

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE 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

**Amélioration des Caractérisation mécanique des sédiments du barrage
de K'sob par un traitement dans le but de leur utilisation dans des
travaux routiers.**

Proposé et dirigé par :
Pr. BAKIR Nassima

Réalisé par :
**Chergui Nora
Djerdali sabrina**



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

إهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

(وقضى ربك ألا تعبدوا إلا إياه وبالوالدين إحسان)

إلا التي حملتني وهنا على وهن وسهرت لأنام وتعبت لأرتاح إلى التي رضعت منها لبان الصفاء و
لروح البذل والعطاء إلى التي علمتني أن ليس اليتيم من انتهى أبوه من الحياة وخلفاه ذليل بل اليتيم
من تلقى لي أما تخلت وأبا مشغولا (أمي الغالية)

حفظها الله وأطال في عمرها

إلا الذي لا أعرف عنه إلا خصاله وكلما حدثوني عنه ازددت فخرا في الانتساب إليه إلى الذي أبكاني
ولم يمسح دموعي إلى الذي توارى عن الوجود دون أن يرى نجاحي إلى روح أبي الطاهرة
رحمه الله

إلى التي لو هديتها عمري ما كفيتها قدرها إلى شذى الروح والريحان وعيون علمتني الحنان ' وقلب
أعطاني الأمان ' وحضن منحني القوة ' ودعوات صادقة تقوي الكيان ' إليك يا من ينبض قلبي
لاسمك على طول الزمان ' إليك يا أغلى جوهرة أمتلكها في الوجود (جدتي الغالية)
حفظها الله وأطال في عمرها .

إلى من ألقاسم معهم ذكريات أيامي وتجمعني بهم روح المودة والإخاء إخوتي وأخواتي خاصة الدلوع
حسين جواد

إلى عزيز على قلبي ولم يذكره لساني

إلى رفقاء الدرب زميلاتي وزملائي

إلى الذي قاسمني أفراحي وأحزاني وكان له فضل كبير علي إلى رفيق الدرب زوجي الغالي
زكرياء حفظه الله وأطال في عمره

إلى كل من كان له علي فضل العلم والتعلم من قريب أو من بعيد إلى هؤلاء جميعا أهدي هذا العمل

شكران

بادئ ذي بدء نشكر الله بارئنا الذي علم بالقلم علم الإنسان ما لم يعلم

إلى صاحب النعماء التي لا تنقضي

إلى من رفع بالعلم درجات و جعل العلماء أخشى و أنجل الناس

من لم يشكر الناس لم يشكر الله و عليه عرفانا منا بالجميل نشكر كل يد
رحمة امتدت لنا بالعون

إلى كل من عبر لنا الطريق و أنار لنا الدرب

إلى أستاذة الفاضلة بكير نسيمه

إلى من كانوا شموعا تحترق لتبدو ظلام الجهل بنور العلم

أساتذتنا الكرام جزاهم الله خيرا

إلى كل من ساعدنا من قريب أو من بعيد

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des Figures

Résumé

Abstract

ملخص

Introduction général.....1

Chapitre 1 Présentation du barrage K'sob et problème d'envasement

I.1 Introduction 4

I.2 Situation géographique du bassin versant du k'sob 5

I.3 Caractéristique géologique et lithologique du bassin versant du k'sob 5

I.4 Le couvert végétal 7

I.5 Sédimentation et envasement 8

I.5.1 Définition de la sédimentation et origine des sédiments 8

I.5.2 Les processus de Transport et de Sédimentation 9

I.6 Qu'est ce que la vase ? 9

I.6.1 Méthode de calcul de l'envasement10

I.7 Comment lutter contre l'envasement ? 12

I.7.1 La conservation des sols 12

I.7.2 Le reboisement 13

I.7.3 La réalisation des barrages de décantation à l'amont 14

I.7.4 La réalisation des barrages de chasses 14

I.7.5 La surélévation des digues 14

I.7.6 Extraction par siphonnement 14

I.7.7 Le dragage des barrages 15

I.7.7.1 Les types de dragages 16

I.7.7.2 Les Techniques De Dragage Disponibles 16

I.8 Le choix basé sur profondeur du sol	17
I.8.1 Le choix basé sur classes granulométriques et l'état du sol	19
I.8.2 Vibrocompactage	21
I.9 Conclusion	26

Chapitre 2 Programme expérimental et procédures d'essais

II.1 Introduction	27
II.2 Essais d'identifications	28
II.2.1 Analyse granulométrique.....	29
II.2.2 Les limite d'Atterberg (NF P94-051).....	29
II.2.3 Essai au bleu de méthylène :(selon la norme : NF P-068).....	33
II.2.4 Mesure de la masse volumique : (NF XP P 94-054).....	35
II.2.5 Analyse chimiques	36
II.2.7. matières organiques	36
II.2.6Analyse minéralogique	36
II.3 Essais mécaniques	37
II.3.1 Essai Proctor normal : (selon la norme : NF P 94-093)	37
II.3.2 Essai de portance C.B.R (NF P 94-078)	39
II.3.3 Essai de cisaillement (NF P 94-71)	41

Chapitre 3 Présentation et analyse des résultats d'essais

III.1 Introduction	43
III.2 Essais d'identification	43
III.2.1 La masse volumique spécifique de la vase selon la norme (NF P 94-054).....	43
III.2.2 Pycnomètre	44
III.2.3 Capacité d'absorption du bleu de méthylène VBS de la vase (NF P 94 - 068).....	44
III.2.4.Leslimited'Atterberg (NFP94-051).....	45
III.2.5 Analyse granulométrique	48
III.2.6 Essai d'équivalent de Sable selon la norme (NF EN 933- 8).....	49
III.3 Essais mécaniques.....	50

III.3.1 Essai Proctor (NF P 94-093).....	50
--	----

Conclusions

Références Bibliographiques

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre 1

Tableau I.1	Méthodes de traitement des sols affaissables selon Bara (1976).....	18
-------------	---	----

Chapitre 2

Tableau II.1	Type de sol en fonction de la valeur « VBS ».....	34
--------------	---	----

Chapitre 3

Tableau III.1	Détermination de la masse volumique des particules solides.....	43
Tableau III.2	Détermination de la masse volumique par méthode du pycnomètre à l'eau.....	44
Tableau III.3	Les résultats de l'essai de bleu de méthylène	44
Tableau III.4	Valeur de bleu de méthylène de quelques sols.....	45
Tableau III.5	Détermination de la limite de liquidité.....	46
Tableau III.6	Détermination de la limite de plasticité.....	46
Tableau III.7	Récapitulation des résultats d'essai de limite D'Atterberg	47
Tableau III.8	Présente des résultats d'analyses Granulométrie.....	48
Tableau III.9	Présente des résultats d'équivalent de Sable.....	49
Tableau III.10	Les résultats de l'essai Proctor normale.....	51

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Figure I.1.	Vue aérienne du barrage du K'Sob par Google Earth	5
Figure I.2.	situation géographique du bassin versant du k'sob	5
Figure I.3.	La carte géologique du bassin versant du k'sob	6
Figure I.4.	La carte lithologique du bassin versant du k'sob	7
Figure I.5.	Altération et érosion des matériaux	9
Figure I.6.	Seuils de sédimentation en Gabion et en pierres sèches réalisées dans le bassin versant du barrage BAKHADDA.....	13
Figure I.7.	Schématique la disposition de l'hydo-aspirateur.....	15
Figure I.8.	Dragues rétro caveuses.....	16
Figure I.9.	Dagues a pelle ou a cuillère.....	16
Figure I.10.	Dragues aspiratrices simple.	17
Figure I.11.	Les champs d'application des différentes techniques de traitement	19
Figure I.12.	Une masse qui chute.....	20
Figure I.13.	Compactage par vibro-sonde.....	21
Figure I.14.	Liaison par agrégats d'argiles.....	22
Figure I.15.	Traitement chimique à la chaux et au ciment.....	23
Figure I.16.	Principe de traitement par pré chargement.....	24
Figure I.17.	Traitement par injection.....	24
Figure I.18.	Mise en œuvre des colonnes ballastées.....	25

CHAPITRE II

Figure II.1.	Analyse granulométrique par tamisage.....	28
Figure II.2	Matériels spéciales de limites d'Atterberg.....	30
Figure II.3.	Etaler la pâte dans la coupelle	31
Figure II.4	Pratique la rainure dans la pâte.....	31
Figure II.5.	Prélèvement d'un échantillon	31
Figure II.6.	Formation des rouleaux	31
Figure II.7	diamètre requis du rouleau.....	31
Figure II.8.	Pénétromètre à cône	33
Figure II.9.	Enfoncement du cône.....	33
Figure II.10.	Prélèvement d'un échantillon.	33
Figure II.11.	Injection de la solution de bleu.	34
Figure II.12.	Test positif.	34
Figure II.13.	Peser le récipient récipient	35
Figure II.14.	Règle et araser	35
Figure II.15.	Peser le Rempli	35
Figure II.16.	Les éprouvettes de la masse volumique.....	36
Figure II.17.	Matériel de l'essai Proctor	38
Figure II.18.	Compactage de l'échantillon	39
Figure II.19.	Le surplus est arasé	39
Figure II.20	Appareil de poinçonnement (essai CBR).....	40
Figure II.21.	Imbibition des échantillons (essai CBR).....	41
Figure II.22.	Appareille de cisaillement rectiligne.....	42

Figure II.23	Le surplus est arasé	42
--------------	----------------------------	----

CHAPITRE III

Figure III.1.	Détermination de la limite de liquidité	46
Figure III.2.	Classification des Sols fins Selon l'Abaque de plasticité de Casa grande.....	47
Figure III.3.	D'analyse Granulométrique de sable	48
Figure III.4.	Courbe PROCTOR normale.....	51

Résumé

L'environnement est en constante dégradation, en effet les déchets prennent de plus en plus de l'ampleur dans la nature. Parmi ces déchets, la vase issue du dragage du barrage K'sob, qui est évacuée vers des bassins construits à proximité du barrage pour son stockage sur des terres non cultivées. Cette solution, qui n'est en vérité qu'un nouveau problème pour les gens de la région et notamment pour les agriculteurs, n'a pas pu absorber les quatre millions de mètre cube qui repose au fond du barrage, et qui à chaque saison pluviale d'autres millions viennent stagnées dans les profondeurs.

Le traitement des sols en construction routière, répond aux besoins économiques et environnementaux actuels et futurs et respecte les principes du développement durable. Dans cette étude on exposera un traitement de la vase avec du sable de dune à différents pourcentages (15,30 et 45%), où une série de tests physique, chimique et mécanique est programmé en vue de déterminer d'abord les points faibles du point de vue physique et mécanique de la vase, pour proposer ensuite la solution adéquate. Le traitement de la vase est proposé dans le but de sa valorisation par son utilisation dans le domaine routier soit comme remblai ou couche de forme.

Mots clés : Vase, Barrage K'sob, Traitement, Technique routière, sable de dune.

Abstract

The environment is constantly deteriorating, indeed waste is becoming more and more important in nature. Among this waste, the silt from the dredging of the k'sob dam, which is evacuated to basins built near the dam for its storage on uncultivated land. This solution, which is in truth only a new problem for the people of the region and in particular for the farmers, could not absorb the four million cubic meter which rests at the bottom of the dam, and which each season other million of rain stagnated in the depths.

The treatment of soil in road construction meets current and future economic and environmental needs and respects the principles of sustainable development. In this study we will expose a treatment of the silt with sand dune at different percentages(15, 30 and 45%), where a series of physical, chemical and mechanical tests is programmed in order to first determine the weak points of the physical and mechanical point of view of the mud, to then propose the adequate solution. The treatment of the silt is proposed with the aim of its valorization by its use in the road sector, either as backfill or sugared.

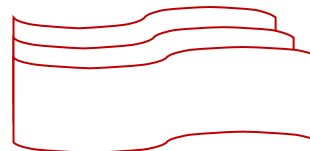
Key words: vase, k'sob dam, treatment, Road technique, sand

المخلص

تتدهور البيئة باستمرار في الواقع أصبحت النفايات أكثر وأكثر أهمية. بين هذه النفايات الطمي الناتج عن جرف سد القصب والذي يتم تفريغه من إلى أحواض مقامة بالقرب من السد لتخزينه على أرض غير مزروعة. هذا الحل الذي هو في الحقيقة مشكلة جديدة فقط لأهالي المنطقة وعلى وجه الخصوص للمزارعين لم يستطع استيعاب أربعة ملايين متر مكعب تقع في قاع السد والتي في كل موسم. الملايين الأخرى من الأمطار راکدة في الأعماق.

