



**Ministère de l'enseignement supérieur
Et de la recherche scientifique**

**Université Mohamed Boudiaf de M'sila
Faculté de Technologie
Département de Génie Civil**



MEMOIRE

**Présenté pour l'obtention d'un diplôme de
MASTER**

FILIERE : GENIE CIVIL

Option : Géotechnique

THEME

**Traitement des sédiments de dragage du barrage
K'sob en vue de leur valorisation en techniques
routières**

Par : DEHOUM Makhoulf et MAZOUZ Anis

Soutenu devant le jury composé de :

Pr. TITOU MESSAOUD

Président

Dr. BAKIR NASSIMA

Examineur

Mr. LAHMADI AZZEDDINE

Encadreur

Année universitaire : 2019/2020

REMECIMENTS

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 saurai 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

Mr. LAHMADI Azzeddine

- DEHOUM Makhoulf -

REMECIMENTS

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 Mr. LAHMADI Azzeddine, pour ces 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 de département du génie civil de M'sila.

- MAZOUZ Anis -

Résumé

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

Une première partie : synthèse bibliographique sur les barrages et le problème d'envasement, la valorisation et l'utilisation des sédiments de dragages dans le domaine des travaux routiers.

La deuxième partie : partie expérimentale a pour but la caractérisation et le traitement basant sur l'emploi de plusieurs méthodes, pour étudier l'aptitude au traitement des sédiments de dragages du barrage K'sob, afin de les exploités dans les techniques routières soit comme un remblai ou une couche de forme.

Mots clés :

Traitement ; Sédiments de dragage ; Barrage K'sob ; Valorisation ; Technique routière.

Abstract

The purpose of this study is to conduct experimental work on the identification and treatment of dredged sediment from the K'sob dam.

A first part: a bibliographical synthesis on dams and the siltation problem, the recovery and use of dredged sediments in the field of road works.

The second part : experimental part aims at characterization and treatment based on the use of several methods, to study the suitability for treatment of sediment dredging of the K'sob dam, to be used in road techniques either as an embankment or a form layer.

Keywords:

Treatment; Dredged sediments; K'sob dam; Valuation; Road techniq

ملخص

تهدف الدراسة الحالية إلى إجراء أعمال تجريبية لتحديد ومعالجة الرواسب المجروفة من سد قصب.

الجزء الأول: التوليف الببليوغرافي للسدود ومشكلة الترسيب واستعادة واستخدام الرواسب المجروفة في مجال أعمال الطرق.

القسم الثاني: الجزء التجريبي ويهدف إلى التوصيف والمعالجة بالاعتماد على استخدام عدة طرق، لدراسة مدى ملاءمة معالجة الرواسب المجروفة من سد قصب، لاستخدامها في تقنيات الطرق إما ردم أو طبقة سفلية.

الكلمات الدالة:

عاج؛ رواسب التجريف؛ سد قصب؛ تقييم؛ تقنية الطريق.

SOMMAIRE

Introduction Générale.....	17
Chapitre I : Problématique d'envasement des barrages	3
I.1- Introduction	3
I.2-Définition de la vase.....	4
I.3- Causes et origine de l'envasement	4
I.3.1- Le climat	5
I.3.2-Le sol	5
I.3.3- Les labours inadaptés.....	5
I.3.4- Les pentes	5
I.4- Les moyens de lutte contre l'envasement.....	6
I.4.1-La conservation des sols	6
I.4.2-Le reboisement.....	7
I.4.3- La réalisation des barrages de décantation à l'amont.....	7
I.4.4- La réalisation des barrages de chasses.....	7
I.4.5- La surélévation des digues	8
I.4.6-Extraction par siphonnement	8
I.4.7-Le dragage des barrages	9
I.4.7.1-Les types de dragages	9
I.4.7.2-Les Techniques De Dragage Disponibles	10
I.4.7.2.1-Les dragages mécaniques	10
I.4.7.2.2-Les dragages hydrauliques	10
I.4.7.2.3-Les dragages à l'américaine.....	11
I.5- Envasement des barrages algériens	11
I.6- Conclusion.....	14
Chapitre II : Les techniques de traitement	16
II.1- Introduction.....	16
II.2- Traitement par la correction de la courbe granulométrique	16
II.3- Traitement à la chaux et/ou aux liants hydrauliques.....	16
II.3.1- Traitement à la chaux	17
II.3.1.1- Fabrication de la chaux	17
II.3.1.2- Différents types de chaux.....	18
II.3.1.2.1-Chaux vive	18
II.3.1.2.2-Chaux éteinte.....	19
II.3.1.2.3- Chaux magnésienne	19
II.3.1.2.4- Chaux hydraulique	19

II.3.1.3- Action de la chaux	19
II.3.1.3.1- Actions immédiates	20
II.3.1.3.2- Actions à long terme (action pouzzolanique)	21
II.3.2-Traitement aux liants hydrauliques	22
II.3.2.1-Les ciments.....	22
II.3.2.2-Les liants hydrauliques routiers LHR.....	23
II.3.2.3- Action des liants hydrauliques	24
II.3.2.3.1- Actions immédiates	24
II.3.2.3.2- Actions à moyen et long terme	24
II.4- Conclusion	25
Chapitre III : La valorisation des sédiments de dragages	26
III.1- Introduction	26
III.2- Valorisation dans les techniques routières	26
III.2.1- Définition de la structure de chaussée	26
III.2.2-Les différentes couches d'une chaussée	27
III.3- Valorisation dans les matériaux de constructions	28
III.3.1-Valorisation dans le béton et mortier.....	28
III.3.2-Valorisation dans la fabrication du ciment	30
III.3.3-Valorisation dans la fabrication de briques	32
III.4- Valorisation dans le domaine agricole	33
III.5- Autres domaines de valorisation	33
III.5.1- Amendement des sols.....	33
III.5.2- Réhabilitation de sites naturels.....	34
III.6-Conclusion	34
Chapitre IV : Barrage K'sob.....	35
IV.1- Introduction	35
IV.2- Historique	35
IV.3- Le bassin versant	36
IV.3.1-Caractéristiques morpho métriques et physiques du Bassin versant.....	36
IV.3.1.1- Surface	36
IV.3.1.2- Périmètre	36
IV.3.1.3- Indice de compacité de Graveleuse	36
IV.3.1.4- Relief	37
IV.3.1.4.1- Courbe hypsométrique et diagramme de fréquence.....	37
IV.3.1.4.2-Indice de pente	38
IV.3.1.4.3- Indices de pente globale.....	39

IV.3.1.4.4- Pente moyenne	39
IV.3.1.5- Récapitulatif des caractéristiques principales du B.V	39
IV.4- l'Oued de K'sob	40
IV.3.1- Situation géographique	41
IV.5- Conclusion	41
Chapitre V : Valorisation en techniques routières	42
V.1- Introduction	42
V.2- Classification des sols selon le GTR	42
V.2.1-Principe général.....	42
V.2.1.1- Les paramètres de nature	42
V.2.1.1.1- La granularité.....	42
V.2.1.1.2- L'argilosité	43
V.2.1.2- Les paramètres de comportement mécanique	44
V.2.1.2.1- Le coefficient "Los Angeles" L.A. et le coefficient "Micro-Deval en présence d'eau" M.D.E	45
V.2.1.2.2- Le coefficient de "friabilité des sables" F.S.....	45
V.2.1.3- Les paramètres d'état.....	45
V.3- Conditions d'utilisation des matériaux en remblai et en couches de formes.....	46
V.3.1- Conditions d'utilisation des matériaux en remblai.....	46
V.3.1.1- Conditions météorologiques	46
V.3.1.2- Conditions d'utilisation des matériaux en remblai.....	46
V.3.2- Conditions d'utilisation des matériaux en couches de formes	53
V.3.2.1-Conception de la couche de forme	53
V.3.2.1.1-Définition et nature de la couche de forme.....	53
V.3.2.1.2-Fonctions et conception de la couche de forme.....	53
V.3.2.1.3-Critères associés à la construction de la chaussée	55
V.3.2.2-Matériaux de couche de forme	56
V.3.2.2.1-Critères à satisfaire	56
V.3.2.2.2-Techniques de préparation et de protection des matériaux pour emploi en couche de forme	57
V.4- Conclusion.....	59
Chapitre VI : Caractérisation et traitement des sédiments de dragage.....	59
VII.1- Introduction	59
VII.2- Essais d'identifications.....	59
VI.2.1- Analyse chimique	59
VI.2.2- Matières organiques	60
VI.2.3- Analyse granulométrique.....	61

VI.2.3.1- Analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P94-056	61
VI.2.3.2- Analyse granulométrique par sédimentation selon la norme NF P 94-257	63
VI.2.4-Les limite d'Atterberg (NF P94-051).....	63
VI.2.4.1-Détermination de la limite de liquidité selon la norme (NF P 94-051)	65
VI.2.4.2-Détermination de la limite de plasticité : (La méthode des rouleaux selon la norme NF P 94-051).....	65
VI.2.4.3- La méthode de cône de pénétration :(norme NF P 94-052-1)	66
VI.2.5 Mesure de la masse volumique : (NF XP P 94-054)	66
VI.2.5.1-Masse volumique apparente	66
VI.2.5.2-La masse volumique absolue.....	67
VI.2.5.3-Méthode du pycnomètre à eau (NF P 94 -054)	68
VI.2.6-L'essai au bleu de méthylène :(selon la norme : NF P-068)	69
VI.3- Essais mécaniques.....	71
VI.3.1-Essai Proctor (normal et modifié) : (selon la norme : NF P 94-093)	71
VI.3.1.2-Pour Proctor normal	72
VI.3.1-Pour Proctor modifié.....	73
VI.3.2-Essai de portance C.B.R (NF P 94-078)	73
VI.3.2.1-Essai C.B.R immédiat.....	73
VI.3.2.2-Essai C.B.R après imbibition	74
VI.3.3-Essais de cisaillement (NF P 94-71)	75
VI.3.4-Essais œdométrique (XP P 94-090-1)	77
VI.3.4.1-Essai œdométrique simple.....	77
VI.3.4.2-Essai œdométrique double	77
VI.4- Conclusion	79
Chapitre VII : Résultats et interprétations	81
VII.1- Introduction.....	81
VII.2- Essais d'identifications.....	81
VII.2.4- Les limites d'Atterberg	81
VII.2.4.1- Nos résultats.....	81
VII.2.4.2- Résultats des années précédentes	84
VII.2.4.3- Comparaison.....	86
VII.2.5-La masse volumique	86
VII.2.5.1-Nos résultats.....	86
VII.2.5.1.1-La masse volumique absolue	86
VII.2.5.1.2-Méthode du pycnomètre à eau (NF P 94 - 054)	87
VII.2.5.2-Résultats des années précédentes.....	87

VII.2.5.2.1-La masse volumique des grains solides.....	87
VII.2.5.3-Comparaison.....	88
VII.2.6- L’essai au bleu de méthylène.....	88
VII.2.6.1- Nos résultats.....	88
VII.2.6.2- Résultats des années précédentes.....	89
VII.2.6.2.1- La capacité d’absorption de bleu de méthylène VBS.....	89
VII.2.6.3- Comparaison.....	90
VII.3- Essais mécaniques	90
VII.3.1-Essai Proctor (normal et modifié) : (selon la norme : NF P 94-093).....	90
VII.3.1.1-Essai Proctor normal	90
VII.4-Conclusion.....	91
Conclusion Générale	92

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Problématique d’envasement des barrages

Figure I.1-Envasement du barrage de Bakhadda W. de Tiaret (2008).....	3
Figure I.2- Importance de l’envasement des barrages Algériens (de Mardja Sidi Abed Ghilizane ANB, 2001).....	3
Figure I.3- Seuil de sédimentation en gabions et en pierres sèches.....	6
Figure I.4 : Schématique la disposition de l’hydo-aspirateur	9
Figure I.5 : Dagues à pelle ou à cuillère	10
Figure I.6 : Dragues rétro caveuses	10
Figure I.7- Dragues aspiratrices simple.....	11
Figure I.8- : Répartition des barrages en exploitation dans le Nord algérien..... [Remini et al. 2009].....	12
Figure I.9- : Carte de sensibilité à l’envasement des barrages. [Remini et al. 2009]	14

Chapitre II : Les techniques de traitement

Figure II .1- Traitement de remblai à la chaux (Rossi et al .2007).....	17
Figure II .2-Cycle de la chaux, Constituants Du Béton Hydraulique	18
Figure II.3-Modification immédiate du comportement d’un sol argileux humide provoqué par l’introduction de chaux vive (Rossi et al. 2007)	21
Figure II.4 - Le composition du ciment. BETON Degussa	23
Construction Chemicals France.....	23

Chapitre III : La valorisation des sédiments de dragages

FigureIII.1- Schéma de fonctionnement d’une structure de chaussée sous l’application d’une charge roulante, d’après Abdo (2009)	27
FigureIII.2-Les différentes couches d’une chaussée (Pouteau, 2004).....	28

Chapitre IV : Barrage K’sob

FigureIV.1- Vue aérienne du barrage du K’sob par Google Earth	36
Figure IV.2-Carte hypsométrique du B.V du K’sob	37
Figure IV.3 -Courbe hypsométrique du B.V du K’sob	38
FigureIV.4- Carte de bassin versant d’Oued K’sob	40

Chapitre V : Valorisation en techniques routières

FigureV.1- Tableau synoptique de classification des sols	44
(P .Rossi, L. Gavois et G. Raoul)	44
FigureV.2- Extraction en couche.....	47
FigureV.3- Extraction frontale.....	47
FigureV.4- Aération	48
FigureV.5-L’humidification des sols.....	49
FigureV.6 Traitement à la chaux	50

FigureV.7- Traitement liants hydrauliques	50
FigureV.8- Compactage	50
FigureV.9- Hauteur des remblais.....	51
FigureV.10- Définition des différents termes.....	53
FigureV.11- Fonctions à court terme.....	55
Chapitre VI : Caractérisation et traitement des sédiments de dragage	
Figure VI.1- Analyse granulométrique par tamisage.....	62
Figure VI.2 : Matériels spéciales de limites d'Atterberg.	64
Figure VI-3 : L'appareille de la pénétration du Cône.....	64
FigureVI.5- Obtention de.....	66
La limite de plasticité	66
Figure VI.4 - Formation des rouleaux	66
FigureVI.8 - peser le Rempli.....	67
Figure VI.7 -règle et araser.....	67
Figure VI.6- pesé le récipient.....	67
Figure VI .9 - les éprouvettes de la masse volumique absolue	68
Figure VI.10 - Pycnomètre en verre.....	68
FigureVI.11 - Appareillage de l'essai au bleu de méthylène.....	70
Figure VI.12 - Matériel de Proctor (normal et modifie).	71
Figure VI.13 -Compactage de l'échantillon.....	72
Figure VI.14 -Appareil de poinçonnement (essai CBR).....	74
Figure VI.15 -Imbibition des échantillons (essai CBR)	75
Figure VI.16 -Appareille de cisaillement rectiligne.	76
FigureVI.17 - Schéma de la boîte de cisaillement	76
FigureVI.19 - Double odomètres (Knight et Jennings 1975)	78
FigureVI.20 - Les machines utilisées pour l'essai œdométrique laboratoire	79
Chapitre VII : Résultats et interprétations :	
Figure VII.1- La courbe de la limite de liquidité	82
Figure VII.2- Détermination de la limite de liquidité.....	83
Figure VII.3 : La courbe de la limite de liquidité. (Résultats des années précédentes).....	85
Figure VII.4 : Détermination de la limite de liquidité. (Résultats des années précédentes)	86
Figure VII .5 - La courbe de l'essai Proctor normal	91

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Problématique d’envasement des barrages

Tableau I.1- : Les plus simples définitions des faciès d’après Allen (Boutin, 2000)..... 4

Tableau I.2- : Liste des barrages les plus envasés d’Algérie [Remini et al. 2009]..... 13

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) 23

Chapitre IV : Barrage K’sob

Tableau IV.1 -Cumule des surfaces 37

Tableau IV.2-Distribution des pentes 39

Tableau IV.3-Quelques caractéristiques morpho métriques du B.V du K’sob..... 40

Chapitre V : Valorisation en techniques routières

TableauV.1 - Tableau récapitulatif des conditions pouvant être imposées pour utiliser les différents matériaux en remblai..... 52

TableauV.1 - Tableau récapitulatif des techniques de préparation des matériaux pour emploi en couche de forme 59

Chapitre VII : Résultats et interprétations :

Tableau VII.1- Détermination de la limite de liquidité 82

Tableau VII.2- Détermination de la limite de plasticité..... 83

Tableau VII.3- Les résultats des essais d’Atterberg..... 83

Tableau VII.4- Détermination de la limite de liquidité par pénétration à cône..... 84

Tableau VII.5 : Détermination de la limite de liquidité. (Résultats des années précédentes) ... 84

Tableau VII.6 : Détermination de la limite de plasticité. (Résultats des années précédentes) . 85

Tableau VII.7 : Les résultats des essais d’Atterberg. (Résultats des années précédentes)..... 85

Tableau VII.8- Détermination de la masse volumique absolue 87

Tableau VII.9- Détermination de la masse volumique par Méthode du pycnomètre à eau..... 87

Tableau VII.10 : Détermination de la masse volumique des particules solide. (Résultats des années précédentes) 87

Tableau VII.11 : Les résultats de l’essai de bleu de méthylène 88

Tableau VII.12 : Valeur de bleu de méthylène de quelques sols 88

Tableau VII.13 : Les résultats de l’essai de bleu de méthylène. (Résultats des années précédentes) 89

Tableau VII.14 : Valeur de bleu de méthylène de quelques sols 89

Tableau VII.15 - les résultats de l’essai Proctor normal 90

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

C.B.R : Californian Bearing Ratio

ε_g : Le potentiel de gonflement

Pg : pression de gonflement

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

Al₂O₃ : oxyde d'alumine

CaO : Chaux vive

Cl : Chlore

SiO₂ : Silice

MgO : Magnésie

Fe₂O₃ : Oxyde de fer

Na₂O : L'oxyde de sodium

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction Générale :

Ces dernières années, l'envasement des barrages en Algérie devient de plus en plus inquiétant et fréquent. Plus de 32.106 m³ de vase se déposent chaque année au fond des retenues. Le barrage de K'sob n'a pas échappé à ce problème.

L'envasement des retenues de barrages en Algérie a pris une ampleur importante, limitant ainsi leur capacité (diminution importante du volume d'eau stockée). Le dévasement est un moyen de lutte contre l'envasement néanmoins les conséquences engendrées sont le dépôt sédimentaire et les problèmes liés à son stockage.

Il existe plusieurs moyens de lutte contre ce phénomène, les chasses, le dragage ou le soutirage des courants de densité, ou bien la surélévation ou plus encore l'utilisation nouvelle des barrières végétales. Toutes ces méthodes restent partielles s'il n'y a pas une vision globale du phénomène et qui nécessite le concours de toutes les compétences scientifiques en la matière.

Ces quantités de sédiments évacuées par les opérations de dragage et déposées à coté de l'amont de l'ouvrage peuvent conduire à long terme à la pollution du milieu rural. Pour cela, la récupération et la réutilisation de ces sédiments devraient permettre à moyen terme sa valorisation dans le domaine du Génie Civil : Technique routière, fabrication de brique et coulis de comblement de réseaux.

L'objectif de cette étude est le traitement des sédiments de dragage en vue de les utiliser comme constituant dans les couches d'assise de structures routières.

Cette étude se divise donc en Sept 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 Les technique de traitement pour améliore le sédiment de dragage.
- Le chapitre III est une présentation La valorisation des sédiments de dragages d'utilisation des sédiments étudiés en technique routière et en marteaux de construction et dans outre domaines.

- Le Chapitre IV Présente l’histoire de Barrage K’sob et Le bassin versant.et l’Oued de K’sob
- Le Chapitre V Présente le Valorisation en techniques routières. Par la classification des sols selon le GTR et le Conditions d'utilisation des matériaux en remblai et en couches de formes
- Le Chapitre VI Présente le Caractérisation et traitement des sédiments de dragage par utiliser les essais d’identifications et mécanique
- Chapitre VII Présente le Résultats et interprétations la caractérisation des paramètres physiques, du comportement mécanique

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

CHAPITRE I :
PROBLÉMATIQUE
D'ENVASEMENT DES BARRAGES

Chapitre I : Problématique d'envasement des barrages

I.1- Introduction :

Le présent chapitre donne un aperçu traitant le phénomène d'envasement des barrages, ces causes, ces conséquences ainsi que les techniques modernes de lutte contre ce phénomène.

