

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



جامعة محمد بوضياف - المسيلة

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

كلية التكنولوجيا

FACULTE DE TECHNOLOGIE

قسم الهندسة المدنية

DEPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL



MEMOIRE DE MASTER

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : Génie Civil

OPTION : GÉOTECHNIQUE

THEME

**CARACTERISATION MECANIQUE DE LA VASE DU BARRAGE
K'SOB EN VUE DE SA VALORISATION DANS LES TRAVAUX
ROUTIERS**

Proposé et dirigé par :

Dr. BAKIR NASSIMA

Réalisé par :

ZEMOURI NORELHOUDA

ZINE KHAWLA

Dédicace :

Ce modeste travail est dédié à :

*La source de notre inspiration nos très chers parents, nos chère
frère et sœurs, et à toute les familles zemouri et zine*

A tous les amis.

Remerciements :

Nous remercions dieu d'abord pour tout.

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

Nous remercions sincèrement l'encadreur de mémoire Madame Bakir et Mr. Lahmadi pour leurs aides et leurs disponibilités

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

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

RESUME

L'envasement des barrages est un phénomène naturel qui touche pratiquement toutes les retenues du monde, mais avec un taux d'envasement qui varie d'un endroit à un autre.

Malheureusement, la région de l'Afrique du nord est celle où l'envasement des barrages enregistre les valeurs les plus élevées de la planète. L'Algérie perd annuellement un volume d'eau de 32 millions de m³ sur un volume total de 5,2 milliards de m³ des 114 barrages en exploitation [1]. Le barrage de K'sob situé au nord de la wilaya de M'sila est l'un parmi plusieurs barrages envasés, ce phénomène est dû principalement à une érosion très active surtout dans les zones semi-arides. Plusieurs opérations de dragage ont été effectuées et continuent d'être exécutées pour essayer de récupérer des volumes importants de la retenue perdue à cause de l'envasement.

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'une caractérisation physique, chimique et mécanique de la vase extraite du barrage de K'sob en vue de proposer une valorisation de ce matériau en géotechnique routière.

Mots clé : Barrage de K'sob, envasement, sédiments, dragage, comportement mécanique.

ملخص

يعتبر ترسيب السدود ظاهرة طبيعية تؤثر فعليا على كل خزان في العالم، و لكن بمعدل ترسيب يختلف من مكان إلى آخر. لسوء الحظ ، فان منطقة شمال إفريقيا هي المكان الذي يحتوي فيه ترسب السدود بالطمي على أعلى القيم على هذا الكوكب .

تخسر الجزائر حجما سنويا من المياه يبلغ 32 مليون متر مكعب من إجمالي حجم يبلغ 5.2 مليار متر مكعب من أصل 114 سدا قيد التشغيل يعتبر سد القصب الواقع شمال ولاية المسيلة احد السدود المغمورة، و ترجع هذه الظاهر بشكل أساسيا إلى التعرية النشطة للغاية ، خاصة في المناطق شبه قاحلة. لهذا الغرض، تم تنفيذ عمليات التجريف و من المقرر إن تحاول عمليات أخربا حياء أحجام الخزان

المفقودة من اجل ترسب الطمي.

هذه الدراسة جزء من البحث عن منهجية لإدارة الرواسب المجروفة. الهدف هو تقديم تركيبات اقتصادية تنافسية يسهل تنفيذها في الموقع، والتي تتيح استعادة هذه المواد في الجيوتقنية للطرق.

و لهذه الغاية قمنا بإجراء سلسلة من التحليلات الفيزيائية و الكيميائية و الميكانيكية على عينات الرواسب المأخوذة من خزان سد القصب.

الكلمات المفتاحية: التخرين – الرواسب المجروفة – التقييم الفني للطرق – السلوك الميكانيكي.

Abstract

Siltation of dams is a natural phenomenon that affects virtually every reservoir in the world, but with a rate of siltation that varies from place to place.

Unfortunately, the region of north Africa is where the silting up of dams has highest values on the planet. Algeria loses an annual volume of water of 32million m³ out of the total volume of 5,2 billion m³ of the 114 dams, this phenomenon is mainly due to very active erosion, especially in semi-arid areas.

For this, dredging operations have been carried out and others are scheduled to try to revive volumes of the reservoir lost for siltation.

This study is part of the search for a methodology for the management of dredged sediments. The objective is the offer competitive economic formulations that are easy to implement in situ which allow the recovery of these materials in road geotechnical.

To this end, we have carried out a series of physical, chemical and mechanical analyzes on sediment samples taken from the reservoir of the k'sob dam.

Key words: siltation – dredged – sediments – technical road valuation – mechanical behavior.

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure I.1: Vue sur le barrage K'sob lors de sa construction | 03 |
| Figure 1.2: Dragueuse suceuse avec agrégateur CSD 350 du barrage de K'sob | 05 |
| Figure I.3: Vue aérienne du barrage du K'Sob par Google Earth 2019..... | 05 |
| Figure I.4: Carte de situation géographique..... | 05 |
| Figure I.5: Les 5 bassins hydrographiques..... | 07 |
| Figure I.6: Traversée de la vallée de la Charente par l'autoroute..... | 08 |
| Figure I.7: Schéma de la composition simplifiée des sédiments portuaire | 10 |
| Figure 1.8: Les différentes phases du tassement (d'après Migniot 1989) | 11 |
| Figure I.9: schématisation de la bathymétrie par nivellement | 14 |
| Figure I.10: Estimation de l'envasement par la méthode de nivellement (Tachéomètre)..... | 15 |
| Figure 1.11: Schématisation de la bathymétrie par échosondeur | 16 |
| Figure I.12: Mode d'envasement | 19 |
| Figure 1.13 : Dragage hydraulique | 21 |
| Figure 1.14 : Dragage mécanique | 22 |
| Figure 1.15 : Rejet de la vase draguée (Barrage de Fergoug)..... | 23 |
| Figure 1.16: Entrainement de la vase en aval (Plaine de la Mactaa)..... | 23 |
| Figure 1.17: Moyens de lutte contre l'envasement | 24 |
| Figure I.18: Différentes couche d'une chaussée..... | 27 |
| Figure I.19: Briques et tuiles | 29 |
| Figure I.20: Briques fabriquées avec un taux de substitution de 70% de sédiments..... | 29 |
| Figure I.21: Barrages étudiés | 30 |
| Figure I.22: Schéma général du processus de fabrication des briques..... | 30 |
| Figure I.23. Utilisation des vases de barrages les plus envasés. | 31 |
| Figure II.1 : Photo de la vase du Barrage K'sob | 34 |
| Figure II.2 : Prélèvement de La vase | 36 |

| | |
|---|----|
| Figure II.3 : L'analyse granulométrique par des tamis manuellement humide | 37 |
| Figure II.4 série de Tamis manuellement | 37 |
| Figure II.5 Masse volumique absolue, méthode des éprouvettes | 39 |
| Figure II.6 la masse volumique absolue par pycnomètre | 39 |
| Figure II 7 Matériels utilisé pour la détermination de la limite liquidité | 40 |
| Figure II.8 : Formation des rouleaux pour la détermination de W_p | 41 |
| Figure II.9 Matériels de pénétration à Cône | 42 |
| Figure II.10 Matériels pour essai au bleu de méthylène (VBS)..... | 44 |
| Figure II.11 Matériel de l'essai Proctor normal | 45 |
| Figure II.12 Compactage de l'échantillon | 46 |
| Figure II-13 : L'appareille de l'essai au Proctor modifié | 47 |
| Figure II-14 Essai Proctor modifié | 48 |
| Figure II-15 : Appareil de poinçonnement (essai CBR) | 49 |
| Figure II-16 Appareil de cisaillement | 51 |
| Figure II-17 Courbe de Cisaillement | 52 |
| Figure III.1 Courbe de l'essai analyse granulométrique..... | 53 |
| Figure III.2 courbe d'essai sédiment | 55 |
| Figure III.3 Courbe de la limite de liquidité | 56 |
| Figure III.4 Détermination de la limite de liquidité | 58 |
| Figure III.5 Courbe de limite de liquidité par cône..... | 59 |
| Figure III.6 Appareillage de l'essai de bleu au méthylène | 62 |
| Figure III.7 Les résultats de l'essai VBS | 63 |
| Figure III.8 : La courbe de l'essai Proctor normale | 65 |
| Figure III.9 : La courbe de l'essai Proctor normale | 66 |
| Figure III.10 : La courbe de l'essai Proctor modifie | 67 |
| Figure III.11 Vue générale de l'appareil utilise dans l'I.CBR après immersion | 68 |
| Figure III.12 La courbe de l'essai C.B.R imbibition | 69 |

| | |
|--|----|
| Figure III.13 Représenté la courbe de Cisaillement | 70 |
| Figure III .14 Résultats d'essai de Cisaillement | 70 |
| Figure III.14 Courbe d'un essai de cisaillement direct | 71 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau I.1. Quelques caractéristiques morpho-métriques du B.V du K'sob | 06 |
| Tableau I.2: Les plus simples définitions des faciès d'après Allen | 09 |
| Tableau I.3 : Taux d'envasement de quelques retenues dans le monde (Taleb. A, 1987)..... | 25 |
| Tableau I.4: L'envasement de quelques barrages | 26 |
| Tableau III.1 : Résultats des essais analyse granulométrique..... | 53 |
| Tableau III.2 les données d'essai d'analyse sédimentometrie | 54 |
| Tableau III.3 résultats de teneur en eau W(%) | 55 |
| Tableau III.4 Détermination de la limite de liquidité..... | 56 |
| Tableau III.5 Valeurs trouvées de la limite de plasticité..... | 57 |
| Tableau III-6 : Relation entre le gonflement libre et l'indice de plasticité (Seed et al. 1962...) | 58 |
| Tableau III.7 : Détermination de la limite de liquidité par le pénétromètre à cône..... | 59 |
| Tableau III.8 résultats de la masse volumique | 60 |
| Tableau III.19 Résultats de l'essai au pycnomètre | 61 |
| Tableau III.10 Résultats de l'essai au pycnomètre | 61 |
| Tableau III.11 résultats de l'essai au bleu..... | 63 |
| Tableau III.12 Classification des sols d'après Philipponat..... | 63 |
| Tableau III.13 : les résultats de l'essai Proctor normale..... | 64 |
| Tableau III.14 : les résultats de l'essai Proctor normal | 65 |
| Tableau III.15 Résultats de l'essai Proctor modifie | 66 |
| Tableau III.16 Récapitulatif des résultats des essais C.B.R après imbibition..... | 67 |
| Tableau III.17 : Résultats des essais C.B.R après imbibition..... | 68 |
| Tableau III.18 Classification des sols fins selon GTR | 72 |

TABLE DES MATIERES

ملخص

RESUME

ABSTRACT

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE01

CHAPITRE I

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I 03

PRESENTATION DU BARRAGE K'SOB ET DES PROBLEMES ET SOLUTION LIES A
LA VASE 03

I.1.GENERALITES SUR OUED ET BARRAGE K'SOB 03

I.2. PRESENTATION DU BARRAGE DE K'SOB 04

I.3.BASSIN VERSANT..... 07

I.4.CARACTERISTIQUE GEOLOGIQUE ET LITHOLOGIQUE DU BASSIN VRSANT
DU K'SOB 07

I.5.LE CLIMAT DU BASSIN VERSANT DU K'SOB 07

I.6.DEFINITION DE LA VASE 08

I.7.COMPOSITION DES VASES 09

I.8.PROCESSUS DE DECANTATION ET DE TASSEMENT DES VASES 11

I.9.LES MODELES D'ESTIMATION DE L'ENVASEMENT 14

1.10. PROBLEMES DE L'ENVASEMENT DES BARRAGES 17

I.11.DRAGAGE 20

1.12.LES MOYENS DE LUTTE CONTRE L'ENVASEMENT 23

I.13.L'ENVASEMENT DES RETENUES 24

| | |
|---|----|
| I.14. VALORISATIONS DES SEDIMENTS | 26 |
| CONCLUSION | 32 |
| | |
| CHAPITRE II | 34 |
| PROGRAMME EXPERIMENTAL ET PROCEDURES D'ESSAIS | 34 |
| II.1 INTRODUCTION | 34 |
| II.2 .PRESENTATION DES ECHANTILLONS..... | 34 |
| II.3 - ETUDE D'IDENTIFICATION GEOTECHNIQUE..... | 34 |
| II.3.1. TENEUR EN EAU NATURELLE W(%) | 35 |
| II.3. 2.1. ANALYSE GRANULOMETRIQUE | 36 |
| II.3.2.2.LA SEDIMENTOMETRIE PAR DENSIMETRE (NF P94-057, 1992),..... | 37 |
| II.3.3.1 MESURE DE LA MASSE VOLUMIQUE : (NF XP P 94-054) | 38 |
| II.3. 4. LIMITES D'ATTERBERG | 39 |
| II.3. 5. ESSAI AU BLEU DE METHYLENE (VBS) | 42 |
| II.3. 6. TENEUR EN MATIERES ORGANIQUES (MO%) | 44 |
| II.3. 7. CARACTERISATION CHIMIQUE ET MINERALOGIQUE DU SEDIMENT | 44 |
| II.4. ESSAIS MECANIQUES | 44 |
| II. 4. 1. ESSAI PROCTOR NORMAL (NF P 94-093) | 44 |
| II.4.2.1. ESSAI PROCTOR MODIFIE :(SELON LA NORME : NF P 94-093) | 46 |
| II.4. 3.1. DETERMINATION DE L'INDICE PORTANCE IMMEDIAT IPI | 48 |
| II.4.4. ESSAI DE CISAILLEMENT : NORMES NF P 94- 071-1 | 49 |
| | |
| CHAPITRE III | 52 |
| PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS D'ESSAIS | 52 |
| III. INTRODUCTION | 52 |
| III.1 ANALYSE GRANULOMETRIQUE SELON LA NORME NF P18-560..... | 52 |
| III.2 TENEUR EN EAU NATURELLE SELON LA NORME NF P94-050 | 55 |
| III .3 LIMITES D'ATTERBERG SELON LA NORME NF P 94-051..... | 56 |
| III.4 LA MASSE VOLUMIQUE SELON LA NORME NF P 94-054..... | 60 |

| | |
|---|----|
| III.5 ESSAI AU BLEU DE METHYLENE VBS SELON LA NORME NF P 94-068 | 62 |
| III.6 LES ESSAIS MECANIQUES | 64 |
| III.6.1 Essai Proctor selon la norme NF 94-093 | 64 |
| III.6.2 Essai Proctor modifie | 66 |
| III.6. 3 .C.B.R après imbibition..... | 67 |
| III.6.4.Essai de Cisaillement..... | 70 |
| III.7 CLASSIFICATION DU MATERIAU SELON LE GTR | 72 |
| CONCLUSION | 73 |
| | |
| CONCLUSION GENERALE | 74 |
| REFERENCE BIBIOGRAPHIQUE | 76 |

INTRODUCTION GENERALE

L'envasement est l'un des principaux problèmes que rencontrent de nombreux barrages dans le monde, selon le rapport publié par le Comité International des Grands Barrages (CIGB), plus de 50.000 grands barrages existent dans le monde avec une capacité très importante de stockage, dont un taux moyen de 0,5 à 1 % de leur capacité de stockage est perdu chaque année en raison de la sédimentation. Ces barrages sont exploites à des fins diverses comme l'approvisionnement en eau, la production d'énergie hydroélectrique et le contrôle des inondations. Afin de compenser cette réduction, entre 300 et 400 grands barrages doivent être construits chaque année.

Afin de pallier le problème d'envasement, des opérations de dragages sont exécuter au barrage de K'sob afin de récupérer le volume perdu. Cette solution adoptée et qui s'impose d'ailleurs, reste onéreuse, et donc lourde à porter coté économique et son incidence sur l'environnement et très néfaste. Les quantités de sédiments évacuées par les opérations de dragage sont déposées du cote amont de l'ouvrage et peuvent conduire à long terme à la pollution du milieu rural. Pour cela, la récupération et la réutilisation de ces sédiments devraient apporter une solution et permettre à moyen terme sa valorisation dans le domaine du Génie Civil tel que la Technique routière.

L'objectif de ce travail est l'étude des caractéristique mécaniques des sédiments de dragage en vue de les utiliser comme constituant dans les couches d'assise de structures routières ou comme remblai.

Cette étude se divise donc en trois chapitres :

- ✚ Le premier chapitre sera une présentation du barrage de k'sob, et du problème d'envasement ainsi qu'une synthèse bibliographiques sur des barrages similaires et les différentes solutions apporter pour résoudre le problème de dépôt en masse de la vase
- ✚ le deuxième chapitre présente le programme expérimental et procédures d'essais, tout en citant pour chaque essai sa norme spécifique.
- ✚ dans le troisième chapitre nous allons présenter les résultats trouvés pendant notre travail expérimental.
- ✚ Le quatrième chapitre va contenir les interprétations des différents résultats trouvés au chapitre précédent
- ✚ Et finalement notre travail sera terminé par une conclusion générale contenant

L'essentiel des résultats trouvés ainsi que les perspectives pour les futures recherches.

CHAPITRE I

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

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

CHAPITRE I

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

I.1. GENERALITES SUR OUED ET BARRAGE K'SOB

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

Le Barrage K'sob est situé à « HAMMAN » entre les monts de Kef El Ouerad et Djebel El Groun à 15 Km au nord de la ville de M'sila sur la route nationale en direction vers la Wilaya de Bordj Bou Arreridj. Il fut construit à cet endroit sur l'oued K'sob entre les années1934 et 1940 permettant l'irrigation du périmètre agricole de la Commune de M'Sila, (FigureI.1).

