



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة حسيبة بن بوعلي الشلف
UNIVERSITE HASSIBA BEN BOUALI – CHLEF
كلية الهندسة المدنية والمعمارية
FACULTE DE GENIE CIVIL ET D'ARCHITECTURE
قسم الري



DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE

MEMOIRE

Pour obtenir le diplôme de

Master Hydraulique

Ouvrage Hydraulique

Thème :

Stabilisation des sols dispersifs : Application sur les sédiments de dragage Du Barrage Gargar

Présenté par :

- BENSAHNOUNE Abdnacer
- ABDOUNE Nadia

Soutenu le :

Devant les membres des jurys :

- | | |
|-------------------------|--------------|
| • Mr. BENAOUA Hamid | Président |
| • Mr. TAHAR Taher | Examineur |
| • Mme Benhadj Ziane. F | Encadreur |
| • Dr. DRISS.ABDELMOUMEN | Co-encadreur |

Année universitaire 2023-2024

Remerciements

Tout d'abord, louange à « Allah » qui nous ont guidé sur le droit chemin tout au long du travail et nous inspiré les bons pas et les justes reflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait pu aboutir.

Nos vifs remerciements sont adressés à **Mme Benhadj Ziane F.** d'avoir accepté de nous encadrer et nous avoir accordé ce qui est de plus précieux, son temps et son attention. Son aide et ses orientations qui nous ont été particulièrement précieuse dans notre étude.

On remercie profondément **Dr.Driss A.A.** Qui nous a Beaucoup aidé par ses orientations et ses précieux Conseils pour l'élaboration de cette étude.

Merci pour les membres du jury d'avoir accepter d'examiner notre travail

Un grand remerciement à tout le personnel du laboratoire de l'hydraulique et Génie civile de l'université Hassiba Ben Bouali chlef, pour leur soutien.

Aussi le personnel du laboratoire Nationale de l'habitat et de construction **L.N.H.C**, pour leur précieuse aide.

On tient à adresser nos remerciements à **Mr Mellah, Mr Menad,** directeurs du barrage de Gargar.

Un grand remerciement a Tous les enseignants de département d'hydraulique Qu'ont participé à notre formation. A ceux qu'ont contribué à l'élaboration de cette étude.

A toute personne qui a participé de près ou de loin pour l'accomplissement de ce travail.

Dédicace

Je dédie mon travail

A chère mon père

A ma très chère mère, aucun mot ne peut lui exprimer mon profond amour, ma reconnaissance et mon témoignage sincère pour tous les sacrifices qu'elle n'a cessé de me prodiguer pour parfaire mon éducation

A mon frère Islam et Hamza ,

A mes chères sœurs Chaimaa et Aya .

A tous mes amis (es) Ahmed, Khouloud , Ahlem , Wafa , Fatima ,
Wiaam , Wissam , Abdenacer .

Mes amis de l'université hassiba ben bouali chlef Notre promo

2024

En un mot à tous les gens qui contribué ma réussite
de près ou de loin

Nadia

Dédicace

*Je rends un grand hommage à travers ce modeste travail, en signe
de respect et de reconnaissance envers :*

Mon cher père .

Ma chère mère.

Pour tous les sacrifices qu'ils ont consentis pour je réussisse .

Je le dédie également :

Mes sœurs et frères .

Tous mes amis (es) .

*Mes amis de l'université hassiba ben bouali chlef Notre
promo de 2021 et 2022*

Abdnacer

Sommaire

Intreoduction Générale.....	1
-----------------------------	---

Chapitre 1 problématique de l'envasement

1.1 Généralité sur l'envasement des barrages	3
1.2 Processus de l'envasement des barrages	3
1.3 Origine et formation des vases.....	4
1.4 Problèmes posés par l'envasement.....	4
1.4.1 Réduction de la capacité	5
1.4.2 Obturation des organes de vidange	7
1.4.3 Sécurité de l'ouvrage	8
1.4.4 Envasement des canaux d'irrigation	8
1.4.5 Dégradation de la qualité de l'eau	8
1.5 Mécanisme de l'envasement.....	9
1.6 L'érosion des bassins versants.....	10
1.7 Les apports solides dans la retune.....	11
1.7.1 Les apports solides par charriage.....	11
1.7.2 Les apports solides en suspension.....	11
1.8 L'envasement des barrages en Algérie	12
1.9 Conclusion	13

