

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL
N° :.....



DOMAINE : TECHNOLOGIE
FILIERE : GENIE CIVIL
OPTION : GEOTECHNIQUE.

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique
Par :

BAFKA Nasr eddine & SAHRAOUI Aissa

Intitulé

CARACTERISATION PHYSIQUE DE LA BOUE DE DRAGAGE
DU BARRAGE DE K'SOBE ET TRAITEMENT EVENTUEL
AFIN DE L'UTILISER DANS LES TRAVAUX ROUTIERS

Pr

Dr Bakir Nassima.

Dr

Président

Encadreur

Examineur

Année universitaire : 2022 /2023

Dédicace

A chaque fois qu'on achève une étape importante dans notre vie, on fait une pose pour regarder en arrière et se rappeler toutes ces personnes qui ont partagé avec nous tous les bons moments de notre existence, mais surtout les mauvais.

Ces personnes qui nous ont aidés sans le leur dire, soutenus sans réserve, aimés sans compter, ces personnes à qui notre bonheur devient directement le leur, à qui un malheur en nous, en eux se transforme en pleur.

A toutes ces âmes ; sans les citer ; je dédie ce travail en signe de reconnaissance et de respect.

Remerciements

Nous remercions d'abord allah pour tout.

Nous remercions nos mères qui nous ont donné l'espoir d'exceller dans nos études, et nos pères qui ont tout sacrifié.

Leur vie pour nous voir devenir qui nous sommes.

Nous remercions sincèrement la responsable mémoire, Madame Bakir, pour son aide et sa présence.

Nous remercions également le président et les membres du jury d'avoir accepté d'examiner nos travaux.

Nous remercions toutes nos familles, amis, et tous les étudiants du Groupe Géotechnique, et tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail, de près ou de loin.

RESUME

En géotechnique environnementale, l'utilisation des matériaux de dragage dans la construction d'ouvrages de travaux publics est de plus en plus explorée par les chercheurs ces dernières années, dans le cadre du concept de développement durable. En Algérie, l'envasement des barrages est un phénomène qui concerne l'ensemble des réservoirs, avec plus de 32.106 m³ de sédiments qui se déposent chaque année au fond de ces retenues. Par conséquent, il est opportun d'envisager une utilisation rationnelle de ces sédiments de dragage.

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

ABSTRACT

In Algeria, sedimentation affects all dams, with significant amounts of sediments depositing at the bottom of reservoirs each year. In environmental geotechniques, the valorisation of dredged materials and their use in certain public works has been increasingly explored by researchers in recent years, aligning with the concept of sustainable development.

The proposed work aims to determine the physical properties of the mud in the K'sob Dam, which is recognized as waste and has the potential to provide an economic and environmental solution for the Boukhmissa région in M'sila. We aim to improve the physical and even mechanical properties of this mud by adding sand in sufficient proportions for its use in road works.

ملخص

في الجيوتقنيات البيئية، تم استكشاف استخدام المواد المجروفة في بناء الأشغال العامة بشكل متزايد من قبل الباحثين في السنوات الأخيرة، في إطار مفهوم التنمية المستدامة. في الجزائر، يعتبر ترسب الطمي في السدود ظاهرة تهم جميع الخزانات، حيث يتم ترسيب أكثر من 32106 متر مكعب من الرواسب كل عام في قاع هذه الخزانات. لذلك، حان الوقت للنظر في الاستخدام الرشيد لهذه الرواسب المجروفة.

يهدف العمل المقترح إلى تحديد الخصائص الفيزيائية لطين سد قصوب ، المعترف به كنفائيات والذي يمكن أن يوفر استعادته حلاً اقتصادياً وبيئياً لمنطقة بوخميسة في المسيلة. نهدف إلى تحسين الخصائص الفيزيائية لهذا الطين من خلال إضافة مخلفات الطوب بنسبة كافية لاستخدامه في أعمال الطرق.

الكلمات المفتاحية : الترسيب , السدود , الخزانات , سد القصب ,

Table des matières

Introduction général.....	1
----------------------------------	----------

CHAPITRE I

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

I.1. INTRODUCTION.....	- 4 -
I.2. Définition de barrage.....	- 4 -
Les matières organiques.....	- 5 -
I.3. DIFFERENTS TYPES DE BARRAGE.....	- 5 -
I.3.1. Les Barrages rigides :	- 5 -
I.3.2. Barrages souples	- 7 -
I.4. Définition de barrage de K'sob	- 7 -
I.5. Situation géographique du bassin versant du K'sob	- 9 -
I.6. Définition de la vase.....	- 9 -
I.7. COMPOSITION DES VASES.....	- 10 -
I.7.1. Structure physico-chimique des vases	- 10 -
I.7.2. Rhéologie des vases.....	- 11 -
I.8. PROBLEMATIQUE DE L'ENVASEMENT	- 12 -
I.9. Les types de dragages	- 13 -
I.10. Les techniques De Dragage Disponibles	- 14 -
I.10.1. Les dragages mécaniques	- 14 -
I.10.2. Les dragages hydrauliques :.....	- 14 -
I.10.3. Les dragages à l'américaine.....	- 15 -
I.11. Définition des boues de dragage.....	- 16 -
I.12. Composition des boues de dragage	- 16 -
I.13. Propriétés physiques des boues de dragage.....	- 17 -
I.14. DÉFINITION D'UNE CHAUSSÉE.....	- 18 -
I.15. Les différents types de chaussées	- 19 -
I.16. Dimensionnement des chaussées.....	- 22 -
I.17. CONCLUSION	- 23 -

CHAPITE II

ESSAIS UTILISES DANS L'ETUDE ET LEUR NORMES

II.1. INTRODUCTION.....	- 26 -
II.2. PRESENTATION DES ECHANTILLONS	- 26 -
II.3. ETUDE D'IDENTIFICATION PHYSIQUE	- 26 -
II.3.1. TENEUR EN EAU NATURELLE W (%) (NF P 94-050)	- 27 -
II.3.2. LA MASSE VOLUMIQUE :	- 28 -

II.3.3. ANALYSE GRANULOMETRIQUE :	- 30 -
II.3.4. Limite d'Atterberg (NF P94-051)	- 34 -
II.3.5. ESSAI AU BLEU DE METHYLENE (VBS)(NF P 94 068).....	- 37 -

CHAPITRE III

RESULTATS DES DIFFERENTS ESSAIS ET LEUR INTERPRETATIONS

III.1. INTRODUCTION :	- 40 -
III.2. ÉCHANTILON VASE SEULE :	- 40 -
III.2.1. Teneur en eau naturelle selon la norme NF P94-050.	- 40 -
III.2.2. Analyse granulométrique selon la norme NF P18-560 ;.....	- 41 -
III.2.3. Limites d'Atterberg selon la norme NF P94-051 ;.....	- 42 -
III.2.4. La masse volumique selon la norme NF P94-054	- 49 -
III.2.5. Bleu de méthylène NF P94-068 (VBS).....	- 50 -
III.3. Échantillon vase +05% déchet de brique	- 52 -
III.3.1. Analyse granulométrique selon la norme NF P18-560	- 52 -
III.3.2. Limites d'Atterberg selon la norme NF P94-051 ;.....	- 55 -
III.3.3. La masse volumique selon la norme NF P94-054	- 61 -
III.3.4. Bleu de méthylène NF P94-068 (VBS).....	- 62 -
III.4. Échantillon Vase + 10% déchet de brique	- 62 -
III.4.1. Analyse granulométrique selon la norme NF P18-560	- 62 -
III.4.2. Les limites d'atterberg selon la norme NF P94-051	- 64 -
III.4.3. La masse volumique selon la norme NF P94-054	- 70 -
III.4.4. Bleu de méthylène NF P94-068 (VBS) ;	- 71 -
III.5. Échantillon Vase + 15% déchet de brique	- 72 -
III.5.1. Analyse granulométrique selon la norme NF P18-560	- 72 -
III.5.2. Les limites d'atterberg selon la norme NF P94-051	- 74 -
III.5.3. La masse volumique selon la norme NF P94-054	- 80 -
III.5.4. Bleu de méthylène NF P94-068 (VBS).....	- 81 -
Conclusion générale	82
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE.....	85

Liste des figures

Figure I.1 Schéma d'un barrage poids en béton.	6 -
Figure I.2 Schéma d'un barrage poids en voute.	6 -
Figure I.3 Barrages en terre homogène.....	6 -
Figure I.4 Schéma d'un barrage en terre a noyau étanche.....	7 -
Figure I.5 Vue aérienne du barrage du K'Sob par Google Earth.....	7 -
Figure I.6 situation géographique du bassin versant du k'sob.....	9 -
Figure I.7 Traversée de la vallée de la Charente par l'autoroute.	9 -
Figure I.8 Schéma de la composition simplifiée des sédiments portuaires	11 -
Figure I.9 Dagues a pelle ou a cuillère. Figure I.10 Dragues rétro caveuses.....	14 -
Figure I.11 Dragues aspiratrices simple.....	15 -
Figure I.12 boues de dragage	16 -
Figure I.13 Structure type d'une chaussée souple.	19 -
Figure I.14 Structure d'une chaussée bitumineuse épaisse.....	20 -
Figure I.15 Structure d'une chaussée semi –rigide.	20 -
Figure I.16 Chaussée à structure mixte.....	21 -
Figure I.17 Chaussée à structure inverse.	21 -
Figure I.18 Chaussée en béton de ciment	22 -
Figure II.1 Photo de la vase du Barrage K'sob.....	26 -
Figure II.2.Prélèvement de La vase	27 -
Figure II.3 la masse volumique absolue par pycnomètre.	28 -
Figure II.4 Masse volumique absolue, méthode des éprouvettes	29 -
Figure II.5 L'analyse granulométrique par des tamis manuellement humide	31 -
Figure II.6 série de Tamis manuellement	32 -
Figure II.7 Matériels utilisé pour la détermination de la limite liquidité.....	34 -
Figure II.8 Formation des rouleaux pour la détermination de Wp	36 -
Figure II.9 Matériels de pénétration à Cône.	37 -
Figure II.10 Matériels pour essai au bleu de méthylène (VBS).....	38 -
Figure III.1 Courbe de l'essai granulométrique (sol seul).	42 -
Figure III.2 Courbe de la limite de liquidité (1er essai).....	43 -
Figure III.3 Courbe de la limite de liquidité (2eme essai).	44 -
Figure III.4 Courbe de la limite de liquidité (3eme essai).	46 -
Figure III.5 Classification du sol selon le diagramme de Casagrande (Philipponnat et Hubert.1997).	47 -
Figure III.6 Courbe de limite de liquidité par cône (sol seul).....	48 -
Figure III.7 Les résultats de l'essai VBS	51 -
Figure III.8 Courbe de l'essai analyse granulométrique (vase + 05 déchet de brique 0.08mm).	53 -
Figure III.9 Courbe de l'essai analyse granulométrique(vase + 05 déchet de brique 2mm)...	54 -
Figure III.10 Courbe Limites de liquidité (Vase + 05 % déchet de brique),(1er essai)..	55 -
Figure III.11 Courbe Limites de liquidité (Vase + 05 % déchet de brique),(2eme essai). ...	57 -
Figure III.12 Courbe Limites de liquidité (Vase + 05 % déchet de brique),(3 eme essai)....	58 -
Figure III.13 Courbe de limite de liquidité par cône (vase + 05 déchet de brique).	60 -
Figure III.14 Courbe de l'essai analyse granulométrique (vase+10 déchet de brique 0.08mm).	63 -
Figure III.15 Courbe de l'essai analyse granulométrique (vase + 10 déchet de brique 2mm).	64 -

Figure III.16 Courbe Limites de liquidité (Vase + 10 % déchet de brique), (1er essai).....	- 65 -
Figure III.17 Courbe Limites de liquidité (Vase + 10 % déchet de brique),(2eme essai).....	- 66 -
Figure III.18 Courbe Limites de liquidité (Vase + 10 % déchet de brique),(3eme essai). ...	- 68 -
Figure III.19 Courbe de limite de liquidité par cône (vase + 10 déchet de brique).....	- 70 -
Figure III.20 Courbe de l'essai analyse granulométrique (vase + 15 % déchet de brique 2mm).....	- 72 -
Figure III.21 Courbe de l'essai analyse granulométrique (vase + 15% déchet de brique 2mm).....	- 73 -
Figure III.22 Courbe Limites de liquidité (Vase + 15 % déchet de brique), (1er essai)	- 74 -
Figure III.23 Courbe Limites de liquidité (Vase + 15 % déchet de brique),(2eme essai)	- 76 -
Figure III.24 Courbe Limites de liquidité (Vase + 15 % déchet de brique),(3eme essai) .	- 77 -
Figure III.25 Courbe de limite de liquidité par cône (vase + 15% déchet de brique)....	- 79 -

Liste des tableaux

Tableau I-1 Les plus simples définitions des facies d'après Allen.....	10 -
Tableau III-1 résultat de la teneur en eau.....	40 -
Tableau III-2 Résultats des essais analyse granulométrique (sol seul).....	41 -
Tableau III-3 Détermination de la limite de liquidité de sol seul (1er essai).....	42 -
Tableau III-4 Valeurs trouvées de la limite de plasticité sol seul (1er essai).	43 -
Tableau III-5 Détermination de la limite de liquidité de sol seul (2em essai).....	44 -
Tableau III-6 Valeurs trouvées de la limite de plasticité sol seul (2eme essai).....	45 -
Tableau III-7 Détermination de la limite de liquidité de sol seul (3eme essai).	45 -
Tableau III-8 Valeurs trouvées de la limite de plasticité sol seul (3eme essai).....	46 -
Tableau III-9 Relation entre le gonflement libre et l'indice de plasticité (Seed et al. 1962), (sol seul).....	47 -
Tableau III-10 Tableau III 8 Détermination de la limite de liquidité par le pénétromètre à cône (sol seul).	48 -
Tableau III-11 résultats de la masse volumique (sol seul).....	49 -
Tableau III-12 Résultats de l'essai au pycnomètre (sol seul).	50 -
Tableau III-13 résultats de l'essai au bleu (sol seul).....	51 -
Tableau III-14 Classification des sols d'après Philipponat (sol seul).....	52 -
Tableau III-15 Résultats des essais analyse granulométrique (Vase + 05% déchet de brique 0.08mm).	53 -
Tableau III-16 Résultats des essais analyse granulométrique.....	54 -
Tableau III-17 Limite de liquidité (Vase + 05 % déchet de brique), (1er essai).	55 -
Tableau III-18 la limite de plasticité (vase + 05% déchet de brique) (1er essai).....	56 -
Tableau III-19 Limite de liquidité (Vase + 05 % déchet de brique),(2eme essai).....	56 -
Tableau III-20 Valeurs trouvées de la limite de plasticité (Vase + 05 déchet de brique) (2eme essai).	57 -
Tableau III-21 Limite de liquidité (Vase + 05 % déchet de brique), (3eme essai).....	58 -
Tableau III-22 Valeurs trouvées de la limite de plasticité (Vase + 05 déchet de brique) (3 eme essai).....	59 -
Tableau III-23 Détermination de la limite de liquidité par le pénétromètre à cône.....	60 -
Tableau III-24 résultats de la masse volumique (vase + 05% déchet de brique).....	61 -
Tableau III-25 Résultats de l'essai au pycnomètre (vase + 05% déchet de brique).	61 -
Tableau III-26 résultats de l'essai au bleu (vase + 05 % déchet de brique).....	62 -
Tableau III-27 Résultats des essais analyse granulométrique (vase + 10% déchet de brique 0.08mm).	62 -
Tableau III-28 Résultats des essais analyse granulométrique (vase + 10% déchet de brique 2mm).	63 -
Tableau III-29 Limite de liquidité (Vase + 10 % déchet de brique),(1er essai).	64 -
Tableau III-30 Valeurs trouvées de la limite de plasticité	65 -
Tableau III-31 Limite de liquidité (Vase + 10 % déchet de brique),(2eme essai).....	66 -
Tableau III-32 Valeurs trouvées de la limite de plasticité (Vase + 10 déchet de brique) (2 ^{eme} essai).....	67 -
Tableau III-33 Limite de liquidité (Vase + 10 % déchet de brique),(3 eme essai).....	67 -
Tableau III-34 Valeurs trouvées de la limite de plasticité (Vase + 10 déchet de brique) (3 ^{eme} essai).....	68 -
Tableau III-35 Courbe de limite de liquidité par cône (vase + 10% déchet de brique)..	69 -
Tableau III-36 résultats de la masse volumique (vase + 10% déchet de brique).....	70 -
Tableau III-37 Résultats de l'essai au pycnomètre (vase + 10% déchet de brique).	71 -

Tableau III-38 résultats de l'essai au bleu (vase + 10% déchet de brique).....	- 71 -
Tableau III-39 Résultats des essais analyse granulométrique (Vase + 15% déchet de brique 0.08mm).....	- 72 -
Tableau III-40 Résultats des essais analyse granulométrique (vase + 15% déchet de brique 2mm).....	- 73 -
Tableau III-41 Limite de liquidité (Vase + 15 % déchet de brique), (1er essai).	- 74 -
Tableau III-42 Valeurs trouvées de la limite de plasticité (Vase + 15 déchet de brique) (1er essai).	- 75 -
Tableau III-43 Limite de liquidité (Vase + 15 % déchet de brique),(2eme essai).....	- 75 -
Tableau III-44 Valeurs trouvées de la limite de plasticité (Vase + 15 déchet de brique) (2eme essai).	- 76 -
Tableau III-45 Limite de liquidité (Vase + 15 % déchet de brique),(3eme essai).....	- 77 -
Tableau III-46 Courbe de limite de liquidité par cône (vase + 15% déchet de brique). -	79 -
Tableau III-47 résultats de la masse volumique (vase + 15 % déchet de brique).....	- 80 -
Tableau III-48 Résultats de l'essai au pycnomètre (vase + 15 déchet de brique).....	- 80 -
Tableau III-49 résultats de l'essai au bleu (vase + 15 déchet de brique).....	- 81 -
Tableau III-50 Classification des sols fins selon GTR.	- 82 -

Introduction générale

La sédimentation et l'envasement des barrages constituent un défi majeur dans le monde entier. Selon le Comité International des Grands Barrages (CIGB), plus de 50 000 grands barrages sont confrontés à ce problème, avec une perte annuelle moyenne de 0,5% à 1% de leur capacité de stockage due à la sédimentation. Ces barrages jouent un rôle crucial dans l'approvisionnement en eau, la production d'énergie hydroélectrique et la prévention des inondations, ce qui rend la gestion de la sédimentation essentielle.

Au barrage de K'sob, des opérations de dragage sont réalisées pour récupérer le volume perdu en raison de l'envasement. Cependant, cette solution s'avère coûteuse et a un impact négatif sur l'environnement. Les sédiments extraits lors du dragage sont généralement déposés en amont du barrage, ce qui peut entraîner une pollution à long terme des zones rurales environnantes.

Dans ce contexte, la récupération et la réutilisation des sédiments de dragage peuvent offrir une solution viable, en particulier dans le domaine du génie civil, comme la construction de routes. L'objectif de cette étude est d'évaluer les caractéristiques mécaniques des sédiments de dragage en vue de les utiliser comme matériau de base dans les couches de chaussées routières ou comme remblai. Cela permettrait de valoriser ces sédiments et de réduire les coûts associés à leur élimination, tout en contribuant à la construction durable d'infrastructures routières.

L'étude des sédiments de dragage dans le contexte du barrage de K'sob vise à trouver des solutions économiques et respectueuses de l'environnement pour gérer l'envasement des barrages. L'utilisation de ces sédiments dans la construction routière présente un potentiel intéressant et contribue à la durabilité des projets d'ingénierie civile.

L'objectif de ce travail est l'étude des caractéristiques physique des boues de dragage en vue de les utiliser comme constituant dans les couches d'assise de structures routières ou comme remblai :

I. Le chapitre 1 présente une introduction au barrage de K'sob, soulignant que l'envasement est un problème courant dans de nombreux barrages à travers le monde. Il comprend également une revue de la littérature sur des barrages similaires et les différentes solutions proposées pour faire face à l'envasement.

II. Le deuxième chapitre décrit le programme expérimental mis en place pour étudier l'envasement au barrage de Ksob. Il explique en détail les procédures de test utilisées, en notant les normes spécifiques auxquelles elles sont adhérent.

III. Le troisième chapitre présente les résultats obtenus à partir de notre travail expérimental. Les données, notes et représentations visuelles telles que graphiques et tableaux collectés sont organisées en fonction des différents tests effectués.

Enfin, le travail se termine par une conclusion générale résumant les principaux résultats de l'étude. Les implications des résultats et les perspectives pour les recherches futures sont également discutées. L'importance des travaux et leur impact potentiel sur la gestion de l'envasement du barrage sont mis en évidence.

CHAPITRE I

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

I.1. INTRODUCTION

L'envasement des barrages est un problème majeur dans de nombreux pays, notamment en Algérie. Ce phénomène résulte de l'érosion des bassins versants et de la sédimentation, et il affecte la quantité et la qualité de l'eau stockée dans les barrages.

En Algérie, qui compte 74 grands barrages avec une capacité de stockage de 8 milliards de mètres cubes, l'envasement représente une perte annuelle de plus de 50 millions de mètres cubes d'eau. Certains barrages, tels que Sidi M'Hamed Ben Aouda à Relizane et Oued Fodda à Chlef, font face à des dépôts de vase importants. Environ 20 grands barrages sont fortement menacés de comblement total si des mesures de lutte ne sont pas mises en place.

Le chapitre abordera spécifiquement l'envasement du barrage d'Oued Ksob, en examinant les étapes du processus d'envasement, les principales techniques de lutte disponibles et la possibilité de valoriser les sédiments dans le domaine routier. L'objectif est de trouver des solutions techniques pour lutter contre l'envasement et de proposer des utilisations alternatives pour les sédiments de vase, notamment dans la construction de routes.

I.2. Définition de barrage

Le barrage est une structure d'ingénierie construite à travers une rivière ou un cours d'eau dans le but de collecter et de stockage de l'eau pour une utilisation dans l'irrigation, la production d'énergie hydroélectrique, l'approvisionnement en eau potable et d'autres utilisations. Le barrage est composé d'une barrière solide et étanche à l'eau qui sépare le coté amont du côté aval, transformant la vallée en lac artificiel ou réserve pour stocker l'eau. Le captage de l'eau de la réserve qui s'est écoulée depuis l'époque de la rivière ou les cours d'eau traversant un canal artificiel qui traverse le barrage.

Les barrages sont soigneusement conçus pour supporter la pression de l'eau stockée et assurer la stabilité de la structure. Des matériaux tels que le béton armé, le remblai compacté et la pierre naturelle sont utilisés dans la construction des barrages. Les barrages peuvent également contrôler des structures supplémentaires telles que des vannes de contrôle de l'eau, des centrales hydroélectriques, des voies de passage et des systèmes de drainage des inondations pour assurer la sécurité du barrage et réaliser les avantages qui y sont associés.

