

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITÉ DE TLEMCCEN

Faculté de TECHNOLOGIE

Département de GENIE-CIVIL

Mémoire de **MASTER EN GENIE CIVIL**

Option : **GEOTECHNIQUE**

Thème :

ETUDE GEOTECHNIQUE D'UN TRONÇON ROUTIER

Présenté et Soutenu le : **10/10/2019**

par :

TALEB Younes Abdallah

et

KERMA Yassine

Devant le jury composé de :

Pr. ABOU-BEKR Nabil

Président

Dr. BOURABAH Maghnia Asmahane

Encadreur

Dr. AYAD Fatima

Examinatrice

ANNÉE UNIVERSITAIRE: 2018-2019

Remerciements

Nous voudrions d'abord remercier ALLAH le Tout Puissant de nous avoir donné la force et la volonté d'accomplir ce travail et d'avoir éclairé notre chemin.

Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé à la Faculté de Technologie de l'Université de Tlemcen et au sein du laboratoire de Génie-Civil sous la direction du **Dr. BOURABAH M.A**, qu'elle nous a fait bénéficier de ces conseils et compétences, soulignant ainsi l'intérêt qu'elle avait porté à notre travail. On la remercie particulièrement pour sa patience et sa disponibilité.

Nos remerciements vont à **Pr. ABOU-BEKR Nabil** et **Dr. AYAD Fatima.**, enseignants à l'université de Tlemcen d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nos reconnaissances vont aussi aux ingénieurs du laboratoire LTPO_TLEMCEN ainsi que les personnels de service et d'exploitation du barrage OUED TAHT_ MASCARA.

Un grand merci est accordé aussi à tous les enseignants de notre département de Génie-Civil en général et de l'option Géotechnique en particulier, et un merci spécial à la dame BELOUILISE Fatima de nous aider dans notre travail.

Enfin, ils nous seraient impossibles de terminer ces remerciements sans adresser une pensée chaleureuse à toutes les personnes qui nous ont aidées de près ou de loin.

Dédicaces

Avec l'aide de dieu le tout puissant, j'ai réalisé ce projet de fin d'étude, que je dédie avec toute modestie à :

Mes chers parents : Abdelhakim et sorraya

A mon frère Salah, et mes sœurs

A tous mes amis (es)

A la famille : Taleb et zeddoune

A tous les camarades et amis de L'Université (famille géotechnique).

A mon encadreur Madame BOURABAH Maghnia Asmahane.

A tous les enseignants qui ont contribué à ma formation.

Younes

Dédicaces

Avec l'aide de dieu le tout puissant, j'ai réalisé ce projet de fin d'étude, que je dédie avec toute modestie à :

Mes chers parents

A mes frère: Oussama, Imad eddine, Riyad, Adel, Abdel mouniam

A tous mes amis (es)

A tous les camarades et amis de L'Université (famille géotechnique).

A mon encadreur Madame BOURABAH Maghnia Asmahane.

A tous les enseignants qui ont contribué à ma formation.

Yacine

ملخص

مع زيادة الطلب على المواد الحبيبية في التطبيقات الجيوتقنية على الطرق، فإن استخدام رواسب السدود هو وسيلة جديدة لتحسين من جهة إدارة المجاميع الطبيعية للحبيبات، و من جهة أخرى تشكيل مصدر جديد في إمدادات المواد.

يتعلق العمل الحالي في دراسة وتحسين الخواص الفيزيائية والميكانيكية لراسب معالج عن طريق إضافة مصحح حبيبي، وهذا بغية استخدامه كمادة تكوينية جديدة في طبقة أرضية لمقطع طريق.

نعتمد في المعالجة المقترحة لهذا التثمين في تقنية الطرق على تصحيح حبيبي لراسب مستخرج من سد وادي التحت (معسكر) حيث تم دمج تربة حبيبية مأخوذة من مقلع في الراسب الدقيق من فئة A2 وفقاً للدليل التقني للطرق (GTR).

أظهرت النتائج المحصل عليها أن إضافة هذه المادة الحبيبية حسنت من توزيع حجم الحبيبات وكذلك نسبة الرص لهذا الراسب المعالج. تم أيضا الحصول على تقليل نسب اللدونة والمواد العضوية بشكل كبير بعد هذا العلاج.

ومع ذلك، فإن قدرة التحمل بالنسبة للراسب المعالج لم تظهر تحسنا ملحوظا مع هذا العلاج التصحيحي الحبيبي.

الكلمات المفتاحية : الرواسب، الاستكشاف الجيوتقني، تكنولوجيا الطرق، العلاج

RÉSUMÉ

Avec la demande accentuée d'apport de matériaux granulaires dans des applications géotechniques routières, l'utilisation des sédiments de dragage des barrages constitue une nouvelle voie pour améliorer d'une part la gestion des ressources naturelles de granulats et d'autre part constituer une nouvelle source d'approvisionnement de matériaux.

Le présent travail concerne l'étude et l'amélioration des propriétés physico-mécaniques d'un sédiment traité par ajout d'un correcteur granulométrique en vue de l'exploiter comme un nouveau matériau constitutif dans une couche de chaussée pour un tronçon routier.

Le traitement proposé pour cette valorisation en technique routière est basé sur une correction granulométrique d'un sédiment prélevé du barrage Oued Taht (Mascara) où un sol granulaire issu d'une carrière a été incorporé au sédiment fin de classe A2 selon le guide technique routier (GTR).

L'analyse des résultats obtenus a montré que l'ajout de ce matériau granulaire a amélioré la distribution granulométrique ainsi que la compacité du sédiment traité. La plasticité et la teneur en matières organiques sont nettement réduites après ce traitement.

Cependant, la portance du sédiment traité n'a pas montré une amélioration notable avec ce traitement par correction granulométrique.

Mots clés : Sédiments, Reconnaissance géotechnique, Technique routier, Traitement

ABSTRACT

With the increased demand for granular materials in road geotechnical applications, the uses of dredged dam sediments is a new way of improving on the one hand the management of natural aggregates and, on the other hand constitute a novel source of materials supply.

The present work concerns the study and improvement of the physico-mechanical properties of treated sediment by adding a granulometric corrector to exploit it as a new constitutive material in a roadway layer for a road section.

The proposed treatment for this valorization in road technique is based on a granulometric correction of sediment taken from the Oued Taht dam (Mascara) where a granular soil resulting from a quarry has been incorporated into fine sediment of A2 class, according to the technical road guide (GTR).

The analysis of obtained results showed that the addition of this granular material improved the particle size distribution as well as the compactness of the treated sediment. The plasticity and organic matter content are significantly reduced after this treatment.

However, the bearing capacity of the treated sediment did not show a noticeable improvement with this granulometry correction treatment.

Keywords: Sediments, Geotechnical reconnaissance, Road Engineering, Treatment

LISTE DES FIGURES

N° Figure	TITRE	Page
Chapitre 1		
Figure I.1	Origine de formation des sédiments. [1]	24
Figure I.2	Composition simplifiée des sédiments portuaires. [4]	25
Figure I.3	Organigramme du processus d'envasement des retenues. [6]	27
Figure I.4	Comportement des sédiments grossiers du barrage. [7]	28
Figure I.5	Comportement des sédiments fins du barrage. [7]	29
Figure I.6	Les dragues pneumatiques. [12]	32
Figure I.7	Nombre et capacité des barrages dans l'Afrique du Nord. [14]	35
Figure I.8	Envasement annuel en Afrique du Nord.	35
Figure I.9	Situation des barrages surélevés en Algérie (1962).	39
Figure I.10	Situation des barrages algériens dévasés par le dragage.	39
Figure I.11	Situation des barrages dans lesquels est pratiquée les chasses ou le soutirage des courants de densité.	41
Chapitre 2		
Figure II.1	Profil en travers type d'une route.	43
Figure II.2	Profil en travers d'une autoroute.	44
Figure II.3	La toute transsaharienne qui relie Alger à Lagos.	45
Figure II.4	Tracé en plan de l'autoroute Est-Ouest.	45
Figure II.5	Répartition du réseau routier en Algérie.	46
Figure II.6	Missions géotechniques dans un projet routier.	47
Figure II.7	Schéma de fonctionnement d'une structure de chaussée sous l'application d'une charge roulante. [17]	48
Figure II.8	Les différentes couches d'une chaussée routière. [18]	49
Figure II.9	Représentation synoptique de la classification des matériaux selon le guide GTR. [22]	54

Chapitre 3

Figure III.1	Localisation du site du barrage Oued Taht. [25]	58
Figure III.2	Courbe granulométrique du sédiment d'Oued Taht	66
Figure III.3	Variation d'états de consistance d'un sol fin.	68
Figure III.4	Détermination de la limite de liquidité (w_L) du sédiment Oued Taht.	69
Figure III.5	Vérification effectuées lors de l'essai au bleu de méthylène. [1]	72
Figure III.6	Seuils de teneur en matières organiques dans la classification GTR [3]	74
Figure III. 7	Courbe de compactage du sédiment Oued Taht.	77
Figure III.8	Courbe de portance du sédiment Oued Taht.	78
Figure III.9	Classification du sédiment du barrage Oued Taht selon le LCPC. [27]	79
Figure III.10	Classification du sédiment du barrage Oued Taht selon GTR. [22]	80

Chapitre 4

Figure IV.1	L'emplacement de la commune de Sidi Abdelli dans la wilaya de Tlemcen.	84
Figure IV.2	Courbes granulométriques du matériau stérile et du sédiment Oued Taht.	88
Figure IV.3	Classification du matériau stérile selon le diagramme de plasticité de Casagrande.	88
Figure IV.4	Classification du matériau stérile selon le guide technique routier (GTR).	89
Figure IV.5	Courbes granulométriques des formulations étudiées (80/20 ; 50/50).	91
Figure IV.6	Classification des mélanges étudiés selon la classification LCPC.	92
Figure IV.7	Classification des mélanges étudiés selon le guide technique routier (GTR).	92
Figure IV.8	Courbes de compactage des formulations étudiées.	93
Figure IV.9	Courbes de portance (IPI) des formulations étudiées.	94

LISTE DES TABLEAUX

N° Tableau	TITRE	Page
Chapitre 1		
Tableau I.1	Classes granulométriques d'un sédiment.	25
Tableau I.2	Taux d'envasement des barrages du nord d'Afrique (2002). [14]	36
Tableau I.3	Capacités de certains barrages Algériens (2010).	37
Tableau I.4	Les barrages abandonnés en Algérie	38
Tableau I.5	Anciens barrages remplacés par un nouveau barrage. [15]	38
Chapitre 2		
Tableau II.1	Différents types de structure des chaussées.	51
Chapitre 3		
Tableau III.1	Informations générales sur Barrage d'Oued Taht [1]	59
Tableau III.2	Présentation des essais d'identification géotechniques	62
Tableau III.3	Caractéristiques granulométriques du sédiment du barrage Oued Taht	67
Tableau III.4	Récapitulatif des résultats des limites d'Atterberg sur le sédiment du barrage Oued Taht	71
Tableau III.5	Potentiel de gonflement d'un sol d'après Holtz et al. 1973	71
Tableau III.6	Classification des sols d'après Philipponat [3]	73
Tableau III.7	Classification du sol en fonction de la Teneur en CaCO ₃ [3]	75
Tableau III.8	Résultats de l'essai de compacité et de portance à l'OPM sur le sédiment Oued Taht	79
Tableau III.9	Récapitulatif des paramètres d'identification du sédiment du barrage Oued Taht pour la classification GTR.	80
Chapitre 4		
Tableau IV.1	Caractérisation géotechnique et classification du matériau stérile.	87
Tableau IV.2	Récapitulatif de la caractérisation géotechnique des deux formulations étudiées ainsi que leurs classifications.	91

LISTE DES PHOTOS

N° Photo	TITRE	Page
Chapitre 1		
Photo I.1	Curage d'un canal par les moyens mécaniques [10]	31
Photo I.2	Le curage hydraulique [11]	32
Photo I.3	Immersion des sédiments de dragage du port de Rouen [13]	33
Photo I.4	Stockage des sédiments du dragage	34
Photo I.5	Opération de dragage au niveau de la retenue de Fergoug (2005)	40
Chapitre 3		
Photo III.1	Barrage Oued Taht (Mascara)	60
Photo III.2	Bassin du barrage Oued Taht (Mascara)	60
Photo III.3	Prélèvement du sédiment d'étude.	61
Photo III.4	Tamisage par voie humide du sédiment Oued Taht.	63
Photo III.5	Siphonage de l'échantillon.	64
Photo III.6	Homogénéisation du matériau(le fond) après séchage à l'étuve.	64
Photo III.7	Agitateur mécanique.	65
Photo III.8	Décantation des particules du sédiment Oued Taht lors de l'essai de sédimentométrie.	65
Photo III.9	Essai de Casagrande pour la détermination de la limite de liquidité (w_L) du sédiment Oued Taht.	68
Photo III.10	Les étapes d'exécution de l'essai de plasticité.	69
Photo III.11	Détermination de la limite de retrait (w_r) du sédiment Oued Taht.	70
Photo III.12	Essai au bleu de méthylène sur le sédiment Oued Taht.	72
Photo III.13	Mesure de la teneur en MO du sédiment Oued Taht par calcination dans un four à moufle à 450°C.	73
Photo III.14	Détermination de la teneur en carbonate ($CaCO_3$) pour le sédiment Oued Taht par l'essai au Calcimètre.	74
Photo III.15	Détermination du poids volumique des grains solides pour le sédiment Oued Taht.	75

Photo III.16 Détermination des paramètres de compactage pour le sédiment Oued Taht. 76

Photo III.17 Détermination de l'indice IPI pour le sédiment Oued Taht. 78

Chapitre 4

Photo IV.1 Entreprise Nationale des Granulats (ENG). 85

Photo IV.2 Extraction du matériau stérile dans la carrière de l'ENG. 86

LISTE DES SYMBOLES

GTR : Guide des terrassements routiers

VOA : Voiries et Ouvrages d'Art

TP : Travaux publics

UMA: Union du Maghreb arabe

BTP : Bâtiment et Travaux Publics

IP : Indice de plasticité

VBS : Valeur au bleu du sol

SST : Surface spécifique totale

D_{max} : Diamètre maximum

C_u : Coefficient d'uniformité

IP_i : Indice Portant Immédiat

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

SETRA : Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes

ANBT: Agence nationale des barrages et transferts

AEP : alimentation en eau potable

Cc : Coefficient de courbure

d₁₀: Diamètre de particules pour 10 % de passants cumulés

d₃₀: Diamètre de particule pour 30 % de passants cumulés

d₆₀: Diamètre de particule pour 60 % de passants cumulés

W_L: Limite de liquidité

W_P: Limite de plasticité

W_r : Limite de retrait

N : nombre des coups

ρ_w: Masse volumique de l'eau

m_h : Poids du sol humide

m_d : Poids du sol sec.

V_h : volume du sol humide

V_d : volume du sol sec.

MO : Matières organiques

CaCO₃: Carbonate de calcium

HCl: Acide chlorhydrique

H₂O: Eau

CO₂: Dioxyde de carbone

Ca Cl₂ : chlorure de calcium

ρ_s: Masse volumique des grains solides

w : Teneur en eau

OPM: Optimum Proctor Normale

γ_d: poids volumique sec

(NaPO₃)₆:Hexa- méta phosphate de sodium

ENG: Entreprise nationale de granulats

Tables des matières

ملخص	5	
RESUME	6	
ABSTRACT	7	
LISTE DES FIGURES	8	
LISTE DES TABLEAUX	10	
LISTE DES PHOTOS	11	
LISTE DES SYMBOLES	13	
INTRODUCTION GENERALE	20	
CHAPITRE 1 PROBLEMATIQUE DE GESTION DES SEDIMENTS DES BARRAGES		
I.1	Introduction	23
I.2	Notion sur les sédiments	23
I.2.1	Définition et origine	24
I.2.1.1	Origine naturelle	24
I.2.1.2	Origine anthropique	24
I.2.2	Structure granulométrique des sédiments	24
I.2.3	Composition minéralogique des sédiments	25
I.3	Phénomène d'envasement des barrages	26
I.3.1	Processus de l'envasement	25
I.3.2	Mécanisme d'envasement	28
I.3.2.1	Comportement des sédiments grossiers	28
I.3.2.2	Comportement des sédiments fins	29
I.4	Problèmes poses par l'envasement	29
I.4.1	Réduction de la capacité de la retenue	30
I.4.2	Obturation des organes de vidanges	30
I.4.3	Sécurités et la stabilité de l'ouvrage	30
I.4.4	Envasement des canaux d'irrigation	30

I.4.5	La dégradation de la qualité de l'eau	30
I.5	Le dragage	30
I.5.1	Les techniques de dragage	31
I.5.2	Modes de gestion des sédiments dragués	32
I.6	L'envasement dans les pays du nord d'Afrique	34
I.6.1	L'envasement en Algérie	36
I.6.1.1	Evolution de l'envasement en Algérie	37
I.6.1.2	Les techniques de dévasement utilisées en Algérie	37
I.7	Conclusion	41
CHAPITRE 2 UTILISATION DES SEDIMENTS DANS LE DOMAINE ROUTIER		
II.1	Introduction	43
II.2	Définition d'une route	43
II.2.1	Définition d'une autoroute	44
II.2.2	Les routes et les autoroutes en Algérie	44
II.2.2.1	La route transsaharienne	45
II.2.2.2	L'autoroute est-ouest	45
II.2.3	Le réseau routier en Algérie	46
II.2.4	Missions géotechniques dans un projet routier	47
II.3	Description d'une structure de chaussée	47
II.3.1	Différentes couches d'une chaussée	48
II.3.2	Différents types de structure de chaussée	49
II.3.3	Dimensionnement de la chaussée	51
II.3.3.1	Démarche de dimensionnement d'une chaussée	51
II.4	Caractérisation et classification des sédiments selon le guide technique routier	52

II.4.1	Définition du guide des terrassements routier (GTR)	52
II.4.2	Classification selon le guide des terrassements routier (GTR)	53
II.4.3	Critères de classification des sédiments dans les travaux routiers	55
II.4.3.1	Critère de granulométrie	55
II.4.3.2	Critère de portance	55
II.5	Conclusion	55

CHAPITRE3 IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DU SEDIMENT DU BARRAGE

III.1	Introduction	58
III.2	Présentation du barrage d'Oued Taht	58
III.2.1	Localisation du barrage d'Oued Taht	58
III.2.2	Historique du barrage	59
III.2.3	Informations sur le barrage Oued Taht	59
III.2.4	Caractéristiques du barrage	60
III.3	Prélèvement du sédiment d'étude	61
III.3	Identification géotechnique du sédiment d'Oued Taht	61
III.3.1	Analyse granulométrique (tamisage par voie humide)	62
III.3.2	Analyse granulométrique par sedimentometrie	63
III.3.3	Limites d'Atterberg	67
III.3.3.1	Détermination de la limite de liquidité (w_l)	68
III.3.3.2	Détermination de la limite de plasticité (w_p)	69
III.3.3.3	Détermination de la limite de retrait (w_r)	70
III.3.4	Détermination de la valeur au bleu de méthylène (VBS)	71
III.3.5	Détermination de la teneur en matières organiques (M.O)	73
III.3.6	Détermination la teneur en carbonate de calcium ($CaCO_3$)	74
III.3.7	Détermination du poids spécifiques des grains solides par l'essai au pycnomètre	75
III.3.8	Détermination des paramètres de compacité et de portance	76

III.3.8.1	Paramètres de compacité (essai Proctor Modifié)	76
III.3.8.2	Paramètres de portance (essai IPI)	77
III.4.	Classification du sédiment Oued Taht	79
III.5	Conclusion	81
CHAPITRE 4 TRAITEMENT DU SEDIMENT DU BARRAGE D'OUED TAHT		
IV.1	Introduction	83
IV.2	Traitement du sédiment Oued Taht par correction granulométrique	83
IV.3	Présentation du matériau stérile	84
IV.3.1	Caractérisation géologique du site	85
IV.3.2	Définition du matériau stérile	85
IV.3.3	Caractérisation géotechnique du matériau stérile	86
IV.4.	Présentation des mélanges d'étude	89
IV.4.1	Effet d'ajout du matériau stérile sur la granulométrie	91
IV.4.2	Effet d'ajout du matériau stérile sur la plasticité	93
IV.4.3	Effet d'ajout du matériau stérile sur la densification et la portance	93
IV.5	Conclusion	95
CONCLUSION GENERALE		97
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES		100

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'envasement des barrages est un phénomène naturel qui touche l'ensemble des barrages du monde. Il est défini comme étant, l'accumulation successive des sédiments transportés par les cours d'eau dans la retenue, avec un taux d'envasement qui varie d'un endroit à un autre.

Ce phénomène est très répandu dans l'Afrique du nord où l'envasement des barrages enregistre des valeurs très élevées et qui pour notre pays l'Algérie, il connaît actuellement des problèmes environnementaux majeurs attribués à ce phénomène. En effet, l'envasement des retenues de barrages en Algérie a pris une ampleur importante, limitant ainsi leur capacité (diminution importante du volume d'eau stockée). Le dévasement est devenu donc un moyen de lutte contre ce phénomène ; néanmoins les conséquences engendrées sont le dépôt sédimentaire et les problèmes liés à son stockage.

En Algérie, les déchets sont souvent stockés dans des conditions qui ne répondent pas aux normes. À cet effet, des mesures doivent être prises en vue de mettre en place une gestion écologiquement rationnelle de ces déchets, notamment la prévention et la réduction de la production.

Les méthodes actuelles de prise en charge de ces sédiments dragués tendent seulement à gérer le caractère opérationnel des installations sans se préoccuper du devenir réel de ces matériaux dragués. Actuellement, deux solutions sont adoptées: Le rejet en mer et la mise en dépôt à terre.

En technique routière, pour la construction des chaussées à faible trafic, on cherche de plus en plus à utiliser des matériaux locaux (granulats tendres, matériaux recyclés, sous-produits industriels, sédiments de dragage...) afin de réduire les coûts de transport et d'économiser les ressources en granulats. Cependant, ces matériaux locaux présentent en général une ou plusieurs caractéristiques non conformes aux spécifications pour les matériaux routiers. L'utilisation de ces nouveaux matériaux « hors spécifications », nécessite donc des études au laboratoire et sur chantier, pour vérifier qu'ils présentent un comportement satisfaisant, pour son application envisagée.

Ces grands volumes de matériaux peuvent représenter une source de matières premières très intéressante, notamment pour un secteur consommateur de granulats tel que le Génie-Civil. Parmi les différents secteurs du Génie-Civil, le domaine routier qui sollicite le plus grand besoin en matériaux vu qu'il consomme des quantités importantes de granulats avec

différentes propriétés mécaniques. Ainsi, l'étude présentée propose une nouvelle source d'approvisionnement en granulats pour le domaine routier, par l'utilisation de sédiments fins de dragage des barrages. Il est donc nécessaire de mieux connaître ces sédiments dragués à travers leurs propriétés intrinsèques et leurs comportements mécanique, afin de mieux les utiliser en tant que matériau constitutif d'une couche de structure routière.

L'objectif de ce travail consiste en le traitement d'un sédiment extrait du dragage du barrage d'Oued Taht (Mascara) en vue de tester la possibilité de son exploitation comme un nouveau matériau dans le domaine routier.

Pour cela, ce travail s'organise autour de quatre chapitres:

- ✓ Le premier chapitre présente un état de l'art sur le phénomène d'envasement des barrages, notamment son processus de formation, ainsi que les problèmes majeurs rencontrés dans la gestion des sédiments de barrage avec les techniques de dévasement utilisées en Algérie.
- ✓ Le deuxième chapitre s'intéresse à l'utilisation des sédiments dans le domaine routier, la caractérisation et les critères de classification des sédiments selon le guide technique routier (GTR).
- ✓ Le troisième chapitre consiste en la description générale du site de prélèvement du sédiment, une présentation des principaux essais géotechniques en vue d'une identification physico-chimique du sédiment d'étude.
- ✓ Le quatrième chapitre étudie les différentes formulations élaborées qui sont fondées sur la base d'une correction granulométrique où une description des principaux essais mécaniques réalisés est présentée sur ces formulations ainsi que l'analyse des résultats obtenus avec leurs synthèses correspondantes.