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

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

Ce phénomène entraîne l'envasement rapide de nombreuses retenues d'eau. Les barrages réservoirs s'ensavent et perdent de la capacité utile et le rejet de la vase dans les cours d'eau pose d'énormes problèmes écologiques et environnementales (exemples : Figures (I.1) et (I.2)).



Figure I.1-Envasement du barrage de Bakhadda W. de Tiaret (2008)



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

I.2-Définition de la vase :

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

Les vases sont des sols contenant plus de 90% de particules inférieures à 200 μ m, dont la matière organique M.O. est comprise entre 2 et 10%. Elles sont composées de sable, limon, argile et des colloïdes organiques.

D'après Migniot (1989) : « Les vases sont des sédiments complexes qui couvrent une gamme étendue de particules inférieures à 40 microns mais peuvent contenir une quantité notable d'éléments sableux ». Les différentes classes de sédiments interviennent rarement seules.

Tableau I.1- : Les plus simples définitions des faciès d'après Allen (Boutin, 2000)

Dénomination	Caractéristiques
Sable	Plus de 80 % d'éléments supérieurs à 50 μ m
Sable vaseux	De 20 à 80 % d'éléments supérieurs à 50 μ m
Vase	Plus de 80 % d'éléments inférieurs à 50 μ m

I.3- Causes et origine de l'envasement :

L'envasement des retenues et des estuaires est lié directement aux phénomènes de l'érosion. Nous avons retenu la définition qui combine l'arrachement (creusement de la surface du sol, dégradation et altération des roches), le transport et le dépôt de matériaux.

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

I.3.1- Le climat :

Le climat est un facteur important qui influe sur l'érosion hydrique par la nature des précipitations et des températures. Un climat agressif comme celui des régions aride et semi-aride est caractérisé par des pluies de grandes intensités pendant un temps court et des longues périodes de sécheresse, les deux éléments accentuent remarquablement l'érosion. La température élevée permet d'assécher et de fissurer le sol ce qui augmente sa vulnérabilité à l'érosion et les fortes pluies viennent avec des énergies cinétiques élevées pour détacher et emporter un maximum de sol déjà très faible. [1]

I.3.2-Le sol :

Il est caractérisé par son type sa texture et son état. En saison sèche l'humidité du sol est presque nulle, dans cet état le sol perd tout sa cohésion, il présente à cet effet une texture détachée des grains, ce qui favorisera l'érosion hydrique lors des premières pluies. Il influe de même sur le ruissellement par ses capacités d'infiltration et rétention. [1]

I.3.3- Les labours inadaptés :

Le travail du sol présente deux effets antagonistes vis-à-vis de l'érosion hydrique : D'une part il limite l'érosion en augmentant la perméabilité et la capacité de rétention du sol et d'autre part il la favorise en diminuant la cohésion et la stabilité structurelle du sol pour les faibles pluies. [1]

I.3.4- Les pentes :

Le bassin versant du K'sob présente des fortes variations d'altitude entre la crête et le cours d'eau principal, on remarque que 70% de la surface totale du bassin versant est comprise entre les altitudes 900 et 1700 m, ce qui explique que le bassin versant du K'sob est situé dans la zone des hauts plateaux. Il est évident qu'il y a une forte corrélation entre le degré de pente et la sensibilité à l'érosion des versants du bassin du K'sob.

I.4- Les moyens de lutte contre l'envasement :

La lutte contre l'envasement des barrages en Algérie doit revêtir une dimension nationale tant les enjeux sont énormes. Tous les spécialistes s'accordent à dire que les pays du Maghreb, d'ici à 2025, connaîtront des problèmes aigus d'eau. Autant, dès maintenant, penser à une stratégie globale de préservation de nos barrages contre ce grave problème de l'envasement, beaucoup d'efforts ont été déployés par les services de l'hydraulique dans la lutte contre l'envasement, plusieurs solutions sont proposées : [2]

I.4.1-La conservation des sols :

Comme moyen de minimiser la pénétration de matériaux solides dans une retenue, deux méthodes de conservation des sols sont utilisées pour freiner l'érosion :

- L'implantation de structures anti-érosion.
- L'aménagement des bassins versants et des cours d'eau.

Il s'agit de l'aménagement des bassins versants par la réalisation de la correction torrentielle, et l'aménagement de cours d'eau : En créant des ouvrages de correction dans la gorge du torrent. Ouvrages qui arrêteront les matériaux et diminueront la pente, des aménagements déterminants, réduisant l'érosion à sa source.

La figure 3 fournis un exemple de seuil de sédimentation en gabions et en pierres sèches en vue de réduire la torrencialité du réseau hydrographique par la réalisation d'un nombre déterminé de ces ouvrages sur le même affluent.



Figure I.3- Seuil de sédimentation en gabions et en pierres sèches [2].

Dans le cadre de la protection des bassins, un programme spécial a été lancé par les services des forêts. Il s'agirait de traiter une superficie de 1,5 millions d'hectares dans le territoire national. Les coûts sont évalués à environ 16 milliards de DA. [2]

I.4.2-Le reboisement :

La plantation des cultures suivant les courbes de niveau et fixation des berges des oueds est une action préventive. Vingt-sept bassins versants sont concernés par les opérations de reboisement pour protéger les barrages face à l'érosion, comme le bassin versant des Issers (barrage de Béni Amrane) qui fait 3700 km² ou celui de Béni Haroun, 7200 km². Il y a également, la nature du sol pour déterminer les espèces d'arbres à planter, il est prévu de consacrer un budget de 18 milliards de DA à ces opérations. [2]

I.4.3- La réalisation des barrages de décantation à l'amont :

On peut construire plusieurs types de structures dans le bassin, par exemple, des bassins de rétention ; conçus soit pour retenir les matériaux solides définitivement pendant la durée de vie de l'ouvrage, soit pour stocker les matériaux solides provenant du ruissellement créé par un certain nombre d'orages entre des vidanges périodiques. L'exemple en Algérie, est le cas du barrage de Boughezoul situé à la ville de Médéa qui est exploité partiellement comme bassin de décantation du barrage de Ghrib, Il réduit l'envasement de Ghrib de près de 24%. [2]

I.4.4- La réalisation des barrages de chasses :

En Algérie, La technique du soutirage peut être un moyen efficace de lutte contre l'envasement des retenues de barrages en Algérie compte tenu de son faible coût et surtout de la présence des courants dans l'ensemble des retenues. Son rendement peut atteindre 70% des apports solides totaux entrants dans la retenue, c'est à dire que la durée de vie de l'ouvrage sera augmentée d'un tiers. Le barrage d'Ighil Emda (W. de Bejaia) est parmi les premiers au monde à avoir été équipé d'un dispositif installé spécialement pour le soutirage des sédiments. La durée de vie de ce barrage est ainsi multipliée par trois. [2]

I.4.5- La surélévation des digues :

La surélévation constitue l'une des techniques qui permettent de prolonger la vie d'un barrage. L'augmentation de la hauteur de la digue permet de compenser le volume d'eau perdu en profondeur occupé par la vase. Cette opération est très encourageante.

En Algérie, neuf barrages ont été surélevés. Toutes les opérations de surélévation en Algérie ont permis de récupérer jusqu'en 2007 une capacité de 100 millions de m³. Cette technique a été réalisée sur le barrage K'sob. Certes, cette réserve supplémentaire créée par la surélévation a augmenté la durée de vie de ces ouvrages, mais l'évolution de l'envasement dans le temps croît beaucoup plus rapidement qu'à l'état initial (sans surélévation). [2]

I.4.6-Extraction par siphonnement :

L'ingénieur Jandin a développé et utilisé cette méthode entre 1892 et 1894, pour évacuer des sédiments avec un siphon à travers le barrage de Djidiowia en Algérie, ainsi 1,4×10⁶ m³ de limons et d'argile ont été évacués en trois ans.

L'appareil de Jandin se composait d'un tuyau flexible d'un diamètre de 61 cm, avec une capacité d'évacuation de 1,53 m³/s dans des conditions normales d'opération. A partir d'une ouverture dans le bas du barrage, il était relié à des pontons flottants en tôle, ce qui permettait de déplacer le tuyau dans la retenue dans un rayon d'environ 1,6 km.

Hannoyer a développé une nouvelle méthode basée sur le principe de "l'hydro-aspirateur" proposé par Jandin, 80 ans auparavant (Figure 4). Un tuyau flexible est relié à la vidange de fond. Le tuyau est amovible afin de créer une charge pour évacuer les sédiments. Il n'y a pas besoin de pompe. Le tuyau peut avoir une longueur de plus de 2 km, et il est attaché à des flotteurs afin de rester au-dessus de la surface de la vase. [2]

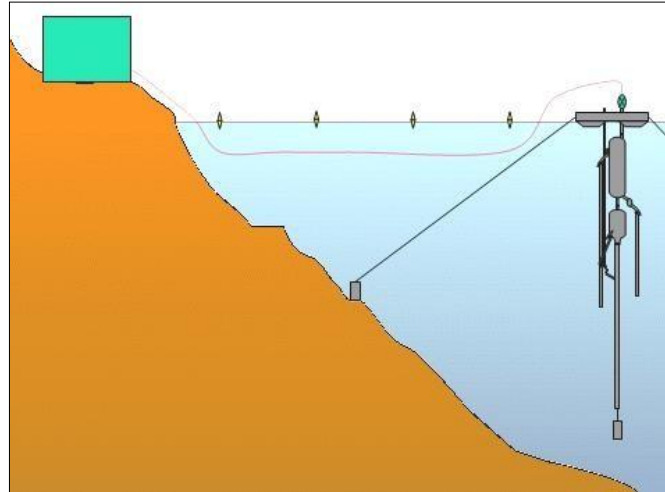


Figure I.4- : Schématisation la disposition de l'hydro-aspirateur.

I.4.7-Le dragage des barrages :

Le dragage est une opération de prélèvement de matériaux, notamment boues, limons, sable, 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 un 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.

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, coté 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. La première drague utilisée en Algérie en 1957 est la drague Réfouleuse «Lucien Dumay». Depuis les années 2000, plus de 20 millions de m³ de vase ont été extraits de nos barrages. [2]

I.4.7.1-Les types de dragages :

On distingue trois types de dragages qui diffèrent selon la nature des sédiments à draguer et le type de travail à réaliser :

- **L'entretien** : sont des opérations répétitives, visant à extraire les sédiments déposés qui gênent la navigation.
- **L'aménagement** : sont des opérations d'aménager et créer des canaux, des bassins de plaisance et autres voies de navigation.
- **L'approfondissement** : Elle nécessite de déplacer d'importants volumes de sédiments et demandent des moyens de dragages importants. [2]

I.4.7.2-Les Techniques De Dragage Disponibles :

Différentes techniques de dragage ont été développées. Il est courant de classer les équipements de dragage selon leur principe général de fonctionnement. Trois catégories peuvent être recensées :

I.4.7.2.1-Les dragages mécaniques :

Ils s'effectuent grâce à des engins à godet qui opèrent soit depuis les berges (pelle mécanique), soit depuis la surface (pelle sur ponton, drague à godets...etc.). L'extraction de sédiments pollués se fait actuellement majoritairement par cette méthode [2]



Figure I.5- : Dagues à pelle ou à cuillère.



Figure I.6- : Dragues rétro caveuses.

I.4.7.2.2-Les dragages hydrauliques :

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. Par exemple la technique aspiratrice utilise des pompes centrifuges, aspirant à travers un tube d'élinde, muni d'un embout, appelé bec d'élinde, un mélange eau sédiments. Elles aspirent et

refoulent donc les sédiments sous forme de boues liquides dont la teneur en eau varie autour de 85 %.(Figure7)

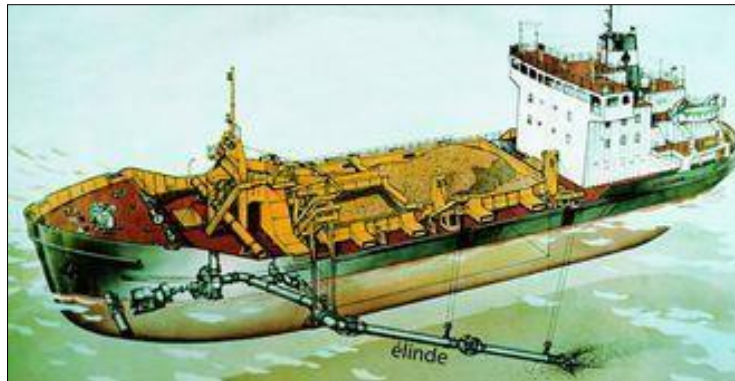


Figure I.7- Dragages aspiratrices simple.

I.4.7.2.3- Les dragages à l'américaine :

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. 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 dragués afin d'utiliser le courant naturel pour évacuer les produits. Elle se pratique pour des fleuves et rivières à fort débit. [2]

I.5- Envasement des barrages algériens :

L'Algérie du Nord est une zone montagneuse fragile. Les montagnes s'étendent sur une superficie de 75000 km² dont les deux tiers sont situés à plus de 800 m, et le quart présente des pentes supérieures à 25%. La lithologie y est souvent constituée de roches tendres (notamment schistes et argiles) sensibles à l'érosion. Le climat très irrégulier alterne années sèches et humides, avec des pluies souvent intenses et dévastatrices.

La conjonction de ces différentes caractéristiques induit une érosion forte, difficile à quantifier : le chiffre moyen de 800 t/km² par an proposé pour différents bassins du Maghreb [7]-[5]. Par exemple, l'érosion serait 5000 t/km² par an sur le bassin-versant de l'Oued

Agrioum dans l'est algérien [6]-[5], alors qu'elle n'est que de 165 t/km² par an dans le bassin de l'Oued Mouilah [8]-[5]. Dans un même bassin, le transport solide peut fluctuer de plus de deux ordres de grandeur selon les années ou les mois. Ainsi, les apports solides annuels du bassin de l'Oued Mouilah (2650 km²) ont varié de 6 à 1038 t/km² par an entre 1978 et 1987 [8]-[5]. Cette hétérogénéité se retrouve également à l'échelle événementielle : les quelques événements les plus violents sont responsables de l'essentiel de l'érosion annuelle. Les fortes crues peuvent transporter des charges de sédiments en suspension supérieures à 100 gramme/Litre [4]. Cette forte concentration se manifeste surtout pendant l'automne, succédant à la période estivale pendant laquelle les oueds sont à sec. Le plus souvent, il convient de rajouter la partie charriée du transport aux chiffres précédents.

L'une des conséquences immédiates de l'érosion est la sédimentation dans les barrages, selon une récente étude basée sur des séries statistiques comportant les données de 57 grands barrages (Figure I.8), l'Algérie perd par envasement 45 à 50 millions de m³ chaque année, ce qui représente une perte de capacité annuelle égale à 0,65% de la capacité totale. Le volume de vase estimée en 2006 était de 1,1 milliards de m³, soit un taux de comblement de 16% de la capacité totale de 6,8 milliards de m³ [9]. Certains barrages ne contiennent pratiquement que de la vase, à l'exemple du Fergoug qui est envasé à 80%.

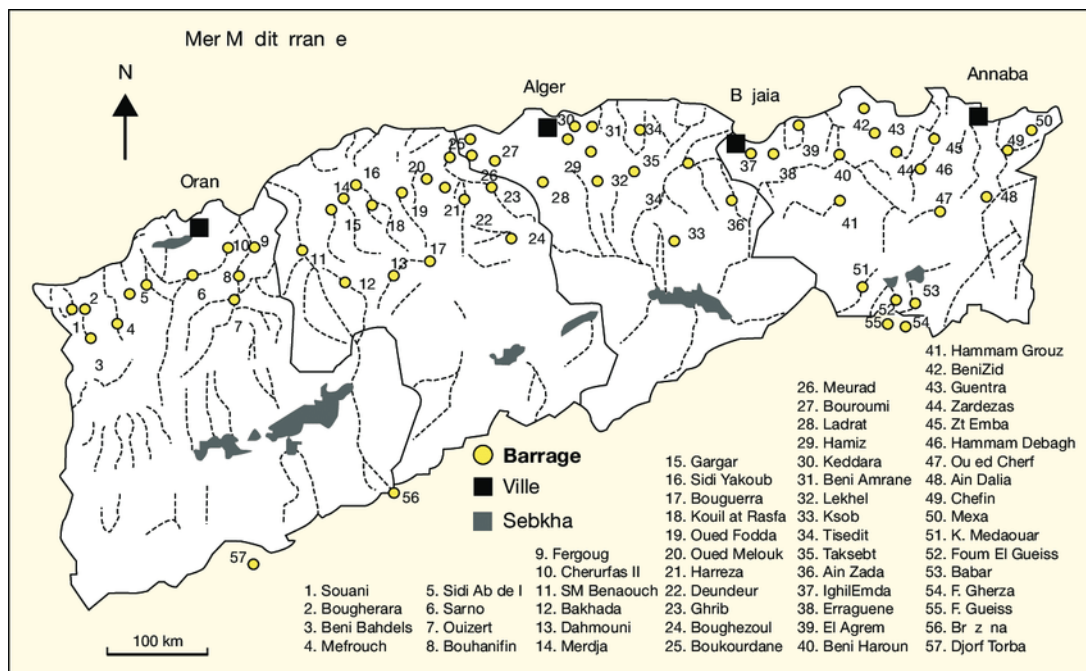


Figure I.8- : Répartition des barrages en exploitation dans le Nord algérien

[Remini et al. 2009].

Le tableau I.2 représente les 18 barrages les plus envasés souligne la forte variation de l'envasement d'un site à l'autre, en fonction de l'intensité de l'érosion dans le bassin (liée à la géologie, à la pente, au couvert végétal, ... etc.), de l'âge de l'ouvrage, mais aussi des éventuelles mesures de protection à l'amont ou des opérations de dévasement déjà effectuées.

Tableau I.2- : Liste des barrages les plus envasés d'Algérie [Remini et al. 2009].

Barrage	Année de mise en eau	Capacité initiale (Mm ³ /an)	Comblement en 2006 (%)	Dévasement effectué (Mm ³)
Fergoug	1970	18	100	7
Béni Amrane	1988	16	80	3
Meurad	1860	1	80	
Foum El Gherza	1950	47	70	4
Foum El Gueiss	1939	3	67	
Ghrib	1939	280	60	
Ksob	1977	30	60	4
Oued Fodda	1932	228	57	45
Bouhanifia	1940	73	57	
Boughezoul	1934	55	56	
Zardezas	1977	27	54	10
IghilEmda	1953	155	35	47
Hamiz	1935	21	27	8
DjorfTorba	1969	350	27	
Sarno	1954	22	24	
Bakhada	1963	56	20	
Béni Bahdels	1952	63	17	
Merdja	1984	55	14	5

La figure I.9, cartographie le taux de comblement moyen (T), qui est la perte annuelle de capacité d'un barrage (en %) par envasement, selon quatre catégories depuis le comblement faible ($T < 0,5\%$ par an) jusqu'au très fort ($T > 3\%$ par an).

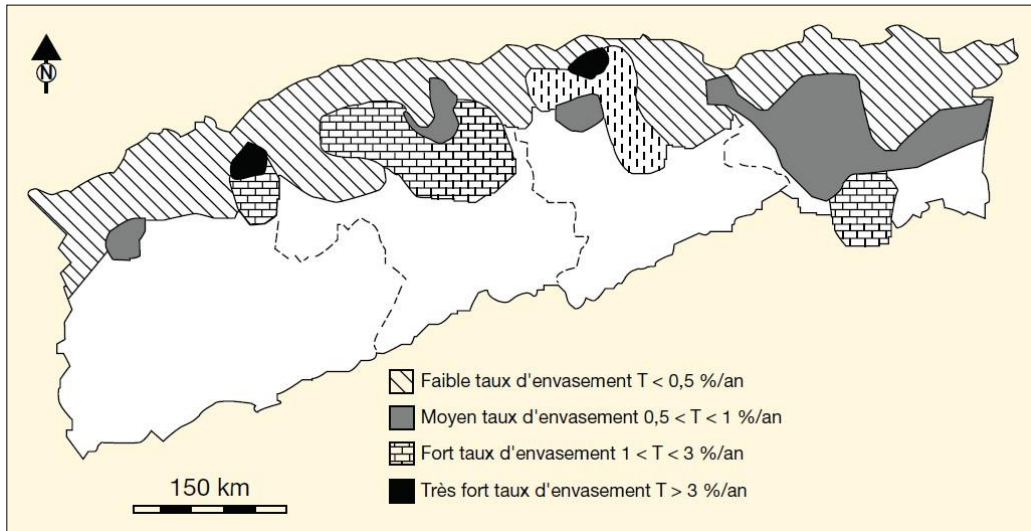


Figure I.9- : Carte de sensibilité à l'envasement des barrages. [Remini et al. 2009].

