

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIC ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة سعيدة – د. مولاي الطاهر
UNIVERSITÉ DE SAÏDA - Dr MOULAY TAHAR



Faculté de technologie

Département de génie civil et de l'hydraulique

PROJET DE FIN DE CYCLE

Présenté pour l'obtention du diplôme de master en Génie Civil

Spécialité : Géotechnique

Valorisation des sédiments de dragage du barrage de FERGOUG

Présenté par :

M. BRAHMI OMAR

M. FEZZA MOHAMED YACINE

Soutenu le .. / 06 / 2024, devant le jury composé de :

M. HACHMI H.	Président
M. ZIDANI M. B.	Encadreur
M ^{me} DAOUDI N.H.	Examineur

Année universitaire 2023/2024

Remerciement

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، وبفضله تنزل الخيرات والبركات ويتوفيقه لتحقيق المقاصد والغايات

*On tient à adresser nos vifs remerciements à **Mr Zidane B.** d'avoir accepté de nous encadrer et nous avoir accordé ce qui est de plus précieux, son temps et son attention. Son aide nous a particulièrement été précieuse dans notre étude.*

On remercie profondément Monsieur le président de jury et les membres qui feront l'honneur d'examiner ce mémoire, trouvent l'expression de notre parfaite considération.

Nous tenons à remercier chaleureusement tous les professeurs de géotechnique

On souhaite ensuite remercier tous les membres de laboratoire des travaux publics (LTPO SAIDA) pour leur disponibilité et leur aide qu'ils nous ont apporté.

Enfin, il serait impossible de terminer ces remerciements sans adresser une pensée chaleureuse à toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin.

Dédicace

(وما توفيقي إلا بالله عليه توكلت وإليه أنيب)

Afin d'être reconnaissant envers ceux qui m'ont soutenu et encouragé à

Réaliser ce travail de recherche, je dédie ce mémoire :

À mes très chers parents, mon grand père qui n'ont cessé de me combler par leur tendresse et Leur amour, que ALLAH les bénisse et leur accorde une longue vie.

A ma femme et ma fille, la princesse (Bouchra)

A ma grand-mère, (الله يرحمها برحمته الواسعة)

A mes frères, mes sœurs et toute ma famille.

A mon binôme et mon ami Yacine.

A tous mes collègues de la promotion.

A tous les enseignants qui m'ont dirigé vers la voie de la réussite.

Et à tous ceux qui tiennent à cœur ma réussite.

Dédicaces

ALLHAMDOLLILAH, Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents

Toutes les personnes qui m'ont aidé tout au long de mon parcours académique

Une dédicace spéciale à mon binôme (Omar) qui a mis le plus d'efforts

Dans cette PFE

Fezza yacine

SOMMAIRE

ملخص	I
Résume.....	II
Abstract.....	III
Introduction générale.....	1

Chapitre I : l'envasement des barrages en Algérie

I- Historique.....	3
II- envasement des barrages algériens.....	4
III- problématique de l'envasement des barrages.....	6
IV- dragage.....	7
IV-1 Types de dragage	7
IV-1-1 Dragage hydraulique.....	8
IV-1-2 Dragage mécanique.....	8
IV-1-3 Dragage à l'Américaine	9
IV-2 Différents moyens de dragage.....	10
IV-3 L'impact sur l'environnement.....	11
V- le problème de la destination finale et/ou stockage des sédiments dragues	12

Chapitre II : généralité sur les chaussées

I- Introduction	13
II- définition des chaussées.....	13
III- les couches constituant la chaussée.....	14
III-1 La couche de forme.....	14
III-2 Les couches d'assise.....	14
III-3 La couche de surface.....	15
III-4 Couche de fondation	15
IV- La composition de couche de fondation.....	15
V- les types de structure de routes	16
VI- Généralités sur les tufs.....	17
VI-1 Classification des tufs.....	17
VI-2 Tufs Calcaires.....	17
VII-Classification GTR	18
VIII- Le manque de matériaux repandant aux exigences techniques des travaux de terrassement.	19
VIII-1 Qualité des matériaux disponibles.....	19
VIII-2 Coût et disponibilité	19
VIII-3 Impact environnemental	19
VIII-4 Normes et réglementations	20
VIII-5 Contraintes logistiques	20
IX- Conclusion.....	20

Chapitre III : présentation du barrage de Fergoug

I- Introduction.....	21
II- Présentation du barrage de fergoug.....	21
III- historique du barrage de frgoug	23
IV- Le bassin versant de fergoug	24
V- Lithologie.....	25

SOMMAIRE

VI- La végétation.....	25
VII- Les pentes.....	25
VIII- Situation géographique.....	26
IX- Géologie du bassin versant du barrage de fergoug	27
X- Les caractéristiques climatiques.....	27
XI- Conclusion	27

Chapitre VI : caractérisation des sédiments étudié

I- Introduction	28
II- Prélèvement d'échantillons de sols au barrage de fergoug	28
III- Analyses chimiques.....	30
IV- Teneur en eau	31
IV-1 définition.....	31
IV-2 commentaire	32
V- Poids spécifiques des grains solide	33
V-1 définition	33
V-2 mode opératoire	33
V-3 calcule	34
V-4 résultats	35
V-5 commentaire	35
VI- Analyse granulométriques d'un sol.....	36
VI-1 Définition	36
VI-2 Commentaire	37
VII- Essai de l'analyse granulométriques par sedimentometrie	38
VII-1 Mode opératoire	38
VII-2 Commentaire	42
VIII- Limites d'atterberg.....	43
VIII-1 Définition	43
VIII-2 Limite de liquidité	44
VIII-2 1 Mode opératoire.....	44
VIII-3 limite de plasticité.....	45
VIII-3 1 Mode opératoire	45
VIII-4 Résultats	45
VIII-5 Commentaire.....	49
IX- Essai au bleu de methylene	50
IX-1 Définition	50
IX-2 Résultat	51
IX-3 commentaire	51
X- Essai de Proctor et CBR	52
X-1 ESSAI PROCTOL	52
X-1-1 Principe de la méthode	52
X-2 Essai CBR Immédiat.....	54
X-2-1 But de l'essai	54
X-3 commentaires	55
XI- Classification du sédiment fergoug selon le GTR	55
XII- Caractérisation de tuf	57
XII-1 l'analyse chimique	57

SOMMAIRE

XII-2 Essai de l'analyse granulométrique	57
XII-3 La limite d'Atterberg	59
XII-4 La valeur du bleu de méthylène	59
XII-4 Essai Proctor et CBR IMBB	60
XII-4-1 Commentaire	60
XIII- Conclusion	61

Chapitre V : Valorisation de sédiment du barrage de Fergoug

I- Introduction	62
II- Remblai sandwich.....	62
II-1 Procède de compactage.....	64
III- L'argile expansée	64
III-1 Processus de Fabrication.....	65
III-2 Propriétés de l'Argile Expansée.....	65
III-2-1 Légèreté.....	65
III-2-2 Isolation Thermique et Acoustique	65
III-2-3 Résistance à l'Eau et au Gel.....	65
III-2-4 Stabilité Chimique.....	65
III-2-5 Durabilité.....	65
III-3 Applications de l'Argile Expansée.....	66
III-3-1 Construction et Bâtiment.....	66
III-3-2 Aménagement Paysager et Jardinage.....	66
III-3-3 Génie Civil.....	66
III-4 Avantages et Défis.....	66
III-4-1 Avantages.....	66
III-4-2 Défis.....	66
IV- Mélange de matériaux (TUFF – ARGILE)	67
IV-1 Les matériaux.....	67
IV-2 Objectifs de l'Amélioration.....	67
IV-3 Méthodologie.....	67
IV-4 Tests en Laboratoire.....	67
IV-5 Interprétation des résultats.....	71
V- Conclusion	72
Conclusion générale	73
Perspectives	73
Bibliographie.....	74

Liste des figures

Chapitre I : l'envasement des barrages en Algérie

Figure 1 : Evolution de l'envasement des grands barrages Algériens depuis 1962.....	3
Figure 2 : Répartition des barrages dans le Nord algérien.....	4
Figure 3 : Carte de sensibilité à l'envasement des barrages.....	5
Figure 4 : Le Transport Des Sédiments.....	7
Figure 5 : Dragage hydraulique.....	8

Chapitre II : généralité sur les chaussées

Figure 6 : structure d'une chaussée routière.....	13
Figure 7 : Les différentes couches de la chaussée routière.....	15
Figure 8 : Tableau synoptique de classification des matériaux selon leur nature, Selon la norme (NF P 11-300).....	15

Chapitre III : présentation du barrage de Fergoug

Figure 9 : Situation géographique de Perrégaux et Fergoug.....	18
Figure 10 : Localisation du bassin versant de Fergoug.....	22

Chapitre VI : caractérisation des sédiments étudié

Figure 11 : carte graphique pour des points de prélèvement	28
Figure 12 : La courbe granulométrique de l'échantillon étudié (0,2m).....	39
Figure 13 : La courbe granulométrique de l'échantillon étudié (0,5 m)	40
Figure 14 : La courbe granulométrique de l'échantillon étudié (01 m).....	41
Figure 15 : Résultats des limites d'Atterberg de l'échantillon étudié (0,2 m).....	46
Figure 16 : Résultats des limites d'Atterberg de l'échantillon étudié (0,5 m).....	47
Figure 17 : Résultats des limites d'Atterberg de l'échantillon étudié (01 m).....	48
Figure 18 : Modalité de compactage selon le type et les moules.....	52
Figure 19 : Courbe Proctor normale de l'échantillon étudié	53
Figure 20 : Courbe de CBR immédiat de l'échantillon étudié.....	54
Figure 21: Classification du sédiment du barrage de FERGOUG selon la classification du GTR..	55
Figure 22 : Classification du sédiment du barrage de FERGOUG selon l'organigramme De classification des sols GTR (NF P11-300).....	56
Figure 23 : Courbe granulométrique du Tuf.....	58
Figure 24 : Résultats de l'essai Proctor et CBR imbb du Tuf	60

Chapitre V : valorisation de sédiment du barrage de Fergoug

Figure 25 : illustration du principe des remblais "sandwich".....	63
Figure 25 : carotte dans un remblai ancien réalisé par la méthode du remblai sandwich. On observe très bien l'alternance de couches de granulométries variables (Cerema Sud-Ouest)...	63
Figure 27 : illustration du principe des remblais "sandwich" avec un film protecteur.....	64
Figure 28 : Résultats de l'essai Proctor et CBR imbb du mélange (5% d'argile + 95% tuf).....	68
Figure 29 : Résultats de l'essai Proctor et CBR imbb du mélange (10% d'argile + 90% tuf).....	69
Figure 30 : Résultats de l'essai Proctor et CBR imbb du mélange (15% d'argile + 85% tuf).....	70

Liste des photos

Chapitre I : l'envasement des barrages en Algérie

Photo 1 : Dragage mécanique.....	9
Photo 2 : Dragage à l'Américaine.....	10
Photo 3 : Rejet de la vase draguée (Barrage de Fergoug).....	11

Chapitre III : présentation du barrage de Fergoug

Photo 4 : Vue de la digue en 2006.....	22
Photo 5 : Vue de la digue en 2024.....	22
Photo 6 : vue d'ensemble prise de la rive gauche	23
Photo 7 : après la catastrophe de 1927	24

Chapitre VI : caractérisation des sédiments étudiée

Photo 8 : bassin versant	29
Photo 9 : prélèvement Ech a 0.2 m.....	29
Photo 10 : prélèvement Ech a 0.5 m	29
Photo 11 : prélèvement Ech a 1 m.....	29
Photo 12 : échantillonnage de sédiment	33
Photo 13 : l'essai au pycnomètre	34
Photo 14 : Echantillonnage de la vase	36
photo 15 : lavage Echantillonnage.....	36
Photo 16 : Essai de sédimentométrie.....	38
Photo 17 : essai Limite de liquidité	44
Photo 18 : l'essai de la limite de plasticité.....	45
Photo 19 : Essai de VBS.....	50

Liste des tableaux

Chapitre II : généralité sur les chaussées

Tableau 1 : Les différentes classes de plate-forme de chaussée selon leur portance.....	16
--	----

Chapitre III : présentation du barrage de Fergoug

Tableau 2 : localisation de FERGOUG.....	21
Tableau 3 : les coordonnées géographique du barrage	26

Chapitre VI : caractérisation des sédiments étudiée

Tableau 4 : Localisation de prélèvement d'échantillons	28
Tableau 5 : Résultats des analyses chimiques	30
Tableau 6 : Valeurs des teneurs en eau Ech $Z = 0.2$ m	31
Tableau 7 : Valeurs des teneurs en eau Ech $Z = 0.5$ m.....	31
Tableau 8 : Valeurs des teneurs en eau Ech $Z = 1$ m.....	32
Tableau 9 : Poids volumiques des grains solides du sédiment étudiée.....	35
Tableau 10 : Résultats des tamisât cumulés Ech $Z = 0.2$ m.....	37
Tableau 11 : Résultats des tamisât cumulés Ech $Z = 0.5$ m.....	37
Tableau 12 : Résultats des tamisât cumulés Ech $Z = 1$ m.....	37
Tableau 13 : Résultats des tamisât cumulés Ech $Z = 0.2$ m.....	39
Tableau 14 : Résultats des tamisât cumulés Ech $Z = 0.5$ m.....	40
Tableau 15 : Résultats des tamisât cumulés Ech $Z = 1$ m	41
Tableau 16 : Résultat l'essai de la limite de plasticité	45
Tableau 17 : résultats de valeur vbs	51
Tableau 18 : résultat Proctor normale	53
Tableau 19 : résultat CBR IMMEDIAT	54
Tableau 20 : analyse chimique	57
Tableau 21 : Résultats des tamisât cumulés du Tuf.....	57
Tableau 22 : Diamètres des caractéristiques D_{10} , D_{30} , D_{50} , D_{60} du Tuf	58
Tableau 23 : Les résultats des limites d'Atterberg du Tuf.....	59

LISTE DES SYMBOLES PRINCIPAUX ET DES ABREVIATIONS

LTPO : Laboratoire de Travaux Public Oran.

VBS : Valeur de Bleu méthylène de Sol.

GNT : Gravier non traités.

ECH : Echantillons.

GTR : Guide technique de la réalisation.

CBR : California Bearing Ratio (Ratio de roulement de Californie)

IPI : L'Indice Portant Immédiat

Imbb : essai CBR après immersion

d₅₀ : Diamètre nominal des particules solides (du sol) (mm)

ω : Teneur en eau (%)

WL : La teneur en eau à la limite de liquidité (%)

W_p : La teneur en eau à la limite de plasticité (%)

I_p : Indice de plasticité (%)

D : Le diamètre des grains en mm

γ_s : Le poids spécifique des grains du sol en (g /cm³)

γ_w : poids volumique de l'eau conventionnellement pris égale à 1g/cm³.

C_u : Coefficient d'uniformité C_u

CC : Coefficient de courbure CC

S₀ : L'indice de classement S₀

SK : L'indice d'asymétrie SK

ملخص:

تتمثل عملية تثمين الرواسب في سد فرقوق في مزجها مع مادة ردم. يتيح هذا الإجراء إعادة استخدام الرواسب الفائضة من السد بشكل فعال وصديق للبيئة. من خلال مزج الرواسب مع مادة ردم مناسبة، يتم إنشاء مادة مركبة جديدة يمكن استخدامها في البناء وأعمال التهيئة. تشكل هذه الطريقة حلاً اقتصادياً ومستداماً لإدارة فائض الرواسب، مع تلبية احتياجات مواد الردم، مما يساهم في إدارة فعالة للموارد وتقليل النفايات.

الكلمات الرئيسية :

تثمين الرواسب , التوحد , تقنيات الطرق , الخصائص الميكانيكية

RESUME :

La valorisation des sédiments du barrage de FERGOUG consiste à les intégrer à un matériau de remblais. Ce procédé permet de réutiliser efficacement et écologiquement les sédiments excédentaires du barrage. En les mélangeant avec un matériau de remblais adapté, on obtient un nouveau matériau composite utilisable dans la construction et les travaux d'aménagement. Cette méthode constitue une solution économique et durable pour la gestion des surplus de sédiments, tout en satisfaisant les besoins en matériaux de remblais, contribuant ainsi à une gestion efficace des ressources et à la réduction des déchets.

Mots clés :

Valorisation des sédiments, Envasement, technique routière, propriété mécanique

ABSTRACT :

The valorization of sediments from the FERGOUG dam involves mixing them with a backfill material. This process allows for the effective and eco-friendly reuse of the excess sediments from the dam. By combining the sediments with a suitable backfill material, a new composite material is created that can be used in construction and landscaping projects. This approach offers an economical and sustainable solution for managing surplus sediments while meeting the demand for backfill materials, thereby contributing to efficient resource management and waste reduction.

Keywords:

Valorization of sediments, siltation, road engineering, mechanical behavior.

INTRODUCTION GENERALE

L'Algérie, pays aux multiples ressources naturelles, dispose d'un réseau hydrographique important, comprenant de nombreux barrages qui jouent un rôle crucial dans la gestion des ressources en eau et le développement économique du pays. Cependant, ces infrastructures sont confrontées à un défi majeur : l'envasement, phénomène naturel qui peut compromettre leur efficacité et leur durabilité à long terme. Dans ce contexte, le présent mémoire se propose d'explorer la possibilité de réutiliser les sédiments constituant l'envasement des barrages en Algérie, en mettant en lumière les causes, les conséquences et les solutions à ce problème.

Le premier volet de ce travail consiste en une revue approfondie de la littérature existante sur l'envasement des barrages en Algérie. Cette étude bibliographique vise à dresser un état des lieux des connaissances actuelles sur le sujet, en examinant les recherches antérieures, les rapports techniques et les données disponibles. En analysant les facteurs géologiques, hydrologiques et anthropiques contribuant à l'envasement des barrages, nous chercherons à identifier les principaux défis auxquels sont confrontées les autorités algériennes dans la gestion de ces infrastructures vitales.

En deuxième lieu, notre recherche s'est concentrée sur un aspect essentiel de l'infrastructure routière: les chaussées. En examinant les principes de conception, de construction et d'entretien des chaussées. En nous penchant sur ce point, nous avons essayé de mettre en exergue notamment la rareté et le déficit en matériaux de remblai nécessaires à la construction des chaussées ; et c'est d'ailleurs l'une des principales raisons qui nous a poussées à examiner la possibilité de réutiliser les sédiments dragués.

Le troisième chapitre présentera le barrage de FERGOUG comme un cas d'étude illustrant la transition vers une économie circulaire et durable dans le domaine de la construction, nous mettrons en lumière ce barrage ; une infrastructure majeure située dans la localité « Douar FERGOUG », dans la wilaya de Mascara. Bien que ce barrage ne soit plus en service en raison de son envasement, il représente un précieux gisement de sédiments qui pourrait être exploité pour une réutilisation dans les infrastructures de génie civil en les valorisant comme une ressource précieuse telle que la fabrication de matériaux de construction, la restauration des sols ou la construction de routes. En évaluant les avantages et les contraintes de cette approche, nous chercherons à démontrer le potentiel des sédiments du barrage de FERGOUG comme une alternative durable aux matériaux traditionnels dans les travaux de génie civil.

Ensuite, nous procéderons en détail à l'examen de la composition des sédiments du barrage de FERGOUG, en analysant leurs caractéristiques géotechniques, leur granulométrie, leur propriétés physico-chimique ainsi que leur potentiel d'utilisation dans les infrastructures de génie civil. Nous discuterons des méthodes de collecte, de traitement et de caractérisation des sédiments, en mettant en évidence les défis techniques et environnementaux associés à leur manipulation. Cette étape préliminaire est essentielle pour évaluer le potentiel de ce matériau comme solution alternative aux matériaux de remblais et/ou de construction en Algérie.

Enfin, dans le dernier chapitre, nous présenterons les résultats de la valorisation de notre matériau dans les travaux de construction et de terrassement. Pour ce faire, nous avons opté pour l'ajout d'un matériau noble, le tuf, plutôt que d'utiliser des méthodes plus coûteuses telles que la cuisson ou l'ajout de chaux et de liant. À travers des tests de laboratoire et des études de cas, nous évaluerons l'efficacité et la durabilité de cette solution. Nous fournirons également des recommandations pratiques pour son utilisation future dans la gestion des sédiments d'envasement des barrages en Algérie, en mettant l'accent sur les avantages économiques et environnementaux de cette approche.

En conclusion, ce mémoire s'inscrit dans une démarche multidisciplinaire visant à comprendre et à résoudre les défis complexes liés à l'envasement des barrages en Algérie, en proposant des solutions novatrices et durables pour d'un côté, rentabiliser les opérations de dragage des barrages en réutilisant leurs matériaux et d'un autre côté pour pouvoir assurer la sécurité hydraulique et le développement socio-économique du pays.

I- HISTORIQUE :

Le premier barrage construit en Algérie est le barrage de SIG en 1846, Il a été abandonné faute de son envasement rapide. En 1890, il existait en Algérie neuf autres barrages, d'une capacité de 61 Million de m³ et un volume de Vase de 2,7 Million m³. En 1957, les barrages d'Algérie d'une capacité de 900 Million de m³ avaient accumulé près de 200 Million de m³ de vase ; Cette capacité a atteint 1 milliard de m³ en 1962, à partir de cette date le nombre de barrages a augmenté considérablement. Récemment, l'Algérie dispose de 57 grands barrages d'une capacité totale de 6,8 Milliard de m³, la plupart ont été réalisés dans les 40 dernières années.