Chapitre 2 Valorisation des vases des barrages

2.1 Introduction.....	14
2.2 Les moyens de lutte contre l'envasement	14
2.2.1 Méthodes préventives	14
2.2.2 Méthodes curatives	15
2.2.2.1 Surélévation des digues.....	15
2.2.2.3 Soutirage des courants de densité.....	15
2.2.2.4 Travaux spéciaux (percement du parement amont du barrage Oued Fodda)....	17

2.2.2.5 La technique de drague des barrages	17
2.3 Valorisation des sédiments de dragage	18
2.4 Les filières de valorisation des sédiments de dragage	19
2.4.1 Utilisation de la vase comme matériau de construction en génie civil.....	19
2.4.1.1 Utilisation de la vase dans l'industrie du béton et mortier.....	19
2.4.1.2 Utilisation de la vase dans les liants (ciments):	20
2.4.2 Utilisation dans l'industrie des matériaux rouges	20
2.4.2.1 Fabrication de brique.....	20
2.4.3 Utilisation de la vase dans l'industrie de la céramique	21
2.4.4 Utilisation comme matériau de construction dans les travaux hydraulique	22
2.4.4.1 Noyau d'argile d'une retenue collinaire	22
2.4.5 Utilisation dans le domaine d'agricole	23
2.4.5.1 Comme fertilisant des terres agricoles	23
2.4.6 Utilisation de la vase pour Construction des routes et chaussées.....	23
2.4.7 Utilisation de la vase Couche étanche pour un bassin de lagunage	25
2.5 Travaux de recherches effectués dans ce domaine	25
2.6 Conclusion	28

Chapitre 3 Présentation du barrage de Gargar

3.1 Introduction	Error! Bookmark not defined.29
3.2 Présentation du barrage de Gargar	29
3.3 Destination du barrage	30
3.4 Historique du barrage.....	30
3.5 Retenue du barrage de Gargar.....	31
3.6 Les différents ouvrages composant l'aménagement du barrage	32
3.6.1 Mur du Barrage	32
3.6.2 Evacuateur de crue.....	34
3.6.3 Ouvrage de sortie.....	34
3.7 Caractéristiques de la cuvette	36
3.8 Bassin versant.....	36

3.8.1 Topographie et paramètres physiographiques	36
3.8.2 Caractéristiques de la région.....	37
3.8.2.1 Climat	37
3.8.2.3 Les précipitations.....	38
3.8.2.4 Le vent	38
3.8.2.5 L'insolation	38
3.8.2.6 L'évaporation potentielle	38
3.8.2.7 Les apports liquides	39
3.9 Géologie du bassin versant.....	39
3.9.1 Caractéristiques du sol	40
3.9.2 Végétation	40
3.9.3 Les apports solides	41
3.10 Envasement du barrage Gargar	41
3.10.1 Levés bathymétriques	42
3.11 Conclusion	43

Chapitre 4 Procédure expérimentale

4.1 Introduction	44
4.2 Matériaux utilisés	44
4.2.1 Sable de Chlef.....	45
4.2.2 Chaux	45
4.2.3 Pouzzolane naturelle.....	46
4.2.4 La vase du Barrage de Gargar.....	48
4.2.4.1 Localisation des échantillons prélevés.....	48
4.2.4.2 Propriétés géotechniques de la vase du barrage	48
4.2.4.3. Analyse granulométrique par sédimentométrie.....	49
4.2.4.3 Les limite d'Atterberg	49
4.3 Programme de travail	52
4.4 Propriétés étudiées	52
4.4.1 Résultat de Proctor	52

4.4.2 Crumb test	53
4.4.2.1 Objectif de l'essai	53
4.4.2.1 Matriels utilisés	54
4.4.2.2 Mode opératoire	54
4.4.3 Essai Double Hydromètre.....	54
4.4.3.1 Objectif de l'essai	54
4.4.3.2 Matriels utilisés	55
4.4.3.3 Mode opératoire	56
4.5 Conclusion	58