L'envasement a beaucoup varié durant la dernière décennie. Ainsi, la comparaison des nivellements de 1986 et 2006 montre un doublement des taux d'envasement pour les barrages de Djorf Torba et K'sob, passant de 1,3 à 2,6 Million de m^3 /an et de 0,3 à 0,6 Million de m^3 /an respectivement. Cette hausse spectaculaire, qui n'est pas observée de manière uniforme, serait une conséquence de la sécheresse des années 1990 : le couvert végétal ainsi diminué et les sols dégradés auraient mal résisté à un retour des pluies et crues violentes des dernières années, causant une forte ablation de la couche superficielle du sol et favorisant une forte érosion.

I.6- Conclusion :

A la fin de ce premier chapitre, l'envasement est un phénomène naturel très complexe qu'il faut étudier de l'amont à 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. Le volume de la vase dragué dans le barrage Bakhadda représente près de $5 \times 10^6 m^3$. En raison de ces quantités considérables, la valorisation de ces vases du dragage demeure un véritable enjeu

CHAPITRE II :
LES TECHNIQUES DE TRAITEMENT

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 granulométrique :

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. [4]

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. [6]

II.3- Traitement à 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. [4]

II.3.1- Traitement à 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. [4]



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 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 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.

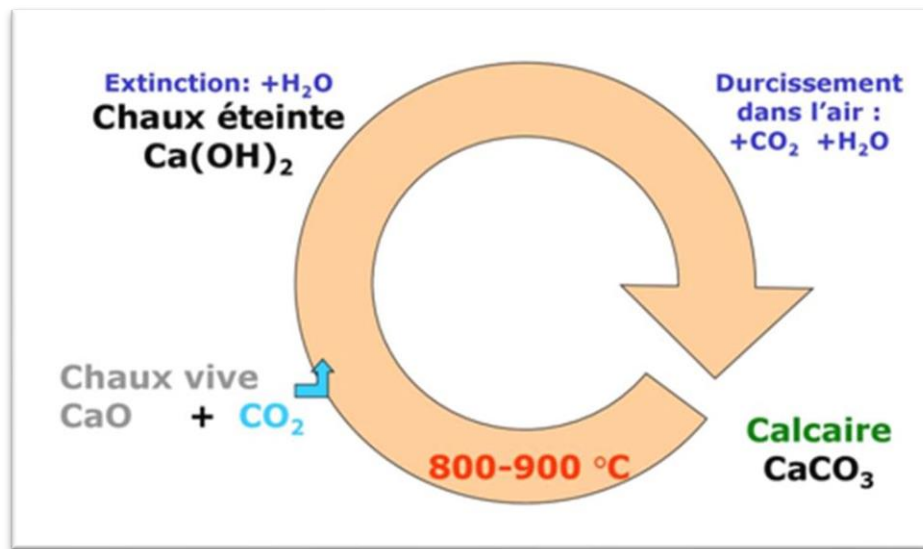


Figure II .2- Cycle de la chaux, Constituants Du Béton Hydraulique

II.3.1.2- Différents types de chaux :

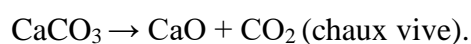
La chaux est obtenue par calcination d'un calcaire (celui-ci représente 20% de la couche terrestre), selon la nature du calcaire utilisé, la cuisson permet la fabrication de plusieurs types de chaux :

- 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 : [4]

II.3.1.2.1- Chaux vive :

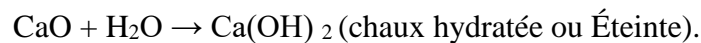
Constituée principalement d'oxyde de calcium CaO, généralement à plus de 90%. La calcination du calcaire (carbonate de calcium) entraîne la formation de chaux vive (oxyde de calcium) et de gaz carbonique (dioxyde carbonique).



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 éteinte :

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 magnésienne :

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. [5]

II.3.1.3.1- Actions immédiates :

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. [5]
- **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 y a donc réduction de l'indice de plasticité.
- Une augmentation de la résistance au cisaillement du sol.
- Une modification des caractéristiques de compactage du sol. [5]

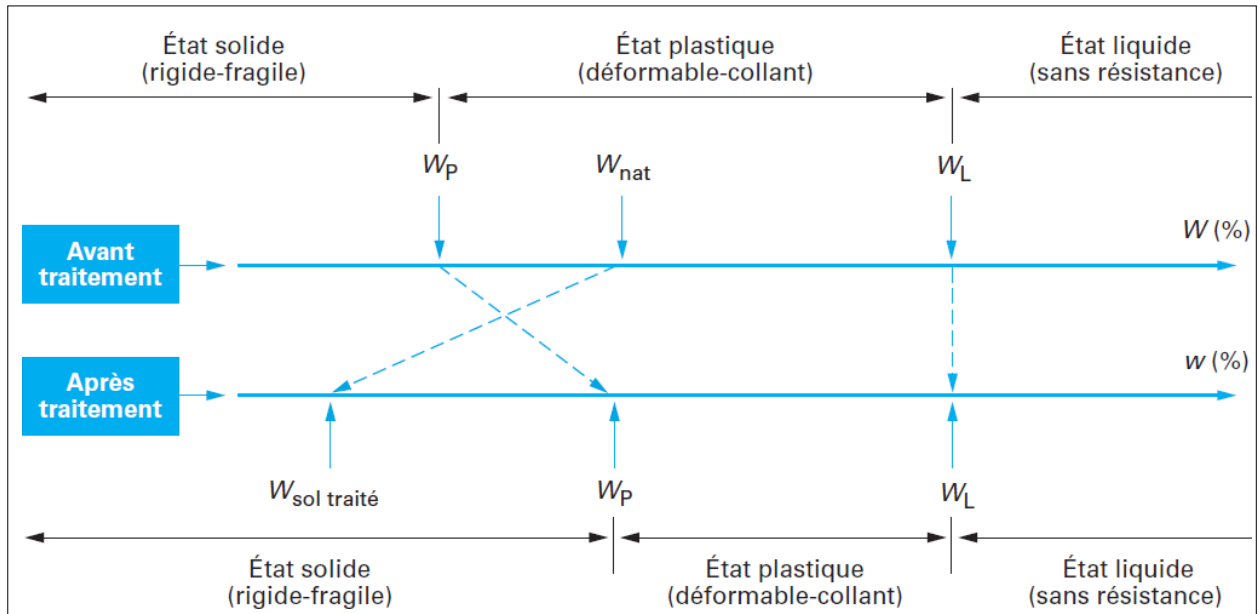


Figure II.3- Modification immédiate du comportement d'un sol argileux humide provoqué par l'introduction de chaux vive (Rossi et al. 2007).

II.3.1.3.2- Actions à 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. [5]

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. [5]

II.3.2- Traitement aux liants hydrauliques :

Les liants hydrauliques sont des produits, qui en présence d'eau, s'hydratent en donnant naissance à des espèces cristallines insolubles et résistantes qui agglomèrent les éléments granulaires du sol. Ce phénomène dit « prise hydraulique », confère au sol une cohésion permanente dont l'importance dépend de : [5]

- 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- Les 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.

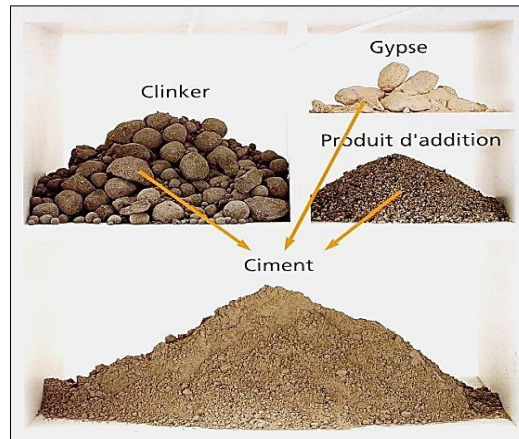


Figure II.4 - Le composition du ciment. BETON Degussa

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%). [5]

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 : [5]

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

Les principes d'action des LHR ne sont pas différents 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 faibles, 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 : [5]

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 immédiates :

➤ 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. [5]

II.3.2.3.2- Actions à 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. [5]

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, quel que 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.

CHAPITRE III :
LA VALORISATION DES SÉDIMENTS
DE DRAGAGES

Chapitre III : La valorisation des sédiments de dragages

III.1- Introduction :

La valorisation des sédiments de dragage est une solution très intéressante qui s'inscrit dans la philosophie de développement durable.

Il y a plusieurs façons d'utiliser cette philosophie. Le secteur des travaux publics est un secteur de construction de bâtiments, et matériaux de constructions de routes, de ponts et de barrages. Le secteur agricole peut être utilisé pour la remise en état des terres et la protection de l'environnement.

Le choix de la filière de valorisation d'un sédiment est essentiellement guidé par les conditions techniques, économiques, environnementales et réglementaires.

III.2- Valorisation dans les techniques routières :

Les sédiments de dragage peuvent être valorisés en tant que couche de forme dans la construction des chaussées.

III.2.1- Définition de la structure de chaussée :

La structure d'une chaussée routière est composée de plusieurs couches qui travaillent pour résister aux forces causées par la circulation

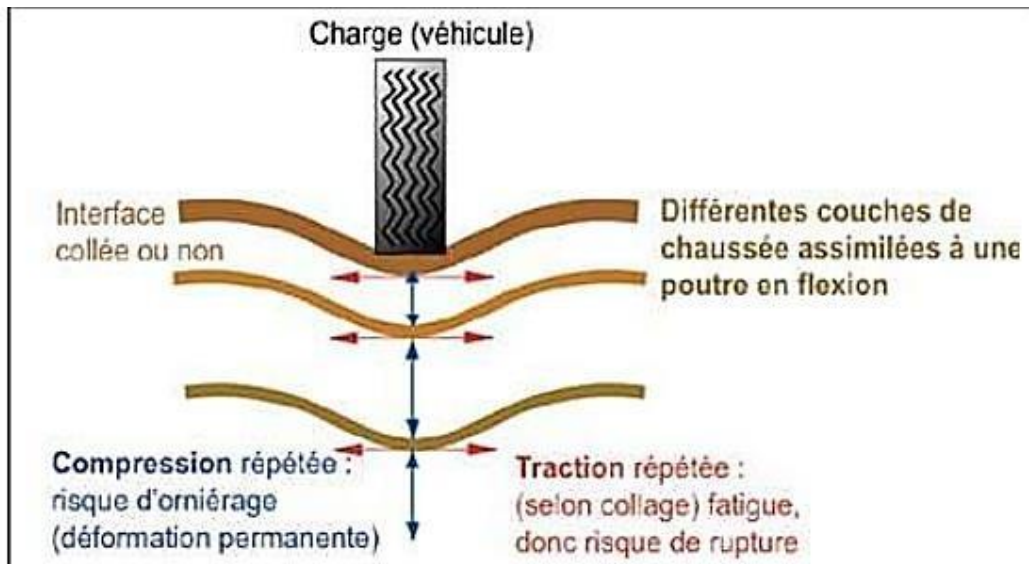


Figure III.1- Schéma de fonctionnement d'une structure de chaussée sous l'application d'une charge roulante, d'après Abdo (2009) [5].

III.2.2- Les différentes couches d'une chaussée : [5]

La structure d'une chaussée routière, telle qu'elle apparaît à la figure III.2, est constituée de 3 couches différentes. Chaque couche a différentes fonctions :

- **Couche de surface :** elle est composée de deux couches : la couche de roulement qui est la couche supérieure où s'appliquent les actions du trafic et du climat et la couche de liaison qui lie la couche d'assise et qui assure la protection vis-à-vis des infiltrations des eaux et des sels et les pollutions en surface.
- **Couche d'assise :** elle comprend deux sous-couches : la couche de fondation et la couche de base. Ces couches de la chaussée sont les plus importantes pour supporter la résistance mécanique et la déformation dans une limite admissible.
- **Couche de forme :** pendant les travaux, elle contribue au nivellement du sol et garantit le déroulement du chantier. Elle permet d'homogénéiser les caractéristiques du sol support et de contrer le gel.

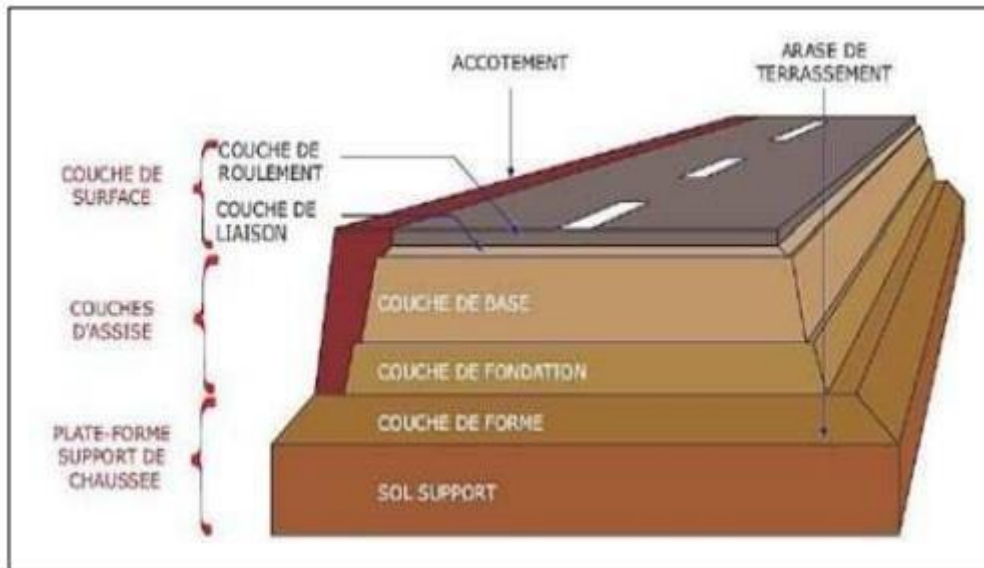


Figure III.2- Les différentes couches d'une chaussée (Pouteau, 2004) [5].

III.3- Valorisation dans les matériaux de constructions :

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

III.3.1- Valorisation dans le béton et mortier : [6]

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

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

La première étape est consacrée à une caractérisation non destructive et destructive des deux bétons contenant 12,5% et 20% de sédiment associé à une caractérisation microstructurale. La seconde concerne la durabilité de ces bétons face aux attaques sulfatiques

externes, à la soumission aux cycles gel/dégel et à la réaction alcali-granulats afin d'évaluer l'effet de l'incorporation des sédiments dans les bétons et le comportement de ces derniers. Enfin, la troisième étape traite du volet impact environnemental par des essais de lixiviation sur les deux types de bétons.

Agostini F. (2006) a étudié des sédiments contaminés. Dans son travail, il a utilisé un processus de traitement appelé le processus Novosol. Les produits traités ont été ensuite utilisés dans les mortiers en remplacement des granulats naturels. Quatre types de mortier ont été réalisés : mortier de référence MR, mortiers à 33% ; 66% ; 100 % de remplacement du sable par le sédiment traité. La résistance à la compression, le module d'Young, la perméabilité au gaz, la porosité, la masse volumique ont été mesurés sur divers échantillons à l'âge de 28, 60 et 90 jours. Les résultats ont montré que lorsque la quantité de sédiment dans le mélange augmente, la porosité augmente et la masse volumique diminue. La valeur de la perméabilité intrinsèque du mélange MS33 est très proche de celle du mortier de référence MR ; en revanche les valeurs correspondant à MS66 et MS100 sont plus grandes de trois (03) fois par rapport aux deux premiers. Des mesures de retrait ont aussi été effectuées. Elles ont montré qu'à l'âge de 110 jours, la déformation de MS100 est jusqu'à neuf (09) fois supérieure à celle de MR. Pour les substitutions inférieures, les déformations finales sont trois à six fois supérieures à celle du mortier de référence. De larges fissures ont été observées rapidement sur l'échantillon MS100. Ce phénomène n'a pas été observé ni sur MS33 ni sur MS66. En ce qui concerne la résistance à la compression, les résultats montrent que l'introduction des sédiments traités dans les mortiers conduit à l'amélioration de la résistance à la compression. Une augmentation de 20% est obtenue pour MS33. Selon la courbe de compression en fonction du taux de substitution, la valeur optimale se trouve avoisine les 33%. Hors de cette zone, la résistance diminue, mais elle est encore plus grande que celle du mortier de référence. Les auteurs ont conclu que le processus Novosol permet de traiter efficacement les sédiments dragués et contaminés puisqu'il fixe les métaux lourds dans la matrice d'apatite et élimine les combinaisons organiques et que le produit obtenu peut être utilisé comme du sable avec un taux de substitution optimal d'environ 33%.

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

des sédiments de dragage des ports de Tanger et de Larache dans les mortiers est satisfaisante pour un dosage de 20%.

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

III.3.2- Valorisation dans la fabrication du ciment : [6]

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

Les essais au laboratoire (benchscale) consistaient en la fabrication de quatre (04) types d'échantillons en augmentant la proportion en matière contaminée : 0% (l'échantillon de référence), 1,49%, 6,63%, 12,3% en masse. Les échantillons ont été calcinés à 1450°C et puis refroidis. Ils ont été ensuite broyés en poudre fine comme le ciment et puis analysés. Trois variables ont été étudiées : teneur en sédiment, technique de mélange et processus de cuisson. Les essais (pilot scale) ont été réalisés avec 6,5% de sédiment (en masse sèche) dans un four rotatif sous une température maximale de 1350°C. Les auteurs concluent sur la possibilité d'utiliser le sédiment comme matière première pour la fabrication du ciment Portland en remplacement des cendres volantes et de la bauxite. Le taux de substitution en sédiment dépendra alors de sa teneur en SiO₂. Enfin, la haute teneur en chlorure libre dans le sédiment ne fait pas augmenter la concentration en chlorure du produit final (ciment).

Dang T.A. (2011) a étudié la possibilité d'utilisation des sédiments provenant du piège de Lyvet aménagé sur la Rance et de la baie de Mont Saint Michel. Après une caractérisation

physico-chimique des sédiments bruts faisant appel à diverses techniques (DRX, ATG –ATD, MEB...), un traitement thermique à 650°C et 850°C a été adopté. Ce traitement permet d'éliminer des matières organiques et d'activer des argiles. Les sédiments traités ont été ensuite ajoutés selon différents dosages (8, 16, 33% par rapport à la masse sèche du liant) à du ciment Portland ordinaire afin de développer de nouveaux liants de type ciments Portland composés. Ces nouveaux liants ont ensuite été caractérisés (temps de prise, pouzzolanicité, résistance en compression, module d'Young, perméabilité au gaz...etc.). Les résultats ont montré que même si les nouveaux liants ne présentent pas de caractère de pouzzolanicité selon la norme NF EN 196-5, ils développent des propriétés mécaniques et de transfert intéressant par rapport à un ajout inerte. La classe de résistance de ces liants a été déterminée selon la norme NF EN 196-1. Les résultats ont montré que les sédiments calcines a 650°C pourraient être utilisés jusqu'à 35% pour obtenir des liants de classe 42,5, alors que les sédiments calcinés à 850°C ne vérifient que la classe 32,5.

Quant à Semcha [Semcha A., 2006], il a étudié la possibilité de réutilisation de la vase prélevée à l'état solide, dans la zone de rejet sur Oued El Hammam (en aval du barrage de Fergoug) ainsi que dans la région de la Macta dans la fabrication du ciment.

Les cimenteries algériennes utilisent, pour la production d'un ciment composé de type CEM II de classe élevée, une pouzzolane naturelle. L'étude a amené à la conception d'une pouzzolane artificielle par traitement thermique (750°C) de la fraction argileuse des vases issues du barrage de Fergoug. Des micro-éprouvettes de pâte durcie ont été fabriquées et soumises à des essais de compression uni axiale afin d'en estimer leur réactivité pouzzolanique. Ces résultats sont comparés à ceux obtenus avec la pouzzolane naturelle de Béni-Saf, dans les mêmes conditions expérimentales. La comparaison des résultats obtenus sur les deux matériaux étudiés permettent de retenir en conclusion les principaux éléments suivants :

- Ces deux matériaux peuvent trouver des applications aussi bien pour la production de ciment composé de type CEM II, que pour la fabrication de liants pouzzolaniques,
- Un meilleur comportement est observé pour la pouzzolane de synthèse à base de vase calcinée ont dépassé celles obtenues avec de la pouzzolane naturelle de Béni-Saf. Les deux procédés traduisent un véritable intérêt économique.