Toutefois ; les années 80 ont connu des taux d'envasement avoisinant les 20 millions de tonnes annuels alors que les années 90 ont déjà atteint les 35 millions de tonnes annuels sans dis que les années 2000 ont atteint la valeur de 45 millions de tonnes annuels. Toutes les spécialités s'accordent à dire que les années à venir seront très dures pour les zones arides et semi-arides. [1]

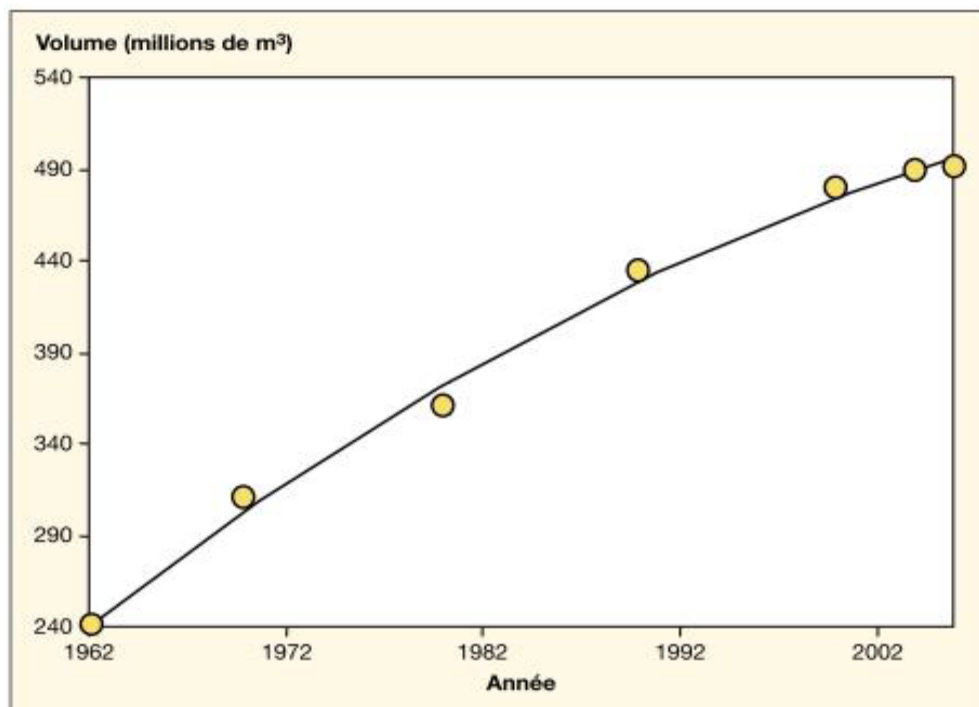


Figure 1 : Evolution de l'envasement des grands barrages Algériens depuis 1962. [1]

II- ENVALEMENT DES BARRAGES ALGÉRIENS :

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

La conjonction de ces différentes caractéristiques induit une érosion forte, difficile à quantifier : le chiffre moyen de 800 t/km² par an proposé pour différents bassins du Maghreb. Par exemple, l'érosion serait 5000t/km² par an sur le bassin-versant de l'Oued Agrioum dans l'est algérien, alors qu'elle n'est que de 165t/km² par an dans le bassin de l'Oued Mouilah . Dans un même bassin, le transport solide peut fluctuer de plus de Deux ordres de grandeur selon les années ou les mois. Ainsi, les apports solides annuels du bassin de l'Oued Mouilah (2650 km²) ont varié de 6 à 1038 t/km² par an entre 1978 et 1987. Cette hétérogénéité se retrouve également à l'échelle événementielle : les quelques événements les plus violents sont responsables de l'essentiel de l'érosion annuelle. Les fortes crues peuvent transporter des charges de sédiments en suspension supérieures à 100 gramme/Litre. Cette forte concentration se manifeste surtout pendant l'automne, succédant à la période estivale pendant laquelle les oueds sont à sec. Le plus souvent, il convient de rajouter la partie charriée du transport aux chiffres précédents. [1]

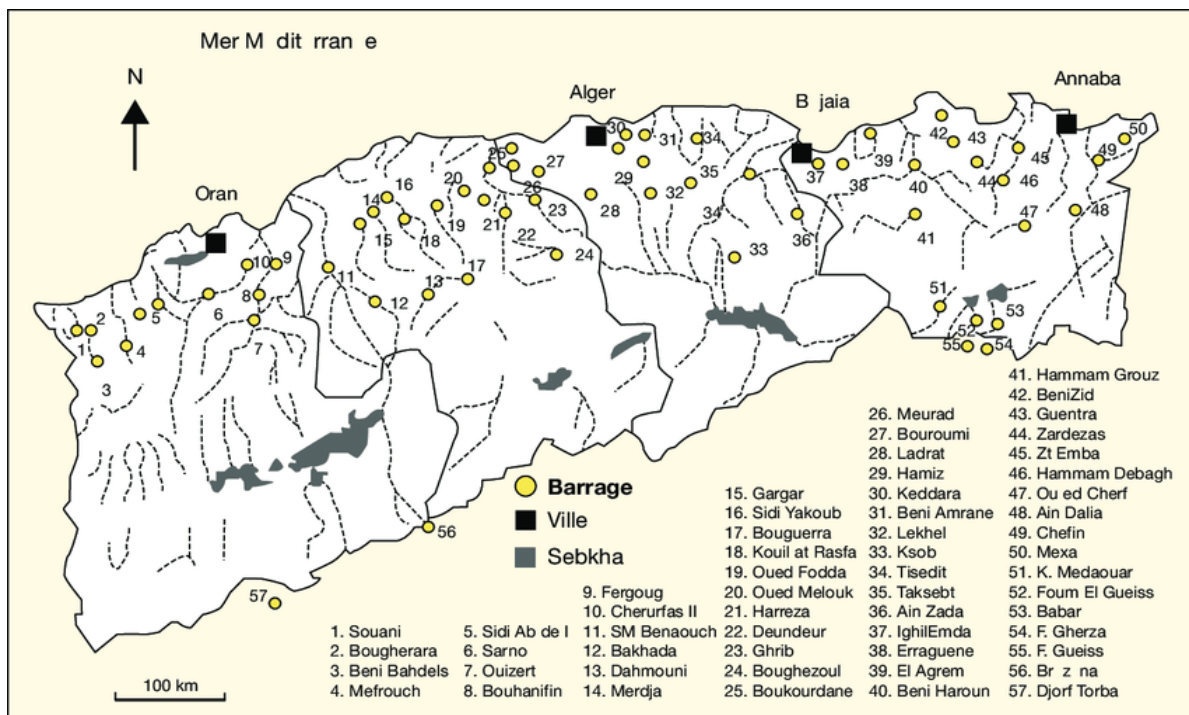


Figure 2 : Répartition des barrages dans le Nord algérien. [1]

L'une des conséquences immédiates de l'érosion est la sédimentation dans les barrages, selon une récente étude basée sur des séries statistiques comportant les données de 57 grands barrages (Figure 2), l'Algérie perd par envasement 45 à 50 millions de m³ chaque année, ce qui représente une perte de capacité annuelle égale à 0,65 % de la capacité totale. Le volume de vase estimé en 2006 était de 1,1 milliards de m³, soit un taux de comblement de 16 % de la capacité totale de 6,8 milliard de m³.

Certains barrages ne contiennent pratiquement que de la vase, à l'exemple du FERGOUG qui est envasé à 80 %. La (figure 3), cartographie le taux de comblement moyen (T), qui est la perte annuelle de capacité d'un barrage (en %) par envasement, selon quatre catégories depuis le comblement faible ($T < 0,5$ % par an) jusqu'au très fort ($T > 3$ % par an). L'envasement a beaucoup varié durant la dernière décennie. Ainsi, la comparaison des nivellements de 1986 et 2006 montre un doublement des taux d'envasement pour les barrages de Djorf Torba et Ksob, passant de 1,3 à 2,6 Million de m³ /an et de 0,3 à 0,6 Million de m³ /an respectivement. Cette hausse spectaculaire, qui n'est pas observée de manière uniforme, serait une conséquence de la sécheresse des années 1990; le couvert végétal ainsi diminué et les sols dégradés auraient mal résisté à un retour des pluies et crues violentes des dernières années, causant une forte ablation de la couche superficielle du sol et favorisant une forte érosion. [1]

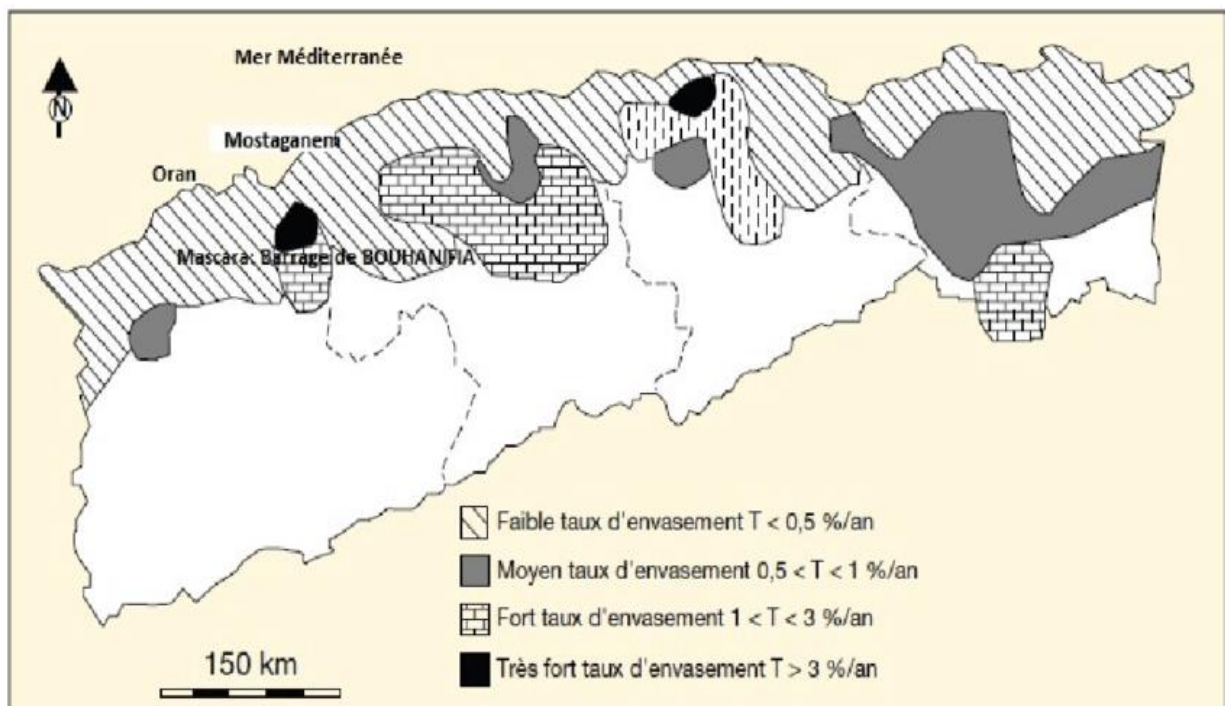


Figure 3 : Carte de sensibilité à l'envasement des barrages. [1]

III- PROBLEMATIQUE DE L'ENVALEMENT DES BARRAGES :

La problématique de l'envasement des barrages est un sujet complexe et important dans le domaine de l'ingénierie hydraulique et de la gestion des ressources en eau. Voici quelques points clés qui peuvent constituer une problématique :

- **Diminution de la capacité de stockage:** L'accumulation de sédiments dans les réservoirs réduit leur capacité de stockage d'eau, ce qui peut compromettre la disponibilité d'eau pour les usages domestiques, agricoles, industriels et énergétiques.
- **Impact sur la production d'énergie hydroélectrique:** L'envasement des barrages peut réduire la capacité des centrales hydroélectriques à générer de l'électricité, entraînant ainsi des pertes économiques et énergétiques.
- **Dégradation de la qualité de l'eau:** Les sédiments accumulés peuvent contenir des polluants et des nutriments qui peuvent contaminer l'eau, affectant la qualité de l'eau potable, de l'eau d'irrigation et des écosystèmes aquatiques.
- **Altération des écosystèmes aquatiques:** L'envasement des barrages peut perturber les habitats aquatiques et les cycles naturels des espèces vivantes, ce qui peut avoir des répercussions sur la biodiversité et les activités de pêche.
- **Coûts de maintenance et d'entretien accrus:** L'élimination des sédiments des barrages nécessite des opérations de dragage et de curage coûteuses et complexes, ce qui peut constituer un fardeau financier pour les gestionnaires des barrages.
- **Risques d'inondation accrus:** L'accumulation de sédiments peut réduire la capacité de rétention des barrages, augmentant ainsi les risques d'inondation en aval lors de fortes précipitations ou de fonte des neiges.

En résumé, la problématique de l'envasement des barrages pose des défis importants en termes de gestion des ressources en eau, de préservation de l'environnement et de maintien des infrastructures hydrauliques. Les solutions à cette problématique nécessitent souvent une approche intégrée et multidisciplinaire, impliquant l'ingénierie, la gestion des bassins versants, la régulation des débits d'eau et la surveillance environnementale.



Figure 4 : Le Transport Des Sédiments. [2]

IV-DRAGAGE :

- Le dragage est une opération ayant pour objet le prélèvement de matériaux, notamment boues, limons, sables et graviers, au fond d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau à l'aide de moyens mécanique, hydraulique ou pneumatique dans le but d'aménagement ou d'entretien, c'est- à dire tous travaux nécessaires pour rétablir un cours d'eau dans sa largeur et sa profondeur naturelle. Cela exclut un approfondissement ou un élargissement du lit.
- Peut également être défini de façon générale comme l'ensemble des actions caractérisées par un prélèvement de matière par excavation sous l'eau par un déversement de ces produits dans la veine de l'eau, coté aval de la retenue ou sur le rivage.
- L'opération de dragage peut se décomposer en plusieurs étapes : Etudes préalables et caractérisation des sédiments, choix de la filière de destination, extraction des boues, transport des matériaux de dragage, et traitement, mais selon certains auteurs, la récupération d'une capacité de stockage par dragage est une opération très couteuse qui n'est pas économique pour les grandes retenues. Depuis les années 2000, plus de 20 millions de m³ de vase ont été extraits de nos barrages.

IV-1 Types de dragage :

- 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 étre recensées. [2]

IV-1-1 Dragage hydraulique

- Cette technique nécessite une drague suceuse rémouleuse et une conduite flottante et terrestre pour l'évacuation du produit dragué (vase et eau) jusqu'à la zone de rejet. La figures 6, montrent cette technique de dragage.

Les matériaux sont désagrégés par jets d'eau sous pression ou par rotation d'un outil et mis en suspension pour être aspirés et évacués par des pompes vers les points de stockage. [2]

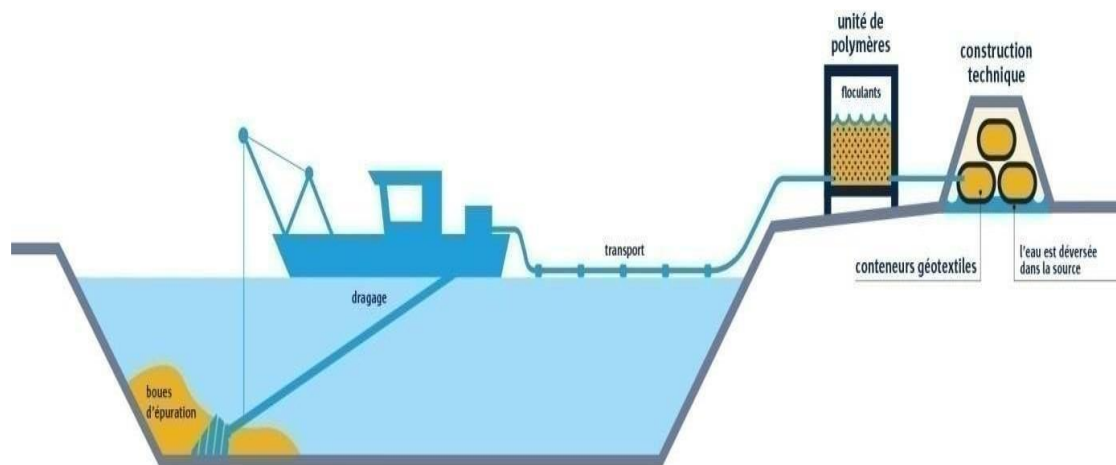


Figure 5 : Dragage hydraulique. [2]

IV-1-2 Dragage mécanique

Il consiste au dragage par des moyens comme le montre la photo 1 :

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

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

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

- L'extraction et le transport des vases de la retenue en utilisant un volume d'eau minimum ;

- la définition et localisation de la zone de rejet susceptible de recevoir les matériaux dragués de la retenue ;
- l'exploitation en continu de la retenue d'eau en même temps que le dévasement. [2]



Photo 1 : Dragage mécanique. [2]

IV-1-3 Dragage à l'Américaine :

- C'est une technique particulière qui consiste à provoquer la remise en suspension des sédiments au moyen d'une hélice ou d'air comprimé dans les cours d'eau ou chenaux à fort courant, comme l'illustre la photo 2. Les sédiments sont repris dans le flux et se redéposent le plus souvent en aval. Dans certains cas, une conduite de refoulement peut assurer le transfert des sédiments à plusieurs kilomètres du lieu de dragage.

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



Photo 2 : Dragage à l'Américaine. [2]

IV-2 Différents moyens de dragage

- Tapis roulant,
- Chalands vidés par des bennes preneuses au niveau des rives,
- Chalands vidés directement en amont dans la retenue,
- Transport hydraulique par conduites flottantes et terrestres en utilisant un volume minimum d'eau,
- par engins de terrassement,

Pour l'épandage de la vase dans l'oued ou dans la zone de rejet, il est important de :

- Veillez à ne pas obstruer l'oued de façon à assurer l'écoulement de l'eau durant les chasses de vidange de fond ou les déversements du barrage ;
- Identifier les zones de rejet le long de l'oued ;
- Définir les aires de stockage de préférence sur les rives de la retenue pour la récupération des eaux après décantation ;

Dans tous les cas de figure, l'exploitation de la retenue durant le dévasement reste le problème le plus déterminant du fait que l'on ne peut se permettre d'arrêter les prélèvements d'eau pour

l'Alimentation en Eau Potable des agglomérations, l'irrigation des périmètres et l'alimentation les zones industrielles.

C'est ainsi qu'après examen soigné de ces questions, il en ressort que le dévasement hydraulique est toujours plus avantageux que le dévasement mécanique notamment par :

- Les délais d'exécution ;
- Le coût du m³ à dévaser ;
- Le matériel non encombrant ;
- L'exploitation en continu de la retenue. [2]

IV-3 L'impact sur l'environnement

- Le dragage remanie les sédiments et modifie les équilibres géochimiques (Samara, 2007) avec une remobilisation des contaminants pouvant nuire à l'écosystème. Les conditions hydrauliques favorisent la propagation des contaminants au-delà de la zone concernée.

A l'ouest algérien, la plaine de l'Habra qui s'étend sur une centaine de kilomètres en aval du barrage de Fergoug a subi des dégradations irréversibles suite aux dépôts des sédiments charriés lors des opérations de dragage, transformant de vastes aires fertiles en marais. La figures 9 sont deux exemples de la pollution de l'environnement par les sédiments dragués [3]



Photo 3 : Rejet de la vase draguée (Barrage de Fergoug). [3]

V- LE PROBLEME DE LA DESTINATION FINALE ET/OU STOCKAGE DES SEDIMENTS DRAGUES :

La problématique du dépôt des sédiments dragués d'un barrage peut présenter plusieurs défis qui nécessitent une gestion prudente. Voici quelques-unes des problématiques associées au dépôt des sédiments dragués d'un barrage :

- **Contamination et traitement des sédiments:** Les sédiments dragués peuvent contenir divers contaminants tels que des métaux lourds, des produits chimiques ou des substances organiques toxiques. Leur destination finale doit donc être choisie avec soin pour éviter toute contamination supplémentaire de l'environnement. Dans de nombreux cas, les sédiments doivent être traités avant d'être déposés ou réutilisés.
- **Élimination sécurisée et conformité réglementaire:** Les réglementations environnementales et sanitaires strictes régissent l'élimination des sédiments dragués. Leur dépôt dans des sites d'enfouissement ou leur rejet dans des cours d'eau ou des plans d'eau doivent respecter ces normes pour éviter les impacts néfastes sur la santé humaine et l'environnement.
- **Réutilisation des sédiments:** Dans certains cas, les sédiments dragués peuvent être réutilisés de manière bénéfique. Par exemple, ils peuvent être utilisés pour la restauration des écosystèmes, la construction de terrains ou la fabrication de matériaux de construction. Cependant, cela nécessite une évaluation minutieuse de la qualité des sédiments et des risques associés à leur réutilisation.
- **Coûts et logistique:** Le transport et le traitement des sédiments dragués peuvent être coûteux et nécessitent une planification minutieuse. La disponibilité d'installations de traitement appropriées et de sites d'élimination conformes aux réglementations peut représenter un défi logistique.
- **Consultation des parties prenantes:** La gestion des sédiments dragués implique souvent plusieurs parties prenantes, y compris les autorités environnementales, les communautés locales, les exploitants de barrages et les entreprises de dragage. Il est essentiel d'engager ces parties prenantes dès les premières étapes du processus pour garantir une prise de décision transparente et équitable.

Le problème de la destination finale des sédiments dragués soulève des questions importantes en matière de santé environnementale, de conformité réglementaire, de durabilité et d'engagement des parties prenantes. La recherche de solutions efficaces nécessite une approche intégrée qui tient compte des aspects techniques, économiques, sociaux et environnementaux de la gestion des sédiments.

I- INTRODUCTION :

L'exécution des corps de chaussées, qu'il s'agisse de nouvelles constructions ou de réfections, est une tâche complexe qui peut être entravée par divers problèmes. Parmi ces défis, le déficit en matériau de remblai représente l'un des problèmes les plus significatifs et les plus préoccupants. Le remblai est essentiel pour assurer la stabilité, la durabilité et la résistance des chaussées, car il constitue la base sur laquelle reposent les couches supérieures de la chaussée. Cependant, le manque de matériaux de remblai adéquats peut compromettre la qualité de la construction et entraîner des conséquences néfastes à long terme.

II- DEFINITION DES CHAUSSEES :

Les chaussées se présentent comme des structures multicouches mises en œuvre sur un ensemble appelé plate-forme support de chaussée constituée du sol terrassé (dit sol support) surmonté généralement d'une couche de forme.

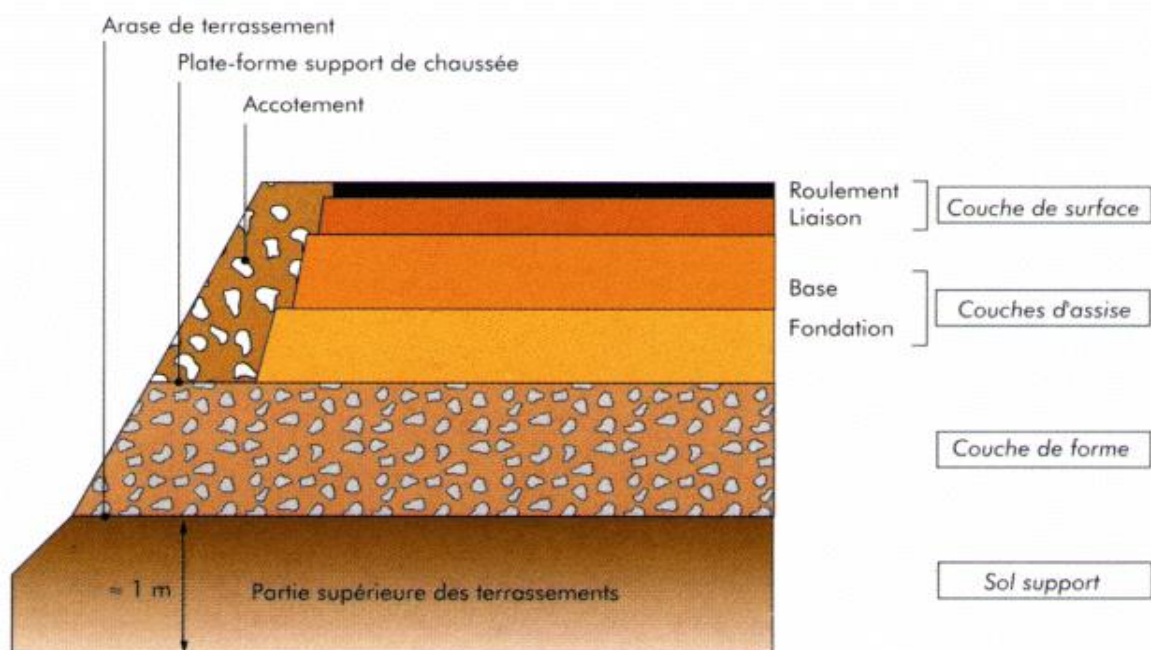


Figure 6 : structure d'une chaussée routière. [5]

Les structures des chaussées constituent des ensembles très complexes, ceci est dû essentiellement à un ensemble de variables qui interagissent et influencent aussi bien la conception que les performances des chaussées.