Une conclusion générale résumant les principaux résultats obtenus achèvera ce travail avec des perspectives.

Chapitre 1

PROBLEMATIQUE DE GESTION DES SEDIMENTS DES BARRAGES

I.1. Introduction

La recherche bibliographique met la lumière sur la problématique de gestion des sédiments. D'abord on va d'écrire cette problématique pour mieux comprendre leur comportement et anticiper les problèmes qui peuvent être posés dans le processus de valorisation et l'utilisation dans le domaine routiers. Ensuite, on va définir l'envasement des barrages, les moyens pour diminuer ces effets aussi les techniques utilisées pour l'évacuation et l'extraction des sédiments. Enfin, on citera quelques exemples de ce problème dans les barrages en Afrique du nord en général (Tunisie, Maroc) et l'Algérie précisément en analysant les barrages les plus importants dans ces pays et leurs taux d'envasement au cours des précédentes années.

I.2. Notion sur les sédiments

I.2.1. Définition et Origine

Les sédiments, plus communément appelés vases, sont définis comme étant un ensemble d'éléments déposés par l'eau, le vent, la glace qui proviennent de l'usure des continents, c'est-à-dire de la destruction de roches ou d'être vivants. La destruction se fait par des mécanismes physiques produisant la fragmentation des matériaux et des réactions chimiques donnant des solutions de lessivage (altération chimique). Les éléments solides sont déplacés sous l'effet de la gravité, souvent par l'intermédiaire d'un fluide transporteur (eau, glace), et sous l'effet des variations de pression atmosphérique qui produisent les vents. Les éléments en solution sont transportés par l'eau où (Figure I.1) :

- Une partie des produits de destruction peut s'accumuler momentanément sur place, sans être transportée, et constitue alors une couche d'altération.
- Les débris, dans leur majeure partie, sont déplacés puis déposés, généralement dans l'eau, pour former un sédiment détritique (alluvions au sens large). Les éléments en solution qui précipitent, avec intervention des êtres vivants, forment un sédiment d'origine chimique ou biochimique [1].

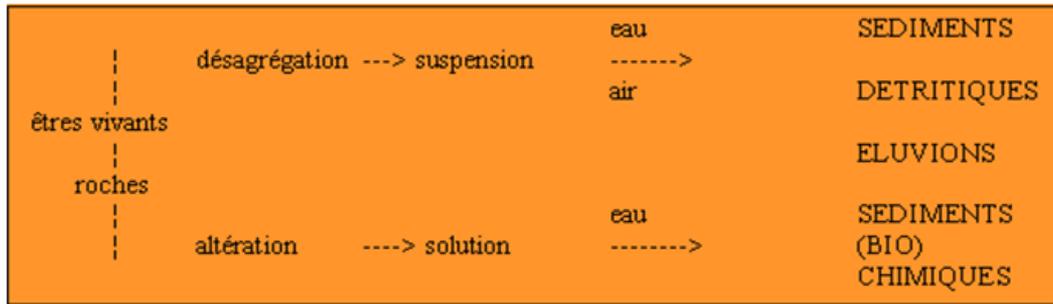


Figure 1.1 : Origine de formation des sédiments [1]

Quelques pédologues ont défini ce matériau de composition structurale complexe, comme [2]:

- ✓ **Rajcevic (1957)** qui a défini la vase comme étant un ensemble de substances minéral sableuses et poussiéreuses, dont la cohérence est due à un complexe organique
- ✓ **Mignot (1976)** a défini ces matériaux comme étant des sédiments complexes qui couvrent une gamme étendue de particules inférieures à 40 μ m mais peuvent contenir en quantité notable des éléments sableux.

I.2.1.1 Origine naturelle

Les particules peuvent être soit endogènes ou exogènes au cours d'eau. Les particules endogènes sont principalement constituées de matières organiques essentiellement des organismes aquatiques appartenant aux règnes animal ou végétal. Les particules exogènes sont principalement des particules minérales provenant d'une part de l'érosion éolienne des sols et d'autre part de l'érosion hydrique du bassin versant et des phénomènes de ruissellement. Les particules exogènes peuvent également être de nature organique, principalement des feuilles d'arbre transportées par le vent dans le canal [1].

I.2.1.2 Origine anthropique

Les particules peuvent être de nature organique ou minérale et proviennent des activités industrielle, urbaine et agricole [1].

I.2.2 Structure granulométrique des sédiments

La distribution granulométrique d'un sédiment détermine les caractéristiques granulaires des matériaux et leur distribution statistique de tailles d'une population d'éléments. D'autre part, la répartition de fréquence de taille des grains explique la répartition des sédiments dans un milieu aquatique. En effet, les grosses particules restent en amont tandis que les plus fines se retrouvent en aval. Les différentes classes granulométriques couramment rencontrées sont

présentées dans le **Tableau I.1** [3].

Taille	Dénomination
> 20 cm	Blocs
2 cm à 20 cm	Galets et cailloux
2 mm à 2 cm	Graviers
63 μm à 2 mm	Sables (grosiers et fins)
2 μm à 63 μm	Limons (ou silts)
< 2 μm	Vases, boues argileuses

Tableau I.1 : Classes granulométriques d'un sédiment.

Le sédiment dragué est généralement constitué des 3 dernières classes : sables, limons et argiles.

I.2.3 Composition minéralogique des sédiments

Schématiquement les sédiments sont constitués en général de 4 éléments principaux:

1. La matrice minérale (quartz, feldspaths ou carbonates).
2. La fraction argileuse (kaolinite, illite ou smectite).
3. La fraction organique (débris végétaux, micro-organismes, acides fulviques et humiques).
4. Une certaine quantité d'eau, présente sous différentes formes.

La **Figure I.2** présente un exemple sur la composition minéralogique des sédiments portuaires.

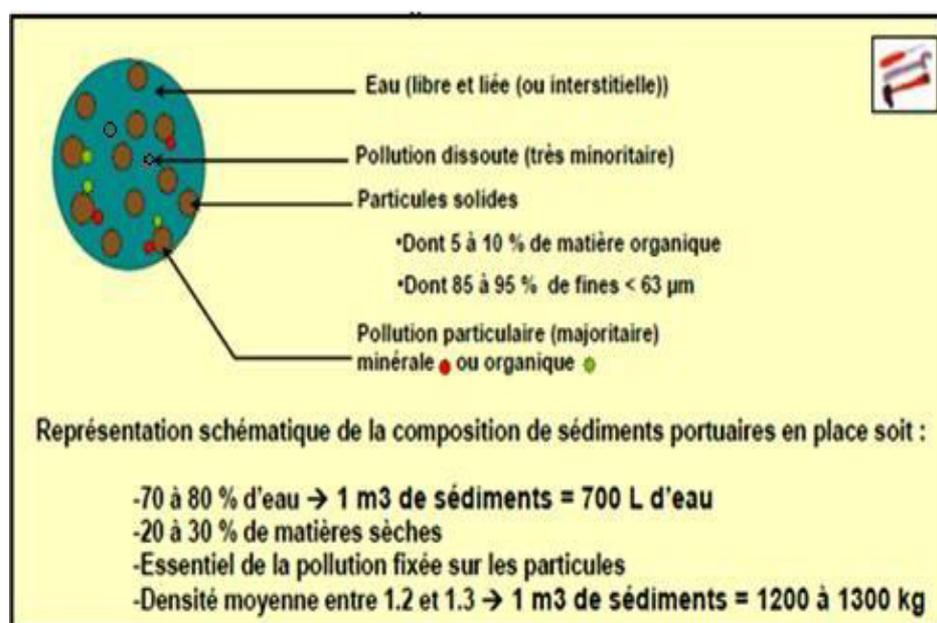


Figure I.2: Composition simplifiée des sédiments portuaires [4].

I.3 Phénomène d'envasement des barrages

I.3.1 Processus de l'envasement

Les quantités importantes de sédiments qui se trouvent à l'intérieur des retenues de barrages posent un grand problème d'exploitation aux gestionnaires. Ces sédiments stockés dans la nature causent des dommages à l'environnement

L'envasement des retenues est le résultat d'un processus complexe qui se caractérise par trois étapes successives : érosion, transport et sédimentation.

✓ Erosion des sols

L'érosion des sols est l'enlèvement des particules solides de ces sols par le fait des précipitations. Ce phénomène est le premier processus conduisant à l'envasement des barrages en Algérie où il menace gravement les potentialités en eau et en sol. Le calcul du transport solide et la prévision du volume d'envasement nécessitent une bonne compréhension de la genèse de ces phénomènes, et plus particulièrement celui de l'érosion des sols.

✓ Transport solide

Ce phénomène est le principal élément moteur après l'érosion, conduisant au processus d'envasement des barrages. Ce processus fait le lien entre les sols du bassin versant et la retenue du barrage. Il est défini par un écoulement bi-phasique: liquide (eau) - solide (granulats, sol). Dans les cours d'eau naturels, les particules solides sont transportées en suspension ou en charriage. Dans le transport en suspension les particules solides élémentaires se déplacent au sein de l'écoulement avec une vitesse de même ordre de grandeur que celle du fluide, où la turbulence maintient des éléments fins en suspension. Dans le transport par charriage une partie de gros granulats se déplace sur le fond des lits des cours d'eau, soit par glissement (ou roulement), soit par saltation.

✓ Sédimentation et envasement

C'est l'étape finale de l'envasement des retenues à l'état naturel où les cours d'eau transportent progressivement des quantités importantes de sédiments, soit par charriage soit par suspension. Les eaux chargées de matériaux fins forment un courant de densité qui s'écoule sur le long de la retenue et transportent ainsi la vase jusqu'au pied du barrage. Dans ce trajet, les sédiments se déposent, des plus grandes particules aux plus petites, de l'amont vers l'aval de la retenue. Les différents mécanismes de l'envasement dépendent du type de

retenues (morphologie) et les conditions de sédimentation existant à l'amont de la retenue (érosion et transport solide). Parfois l'envasement des barrages est lié à des erreurs commises par les organismes responsables de l'étude du projet et/ou de sa réalisation et/ou enfin de la gestion de l'ouvrage au cours d'exploitation.

Ces erreurs techniques peuvent être énumérées comme suit:

a) - Mauvaise évaluation du problème de l'envasement avant la construction du barrage, pouvant être le résultat de plusieurs facteurs.

b) - Mauvaise exploitation et implantation des ouvrages annexes à cause de l'ignorance du mécanisme des courants de densité [5].

Ainsi les étapes du processus d'envasement des retenues peuvent être schématisées selon la figure I.3 ci-dessous :

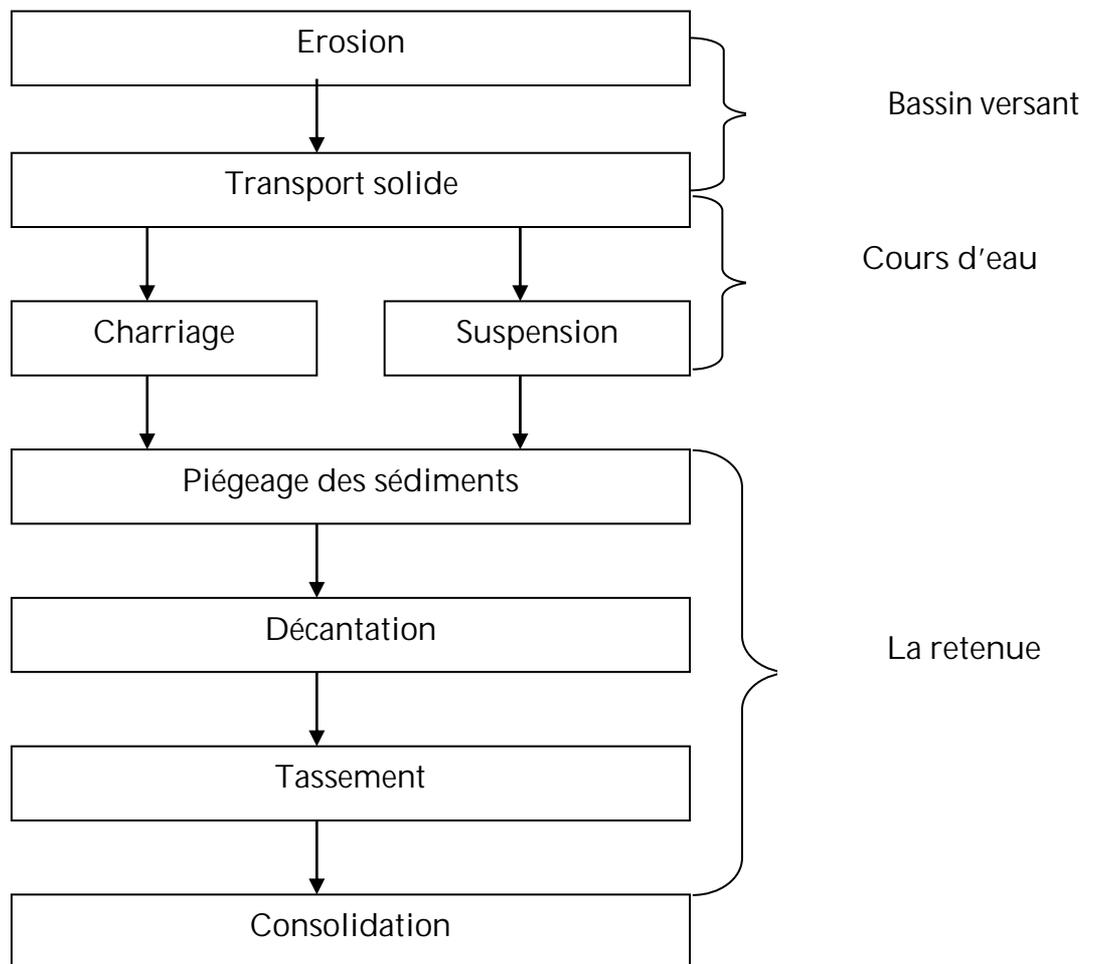


Figure I.3 : Organigramme du processus d'envasement des retenues [6].

I.3.2 Mécanisme d'envasement

Les vases et limons en suspension dans l'eau se déposent généralement en côté aval. Pour cela, suivant leur granulométrie et la topographie des lieux, la répartition des dépôts correspondants est alors plus au moins uniforme dans l'ensemble de la retenue.

I.3.2.1 COMPORTEMENT DES SEDIMENTS GROSSIERS

Lorsque les cours d'eau animés d'une certaine vitesse arrivent dans la retenue où la vitesse est nulle, les matériaux de taille importante se déposent alors les premiers, formant une accumulation en queue de retenue. Avec le temps et l'arrivée des matériaux supplémentaires, le delta va s'étendre et progresser vers l'aval (**Figure I.4**).

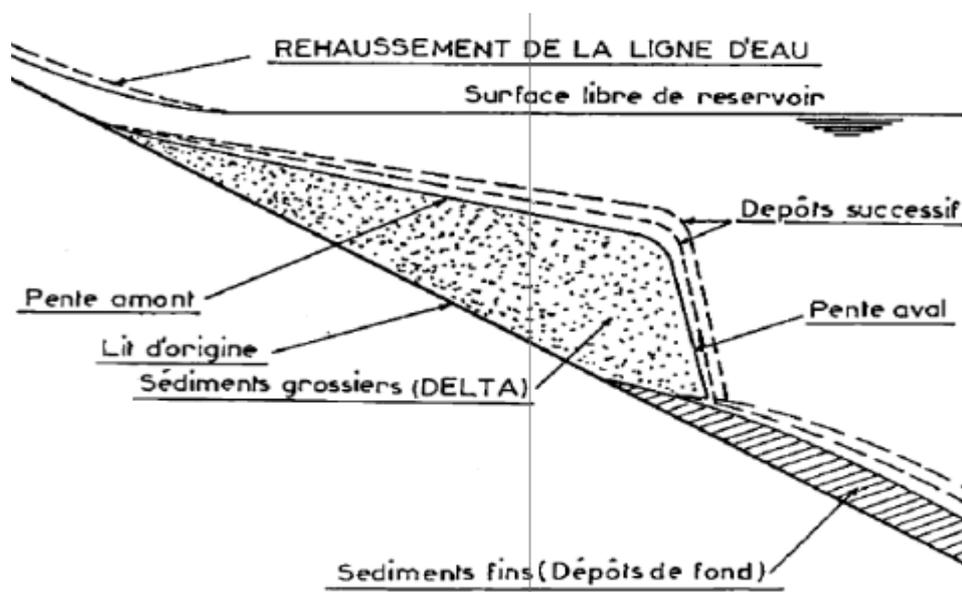


Figure I.4 : Comportement des sédiments grossiers du barrage [7]

I.3.2.2 Comportement des sédiments fins

Les sédiments fins peuvent se comporter de deux façons:

- ✓ Si un courant de densité est formé, il peut sous certaines conditions hydrauliques s'écouler au fond de la retenue et transporter les vases jusqu'au pied du barrage qui s'accumulent en absence de soutirage de fond en formant un lac de vase de volume important. De ce dernier, les particules sédimentent et les couches les plus profondes sont les plus chargées.

- ✓ Si le courant de densité ne s'est pas formé, les sédiments fins sont tributaires de la gravité, de la turbulence et les écoulements dans la retenue. Les particules argileuses de taille inférieure à $2\mu\text{m}$ ont une vitesse de chute très faible à l'état individuel qui les empêcherait de

sédimenter.

Les flocons ainsi formés ont une vitesse de chute plus importante et décantent aussi rapidement que les silts. Une fois déposés au fond les vases sont susceptibles de former des coulées vers les parties les plus basses de la retenue. Lorsqu'elles sont stabilisées et en absence de mouvement important dans la retenue, les dépôts vont se consolider en se débarrassant de leurs eaux interstitielles avec une vitesse qui sera fonction du milieu aqueux, de la nature minéralogique des argiles (**Figure I.5**) [7].

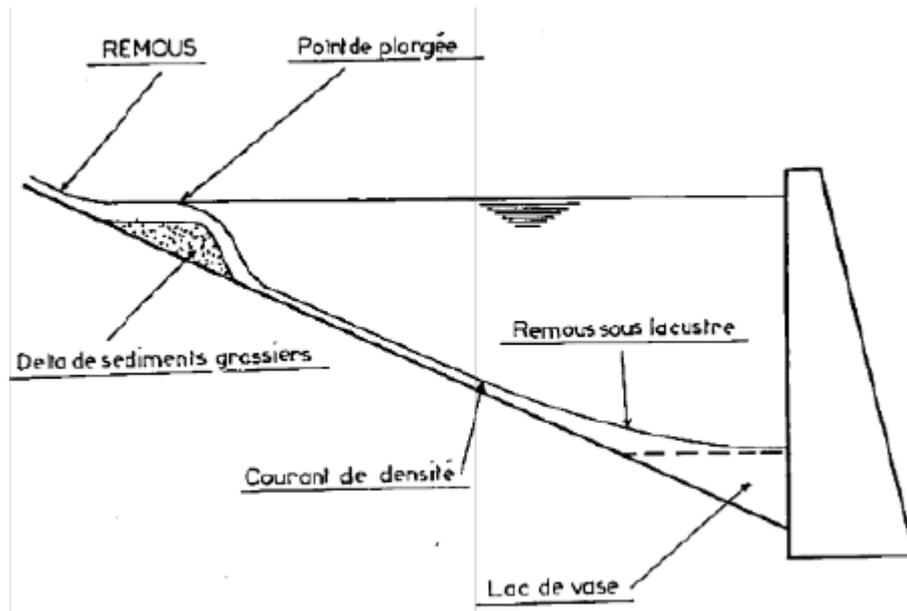


Figure I.5 : Comportement des sédiments fins du barrage [7]

I.4 Problèmes posés par l'envasement

Parmi les problèmes posés par l'envasement des retenues de barrages, on peut retenir cinq inconvénients majeurs qui sont :

- La réduction de la capacité de stockage d'eau.
- L'obturation des organes de vidange.
- La sécurité de l'ouvrage.
- L'envasement des canaux d'irrigation.
- La dégradation de la qualité de l'eau.

I.4.1 Réduction de la capacité de la retenue

Cette réduction de la capacité de stockage de l'eau est sans aucun doute la conséquence la plus dramatique de l'envasement. Chaque année le fond vaseux évolue et se consolide avec

occupation d'un volume considérable de la retenue, où la vase chasse l'eau du barrage. Avec le temps, le barrage sera complètement occupé par la boue.

Comme le barrage est considéré comme un corps étranger au cours d'eau, il perturbe l'écoulement des eaux et la dynamique sédimentaire. Ainsi, en se déposant petit à petit la boue au fond d'un barrage, le cours d'eau tente de retrouver sa pente initiale.

I.4.2 Obturation des organes de vidanges

Un autre danger présenté par l'envasement est celui du au non fonctionnement des organes de vidange de fond, les dépôts vaseux durant les premières années, les pertuis de vidange sont épargnés par l'envasement. Dès que le volume «mort» est atteint, les vannes seront menacées par les dépôts de vase. Avec les manœuvres de vannes, un cône de vase sera dégagé près des ouvertures. Avec le temps les vannes finiront par se colmater et devient difficile toute manœuvre des vannes.

I.4.3 Sécurités et la stabilité de l'ouvrage

La sédimentation des retenues a un impact sur la sécurité des barrages, par la mise en danger de la stabilité de l'ouvrage du fait de l'augmentation de la force hydrostatique produite par le remplacement accéléré du volume d'eau par la vase.

I.4.4 Envasement des canaux d'irrigation

Le dépôt des sédiments dans une retenue de barrage destinée à l'irrigation, pose le problème de comblement du réseau d'irrigation se trouvant à l'aval du barrage. En effet dans les pays arides et semi-arides, l'irrigation se fait généralement par de l'eau chargée en sédiments, mouillée et bien sur le débit véhiculé. Le curage et le nettoyage des canaux deviennent des opérations quotidiennes.

I.4.5 La dégradation de la qualité de l'eau

Les sédiments véhiculent des produits chimiques (nitrates, sulfates...) provenant en particulier des apports en éléments fertilisants pour l'agriculture, et se déposant dans les réservoirs, entraînant ainsi une dégradation de la qualité de l'eau [8].

I.5 Le dragage

Il existe plusieurs moyens de lutte contre l'envasement des barrages dont le plus couramment adopté est le dragage. Cette opération consiste à extraire les matériaux qui sont situés sur le fond d'un plan d'eau. Avec cette technique de dragage, on pourra entretenir les

retenues ainsi que les chenaux fluviaux ou maritimes empruntés par les navires lorsqu'ils sont comblés par les sédiments [9].

I.5.1 Les techniques de dragage

Les travaux de dragage sont réalisés par des navires et engins spécialisés dont les caractéristiques dépendent de la nature des travaux et de l'environnement dans lequel ils doivent être effectués. Il existe trois techniques traditionnelles de curage: mécanique, hydraulique et pneumatique [3].

a) Le curage mécanique

Il est réalisé à partir d'engins à godets (**Photo I.1**) qui opèrent soit depuis les berges soit depuis la surface. IL s'agit de récupérer, selon divers procédés, les sédiments qui sont ensuite déverse dans un puits, un chaland ou a terre. Ce mode de curage est le plus répandu.



Photo I.1: Curage d'un canal par les moyens mécaniques [10]

b) Le curage hydraulique

Les dragues hydrauliques aspirent les sédiments au moyen d'une pompe centrifuge (**Photo I.2**), à travers un long tube à embout appelé élinde. La profondeur de dragage tourne généralement autour de 30 m, et peut aller jusqu'à 60 m pour une drague autoporteuse. Les sédiments aspirés sous forme de boue liquide, sont ensuite rejetés, selon les dragues, dans un puits, un chaland ou une zone de dépôt via des conduits.



Photo I.2: Le curage hydraulique [11]

c) Le curage pneumatique

Les dragues fonctionnent par aspiration et sont équipées d'un système à air comprimé. Un vide d'air est créé dans un cylindre, provoquant une arrivée de sédiments. Une fois le cylindre plein, les valves sont inversées, l'air comprimé y pénètre alors et expulse les sédiments (**Figure I.6**).