III.3.3- Valorisation dans la fabrication de briques : [6]

La fabrication de briques à partir des sédiments de dragage constitue une autre voie de valorisation.

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

Semcha A. (2006) s'est intéressé à la fabrication de la brique auto clavée à base de vase. La vase prélevée à l'état solide, dans la zone de rejet sur Oued El Hammam (en aval du barrage) ainsi que dans la région de la Macta, stabilisée au ciment dans des conditions particulières de température, d'humidité et de pression, a donné des résistances à la compression comparables à celles de la brique silico-calcaire. Le procédé de conception est inspiré de celui décrit pour le composite à base de quartz [Ben amara L.,1990]. L'activateur chimique utilisé est le ciment Portland ordinaire (CEM I). Les étapes essentielles de la production du composite sont les suivantes :

- Broyage et nettoyage de la vase crue.
- Dosage des mélanges.
- Malaxages à sec et humide.
- Moulage et pressage.
- Autoclavage pendant 6, 15 et 24 heures.

Après le séjour en bain hydrothermal à une température de 135 °C et une pression de 3,3 bars, les éprouvettes (4×4×16) sont testées à la compression et les résidus analysés. Une résistance à la compression de l'ordre de 40 MPa est obtenue pour un mélange de 40% de ciment et 60% de vase. Cette résistance est très suffisante pour un moellon à bâtir.

D'autres travaux de recherche ont été réalisés, notamment [Harmer, K., et al., 2002 ; Lafhaj , Z., et al., 2007, Samara, M., et al., 2009]. Ils ont fabriqué des briques à partir d'un mélange de sédiments et d'argile par traitement thermique.

III.4- Valorisation dans le domaine agricole : [5]

L'épandage des sédiments sur un sol cultivable est une technique de valorisation très intéressante qui peut enrichir les sols pauvres en éléments nutritifs et améliorer par conséquent sa qualité et son rendement, ou corriger leurs PH et rendre les terres plus adaptées au développement des plantes. Il peut être utile pour améliorer des aires de loisirs, des parcs, des terrains de golf. Cette opération doit être entreprise sans porter atteinte au milieu récepteur.

Alors cette partie nous a été une occasion intéressante pour s'approcher du domaine et toucher la problématique complexe de la gestion des sédiments, et d'apprécier une fois de plus les effets de la pollution sur l'environnement.

III.5- Autres domaines de valorisation :

La valorisation des sédiments de dragage constitue une issue pour le problème de gestion de ces matériaux. Il peut utiliser dans le domaine de l'environnement il est possible de réutiliser les sédiments à titre d'exemple pour :

III.5.1- Amendement des sols : [5]

C'est une opération qui consiste à dresser de grandes quantités de matériaux, sur une épaisseur pouvant atteindre un mètre, couvrant des sols érodés ou en friches, le sol évoluera ainsi par lui-même pour obtenir en quelques années une prairie permanente, par exemple. Les sédiments peuvent être aussi utilisés comme matériau permettant de réaliser des modelés de terrains dans le cadre d'aménagements des paysages ou de reprofilage de certains terrains, et pour le rechargement d'anciennes carrières et ballastières dans le cadre de la remise en état des lieux. Il peut être utile pour la création des espaces pour les industriels, pour des parcs de loisirs, pour des aménagements ferroviaires ou routiers ou encore pour la création d'îles artificielles

III.5.2- Réhabilitation de sites naturels : [5]

L'un des emplois possibles des matériaux de dragage est leur réutilisation pour restaurer l'environnement ; ils peuvent servir, par exemple, à la construction d'habitats aquatiques ou terrestres pour la faune (oiseaux, poissons.), ou pour la création de parcs naturels (îles.) et la restauration de zones humides.

III.6- Conclusion :

Ce chapitre traite de la gestion des sédiments de dragages et de leur utilisation dans différents secteurs. Le secteur des travaux publics, par des routes, des barrages et des ponts qui peuvent former une couche de forme, Il peut également être utilisé comme matériau d'aide pour les matériaux de construction tels que le ciment et les briques rouges. Dans l'agriculture pour la fertilisation et la valorisation des terres, c'est parce qu'elle dispose des matières organiques nécessaires à cette fin

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

Prise en compte des exigences environnementales, économiques et techniques.

CHAPITRE IV :
BARRAGE K'SOB

Chapitre IV : Barrage K'sob

IV.1- Introduction :

Le chapitre est consacré à une description générale du Barrage K'sob et du bassin versant étudié afin de déterminer les caractéristiques géographiques, physiographiques et géologiques, bases indispensables à la compréhension future des mécanismes hydrologiques des cours d'eau.

IV.2- Historique : [12]

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

Par suite de l'envasement progressif de la retenue, sa capacité initiale de 12 Hm³ est tombée à 3Hm³ en 1970, hauteur construite est de 31m. Pour remédier à cette situation, la surélévation du barrage K'sob a été prévue dans le cadre du premier plan quadriennal.

La surélévation du barrage sur une hauteur de 15m portera la capacité utile de la retenue à 29.5 Hm³ et assurera une régularisation à l'irrigation de 13000Ha dont 4250 Ha pour la culture intensive (culture maraîchère, arbres fruitiers et fourrage etc....) et 2000 Ha 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 42 voûtes s'appuyant sur deux culées poids de rive et sur 41 contreforts dont 30 dans la partie centrale. Ce sont des contreforts à béquilles et 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. [12]

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.



FigureIV.1- Vue aérienne du barrage du K'sob par Google Earth.

IV.3- Le bassin versant :

IV.3.1- Caractéristiques morpho métriques et physiques du Bassin versant :

Les données utilisées des caractéristiques morpho métriques et physiques du bassin versant du K'sob ont été prises des travaux de l'ANB.

IV.3.1.1- Surface :

La surface du B.V du K'sob a été mesurée grâce au logiciel AUTO-CAD 2004. Elle est de l'ordre 1460km².

IV.3.1.2- Périmètre :

Le périmètre du B.V du K'sob mesuré par "AUTO-CAD 2004" est de 180 km.

IV.3.1.3- Indice de compacité de Graveleuse :

$$K_G = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi} \cdot A} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

K_G : Indice de compacité de Graveleuses

P : Périmètre stylisé en km du bassin versant

A : Superficie du bassin versant en km².

Le coefficient de Graveleuses du B.V. du K'sob est de 1.26.

* Lorsque K_G est proche de 1 le bassin versant est de forme quasiment circulaire.

* Lorsque le K_G supérieur à 1 bassin versant est de forme allongée.

D'après K_G obtenu, le bassin versant du K'sob est de forme allongée.

IV.3.1.4- Relief

IV.3.1.4.1- Courbe hypsométrique et diagramme de fréquence

Les résultats obtenus à l'aide du logiciel Surfer 08, sont représentés dans le tableau IV-1, et les courbes de niveau du bassin versant sont données dans la figure IV-2 et IV-3.

Tableau IV.1 - Cumule des surfaces

		Surfaces partielles		Surfaces cumulées	
		Si en km ²	%	Si en km ²	%
Inf à 700	700	42,7	3,1	42,7	3,01
700-800	800	86,9	6,13	129,6	9,14
800-900	900	222,4	15,69	352	24,84
900-1000	1000	309,5	21,83	661,5	46,68
1000-1100	1100	254,1	17,92	915,6	64,61
1100-1200	1200	105,33	7,43	1020,93	72,04
1200-1300	1300	98,8	6,67	1119,73	79,01
1300-1400	1400	91,66	6,46	1211,39	85,48
1400-1500	1500	112,9	7,96	1324,29	93,44
1500-1600	1600	64,9	4,58	1389,19	98,02
1600-1700	1700	22,6	1,59	1411,79	99,62
Sup. à 1700		5,4	0,38	1417,19	100

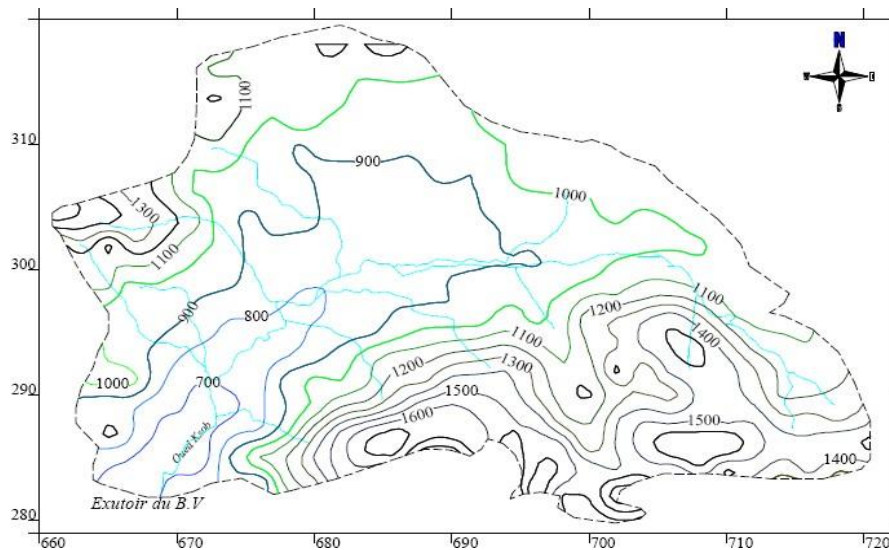


Figure IV.2- Carte hypsométrique du B.V du K'sob

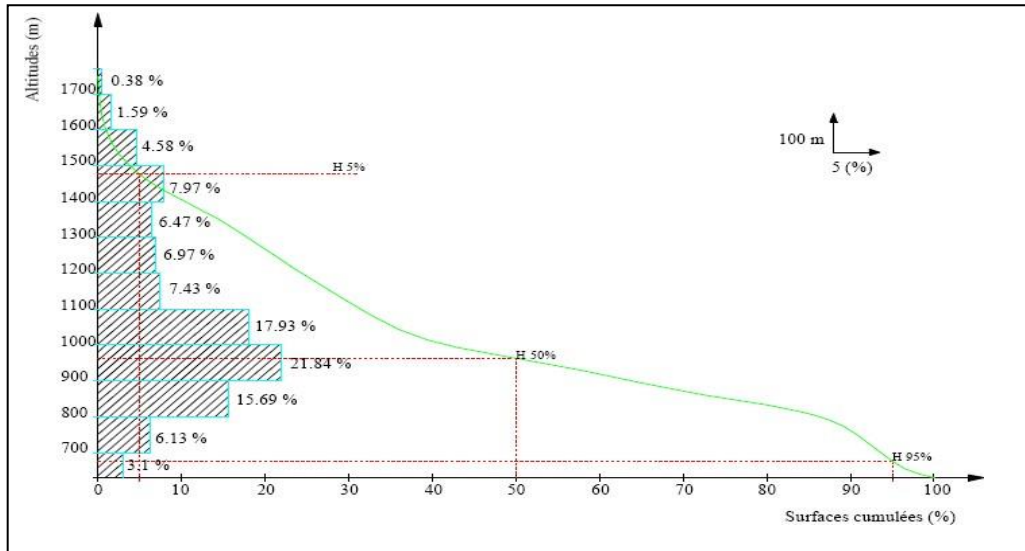


Figure IV.3 - Courbe hypsométrique du B.V du K'sob

A partir de cette courbe, on détermine :

- * l'altitude à 95% de la surface : $H_{95} = 676\text{m}$;
- * l'altitude à 5% de la surface : $H_5 = 1475\text{m}$;
- * l'altitude médiane : $H_{50} = 963\text{m}$.

L'altitude moyenne est définie aussi par la formule suivante :

$$\bar{h} = \frac{\sum S_i \cdot \bar{H}_i}{S}$$

D'où : S : surface totale du bassin versant ; S_i : surface partielle, \bar{H}_i : l'altitude moyenne entre deux courbes niveau.

$$\bar{h} = 107$$

IV.3.1.4.2-Indice de pente :

ROCHE a proposé un indice de pente, il est donné par la formule :

$$Ip = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_i^n \sqrt{S_i} (H_i - H_{i-1})$$

L : Longueur de rectangle équivalent (m), S_i : Surface partielle correspondante (%).

Soit : $Ip = 13.75$.

IV.3.1.4.3- Indices de pente globale :

Les reliefs du bassin versant sont classés d'après cet indice suivant la classification de l'Orstom : $I_g = D/L$

Où

I_g : indice globale de Roche

D : dénivelée totale (m).

$$D = H_{95} - H_5 = 1475 - 676 = 799\text{m}$$

Donc l'indice de pente globale du bassin versant du K'sob est de : $I_g = 0.012$;

D'après I_g obtenu, le B.V du K'sob est de relief modéré.

IV.3.1.4.4- Pente moyenne

$$P_m = \frac{l}{A} \sum D_i$$

Avec :

P_m : Pente moyenne du bassin versant en ‰

l : Largeur du rectangle équivalent en km

D_i : Différence de niveau entre deux courbes consécutives

A : Surface élémentaire en km^2 .

La pente moyenne du bassin versant du K'sob est de l'ordre de 15,8 ‰.

Tableau IV.2- Distribution des pentes

Classe de pente ‰	Surface en km^2	Surface en %
0 – 10	786	55.44
20 – 25	317.03	22.06
25 – 35	243.46	17.7
+ 35	70.1	4.97

D'après le tableau, on remarque que presque 60% de la surface totale du bassin versant à une pente comprise entre 0 et 10 pour mille.

IV.3.1.5- Récapitulatif des caractéristiques principales du B.V :

Le tableau suivant résume les caractéristiques principales du bassin versant du K'sob.

Tableau IV.3- Quelques caractéristiques morpho métriques du B.V du K'sob

Caractéristiques morpho métriques	Résultats	Unité	Observation
Surface	1460	km ²	
Périmètre	180	km	
Altitude moyenne	1070	m	
Indice de Graveleuses	1.26		Forme allongée
Indice de pente globale	0.012	m/km	Relief modéré
Pente moyenne	15.8	m/km	
Capacité initiale	11.6	hm ³	
Surface de plan d'eau	121	ha	
Altitude max de retenu	590	m	
Hauteur max	32	m	
Superficie du B V	1460	km ²	
Hauteur de surélévation	15	km ²	
Hauteur max de B V	46	m	
Envasement moyen annuel	0.800	hm ³ /an	
Volume de vase existante	15	hm ³	
Hauteur de l'envasement actuel	12	m	

IV.4- l'Oued de K'sob :

Le Oued K'sob situe aux confins Nord de grand bassin de Hodna. Il constitue la partie Ouest des hautes plaines constantinoises, représentant un trait d'union entre le Telle et les monts du Hodna.

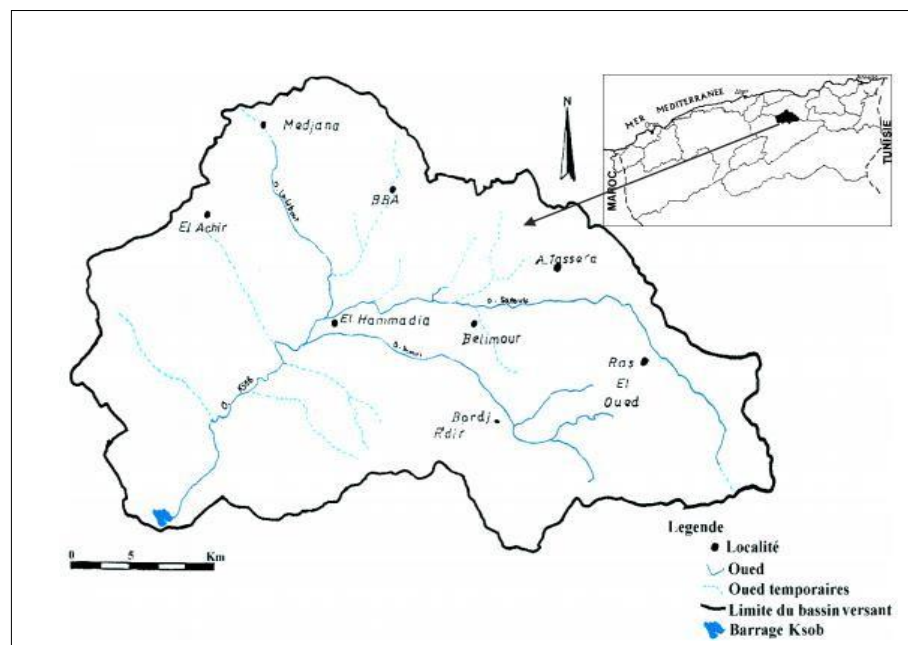


Figure IV.4- Carte de bassin versant d'Oued K'sob.

IV.3.1- Situation géographique :

Au Nord, sa limite est constituée par la ligne des partages des eaux entre le bassin du Soummam et le Chotte d'El-Hodna jusqu'au Djebel Mourissane puis jusqu'au sommet de Teniet Ben Azrag sur le Djebel Tarchett .Cette limite continue vers le Nord-Ouest jusqu'au sommet de Djebel Manssorah.

Au Sud est constituée par les monts de Honda matérialisés par la ligne de crête Ouest-Est de Djebel Maàdid.

A l'Est, s'étend de Djebel Safiet El Hamra jusqu'à L'Elalleche en prenant la direction Nord-Ouest à Dràa Ouled Dehleb, passant par Bir Aissa.

A l'Ouest sa limite est Nord -Sud de Djebel Manssorah jusqu'au niveau du barrage K'sob.

IV.5- Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons discuté de l'histoire, le Barrage K'sob et aussi le bassin versant du barrage et ses propriétés physiques. On a décrit l'Oued de K'sob et sa situation géographique.

CHAPITRE V :
VALORISATION EN TECHNIQUES
ROUTIÈRES

Chapitre V : Valorisation en techniques routières

V.1- Introduction :

Ce chapitre fournit des moyens d'utiliser la vase dans les techniques routières, et comment faire face aux obstacles qui menacent le succès du projet.

Pour cela on doit d'abord faire la classification du notre vase selon le GTR et les conditions de leur utilisation en remblai et en couches de formes.

V.2- Classification des sols selon le GTR : [13]

La classification des sols se fait à partir de différents paramètres. Ces paramètres sont toujours déterminés sur la fraction 0/50 mm qui est la fraction susceptible d'être identifiée par les essais de laboratoire usuels.

V.2.1- Principe général : [13]

Le GTR utilisent trois types de paramètres pour classer un sol :

- Les paramètres de nature.
- Les paramètres de comportement mécanique.
- Les paramètres d'état.

V.2.1.1- Les paramètres de nature : [13]

Il s'agit de définir des caractéristiques intrinsèques des sols. Deux paramètres caractérisent la nature d'un sol :

V.2.1.1.1- La granularité :

L'étude est basée sur trois grandeurs issues d'une analyse granulométrique :

- **La valeur du Dmax** : dimension des plus gros granulats
- de 50 mm : sols fins, sableux et graveleux (classes A, B, D1 et D2)
- + de 50 mm : sols blocailleux (classes C et D3)

▪ La valeur du tamisât à 0,08 mm

+ de 35 % : sols fins de type A ; ils peuvent être considérés comme régis par celui de la fraction fine ($\leq 80 \mu\text{m}$).

- de 35 % et + de 12% : sols sableux et graveleux riches en fines (classes B5 et B6).

- de 12 % : sols sableux et graveleux pauvres en fines (classes B1 à B4, D1 et D2).

▪ La valeur du tamisât à 2 mm

- de 70 % : sols à tendance graveleuse (B3, B4 et D2).

+ de 70 % : sols à tendance sableuse (B1, B2 et D1).

V.2.1.1.2- L'argilosité :

L'étude est basée soit sur la valeur de l'indice de plasticité (I_p) du sol, soit sur la valeur au bleu sec (VBS).

Le GTR propose dans de nombreux cas de se référer à l'indice de plasticité, mais l'évolution des techniques d'essai conduit généralement à mesurer la valeur au bleu.

▪ Indice de plasticité I_p :

$I_p \leq 12$: sols faiblement argileux,

$12 \leq I_p \leq 25$: sols moyennement argileux,

$25 \leq I_p \leq 40$: sols argileux et très argileux.