Chaque couche composant la structure de chaussée joue un rôle déterminant sur les performances ultérieures. Les matériaux constitutifs des différentes couches doivent présenter des propriétés leur permettant d'être aptes à assurer le rôle respectif de chaque couche.

La structure de chaussée sera établie selon ses propriétés. Bien que le sol support, qui constitue l'infrastructure d'une chaussée, ne soit pas souvent considéré comme une couche, ses caractéristiques influencent la conception d'une chaussée. [5]

III- LES COUCHES CONSTITUANT LA CHAUSSEE

III-1 La couche de forme

Cette couche de transition entre le sol support et le corps de chaussée a une double fonction :

Pendant la phase de travaux, elle protège le sol support, elle établit une qualité de nivellement et permet la circulation des engins pour l'approvisionnement des matériaux et la construction des couches de chaussée, vis-à-vis du fonctionnement mécanique de la chaussée, elle permet de rendre plus homogènes et éventuellement d'améliorer les caractéristiques dispersées des matériaux de remblai ou du terrain en place ainsi que de les protéger du gel.

Le rôle des couches formant le corps de chaussée :

- les couches d'assise : fondation et base.
- la couche de surface

Peut être distingué par leur apport aux fonctions que doit assurer la chaussée.

III-2 Les couches d'assise

L'assise de chaussée est généralement constituée de deux couches, la couche de fondation surmontée de la couche de base. Ces couches en matériaux élaborés (le plus souvent liés pour les chaussées à trafic élevé) apportent à la chaussée la résistance mécanique aux charges verticales induites par le trafic. Elles répartissent les pressions sur la plate-forme support afin de maintenir les déformations à ce niveau dans des limites admissibles.

III-3 La couche de surface

La couche de surface est constituée de :

- la couche de roulement, qui est la couche supérieure de la structure de chaussée sur laquelle s'exercent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat,
- et le cas échéant d'une couche de liaison, entre les couches d'assise et la couche de roulement.

C'est à l'interface entre la couche de surface et la couche de base que l'on trouvera éventuellement les dispositifs visant à ralentir la remontée des fissures des couches d'assises traitées aux liants hydrauliques.

Des caractéristiques de surface de la couche de roulement dépendent pour une large part de la qualité d'usage de la chaussée. La couche de surface contribue en outre à la pérennité de la structure de chaussée en particulier par la fonction d'étanchéité vis-à-vis de l'assise. [5]

III-4 Couche de fondation :

La couche de fondation est la première couche d'un corps de chaussée. Elle est destinée à supporter les différentes couches qui constituent la chaussée et à absorber les contraintes de la circulation transmises en profondeur, en répartissant les charges sur la couche de forme. [5]

IV- LA COMPOSITION DE COUCHE DE FONDATION

La couche de fondation est généralement composée :

- d'une grave (mélange de cailloux, graviers et sables)
- pour les chaussées de faible trafic, de tout-venant de bonne qualité
- à défaut, des matériaux traités avec un liant hydraulique qui se forme et durcit par réaction chimique avec de l'eau ou un liant hydrocarboné contenant du bitume pour obtenir une plus grande résistance

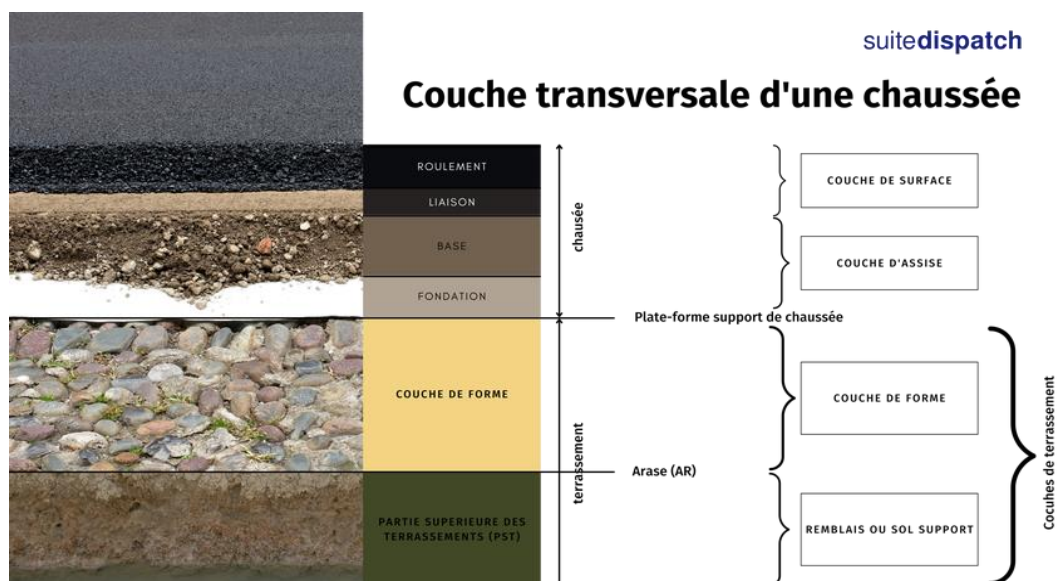


Figure 7 : Les différentes couches de la chaussée routière. [6]

Il y a plusieurs classes de plate-formes, définies dans le Guide des terrassements routiers (GTR), qui dépendent de la portance de la plate-forme (en MPa).

Voici ci-dessous un tableau répertoriant la classe d'arase (ARj), la classe de plate-forme support de chaussée et les portances correspondantes selon le GTR. [6]

Tableau 1 : Les différentes classes de plate-forme de chaussée selon leur portance. [6]

Les classes de portance des plate-formes de la chaussée routière

ARASE DE TERRASSEMENT		PLATEFORME SUPPORT DE CHAUSSEE	
CLASSE D'ARASE	PORTANCE DU SOL (EN MPA)	CLASSE DE PLATEFORME	MODULE DE DÉFORMATION DE LA PLATE-FORME (PORTANCE EN MPA)
AR0	PS < 20	PF1	30 ≤ EV2 < 50
		PF2	50 ≤ EV2 < 80
AR1	20 ≤ PS < 50	PF2	50 ≤ EV2 < 80
AR2	50 ≤ PS < 120	PF2qs (PF2 de qualité supérieure)	80 ≤ EV2 < 120
AR3	120 ≤ PS < 200	PF3	120 ≤ EV2 < 200
AR4	PS > 200	PF4	EV2 > 200

suitedispatch

V- LES TYPES DE STRUCTURE DE ROUTES :

Il existe différentes structures de chaussée, qui varient en fonction de la couche d'assise :

- **Les chaussées souples** : ici la couche de forme n'est pas nécessaire. Les matériaux de composition sont traités aux liants hydrocarbonés et les couches de fondation et de base peuvent être composées de grave non traitée. Les matériaux utilisés sont :
 - Couche de fondation : graviers non traités (GNT) de type B2 ou B1 ;
 - Couche de base : la grave bitume de classe 3 ou GNT de type B2.
- **Les chaussées semi-rigides épaisses** : elles sont constituées d'une couche de surface reposant sur une couche d'assise (base) ou de deux couches (base + fondation). Les matériaux de composition sont traités avec un liant hydraulique (laitier, cendres, ciment...). Voici les différents matériaux qui peuvent être utilisés
 - Couches de base/fondation : la grave ciment ou liant routier, la grave laitier pré-broyé, la grave laitier granulé, le sable traité, sols fin traités ;
 - Couche de fondation seulement : le sable traité.
- **Les chaussées rigides** : les matériaux utilisés sont :
 - couche de fondation : le béton maigre ou une grave ciment ;
 - couche de base : la dalle béton
- **Les chaussées bitumineuses épaisses** : les matériaux de composition sont traités avec un liant hydrocarboné (comme le bitume). Les matériaux utilisés sont : le grave bitume de classe 3 l'enrobé à module élevé de classe 2 . Les différentes couches sont collées ;

- **Les chaussées à structure mixte** : certaines couches de matériaux vont être traitées aux liants hydrauliques et d'autres aux liants hydrocarbonés. Les matériaux utilisés sont :
 - couche de fondation : graves, sables traités aux liants hydrauliques ou matériaux auto-compactant ;
 - couche de base : la grave bitume de classe 3.
- **Les chaussées à structure inverse** : alternance de couches de matériaux traitées aux liants hydrauliques, hydrocarbonés et sans traitement. [6]

VI- GENERALITES SUR LES TUFS

Les tufs sont des roches non homogènes poreuses, friables, et légères souvent pulvérulentes soit d'origines calcaires, issus de sources ou rivières dites pétrifiantes ou la présence d'une riche végétation accélère le dépôt de calcaire, soit d'origine volcanique, agrégats qu'on trouve sous forme strates grossière, souvent sous une mince couche de terre.

Les tufs peuvent offrir des couleurs très variées selon les éléments qui les composent.

VI-1 Classification des tufs

Le tuf volcanique, appelé anciennement tuf lithoïde, les grecs employaient le tuf volcanique de l'île de Santorin, par contre les romains se servaient d'un tuf volcanique rouge.

Les romains ont beaucoup plus préférés un type de roche, d'où le nom de pouzzolane sous lequel était alors connu tout matériau ayant des propriétés comparables.

Pour son abondance et la facilité de son extraction et de sa taille, le tuf est, au moins depuis les Étrusques et les Romains, un des matériaux les plus employés dans la construction des bâtiments publics et privés.

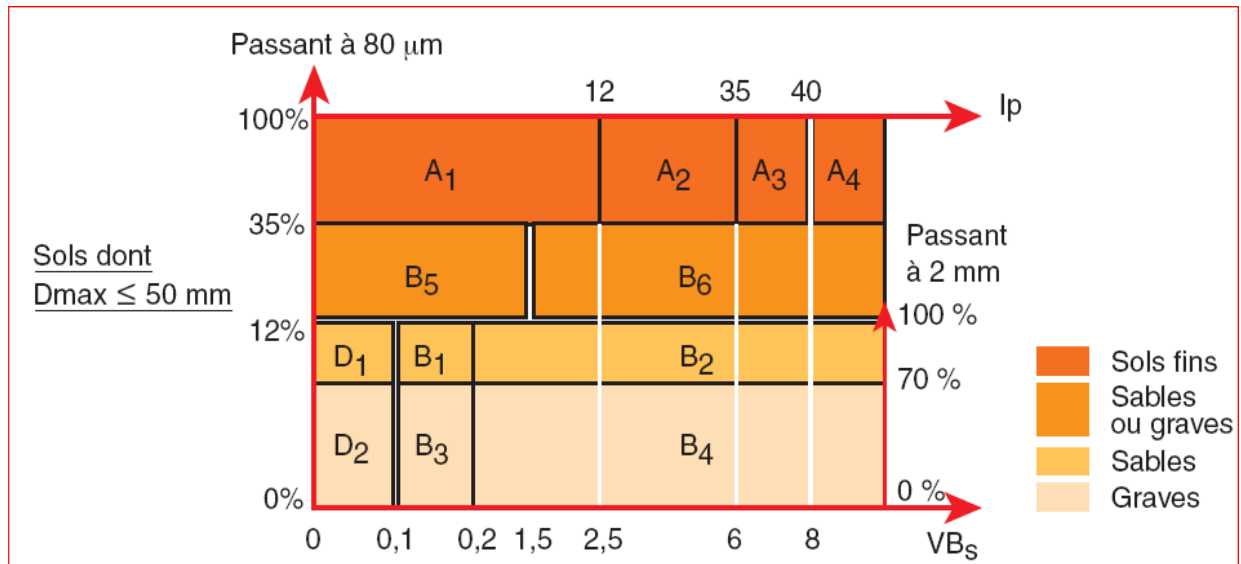
VI-2 Tufs Calcaires

Les tufs ou bien la croûte calcaire est un matériau composé essentiellement, mais pas exclusivement de carbonates de calcium. Les croûtes existent à l'état poudreux, nodulaire ou très induré ; elles sont dues à la cimentation, à l'accumulation ou au remplacement de quantités plus ou moins grandes de sols, roches ou matériaux altérés par du calcaire dans une zone d'infiltration.

Les tufs calcaires sont des roches calcaires ayant un γ supérieur à 60, une masse volumique inférieure à 2 t/m³, une résistance à la compression simple comprise

VII- CLASSIFICATION GTR :

Le « Guide des Terrassements Routiers, réalisation des remblais et des couches de forme » [GTR] est un guide spécifique aux travaux routiers. Les paramètres d'entrées sont comme illustré dans la figure I.10. Ils sont essentiellement les caractéristiques physiques du matériau. Ces paramètres sont la granulométrie, l'activité argileuse et la plasticité du matériau.



D_{max}	Classe	Sous classe	Nature
$\leq 50 \text{ mm}$	A Sols fins	A ₁	Limons peu plastiques, loess, silts alluvionnaires, sables fins peu pollués, arènes peu plastiques, ...
		A ₂	Sables fins argileux, limons argileux et marnes peu plastiques, arènes, ...
		A ₃	Argiles et argiles marneuses, limon très plastiques,
		A ₄	Argiles et argiles marneuses très plastiques,
	B Sols sableux et graveleux avec fines	B ₁	Sables silteux, ...
		B ₂	Sables argileux (peu argileux),
		B ₃	Graves silteuses,
		B ₄	Graves argileuses (peu argileuse), ...
		B ₅	Sables et graves très silteux, ...
		B ₆	Sables et graves argileux à très argileux

Figure 8 : Tableau synoptique de classification des matériaux selon leur nature, Selon la norme (NF P 11-300)

VIII- LE MANQUE DE MATERIAUX REPANDANT AUX EXIGENCES TECHNIQUES DES TRAVAUX DE TERRASSEMENT :

Le manque de matériaux répondant aux exigences techniques des travaux de terrassement pose des défis importants en termes de qualité, de coût, d'impact environnemental et de durabilité des projets de construction et d'infrastructure. Voici quelques points clés concernant cette problématique :

VIII-1- Qualité des matériaux disponibles :

Les matériaux de terrassement doivent répondre à des normes et des spécifications techniques strictes en ce qui concerne leur composition, leur granulométrie, leur résistance, leur stabilité, etc. La qualité des matériaux utilisés pour les travaux joue un rôle crucial dans la durabilité, la stabilité et la sécurité des ouvrages. Cependant, la disponibilité de matériaux répondant aux exigences techniques requises constitue souvent un défi pour les acteurs du secteur de la construction. Cette étude vise à analyser en profondeur la qualité des matériaux disponibles pour les travaux de terrassement, en mettant en lumière les enjeux associés, les méthodes d'évaluation utilisées et les perspectives d'amélioration.

VIII-2- Coût et disponibilité :

Les matériaux de remblais sont largement utilisés dans la construction pour créer des niveaux et des surfaces planes, soutenir les fondations, ou encore remplir des espaces vides. Cependant, le coût et la disponibilité de ces matériaux peuvent varier considérablement en fonction de facteurs tels que la localisation géographique, la demande du marché, et les réglementations environnementales. Cette étude se propose d'analyser en profondeur les défis associés au coût et à la disponibilité des matériaux de remblais, ainsi que les stratégies et les perspectives pour surmonter ces défis.

Les matériaux de remblais peuvent représenter une part significative des coûts totaux d'un projet de construction, notamment lorsque les matériaux disponibles sont rares ou doivent être transportés sur de longues distances.

VIII-3 Impact environnemental : L'extraction de matériaux de terrassement peut avoir des répercussions néfastes sur l'environnement, notamment en termes de dégradation des paysages, de perte de biodiversité et de destruction d'habitats naturels. Le manque de matériaux de qualité peut inciter à recourir à des pratiques d'extraction non durables ou à des transports sur de longues distances, augmentant ainsi l'empreinte écologique des projets.

VIII-4 Normes et réglementations : Les normes et réglementations en matière de qualité des matériaux de terrassement peuvent varier d'un pays à l'autre, ce qui peut entraîner des divergences dans les pratiques d'évaluation et de contrôle de la qualité.

VIII-5 Contraintes logistiques : Le transport de matériaux sur de longues distances ou la mise en place d'installations de traitement peuvent poser des défis logistiques supplémentaires, tels que des retards dans la livraison des matériaux et des problèmes de gestion des déchets et de la logistique des transports.

Pour surmonter le déficit en matériaux répondant aux exigences techniques des travaux de terrassement, plusieurs mesures peuvent être prises, notamment :

- Effectuer une évaluation approfondie des ressources en matériaux disponibles localement.
- Explorer des alternatives de matériaux, telles que les matériaux recyclés ou les matériaux innovants.
- Mettre en place des programmes de gestion des matériaux pour optimiser l'utilisation des ressources disponibles et réduire les déchets.
- Collaborer avec des fournisseurs et des experts pour trouver des solutions adaptées aux besoins spécifiques du projet.
- Intégrer des considérations environnementales dans la planification et la mise en œuvre des travaux de terrassement pour minimiser les impacts sur l'environnement.

En prenant des mesures proactives pour gérer le manque de matériaux répondant aux exigences techniques, les projets de terrassement peuvent être menés de manière plus efficace, durable et rentable ; en l'occurrence, un plan de mouvement des terres est indispensable dans les études préliminaires.

IX- CONCLUSION :

Face au manque de matériaux de terrassement traditionnels, il est nécessaire d'explorer des solutions alternatives telles que l'utilisation de matériaux recyclés, de matériaux géosynthétiques, ou encore le recours à des techniques de terrassement innovantes comme le remblaiement avec des matériaux légers (les argiles expansifs ou autres) ou la stabilisation des sols in situ.

Toutefois ; et dans le cas de notre présent travail, une amélioration des matériaux présent dans les parages pourrait être un atout majeur pour le bon déroulement des travaux.

I- INTRODUCTION

L'Algérie, dotée de nombreuses richesses naturelles, bénéficie d'un vaste réseau hydrographique comprenant plusieurs barrages, dont le barrage de Fergoug, qui joue un rôle essentiel dans la gestion des ressources en eau et la croissance économique du pays. Néanmoins, ces infrastructures font face à un défi de taille qui est l'envasement.

II- PRESENTATION DU BARRAGE DE FERGOUG

Le barrage de Fergoug doit sa dénomination à la localité « Douar Fergoug », dans la wilaya (région) de Mascara, à environ 80 km à l'est d'Oran. Les caractéristiques géographiques de la localité du Fergoug sont les suivantes : [3]

Tableau 2 : localisation de FERGOUG

Latitude : 35.5231	Longitude : 0.0414	Altitude (pieds) : 2420
Lat. (DMS) : 35°31'23 N	Long. (DMS) : 0°2'29 E	Altitude (mètres): 730



Figure 9 : Situation géographique de Perrégaux et Fergoug. [3]



Photo 4 : Vue de la digue en 2006. [3]



Photo 5 : Vue de la digue en 2024

III- HISTORIQUE DU BARRAGE DE FERGOUG :

L'ancien ouvrage, construit de 1865 à 1871, était un barrage-poids en maçonnerie hydraulique de 316 m de long, flanqué en rive droite d'un mur de 30 m faisant un angle de 120° avec l'ouvrage central, et en rive gauche d'un déversoir de 125 m de long faisant un angle de 35° avec le prolongement de l'axe du barrage. Ce déversoir était fait de deux murs verticaux réunis par un glacis en pente; sa crête était à 1,60 m en contrebas de la plate-forme du barrage. La hauteur au-dessus du thalweg était de 35 m, la hauteur totale au-dessus du point le plus bas des fondations était de 43 m. La largeur maximum des fondations atteignait 33 m. La capacité totale de la cuvette était évaluée à 30 millions de m³.³[3]

Vue d'ensemble prise de la rive gauche.



Photo 6 : vue d'ensemble prise de la rive gauche. [3]

- En 1872, le déversoir fut emporté sur une longueur de plus de 50 m par une crue estimée à 200 m³/seconde; il a été reconstruit sous forme d'un mur unique, profilé pour éviter les affouillements, et basé sur de solides fondations après remplissage des excavations découvertes dans le rocher.

- En 1881, une crue de 850 m³/seconde emporta 125 m de barrage sur la rive droite; la brèche a été réparée de 1883 à 1885 avec modification du profil. ³
- Enfin en 1927, une crue de 2.300 m³/seconde avec pointe de plus de 5.000 m³/seconde a entaillé dans l'ouvrage une brèche de 155 m. [3]

LE BARRAGE DE L'OUED FERGOUG APRES LA CATASTROPHE DE 1927.

**Photo 7 :** après la catastrophe de 1927. [3]

IV- LE BASSIN VERSANT DE FERGOUG :

Le bassin versant de l'oued El Hammam au barrage Fergoug présente une forme sensiblement allongée, la superficie est de 7954 km² pour un périmètre de 446 km. L'oued principal prend sa source à 16 km au sud-ouest de Ras-El-Ma à une altitude de 1200 m suivant une direction sud-ouest nord-est et reçoit ses principaux affluents à la station hydrométrique des trois rivières. Il longe toute la partie des monts des Beni Chougrane, après avoir drainé dans son haut cours les monts de Daya et Saida, et se perd ensuite dans la plaine marécageuse de l'Habra tout en alimentant les nappes aquifères à la base des alluvions et des sables.

Les conditions physiques, géomorphologiques et hydro-climatiques sont des facteurs [4]

V- LITHOLOGIE

La vallée de l'oued El Hammam est barrée en deux points paléogéographiques. Elle est située dans le sillon sud Tellien: région tectonique complexe où la sédimentation a donné des roches imperméables et compressibles (argiles et marnes) ou très perméables et peu cohérentes à l'exception de quelques bancs durs de grès, puddings et sables plus ou moins cimentés, dans la bordure nord (monts des Beni Chougrane). On constate ici la prédominance de marnes de couleurs noire, grise et jaune ocre (sableuse). La bordure est (mont de Saida) est constituée de dolomies surmontant des calcaires. Au centre de la plaine de Ghriss, on trouve un remplissage d'argiles et marnes grises et verts. Le sud (monts de Daya) est couvert de marnes et de grès sur un socle rigide allant des monts de Tlemcen à ceux de Saida. qui favorisent le déclenchement et l'accélération de l'érosion. [4]

VI- LA VEGETATION

Le couvert végétal est d'autant plus efficace qu'il amortit considérablement le rebondissement de la terre lors de l'impact des gouttes d'eau sur le sol, qu'il recouvre une forte proportion du terrain au moment d'une forte précipitation, qu'il ralentit le ruissellement et qu'il participe directement à la pédogenèse. La couverture végétale couvre 60% du bassin versant, à part quelques taches de forêts bien dégradées. Nous constatons la prédominance du maraîchage et des cultures céréalières dans les parties sud et sud-est de notre bassin versant.