تلبي معالجة التربة في بناء الطرق الاحتياجات الاقتصادية والبيئة الحالية والمستقبلية وتحترم مبادئ التنمية المستدامة. وفي هذه الدراسة سوف نعرض معالجة الطين مع الكثبان الرملية بنسب مختلفة (15, 30, 45%) حيث يتم برمجة سلسلة من الاختبارات الفيزيائية و الكيميائية والميكانيكية لتحديد نقاط الضعف في البداية. وجهة نظر فيزيائية وميكانيكية للطين ثم اقتراح الحل المناسب. تم اقتراح معالجة الطمي بهدف تثمينه من خلال استخدامه في قطاع الطرق ردم أو ردم.

الكلمات المفتاحية: زهرية وسد القصب ومعالجة وتقنية طرق ورمال



Introduction générale

Le premier barrage connu a été construit en Egypte, vers 3000 avant J.C. pour faire dévier le Nil afin de créer un site pour la ville de Memphis. Les premiers objectifs recherchés par ces constructions étaient l'irrigation des terres et l'approvisionnement en eau. De nos jours, ces utilisations sont toujours actuelles mais complétées par la production d'électricité, la maîtrise des fleuves (lutte contre les inondations), la création de lacs artificiels pour les loisirs, l'alimentation des industries en eau de refroidissement ...

L'Algérie disposera à la fin de 2014 de 84 barrages totalisant une capacité globale de 8,9 milliards de mètres cubes. Actuellement, le secteur des ressources en eau compte 70 barrages de grande et moyenne envergures, avec une capacité de 7 milliards de mètres cubes.

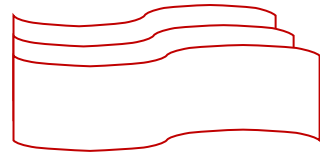
Le climat algérien, comme celui des pays méditerranéens, couvre le nord, tandis qu'un climat désertique règne sur le sud. Les précipitations annuelles enregistrées dans les hauts plateaux et dans l'Atlas saharien ne dépassent pas la quantité 200 à 400 mm de pluie. Mais, la hauteur des pluies annuelles est souvent inférieure à 130 mm dans l'ensemble du Sahara algérien.

Le problème des transports solides véhiculés par les cours d'eau s'est toujours posé. Chacun saisit l'importance que peuvent prendre, au cours des crues parfois catastrophiques, les phénomènes d'érosion des sols, d'effondrement des berges, d'élargissement ou de déplacement des lits des oueds, de dépôts de sédiments et d'envasement dans les plaines.

L'un des ennemis pervers de ces barrages est l'envasement ou ce que les experts appellent l'« ennemi silencieux » et qui cause annuellement, selon la banque mondiale, un préjudice avoisinant le 1% du coût global de l'investissement. En effet, toutes les études ont montrées que ce phénomène produit un dépôt de vase de l'ordre de 4,5 milliards de mètres cubes, ce qui réduit les capacités de stockage des barrages d'environ 11%. Cependant, ce taux est encore plus important concernant les barrages algériens.

L'envasement des retenues Algériennes constitue sans doute la conséquence la plus grave de l'érosion hydrique, et un défi à surmonter pour l'Algérie. Le potentiel hydraulique perd annuellement environ 30 millions de mètres cubes, ce qui est énorme. Pour certaines retenues, la sédimentation annuelle peut représenter des valeurs de l'ordre de 6 % du volume total. Les effets néfastes de ce phénomène sont nombreux, allant de la réduction considérable de la capacité d'emménagement et de stockage du barrage, jusqu'à la dégradation nette de la qualité de l'eau du barrage.

Introduction générale



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

Mais lorsque le mal est fait, il existe d'autre moyen que les chercheurs et ingénieurs dans le secteur ne cessent de développer, et afin d'absorbées cette vase, trois grandes filières peuvent relever le défi :

- ✚ La valorisation : chaque fois qu'elle est possible, confère aux produits une valeur incontestable. Citons notamment les épandages, dont ceux en agriculture, la création de nouveaux espaces et terrains, la réhabilitation de sol de qualité insuffisante, ou encore la réutilisation en B.T.P et construction (remblais, digues, création d'agrégats de type céramique,...).
- ✚ Le dépôt : il s'agit d'un procédé classique, soit le régalage (qui consiste à épandre les produits de dragage sur une bande de terre), soit la mise en dépôt sur des terrains retenus.
- ✚ Les traitements : qui nécessitent une bonne connaissance de la composition physico-chimique des boues. Il existe plusieurs filières des « pré-traitements » (déshydratation, criblage, lessivage, séparation par densité, ...).

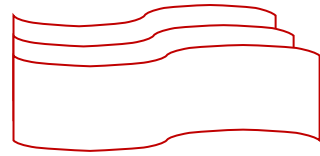
Objectif et présentation de l'étude :

Ce travail présente une étude ou une caractérisation physique puis mécanique de la vase du barrage de K'sob afin d'étudier la possibilité de son utilisation après traitement avec du sable de dune dans des ouvrages routiers. Pour se faire nous avons divisé notre travail en quatre chapitres dont :

Le premier chapitre mettra le jour sur le barrage de notre région (Barrage K'sob), avec une étude dirigée vers les causes de l'envasement, par exemple les fortes pentes ainsi que la nature lithologique du bassin versant. La manière d'extraire la vaseetc

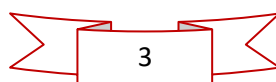
Dans un second lieu, On présente dans ce travail les différents essais programmés ainsi que le matériel utilisé pour les réaliser afin d'aboutir à la caractérisation physique chimique puis mécanique de notre vase.

Introduction générale



Dans le troisième chapitre nous exposons et discutons les différents résultats des différents essais que nous avons pu exécuter avant la rupture causée par la pandémie COVID 19.

A la fin de notre étude, on a exposé l'aboutissement de nos travaux de recherches dans une conclusion générale, en plus des recommandations et perspectives pour des travaux futurs.



Chapitre I :
Présentation du barrage K'sob
et problématique de
L'envasement .

Chapitre 1

Présentation du barrage K'sob et problème d'envasement

I.1 Introduction

La sédimentation dans les barrages est un phénomène naturel. Les sédiments ont soit une origine endogène provenant de la production du milieu local, soit une origine exogène issue d'un apport de matières de l'érosion des sols et du ruissellement. Ces particules se déposent au fond du bassin du barrage où se produit la sédimentation à travers le temps. Une étude de leurs caractères s'impose : classement granulométrique ; caractéristiques ; composition minérale ; teneur en eau et en matière organique.

En même temps l'eau devient de plus en plus rare. Pour cela elle doit être davantage maîtrisée à travers tout le territoire national. Malheureusement le phénomène de l'érosion hydrauliquement en danger ces potentialités. L'Algérie a investi des moyens colossaux pour alimenter en eau potable sa population et permettre l'irrigation des terres agricoles. De grands efforts ont été déployés pour assurer l'autosuffisance en eau potable et fournir l'eau aux industriels. Déréalisations de barrages à travers tout le territoire national ; de toutes dimensions, ont vu et

Le bassin versant de l'oued du K'sob est un des sous bassins du Honda, il s'étale sur une superficie de 1458 km², avec un périmètre de 200km, et une altitude moyenne de 1063,5 m.

Son réseau hydrographique est caractérisé par un cours d'eau principal de 84.90km de longueur, avec un temps de concentration de 15.54 heure et une vitesse de ruissellement de 1.52m/s.

La pluviométrie moyenne interannuelle de K'sob est de l'ordre de 363 mm, pour la pluie journalière maximale, elle est de l'ordre de 36.3mm. [1]

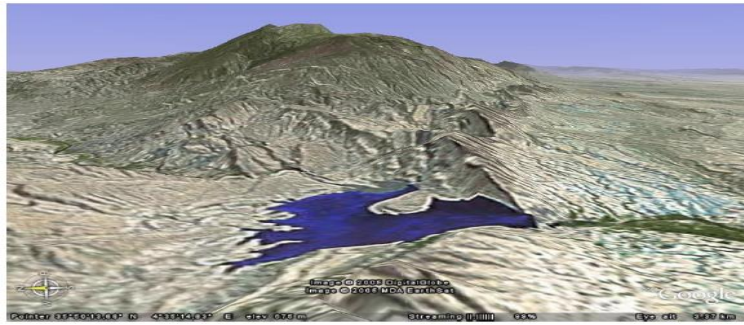


Figure I.1: Vue aérienne du barrage du K'Sob par Google Earth

I.2 Situation géographique du bassin versant du k'sob

Le bassin versant du K'sob, est situé au nord entre des longitudes ($4^{\circ}30' - 5^{\circ}17'$ Est) et des altitudes ($35^{\circ}45' - 36^{\circ}9'$ nord), il est limité au nord et nord-ouest par une chaîne montagneuse, au sud et sud-ouest par les monts du Honda, et à l'Est par les hautes plaines de Sétif (fig. 2).

Le bassin versant du K'sob contient deux bordures montagneuses :

Les bordures formées par les monts du Honda au sud avec des altitudes relativement élevées (dj .Maadid 1819 m, dj M'zaita 1545m et dj .Kender 1640) avec un point culminant de l'ordre 1875m à dj Chelendj; par la chaîne de Bibane (dj .Moutène). [1]

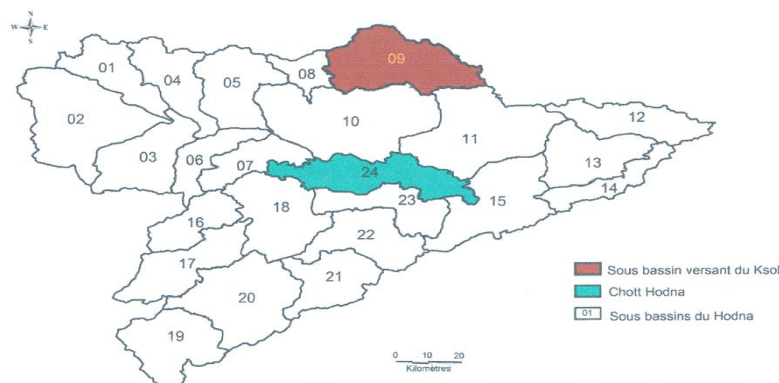


Figure I.2 : situation géographique du bassin versant du k'sob

I.3 Caractéristique géologique et lithologique du bassin versant du k'sob

Dans son ensemble, le djebel Maadid peut être considéré comme un vaste anticlinal à cœur aptien et dont les flancs sont constitués par des séries de plus en plus récentes crétacé moyen et supérieur. La sédimentation de tous les étages du crétacé représentés au maadid est continue ; La première discordance apparaît après le sénonien dont les couches terminal ont

été érodées par un éocène transgressif .la formation de poudingues des lutétien précède l'émersion généralisée du massif de maadid ou nummulitique supérieur est entièrement continental .la mer ne reviendra qu'au burdigalien, qui est transgressif et légèrement discordant sur les terrains éocènes.

Les couches géologiques constituant les auréoles externes du massif proprement dit se superposent du sud au nord sur de puissantes assises dont les plus anciennes arrivent aux arêtes culminantes. Ces assises, coupées de vive force par la vallée de l'oued K'sob, donnent une succession de seuils rocheux, séparant des terrains plus tendres, argiles ou marnes.(fig. .3), [1]

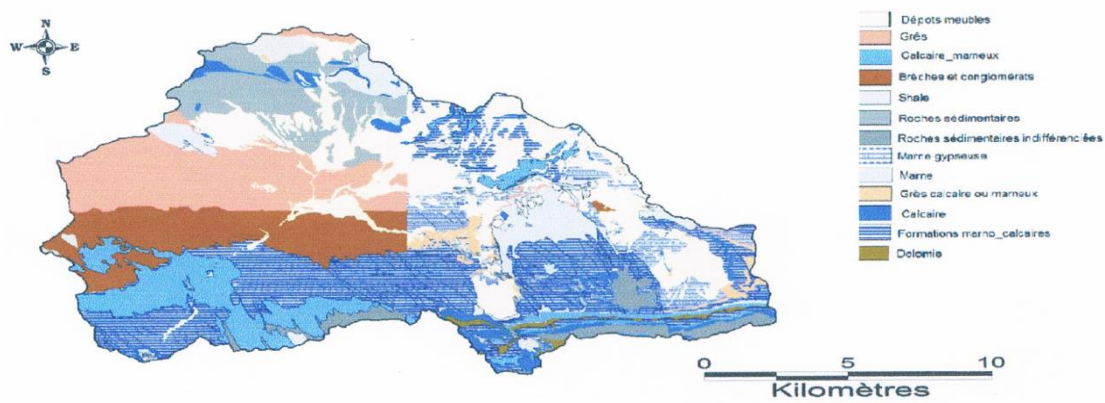


Figure I.3: La carte géologique du bassin versant du k'sob.

Les formations lithologiques sont très variées, mais avec une prédominance des formations calcaires, qui est exclusivement aptien inférieur constituent un ensemble homogène et s'étend au Sud sur les monts du Honda et le djebel M'zaita.