▪ Valeur au bleu VBS :

$VBS \leq 0,1$: sol est insensible à l'eau

$0,1 \leq VBS \leq 0,2$: apparition de la sensibilité à l'eau.

$0,2 \leq VBS \leq 1,5$: seuil distinguant les sols sablo-limoneux.

$1,5 \leq VBS \leq 2,5$: sols limoneux de plasticité moyenne.

$2,5 \leq \text{VBS} \leq 6$: sols argileux.

$8 \leq \text{VBS}$: sols très argileux.

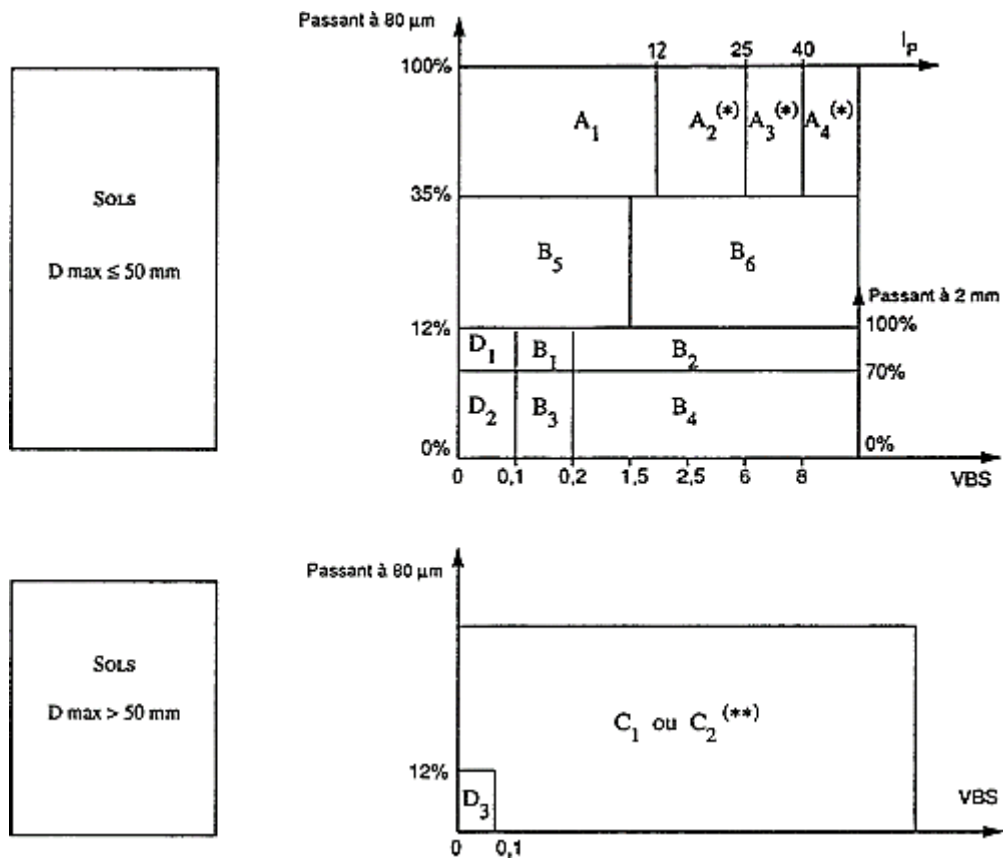


Figure V.1- Tableau synoptique de classification des sols

(P. Rossi, L. Gavois et G. Raoul)

V.2.1.2- Les paramètres de comportement mécanique : [13]

Il s'agit de caractériser l'aptitude d'un sol à être utilisé en couche de forme. Trois paramètres de comportement mécanique ont été retenus :

- Le coefficient "Los Angeles" (LA) ;
- Le coefficient "Micro-Deval en présence d'eau" (MDE) ;
- Le coefficient de "friabilité des sables" (FS)

V.2.1.2.1- Le coefficient "Los Angeles" L.A. et le coefficient "Micro-Deval en présence d'eau" M.D.E :

Ces paramètres ne sont pris en considération que pour juger de l'utilisation possible des sols en couche de forme. Ils distinguent les matériaux dont la fraction granulaire est susceptible de résister au trafic.

- L.A. et M.D.E. ≤ 45 : sols pouvant être utilisés tels quels dans la construction des couches de forme.
- L.A. et M.D.E. > 45 : sols risquant de se fragmenter pour se transformer en un sol constitué en majorité d'éléments fins, inutilisable dans son état naturel sans dispositions particulières.

V.2.1.2.2- Le coefficient de "friabilité des sables" F.S :

Ce paramètre n'est pris en considération que pour juger de l'utilisation possible des sols B1, B2 et D1 en couche de forme. Ils distinguent les matériaux dont la fraction granulaire est susceptible de résister au trafic.

- F.S. ≤ 60 : sols pouvant être utilisés tels quels dans la construction des couches de forme.
- F.S. > 60 : sols risquant de se fragmenter pour se transformer en un sol constitué en majorité d'éléments fins, inutilisable dans son état naturel sans dispositions particulières

V.2.1.3- Les paramètres d'état : [13]

Il s'agit de caractériser l'état hydrique d'un sol.

V.3- Conditions d'utilisation des matériaux en remblai et en couches de formes :

V.3.1- Conditions d'utilisation des matériaux en remblai :

La classification GTR permet de définir les modalités d'utilisation des matériaux en remblai en tenant compte de leur état hydrique constaté à l'extraction et de la situation météorologique qui modifie cet état au moment de la mise en œuvre des matériaux. [14]

V.3.1.1- Conditions météorologiques :

Selon le GTR, les différentes situations météorologiques sont désignées par les signes ++, +, = et -. Ces symboles expriment le sens dans lequel a tendance à varier la teneur en eau en fonction de la situation météorologique. [14]

- **pluie forte ++** : exprime que la situation météorologique a pour effet d'accroître la teneur en eau du matériau de manière brutale et imprévisible.
- **pluies faibles +** : exprime que la situation météorologique a pour effet d'accroître la teneur en eau de manière lente et relativement prévisible.
- **ni pluie – ni évaporation importante =** : exprime que la situation météorologique n'a pas d'action sensible sur la teneur en eau du matériau considéré.
- **évaporation importante –** : diminution de la teneur en eau (température élevée ou temps sec ou vent)

V.3.1.2- Conditions d'utilisation des matériaux en remblai :

Les conditions d'utilisation en remblai présentées dans les tableaux se groupent en sept rubriques symbolisées par une lettre. [15]

- **E : Extraction** : [15]

Le mode d'extraction des déblais peut interférer sensiblement sur la qualité des remblais dans la mesure où :

- **L'extraction En Couche** : (d'épaisseur de l'ordre de 0,1 à 0,3 m) permet une bonne fragmentation et un tri relatif des différentes couches de matériaux. Elle a

la particularité d'exposer au maximum les sols aux agents atmosphériques, ce qui selon les cas peut-être un effet recherché ou au contraire contre-indiqué,



FigureV.2- Extraction en couche [15]

- **L'extraction Frontale** : se caractérise évidemment par des effets exactement opposés. Elle offre en plus la possibilité dans les formations stratifiées, de sélectionner le niveau présentant la meilleure portance pour le réserver à la circulation des engins de transport.



FigureV.3- Extraction frontale [15]

- **G : Action sur la granularité : [16]**

On distingue deux actions qui permettent d'agir sur la granularité :

- **Elimination des Eléments :**

> 800 mm : Cette valeur constitue une limite maximum des blocs admissibles dans le corps d'un remblai compte tenu des performances des compacteurs les plus puissants actuellement.

< 250 mm : Cette valeur constitue la dimension maximale des blocs permettant encore un malaxage du sol avec un agent de traitement

- **fragmentation complémentaire après extraction :**

Cette modalité s'applique aux matériaux rocheux évolutifs. Les moyens utilisables pour agir sur la granularité sont variés : pétardage, concassage, utilisation d'engins spéciaux.

▪ **W : Action sur la teneur en eau : [15]**

Il s'agit des différentes mesures pouvant être prescrites pour modifier l'état hydrique des matériaux et notamment : l'aération par conditions météorologiques favorables ou l'humidification.



FigureV.4- Aération [16]

Pour ce qui concerne l'humidification, il convient de distinguer deux modalités.

La première consiste en un arrosage simple durant la mise en œuvre. Elle n'a pour objectif que de maintenir l'état hydrique du matériau lorsque les conditions météorologiques sont " évaporantes ".

La seconde modalité vise quant à elle, le changement d'état hydrique du matériau. Dans ce cas il faut être conscient qu'il s'agit d'une opération délicate qui exige de grandes quantités d'eau et le recours à un brassage ou un malaxage pour la faire pénétrer au sein du matériau (une vérification de l'efficacité de l'opération s'impose avant d'en généraliser l'application sur tout un chantier).



FigureV.5- L'humidification des sols [15]

▪ **T : Traitement : [16]**

Le traitement d'un sol consiste à mélanger différents produits tels que la chaux (éventuellement sous forme de lait de chaux), des liants hydrauliques (ciment, cendres volantes, laitiers, ...) ou des correcteurs granulométriques, pour conférer aux matériaux des performances mécaniques supérieures à celles qu'ils possèdent à l'état naturel, et durables tout au long de la vie de l'ouvrage.

Dans le cas du traitement avec de la chaux ou des liants hydrauliques, il convient :

- de déterminer par une étude de laboratoire le choix du produit de traitement, les dosages nécessaires, pour atteindre les performances mécaniques recherchées et la plage de teneur en eau du mélange sol-liant.
- de s'assurer de la pérennité des liaisons engendrées par le traitement

- les modalités de traitement pour une couche de forme seront beaucoup plus rigoureuses que celles acceptables pour un traitement en remblai



FigureV.6



FigureV.7

Traitement à la chaux [16]

▪ R : Régalage : [15]

Sous cette rubrique est donnée une indication sur l'épaisseur des couches élémentaires à mettre en œuvre. Il ne s'agit que d'une indication approximative compte tenu des méthodes de régalage utilisées en terrassement.

Pour fixer les idées, on peut retenir :

- qu'une couche "mince" a une épaisseur de 20 à 30 cm,
- qu'une couche "moyenne" a une épaisseur de 30 à 50 cm.

▪ C : Compactage : [15]

Trois niveaux d'énergie sont distingués : faible, moyen, intense. Comme pour les épaisseurs de régalage il s'agit d'une indication qualitative sur le niveau d'énergie de compactage requis par les différents matériaux.



FigureV.8- Compactage [16]

▪ **H : Hauteur des remblais : [15]**

L'utilisation des matériaux est fonction de la hauteur du remblai.

On considère les remblais :

- faible hauteur, limités à 5 m
- hauteur moyenne, limités à 10 m
- grande hauteur, supérieurs à 10m



FigureV.9- Hauteur des remblais [16]

Tableau V.1 - Tableau récapitulatif des conditions pouvant être imposées pour utiliser les différents matériaux en remblai [15]

Rubrique	Code	Conditions d'utilisation
E Extraction	0	-Pas de condition particulière à recommander
	1	-Extraction en couches (0,1 à 0,3m)
	2	-Extraction frontale (pour un front de taille > 1 à 2m)
G Action sur la Granularité	0	-Pas de condition particulière à recommander
	1	-Elimination des éléments > 800mm
	2	-Elimination des éléments > 250 mm pour traitement
	3	-Fragmentation complémentaire après extraction
W Action sur la teneur en eau	0	-Pas de condition particulière à recommander
	1	-Réduction de la teneur en eau par aération
	2	-Essorage par mise en dépôt provisoire
	3	-Arrosage pour maintien de l'état
	4	-Humidification pour changer d'état
T Traitement	0	-Pas de condition particulière à recommander
	1	-Traitement avec un réactif ou un additif adaptés
	2	-Traitement à la chaux seule
R Régilage	0	-Pas de condition particulière à recommander
	1	-Couches minces (20 à 30 cm)
	2	-Couches moyennes (30 à 50 cm)
C Compactage	1	-Compactage intense
	2	-Compactage moyen
	3	-Compactage faible
H Hauteur des remblais	0	-Pas de condition particulière à recommander
	1	-Remblai de hauteur faible ($\leq 5m$)
	2	-Remblai de hauteur moyenne ($\leq 10m$)

V.3.2- Conditions d'utilisation des matériaux en couches de formes :

V.3.2.1-Conception de la couche de forme :

V.3.2.1.1-Définition et nature de la couche de forme :

La couche de forme est une structure plus ou moins complexe permettant d'adapter les caractéristiques aléatoires et dispersées des matériaux de remblai ou du terrain en place, aux caractéristiques mécaniques, géométriques, hydrauliques et thermiques prises comme hypothèses dans la conception de la chaussée.

La surface supérieure de cette structure d'adaptation constitue la "plate-forme support de chaussée" (PF).

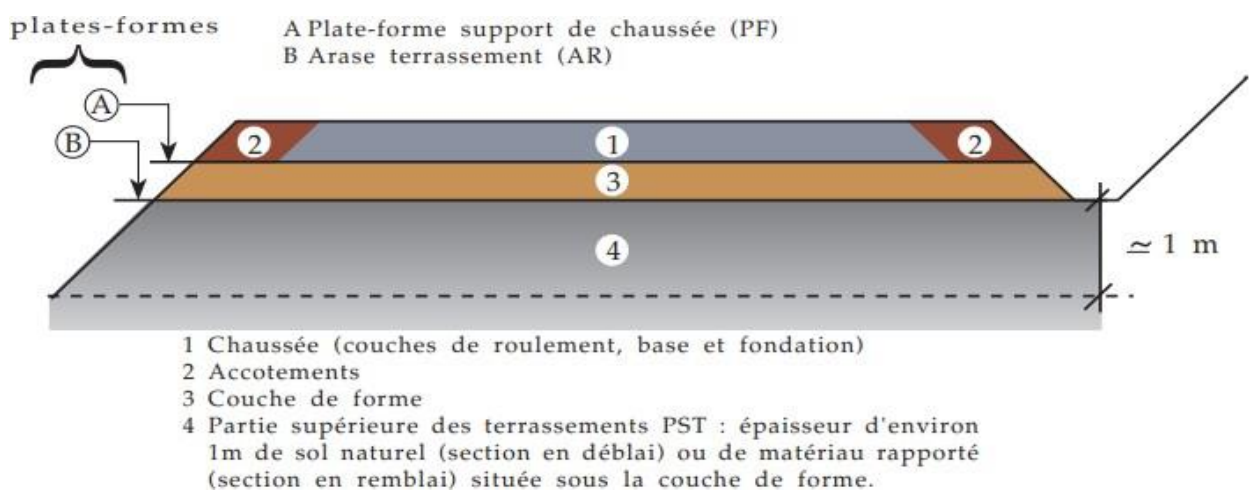


Figure V.10- Définition des différents termes [15]

V.3.2.1.2-Fonctions et conception de la couche de forme :

La couche de forme répond à la fois à des objectifs :

- à court terme (vis-à-vis de la phase de réalisation de la chaussée)
- à long terme (lorsque l'ouvrage est en service).

Selon le cas de chantier, on cherchera à assurer, avec la couche de forme, l'ensemble ou certaines des fonctions suivantes :

▪ Fonctions à court terme : [15]

- un nivellement de la plate-forme support de chaussée permettant de réaliser la couche de fondation dans les tolérances d'épaisseur fixées,
- une portance suffisante, compte tenu en particulier des aléas météorologiques, pour une exécution correcte du compactage des couches de chaussées et l'obtention d'un bon uni,
- une protection du sol support vis-à-vis des intempéries,
- une traficabilité permettant la circulation, dans de bonnes conditions, des engins approvisionnant les matériaux de la couche de fondation,
- éventuellement supporter le trafic de chantier pour d'autres besoins.

▪ Fonctions à long terme : [16]

- homogénéiser la portance du sol : permettant ainsi de concevoir des chaussées d'épaisseur constante.
- assurer le maintien dans le temps : en dépit des fluctuations de l'état hydrique des sols supports sensibles à l'eau.
- améliorer la portance de la plate-forme : afin d'optimiser le coût de l'ensemble "couche de forme structure de chaussée".
- assurer la protection thermique des sols supports gélifs.
- contribuer au drainage de la chaussée.

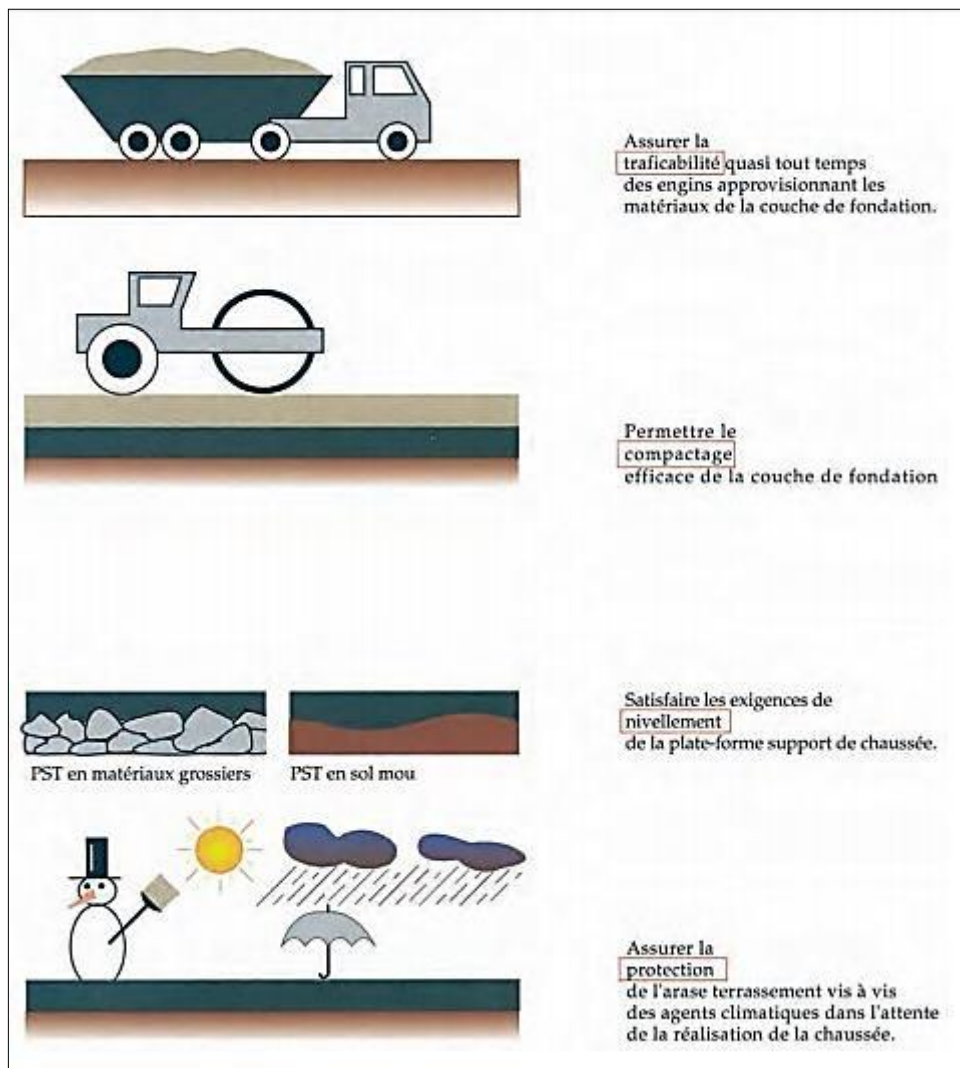


Figure V.11- Fonctions à court terme [15]

V.3.2.1.3-Critères associés à la construction de la chaussée : [15]

En premier lieu, pour que la couche de forme puisse être exécutée de manière satisfaisante, il est nécessaire que l'orniérage de l'arase des terrassements soit limité, ce qui amène à rechercher à ce niveau une portance minimale à court terme. L'expérience montre qu'une valeur de module EV2 à la plaque (ou module équivalent à la dynaplaque) de l'ordre de 35 MPa est généralement nécessaire pour mettre en œuvre une couche de forme en matériaux traités, tandis qu'une couche de forme en matériaux granulaires peut être exécutée sur une arase de 15 à 20 MPa seulement.