Le couvert végétal est pratiquement inexistant sur les zones marneuses et généralement peu dense sur les reliefs.

La situation actuelle des Beni Chougrane se caractérise par l'importance des terres labourables, par une faible couverture végétale apparemment forestière et fruitière et par l'importance des terres de parcours dont une grande partie est dégradée. Cet état de fait se traduit par une mauvaise occupation du sol, un taux de recouvrement très faible et au nivellement progressif du terrain. [4]

VII- LES PENTES

Le relief s'élève dans l'ensemble du nord vers le sud, passant de 600-700 m à 900-1 000 m, s'avancant des monts de Saida au sud jusqu'au barrage du Fergoug au nord.

Les fortes pentes apparaissent dans la zone des formations relativement résistantes à prédominance gréseuse (bordure sud du bassin versant). Les collines disséquées aux reliefs abrupts apparaissent sur les marnes et contrastent par leur rigidité avec les pentes relativement douces des argiles helvétiques qu'on observe sur la partie nord du bassin.

On peut dire que les différentes classes de pente correspondent à des types de reliefs bien déterminés où la lithologie est très sensible à l'érosion. [4]

VIII- SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le bassin de Fergoug (bassin de barrage Fergoug) localisé dans la région Nord-Ouest Algérienne, fait partie intégrante des monts de Béni-Chougrane, dans la wilaya de Mascara, il est limité :

- Au Nord par la Daïra de Mohammedia ;
- Au Sud et Sud Est par le bassin de Bouhanifia ;
- Au Sud Ouest par la wilaya de Sidi Bel Abbès ;
- A l'Est par la commune d'Ain Farès ;
- A l'Ouest par la Daïra de Sig.

Sur le plan géographique, notre zone d'étude est cadrée par les coordonnées suivantes :

Tableau 3 : les coordonnées géographique du barrage

Longitude	0° 10' W	0° 15' E
Latitude	35° 16' N	35° 33' N

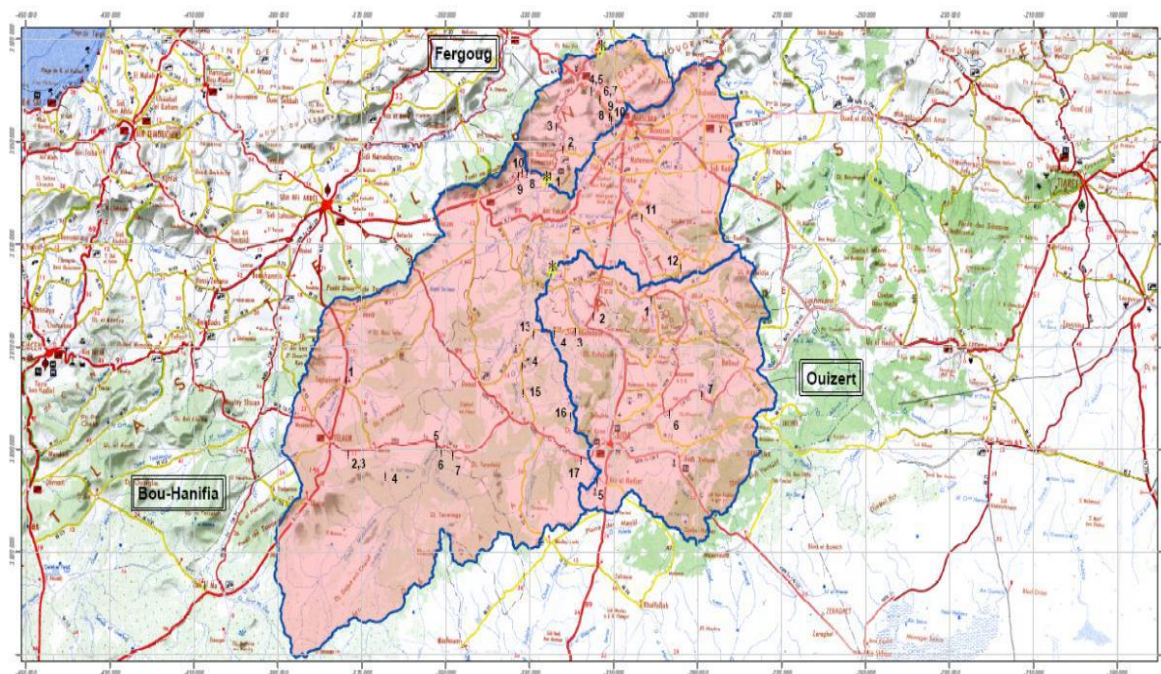


Figure 10 : Localisation du bassin versant de Fergoug. [3]

IX- GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT DU BARRAGE DE FERGOUG :

- Cette cuvette est sise dans une zone à tendance marneuse et marneuse gréseuse du sénonien inférieur, l'étendue de la rive gauche présente une composition complexe avec un gîte éventuel de fossiles, dans cette étendue le grès du miocène moyen est localisée dans un espace assez restreint du côté du confluent, un faible gisement de poudingue d'argile et de basalte apparaît sur la rive droite, plus à l'amont la région est dominée par des marnes du Sénonien et des grès du Miocène supérieur. [3]

X- LES CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES

- La hauteur des précipitations diminue rapidement quand on progresse vers le sud du bassin versant. Ainsi, presque la totalité du bassin reçoit en moyenne moins de 500 *d a n*, ne dépassant guère 600 mm dans les plaines. Elles varient de 500 à 700 mm dans les monts de Saida et de 350 à 600 mm dans les monts des Beni Chougrane. Dans l'ensemble, le régime climatique de la région est caractérisé par une saison froide relativement tempérée, durant laquelle tombent presque toutes les pluies, suivie d'une période sèche avec quelques orages et pluies torrentielles. Ces différents facteurs précités conduisent à une érosion intense du bassin de l'oued El Hammam. Les particules arrivant dans la retenue du barrage de Bouhanifia ont été prises au niveau de la conduite de vidange, à 1 km et à 5 km en amont du barrage, pour subir une analyse géotechnique. [4]

XI- CONCLUSION :

- Actuellement, le barrage est fortement ensablé, ce qui compromet ses fonctions initiales. Son historique souligne son rôle vital dans une région à vocation agricole et pastorale. Étant donné l'absence d'autres emplacements possibles pour un nouveau barrage et de moyens alternatifs de stockage de l'eau, il est impératif de récupérer les volumes perdus par dragage. L'étude géologique du bassin versant fournit des informations essentielles sur la nature et le comportement prévu des particules piégées dans le réservoir du barrage.

I- INTRODUCTION :

Afin de réaliser une caractérisation physicochimique complète des sédiments d'envasement du barrage de Fergoug, nous avons collecté trois échantillons distincts. Ces échantillons ont été prélevés à divers emplacements stratégiques du barrage, couvrant une gamme de profondeurs variées pour assurer une représentation précise de l'hétérogénéité des sédiments. Chaque site de prélèvement a été choisi en fonction de critères géographiques et hydrodynamiques spécifiques pour garantir la diversité et la représentativité des échantillons, permettant ainsi une analyse exhaustive des propriétés physicochimiques des sédiments.

II- PRELEVEMENT D'ECHANTILLONS DE SOLS AU BARRAGE DE FERGOUG :

Tableau 4 : Localisation de prélèvement d'échantillons

	Ech 1	Ech 2	Ech 3
latitude	35°30'44.36"N	35°30'43.16"N	35°30'56.99"N
longitude	0° 2'39.46"E	0° 2'51.54"E	0° 2'44.85"E

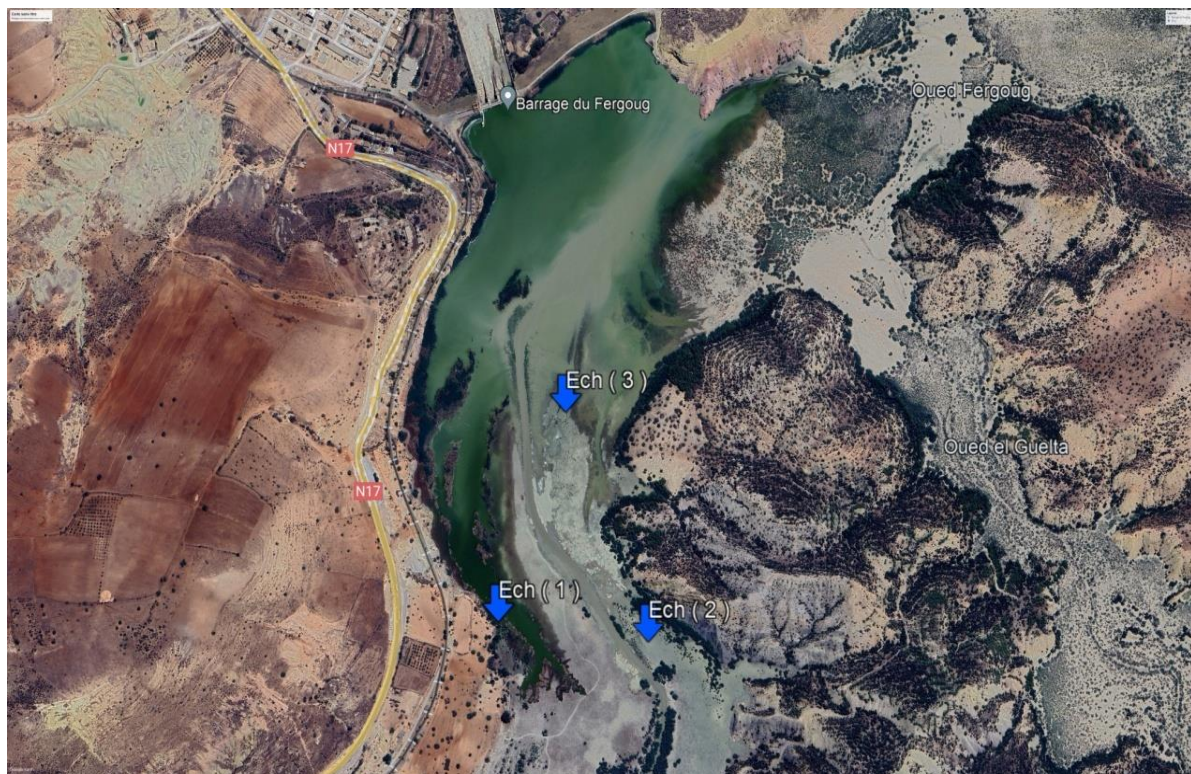


Figure 11 : carte graphique pour des points de prélèvement



Photo 8 : bassin versant



Photo 9 : prélèvement Ech a 0.2 m



Photo 10 : prélèvement Ech a 0.5 m



Photo 11 : prélèvement Ech a 1 m

III- ANALYSES CHIMIQUES

Eléments majeurs: (NF EN 196-2). Les sulfates: (NF EN 196-2). Les carbonates: (NA.2789).

(PAR LTPO)

Tableau 5 : Résultats des analyses chimiques

N° Sondage	Profondeur (m)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	SO ₄ (mg/kg)	CaCO ₃ (%)	CO ₂ (%)
SC1	0.50 – 2	75.22	1.09	2.16	2332.40	20.45	9.00

Commentaire :

- **Richesse en Silice (SiO₂)** : La forte teneur en silice indique que le sol est principalement composé de minéraux quartzitiques. Cela suggère que ce sol peut être utilisé dans la fabrication de matériaux de construction comme les briques et les céramiques. La silice est également précieuse pour les industries du verre et de la céramique mais aussi les panneaux solaires.
- **Présence de CaCO₃** : Le carbonate de calcium en quantité notable montre que ce sol a un potentiel pour la production de chaux et de ciment. De plus, les sols calcaires sont bénéfiques pour corriger l'acidité des sols agricoles.
- **Al₂O₃ et Fe₂O₃** : La présence d'alumine et d'oxyde de fer en quantités modérées renforce l'aptitude du sol à la production de céramiques et de briques réfractaires.
- **CO₂** : La présence de dioxyde de carbone pourrait indiquer une activité biologique significative, ce qui peut être bénéfique pour la fertilité du sol s'il est utilisé dans des applications agricoles.

IV- TENEUR EN EAU : Sous la norme NF P 94-050**IV-1 Définition :**

La teneur en eau d'un sol est le rapport du poids de l'eau libre présente dans un certain volume de sol, au poids des éléments solides compris dans ce volume

$$\omega (\%) = (\text{Poids d'eau libre} / \text{Poids des éléments solides}) \times 100$$

Tableau 6 : Valeurs des teneurs en eau Ech Z= 0.2 m

Numéro du récipient	1	2	3
Poids du récipient (g)	12.7	12.6	12.8
Poids récipient + Sol humide (g)	106.9	114.1	108.7
Poids du sol humide (g)	94.2	101.5	95.9
Poids du récipient + Sol sec (g)	81.8	87.1	81.9
Poids du sol sec (g)	69.1	74.5	69.1
Poids de l'eau (g)	25.1	27	26.8
Teneur en eau (%)	36.3	36.2	38.7
Teneur en eau moyenne (%)	37.06		

Tableau 7 : Valeurs des teneurs en eau Ech Z= 0.5 m

Numéro du récipient	1	2	3
Poids du récipient (g)	12.6	12.9	518,5
Poids récipient + Sol humide (g)	173.60	190.20	1283
Poids du sol humide (g)	161	177.30	765
Poids du récipient + Sol sec (g)	173.60	136.60	1099
Poids du sol sec (g)	112.40	123.70	580
Poids de l'eau (g)	48.6	53.6	185
Teneur en eau (%)	43.23	43.33	31
Teneur en eau moyenne (%)	39.18		

Tableau 8 : Valeurs des teneurs en eau Ech Z= 1 m

Numéro du récipient	1	2	3
Poids du récipient (g)	18.90	18.90	518
Poids récipient + Sol humide (g)	136	136.10	1227
Poids du sol humide (g)	117.10	117	709
Poids du récipient + Sol sec (g)	100.40	98.80	1006
Poids du sol sec (g)	81.50	79.90	488
Poids de l'eau (g)	35.60	37.1	221
Teneur en eau (%)	43.68	46.43	45
Teneur en eau moyenne (%)	45.03		

IV-2 Commentaire :

D'après les tableaux ci-dessus, la teneur en eau de notre matériau est de l'ordre de 40.42 %,

V- POIDS SPECIFIQUES DES GRAINS SOLIDE : sous la Norme NF P94-054**V-1 Définition :**

La norme NF P94-054 décrit la méthode de détermination de la masse volumique des particules solides d'échantillon de sol intact ou remanié dont la dimension des plus gros éléments n'excède pas 2 mm. La mesure de la masse volumique est déterminée au pycnomètre à eau.



Photo 12 : échantillonnage de sédiment

V-2 Mode opératoire :

Cet essai est réalisé à l'aide d'un pycnomètre et une balance de précision

L'essai se réalise comme suit :

Prendre un pycnomètre, le peser après l'avoir lavé et séché, soit (M_1) de poids

Remplir le pycnomètre avec de l'eau distillée jusqu'au repère, il faut éliminer toutes les bulles d'air et le peser, soit (M_2) de poids.

Vider le pycnomètre de son contenu et le sécher, Mettre un échantillon du sol sec (10 g à 25 g) dans le pycnomètre et le peser soient (M_3) de poids verser un volume d'eau distillé de le pycnomètre et éliminer les bulles d'air jusqu'au repère, peser le tout, soit (M_4) de poids.



Photo 13 : l'essai au pycnomètre

V-3 Calcule :

Le poids spécifique des grains solides est déterminé à partir de la formule suivante :

$$\gamma_s = \gamma_w \frac{(M_3 - M_1)}{(M_2 - M_1 - M_4 + M_3)}$$

avec :

γ_w : poids volumique de l'eau conventionnellement pris égale à 1 g/cm³.

M₁: poids du pycnomètre vide,

M₂: poids du pycnomètre remplie d'eau distillé jusqu'au repère,

M₃: poids du pycnomètre, avec l'échantillon,

M₄ : poids du pycnomètre+ matériau + eau jusqu'au repère,

V-4 Résultats :

Les résultats trouvés sont donnés dans le tableau

Tableaux 9 : Poids volumiques des grains solides du sédiment étudié

	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	γ_s
Echantillon	155	653.58	195	676.28	2.31

V-5 commentaire :

-Le poids volumiques des grains solides γ_s de sol du barrage de fregoug est de 2.31 g/cm³.

Lorsque γ_s se situe dessous de 2.6 g/cm³, il existe un certain taux en matière organique dans la vase étudié, donc le sol est organique.

.

VI- ANALYSE GRANULOMETRIQUE D'UN SOL : (NF P94-056 et NF P94-057)**VI-1 Définition :**

- L'analyse granulométrie se propose de définir la répartition des grains constitutifs d'un sol par classes de taille, elle est réalisée:

-Par un tamisage mécanique pour les grains supérieurs à 0,08mm.

-Par un essai de sédimentation pour les particules inférieures à 0,08mm.

-La granularité se définit comme la répartition de la dimension moyenne des particules du sol, exprimée en pourcentage de la masse totale du matériau.

- L'analyse granulométrique s'effectue jusqu'à 80 μm par tamisage du matériau par voie sèche ou par voie humide, les dimensions des mailles des tamis les plus couramment utilisés sont les suivants: 80mm, 50 mm, 32mm, 20m, 10mm, 5mm, 2mm, 1mm, 0.4mm, 0.1mm, 0.08mm.

L'analyse granulométrique se poursuit par la sédimentométrie.



Photo 14 : Echantillonnage de la vase



photo 15 : lavage Echantillonnage

Tableau 10 : Résultats des tamisât cumulés Ech Z= 0.2 m

Prélèvement (m)	Tamis (mm)	Tamisat (%)
0.2	0.1	100

Tableau 11 : Résultats des tamisât cumulés Ech Z= 0.5 m

Prélèvement (m)	Tamis (mm)	Tamisat (%)
0.5	0.1	100

Tableau 12 : Résultats des tamisât cumulés Ech Z= 1 m

Prélèvement (m)	Tamis (mm)	Tamisat (%)
1	0.1	100

VI-2 Commentaire :

Après l'arrosage et brossage des matériaux on obtient le refus de 80 μ 100% dans les trois prélèvements

VII- ESSAI DE L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR SEDIMENTOMETRIE

sous la Norme (NF P 94-057)

VII-1 Mode opératoire :

Dans le cas des sols fins tel que la vase, avant d'entamer le tamisage, il faut étuver l'échantillon à 105°C pendant 24 heure ensuite l'imbiber a une solution de flocculant (Hexa méta phosphate de sodium), puis vient le tamisage à l'état humide pour faciliter la séparation entre les grains de différentes tailles.

Les particules passant par le tamis le plus bas (80 µm) sont traitées par l'essai de la Sédimentométrie.

Le principe est de mesurer au bout de certains intervalles de temps; la densité de la solution à une profondeur donnée.



Photo 16 : Essai de sédimentométrie

Tableau 13 : Résultats des tamisât cumulés Ech Z= 0.2 m

Analyse sédimentométrique	
Diamètre équivalent	Tamisat (%)
75 .00 μm	100
55 .00 μm	97.73
38 .00 μm	95.45
25 .00 μm	93.18
17 .00 μm	86.36
12 .00 μm	79.55
08.00 μm	72.73
05 .00 μm	70.45
04 .00 μm	65.91
03 .00 μm	59.09
02 .00 μm	54.55

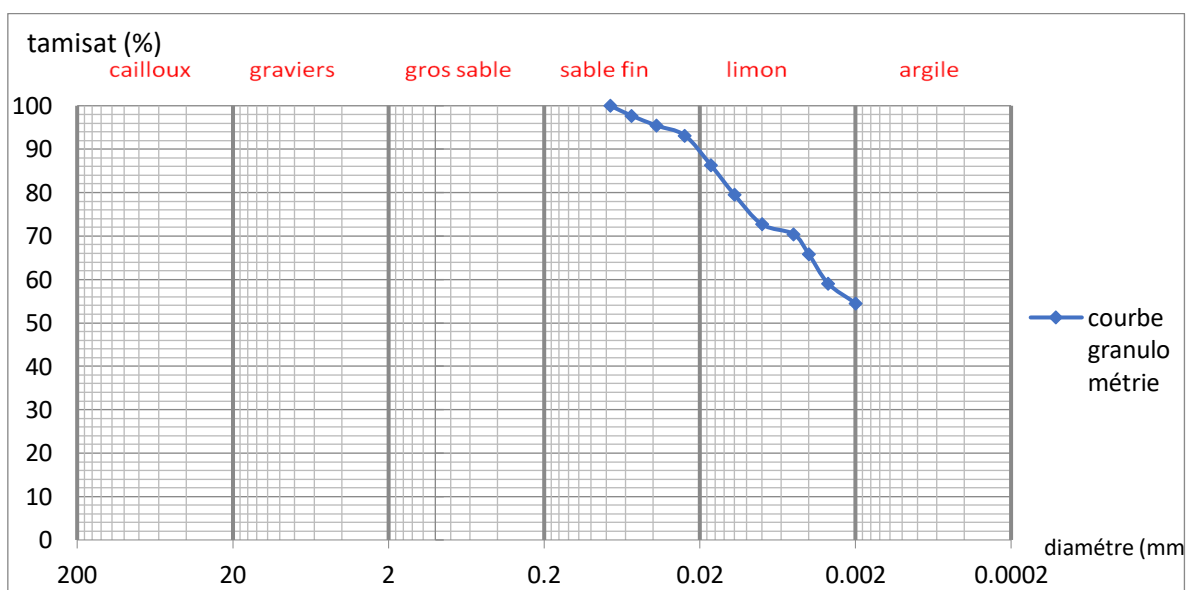
**Figure 12** : La courbe granulométrique de l'échantillon étudié (0,2m)

Tableau 14 : Résultats des tamisât cumulés Ech Z= 0.5 m

Analyse sédimentométrique	
Diamètre équivalent	Tamisat (%)
75 .00 μm	100
55 .00 μm	97.73
38 .00 μm	95.45
25 .00 μm	93.18
17 .00 μm	86.36
12 .00 μm	79.55
08.00 μm	72.73
05 .00 μm	70.45
04 .00 μm	65.91
03 .00 μm	59.09
02 .00 μm	54.55