Les composants des sédiments de dragage comprennent généralement les éléments suivants :

- **L'argile et les sédiments de surface** : L'argile et les sédiments de surface constituent la

majeure partie des sédiments de dragage. L'argile est composée de petites particules de tailles variables, allant des particules fines aux plus grosses. Elle peut contenir des matières organiques et divers minéraux.

- **Les matières organiques** : Les matières organiques comprennent des plantes mortes, des vers, de petits animaux et des micro-organismes. Les matières organiques contribuent à la formation des sols et ont des effets sur la composition biologique et chimique des sédiments de dragage.

- **Autres matières solides** : Les sédiments de dragage peuvent contenir d'autres matières solides en plus de l'argile, telles que des graviers, des sables, de petites pierres, des bois flottants, des coquilles et des débris. Ces matières peuvent être présentes en raison d'activités humaines ou de facteurs naturels.

- **Excès d'eau** : Les sédiments de dragage peuvent contenir une quantité d'eau excédentaire qui s'accumule dans les matériaux collectés. L'élimination de l'excès d'eau peut être réalisée par des opérations de traitement supplémentaires pour améliorer les propriétés des sédiments de dragage et faciliter leur élimination.

Ces composants sont importants pour déterminer les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sédiments de dragage, et ils influencent les méthodes d'élimination et de réutilisation. La composition des sédiments de dragage dépend de la source, de la qualité spécifique du dragage, de l'emplacement géographique et des conditions environnementales.

La composition des sédiments de dragage peut varier d'un site à un autre en fonction des conditions locales, de la qualité de l'eau, des sources de pollution et d'autres facteurs pertinents.¹

I.3. DIFFERENTS TYPES DE BARRAGE

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

I.3.1. Les Barrages rigides :

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

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

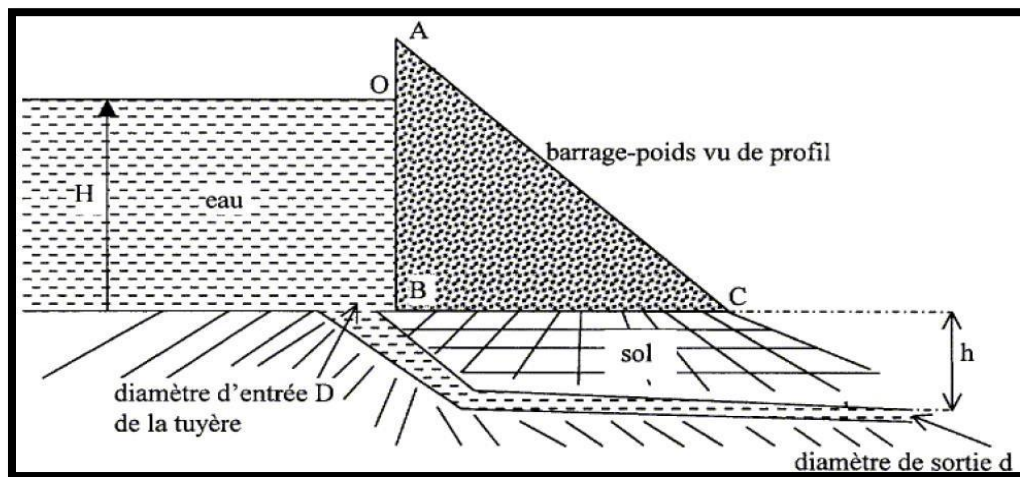


Figure I.1 Schéma d'un barrage poids en béton.

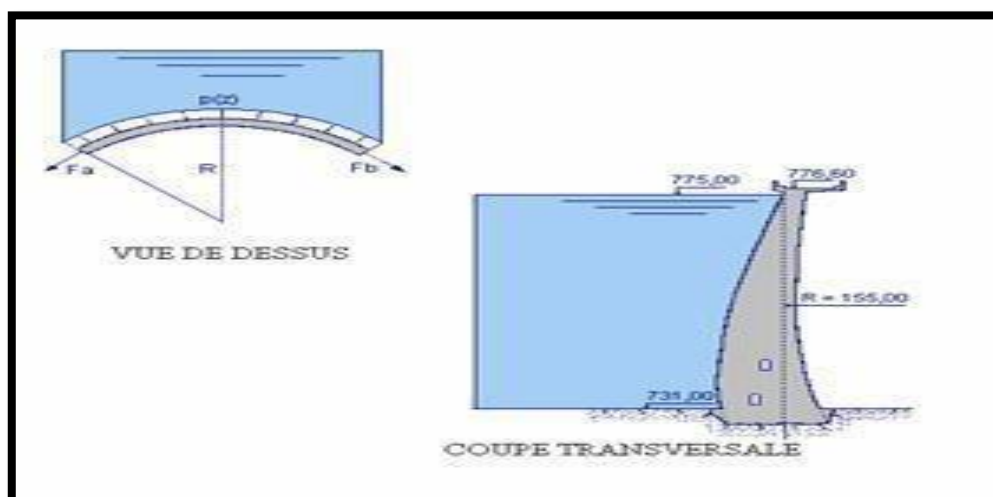


Figure I.2 Schéma d'un barrage poids en voûte.

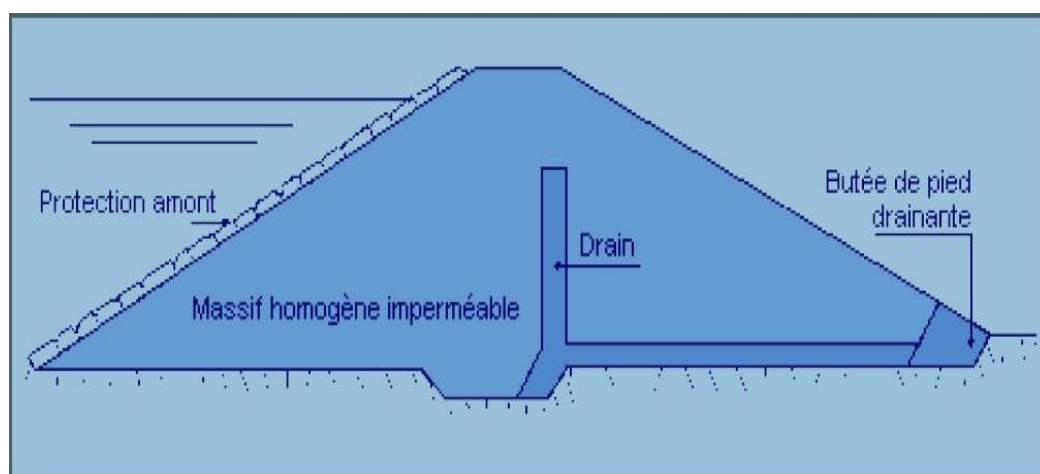


Figure I.3 Barrages en terre homogène

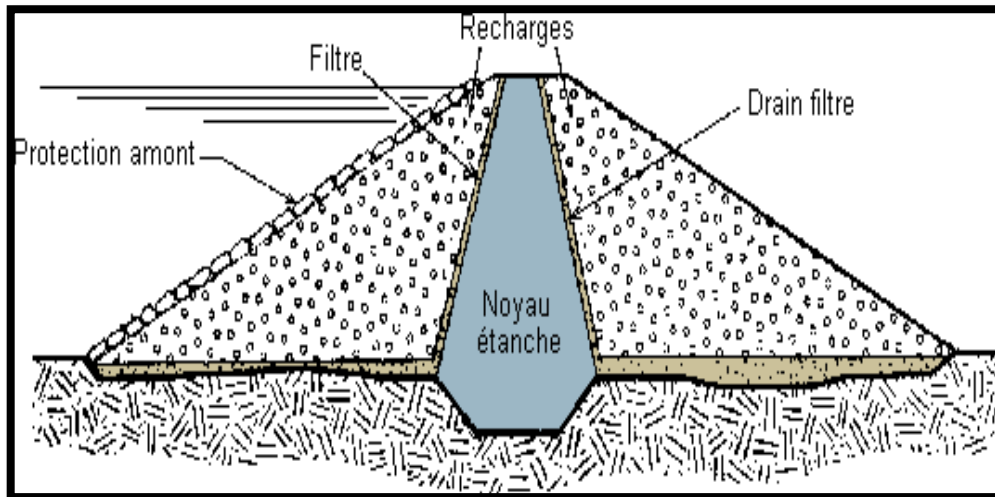


Figure I.4 Schéma d'un barrage en terre a noyau étanche

I.3.2. Barrages souples

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

- **Barrages en terre homogène**
- **Barrages en terre zonée**
- **Barrages en enrochement**

I.4. Définition de barrage de K'sob



Figure I.5 Vue aérienne du barrage du K'Sob par Google Earth

Le barrage de K'Sob est situé à 15 km au nord-est de la ville de M'Sila, sur la route nationale menant à la wilaya de Bordj Bou Arreridj, entre les monts Kif El-Ward et Jebel El-Jaroun. Construit entre 1934 et 1940, le barrage est érigé sur l'Oued k'sob dans le but d'irriguer les terres agricoles de la Commune de M'sila.

À l'origine, le barrage avait une capacité de 12 millions de mètres cubes (12 m³), mais elle a été réduite à 3 millions de mètres cubes (3 m³) en 1970 en raison de l'envasement progressif de la retenue. Afin de remédier à cette situation, la construction du barrage de K'Sob a été prévue dans le cadre du premier plan quadriennal. En surélevant le barrage de 15 mètres, la capacité utile du réservoir atteindra 29,5 millions de mètres cubes (29,5 ha³) et permettra de réguler l'irrigation sur 13 000 hectares de terres, dont 4 250 hectares dédiés aux cultures intensives (horticulture maraîchère, arbres fruitiers, fourrages, etc.) et 2 000 hectares pour les cultures céréalières.

La construction réalisée entre 1972 et 1976 se compose de plusieurs voûtes sur contreforts, flanquées de deux culées formant un barrage-poids. Le barrage comprend quarante-deux voûtes reposant sur deux culées en berge, ainsi que quarante et une culées, dont trente se trouvent dans la partie centrale. Parmi elles, onze culées de l'ancien barrage ont été simplement plongées sans béquilles ni contraintes préalables. La stabilité latérale est assurée par des passerelles horizontales superposées et une paroi verticale antisismique reliant les sommets de tous les contreforts. De plus, des diaphragmes renforcés traversent le barrage de bout en bout, lui conférant une résistance accrue aux tremblements de terre.

À partir de 1996, l'Algérie a adopté une nouvelle politique de l'eau appelée "Gestion Intégrée des Ressources en Eau" afin d'assurer leur valorisation et leur durabilité. Dans le cadre de cette politique, le territoire algérien a été divisé en cinq grands bassins versants.²

Le bassin versant du Hodna constitue le cinquième grand bassin hydrographique de l'Algérie. Il est situé à environ 150 km en ligne droite au sud de la côte méditerranéenne, près du golfe de Bejaïa. Les sommets des monts du Hodna ont une altitude variant de 1 900 à 1 000 mètres, avec quelques sommets du versant sud de l'Atlas saharien atteignant 1 200 mètres.

Le bassin du Hodna est situé entre deux chaînes de montagnes, au nord et au sud, qui organisent le bassin autour d'une cuvette pratiquement plate, à une altitude d'environ 400 mètres. Cette cuvette recueille les eaux de ruissellement de la région.³

I.5. Situation géographique du bassin versant du K'sob

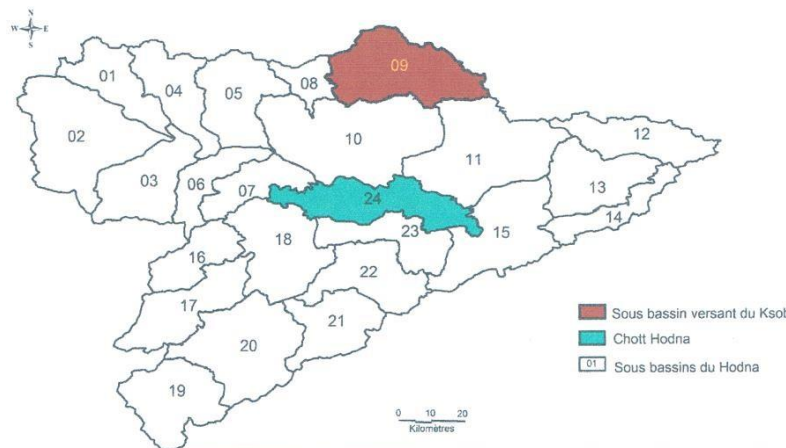


Figure I.6 situation géographique du bassin versant du k'sob

Le bassin versant du K'sob est une région située au nord, entre les longitudes 4°30 - 5°17 Est et les latitudes 35°45 - 36°9 Nord. Il est bordé au nord et au nord-ouest par une chaîne de montagnes, au sud et au sud-ouest par les monts du Honda, et à l'est par les hautes plaines de Sétif.

Le bassin versant du K'sob présente deux bordures montagneuses distinctes. Au sud, se trouvent les monts du Honda, qui atteignent des altitudes relativement élevées, avec des sommets tels que le dj. Maadid (1819 m), le dj. M'zaita (1545 m) et le dj. Kender (1640 m). Le point culminant de la région est le dj. Chelendj, qui atteint environ 1875 m d'altitude. À l'est, on trouve la chaîne de Bibane, où se situe le dj. Moutène.

Ces montagnes environnantes contribuent à la formation du bassin versant du K'sob, influençant l'écoulement des eaux et la topographie de la région.⁴

I.6. Définition de la vase

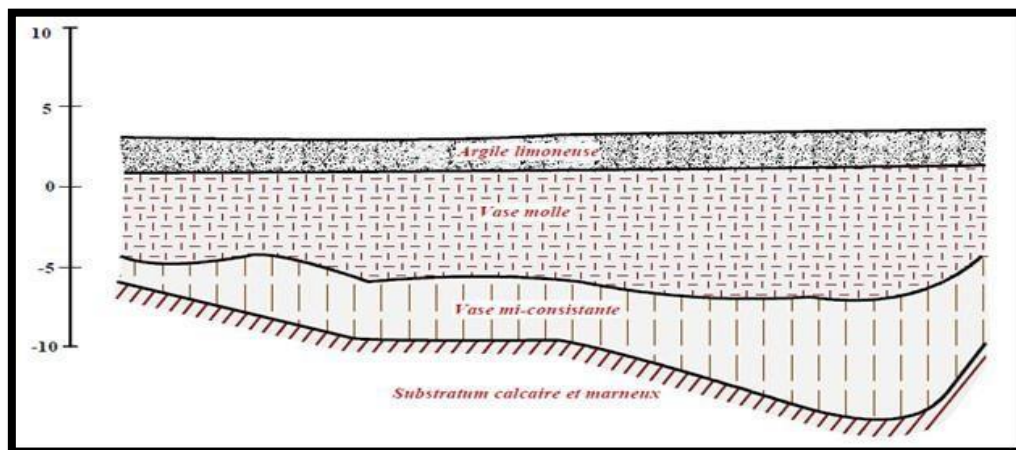


Figure I.7 Traversée de la vallée de la Charente par l'autoroute.

Le terme "vase" est emprunté au néerlandais et désigne une substance contenant une importante teneur en eau. Elle se compose d'une phase minérale constituée de sédiments fins, argileux et plus ou moins organiques, allant des sables aux argiles et aux colloïdes, ainsi que d'une phase organique et liquide.

La vase peut se présenter sous forme de suspension (crème de vase) ou de sol cohérent (sédiment cohésif), qui présente alors des caractéristiques plastiques, compressibles et thixotropiques. Elle abrite souvent une faune riche et diversifiée, comprenant des vers, des mollusques et des bactéries.⁵

Les vases sont des sols composés de plus de 90% de particules de moins de 0,2 mm, avec une teneur en matière organique (M.O) comprise entre 2 et 10%. Elles sont constituées de sable, de limon, d'argile et de colloïdes organiques. Elles sont particulièrement abondantes dans les estuaires et sont souvent thixotropes. La Figure I.6 présente un exemple de passage de remblai d'une autoroute sur une épaisseur importante de vase.

Tableau I-1 Les plus simples définitions des facies d'après Allen.⁶

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

I.7. COMPOSITION DES VASES

I.7.1. Structure physico-chimique des vases

Effectivement, les sédiments se composent généralement d'une fraction solide et d'une fraction liquide (eau) qui sont étroitement liées entre elles. La proportion de chaque fraction peut varier d'un milieu à un autre, mais on peut estimer ces proportions en se basant sur des matériaux de type vase.

Dans les milieux sédimentaires, la fraction solide est principalement constituée de particules minérales telles que du sable, de l'argile, du limon ou des débris organiques. Ces particules peuvent avoir différentes tailles et formes, ce qui affecte la composition et les propriétés des sédiments.⁷

La fraction liquide des sédiments est généralement de l'eau. Elle peut être présente à différents degrés de saturation, ce qui signifie que la quantité d'eau contenue dans les sédiments peut varier. Par exemple, certains sédiments peuvent être relativement secs avec une faible teneur en eau, tandis que

d'autres peuvent être saturés en eau et avoir une teneur élevée en liquide.

Les proportions respectives de la fraction solide et de la fraction liquide dans les sédiments dépendent de plusieurs facteurs, tels que l'environnement géologique, le type de sédiment et les processus géologiques impliqués dans leur formation. Par conséquent, ces proportions peuvent varier considérablement d'un milieu à un autre.

L'estimation des proportions de chaque fraction dans les sédiments est souvent réalisée à l'aide de techniques de laboratoire, telles que l'analyse granulométrique et la mesure de la teneur en eau. Ces méthodes permettent d'évaluer les caractéristiques physiques et chimiques des sédiments, ce qui est important pour comprendre leur formation, leur comportement et leur potentiel en tant que ressources naturelles.

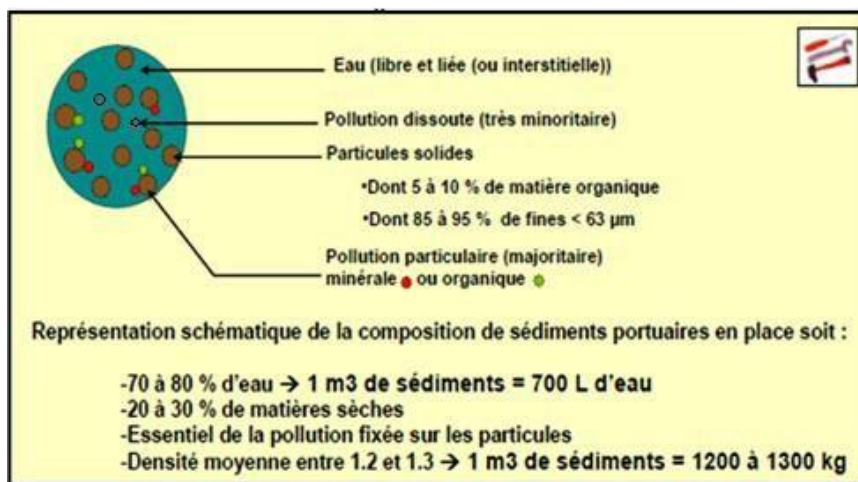


Figure I.8 Schéma de la composition simplifiée des sédiments portuaires

I.7.2. Rhéologie des vases

Le sol est une substance dotée d'une rhéologie naturelle. Cela signifie qu'il subit des changements dans sa forme et ses propriétés lorsqu'il est soumis à des forces externes. Lorsqu'une force est appliquée au sol, qu'il s'agisse de forces mécaniques telles que la compression ou la tension, ou de forces environnementales telles que les variations de teneur en eau, le sol réagit à ces forces en modifiant sa forme et ses propriétés.

Sur le plan de la forme, lorsque le sol est soumis à une compression ou à une tension, il peut subir des changements de volume et de forme. Une pression peut être exercée sur le sol en raison du chargement des structures construites dessus ou de la charge résultante du passage de charges lourdes. De même, le sol peut s'étendre ou se contracter lorsqu'il est soumis à des forces de tension.

En ce qui concerne les propriétés, le comportement du sol change avec le temps lorsqu'il est soumis

à des forces externes. Par exemple, le sol réagit aux variations de teneur en eau en modifiant ses propriétés mécaniques. Une augmentation de la teneur en eau rend le sol plus visqueux et peut entraîner une perte de sa capacité de support. En revanche, une diminution de la teneur en eau rend le sol plus susceptible de se fissurer et de se fracturer.⁸

I.8. PROBLEMATIQUE DE L'ENVASEMENT

L'envasement est un problème commun dans de nombreux pays à travers le monde, y compris l'Algérie. Il se produit lorsque des sédiments, tels que de la boue et du sable, se déposent au fond d'un barrage d'eau, réduisant ainsi progressivement sa capacité de stockage. Cela peut avoir des conséquences néfastes sur la stabilité de l'ouvrage et sur les équipements hydrauliques associés.

Enlever les sédiments déposés au fond du barrage nécessite des techniques spécifiques et coûteuses. Il existe plusieurs méthodes pour le faire, notamment l'utilisation de dragues pour aspirer les sédiments, l'installation de conduites de dérivation pour permettre l'écoulement des sédiments, ou encore la vidange partielle ou totale du barrage. Ces méthodes peuvent varier en fonction de la taille du barrage, du type de sédiments et d'autres facteurs spécifiques à chaque cas.

Dans le cas des barrages situés dans des zones arides et semi-arides, où la pénurie d'eau est déjà préoccupante, l'envasement aggrave davantage la situation. La réduction de la capacité de stockage des barrages limite la disponibilité d'eau pour l'irrigation, la consommation humaine, la production d'énergie hydroélectrique et d'autres utilisations. Cela peut avoir un impact négatif sur l'agriculture, l'économie et la vie quotidienne des populations concernées.

Le Maghreb, qui comprend l'Algérie ainsi que d'autres pays d'Afrique du Nord, est particulièrement touché par le problème de l'envasement. Selon la référence⁹ mentionnée, les barrages des pays du Maghreb enregistrent une perte annuelle de capacité de 125 Hm³. Cela souligne l'ampleur du problème dans la région et l'importance de prendre des mesures pour lutter contre l'envasement, tant au niveau de la prévention que du nettoyage des sédiments accumulés.

Il convient de mener des études de dimensionnement approfondies afin d'estimer avec précision le volume mort nécessaire pour maintenir la stabilité de l'ouvrage et des équipements hydrauliques associés. Cela permettra de planifier efficacement les opérations de maintenance et de gestion des barrages afin de minimiser les impacts de l'envasement sur la disponibilité de l'eau et les risques potentiels pour la sécurité des infrastructures.

Le dragage est en effet une opération utilisée pour prélever des matériaux tels que des boues, des limons, du sable et des graviers du fond d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau. Son objectif principal est de permettre l'aménagement ou l'entretien du cours d'eau en rétablissant sa largeur et sa profondeur

naturelle, mais il n'inclut pas l'approfondissement ou l'élargissement du lite dragage des barrages : Plus généralement, le dragage peut être défini comme l'ensemble des actions visant à prélever des matériaux par excavation sous l'eau, suivies du déversement de ces produits dans la veine d'eau, du côté aval de la retenue ou sur le rivage.