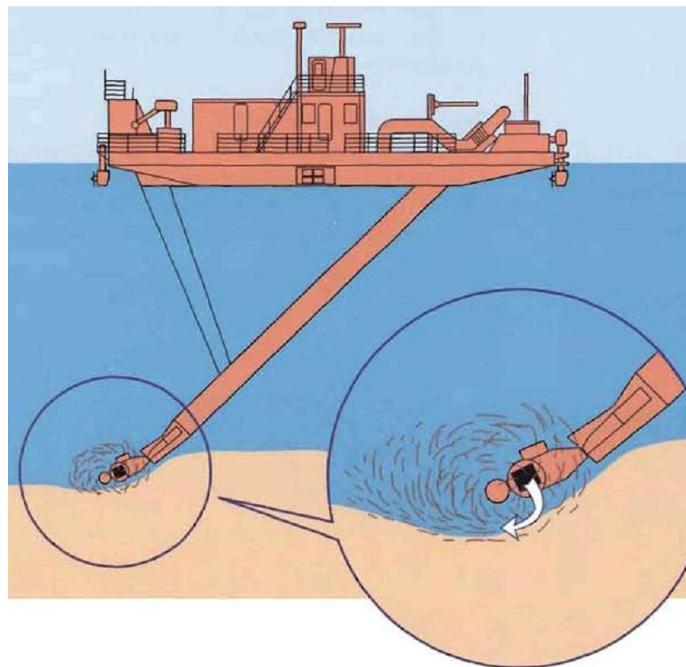


Figure I.6: Les dragues pneumatiques [12]

I.5.2 Modes de gestion des sédiments dragués

L'opération de dragage génère des quantités importantes de sédiments où le mode de gestion de ces matériaux dépend, entre autres, de leurs caractéristiques (nature, qualité et quantités impliquées) et leurs impacts sur l'environnement, du coût de l'opération, des

conditions réglementaires, etc. La gestion des sédiments peut être réalisée selon deux modes: l'immersion dans une zone autorisée ou la mise en dépôt.

a) Immersion

C'est un procédé qui consiste à transférer les matériaux du site de dragage à un lieu de rejet ou de confinement situé aussi en milieu aquatique. L'immersion par rélargie permet, dans un milieu marin agité, la dispersion de la matière solide ainsi que des polluants, susceptibles d'y être présent, et par suite diminuer la concentration des contaminants (**Photo I.3**).



Photo I.3 : Immersion des sédiments de dragage du port de Rouen [13]

Des mesures préventives doivent être adoptées avant l'immersion des sédiments en eau, où il est nécessaire de:

- 1) Prendre les mesures de confinement et éviter de claper dans une zone où le courant est non nul.
- 2) Minimiser la remise en suspension des sédiments en déversant convenablement les matériaux, et en envisageant l'utilisation d'écrans de protection et surtout en cas de confinement.
- 3) Minimiser les entraves à la navigation en prévoyant une signalisation adéquate.
- 4) Minimiser les effets négatifs sur l'écosystème (la faune et la flore).

b) Mise en dépôt

Les sédiments provenant de dragage peuvent être stockés sous forme de remblais (**Photo I.4**) sur terre ou dans un milieu aquatique, mais le souci de protection contre la pollution de

l'environnement marin tend à privilégier le dépôt terrestre. Le dépôt à terre constitue une solution alternative quand l'immersion présente des risques pour des zones sensibles, et nécessite d'importantes surfaces de stockage.



Photo I.4 : Stockage des sédiments du dragage

Des mesures préventives doivent être adoptées au moment du stockage en terre des sédiments où il est nécessaire de [3] :

- 1) Minimiser la remise en suspension des sédiments.
- 2) Collecter et traiter les eaux de ruissellement et d'assèchement, par un choix approprié pour la construction du site (pas de pente, étude du réseau de drainage).
- 3) Protéger les bassins de stockage par l'utilisation de géo membranes ou matériaux imperméables, digues.
- 4) Intégrer le site dans le paysage par la plantation de végétation.
- 5) Minimiser les rejets incontrôlés des contaminants en nettoyant les outils de travail.
- 6) Limiter les quantités d'eau dues aux précipitations s'infiltrant dans la masse des déblais.
- 7) Empêcher les eaux de surface et/ou souterraines de s'infiltrer dans le dépôt.

I.6 L'envasement dans les pays du nord d'Afrique

Dans de nombreux pays du monde, le transport des sédiments dans le réseau hydrographique des bassins versants et leur dépôt dans les retenues pose aux exploitants des barrages des problèmes dont la résolution ne peut qu'être onéreuse. Non seulement la capacité utile est progressivement réduite au fur et à mesure que les sédiments se déposent dans la retenue mais encore l'enlèvement de la vase est une opération délicate et difficile.

L’Afrique du Nord dispose actuellement de plus de 230 barrages d’une capacité totale de stockage de 23 milliards de m³, répartie comme indiquée sur la **figure I.7**.

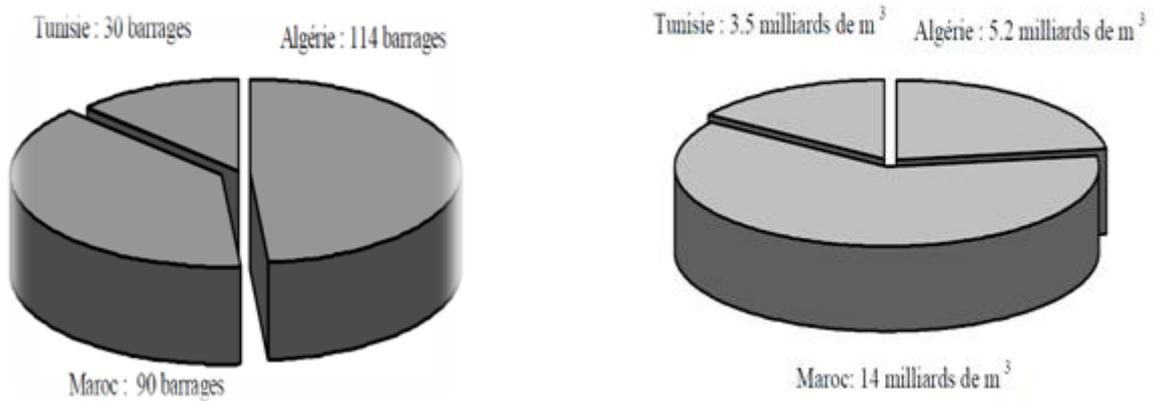


Figure I.7.a : Nombre de barrages en Afrique du Nord. **Figure I.7.b:** Capacité de stockage en Afrique du Nord.

Figure I.7 : Nombre et capacité des barrages dans l’Afrique du Nord [14]

Le suivi de l’envasement des retenues, a permis d’évaluer à près de 125.10⁶m³ la capacité perdue par envasement en moyenne chaque année. Cette capacité est répartie entre les trois pays de l’Afrique du Nord comme indiqué sur la **Figure I.8**.

En plus de la réduction de la capacité, la sédimentation a un impact au niveau du réservoir lui-même, en amont, et en aval du barrage. Ces pays (Algérie, Tunisie, Maroc), font partie d’une zone montagneuse caractérisée par un climat agressif avec alternance d’années sèches et humides, et des pluies d’automne dévastatrices pour les sols [14].

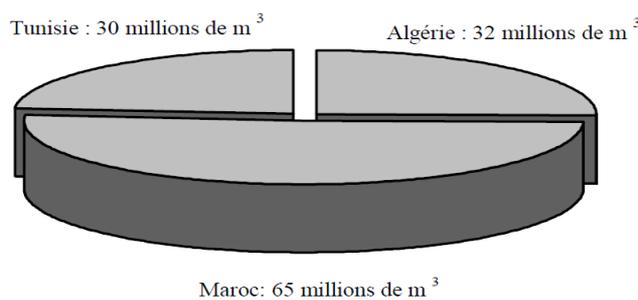


Figure I.8 : Envasement annuel en Afrique du Nord [14]

Le **tableau I.2** présente le taux de sédimentation d’une dizaine de barrages les plus envasés de l’Afrique du Nord.

Tableau I.2 : Taux d'envasement des barrages du nord d'Afrique (2002). [14]

Barrage	Année de mise en eau	Capacité 10 ⁶ m ³	Env moy.ann 10 ⁶ m ³ /an	Taux de sédimentation (%)
Mohamed V (Maroc)	1967	725	11.6	56
Mansour Edahabi (Maroc)	1972	592	4.8	24
El Massira (Maroc)	1979	2724	9	7.5
Bir El Ouidane (Maroc)	1953	1484	4.5	15
Mellegue (Tunisie)	1954	332	5.94	85
Sidi Salem (Tunisie)	1981	555	5.6	21
Gherib (Algérie)	1939	280	3.2	72
Oued El Fodda (Algérie)	1932	228	2.31	71
Ighil Emda (Algérie)	1953	155	1.33	42
Boughezzoul (Algérie)	1934	55	0.66	81

I.6.1 L'envasement en Algérie

L'érosion hydrique correspond à la séparation entre la particule et son support, sans inclure le transport et la sédimentation, même s'il se produit toujours un micro-transport. L'érosion des bassins versants est très répandue dans la région du Maghreb, puisque toutes les conditions sont réunies pour déclencher et développer un tel processus : les irrégularités climatiques, la faible densité du couvert végétale, la nature des sols qui est peu résistante à l'écoulement et la violence des crues. En effet, la région enregistre les valeurs les plus élevées. Plusieurs exemples témoignent de la gravité du problème. En Algérie, le taux d'érosion spécifique atteint la valeur de 5000 t/km²/an sur le bassin versant de l'oued l'Agrioum (à l'Est de l'Algérie), dans les bassins versants de Martil, de l'Ouergha, de Lakhdar et de la Tessaout [6].

I.6.1.1 Evolution de l'envasement en Algérie

En 1890, il existait en Algérie neuf barrages, d'une capacité de 61 Mm³ et un volume de vase de 2,7 Mm³. Cette capacité a atteint 1 milliard de m³ en 1962. À partir de cette date, le nombre de barrages a augmenté considérablement. Ainsi, en 2006, l'Algérie présentait une capacité de 6,8 milliards de m³. Le volume total a été multiplié par 7 en 45 ans. Le volume de vase a augmenté de 5,5 fois par rapport à celui de 1962, pour atteindre en 2006 le volume de 1,1 milliards de m³. Les grands barrages en exploitation (**Figure I.7.a**) qui, tous ont des degrés divers, s'ensavent progressivement chaque année de 45 Mm³, ce qui représente une perte de capacité annuelle égale à 0,65% de la capacité totale. La quantité de sédiments déposés dans les 110 barrages Algériens était évaluée à 560 10⁶ m³ en 1995 soit un taux de comblement de 12,5 %; elle sera de 650 10⁶ m³ en l'an 2000, soit un taux de comblement de 14,5 %. À titre d'exemple, la capacité initiale du barrage de GHRIB (Médéa) était de 280. 10⁶m³ en 1939 et n'était plus que de 109 10⁶m³ en 1977. Une projection a été faite pour l'an 2010, d'où il ressort que certains barrages comme par exemple ceux du FERGOUG et des ZARDEZAS finiront par périr si des dispositions radicales ne sont pas prises. Les barrages de OUED EL FODDA, GHRIB, BOUHANIFIA, K'SOB et FOUM EL GHERZA ne pourront plus garantir les quantités d'eau potable et d'irrigation nécessaires (**Tableau I.3**) [6].

Barrage	Capacité initiale (m ³)	Quantité de vase en 2010 (10 ⁶ m ³)
Fergoug	18	31
Zerdezas	31	37
Oued El Fodda	228	82
Gherib	280	227
K'sob	11.6	11.1
Fom El Gherza	74	39.5

Tableau I.3 : Capacités de certains barrages Algériens (2010).

I.6.1.2 Les techniques de dévasement utilisées en Algérie

Dans une région à un fort taux d'érosion, tel que l'Algérie, lorsque l'envasement d'un barrage atteint un seuil critique, trois choix se posent aux barragistes : le dévasement du barrage, l'abandon progressif de l'aménagement et la réalisation d'un nouveau barrage.

Le dévasement par dragage et la surélévation de la digue restent les meilleurs moyens pour faire face au comblement rapide des retenues. L'abandon d'un barrage est une mauvaise solution, surtout sur le plan social. Jusqu'à aujourd'hui, cinq barrages ont fait l'objet d'un

déclassement (**Tableau I.4**) La réalisation d'un nouveau barrage de même taille que celui abandonné et sur le même cours d'eau pose généralement le problème de site où en Algérie, deux barrages ont été remplacés (**Tableau I.5**) [15].

Barrage	Année de mise en service	Capacité initiale(Mm ³)
Fergoug II (Mascara)	1871	30
Sig(Mascara)	1846	1
Cheurfas I (Bel Abbès)	1882	14.4
Magoum(Mascara)	1887	1
Saint Lucien(Tlemcen)	1871	1

Tableau I.4 : Les barrages abandonnés en Algérie

Barrage	Ancien Barrage	Année de mise en eau	Capacité(Mm ³)
Ancien	Fergoug II (Mascara)	1871	30
Nouveau	Fergoug III (Mascara)	1970	18
Ancien	Cheurfas I (Bel Abbès)	1882	14.4
Nouveau	Cheurfas I (Bel Abbès)	1992	82

Tableau I.5 : Anciens barrages remplacés par un nouveau barrage [15]

Pour accroître la durée de vie des barrages en Algérie, les différentes techniques utilisées sont la surélévation de la digue, le dragage et l'évacuation des sédiments par les pertuis de vidanges (chasses et soutirage des courants de densité).

a) Surélévation des barrages

L'une des techniques de lutte contre l'envasement, et par conséquent permettant de prolonger la durée de vie d'un barrage, est la surélévation de la digue. L'Algérie est parmi les premiers pays du monde à pratiquer cette technique (**Figure I.9**). Cette méthode consiste, lorsque le taux de comblement est avancé, à élever la hauteur de la digue d'une taille variable, permettant la constitution d'une réserve complémentaire pour compenser la perte du volume occupé par la vase.

La surélévation des digues s'est accélérée à partir de 1962, où environ 50 Mm³ de capacité ont été récupérées. Cette valeur reste encore minime par rapport au fort taux d'envasement.

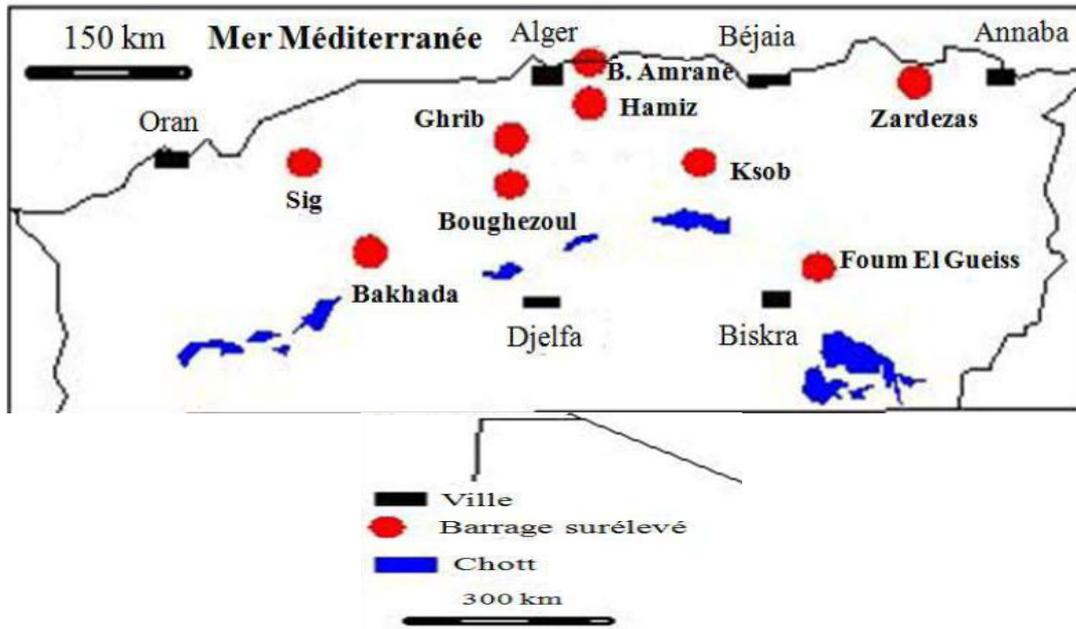


Figure I.9 : Situation des barrages surélevés en Algérie (1962)

-Chott : une zone humide situé à la bordure d'une sebkha

b) Dragage des barrages

Lorsqu'un barrage est au stade avancé de l'envasement, le dragage de la retenue s'avère l'ultime recours, surtout lorsqu'il y a peu de sites favorables à la réalisation de nouveaux ouvrages. En Algérie, huit barrages ont fait l'objet d'un dévasement par dragage durant le demi-siècle dernier (Figure I.10).

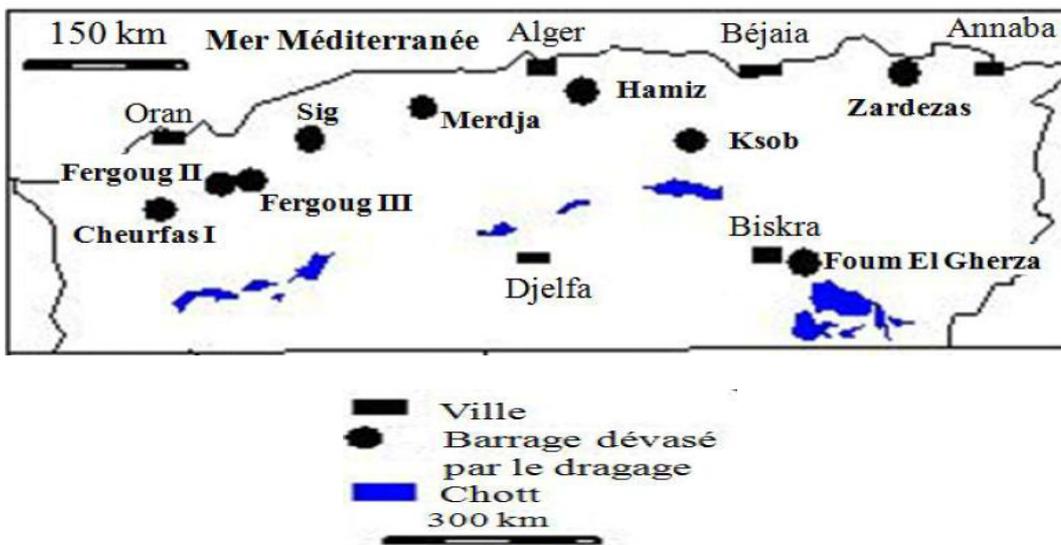


Figure I.10 : Situation des barrages algériens dévasés par le dragage.

La première drague refoulée utilisée en Algérie est celle appelée « Lucien Dumas ». Elle a été utilisée durant le période 1958-1969 pour le dragage des barrages de Cheurfas (10 Mm³ de vase), de Sig (2 Mm³ de vase), de Fergoug (**Figure I.10**) (3,1 Mm³ de vase) et de Hamiz (8 Mm³ de vase). La deuxième drague rémouleuse, baptisée a été acquise en 1988 et utilisée durant la période 1989-1992 pour le dévasement du barrage Fergoug III, d'un volume de 7 Mm³ de vase (**Photo I.5**).



Photo I.5 : Opération de dragage au niveau de la retenue de Fergoug (2005)

c) Le soutirage des courants de densité et les chasses périodiques

Il est possible de réduire le taux d'envasement par l'évacuation des sédiments avec les pertuis de vidange. Seulement, pour avoir de très bons résultats, il faut maîtriser les mécanismes de la sédimentation dans les barrages. Il y a trois méthodes : la vidange annuelle du barrage plus connue sous le nom de « chasse à l'espagnole », l'ouverture périodique des vannes de fond, et le soutirage des courants de densité.

La forte concentration en sédiments dans les cours d'eau, surtout en période de crues, et la forme géométrique (de type canal) donnent naissance aux courants de densité à l'entrée de la retenue et peuvent se propager jusqu'au pied du barrage. L'ouverture des vannettes dans le moment opportun peut évacuer une forte quantité de sédiments où cette dernière reste le moyen le plus efficace dans une telle région, à condition que les courants de densité soient bien maîtrisés. Elle est actuellement appliquée dans les barrages d'Ighil Emda, de l'oued El Fodda et d'Erraguene (**Figure I.11**).

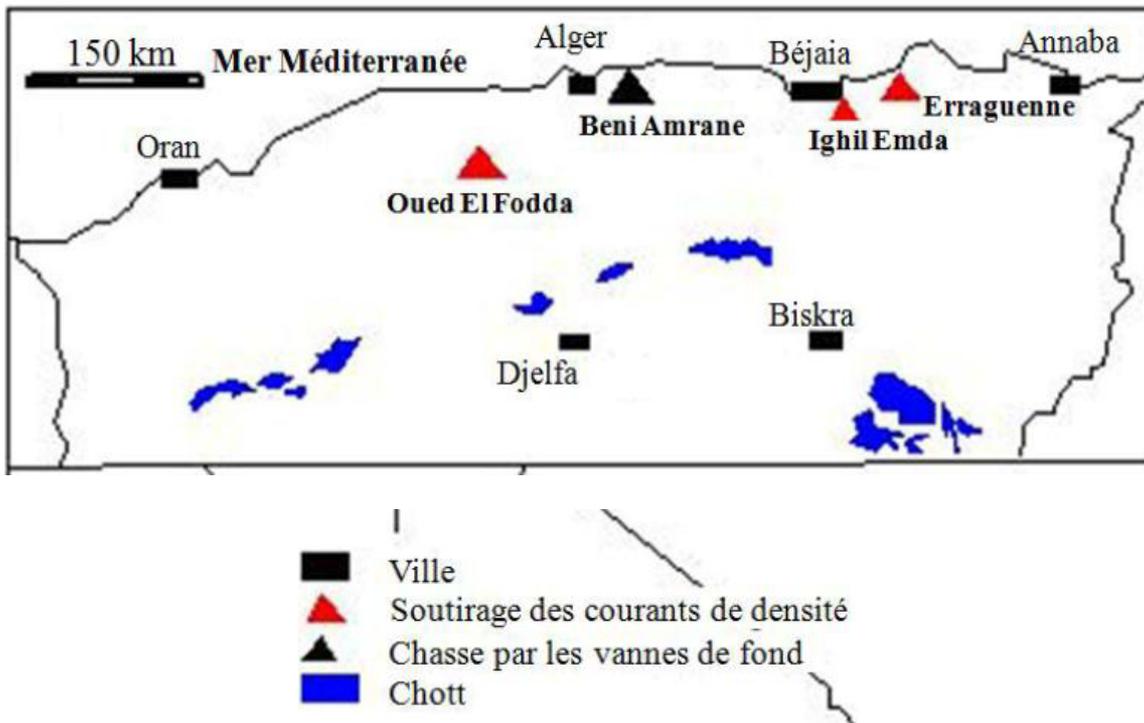


Figure I.11 : Situation des barrages dans lesquels est pratiquée les chasses ou le soutirage des courants de densité.

I.7 Conclusion

L'envasement des barrages est un phénomène naturel très complexe qu'il faut étudier. Les barrages sont alimentés par les cours d'eau qui charrient en général des sédiments se déposant dans la retenue, et qui provoquent une diminution dans la capacité du barrage. Ce phénomène entraîne une perte du potentiel d'eau allant jusqu'à supprimer dans certains cas les fonctions du barrage. L'Algérie se trouve à la tête des pays les plus touchés par l'envasement des barrages où la connaissance des propriétés et la composition de ces vases est une donnée essentielle pour définir le domaine d'application et les conditions de son utilisation, afin de compenser le coût de dévasement et débarrasser l'environnement de ces matières.