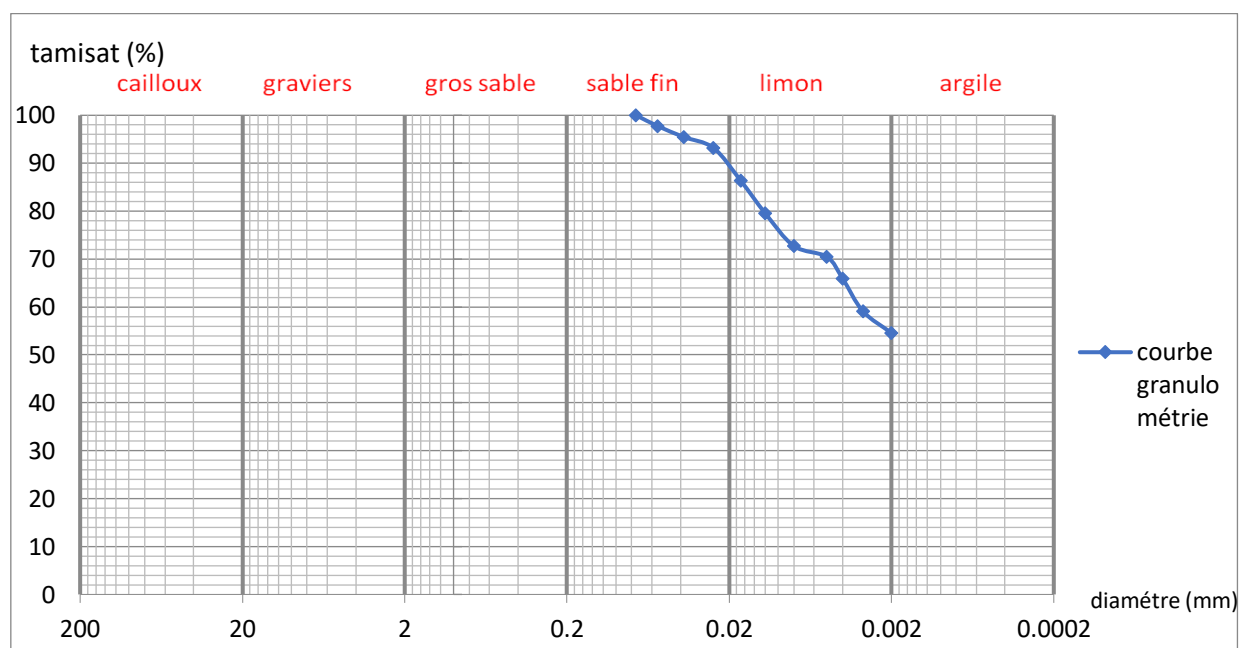
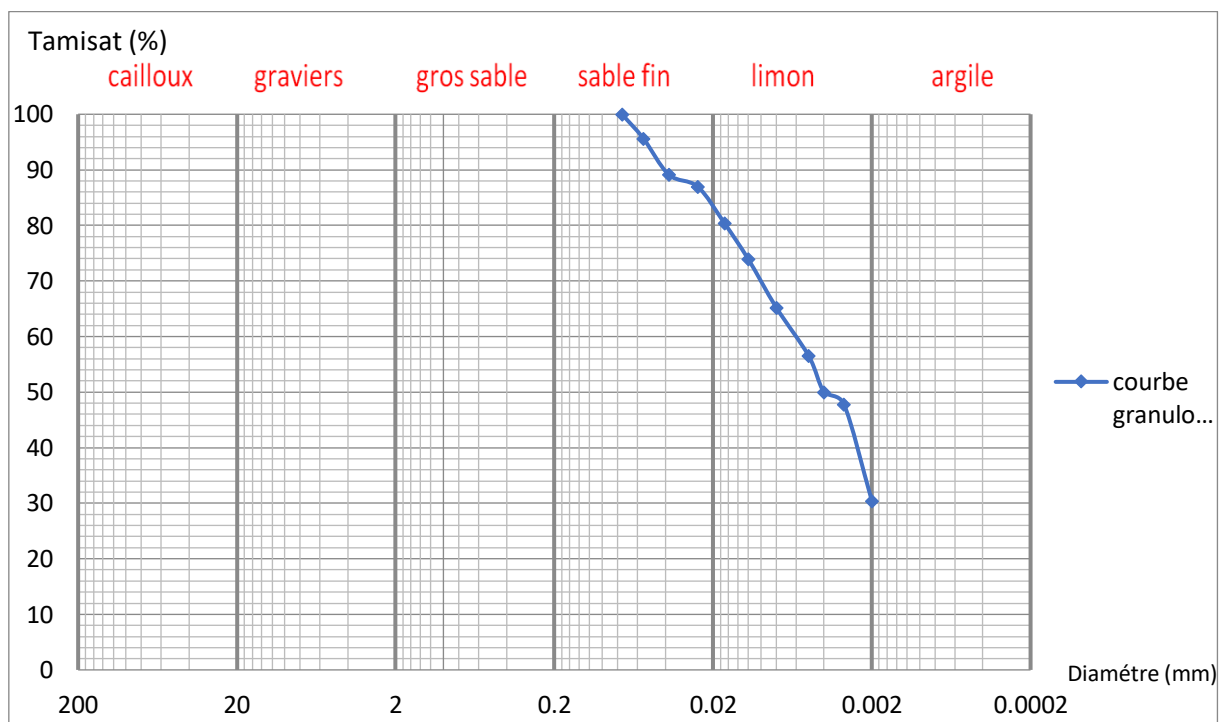
**Figure 13** : La courbe granulométrique de l'échantillon étudié (0,5 m)

Tableau 15 : Résultats des tamisât cumulés Ech Z= 1 m

Analyse sédimentométrique	
Diamètre équivalent	Tamisat (%)
75 .00 μm	100
55 .00 μm	95.65
38 .00 μm	89.13
25 .00 μm	86.96
17 .00 μm	80.43
12 .00 μm	73.91
08.00 μm	65.22
05 .00 μm	56.52
04 .00 μm	50.00
03 .00 μm	47.83
02 .00 μm	30.43

**Figure 14** : La courbe granulométrique de l'échantillon étudié (01 m)

VII-2 Commentaire :

D'après nos résultats, on a trouvé que le % d'éléments inférieurs à 80 μ m est : 100 % pour notre échantillon

On remarque que le % d'éléments fins est important, ce qui confirme notre sol fin.

- **Coefficient d'uniformité Cu** : d'après nos résultats le Cu ne peut être mesuré
- **Coefficient de courbure CC** : d'après nos résultats le CC ne peut être mesuré
- **L'indice de classement S₀** : d'après nos résultats le S₀ ne peut être mesuré
- **L'indice d'asymétrie SK** : d'après nos résultats le SK ne peut être mesuré

VIII- LIMITES D'ATTERBERG : sous la Norme NF P94-051**VIII-1 Définition :**

Le comportement d'un sol varie dans des proportions importantes en fonction de sa teneur en eau.

Pour une valeur élevée de la teneur en eau, le sol se comporte à peu près comme un *liquide* ; c'est de la boue: les forces de cohésion ne sont pas assez importantes pour maintenir les particules en place.

Quand la teneur en eau diminue, vient la phase *plastique* ; on peut encore modeler la terre sans qu'elle s'effrite, elle conserve sa forme.

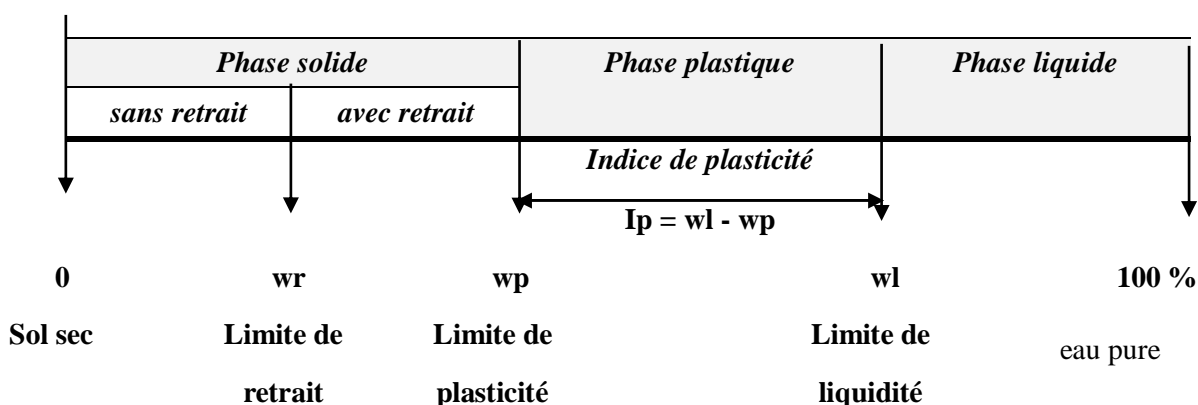
Puis on ne peut plus modeler la terre: elle se fendille au cours du travail: c'est la phase *solide*.

On peut encore subdiviser cette phase solide. Lorsque la quantité d'eau demeure relativement importante, la pellicule d'eau qui enveloppe les grains repousse ces grains et augmente le volume apparent ; de sorte que, si l'on sèche un tel sol, il y aura *retrait*. Tandis que, pour une teneur en eau encore plus faible, l'eau ne repoussera plus les particules du sol, et le volume sec sera égal au volume humide: ce sera la phase *solide sans retrait*.

Les teneurs en eau qui correspondent au passage de l'un à l'autre de ces états sont respectivement :

- La limite de liquidité w_l
- La limite de plasticité w_p
- La limite de retrait w_r

On appelle **indice de plasticité** la différence $I_p = w_l - w_p$. C'est l'étendue de l'intervalle pendant lequel on peut " travailler " le sol.



VIII-2 Limite de liquidité**VIII-2-1 Mode opératoire**

- Elles sont déterminées sur la fraction de sol passant au tamis 400 μm ,
- On prendra un échantillon d'environ 60g, on ajoute de l'eau.
- Dans une coupelle lisse, à l'aide de la spatule on répartit au 2/3 la pâte dans la coupelle.
- On trace une rainure avec l'outil à rainurer en prenant soin de la maintenir Perpendiculairement à la surface.
- On soumet la coupelle à des chocs réguliers (à l'aide de la boîte de Casagrande, voir photo (17) au rythme de 2 coups par second. La hauteur étant réglée à une hauteur de 1.0 cm à l'aide d'une calle.
- On note le nombre de coups nécessaires pour avoir une fermeture de la rainure sur une longueur de 1 cm.
- On prélève un échantillon de chaque côté des lèvres de rainure et au voisinage de lieu où elles se sont fermées.
- Les échantillons ainsi prélevés sont placés dans des boîtes à pétri et étuvés afin de déterminer la teneur en eau.

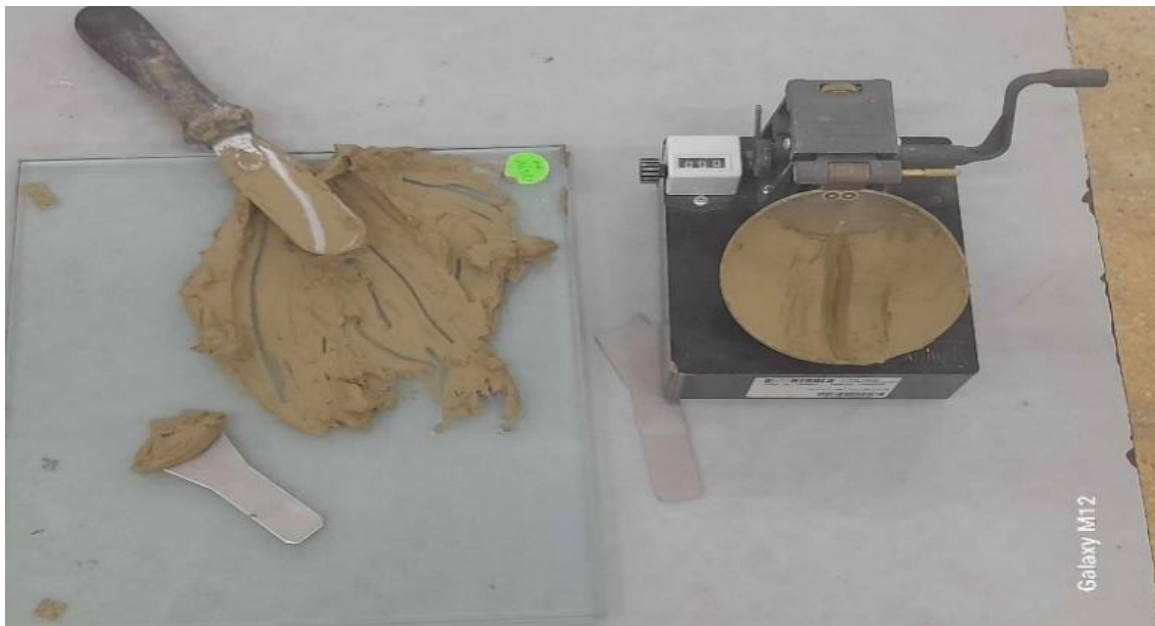


Photo 17 : essai Limite de liquidité

VIII-3 limite de plasticité

VIII-3-1 Mode opératoire :

- La limite de plasticité est la teneur en eau pour laquelle, ces rouleaux se brisent en petits tronçons.
- On étale le reste de la patte sur une plaque de verre à l'aide d'une spatule pour la dessécher.
- On forme à l'aide de la paume de la main sur les plaques de verres des rouleaux de diamètre 3 mm et de 10 à 15cm de longueur, voir photo ()



Photo 18 : l'essai de la limite de plasticité

VIII-4 Résultats : Les résultats de l'essai de la limite de plasticité sont représentés en tableau suivant :

Tableau 16 : Résultat l'essai de la limite de plasticité

Prélèvement	WL (%)	Wp (%)	Ip (%)
0.2	51	27	24
0.5	54	28	26
1	53	26	27

Echantillon Z= 0.2 m

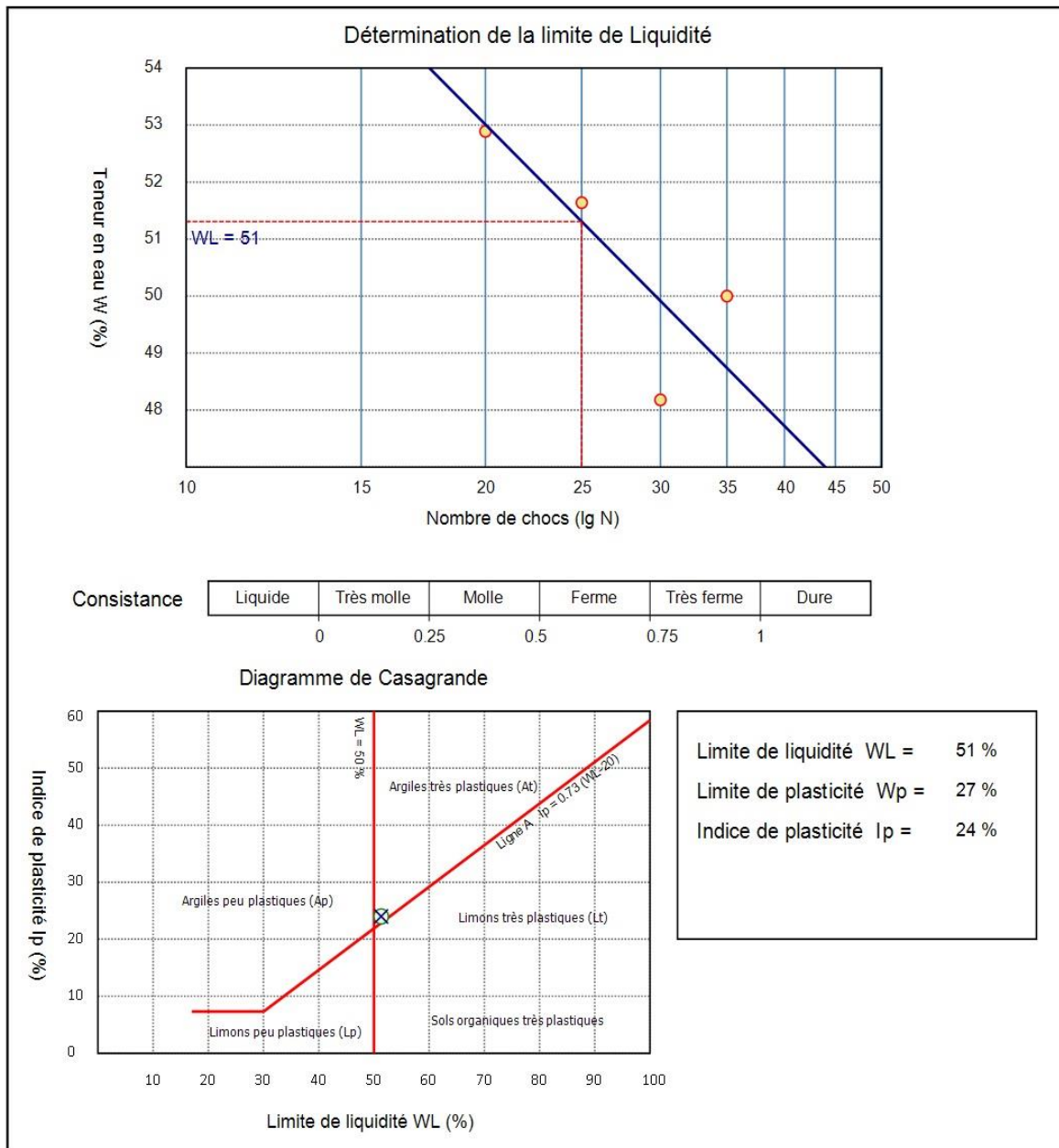


Figure 15 : Résultats des limites d'Atterberg de l'échantillon étudié (0,2 m)

Echantillon Z= 0.5 m

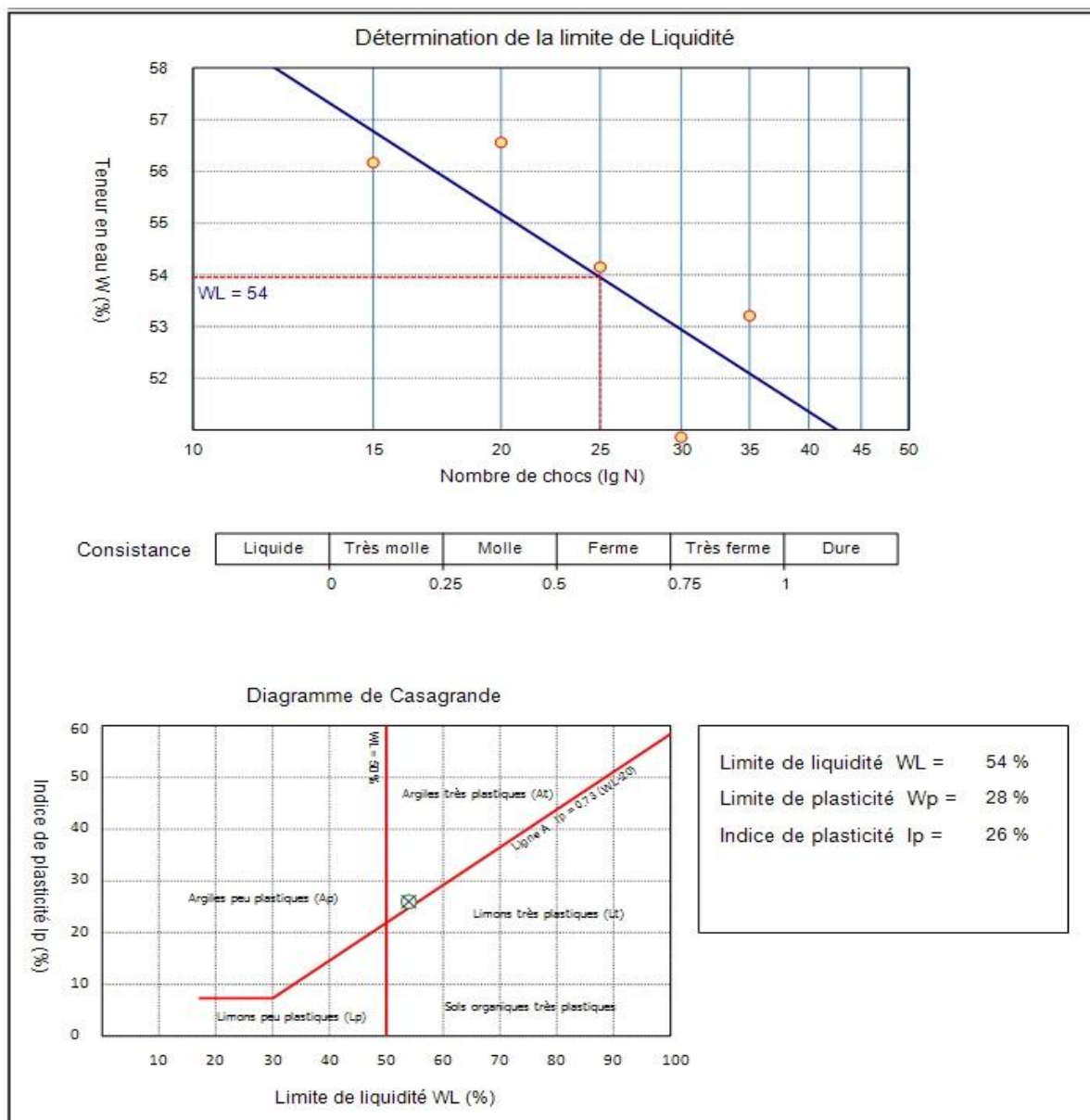
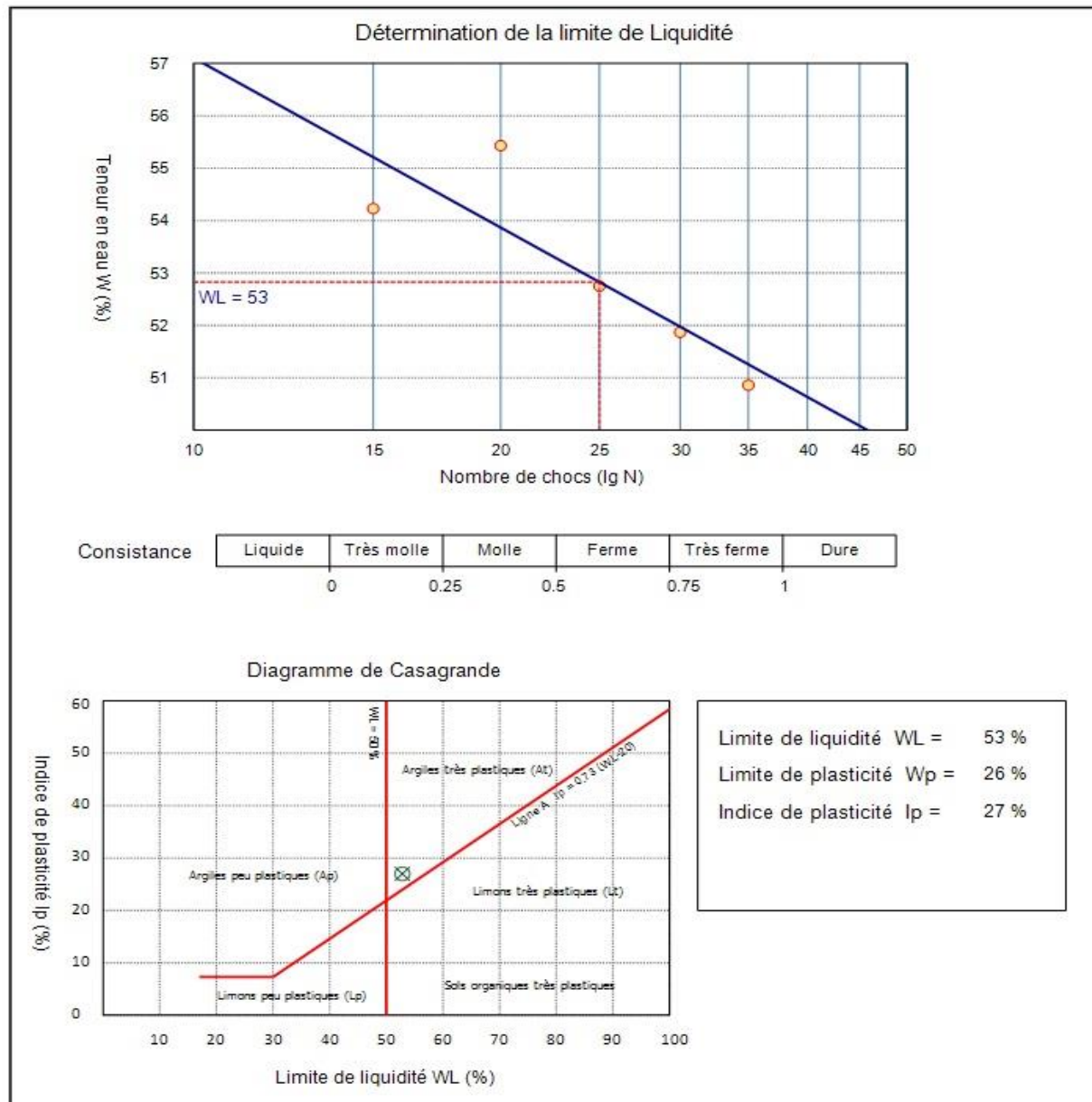


Figure 16 : Résultats des limites d'Atterberg de l'échantillon étudié (0,5 m)

Echantillon Z= 1 m

**Figure 17** : Résultats des limites d'Atterberg de l'échantillon étudié (01 m)

VIII-5 Commentaire :

D'après les trois figures, on remarque que la limite de liquidité de notre échantillon est entre 51 et 54 %, celle de plasticité est entre 26 et 28 % ainsi que notre indice de plasticité I_p est entre 24 et 27%.