Pour la réalisation des couches de chaussée, les exigences minimales préconisées antérieurement sont maintenues :

- la plate-forme support de chaussée doit être nivelée avec une tolérance de + ou - 3 cm,
- la déformabilité de la plate-forme, au moment de la mise en œuvre des couches de chaussée, doit être telle que :
 - le module EV2 déterminé à la plaque, ou le module équivalent à la dynaplaque soit supérieur à 50 MPa.
 - la déflexion relevée au déflectographe Lacroix ou à la poutre Benkelman sous essieu de 13 tonnes soit inférieure à 2 mm

Dans certaines conditions, comme celles de grands chantiers sur lesquels la circulation sur la couche de forme sera importante, ou du fait de la nature des matériaux de la couche d'assise et des conditions d'exécution de chantier envisagées (épaisseurs et matériels de compactage), il pourra s'avérer utile d'adopter des seuils plus exigeants. Mais cela ne doit pas être systématique et doit être raisonné.

V.3.2.2-Matériaux de couche de forme : [15]

Pour qu'un matériau puisse être employé en couche de forme il faut qu'il satisfasse aux critères définis ci-après. Certains matériaux pourront être utilisés en l'état, d'autres pourront être rendus aptes à un emploi en couche de forme moyennant une modification de leur nature et/ou de leur état par une technique.

V.3.2.2.1-Critères à satisfaire : [15]

Les critères à prendre en considération concernent :

- **L'insensibilité à l'eau : [16]**

Le matériau de couche de forme doit avoir les caractéristiques mécaniques indépendantes de son état hydrique, soit à l'état naturel, soit par traitement à la chaux ou avec des liants hydrauliques.

- **dimension des plus gros éléments : [16]**

La dimension des plus gros éléments doit permettre d'assurer un nivellement de la plateforme dans les tolérances requises, en général ± 3 cm.

- **Résistance au trafic de chantier : [15]**

Un matériau de couche de forme, utilisé sans traitement avec un liant hydraulique, doit être suffisamment résistant à la fragmentation et à l'attrition pour ne pas donner lieu, sous l'effet du compactage et du trafic, à la formation d'éléments fins en surface qui le rendraient sensible à l'eau. Cette résistance est appréciée à partir des résultats d'essais mécaniques (Los Angeles, micro-Deval en présence d'eau, friabilité des sables).

Il faut encore que sa résistance aux efforts tangentiels transmis par les pneumatiques (en accélération, virage, freinage) soit suffisante pour éviter tout risque d'enlèvement (problèmes rencontrés surtout avec les matériaux granulaires homométriques roulés).

- **Sensibilité au gel : [15]**

L'incidence néfaste du gel s'apprécie sous deux aspects :

- la dégradation des roches et des matériaux traités à la chaux et/ou aux liants hydrauliques par "gélifraction",
- le gonflement au gel des sols par "cryosuccion".

V.3.2.2.2- Techniques de préparation et de protection des matériaux pour emploi en couche de forme :

Les techniques considérées se rangent en quatre rubriques :

- **G : Granularité : [16]**

Les actions envisageables sur la granularité sont :

- élimination de la fraction fine sensible à l'eau 0/d par criblage dans l'état naturel ou avec lavage-débouage,
- élimination de la fraction grossière,

- élimination à la fois de la fraction fine sensible à l'eau et de la fraction grossière,
- fragmentation de la fraction grossière pour produire une certaine quantité d'éléments fins.

- **W : Etat hydrique : [16]**

Les actions envisageables sur l'état hydrique sont :

- un arrosage (superficiel),
- une humidification (changement d'état hydrique).

- **T : Traitement : [16]**

Les traitements envisageables sont :

- liant hydraulique,
- chaux,
- correcteur granulométrique,
- mixte.

- **S : Protection superficielle : [16]**

Suivant les matériaux de couche de forme utilisés, les techniques de protection superficielle pouvant être appliquées sont :

- réalisation d'un enduit de cure gravillonné ou éventuellement clouté,
- réalisation d'une couche de fin réglage,

Tableau V.1 - Tableau récapitulatif des techniques de préparation des matériaux pour emploi en couche de forme.

Rubrique	Code	Technique de préparation des matériaux
G Action sur la granularité	0	-Pas de condition particulière à recommander
	1	-Elimination de la fraction 0/d sensible à l'eau
	2	-Elimination de la fraction grossière empêchant un malaxage correct du sol
	3	-Elimination de la fraction grossière empêchant un réglage correct de la plate-forme
	4	-Elimination de la fraction 0/d sensible à l'eau et de la fraction grossière empêchant un réglage correct de la plate-forme
	5	-Fragmentation de la fraction grossière pour l'obtention d'éléments fins
W Action sur la teneur en eau	0	-Pas de condition particulière à recommander
	1	-Arrosage pour maintien de l'état hydrique
	2	-Humidification pour changer d'état hydrique
T Traitement	0	-Pas de condition particulière à recommander
	1	-Traitement avec un liant hydraulique
	2	-Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux
	3	-Traitement mixte : chaux + liant hydraulique
	4	-Traitement à la chaux seule
	5	-Traitement avec un liant hydraulique et éventuellement un correcteur granulométrique
	6	-Traitement avec un correcteur granulométrique
S Protection superficielle	0	-Pas de condition particulière à recommander
	1	-Enduit de cure éventuellement gravillonné
	2	-Enduit de cure gravillonné éventuellement clouté
	3	-Couche de fin réglage

V.4- Conclusion :

Dans ce chapitre, on a discuté la classification des matériaux selon le GTR pour leurs valorisations en techniques routières.

CHAPITRE VI :

CARACTÉRISATION ET

TRAITEMENT DES SÉDIMENTS DE

DRAGAGE

Chapitre VI : Caractérisation et traitement des sédiments de dragage

VII.1- Introduction :

A partir de ce chapitre on entreprend notre contribution d'étude expérimentale qui sera présentée comme suit :

- Caractéristiques des matériaux testés.
- Matériels utilisés et manipulation.

Le programme expérimental a été réalisé dans le laboratoire du Génie Civil de l'Université de M'sila.

VII.2- Essais d'identifications :

VI.2.1- Analyse chimique :

La diffraction des rayons X est une méthode universellement utilisée pour identifier la nature et la structure des produits cristallisés. En effet, cette méthode ne s'applique qu'à des milieux cristallins (roches, cristaux, minéraux, pigments, argiles...) présentant les caractéristiques de l'état cristallin, c'est-à-dire un arrangement périodique, ordonné et dans des plans réticulaires tridimensionnels des atomes constitutifs.

Les corps cristallins peuvent être considérés comme des assemblages de plans réticulaires plus ou moins denses. Les plans contiennent les atomes : certains plans contiennent bien plus d'atomes que d'autres en fonction de la formule chimique du minéral. Ces plans réticulaires sont séparés par des distances caractéristiques (d) selon la nature du cristal ou du minéral considéré. Trois ou quatre distances réticulaires bien choisies permettent une reconstitution du réseau cristallin du minéral.

Les atomes s'organisent donc en plans réticulaires plus ou moins denses qui sont désignés par leurs coordonnées (h, k, l) dans un système de repérage de l'espace. Avec un rayonnement de longueur d'onde suffisamment petit on peut obtenir des diffractions par les plans réticulaires. Cette réfraction est d'autant plus intense que le plan est « dense » c'est-à-dire riche en atomes.

La théorie a été élaborée concomitamment par W.L. Bragg et G.Wulff : on l'appelle la relation de Wulff-Bragg. Un faisceau de rayons X incident de longueur d'onde λ sera réfléchi par une famille de plan (h, k, l), que dans la mesure où il rencontre ces plans sous un certain angle θ dit angle de Bragg tel que :

$$\sin \theta = n\lambda / 2d_{(h,k,l)}$$

La position en 2θ est convertie en distance interréticulaire d par la loi de Bragg, afin d'avoir une valeur indépendante de la longueur d'onde des rayons X. L'intensité I de chaque pic est exprimée en pourcent, étant la hauteur du pic le plus intense. On constitue ainsi des bases de données, et le diagramme mesuré sur le produit inconnu est comparé de manière informatique à toutes les fiches des bases de données. La base de données la plus complète est la Powder diffraction file (PDF) de l'ICDD (ex-JCPDS : Joint Committee on Powder diffraction standards).

L'intérêt de cette méthode est qu'elle permet de distinguer les différentes formes de cristallisation d'un même composé (par exemple pour la silice, distinguer le quartz de la cristobalite). Cependant, elle ne peut généralement pas permettre d'identifier des composés amorphes.

La procédure d'identification des phases se fait en deux étapes : une étape de recherche dans une base (search), puis une confrontation des fiches probables avec ce qui est possible chimiquement (match) ; on parle donc fréquemment de search/match pour désigner cette procédure.

VI.2.2- Matières organiques :

La teneur en matières organiques (MO) est le quotient de la masse de matières organiques contenues dans un échantillon de sol par la masse totale des particules solides minérales et organiques.

a- Objectif :

Le présent document s'applique à la détermination de la teneur massique en matières organiques de la fraction granulométrique inférieure ou égale à 2 mm d'un échantillon de sol ou d'un matériau.

b- Principe de l'essai :

L'essai consiste à déterminer la perte de masse d'un échantillon préalablement séché, après calcination dans un four à une température de 450 °C et 500°C.

C- Mode opératoire :

- L'échantillon est séché dans l'étuve à 50 C° ;
- Tamiser l'échantillon à 0.08 mm ;
- Prendre 200 grammes de sol ;
- Placer les creusets devant contenir les prises d'essai dans le four à une température comprise 450 °C et 500 °C pendant 3 h au moins ;
- Peser l'échantillon.

VI.2.3- Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique permet de déterminer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau, et comprend :

Un tamisage pour la distribution dimensionnelle en poids des particules de dimensions supérieures ou égales à 80 micromètres.

La sédimentométrie pour la distribution dimensionnelle en poids des particules de dimensions inférieures à 63 micromètres.

VI.2.3.1- Analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P94-056 :

a) But de l'essai :

Déterminer la répartition des grains de sol suivant leur dimension dans un échantillon, et la représentation de la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension.

L'essai consiste à étudier la granulométrie du sol, c'est à dire la distribution des grains suivant leur dimension en déterminant par pesée l'importance relative des classes de grains de dimensions bien définies. La taille des grains est comprise entre à 80 µm (0,08 mm) et 10 cm.

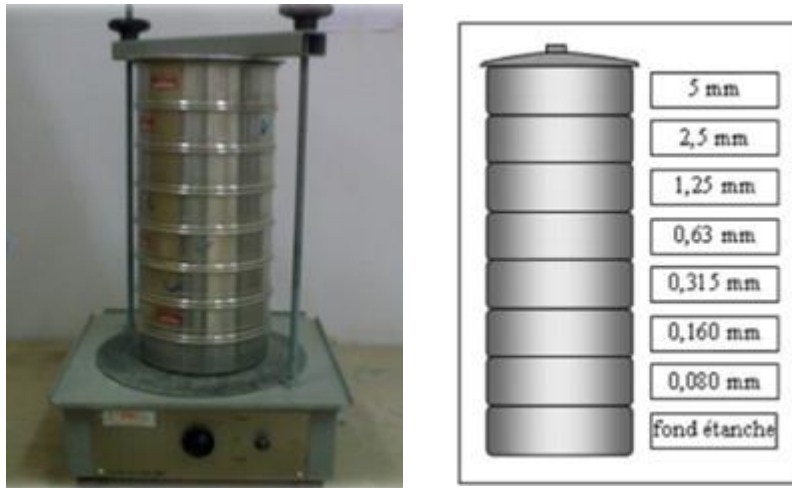


Figure VI.1- Analyse granulométrique par tamisage

b) Appareillage utilisé :

- * Une colonne de tamis
- * Tamiseuse mécanique
- * Balance de précision

c) Mode opératoire :

- Prélever une masse de 1200 g des sols
- Peser chaque tamis à vide, soit « m_i » la masse du tamis.
- Constituer une colonne de tamis propre et sec dont l'ouverture des mailles de haut en bas (exprimée en mm) [2 - 1,25 - 0,63 - 0,315 - 0,2 - 0,08, fond].
- Verser le matériau sur la colonne de tamis et vibrée à l'aide de la tamiseuse électrique pendant environ 5 minutes.
- A la fin du tamisage peser les refus en matière retenue par chaque tamis à 1 gramme près, soit M_i = la masse de tamis (i) + matériau
- Calculer la différence entre M_i et m_i (tamis de plus grandes mailles correspond au refus partiel « R_1 » de tamis 1).
- Reprendre la même opération avec le tamis inférieur immédiatement.
- Ajouter le refus obtenu sur le second tamis à R_1 , soit R_2 la masse de refus m du tamis numéro 2 ($R_2 = R_1 +$ refus partiel sur tamis numéro 2).
- Poursuivre la même opération avec tous les tamis pour obtenir les masses de différents refus cumulés R_3, R_4, \dots, R_n le tamisât est calculé par relation : $T = 100 - R_c$
- R_c : Refus cumulé en %. T : Tamisât en%

VI.2.3.2- Analyse granulométrique par sédimentation selon la norme NF P 94-257 :

- a) **But de l'essai :** Détermination de la distribution pondérale de la taille des particules fines d'un sol.
- b) **Matériels spéciales :**
- Deux éprouvettes de 2,5 l ;
 - Densimètre ;
 - Thermomètre ;
 - agitateur manuel et mécanique.
- c) **Mode opératoire :**
- Préparer la solution de défloculant 5g/l ;
 - Prendre 60 cm³ de défloculant et ajouter 440 cm³ d'eau distillée pour obtenir une solution 500 cm³ et on va verser 30g de sol ;
 - Conservé à l'abri de la lumière quelques jours ;
 - Procéder à l'agitation mécanique pendant environ 3 min ;
 - Verser la suspension à l'une des deux éprouvettes et la compléter avec de l'eau distillée jusqu'à 2 litre. Cette éprouvette sera appelée dorénavant l'éprouvette B (l'autre éprouvette sera dite : l'éprouvette A) ;
 - Procéder à une homogénéisation de la suspension à l'aide de l'agitateur manuel ;
 - Verser à l'éprouvette A 2 litre de l'eau distillée ;
 - Introduire le densimètre dans la suspension et procéder aux lectures. Les temps de lecture sont : 0,5' ; 1' ; 2' ; 5' ; 10' ; 20' ; 40' ; 80' ; 240' ; 1440' ;
 - à partir la 3eme lecture, retirer le densimètre, puis le plonger dans l'éprouvette A ;
 - à l'aide du thermomètre, procéder à la lecture de la température dans chaque lecture du densimètre.

VI.2.4- Les limite d'Atterberg (NF P94-051) :

a) **But de l'essai :**

On détermine par cet essai les limites de liquidité et de plasticité d'un sol. Cet essai est réalisé sur la partie de sol passant au tamis de 400 µm.

b) **Matériels spéciales :**

- **Pour la limite de liquidité et de plasticité (Méthode de la coupelle) :**
- Appareil de Casagrande.
 - Outil à rainurer.

- Une spatule. Surface lisse non absorbante.



Figure VI.2 : Matériels spéciaux de limites d'Atterberg.

- Pour la limite de liquidité (Méthode de cône) :

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



Figure VI-3 : L'appareil de la pénétration du Cône

c) Principe de l'essai :

Les limites d'Atterberg consistent en des teneurs en eau limites qui marquent la transition entre deux états de consistance dans un sol cohérent.

Ces limites permettent de classer les sols selon leur plasticité et sont obtenues de manière empirique à l'aide de méthodes normalisées.

d) **Mode opératoire :**

• **Préparation du sol :**

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

1^{ère} méthode

VI.2.4.1-Détermination de la limite de liquidité selon la norme (NF P 94-051) :

- Prendre environ 200 grammes de sol.
- Malaxer la totalité de la prise de telle sorte à obtenir une pâte homogène et presque fluide.
- Prendre une partie de la pâte et l'étaler dans la coupelle de l'appareil de Casagrande l'aide de la spatule.
- Pratiquer une rainure dans cette pâte de telle sorte à la diviser en deux. L'outil à rainurer devra être tenu perpendiculairement à la coupelle.
- Soumettre la coupelle et le matériau qu'elle contient à des chocs répétés.
- Arrêter les chocs quand les deux lèvres se rejoignent sur environ 2 cm, noter le nombre de coups N correspondant.
- Prélever des deux côtés des lèvres à l'endroit où elles se sont refermées environ 5 grammes de sol afin d'en déterminer la teneur en eau.
- homogénéiser le sol et le sécher un peu puis reprendre les opérations. Il faut au moins trois essais avec un nombre de coups croissant et de préférence bien étalée entre 15 et 35

VI.2.4.2- Détermination de la limite de plasticité : (La méthode des rouleaux selon la norme NF P 94-051) :

La mesure de limite de plasticité s'effectue après celle de la liquidité. On prend un échantillon trop humide qu'on dessèche en le malaxant et en l'étalant sur le marbre. On forme une boulette de l'échantillon et, à l'aide d'une plaque ou à la main, on roule l'échantillon sur le marbre de façon à former un rouleau qu'on amincit progressivement jusqu'à ce qu'il ait atteint 3 mm de diamètre et 10 à 15 cm de longueur

-Etapas de détermination de la limite de plasticité

La limite de plasticité « W_P » : est la teneur en eau conventionnelle d'un rouleau de sol qui se fissure au moment où son diamètre atteint 3mm plus au moins 0,5 mm.

Indice de plasticité :

$$I_p = w_L - w_P$$



Figure VI.4 - Formation des rouleaux



**FigureVI.5- Obtention de
La limite de plasticité**

VI.2.4.3- La méthode de cône de pénétration :(norme NF P 94-052-1) :

L'essai consiste à mesurer, après un temps fixé, l'enfoncement d'un cône sous son propre poids dans un échantillon remanié.

La relation entre la teneur en eau du sol remanié et la pénétration pendant cinq secondes, sous son propre poids, d'un cône normalisé (angle au sommet de 30°, masse de 80 g), tombé en chute libre, est déterminée expérimentalement. On porte en abscisse les teneurs en eau (en %) et en ordonnée les pénétrations correspondantes du cône (en mm), les deux échelles étant linéaires. La droite la plus représentative est tracée à partir des points expérimentaux. Par définition la limite de liquidité est la teneur en eau du sol qui correspond à une profondeur de pénétration du cône de 17 mm.

VI.2.5 Mesure de la masse volumique : (NF XP P 94-054) :

a) But :

Par définition la masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps. Il faut distinguer :

VI.2.5.1- Masse volumique apparente :

La masse volumique apparente d'un matériau pourra avoir une valeur différente suivant qu'elle sera déterminée à partir d'un matériau compacté ou non compacté.

a) **Principe** : Remplir une mesure de 1 dm³, et en déterminer la masse.

➤ La masse volumique apparente est donnée par :

$$\text{Masse volumique apparent} = \text{masse/volume.}$$

b) **Appareillage** :

➤ Un récipient calibré.

➤ Une règle à araser.

c) **Mode opératoire** :

➤ peser le récipient.

➤ règle et arase le récipient.

➤ peser le récipient rempli.



Figure VI.6- pesé le récipient



Figure VI.7 -règle et araser



Figure VI.8 - peser le Rempli

VI.2.5.2- La masse volumique absolue :

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

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



Figure VI.9 - les éprouvettes de la masse volumique absolue

VI.2.5.3- Méthode du pycnomètre à eau (NF P 94 -054) :

a) Définition

Densités spécifiques des grains solides du sol c'est le rapport du poids du matériau sec contenu dans une certaine quantité de sol au volume des grains du sol.

$$\rho_s = w_s / v_s$$

b) Appareillage :

- Pycnomètre en verre.
- Une balance de précision.
- Un entonnoir à long col

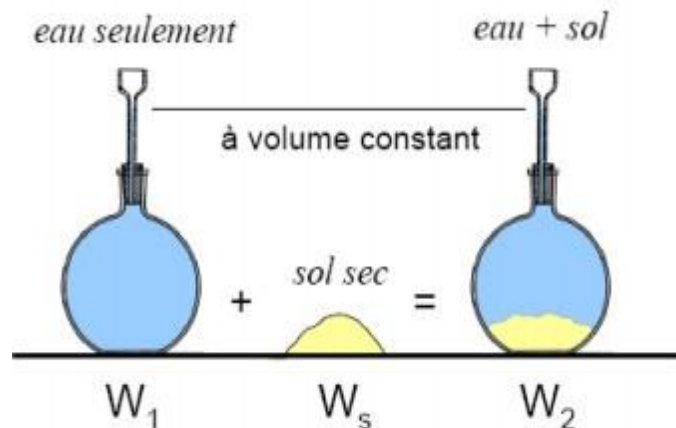


Figure VI.10 - Pycnomètre en verre.

c) Mode opératoire

- Préparer un échantillon de sable, sèche a l'étuve et refroidi.
- Peser le pycnomètre vide (sec et propre) M0.
- Deviser le couvercle et introduire 25g du matériau, peser l'ensemble, soit M1.
- Remplir la bouteille à moitié avec de l'eau et remuer énergiquement avec la tige en verre pour chasser les bulles d'aires.
- Ajouter de l'eau jusqu'à 2 cm du bord supérieur, visser à fond le couvercle et remplir à l'aide d'une pissette par le trou supérieur.
- Secouer le pycnomètre en rebouchant avec un doigt le trou du couvercle.
- Laisser Reposer un bon moment.
- Sécher les parois extérieures du pycnomètre et peser l'ensemble, soit M2.
- Vider le pycnomètre, laver et le remplir d'eau jusqu'au niveau du trou supérieur.
- Sécher les parois extérieures du pycnomètre et peser l'ensemble, soit M3

VI.2.6-L'essai au bleu de méthylène :(selon la norme : NF P-068) :

a) But de l'essai :

Cette méthode permet d'appréhender rapidement l'argilo site (présence de fines de nature argileuse) d'un sol.

b) Principe :

Le principe de la méthode consiste à contrôler l'adsorption du bleu de méthylène injecté dans un bain aqueux contenant les fines de la prise d'essai, en observant une goutte de suspension déposée sur une feuille de papier-filtre.

c) Matériels spéciales :

- 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.