Des formations à alternance de calcaire et de marne apparaissent en plusieurs unités de taille variable cependant, elles trouvent leur plus grande extension au nord sur le plateau de M'zita et les monts de Maadid .le calcaire marneux affleure largement au sud du bassin notamment sur le djebel Maadid, sur le plateau de Lestah à l'oued et M'zaita à l'est.

Les formations gréseuses occupent 1/3 du bassin versant ,la série exclusivement gréseuse occupe une surface très réduite se limitant à un affleurement au sud du djebel Moissan. Les séries à l'alternance de grès et d'argile, de grès et de marne s'étendant sur des surfaces relativement importantes, la première occupe le nord -est du bassin en un ensemble continu; Elle présente à sa base une assise argileuse surmontée de grès grossiers alternant avec des argiles noires. La seconde affleure en plusieurs endroits discontinus notamment au sud – ouest. [1] (fig. I-4)

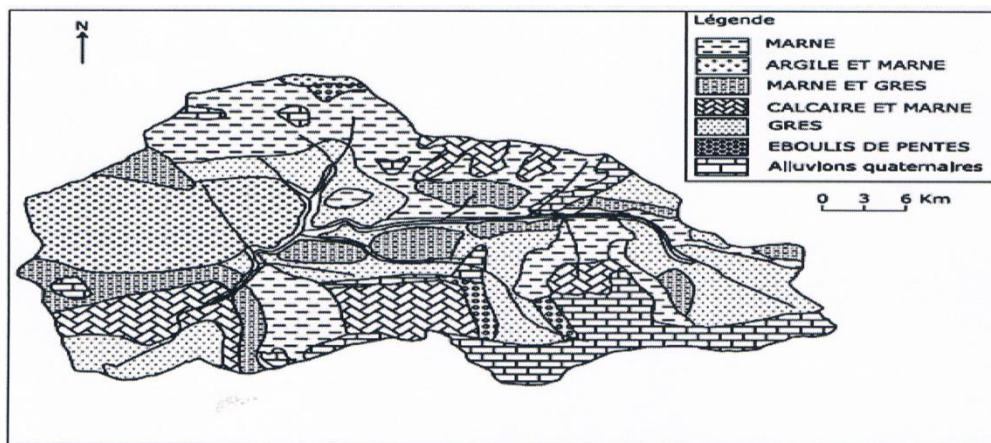


Figure I.4 :La carte lithologique du bassin versant du k'sob

I.4 Le couvert végétal

Le couvert végétal influe sur la capacité d'infiltration des sols (l'infiltration d'un terrain gazonné est plus qu'un terrain nu); Il diminue également la lame d'eau écoulée par les interceptions.

Une partie des territoires de la cuvette du Honda est actuellement couverte des formations steppiques ou de cultures et jachères .les formations steppiques constituent les pâturages naturels du cheptel de la région et des troupeaux.[1]

Pour la classification de la végétation, plusieurs classifications plus ou moins complexes ont été proposées, mais la classification des type de couverture végétale par l'ordre de densité est plus apte à distingués. [1] :

- ❖ Les surfaces bien protégées : qui forment un couvert végétal plus ou moins dense, spécialement les forêts qui ont une influence hydrologique favorable, perméabilité, profondeur, et forte capacité de rétention des sols autorisant un écoulement hypodermique moins rapide. [1]
- ❖ Les surfaces incomplètement protégées : qui sont généralement des terres de culture destinées soit à la céréaliculture protégeant le sol pendant une période seulement de l'année, soit à l'arboriculture qui recouvre mal le sol du fait de l'espacement des arbres. Ces surface ont un rôle hydrologique important et se différencie selon le stade végétatif, selon l'état du sol au pluies et les pratique culturales. [1]
- ❖ Les surfaces males protégées : sont celles qui contiennent des terrains de parcours, des terrains dénudés, broussailles à faible densité de recouvrement. Les formations

lithologiques influencent l'écoulement et la circulation de l'eau, cette phase est très courte puisque les processus s'estompent dès la fin de l'averse et le terrain retrouve son état initial. [1].

- ❖ Les terrains de parcours bien traités, sur lesquels l'humus et la végétation protègent la surface du sol contre l'énergie des gouttes de pluie et facilitent l'infiltration. Mais si la steppe est fortement pâturée (surcharge pastorale) il en résulte une dégradation de la couverture herbacée, un tassement du sol, un faible taux d'infiltration et un accroissement du ruissellement superficiel qui engendre par conséquent une érosion hydrique intense et un régime d'écoulement très irrégulier.

I.5 Sédimentation et envasement

I.5.1 Définition de la sédimentation et origine des sédiments

La sédimentation est l'accumulation de tout élément transporté par l'eau et qui vient se déposer dans un bassin de sédimentation, pour former un dépôt. Les sédiments se déposent en couches successives dont la composition, la taille des particules, la couleur, etc., varient dans le temps selon la nature des sédiments apportés. C'est ce qui fait que les dépôts sédimentaires sont stratifiés et que les roches sédimentaires issues de ces dépôts composent les paysages stratifiés.

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

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

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

Les particules d'origines naturelles peuvent être endogène (constituées principalement de matière organiques provenant des organismes aquatiques : plantes aquatiques, cadavres de micropyles et d'animaux) ou exogène (particules minérales provenant de l'érosion du bassin versant ou de l'érosion éolienne des sols ces particules exogènes peuvent être minérales ou

organiques). Celles-ci sont issues du ruissellement des fleuves, des effluents ou de l'atmosphère

Les particules d'origines anthropiques peuvent être minérales ou organiques (apports de matière en suspension, de matières organiques, de nutriments ou de micropolluants en raison des rejets agricoles, industriels et domestiques). Le lieu où se déposent les particules et leur taille dépend principalement de la force du courant et de l'environnement géologique.

I.5.2 Les processus de Transport et de Sédimentation

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

Les sédiments ainsi formés seront d'abord des alluvions, qui sont susceptibles de se transformer ensuite, par cimentation naturelle, en roches sédimentaires détritiques indurées. L'histoire de la terre étant longue et complexe, ce processus de cycle (altération-transport-sédimentation) peut se reproduire plusieurs fois au cours des temps géologiques (Fig. I-5). Le faciès des sédiments sera lié à ses conditions de dépôt, en milieu barrage. Les principaux processus de formation et d'évolution des matériaux sédimentaires.[2]

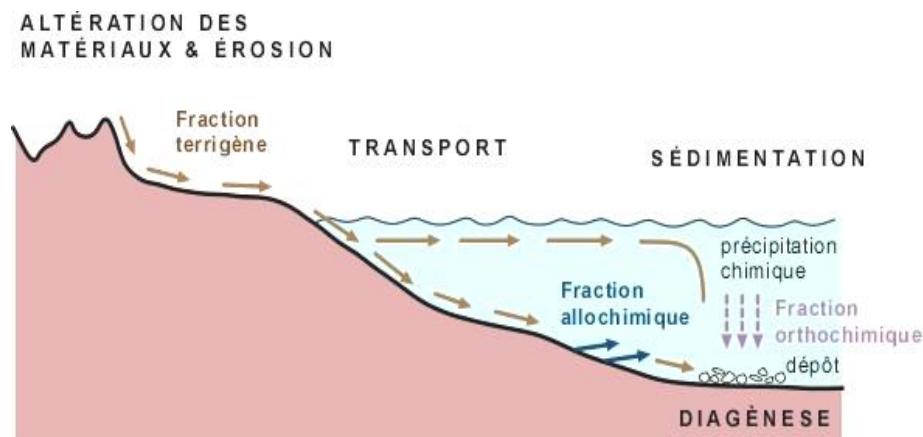


Figure I.5 : Altération et érosion des matériaux.

I.6 Qu'est ce que la vase ?

Le nom de vase (mot emprunté au Néerlandais) est la désignation d'une large famille de sédiments fins, argileux, plus ou moins organique, pouvant atteindre des teneurs en eau importantes. Elles contiennent une phase minérale dont la granulométrie s'étend des sables,

aux argiles et aux colloïdes, une phase organique et une phase liquide. La vase peut se présenter aussi bien à l'état de suspension (crème de vase) que de sol cohérent (sédiment cohésif) présentant alors un caractère plastique, compressible. Elle contient souvent une faune riche et diversifiée (vers, mollusques, bactéries). (Agence de l'eau de France 2002), (Chapitre1/ formation des sols GGC 112 C).

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.

I.6.1 Méthode de calcul de l'envasement

La méthode de calcul de l'envasement est basée essentiellement sur le levé bathymétrique. Après chaque mesure on obtient l'écart de perte ou de bénéfice de capacité. En générale la perte est enregistrée sur toutes les mesures faites par les bureaux d'études spécialisés depuis 1968 au 2004. A partir de l'analyse des données, les spécialistes ont retenu l'année 1986 comme étant l'année de référence qui a suivi la surélévation du barrage qui a eu lieu en 1977. En effet c'est en 1986 qu'a été réalisé le premier levé (effectué par GEOKART) et dont le résultat est disponible. Un second levé, réalisé Par le CTH en 2000, a montré que le volume à la RN était de 15.6 Hm³ (Sources : services de L'ANB)

Un autre levé a été réalisé en 1973 donc avant l'opération de surélévation mais dont la seule donnée disponible est la courbe Hauteur/Superficie/Capacité.

L'an 2004, la capacité du barrage a été réduite de 14.03 Hm³, ce qui correspond à un pourcentage De perte de 53.20 %.

L'évolution de la perte de capacité de la retenue du barrage à la RN (604.00 m) est donc Résumée comme suit :

Capacité du barrage en (hm³) à la côte normale 604.00m

Année de mise en eau (1940) : capacité 12 hm³

Levé bathymétrique (1986) : capacité 26.37 hm³ après surélévation du barrage

Levé bathymétrique (2000) : capacité 15.58 hm³

Levé bathymétrique (2004) : capacité 12.34 hm³

Perte de capacité de 1986 à 2000 = 10.77 hm^3

Perte de capacité de 1986 à 2004 = 14.03 hm^3

Envasement = évolution de la perte de capacité a la côte n = **Volume n-1 - volume n**

Soit une valeur moyenne annuelle de perte en capacité entre 1986 et 2004 de l'ordre de **779 500 m³/an (0.800 hm³)**

➤ Analyse des résultats

Evolution temporelle de l'envasement :

Levé bathymétrique 1968 à 1970 :

Capacité PHE (591,00) : $12,6 \text{ Hm}^3$

Capacité RN (590,00) : $11,5 \text{ Hm}^3$

Surface : 121,00 Hectares

Volume de vase : $07,859 \text{ Hm}^3$

(Envasement moyen annuel 0,298 hm³)

Levé bathymétrique 1986 :

Capacité PHE (605,50) : $29,5 \text{ Hm}^3$

Capacité RN (604,00) : $26,5 \text{ Hm}^3$

Surface : 243,75 Hectares

Volume de vase : $10,888 \text{ Hm}^3$

(Envasement moyen annuel 0,233 hm³)

Levé bathymétrique en 1993 :

Capacité PHE (605,50) : $29,593 \text{ Hm}^3$

Capacité RN (604,00) : $25,820 \text{ Hm}^3$

Surface : 243,75 Hectares

Volume de vase : $12,288 \text{ Hm}^3$

(Envasement moyen annuel 0,600 hm³)

Levé bathymétrique en 2000 :

Capacité PHE (605,50) : 19,269 Hm³

Capacité RN (604,00) : 15.587 Hm³

Surface : 233,46 Hectares

Volume de vase : 18.615 Hm³

(Envasement moyen annuel 0,600 hm³)

Levé bathymétrique en 2004 :

Capacité PHE (605,50) : 16.00 Hm³

Capacité RN (604,00) : 12.340 Hm³

Surface : 232.00 Hectares

Volume de vase : 17.66 Hm³

(Envasement moyen annuel 0,800 hm³)

I.7 Comment lutter contre l'envasement?

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

I.7.1 La conservation des sols

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

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

Ils 'agit de l'aménagement des bassins versants par la réalisation de la correction torrentielle des thalwegs, et l'aménagement de cours d'eau : en créant des ouvrages de correction dans la gorge du torrent, ouvrages qui arrêteront les matériaux et diminueront la pente, qui sont des aménagements déterminants, réduisant l'érosion à sa source. (REMINI, AVENARD, KETTAB 1997), (LAURA, IBANEZ, SOPHIA 2003)

La photo (1.4) fournis quelques exemples de seuils de sédimentation en gabions et en pierres sèches réalisés dans le bassin versant du barrage BAKHADDA en vue de réduire la torrentialité du réseau hydrographique par la réalisation d'un nombre déterminé de ces ouvrages sur le même affluent.



Figure I.6 :Seuils de sédimentation en Gabion et en pierres sèches réalisées dans le bassin versant du barrage BAKHADDA[2].

Si le bassin versant en question n'est pas très grand, les effets de la conservation des sols se feront sentir très rapidement. D'après certaines expériences réalisées aux ETATS-UNIS, on peut réduire l'érosion des sols de jusqu'à 95% en employant, exclusivement les méthodes traditionnelles de culture.