Chapitre 5 Stabilisation de la vase par ajout minéraux

5.1 Introduction.....	59
5.2. Résultats Crumb test	59
5.2.1 Combinaison S0L0P0 (Vase brute).....	59
5.2.2 Combinaison S20L0P0 (80% Vase + 20% Sable).....	60
5.2.3 Combinaison S0L3P0 (97% Vase + 3% chaux)	61
5.2.4 Combinaison S0L5P0 (95% Vase + 5% Chaux)	63
5.2.5 Combinaison S20L3P0 (77 % Vase+ 20 % Sable + 3 % chaux)	64
5.2.6 Combinaison S20L5P0 (75 % Vase+ 20 % Sable + 5 % chaux)	65
5.2.7 Combinaison S0L3P20 (77 % Vase + 3 % chaux + 20 % Pouzzolane)	66
5.2.8 Combinaison S0L5P20 (75 % Vase + 5 % chaux + 20 % Pouzzolane)	67
5.2.9 Combinaison S20L3P20 (57 % Vase+20% Sable + 3 % chaux + 20 % Pouzzolane)	68
5.2.10 Combinaison S20L5P20 (57 % Vase+20% Sable + 3 % chaux + 20 % Pouzzolane) ..	69
5.3 Essai double hydromètre.....	70
5.3.1 Double Hydrométrie de la combinaison S0L0P0	70
5.3.2 Variation de la dispersion des différentes combinaisons étudiées	71
5.4 conclusion.....	74
Conclusion générale	75
Références bibliographiques.	

Liste de figure

Chapitre 1: problématique de l'envasement .

Figure (1. 1) : situation des retenues les plus envasées en Algérie	3
Figure (1.2) : Envasement des barrages.....	4
Figure (1.3) : Schémas des Problèmes posés par l'envasement	5
Figure (1. 4) : Diagramme de l'évolution temporelle de la capacité de stockage d'un barrage.	7
Figure (1. 5) : Blocage de la vanne de fond de la deuxième digue du barrage Boughezoul.	8
Figure (1.6) : Curage d'un canal par les moyens mécaniques	8
Figure (1.7) : Couleur verte de l'eau du barrage	9
Figure (1.8): Propagation d'un courant de densité.....	10
Figure (1. 9) : Phénomène d'érosion dans le bassin versant Chélif.....	10
Figure (1.10) : Mode de transport des particules dans les cours d'eau	12

Chapitre 2: valorisation des vases des barrages .

Figure (2.1): Barrage de Ksob surélevé en 1977	15
Figure (2.2): Fonctionnement d'un barrage de chasse.	16
Figure (2.3): Propagation du courant de densité dans un barrage.....	17
.....	17
Figure 2.4: moyens de lutte contre l'envasement	18
Figure (2.5): Évolution des résistances à la compression en fonction du temps et du dosage en vase.	19
Figure(2.6) : Comparaison des évolutions de la résistance en compression des mortiers MT.	20
Figure (2.7) : Briques fabriquées avec un taux de substitution de 70% de sédiments	21
Figure (2.8): Résistance à la flexion des deux types de carreaux (Gargar et Nedroma)	22
Figure (2.10) : Noyau centrale d'argile, cas du barrage de kramis.	23
.....	24
Figure (2.11): Courbes de compactage et de portance (IBI) du matériau après traitement au liant	24
.....	24
Figure (2.12): Résistance à la compression des briques	26
Figure (2.13): Test de l'hydromètre double pour la terre + 2 % de chaux + 11 % de cendres volantes.	26

Figure (2.14) : Essais typiques de « Crumb test », a) niveau 1 : non dispersif, b) niveau 2 : intermédiaire, c) niveau 3 : dispersif, d) niveau 4 : très dispersif.....	27
Figure (2.15) : Distribution granulométrique des RDS et des RDS traités à la chaux et au ciment	28
Figure (2.16): Essai d'émission renforcé réalisé sur le sol limoneux de d'Héricourt (PI=11), non traité , et traité avec 2% de chaux	29

Chapitre 3 : Présentation du barrage de Gargar.

Figure (3.1) : Vue générale du barrage de Garga.....	28
Figure (3.2) : Situation géographique du barrage de Gargar.....	30
Figure (3.3) : destination de barrage de Gargar.....	30
Figure (3.4) : Début de travaux de réalisation du barrage de Gargar	31
Figure (3.5) : profil de type de la digue.....	32
Figure (3.6) : coupe a l'axe de la digue radeau d'injection.....	33
Figure (3.7) : Corps du barrage de Gargar, (a) Vue en plan du corps du barrage Gargar, (b)Talus amont de la digue du barrage de Gargar.....	33
Figure (3.8) : Evacuateur de crue du barrage Gargar	34
Figure (3.9) : coupe longitudinale puits et galerie.	35
Figure (3.10) : La vidange de fond et la prise d'eau du barrage Gargar	35
Figure (3.11) : Vue générale de la digue du barrage de Gargar	37
Figure (3.12) : Température moyenne mensuelle de la station -Barrage Gargar	38
Figure (3.13) : Pluviométrie moyenne annuelle (période 1990/2009) du barrage Garga	38
Figure (3.14) : Variations annuelles des apports liquides du barrage de Gargar.....	39
Figure (3.14) : Reconnaissances Géologiques Anciennes (puits et sondages).....	40
Figure (3.15) : Carte simplifiée du couvert des terres du bassin de Gargar	41
Figure (3.16) : Levé bathymétrique de la retenue du barrage de Gargar.	43