Le processus de dragage peut être divisé en plusieurs étapes, telles que les études préalables et la caractérisation des sédiments, le choix de la destination des matériaux, l'extraction des boues, le transport des matériaux de dragage et leur traitement. Cependant, certains auteurs soulignent que la récupération de capacité de stockage par le dragage est une opération coûteuse qui n'est pas économiquement viable pour les grands réservoirs.

En ce qui concerne l'Algérie, il est mentionné que la première drague utilisée dans le pays en 1957 était la drague Réfouleuse "Lucien Dumay". Depuis les années 2000, plus de 20 millions de mètres cubes de vase ont été extraits des barrages algériens.¹⁰

I.9. Les types de dragages

Effectivement, il existe trois types de dragage qui se distinguent en fonction de la nature des sédiments à draguer et des travaux à réaliser :

Le dragage d'entretien : Il s'agit d'opérations régulières qui consistent à extraire les sédiments accumulés qui gênent la navigation. Ces dépôts peuvent réduire la profondeur du cours d'eau ou du plan d'eau, ce qui peut entraîner des difficultés pour les bateaux. Le dragage d'entretien permet de maintenir les voies navigables à une profondeur suffisante pour assurer la circulation des navires.

Le dragage d'aménagement : Ce type de dragage est effectué dans le cadre de projets d'aménagement des voies navigables. Il vise à créer des canaux, des bassins de plaisance ou d'autres infrastructures de navigation. Le dragage d'aménagement permet de façonner le cours d'eau ou le plan d'eau afin de répondre aux besoins spécifiques de la navigation et du développement des activités liées à l'eau.

Le dragage d'approfondissement : Ce type de dragage nécessite le déplacement de volumes importants de sédiments. Il est réalisé lorsque la profondeur actuelle du cours d'eau ou du plan d'eau est insuffisante pour permettre la navigation des grands navires ou pour répondre à d'autres exigences spécifiques. Le dragage d'approfondissement peut nécessiter l'utilisation de moyens de dragage importants et coûteux en raison des volumes importants de matériaux à déplacer.

Ces trois types de dragage sont adaptés en fonction des besoins spécifiques liés à la navigation et à

l'aménagement des voies navigables. Chacun d'eux requiert des équipements et des techniques appropriés pour mener à bien les travaux de dragage.¹¹

I.10. Les techniques De Dragage Disponibles

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

I.10.1. Les dragages mécaniques

Le dragage mécanique est une technique de dragage utilisant des engins à godet pour extraire les sédiments du fond d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau. Ces engins peuvent fonctionner depuis les berges (pelle mécanique) ou depuis la surface de l'eau (pelle sur ponton, drague à godets). Cette méthode est principalement utilisée pour l'extraction de sédiments pollués. Les dragages mécaniques offrent une grande polyvalence et permettent une extraction sélective des matériaux indésirables. Cependant, il est important de prendre en compte la gestion et la disposition des sédiments extraits afin de minimiser l'impact environnemental et de respecter les réglementations en vigueur.¹²



Figure I.9 Dagues a pelle ou a cuillère.



Figure I.10 Dragues rétro caveuses.

I.10.2. Les dragages hydrauliques :

Les dragages hydrauliques sont une méthode de dragage où les matériaux sont désagrégés par des jets d'eau sous pression ou par rotation d'un outil. Les sédiments ainsi désagrégés sont mis en suspension dans l'eau et aspirés à l'aide de pompes vers des points de stockage ou de déversement. Par exemple, la technique aspiratrice utilise des pompes centrifuges pour aspirer un mélange d'eau et de sédiments à travers un tube d'élinde muni d'un bec d'élinde. Les pompes aspirent et refoulent les sédiments sous forme de boues liquides, avec une teneur en eau d'environ 85 %. Les dragages hydrauliques offrent une grande efficacité dans le désagrégement et le transport des sédiments, mais

il est important de prendre en compte les considérations environnementales lors de la gestion et de la disposition des boues liquides afin de minimiser les impacts sur les écosystèmes aquatiques.

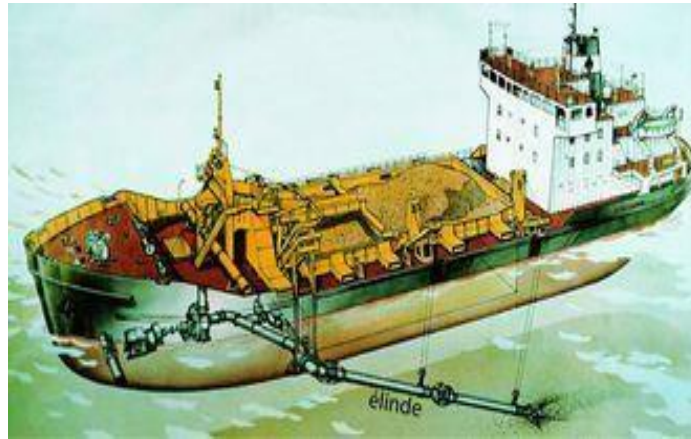


Figure I.11 Dragues aspiratrices simple.

I.10.3. Les dragages à l'américaine

Le dragage à l'américaine est une autre technique qui consiste à rejeter en continu les matériaux dragués dans la veine d'eau, en utilisant le courant naturel pour les évacuer. Cette technique est couramment utilisée dans les fleuves et les rivières à débit important. Les matériaux dragués sont directement relâchés dans le cours d'eau et sont transportés par le courant vers des zones où ils auront moins d'impact ou seront naturellement dispersés.

Ces techniques spécifiques de dragage sont adaptées à des situations particulières, telles que des cours d'eau à fort courant ou des besoins d'évacuation à longue distance. Le choix de la technique dépend des caractéristiques du site et des objectifs du projet de dragage.¹³

I.11. Définition des boues de dragage



Figure I.12 boues de dragage

Les boues de dragage sont des matériaux sédimentaires résiduels qui se forment et s'accumulent au fond des plans d'eau, tels que les cours d'eau, les lacs, les réservoirs, les estuaires et les zones portuaires. Elles sont générées lors des opérations de dragage, qui consistent à enlever les matériaux non désirés du lit ou du fond des voies navigables dans le but de maintenir la profondeur et la navigabilité, de prévenir les risques d'inondation, d'améliorer les infrastructures maritimes ou de restaurer l'écosystème aquatique.

Les boues de dragage se composent d'un mélange complexe de différentes substances, comprenant principalement des sédiments et des matières solides, ainsi que de l'eau interstitielle. La composition et les caractéristiques des boues de dragage peuvent varier considérablement en fonction de plusieurs facteurs, tels que le type de plan d'eau, les conditions géologiques et hydrologiques, les activités humaines et les sources de contamination.¹⁴

I.12. Composition des boues de dragage

Les composants des sédiments de dragage comprennent généralement les éléments suivants :

L'argile et les sédiments de surface : L'argile et les sédiments de surface constituent la majeure partie des sédiments de dragage. L'argile est composée de petites particules de tailles variables, allant des particules fines aux plus grosses. Elle peut contenir des matières organiques et divers minéraux.

Les matières organiques : Les matières organiques comprennent des plantes mortes, des vers, de petits animaux et des micro-organismes. Les matières organiques contribuent à la formation des sols et ont des effets sur la composition biologique et chimique des sédiments de dragage.

Autres matières solides : Les sédiments de dragage peuvent contenir d'autres matières solides en

plus de l'argile, telles que des graviers, des sables, de petites pierres, des bois flottants, des coquilles et des débris. Ces matières peuvent être présentes en raison d'activités humaines ou de facteurs naturels.

Excès d'eau : Les sédiments de dragage peuvent contenir une quantité d'eau excédentaire qui s'accumule dans les matériaux collectés. L'élimination de l'excès d'eau peut être réalisée par des opérations de traitement supplémentaires pour améliorer les propriétés des sédiments de dragage et faciliter leur élimination.

Ces composants sont importants pour déterminer les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sédiments de dragage, et ils influencent les méthodes d'élimination et de réutilisation. La composition des sédiments de dragage dépend de la source, de la qualité spécifique du dragage, de l'emplacement géographique et des conditions environnementales.

Veillez noter que la composition des sédiments de dragage peut varier d'un site à un autre en fonction des conditions locales, de la qualité de l'eau, des sources de pollution et d'autres facteurs pertinents.¹⁶

I.13. Propriétés physiques des boues de dragage

Les boues de dragage ne sont pas des sédiments qui ne sont généralement pas extraits de fonds de rivières, de lacs, de ports ou de barrages d'opérations de dragage. Ces boues peuvent avoir des propriétés physiques variables en fonction de l'endroit où elles sont spécifiées, des types de sédiments présents et des conditions environnementales. Cependant, voici quelques propriétés physiques courantes des boues de dragage :

Texture : Les boues de dragage peuvent avoir une texture variable, allant de fines et argileuses à grossières et sablonneuses. La queue de particules dans la boue peut influencer est capacité par ce compacteur, égouttoir et manipulateur.

Teneur en eau : Les boues de dragage contiennent généralement une quantité importante d'eau. La teneur en eau peut varier largement en fonction de la région et des conditions météorologiques, mais elle est encore élevée, souvent supérieure à 50 % de l'urine.

Densité : La densité des boues de dragage est générale plus élevée que celle de l'eau douce, en raison de la présence de particules solides. Séparément, elle peut être influencée par la composition des sédiments et leur compactage.

Plasticité : Les boues de dragage peuvent être plastiques, c'est-à-dire qu'elles peuvent être façonnées et maintenir leur forme lorsqu'elles sont humides. Ceci est dû à la présence d'argiles et de citrons dans la boue.

Capacité de rétention d'eau : En raison de leur teneur élevée en eau, les boues de dragage ont une capacité de rétention d'eau importante. Elles peuvent retenir l'eau même lorsque soumises à des pressions filtrées, ce qui peut affecter leur capacité à se drainer.

Compressibilité : Le poids de traînée est moins compressible, ce qui est le signe qu'il peut subir une diminution de volume car son volume n'est pas soumis à des contraintes de charge. C'est un fait très important pour anticiper les comptes lors de la manipulation et de l'élimination des boues.

pH : Le pH des boues de dragage peut varier ainsi en fonction de la géologie locale et des activités humaines dans la région. Elle ne peut être ni acide ni alcaline, ce qui peut influencer les substances toxiques présentes dans la boue.

Il convient de noter que les propriétés physiques des boues de dragage peuvent varier d'un site à l'autre. Des analyses et des tests de laboratoire spécifiques sont généralement réalisés pour caractériser les propriétés précises des boues de dragage dans des données non contextualisées, afin de déterminer les meilleures méthodes de traitement, d'élimination ou de réutilisation appropriées.

I.14. DÉFINITION D'UNE CHAUSSÉE

Une chaussée est une structure multicouche conçue pour supporter les charges de trafic et les reporter sur le sol de fondation sous-jacent. Elle est composée de trois parties principales : la structure de chaussée, la plateforme support de chaussée et les couches d'assise.

La structure de chaussée est constituée de plusieurs couches superposées, dont le rôle principal est de supporter les charges de trafic et de répartir ces charges de manière à ce qu'elles restent supportables par le sol d'infrastructure. Si la contrainte exercée sur une couche de chaussée dépasse sa capacité de charge admissible, cela peut entraîner sa dégradation et la ruine de la structure.

La plateforme support de chaussée se compose du sol de fondation et d'une couche de forme. Le sol de fondation doit être suffisamment porteur pour supporter la charge générée par le trafic, car la capacité portante de la chaussée dépend en grande partie de la portance du sol de fondation. La couche de forme, quant à elle, a plusieurs fonctions, notamment la protection du sol de fondation pendant les travaux, la mise à niveau du terrain et la circulation des engins de chantier. Elle contribue également

à rendre plus homogènes les caractéristiques du sol terrassé et à le protéger contre le gel.

Les couches d'assise sont généralement constituées de deux couches : la couche de fondation et la couche de base. Ces couches, composées de matériaux élaborés tels que des liants hydrauliques ou bitumineux, sont conçues pour apporter une résistance mécanique aux charges verticales induites par le trafic. Elles répartissent les pressions sur le sol de fondation afin de maintenir les déformations à un niveau admissible. La couche de fondation, généralement constituée de gravier concassé, assure la répartition des pressions sur le sol de fondation et le maintien des déformations. La couche de base, composée de gravier et de bitume, supporte l'action des véhicules et atténue les pressions élevées avant de les transmettre à la couche de fondation.

Enfin, la couche de surface est composée des couches de roulement et d'une couche de liaison. La couche de roulement est la couche supérieure de la chaussée qui est directement exposée aux agressions du trafic et des conditions climatiques. Elle est en contact direct avec les pneumatiques des véhicules et les charges extérieures. La couche de liaison assure une transition avec les couches inférieures plus rigides de la structure de chaussée.

I.15. Les différents types de chaussées

Les différents types de chaussées peuvent être classés comme suit :

a) **Les chaussées souples** : Ce type de chaussée est constitué de plusieurs couches d'enrobé bitumineux superposées sur une couche de base granulaire. Les couches d'enrobé bitumineux offrent une certaine flexibilité à la chaussée, ce qui lui permet de s'adapter aux mouvements du sol et de résister aux contraintes du trafic. Les chaussées souples sont souvent utilisées pour les routes à faible trafic.

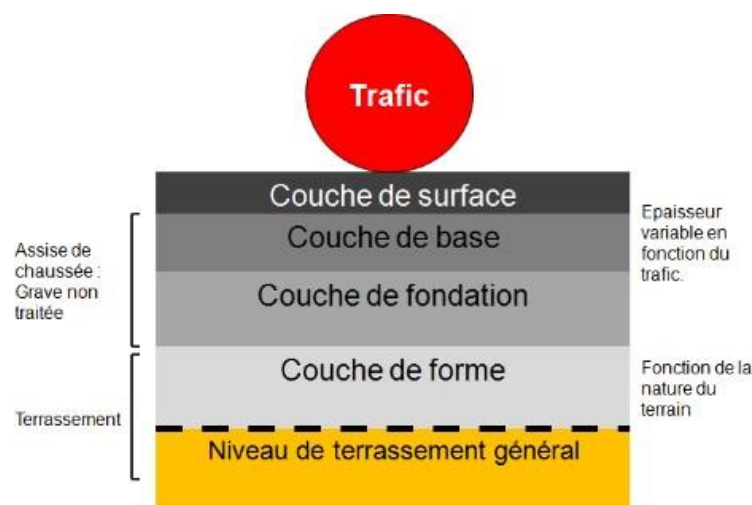


Figure I.13 Structure type d'une chaussée souple.

b) Les chaussées bitumineuses épaisses : Aussi appelées chaussées en béton bitumineux, ces chaussées sont similaires aux chaussées souples, mais elles utilisent une couche d'enrobé bitumineux plus épaisse. Cela leur confère une plus grande résistance et une capacité à supporter des charges plus lourdes. Les chaussées bitumineuses épaisses sont couramment utilisées pour les routes à trafic moyen à élevé.

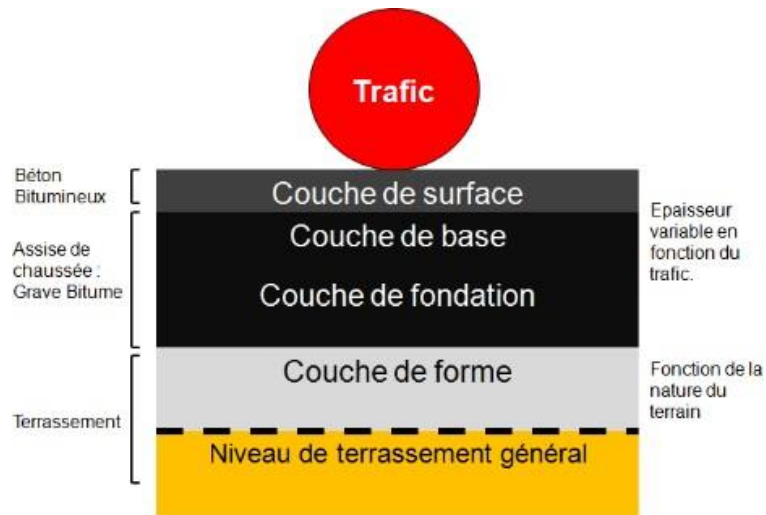


Figure I.14 Structure d'une chaussée bitumineuse épaisse.

c) Les chaussées semi-rigides : Ce type de chaussée, également connu sous le nom de chaussée à assise traitée aux liants hydrauliques, combine des caractéristiques des chaussées souples et des chaussées rigides. Il utilise une couche de base stabilisée avec des liants hydrauliques tels que le ciment ou le liant hydraulique routier pour fournir une résistance accrue. Les chaussées semi-rigides sont souvent utilisées pour les routes à trafic moyen à élevé.



Figure I.15 Structure d'une chaussée semi-rigide.

d) Les chaussées à structure mixte : Ces chaussées combinent différents matériaux et techniques de construction pour optimiser les performances. Par exemple, une chaussée à structure mixte peut utiliser une couche de base en béton traité aux liants hydrauliques surmontée d'une couche d'enrobé bitumineux. Ce type de chaussée vise à tirer parti des avantages des chaussées souples et rigides.

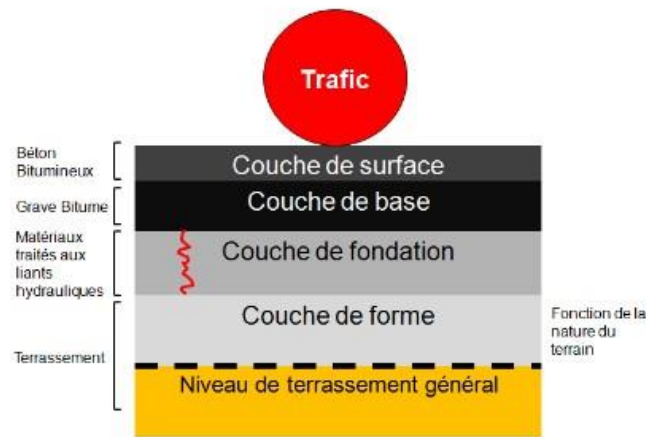


Figure I.16 Chaussée à structure mixte.

e) La chaussée à structure inverse : Dans ce type de chaussée, la position des couches est inversée par rapport à une chaussée conventionnelle. La couche d'enrobé bitumineux est placée directement sur le sol de fondation, suivie d'une couche de base granulaire. Cette configuration vise à améliorer la résistance et la durabilité de la chaussée.

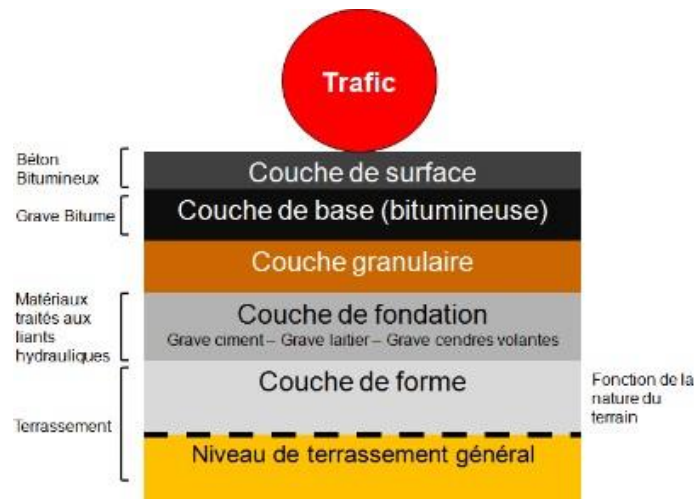


Figure I.17 Chaussée à structure inverse.

f) Les chaussées à structure en béton de ciment (rigides) : Ces chaussées sont composées de dalles en béton de ciment armé reposant directement sur le sol de fondation. Les chaussées rigides offrent une excellente résistance aux charges lourdes, une durabilité élevée et nécessitent

généralement moins d'entretien que les chaussées souples. Elles sont souvent utilisées pour les autoroutes, les aéroports et les routes à trafic intense.



Figure I.18 Chaussée en béton de ciment

Il est important de choisir le type de chaussée approprié en fonction des conditions locales, du volume de trafic, du climat et des contraintes budgétaires pour assurer une performance optimale de la route.

I.16. Dimensionnement des chaussées

Le dimensionnement des chaussées est un processus essentiel dans la conception des routes et des autoroutes afin de garantir leur durabilité, leur sécurité et leur performance. Voici les principales considérations et éléments de dimensionnement des chaussées :

Trafic : La première étape du dimensionnement consiste à évaluer le volume et la composition du trafic prévu sur la chaussée. Cela comprend le nombre de véhicules par jour, la répartition des types de véhicules (voitures, poids lourds, etc.) et les prévisions de croissance du trafic à long terme.

Classification de la route : Les routes sont classées en fonction de leur utilisation prévue, de la vitesse de conception et du niveau de service souhaité. Les classifications courantes incluent les autoroutes, les routes principales, les routes secondaires, etc. Chaque classe de route a des exigences spécifiques en termes de dimensionnement.

Étude du sol : Une évaluation du sol et de sa capacité portante est effectuée pour déterminer les propriétés géotechniques du sol. Cela aide à déterminer l'épaisseur et la composition des différentes couches de la chaussée, en fonction de la capacité du sol à supporter la charge du trafic.

Analyse structurelle : Une analyse structurelle est réalisée pour évaluer les contraintes et les déformations subies par la chaussée sous la charge du trafic. Cela permet de déterminer l'épaisseur des différentes couches de la chaussée, y compris la couche de surface, la couche de base et la couche de fondation, afin de garantir une résistance structurelle adéquate.

Conditions climatiques : Les conditions climatiques locales, telles que le gel et le dégel, l'accumulation de neige et les fortes pluies, doivent être prises en compte dans le dimensionnement de la chaussée. Des mesures spécifiques, telles que l'utilisation de matériaux de construction résistants au gel, peuvent être nécessaires pour faire face à ces conditions.

Drainage : Un système de drainage efficace est essentiel pour évacuer l'eau de la chaussée et éviter les problèmes tels que l'accumulation d'eau et les dommages dus à l'humidité. Les pentes de la chaussée, les caniveaux, les systèmes de collecte des eaux pluviales et les ouvrages de drainage sont pris en compte dans le dimensionnement.

Revêtement de surface : Le choix du revêtement de surface, tel que l'asphalte ou le béton, est également un facteur important dans le dimensionnement des chaussées. Les caractéristiques du matériau, telles que la résistance à l'usure, l'adhérence et la durabilité, sont prises en compte pour assurer une surface de roulement sûre et confortable.

Ces éléments sont pris en compte lors de l'élaboration des méthodes de dimensionnement des chaussées, telles que les méthodes empiriques, les méthodes mécanistiques-empiriques et les modèles de comportement du trafic. Les agences de conception des routes et les ingénieurs en génie civil utilisent ces méthodes pour garantir des chaussées robustes et durables, adaptées aux conditions spécifiques de chaque projet.