Dans le cadre de la protection des bassins, un programme spécial a été lancé par les services des forêts. Il s'agit de traiter une superficie de 1,5 million d'hectares dans le territoire national. Le cout de cette opération s'élève à environ 16 milliards de DA. [2]

I.7.2 Le reboisement

La plantation des cultures suivant les courbes de niveau et fixation des berges des oueds est une action préventive. Vingt-sept bassins versants sont concernés par les opérations de reboisement pour protéger les barrages face à l'érosion, comme le bassin versant des Issers (barrage de Beni Amrane) qui fait 3700 km²ou celui de Béni Haroun, 7200 km². Il y a également, la nature du sol pour déterminer les espèces d'arbres à planter, il est prévu de consacrer un budget de 18 milliards de DA à ces opérations.[2]

I.7.3 La réalisation des barrages de décantation à l'amont

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

I.7.4 La réalisation des barrages de chasses

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

I.7.5 La surélévation des digues

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

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

I.7.6 Extraction par siphonnement

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

L'appareil de Jardin se composait d'un tuyau flexible d'un diamètre de 61 cm, avec une capacité d'évacuation de 1,53 m³/s dans des conditions normales d'opération. A partir d'une ouverture dans le bas du barrage, il était relié à des pontons flottants en tôle, ce qui permettait de déplacer le tuyau dans la retenue dans un rayon d'environ 1.6 km.

Hannoyer a développé une nouvelle méthode basée sur le principe de "l'hydro-aspirateur" proposé par Jardin 80 ans auparavant (Figure I-7). Un tuyau flexible est relié à la vidange de fond. Le tuyau est amovible afin de créer une charge pour évacuer les sédiments. Il n'y a pas besoin de pompe. Le tuyau peut avoir une longueur de plus de 2 km, et il est attaché à des flotteurs afin de rester au-dessus de la surface de la vase. [2]

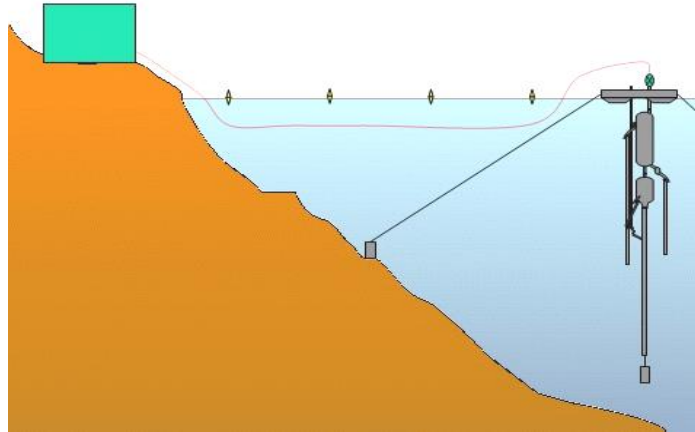


Figure I.7 : Schématisation la disposition de l'hydro-aspirateur.

I.7.7 Le dragage des barrages

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

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

L'opération de dragage peut se décomposer en plusieurs étapes: Etudes préalables et caractérisation des sédiments, choix de la filière de destination, extraction des boues, transport des matériaux de dragage, et traitement, mais selon certains auteurs, la récupération d'une capacité de stockage par dragage est une opération très coûteuse qui n'est pas économique pour les grandes retenues. La première drague utilisée en Algérie en 1957 est la drague Réfouleuse «Lucien Dumay». Depuis les années 2000, plus de 20 millions de m³ de vase ont été extraits de nos barrages.[2]

I.7.7.1 Les types de dragages

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

***L'entretien** : sont des opérations répétitives, visant à extraire les sédiments déposés qui gênent la navigation.

***L'aménagements** : sont des opérations d'aménager et créer des canaux, des bassins de plaisance et autres voies de navigation.

***L'approfondissement** : Elle nécessite de déplacer d'importants volumes de sédiments et demandent des moyens de dragages importants.[2]

I.7.7.2 Les Techniques De Dragage Disponibles

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

a- Les dragages mécaniques

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



Figure I.8 : Dagues a pelle ou a cuillère.



Figure I.9 : Dragues rétro caveuses.

b- Les dragages hydrauliques

Les matériaux sont désagregés par jets d'eau sous pression ou par rotation d'un outil et mis en suspension pour être aspirés et évacués par des pompes vers les points de stockage. Par exemple la technique aspiratrice utilise des pompes centrifuges, aspirant à travers un tube d'élinde, muni d'un embout, appelé bec d'élinde, un mélange eau sédiments. Elles aspirent et refoulent donc les sédiments sous forme de boues liquides dont la teneur en eau varie autour de 85 %.(Figure 10)

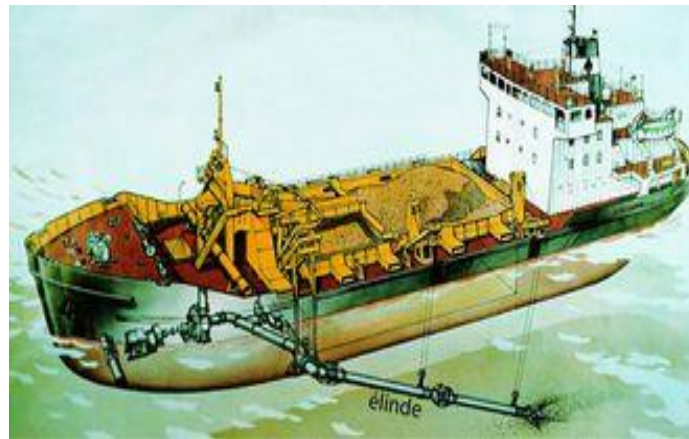


Figure I.10:Dragues aspiratrices simple.

c- Les dragages à l'américaine

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

Le dragage à l'américaine consiste à rejeter en continu dans la veine d'eau les matériaux dragués afin d'utiliser le courant naturel pour évacuer les produits. Elle se pratique pour des fleuves et rivières à fort débit. [2]

I.8 Le choix basé sur profondeur du sol

Généralement les méthodes de traitement dépendent de la profondeur du sol affaissable de la capacité portante que requiert l'ouvrage à édifier. Les méthodes utilisées dans le passé et vont être probablement utilisées dans le futur ont été résumées par Bara (1976) et sont reprises dans le tableau suivant:

Profondeur du sol à traiter ¹	Les méthodes de traitement de sols
0 à 1.5 m	Methods courante : - Mouillage du sol et compactage. - Excavation et compactage (avec ou sans utilisation d'un stabilisant comme la chaux ou le ciment). - Contrôle des sources d'eau par drainage. - Vibroflotation. - Utilisation des Pieux. - Injection du silt ou de la chaux.
1.50 à 10m	
Plus de 10m	
	inondation à l'eau s'il n'y a pas de couches sous-jacentes imperméables). - Inondation et infiltration d'eau par des puits. - Inondation et infiltration d'eau par des puits avec utilisation des explosifs. Futures Methods : - Traitement à la chaleur pour solidifier le sol sur place. - Traitement aux ultrasons, les vibrations peuvent modifier les mécanismes de liaisons entre les grains. - Utilisation d'un mortier additif, remplissant les pores, avant solidification. - Traitement électrochimiques (addition d'un produit chimique pouvant rendre très résistant les liaisons intergranulaire).

Tableau. I.1: Méthodes de traitement des sols affaissables selon Bara (1976).

I.8.1 Le choix basé sur classes granulométriques et l'état du sol

Les domaines d'utilisation des différentes méthodes d'amélioration des sols, par référence aux classes granulométriques et à l'état du sol représenté par sa résistance de cône au pénétromètre statique.

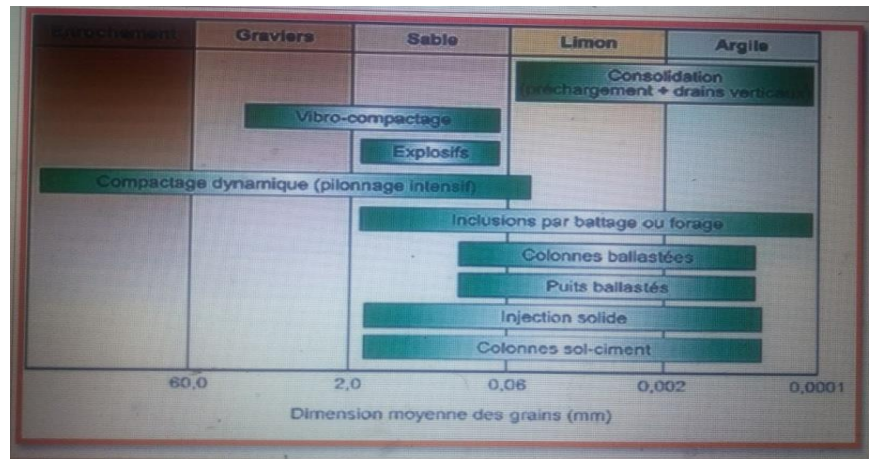


Figure. I.11: Les champs d'application des différentes techniques de traitement.

- **Traitement par compactage:**

Le compactage est l'ensemble des opérations mécaniques qui conduisent à accroître la densité en place d'un sol. Cette action augmente la capacité du sol, resserre la texture du matériau réduit les possibilités de déformation du terrain et améliore sa capacité portante. [3]

Les ouvrages couramment concernés par le compactage sont les remblais routiers, les barrages en terre et les aérodromes.

- Modification de la teneur en eau.
- Réduction ou élimination des risques de tassement.
- Augmentation de la résistance du sol et la stabilité du talus.
- Modification de la granulométrie

Il y a trois types de compactage:

- une pression exercée par un rouleau compacteur.
- une masse qui chute sur une hauteur donnée.
- une vibration transmise par un moteur à pulsation hydraulique monté sur un compacteur (ou grue)

➤ (vibrocompactage)

- **Compactage dynamique:**

Cette technique a été pratiquée en premier lieu par L. Ménard au début des années 70 Gambin et Col (1981), elle est recommandée pour stabiliser et densifier les sols pulvérulents situés aussi bien hors nappe que sous nappe phréatique ainsi que pour la densification des sols affaissables à structure macroporeuse (löss en ex URSS).

Le tassement profond dynamique (DDC) est une technique au sol importante d'amélioration, capable de rendre une large variété de sols faibles compactés par l'augmentation de la capacité portante, la réduction des tassements et du potentiel de liquéfaction. L'amélioration a pour conséquence la portance accrue. De cette façon des conditions de sol sur beaucoup d'emplacements marginaux peuvent être améliorées au point où des bases peu profondes peuvent être employées sans recours à l'excavation ou à l'empilage profond. Tandis que le Principe du tassement profond dynamique est depuis l'antiquité considérable, c'est seulement ces 15 dernières années que la technique a été sérieusement appliquée à grande échelle à la solution des problèmes pour l'amélioration ausol.

Avec le compactage dynamique (DDC), la terre est soumise au damage extérieur répété employant un acier lourd et un poids concret. Typiquement le bourreur pèse entre 5 et 20 tonnes, chutant dans l'automne libre des tailles jusqu'à 25 mètres, pour Bergado et Col (1996) jusqu'à 40 mètres. Le bourreur est lâché un nombre d'ensemble de fois sur un modèle de grille au-dessus de l'emplacement de former un passage. Deux à cinq passesau dessus d'un emplacement, dépendant du type de sol et la condition, peut être exigée..



Figure I.12 :Une masse qui chute.

- **Compactage par explosifs**

La consolidation par explosion, consiste à placer à une profondeur donnée une charge telle qu'il n'y ait pas de cratère en surface. La présence de gaz occlus dans le sol à consolider, indispensable,

influence l'efficacité du phénomène. Il s'agit d'une solution brutale et simple, ne nécessitant pas de gros investissement pour le compactage rapide de grandes masses de sols non cohérents en lieux suffisamment éloignés de toute agglomération. La quantité d'explosifs varie de 10 à 30 kg/m³ de sol traité. Cette consolidation par explosion a été surtout employée en ex URSS dans les sables non cohérents et les loëss. [4]

I.8.2 Vibrocompactage

Inventé en 1934 en Allemagne par Steurmann et Degen, c'est le procédé qui permet d'exécuter le compactage en profondeur du sol en place, à l'aide d'une aiguille vibrante par ajout ou non d'un matériau pulvérulent. Sous l'effet simultané des vibrations et de saturation, les grains des sables lâches se réarrangent à un état compact duquel résulte une augmentation de la contrainte latérale. Le vibrocompactage est très recommandé pour les sables moyens à gros dont la granulométrie montre un pourcentage en poids de tamisât (à travers le tamis d'ouverture 0,0074mm) en limon inférieur à 12% et un pourcentage en poids d'argile inférieur à 2%). Le vibrocompactage est exécuté sur une profondeur variant de 3 m à 56 m, selon des mailles où la distance entre les points de traitement varie de 1m à 5m. La performance du vibrocompactage est d'atteindre généralement une densité relative du sol amélioré qui varie de 75% à 100% selon le projet.