FigureVI.11 - Appareillage de l'essai au bleu de méthylène

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.

VI.3- Essais mécaniques :

VI.3.1-Essai Proctor (normal et modifié) : (selon la norme : NF P 94-093)

a) But de l'essai :

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

b) Principe de la méthode :

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.

c) Matériel spécifique :

- Moule Proctor avec embase et hausse.
- Dame Proctor (normal et modifié)
- Règle à araser.
- Balance.



Figure VI.12 - Matériel de Proctor (normal et modifié).

d) Mode opératoire

VI.3.1.2- Pour Proctor normal :

- Préparation du matériau :
 - Prendre 2.5 kg du matériau.
 - Humidifier soigneusement le matériau ainsi préparé à la teneur en eau désiré
 - L'homogénéiser à la truelle, puis en le malaxant à la main ou dans un malaxeur.
- Fixer la hausse sur le moule. Lubrifier l'intérieur du moule et celui de la hausse.
- Mettre une quantité de matériaux dans le moule, suffisante pour qu'une fois compactée chacune des trois couches ait sensiblement la même épaisseur (la dernière couche devant avoir sa face supérieure au-dessus du niveau supérieur du moule, c'est-à-dire à l'intérieur de la hausse)
- Compacter chaque couche à l'aide de dame de compactage en 25 coups. S'arranger pour que le compactage soit uniforme.
- Une fois les trois couches compactées, enlever la hausse avec beaucoup de soin afin d'éviter la rupture de l'échantillon.
 - Araser le moule à l'aide de la règle.
 - Nettoyer l'extérieur du moule à l'aide d'un pinceau.
 - Peser le moule : on obtient le poids total humide.
- Enlever la base du moule.
- Arrêter l'essai quand on obtient par deux fois consécutives une diminution du poids total humide par rapport à l'essai précédent.



Figure VI.13 - Compactage de l'échantillon

VI.3.1- Pour Proctor modifié :

- L'échantillon est séché dans l'étuve à 50 C° ;
- Tamiser l'échantillon à 20 mm ;
- Diviser l'échantillon en quatre parts égale ;
- Humidifier chacun des parts à une teneur en eau ;
- Chaque part est conservé dans un sac étanche pendant 24 h pour la diffusion de l'eau ;
- Peser du moule vide
- L'embase, la hausse sont fixée 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 25coups ;
- 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 quatre 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

VI.3.2-Essai de portance C.B.R (NF P 94-078) :

L'essai consiste à mesurer les forces à appliquer sur un poinçon cylindrique pour le faire pénétrer à vitesse constante dans une éprouvette de matériau. Les valeurs particulières des deux forces ayant provoqué deux enfoncements conventionnels sont respectivement rapportés aux valeurs des forces observées sur un matériau de référence pour les mêmes enfoncements,

L'indice recherché est défini conventionnellement comme étant la plus grande valeur, exprimée en pourcentage, des deux rapports ainsi calculés

VI.3.2.1- Essai C.B.R immédiat :

On pose l'éprouvette sur la presse en position centrée par rapport au piston de poinçonnement et on procède au poinçonnement de la manière suivante :

Approcher la face supérieure de l'éprouvette vers le piston, à l'aide des dispositifs prévus sur la presse jusqu'à ce que le piston vienne affleurer le matériau.

Régler la mise à zéro du dispositif dynamométrique et celle du comparateur mesurant l'enfoncement du poinçon.

Noter les efforts de poinçonnement correspondant aux enfoncements suivants :

0,625 ; 1,25 ; 2 ; 2,5 ; 5 ; 7,5 et 10 mm

$$= \frac{\text{Effort de pénétration à 2.5 mm d'enfoncement (KN)} \times 100}{13,35}$$

$$= \frac{\text{Effort de pénétration à 5.0 mm d'enfoncement (KN)} \times 100}{19,93}$$



Figure VI.14 - Appareil de poinçonnement (essai CBR).

VI.3.2.2- Essai C.B.R après imbibition :

Après quatre (4) jours d'immersion (± 2 h) on mesure la hauteur de gonflement Δh indiquée par le comparateur, on extrait l'ensemble hors du bac d'immersion en observant un temps d'égouttage de 15 minutes puis on dépose le trépied, le comparateur, les surcharges et le disque de gonflement (figure III.22). La même procédure que la détermination de l'indice C.B.R Immédiat.

La valeur de déformation de l'éprouvette g , exprimé en pourcentage :

$$g(\%) = \left(\frac{\Delta h}{h} \right) \times 100$$

On suivra la même procédure que celle de la détermination de l'indice C.B.R Immédiat.



Figure VI.15 - Imbibition des échantillons (essai CBR).

VI.3.3- Essais de cisaillement (NF P 94-71) :

a) Introduction :

Dans n'importe quelle étude il est nécessaire de connaître la capacité portante du sol donc il est nécessaire de connaître la résistance du sol. La résistance à la compression simple, essai CBR, essai pénétromètre, essai pressiométrique, essai triaxial. Nous allons aborder l'essai de cisaillement direct à la boîte de Casagrande.

b) But de l'essai :

Les valeurs de la résistance au cisaillement ainsi définies sont portées sur un graphe appelé droite de coulomb, en fonction de la contrainte normale s'appliquant sur le plan de rupture à partir de cette courbe on tire la cohésion du sol c et l'angle de frottement.

Deux grandes catégories de sols :

- sol pulvérulent la droite de coulomb passe par l'origine c'est-à-dire la cohésion est nul
- sol cohérent : l'eau joue un rôle fondamental dans la résistance au cisaillement des sols cohérent pour simplifier le problème trois types d'essai peuvent être définie suivant qu'il y a drainage ou non ; la consolidation consiste à charger l'échantillon en drainant jusqu'à ce que la pression interstitielle soit totalement dissipée ($u=0$)

c) Matériel utilisée :

- Machine de cisaillement
- Une boîte de Casagrande

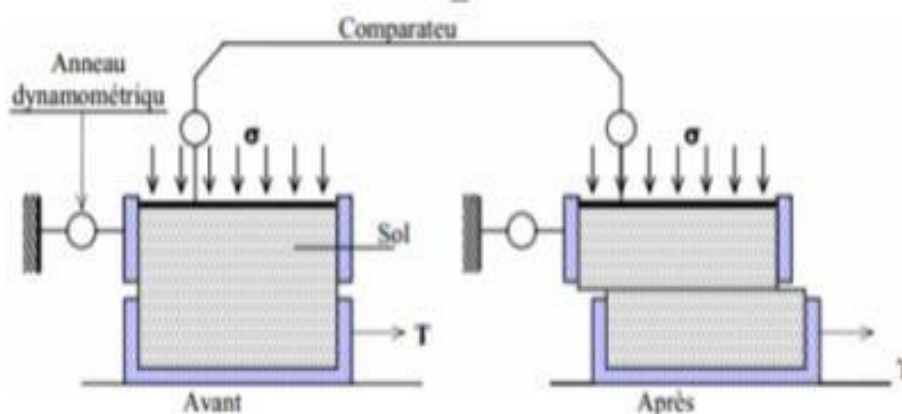
- Une série de poids
- Une trousse coupante
- Un comparateur



Figure VI.16 -Appareille de cisaillement rectiligne.

d) Mode opératoire :

L'essai s'effectue sur une éprouvette de sol placée dans une boîte de cisaillement constituée de demi-botte indépendante le plan de séparation des deux demi boîte consiste 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 normal de compression N par l'intermédiaire d'un piston et un effort tranchant en déplaçant la demi-botte inférieure. Un comparateur mesure le déplacement relatif de l'échantillon



FigureVI.17 - Schéma de la boîte de cisaillement

VI.3.4- Essais œdométrique (XP P 94-090-1) :

a) Définition :

L'essai s'effectue sur une éprouvette de sol placée dans une enceinte cylindrique rigide « odomètre ». Un dispositif applique sur cette éprouvette un effort axial vertical, l'éprouvette étant drainée en haut et en bas et maintenue saturée pendant l'essai.

La charge est appliquée par paliers maintenus constants successivement croissant et décroissant suivant un programme défini. Les variations de hauteur de l'éprouvette sont mesurées pendant l'essai en fonction de la durée d'application de la charge.

VI.3.4.1- Essai œdométrique simple :

L'essai œdométrique simple consiste à charger le spécimen en incréments jusqu'à un certain niveau de contrainte verticale en permettant au spécimen d'être en équilibre sous la contrainte appliquée. L'échantillon est ensuite saturé par l'eau, et la déformation est mesurée. Cette déformation induite par l'addition de l'eau divisée par la hauteur de l'échantillon avant saturation, exprimée en pourcentage, définit le degré d'affaissement.

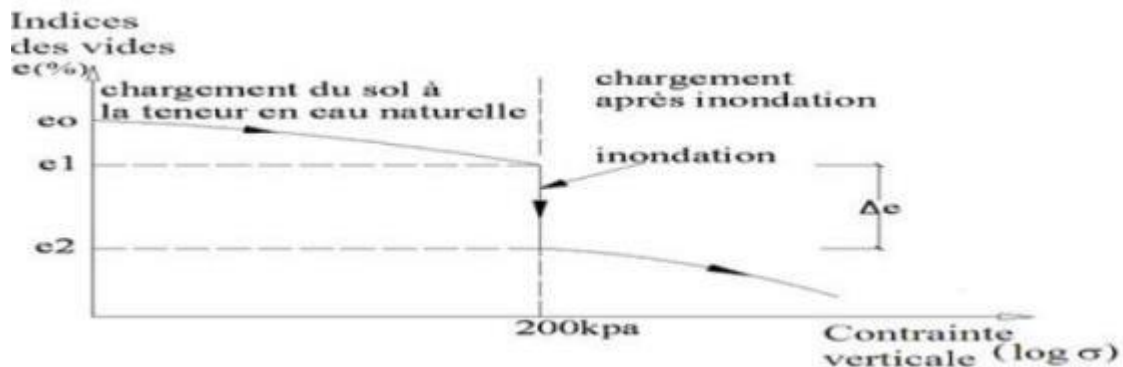


Figure VI.18 - Courbe œdométrique (test de Knight 1963).

VI.3.4.2- Essai œdométrique double :

L'essai œdométrique double implique une paire de spécimens identiques du même échantillon. Le premier spécimen est chargé à l'état naturel et la déformation est mesurée à chaque niveau de contrainte. Le second spécimen est initialement saturé et une procédure de chargement similaire est conduite. La différence entre les déformations, à l'équilibre et au même incrément de contrainte, est déterminée pour déterminer le degré d'affaissement.

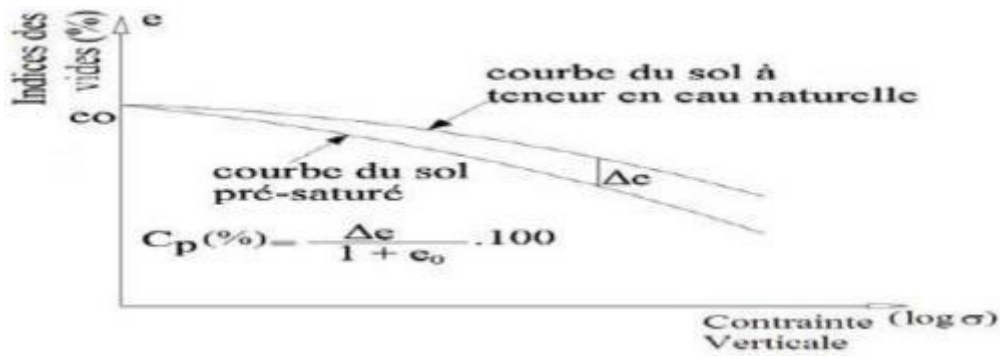


Figure VI.19 - Double odomètres (Knight et Jennings 1975).

b) But de l'essai :

La manipulation a pour but de déterminer les caractéristiques de compressibilité d'un sol qui permet d'estimer le tassement provoqué par consolidation d'un massif de sol, par exemple sous une fondation superficielle.

Il permet de suivre la consolidation au cours du temps et de déterminer la relation entre les charges de la déformation obtenue après consolidation, il permet également d'atteindre le coefficient de perméabilité verticale pour une compacité donnée.

Il fournit les caractéristiques du sol en place :

- l'indice de compression c_c qui indique la compressibilité du sol
- le coefficient de consolidation c_v qui permet de déterminer le temps de consolidation sous une charge donnée.

c) Appareillage :

- Balance
- Une étuve
- Une série de poids
- Odomètre cellule de perméabilité
- Un comparateur



FigureVI.20 - Les machines utilisées pour l'essai œdométrique laboratoire

d) Mode opératoire :

L'échantillon de sol est placé dans une boîte cylindrique rigide de section circulaire entre deux pierres poreuses assurant son drainage.

Un piston permet d'appliquer sur l'échantillon une contrainte verticale uniforme constante pendant un temps déterminé. On mesure alors la variation de hauteur de l'éprouvette de sol en fonction de la contrainte appliquée. On recommence le processus à différents paliers de chargement de 24 h ; A partir de cet essai ; on peut établir des courbes de compressibilité (indice des vides en fonction de la contrainte) et de consolidation (variation relative de tassement en fonction du logarithme du temps) utiles pour évaluer l'amplitude des tassements et les durées de consolidation des sols .

VI.4- Conclusion :

Ce chapitre a comporté une présentation des essais préliminaire de caractérisation et d'identification effectuée sur les sols utilisés dans notre étude.

Tous les essais effectués sont réalisés aux laboratoires avec des appareillages et outils et méthodes de manipulation conformes aux normes géotechniques.

CHAPITRE VII :
RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

Chapitre VII : Résultats et interprétations :

VII.1- Introduction :

Ce chapitre regroupe l'ensemble des résultats des essais réalisés sur le sol étudié et leur interprétation.

Comporte les essais d'identification (analyse minéralogique, analyses chimique, paramètres d'état, granularité, limites d'Atterberg, l'essai au bleu de méthylène) et les essais mécaniques (Proctor modifié, Essai C.B.R, Cisaillement à la boîte, Essai œdométrique).

Seulement vue les circonstances spéciales de cette année universitaire 2019/2020, c'est-à-dire l'état sanitaire imposé par le COVID 19 nous allons comparer nos résultats (limites d'Atterberg, l'essai au bleu de méthylène, La masse volumique) avec les résultats de Boudjlel (2013) [16].

VII.2- Essais d'identifications :

VII.2.4- Les limites d'Atterberg :

VII.2.4.1- Nos résultats :

Les limites de liquidité et de plasticité, dites limites d'Atterberg ou limites de consistance, sont des paramètres géotechniques destinés à identifier les sols,

La limite de liquidité et la limite de plasticité (selon la norme : NF P94-051) :

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

Tableau VII.1- Détermination de la limite de liquidité.

Nombre d'essais	1er essai		2ème essai		3ème essai	
Nombre de coups	16		26		33	
Numéro de la tare	1	2	3	4	5	6
Masse de la tare	52,59	51,24	48,60	47,52	46,22	46,85
Masse du sol humide + la tare	69,73	71,31	81,56	77,89	86,35	68,14
Masse du sol sec + la tare	64,64	65,4	72,4	69,26	75,23	62,2
Masse d'eau	5,09	5,91	9,16	8,63	11,12	5,94
Masse du sol sec	12,05	14,16	23,8	21,74	29,01	15,35
Teneur en eau	42,24	41,73	38,48	39,69	38,33	38,69
Moyenne	41,98		39,09		38,51	
w _L (%)	39,86					

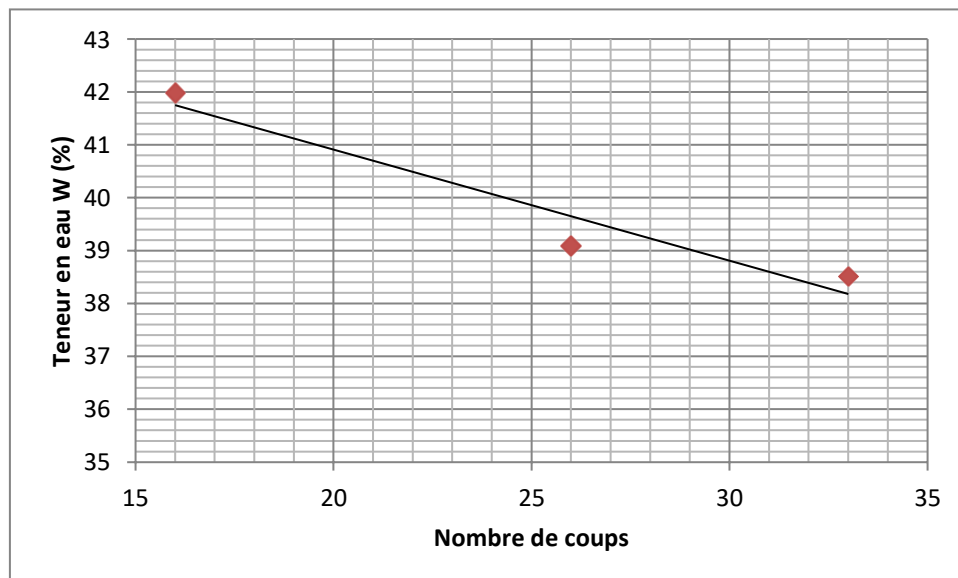


Figure VII.1- La courbe de la limite de liquidité.

➤ **La limite de plasticité :**

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

Tableau VII.2- Détermination de la limite de plasticité.

	essai 01	Essai 02	Essai 03	Essai 04	Essai 05	Essai 06
Masse de la tare	13,81	24,23	24,09	24,14	13,82	13,78
Masse du sol humide + la tare	17,57	25,98	26,91	26,83	15,87	15,20
Masse du sol sec + la tare	16,90	25,65	26,38	26,32	15,47	14,94
Masse d'eau	0,67	0,33	0,53	0,51	0,4	0,26
Masse du sol sec	3,09	1,42	2,29	2,18	1,65	1,16
Teneur en eau	21,68	23,23	23,14	23,39	24,24	22,41
Moyenne (%)	23,02					

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

Tableau VII.3- Les résultats des essais d'Atterberg.