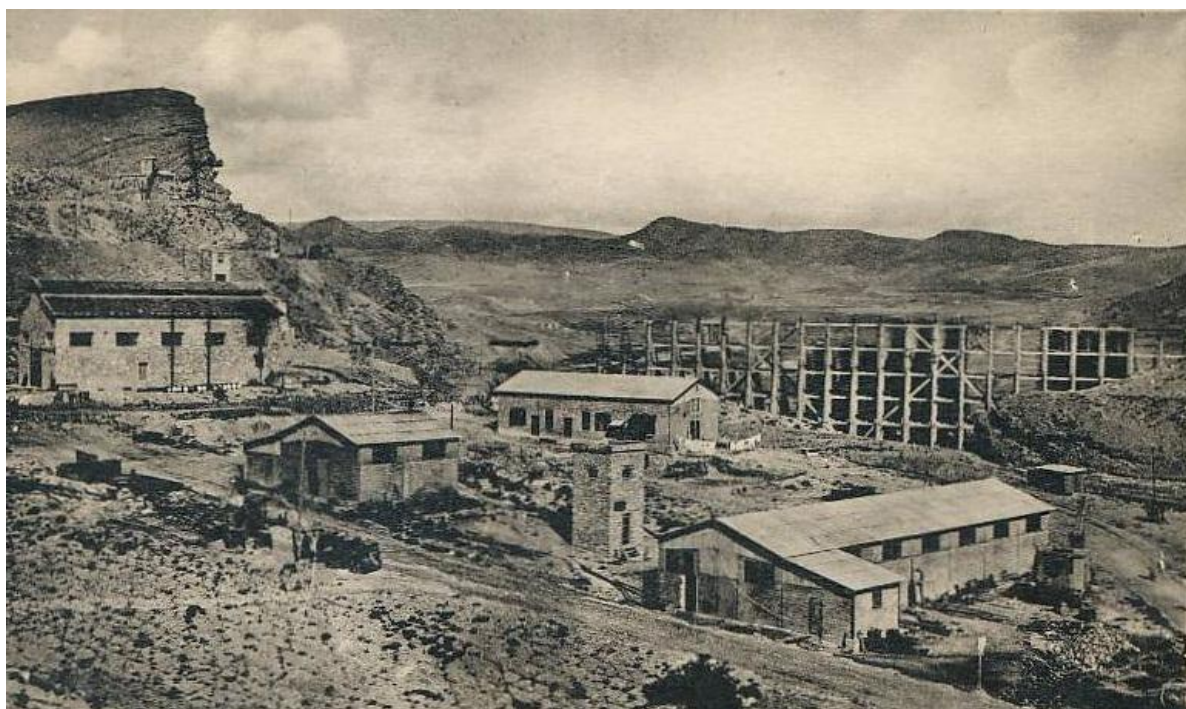


Figure I.1 : Vue sur le barrage K'sob lors de sa construction.

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

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

I.2. PRESENTATION DU BARRAGE DE K'SOB

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

La capacité initiale du barrage est de 12Hm^3 , elle se trouve réduite à 3Hm^3 en 1970 à cause de l'envasement progressif de la retenue. Pour remédier à cette situation, la surélévation du barrage K'sob a été prévue dans le cadre du premier plan quadriennal. La surélévation du barrage sur une hauteur de 15m portera la capacité utile de la retenue à 29.5Hm^3 et assurera une régularisation à l'irrigation de 13000Ha dont 4250Ha pour la culture intensive (culture maraîchère, arbres fruitiers et fourrage etc....) et 2000Ha pour la culture de céréales.

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

Le constat de la visite du barrage de K'sob : Suite à la visite effectué par nos collègues au barrage de K'sob et qui était programmé pour notre binôme la semaine d'après mais qui, malheureusement n'a pas pu avoir lieu à cause de la Pandémie COVID19, le barrage était en cours de dévasement où ils ont opté pour le dragage hydraulique le plus économique et le plus pratique. Le dragage se fait par une dragueuse suceuse avec des agrégateurs CSD 350 par le partenaire Aldiph,

avec un délai de 30 mois. Le marché consiste à extraire de la retenue du barrage, une quantité de huit millions de mètres cube de vase (8 000 000 m³) avec un coût de 80DA/m³.figure 1.2



Figure 1. 2: Dragueuse suceuse avec agrégateur CSD 350 du barrage de K'sob.

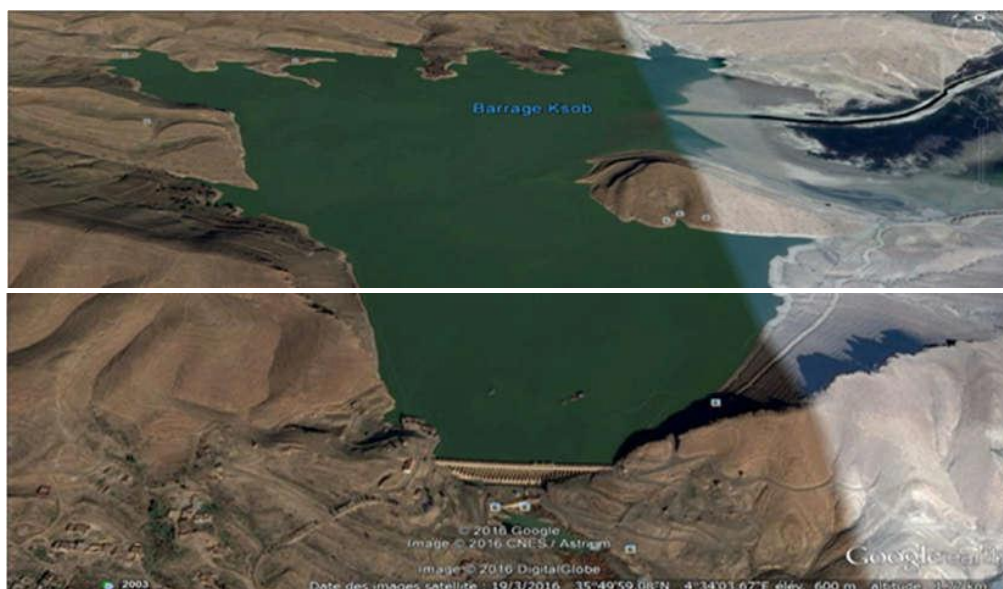


Figure I.3 : Vue aérienne du barrage du K'Sob par Google Earth 2019



Figure I .4 : Carte de situation géographique

Dès 1996, l'Algérie a engagé une nouvelle politique de l'eau, à savoir la « Gestion Intégrée des ressources en eau » pour garantir leur valorisation et durabilité. Ainsi le territoire algérien a été subdivisé en 5 grands bassins versants (Figure I-4). [2]

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

La situation du bassin du Hodna est située entre deux séries de montagnes au nord et au sud, organisent le bassin autour d'une cuvette fermée presque plate à 400 m d'altitude et reçoit l'écoulement des eaux superficielles de la région.[3]

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

Tableau I.1. Quelques caractéristiques morpho-métriques du B.V du K'sob.

| Caractéristique | Résultats | Unité |
|--------------------------------|-----------|---------------------|
| Surface | 1460 | Km ² |
| Périmètre | 180 | Km |
| Altitude moyenne | 1070 | M |
| Indice de graveleuse | 1.26 | |
| Indice de pente globale | 0.012 | m/km |
| Pente moyenne | 15.8 | m/km |
| Capacité initiale | 11.6 | hm ³ |
| Surface de plan d'eau | 121 | Ha |
| Superficie du B V | 1460 | Km ² |
| Envasement moyen annuel | 0.800 | Hm ³ /an |
| Volume de vase existence | 15 | Hm ³ |
| Hauteur de l'envasement actuel | 27 | M |
| Hauteur max | 46 | M |
| Longueur | 280 | M |
| Cote de retenue normale (R. N) | 604,00 | Mnga |
| Cote plus hautes eaux (P.H.E) | 605,50 | mNGA |
| Déversoir à SEUIL LIBRE | 850,0 | m ³ /s |
| Vidange de fond | 2x65,0 | m ³ /s |



Figure I.5 : Les 5 bassins hydrographiques.

I.3 BASSIN VERSANT

Un bassin versant est l'ensemble du déni système hydraulique unique délimitant un déversement superficiel. Le bassin versant en un point ou p défini comme la surface topographique drainée par ce de la dite section; tous les écoulements prenant naissance à l'intérieur de cette surface doivent traverser la section droite considérée pour suivre leur trajet vers l'aval.

I.4 CARACTERISTIQUE GEOLOGIQUE ET LITHOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DU K'SOB [4]

Le flanc Sud des monts du Hodna (djebel Gourin. Maadid, Sidi Sahab. Guedil) sont des anticlinaux à un fort pendage. Les vastes chevrons que l'érosion a sculptée dans les couches sénoniennes ou cénomaniennes, sont souvent recouverts de petites écailles de calcaire éocène et doublés, au-delà de l'étroite gouttière creusée dans les dépôts oligocènes, par une barre plus ou moins continue des grès burdigaliens redressés .

I.5 LE CLIMAT DU BASSIN VERSANT DU K'SOB

Les paramètres climatiques d'un bassin versant sont les éléments les plus déterminants de l'écoulement. Les précipitations sont le facteur principal qui influence directement l'écoulement. Pour le bassin versant du K'sob, la pluviométrie moyenne interannuelle est de l'ordre de 363mm. Pour la pluie journalière maximale interannuelle, elle est de l'ordre de 36,3mm.

La température est un facteur très important, qui conditionne les phénomènes et les paramètres du bilan hydrologique en particulier, la saison chaude qui s'étend de mai à octobre, avec un maximum en juillet, qui atteint la valeur 34.7°C, alors que la saison froide correspond à la période de novembre à avril avec un minimum en janvier de 1.7°C. La diminution des températures du Nord vers le Sud pour le bassin de l'oued K'sob est liée essentiellement à l'altitude, mais aussi à cause de l'effet de la continentalité dans la région des hautes plaines.

I.6 DEFINITION DE LA VASE

Le nom de vase (mot emprunte au Néerlandais) est la désignation d'une large teneur en eau importantes. Elles contiennent une phase minérale dont la granulométrie appartient à la famille de sédiments fins, argileux, plus ou moins organiques, pouvant atteindre des s'étend des sables, aux argiles et aux colloïdes, une phase organique et une phase liquide.

La vase peut se présenter aussi bien à l'état de suspension (crème de vase) que de sol cohérent (sédiment cohésif) présentant alors un caractère plastique, compressible et thixotropique. Elle contient souvent l'habitat d'une faune riche et diversifiée (vers, mollusques, bactéries). [5]

Les vases sont des sols contenant plus de 90% de particules inférieures à 0,2mm, dont la matière organique M.O est comprise entre 2 et 10%. Elles sont composées de sable, limon, argile et de colloïdes organiques. Elles sont en particulier très abondantes dans les estuaires. Elles sont fréquemment thixotropes. La Figure I.6 donne un exemple de passage de remblai de l'autoroute sur une épaisseur importante de la vase.

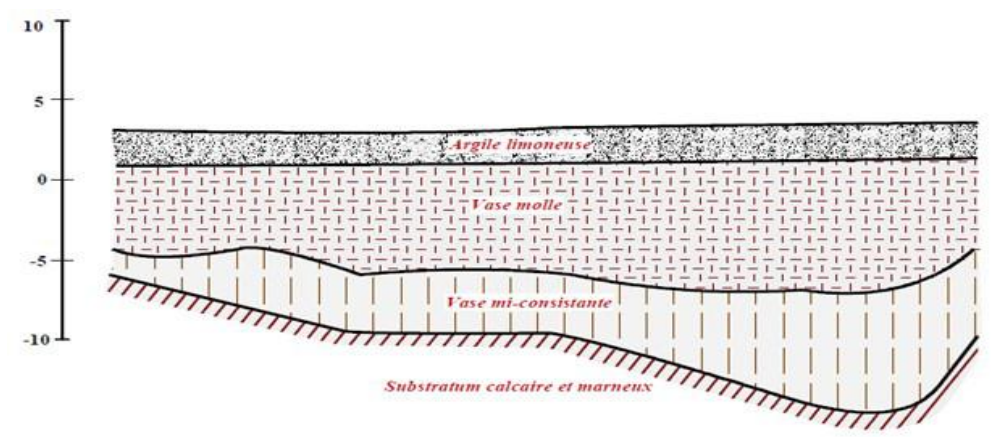


Figure I.6: Traversée de la vallée de la Charente par l'autoroute

Définition proposée par Mignot

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.2: Les plus simples définitions des faciès d'après Allen. [6]

| 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.7 COMPOSITION DES VASES

I.7.1 : Structure physico-chimique des vases

Les sédiments se composent d'une fraction solide et d'une fraction liquide (eau) qui est intimement liées les unes aux autres. Les proportions respectives de chacune de ces fractions sont variables d'un milieu à un autre mais demeurent dans une fourchette, qui par expérience, peut être estimée si l'on considéré des matériaux de type vases. [7]

IL y a quatre éléments principaux qui constituent les vases :

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

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

Le schéma ci-dessous retrace les grands ensembles de la composition des sédiments portuaires vis-à-vis notamment de leur siccité ou de leur granulométrie. Figure I.7. [8]

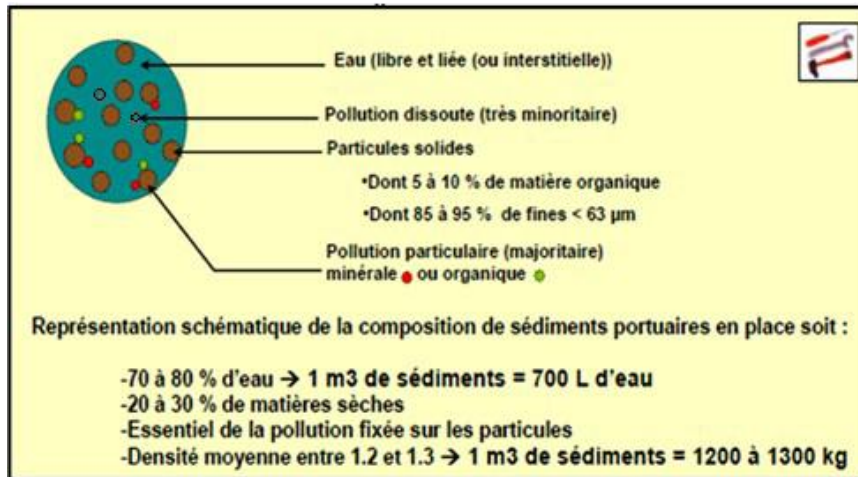


Figure I .7 : Schéma de la composition simplifiée des sédiments portuaires

I .7.2 : Rhéologie des vases

L'étude rhéologique des vases permet de déterminer des paramètres importants pour préciser leur comportement sédimentaire sous une action hydrodynamique. L'un des moyens définissant le mieux de caractère liquide, plastique ou solide, d'une vase, est la rigidité initiale.[9]

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

τ : est la contrainte de cisaillement

G : la vitesse de déformation.

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

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

C_v : la concentration moyenne

G : vitesse de déformation

τ : est la contrainte de cisaillement.

I.8 : PROCESSUS DE DECANTATION ET DE TASSEMENT DES VASES

I.8 .1 : Pourquoi une retenue s'en vase-t-elle ? [10]

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

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

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

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

D'après [MIGNIOT 1989] qui a étudié en laboratoire simultanément les processus de sédimentation et de tassement de plus de 30 vases d'origines diverses. Le suivi de l'évolution de la concentration moyenne d'un culot de tassement en fonction du temps lui permet de distinguer d'une façon générale plusieurs phases. Figure I.8

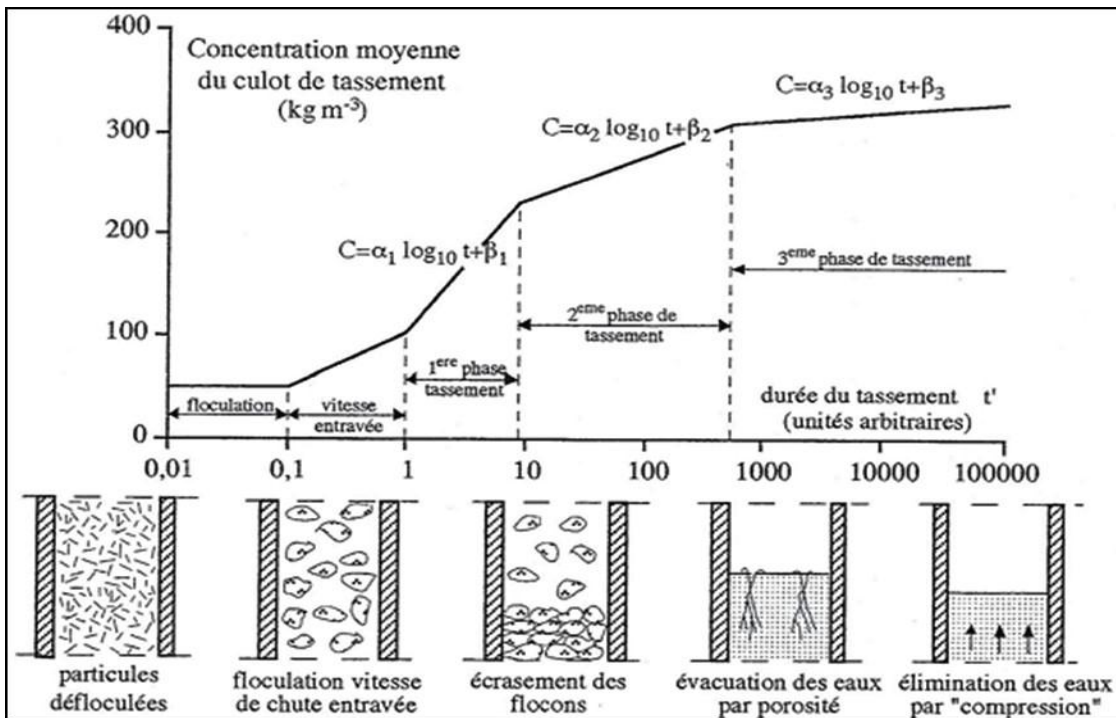


Figure 1.8: Les différentes phases du tassement (d'après Migniot1989). [10]

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

1. Le temps de floculation, de quelques minutes en moyenne: c'est-à-dire au début du processus, les particules élémentaires constituant la vase vont s'agglomérer pour former des agrégats dont la vitesse de chute est nettement plus importante que celle des particules à l'état individuel, c'est la floculation qui dure quelques minutes en moyenne.
2. La chute des flocons a vitesse entravée : Ensuite, on observe successivement la chute des flocons à vitesse entravée
3. Phase01 : La première phase de tassement avec l'élimination d'une partie d'eau interstitielle libre (écrasements des flocons).
4. Phase02 : La deuxième phase de tassement, plus lente, correspond à l'évacuation de l'eau par les porosités.
5. Phase03 : la troisième phase de tassement très lente, se traduit par un arrangement de la structure du dépôt et une perte d'eau des couches adsorbées. Si ces différentes phases du phénomène de tassement sont toujours observées, on doit aussi signaler que chaque matériau a sa propre courbe de tassement qui dépend également des conditions initiales.