Figure I.13 : Compactage par vibro-sonde.

- **Traitements par congélation**

La congélation des terrains aquifères instables est un procédé ancien, à caractère provisoire, employé pour le creusement des fouilles, des puits ou des galeries, qui permettent également le sauvetage d'ouvrages à la suite d'incidents (renard, débouillage). Elle rend le sol étanche et résistant. [4]

Ils existent plusieurs méthodes :

- Les méthodes ouvertes à l'azote liquide.
- La méthode fermée à la saumure.

- La méthode dite combinée



Figure I1.14 : Liaison par agrégats d'argiles.

- **Traitement par pré mouillage**

Ces méthodes sont efficaces pour les sols ayant des épaisseurs d'environ 5 m et exigent une disponibilité d'eau en grande quantité, par contre elle est poursuivie dans les sites urbains, cette technique consiste à réaliser un étang artificiel permettant d'accumuler une grande quantité d'eau au-dessus du sol collapsible le poids propre du terrain et l'infiltration lente de l'eau seront les causes principales de l'affaissement. [4]

- **Traitement chimique**

Par malaxage ou injection de produits chimiques dans le sol tels que ciment portland, chaux, asphalte, chlorure de calcium ou de sodium, résidus de pâtes et papiers.

Il existe trois (03) types de traitement chimique courant :

1. Traitement à la chaux
2. Traitement au ciment
3. Les colonnes de sol traité

Elles permettent de mettre en œuvre et de compacter les sols mouillés qui, normalement, ne pourraient pas être compactés correctement.

L'incorporation de la chaux génère immédiatement la formation d'une masse granuleuse, et a pour effet de réduire le taux d'humidité. Ce procédé convient par exemple pour la réalisation de remblais, de talus ou de voies de circulation sur le chantier.

Cette technique de stabilisation au ciment a pour effet de rendre les sols plus résistants contre les sollicitations causées par la circulation et les facteurs climatiques.



Figure I.15 : Traitement chimique à la chaux et au ciment.

- **Traitement thermique**

Destinée aux ouvrages importants, d'après le guide technique LCPC/SETR (2000), cette méthode de traitement a été procurée pour la première fois par Ostasheven 1934. Consiste à soumettre le sol à un réchauffement contrôlé, on injecte dans le sol pendant plusieurs jours de l'air ou du gaz chauffé entre 200 et 800C°, ce qui fait fondre le squelette du sol et les contacts entre les particules sont soudés. Le sol devient presque insensible aux phénomènes de gonflement et de retrait.

Cependant le coût du transport et de mise en place des unités mobiles de traitement peut être très lourd et n'est rentable, en terme strictement financier, que lorsque les quantités de sol à traiter sont importantes.

- **Traitement par pieu de sable**

Le traitement des sols affaissables par pieu de sable est une technique qui s'est développée très rapidement et qui est encore amenée à connaître une importante croissance. Aisée à mettre en œuvre, elle permet d'éviter de lourds travaux de terrassement destinés à rejeter les sols inadéquats et à faire appel à des matériaux d'emprunt de qualité, issus de carrières qui sont utilisés parfois dans le même but. Technique maintenant très répandue, elle utilise le principe de la diminution progressive de la surpression interstitielle sous l'influence d'une contrainte mécanique ou dynamique d'où une consolidation. [5]

- **Traitement par pré chargement:**

Le pré-chargement est une méthode d'amélioration des sols compressibles d'usage très courant en pratique. Lorsqu'il s'agit de construire sur un sol saturé de faible portance et (ou) relativement compressible le pré- chargement (généralement fait par un remblai) est la technique.

La plus simple qui permet d'assurer une amélioration de la résistance au cisaillement à court terme. [5]

Le pré-chargement par étapes, lorsqu'il s'agit d'édifier des remblais de grande hauteur (>6m) sur une argile molle très compressible le chargement doit être fait par étapes pour éviter de provoquer la rupture par poinçonnement du sol.

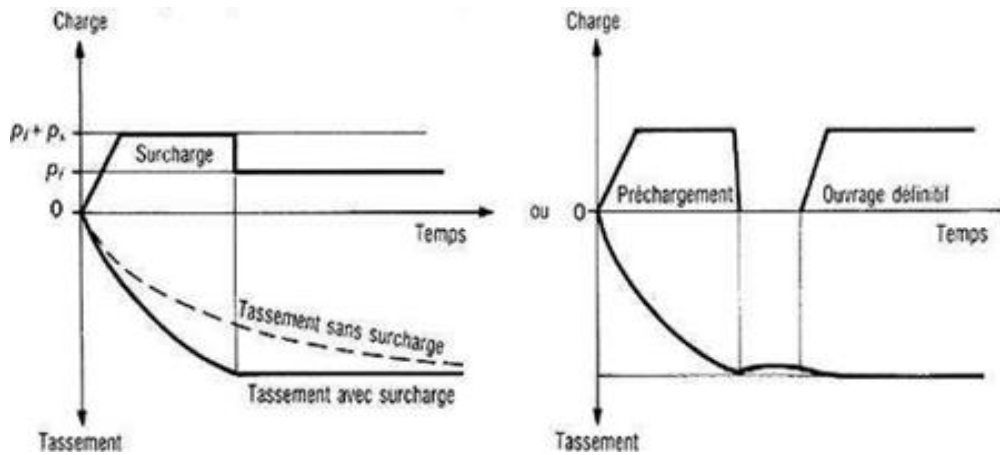


Figure I.16 : Principe de traitement par pré chargement.

•Traitement par injection

Les injections constituent une technique d'amélioration des propriétés des sols. Cette technique s'effectue par injection de matériaux dans les pores et les fissures naturelles, ou dans des vides qui ont été créés pendant l'injection. Ce matériau est appelé coulis. Le coulis est amené en profondeur du sol par forage d'un diamètre variant entre 5 et 15 cm. L'injection est toujours faite à l'aide d'un tube de revêtement (exemple : le tube à manchette) qui est généralement en matière plastique d'un diamètre compris entre 25 et 50mm.

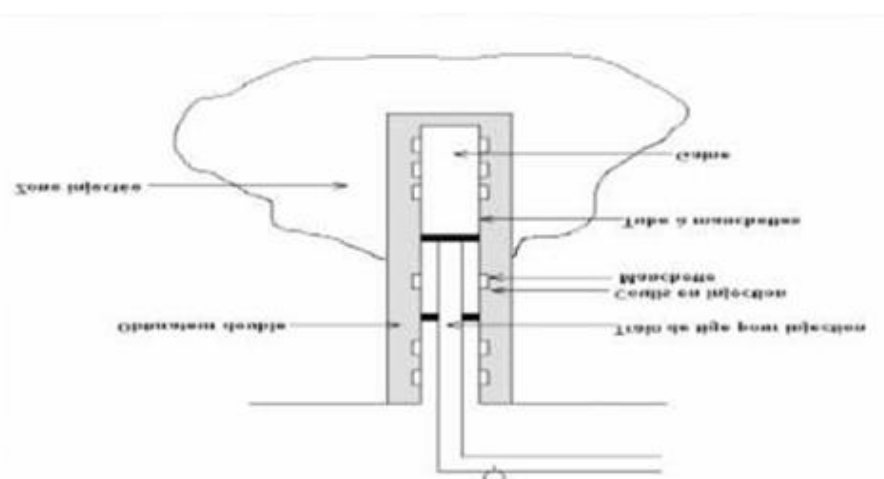


Figure I.17 : Traitement par injection.

- **Traitement par colonne ballastée**

Les colonnes ballastées, au sens le plus large de terme, ont été élaborées afin de permettre l'amélioration des sols de mauvaises qualités géotechniques. Le fait d'incorporer et de compacter un matériau ayant des caractéristiques géotechniques supérieures au sol en place entraîne un renforcement de ce dernier. Les différentes méthodes d'amélioration répondent à des contraintes techniques liées aux caractéristiques géotechniques des sols en place.

Les objectifs généraux qui sont attendus d'une amélioration sont attendus d'une amélioration de sols par inclusions souples sont:

- L'augmentation de la capacité portante de sol.
- L'augmentation de sa résistance au cisaillement .
- L'obtention d'un drainage radial efficace assurant la consolidation.

Les colonnes ballastées sont des colonnes constituées de matériaux granulaires, sans cohésion, mis en place par refoulement dans le sol et compactés par passes successives.

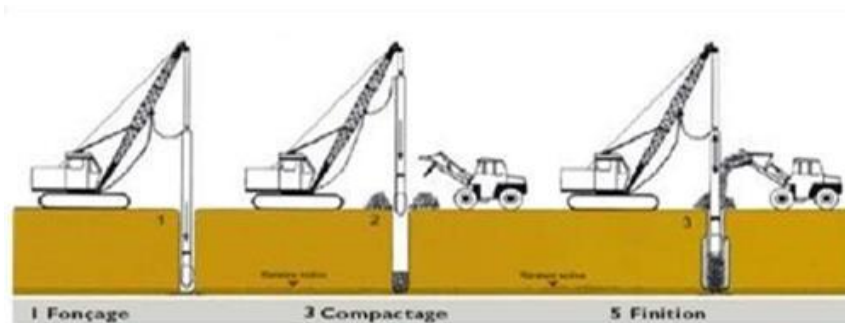


Figure I.18 : Mise en œuvre des colonnes ballastées.

- **Compactage par étincelle électrique**

Le principe de la méthode réside dans le fait qu'entre deux électrodes placées dans un sol saturé se produit une décharge de haute tension, et qui fait apparaître, instantanément, dans l'eau entourant les électrodes, une pression très élevée (effet hydrodynamique) ; qui agit sur le massif de sol environnant. La charge est répétée de nombreuses fois. Par suite de ces chocs répétés, la structure naturelle se brise dans la zone d'action de la décharge sous l'action de la pression naturelle des couches de sol sus-jacentes et des impulsions créées par les décharges, le sol se compacte. [5]

- **Traitement par drains verticaux (DV)**

Le drainage vertical est une technique complémentaire des techniques de pré chargements. Il permet une consolidation plus rapide du sol. Les drains verticaux sont utilisés pour l'amélioration des sols fins saturés en eau (terrains silteux ou argileux). La technique consiste à foncer verticalement

dans le terrain, suivant un maillage régulier, un drain préfabriqué. Lors de la mise en charge du terrain, les drains facilitent l'évacuation de l'eau interstitielle jusqu'à la surface, permettant ainsi une consolidation accélérée des sols traités. La surcharge est apportée soit par un remblai de pré chargement, soit par d'autres méthodes.

Les drains verticaux en plastique souple plats ou cylindriques, peuvent atteindre des profondeurs de 40 m ou plus. Selon la nature et la composition des terrains, les drains peuvent être également réalisés sous forme de colonnes de sable ou de granulats. Il y a deux familles de drains à savoir Magnan (1983).

- ✳ Les drains préfabriqués (DVP) sont d'exécution rapide et permettent d'accélérer fortement la consolidation.

- ✳ Les drains de sable contribuent à une réduction du tassement et offrent souvent une marge de profondeur variable, qu'il n'est pas possible de réaliser avec des drains préfabriqués.

Un drain de sable a une durée de vie limitée. C'est essentiellement le colmatage par le sol environnant qui risque de réduire notablement cette durée de vie, voire la condamner. Par conséquent, un drain sera qualifié de « bien mis en place » lorsqu'il fonctionne durant toute la phase de consolidation primaire du sol à améliorer. [5]

I-9 Conclusion

A la fin de ce premier chapitre, L'envasement est un phénomène naturel très complexe qu'il faut étudier de l'amont à l'aval du barrage, il est devenu actuellement une réelle menace pour l'infrastructure hydraulique, tant au niveau de la réduction rapide de la capacité utile du barrage qu'à celui de la sécurité de l'ouvrage lui-même. En Algérie la durée de vie d'un barrage est calculée en fonction du taux d'envasement. La plupart des barrages en Algérie ont une durée de vie de l'ordre d'une trentaine d'année à cause du phénomène de l'envasement, Ils sont dans une situation critique, leur exploitation reste en dessous de leur capacité réelle.