I.17. CONCLUSION

Le dragage des barrages algériens est nécessaire en raison de l'envasement causé par la désertification et l'érosion hydrique des bassins versants telliens. La sédimentation annuelle peut atteindre 6 % du volume total du barrage, ce qui entraîne une réduction de la capacité de stockage et une détérioration de la qualité de l'eau.

Pour remédier à ce problème, une solution envisagée consiste à utiliser les sédiments de vase comme matériau dans la construction routière, principalement dans les couches inférieures des chaussées. Cela permettrait de valoriser les sédiments et de réduire les coûts tout en évitant les impacts

environnementaux négatifs.

Des essais approfondis doivent être réalisés pour évaluer la faisabilité de cette approche. Cela comprend des tests de caractérisation des sédiments pour déterminer leurs propriétés mécaniques et géotechniques. Il est également important de vérifier la compatibilité des sédiments avec les autres matériaux routiers et d'évaluer leur durabilité à long term

CHAPITE II

ESSAIS UTILISES DANS L'ETUDE ET LEUR NORMES

II.1. INTRODUCTION

Après la présentation du barrage de k'sob, les différents tests et équipements utilisés pour déterminer les propriétés physiques de sol à utiliser dans les projets routiers seront présentés.

II.2. PRESENTATION DES ECHANTILLONS

Nous avons échantillonné en février 2023 manuellement à la pelle dans un bassin proche du barrage de K'sob qui était réservé au stockage des limons extraits par dragage du fond du barrage. Voir Photo de la vase du Barrage K'sob



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

II.3. ETUDE D'IDENTIFICATION PHYSIQUE

Dans le cadre de l'étude de la définition géotechnique du limon prélevé sur le site du Barrage de Ksub, plusieurs analyses et essais peuvent être réalisés pour caractériser le comportement de ce matériau dans les applications de génie civil, notamment en génie routier. Voici quelques exemples d'analyses et de tests couramment utilisés :

- La teneur en eau naturelle W (%)
- Masse volumique (apparent et absolu)
- Analyse granulométrique (par tamisage et sédimentométrie)
- Les limites d'Atterberg
- Méthode du cône de pénétration ;

CHAPITRE II ESSAIS UTILISES DANS L'ETUDE ET LEUR NORMES

- Essai au bleu de méthylène

II.3.1. TENEUR EN EAU NATURELLE W (%) (NF P 94-050)

La détermination de la teneur en eau d'un sol est effectuée en mesurant le poids de l'eau contenu dans l'échantillon par rapport au poids de la matière sèche. La teneur en eau est un paramètre important car elle indique l'état hydrique du matériau et joue un rôle direct dans sa valorisation en tant que matériau routier.

Pour mesurer la teneur en eau, les sédiments étudiés, qui sont de couleur grise, sont soumis à un processus de séchage en étuve à une température de 40°C, conformément à la norme NF P 94-050. Cette température de séchage est choisie pour éviter toute dégradation de la phase organique présente dans les sédiments, car elle peut être sensible à la température.

Une fois les échantillons séchés, la teneur en eau est calculée en pourcentage (%) en utilisant la formule suivante :

$$\text{Teneur en eau (\%)} = (\text{Masse de l'eau}(M_w) / \text{Masse sèche}(M_s)) \times 100$$

La masse humide correspond à la masse totale de l'échantillon après séchage, qui inclut à la fois la matière solide et l'eau résiduelle présente. La masse sèche correspond à la masse de la matière solide une fois toute l'eau évaporée.

En utilisant cette méthode de séchage et de calcul, la teneur en eau du sol peut être déterminée, ce qui permet d'évaluer son contenu en eau et de prendre en compte cet aspect lors de son utilisation dans des applications en génie civil, notamment en tant que matériau routier



Figure II.2. Prélèvement de La vase

CHAPITRE II ESSAIS UTILISES DANS L'ETUDE ET LEUR NORMES

II.3.2. LA MASSE VOLUMIQUE :

II.3.2.1. La masse volumique apparent :

Le principe pour déterminer la masse volumique apparente d'un matériau consiste à remplir une mesure d'un volume connu, par exemple 1 dm³ (décimètre cube), et à mesurer la masse de ce matériau.

Voici les étapes à suivre :

Sélectionner une mesure appropriée : Choisissez une mesure de volume, telle qu'un récipient cubique, d'une capacité de 1 dm³.

- ✓ Préparer le matériau : Assurez-vous que le matériau est homogène et sans vides excessifs. Pour les matériaux non compactés, il suffit de le verser dans la mesure jusqu'à ce qu'elle soit pleine.
- ✓ Remplir la mesure : Remplissez la mesure avec le matériau jusqu'à ce qu'elle soit complètement pleine. Veillez à ne pas déborder ou comprimer excessivement le matériau.
- ✓ Mesurer la masse : Utilisez une balance précise pour mesurer la masse totale de la mesure remplie de matériau. Assurez-vous de soustraire la masse de la mesure elle-même.

II.3.2.2. -La masse volumique absolue ; (essai pycnomètre) :

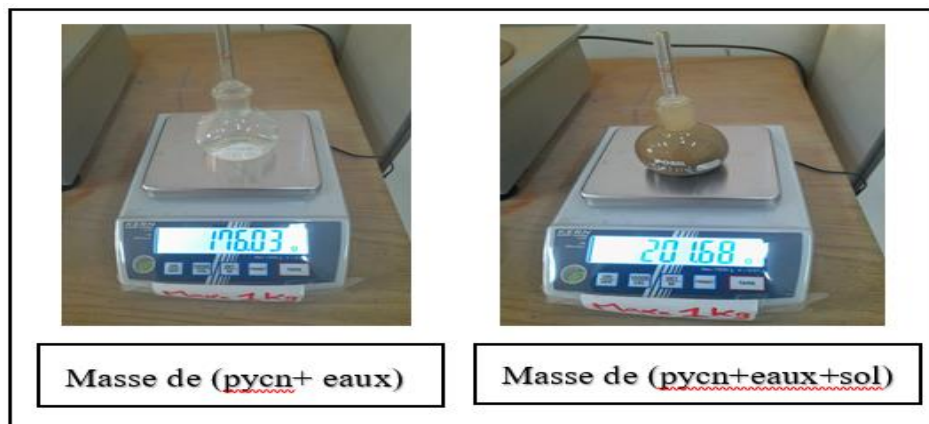


Figure II.3 la masse volumique absolue par pycnomètre.

La détermination de la masse volumique des particules solides selon la norme NF P94-054 est réalisée en utilisant un pycnomètre et de l'eau distillée ou déminéralisée.

Voici les étapes principales du processus :

- ✓ *Séchage de l'échantillon de sol* : L'échantillon de sol est préalablement séché à l'étuve pour éliminer toute l'humidité qu'il pourrait contenir. Cette étape permet d'obtenir la masse sèche de l'échantillon.
- ✓ *Pesée de l'échantillon de sol sec* : Une fois l'échantillon séché, sa masse est mesurée à l'aide

CHAPITRE II ESSAIS UTILISES DANS L'ETUDE ET LEUR NORMES

d'une balance précise. Cette mesure est utilisée ultérieurement dans les calculs.

✓ Utilisation d'un pycnomètre : Un pycnomètre est un récipient de volume connu utilisé pour mesurer le volume des particules solides. Il est généralement équipé d'un couvercle hermétique et d'un tube permettant de remplir ou vider le pycnomètre.

✓ Remplissage du pycnomètre avec de l'eau : Le pycnomètre est rempli d'eau distillée ou déminéralisée jusqu'à un niveau précis. Il est important de s'assurer que le pycnomètre est parfaitement sec avant de procéder à cette étape.

✓ Pesée du pycnomètre rempli d'eau : Une fois le pycnomètre rempli d'eau, sa masse est mesurée à l'aide de la balance. Cette mesure permet de connaître la masse de l'eau utilisée dans le pycnomètre.

✓ Substitution de l'eau par l'échantillon de sol : L'eau contenue dans le pycnomètre est vidée, puis l'échantillon de sol est soigneusement introduit dans le pycnomètre. Il est important de s'assurer que tout l'échantillon est correctement placé à l'intérieur.

✓ Pesée du pycnomètre avec l'échantillon de sol : Une fois l'échantillon de sol dans le pycnomètre, sa masse totale est mesurée à l'aide de la balance. Cette mesure comprend la masse de l'échantillon de sol et la masse résiduelle d'eau qui peut être présente dans les vides du sol.

En utilisant les valeurs de masse mesurées et le volume connu du pycnomètre, il est possible de calculer la masse volumique des particules solides en utilisant la formule :

Masse volumique des particules solides (ρ_s) = (Masse de l'échantillon de sol sec) / (Volume du pycnomètre - Masse de l'eau)

La masse volumique des particules solides (ρ_s) est utilisée pour déterminer des caractéristiques du sol telles que l'indice des vides, le degré de saturation et la porosité. Ces paramètres sont importants pour l'étude et la compréhension des propriétés géotechniques du sol.

II.3.2.3. La masse volumique absolue : (éprouvettes graduées) (NF P 94-053) :



Figure II.4 Masse volumique absolue, méthode des éprouvettes

CHAPITRE II ESSAIS UTILISES DANS L'ETUDE ET LEUR NORMES

La méthode de l'éprouvette graduée, selon NF P 94-053, est une méthode utilisée pour déterminer la densité des particules solides, ρ_s d'un matériau granulaire. Cette méthode consiste à mesurer la masse d'un échantillon de particules solides et à diviser cette masse par le volume occupé par ces particules. Voici les étapes générales de la méthode de l'éprouvette graduée :

✓ *Préparation de l'échantillon* : un échantillon représentatif de matériau granulaire est prélevé et séché pour éliminer toute trace d'humidité.

✓ *Mesure de masse* : La masse d'un échantillon sec est mesurée avec précision à l'aide d'une balance.

✓ *Remplissage du cylindre gradué* : Le cylindre gradué est rempli avec l'échantillon de particules solides jusqu'à un certain niveau.

✓ *Lecture du volume initial* : Le volume initial de l'échantillon est lu sur une échelle de cylindre gradué.

✓ *La masse d'échantillon préparée et pesée est placée dans l'éprouvette graduée.*

✓ *Lecture du volume final* : Le volume final est lu sur l'échelle graduée du tube à essai. Cette lecture tient compte de la taille des particules solides ainsi que des vides entre les granules remplis d'eau.

✓ *Calcul de la densité des particules solides* : La densité des particules solides, ρ_s , est calculée à l'aide de la formule $\rho_s = m / (V_f - V_i)$, où m est la masse de l'échantillon sec, V_i est le volume initial et V_f est le volume final.

En utilisant cette méthode, il est possible de déterminer la densité de particules solides d'un matériau granulaire avec une précision raisonnable.

II.3.3. ANALYSE GRANULOMETRIQUE :

L'analyse granulométrique est une étape essentielle pour caractériser les sédiments, en particulier dans le domaine des travaux routiers. La distribution granulométrique, c'est-à-dire la répartition des différentes tailles de particules dans le matériau, est le premier paramètre pris en compte dans les tables de classification selon le "Guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme".

Pour cette étude, l'analyse granulométrique est réalisée en deux étapes complémentaires : le tamisage par voie humide pour les particules de taille supérieure ou égale à 80 μm , suivi de l'analyse des Particules de taille inférieure à 80 μm par sédimentométrie par densimètre.



Figure II.5 L'analyse granulométrique par des tamis manuellement humide

II.3.3.1. L'analyse granulométrique par le tamisage (NF P94-056 (1992)) :

L'opération de tamisage par voie humide pour les particules de dimensions $\geq 80 \mu\text{m}$ est réalisée conformément à la norme NF P94-056 (1992). Cette méthode consiste à fractionner le matériau granulaire en utilisant une série de tamis de tailles décroissantes. Les dimensions des mailles des tamis sont choisies en fonction de l'objectif de l'essai et de la nature des échantillons. Dans ce cas, la vase est tamisée à travers des tamis de $80 \mu\text{m}$ jusqu'à 2 mm . Les sédiments dragués sont versés sur le tamis supérieur, puis les tamis sont agités manuellement, mécaniquement ou les matériaux sont mélangés en les trempant avec de l'eau, selon la méthode utilisée. Les refus, c'est-à-dire les particules qui ne passent pas à travers les tamis, sont récupérés et séchés jusqu'à atteindre leur masse sèche. La fraction de particules inférieure à $80 \mu\text{m}$ est ensuite analysée par sédimentométrie par densimètre, conformément à la norme NF P94-057 (1992). Cette méthode permet de déterminer la distribution granulométrique des particules fines. Elle repose sur la mesure de la densité du fluide dans lequel les particules fines sont dispersées, et cette densité est ensuite convertie en distribution granulométrique grâce à des relations établies.

Pour réaliser l'analyse granulométrique du matériau, les équipements suivants sont utilisés :

Une colonne de tamis propres et secs : Cette colonne est composée de plusieurs tamis superposés, dont les ouvertures intérieures des mailles sont respectivement de haut en bas : $3,15 \text{ mm}$, $2,5 \text{ mm}$, $1,25 \text{ mm}$, $0,68 \text{ mm}$, $0,315 \text{ mm}$ et $0,08 \text{ mm}$. Les tamis sont empilés de manière à former une série de tamis de taille décroissante.

CHAPITRE II ESSAIS UTILISES DANS L'ETUDE ET LEUR NORMES

Tamis manuellement : Pour réaliser le tamisage, les tamis sont agités manuellement afin de permettre le passage des particules à travers les mailles. Cette opération permet de fractionner le matériau en fonction de la taille des particules.

Balance de précision : Une balance de précision est utilisée pour mesurer la masse des échantillons de sol avant et après le tamisage. Cela permet de déterminer les quantités relatives de particules de différentes tailles dans le matériau et de calculer la distribution granulométrique.



Figure II.6 série de Tamis manuellement

II.3.3.2. La sédimentométrie par densimètre (NF P94-057, 1992) :

Pour réaliser l'essai de sédimentométrie, qui complète l'analyse granulométrique par tamisage en se concentrant sur les particules ayant une taille inférieure à 80 μm , les équipements suivants sont utilisés :

Deux éprouvettes de 2,5 litres : Les éprouvettes sont des récipients de volume connu, d'une capacité de 2,5 litres dans ce cas. Elles sont utilisées pour contenir les échantillons de sol et réaliser l'essai.

Densimètre : Un densimètre est utilisé pour mesurer la densité des particules dans le liquide de suspension. Le densimètre est gradué et permet de déterminer la densité relative du matériau en suspension par rapport à un liquide de référence.

Thermomètre : Un thermomètre est utilisé pour mesurer la température du liquide de suspension. La température est un paramètre important dans l'essai de sédimentométrie car elle peut affecter les

CHAPITRE II ESSAIS UTILISES DANS L'ETUDE ET LEUR NORMES

propriétés des particules et donc les résultats de l'essai.

Agitateur manuel et mécanique : Des agitateurs, à la fois manuels et mécaniques, sont utilisés pour agiter le liquide de suspension dans les éprouvettes. L'agitation permet de maintenir les particules en suspension et d'assurer une distribution uniforme des particules dans le liquide.

Mode opératoire :

Voici les étapes détaillées pour réaliser l'essai de sédimentométrie selon les instructions fournies :

- ✓ Préparer la solution de défouant : Dissoudre 5 g de dé flocculant dans 1 litre d'eau distillée pour obtenir une solution de concentration 5 g/l.
- ✓ Prendre 60 cm³ de la solution de déflocculant préparée et ajouter 440 cm³ d'eau distillée pour obtenir une solution totale de 500 cm³.
- ✓ Ajouter 30 g de sol à la solution de déflocculant préparée. Mélanger pour assurer une distribution uniforme du sol dans la solution.
- ✓ Conserver la suspension à l'abri de la lumière pendant quelques jours pour permettre la dégradation des agrégats et l'homogénéisation de la suspension.
- ✓ Procéder à l'agitation mécanique de la suspension pendant environ 3 minutes pour assurer la dispersion complète des particules fines.
- ✓ Verser la suspension dans l'une des éprouvettes (éprouvette B) jusqu'à atteindre un volume de 2 litres. Compléter l'éprouvette avec de l'eau distillée.
- ✓ Procéder à une homogénéisation de la suspension dans l'éprouvette B en utilisant l'agitateur manuel pour assurer une répartition uniforme des particules dans le liquide.
- ✓ Verser 2 litres d'eau distillée dans l'autre éprouvette (éprouvette A).
- ✓ Introduire le densimètre dans la suspension de l'éprouvette B et effectuer les lectures à différents intervalles de temps : 0,5 minute, 1 minute, 2 minutes, 5 minutes, 10 minutes, 20 minutes, 40 minutes, 80 minutes, 240 minutes, 1440 minutes (24 heures).
- ✓ À partir de la 3^{ème} lecture, retirer le densimètre de la suspension de l'éprouvette B et le plonger dans l'eau distillée de l'éprouvette A pour effectuer les lectures de densité relative dans l'eau distillée.
- ✓ À chaque lecture du densimètre, utiliser le thermomètre pour mesurer la température de la suspension et de l'eau distillée.

Ces étapes permettent de suivre l'évolution de la densité relative de la suspension au fil du temps et d'obtenir des données pour déterminer la distribution granulométrique des particules fines dans le sol étudié.

CHAPITRE II ESSAIS UTILISES DANS L'ETUDE ET LEUR NORMES

II.3.4. Limite d'Atterberg (NF P94-051)

Les limites d'Atterberg définissent les différentes teneurs en eau qui caractérisent les quatre états de consistance d'un sol : solide (sans retrait), semi-solide (avec retrait), plastique et liquide. Ces limites sont exprimées en pourcentage et comprennent :

II.3.4.1. La limite de liquidité (Wl)

Il s'agit de la teneur en eau à laquelle un sol remanié passe du stade liquide au stade plastique (séparant l'état liquide de l'état plastique). La limite de liquidité peut atteindre 1000% dans le cas de certaines argiles, mais elle peut parfois dépasser les 100%.

II.3.4.2. La limite de plasticité (Wp)

Il s'agit de la teneur en eau à laquelle un sol remanié passe du stade plastique au stade semi-solide. À cette teneur en eau, le sol perd sa plasticité et se fissure en se déformant lorsqu'il est soumis à de faibles charges. La limite de plasticité varie de 0% à 100%, mais elle est généralement inférieure à 40%.

II.3.4.3. L'indice de plasticité (Ip)

Il représente la différence entre les limites de liquidité (Wl) et de plasticité (Wp). Il définit donc l'étendue du domaine plastique du sol, c'est-à-dire la plage de teneur en eau dans laquelle le sol peut être déformé sans se briser. L'indice de plasticité est calculé en soustrayant la limite de plasticité (wp) de la limite de liquidité (Wl) :

$$IP = Wl - Wp.$$

❖ 1^{ère} méthode : Méthode de Casagrande (pour la limite de liquidité).



Figure II.7 Matériels utilisé pour la détermination de la limite liquidité

Matériel nécessaire :

- Appareil de Casagrande

CHAPITRE II ESSAIS UTILISES DANS L'ETUDE ET LEUR NORMES

- Outil à rainurer
- Une spatule
- Surface lisse non absorbante.

Mode opératoire :

- ✓ Mélanger l'échantillon de sol de manière homogène.
- ✓ Imbiber le sol dans un bac d'eau pendant 24 heures.
- ✓ Tamiser le matériau imbibé au tamis de 0,4 mm.
- ✓ Après un certain temps, siphonner l'eau claire du bac.
- ✓ Évaporer l'excès d'eau à une température de 50°C.
- ✓ Placer une quantité de sol préparée sur la coupelle de l'appareil de Casagrande.
- ✓ Utiliser l'outil à rainurer pour former une rainure dans le sol.
- ✓ Effectuer des chocs sur la coupelle et observer la fermeture de la rainure.
- ✓ Noter le nombre de chocs nécessaires pour obtenir une fermeture de la rainure sur un centimètre.
- ✓ Répéter l'essai plusieurs fois avec de nouvelles échantillons de sol.

❖ **Méthode du rouleau (pour la limite de plasticité) :**

Matériel nécessaire :

- Plaque lisse
- Étuve pour sécher les échantillons.

Mode opératoire :

- ✓ Former une boulette à partir de la pâte préparée à la limite de liquidité.
- ✓ Rouler la boulette sur une plaque lisse pour obtenir un rouleau d'environ 10 cm de longueur et 3,0 mm à ± 5 mm de diamètre.
- ✓ La limite de plasticité est atteinte lorsque le rouleau se fissure.
- ✓ Prélever la partie fissurée du rouleau et la placer dans une étuve pour déterminer sa teneur en eau.
- ✓ Réaliser plusieurs essais avec de nouvelles boulettes pour obtenir des résultats précis.



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

❖ **2^{ème} méthode : Méthode au cône de pénétration (Fall cône)**

La méthode du cône de pénétration, également appelée méthode du "fall cône", est une autre méthode utilisée pour déterminer la limite de liquidité. Voici comment elle fonctionne :

Équipement utilisé :

- Cône de pénétration : Il s'agit d'un cône normalisé avec un angle au sommet de 30° et une masse de 80 g.
- Appareil de mesure : Il est utilisé pour mesurer l'enfoncement du cône dans l'échantillon de sol pendant une durée de 5 secondes.
- Échantillon de sol : Préparé et remanié selon les procédures appropriées.

Mode opératoire :

- ✓ Plusieurs opérations sont effectuées en utilisant différentes teneurs en eau de l'échantillon de sol.
- ✓ Le cône de pénétration est enfoncé dans l'échantillon de sol pendant 5 secondes, et l'enfoncement du cône est mesuré.
- ✓ Ces opérations sont répétées pour différentes teneurs en eau, couvrant une plage suffisante pour obtenir des données significatives.
- ✓ Les résultats obtenus sont utilisés pour tracer la courbe qui relie la teneur en eau (%) à la pénétration du cône (en mm).
- ✓ La limite de liquidité est définie comme la teneur en eau du matériau à un enfoncement spécifique du cône. Selon la norme française NF P 94-052, la limite de liquidité est généralement

CHAPITRE II ESSAIS UTILISES DANS L'ETUDE ET LEUR NORMES

définie comme la teneur en eau correspondant à un enfoncement du cône de 17 mm ($d = 17$ mm). Cependant, selon la norme anglaise BS 1377-2:1990, la limite de liquidité est définie comme la teneur en eau correspondant à un enfoncement du cône de 20 mm ($d = 20$ mm).



Figure II.9 Matériels de pénétration à Cône.

II.3.5. ESSAI AU BLEU DE METHYLENE (VBS)(NF P 94 068)

L'essai au bleu de méthylène, également connu sous le nom de VBS (Valeur au Bleu de Méthylène), est utilisé pour évaluer l'activité argileuse d'un sol. Voici le mode opératoire de l'essai selon la norme NF P 94 068 :

Matériel nécessaire :

- Dispositif de dosage : Permet d'injecter des volumes précis de solution de bleu de méthylène.
- Chronomètre.
- Papier-filtre blanc.
- Baguette en verre.
- Agitateur mécanique à ailettes.
- Récipient cylindrique d'une capacité minimale de 3 000 cm³.
- Tamis de maille 80 mm.