	WL (%)	WP (%)	IP (%)
01	39,86	23,02	12,76

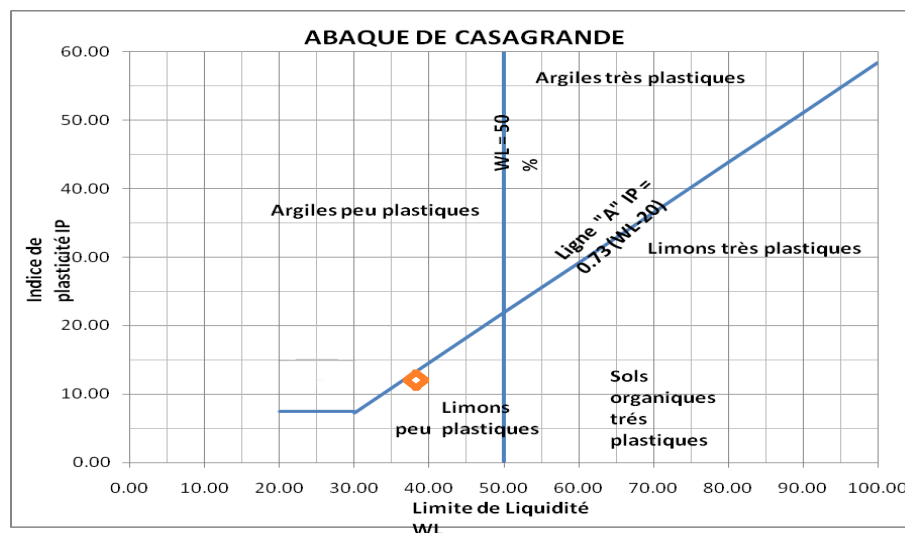


Figure VII.2- Détermination de la limite de liquidité.

À partir du Tableau IV. 3 et La figure IV-2 en utilisant le diagramme de Casagrande (Philipponnat et Hubert.1997), on remarque que l'argile étudiée se classe parmi les sols (Limens peu plastiques)

2^{ème} méthode : La méthode de cône de pénétration (norme NF P 94-052-1) :

Tableau VII.4- Détermination de la limite de liquidité par pénétration à cône.

Nombre d'essais	1er essai	2ème essai	3ème essai	4ème essai
L'enfoncement	12.08	15.96	21.63	23.3
Numéro de la tare	1	2	3	4
Masse de la tare	49.77	59.63	51.95	45.08
Masse du sol humide +la tare	74.76	76.47	68.2	59
Masse du sol sec +la tare	70.01	73.2	64.89	56.1
Masse d'eau	4.75	3.27	3.31	2.9
Masse du sol sec	20.24	13.57	12.94	11.02
Teneur en eau	23.47	24.10	25.58	26.32
WL (%)	24.87			

La limite de liquidité par pénétration à cône $w_L = 24.87$

VII.2.4.2- Résultats des années précédentes (Boudjlél 2013) :

a- La limite de liquidité (selon la norme NF P94-051) :

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

Tableau VII.5 : Détermination de la limite de liquidité (Boudjlél 2013).

Nombre d'essais	1er essai		2ème essai		3ème essai		4ème essai	
Nombre de coups	19		25		28		31	
Numéro de la tare	1	2	3	4	5	6	7	8
Masse de la tare	21,03	16,15	20,99	21,11	20,96	21,01	21,46	21,36
Masse du sol humide +la tare	34,04	32,91	29,9	30,48	31,55	31,5	34,6	34,95
Masse du sol sec + la tare	31,4	29,3	28,1	28,6	29,5	29,4	32	32,2
Masse d'eau	2,64	3,61	1,8	1,88	2,05	2,1	2,6	2,75
Masse du sol sec	10,37	13,15	7,11	7,49	8,54	8,39	10,54	10,84
Teneur en eau	25,46	27,45	25,32	25,10	24,00	25,03	24,67	25,37
Moyenne	26,46		25,21		24,52		25,02	
WL (%)	25,30							

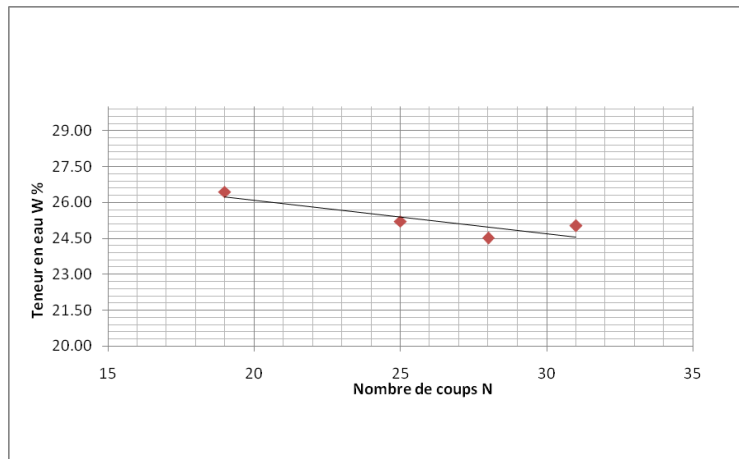


Figure VII.3 : La courbe de la limite de liquidité (Boudjlél 2013).

b- La limite de plasticité :

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

Tableau VII.6 : Détermination de la limite de plasticité (Boudjlél 2013)

	essai 01	Essai 02	Essai 03	Essai 04	Essai 05	Essai 06
Masse de la tare	8,49	8,61	8,39	8,44	8,7	10,8
Masse du sol humide + la tare	9,67	9,69	9,98	9,98	9,58	11,57
Masse du sol sec + la tare	9,6	9,5	9,8	9,9	9,5	11,5
Masse d'eau	0,07	0,19	0,18	0,08	0,08	0,07
Masse du sol sec	1,11	0,89	1,41	1,46	0,8	0,7
Teneur en eau	6,31	21,35	12,77	5,48	10	10
Moyenne (%)	10,98					

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

Tableau VII.7 : Les résultats des essais d'Atterberg (Boudjlél 2013).

	W _L (%)	W _P (%)	I _P (%)
01	25.30	10.98	14.32

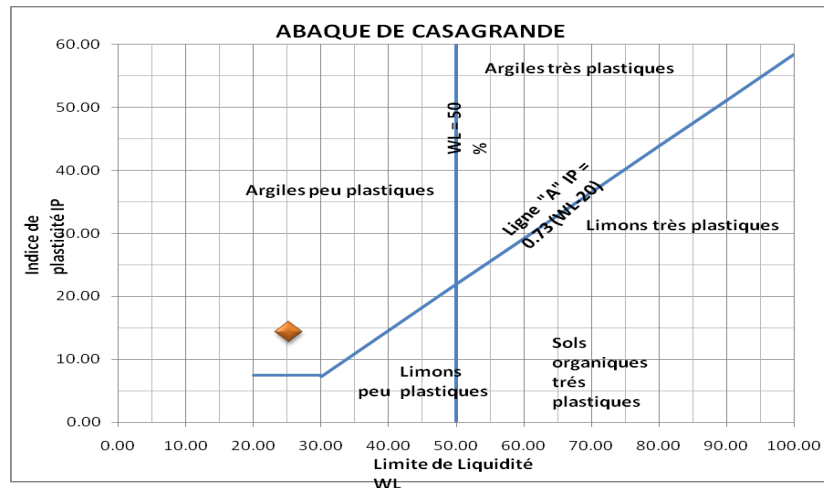


Figure VII.4 : Détermination de la limite de liquidité (Boudjlél 2013).

À partir du Tableau IV. 6 et la figure IV-3 en utilisant le diagramme de Casagrande (Philipponnat et Hubert.1997), on remarque que le sol étudié se classe parmi les sols « argile peu plastique ».

VII.2.4.3- Comparaison :

Comparaison par Type de sol :

Nos résultats : Limon peu plastique

Résultats de (Boudjlél 2013) : Argile peu plastique

Comparaison par Les paramètres :

La limite de liquidité : (selon la norme : NF P94-051)

W_L (Nos résultats) Plus grand que **W_L** (Boudjlél2013)

W_P (Nos résultats) Plus grand que **W_P** (Boudjlél 2013)

IP (Nos résultats) Moins que **IP** (Boudjlél 2013)

VII.2.5- La masse volumique :

VII.2.5.1- Nos résultats :

VII.2.5.1.1- La masse volumique absolue :

Le tableau ci-dessous présente la récapitulation des résultats d’essai La masse volumique absolue.

Tableau VII.8- Détermination de la masse volumique absolue.

	M	V	γ_s
Essai : 01	50	20	2.7
Essai : 02	50	19	2.63
Essai : 03	50	19	2.63

VII.2.5.1.2- Méthode du pycnomètre à eau (NF P 94 - 054) :

Le tableau ci-dessous présente la récapitulation des résultats d'essai La masse volumique par Méthode du pycnomètre à eau

Tableau VII.9- Détermination de la masse volumique par Méthode du pycnomètre à eau

N°.de l'essai	1	2	3	4
M ₀	69	69	69	69
M ₁	89	89	89	89
M ₂	188,4	188,3	188,6	188,5
M ₃	176,06	176,06	176,06	176,06
ρ_s	2,61	2,57	2,68	2,69

VII.2.5.2- Résultats des années précédentes (Boudjlel 2013) :

VII.2.5.2.1- La masse volumique des grains solides :

Le tableau ci-dessous présente la récapitulation des résultats d'essai La masse volumique des grains solides.

Tableau VII.10 : Détermination de la masse volumique des particules solide (Boudjlel 2013).

	M	V	ρ_s	Moyenne
Essai : 01	50	21	2.38	
Essai : 02	50	20	2.5	2.43
Essai : 03	50	20.5	2.43	

VII.2.5.3- Comparaison :

ρ_s (Nos résultats) Plus grand que ρ_s (Boudjlel 2013)

VII.2.6- L'essai au bleu de méthylène :**VII.2.6.1- Nos résultats :**

D'après les résultats obtenus, la valeur de bleu de l'argile est supérieure à 0.08, donc selon la classification de (Hang.1984) et la norme française NF P 11-300 il s'agit d'un sol argileux,

La valeur du bleu du sol est donnée par la formule :

$$\text{VBS} = \frac{M}{V}$$

On a réalisé trois (3) essais au bleu de méthylène, les résultats obtenus sont repris dans le Tableau VII.10 :

Tableau VII.11 : Les résultats de l'essai de bleu de méthylène.

N° d'essai	Masse du sol (g)	Volume de la solution (cm ³)	VBS (g/cm ³)	Moyenne
Essai 01	40	152	3,8	4,1
Essai 02	40	157	3,87	
Essai 03	40	186	4,65	

Tableau VII.12 : Valeur de bleu de méthylène de quelques sols.

Vb (%)	Sols
0.1	sols insensibles à l'eau
0.2	Appariation de la sensibilité à l'eau
1.5	Seuil distinguant les sols sablo limoneux des sols argileux
2.5	Seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques des sols limoneux de plasticité moyenne
6	Seuil distinguant les sols limoneux des sols argileux.
>8	Seuil distinguant les sols argileux des sols très argileux

À l'aide de cet essai, on évalue la capacité d'adsorption ionique des particules fines des matériaux, mais pas vraiment la quantité de particules argileuses responsables en grande partie de la rétention d'eau dans les matériaux granulaires.

La valeur de bleu VBS de notre sol est égale à $4,1 \text{ g/cm}^3$, d'après le tableau ci-dessus on peut classer notre sol dans la catégorie des sols limoneux peu plastiques ($2.5 \leq V_b \leq 6$)

VII.2.6.2- Résultats des années précédentes (Boudjlel 2013) :

VII.2.6.2.1- La capacité d'absorption de bleu de méthylène VBS :

D'après les résultats obtenus, la valeur de bleu de l'argile est supérieure à 0.08, donc selon la classification de (Hang.1984) et la norme française NF P 11-300 il s'agit d'un sol argileux,

La valeur du bleu du sol est donnée par la formule :

$$\text{VBS} = \frac{M}{V}$$

On a réalisé trois (3) essais au bleu de méthylène, les résultats obtenus sont repris dans le Tableau IV-12 :

Tableau VII.13 : Les résultats de l'essai de bleu de méthylène (Boudjlel 2013).

N° d'essai	Masse du sol (g)	Volume de la solution (cm ³)	VBS (g/cm ³)	Moyenne
Essai 01	30	55	1.83	1.61
Essai 02	30	50	1.67	
Essai 03	30	40	1.33	

V _b (%)	Sols
0.1	sols insensibles à l'eau
0.2	Appariation de la sensibilité à l'eau
1.5	Seuil distinguant les sols sablo limoneux des sols argileux
2.5	Seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques des sols limoneux de plasticité moyenne
6	Seuil distinguant les sols limoneux des sols argileux.
>8	Seuil distinguant les sols argileux des sols très argileux

Tableau VII.14 : Valeur de bleu de méthylène de quelques sols.

À l'aide de cet essai, on évalue la capacité d'adsorption ionique des particules fines des matériaux, mais pas vraiment la quantité de particules argileuses responsables en grande partie de la rétention d'eau dans les matériaux granulaires.

La valeur de bleu VBS de notre sol est égale à $1,61 \text{ g/cm}^3$, d'après le tableau ci-dessus on peut classer notre sol dans la catégorie des sols argileux moyennement plastique ($1.5 \leq V_b \leq 2.5$)

VII.2.6.3- Comparaison :

Comparaison par VBS :

VBS (Nos résultats) Plus grand que **VBS** (Boudjlel 2013)

Comparaison par Valeur de bleu de méthylène de quelques sols :

Nos résultats : sols limoneux peu plastiques

Résultats des années précédentes : sols argileux moyennement

VII.3- Essais mécaniques :

VII.3.1- Essai Proctor (normal et modifié) : (selon la norme : NF P 94-093)

VII.3.1.1- Essai Proctor normal :

Le tableau VII.10 résume les caractéristiques des essais du Proctor normal effectués sur le sol témoin étudié.

Tableau VII.15 - Les résultats de l'essai Proctor normal.

Teneur en eau (%)	12	16	20	24	28
Masse d'eau ajoutée (g)	272	306	304	374	560
Masse totale humide (g)	3289	3399	3516	3427	3389
Masse de la mole (g)	1722				
Masse du sol humide (g)	1567	1677	1794	1765	1634
Masse volumique ρ (g/cm^3)	1.67	1.87	1.91	1.88	1.74
Masse volumique sèche ρ_d (g/cm^3)	1.42	1.56	1.57	1.49	1.35

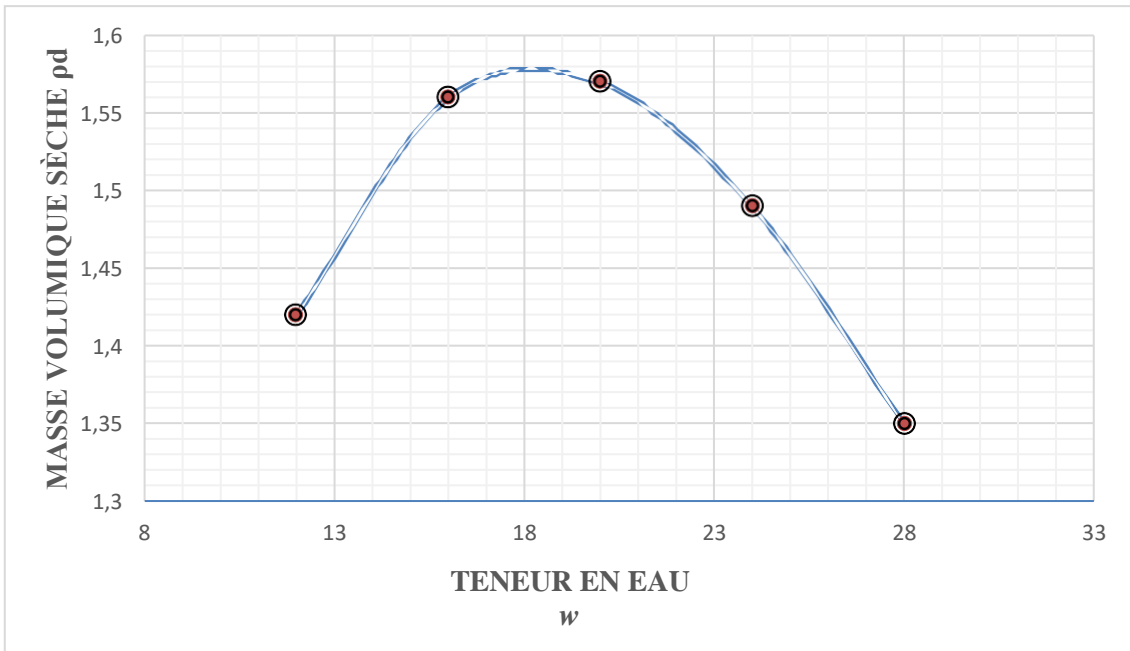


Figure VII .5 - La courbe de l'essai Proctor normal.

Le tableau (VII-10) et la courbe (VII-6) présentent les résultats obtenus à partir de l'essai Proctor normal.

$$w_{opt} = 18\%$$

$$\rho_{d \max} = 1.58 \text{ kN/m}^3.$$

VII.4- Conclusion :

D'après les résultats qu'on a obtenus, dans ce chapitre on peut conclure :

- Type de sol étudié.
- La teneur en eau optimale et le poids volumique sec maximum à l'optimum.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion Générale :

L'envasement est un phénomène naturel très complexe qu'il faut étudier de l'amont à 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.

Cette réalité a mis en évidence la complexité du problème, et le simple rejet dans le dépôt de décantation des matériaux récupérés est une solution simpliste qui doit être évitée pour préserver l'environnement, le recours à la valorisation de ces matériaux aura pour conséquence de ne plus les considérer comme déchets encombrants mais plutôt comme matière première.

La mise en dépôt de la boue de dragage du barrage K'sob, est devenue de plus en plus coûteux. En 2009, le stockage dans de vastes aires spécialement aménagées, arriva à saturation. Il devient crucial et rend la question relative à leur devenir plus que jamais d'actualité.

Pour se débarrasser de ces dépôts au moindre coût possible formulations économiquement compétitives et faciles à mettre en œuvre in situ qui permettent une valorisation de ces matériaux en géotechnique routière.

A cet effet, nous avons mené une série d'analyses physiques, chimiques 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 l'influence d'ajout de matériau granulaire et de liants hydrauliques en tant que correcteur à la fois granulométrique et mécanique permettant d'améliorer ces paramètres d'état géotechniques, ces caractéristiques optimales de densification et de portance du matériau ainsi que leurs classes de résistances mécaniques.

REFERENCE :

REFERENCE :

1- Demmak, A. (1982). Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en suspension en Algérie septentrionale. Thèse de Docteur-Ingénieur, Université Paris VI, France.

2- Heusch, B. (1982). Étude de l'érosion et des transports solides en zone semi-aride. Recherche bibliographique sur l'Afrique du Nord. Projet RAB/80/04/PNUD.

3- Boutin, R. (2000). Dragage et rejets en mer : les produits de type vase. Presses Ponts et Chaussées. 307 pages.

4- Remini, B., Leduc, C., & Hallouche, W. (2009). Evolution des grands barrages en régions arides : quelques exemples algériens. Revue Sécheresse, 20(1), 1-8.

5- 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.

6- Seklaoui-Oukid Ouiza. (2016). Valorisation Des Sediments Du Barrage D'el Merdja Sidi Abed : Etude Technico-Economique. Thèse de Docteur-Ingénieur, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou, Algérie.

7- Nor Edine Abriak. (2009). Valorisation de sédiments marins et fluviaux en technique routière. Thèse de Docteur-Ingénieur, Université d'Artois, France.

8- Dubois V., 2006 : « Caractérisation physico-mécanique et environnementale des sédiments marins. Application en technique routière ». Thèse, Ecole des Mines of Douai, France, pp

9- Rossi, P., Raoul, G., & Gavois, L. (2007). Traitement des matériaux .Ed. Technique Ingénieur

10- Charlotte Cantin, Constituants Du Béton Hydraulique :

<https://slideplayer.fr/slide/15734689/>

11- Beton Degussa Construction Chemicals France, Caractéristiques fondamentales du béton :

<https://docplayer.fr/18049139-Caracteristiques-fondamentales-du-beton.html>

12- Benyettou Feres : « Contribution à l'étude des paramètres physico-chimique et caractéristiques biologiques du barrage K'sob Wilaya de M'sila », Memoire De Fin D'étude Technicien Supérieur En Aquaculture, Ministère de la Pêche et Ressources Halieutiques– 2010/2019

13- La classification GTR des sols [Géologie et sols] :

http://lycee-cherioux.fr/Mooc/materiau/geologie_sol/~gen/g%C3%A9ologie%20et%20sols.publi/aurora/W/co/geologie_et_sols_12.html

14- P .Rossi, L. Gavois et G. Raoul (2008). Classification des matériaux .Ed. Technique Ingénieur

15- LCPC (2000). Réalisation des remblais et des couches de forme. Le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. 58, boulevard Lefebvre - F-75732 PARIS CEDEX 15.Paris.France

16- Boudjlél Mourad. (2013). Influence du traitement par ciment sur les caractéristiques mécaniques des sédiments de dragage de barrage K'sob. Mémoire de Master, Université de M'sila, Algérie.