Chapitre 2

UTILISATION

DES SEDIMENTS DANS

LE DOMAINE ROUTIER

II.1 Introduction

L'Algérie est un pays en plein développement, dans tous les domaines de la construction. Les voies et ouvrages d'art constituent autant de projets particuliers à chaque région du pays.

Le secteur des travaux publics est par excellence un secteur porteur de croissance économique, créateur d'emploi et permet en même temps de la redynamisation des autres secteurs économiques. Il constitue de ce fait une base incontournable pour le développement de l'investissement national et étranger.

Parmi les différents Secteurs du génie civil, le domaine routier est un grand consommateur de matériaux, l'absence sur les matériaux restriction sévère sur les matériaux utilisés dans la conception routière, il est plus facile d'introduire des éléments issus de déchets de dragage comme les sédiments du barrage dans la conception des ouvrages et infrastructure routières (Route, Autoroute...).

Dans ce chapitre nous présentons une étude bibliographique sur le domaine routier Après une revue sur les critères et les conditions d'utilisation de sédiment en technique routière sont exposées.

II.2 Définition d'une route

Une route est au sens littéral une voie terrestre (au niveau du sol ou sur un pont) aménagée pour permettre la circulation de véhicules à roues. Ce terme s'applique plutôt aux voies importantes situées en rase campagne. En ville (site urbain) on parle de voie urbaine (rue, avenue, boulevard, etc. **(Figure II.1)** [16])

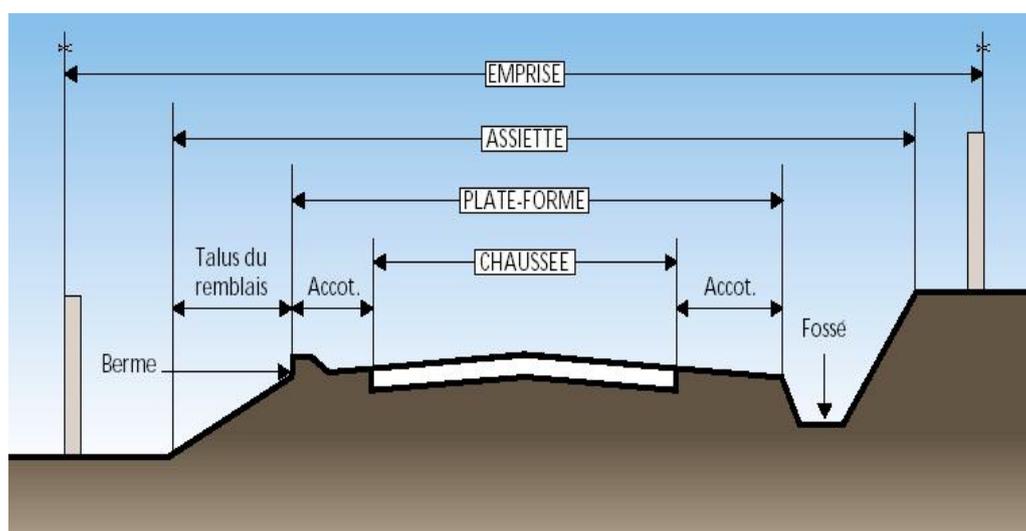


Figure II.1 : Profil en travers type d'une route.

II.2.1 Définition d'une autoroute

Une autoroute est une route réservée à la circulation des véhicules motorisés rapides (automobiles, motos, poids lourds) et dont le tracé permet de circuler avec une sécurité optimale (**Figure II.2**) [18]

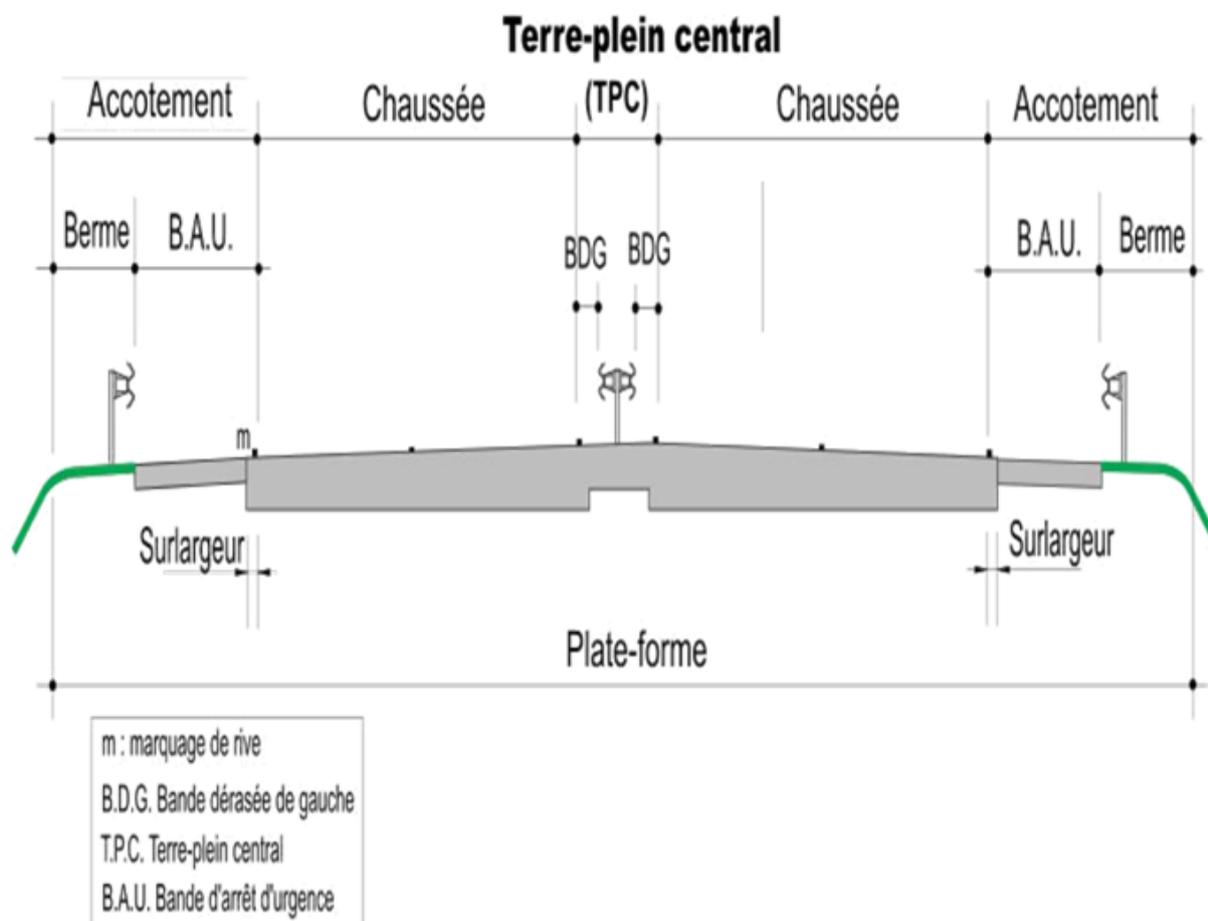


Figure II.2 : Profil en travers d'une autoroute.

II.2.2 Les routes et les autoroutes en Algérie

C'est dans cette optique que les travaux publics continuent à déployer des efforts multiples et nécessaires qui se traduisent à travers l'initiation d'importants projets d'investissement indispensables à la réussite du processus de développement national. À cet effet, la réalisation des grandes infrastructures de base entre autres l'Autoroute Est-Ouest, l'Autoroute des Hauts plateaux et la Transsaharienne. [16]

II.2.2.1 La route transsaharienne

La route transsaharienne est la route qui relie Alger à Lagos qui s'étend à environ 4 800 km. Elle s'inscrit dans le projet de réseau plus ou moins bien défini de grandes routes transafricaines reliant six pays, l'Algérie, la Tunisie, le Mali, le Niger, le Tchad et le Nigeria, lancé dans les années 1960 (Figure II.3).



Figure II.3 : La route transsaharienne qui relie Alger à Lagos

II.2.2.2 L'autoroute EST-OUEST

Le projet autoroutier Est-Ouest, d'une longueur de 1.216 km assurera la liaison entre Annaba et Tlemcen, avec la desserte des principaux pôles en touchant directement 24 wilayas (Figure II.4).



Figure II.4 : Tracé en plan de l'autoroute Est-Ouest

L'autoroute Est-Ouest s'intègre dans le grand projet régional de l'autoroute maghrébine, avec un linéaire de 7.000 km et dont la réalisation a été retenue par les pays de l'U.M.A. L'Algérie, par sa position et de sa volonté de parachever ce projet grandiose, contribue à l'épanouissement économique de l'ensemble du Maghreb.

II.2.3 Le réseau routier en Algérie

Les actions de développement du réseau routier ont permis à notre pays de disposer actuellement d'un réseau enviable de l'ordre de 112 039 km réparti comme suit (**Figure II.5**):

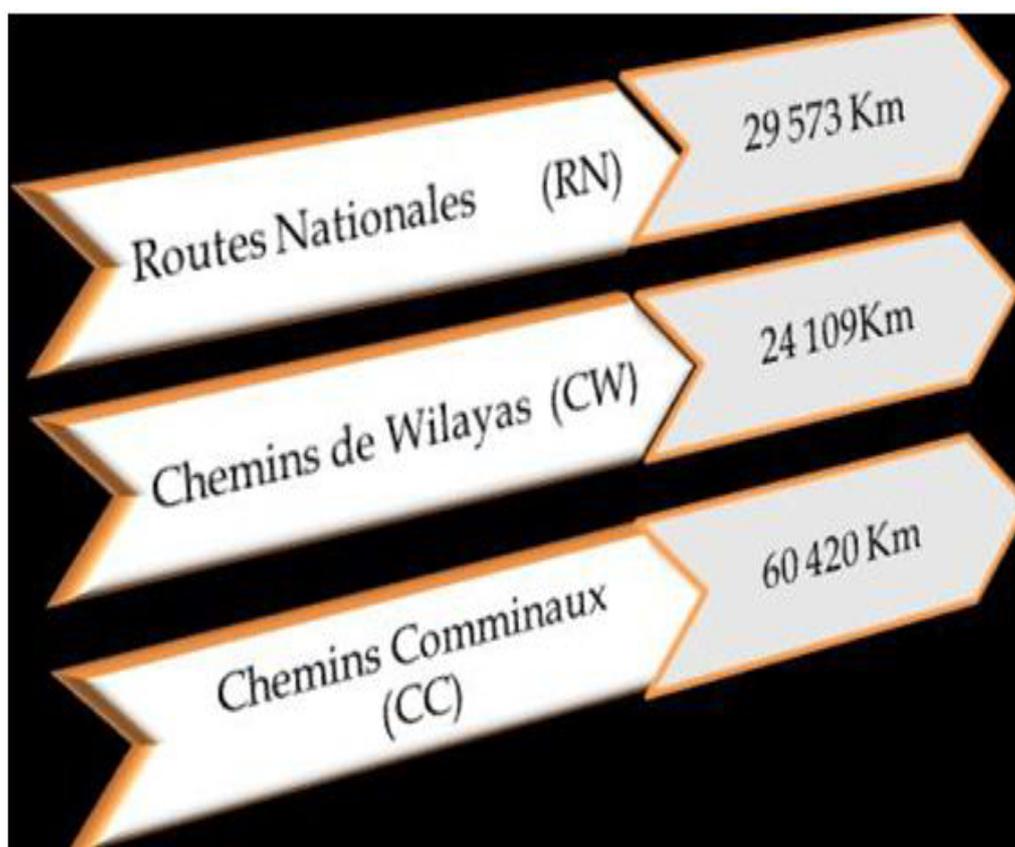


Figure II.5 : Répartition du réseau routier en Algérie

II.2.4. Missions géotechniques dans un projet routier

Selon la norme française NF P94-500:2006, il existe 5 types de missions (**Figure II.6**) :

- Études géotechniques préalables (G1) : étude géotechnique préliminaire de site G11, étude géotechnique d'avant-projet (G12)
- Étude géotechnique du projet (G2)
- Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) (pour l'entreprise)
- Supervision géotechnique d'exécution (G4) (pour le maître d'ouvrage)
- Diagnostic géotechnique (G5)

Chaque mission peut faire appel à des prestations géotechniques de sondages et d'essais.

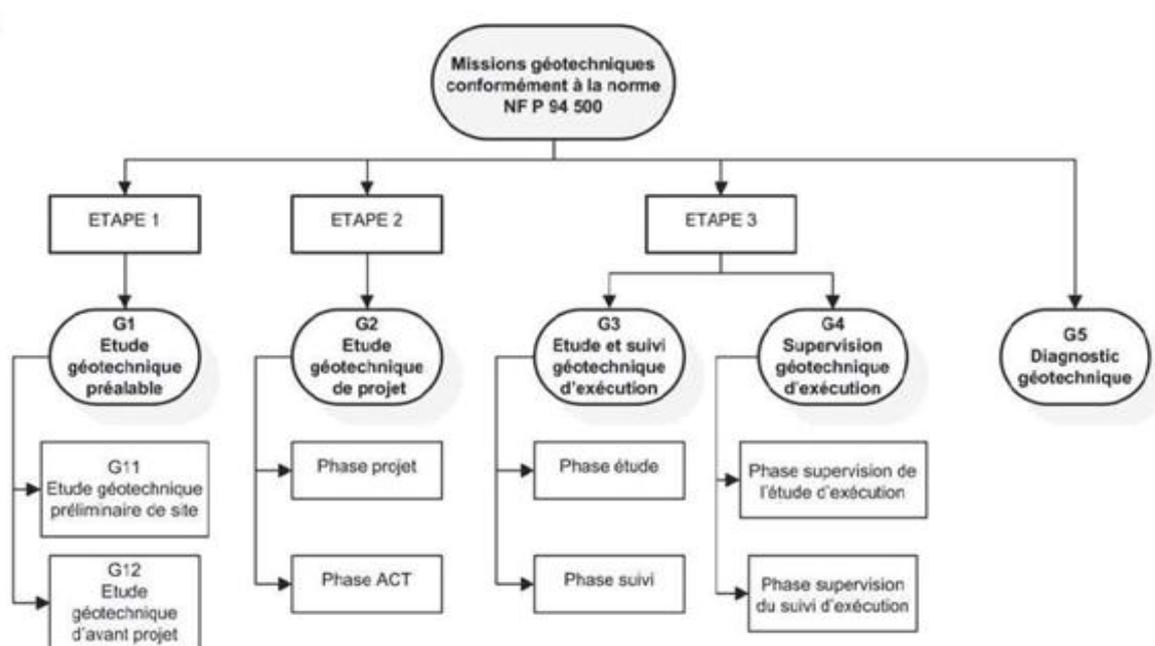


Figure II.6 Missions géotechniques dans un projet routier.

II.3. Description d'une structure de chaussée

La structure d'une chaussée routière est composée de plusieurs couches superposées, dont généralement celle sur laquelle circulent les véhicules est visible. Mais en fait, jusqu'à quatre couches il y a une couche intermédiaire dite «couche de forme» qui transmettent les efforts induits par le trafic jusqu'au sol support [17].

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

- **Au sens structural:** Elle est l'ensemble des couches de matériaux disposées sur le terrain préparé et devant supporter la circulation des véhicules. Elle comprend les largeurs des différentes couches.

Le rôle de la chaussée est de supporter des charges roulantes, notamment les charges lourdes constituées par les poids lourds. Ces charges agissent par pressions à la surface de la chaussée, et sont transmises par son intermédiaire jusqu'au sol support (**Figure II.7**).

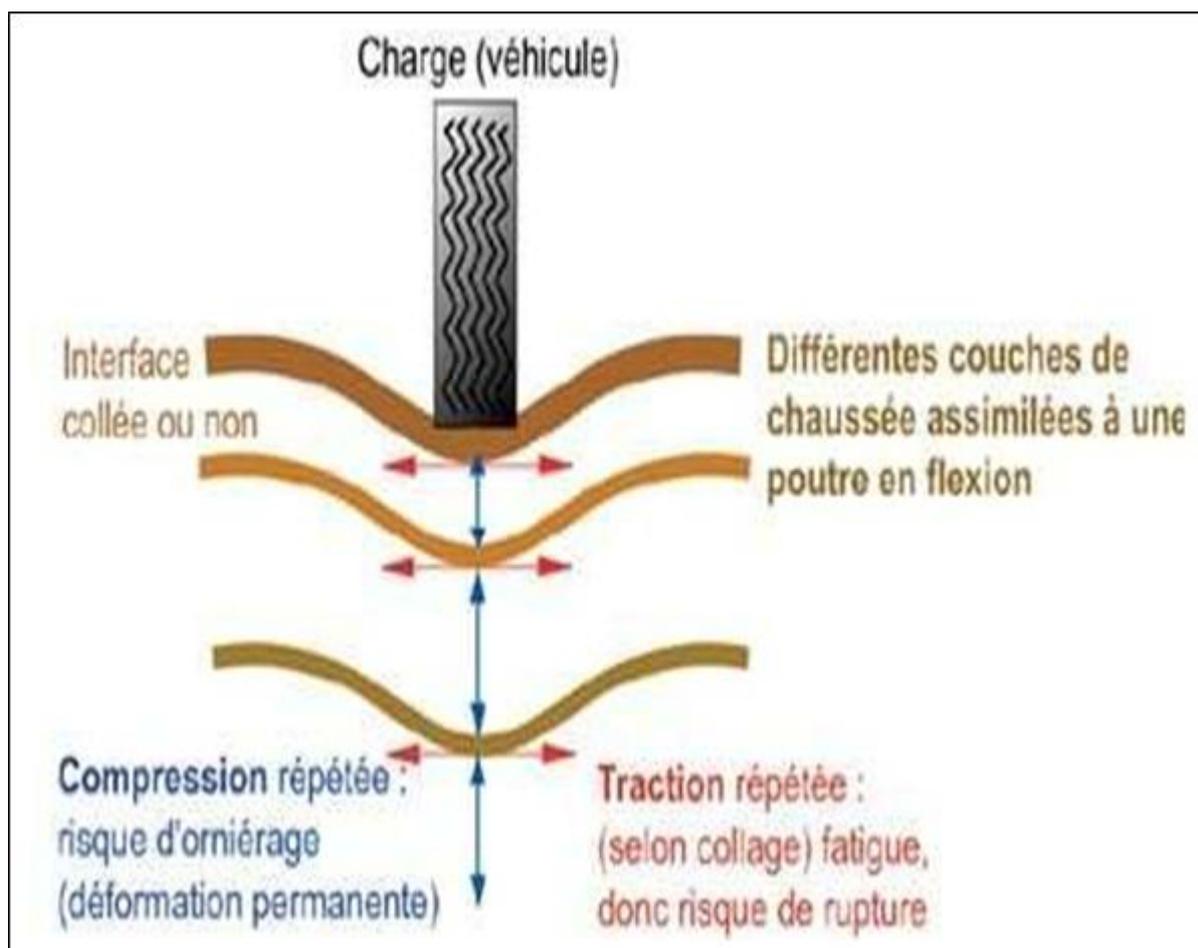


Figure II.7 : Schéma de fonctionnement d'une structure de chaussée sous l'application d'une charge roulante [17]

II.3.1 Différentes couches d'une chaussée

À partir de la plate forme de terrassement, c'est-à-dire le fond de route, la structure routière se compose d'une partie "terrassement" et d'une partie "chaussée".

La partie terrassement comprend la plate forme support, et éventuellement un remblai de complément selon le profil en long recherché, ainsi qu'une couche de forme.

La partie chaussée, comprend 3 couches différentes où chaque couche a différentes fonctions :

- **Couche de surface:** Elle est composée de deux couches, la couche de roulement qui est la couche supérieure où s'appliquent les actions du trafic et du climat et la couche de liaison qui lie la couche d'assise et qui assure la protection vis-à-vis des infiltrations des eaux et des sels et les pollutions en surface.

- **Couche d'assise :** Elle comprend deux sous-couches, la couche de fondation et la couche de base. Ces couches de la chaussée sont les plus importantes pour supporter la résistance mécanique et la déformation dans une limite admissible.

- **Couche de forme :** Pendant les travaux, elle contribue au nivellement du sol et garantit le déroulement du chantier. Elle permet d'homogénéiser les caractéristiques du sol support et de contrer le gel [3]. La Figure II.8 présente les principales couches formant une chaussée routière.

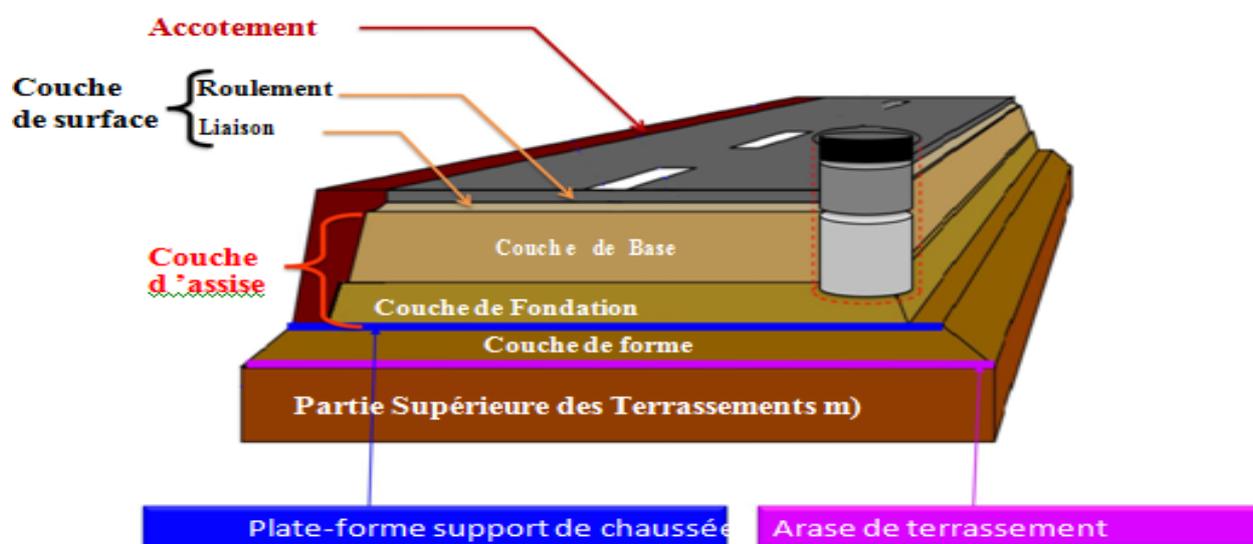


Figure II.8 : Les différentes couches d'une chaussée routière [18]

II.3.2 Différents types de structure de chaussée

Selon la nature des matériaux utilisés dans les couches de chaussées, on distingue six grandes familles de structure (Tableau II.1) [19] :

Types de chaussées	Caractéristiques	Structure de chaussées
Chaussées souples	Structure de très faible rigidité, fortement dépendante de celle du sol et de ses variations. Les efforts verticaux sont transmis au support avec une faible diffusion latérale. Les matériaux utilisés dans la structure sont : les graves bitumes, graves non traitées (GNT).	<ol style="list-style-type: none"> 1) Couche de surface en matériaux bitumineux. 2) Matériaux bitumineux d'assise ≤ 15cm. 3) Matériaux granulaires non traités (20 à 50 cm). 4) Plate-forme support.
Chaussées bitumineuses épaisses	Structure comportant une couche de roulement bitumineuse sur un corps de chaussée en matériaux traités aux liants hydrocarbonés, faite d'une ou de deux couches (base et fondation).	<ol style="list-style-type: none"> 1. Couche de surface en matériaux bitumineux. 2. Matériaux bitumineux d'assise (15 à 40cm). 3. Plate-forme support.
Chaussées semi-rigides	Elles comportent une couche de roulement bitumineuse sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques disposées en une ou deux couches dont l'épaisseur totale est de l'ordre de 20 à 50 cm.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Couche de surface en matériaux bitumineux (6 à 14cm). 2. Matériaux traités aux liants hydrauliques (20 à 50cm). 3. Plate-forme support.
Chaussées rigides	Structure comportant une couche en béton de ciment de 15 à 40cm, recouverte par un béton bitumineux très mince, reposant soit sur une fondation soit directement sur le support sur béton bitumineux.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dalle ou béton armé continu. 2. Béton maigre ou béton bitumineux 3. Plate-forme support

Chaussées structure mixte	Structure comportant une couche de roulement et de base en matériaux bitumineux d'une vingtaine de cm, sur une fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Couche de surface en matériaux bitumineux. 2. Matériaux bitumineux d'assise (10 à 20cm). 3. Matériaux traités aux liants hydrauliques. 4. Plate-forme support.
Chaussées structure inverse	Structure associant une structure bitumineuse et semi rigide dont l'interface est constitué de grave non traité destinée à empêcher la remontée des fissures transversales de retrait. Les matériaux utilisés dans la structure inverse sont: Grave non traitée, grave bitume et grave traitée aux liants hydrauliques.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Couche de surface en matériaux bitumineux. 2. Matériaux bitumineux d'assise (10 à 20 cm). 3. Matériaux granulaires non traités (environ 12cm). 4. Matériaux traités aux liants hydrauliques (15 à 50 cm). 5. Plate-forme support.