CHAPITRE II ESSAIS UTILISES DANS L'ETUDE ET LEUR NORMES

Préparation de la solution de bleu de méthylène :

Préparer une solution de bleu de méthylène avec une concentration de 10 g/l.

Procédure de l'essai :

- ✓ Prélever 30 g d'échantillon de sol (tamisé au tamis de maille 0,080 mm) et les placer dans le récipient.
- ✓ Ajouter 500 ml d'eau distillée dans le récipient.
- ✓ Agiter l'ensemble à l'aide d'un agitateur mécanique à ailettes à une vitesse de 700 ± 100 tours par minute.
- ✓ Injecter dans le récipient de 5 à 10 cm³ de solution de bleu de méthylène à l'aide d'une burette de 50 ml.
- ✓ S'assurer que les particules sont en mouvement grâce à l'agitateur en continu.
- ✓ Prélever une goutte du liquide à l'aide d'une baguette en verre et la déposer sur le papier-filtre.
- ✓ Si une auréole bleu clair apparaît autour du dépôt central, c'est un test positif. Si une auréole incolore apparaît, c'est un test négatif.
- ✓ L'essai est terminé lorsque l'on obtient 5 tests positifs espacés d'une minute sans ajouter de solution de bleu.

La valeur au bleu de méthylène (VBS) d'un sol est exprimée en grammes de bleu de méthylène adsorbé par 100 g de fines. Cet essai permet de caractériser les sols fins et de distinguer les différentes familles de sols en fonction de leur activité argileuse.



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

CHAPITRE III

RESULTATS DES DIFFERENTS ESSAIS ET LEUR INTERPRETATIONS

III.1. INTRODUCTION :

Cette étude présente les résultats des essais de caractérisation physiques des sédiments de dragage du barrage de K'sob, puis ceux du sol traité afin de déterminer l'influence du traitement sur les caractéristiques du sol étudié.

Cette étude présente les résultats de l'identification, des échantillons de vase avec différentes proportions de déchet de brique, à savoir :

- Essai sur la vase seule
- Vase + 05% déchet de brique.
- Vase + 10 % déchet de brique.
- Vase + 15% déchet de brique.

La classification du sol utilisée est celle du LPC (Magnan, 1980), la norme française NF P11-300 et manuel de travaux routiers (GTR).

III.2. ÉCHANTILON VASE SEULE :**III.2.1. Teneur en eau naturelle selon la norme NF P94-050.**

Les résultats sont reportés sur le tableau suivant :

Tableau III-1 résultat de la teneur en eau.

	1er essai	2eme essai	3eme essai
Masse de la terre	10,18	10,26	10,11
Masse de la tarre+sol humide	39,7	29,09	34,69
Masse de la tarre + sol sec	30,55	24,18	27,93
Masse d'eau	9,15	4,91	6,76
Masse de sol sec	20,37	13,92	17,82
Teneur en eau	44,92	35,27	37,93
WP(%)	39,38		

III.2.2. Analyse granulométrique selon la norme NF P18-560 ;

L'analyse granulométrique et les essais sédimentométriques sont fait selon respectivement les normes NF P18-560 et NF P94-057, ce sont deux méthodes de base pour la déterminer de la distribution granulométrique pour les sols. Ces données aident à comprendre les propriétés physiques et mécaniques du sol, ce qui est crucial dans de nombreux domaines tels que la géotechnique, l'ingénierie des fondations, la construction de routes et d'autres applications liées au sol.

Les résultats de cet essai déterminent la distribution granulométrique de nos grains de sol, et sont présentés dans les tableaux ci-dessous. La figure III.1 présente les courbes d'essai pour l'analyse granulométrique par tamisage, et il consiste à déterminer la distribution granulométrique.

Tableau III-2 Résultats des essais analyse granulométrique (sol seul).

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulé	Percentage refuse	Pourcentage passant
4	0	0	0,00	100,00
2	2,78	2,78	0,56	99,44
1.25	2,36	5,14	1,03	98,97
0.63	3,2	8,34	1,67	98,33
0.315	8,7	17,04	3,41	96,59
0.2	15,41	32,45	6,49	93,51
0.08	23,8	56,25	11,25	88,75

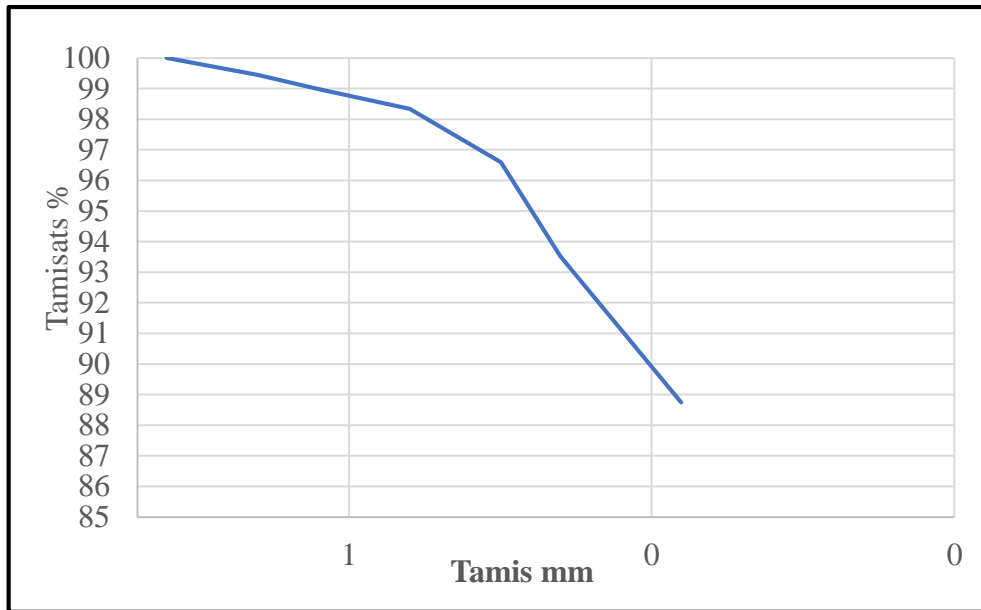


Figure III.1 Courbe de l'essai granulométrique (sol seul).

III.2.3. Limites d'Atterberg selon la norme NF P94-051 ;

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

❖ **1^{ère} méthode ; (méthode de Casagrande) selon la norme NF P94-051 ;**

1^{ER} ESSAI :

La limite de liquidité ;

Tableau III-3 Détermination de la limite de liquidité de sol seul (1er essai)

Nombre de coups	19		26		34	
	5,42	5,58	5,38	5,54	5,53	5,43
Masse de la terre	16,36	13,92	14,61	13,21	15,58	15,18
Masse de la terre + sol humide	12,61	11,06	11,53	10,64	12,3	11,97
Masse de la terre + sol sec	3,75	2,86	3,08	2,57	3,28	3,21
Masse de sol sec	7,19	5,48	6,15	5,1	6,77	6,54
Teneur en eau	52,16	52,19	50,08	50,39	48,45	49,08
Moyenne	52,17		50,24		48,77	
W _L (%) Courbe	50,69					

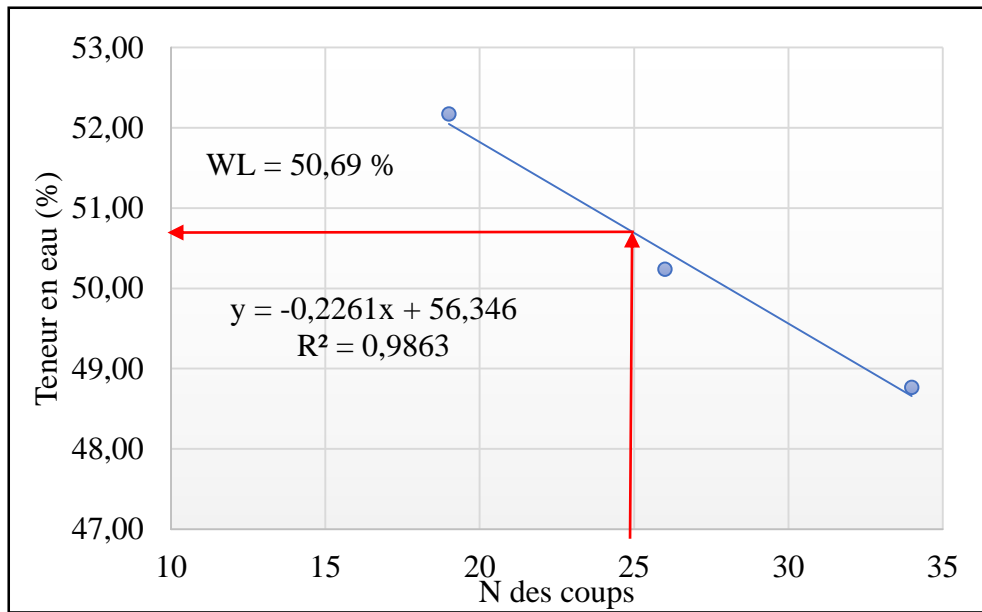


Figure III.2 Courbe de la limite de liquidité (1er essai).

La limite de plasticité :

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

Tableau III-4 Valeurs trouvées de la limite de plasticité sol seul (1er essai).

Masse de la tarre	3,75	3,59	3,64
Masse de la tarre+sol humide	4,75	4,56	4,56
Masse de la tarre + sol sec	4,56	4,34	4,34
Masse d'eau	0,19	0,22	0,22
Masse de sol sec	0,81	0,75	0,7
Teneur en eau	23,46	29,33	31,43
W _P (%)	28,07		

2^{EME} ESSAI ;

La limite de liquidité ;

Tableau III-5 Détermination de la limite de liquidité de sol seul (2em essai).

Nombre de coups	19		26		32	
Masse de la tarre	16,9	16,7	16,7	16,7	15,5	16,7
Masse de la tarre+sol humide	28,4	25,8	26,5	29,3	26,2	26,5
Masse de la tarre + sol sec	24,3	22,6	23,1	24,9	22,5	23,2
Masse d'eau	4,1	3,2	3,4	4,4	3,7	3,3
Masse de sol sec	7,4	5,9	6,4	8,2	7	6,5
Teneur en eau	55,41	54,24	53,13	53,66	52,86	50,77
Moyenne	54,82		53,39		51,81	
WL(%) Courbe	53,50					

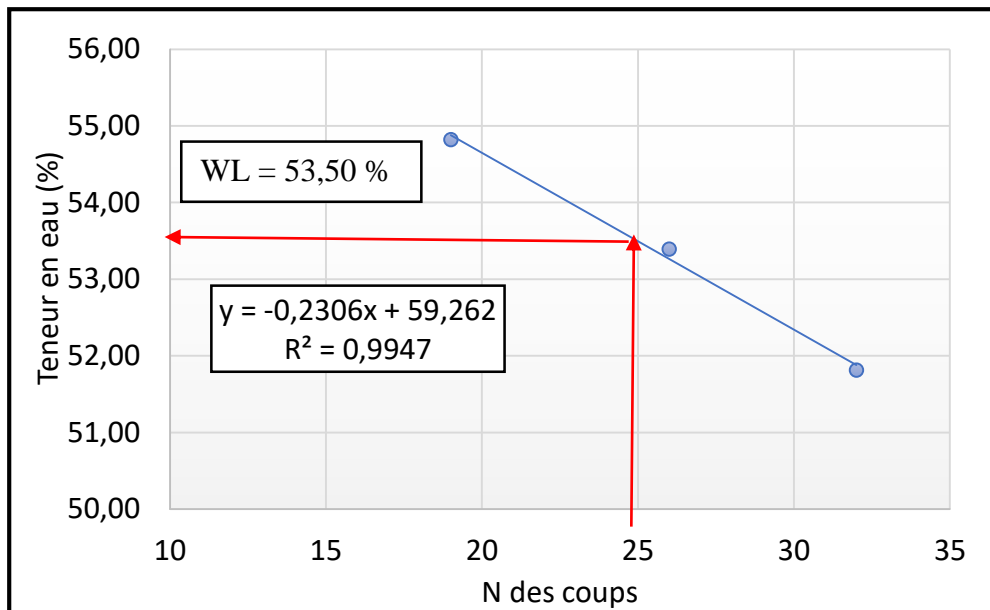


Figure III.3 Courbe de la limite de liquidité (2eme essai).

La limite de plasticité :

Tableau III-6 Valeurs trouvées de la limite de plasticité sol seul (2eme essai)

Masse de la terre	11,9	12,2	12,2
Masse de la terre+sol humide	13,2	13,5	14,2
Masse de la terre + sol sec	12,8	13,2	13,9
Masse d'eau	0,4	0,3	0,3
Masse de sol sec	0,9	1	1,7
Teneur en eau	44,44	30,00	17,65
WP(%)	30,70		

3^{eme} ESSAI ;

La limite de liquidité :

Tableau III-7 Détermination de la limite de liquidité de sol seul (3eme essai).

Nombre de coups	18		26		34	
Masse de la terre	5,38	5,46	5,43	5,46	5,49	5,48
Masse de la terre+sol humide	13,49	11,84	13,25	14,73	12,08	12,17
Masse de la terre + sol sec	10,71	9,63	10,59	11,6	9,87	9,94
Masse d'eau	2,78	2,21	2,66	3,13	2,21	2,23
Masse de sol sec	5,33	4,17	5,16	6,14	4,38	4,46
Teneur en eau	52,16	53,00	51,55	50,98	50,46	50,00
Moyenne	52,58		51,26		50,23	
W _L (%) Courbe	51,50					

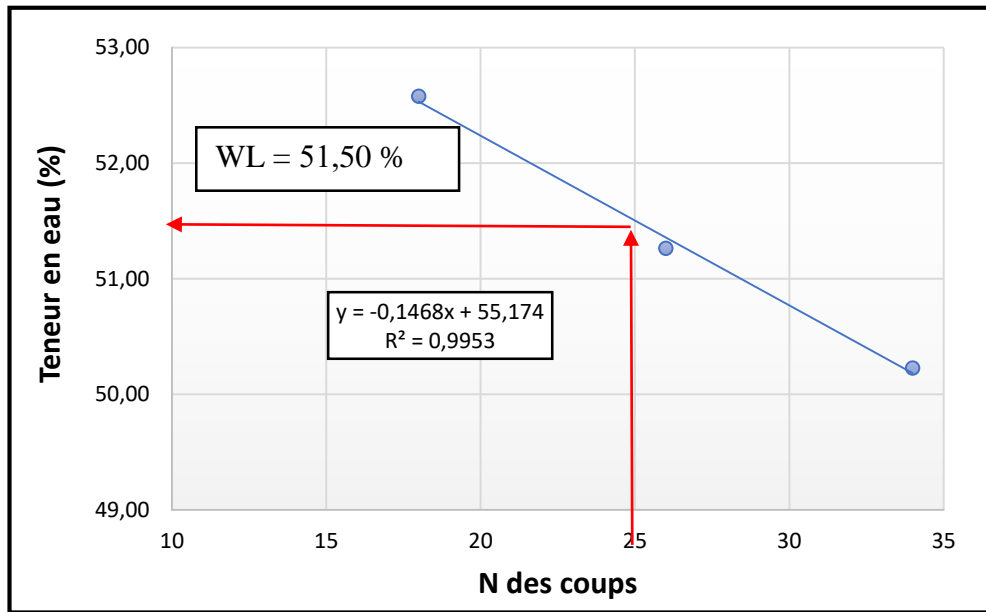


Figure III.4 Courbe de la limite de liquidité (3eme essai).

La limite de plasticité

Tableau III-8 Valeurs trouvées de la limite de plasticité sol seul (3eme essai)

Masse de la tarre	3,74	3,73	3,67
Masse de la tarre+sol humide	5,07	4,75	4,69
Masse de la tarre + sol sec	4,82	4,52	4,43
Masse d'eau	0,25	0,23	0,26
Masse de sol sec	1,08	0,79	0,76
Teneur en eau	23,15	29,11	34,21
WP(%)	28,82		

Récapitulation des résultats :

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

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

	1 essai	2 essai	3 essai	moyenne
WL	50,53	53,36	51,38	51,76
WP	28,07	30,69	28,82	29,19
Ip	22,46	22,67	22,56	22,56

➤ Classification du sol selon le diagramme de Casagrande (Philipponnat et Hubert.1997).

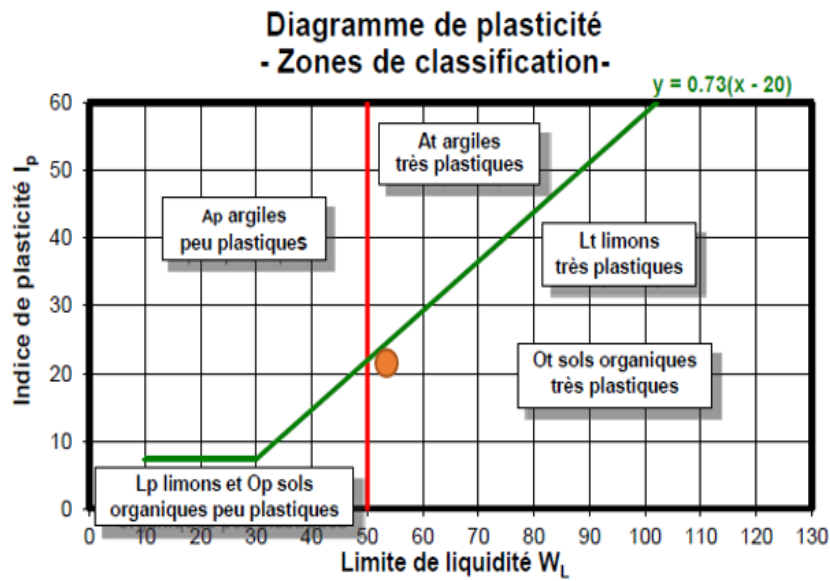


Figure III.5 Classification du sol selon le diagramme de Casagrande (Philipponnat et Hubert.1997).

Conclusion : À partir des résultats trouvés à partir de l'essai et le diagramme de Casagrande (Philipponnat et Hubert.1997), on remarque que notre sol « vase » se classe parmi les sols **limon ou un sol organique très plastique**.

Tableau III-9 Relation entre le gonflement libre et l'indice de plasticité (Seed et al. 1962), (sol seul).

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

Conclusion : À partir du Tableau on peut dire que notre sol est un sol « **à potentiel élevé de gonflement** ».

❖ 2^{ème} méthode La limite de liquidité par pénétration à cône selon la norme (selon la norme : British Standard-BS 1377)

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

Tableau III-10 Tableau III 8 Détermination de la limite de liquidité par le pénétromètre à cône (sol seul).

enfoncement (mm)	15,11	18,32	23,95	30,21
Masse de la tarre	5,48	5,55	5,48	5,48
Masse de la tarre+sol humide	16,32	18,8	15,51	15,64
Masse de la tarre + sol sec	12,92	14,52	12,02	11,99
Masse d'eau	3,4	4,28	3,49	3,65
Masse de sol sec	7,44	8,97	6,54	6,51
Teneur en eau (%)	45,70	47,71	53,36	56,07
WL(%) Courbe	49,35			

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

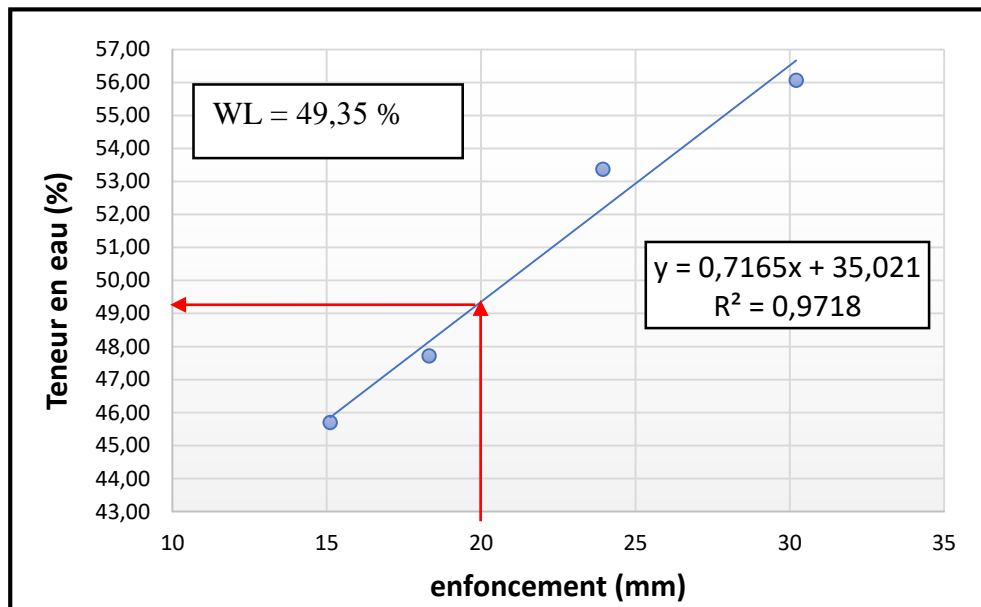


Figure III.6 Courbe de limite de liquidité par cône (sol seul).

Conclusion : La limite de liquidité est la teneur en eau qui correspond à une pénétration de 20mm,

Donc : $W_L = 49.35 \%$.

III.2.4. La masse volumique selon la norme NF P94-054

➤ La masse volumique (Absolu)

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

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

Les résultats sont regroupés dans le tableau

Tableau III-11 résultats de la masse volumique (sol seul).

m =50 g	essai1	essai2	essai3	essai4
V_1	120	120	120	150
V_2	144	144	70g/155	174
$V_1 - V_2$	24	24	35	24
ρ_{abs}	2.08	2.08	2	2.08
$\rho_{abs moy}$	2.06			

- ✓ V_1 : volume d'eau (cm^3)
- ✓ V_2 : volume d'eau après ajout le sol (cm^3) ;
- ✓ ρ_{abs} : la masse volumique absolue (g/cm^3) M_s : la masse de sol (g) ;

Conclusion : la vase de barrage de k'sob est de densité des grains solides égale à **2,06 g/cm³**

➤ **Méthode du pycnomètre à l'eau**

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

$$\rho_{abs} = \frac{P_1}{V} \rho_w$$

- ❖ P_1 : poids des du sol secs (g)
- ❖ P_2 : poids du pycnomètre plein d'eau (g)
- ❖ $P_3 = P_1 + P_2$
- ❖ $P_4 =$ poids du pycnomètre, du sol et de l'eau (g).
- ❖ Volume du sol $V = P_3 - P_4$
- ❖ ρ_w : masse volumique de l'eau conventionnellement prise égale à 1g/cm³.
- ❖ Les résultats obtenus par la méthode du Pycnomètre sont donnés au tableau

Tableau III-12 Résultats de l'essai au pycnomètre (sol seul).