En état de consolidation, la vase aura des caractéristiques différentes selon ses propriétés et le milieu dans lequel s'effectue le tassement.

Ce sont les paramètres suivants qui influent ces propriétés:

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

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

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

α : Le coefficient dépend du diamètre des grains : c'est une fonction décroissante avec le diamètre <<d>> des particules pour toutes les phases du tassement.

- Phase de décantation des flocons : $\alpha=0,01 + 0,05 d$
- Phase d'élimination des eaux interstitielles : $\alpha= 0,01+0,015 d$
- Phase d'élimination des eaux fixées aux micelles : $\alpha = 0,01 +0,001d$.

2. Le milieu aqueux : les éléments chimiques dissous dans l'eau, ont une Influence variable sur le tassement des particules en suspension.

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

3. Les conditions initiales de sédimentation : pour apprécier l'influence des conditions initiales, les deux paramètres surveillés sont :

- La vitesse de tassement : Des mesures des vitesses de chute en eau calme en fonction de la concentration [MIGNOT, THORN, SANCHEZ] ont montré que pour des concentrations faibles la vitesse de chute augmente régulièrement avec la concentration, mais à partir d'une certaine concentration (de l'ordre de 5 à 10 kg m^{-3} , selon les sédiments qui ont été étudiées), la vitesse de chute commence à diminuer quand la concentration augmente.

- Le tassement final : Les paramètres influents sont la hauteur et la concentration en particules à l'état initial. Plus ces deux paramètres sont élevés plus le tassement final est important, mais plus la vitesse est faible, le mouvement ascendant de l'eau drainée permettant la consolidation est gêné.

- Les matières organiques : leur présence est limitative du tassement, par la formation de gaz lors de leur décomposition qui perturbent la concentration des dépôts.

[MIGNOT 1989].

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

C_0 : Concentration initial (kg/m^3).

h_0 : hauteur initiale.

ρ_s : Masse volumiques des sédiments.

h_t : hauteur du culot a l'instant t.

4. La présence de sable : elle favorise de façon générale le tassement. Le drainage de l'eau se fait plus facilement lorsque des grains sont dispersés dans les sédiments. (C'est-à-dire les possibilités d'évacuation de l'eau interstitielle contenue entre les particules solides). La perméabilité est augmentée par leur présence.

I.9 : LES MODELES D'ESTIMATION DE L'ENVASEMENT

I.9.1 : Comment évaluer le volume de l'envasement? [NETO 2007]

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

I.9.2: Bathymétrie par nivellement [PROUCHAL, KER LANN 2006]

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

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

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

Les mesures sont composées de profils en travers qui pour être représentatifs, doivent être judicieusement localisés et dénombrés. La définition du volume extrait ou à retirer est établie par extrapolation entre deux profils à partir du produit entre la section envasée et la distance Figure I.9.

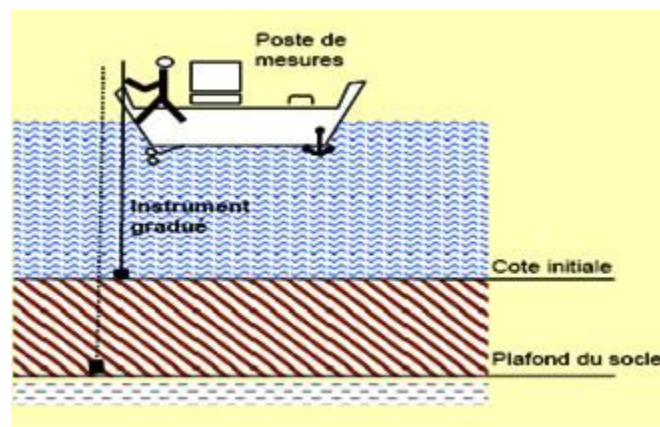


Figure I.9: schématisation de la bathymétrie par nivellement

b. la seconde méthode de nivellement est réalisé à l'aide d'une mire sur une embarcation et d'une lunette de visée ou d'un tachéomètre (lunette de visée laser), la hauteur d'eau, le niveau supérieur de la couche de vase et le fond dur sont obtenus (photo 1.10). Le relèvement s'effectue point par point selon un profil transversal au cours d'eau. Le nombre de points sera forcément fonction de la largeur du cours d'eau. La carte globale se fait alors par extrapolation des profils transversaux. Il est nécessaire de prendre en compte la cote de l'eau, d'avoir un positionnement précis des profils pour tenir compte des particularités du terrain. Le nivellement n'est généralement pas précis et admet une erreur de 20 %. Le volume de sédiment se fait ensuite par extrapolation entre deux profils.

$$V = S \times L$$

V : volume de sédiments en mètres cubes.

S : section envasée en mètres carrés.

L : distance entre deux points de mesure en mètre.



Figure I.10: Estimation de l'envasement par la méthode de nivellement (Tachéomètre).

I.9.3 : Bathymétries par sondeurs: «Echosondeur bathymétrique»

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

Bathymétrie par sondeurs (Figure1.11) Le volume des sédiments est calculé par informatique avec, comme hypothèse de départ, la cote du projet à atteindre. (Un point de sonde = couple (distance, angle) Pratiquement mesure (t, θ) et exploitation (y, z). Deux approches pour estimer (t, θ): Mesure de l'instant d'arrivée à angle fixe, mesure de l'angle en fonction du temps d'arrivée.

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

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

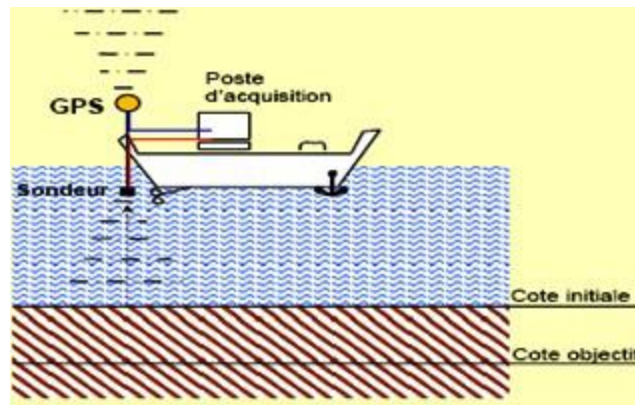


Figure 1.11: Schématisation de la bathymétrie par échosondeur

Les moyens d'utiliser pour les levés Bathymétriques par échosondeurs:

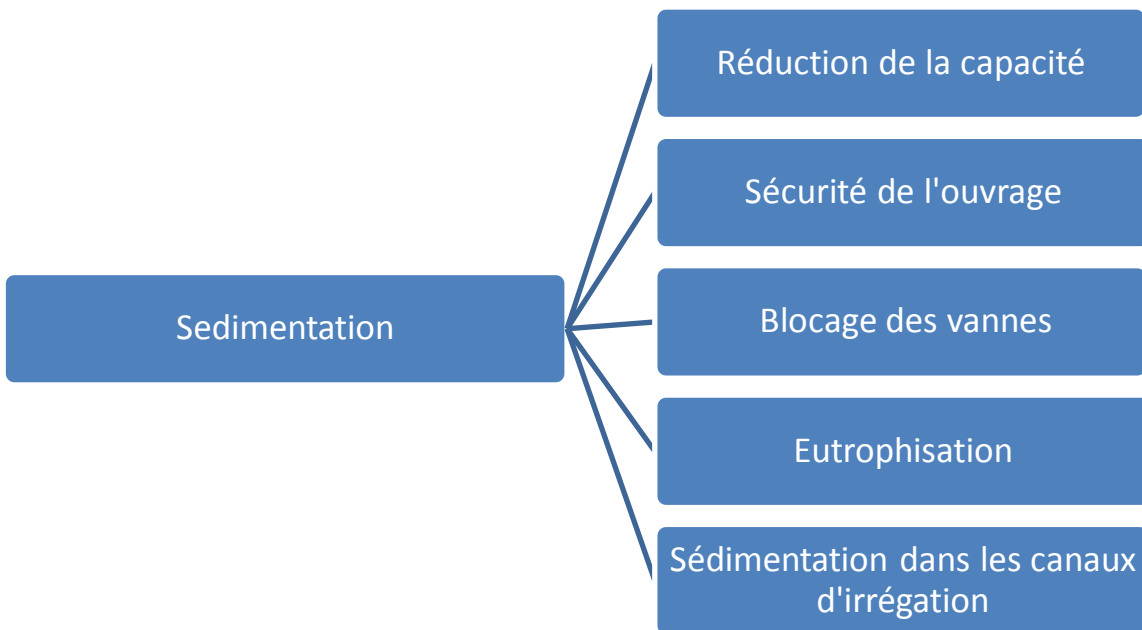
- Une embarcation pneumatique semi rigide.
- Une station de référence.
- Un sonar avec une fréquence de 200khz.
- Un GPS portable avec un récepteur GPS RTK 6502.
- Un PC portable avec le logiciel DTM 2000.
- Une barre d'étalonnage.

Au début du travail, l'hydrographe étalonne l'échosondeur par la barre d'étalonnage à différentes profondeurs. Il valide ainsi la profondeur du transducteur et la vitesse de propagation des signaux ultrasonores dans l'eau du barrage. La distance entre profils est choisie en fonction du terrain par le logiciel de guidage DTM 2000.

Le long d'un profil, les données sont émises en continu mais l'enregistrement se fait toutes les deux (2) secondes. La direction des profils, généralement perpendiculaire aux rives, est choisie par l'hydrographe qui calcule le cap et navigue a cap constant. Durant le levé, il arrive de constater des formes de fond particulières sur les profils (des hauts fonds ou des fosses).

1.10 PROBLEMES DE L'ENVASEMENT DES BARRAGES

L'envasement des barrages pose d'énormes problèmes au niveau du réservoir lui-même, mais aussi en amont et en aval du réservoir. Elle entraîne la réduction de la capacité utile du barrage, le blocage des organes de vidange, la sédimentation peut mettre la stabilité de l'ouvrage en danger. Elle peut aussi accélérer l'eutrophisation du lac. Les sédiments en suspension dans l'eau distribuée par les canaux, à partir des barrages, se déposent dans ces ouvrages, réduisent-leur débitante, et rendent difficile leur exploitation, et elle a même un impact sur la qualité de l'eau.



1.10.1 : La réduction de la capacité

• Réduction de la capacité

La réduction de la capacité de stockage de l'eau est sans aucun doute la conséquence la plus dramatique de l'envasement. Chaque année, le fond vaseux évolue et se consolide avec occupation d'un volume considérable de la retenue.

• Sécurité de l'ouvrage

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

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

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

• **Blocage des vannes**

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

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

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

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

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

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

• **Accélération de l'eutrophisation**

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

• **Sédimentation dans les canaux d'irrigation**

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

Selon Badraoui A. et Hajji A. (2001) au Maroc, plusieurs canaux d'irrigation s'ensavent à chaque opération d'irrigation. C'est le cas du canal de la rocade qui alimente les périmètres du Haouz central, et la ville de Marrakech. Les périmètres de Habra, dans l'ouest algérien, s'ensavent à chaque opération d'irrigation. Il arrive souvent que les siphons se bouchent par la consolidation de la vase, et le curage devient donc indispensable, et d'une manière régulière.

Les eaux chargées de matériaux fins forment un courant de densité qui s'écoule sur le long de la retenue et transportent ainsi la vase jusqu'au pied du barrage. D'après DUQUENNOIS. H (1952-1957) la formation des courants de densité dans une retenue est conditionnée par deux paramètres :

1. Un apport solide important «concentration élevée» dans la retenue.
2. Un écoulement torrentiel à l'entrée de la retenue «Le court d'eau principal présente une Forte pente». Ces écoulements peuvent se faire : Au-dessous «Under flow», Au-dessus «Overflow», à travers «Interflow». Dans ce trajet, les sédiments se déposent, des plus grandes particules aux plus petites, de l'amont vers l'aval de la retenue : voir figure (I.12).

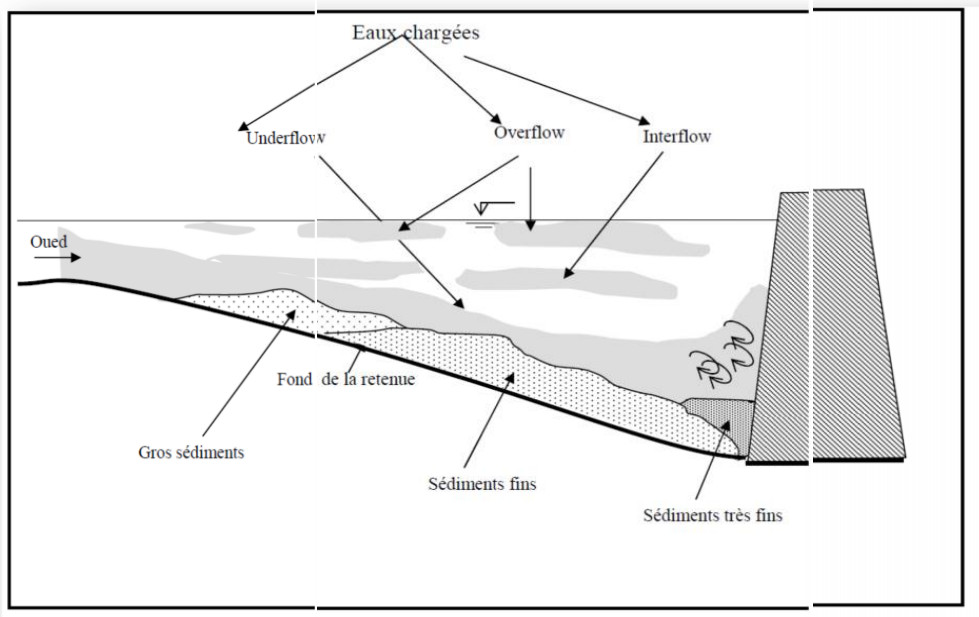


Figure I.12: mode d'ensablement

Les différents mécanismes de l'ensablement dépendent du type de retenues (morphologie) et les conditions de sédimentation existant à l'amont de la retenue (érosion et transport solide).

La morphologie de chaque retenue est déterminée par son état antérieur. Par ailleurs, la forme de la retenue, la circulation de l'eau, et les apports solides ont une grande influence sur la nature et la vitesse de l'alluvionnement de la retenue.

La nature des matériaux déposés (la taille, forme, concentration, vitesse de chutes et densité des particules jouent un rôle important), la présence ou l'absence de stratification, et la cohésion du dépôt solide dépendent surtout des mécanismes de sédimentation et des formes de l'écoulement qui conduira à la décantation.

I.11 DRAGAGE

Le dragage est une opération ayant pour objet le prélèvement de matériaux, notamment boues, limons, sables et graviers, au fond d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau à l'aide de moyens mécanique, hydraulique ou pneumatique dans le but d'aménagement ou

D'entretien, c'est-à-dire tous travaux nécessaires pour rétablir un cours d'eau dans sa largeur et sa profondeur naturelle. Cela exclut un approfondissement ou un élargissement du lit.

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

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

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

Un nombre important de barrages ont été récupérés par la technique de dragage et leur durée de vie se trouvent prolongée de plusieurs années.

I.11.1 Types de dragage

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

I.11.1.1 : Dragage hydraulique

Cette technique nécessite une drague suceuse refouleuse et une conduite flottante et terrestre pour l'évacuation du produit dragué (vase et eau) jusqu'à la zone de rejet. Les figures 1.13 et 1.15 montrent cette technique de dragage.

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

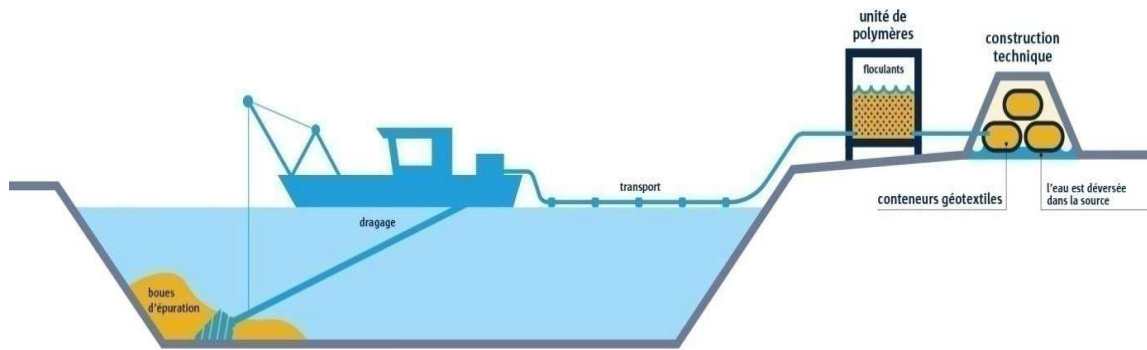


Figure 1.13 : dragage hydraulique

I .11.1.2 : Dragage mécanique

Il consiste au dragage par des moyens comme le montre la figure 1.14:

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

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

Toutefois la technique de dragage la plus appropriée nécessite au préalable la résolution des problèmes:

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



Figure 1.14 .Dragage mécanique

I.11.1.3 :Dragage 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, comme l'illustre la figure 1.7. 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.

1.11.2 Différents moyens de dragage

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

1.11.3 Impact sur l'environnement

Les figures 1.15 et 1.16 sont deux exemples de la pollution de l'environnement par les sédiments dragués (Marouf H, 2018).



Figure 1.15. Rejet de la vase draguée (Barrage de Fergoug)



Figure 1.16. Entrainement de la vase en aval (Plaine de la Mactaa)

1.12 LES MOYENS DE LUTTE CONTRE L'ENVASEMENT

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

En résumé, les moyens de lutte contre l'envasement dans les organigrammes selon (Remini B, 2003) sont indiqués dans la figure 1.17.