Tableau II.1: Différents types de structure des chaussées.

II.3.3 Dimensionnement de la chaussée

Le dimensionnement d'une structure de chaussée routière consiste à déterminer la nature et l'épaisseur des couches qui la constituent afin qu'elle puisse résister aux diverses agressions auxquelles elle sera soumise tout au long de sa vie. La structure d'une chaussée routière doit résister à diverses sollicitations, notamment celles dues au trafic et elle doit assurer la diffusion des efforts induits par ce même trafic dans le sol de fondation.

II.3.3.1 Démarche de dimensionnement d'une chaussée

La démarche de dimensionnement reste sensiblement la même quelle que soit la technique de chaussée. Cette démarche est basée sur les étapes suivantes :

1. Choisir la couche de roulement puis établir un pré-dimensionnement de la structure.
2. Elaborer une modélisation de la structure où il s'agit de la présentation de l'empilement de la chaussée puis le calcul des contraintes et des déformations.
3. Vérification en fatigue de la structure et de la déformation du support où les contraintes et les déformations calculées doivent être inférieures aux valeurs admissibles.
4. Ajustement des épaisseurs calculées en vue de :
 - Tenir compte des contraintes technologiques d'épaisseur minimale et maximale pour atteindre les objectifs de compacité.
 - Minimiser les risques de défauts de collage aux interfaces.
 - Protéger les assises traitées de la remontée des fissures.
5. Vérification de la tenue au gel-dégel. [20]

II.4 Caractérisation et classification des sédiments selon le guide des terrassements routier

L'utilisation d'un matériau en couche de chaussée nécessite la connaissance de ses propriétés physiques et géotechniques. La classification peut se faire selon différentes approches :

II.4.1 Définition du guide des terrassements routier (GTR)

Ce guide de 1992, réédité en 2000, couramment appelé « guide GTR », définit les conditions d'emploi des matériaux en remblai et en couche de forme. Il se présente en deux fascicules :

Le premier fascicule « principes généraux » contient quatre chapitres :

- 1- Classification des matériaux utilisés (sols, matériaux rocheux, sous produits industriels).
- 2- Conditions d'utilisation en remblai (extraction, actions sur la granularité, actions sur la teneur en eau, réglage, compactage, hauteur des remblais).
- 3- Condition d'utilisation en couche de forme (conception, matériaux, dimensionnement, classes net plate-forme pour le dimensionnement de la structure de la chaussée).
- 4- Compactage des remblais et de couche de forme (prescription, matériaux, compacteur, règle de compactage).

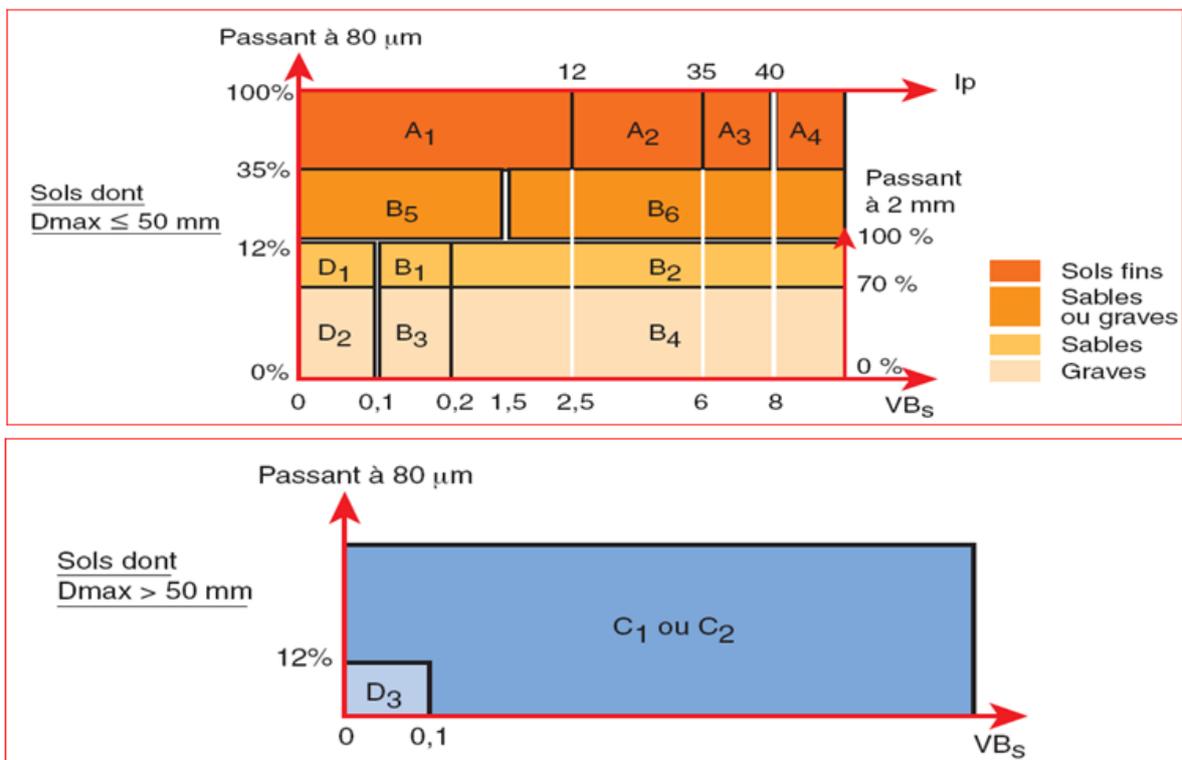
Le deuxième fascicule « annexes techniques » partie véritablement opérationnelle, est constituée de quatre annexes :

1. Tableaux des classifications des matériaux utilisés pour la construction.
2. Tableau des conditions d'utilisation du matériau en remblai.
3. Tableau des conditions d'utilisation des matériaux en couche de forme.
4. Compactage des remblais et de couche de forme (conditions de compactage, tableau de compactage). [21]

II.4.2 Classification selon le guide des terrassements routier (GTR)

La représentation synoptique de la figure II.9 offre une bonne compréhension de la classification en fonction des paramètres géotechniques suivants :

- Indice de plasticité du sol (I_p)
- Valeur au bleu de méthylène du sol (VB_S)
- Seuil de granulométrie du sol (passants à $80 \mu m$ et à $2 mm$)



Matériaux rocheux	Roches sédimentaires	Roches carbonatées	Craies	R ₁
			Calcaires	R ₂
		Roches argileuses	Marnes, argilites, pélites...	R ₃
		Roches siliceuses	Grès, poudingues, brèches...	R ₄
		Roches salines	Sel gemme, gypse	R ₅
	Roches magmatiques et métamorphiques	Granites, basaltes, andésites, gneiss, schistes métamorphiques et ardoisiers...		R ₆
Matériaux particuliers	Sols organiques et sous-produits industriels			F

Figure II.9: Représentation synoptique de la classification des matériaux selon le guide GTR [22]

- **L'argilosité (IP et VBS)** : L'indice de plasticité et la valeur au bleu de méthylène du sol, sont des paramètres qui interviennent dans la classification du sol et ainsi dans les conditions de réalisation du mélange et le choix du produit de traitement.

- **La granularité** est déterminée par l'analyse granulométrique et plus particulièrement par le Dmax, le tamisât à 80 µm, et le coefficient d'uniformité Cu.

- **Le Dmax** permet de distinguer les sols fins, sableux et graveleux ($D_{max} \leq 50$ mm), des sols grossiers comportant des éléments blocailleux ($D_{max} > 50$ mm), et ainsi pour distinguer les sols pouvant être malaxés intimement avec un liant et pour évaluer l'épaisseur des couches élémentaires. C'est un paramètre important à connaître pour apprécier la validité des essais de laboratoire.

- **Le tamisât à 80 µm** : Ce paramètre permet de distinguer les sols riches en fines des sols sableux et graveleux, et dans une large mesure d'évaluer leur degré de sensibilité à l'eau, qui permet d'orienter en grande partie le choix du produit du traitement.

- **Le tamisât à 2 mm** permet lui, de séparer les sols à tendance sableuse d'une tendance graveleuse.

- **Le coefficient d'uniformité de HAZEN ($C_u = d_{60}/d_{10}$)** : Cette caractéristique pour l'étalement de la granulométrie ($C_u < 2$: granulométrie uniforme, $C_u > 2$ étalée) et aussi ce coefficient donne des informations qualitatives sur les valeurs des dosages qui seront nécessaires pour atteindre le niveau de résistance visé. Pour être réutilisé en tant que sol

support, remblai, couche de structure, un matériau à distribution granulométrique étalée est conseillé [19].

II.4.3. Critères de classification des sédiments dans les travaux routiers

Ces dernières années, les besoins en matériaux du BTP (Bâtiment et Travaux Publics) en Algérie se sont élevés, et beaucoup de granulats restent inexploitable. Pour être valorisé en technique routière les sédiments doivent donc respecter des règlements plus exigeants [23], [24]. Dans cette partie, nous présentons les critères et les raisons qui ont amené à explorer les possibilités de valorisation des sédiments dans les travaux routiers, on site essentiellement

II.4.3.1. Critère de granulométrie

La granulométrie et la proportion en matières organiques représentent les facteurs clés de l'utilisation des sédiments en technique routière. Il est préférable que la proportion de sédiments ne soit pas voulue majoritaire afin d'opter à une couche de sol ayant un squelette granulaire constitué d'une matrice résistante à granulométrie étalée, et limiter les matières organiques et les éléments fins pour leur sensibilité à l'eau.

II.4.3.2. Critère de portance

La portance du matériau caractérisée par son indice portant immédiat (IPI), est évaluée à partir de l'essai Proctor Modifié associé à l'essai IPI qui permet d'évaluer l'aptitude du matériau à supporter la circulation des engins de transport.

II.5. Conclusion

En plus d'une consommation importante, le domaine routier permet d'exploiter des matériaux de nature très variée et répondant à des caractéristiques mécaniques variables qui sont fonction de la position du matériau dans la structure routière.

Cette structure qui se caractérise par différentes couches, selon leur rôle et qui n'ont pas les mêmes performances mécaniques à justifier.

À cet effet, pour bien utiliser un matériau dans la constitution des couches de chaussée en domaine routier, il est nécessaire de bien connaître ces propriétés physico-chimiques et mécaniques.

Chapitre 3

IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DU SEDIMENT DU BARRAGE D'OUED TAHT

III.1. Introduction

La raréfaction des sites de dépôts à terre comme en mer par suite des opérations de dragage et associée à une réglementation environnementale contraignante a amené les gestionnaires des barrages à étudier la possibilité d'exploitation de ces sédiments dragués. Sauf que toute démarche de valorisation nécessite au préalable une étape expérimentale de caractérisation physico-chimique du sédiment.

Afin d'atteindre l'objectif de valorisation voulu, une 1^{ère} étape de présentation globale du site d'étude a été abordée dans ce chapitre. Cette étape est suivie par une description et analyse des différents essais physico-chimiques permettant de caractériser et de classer le sédiment d'étude, prélevé du barrage d'Oued Taht dans la région de Mascara.

III.2 Présentation du barrage d'Oued Taht

La connaissance du site du barrage d'Oued Taht à travers sa localisation, la taille du bassin versant, la nature géologique des formations soumises à l'érosion, son historique mettant en évidence son importance économique, sont autant d'éléments qui peuvent caractériser les sédiments à valoriser.

III.2.1 Localisation du barrage d'Oued Taht

Le site du barrage Oued Taht se situe à proximité du village d'Ain Farah, au sud du chef lieu de la wilaya de Mascara et juste à l'amont de la confluence avec l'Oued Mina (**Figure III.1**).



Figure III.1: Localisation du site du barrage Oued Taht [25]

III.2.2 Historique du Barrage

À l'époque 1952, avant la construction du barrage Oued Mina, les ingénieurs envisageaient d'équiper en priorité les oueds Taht et El Abd, en considérant que les sites sur Mina aval étaient difficiles. Dans le cas de l'oued Taht, le choix du site a été rapidement fait: topographie du site excellent, conditions géologiques très propices, matériau de carrière proche et abondant.

Le projet sur l'Oued Taht est donc devenu secondaire à destination d'alimentation et d'irrigations des agglomérations voisines. Il s'agit dès lors de concevoir une retenue plus modeste.

Dans les années récentes, une certaine hésitation a prévalu quant à la capacité à donner à la retenue sur l'oued Taht, en relation avec son impact sur la retenue aval de barrage Oued Mina. Les causes de prescriptions spéciales établies par l'ANBT en 2009 fixent les nouvelles règles de dimensionnement : Retenue de 7 Mm³, dont 5 Mm³ de capacité utile [26].

III.2.3 Informations sur le barrage Oued Taht

Le **Tableau III.1** suivant récapitule les informations nécessaires sur le barrage Oued Taht.

Désignation	BARRAGE D'OUED TAHT
Catégorie réalisation	Ouvrages d'arts
Adresse	WILAYA DE MASCARA.- ALGERIE
Maître d'ouvrage	ANBT
Montant du marché	2 534 579 850,35 DA
Volumes du béton	36 000 m ³
Terrassement	25 000 m ³
Capacité de la retenue	07 Millions m ³
Hauteur de la digue (m)	44 m
Forages et injection	27 000 ml
Longueur de la crête	155 m

Tableau III.1 : Informations générales sur Barrage d'Oued Taht [1]

Les **photos (III.1 et III.2)** présentent des vues sur le coté aval du barrage ainsi que le bassin d'Oued Taht (Mascara).



Photo III.1: Barrage Oued Taht (Mascara)



Photo III.2 : Bassin du barrage Oued Taht (Mascara)

III.2.4 Caractéristiques du Barrage

Le barrage Oued Taht est un barrage de type voute en béton conventionnel vibré de 44 m de hauteur avec un fruit de parement amont vertical et un fruit de parement aval de 0,8/1.

Il est caractérisé par deux pertuis de fond vannés à l'aval de la retenue avec un débit de 250 m³/s. Son vidange de fond est constitué de deux vannes de contrôle du débit de (2,8 x 2) m et de deux vannes de garde de (3 x 2) m avec un débit maximal de 200 m³/s.

Le bassin versant d'Oued Taht présente une superficie de 767 km² avec une précipitation moyenne annuelle de 353 mm et un apport moyen annuel de 16 hm³.

La retenue d'Oued Taht est destinée à réserver environ 2,5 millions de m³/an d'eau à l'AEP des habitants de la daïra d'Oued El Abtal et 1,5 millions de m³ seront mobilisés pour irriguer 500 has des terres de la plaine de Kechout, en cours de réhabilitation [1].

III.3. Prélèvement du sédiment d'étude

Des prélèvements d'échantillons de sédiments ont été recueillis du barrage d'Oued Taht. Ce prélèvement a été effectué au début de cette année et a été réalisé manuellement à l'aide d'une pelle, au niveau de la vanne du barrage (**Photo III.3**). Ce sédiment dragué se trouve en quantités remarquables sur le coté aval de la retenue.



Photo III.3: Prélèvement du sédiment d'étude.

III.3. Identification Géotechnique du sédiment d'Oued Taht

L'identification géotechnique du sédiment d'étude s'intéresse pour son application en technique routière. La géotechnique routière s'appuie sur un certain nombre d'essais communs avec la mécanique des sols et sur certains essais spécifiques qui permettent d'évaluer le comportement et les conditions de mise en œuvre des sols de la plate-forme support de chaussée. Identifier un sol, c'est déterminer un ensemble de propriétés physico-chimique et mécaniques qui permettent de le caractériser. Ces propriétés sont déterminées par des essais simples et rapides, appelés « essais d'identification ».

L'identification géotechnique telle qu'elle est pratiquée actuellement dans les laboratoires routiers algériens s'effectue selon des modes opératoires établies par la norme française.

Notre travail expérimental consiste à effectuer une campagne d'essais géotechniques en vue de bien caractériser et classer le sédiment d'Oued Taht. Les normes technique et réglementaire utilisés pour effectuer cette campagne d'essais sont dressés sur le tableau III.2 suivant :

Essais d'identification	Norme
Analyse Granulométrique	XPP 94-041 AFNOR, 1995
Analyse Granulométrique par sédimentométrie	NFP 94-057 AFNOR, 1992
Les limites d'Atterberg (w_L , w_P , w_T)	NFP 94-051 /XPP 94-060-1 AFNOR, 1993/1997
Valeur au bleu de méthylène (VBS)	NFP 94-068 AFNOR, 1998
Teneur en matières organique (MO)	XPP 94-047 AFNOR 1998
Détermination de la teneur en carbonate ($CaCO_3$)	NFP 94-048 AFNOR, 1996
Masse volumique des grains solide (γ_s) au pycnomètre	NFP 94-054 AFNOR, 1991
L'essai de compactage (Proctor modifié, IPI immédiat)	NFP 94-093/078 AFNOR1999, 1997

Tableau III.2 : Présentation des essais d'identification géotechniques.

Les valeurs des essais obtenues sont des paramètres importants pour classer les matériaux selon la norme NF P11-300 et le GTR 2000.

III.3.1 Analyse Granulométrique (tamisage par voie humide)

L'analyse granulométrique par tamisage est une étude qui permet de déterminer la répartition dimensionnelle de sols dont la taille des grains est supérieure à 80 μm . Elle s'effectue par tamisage du matériau par voie sèche pour les sols pulvérulents (sable et gravier) ou par voie humide pour les sols fins (limon et argile).

Les analyses granulométriques effectuées dans cette étude ont été réalisées par tamisage par voie humide selon la norme XP P 94-041 et par sédimentométrie selon la norme NF P 94-057.

L'analyse granulométrique par voie humide (**Photo IV.4**), consiste à séparer les grains agglomérés d'une masse connue de matériau par brassage sous l'eau. L'opération consiste à laisser détremper l'échantillon de sol pendant un certain temps (environ 24h) dans un bac d'eau pour désagréger les mottes et les agglomérats de terre, ensuite effectuer un tamisage par voie humide en faisant passer l'échantillon à travers une série de tamis standards classés par ordre décroissant. Le poids du sol séché retenu dans chaque tamis est déterminé et le pourcentage cumulé passant le tamis est calculé.



Photo III.4 : Tamisage par voie humide du sédiment Oued Taht.

III.3.2. Analyse Granulométrique par sédimentométrie

L'analyse granulométrique par sédimentométrie permet la détermination de la distribution de la taille des particules fines d'un sol dont les dimensions sont inférieures à $80 \mu\text{m}$, et donc compléter l'analyse granulométrique par tamisage du sol.

L'essai de la sédimentation est un essai de décantation par gravité des grains d'un échantillon mis en suspension dans un liquide visqueux. Elle est basée sur l'application de la loi de « stocks » qui donne la vitesse de décantation de la particule dans un liquide visqueux en fonction du diamètre de la particule à l'aide d'un densimètre.

Il est à noter que l'essai de sédimentométrie ne donne que des diamètres équivalents puisque la loi de Stokes n'est valable que pour des particules sphériques.

Les opérations établies dans cet essai sont décrites ci-dessous et sont successivement à réaliser dans une salle d'essai dont la température doit être contrôlée :

1. Le tamisât au tamis de 63 μm , de l'échantillon de sol, est recueilli avec son eau de lavage dans un bac. Le tout est mis à décanter. Une fois redevenue claire, l'eau du bac est siphonnée sans entraîner d'éléments fins (**Photo III.5**).



Photo III.5 : Siphonage de l'échantillon.

2. Le bac et son contenu sont ensuite placés dans une étuve de dessiccation pour éliminer l'eau par évaporation. Une fois le matériau est sec, désagrégué avec le pilon dans le mortier puis homogénéisé (**Photo III.6**).



Photo III.6 : Homogénéisation du matériau(le fond) après séchage à l'étuve.

3. Prélever une quantité nécessaire pour réaliser l'essai (40g pour une éprouvette de 1 litre) et lui rajouter un défloculant pour imbibber et disperser les particules collées de l'échantillon. Ce défloculant est constitué d'un mélange d'eau distillée et de 5ml d'hexamétaphosphate de sodium ($\text{Na}_6(\text{PO}_3)_6 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) préparée et conservée à l'abri de la lumière.

4. Disperser la prise d'essai dans la solution du défloculent au moyen d'un agitateur mécanique qui doit fonctionner pendant 3 min à 10 000 tr/min (**Photo III.7**). Après cela, verser la suspension dans une éprouvette et la compléter avec de l'eau distillée jusqu'à la graduation d'un (01) litre.



Photo III.7 : Agitateur mécanique.

5. Agiter vigoureusement la suspension au moyen d'un agitateur manuel et plonger après le densimètre avec précaution dans la suspension immédiatement après 15s de mélange manuel et mesurer la décantation des particules en fonction du temps (**Photo III.8**).



Photo III.8 : Décantation des particules du sédiment Oued Taht lors de l'essai de sédimentométrie.

Ainsi, avec les lectures au densimètre prises à des intervalles de temps variés, le pourcentage des particules fines peut être calculé et leur distribution granulométrique représentée.

La courbe granulométrique obtenue suite à l'analyse granulométrique par tamisage et sédimentométrie nous renseigne en plus de la distribution granulométrique des particules, l'état de granularité et de continuité du sol. Ceci s'obtient par la détermination de deux coefficients définis comme suit :

1. Le coefficient d'uniformité (C_u) : $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$

- Si $C_u < 2$: Le sol présente une granulométrie uniforme (ou serrée).
- Si $C_u > 2$: Le sol présente une granulométrie étalée (ou variée).

2. Le coefficient de courbure (C_c) : $C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} d_{60}}$

- Si C_c est compris entre 1 et 3, la granulométrie du sol est bien graduée.

La courbe granulométrique pour le sédiment d'Oued Taht étudié est représentée sur la Figure III.2.