	1 ^{er} essai	2 ^{eme} essai	3 ^{eme} essai
P_1	50	50	70
P_2	176.03	176.03	176.03
P_3	226.03	226.03	246.03
P_4	201.68	201.72	211.46
$V = p_3 - p_4$	24.35	24.31	34.57
ρ_{abs}	2.05	2.05	2.02
$\rho_{abs\ moy}$	2.03		

Conclusion : la vase de barrage de k'sob est de densité des grains solides égale à **2,03 g /cm³**

III.2.5. Bleu de méthylène NF P94-068 (VBS)

L'essai au bleu de méthylène est utilisé pour évaluer l'activité argileuse d'un matériau. Dans cette étude, cet essai est réalisé conformément à la norme NF P 94 068. Il consiste à déterminer la quantité de bleu de méthylène nécessaire pour recouvrir d'une couche monomoléculaire la surface des

particules d'un matériau en suspension dans l'eau. La capacité d'adsorption du matériau est évaluée à l'aide du test de la tâche. Ce test consiste à déposer une goutte de la suspension de sol sur un papier filtre normalisé, formant ainsi une tache de couleur bleue, entourée d'une zone humide généralement incolore. L'apparition d'une auréole d'un bleu clair dans cette zone indique un excès de bleu de méthylène, ce qui signifie un test positif.

Ce paramètre est utilisé dans la classification GTR (Guide Technique de Référence) pour caractériser les sols fins et distinguer les différentes familles de sols.

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

$$VBS = \frac{M_b}{M_s} \times 100 \qquad M_b = V \times 100$$

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

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

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

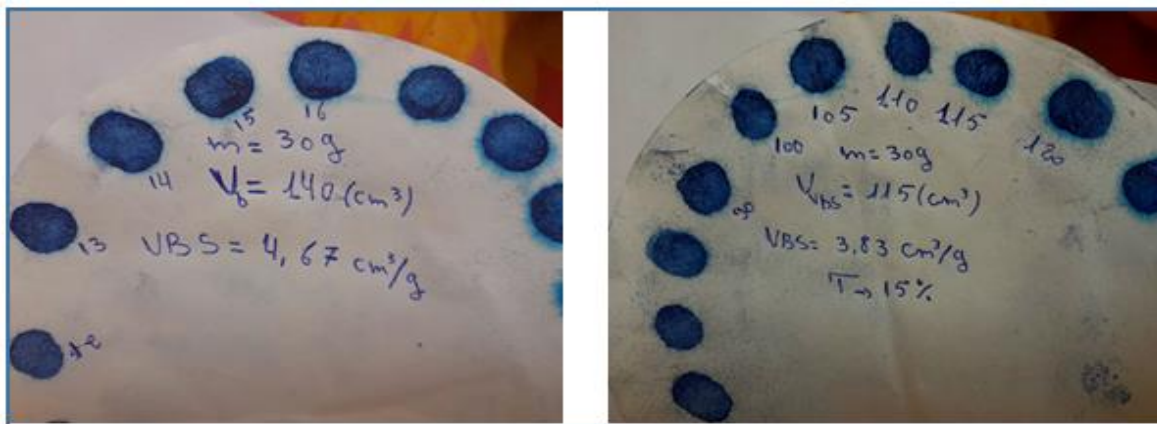


Figure III.7 Les résultats de l'essai VBS

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

Tableau III-13 résultats de l'essai au bleu (sol seul).

Essai	masse de sol	Masse d'eaux	VBS (cm ³ /g)	moyenne
1	30 g	500 ml	4,83	4,74
2	30 g	500 ml	4,73	
3	30 g	500 ml	4,67	

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

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

Tableau III-14 Classification des sols d'après Philipponat (sol seul).

La Valeur de bleu	Type de sol
$VBS < 0.2$	Sols sableux
$0.2 < VB < 2.5$	Sols limoneux
$2.5 < VB < 6$	Sols limoneux argileux
$6 < VB < 8$	Sols argileux
$VB > 8$	Sols très argileux

Conclusion : D'après la classification de Philipponat la valeur du bleu de notre vase égale 4,74 ($2,5 < V_B < 6$). Notre sol appartient donc à la classe des « **sols limoneux argileux** ».

III.3. Échantillon vase +05% déchet de brique

III.3.1. Analyse granulométrique selon la norme NF P18-560

Les résultats obtenus de l'analyse granulométrique pour le mélange vase avec déchet de brique sont résumés dans le tableau suivant :

1^{er} essai :

Tableau III-15 Résultats des essais analyse granulométrique (Vase + 05% déchet de brique 0.08mm).

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulé	Pourcentage Refus	Pourcentage passant	Observations
4	0	0	0	100,00	100
2	2,45	2,45	0,49	99,51	99,51
1.25	2,06	4,51	0,902	99,098	99,10
0.63	2,94	7,45	1,49	98,51	98,51
0.315	8,22	15,67	3,134	96,866	96,87
0.2	13,87	29,54	5,91	94,09	94,09
0.08	21,15	50,69	10,14	89,86	89,86

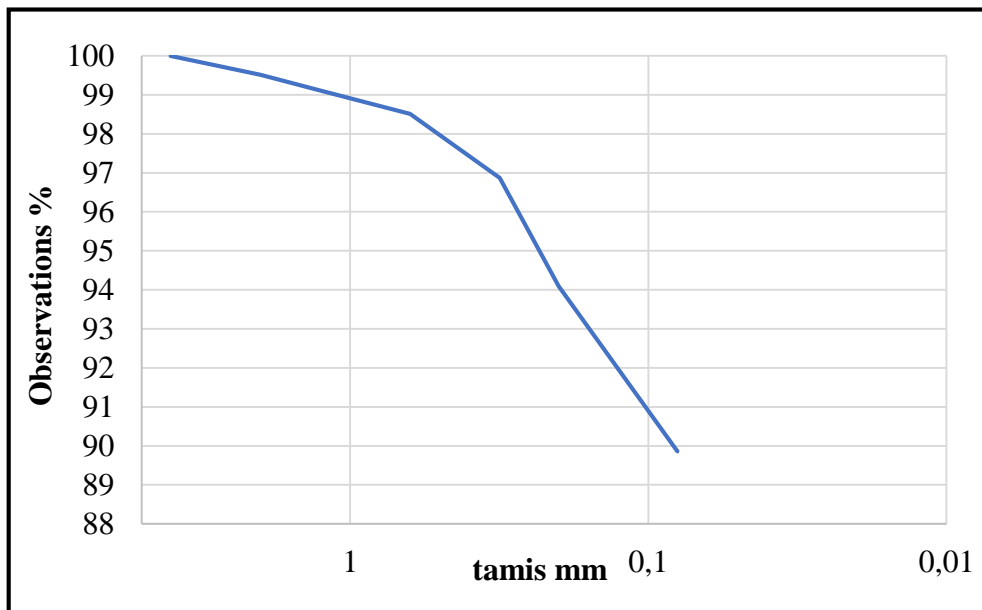


Figure III.8 Courbe de l'essai analyse granulométrique (vase + 05 déchet de brique 0.08mm).

2^{eme} essai

Tableau III-16 Résultats des essais analyse granulométrique

(Vase + 05% déchet de brique 2mm).

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulé	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
4	0	0	0	100,00	100
2	2,57	2,57	0,26	99,74	99,74
1,250	6,06	8,63	0,863	99,137	99,14
0,630	19,74	28,37	2,837	97,16	97,16
0,315	21,81	50,18	5,018	94,982	94,98
0,200	28,81	78,99	7,90	92,10	92,10
0,080	39,12	118,11	11,81	88,19	88,19

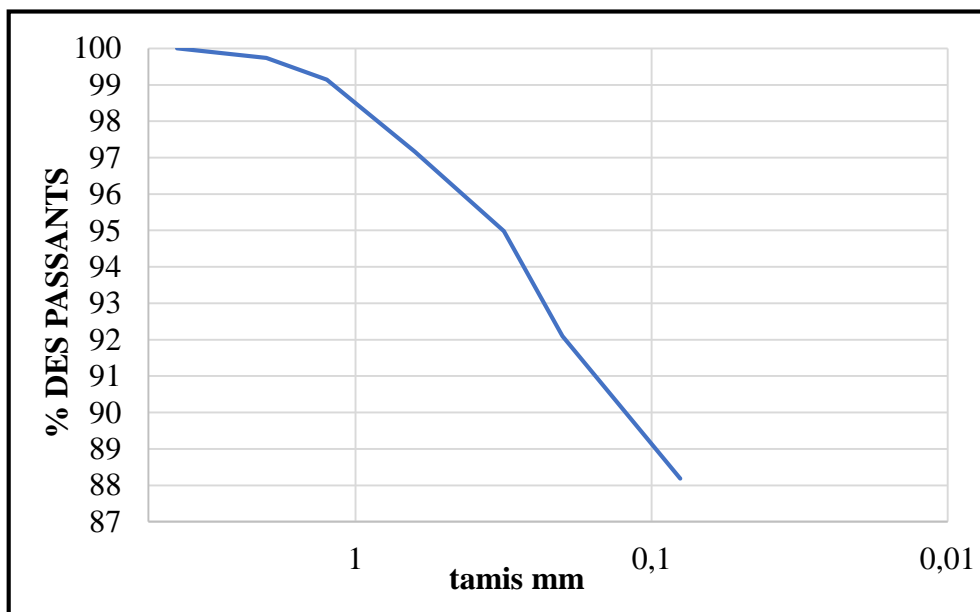


Figure III.9 Courbe de l'essai analyse granulométrique(vase + 05 déchet de brique 2mm).

III.3.2. Limites d’Atterberg selon la norme NF P94-051 ;

Les résultats obtenus de l'essai limites d'atterberg pour le mélange vase avec déchet de brique sont résumés suivant :

1^{ère} méthode

1^{er} essai

La limite de liquidité

Tableau III-17 Limite de liquidité (Vase + 05 % déchet de brique), (1er essai).

Nombre de coups	19		28		34	
Masse de la terre	5,47	5,62	5,47	5,43	5,41	5,47
Masse de la terre+sol humide	15,23	16,76	13,96	12,81	16,47	14,27
Masse de la terre + sol sec	11,98	13,01	11,18	10,39	12,87	11,44
Masse d'eau	3,25	3,75	2,78	2,42	3,6	2,83
Masse de sol sec	6,51	7,39	5,71	4,96	7,46	5,97
Teneur en eau	49,92	50,74	48,69	48,79	48,26	47,40
Moyenne	50,33		48,74		47,83	
WL(%) Courbe	49,30					

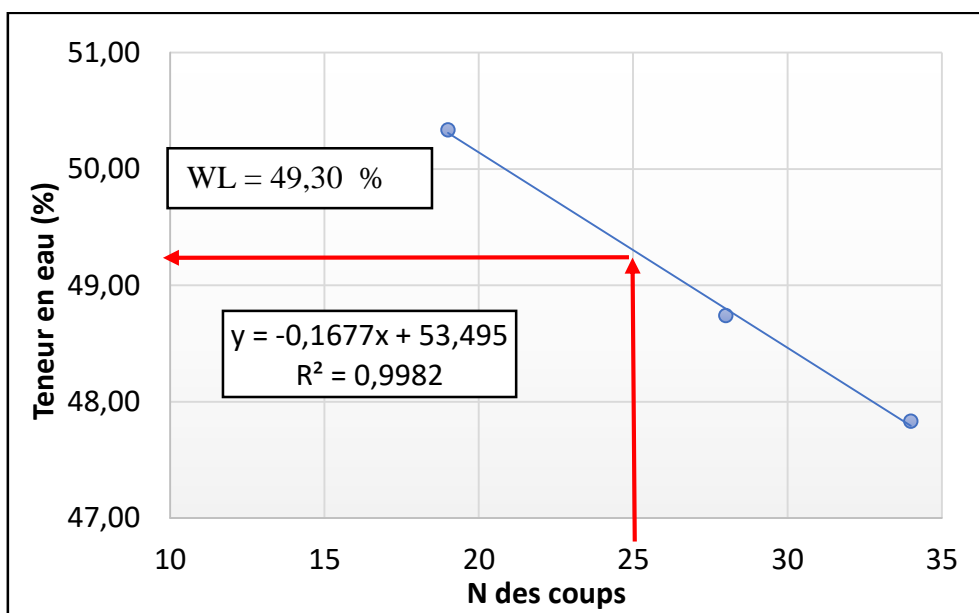


Figure III.10 Courbe Limites de liquidité (Vase + 05 % déchet de brique),(1er essai)

La limite de plasticité**Tableau III-18 la limite de plasticité (vase + 05% déchet de brique) (1er essai).**

Masse de la terre	3,74	3,73	3,67
Masse de la terre+sol humide	5,01	4,67	4,69
Masse de la terre + sol sec	4,76	4,47	4,43
Masse d'eau	0,25	0,2	0,26
Masse de sol sec	1,02	0,74	0,76
Teneur en eau	24,51	27,03	34,21
WP(%)	28,58		

2^{eme} essai**La limite de liquidité****Tableau III-19 Limite de liquidité (Vase + 05 % déchet de brique),(2eme essai).**

Nombre de coups	19		27		34	
Masse de la terre	10,18	10,28	10,11	10,08	10,22	10,29
Masse de la terre+sol humide	19,77	19,19	24,69	25,4	20,95	19,43
Masse de la terre + sol sec	16,55	16,18	19,93	20,43	17,49	16,47
Masse d'eau	3,22	3,01	4,76	4,97	3,46	2,96
Masse de sol sec	6,37	5,9	9,82	10,35	7,27	6,18
Teneur en eau	50,55	51,02	48,47	48,02	47,59	47,90
Moyenne	50,78		48,25		47,74	
WL(%) Courbe	49,27					

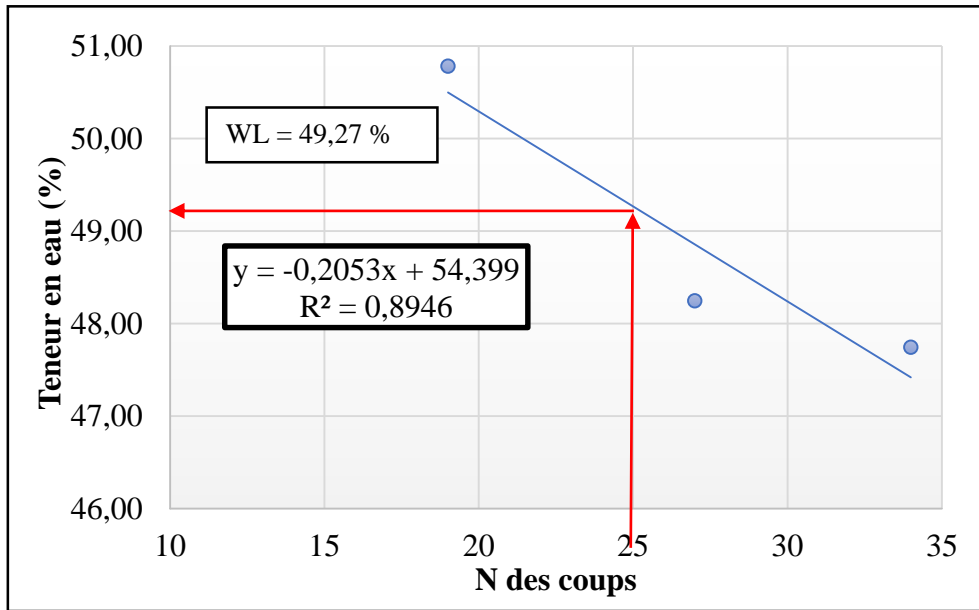


Figure III.11 Courbe Limites de liquidité (Vase + 05 % déchet de brique),(2eme essai).

LA LIMITE DE PLASTICITE

Tableau III-20 Valeurs trouvées de la limite de plasticité (Vase + 05 déchet de brique) (2eme essai).

Masse de la terre	4,58	4,63	3,5
Masse de la terre+sol humide	6,11	5,9	4,77
Masse de la terre + sol sec	5,79	5,62	4,5
Masse d'eau	0,32	0,28	0,27
Masse de sol sec	1,21	0,99	1
Teneur en eau	26,45	28,28	27,00
WP(%)	27,24		

3^{eme} essai

La limite de liquidité

Tableau III-21 Limite de liquidité (Vase + 05 % déchet de brique), (3eme essai).

Nombre de coups	17		27		34	
Masse de la terre	16,5	16,7	16,4	16,5	16,7	16,5
Masse de la terre+sol humide	27	25,6	25,18	25,9	24,44	25,43
Masse de la terre + sol sec	23,5	22,6	22,27	22,8	21,95	22,5
Masse d'eau	3,5	3	2,91	3,1	2,49	2,93
Masse de sol sec	7	5,9	5,87	6,3	5,25	6
Teneur en eau	50,00	50,85	49,57	49,21	47,43	48,83
Moyenne	50,42		49,39		48,13	
WL(%) Courbe	49,45					

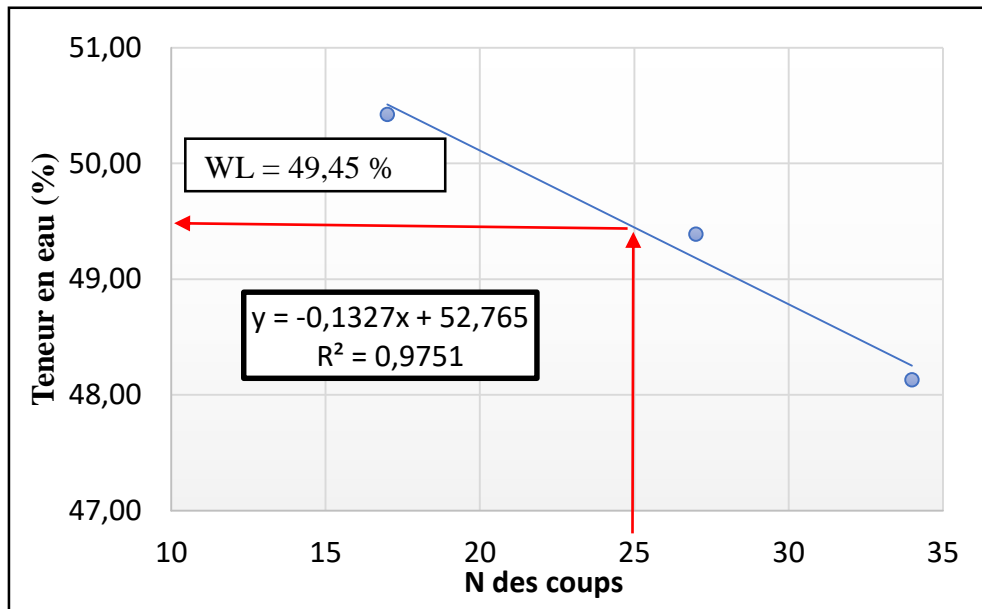


Figure III.12 Courbe Limites de liquidité (Vase + 05 % déchet de brique),(3 eme essai).

La limite de plasticité**Tableau III-22 Valeurs trouvées de la limite de plasticité (Vase + 05 déchet de brique) (3 eme essai).**

Masse de la terre	3,74	3,73	3,67
Masse de la terre+sol humide	5,01	4,67	4,69
Masse de la terre + sol sec	4,76	4,47	4,43
Masse d'eau	0,25	0,2	0,26
Masse de sol sec	1,02	0,74	0,76
Teneur en eau	24,51	27,03	34,21
Wp(%)	28,58		

Récapitulation des résultats :

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

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

	1 essai	2 essai	3 essai	moyenne
WL	49,18	49,12	49,31	49,20
WP	28,75	27,24	28,58	28,19
Ip	20,43	21,88	20,73	21,01

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

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

Tableau III-23 Détermination de la limite de liquidité par le pénétromètre à cône

(vase + 05 déchet de brique).

enfoncement (mm)	12,15	14,42	21,53	24,95	26,16
Masse de la terre	5,54	5,45	5,53	4,67	4,72
Masse de la terre+sol humide	12,92	14,34	17,49	12,78	14,42
Masse de la terre + sol sec	10,78	11,69	13,55	10,04	11,07
Masse d'eau	2,14	2,65	3,94	2,74	3,35
Masse de sol sec	5,24	6,24	8,02	5,37	6,35
Teneur en eau (%)	40,84	42,47	49,13	51,02	52,76
WL(%) Courbe	47,38				

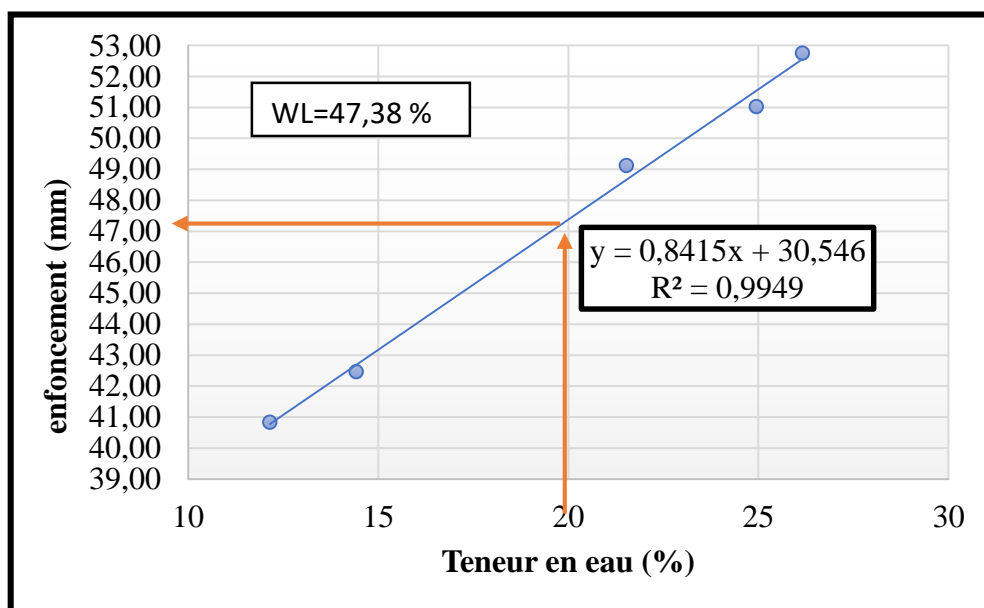


Figure III.13 Courbe de limite de liquidité par cône (vase + 05 déchet de brique).

Conclusion : La limite de liquidité est la teneur en eau qui correspond à une pénétration de 20mm, Donc : $W_L = 47.38 \%$.

III.3.3. La masse volumique selon la norme NF P94-054

Les résultats obtenus de l'essai masse volumique pour le mélange vase avec déchet de brique sont résumés suivant :

➤ **La masse volumique (Absolu) ;**

Les résultats sont regroupés dans le tableau ;

Tableau III-24 résultats de la masse volumique (vase + 05% déchet de brique).

m =50 g	essai1	essai2	essai3	essai4
V ₁	120	120	120	150
V ₂	144	144	70g/155	173
V ₁ - V ₂	24	24	34	23
ρ_{app}	2.08	2.08	2.05	2.17
$\rho_{app moy}$	2.10			

Conclusion : la vase de barrage de k'sob est de densité des grains solides égale à **2,1 g /cm³**.