Chapitre 4: Procédure expérimentale.

Figure (4.1) : Présentation des matériaux utilisés.	45
Figure (4.2) : Le gisement de Bou-hamidi de pouzzolane naturelle (Béni-Saf, Algérie).....	46
Figure (4.3) : Préparation de la pouzzolane naturelle, (a) pouzzolane cas initiale, (b) sechage, (c) Etuve, (d) broyage au micro-deval, (e) forme finale de lapozzolane.	47
Figure (4.4) : Distribution granulométrique du pozzolane naturelle	48

Figure (4.4): Localisation du prélèvement de la vase au niveau de l'exutoire du barrage de Gargar.	49
Figure (4.5): Distribution granulométrique du la vase.	49
Figure (4.6): l'essai granulométrique par sédimentométrie	50
Figure (4.7) : Limites d'Atterberg. (ASTM D2487-06).....	50
Figure (4.8): L'essai de limite de liquidité W_L	51
Figure (4.9) : courbe de liquidité W_L	51
Figure (4.10) : L'essai de la limite de plasticité (W_p).	52
Figure (4.11): Diagramme de plasticité de Casagrande de la vase.	52
Figure (4.12) : Etapes d'essai de Proctor	54
Figure (4.13): Matriel de crumb test, (a): cube du sol, (b) L'eau distillée, Appariel photo	55
Figure (4.15) : Matriels de l'essai double Hydromètre	57
Figure (4.16) : Etape du lavage de l'échantillon étudié.	59

Chapitre 5: Stabilisation de la vase par ajout minéraux

Figure (5.1) : Méthode de détermination du coefficient de dispersion (sol naturel).	72
Figure (5.2) : Variation de la dispersion des combinaisons étudiées.....	74

Liste des Tableaux

Chapitre 1: problématique de l'envasement .

Tableau (1 .1) : capacités de certains barrages Algériens en l'an 2010.....13

Chapitre 2: valorisation des vases des barrages .

Tableau (2.2): Résultats des essais de compression.....21

Tableau (2.1): Evolution de la biomasse microbienne totale selon les stades végétatifs du blé.
..... 23

Tableau (2.2): Paramètres de compactage du RDS et du RDS traité avec des liants.24

Chapitre 3 : Présentation du barrage de Gargar

Tableau (3.1): Les caractéristiques de la retenue du barrage de Garga 32

Tableau (3.2) : Les caractéristiques de la cuvette du barrage de Gargar..... 37

Tableau (3.3) : Débit liquide et concentration en MES des crues..... 42

Chapitre 4: Procédure expérimentale.

Table (5.3) : Principales propriétés du sable de Chlef 45

Tableau (4.1): Propriétés physiques et chimiques de la chaux utilisée..... 45

Tableau (4.2): Propriétés physiques et chimiques de la pouzzolane naturelle 47

Tableau (4.3) : de base du sol argileux étudié 49

Tableau (4.4) : plan du travail. 52

Tableau (4.5) : Résultat de Proctor..... 53

Chapitre 5: Stabilisation de la vase par ajout minéraux .

Tableau (5.1) : Crumb test de l'échantillon SOL0P0 après 1 jour d'immersion 59

Tableau (5.2) : Crumb test de l'échantillon SOL0P0 après 28 jours d'immersion..... 59

Tableau (5.3) : Crumb test de l'échantillon S20L0P0 après 1 jour d'immersion 60

Tableau (5.4) : Crumb test de l'échantillon S20L0P0 après 28 jours d'immersion..... 61

Tableau (5.5) : Crumb test de l'échantillon SOL3P0 après 1 jour d'immersion 61

Tableau (5.6) : Crumb test de l'échantillon SOL3P0 après 28 jours d'immersion..... 62