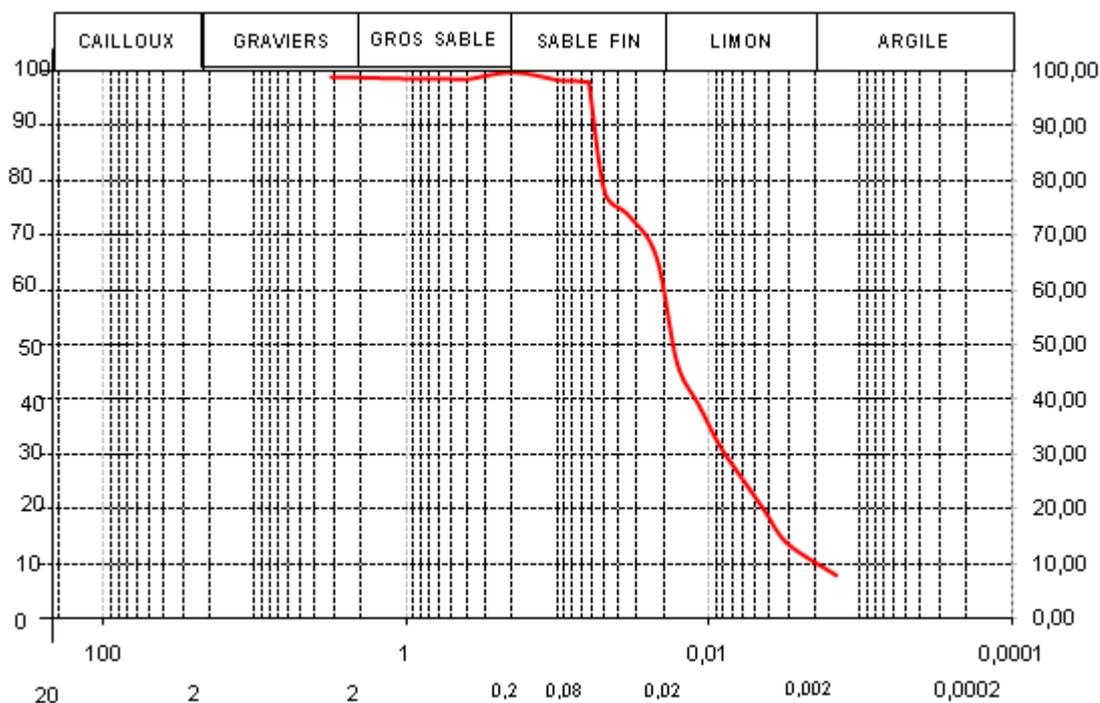


Figure III.2 : Courbe granulométrique du sédiment d'Oued Taht.

Le **Tableau III.3** récapitule les caractéristiques granulométriques du sédiment du barrage Oued Taht.

Paramètres	Analyse granulométrique du sédiment Oued Taht
Sable (%)	40
Limon(%)	50
Argile(%)	10
d ₁₀ (mm)	0.002
d ₃₀ (mm)	0.008
d ₆₀ (mm)	0.02
Cu	10
Cc	1.6

Tableau III.3 : Caractéristiques granulométriques du sédiment du barrage Oued Taht.

L'analyse granulométrique réalisée sur le sédiment du barrage d'Oued Taht a montré (**Tableau III.3**) que ce sédiment est majoritairement limono-sableux. La fraction argileuse représentative de la fraction fine du matériau est ponctuelle. Le calcul des coefficients d'uniformité et de courbure permet d'apprécier qualitativement la forme de la courbe granulométrique pour ce sédiment d'Oued Taht qui présente une granulométrie étalée ou variée et bien graduée.

III.3.3 Limites d'Atterberg

Les limites d'Atterberg sont les teneurs en eau de référence qui correspondent aux changements d'états d'un sol. Lorsque la teneur en eau augmente, le sol passe graduellement d'un état solide à un état plastique, puis à un liquide, ce qui influence son comportement mécanique.

Ainsi, les limites d'Atterberg correspondent à la limite de liquidité (w_L), la limite de plasticité (w_P) et la limite de retrait (w_r) ; déterminées selon les normes NFP 94-051 et XP P 94-060-1 (**Figure III.3**).

- **La limite de liquidité (w_L)** représente la teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états liquide et plastique.

- La **limite de plasticité** (w_p) représente la teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états plastique et solide.

- La **limite de retrait** (w_r) représente la teneur en eau du passage de l'état solide avec retrait à l'état solide sans retrait.

L'intervalle de teneur en eau à laquelle le sol est dit en état plastique est défini par l'indice de plasticité (I_p) :

$$I_p = w_L - w_p$$

Cet indice est d'une grande utilité pour la classification des sols fins selon le diagramme de plasticité de Casagrande.

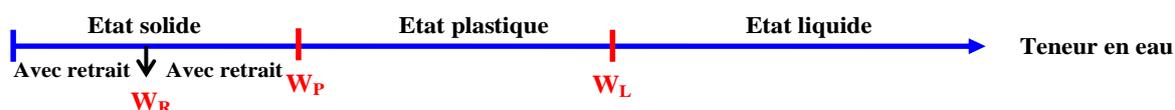


Figure III.3 : Variation d'états de consistance d'un sol fin.

III.3.3.1 Détermination de la limite de liquidité (w_L)

La limite de liquidité (w_L), mesurée par l'essai de Casagrande selon la norme NF P 94-051 est déterminée sur la frange de sol passant à travers le tamis de 400 μm . Cet essai consiste à déterminer la teneur en eau pour laquelle une rainure pratiquée dans une pâte de sol, placée dans une coupelle de caractéristiques bien définies se ferme lorsque cette coupelle et son contenu sont soumis à des chocs répétés (**Photo III.9**).

La limite de liquidité est définie comme étant la teneur en eau du sol qui conduit à la fermeture des lèvres de la rainure sur 1 cm après 25 coups.



Photo III.9 : Essai de Casa grande pour la détermination de la limite de liquidité (w_L) du sédiment Oued Taht.

La limite de liquidité est déterminée à partir de la représentation graphique de la teneur en eau (w), mesurée à chaque essai, en fonction du logarithme du nombre de coups correspondant (**Figure III.4**).

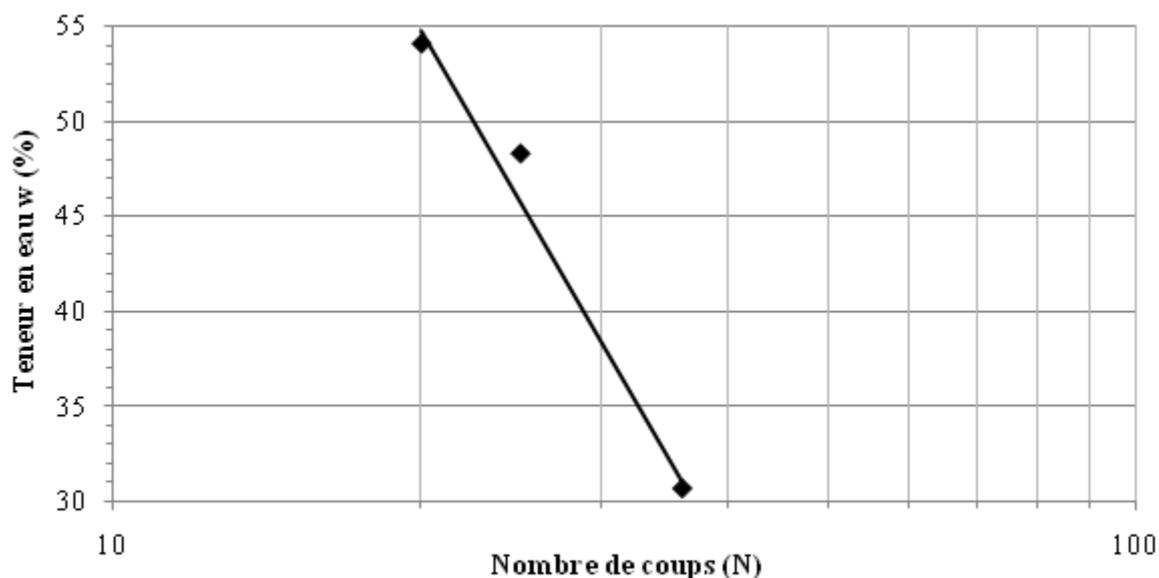


Figure III.4 : Détermination de la limite de liquidité (w_L) du sédiment Oued Taht.

La mesure de la limite de liquidité (w_L) obtenue pour le sédiment Oued Taht est de 48%, indiquant qu'il s'agit d'un sol fin peu plastique.

III.3.3.2. Détermination de la limite de plasticité (w_P)

La limite de plasticité (w_P) est déterminée par la méthode au rouleau selon la norme NF P 94-051. L'essai consiste à rechercher la teneur en eau pour laquelle un rouleau d'une pâte de sol d'environ 3 mm de diamètre et 100 mm de longueur, confectionné manuellement, se fissure et se casse en morceaux (**Photo III.10**).



(a) Boulette



(b) Formation du rouleau



(c) Test positif (rouleau cassé)

Photo III.10 : Les étapes d'exécution de l'essai de plasticité.

La mesure de la limite de plasticité (w_P) obtenue sur le sédiment Oued Taht est de 18% ; ce qui nous conduira à un indice de plasticité ($I_p = w_L - w_P$) de 30% pour ce sédiment.

III.3.3.3 Détermination de la limite de retrait (w_r)

La limite de retrait (w_r) représentant la teneur en eau du passage de l'état solide avec retrait à l'état solide sans retrait. Cette limite (w_r) est déterminée par utilisation de la norme XP P 94-060-1 qui permet de déterminer la teneur en eau à partir de laquelle le volume d'un sol humidifié cesse de diminuer lorsque sa teneur en eau décroît (**Photo III.11**).



Avant dessiccation



Après dessiccation

Photo III.11 : Détermination de la limite de retrait (w_r) du sédiment Oued Taht.

La limite de retrait est déterminée en utilisant la formule suivante :

$$w_r (\%) = \frac{m_h - (V_h - V_d) \cdot \rho_w}{m_d} - 1$$

m_h : Poids du sol humide

m_d : Poids du sol sec.

V_h : volume du sol humide

V_d : volume du sol sec.

La mesure de cette limite de retrait (w_r) du sédiment Oued Taht est de 13%.

Ainsi, les résultats obtenus des essais aux **limites d'Atterberg** sur le sédiment du barrage Oued Taht sont présentés sur le **Tableau III.4**.

Matériau	Limite de liquidité w_L (%)	Limite de plasticité w_p (%)	indice de plasticité I_p (%)	la limite de retrait w_r (%)
sédiment du barrage Oued Taht	48	18	30	13

Tableau III.4: Récapitulatif des résultats des limites d'Atterberg sur le sédiment du barrage Oued Taht.

L'analyse des résultats obtenus indique que le sédiment du barrage Oued Taht présente un taux de plasticité moyennement faible. Ceci est en accord avec la distribution granulométrique qui a montré une granulométrie faiblement argileuse pour ce sédiment.

D'autre part, selon le tableau III.5 qui définit le potentiel de gonflement d'un sol d'après Holtz et al. (1973) ; le sédiment du barrage Oued Taht présente un potentiel de gonflement moyennement fort. Ceci peut être attribué à la présence de matières organiques caractéristique de ces types de matériaux.

Potentiel de gonflement	I_p (%)	w_r (%)	w_L (%)
Faible	< 18	> 15	20 - 35
Moyen	15 - 25	10 - 15	35 - 50
Fort	25 - 35	7 - 12	50 - 70

Tableau III.5: Potentiel de gonflement d'un sol d'après Holtz et al. 1973.

III.3.4. Détermination de la valeur au bleu de méthylène (VBS)

La valeur au bleu de méthylène d'un sol (**VBS**) constitue un paramètre qui mesure globalement la quantité et l'activité de la fraction argileuse contenue dans un sol. Un sol adsorbe proportionnellement d'autant plus de bleu de méthylène :

- Qu'il contient d'avantage d'argile.
- Que cette argile est active (qu'elle développe une surface spécifique élevée).

L'essai effectué selon la norme NF P 94-068, consiste à mesurer la quantité de bleu de méthylène pouvant être adsorbée par le matériau mis en suspension dans l'eau (**Photo III.12**). Cette quantité est rapportée par proportionnalité direct à la fraction 0/50 mm du sol. La valeur de bleu du sol est directement liée à la surface spécifique des particules constituant le sol. Le dosage s'effectue en ajoutant successivement différentes quantités de bleu de méthylène et en

contrôlant l'adsorption après chaque ajout (**Photo III.12**). La capacité d'adsorption du matériau est déterminée à l'aide du test de la tache. Ce dernier consiste à former avec une goutte de la suspension sur du papier filtre normalisé, une tache qui est le dépôt de sol coloré en bleu, entouré d'une zone humide en générale incolore (**Figure III.5**).



Photo III.12 : Essai au bleu de méthylène sur le sédiment Oued Taht.

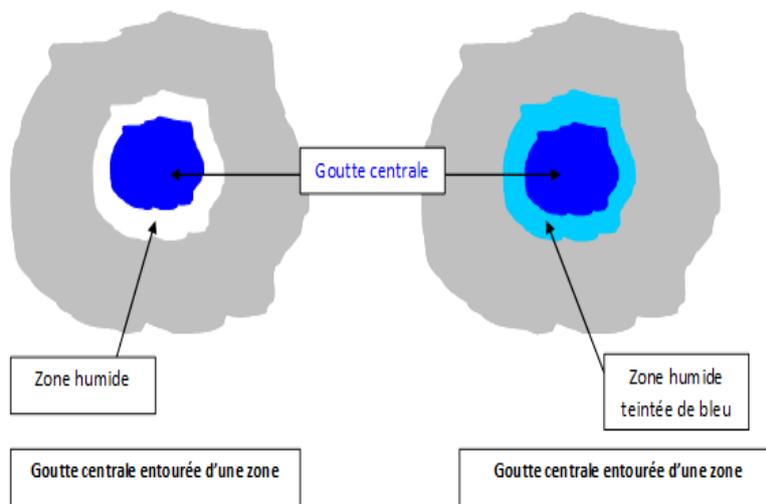


Figure III.5 : Vérifications effectuées lors de l'essai au bleu de méthylène. [1]

La valeur du VBS obtenue pour le sédiment étudié est de 2,6, qui correspondent à celle d'un sol limoneux argileux selon la classification de Philipponat (**Tableau III.6**). La surface spécifique totale obtenue pour ce sédiment est de 54,6 m²/g indiquant un sol fin à une activité argileuse moyennement faible.

Cette classification est donc en conformité aussi avec celle obtenue lors de l'analyse granulométrique et les limites d'Atterberg.

La valeur au bleu (VBS)	Type de sol
$VBS < 0,2$	Sols sableux
$0,2 < VBS < 2,5$	Sols limoneux
$2,5 < VBS < 6$	Sols limoneux argileux
$6 < VBS < 8$	Sols argileux
$VBS > 8$	Sols très argileux

Tableau III.6 : Classification des sols d'après Philipponat [3].

III.3.5 Détermination de la teneur en matières organiques (M.O)

Cette méthode est utilisée pour déterminer le pourcentage de la matière organique d'un sol par incinération (perte par calcination). L'essai est effectué selon la norme NF P 94-047 qui consiste à porter progressivement un échantillon de sol séché auparavant à une calcination dans un four à 450°C pendant 3 heures (**Photo III.13**). Après incinération, on détermine la perte de poids qui sera rapportée au poids sec initial de l'échantillon avant calcination.



Photo III.13: Mesure de la teneur en MO du sédiment Oued Taht par calcination dans un four à moufle à 450°C.

La valeur de la teneur en matière organique obtenue pour le sédiment étudié est **2.35%**, qui indique que ce matériau appartient aux sols peu organiques (**Figure III.5**) selon la classification GTR.

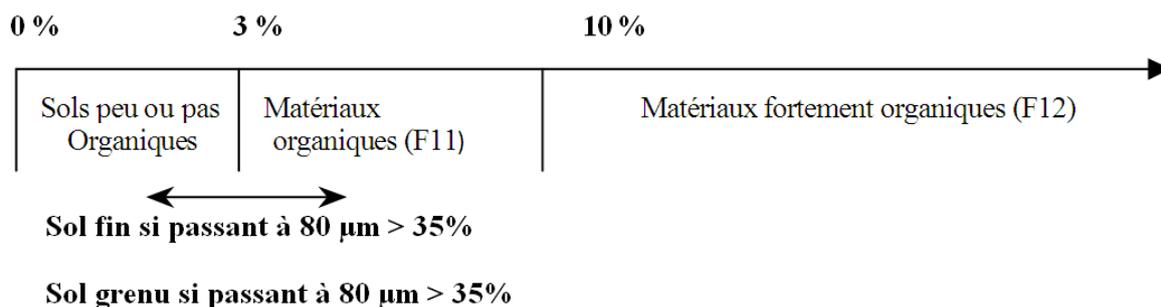


Figure III.6: Seuils de teneur en matières organiques dans la classification GTR [3]

III.3.6 Détermination la Teneur en carbonate de calcium (CaCO_3)

L'essai au Calcimètre permet de déterminer la teneur en carbonate (CaCO_3) d'un sol selon la norme NF P 94-048.

L'essai consiste à déterminer le volume de dioxyde de carbone (CO_2) dégagé sous l'action d'acide chlorhydrique en excès (dans des conditions de température et de pression atmosphérique connues) par un échantillon préparé pour l'essai (**Photo III.14**).



Photo III.14 : Détermination de la teneur en carbonate (CaCO_3) pour le sédiment Oued Taht par l'essai au Calcimètre.

La teneur en carbonate de calcium obtenue pour le sédiment Oued Taht est de **29.60%**, indiquant qu'on est en présence d'un limon marneux ($10\% < \% \text{CaCO}_3 < 30\%$) selon le **Tableau III.7** suivant :

Pourcentage de CaCO ₃	Dénomination
0 à 10	Argile ou limon
10 à 30	Argile marneuse ou limon marneux
30 à 70	Marne
70 à 90	Calcaire marneux
90 à 100	Calcaire

Tableau III. 7 : Classification du sol en fonction de la Teneur en CaCO₃ [3]

III.3.7 Détermination du poids spécifiques des grains solides par l'Essai au Pycnomètre

L'essai au pycnomètre permet de déterminer le poids volumique des grains solides pour un sol donné selon la norme NF P 94-054. Dans son principe, la masse volumique des grains solides est obtenue par pesage où l'échantillon de sol est séché à l'étuve puis pesé et le volume des grains solides est déduit par pesée à l'aide d'un pycnomètre en substituant de l'eau de masse volumique connue aux particules solides (**Photo III.15**).

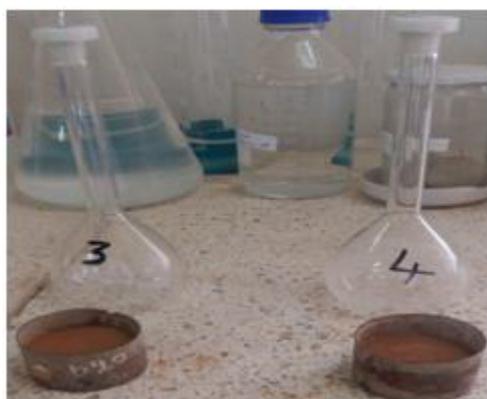


Photo III.15 : Détermination du poids volumique des grains solides pour le sédiment Oued Taht.

Le poids volumique des grains solides obtenu pour le sédiment Oued That est de 27,3 kN/m³.

III.3.8 Détermination des paramètres de compacité et de portance

III.3.8.1 Paramètres de compacité (Essai Proctor Modifié)

L'aptitude au compactage du sédiment est étudiée à l'aide de l'essai Proctor Modifié, qui permet de déterminer, pour un compactage d'intensité donnée, la teneur en eau à laquelle doit être compacté un sol pour obtenir la densité sèche maximum. La teneur en eau ainsi déterminée est appelée « teneur en eau optimum Proctor ».

L'essai dans son principe consiste à compacter le matériau à différentes teneurs en eau avec une énergie de compactage donnée selon la norme NF P 94-093 (**Photo III.16**). Pour chaque teneur en eau (w), le poids volumique sec (γ_d) du matériau est déterminé. Les caractéristiques de compactage sont obtenues à partir du maximum de la courbe de compactage $\gamma_d = f(w)$. Ce maximum (w_{OPM} ; γ_{dOPM}) est l'optimum Proctor Modifié où ces paramètres nous renseignent sur les conditions de travail sur le chantier.



Photo III.16 : Détermination des paramètres de compactage pour le sédiment Oued Taht.

La courbe de compactage obtenue pour le sédiment étudié est présentée sur la figure III.7. L'optimum Proctor modifié indique que le sédiment Oued Taht présente une teneur en eau optimale de 12,8% et un poids volumique sec maximal de 16,8 kN/m³.

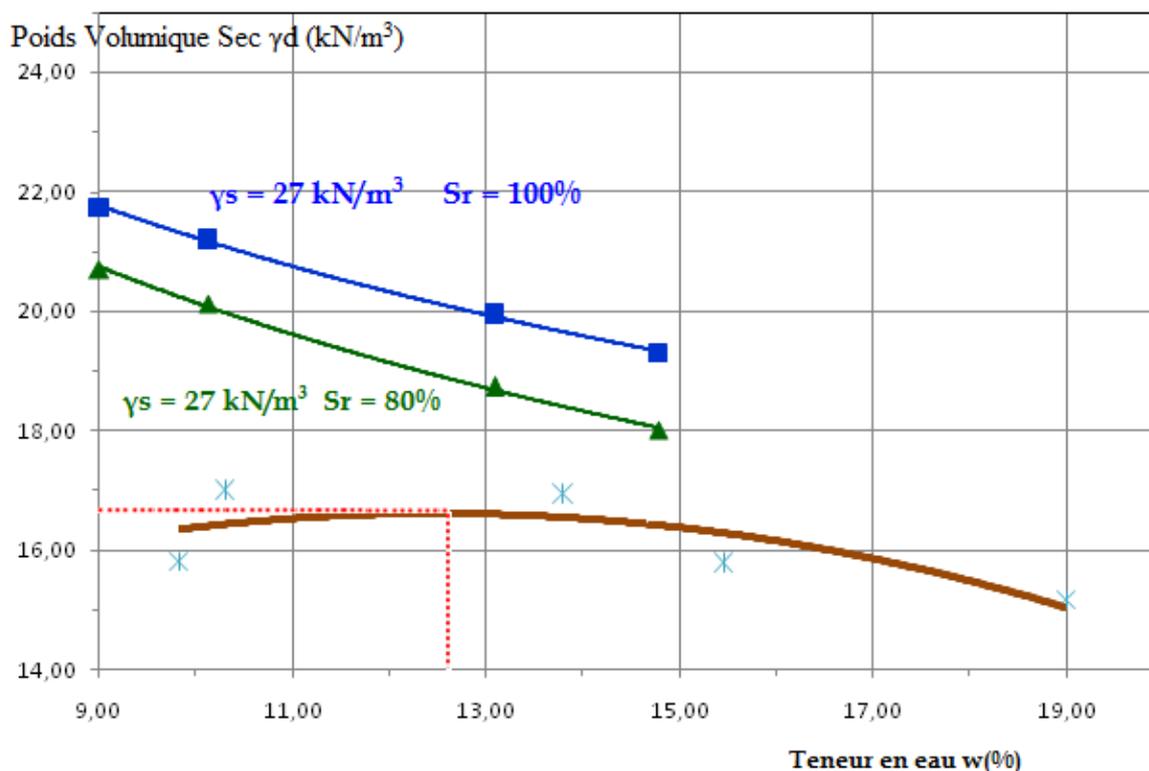


Figure III.7 : Courbe de compactage du sédiment Oued Taht.

III.3.8.2 Paramètres de portance (Essai IPI)

La portance du matériau est quantifiée par l'indice portant immédiat (IPI). Ce paramètre permet d'évaluer l'aptitude d'un sol à supporter les charges induites lors de la circulation des engins sur le chantier. Avec ce paramètre, on pourra connaître donc la résistance au poinçonnement du matériau après compactage.

Cet indice IPI est déterminé selon la norme NF P 94-078 pour des sols à vocation routière de manière purement empirique. Dans son principe, après avoir compacté le matériau dans les conditions de l'essai Proctor modifié, ce dernier est placé dans une presse de poinçonnement où on le poinçonne par le biais d'un piston à une vitesse de 1,27 mm/mn tout en mesurant les efforts et déplacements résultants (**Photo III.17**).

La détermination de cet indice (IPI) est obtenue par la relation suivante :

$$\text{IPI} = \max (\text{IPI}_{25}; \text{IPI}_{50})$$

$$\text{IPI}_{25} = \frac{F_{25}}{13,35} 100$$

$$\text{IPI}_{50} = \frac{F_{50}}{20} 100$$

F_{25} : Force (en kN) à 2,5 mm d'enfoncement

F_{50} : Force (en kN) à 5 mm d'enfoncement



Photo III.17 : Détermination de l'indice IPI pour le sédiment Oued Taht.

La courbe de portance obtenue suite à l'essai IPI pour le sédiment étudié est représentée sur la figure III.7. Le tableau III.8 résume les paramètres de compacité et de portance à l'OPM obtenu suite aux essais Proctor Modifié et IPI.