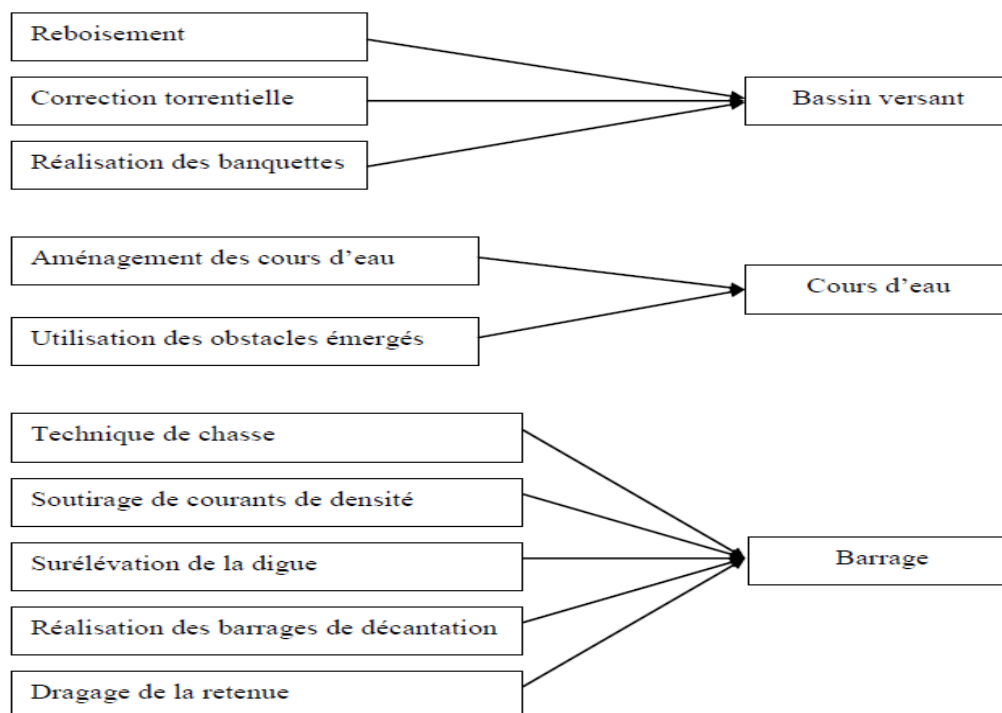


Figure 1.17 Moyens de lutte contre l'envasement

I.13. L'ENVASEMENT DES RETENUES

I .13.1 : Evasement des retenues dans le monde

Les retenues de barrages constituent une aire privilégiée pour le dépôt des matériaux solides érodés et, de ce fait, de nombreux réservoirs se sont comblés et d'autres sont entrain de l'être à une vitesse inquiétante. Les dépôts qui en résultent dans les retenues de barrages diminuent leur capacité par des phénomènes d'envasement.

Plusieurs auteurs ont montré les conséquences et les prévisions dramatiques de la sédimentation dans les barrages, qui sont fonction du site, de l'importance et du mode d'exploitation de l'ouvrage, parmi eux : Korso. K, 1986 [11], Mekerta. A, 1986 [12], et Taleb. A, 1987 [13] qui donne une idée sur l'envasement de quelques retenues dans le monde (Voir tableau I.3).

Tableau I.3 : Taux d'envasement de quelques retenues dans le monde (Taleb. A, 1987) [13].

| Pays | Barrage | % annuel de perte de capacité | Capacité initiale en hm3 |
|-----------------|-----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Algérie | Ksob | 3.5 | 11.6 |
| | Cheurfa | 2.0 | 14.4 |
| | Foum el gherza | 1.7 | 47.0 |
| | Ghrib | 1.1 | |
| Autriche | Bachental | 3.0 | 0.7 |
| | Burg | 2.5 | 0.24 |
| Chine | Heisonglin | 6.5 | 8.6 |
| Espagne | Dona Al Dosa | 6.5 | 23.0 |
| | Pero Marin | 5.9 | 19.0 |
| | Las Torcas | 1.9 | 8.9 |
| France | Beauvoir | 3.0 | 11.0 |
| | Escale(Durance) | 4.2 | 15.7 |
| Grece | Lauros | 4.3 | 1.0 |
| Inde | Iungabhadra | 1.4 | 3750 |
| | Nizamsagar | 1.4 | 1050 |
| | Panchet Hill | 0.7 | 1580 |
| Maroc | Neckor | 6.3 | 43.0 |
| | Lalla Takerkouste | 2.0 | 77.0 |
| | Mohamed V | 2.0 | 725.0 |
| | Ibn Battouta | 1.0 | 43.6 |
| U.S.A | Laguna (Colorado Arisona) | 10.0 | 25.0 |
| | Imperial (Colorado Arisona) | 11.2 | 104.0 |
| | Austin (Colorado Texas) | 7.35 | 39.4 |
| | | | |

Le tableau ci-dessous montre l'état de l'envasement de certains barrages Algériens mis en exploitation et donnent une projection de l'an 2010 (Agence Nationale des Barrages Algériens, 1990) [14].

Tableau I.4: L'envasement de quelques barrages

| Nombre de barrage en exploitation | Capacité initiale hm³ | Volume envasé 1990 en hm³ | Volume envasé 2010 en hm³ |
|--|---|---|---|
| 37 | 3886.5 | 430 (11%) | 934 (24%) |

On peut noter que le volume envasé des 37 barrages passe de 11% en 1990 à 24% en 2010. Ces chiffres montrent les conséquences dramatiques de la sédimentation dans les retenues de barrages.

I.14. VALORISATIONS DES SEDIMENTS

La transformation des vases et leur utilisation sont des questions peu développées et restent à l'ordre du jour pour de nouvelles réglementations en adéquation avec les notions de protection de l'environnement et le développement durable.

I.14.1. Valorisation des sédiments en technique routière

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

Définition de la structure de chaussée

La structure d'une chaussée routière est composée de plusieurs couches superposées, dont généralement seule celle sur laquelle circulent les véhicules est visible. Mais en fait, jusqu'à quatre couches il y a une couche intermédiaire dite «couche de forme» qui transmettent les efforts induits par le trafic jusqu'au sol support.

Au sens géométrique du terme : c'est la surface aménagée de la route, sur laquelle circulent normalement les véhicules.

Au sens structural: Structures multicouches, elle est l'ensemble des couches de matériaux disposés sur le terrain préparé et devant supporter la circulation des véhicules. Elle comprend les largeurs des différentes couches.

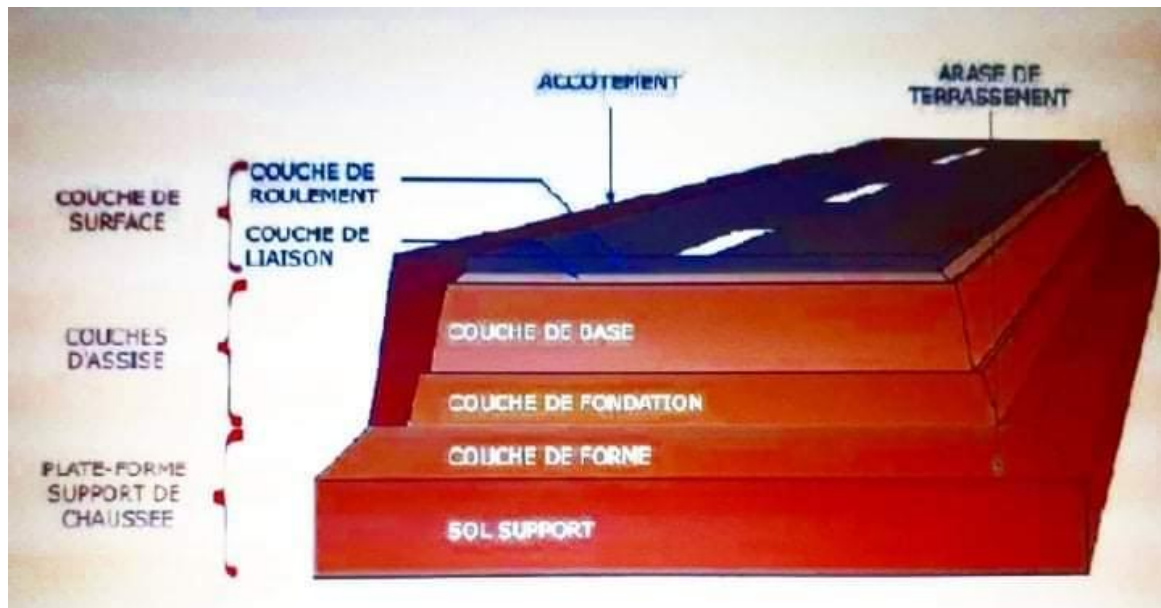


Figure I.18 : Différentes couche d'une chaussée

I.14.2. Utilisation de la vase dans la fabrication de ciment

Le phénomène de l'envasement des barrages en Algérie constitue un enjeu d'envergure nationale. Ces barrages se transforment beaucoup plus en réceptacles de vase que d'eau. A cet effet, les possibilités d'utilisation des sous-produits issus des opérations de dragage sont réelles et touchent de nombreuses applications. La fraction solide des vases des barrages constitue un matériau économique local très attractif du fait de sa granularité fine économisant les étapes coûteuses de concassage et tamisage dans les applications en Génie Civil. L'utilisation de ces matériaux en tant que matière première contribue souvent à la protection de l'environnement des sites suite au rejet des matériaux dragues.

Les chercheurs de plusieurs universités dans le monde collaborent entre eux pour pouvoir construire à bon marche à partir des déchets naturels ou industriels ou à partir d'autres matériaux locaux en abondance tels que la pouzzolane naturelle de Beni-Saf, les fines calcaires de carrières ou encore les boues de dragage utilisées partiellement en substitution au ciment conventionnel.

La production du ciment Portland, le plus commun des matériaux de construction, a un cout énergétique élevé, calciné à de hautes températures, sa production coute chère et dégage des gaz à effet de serre portant un énorme préjudice à l'environnement. Le besoin d'un produit de substitution est urgent, la réduction des couts d'un logement est cependant liée à la baisse des matériaux de construction. Le ciment à base de ces additions fournit une solution opportune. Les blocs en béton d'argile expansée sont produits pour l'essentiel selon la même technique que les blocs en béton de granulats courants.

Les granulats sont simplement remplacés par de l'argile expansée de manière à abaisser la masse volumique et la conductivité thermique.

L'argile expansée est fabriquée à partir de billes d'argile broyée auxquelles on fait subir une cuisson à une température de 1100 à 1200 °C. La combustion des composants naturels de l'argile ou des composants organiques ajoutés au produit des gaz responsables de l'expansion des billes, avec formation d'une structure finement poreuse à l'intérieur de celles-ci et d'une peau relativement dure en surface.

I.14.3 : Valorisation des sédiments dans l'industrie des matériaux rouges

Les matériaux rouges sont essentiellement les briques et les tuiles (voir la figure I.19), les éléments pour les planchers, les conduits de fumée, les bardages, les carreaux rustiques, ..., etc. Les mélanges de production des matériaux rouges sont composés de l'argile, sable, calcaire, feldspath et d'autres ajouts.

Comme la nature de la vase de la plus part des barrages est une argile, elle peut être utilisée comme matière première dans l'industrie des matériaux rouges. Selon sa composition minéralogique et chimique, la vase est utilisée seule ou en la mélangeant avec une autre argile.

La composition chimique (% en éléments majeurs) des sédiments bruts et la composition chimique des argiles utilisées pour la fabrication des produits de terre cuite sont comparables (Alviset, 1994). Cette analogie de composition a orienté les recherches vers la valorisation des sédiments comme matière première dans les briques. Alviset (1994) a rapporté qu'il s'agit d'une étude de faisabilité pour ce type de valorisation. 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 de la briqueterie Al Andalous de Tanger (Maroc). La figure montre l'aspect des briques obtenues en substituant 70% de l'argile utilisée par les sédiments de dragage.



Figure I.19. Briques et tuiles

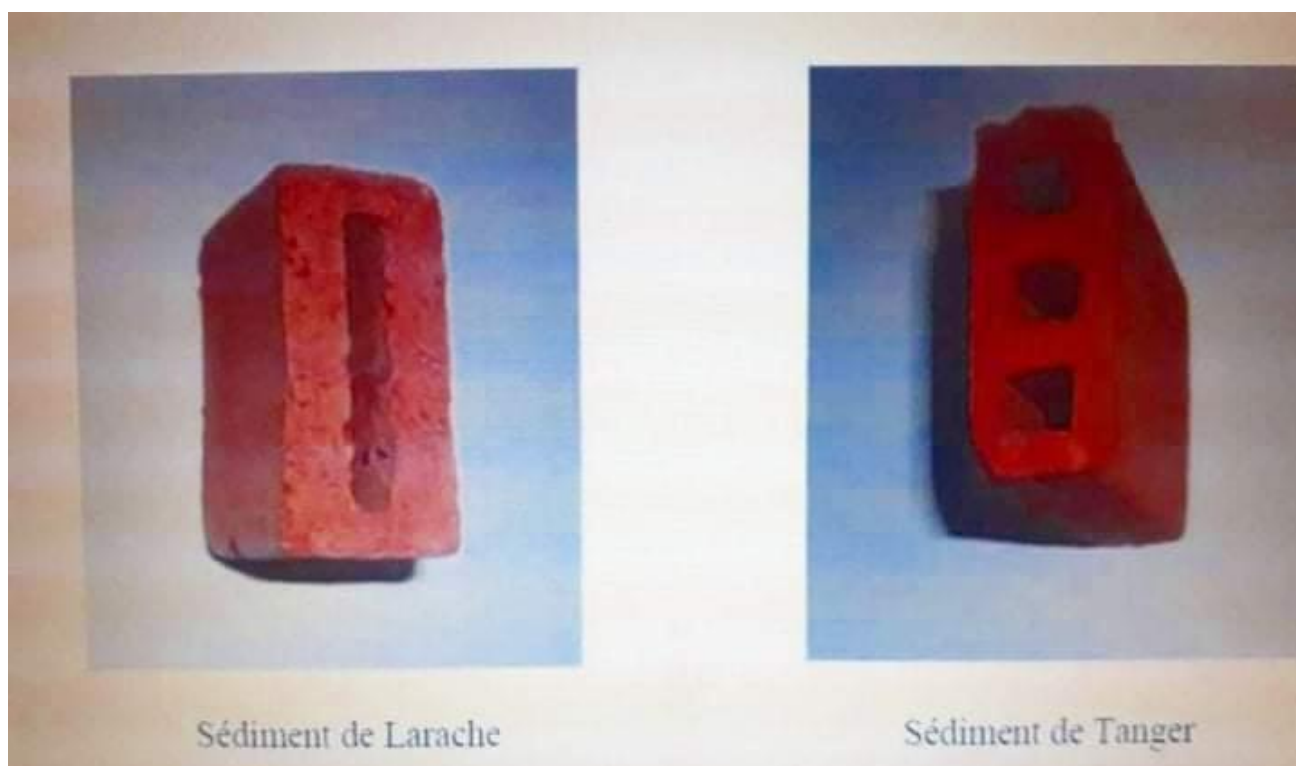


Figure I.20. Briques fabriquées avec un taux de substitution de 70% de sédiments

Exemple

Les analyses physiques, chimiques et minéralogiques ont été prises à partir d'échantillons de vase prélevée au niveau de la conduite de vidange de 11 barrages. Figure I.21



Figure I.21. Barrages étudiés.

Cette étude s'est orientée vers l'utilisation de la vase pour la fabrication de la brique. Le processus de la fabrication peut être schématisé selon. Figure I.22

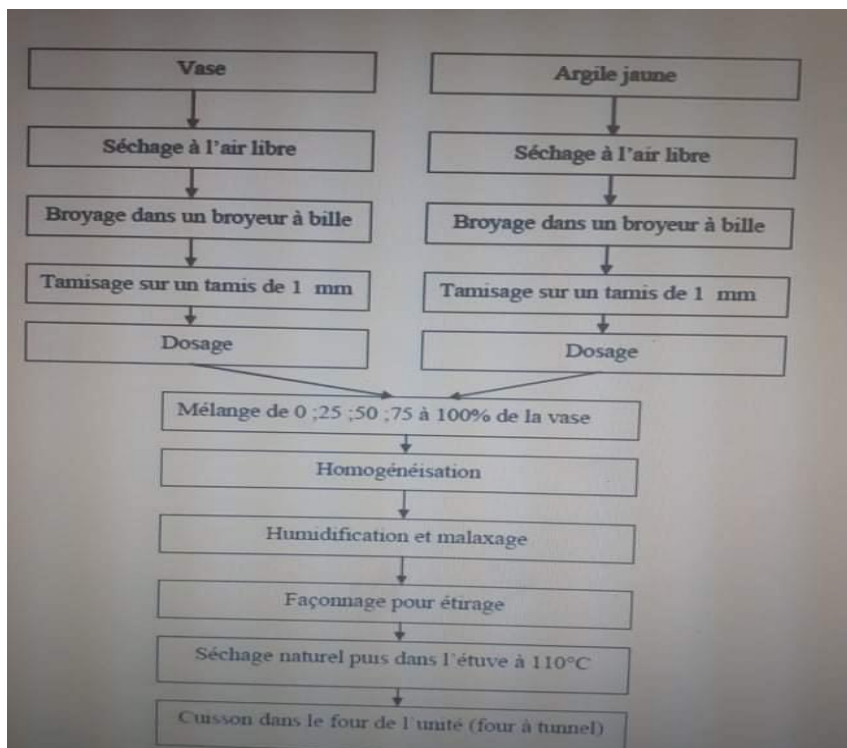


Figure I.22. Schéma général du processus de fabrication des briques

En se basant sur les résultats des analyses physiques, minéralogiques et chimiques des vases de 11 barrages, Remini (2006) a établi une première carte de réutilisation de la vase dans différents domaines. La figure I.24 présente les domaines de valorisation de la vase de chaque barrage.