Chapitre II:
Programme expérimental et
procédures d'essais

Chapitre2

Programme expérimental et procédures d'essais

II.1 Introduction

La réalisation des essais expérimentaux a été programmé dans deux laboratoires différents qui sont : le laboratoire du génie civil de l'université de m'sila et le laboratoire Central des Travaux Publics Antenne de M'sila (L.C.T.P). Seulement vue les circonstances spéciale de cette année universitaire 2019/2020, c'est-à-dire l'état sanitaire imposé par le COVID 19, les essais que nous avons pu réaliser ne sont que ceux exécutés au laboratoire de l'Université de M'sila car la rupture des travaux est survenu en Mars 2019. Le programme donc est réparti en deux parties dont pour :

Le sol non traité

1. Essais d'identifications :

- La granulométrie par tamisage (NF P94-056)
- Les limites d'Atterberg (NF P 94-051)
- L'essai au bleu de méthylène (selon la norme : NF P-068)
- L'Equivalent de sable
- La masse volumique apparent
- La masse volumique spécifique au Pycnomètre
- Analyse chimique
- Détermination du pourcentage de la matière organique (NF P 94-055) ;

2. Essais mécaniques :

- Essai Proctor
- Essai C.B.R. immédiat et après imbibition
- Essai de cisaillement

II.2 Essais d'identifications

II.2.1 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de déterminer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau, et comprend un tamisage pour la distribution dimensionnelle en poids des particules de dimensions supérieures ou égales à 80 micromètres. Et une sédimentométrie pour la distribution dimensionnelle en poids des particules de dimensions inférieures à 80 micromètres.

a) Analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 94-041 :

L'analyse granulométrique a deux buts celui de déterminer les dimensions des grains, et la détermination des proportions des grains de même dimension (% pondéral). Pour se faire le matériel utilisé est le suivant :

- Une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture intérieure des mailles est respectivement de haut en bas (2 - 1.25 - 0.63 - 0.315 - 0.2 - 0.08 - 0.063).
- Tamiseuse mécanique.
- Balance de précision.



FigureII.1 : Analyse granulométrique par tamisage.

Afin d'exécuter cet essai, on prépare une colonne de différentes ouvertures des mailles en ordre décroissant, on pèse une quantité de matériaux (poids = 1kg), en suite, on Verse les 1 kg d'échantillons (vase) dans le premier tamis. On met le couvercle, et on agite énergiquement pendant 5 min la colonne des tamis en utilisant un agitateur électrique. Après on laisse le sol se repose afin de permettre la décantation des particules fines et à la fin on pèse chaque tamis avec son refus, puis on pèse le tamis seule, pour déterminer le tamisât de chaque tamis.

b) Analyse granulométrique par sédimentation selon la norme NF P 94-257

❖ **But de l'essai :** Détermination de la distribution pondérale de la taille des particules fines d'un sol.

❖ **Matériels spéciales :**

- 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 440cm³ 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 éprouvettes sera appelée dorénavant l'éprouvette B (l'autre éprouvette sera dite : l'éprouvette A).
- Procéder à une homogénéisation de la suspension à l'aide de l'agitateur manuel.
- Verser à l'éprouvette A 2 litre de l'eau distillée.
- Introduire le densimètre dans la suspension et procéder aux lectures. Les temps de lecture sont : 0,5 ;1' ;2' ;5' ;10' ;20' ; 40' ;80' ; 240' 1440'.
- à partir la 3eme lecture, retirer le densimètre, puis le plonger dans l'éprouvette A.
- à l'aide du thermomètre, procéder à la lecture de la température dans chaque lecture du densimètre.

II.2.2 Les limite d'Atterberg (NF P94-051)

On détermine par cet essai les limites de liquidité et de plasticité d'un sol. Cet essai est réalisé sur la partie de sol passant au tamis de 400 μ m. Les limites d'Atterberg consistent en des teneurs en eau limites qui marquent la transition entre deux états de consistance dans un sol cohérent. Ces limites permettent de classer les sols selon leur plasticité et sont obtenues de manière empirique à l'aide de méthodes normalisées.

- ❖ Le matériel utilisé pour la détermination de la limite de liquidité et de plasticité est le suivant :
- Appareil de Casagrande.
 - Outil à rainurer.
 - Un creusé.
 - Une spatule.
 - Et une surface lisse en verre non absorbante.



Figure II.2 : Matériels spéciales de limites d'Atterberg.

Mode opératoire

On procède d'abord à la préparation de l'échantillon de la manière suivante :

- 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°.

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

- Prendre environ 200 grammes de sol.
- Malaxer la totalité de la prise de telle sorte à obtenir une pâte homogène et presque fluide.
- Prendre une partie de la pâte et l'étaler dans la coupelle de l'appareil de Casagrande à l'aide de la spatule.
- Pratiquer une rainure dans cette pâte de telle sorte à la diviser en deux. L'outil à rainurer devra être tenu perpendiculairement à la coupelle.
- Soumettre la coupelle et le matériau qu'elle contient à des chocs répétés.

- Arrêter les chocs quand les deux lèvres se rejoignent sur environ 2 cm, noter le nombre de coups N correspondant.
- Prélever des deux côtés des lèvres à l'endroit où elles se sont refermée environ 5 grammes de sol afin d'en déterminer la teneur en eau.
- homogénéiser le sol et le sécher un peu puis reprendre les opérations. Il faut au moins trois essais avec un nombre de coups croissant et de préférence bien étalée entre 15 et 35.



Figure II.3 : Etaler la pâte
Dans la coupelle.



Figure II.4 : Pratiquer la rainure
Dans la pâte.



Figure II.5 : Prélèvement
D'un échantillon.

❖ Détermination de la limite de plasticité :

La méthode des rouleaux selon la 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.6 : Formation des rouleaux

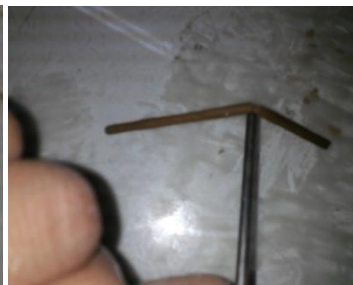


Figure II.7 : diamètre requis du rouleau

❖ **Détermination de la limite de liquidité par la méthode du cône de pénétration** (Selon les normes : NF P94-052-1 | CEN ISO/TS 17892-12 | BS 1377:2).

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

Caractéristiques principales:

- Pénétromètre à cône pour la détermination de la limite de liquidité selon la norme NF P94-052-1
- Équipé d'un contrôleur magnétique avec minuterie électronique programmable.
- Base en aluminium avec vis de réglage et niveau à bulle.
- Tige verticale chromée avec "dispositif de déplacement micrométrique vertical"
- Affichage numérique des valeurs de pénétration.
- Lectures en mm et en pouces, avec résolution 0,1 mm.
- Puissance: 1,5 V batterie.
- Bouton-poussoir, mise à zéro automatique.
- Essai de pénétration en acier inoxydable cône 35 mm de longueur, angle de 30 °
- Deux tasses en laiton de diamètre. 55 x 35 mm et 70 x 45 mm

 Mode opératoire:

- Malaxer la pâte sur une surface la lisse pour obtenir une pâte homogène presque fluide ;
- Remplir le récipient normalisé avec une spatule de cette pâte (attention aux bulles d'air) ;
- Araser afin d'obtenir une surface lisse et plane ;
- Ajuster la pointe normalisée à peu près au centre du récipient et pour qu'elle affleure la surface du sol (Légère trace lorsqu'on déplace le récipient) ;
- Repérer la position du cône ;
- Libérer le cône (masse de la tige +le cône =240g) et le laisser s'enfoncer dans le sol pendant $5s \pm 1s$. il se bloque automatiquement en fin de cycle (Figure 10) ;
- Noter sa nouvelle position. L'enfoncement h doit être compris entre 12 et 25 mm ;
- Enlever le cône et faire un prélèvement et mesurer sa teneur en eau ;
- Recommencer les opérations au moins 4 fois avec des teneurs en eau différentes ;
- Pour un gain de temps, vous réaliserez seulement 2 essais du moment que les valeurs obtenues encadrent l'enfoncement de référence 20mm : $h_1 < 20 < h_2$;
- La limite de liquidité (WL) est la teneur en eau qui correspond à un enfoncement de 20 mm du cône. Elle est calculée à partir de l'équation de la droite moyenne ajustée sur les

couples de valeurs expérimentales (enfoncement, w). La valeur obtenue est arrondie au nombre entier le plus proche.



Figure II.8. Pénétrömètre à cône **Figure II.9** Enfoncement **Figure II.10** Prélèvement d'un
Du cône. échantillon.

II.2.3 Essai au bleu de méthylène :(selon la norme : NF P-068)

Cette méthode permet d'appréhender rapidement l'argilosité (présence de fines de nature argileuse) d'un sol. Le principe de la méthode consiste à contrôler l'adsorption du bleu de méthylène injecté dans un bain aqueux contenant les fines de la prise d'essai, en observant une goutte de suspension déposée sur une feuille de papier-filtre.

Matérielsutilisés:

- 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.
- Préparé 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 sons n'ajouter la solution de bleu.

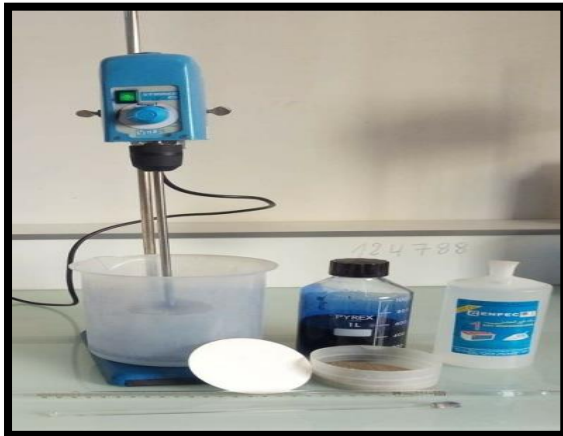


Figure II.11 : Injection de la solution de bleu.



Figure II.12: Test positif.

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

$$\text{VBS (g)} = \frac{m \text{ (g) bleu}}{100 \text{ g}} \text{ Ordre de grandeur}$$

➤ **Type de sol en fonction de la valeur «VBS»**

VBS	Type de sol
0.1	Sol insensible à l'eau
0.2	Seuil au-dessus duquel le sol est sensible à l'eau.
1.5	Seuil distinguant les sols sablo- limoneux des sols sablo argileux.
2.5	Seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques de sols limoneux moyennement plastiques
6	Seuil distinguant les sols limoneux et les sols argileux
8	Seuil distinguant les sols argileux des sols très argileux.

Tableau .II.1: Type de sol en fonction de la valeur « VBS ».

II.2.4 Mesure de la masse volumique : (NF XP P 94-054)

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

***Masse volumique apparente:** c'est la masse de l'unité de volume apparent du corps, c'est-à-dire du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient.

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

a - **Principe :** Remplir une mesure de 1 dm^3 , et en déterminer la masse.

- La masse volumique apparente est donnée par :

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

Appareillage :

- Un récipient calibré.
- Une règle à araser.

Mode opératoire:

- peser le récipient ;
- règle et arase le récipient ;
- peser le récipient rempli ;



Figure II.13 : Peser le récipient **Figure II.14:** Règle et araser. **Figure II.15:** Peser le récipient Rempli.

***Masse volumique absolue :** c'est la masse de l'unité de volume absolue du corps, c'est-à-dire de la matière qui constitue le corps, sans tenir compte du volume des vides. Le volume

des grains est appelé le volume absolu et le volume des grains avec l'air est appelé le volume apparent. La densité des grains solides du sol est donnée directement par la formule :

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

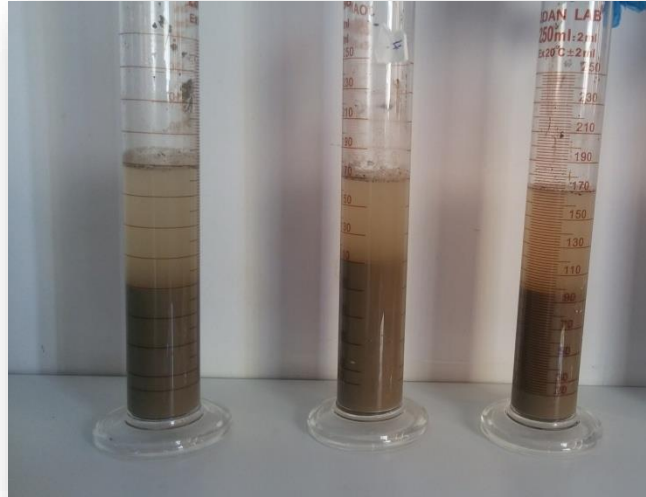


Figure II.16 : Les éprouvettes de la masse volumique.

II.2.5 Analyse chimiques

Le but de cet essai est de déterminer la nature chimique des échantillons choisis. Cette étape étant importante dans l'identification des matériaux locaux utilisés en construction.

II.2.6Analyse minéralogique

L'étude minéralogique fine peut être effectuée notamment par analyse aux rayons X. La détermination de la composition minéralogique de la fraction argileuse pour les sols est un élément de jugement intéressant sur son comportement.