L'analyse des résultats obtenus indique que le sédiment Oued Taht présente une compacité satisfaisante où la densification optimale s'obtient à une teneur en eau acceptable. Néanmoins, la portance obtenue à l'optimum est relativement faible ($IPI_{OMP} = 18\%$) par rapport à la valeur de 25% recommandée selon le guide GTR. Ce qui nous conduira à proposer des mesures de traitement sur le sédiment en vue d'améliorer sa résistance au poinçonnement.

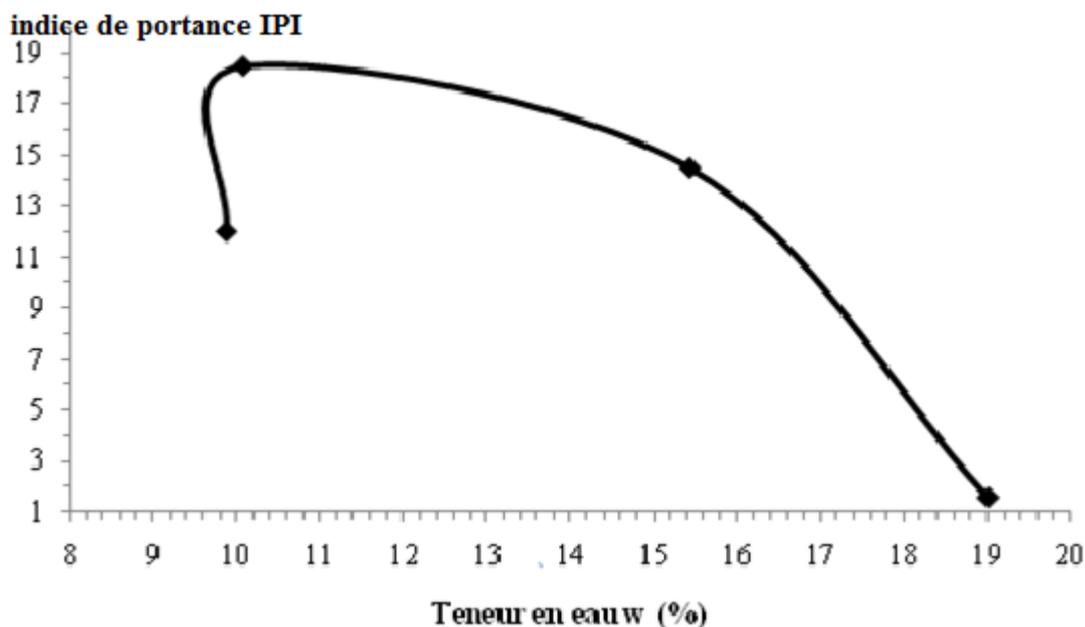


Figure III. 8 : Courbe de portance du sédiment Oued Taht.

Matériau	w _{OPM} (%)	γ _{dOPM} (kN/m ³)	I _{PIOPM} (%)
Sédiment du barrage Oued Taht	12.8	16.8	18

Tableau III.8 : Résultats de l'essai de compacité et de portance à l'OPM sur le sédiment Oued Taht.

III.4. Classification du sédiment Oued taht

Sur la base des principaux essais d'identification (granulométrie, limiute d'Atterberg et VBS) effectué sur le sédiment Oued TAht, on pourra établir une classification pour ce matériau d'étude qui :

1. Selon la classification LCPC (Figure III.8), le sédiment du barrage Oued Taht est classifié comme un sol fin de type argile peu plastique (Ap).

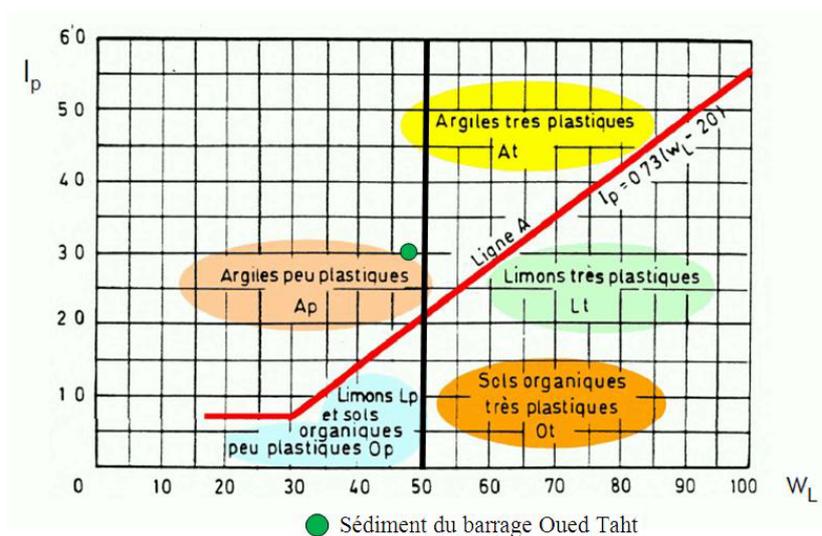
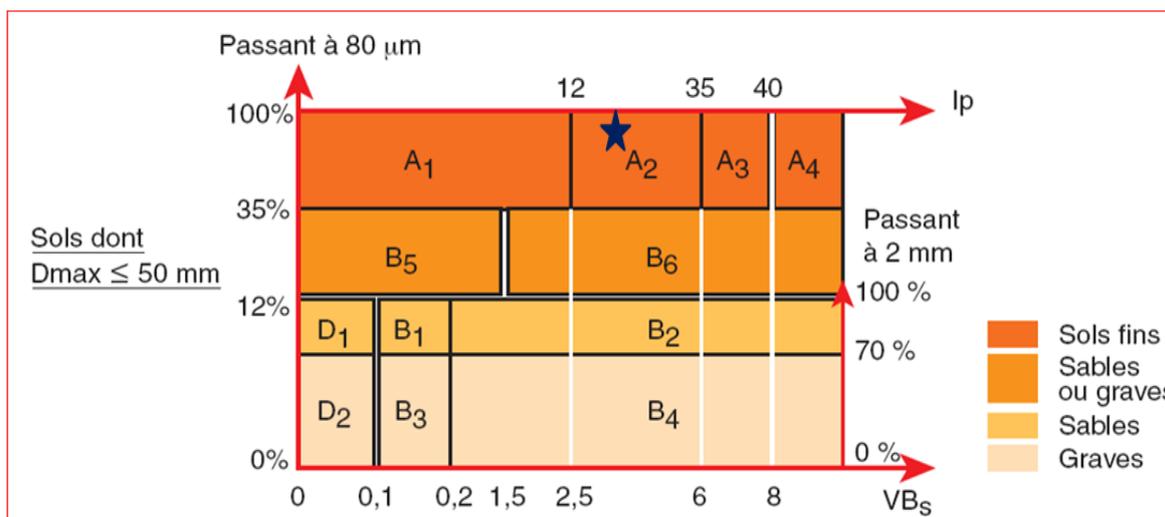


Figure III.9 : Classification du sédiment Oued Taht selon la classification LCPC. [27]

2. Selon la classification du guide technique routier (GTR) qui nécessite les paramètres présents dans le tableau III.9, le sédiment du barrage Oued Taht est classifié dans la classe A2, classe des sols fins (Figure III.9).

Paramètres d'identification	Sédiment Oued Taht
Passant à 2mm	100%
Passant à 80µm	98%
IP	30%
VBS	2.6

Tableau III.9 : Récapitulatif des paramètres d'identification du sédiment du barrage Oued Taht pour la classification GTR.



★ Sédiment Oued Taht

Figure III.10 : Classification du sédiment du barrage Oued Taht selon le guide GTR (LCPC-SETRA, 2000). [22]

III.5. Conclusion

La caractérisation physico-chimique établie sur le sédiment Oued Taht a montré que ce sédiment présente une granulométrie majoritairement limono-sableuse avec une fraction argileuse moyennement faible.

Selon la classification LCPC, le sédiment est classifié comme un sol fin de type argile peu plastique (Ap).

Selon la classification du guide technique routier GTR, le sédiment Oued Taht est classifié dans la classe A2, celle des sols fins.

La compacité et la portance déterminée pour ce sédiment a montré une densification optimale obtenue pour une teneur en eau maximale satisfaisante. Néanmoins, une portance faible est obtenue à l'OPM et qui demeure relativement faible par rapport à la valeur recommandée (IPI = 25%) pour les couches de chaussée.

Pour cela, un traitement s'avère nécessaire en vue d'améliorer la résistance au poinçonnement du sédiment d'étude. Ce traitement qui fera l'objet du chapitre suivant.

Chapitre 4

TRAITEMENT DU SEDIMENT DU BARRAGE D'OUED TAHT

IV.1 Introduction

D'après l'identification géotechnique, et l'analyse des caractéristiques physico-chimiques du sédiment du barrage d'Oued Taht, on a remarqué une quantité élevée de particules fines du sédiment qui est accompagné d'une faible portance. Pour une valorisation dans le domaine routier, il est obligatoire de réduire la teneur en eau, augmenter la portance et par la suite la résistance mécanique sera améliorée.

La méthode qui sera abordée dans ce chapitre consiste à apporter un traitement sur le sédiment Oued Taht par une correction de la courbe granulométrie de ce sédiment. Des formulations de mélanges sont composées et leurs caractéristiques physico-chimiques sont ainsi analysées.

IV.2 Traitement du sédiment Oued Taht par correction granulométrique

L'analyse des résultats obtenus des essais de densification et de portance effectués sur le sédiment Oued Taht nous a conduits à constater une apparition nette d'un pic sur la courbe de compactage du sédiment signifiant donc une sensibilité de ce type de sol à la teneur en eau.

Cette sensibilité peut être attribuée à une granulométrie fine et une teneur en matières organiques non négligeable pour le sédiment étudié.

D'autre part, l'indice IPI_{OPM} mesuré pour ce matériau n'est pas assez élevé ($IPI_{OPM} = 18\%$), signifiant une portance faible à l'état brut de ce sédiment ; ce qui n'assurera pas la circulation des engins de compactage sur le chantier sachant que les valeurs souhaitables pour les couches de chaussées routières sont non inférieures à 35% pour la couche de fondation et 45% pour la couche de base.

En fait, les sédiments de part leur composition structurelle complexe, peuvent être considérés comme un matériau évolutif où la présence de matières organiques, même si elles ne sont pas en quantités importantes, entraînera un comportement plastique et moyennement compressible [23], [24].

Ainsi, tant qu'aucun traitement particulier ne sera réalisé sur ces sédiments pour détruire la présence de ces matières organiques, celles-ci pourront toujours agir dans la structure du matériau.

En s'appuyant sur la démarche de valorisation générale suivie dans cette étude, qui consiste, principalement à ne pas employer de traitements lourds et coûteux. Le sédiment de dragage étudié a été ainsi mélangé à un composant granulaire dans des proportions

intéressantes sur le plan économique, qui permettra une application facile à l'échelle industrielle et une réduction intéressante de la proportion en matières organiques.

L'ajout granulaire introduit dans ce processus de traitement est constitué d'un sol grenu à distribution granulométrique étalée, nommé Stérile, extrait de la carrière de l'Entreprise Nationale des Granulats (ENG).

IV.3 Présentation du matériau stérile

La carrière de l'Entreprise Nationale des Granulats (ENG) (**Photo IV.1**), est localisée à 5 km au Sud de la commune de Sidi Abdelli, située à 28 km au Nord-Est de la ville de Tlemcen et à 25 km au Nord-Ouest de la commune d'Ouled Mimoun. Elle est comprise entre Djebel Sebaachioukh au Nord et les monts de Tlemcen (**Figure IV.1**). Chaque étape d'extraction est judicieusement étudiée, tout en respectant les normes de sécurité ainsi que l'environnement. [28]



Figure IV.1 : L'emplacement de la commune de Sidi Abdelli dans la wilaya de Tlemcen.



Photo IV.1 : Entreprise Nationale des Granulats (ENG).

IV.3.1 Caractérisation géologique du site

Les Monts de Tlemcen constituent des réserves naturelles importantes de carbonates utiles pour la fabrication des granulats. Une étude sur le plan géologique et sur le processus de fabrication des granulats du site de l'ENG-Sidi Abdelli a permis de montrer que: le site est formé par des calcaires dolomitiques et des calcaires durs d'âge Kimméridgien, dans la dureté de la roche et l'utilisation d'un explosif approprié et ainsi la qualité des granulats commercialisés qui est bonne et répond aux normes internationales.

L'ENG possède une infrastructure importante (laboratoires, maintenance, hygiène et sécurité) et une gamme de matériels d'exploitation robustes et en très bon état. [29]

IV.3.2 Définition du matériau stérile

Le stérile, ou déchet de carrière est un produit de type grave concassé non traité, constitué d'un mélange à granularité continue de cailloux, gravier et de sable avec généralement une certaine proportion de particules fines [30]. Il est utilisé généralement pour la réalisation des chemins secondaires, beaucoup plus dans les chantiers, les pistes ou les parkings. Il reste très stable une fois compacté, le compactage se fait par des couches de 30 cm max bien humidifié au préalable (**Photo IV.2**).



Photo IV.2 : Extraction du matériau stérile dans la carrière de l'ENG.

IV.3 .3 Caractérisation géotechnique du matériau stérile

En vue d'utiliser ce matériau stérile dans le processus de traitement du sédiment du barrage Oued Taht, une connaissance globale sur ce matériau est indispensable. Cette connaissance est obtenue par une identification géotechnique et une analyse des caractéristiques physico-chimiques suivie d'une classification de ce sol selon le guide technique routier.

L'analyse des résultats obtenus des principaux essais de caractérisation effectués sur ce matériau stérile sont regroupés sur le tableau IV.1. Il a été constaté ce qui suit :

Paramètres d'identification	Stérile
Cailloux (%)	10
Gravier(%)	45
Sable (%)	30
Limon (%)	14
Argile (%)	1
Cc	9.5
Cu	47
(%) < 80 μm	20
(%) < 2 mm	45
w _L (%)	22

wp (%)	12
wr (%)	11
Ip (%)	10
CaCO ₃ (%)	54,2
MO (%)	0,32
VBS	2,2
SST (m ² /g)	46,2
w _{opt} (%)	10,5
γ _{dopt} (kN/m ³)	19,5
IPI _{opt}	5
Classification GTR	B6
Classification LCPC	GL-Lp

Tableau IV.1 : Caractérisation géotechnique et classification du matériau stérile.

La distribution granulométrique du matériau stérile présente une granulométrie étalée (**Figure IV.2**) avec une proportion de particules grossières assez élevée (> 80%) (**Tableau IV.1**). La valeur du coefficient d'uniformité (Cu) est largement supérieure à la valeur référence de 2 signifiant un sol à classes granulométriques variées.

La mesure des limites d'Atterberg, VBS et MO sur ce matériau granulaire a montré qu'on est en présence d'un sol non plastique et inorganique (**Figure IV.3**).

La quantification de son potentiel de gonflement mesuré par le biais de ces limites d'Atterberg (**Tableau III.5**), nous a permis de constater que ce matériau stérile est un sol à potentiel de retrait-gonflement faible. Ceci est en accord avec sa distribution granulométrique.

La teneur en carbonate de calcium (CaCO₃) mesurée pour ce matériau est de 54,2%, indiquant qu'on est en présence d'un sol marneux (**Tableau III.7**). Ceci est en conformité avec sa caractérisation géologique qui indique que le site de la carrière d'extraction du matériau stérile est à formation majoritairement calcaireuse.

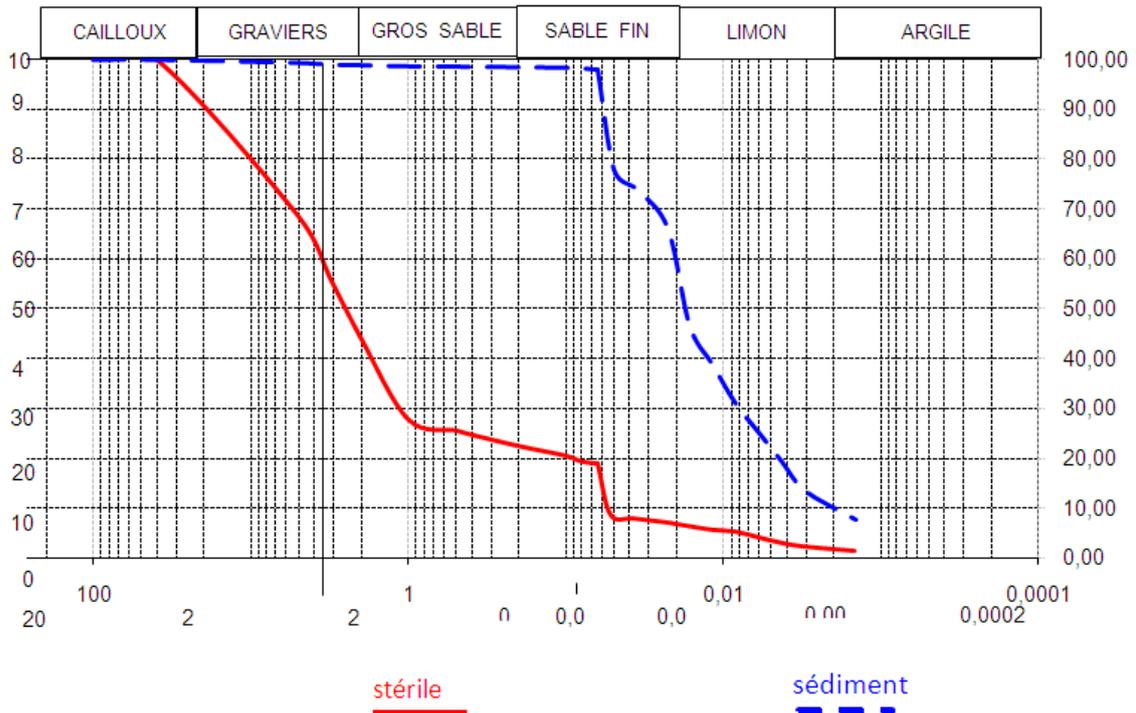


Figure IV.2 : Courbes granulométriques du matériau stérile et du sédiment Oued Taht.

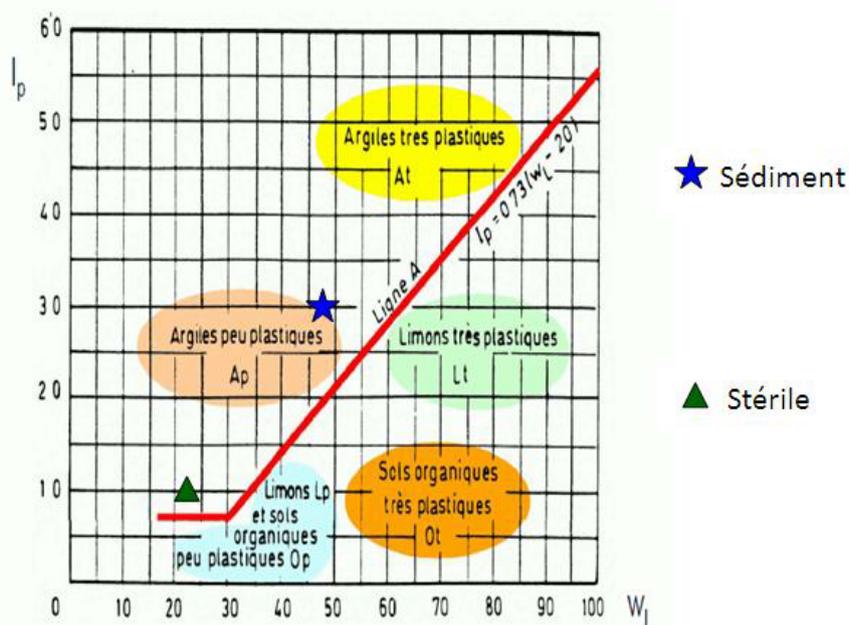


Figure IV.3 : Classification du matériau stérile selon le diagramme de plasticité de Casagrande.

La classification LCPC sur ce matériau a permis de le classier comme un sol grenu de type GL-Lp. Pour son utilisation en domaine routier, le guide technique routier GTR classifie

le matériau stérile comme un sol appartenant à la classe B6, relative à la classe des sables ou graves (Figure IV.4).

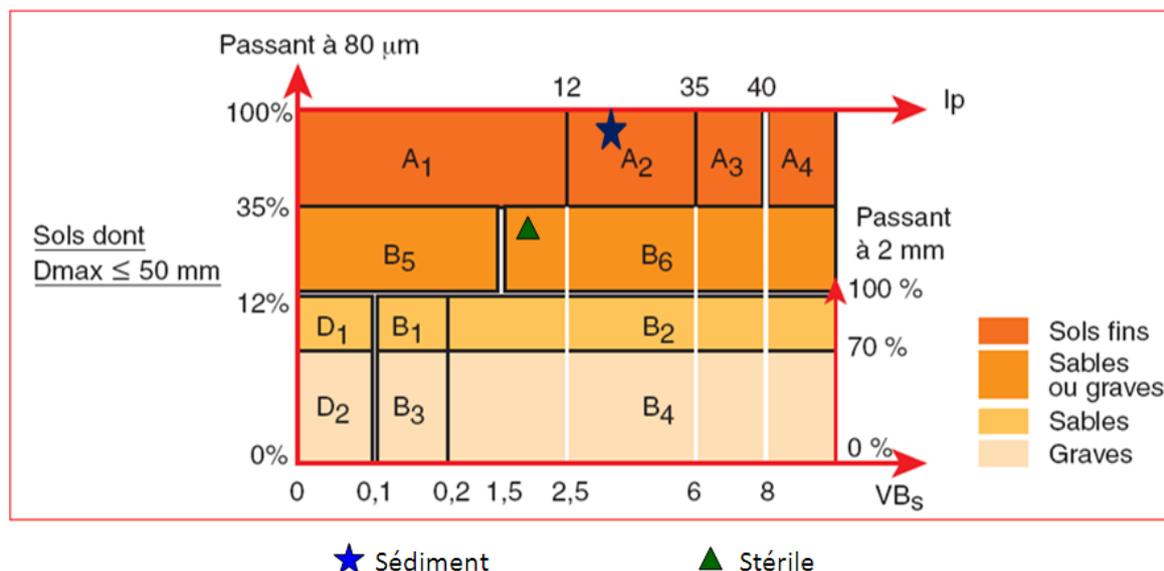


Figure IV.4 : Classification du matériau stérile selon le guide technique routier (GTR).

IV.4. Présentation des mélanges d'étude

Le traitement proposé pour la valorisation en technique routière du sédiment Oued Taht selon les recommandations du guide technique routier GTR (LCPC-SETRA, 2000), est basé sur une correction granulométrique sur ce sédiment par le biais d'ajout du matériau stérile.

L'objectif étant d'arriver à proposer un matériau traité économiquement compétitif et facile à mettre en œuvre in situ.

Le sédiment dragué du barrage Oued Taht se positionne dans la classe des sols fins noté classe A2 (Figure IV.4), qui comporte une majorité de particules fines et une teneur en matières organiques avec une plasticité et un potentiel de gonflement remarquable. Une telle classe de sol induit une résistance mécanique faible suivie aussi d'une forte sensibilité à l'eau et une compressibilité élevée.

Ainsi, l'ajout du matériau stérile comme correcteur granulaire a été introduit en vue d'atteindre des propriétés mécaniques bien améliorées et selon les recommandations du guide GTR.

Dans ce principe, deux types de formulations de mélanges ont été étudiées :

- Formulation 1: Cette formulation est composée de 50% du sédiment Oued Taht avec 50% du matériau stérile.

- Formulation 2: Cette formulation est composée de 80% du sédiment Oued Taht avec 20% du matériau stérile.

Une campagne d'essais physico-chimique et géotechnique ont été effectués sur ces deux formulations. Le tableau IV.2 ci-dessous donne un récapitulatif résumant les principaux paramètres obtenus sur ces deux mélanges.