Tableau (5.7) : Crumb test de l'échantillon SOL5P0 après 1 jour d'immersion 63

Tableau (5.8) : Crumb test de l'échantillon SOL5P0 après 28 jours d'immersion..... 64

Tableau (5.10) : Crumb test de l'échantillon S20L3P0 après 1 jour d'immersion..... 64

Tableau (5.11) : Crumb test de l'échantillon SOL5P0 après 28 jours d'immersion 65

Tableau (5.12) : Crumb test de l'échantillon S20L5P0 après 1 jour d'immersion.....	66
Tableau (5.13) : Crumb test de l'échantillon S20L5P0 après 28 jours d'immersion	66
Tableau (5.14) : Crumb test de l'échantillon S0L3P20 après 1 jour d'immersion.....	67
Tableau (5.15) : Crumb test de l'échantillon S0L3P20 après 28 jours d'immersion	67
Tableau (5.16) : Crumb test de l'échantillon S0L5P20 après 1 jour d'immersion.....	68
Tableau (5.17) : Crumb test de l'échantillon S0L5P20 après 28 jours d'immersion	68
Tableau (5.18) : Crumb test de l'échantillon S20L3P20 après 1 jour d'immersion.....	69
Tableau (5.19) : Crumb test de l'échantillon S20L3P20 après 28 jours d'immersion	69
Tableau (5.18) : Crumb test de l'échantillon S20L5P20 après 1 jour d'immersion.....	70
Tableau (5.19) : Crumb test de l'échantillon S20L5P20 après 28 jours d'immersion	70
Tableau (5.20) : Classification de la dispersion des sols	71
Tableau (5.21) : Sédimentométrie sans dispersant.	72
Tableau (5.22) : Sédimentométrie avec dispersant.	72
Tableau (5.22) : Coefficients de dispersion des différentes combinaisons.	73

Résumé

Résumé

Dans les projets géotechniques, la simple procédure d'éviter les problèmes des sols dispersifs est de les remplacer par un autre sol non dispersif procédure presque non faisable. Cependant, les traitements chimiques sont utilisés dans plusieurs cas pour franchir les problèmes de dispersion.

Dans cette étude et afin de contribuer à la gestion des boues dragage et à la valorisation des vases des barrages Algériens, on a mené une étude purement expérimentale sur le traitement de la vase du barrage Gargar, troisième grand barrage en Algérie, où la sédimentation est considérable.

Cette étude est basée sur les caractéristiques physiques (Granulométrie, Limites d'Atterberg, Crumb test et Double Hydromètre) et mécaniques (essais Proctor) au niveau du laboratoire Nationale de l'Habitat et de Construction de Chlef (LNHC) et laboratoire de l'Hydraulique et Génie civile, université Hassiba Ben Bouali Chlef.

De la chaux, de la pouzzolane naturelle ou la combinaison des deux ont été incorporés à la vase corrigée à 20% du sable, à des proportions de (3%, 5%) et (0%, 20%) r e s p e c t i v e m e n t pour assurer la stabilisation du sol dispersif. Les spécimens ont été immergés pendant 1 à 28 jours, après quoi ils ont été testés par des essais le Crumb test et Double Hydromètre.

Sur la base des résultats de dispersion obtenus, on constate bien que la variation de la dispersion des combinaisons étudiées de 1 à 28 jours diminue significativement avec l'ajout de la chaux. Aussi, la stabilité des sols est nettement assurée par l'ajout l'incorporation de la pouzzolane naturelle.

D'autre part, on peut conclure que la combinaison chaux-pouzzolane naturelle peut améliorer efficacement la dispersion des vases de médiocre à excellente.

En outre observations visuelles des résultats de Crumb Test confirment bien ceux trouvés par doubles hydromètre.

Donc notre objectif est de fournir des formules capables de rivaliser sur le plan économique et facile à mettre en œuvre dans des sites qui permettent la récupération de ces matériaux dans la géotechnique de la route.

Mots-clés: vase , Barrage , chaux , pouzzolane , dispersif , Crumd , double hydromètre .

Introduction Générale

Introduction Générale

Introduction Générale

L'envasement des barrages en Algérie est un phénomène complexe et grave qui nécessite des mesures radicales pour préserver les infrastructures hydrotechniques et assurer la sécurité des populations locales.