II.2.7 Matières organiques

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

Mode opératoire:

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

II.3Essais mécaniques

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

a- But de l'essai :

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

b-Principe de la méthode :

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

c- Matérielspécifique:

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



Figure II.17 :Matériel de l'essai Proctor

Mode opératoire :

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



Figure II.18 : Compactage de l'échantillon. **Figure II.19 :** Le surplus est arasé

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

L'essai consiste à mesurer les forces à appliquer sur un poinçon cylindrique pour le faire pénétrer à vitesse constante dans une éprouvette de matériau. Les valeurs particulières des deux forces ayant provoqué deux enfoncements conventionnels sont respectivement rapportés aux valeurs des forces observées sur un matériau de référence pour les mêmes enfoncements. L'indice recherché est défini conventionnellement comme étant la plus grande valeur exprimée en pourcentage, des deux rapports ainsi calculés.

a) Essai C.B.R immédiat :

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

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

Régler la mise à zéro du dispositif dynamométrique et celle du comparateur mesurant l'enfoncement du poinçon (figure III.21).

Noter les efforts de poinçonnement correspondant aux enfoncements suivants :

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

L'indice recherché est par conversion la plus grande des deux valeurs suivantes :

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

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



Figure II.20 : Appareil de poinçonnement (essai CBR).

b) Essai C.B.R après imbibition :

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

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

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

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



Figure II.21 : Imbibition des échantillons (essai CBR).

II3.3 Essai de cisaillement (NF P 94-71)

a) Introduction

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

b) But de l'essai

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

Deux grandes catégories de sols :

-sol pulvérulent la droite de coulomb passe par l'origine c 'est-à-dire la cohésion est nul

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

c) Matériel utilisée

- Machine de cisaillement
- Une boîte de Casagrande
- Une série de poids
- Une trousse coupante
- Un comparateur



Figure II.22 : Appareille de cisaillement rectiligne.

d) **Mode opératoire**

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

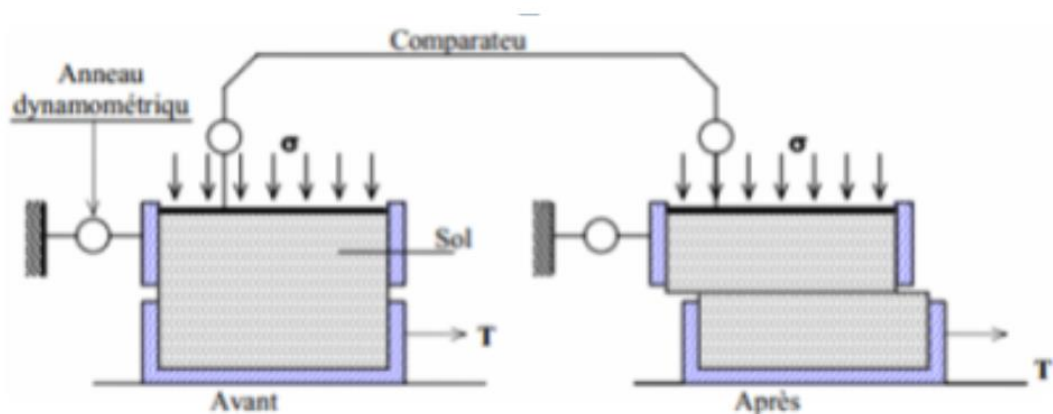


Figure II.23 : Schéma de la boîte de cisaillement

Chapitre III:
Présentation et analyse des
Résultats d'essais

Chapitre 3

Présentation et interprétation des résultats

III.1 Introduction

Ce chapitre regroupe l'ensemble des résultats des essais réalisés sur la vase du barrage de k'sob de M'sila et leur interprétation, il comporte les essais d'identification (analyse granulométrique, teneur en eau naturelle, masse volumique, limites d'Atterberg, l'essai au bleu de méthylène). Les essais mécaniques (Proctor normal et modifié, CBR, Cisaillement à la boîte et essai œdométrique) qui étaient programmés durant cette étude n'ont pu être exécutés et ce à cause des conditions sanitaires COVID19 que le monde entier a vécues, donc le seul essai mécanique exécuté au laboratoire de l'université de M'sila est celui du Proctor normal.

III.2 Essais d'identification

III.2.1 La masse volumique spécifique de la vase selon la norme (NF P 94-054)

La masse volumique spécifique de la vase a été déterminée de deux manières différentes la première, dont les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous est celle des éprouvettes graduées.

	M	V	$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	moyenne
Essai 01	50	20	2.5	2.66
Essai 02	50	19	2.6	
Essai 03	50	19	2.6	

Tableau III.1 : Détermination de la masse volumique des grains solides.

$$\rho_s = 2.66 \text{ (g/cm}^3\text{)}.$$

III.2.2 Méthode du Pycnomètre

Le tableau ci – dessous présente la récapitulation des résultats d’essai de la masse volumique par méthode du pycnomètre à l’eau.

N° essai	1 ^{er} Essai	2 ^{ème} Essai	3 ^{ème} Essai	4 ^{ème} Essai
M ₀	69	69	69	69
M ₁	89	89	89	89
M ₂	188.4	188.3	188.6	188.5
M ₃	176.06	176.06	176.06	176.06
ρ _s	2.61	2.57	2.68	2.64
Moyenne	2.63			

Tableau III.2 : Détermination de la masse volumique par méthode du pycnomètre à l’eau.

Conclusion

La masse volumique est de 2,63 g/cm³ de la vase peut être jugé dense.

III.2.3 Capacité d’absorption du bleu de méthylène VBS de la vase (NF P 94 - 068)

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

On est amené à faire l’essai de bleu de méthylène si l’équivalent de sable est inférieur à 30%, Cet essai permet de mesurer la capacité des éléments fins à absorber du bleu de méthylène et à avoir une idée sur la nature des fines, s’il s’agit de limon ou d’argile.

On a réalisé trois (3) essais au bleu de méthylène. Les résultats obtenus sont repris dans le tableau qui suit.

La valeur de bleu du sol est donnée par la formule suivante. $VBS = \frac{m}{V}$

N° d’essai	M du sol (g)	V de la solution	VBS (g/cm3)	moyenne
Essai 01	40	152	3.80	4.11
Essai 02	40	157	3.87	
Essai 03	40	186	4.65	

Tableau III.3 : Les résultats de l’essai de bleu de méthylène.

VBS%	Sols
0.1	Sols insensibles à l'eau
0.2	Appariation de la sensibilité à l'eau
1.5	Seuil distinguant les sols sablo limoneux des sols
2.5	Seuil distinguant les sols limoneux peu plastique des
6	Seuil distinguant les sols limoneux des sols argileux
>8	Seuil distinguant les sols argileux des sols très

Tableau III.4 : Valeur de bleu de méthylène de quelques sols.

III.2.4 Limite d'Atterberg selon la norme (NF P94- 051)

Les limites d'Atterberg sont des paramètres géotechniques permettant d'identifier un sol et à caractériser son état grâce à son indice de consistance. Ces limites ont donc pour but de définir les états d'humidité correspondant aux limites entre les états liquide, solide et plastique. L'état d'humidité du sol étant exprimé par sa teneur en eau.

Les limites d'Atterberg sont la limite de liquidité W_L qui traduit le passage entre l'état liquide et plastique, la limite de plasticité W_P traduisant le passage entre l'état plastique et solide. Ces limites permettent de calculer l'indice de plasticité noté I_p .

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

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

Nombre d'essais	1 ^{er} Essai		2 ^{ème} Essai		3 ^{ème} Essai	
Nombre de coups	16		23		31	
N° de la Tare	3	4	5	6	7	8
Masse de la tare	51.10	47.36	44.78	43.67	13	13.20
Masse de sol humide+ la tare (g)	74.45	72.95	71.94	64.52	45.35	46.72
Masse de sol Sec+ la tare (g)	66.80	64.6	63.3	57.89	35.48	36.49

masse de l'eau, (g)	7.65	7.99	8.64	6.63	9.87	10.23
masse du sol sec, (g)	15.7	17.24	18.52	14.22	22.48	23.29
Teneur en eau W (%)	48.7	46.3	46.6	46.6	43.9	43.9
Teneur en eau W (%)	47.5		46.6		43.9	

Tableau III.5 : Détermination de la limite de liquidité

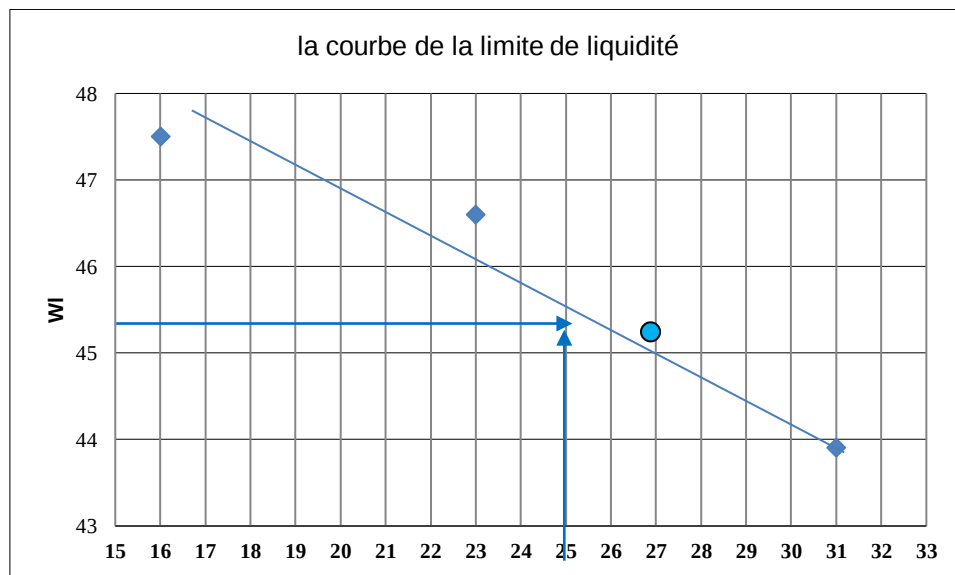


Figure III.1 : Détermination de la limite de liquidité

Donc : $W_L = 45.6 \%$

b) La limite de plasticité (NF P 94-051)

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

	1 ^{er} Essai	2 ^{ème} Essai	3 ^{ème} Essai
Masse de la tare	47.26	47.54	46.86
Masse de sol humide+ la tare (g)	48.56	49.19	48.01
Masse total sec+ la tare (g)	48.39	48.78	47.78
Masse de l'eau, (g)	0.26	0.41	0.23
Masse du sol sec, (g)	1.13	1.24	0.92
Teneur en eau W (%)	23	33.06	25
Teneur en eau W moyenne (%)	27.02		

Tableau III.6 : Détermination de la limite de plasticité.

Le tableau ci – dessous présente la récapitulation des résultats d’essai de limite D’Atterberg.

	WL (%)	Wp (%)	Ip (%)
01	45.4	27.02	18.98

Tableau III.7 : Récapitulation des résultats d’essai de limite D’Atterberg

Classification des Sols fins Selon l’Abaque de plasticité de Casa grande

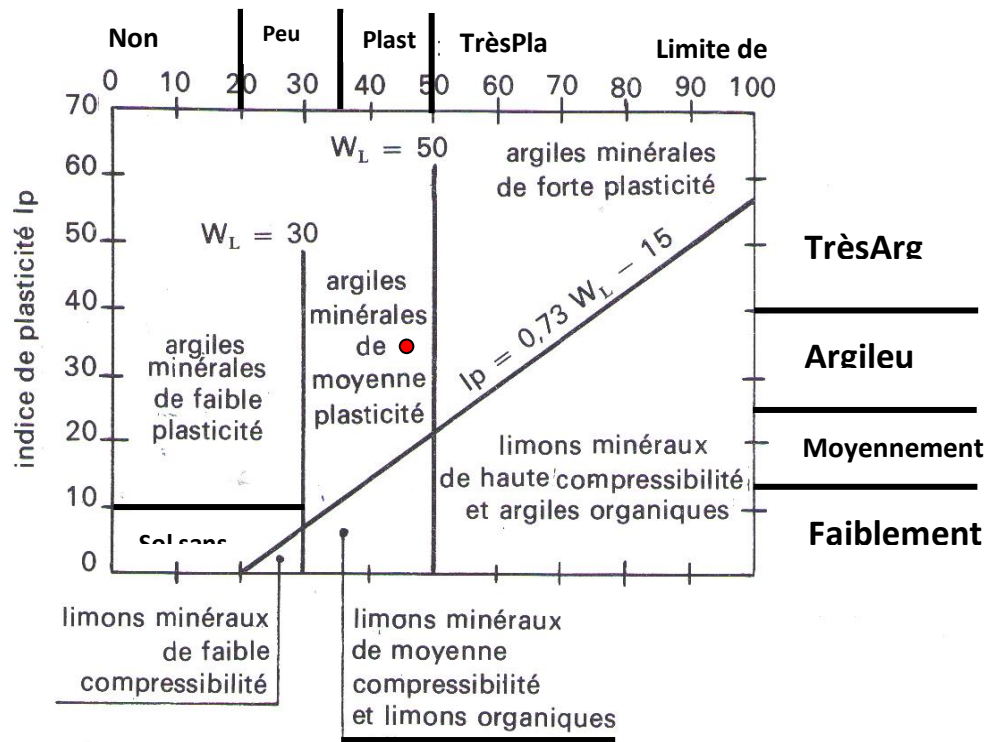


Figure III.2 : Classification des Sols fins Selon l’Abaque de plasticité de Casa grande.