Paramètre d'identification	Sédiment	Stérile	50% sédiment + 50% stérile	80% sédiment + 20% stérile
Cailloux (%)	0	10	2	0
Gravier (%)	0	45	18	12
Sable (%)	40	30	57	58
Limon (%)	50	14	20	22
Argile (%)	10	1	3	8
Cc	1.6	6.85	1.8	2.66
Cu	10	58	13	16.6
(%) < 80 µm	98	20	59	80
(%) < 2mm	100	45	78	89
d₅₀ (mm)	0.0098	2.5	0.07	0.049
w_L (%)	48	22	31	30
w_p (%)	18	12	25	25
w_r (%)	13	11	8	2
I_p (%)	30	10	6	5
CaCO₃ (%)	29.60	54.2	35.20	35.20
MO (%)	2.35	0.32	1.46	1.44
γ_{dOPM} (kN/m³)	16.8	19.5	18.30	17.2
w_{OPM} (%)	12.8	10.5	11.6	12
I_{PIOPM} (%)	18	3	6	11
VBS	2.6	2.2	1.8	1.3

SST (m²/g)	54.6	46.2	37.8	27.3
Classification GTR	A2	B5	A1	A1
Classification LCPC	Ap	GL-Lp	Lp	Lp

Tableau IV.2 : Récapitulatif de la caractérisation géotechnique des deux formulations étudiées ainsi que leurs classifications.

IV.4.1. Effet d'ajout du matériau stérile sur la granulométrie

La distribution des courbes granulométriques des formulations étudiées (**Figure IV.5**) nous indique une différence relativement apparente dans la forme. Néanmoins, le pourcentage des classes granulaires (**Tableau IV.2**) de demeure pas trop significatif.

L'ajout d'un sol granulaire sur le sédiment a montré une granulométrie qui demeure toujours étalée, avec une réduction notable du pourcentage des particules fines qui passe de 80% pour le mélange 80/20 à 59% pour le mélange 50/50.

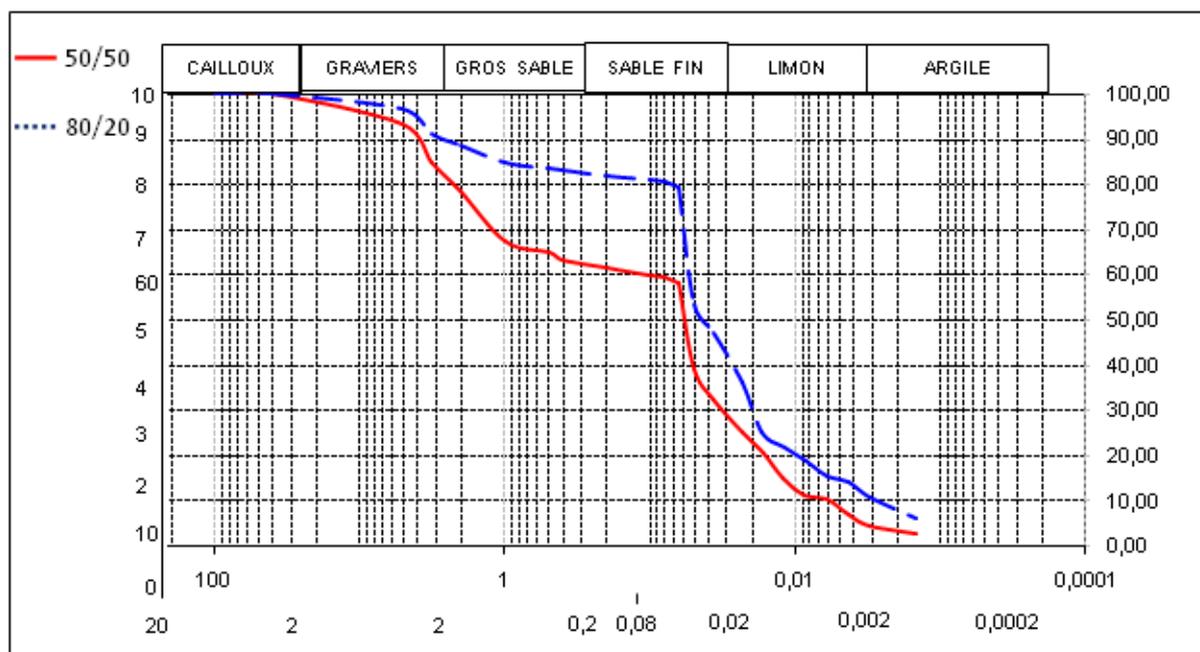


Figure IV.5 : Courbes granulométriques des formulations étudiées (80/20 ; 50/50).

La classification des deux formulations étudiées nous permet de constater que les deux mélanges sont classifiés comme un sol fin de type limon peu plastique (Lp) selon la classification LCPC (**Figure IV.6**) et comme un sol fin de classe A1 selon le guide technique GTR (**Figure IV.7**).

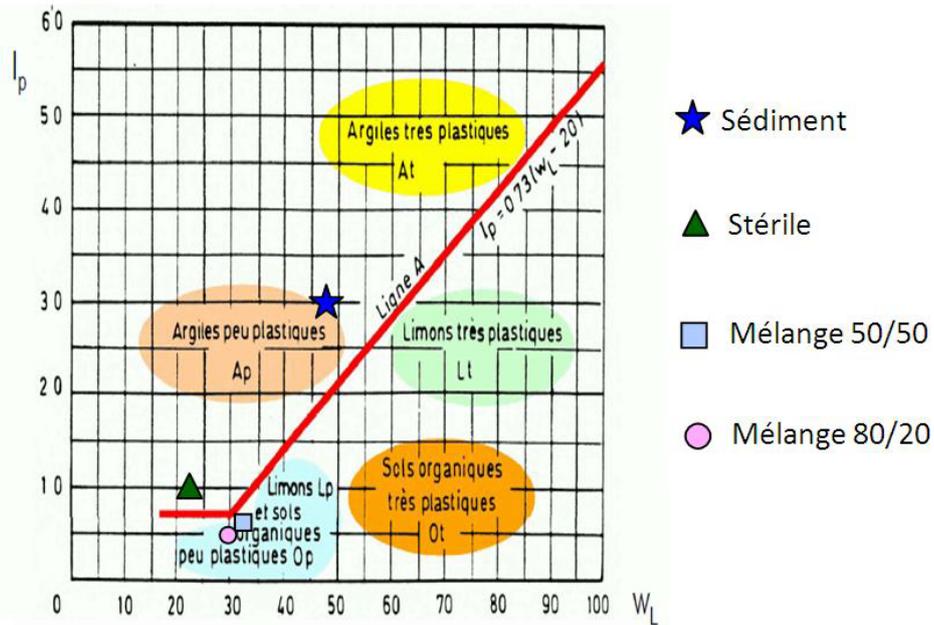


Figure IV.6 : Classification des mélanges étudiés selon la classification LCPC.

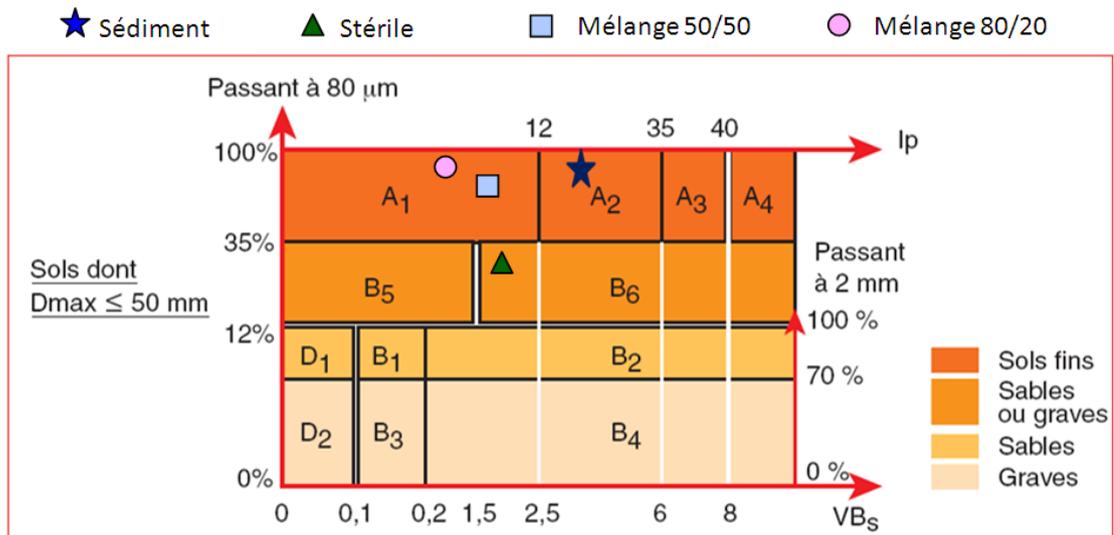


Figure IV.7 : Classification des mélanges étudiés selon le guide technique routier (GTR).

Il peut être jugé sur la base du pourcentage des proportions granulaires pour les formulations étudiées que l'apport du sol granulaire (stérile) sur le sédiment du barrage Oued Taht a amélioré notablement sa proportion granulaire en particulier le pourcentage des particules sableuses et a réduit le pourcentage des particules fines (limon et argile) qui est passé de 30% pour le mélange 80/20 à 23% pour le mélange 50/50 en le comparant à celui du sédiment qui est de 60%.

IV.4.2. Effet d'ajout du matériau stérile sur la plasticité

La mesure des limites d'Atterberg du sédiment traité selon les deux formulations étudiées (Tableau IV.2) et représentés sur le diagramme de plasticité de Casagrande (Figure VI.6) nous a permis de constater que la plasticité a diminué fortement après traitement par ce correcteur granulométrique du stérile où l'indice de plasticité (I_p) s'est réduit à un taux de 80% pour les deux formulations en rapport au sédiment Oued Taht.

Cette diminution de l'étendue du domaine plastique des mélanges étudiés peut être attribuée d'un côté à la réduction du pourcentage des particules fines dans ces mélanges et d'un autre côté à la diminution de la fraction des matières organiques (Tableau IV.2).

IV.4.3. Effet d'ajout du matériau stérile sur la densification et la portance

Les courbes obtenues suite aux essais Proctor Modifié et IPI des mélanges étudiés sont représentées sur les figures IV.8 et IV.9. Les résultats de ces essais de densification (w_{OPM} ; γ_{dOPM}) et de portance (IPI_{OPM}) sont présentés sur le tableau IV.2.

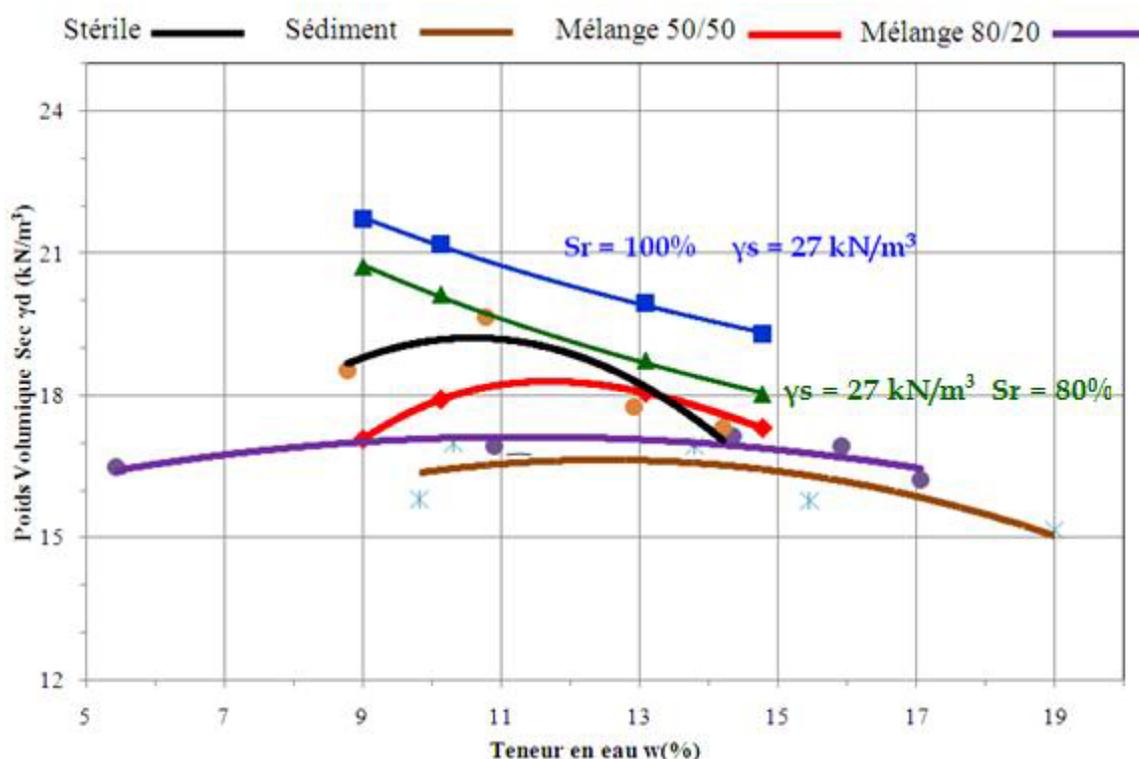


Figure IV.8 : Courbes de compactage des formulations étudiées.

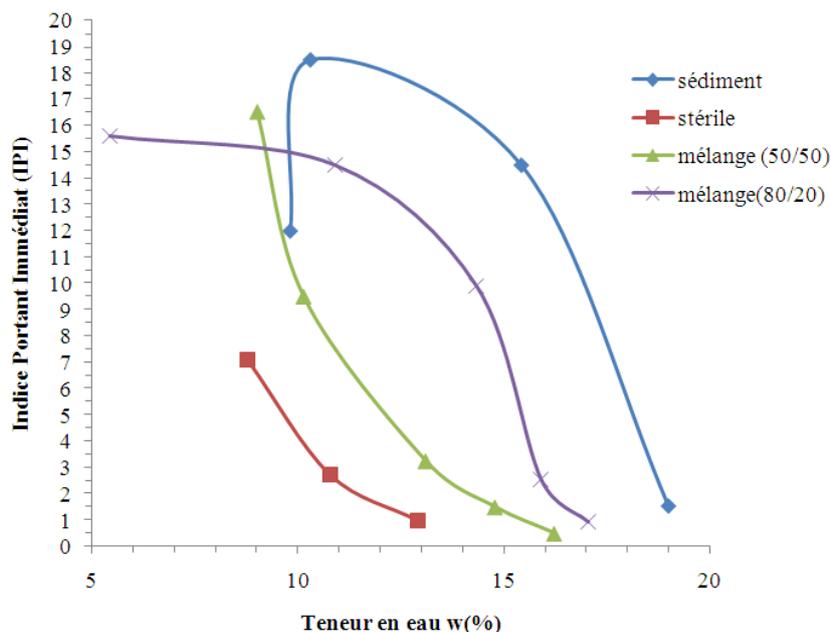


Figure IV.9 : Courbes de portance (IPI) des formulations étudiées.

L'analyse des résultats de ces essais a permis de constater :

1. Une diminution de la teneur en eau à l'OPM clairement observée après traitement par ce correcteur granulométrique du stérile pour le mélange 50/50 où le taux de diminution est de l'ordre de 9%, et de 6% pour le mélange 80/20.
2. La densification s'est nettement améliorée pour les deux formulations où le poids volumique sec maximal s'est augmenté à $18,3 \text{ kN/m}^3$ (soit une variation de l'ordre de 10%) pour le mélange 50/50 et à $17,2 \text{ kN/m}^3$ (soit une variation de l'ordre de 3%) pour le mélange 80/20. Ces valeurs de densité sont proches de la valeur de 18 kN/m^3 , indiquant un niveau de compacité acceptable.
3. Un léger aplatissement des courbes (w, γ_d) au voisinage de l'OPM est observé pour les formulations étudiées, ce qui constitue une diminution de la sensibilité à l'eau.
4. L'ajout d'un sol granulaire sur le sédiment d'étude n'a pas conduit à une amélioration de l'indice de portance (IPI) où les variations des portances obtenues sont en dessous du seuil souhaitable ($\text{IPI} = 25\%$) pour pouvoir utiliser ce nouveau matériau dans le domaine routier. On pourra attribuer cette diminution de portance à une hétérogénéité dans le squelette solide des mélanges.

IV.5. Conclusion

La méthodologie générale de valorisation décrite dans ce chapitre a pour but d'améliorer les caractéristiques physico-chimique et mécanique du sédiment du barrage Oued Taht. La démarche de valorisation s'appuie sur des choix de formulations simples.

Les différents essais d'identification réalisés sur le sédiment étudié ont montré que l'ajout d'un matériau granulaire (stérile) a amélioré la distribution granulométrique ainsi qu'une augmentation de la densité sèche maximale (γ_{DOPM}). La plasticité et la teneur en matières organiques (MO) sont nettement réduites après ce traitement par un correcteur granulométrique.

Cependant, la portance obtenue par l'indice IPI n'a pas montré une amélioration significative et qui reste au-dessous du seuil souhaitable pour son utilisation en domaine routier.

CONCLUSION

GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Avec l'augmentation de la demande de matériaux granulaires dans le domaine routier, l'utilisation des sédiments de dragage des retenues de barrages peut améliorer la gestion des ressources naturelles de granulats en constituant une nouvelle source de matériaux.

En effet, face à la problématique de gestion des sédiments dragués des barrages algériens qui représentent des volumes considérables à exploiter, la recherche de filières de valorisation demeure primordiale. Ces sédiments ayant le statut de déchets doivent être conditionnés et traités en respect des règles environnementales.

Ce travail s'inscrit dans l'étude géotechnique et l'analyse de l'exploitation d'un sédiment dragué en domaine routier.

La méthodologie générale suivie dans cette étude se décompose en trois étapes :

1. Une étape de caractérisation physico-chimique et mécanique du sédiment à l'état brut.
2. Une étape de formulation du matériau routier qui a pour intérêt l'amélioration des performances mécaniques du sédiment brut en vue d'atteindre les performances souhaitées. Cette étape inclut une phase de caractérisation du matériau d'ajout utilisé et l'étude de la formulation du matériau routier.
3. Une étape de validation des caractéristiques mécaniques et l'étude des incidences sur l'environnement du matériau formulé.

L'accent mis dans cette étude a été sur l'identification des caractéristiques géotechniques du sédiment brut et sur la proposition de formulation conçue sur la base de ce matériau dans le contexte de son exploitation en domaine routier.

Le sédiment étudié dans ce travail est issu du dragage du barrage Oued Taht (wilaya de Mascara). La caractérisation physico-chimique établie sur ce matériau a montré qu'il présente une granulométrie majoritairement fine, où il est classifié comme un sol fin de type argile peu plastique (Ap) selon la classification LCPC et comme un sol fin de classe A2 selon le guide des terrassements routier (GTR).

La compacité et la portance déterminées pour ce sédiment ont montré une densification optimale obtenue pour une teneur en eau maximale satisfaisante. À la différence du paramètre de portance obtenu à l'OPM qui a montré une valeur relativement faible par rapport à la valeur recommandée pour les couches de chaussées routières. Pour cela, un traitement s'avère nécessaire.

Ce traitement est basé sur une correction granulométrique effectuée par l'ajout d'un sol grenu à distribution granulométrie étalée, nommé stérile, extrait de la carrière de l'Entreprise Nationale des Granulats (ENG).

Deux types de formulations de mélanges ont été proposées où l'analyse des principaux essais physico-chimique et géotechnique réalisés sur ces formulations a montré que l'ajout d'un matériau granulaire sur le sédiment d'étude a amélioré la distribution granulométrique ainsi qu'une augmentation clairement observée sur la densité sèche maximale. La plasticité et la teneur en matières organiques sont nettement réduites après ce traitement par correction granulométrique.

Cependant, la portance obtenue par l'indice portant immédiat (IPI) n'a pas montré une amélioration significative et qui reste au-dessous du seuil recommandé pour son utilisation en domaine routier.

À cet effet, des perspectives sont proposées dans un objectif d'améliorer cette portance faible de ces mélanges et qui consiste à introduire d'autres additifs au sédiment (liants hydrauliques ou autres) en s'appuyant toujours sur la démarche de valorisation générale qui consiste principalement à ne pas employer de traitements lourds et coûteux.

RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]: **Yagoubi.A (2013)** « Etude du barrage Oued taht dans la Wilaya de Mascara».
- [2]: **Diagana .B. H, (1997)** « Solidification de la vase de Seine par ajout de limon ». D.E.A. PAE3S (Protection. Aménagement et Exploitation du Sol et du Sous-sol).Ecole Nationale Supérieure de Géologie de Nancy.
- [3]: **Benaissa.A (2016-2017)** «Valorisation de la vase pour l'utilisation dans la technique routière» Thèse de doctorat en science Matériau.
- [4]: **IDRA Environnement SA. CG33 / EPIC Arcachon/ SIBA. (juin 2006).** « Rapport final du schéma directeur du traitement des vases portuaires (SDTVP) du bassin d'Arcachon».174p.
- [5]: **Benaicha A, fauror A et Al,** quantification des transports solide de l'envasement du barrage foume el gherza (Biskra).
- [6]: **Remini B. Avenard J. et Al (2005),** Envasement des barrages.
- [7]: **Bouklikha.Z et Berrichi.M (2017)** «Estimation de l'envasement d'un barrage Izdihar par model PISA» Mémoire pour l'obtention du diplôme de mastère.
- [8]: **BENAHMED.H (2015)** «Valorisation des sédiments d'l'envasement du barrage de kramis dans le domaine de génie civil» Soutenance en vue de l'obtention de diplôme de mastère.
- [9]: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Dragage> .
- [10]: <http://larhyss.net/ojs/index.php/larhyss/article/viewFile/450/444>.
- [11]: <https://search=Le+curage+hydraulique>.
- [12]: **Claude Alzieu (1999)** «Dragages et environnement marin État des connaissances».
- [13]: **Paris-Normandie (2016)** «Projet d'immersion des sédiments de dragage du port de Rouen: le département du Calvados et les Verts réclament plus de suivi».
- [14]: **B.Remini, B.Remini (2003)** «la sédimentation dans les barrages de l' Afrique du nord».
- [15]: **B.Remini** «L'état des ressources en eau Au Maghreb en 2009».
- [16]: **Hmazaoui.F, (2019)** «cours voie et ouvrages d'arts M2 géotechnique».

- [17] :**M.E.L.T.T France (1996)** «dictionnaire de l'entretien routier».
- [18] : **Yingjie.L(2012)** « Co-valorisation de sédiments et de sols fins par apport de liants et de fibres » Thèse de doctorat de l'Université de CAEN.
- [19] : **SERBAH.B (2010/2011)** «Etude et valorisation des sédiments de dragage de barrage de BAKHADDA Tiaret».
- [20] : **Chebrak D (2012)** «Étude du phénomène de l'orniérage de chaussées bitumineuse, Cas de la route national dans la wilaya de Tizi Ouzou» Mémoire de magister, université.
- [21] : https://fr.wikipedia.org/wiki/guide_technique_routier.
- [22] : «Guide technique Réalisation des remblais et des couches de forme» [GTR Fascicule I 2000 LCPC/Sétra].
- [23] : **Bourabah .M.A (2012)** : Comportement Mécanique des sols fins «Application à la valorisation des sédiments de barrage en technique routière » Thèse de doctorat, Faculté de Technologie, Université Abou-Bekr Belkaid,Tlemcen.
- [24] : **DUBOIS V. (2006)** : «Etude du comportement physico-mécanique et caractérisation environnementale des sédiments marins – Valorisation en technique routière» Thèse de Doctorat, Université d'Artois, France.
- [25] : Google Maps (2014).
- [26] : **Achoui.M(2014)** «Cas de barrage voute mince d'oued taht wilaya de Mascara» Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en Génie civil.
- [27] : <https://www.google.com/search?q=diagramme+de+plasticité+de+casagrande>.
- [28]: [http://www.eng.dz/Sidi Abdelli](http://www.eng.dz/Sidi_Abdelli).
- [29]: <http://dspace.univ-tlemcen.dz/handle/112/7646>.
- [30]: <http://www.bvp.fr/gravillons/44591-grave-non-traite-0-315-la-t.html>.