A raison d'une érosion spécifique annuelle moyenne variant entre 2000 à 4000 t/km²/an, les apports solides enregistrés au niveau des barrages sont de l'ordre de 48 hm³/an, occasionnant un taux d'envasement de plus de 12% correspondant à une perte de capacité de stockage de l'ordre de 958 hm³. Cet envasement est plus ressentie à l'Ouest du pays avec un taux de 47% suivie de la région centre avec 27% et l'Est avec 26%. (ANBT).

Plusieurs techniques curatives sont utilisées pour résoudre les problèmes hydrauliques liés aux barrages en Algérie, comme surélévation des barrages, dragage des retenues, malgré son coût élevé, cette opération est indispensable pour récupérer une partie des volumes de stockage des barrages

Les barrages du bassin Chélif-Zahrez sont les plus menacés par ce problème dus à l'érosion favorisée par la nature des sols et l'absence de boisement, une quantité considérable des sédiments est piégée chaque année dans les réservoirs diminuant ainsi leurs durées de vie, soit un taux de comblement évalué en 2002 de 16% de la capacité totale (ANBT, 2004).

Le barrage de Gargar qui fait partie de ce bassin, est situé dans la wilaya de Relizane, est le 3ème grand barrage en Algérie (d'une capacité de 450 Mm³) après le barrage de Beni Haroun et Koudiat Acerdoune. Le barrage de Gargar est alimenté par l'Oued Rhiou et se trouve à 5 km au Sud-Ouest de la ville d'Oued Rhiou et à 3 km en amont de la Route Nationale N°4 .

Selon l'ANBT, ce barrage est un cas réel d'une problématique de son envasement à un rythme accéléré de son taux d'envasement estimé à 36% selon le dernier levé bathymétrique effectué en 2019.(ANBT, 2022).

Face à cette problématique, des filières de valorisation en Génie Civil (en technique routière, en matériaux de construction, ...) ont été recherchée et tous leurs résultats ont donné des avis favorables sur l'utilisation des sédiments traités.

Les sédiments dragués des retenues sont facilement et rapidement délogés par l'eau courante à faible concentration en sel, ils font partis des sols dispersifs, ce qui pose de graves problèmes de stabilité de la terre (érosion interne) une fois valorisés.

Introduction Générale

Pour ces applications, il est donc essentiel de tester l'érodabilité, Cependant, il existe une méthode simple pour identifier la dispersivité des sols, notamment la classification visuelle, les limites d'Atterberg et l'analyse de la taille des particules ne fournissent pas une base suffisante pour différencier les sols dispersives des autres sols ordinaires résistantes à l'érosion. Le Crumb Test et double hydromètre sont les deux seuls tests utilisés pour identifier les sols dispersifs.

Dans ce contexte , notre objectif est de mener étude expérimentale qui vise à stabiliser la vase du barrage de Gargar traitée chimiquement par la chaux et la Pouzzolane.

Cet manuscrit se divise en cinq chapitres:

- Le premier chapitre définit l'état d'envasement des barrages en Algérie, un rappel sur les sédiments des barrages et la difficulté posée par les sédiments rejetés lors des opérations de dragage;
- Le deuxième chapitre sera consacré aux différents domaines de valorisation de la vase des barrages;
- En troisième chapitre, on y trouve les caractéristiques hydrologiques, climatologiques et géologiques du bassin versant du barrage de Gargar;
- Le quatrième chapitre présente d'une part l'étude expérimentale, matériels et méthodes utilisées.
- En cinquième chapitre, nous analyserons, comparerons et interpréterons les résultats de l'étude expérimentale et stabilisation de la vase par l'ajout de la chaux et la pouzzolane naturelle.

Et finalement notre travail sera terminé par une conclusion générale contenant l'essentiel des résultats trouvés ainsi que les perspectives pour les futures recherches.

Chapite 1:

Problématique de l'envasement

1.1 Généralité sur l'envasement des barrages

L'envasement des barrages est l'un des grands problèmes hydrauliques qui menace l'existence de l'infrastructure hydrotechnique en Algérie. Suite à la forte érosion hydrique dans les bassins versants, des quantités considérables des sédiments sont drainées directement dans les retenues des barrages.

Les pays de l'Afrique du nord comme l'Algérie, le Maroc, et la Tunisie, détiennent plus de 230 barrages d'une capacité totale de 23km³. Environ 125hm³ de sédiments se déposent annuellement au fond de ces barrages, avec par ordre d'importance décroissante, le Maroc avec 65hm³, l'Algérie avec 32hm³ et la Tunisie avec 25hm³ **Remini ,(1997)**.