Donc on constate que les sédiments étudiés contiennent des argiles très plastiques d'après L'abaque de Casagrande.

IX- ESSAI AU BLEU DE METHYLENE : sous la norme NF P 94-068 :**IX-1 Définition :**

-La structure des argiles leur confère un ensemble de réactions lié à l'eau, ces réactions sont appelées ACTIVITÉS. Ces activités ont pour effet les phénomènes:

- de gonflement
- de plasticité
- de cohésion constaté sur ces sols.

L'essai au bleu de méthylène permet d'observer la quantité et l'activité de la fraction argileuse contenue dans un sol. Pour ce faire, on fixe, sur les grains d'argile des molécules de bleu de méthylène et par un test simple, on évalue la quantité de bleu fixé. On en déduit la valeur de bleu du sol, ou Vbs ; qui est un indicateur essentiel dans la classification des sols concernés par les travaux de terrassement.

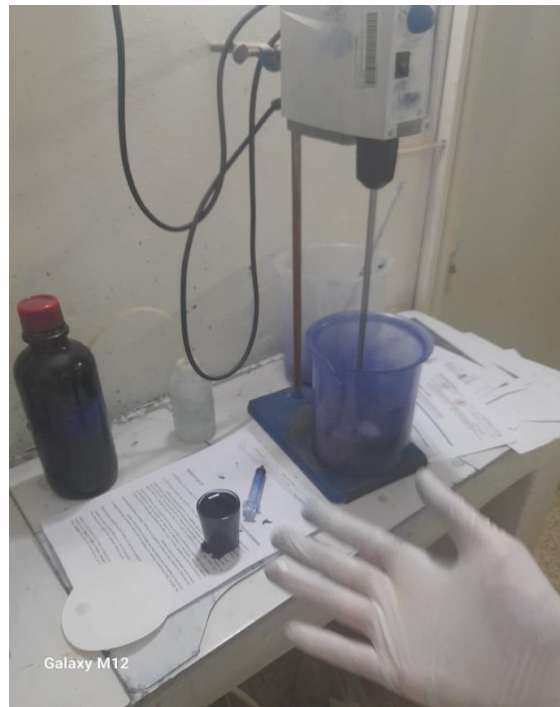


Photo 19 : Essai de VBS

IX-2 Résultat :

$$\text{VBS} = \frac{\text{B}}{\text{m0}} \times 100$$

VBS : est la valeur de bleu de méthylène d'un sol. Elle s'exprime en grammes de bleu pour 100 g de la fraction 0/50 mm du sol étudié.

m0 : masse sèche de la prise d'essai ;

B : est la masse de bleu introduite dans la solution (solution à 10 g/l).

Tableau 17 : résultats de valeur vbs

PRELEVEMENT	VALEUR VBS
0.2	7.3
0.5	8.66
1	8

IX-3 commentaire :

D'après la norme française FN P 94-068, notre échantillon est un **sol très argileux**.

X- ESSAI DE PROCTOR ET CBR :**X-1 ESSAI PROCTOR:** sous la NORMAL NF P 94-093**X-1-1 Principe de la méthode :**

-L'essai consiste à compacter dans un moule normalisé, à l'aide d'une dame normalisée, selon un processus bien défini, l'échantillon de sol à étudier et à mesurer sa teneur en eau et son poids spécifique sec après compactage.

L'essai est répété plusieurs fois de suite sur des échantillons portés à différentes teneurs en eau. On définit ainsi plusieurs points d'une courbe $(\gamma_d; w)$; on trace cette courbe qui représente un maximum dont l'abscisse est la teneur en eau optimale et l'ordonnée est la densité sèche maximale.

L'ensemble de la surface doit être compactée pour chaque couche comme suit

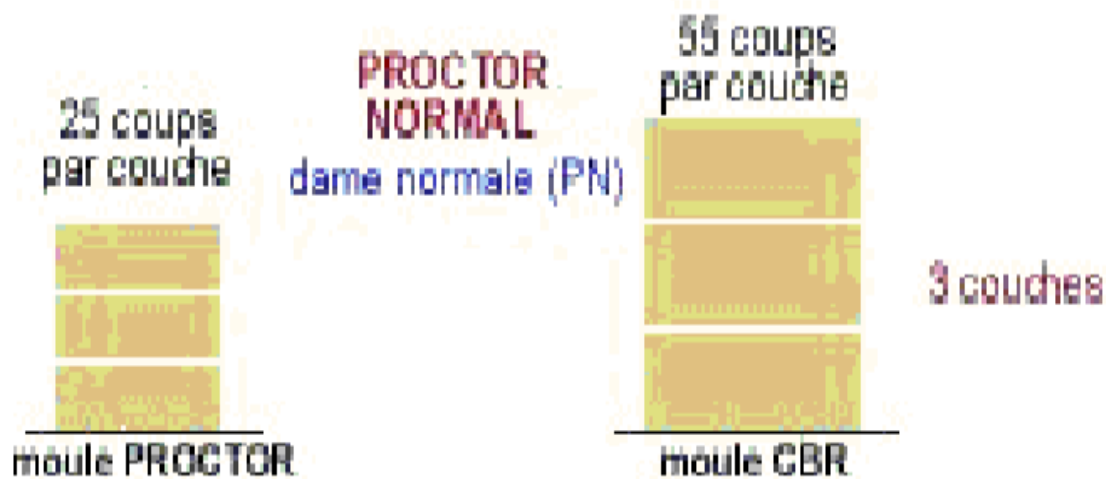
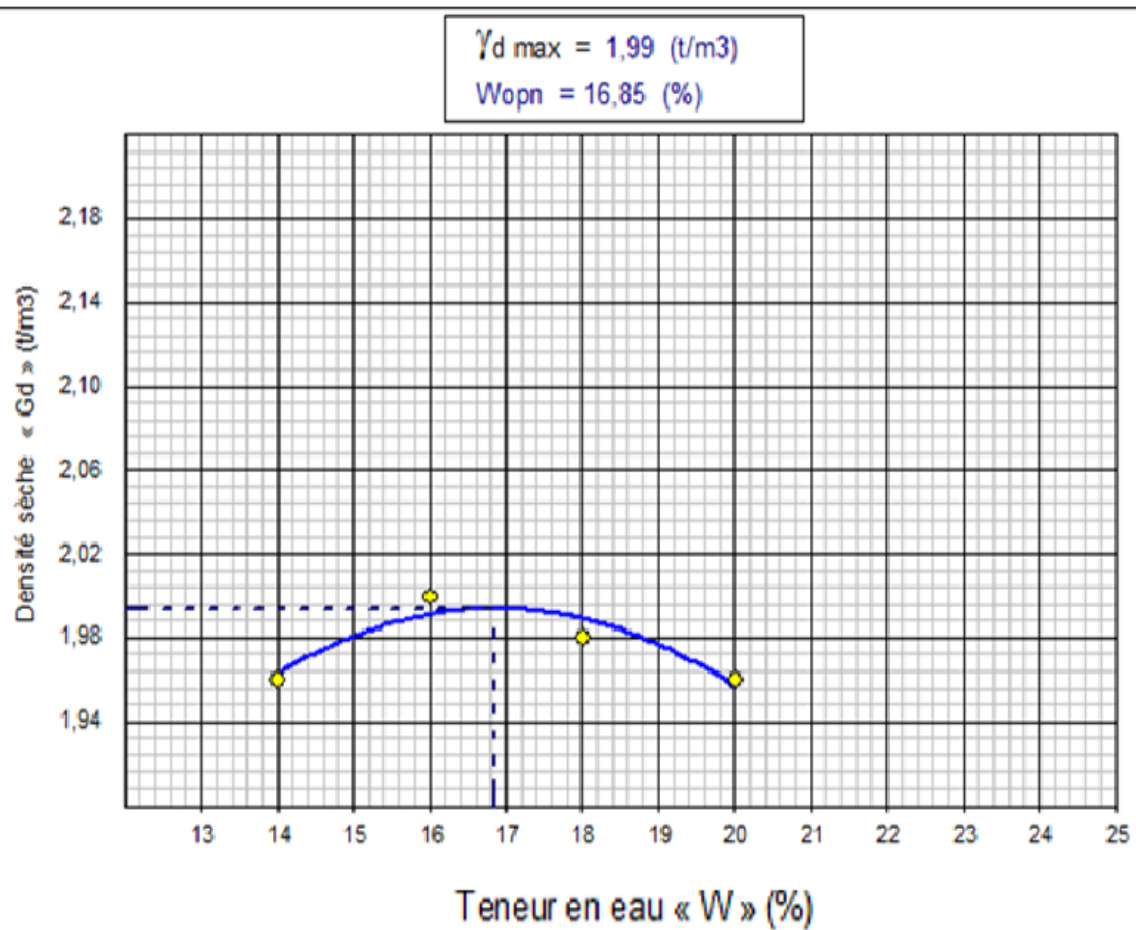


Figure 18 : Modalité de compactage selon le type et les moules

Tableau 18 : résultat Proctor normale

Mesures	1	2	3
Densité sèche	1.69	1.73	1.70
Teneur en eau	14.00	16.00	18.00

**Figure 19** : Courbe Proctor normale de l'échantillon étudié

X-2 ESSAI CBR IMMEDIAT : sous la norme NF P 94-078**X-2-1 But de l'essai :**

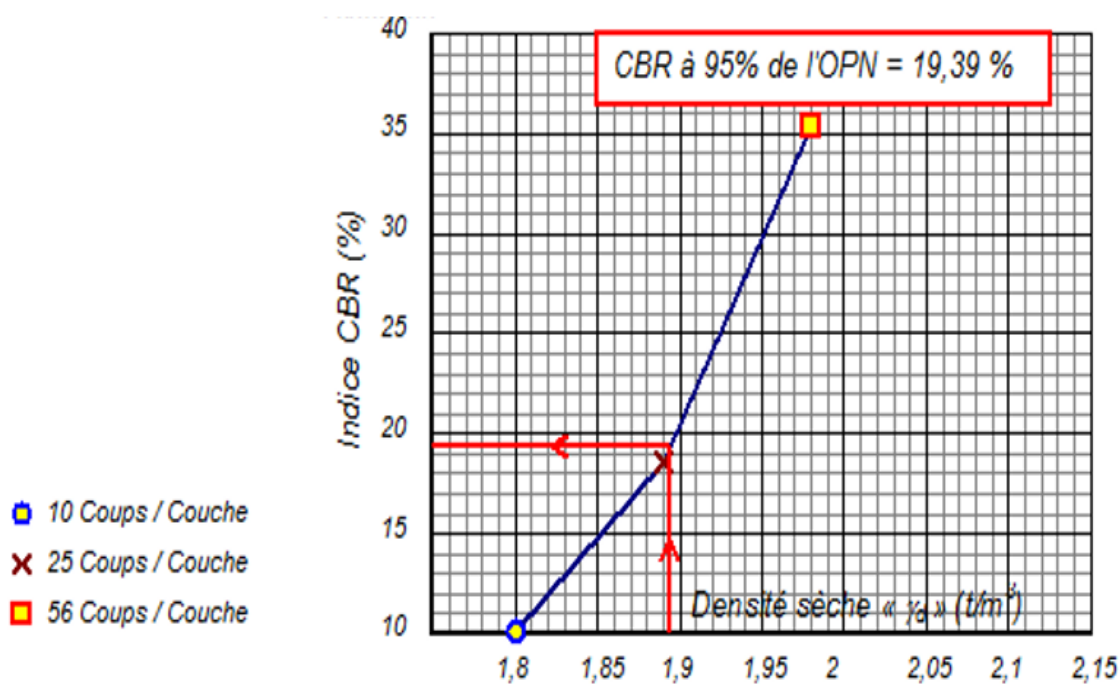
L'essai CBR est un essai de portance (aptitude des matériaux à supporter les charges) des remblais et des couches de formes compactées des ouvrages routiers.

Il s'agit de déterminer expérimentalement des indices portants (IPI, CBR) qui permettent :

- d'établir une classification des sols (GTR).
- d'évaluer la traficabilité des engins de terrassement (IPI).
- déterminer l'épaisseur des chaussées (CBR augmente --- épaisseur diminue)

Tableau 19 : résultat CBR IMMEDIAT

Energie de compactage	10 c/c	25 c/c	55 c/c
Teneur en eau W(%)	15.85	15.85	15.85
Densité sèche γ_d (T/m ³)	1.80	1.89	1.98
Indice CBR	10.12	18.62	35.38
Gonflement	0.00	0.00	0.00

**Figure 20** : courbe de CBR immédiat de l'échantillon étudié

X-3 commentaires :

- Les résultats obtenus indiquent que le sédiment présente une teneur en eau optimale 16.85% pour une densité sèche de 1.99 à l'optimum, et un indice d'IPI est de 19.39%

XI- CLASSIFICATION DU SEDIMENT FERGOUG SELON LE GTR :

- D'après la suggestion du GTR, ces matériaux présentent une sensibilité à l'eau et une plasticité élevée. ils sont normalement inutilisables en technique routière.
- Pour une meilleure utilisation en technique routière, une amélioration des propriétés est nécessaire afin de répondre aux exigences du comportement demandé.

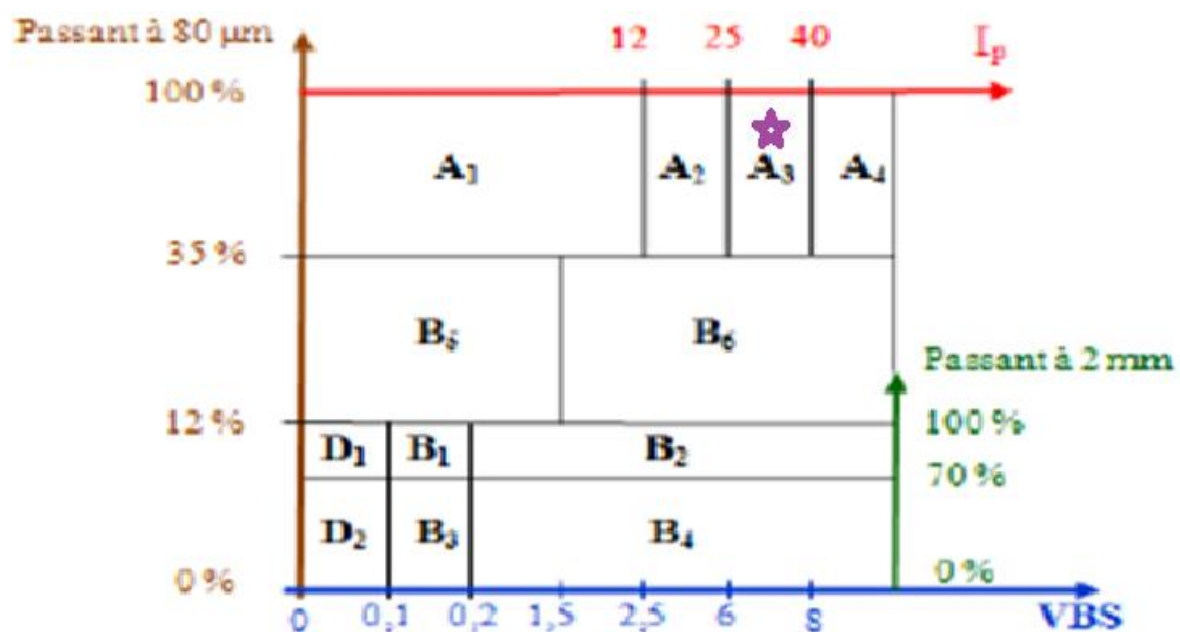


Figure 21: Classification du sédiment du barrage de FERGOUG selon la classification du GTR

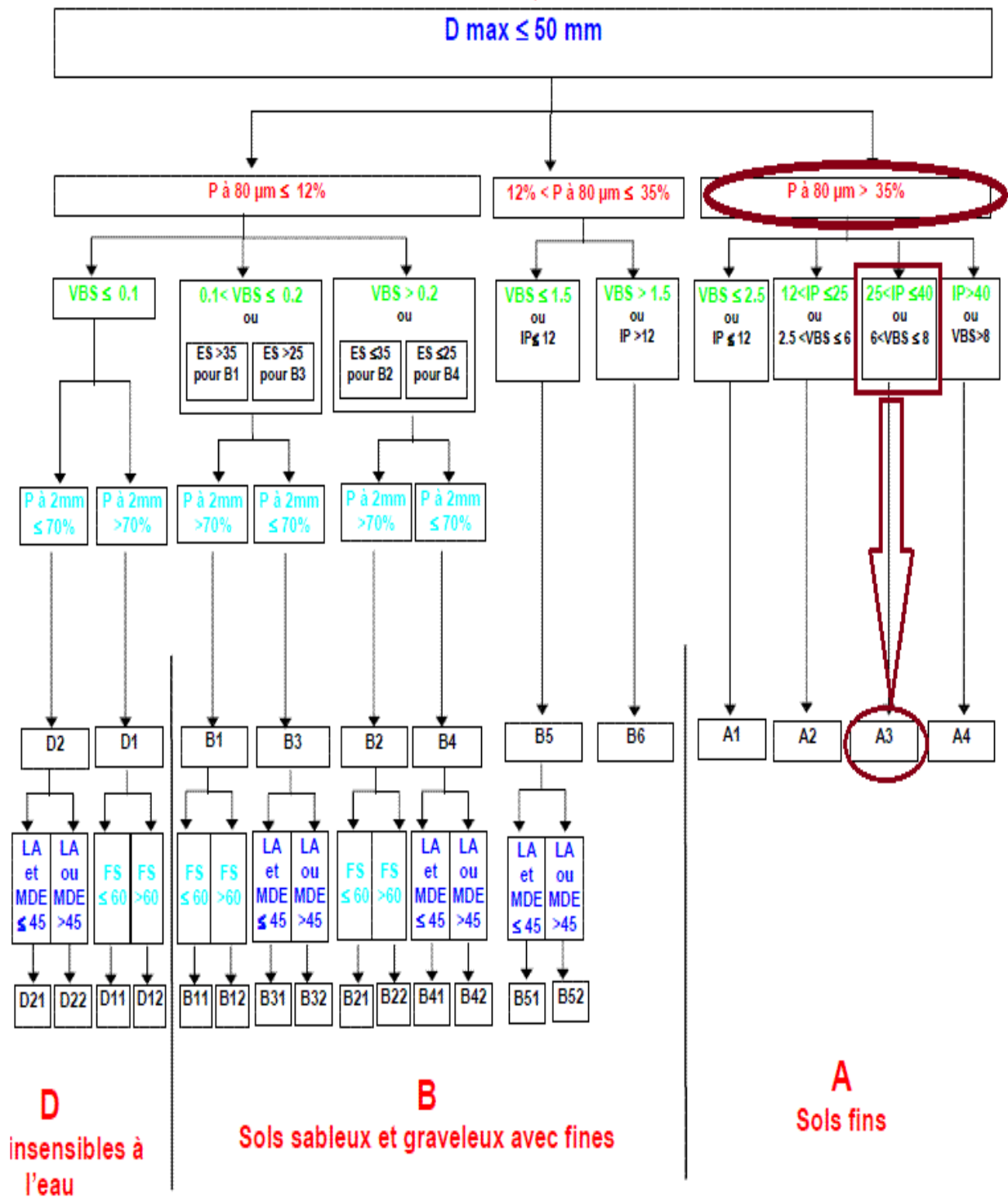


Figure 22 : Classification du sédiment du barrage de FERGOUG selon l'organigramme

De classification des sols GTR (NF P11-300)

XII- CARACTERISATION DE TUF : (selon LTPO)**XII-1 l'analyse chimique :****Tableau 20 : analyse chimique**

CACO3 (%)	ES (%)
96	20.39

XII-2 Essai de l'analyse granulométrique :**Tableau 21 : Résultats des tamisât cumulés du Tuf**

Diamètre (mm)	Tamisat (%)
31,5	88,4
20	71
10	52,4
5	23,6
2	18
1	15,8
0,4	11,36
0,2	8,12
0,1	6,22
0,08	4,8