➤ **Méthode du pycnomètre à l'eau**

Les résultats sont regroupés dans le tableau ;

Tableau III-25 Résultats de l'essai au pycnomètre (vase + 05% déchet de brique).

	1 ^{er} essai	2 ^{er} essai	3 ^{er} essai
P ₁	50	50	70
P ₂	176.03	176.03	176.03
P ₃	226.03	226.03	246.03
P ₄	202.71	202.54	212.34
V= p ₃ - p ₄	23.32	23.49	33.69
ρ_{abs}	2.14	2.13	2.07
$\rho_{abs moy}$	2.11		

Conclusion : la vase de barrage de k'sob est de densité des grains solides égale à **2,11 g/cm³**.

III.3.4. Bleu de méthylène NF P94-068 (VBS)

Les résultats obtenus de l'essai bleu de méthylène pour le mélange vase avec déchet de brique sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III-26 résultats de l'essai au bleu (vase + 05 % déchet de brique).

Essai	masse de sol	Masse d'eaux	VBS (cm ³ /g)	moyenne
1	30	130	4,33	4,33
2	30	135	4,50	
3	30	125	4,17	

Conclusion : D'après la classification de philipponat la valeur du bleu de la vase + 05 % déchet de brique égale 4,33 , ($2,5 < VB < 6$). Notre sol appartient donc à la classe des «sols **limoneux argileux**».

III.4. Échantillon Vase + 10% déchet de brique

III.4.1. Analyse granulométrique selon la norme NF P18-560

1^{er} essai :

Tableau III-27 Résultats des essais analyse granulométrique (vase + 10% déchet de brique 0.08mm).

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulé	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
4	0	0	0,00	100,00	100,00
2,00	2,24	2,24	0,45	99,55	99,55
1,250	1,71	3,95	0,79	99,21	99,21
0,630	2,63	6,58	1,32	98,68	98,68
0,315	7,77	14,35	2,87	97,13	97,13
0,200	11,91	26,26	5,25	94,75	94,75
0,080	19,99	46,25	9,25	90,75	90,75

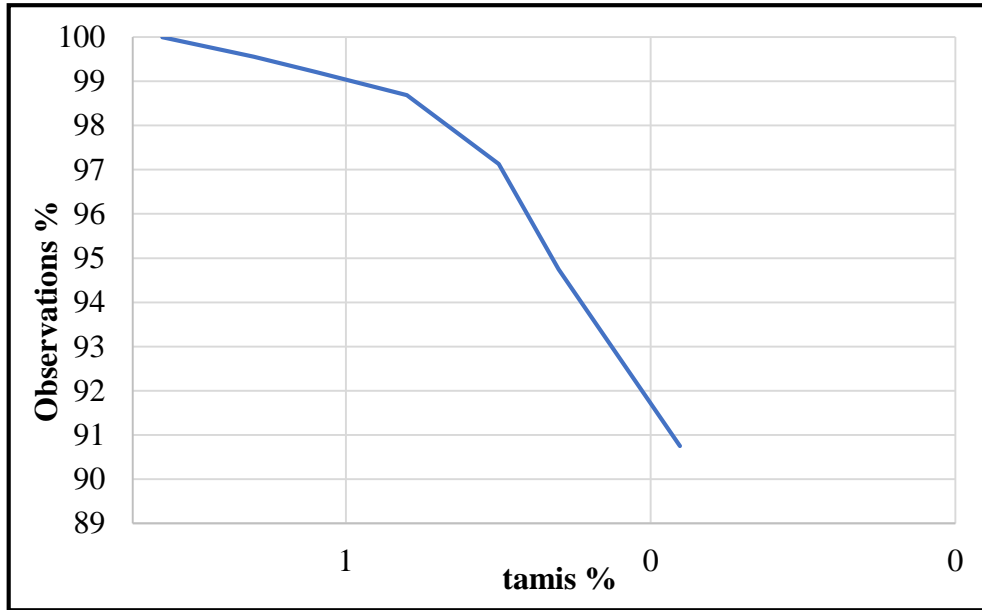


Figure III.14 Courbe de l'essai analyse granulométrique (vase+10 déchet de brique 0.08mm).

2^{eme} essai :

Tableau III-28 Résultats des essais analyse granulométrique (vase + 10% déchet de brique 2mm).

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulé	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
4	0	0	0,00	100,00	100,00
2,00	2,66	2,66	0,27	99,73	99,73
1,250	9,65	12,31	1,23	98,769	98,77
0,630	29,34	41,65	4,17	95,84	95,84
0,315	27,81	69,46	6,95	93,054	93,05
0,200	34,89	104,35	10,44	89,57	89,57
0,080	45,85	150,2	15,02	84,98	84,98

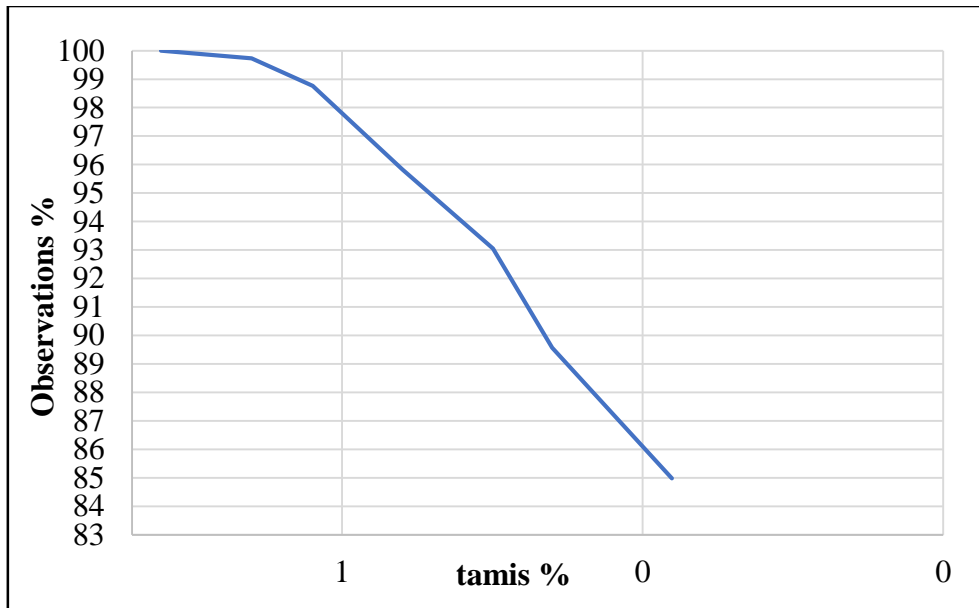


Figure III.15 Courbe de l'essai analyse granulométrique (vase + 10 déchet de brique 2mm).

III.4.2. Les limites d'atterberg selon la norme NF P94-051

1^{ère} méthode

1^{er} essai

La limite de liquidité

Tableau III-29 Limite de liquidité (Vase + 10 % déchet de brique),(1er essai).

Nombre de coups	19		26		33	
Masse de la terre	5,47	5,37	5,53	5,59	5,44	5,41
Masse de la terre+sol humide	16,77	17,97	15,4	18,32	18,92	18,53
Masse de la terre + sol sec	13,03	13,79	12,22	14,2	14,7	14,41
Masse d'eau	3,74	4,18	3,18	4,12	4,22	4,12
Masse de sol sec	7,56	8,42	6,69	8,61	9,26	9
Teneur en eau	49,47	49,64	47,53	47,85	45,57	45,78
Moyenne	49,56		47,69		45,68	
WL(%) Courbe	47,92					

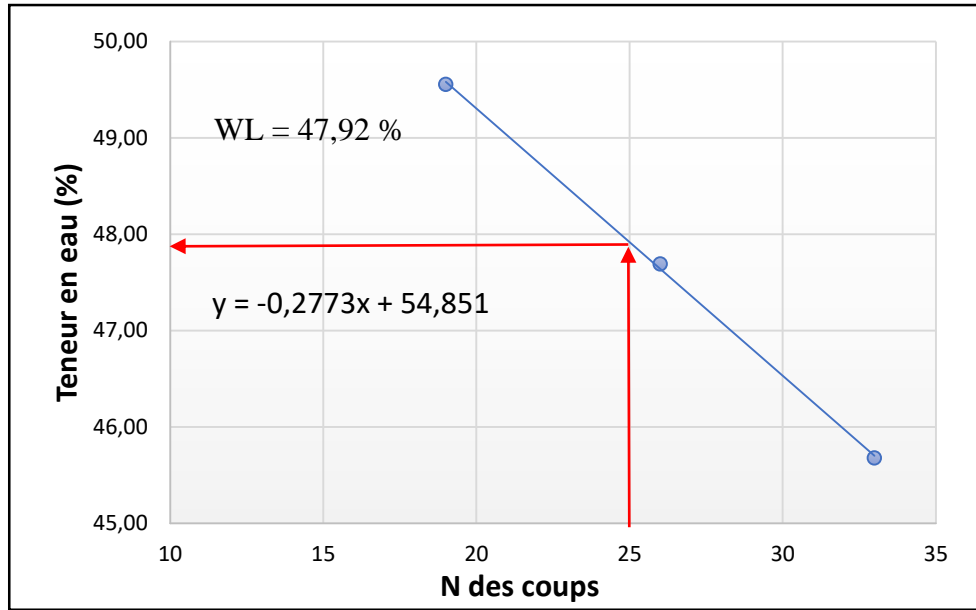


Figure III.16 Courbe Limites de liquidité (Vase + 10 % déchet de brique), (1er essai).

La limite de plasticité

Tableau III-30 Valeurs trouvées de la limite de plasticité

(vase + 10 déchet de brique) (1^{er} essai).

Masse de la terre	4,65	4,71	4,66
Masse de la terre+sol humide	5,98	6,18	6,33
Masse de la terre + sol sec	5,7	5,86	5,97
Masse d'eau	0,28	0,32	0,36
Masse de sol sec	1,05	1,15	1,31
Teneur en eau	26,67	27,83	27,48
WP(%)	27,32		

2^{eme} essai

La limite de liquidité

Tableau III-31 Limite de liquidité (Vase + 10 % déchet de brique),(2eme essai).

Nombre de coups	19		26		33	
Masse de la terre	5,37	5,47	5,41	5,44	5,59	5,53
Masse de la terre+sol humide	17,97	16,77	19,08	18,27	18,22	15,2
Masse de la terre + sol sec	13,79	13,03	14,7	14,12	14,2	12,22
Masse d'eau	4,18	3,74	4,38	4,15	4,02	2,98
Masse de sol sec	8,42	7,56	9,29	8,68	8,61	6,69
Teneur en eau	49,64	49,47	47,15	47,81	46,69	44,54
Moyenne	49,56		47,48		45,62	
WL(%) Courbe	47,83					

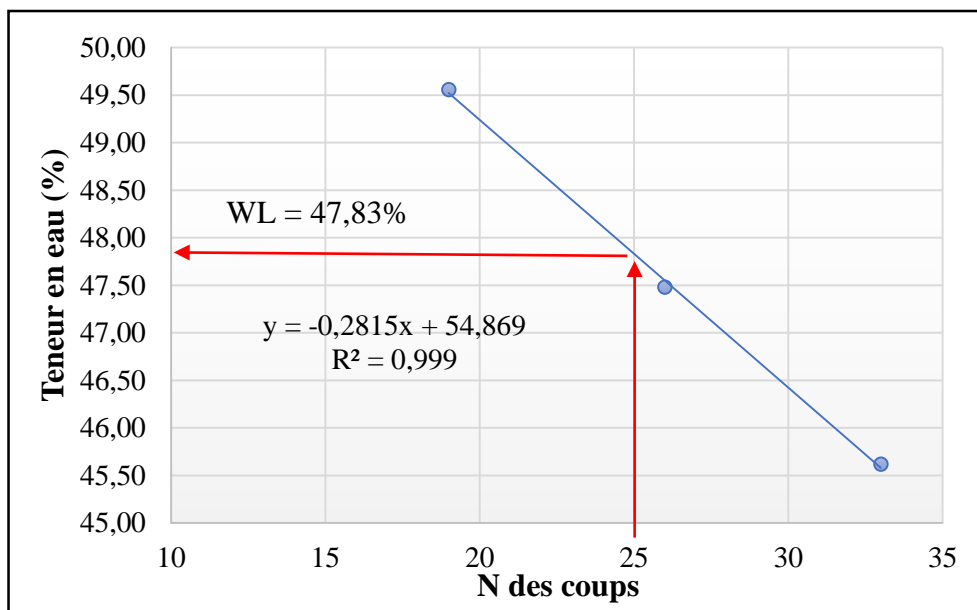


Figure III.17 Courbe Limites de liquidité (Vase + 10 % déchet de brique),(2eme essai)

La limite de plasticité**Tableau III-32 Valeurs trouvées de la limite de plasticité (Vase + 10 déchet de brique) (2^{eme} essai).**

Masse de la terre	3,76	3,74	3,65
Masse de la terre+sol humide	5,13	5,1	5,18
Masse de la terre + sol sec	4,83	4,81	4,85
Masse d'eau	0,3	0,29	0,33
Masse de sol sec	1,07	1,07	1,2
Teneur en eau	28,04	27,10	27,50
WP(%)	27,55		

3^{eme} essai**La limite de liquidité****Tableau III-33 Limite de liquidité (Vase + 10 % déchet de brique),(3^{eme} essai).**

Nombre de coups	18		27		33	
Masse de la terre	10,19	10,21	5,54	5,46	5,5	5,48
Masse de la terre+sol humide	21,07	20,38	15,68	12,36	14,31	15,44
Masse de la terre + sol sec	17,47	17,04	12,42	10,16	11,54	12,32
Masse d'eau	3,6	3,34	3,26	2,2	2,77	3,12
Masse de sol sec	7,28	6,83	6,88	4,7	6,04	6,84
Teneur en eau	49,45	48,90	47,38	46,81	45,86	45,61
Moyenne	49,18		47,10		45,74	
WL(%) Courbe	47,57					

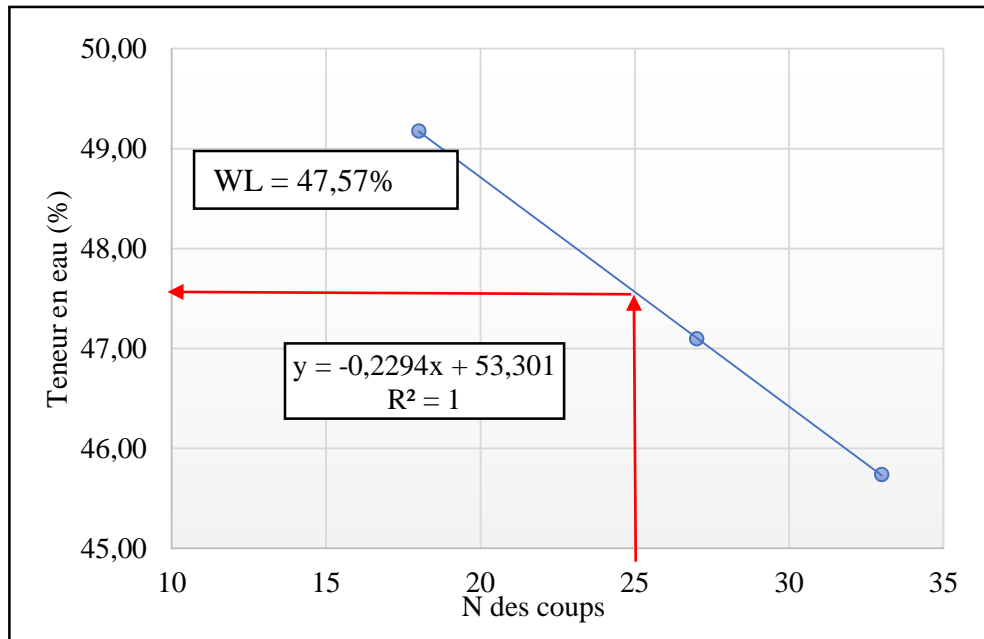


Figure III.18 Courbe Limites de liquidité (Vase + 10 % déchet de brique),(3eme essai).

La limite de plasticité

Tableau III-34 Valeurs trouvées de la limite de plasticité (Vase + 10 déchet de brique) (3^{eme} essai).

Masse de la terre	4,65	4,71	4,66
Masse de la terre+sol humide	5,95	6,15	6,4
Masse de la terre + sol sec	5,7	5,86	5,97
Masse d'eau	0,25	0,29	0,43
Masse de sol sec	1,05	1,15	1,31
Teneur en eau	23,81	25,22	32,82
Wp(%)	27,28		

Écapitulation des résultats :

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

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

	1 essai	2 essai	3 essai	moyenne
WL	47,92	47,83	47,57	47,77
WP	27,32	27,55	27,28	27,38
Ip	20,6	20,28	20,29	20,39

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

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

Tableau III-35 Courbe de limite de liquidité par cône (vase + 10% déchet de brique).

enfoncement (mm)	11,16	17,17	22,38	28,09
Masse de la terre	5,59	5,53	5,55	5,5
Masse de la terre+sol humide	14,94	16,96	15,52	18,58
Masse de la terre + sol sec	12,23	13,48	12,3	14,23
Masse d'eau	2,71	3,48	3,22	4,35
Masse de sol sec	6,64	7,95	6,75	8,73
Teneur en eau	40,81	43,77	47,70	49,83
WL(%) Courbe	45,70			

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

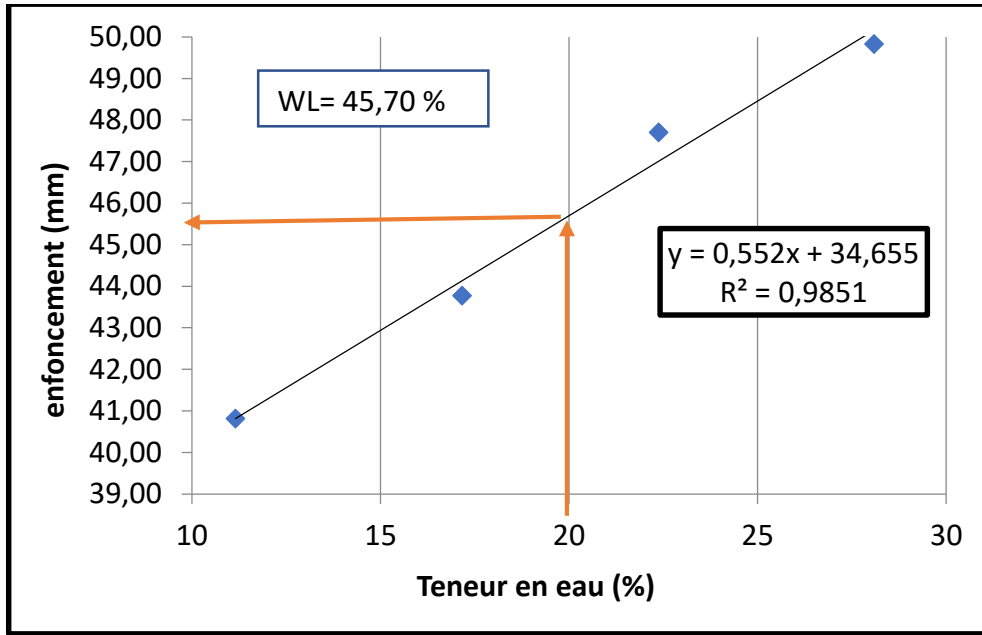


Figure III.19 Courbe de limite de liquidité par cône (vase + 10 déchet de brique).

Conclusion : La limite de liquidité est la teneur en eau qui correspond à une pénétration de 20mm, Donc : $W_L = 45.70 \%$.

III.4.3. La masse volumique selon la norme NF P94-054

Les résultats obtenus de l'essai masse volumique pour le mélange vase avec déchet de brique sont résumés suivant :

➤ **La masse volumique (Absolu)**

Les résultats sont regroupés dans le tableau

Tableau III-36 résultats de la masse volumique (vase + 10% déchet de brique).

m =50 g	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4
V ₁	120	120	120	150
V ₂	143	144	70g/153	174
V ₁ - V ₂	23	24	33	23
ρ_{abs}	2.17	2.08	2.12	2.17
$\rho_{abs\ moy}$	2.14			

Conclusion : la vase de barrage de k'sob est de densité des grains solides égale à **2,14 g/cm³**.

➤ **Méthode du pycnomètre à l'eau**

Les résultats sont regroupés dans le tableau

Tableau III-37 Résultats de l'essai au pycnomètre (vase + 10% déchet de brique).

	1 ^{er} essai	2 ^{eme} essai	3 ^{eme} essai
P ₁	50	50	70
P ₂	176.03	176.03	176.03
P ₃	226.03	226.03	246.03
P ₄	202.78	202.86	212.57
V= p ₃ - p ₄	23.25	23.17	33.46
$\rho_{abs}=p_1/V$	2.16	2.15	2.09
$\rho_{abs moy}$	2.14		

Conclusion : la vase de barrage de k'sob est de densité des grains solides égale à **2,14 g/cm³**.

III.4.4. Bleu de méthylène NF P94-068 (VBS) ;

Les résultats obtenus de l'essai bleu de méthylène pour le mélange vase avec déchet de brique sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III-38 résultats de l'essai au bleu (vase + 10% déchet de brique).

essai	Masse de sol	Volume de bleu	VBS	VBS _{moy}
1	30	127	4,23	4,00
2	30	117	3,90	
3	30	116	3,87	

Conclusion : D'après la classification de philipponat la valeur du bleu de la vase + 10 % déchet de brique égale 4,00 , (2,5<VB<6). Notre sol appartient donc à la classe des « **sols limoneux argileux** ».

III.5. Échantillon Vase + 15% déchet de brique

III.5.1. Analyse granulométrique selon la norme NF P18-560

Tableau III-39 Résultats des essais analyse granulométrique (Vase + 15% déchet de brique 0.08mm).