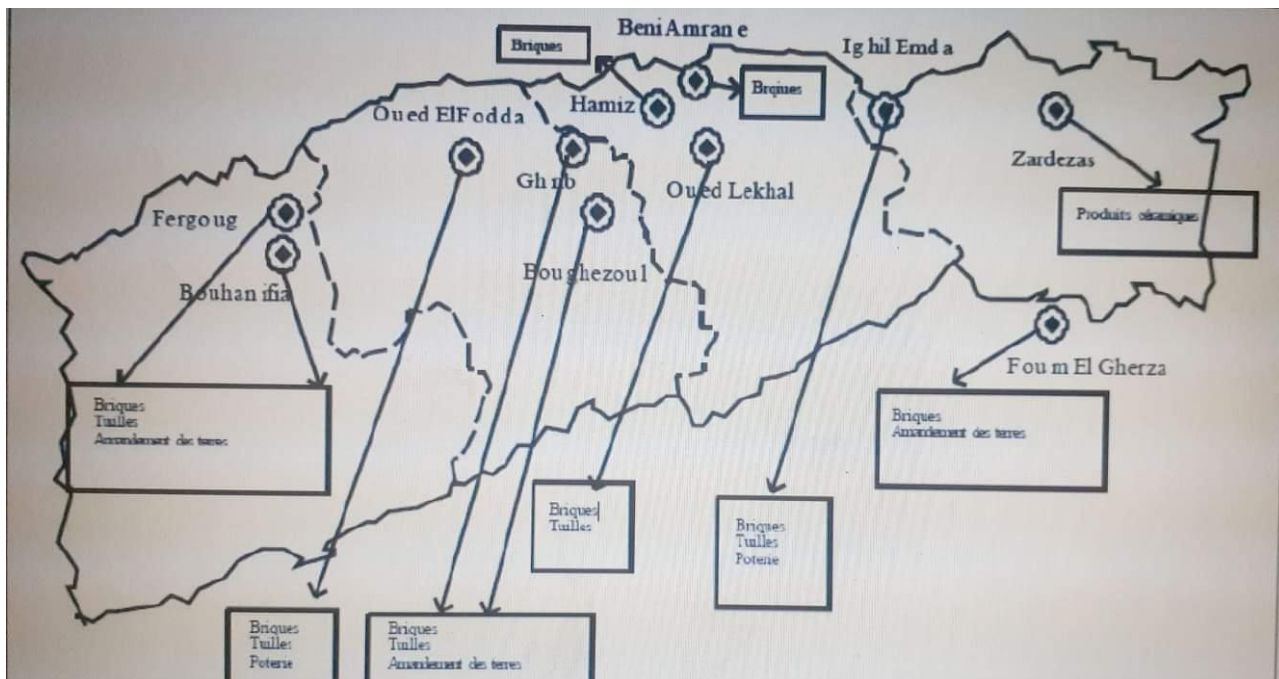


Figure I.23. Utilisation des vases de barrages les plus envasés.

CONCLUSION

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

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

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

CHAPITRE II

PROGRAMME EXPERIMENTAL ET PROCEDURES D'ESSAIS

CHAPITRE II

PROGRAMME EXPERIMENTAL ET PROCEDURES D'ESSAIS

II.1 INTRODUCTION

Après la présentation du barrage de k'sob vient l'étape de présenter les différents essais et le matériel utilisé en vue de déterminer les caractéristique physique et mécanique de la vase sans traitement en vue de son utilisation dans des projets routiers. Le programme établi de ces essais devait se voir exécuter dans deux laboratoires distincts, qui sont celui de notre université « Université Mohamed Boudiaf de M'sila » et le laboratoire Central des Travaux Publics Antenne de M'sila (L.C.T.P). Malheureusement la pandémie COVID 19, a fait que les travaux de laboratoire programmés s'arrêtent en mars et non pu être mené à terme à cause des conditions sanitaires du pays.

II.2 - PRESENTATION DES ECHANTILLONS

Le prélèvement des échantillons effectué en mars 2020 a été réalisé manuellement à l'aide d'une pelle à un bassin qui se trouve à proximité du barrage K'sob et qui a été réservé au stockage de la vase extraite par dragage du fond du barrage, voir **figure II.1**,



Figure II.1 Photo de la vase du Barrage K'sob

II.3 - ETUDE D'IDENTIFICATION GEOTECHNIQUE

Nous nous intéressons à l'identification puis à la valorisation de notre vase dans des applications en génie civil notamment en technique routière. La géotechnique routière s'appuie sur un certain nombre d'essais communs avec la mécanique des sols et sur certains

essais spécifiques qui permettent d'évaluer le comportement et les conditions de mise en œuvre des sols de la plate-forme support de chaussée.

Identifier un sol, c'est déterminer un ensemble de propriétés physiques, mécaniques ou chimiques qui permettent de le caractériser. Ces propriétés sont déterminées par des essais simples et rapides, appelés « essais d'identification ». L'identification géotechnique telle qu'elle est pratiquée actuellement dans les laboratoires routiers algériens s'effectue selon des modes opératoires établies par la norme française. Notre travail expérimental consiste à effectuer une campagne d'essais pour déterminer un bon nombre de paramètres et d'indices permettant l'identification de la vase prélevé sur le site du barrage de K'sob.

Concernant l'identification de la vase de la retenue, on distingue les analyses et les essais suivants :

- la teneur en eau naturelle $W(\%)$;
- analyse granulométrique (par tamisage et sédimentométrie) ;
- les limites d'Atterberg ;
- essai au bleu de méthylène ;
- Teneur en matières organiques (MO%) ;
- analyse chimique et minéralogique ;

II.3.1. TENEUR EN EAU NATURELLE $W(\%)$

La détermination de la teneur en eau d'un sol, qui se définit par poids de l'eau contenu dans l'échantillon, le poids des vides étant négligeable.

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



Figure II.2. Prélèvement de La vase

II.3. 2.1. ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Le sédiment est une matrice relativement hétérogène constituée d'eau, de matériaux inorganiques et de composés anthropiques [Bonnet, 2000]. Généralement le sédiment est décrit par sa composition minéralogique et sa structure. Dans le secteur des travaux routiers, pour une classification des matériaux selon le « Guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme » [GTR. 1992], la distribution granulométrique constitue le premier paramètre d'entrée dans les tables de classification.

L'analyse granulométrique de cette étude s'obtient par deux opérations successives et complémentaires : le tamisage par voie humide pour des particules de dimensions $\geq 80\mu\text{m}$ (0.08mm), l'essai est effectué selon la norme (NF P94-056, 1992). Cette méthode consiste à fractionner un matériau granulaire au moyen d'une série de tamis de taille décroissante (Figure II.4).

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



Figure II.3 L'analyse granulométrique par des tamis manuellement humide

Le Matériels utilisé pour la granulométrie est le suivant :

- Une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture intérieure des mailles est respectivement de haut en bas (3.15 - 2.5 - 1.25 - 0.68 - 0.315 - 0.08) ;
- Tamis manuellement ;
- Balance précision.



Figure II.4 série de Tamis manuellement

II.3.2.2.LA SEDIMENTOMETRIE PAR DENSIMETRE (NF P94-057, 1992),

C'est une analyse qui complète celle faite par tamisage, elle est réalisée pour des particules ayant un diamètre $< 80\mu\text{m}$, Le principe de cette essai est fondé sur la loi de Stocks.

Le matériel utilisé pour la réalisation de l'essai de sédimentométrie est le suivant :

- Deux éprouvettes de 2,5 l ;
- Densimètre.
- Thermomètre ;

- agitateur manuel et mécanique.

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 3ème 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.

II.3.3.1 MESURE DE LA MASSE VOLUMIQUE : (NF XP P 94-054)

*-La masse volumique absolue :

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

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 :

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

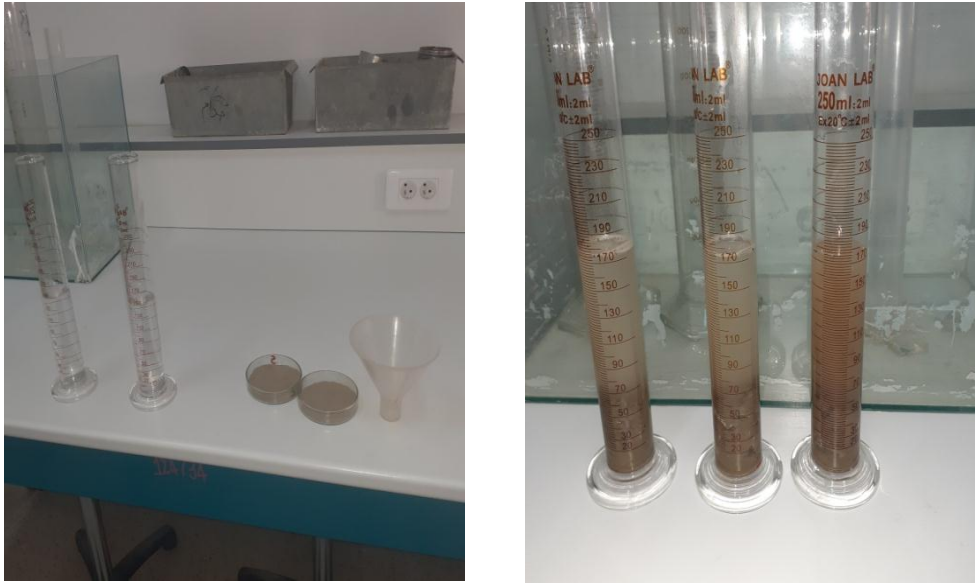


Figure II.5 Masse volumique absolue, méthode des éprouvettes

La masse volumique absolue des sédiments, (ρ_s), est la masse par unité de volume des sédiments qui constituent le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains. Il ne faut pas confondre la masse volumique absolue (ρ_s), avec la masse volumique apparente (ρ), qui est la masse du matériau par unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides.



Figure II.6 la masse volumique absolue par pycnomètre

II.3. 4. LIMITES D'ATTERBERG

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

a)-limite de liquidité (w_L) :

Par définition, la limite de liquidité est la teneur en eau (exprimée en %) qui correspond à une fermeture en 25 chocs

b)- limite de plasticité (w_p) :

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

c)-indice de plasticité (I_p) :

L'indice de plasticité I_p est la différence entre la limite de plasticité et la limite de liquidité, il mesure l'étendue du domaine plastique,et s'exprime donc par la relation : $I_p=WL-WP$

- Matériels spéciales :

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

- Appareil de Casa grande.
- Outil à rainurer.
- Une spatule.
- Surface lisse non absorbante.



Figure II 7 Matériels utilisés pour la détermination de la limite liquidité

***- Pour la limite de liquidité (2^{ème} méthode) :**

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

- Mode opératoire :

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

Méthode de Casagrande

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

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

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



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

- Méthode au cône de pénétration (Fall cone)

Il existe une méthode autre que la méthode de Casagrande et du rouleau, pour déterminer les limites d'Atterberg. C'est la méthode du cône de pénétration 'fall cône' (figure II.9).

Le principe de la méthode au cône consiste à mesurer l'enfoncement d'un cône normalisé (angle au sommet de 30° , masse de 80 g) pendant 5 secondes dans un échantillon de sédiment. On effectue plusieurs opérations avec des teneurs en eau variée. Les résultats

obtenus permettent de tracer la courbe reliant la teneur en eau (%) en fonction de la pénétration du cône (en mm).

La limite de liquidité est définie comme la teneur en eau du matériau à 17 mm d'enfoncement du cône ($d = 17$ mm), d'après la norme française [norme NF P 94 052] et de 20 mm ($d = 20$ mm) selon la norme anglaise [BS. 1990].

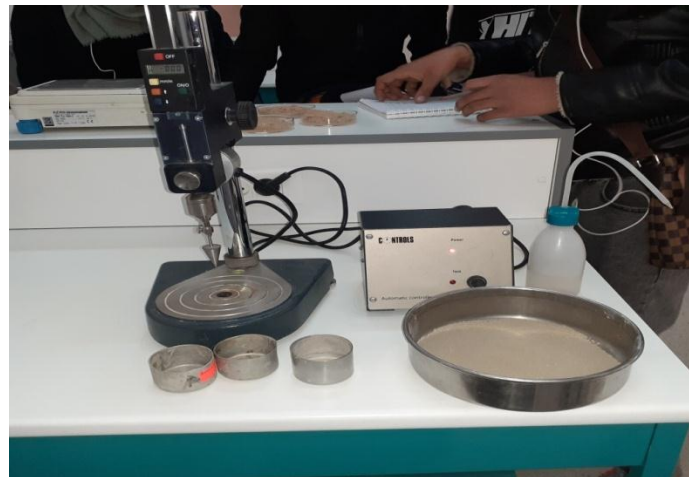


Figure II.9 Matériels de pénétration à Cône.

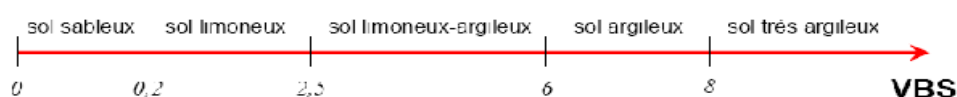
*La limite de plasticité par l'essai au « fall cône », est définie comme étant la teneur en eau correspondant à 2mm de pénétration du cône [Feng T.W., 2000]. En outre, les études effectuées par Zentar et al (2008) sur les sédiments de dragage ont suggéré que la teneur en eau définie à partir de l'essai de pénétration au cône de 1,7 mm à 2 mm est comparable à la limite de plasticité déterminée par la méthode du rouleau.

II.3. 5. ESSAI AU BLEU DE METHYLENE (VBS)

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

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

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



Le matériel utilisé pour cet essai est :

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



Figure II.10 Matériels pour essai au bleu de méthylène (VBS).

II.3. 6. TENEUR EN MATIERES ORGANIQUES (MO%)

La présence des matières organique influence les caractéristiques physiques et mécaniques du matériau. Il est donc un point essentiel pour l'identification du matériau. La mesure de cette teneur en MO peut s'effectuer selon deux procédés:

a. La méthode Chimique : L'essai consiste à déterminer, par un procédé chimique, la teneur en carbonate d'un échantillon de sédiment brut du barrage K'sob. Elle consiste à prendre une prise de l'échantillon préparé et mélangée à une solution oxydante de caractéristique et de quantité connues, une fois l'oxydation réalisée, il est procédé au dosage de la quantité de produit à réagir avec le carbone dans l'échantillon. La teneur en MO c'est le quotient de la masse de matière organique contenue dans un échantillon de sol par la masse des particules solides selon la norme (NFP 94-055 AFNOR 1993).

b. La méthode Par calcination CMOC : elle consiste à déterminer la perte de masse d'un échantillon préalablement sèche, après calcination dans un four à une température comprise entre 450°C et 500°C. la teneur en MO est par définition le rapport de la masse de matières organiques contenues dans un échantillon détruites par calcination sur la masse sèche des particules solides avant la calcination de la fraction du matériau passant au tamis de 2mm. (NFP 94-047 AFNOR 1998).

II.3. 7. CARACTERISATION CHIMIQUE ET MINERALOGIQUE DU SEDIMENT

Une bonne connaissance des minéraux présents dans ces sédiments est indispensable pour mieux connaître le matériau et anticiper l'influence de certains minéraux qui risque d'engendrer des problèmes dans le processus de la valorisation.

II.4. ESSAIS MECANIQUES :**II. 4. 1. ESSAI PROCTOR NORMAL (NF P 94-093)**

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

II.4. 1. 1 Principe de l'essai Proctor :

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

*la teneur en eau optimale.

*la densité sèche maximum correspondante.



Figure II.11 Matériel de l'essai Proctor normal

II.4. 1. 2 Protocole opératoire

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

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

On réitère 5 fois le même mode opératoire en ajoutant à chaque fois 2% d'eau au matériau, on collecte les résultats pour tracer une courbe sur laquelle il est reporté la teneur en eau en abscisses et la densité sèche correspondants en ordonnées.

Comme indiqué figure II 12. A la fin de l'essai, la hausse est retirée et on arase la surface du moule. Connaissant sa masse et son volume (dimensions normalisées : $\varnothing = 152$ mm; $H = 126,6$ mm), on peut déterminer la masse volumique humide ρ_h du matériau compacté. La teneur en eau, obtenue par étuvage à 105°C , permet ensuite de calculer sa masse volumique sèche γ_d . En faisant varier les teneurs en eau.



Figure II.12 Compactage de l'échantillon

II.4.2.1. ESSAI PROCTOR MODIFIE :(SELON LA NORME : NF P 94-093)

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

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

- Matériel spécifique :

- Moule Proctor avec embase et hausse ;
- Dame Proctor modifiée ;
- Règle à araser.



Figure II-13 : L'appareille de l'essai au Proctor modifié

-Mode opératoire :

- 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 ;courbe $\gamma_d = f(w)$ et on détermine son maximum.

**Figure II-14 Essai Proctor modifié**

II.4. 3.1. DETERMINATION DE L'INDICE PORTANCE IMMEDIAT IPI

En association avec l'essai Proctor Normale, des mesures de poinçonnement sur les éprouvettes compactées sont réalisées afin d'estimer l'indice de portance immédiat (IPI) [Norme NF P 94 078]. Ce paramètre permet d'évaluer l'aptitude d'un matériau à supporter directement sur sa surface la circulation des engins de chantier. Par convention, l'IPI est la plus grande des 2 valeurs suivantes :

$$\frac{\text{Effort de pénétration à 2,5 mm d'enfoncement (en kN)}}{13,35} \times 100$$
$$\frac{\text{Effort de pénétration à 5 mm d'enfoncement (en kN)}}{19,93} \times 100$$



Figure II-15 : Appareil de poinçonnement (essai CBR).

III. 4. 3.2. Protocole opératoire

L'essai de poinçonnement est effectué immédiatement après l'essai Proctor. Pour préparer l'échantillon, on retourne le moule CBR, on retire le disque d'espacement (ce qui

permet d'obtenir une surface plane) et on replace l'ensemble sur l'embase. La presse utilisée est celle d'une capacité de 50 KN. Le poinçon est monté sur un anneau dynamométrique de 50 KN, préalablement étalonné. La précision de la mesure de la force est de 21 N. Un comparateur au 100ème de millimètre disposé entre le piston et le moule permet de connaître la valeur de l'enfoncement. Une fois l'échantillon correctement centré sur le plateau de la presse, le poinçon est mis en contact avec le matériau afin de régler le comparateur à zéro. Ensuite, le plateau de la presse est actionné à la vitesse constante de 1,27 mm/min et on relève les forces qui correspondent aux valeurs d'enfoncement de 2,5 mm et 5 mm. En traçant sur le même graphe la courbe $IPI = f(w)$, il est possible de déterminer la portance du matériau à l'optimum Proctor.

II.4.4. ESSAI DE CISAILLEMENT : NORMES NF P 94- 071-1

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

- Appliquer sur la face supérieure de l'éprouvette un effort vertical (N) maintenu constant pendant la durée de l'essai.
- Produire après consolidation de l'éprouvette (sous l'effet de N), un cisaillement selon le plan horizontal de glissement des 2 demi-boîtes l'une par rapport à l'autre en leur imposant un déplacement relatif δl à vitesse constante.
- Mesurer l'effort horizontal de cisaillement T correspondant.