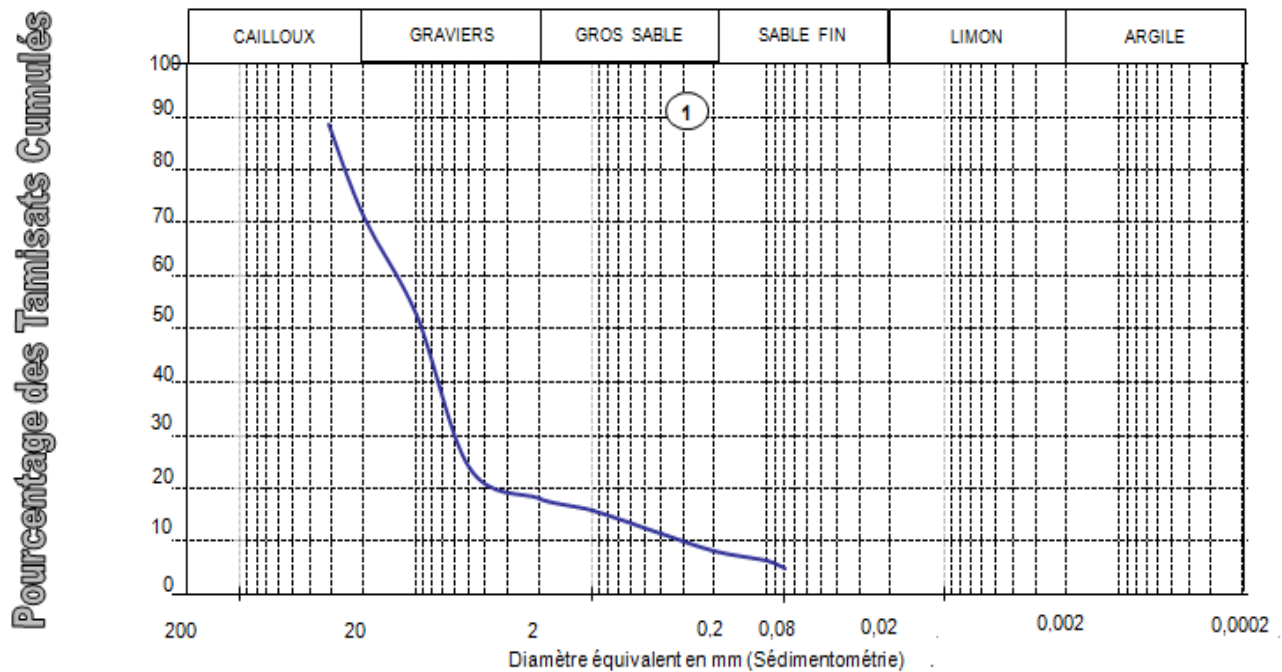


Figure 23 : Courbe granulométrique du Tuf

TABLEAU 22 : Diamètres des caractéristiques D10, D30, D50, D60 du Tuf

	D10	D25	D30	D50	D60	D75
Echantillon	0.4	5	6	9	13.5	24

Coefficient d'uniformité et coefficient de courbure :

Coefficient d'uniformité : $C_u = d_{60}/d_{10}$

Coefficient de courbure : $C_c = (d_{30}^2 / d_{60} \times d_{10})$

d_{10} , d_{30} et d_{60} représente les diamètres effectif des particules qui correspondent 10%, 30% et 60%

L'indice de classement S_0 :

$$S_0 = (d_{75} \times d_{25})^{\frac{1}{2}} \text{ Si :}$$

$S_0 < 2$Sédiment très bien classé

$2 < S_0 < 2,6$ Sédiment bien à moyennement classé

$S_0 > 2,6$ Sédiment mal à très mal classé

L'indice d'assymétrie SK

Il exprime la symétrie par rapport à la médiane:

$$S_K = (d_{25} \times d_{50})^{\frac{1}{2}} / d_{50} \dots \dots \dots \text{Si :}$$

$SK > 1$: Courbe dissymétrique avec décalage et classement maximum du coté grossier;

$0,7 < SK < 1$: Courbe à tendance symétrique, le mode pouvant coïncider avec le diamètre moyen;

$SK < 1$: Courbe dissymétrique avec décalage et classement maximum du coté fin

- Coefficient d'uniformité C_u : on aura $C_u = 33,75$
- Coefficient de courbure C_c : on aura $C_c = 6,66$
- L'indice de classement S_0 : on aura $S_0 = 2,19$
- L'indice d'asymétrie SK : on aura $SK = 0,7$

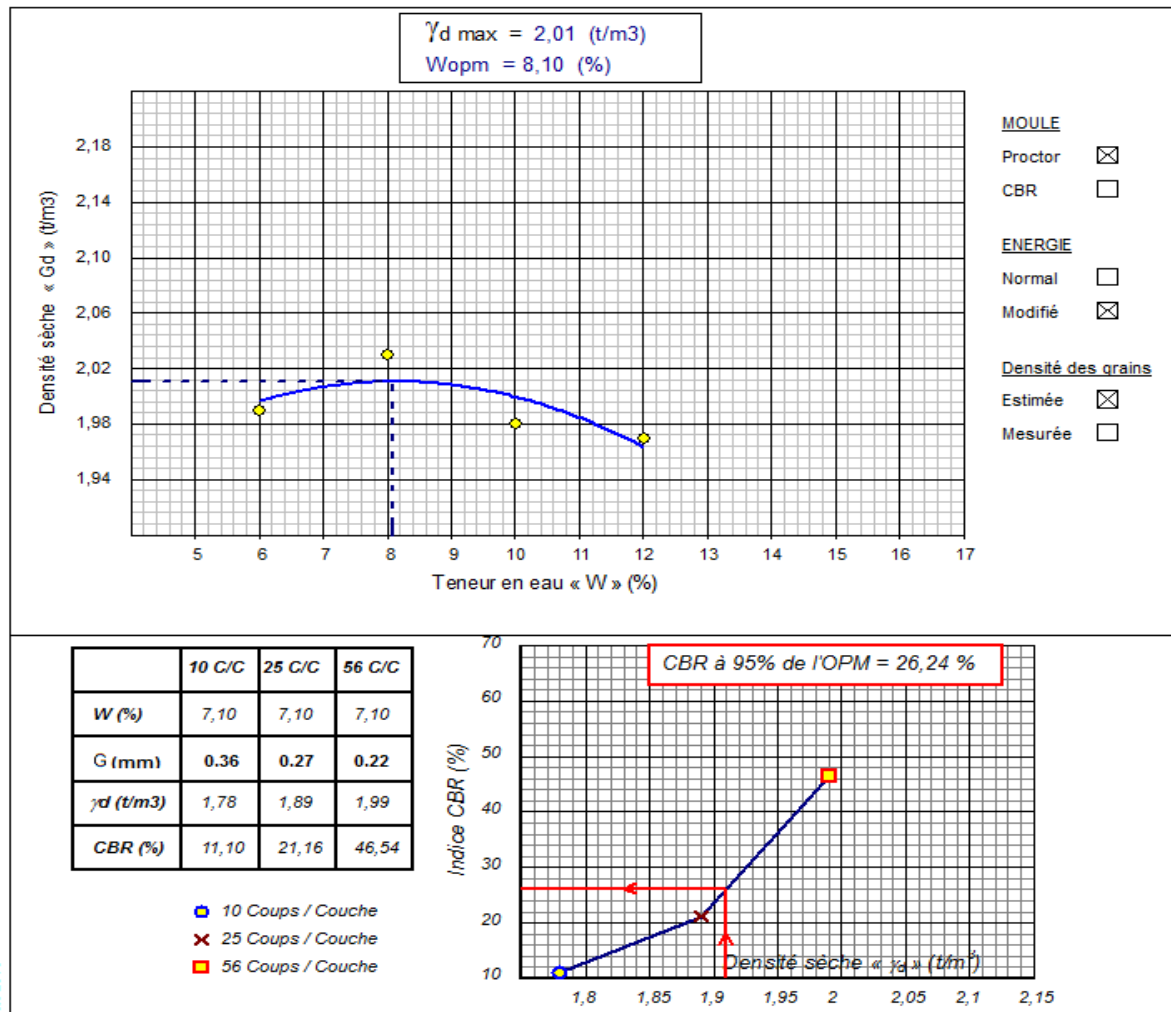
XII-3 La limite d'Atterberg :

Tableau 23 : Les résultats des limites d'Atterberg du Tuf

WL (%)	Wp (%)	Ip (%)
23	NAN	NAN

XII-4 La valeur du bleu de méthylène :

VBS : 0.067 (matériaux sableux)

XII-4 Essai Proctor et CBR IMBB :**Figure 24 : Résultats de l'essai Proctor et CBR imbb du Tuf .****XII-4-1 Commentaire :**

- Les résultats obtenus indiquent que le tuf présente une teneur en eau optimale de 8.10 % pour une densité sèche de 2,01 à l'optimum et un CBR à l'optimum de 26.24 %, donc on constate qu'il présente une bonne portance au sol comme couche de forme selon la norme NF P11-300, GTR 2000.

XIII- CONCLUSION :

-La méthodologie abordée dans cette section vise à améliorer les propriétés physico-chimiques et mécaniques à la fois du sédiment dragué provenant du barrage de Fergoug et du TUF extrait des couches de remblais de chaussées.

-Le sédiment dragué du barrage FERGOUG se classe en rubrique des sols fins (argiles très plastiques) d'après l'abaque du Casagrande (WL entre 51 et 54 % , Ip entre 24 et 27%.) et la valeur de bleu méthylène (VBS= 8).

-Le poids spécifique des grains solides varie de 2.44 à 2.46 g/cm³ inférieur à 2.6 g/cm³ donc le sol contient de la matière organique.

-D'après les résultats obtenus par l'essai Proctor, le sédiment présente une teneur en eau optimale de 16.85% pour une densité sèche de 1.99 à l'optimum ou l'IPI est de 19.39%, alors, Une telle composition induit une faible résistance mécanique, une forte sensibilité à l'eau et une compressibilité élevée.

- D'après l'analyse de sédiment et le tableau de classification du GTR on trouve :

Le sédiment du barrage de FERGOUG est un sol FIN de classe A3 : sable argileux très plastique

-Utilisations typiques de sédiment : Les sols fins de classe A3 peuvent être utilisés dans divers projets de construction, mais leur utilisation peut nécessiter des considérations particulières en termes de traitement ou de renforcement pour garantir la stabilité et la durabilité des structures construites dessus.

-En conclusion, les sols fins de classe A3 ont des caractéristiques spécifiques qui doivent être prises en compte lors de la planification et de l'exécution de projets de construction. Une évaluation détaillée de ces caractéristiques est nécessaire pour assurer la sécurité et la performance à long terme des structures construites sur ces sols.

-Ces résultats de caractérisation des sédiments nous a conduits vers leur utilisation en technique routière, en les corrigeant avec d'autres matériaux tel que le TUF

I- INTRODUCTION

L'utilisation de mélanges spécifiques pour le remblai des chaussées et des aménagements constitue une pratique courante dans le domaine de la construction routière. Parmi ces mélanges, l'association de l'argile avec du tuf se révèle particulièrement intéressante. Cette combinaison tire profit des propriétés distinctes de chaque matériau, permettant de répondre à des exigences techniques et économiques.

L'argile, connue pour sa plasticité et sa capacité à se compacter, joue un rôle crucial dans la cohésion et la stabilité du mélange. Cependant, ses propriétés de gonflement et de retrait sous l'effet des variations hydriques peuvent poser des problèmes de durabilité et de performance des remblais. D'un autre côté, le tuf, une roche volcanique poreuse et légère, offre une bonne stabilité mécanique et une capacité de drainage efficace. Lorsqu'ils sont combinés, ces matériaux peuvent former un remblai qui allie la stabilité mécanique à une gestion efficace de l'eau, réduisant ainsi les risques de déformations et de dégradations prématurées.

L'intégration de l'argile avec du tuf permet également d'optimiser les coûts de construction en utilisant des matériaux locaux et souvent moins coûteux. De plus, cette solution présente des avantages environnementaux, notamment par la valorisation de matériaux naturels et la réduction de l'empreinte carbone liée au transport de matériaux de construction sur de longues distances.

Ainsi, le mélange d'argile et de tuf pour les remblais des chaussées et aménagements offre une solution technique robuste et durable, adaptée aux contraintes économiques et environnementales contemporaines. Cette pratique mérite une attention particulière pour son potentiel à améliorer la qualité et la durabilité des infrastructures routières.

II- REMBLAI SANDWICH

Les remblais dits "sandwichs" sont des remblais présentant une hétérogénéité verticale qui se concrétise par un empilement de couche de perméabilités différentes (voir figure 25). Cette technique a été mise en œuvre dans les années 70 afin de favoriser le réemploi des matériaux argileux humides.

Le principe consistait à alterner la réalisation de couches en matériaux fins humides avec des couches de sables ou de graves afin de diminuer la teneur en eau des matériaux humides grâce au drainage interne qui peut se développer sous l'effet du gradient de perméabilité, de la gravité et du poids des couches. Le compactage favorise la mise en pression de l'eau et son évacuation vers la couche drainante.¹⁶

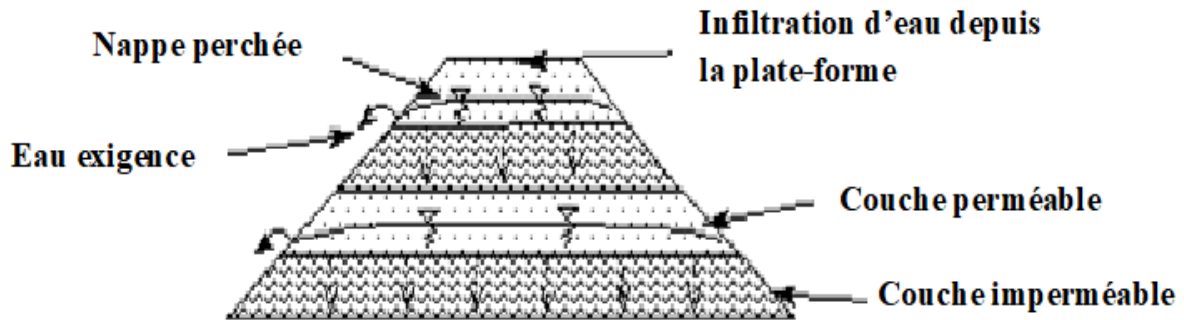


Figure 25 : illustration du principe des remblais "sandwich"

Cette technique a pu être utilisée avec succès sur certains chantiers. Sur d'autres, des pathologies ont pu être constatées car le contraste de perméabilité ainsi créé peut entraîner la formation de nappes perchées, en particulier si l'eau est bloquée en talus par des terres végétales ou des élargissements de remblai en matériaux peu perméables. D'autres pathologies sont aussi apparues par migration des fines dans les vides présents dans les couches granulaires inférieures, cas mis en évidence par le sondage de la figure 27.

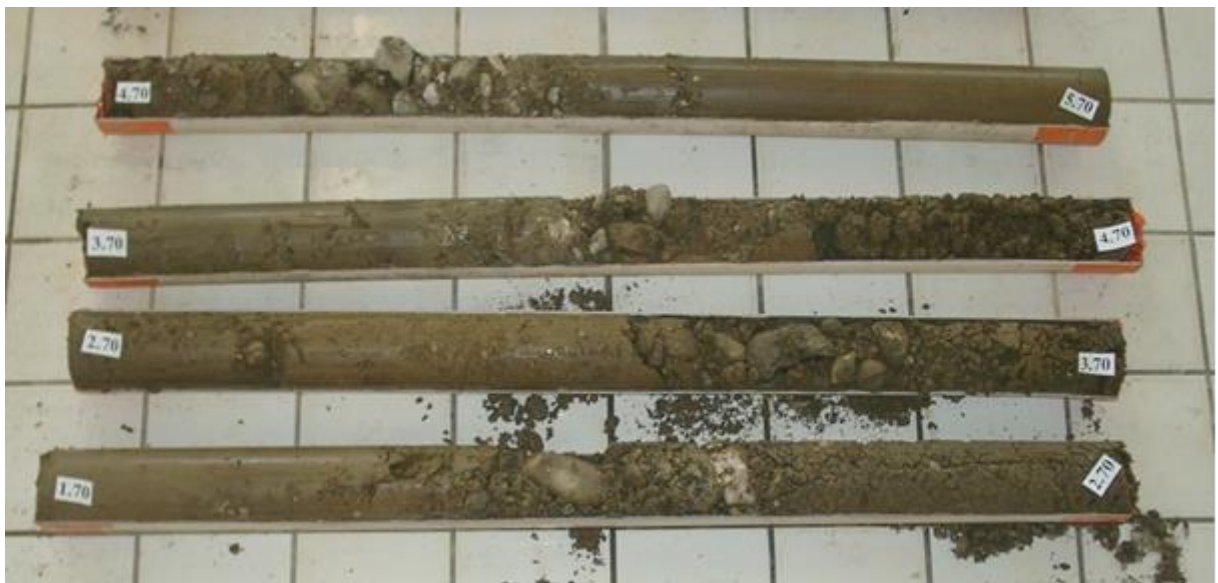


Figure26 : carotte dans un remblai ancien réalisé par la méthode du remblai sandwich. On observe très bien l'alternance de couches de granulométries variables (Cerema Sud-Ouest)

II-1 PROCEDE DE COMPACTAGE

L'opération de compactage se fait avec des engins à pneus lourds le cas des remblais exécutés à Etampes et à Pacy-sur-Eure sans l'utilisation de vibrants lourds pour ce travail. Les contraintes engendrées en profondeur dans ce sol se traduisent par des pressions interstitielles élevées qui chassent l'eau vers le sable ou la grave perméable. On réussit ainsi à compacter la craie à travers la couche de sable. De plus, un cercle de glissement éventuel recoupe des couches d'un sol à frottement interne élevé et la stabilité à long terme est assurée.

NB : Il est fortement déconseillé d'utiliser la méthode sandwich sans précaution, car cela a tendance à favoriser la stagnation et le piégeage d'eau dans les remblais. Néanmoins, dans le cas des craies l'exception est intéressante car cette technique facilite le compactage et le travail de la craie.

Toutefois, le matériau étudié dans notre présent travail contient un peu plus de 20% seulement de calcaire, or son utilisation avec cette technique de remblaiement (sandwich) présentera probablement un danger pour notre remblai. C'est pourquoi nous avons opté pour l'utilisation d'un film protecteur qui enveloppera et protégera notre matériau des infiltrations d'eau (Voir figure 27).

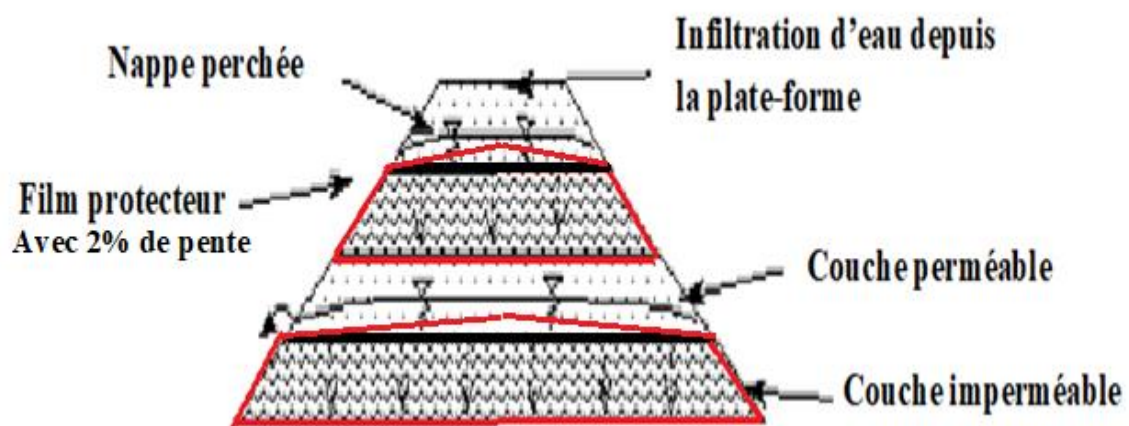


Figure 27 : illustration du principe des remblais "sandwich" avec un film protecteur

III- L'ARGILE EXPANSEE

L'argile expansée est un matériau léger et versatile utilisé dans divers domaines de la construction, du jardinage et de l'aménagement paysager. Elle est produite par la cuisson de granulés d'argile à haute température, ce qui les fait gonfler et les rend poreux. Cette propriété unique confère à l'argile expansée de nombreux avantages pratiques.

III-1 Processus de Fabrication

Après extraction, l'argile peut être ou non mélangée à des boues d'épuration pour former le « cru ». Le mélange est alors amené à l'état plastique avant cuisson, puis extrudé pour former des petits cylindres de pâte argileuse. Ces cylindres sont alors envoyés dans des fours pour qu'ils cuisent.

La cuisson se déroule en deux phases : Lors de la première phase, l'argile soumise à des températures de 600°C au maximum pour être séchée. Son séchage nécessite de hautes températures à cause de sa structure en feuillets. Lors de la seconde phase, les températures atteignent 1000°C environ et le processus d'expansion du mélange commence. Cette expansion est due à la génération de gaz par la combustion des éléments organiques présent dans le mélange. Ce dégagement de gaz va faire gonfler l'argile, à la manière d'un pop-corn. Ces deux phases de cuisson se font dans un four cylindrique tournant sur lui-même à deux zones. Ces deux zones diffèrent par leur vitesse de rotation et leurs températures.

À la sortie du four, l'argile expansée est refroidie progressivement, puis peut être criblée pour la classer selon sa granulométrie.¹⁶

III-2 Propriétés de l'Argile Expansée

III-2-1 Légèreté

L'argile expansée est beaucoup plus légère que les agrégats traditionnels, ce qui la rend idéale pour des applications où le poids est une considération importante.

III-2-2 Isolation Thermique et Acoustique

Grâce à sa structure poreuse, l'argile expansée offre d'excellentes propriétés d'isolation thermique et acoustique. Elle aide à maintenir des températures stables et à réduire les bruits.

III-2-3 Résistance à l'Eau et au Gel

L'argile expansée est résistante à l'eau et au gel, ce qui en fait un matériau durable pour les applications extérieures.

III-2-4 Stabilité Chimique

Elle est chimiquement stable et n'interagit pas avec les autres matériaux de construction, ce qui la rend idéale pour une utilisation en tant qu'agrégat dans le béton.

III-2-5 Durabilité

Les granulés d'argile expansée sont résistants à la compression, à l'usure et aux intempéries, garantissant une longue durée de vie.

III-3 Applications de l'Argile Expansée

III-3-1 Construction et Bâtiment

Béton Léger : Utilisée comme agrégat dans le béton léger, l'argile expansée réduit le poids des structures tout en conservant la résistance nécessaire.

