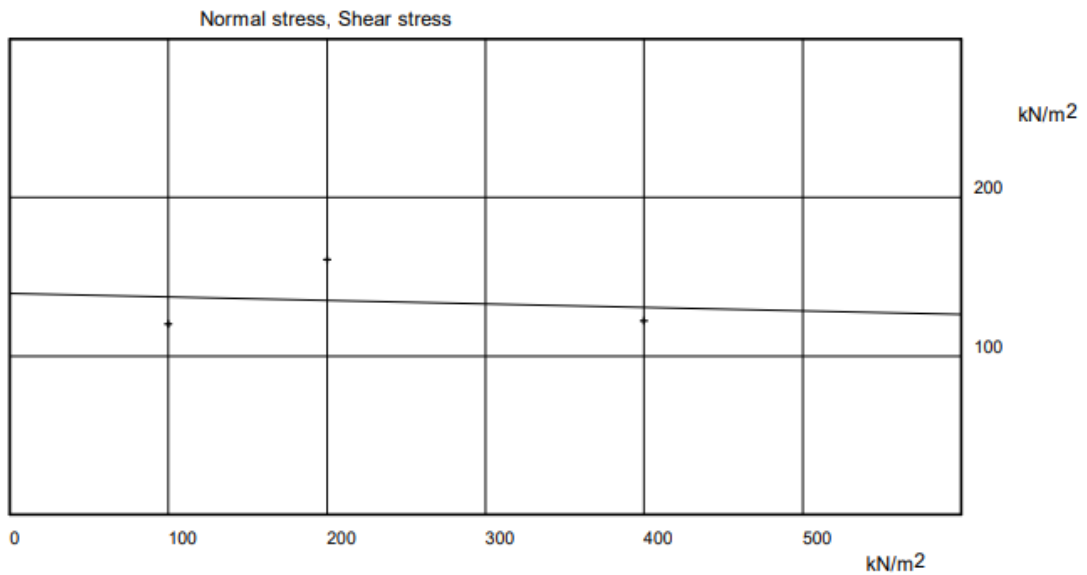


Figure IV.19: Droite intrinsèque (Vase seule).

Cohesion= 139.58 kN/m²

Angle of shear resistance= -1.26 deg

IV.8.3.2.2 VASE +5 % SABLE CONCASSE :

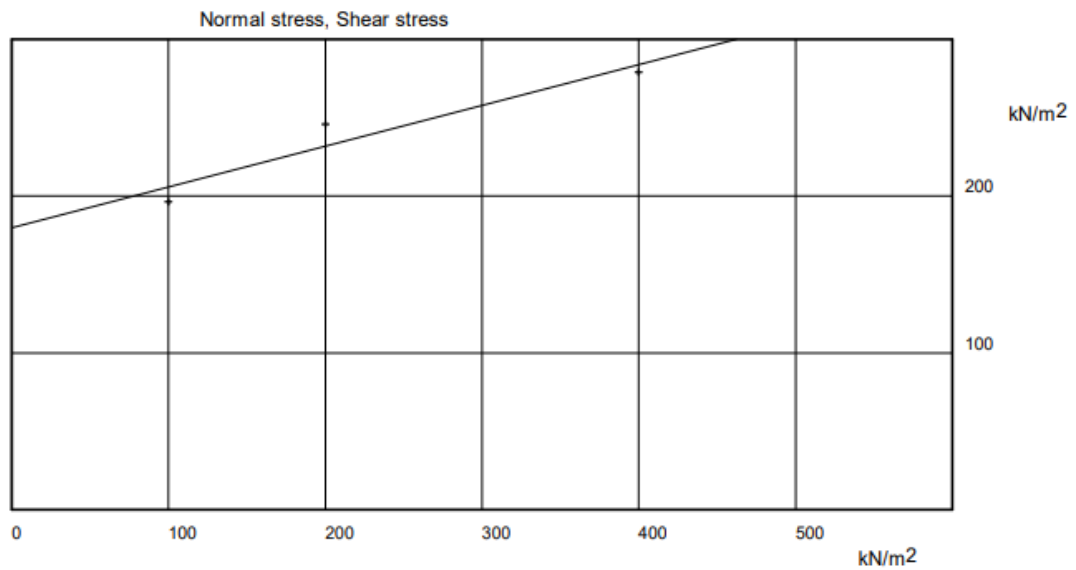


Figure IV.20: Droite intrinsèque (Vase +5% sable concasse).