Figure II-16 Appareil de cisaillement

- Mode opératoire :

Au cours de l'essai, les déplacements verticaux (de tassement) et horizontal (relatif des 2 demi-boîtes l'une par rapport à l'autre), sont mesurés. Pour pouvoir tirer (C et ϕ), les paramètres de cisaillement. L'essai doit être effectué au moins 3 fois sur des échantillons ayant les mêmes dimensions, préparés dans les mêmes conditions, cisailés à la même vitesse mais soumis à des efforts verticaux différents (exemple : 50, 100 et 200 kPa).

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

Après consolidation, le cisaillement débute dont la vitesse est bien Déterminée (≥ 1 mm/mn pour un sol pulvérulent).

On obtient ainsi les courbes de cisaillement effort-déformation et l'on peut en déduire les droites (τ, σ) . Il est alors simple de déterminer l'angle de frottement ϕ' et la cohésion C' respectivement la pente et l'ordonnée à l'origine de ces droites

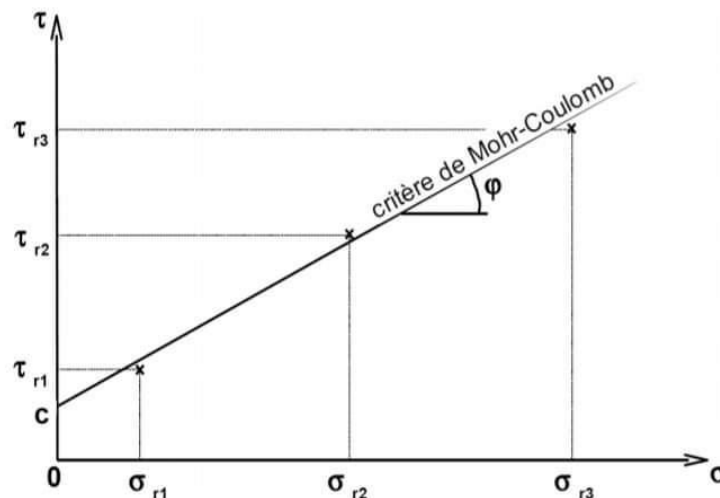


Figure II-17 Courbe de Cisaillement.

CHAPITRE III

PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS

CHAPITRE III

PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS D'ESSAIS

III. INTRODUCTION

Cette étude consiste à déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques des sédiments de dragage du barrage de K'sob, en vue de sa valorisation dans les techniques routières. Les essais d'identifications ont pour objectif la détermination des paramètres de nature (granularité et argilosité), et les essais mécaniques déterminent la capacité portante du sol. Cette étude présente en premier lieu les résultats des essais d'identification (analyse minéralogiques, analyses chimiques, paramètres d'état, granularité, limites d'Atterberg, l'essai au bleu de méthylène, la masse volumique), la classification du sol étudié selon la classification LPC (Magnan, 1980), la norme française NF P11-300 et guide de travaux routier (GTR), ensuite les résultats des essais mécaniques (Proctor normal, la portance immédiate avant et après imbibition, essai de cisaillement).

III.1 ANALYSE GRANULOMETRIQUE SELON LA NORME NF P18-560**➤ Essai par tamisage**

La composition granulométrique influence de façon primordiale les comportements physique et mécanique du sol et toutes les propriétés liées à la teneur en eau et aux fluctuations de celle-ci (compacité, plasticité, portance, capacité de rétention, perméabilité, capillarité).

La composition granulaire du sol est déterminée par deux essais : l'analyse granulométrique et l'essai sédimentométrique selon les normes NF P18-560 et NF P94-057 respectivement.

L'analyse granulométrique consiste à séparer les grains agglomères d'une masse connue de matériau par brassage sous l'eau, à fractionner ce sol, une fois sèche, au moyen d'une série de tamis et à peser successivement le refus cumulé sur chaque tamis. La masse de refus cumulé sur chaque tamis est rapportée à la masse totale sèche de l'échantillon soumis à l'analyse. Les résultats de cet essai déterminent la distribution granulométrique des grains de notre sol, et sont présentés dans les tableaux ci-dessous, et la figure III.1 présente les courbes d'essais d'analyse granulométrique par tamisage, elle consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains.

Tableau III.1 : Résultats des essais analyse granulométrique.

| | Ouvert des passoires | Refus (g) | Tamisat (g) | Tamisat (%) |
|---|----------------------|-----------|-------------|-------------|
| 1 | 2 | 0 | 1000 | 100 |
| 2 | 1.25 | 76.4 | 923.6 | 92.36 |
| 3 | 0.63 | 112.7 | 810.9 | 81.09 |
| 4 | 0.315 | 90.4 | 720.5 | 72.05 |
| 5 | 0.2 | 64.4 | 656.1 | 65.61 |
| 6 | 0.08 | 301 | 355.1 | 35.51 |

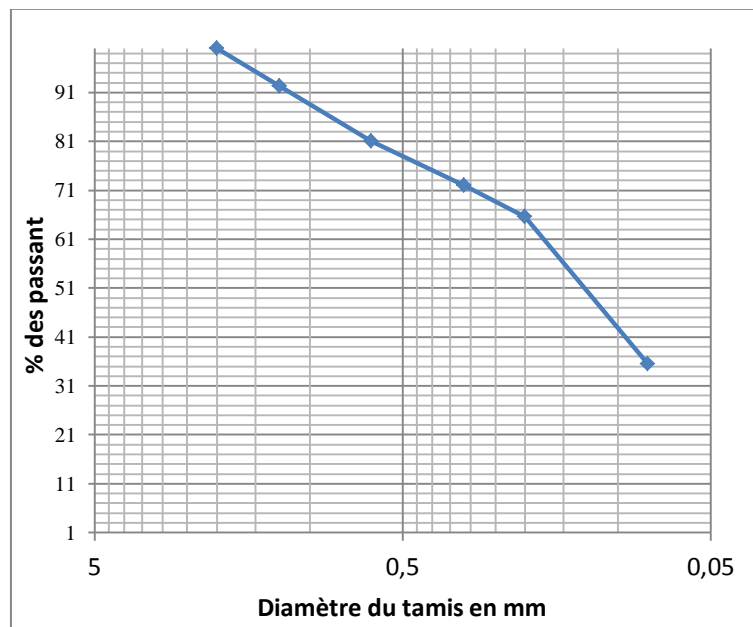


Figure III.1 Courbe de l'essai analyse granulométrique

Selon la courbe granulométrique, il s'agit d'une argile très fine, puisque plus de 35.51% des éléments ont un diamètre $<$ à 80μ ,

A partir de la courbe granulométrique, on peut déterminer :

Coefficient d'uniformité C_u (coefficient de Hazan) $C_u = D_{60} / D_{10} = 9,5$

Avec D_y : ouverture des tamis laissant passer $y\%$ du poids des grains.

D_{10} est appelé diamètre efficace.

$C_u < 2$ granulométrie uniforme ou serrée

$C_u > 2$ granulométrie étalée

Conclusion : Notre sol a donc une granulométrie étalée

Coefficient de courbure Cc

$$Cc = D_{30}^2 / D_{10} D_{60} = 1,68$$

Conclusion : Le coefficient Cc permet d'apprécier la forme de la courbe granulométrique. C'est un autre paramètre permettant d'estimer la distribution granulométrique de l'échantillon. Un coefficient $1 < Cc < 3$: **sol bien classé présentant un étalement granulométrique réduit.**

➤ **Essai de sédimentométrie**

La fraction fine de taille d'un matériau inférieure à 80µm est reprise pour faire l'essai de sédimentométrie. Cet essai permet de fournir la distribution des tailles des particules fines par le biais de la vitesse de décantation qui est liée à leurs dimensions. La loi de Stokes donne dans le cas des grains sphériques de même masse volumique, la relation entre le diamètre des grains et leur vitesse de sédimentation. Par convention, cette loi est appliquée aux éléments d'un sol pour déterminer des diamètres équivalents de particules. Les particules passant 80µm séparées du reste du sol par tamisage sont mises en suspension dans de l'eau additionnée d'un de flocculant. Les particules décantent à différentes vitesses en relation avec leur taille. La distribution pondérale de la taille des particules est calculée à partir de la masse volumique de la solution qui évolue au fur et à mesure qu'elle se décante.

Tableau III.2 les données d'essai d'analyse sédimentométrie

| Temps de lecture | | | Lecture densimètre R | Temperature C° | % Sur tamis à 80µm | D(µm) |
|------------------|-----|-----|-------------------------|-------------------|-----------------------|-------|
| h | min | S | | | | |
| --- | --- | 30 | 1,0230 | 27 | 75,10 | 75 |
| --- | 1 | --- | 1,0215 | 27 | 70,21 | 55 |
| --- | 2 | --- | 1,0200 | 27 | 63,68 | 38 |
| --- | 4 | --- | 1,0180 | 27 | 60,42 | 25 |
| --- | 5 | --- | 1,0170 | 27,5 | 53,89 | 17 |
| --- | 10 | --- | 1,0150 | 27,5 | 50,62 | 12 |
| --- | 20 | --- | 1,0140 | 27,5 | 45,73 | 8 |
| --- | 40 | --- | 1,0125 | 27,5 | 40,63 | 5 |
| 4 | -- | --- | 1,0110 | 27,5 | 28,3 | 2 |
| 24 | --- | --- | 1,0070 | 28,5 | 25,4 | 1,5 |

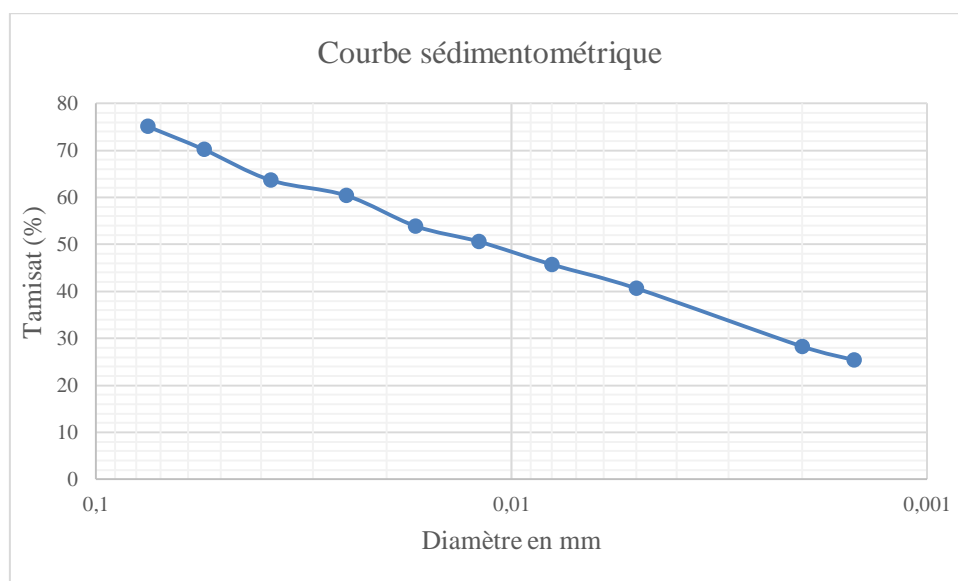


Figure III.2 courbe d'essai sédiment

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

La teneur en eau de la vase du barrage de K'sob est déterminé par un séchage d'un échantillon humide dans une étuve réglée à 60° dans le but de ne pas bruler la matière organique. Les résultats sont présentés dans le tableau III.3.

Tableau III.3 résultats de teneur en eau W(%)

| Numéro de la tare | M | T | R | 9 |
|-------------------|--------|-------|-------|-------|
| Masse de la tare | 46,50 | 42,93 | 44,01 | 51,69 |
| Mh + tare | 105,28 | 85,52 | 82,55 | 91,47 |
| Ms +tare | 88,78 | 73,96 | 72,28 | 80,32 |
| Masse de l'eau | 16,50 | 11,56 | 10,27 | 11,15 |
| Masse de sol sec | 42,28 | 31,03 | 28,27 | 28,63 |
| w(%) | 39,62 | 37,25 | 36,32 | 38,94 |
| Moyenne | 37,88% | | | |

III .3 LIMITES D'ATTERBERG SELON LA NORME NF P 94-051

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

1^{ère} méthode : 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 III.4 Détermination de la limite de liquidité.

| Nombre d'essais | 1 er essai | | 2ème essai | | 3ème essai | |
|------------------------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|
| Nombre de coups | 18 | | 23 | | 31 | |
| Numéro de la tare | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Masse de la tare | 51,10 | 47,36 | 44,78 | 43,67 | 13 | 13,20 |
| M sol humide + la tare | 74,45 | 72,95 | 71,94 | 64,52 | 45, 35 | 46,72 |
| M sol sec +tare | 66,80 | 64,60 | 63,30 | 57,98 | 35,48 | 36,49 |
| Masse d'eau | 7,65 | 7,99 | 8,64 | 6,63 | 9,87 | 10,23 |
| Masse du sol sec | 15,7 | 17,24 | 18,52 | 14,22 | 22,48 | 23,29 |
| Teneur en eau (%) | 48,7 | 46 ,3 | 46,6 | 46,6 | 43,9 | 43 ,9 |
| Moyenne (%) | 47,5 | | 46,6 | | 43,9 | |

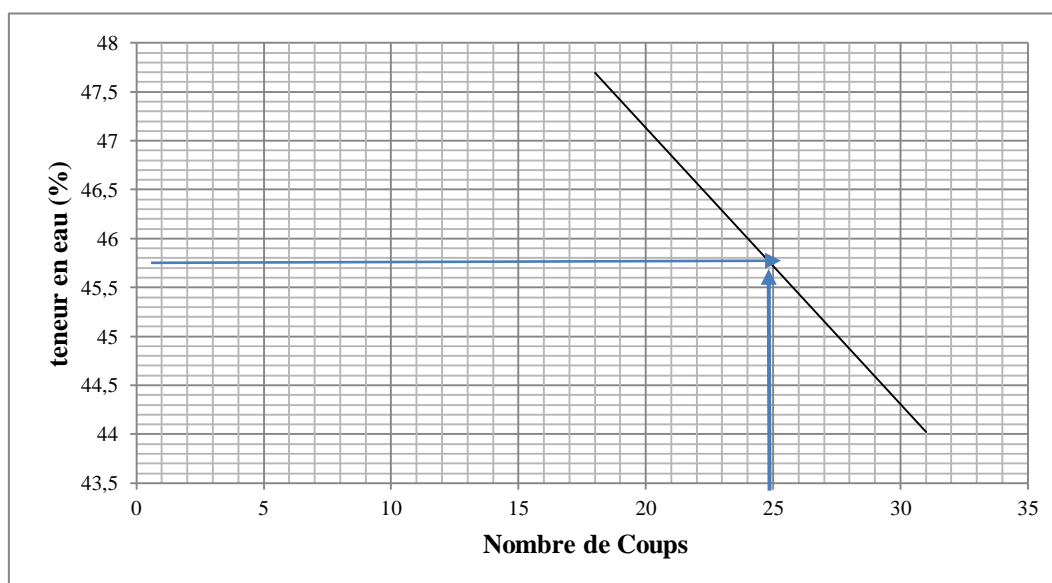


Figure III.3 Courbe de la limite de liquidité.

La limite de plasticité :

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

Tableau III.5 Valeurs trouvées de la limite de plasticité.

| | essai 01 | Essai 02 | Essai 03 |
|-----------------------------|----------|----------|----------|
| Masse de la tare | 46,86 | 47,54 | 47,26 |
| Masse du sol humide+la tare | 48,01 | 49,11 | 48,65 |
| Masse du sol sec+la tare | 47,78 | 48,78 | 48,39 |
| Masse d'eau | 0,23 | 0,33 | 0,26 |
| Masse du sol sec | 0,92 | 1,24 | 1,13 |
| Teneur en eau % | 25,00 | 26,61 | 23,01 |
| Moyenne % | 24,87 | | |

Récapitulation des résultats :

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

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

$$I_c = \frac{(\omega L - \omega_{nat})}{I_p}$$

| | ωL (%) | ωp (%) | ω_{nat} (%) | I_p (%) | I_c (%) |
|----|----------------|----------------|--------------------|-----------|-----------|
| 01 | 45,69 | 24,87 | 37,88 | 20,82 | 37,51 |

- Classification du sol selon le diagramme de Casagrande

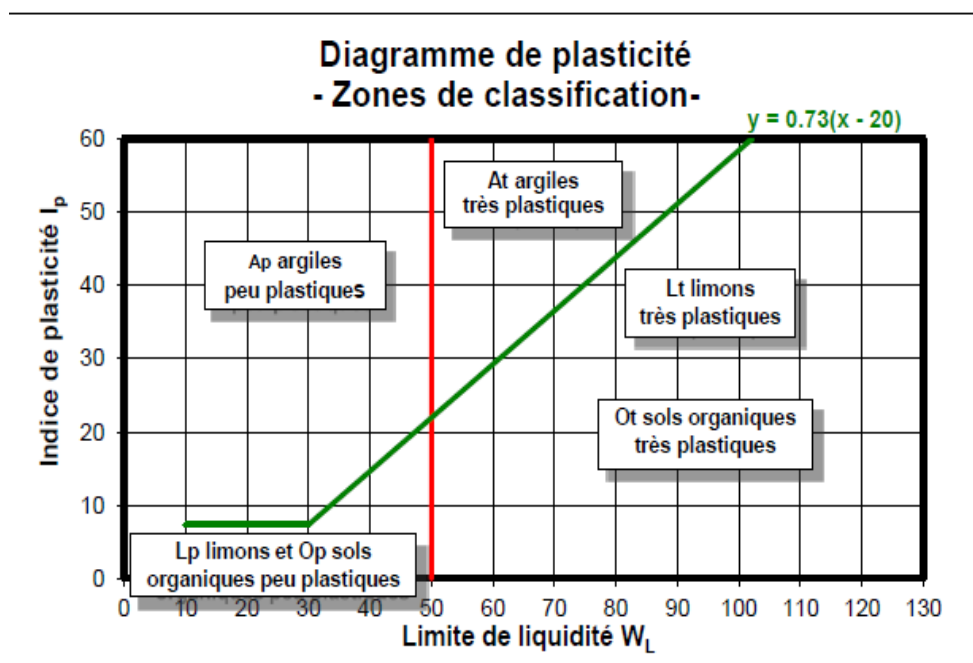


Figure III.4 Détermination de la limite de liquidité.