Conclusion

Ce qui caractérise un sol : **Argiles minérales de moyenne plasticité**

III.2.5 Analyse granulométrique selon la norme (NF EN 933 – 1)

La granulométrie est la détermination de distribution massique des grains suivant leur dimension.

Au moyen d'une série de tamis de contrôle d'ouverture de maille décroissante, la prise de sol est fractionnée, après séchage et pesée en refus ou passant dont la masse est rapporté à la masse initiale du matériau.

Le tableau ci – dessous présente les résultats d'analyses Granulométrie.

Masse Initiale = 1200gr					
N°	Tamis (mm)	Refus (g)	Refus Cumulé (g)	Refus (%)	Tamisât (%)
1	2	1	1	0.08	99.92
2	1.6	1	2	0.17	99.83
3	1	1	3	0.25	99.75
4	0.8	0	3	0.25	99.75
5	0.5	14	17	1.42	98.58
6	0.200	150	167	13.92	86.08
7	0.130	981	1148	95.67	4.33
8	0.080	46	1194	99.50	0.50
9	Fond de tamis	6	1200	100.00	0.00

Tableau III.8 : Présente des résultats d'analyses Granulométrie.

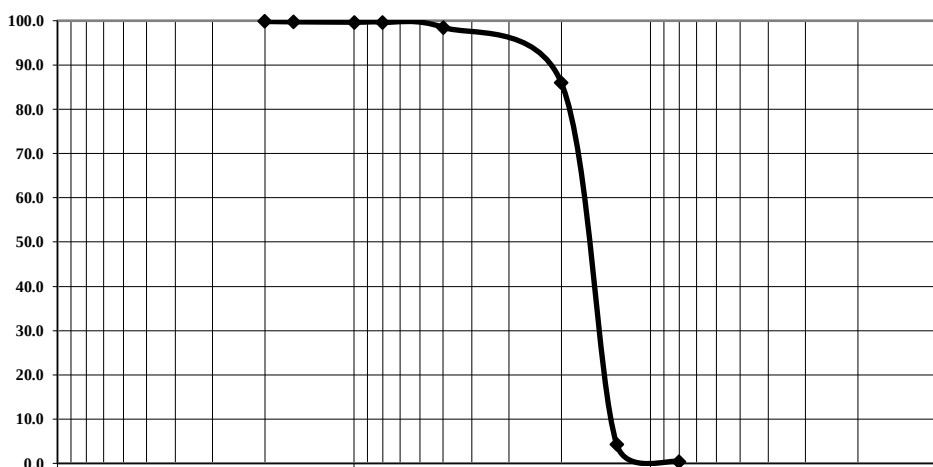


Figure III.3 : D'analyse Granulométrique de sable.

$$C_u = d(60) / d(10) = 1.42$$

$$C_c = (d(30))^2 / d(10).d(60) = 0.01$$

Conclusion

Après les résultats d'analyse Granulométrique le pourcentage des éléments dans le diamètre est inférieur à 80μ : 0.5% donc il s'agit d'un sol fin.

La courbe granulométrique est continue.

$$C_c = d(30)^2 / d(60).d(10) = (0.15)^2 / (0.17).(0.12) = 0.01$$

$$C_u = d(60)/d(10) = 0.17/0.12 = 1.42$$

$C_u < 2$ donc : la Granulométrique est dite uniforme

$1 < C_c < 3$ donc le sol est dit bien Gradué.

III.2.6 Essai d'équivalent de Sable selon la norme (NF EN 933- 8)

L'essai d'équivalent de sable permet de mesurer la propreté d'un sable. Il est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5mm. Cet essai rend globalement compte de la quantité des éléments fins et de leur qualité, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux et les éléments fins qui flocculent. Il est principalement exécuté sur des granulats dans le but de caractériser leur qualité pour des remblais et déblais et des couches de formes dans les infrastructures routières ou les bétons.

Le tableau ci – dessous présente des résultats d'équivalent de Sable.

	h_1	h_2	h_{piston}	E_{sp}	E_{sv}
essai 01	10.60	9.70	8.90	83.96	91.51
essai 02	10.60	9.65	8.50	80.19	91.04
essai 03	10.60	9.67	8.90	83.96	91.23
			moyenne	82.70	91.26

Tableau III.9 : Présente des résultats d'équivalent de Sable.

Conclusion

La propreté du sable mesurée par l'essai d'équivalent de sable E_{sp} a donné une valeur de 82.70% (E_{sv} de 91.26%). Ce sable a une propreté acceptable.

III.3 Essais mécaniques

III.3.1 Essai Proctor (NF P 94-093)

L'essai Proctor consiste à compacter dans un moule standard, à l'aide d'une dame standard et selon un processus bien déterminé, un échantillon du sol à étudier et à déterminer le teneur en eau du sol et sa densité sèche après le compactage.

Il déterminer la teneur en eau à laquelle doit être compacté un sol pour obtenir la densité sèche maximum.

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

% d'eau ajouté	12	16	20	24	28
masse d'eau ajoutée	272	306	304	374	560
masse sol humide + moule (g)	3289	3399	3516	3427	3389
Poids du moule (g)	1722	1722	1722	1722	1733
masse sol humide (g)	1567	1677	1794	1765	1634
Masse volumique	1.67	1.87	1.91	1.88	1.74
Densité sèche	1.42	1.56	1.57	1.49	1.37

N° de la tare	A20	A22	IN	A12	L10	K2G	K1G	H	E2	B
Masse de la tare	9	24	13	24	21	9	9	21	21	20
Masse total humide	22	38	33	45	52	27	32	60	64	43
Masse total sec	20	38	33	43	46	24	27	52	54	38
Masse d'eau (mw)	2	2	3	2	6	3	5	8	10	5

Masse de sole sec (ms)	11	12	17	19	25	15	18	31	33	18
Rapport (mw /ms)	0.18	0.16	0.17	0.11	0.24	0.2	0.27	0.25	0.30	0.27
Teneur en eau W%	17%		14%		22%		26%		28.5%	

Tableau III.10 : Les résultats de l'essai Proctor normale.

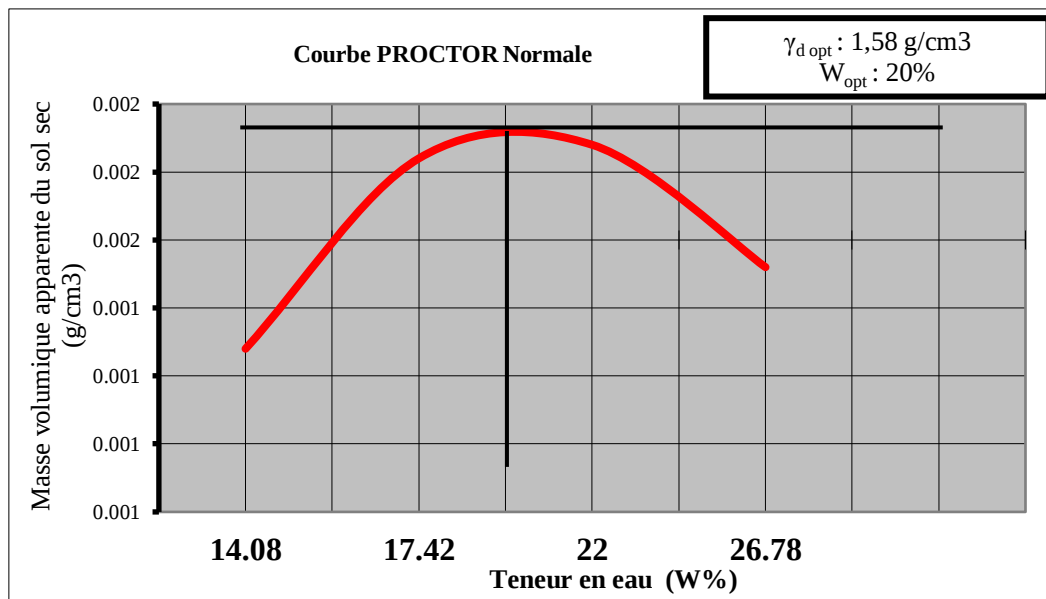


Figure III.4 : Courbe PROCTOR normale.

Conclusion

Les caractéristiques de compactage qui sont la teneur en eau optimale et la masse volumique sèche maximale déterminées lors de l'essai Proctor modifié sont comme suit :

$\gamma_{d \text{ opt}} : 1,58 \text{ g/cm}^3$

$W_{\text{opt}} : 20\%$

Conclusion

CONCLUSION GENERALE

Le problème des transports solides véhiculés par les cours d'eau s'est toujours posé de façon aiguë. Chacun saisit l'importance que peuvent prendre, au cours des crues parfois catastrophiques, les phénomènes d'érosion des sols, d'effondrement des berges, d'élargissement ou de déplacement des lits des oueds, de dépôts de sédiments et d'envasement dans les plaines.

La capacité de stockage des barrages est sujette à une réduction progressive au cours du temps. Cette perte de capacité, parfois élevée, dépasse les prévisions de l'alluvionnement de la retenue. La quantification des sédiments piégés se base soit sur les bilans de matière solide à l'échelle d'une retenue, soit sur des levés bathymétriques ou topographiques. Le barrage K'sob qui fut construit entre 1934 et 1940, a vu sa capacité réduite de 53% (étude 2004), à cause d'une pente moyenne de 15,8 ‰, ainsi que la nature lithologique du bassin versant.

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

Chercheurs et ingénieurs ont étudiés différentes solutions pour rendre ces boues utilisables à grandes échelles dans différentes industries, par exemple leurs utilisation dans la poterie ou la fabrication de brique, ainsi que leurs incorporation comme ajout au clinker afin de produire un ciment écologique.

Dans cette étude on a proposé une autre solution afin d'engloutir ces boues qui prennent de plus en plus d'ampleurs. Cette solution consiste à la valorisation de la vase, et son utilisation dans des remblais ou en couches de forme dans les projets routiers.

En raison des conditions sanitaires que traverse le monde entier c'est à dire la pandémie du coronavirus (COVID 19), et des conditions préventives prises par l'état, nous n'avons pas été en mesure d'exécuter les essais nécessaires liées à notre sujet de recherche. Nous avons donc présenté dans notre mémoire les essais préliminaires exécutés avant la fin Mars 2020, puis nous avons cité les résultats des travaux de traitements exécutés récemment similaires au contenu de notre travail.

Références Bibliographiques

- [1].Dr M HASBAIA .,BELFEGAS HASSINA ., analyse de la sensibilité des l'érosion hydrique cas du bassin versant de k'sob ,promotion 2011-2012.
- [2].SERBAH BOUMEDIEN. ,ETUDE ET VALORISATION DES SEDIMENTS DE DRAGAGE DU BARRAGE BAKHADDA, Université de Tlemcen promotion 2010-2011.
- [3].BOOTH A R.(1977), collapse Settlement in Compacted Soils. CSIR Research Report 321 NITRR, Pretoria, South Africa Bulletin 13.
- [4]. HOCINE ZIANI :(Etude de l'influence du gradient hydraulique sur l'affaissement de la structure des sols a effondrement brusque en utilisant la méthode double consolidation) thèse de magister université hadj Lakhdar –Batna 2011.
- [5].KHALDI ABDELHAMID :(étude de l'influence de la granulométrie sur le taux et l'amplitude de l'affaissement des sols par la méthode de double consolidation) thèse de magister université hadj Akhdar –Batna2011.

• Normes :

- **NF P 94 -056 AFNOR** (1996) Norme Française : Sols : Reconnaissance et Essais – Analyse granulométrique, méthode de tamisage par voie humide.
- **NF P 94 -057 AFNOR** (1992) Norme Française : Sols : Reconnaissance et Essais – Analyse granulométrique des sols par sédimentométrie.
- **NF P 94 -051 AFNOR** (1993) Norme Française: Sols : Reconnaissance et Essais – Détermination des limites d'Atterberg – Limite de liquidité à la coupelle – Limite de plasticité au rouleau.
- **NF P 94 -068 AFNOR** (1993) Norme Française : Sols :

Reconnaissance et Essais –Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol par l'essai à la tâche.

- **NF P 94 -093 AFNOR** (1999) Norme Française: Sols :Détermination des références de compactage d'un matériau Essai Proctor normal — Essai Proctor modifié
- **NF P 94 -054 AFNOR** (1991) Norme Française : Sols : Détermination de la masse volumique des particules solide des sols –méthode de pycnomètre a eau