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulé	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
4	0	0	0,00	100,00	100,00
2	2,13	2,13	0,43	99,57	99,57
1,250	1,41	3,54	0,71	99,29	99,29
0,630	2,38	5,92	1,18	98,82	98,82
0,315	6,87	12,79	2,56	97,442	97,44
0,200	9,91	22,7	4,54	95,46	95,46
0,080	17,09	39,79	7,96	92,04	92,04

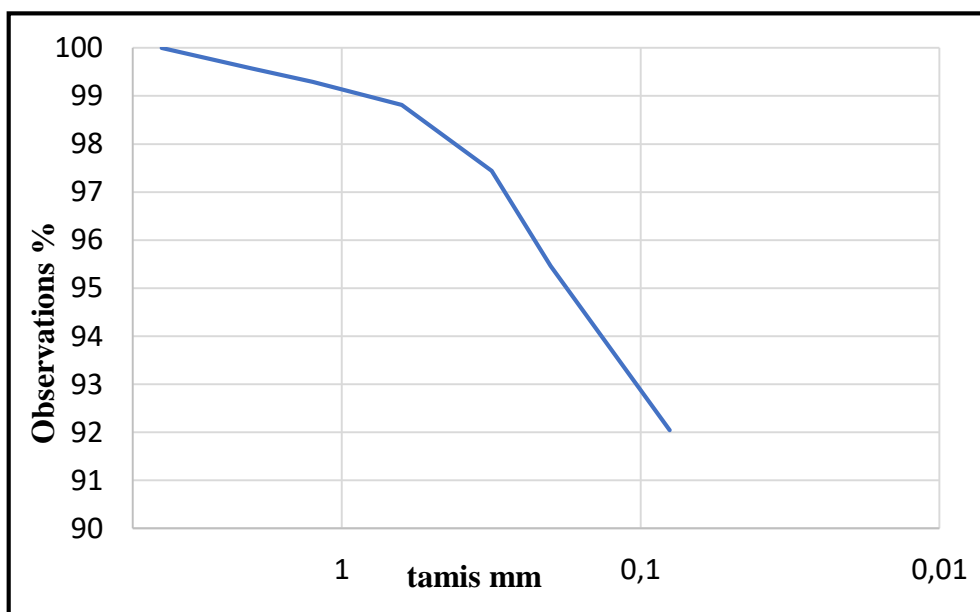


Figure III.20 Courbe de l'essai analyse granulométrique (vase + 15 %déchet de brique 2mm).

2^{eme} essai :

Tableau III-40 Résultats des essais analyse granulométrique (vase + 15% déchet de brique 2mm).

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulé	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
4	0	0	0	100,00	100
2	2,75	2,75	0,28	99,73	99,73
1,250	14,06	16,81	1,681	98,319	98,32
0,630	38,74	55,55	5,555	94,45	94,45
0,315	34,12	89,67	8,967	91,033	91,03
0,200	39,97	129,64	12,96	87,04	87,04
0,080	51,82	181,46	18,15	81,85	81,85

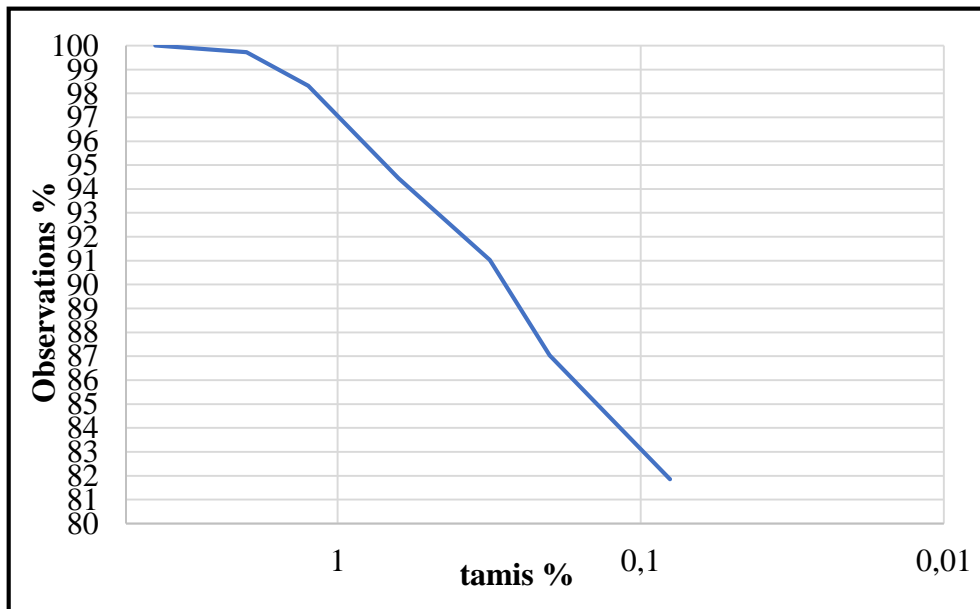


Figure III.21 Courbe de l'essai analyse granulométrique (vase + 15% déchet de brique 2mm).

III.5.2. Les limites d’atterberg selon la norme NF P94-051

1^{ère} méthode

1^{er} essai

La limite de liquidité

Tableau III-41 Limite de liquidité (Vase + 15 % déchet de brique), (1er essai).

Nombre de coups	20		28		34	
Masse de la terre	5,4	5,5	5,43	5,44	5,59	5,53
Masse de la terre+sol humide	16,79	20,77	19,62	18,23	17,3	15,76
Masse de la terre + sol sec	13,17	15,9	15,25	14,26	13,8	12,71
Masse d'eau	3,62	4,87	4,37	3,97	3,5	3,05
Masse de sol sec	7,77	10,4	9,82	8,82	8,21	7,18
Teneur en eau	46,59	46,83	44,50	45,01	42,63	42,48
Moyenne	46,71		44,76		42,56	
WL(%) Courbe	45,36					

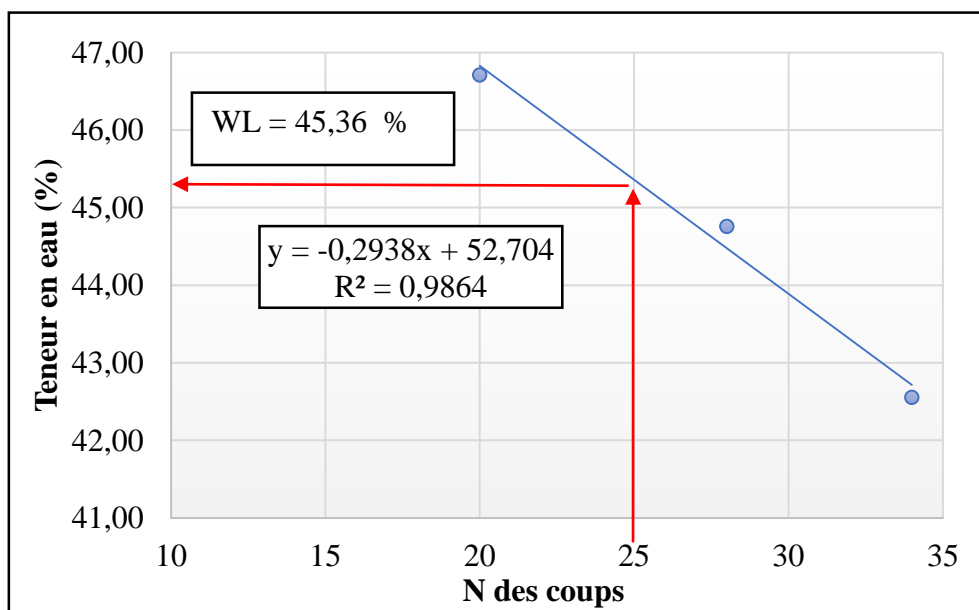


Figure III.22 Courbe Limites de liquidité (Vase + 15 % déchet de brique), (1er essai).

La limite de plasticité :*Tableau III-42 Valeurs trouvées de la limite de plasticité (Vase + 15 déchet de brique) (1er essai).*

Masse de la terre	3,76	3,65	3,74
Masse de la terre+sol humide	4,87	4,59	4,72
Masse de la terre + sol sec	4,64	4,4	4,51
Masse d'eau	0,23	0,19	0,21
Masse de sol sec	0,88	0,75	0,77
Teneur en eau	26,14	25,33	27,27
WP(%)	26,25		

2^{eme} essai ;**La limite de liquidité ;***Tableau III-43 Limite de liquidité (Vase + 15 % déchet de brique),(2eme essai).*

Nombre de coups	19		26		34	
Masse de la terre	5,54	5,53	5,49	5,46	5,48	5,43
Masse de la terre+sol humide	21,33	18,88	18,81	19,48	17,71	18,31
Masse de la terre + sol sec	16,24	14,59	14,64	15,08	13,98	14,41
Masse d'eau	5,09	4,29	4,17	4,4	3,73	3,9
Masse de sol sec	10,7	9,06	9,15	9,62	8,5	8,98
Teneur en eau	47,57	47,35	45,57	45,74	43,88	43,43
Moyenne	47,46		45,66		43,66	
WL(%) Courbe	45,93					

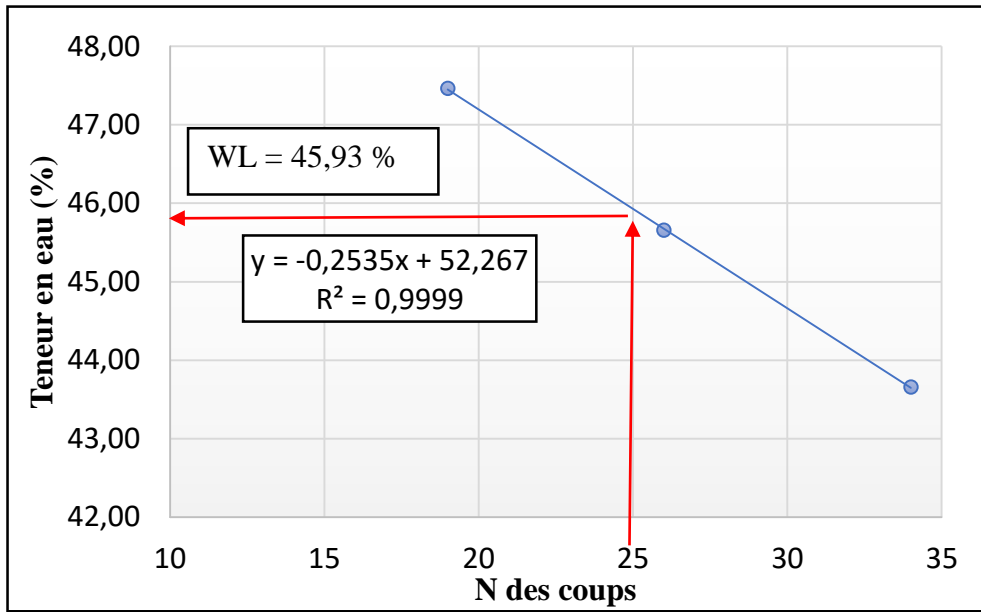


Figure III.23 Courbe Limites de liquidité (Vase + 15 % déchet de brique), (2eme essai).

La limite de plasticité :

Tableau III-44 Valeurs trouvées de la limite de plasticité (Vase + 15 déchet de brique) (2eme essai).

Masse de la terre	4,71	4,74	4,63
Masse de la terre+sol humide	5,61	5,69	5,66
Masse de la terre + sol sec	5,42	5,5	5,44
Masse d'eau	0,19	0,19	0,22
Masse de sol sec	0,71	0,76	0,81
Teneur en eau	26,76	25,00	27,16
WP(%)	26,31		

3^{eme} essai

La limite de liquidité

Tableau III-45 Limite de liquidité (Vase + 15 % déchet de brique),(3eme essai).

Nombre de coups	17		24		31	
Masse de la terre	5,42	5,58	5,48	5,54	5,53	5,43
Masse de la terre+sol humide	21,41	18,8	18,81	19,58	17,66	18,31
Masse de la terre + sol sec	16,24	14,59	14,64	15,08	13,98	14,41
Masse d'eau	5,17	4,21	4,17	4,5	3,68	3,9
Masse de sol sec	10,82	9,01	9,16	9,54	8,45	8,98
Teneur en eau	47,78	46,73	45,52	47,17	43,55	43,43
Moyenne	47,25		46,35		43,49	
WL(%) Courbe	45,43					

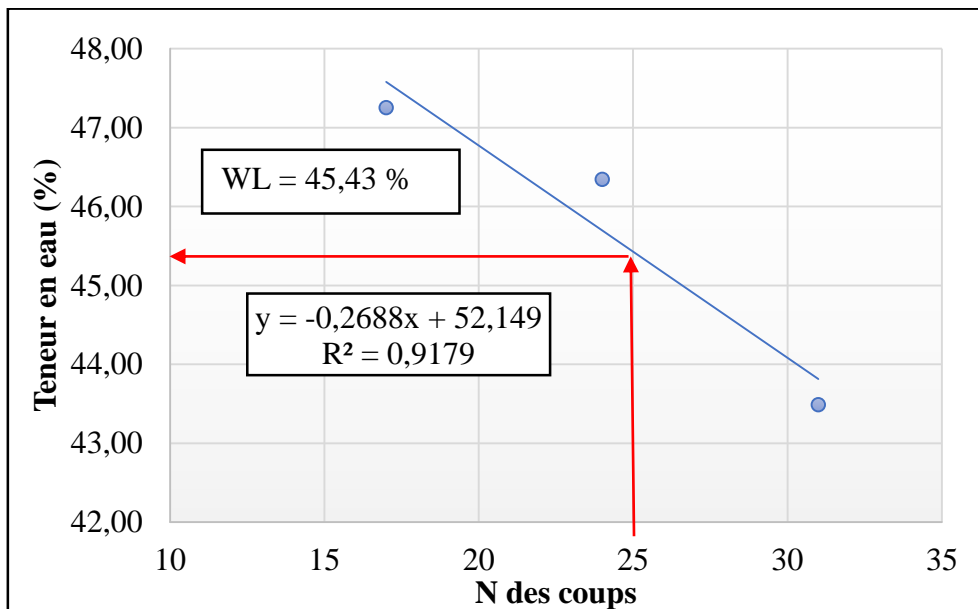


Figure III.24 Courbe Limites de liquidité (Vase + 15 % déchet de brique),(3eme essai).

La limite de plasticité :

Masse de la terre	3,59	3,5	4,63
Masse de la terre+sol humide	4,53	4,73	5,87
Masse de la terre + sol sec	4,34	4,47	5,61
Masse d'eau	0,19	0,26	0,26
Masse de sol sec	0,75	0,97	0,98
Teneur en eau	25,33333	26,80412	26,53061
WP(%)	26,22		

Écapitulation des résultats

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

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

	1 essai	2 essa	3 essai	moynne
WL	45,17	45,75	45,27	45,40
WP	26,25	26,31	26,22	26,26
Ip	18,92	19,44	19,05	19,14

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

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

Tableau III-46 Courbe de limite de liquidité par cône (vase + 15% déchet de brique).

	14,46	17,2	28,75	31,68
Masse de la terre	5,49	5,59	5,42	5,52
Masse de la terre+sol humide	14	16,9	18,76	17,17
Masse de la terre + sol sec	11,51	13,48	14,37	13,28
Masse d'eau	2,49	3,42	4,39	3,89
Masse de sol sec	6,02	7,89	8,95	7,76
Teneur en eau	41,36	43,35	49,05	50,13
WL(%) Courbe	44,45			

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

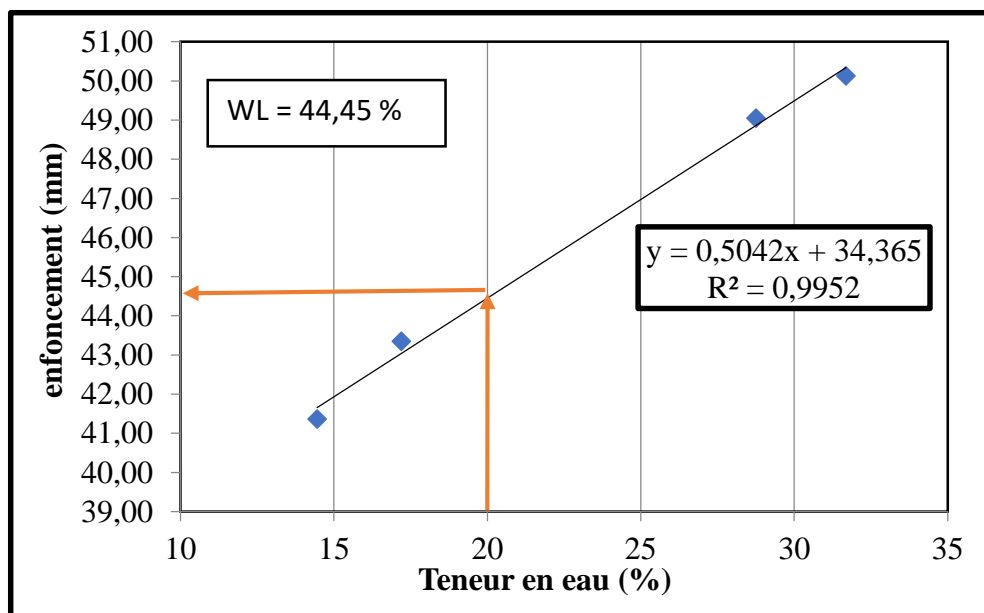


Figure III.25 Courbe de limite de liquidité par cône (vase + 15% déchet de brique).

Conclusion : La limite de liquidité est la teneur en eau qui correspond à une pénétration de 20mm,
Donc : $W_L = 44.45 \%$.

III.5.3. La masse volumique selon la norme NF P94-054

Les résultats obtenus de l'essai masse volumique pour le mélange vase avec déchet de brique sont résumés suivant :

➤ **La masse volumique (Absolu) ;**

Les résultats sont regroupés dans le tableau ;

Tableau III-47 résultats de la masse volumique (vase + 15 % déchet de brique).

m =50 g	essai1	essai2	essai3	essai4
V_1	120	120	120	150
V_2	142	143	70g/154	173
$V_1 - V_2$	23	23	32	23
ρ_{app}	2.17	2.17	2.18	2.17
$\rho_{app\ moy}$	2.17			

Conclusion : la vase de barrage de k'sob est de densité des grains solides égale à **2,17 g /cm³**.

➤ **Méthode du pycnomètre à l'eau**

Les résultats sont regroupés dans le tableau ;

Tableau III-48 Résultats de l'essai au pycnomètre (vase + 15 déchet de brique).

P_1	50	50	70
P_2	176.03	176.03	176.03
P_3	226.03	226.03	246.03

P_4	203.42	203.10	213.42
$V = p_3 - p_4$	22.61	22.93	32.61
$\rho_{abs} = p_1/V$	2.21	2.18	2.15
$\rho_{abs\ moy}$	2.18		

Conclusion : la vase de barrage de k'sob est de densité des grains solides égale à **2,18 g/cm³**.

III.5.4. Bleu de méthylène NF P94-068 (VBS)

Les résultats obtenus de l'essai bleu de méthylène pour le mélange vase avec déchet de brique sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III-49 résultats de l'essai au bleu (vase + 15 déchet de brique).

essai	Masse de sol	Volume de bleu	VBS	VBS _{moy}
1	30	115	3,83	3,68
2	30	109	3,63	
3	30	107	3,57	

Conclusion : D'après la classification de philipponat la valeur du bleu de la vase + 15 % déchet de brique égale 3.68 , ($2,5 < VB < 6$). Notre sol appartient donc à la classe des « **sols limoneux argileux** »

Tableau III-50 Classification des sols fins selon GTR¹⁷.

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

	ω _L (%)	ω _p (%)	ω _{nat} (%)	I _p (%)	I _c (%)
01	51,76	29,2	39,38	22,56	37,51

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

- Tamisat à 80μm=35,51 > 35% classe A
- VBS = 4,74 2,5 < VBS < 6
- I_p = 22.56 12 < I_p < 25
- I_c = 37,51 I_c > 1,3

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

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'étude expérimentale que nous avons présentée vise à exploiter et valoriser les matériaux locaux tels que la vase et les déchets de brique dans le domaine des travaux publics, en particulier dans la construction des routes (couches de forme et couches de fondation). Les matériaux sélectionnés, à savoir la vase et les déchets de brique, présentent plusieurs avantages économiques et environnementaux, tels que leur disponibilité et leur facilité de préparation.

Les résultats obtenus à partir des essais réalisés sur des échantillons reconstitués à partir de mélanges de vase et de brique permettent de tirer les conclusions suivantes :

Les résultats obtenus à partir de cette étude sont une base mais restent insuffisants pour juger de l'efficacité du déchet choisi. L'étude doit d'être complétée par une caractérisation mécanique du matériau et qui est un sujet traité par un autre binôme de notre promotion.

D'après ces résultats, il est possible de considérer la vase de barrage Oued K'sob comme un déchet valorisable dans les techniques routières. En utilisant ce matériau, il est possible de réduire la consommation de matériaux neufs et de promouvoir le recyclage dans le domaine de la construction des routes, ce qui présente des avantages économiques et environnementaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] United States Bureau of Reclamation. (n.d.). Dam Basics. Retrieved from <https://www.usbr.gov/education/studyguides/dams/basics.html>.
- [2] **Bouchedja Abd. - Directeur Général ABHCSM.** La politique nationale de l'eau en Algérie. Euro-RIOB 2012 :10ème Conférence Internationale 17 au 19 Octobre 2012 Turquie – Istanbul. Thèse de doctorat université m'sila.
- [3] **Hasbaia M, Hedjazi A, Benayada L.** Variabilité de l'érosion hydrique dans le bassin du Hodna : cas du sous bassin versant du l'oued El Ham. Mar Sci Agron Vét 2012; 1:28-32.
- [4] Dr M HASBAIA ., BELFEGAS HASSINA ., analyse de la sensibilité des l'érosion hydrique cas du bassin versant de k'sob ,promotion 2011-2012.
- [5] [Agence de l'eau de France 2002], [Chapitre1/Formation des sols GGC 112 C].].
- [6] [Roland Boutin 2000], livre de dragage et rejets en mer les produits de types vase.
- [7] PROULHAC.N, KER LANN, 2006], Rapport Final du Schéma Directeur de gestion et de valorisation des sédiments de dragage de Rouen et Tancarville. Département de La Gironde. Bassin d'Arcachon.
- [8] Livres : "Soil Mechanics and Foundations" de Muni Budhu.
- [9] [(LCPC, 1987) : Essai de cisaillement à la boîte, Laboratoire centrale des ponts et Chaussées.].
- [10] (SERBAH BOUMEDIEN. , ETUDE ET VALORISATION DES SEDIMENTS DE DRAGAGE DU BARRAGE BAKHADDA,) Université de Tlemcen promotion 2010-2011.
- [11] (SERBAH BOUMEDIEN. , ETUDE ET VALORISATION DES SEDIMENTS DE DRAGAGE DU BARRAGE BAKHADDA, Université de Tlemcen promotion 2010-2011.
- [12] (SERBAH BOUMEDIEN., ETUDE ET VALORISATION DES SEDIMENTS DE DRAGAGE DU BARRAGE BAKHADDA,) Université de Tlemcen promotion 2010-2011.

- [13] (SERBAH BOUMEDIEN. , ETUDE ET VALORISATION DES SEDIMENTS DE DRAGAGE DU BARRAGE BAKHADDA) , Université de Tlemcen promotion 2010-2011.
- [14] Ministère de la Transition écologique et solidaire (France). (2016). Guide de gestion environnementale des sédiments de dragage. Retrieved from https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Guide_sediments_dragage_dec2016.pdf
- [15] United States Environmental Protection Agency. (2017). Management of Dredged Matériel. Retrieved from <https://www.epa.gov/dredging/management-dredged-material>.
- [16] U.S. Army Corps of Engineers. (2016). Dredging : A Handbook for Engineers. Retrieved from <https://www.iwr.usace.army.mil/Portals/70/docs/iwrreports/EC96-1>.