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

Tableau III-6 : Relation entre le gonflement libre et l'indice de plasticité (Seed et al. 1962).

| I_p | Potentiel de gonflement |
|---------|-------------------------|
| 0 - 10 | Faible |
| 10 - 20 | Moyen |
| 20 - 35 | Élevé |
| > 35 | Très élevé |

Conclusion : À partir du Tableau III-5 on peut dire que notre sol est un sol **moyen potentiel de gonflement**.

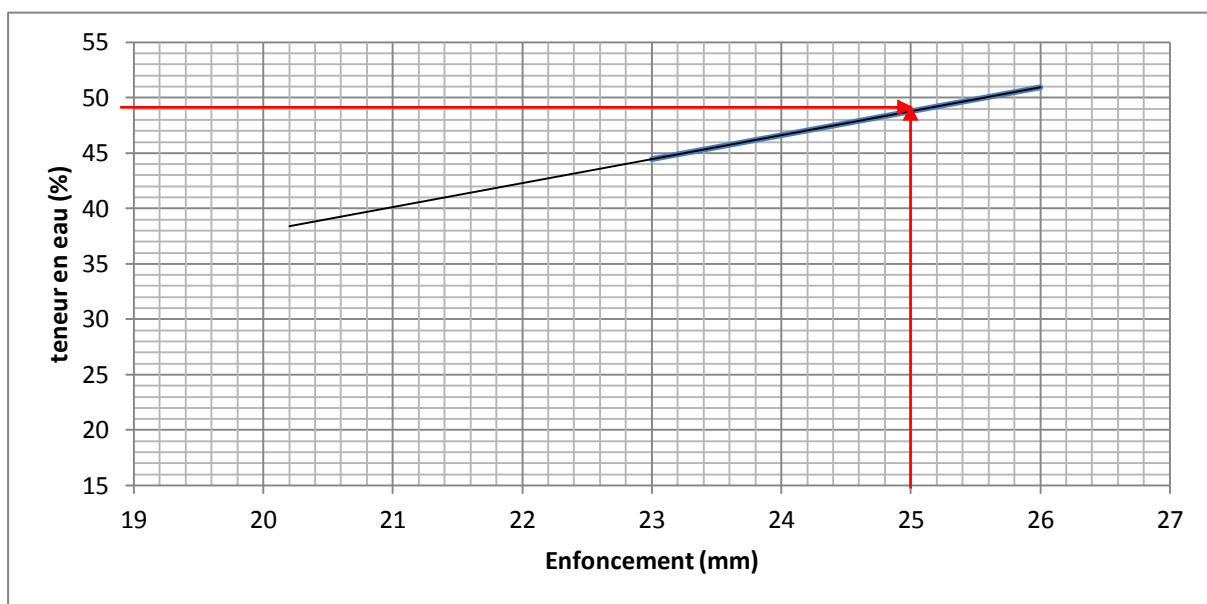
2^{ème} méthode : La limite de liquidité par pénétration à cône selon la norme (selon la norme : British Standard-BS1377)

Nous avons déterminé la limite de liquidité par l'essai de pénétration à cône. Le tableau ci-dessous présente la récapitulation des résultats d'essai de pénétration à cône.

Tableau III.7 : Détermination de la limite de liquidité par le pénétromètre à cône.

| Nombre d'essais | 1er essai | 2ème essai | 3ème essai |
|--------------------------|-----------|------------|------------|
| L'enfoncement | 19,2 | 20,2 | 23 |
| Numéro de la tare | 1 | 2 | 3 |
| Masse de la tare | 43,69 | 51,11 | 51,32 |
| M du sol humide+la tare | 84,53 | 89,75 | 93,36 |
| Masse du sol sec+la tare | 75,54 | 79,80 | 83,21 |
| Masse d'eau | 8,99 | 9,77 | 10,15 |
| Masse du sol sec | 31,85 | 28,69 | 22,83 |
| Teneur en eau | 28,74 | 34,05 | 44,45 |

La courbe ci-dessous présente le résultat d'essai de limite de liquidité.

**Figure III.5 Courbe de limite de liquidité par cône.**

Conclusion : La limite de liquidité est la teneur en eau qui correspond à une pénétration de 25mm, Donc : $W_L = 48\%$.

III.4 LA MASSE VOLUMIQUE SELON LA NORME NF P 94-054.**➤ La masse volumique (Absolu)**

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

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

Les résultats sont regroupés dans le tableau III.8

Tableau III.8 résultats de la masse volumique

| N° d'essai | V1 | V2 | V2-V1 | ρ_{abs} | $\rho_{\text{abs}}_{\text{moy}}$ |
|------------|-----|-------|-------|---------------------|----------------------------------|
| 1 | 150 | 170 | 20 | 2,50 | 2,61 |
| 2 | 150 | 168,7 | 18,7 | 2,67 | |
| 3 | 150 | 169 | 19 | 2,63 | |
| 4 | 150 | 169 | 19 | 2,63 | |

Avec :

V1 : volume d'eau (cm³)

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

ρ_{abs} : la masse volumique absolu (g /cm³)

M_s : la masse de sol (g)

➤ Méthode du pycnomètre à l'eau

L'échantillon de sol est séché à l'étuve puis pesé. Le volume des particules est déduit par des pesées du pycnomètre en substituant de l'eau de masse volumique connue aux particules solides. La masse volumique des particules solides est déterminée à partir de la formule suivante :

$$\rho_s = \frac{m_1 - m_0}{(m_3 - m_0) \cdot (m_2 - m_1)} \cdot \rho_w$$

Avec :

m1 : masse du pycnomètre vide (g)

m2 : masse du pycnomètre contenant la prise d'essai (g)

m3 : masse du pycnomètre, du sol et de l'eau (g)

m4 : masse du pycnomètre plein d'eau (g)

ρ_w : masse volumique de l'eau conventionnellement prise égale à 1g/cm³.

Les résultats obtenus par la méthode du Pycnomètre sont donnés au tableau III.9.

1^{er} Essai :

Tableau III.9 Résultats de l'essai au pycnomètre

| ms=20g | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------|--------|--------|--------|--------|
| mo | 69,00 | 69,00 | 69,00 | 69,00 |
| m1 | 89,00 | 89,00 | 89,00 | 89,00 |
| m2 | 188,4 | 188,3 | 188,6 | 188,5 |
| m3 | 176,06 | 176,06 | 176,06 | 176,06 |
| ρ_{abs} | 2,61 | 2,57 | 2,68 | 2,64 |

2^{ème} Essai :

Tableau III.10 Résultats de l'essai au pycnomètre

| ms=50g | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------|--------|--------|--------|--------|
| Mo | 69,10 | 69,10 | 69,10 | 69,10 |
| m1 | 119,10 | 119,10 | 119,10 | 119,10 |
| m2 | 205,4 | 205 | 205,7 | 204,9 |
| m3 | 174,8 | 174,8 | 174,8 | 174,8 |
| ρ_{abs} | 2,61 | 2,56 | 2,65 | 2,55 |

Formulaire du calcul : $G_s = \rho_s / \rho_w$

$\gamma_s = \rho_s \cdot g$

Récapitulation des résultats :

| | ρ_s (g /cm ³) | G_s (g /cm ³) | γ_s (g /cm ³) |
|-------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 01 | 2,62 | 2,62 | 26,20 |
| 02 | 2,59 | 2,59 | 25,92 |
| moyen | 2,60 | 2,60 | 26,06 |

Conclusion : la vase de barrage de k'sob est de densité des grains solides égale à **2,60 g /cm³**

III.5 ESSAI AU BLEU DE METHYLENE VBS SELON LA NORME NF P 94-068

L'essai au bleu de méthylène permet d'apprécier l'activité argileuse. Dans cette étude, l'essai est réalisé suivant la norme NF P 94 068. Il consiste à déterminer la quantité du bleu de méthylène nécessaire pour recouvrir d'une couche monomoléculaire de la surface des particules d'un matériau en suspension dans l'eau.

Ce paramètre intervient dans la classification GTR (GTR, 2000), pour caractériser les sols fins et pour distinguer les différentes familles de sols.

Les relations entre la teneur en matière organique et la valeur au bleu sont complexes car la surface spécifique du sol et sa capacité d'échange en actions sont conditionnés par son degré d'humification.

La capacité d'adsorption du matériau est déterminée à l'aide du test de la tâche. Ce dernier consiste à former avec une goutte de la suspension sur du papier filtre normalisé, une tache qui est le dépôt de sol coloré en bleu, entouré d'une zone humide en générale incolore

L'excès du bleu se traduit par l'apparition dans cette zone d'une auréole d'un bleu clair. Le test est alors positif.



Figure III.6 Appareillage de l'essai de bleu au méthylène

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

$$\text{VBS} = \frac{B}{m_0} \cdot 100 \quad \text{Si : } D_{\max} < 5\text{mm}$$

La valeur de bleu (VBS) s'exprime par la quantité de bleu en grammes consommée par 100 gramme de fines.

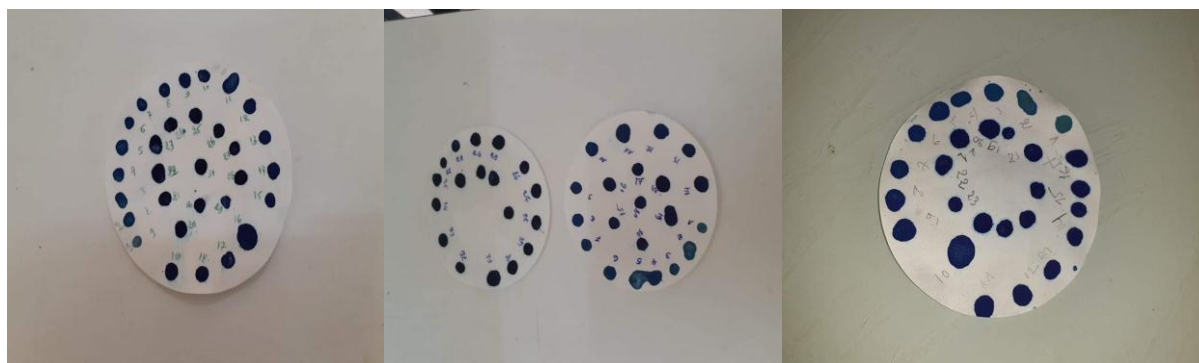


Figure III.7 Les résultats de l'essai VBS

On a réalisé trois (3) essais au bleu de méthylène, les résultats obtenus sont repris dans le Tableau III.11

Tableau III.11 résultats de l'essai au bleu.

| | Masse de sol | Masse d' eau | Valeur de VBS | Moyenne |
|------------------------|--------------|--------------|---------------|---------|
| 1 ^{er} Essai | 40g | 500ml | 3,87 | 4,39 |
| 2 ^{ème} Essai | 40g | 500ml | 4,65 | |
| 3 ^{ème} Essai | 40g | 500ml | 4,67 | |

➤ **Classification de la vase selon les paramètres de l'essai :**

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

Tableau III.12 Classification des sols d'après Philipponat.

| La valeur de bleu | Type de sol |
|-------------------|------------------------|
| $VB < 0.2$ | Sols sableux |
| $0.2 < VB < 2.5$ | Sols limoneux |
| $2.5 < VB < 6$ | Sols limoneux argileux |
| $6 < VB < 8$ | Sols argileux |
| $VB > 8$ | Sols très argileux |

Conclusion : D'après la classification de Philipponat la valeur du bleu de notre vase égale 4,39 ($2,5 < V_B < 6$). Notre sol appartient donc à la classe des «**sols limoneux argileux**».

III.6 ESSAIS MECANIQUES

III.6.1 Essai Proctor selon la norme NF 94-093

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

Le tableau III-13 résume les caractéristiques des essais du Proctor normale effectués sur le sol étudié.

1^{er} Essai :

Tableau III.13 : les résultats de l'essai Proctor normale.

| % d'eau ajoutée | 16 | | 18 | | 20 | | 22 | | 24 | |
|---------------------------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| M du moule (g) | 2090,2 | | 2090,2 | | 2090,2 | | 2090,2 | | 2090,2 | |
| M de sol humid +tare | 3802,8 | | 3879,9 | | 3896,9 | | 3998,9 | | 3919,7 | |
| V du moule (cm ³) | 956,04 | | 956,04 | | 956,04 | | 956,04 | | 956,04 | |
| M du sol hum(g) | 1712,6 | | 1789,7 | | 1806,7 | | 1908,7 | | 1829,5 | |
| γ_h (t /m ³) | 1,79 | | 1,87 | | 1,89 | | 1,99 | | 1,91 | |
| γ_d (t /m ³) | 1,51 | | 1,56 | | 1,51 | | 1,53 | | 1,51 | |
| N ° La tare | K | B | 20 | 18 | 17 | 12 | 16 | 8 | 1 | 5 |
| M de tare(g) | 12,77 | 12,82 | 12,81 | 12,86 | 12,87 | 12,80 | 12,86 | 12,80 | 12,79 | 12,75 |
| M sol humi+tar(g) | 59,32 | 59,52 | 76,04 | 71,16 | 67,72 | 74,45 | 66,70 | 80,60 | 81,38 | 86,36 |
| M sol sec + tar(g) | 52,24 | 52,38 | 65,64 | 61,47 | 55,51 | 63,56 | 52,93 | 64,16 | 66,80 | 71,86 |
| M d'eau (g) | 7,08 | 7,14 | 10,04 | 9,69 | 12,21 | 10,89 | 13,77 | 13,8 | 14,58 | 14,5 |
| M du sol sec (g) | 39,47 | 39,56 | 52,83 | 48,61 | 42,64 | 50,76 | 40,07 | 51,36 | 54,01 | 59,11 |
| Teneur en eau w% | 17,93 | 18,04 | 19,00 | 19,93 | 28,63 | 21,45 | 33,78 | 26,86 | 26,99 | 24,53 |
| Moyenne % | 17,98 | | 19,46 | | 25,04 | | 30,32 | | 25,76 | |

La courbe du Proctor normale effectués sur le sol témoin étudié

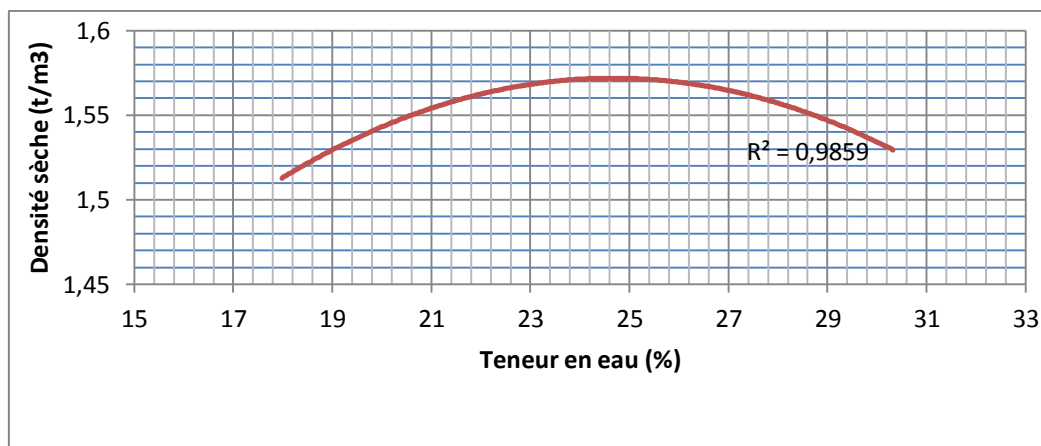


Figure III.8 : La courbe de l'essai Proctor normale

2^{ème} Essai :

Tableau III.14 : les résultats de l'essai Proctor normal

| | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|------|------|-------|------|
| (%) | 12 | 16 | 20 | 24 | 28 | | | | | |
| M de moule(g) | 1722 | 1722 | 1722 | 1722 | 1722 | | | | | |
| M sol humid +tare (g) | 3289 | 3399 | 3516 | 3487 | 3389 | | | | | |
| V moule (cm ³) | 937,38 | 937,38 | 937,38 | 937,38 | 937,38 | | | | | |
| M du sol humid (g) | 1567 | 1677 | 1794 | 1765 | 1634 | | | | | |
| γ_h (t /m ³) | 1.67 | 1.87 | 1.91 | 1.88 | 1.74 | | | | | |
| γ_d (t /m ³) | 1.42 | 1.56 | 1.57 | 1.49 | 1.35 | | | | | |
| N ° La tare | A20 | A22 | IN | A12 | L10 | K2G | K1G | H | E2 | B |
| M de tare(g) | 9 | 24 | 13 | 24 | 21 | 9 | 9 | 21 | 21 | 20 |
| M du sol humid + tare(g) | 22 | 38 | 33 | 45 | 52 | 27 | 32 | 60 | 64 | 43 |
| M du sol sec +tare (g) | 20 | 38 | 33 | 43 | 46 | 24 | 27 | 52 | 54 | 38 |
| M d'eau (m _w) | 2 | 2 | 3 | 2 | 6 | 3 | 5 | 8 | 10 | 5 |
| M sol sec (m _s) | 11 | 12 | 17 | 19 | 25 | 15 | 18 | 31 | 33 | 18 |
| w (%) | 0.18 | 0.16 | 0.17 | 0.11 | 0.24 | 0.2 | 0.27 | 0.25 | 0.30 | 0.27 |
| W _{moy} (%) | 17% | | 14% | | 22% | | 26% | | 28.5% | |

La courbe du Proctor normale effectués sur le sol témoin étudié

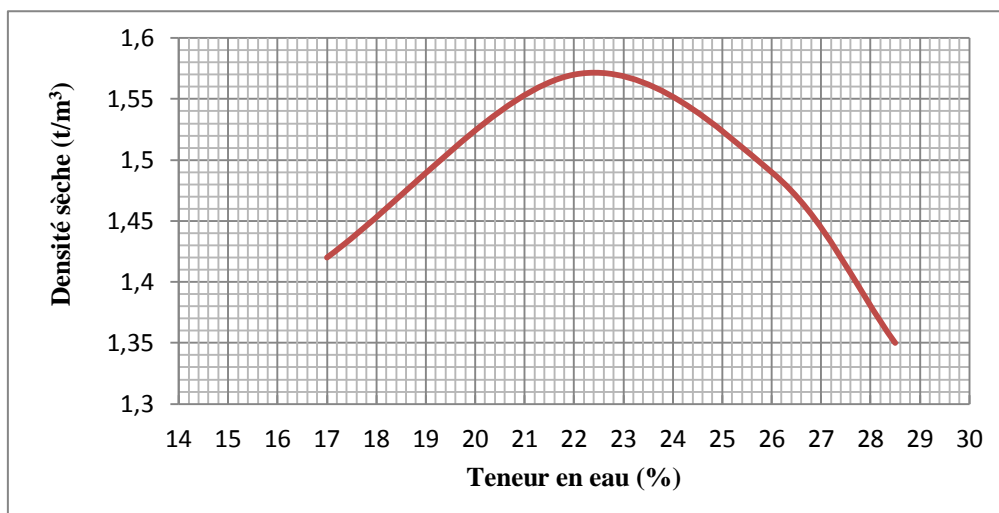


Figure III.9 : Courbe de l'essai Proctor normale

Récapitulation des résultats :

| | γd_{max} (t/m ³) | w _{opt} (%) | e | Sr |
|----|--------------------------------------|----------------------|------|-------|
| 01 | 1,57 | 24,7 | 0,72 | 92,62 |
| 02 | 1,57 | 22,7 | 0,72 | 85,12 |

Conclusion : Pour estimer la résistance au poinçonnement du sol étudié, nous avons conduit trois différents essais, à savoir : L'IPI, le CBR Immédiat et le CBR après immersion.