Cohesion= 179.72 kN/m²

Angle of shear resistance= 14.59 deg

IV.8.3.2.3 VASE +10 % SABLE CONCASSE :

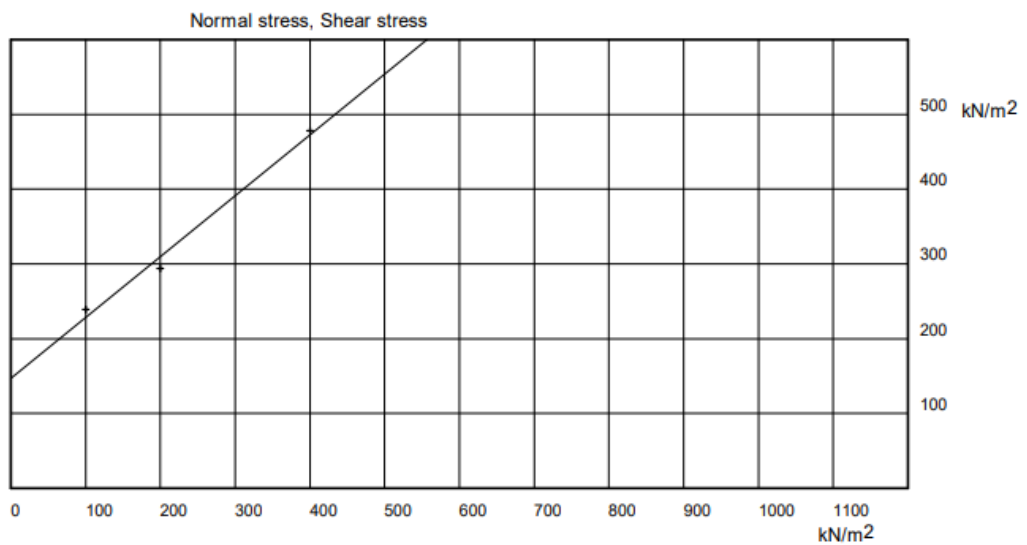


Figure IV.21: Droite intrinsèque (Vase +10% sable concasse).

Cohesion= 147.08 kN/m²

Angle of shear resistance= 39.13 deg

IV.8.3.2.4 VASE +15 % SABLE CONCASSE :

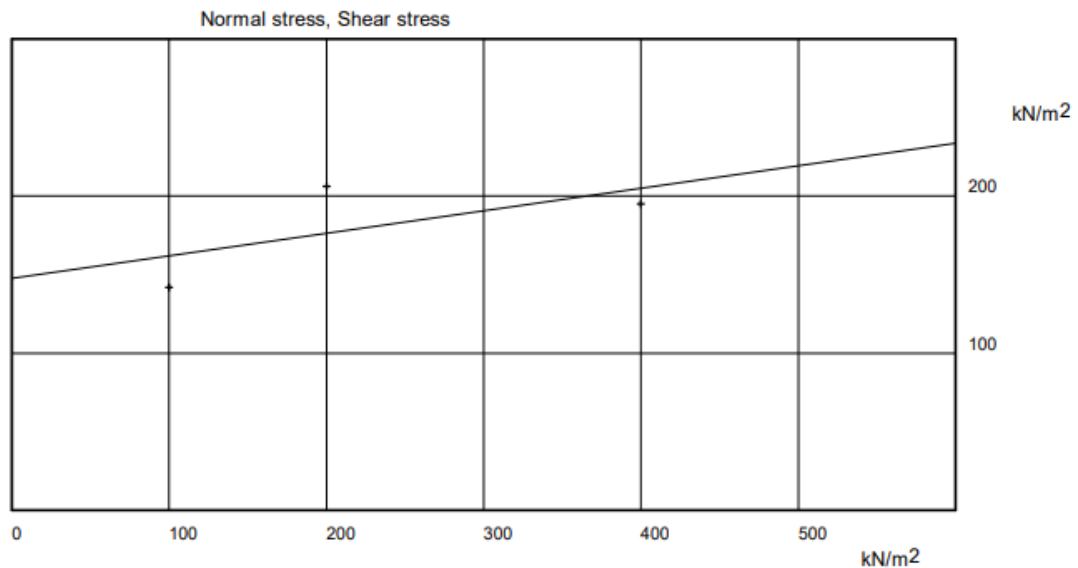


Figure IV.22: Droite intrinsèque (Vase +15% sable concassé).