Isolation : En raison de ses propriétés isolantes, elle est utilisée dans les murs, les toits et les planchers pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments.

Drainage : Les granulés sont utilisés dans les systèmes de drainage pour améliorer l'évacuation de l'eau et prévenir les infiltrations.

III-3-2 Aménagement Paysager et Jardinage

Hydroponie : L'argile expansée est un substrat populaire pour la culture hydroponique en raison de sa capacité à retenir l'eau tout en assurant une bonne aération des racines.

Paillage : Utilisée comme paillage, elle aide à retenir l'humidité du sol et à prévenir la croissance des mauvaises herbes.

Jardinières et Toitures Végétalisées : Elle est employée dans les jardinières et sur les toits végétalisés pour son drainage efficace et sa légèreté.

III-3-3 Génie Civil

Remblais Légers : Dans les projets de construction de routes et de chemins de fer, l'argile expansée est utilisée pour créer des remblais légers, réduisant la charge sur les sols sous-jacents.

Stabilisation des Pentes : Elle est également utilisée pour stabiliser les pentes et les talus, grâce à sa légèreté et sa résistance à l'érosion.

III-4 Avantages et Défis

III-4-1 Avantages

Écologique : L'argile expansée est un matériau naturel, non toxique et recyclable.

Polyvalence : Ses nombreuses applications en font un matériau polyvalent dans divers secteurs.

Performances : Ses propriétés isolantes et drainantes améliorent les performances des structures dans lesquelles elle est utilisée.

III-4-2 Défis

Coût : La fabrication de l'argile expansée peut être plus coûteuse que celle des matériaux traditionnels en raison de l'énergie nécessaire pour la cuisson ; en Europe elle est estimée à 220 euro le m³ tandis qu'ici en Algérie, 01 m³ peut coûter dans les 5000DA (seulement il n'y a qu'une seule usine dans toute l'AFRIQUE et se trouve à BLIDA en ALGERIE).

IV- MELANGE DE MATERIAUX (TUFF – ARGILE)

Dans les projets de construction, notamment pour les remblais, il est crucial d'utiliser des matériaux qui assurent stabilité, durabilité, et une bonne capacité portante. Le mélange de l'argile avec du tuf est une technique prometteuse pour améliorer les propriétés mécaniques des sols. Ce mémoire examine les effets de mélanges composés de 5%, 10%, et 15% d'argile avec du Tuf, en vue de leur utilisation comme matériau de remblai.

IV-1 Les matériaux

Argile : Un sol finement granulé avec une plasticité de 25% et une capacité moyenne de rétention d'eau de 40,42%, mais souvent sujette à des variations de volume et une capacité portante acceptable.

Tuf : le matériau utilisé est issu d'une carrière appartenant à la région de Hacine wilaya de Mascara, ce matériau est utilisé dans les travaux de terrassement de la nouvelle pénétrante reliant la wilaya de Mascara à l'autoroute Est-ouest.

IV-2 Objectifs de l'Amélioration

Augmentation de la capacité portante : Améliorer la résistance et la stabilité des remblais en réduisant la déformation sous charge.

Réduction de la plasticité : Minimiser les changements de volume dus aux variations de teneur en eau.

Amélioration du drainage : Faciliter l'évacuation de l'eau pour prévenir les problèmes d'infiltration et d'érosion interne.

IV-3 Méthodologie

Préparation des Échantillons : Préparer des mélanges d'argile avec des proportions massiques de 5%, 10%, et 15%, complétés par du tuf (95%, 90%, et 85% respectivement).

IV-4 Tests en Laboratoire :

Indice de Portance (CBR) IMBB : des tests ont été effectués au laboratoire pour évaluer la capacité portante des mélanges.

Les résultats obtenus sont présentés sur les graphes ci-dessous :

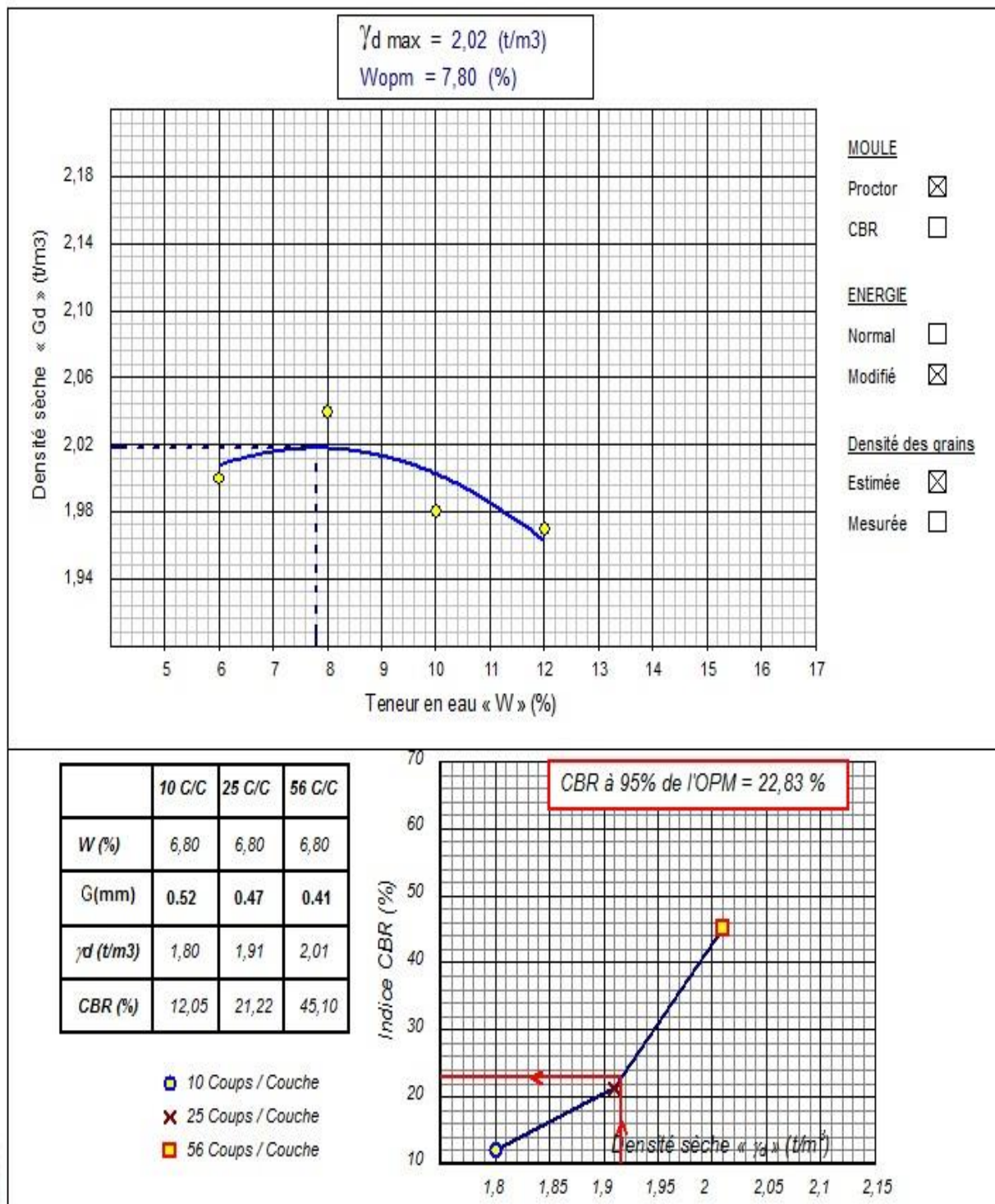


Figure 28 : Résultats de l'essai Proctor et CBR imbb du mélange (5% d'argile + 95% tuf)

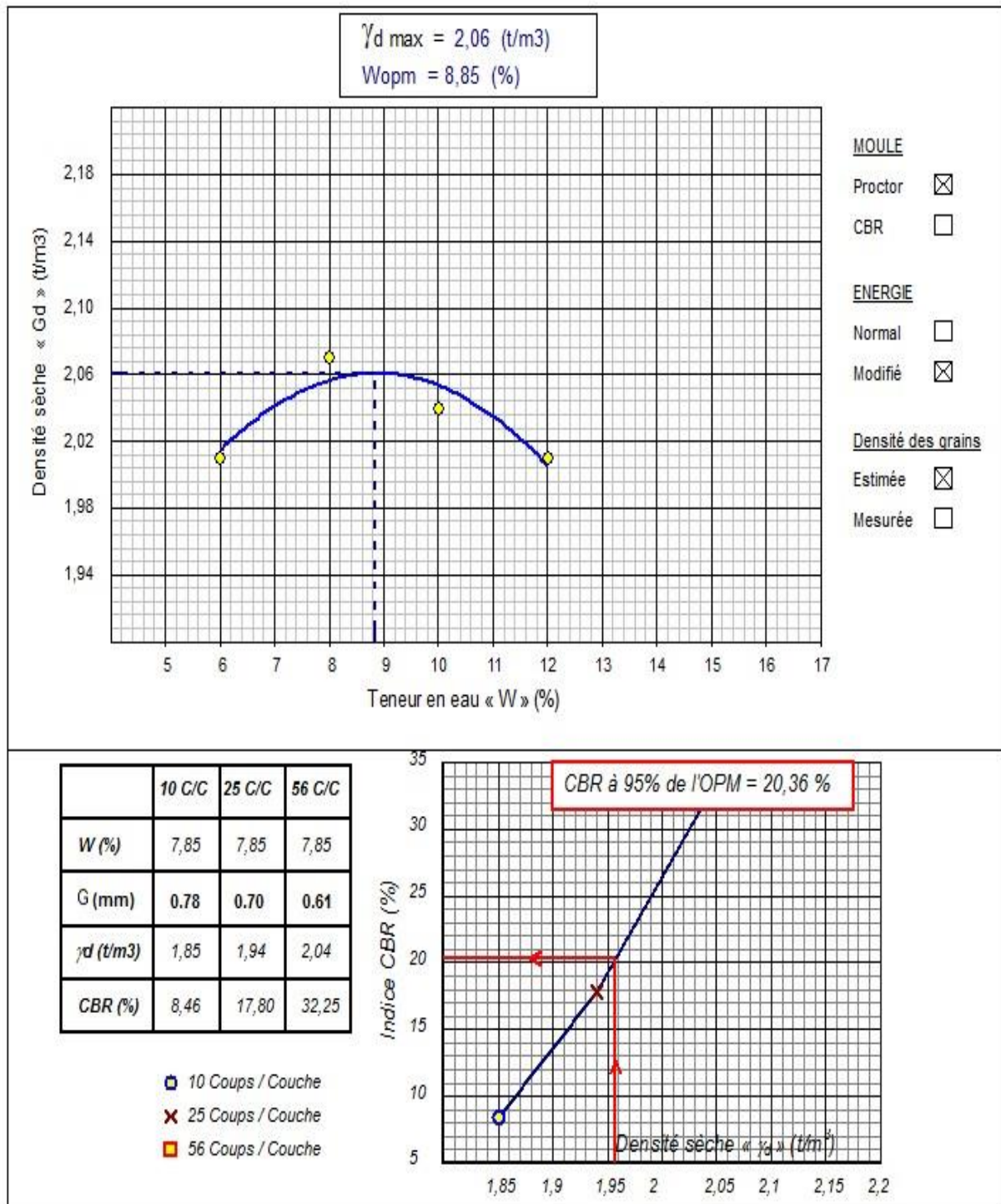


Figure 29 : Résultats de l'essai Proctor et CBR imbb du mélange (10% d'argile + 90% tuf)

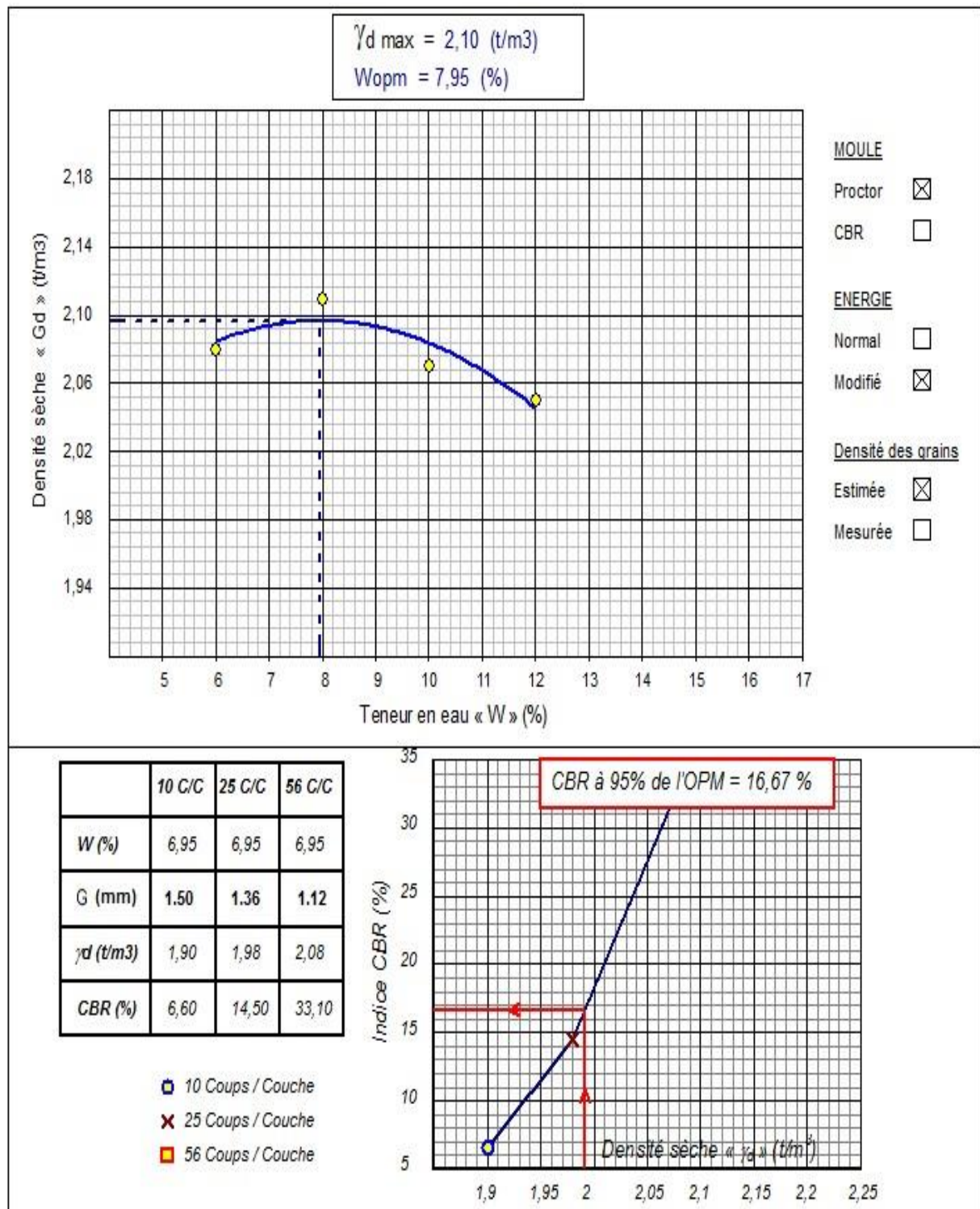


Figure 30 : Résultats de l'essai Proctor et CBR imbb du mélange (15% d'argile + 85% tuf)

IV-5 Interprétation des résultats

À partir des données fournies, il est possible d'analyser les effets de l'ajout de tuf aux sédiments argileux en termes de teneur en eau optimale et de densité sèche maximale. Voici une interprétation détaillée des tendances observées sur le graphe :

Diminution de la Teneur en Eau Optimale :

La teneur en eau optimale représente la quantité d'eau nécessaire pour atteindre la densité sèche maximale lors du compactage des sols.

La diminution considérable de la teneur en eau optimale indique que le mélange argile-tuff nécessite moins d'eau pour atteindre sa densité maximale. Cela peut être attribué à la nature drainante et poreuse du tuf, qui permet une meilleure évacuation de l'eau et réduit ainsi la quantité d'eau retenue dans le sol.

Cette réduction de la teneur en eau optimale est bénéfique, car elle facilite le compactage et permet d'obtenir une structure de sol plus stable avec moins d'eau, réduisant les risques de déformations futures dues aux variations de teneur en eau.

Amélioration de la Densité Sèche Maximale :

La densité sèche maximale est un indicateur clé de la compacité et de la capacité portante du sol.

L'amélioration de la densité sèche maximale signifie que le sol, lorsqu'il est compacté, atteint une densité plus élevée avec les mélanges incluant du tuf par rapport à l'argile pure.

Cette augmentation peut être due à la meilleure granulométrie et à la structure améliorée du mélange, où le tuf comble les vides dans l'argile, permettant une compaction plus efficace et une meilleure liaison entre les particules.

Une densité sèche maximale plus élevée traduit une meilleure capacité portante et une résistance accrue du matériau de remblai, ce qui est essentiel pour les infrastructures de génie civil.

En résumé, les données montrent clairement que l'ajout de tuff aux sédiments argileux entraîne une réduction de la teneur en eau optimale et une augmentation de la densité sèche maximale. Ces changements indiquent une amélioration des propriétés mécaniques du mélange, rendant le matériau plus adapté pour une utilisation comme remblai dans les projets de construction. La diminution de

la teneur en eau optimale facilite le processus de compactage, tandis que l'augmentation de la densité sèche maximale améliore la stabilité et la capacité portante du remblai, contribuant ainsi à des infrastructures plus durables et robustes.

V- Conclusion

L'amélioration des sols argileux avec du Tuf présente des avantages significatifs pour les remblais, en augmentant la capacité portante, en réduisant la plasticité et en améliorant le drainage. Les mélanges étudiés (95%, 90%, et 85% de Tuf avec du L'argile) devraient fournir des solutions optimales pour divers projets de construction, garantissant des remblais stables et durables. Des tests en laboratoire sont essentiels pour valider ces hypothèses et ajuster les proportions en fonction des besoins spécifiques du projet et des conditions locales

CONCLUSION GENERALE

Ce mémoire s'inscrit dans une démarche multidisciplinaire visant à aborder les défis complexes liés à l'envasement des barrages en Algérie et à proposer des solutions novatrices et durables pour la réutilisation des sédiments envasés. À travers une revue exhaustive de la littérature, nous avons mis en lumière les causes et les conséquences de l'envasement, ainsi que les défis auxquels sont confrontées les autorités algériennes dans la gestion de ces infrastructures vitales.

En examinant les besoins en matériaux de remblai pour les infrastructures routières, nous avons identifié une opportunité de valorisation des sédiments des barrages. Le barrage de FERGOUG a servi de cas d'étude pour illustrer cette approche, démontrant le potentiel de réutilisation des sédiments pour des applications de génie civil. Nous avons analysé la composition et les caractéristiques géotechniques des sédiments, ainsi que les méthodes de collecte et de traitement, afin de comprendre leur potentiel comme matériau de construction alternatif.

Les résultats des tests de laboratoire et des études de cas ont montré que les sédiments du barrage de FERGOUG peuvent effectivement être valorisés comme matériau de remblai et de construction, contribuant ainsi à une gestion plus durable des ressources. Cette valorisation permet non seulement de rentabiliser les opérations de dragage des barrages, mais aussi de réduire la pression sur les ressources naturelles traditionnelles.

En conclusion, ce mémoire propose une approche intégrée et durable pour la gestion des sédiments d'envasement des barrages en Algérie. En réutilisant ces matériaux dans des applications de génie civil, nous pouvons non seulement améliorer la sécurité hydraulique, mais aussi favoriser le développement socio-économique du pays. Cette stratégie ouvre la voie à une économie circulaire dans le secteur de la construction, alliant rentabilité économique et responsabilité environnementale.

Perspectives :

Les perspectives pour ce travail incluent l'élargissement de l'étude à d'autres barrages en Algérie, l'optimisation des méthodes de traitement des sédiments, et une évaluation économique et environnementale approfondie. Il est également essentiel de collaborer avec les acteurs du secteur de la construction, d'encourager l'innovation technologique, et de mettre en place un suivi à long terme pour évaluer la performance des infrastructures utilisant des sédiments valorisés. Des recommandations pour des politiques de soutien et des initiatives de sensibilisation et d'éducation sont nécessaires pour promouvoir cette approche durable et intégrer les sédiments dans des applications industrielles variées, contribuant ainsi à une gestion plus efficace des ressources et à une économie circulaire.

Bibliographie

- 1- **REMINI, BOUALEM**, leduc, christian, et hallouche, wassila. evolution des grands barrages en régions arides: quelques exemples algériens. *revue sécheresse*, 2009, vol. 1, no 20, p. 1-8.
- 2- **BENASLA M.** *caractérisation de la vase de dragage du barrage de l'oued fodda et valorisation en tant que matériau de construction*, these de doctorat, universite des sciences et de la technologie d'oran mohamed boudiaf, 2015.
- 3 - **SEMCHA A.** *valorisation des sédiments de dragage : applications dans le btp, cas du barrage de fergoug*. these de l'universite de reims champagne-ardenne, 2006.
- 4- **ZAHIRA, SOUIDI, MANSOUR, z.**, et frederic, d. cartographie des zones à risque d'érosion hydrique: application au bassin versant s' oued fergoug dans les monts des béni-chougranes en algérie. 2017.
- 5- <https://geniecivilpdf.com/generalites-sur-les-chaussees/>
- 6- <https://www.concretedispatch.eu/blog/structure-chaussee-routiere/>
- 7- **NF P 11-300, septembre 1992** : Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.
- 8- **NF P 94-050, septembre 1995**. Sols: reconnaissance et essai - Détermination de la teneur en eau pondérale des sols. Méthode par étuvage
- 9- **NF P 94-054, octobre 1991**. Sols: reconnaissance et essai - Détermination de la masse volumique des particules solides des sols. Méthode du pycnomètre à eau.
- 10- **NF P 94-056, mars 1996**. Sols: reconnaissance et essai - Analyse granulométrique. Méthode par tamisage à sec après lavage.
- 11- **NF P 94-057, mai 1992**. Sols: reconnaissance et essai - Analyse granulométrique des sols. Méthode par sédimentation.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- 12- NF P 94-051, mars 1993.** Sols : reconnaissance et essai – Détermination des limites d'Atterberg – limite de liquidité à la coupelle- limite de plasticité au rouleau.
- 13- NFP 94-068, Novembre 1993.** Sols: reconnaissance et essai - Mesure de la quantité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux. Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux par l'essai à la tache
- 14- NF P 94-093, Décembre 1993.** Sols: reconnaissance et essai - Détermination des caractéristiques de compactage d'un sol : essai Proctor normal, essai Proctor modifié.
- 15- NF P 94-078, Décembre 1992.** Sols: reconnaissance et essai – essai CBR immédiat- essai CBR après immersion
- 16- ARQUIE G. (1970).** Le compactage – Routes et Pistes. Ed° Eyrolles