III.6.2 Essai Proctor modifié

Tableau III.15 Résultats de l'essai Proctor modifié

| w(%) | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Volume de moule(cm ³) | 937,38 | 937,38 | 937,38 | 937,38 | 937,38 |
| Masse totale humide (g) | 3575,1 | 3578,2 | 3672,3 | 3645,7 | 3486,2 |
| Masse de mole(g) | 1727,6 | | | | |
| Masse de sol humide(g) | 1847,5 | 1850,6 | 1944,7 | 1918,1 | 1758,6 |
| γh (t/m ³) | 1,97 | 1,97 | 2,07 | 2,04 | 1,87 |
| γd (t/m ³) | 1,72 | 1,69 | 1,75 | 1,70 | 1,53 |

La courbe du Proctor modifié effectués sur le sol témoin étudié

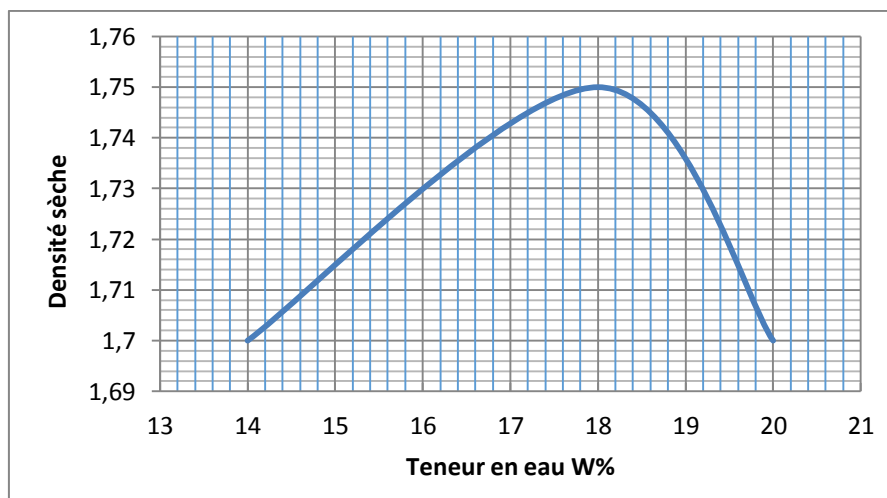


Figure III.10 : La courbe de l'essai Proctor modifié

Récapitulation des résultats :

| | $\gamma_{d \max}$ (t/m ³) | w _{opt} (%) |
|----|---------------------------------------|----------------------|
| 01 | 1,75 | 18,1 |

III.6.3 ESSAI C.B.R après imbibition

L'indice CBR après immersion est mesuré après 4 jours d'imbibition dans l'eau. Il caractérise l'évolution de la portance d'un sol support (ou constituant de chaussée), compacté à différentes teneurs en eau et soumis à des variations de régime hydrique.

Le tableau III.15 résume les résultats des essais du C.B.R imbibé effectués sur le sol témoin étudié.

Tableau III.16 Récapitulatif des résultats des essais C.B.R après imbibition.

| | Essai 1 |
|--|---------|
| Lecture initial | 1000 |
| Lecture final | 4199 |
| $\Delta h = \text{Lec final} - \text{Lec initial}$ | 3199 |
| Gonflement : G (%) = $\Delta h / h$ | 2,73 |

Le tableau qui suit présente la valeur de l'effort de pénétration en fonction de l'enfoncement, de l'éprouvette témoin confectionnée aux caractéristiques Proctor normale après imbibition.

Tableau III.17 : Résultats des essais C.B.R après imbibition.

| Enfoncement (mm) | Lecture (kN) |
|------------------|--------------|
| 0,625 | 0,226 |
| 1,25 | 0,277 |
| 2,00 | 0,322 |
| 2,50 | 0,361 |
| 5,00 | 0,472 |
| 7,50 | 0,536 |
| 10,00 | 0,627 |

La figure III.11 montre une vue générale de l'appareil utilisé l'I.CBR après immersion



Figure III.11 Vue générale de l'appareil utilisé dans l'I.CBR après immersion.

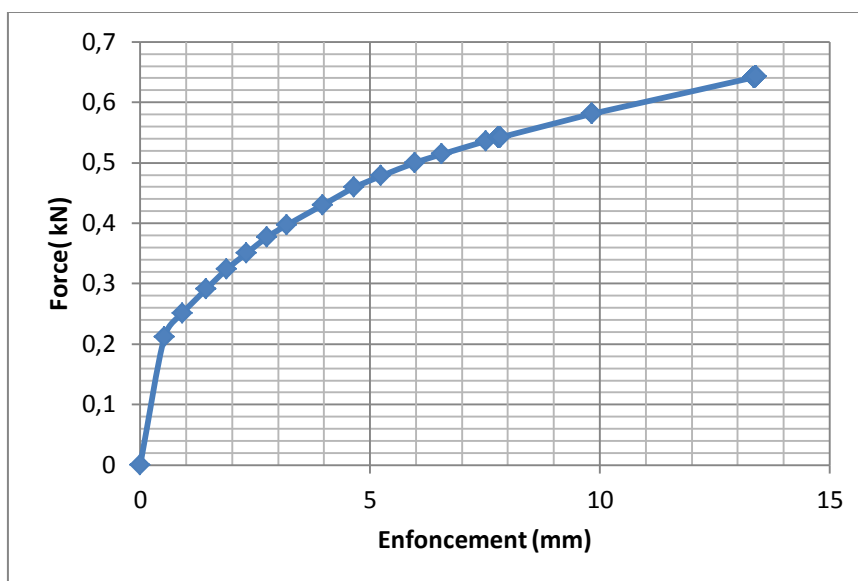


Figure III.12 La courbe de l'essai C.B.R imbibition.

Récapitulation des résultats :

| | Indice C.B.R. imbibé à 2,5mm (%) | Indice C.B.R. imbibé à 5mm (%) | Indice C.B.R. max (%) |
|----|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| 01 | 2,70 | 2,37 | 2,70 |

Conclusion : L'indice CBR après imbibition maximum recherché qui correspond à l'indice de 2.5mm d'enfoncement est égal à **2,70%** et un taux de gonflement linéaire égal à **2,73%**

N.B : l'essai CBR peut être réalisé dans le domaine des travaux routiers de deux types :
 CBR normale le même principe de Proctor normale, et il est utilisé sur les route normale à trafic routier léger

CBR modifie le même principe de Proctor modifie, et il utilisée sur les route nécessitant un charge important, telle que l'autoroute et les aéroports...etc.

Remarque : En raison des circonstances actuelles dues à la propagation de l'épidémie de COVID19, nous avons rencontré des obstacles pour mener à bien certains essais, notamment : L'IPI, le CBR Immédiat et la suite d'essai Proctor modifie.

III.6.4. Essai de Cisaillement

L'essai de cisaillement est réalisé en mettant le matériau en place dans le boîtier 50x50 cm². On mélange 2kg à un teneur en eau $w_{opt} = 24,7\%$ (optimale d'essai Proctor normal), la vase est mis en place en trois couches, compactée 25 coups par couche, elle est ensuite démoulée. Trois carrés sont alors façonnés aux dimensions de la boîte de cisaillement. Les pressions de confinements appliquées sont: 50, 100, 200 kPa pour le même matériau préparé dans les mêmes conditions de compactage et de teneur en eau.

Respectivement la pente et l'ordonnée à l'origine de ces droites

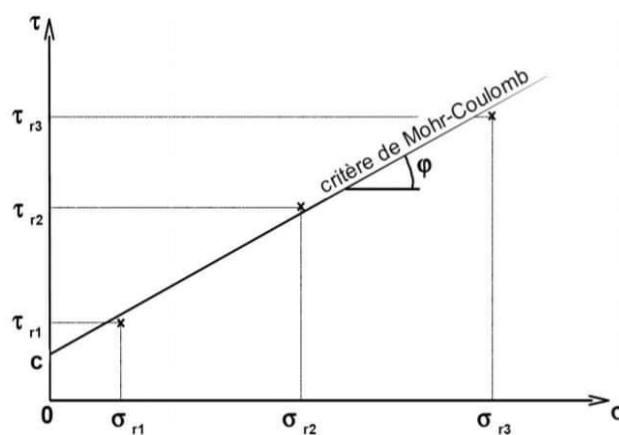


Figure III.13 Représenté la courbe de Cisaillement



Figure III .14 Résultats d'essai de Cisaillement

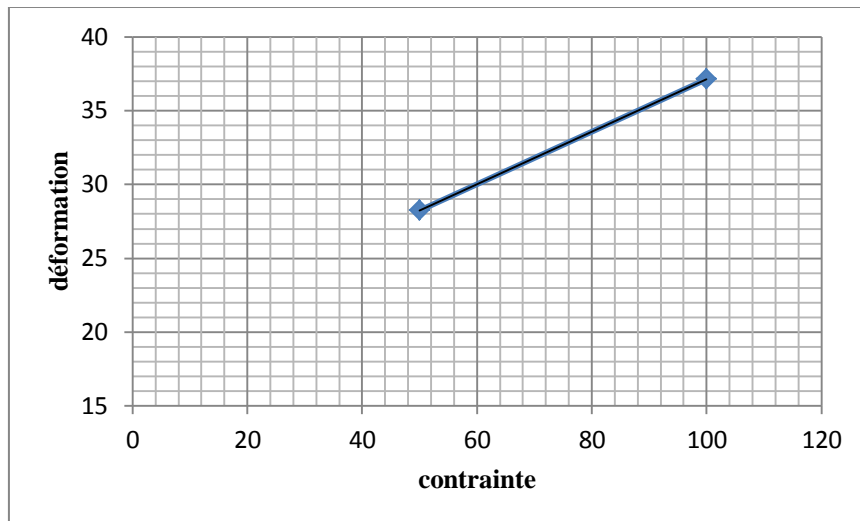


Figure III.15 Courbe d'un essai de cisaillement direct

Récapitulation des résultats :

| Equation de la droite | Cohésion C' | Angle de frottement ϕ' |
|------------------------------|---------------|-----------------------------|
| $\tau = 0,177\sigma + 19,34$ | 19,34 | 10,20 |

III.7 CLASSIFICATION DU MATERIAU SELON LE GTR

En tenant compte des résultats de limites d'Atterberg et du bleu de méthylène, le sol en question peut être classifié selon GTR, comme le montre le tableau III.18.

Tableau III.18 Classification des sols fins selon GTR

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

Conclusion : Ce sol est de classe **A2** selon :

- Tamisat à 80µm=35,51 > 35% classe A
- VBS = 4,39 2,5<VBS<6
- I_p = 20,82 12 < I_p<25
- I_c =37,51 I_c>1,3

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

CONCLUSION

En techniques routières la nature des sédiments et la quantité d'argile contenue dans un matériau sont les principaux paramètres qui interviennent dans le choix du traitement. La caractérisation de notre sol selon le GTR (LCPC and SETRA 2000a) montre que les sédiments sont de types A2. Cette catégorie regroupe les sols limoneux-argileux peu plastiques. Cette classification montre qu'il est possible d'utiliser ce matériau en structure de chaussée ou remblais. Toutefois, la détermination des conditions de mise en œuvre est nécessaire. A partir de l'essai Proctor normal et modifié, nous avons déterminé les teneurs en eau et densités correspondantes de chaque formulation. Les indices de portance immédiats (IPI) et les indices CBR après immersion (ICBR) des sédiments avant traitement sont obtenus par poinçonnement selon la norme française NF P94-078 (AFNOR, 1997) et la cohésion C sont obtenus à partir de l'essai de cisaillement direct à la boîte de Casagrande.

CONCLUSION GENERALE

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

La capacité initiale du barrage est de 12Hm^3 , elle se trouve réduite à 3Hm^3 en 1970 à cause de l'envasement progressif de la retenue. La réduction de sa capacité de stockage est sans aucun doute la conséquence la plus dramatique de l'envasement. Chaque année, le fond vaseux évolue et se consolide avec occupation d'un volume considérable de la retenue.

La transformation des vases et leur utilisation sont des questions peu développées et restent à l'ordre du jour pour de nouvelles réglementations en adéquation avec les notions de protection de l'environnement et le développement durable.

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

La méthodologie générale de valorisation décrite dans cette étude a pour objectif l'utilisation des sédiments de dragage qui ont été prélevés du barrage de k'sob située au nord-est de la ville de m'sila dans une formulation de matériau routier, en particulier dans une couche de remblai ou couche de forme.

A cet effet, nous avons mené une série d'analyses physiques et mécaniques sur des échantillons de sédiments prélevés de la retenue du barrage de k'sob (wilaya de M'sila) au niveau des laboratoires L.C.T.P et de Génie-Civil à l'université Med-Boudiaf à M'sila. Nous montrons dans cette étude les caractéristiques optimales de densification et de portance du matériau ainsi que leurs classes de résistances mécaniques.

Les caractéristiques géotechniques définies en fonction du secteur de valorisation choisi ont permis de classer ce sédiment naturel selon le guide technique GTR (LCPC, SERTA, 2000) en classe **A₂ ts** (limons argileux peu plastiques), qui comporte une majorité de particules inférieures à $80\ \mu\text{m} < 35\%$. Cette classification montre qu'il est possible d'utiliser ce matériau en structure de chaussée ou remblais, et ainsi que la valeur de bleu méthylène ($\text{VBS}=4,39$). Les résultats des coefficients d'uniformité ($C_u > 2$) et de courbure ($1 < C_c < 3$) montrent une granulométrie étalée et bien graduée. Alors, une telle composition induit une faible résistance mécanique, une forte sensibilité à l'eau et une compressibilité élevée. On

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

Enfin, il doit avoir des études qui permettent de définir un matériau de traitement économiquement, compétitif et facile à utiliser sur le site et les travaux routiers.

REFERENCE

- [1] **Labioud 1. Z, Remini 2. B, Belaredj3. M, Juin 2004** « Traitement de la vase du barrage de Bouhanifia en vue de sa valorisation ». (Maître assistant, université de Sidi Bel Abbas, Algérie, 2 Professeur, université de Blida, Algérie, 3 Maître de conférences, centre universitaire de Mascara). Larhyss/Journal n° 03, pp.7-12.
- [2] **Bouchedja Abd. - Directeur Général ABHCSM.** La politique nationale de l'eau en Algérie. Euro-RIOB 2012:10ème Conférence Internationale 17 au 19 Octobre 2012 Turquie – Istanbul. Thèse de doctorat université m'sila
- [3] **Hasbaia M, Hedjazi A, Benayada L.** Variabilité de l'érosion hydrique dans le bassin du Hodna : cas du sous bassin versant du l'oued El Ham. Mar Sci Agron Vét 2012; 1:28-32.
- [4] **Despois J. Le Hodna (Algérie).** Publication de la faculté des lettres d'Alger. 1953. p 46-49, 75-76.
- [5] **[Agence de l'eau de France 2002]**, [Chapitre1/Formation des sols GGC 112 C].
- [6] **[Roland Boutin 2000]**, livre de dragage et rejets en mer les produits de types vase.
- [7] **[PROULHAC.N, KER LANN, 2006]**, Rapport Final du Schéma Directeur de gestion et de valorisation des sédiments de dragage de Rouen et Tancarville. Département de La Gironde .Bassin d'Arcachon
- [8] **[SIDI ADDA MUSTAPHA 2005]**, Modélisation de l'envasement des retenues de barrages, Mémoire de magister a USTO ORAN.
- [9] **[SANCHEZ Angulo, M, 2000]**, Dynamique des sédiments fins en milieu Marin et agitation portuaire. Mémoire d'Habilitation à Dirigé des Recherches par Martin de l'université de Caen_ BASSE NORMANDIE
- [10] **[SEMCHA Abdelaziz., 2006]** Valorisation des sédiments de dragage : applications dans le BTP, cas du barrage de FERGOUG .Thèse de doctorat de l'université de Reims Champagne-Ardenne. Discipline : génie civil
- [11] **Korso. K, 1986** « Contribution à l'analyse du processus de sédimentation dans le barrage retenue du Fergoug ». Dissertation de Post-Graduation, Université des Sciences et de Technologie d'Oran.
- [12] **Mekerta. B,Semcha. A,Bendaoud. M,Troalen. J.P, 9- 11février2007** « Caractérisation et répartition spatiale des propriétés géotechniques des Sédiments d'envasement de la retenue du barrage du Fergoug ». Colloque sols et matériaux à problèmes – Tunisie.
- [13] **Taleb. A, 1987** « conception d'un barrage en vue de réduire l'envasement de la retenue». Thèse de doctorat Université de Liège.
- [14] **Agence Nationale des barrages (1990)** revue Algérie