Cohesion= 147.50 kN/m²

Angle of shear resistance= 8.17 deg

IV.10 CONCLUSION

En techniques routières la nature des sédiments et la quantité d'argile contenue dans un matériau sont les principaux paramètres qui interviennent dans le choix du traitement. La caractérisation de notre sol selon le GTR (LCPC and SETRA 2000a) montre que les sédiments sont de types A2. Cette catégorie regroupe les sols limoneux-argileux peu plastiques. Cette classification montre qu'il est possible d'utiliser ce matériau en structure de route ou remblais. Toutefois, la détermination des conditions de mise en œuvre est nécessaire. A partir de l'essai Proctor normal et modifié, nous avons déterminé les teneurs en eau et densités correspondantes de chaque formulation. Les indices de portance immédiats (IPI) et la cohésion C sont obtenus à partir de l'essai de cisaillement direct à la boîte de Casagrande.

CONCLUSION GENERAL

CONCLUSION GENERALE

Le Barrage K'Sob est situé 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, entre les monts de Kef El Ouerad et Djebel El Gruon. Le barrage a été construit sur l'oued K'Sob entre les années 1934 et 1940, pour l'utiliser dans l'irrigation du périmètre agricole de la Commune de M'Sila.

La capacité initiale du barrage est de 12Hm³, elle se trouve réduite à 3Hm³ en 1970 à cause de l'envasement progressif de la retenue. La réduction de sa capacité de stockage 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 transformation des vases et leur utilisation sont des questions peu développées et restent à l'ordre du jour pour de nouvelles réglementations en adéquation avec les notions de protection de l'environnement et le développement durable.

Les travaux de recherche entrepris dans ce mémoire s'inscrivent dans le cadre de caractérisation physiques et mécaniques des sédiments, en particulier les sédiments du barrage de k'sob qui représentent un problème économique et environnemental majeur.

Dans cette étude expérimentale nous avons mené une série d'analyses physiques et mécaniques sur des échantillons de sédiments prélevés de la retenue du barrage de k'sob (wilaya de M'sila) au niveau des laboratoires de Génie-Civil à l'université Mohamed-Boudiaf à M'sila. Nous montrons dans cette étude les caractéristiques optimales de densification et de portance du matériau ainsi que leurs classes de résistances mécaniques.

On peut admettre que les différents essais géotechniques réalisés sur les sédiments dragues ont montré que l'ajout d'un matériau granulaire a amélioré la distribution granulométrique ainsi qu'une réduction de la densité sèche (γ_{dopt}).

Enfin, il doit avoir des études qui permettent de définir un matériau de traitement économiquement compétitif et facile à utiliser dans le but d'améliorer les caractéristiques mécanique de la vase draguée.

Références Bibliographiques

REFERENCE :

- [1] Dr. Ahmed seddiki :not de cour barrage en terre (2019).
- [2] PDF Divers types de barrages.
- [3] Bouchedja Abd. - Directeur Général ABHCSM. La politique nationale de l'eau en Algérie. Euro-RIOB 2012:10ème Conférence Internationale 17 au 19 Octobre 2012 Turquie – Istanbul. Thèse de doctorat université m'sila
- [4] Hasbaia M, Hedjazi A, Benayada L. Variabilité de l'érosion hydrique dans le bassin du Hodna : cas du sous bassin versant du l'oued El Ham. Mar Sci Agron Vét 2012; 1:28-32.
- [5] [Agence de l'eau de France 2002], [Chapitre1/Formation des sols GGC 112 C].
- [6] [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
- [7] [SIDI ADDA MUSTAPHA 2005], Modélisation de l'envasement des retenues de barrages, Mémoire de magister a USTO ORAN.
- [8] [SANCHEZ Angulo, M, 2000], Dynamique des sédiments fins en milieu Marin et agitation portuaire. Mémoire d'Habilitation à Dirigé des Recherches par Martin de l'université de Caen_ BASSE NORMANDIE
- [9] [SEMCHA Abdelaziz., 2006] Valorisation des sédiments de dragage : applications dans le BTP, cas du barrage de FERGOUG .Thèse de doctorat de l'université de Reims Champagne-Ardenne. Discipline : génie civil
- [10] Remini, B., Leduc, C., & Hallouche, W. (2009). Evolution des grands barrages en régions arides : quelques exemples algériens. Revue Sécheresse, 20(1), 1-8.
- [11] Seklaoui-Oukid Ouiza. (2016). Valorisation Des Sediments Du Barrage D'el Merdja Sidi Abed : Etude Technico-Economique. Thèse de Docteur-Ingénieur, Universite Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou, Algérie.
- [12] Benaissa Assia. (2017). Valorisation de la vase pour l'utilisation dans la technique routière. Thèse de Docteur-Ingénieur, Université Djillali Liabes Sidi Bel Abbes, Algerie.