Ainsi, plus de 30 millions de m³ de sédiments se déposent annuellement au niveau des 52 grandes retenues de barrage de l'Algérie dont une quinzaine sont gravement menacés par ce phénomène d'envasement.

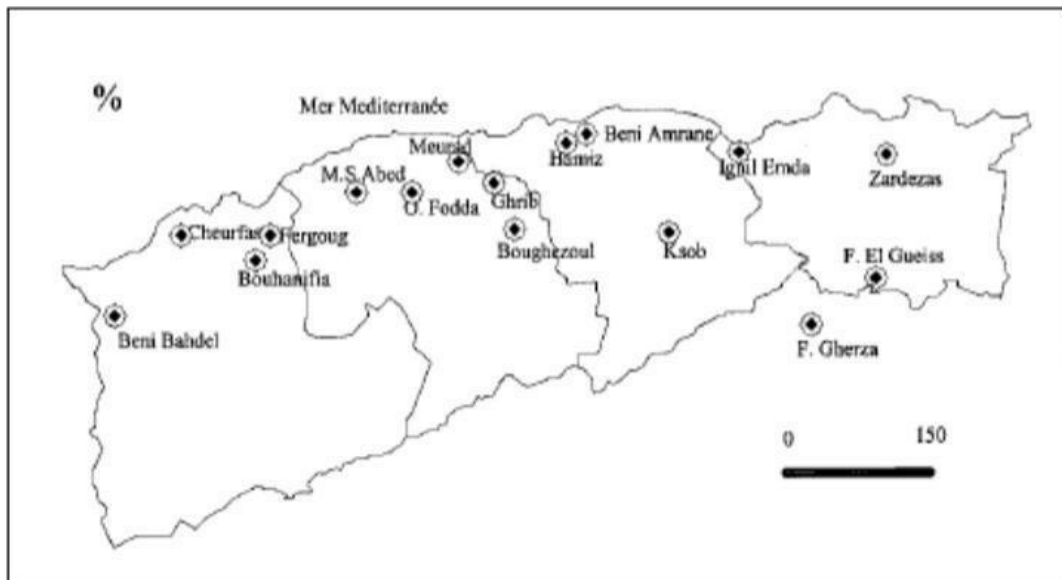


Figure (1. 1) : situation des retenues les plus envasées en Algérie. **Boualem R ,(2006)**

1.2 Processus de l'envasement des barrages

L'envasement est le résultat de dépôts de boue causés par l'érosion du sol et la destruction des berges du bassin versant. C'est lors des crues que le barrage sera bloqué par le débit de densité. Les sédiments pénétrant dans une retenue provenant du bassin versant sont transportés par le réseau hydrographique jusqu'à la retenue, ces sédiments étant dans une retenue s'y déposent ou franchissent le barrage. La partie déposée peut avoir un caractère permanent. Ces dépôt peuvent progresser rapidement lors des crues importantes entrant dans le reservoir du barrage à niveau minimum d'exploitation , comme ils peuvent être chassés à travers les vidanges de fond. La portion des sédiments qui franchissent le barrage est généralement constitués des

particules fines en suspension ou déplacées par des courants de densité au début de la mise en eau de la retenue .



Figure (1.2) : Envasement des barrages. Remini ., (2012)

1.3 Origine et formation des vases

La formation d'une vase est due à la sédimentation de particules élémentaires ou agglomérées, provenant de l'érosion des sols et des roches, des volcans, des restes d'organismes aquatiques et de leur transport sous l'effet d'hydrodynamique **Dongxing Wang,(2011)** . Les vases ne sont pas neutres d'un point de vue électrostatique, les fines sont chargées négativement, ce qui occasionne une agglomération en présence de cations provenant de l'eau. La formation de ces flocons en présence de leur poids accélère les vitesses de chute de ces particules, qui sédimentent plus rapidement .

1.4 Problèmes posés par l'envasement

Parmi les problèmes que pose l'envasement des retenues de barrages, on peut retenir quatre Inconvénients majeurs qui sont :

- La réduction de la capacité d'emmagasinement.
- L'obturation des organes de vidange.
- La remise en cause de la sécurité de l'ouvrage.
- L'envasement des canaux d'irrigation.
- La dégradation de la qualité de l'eau.
- L'obturation des pompes.

La figure (1.3) illustre les problèmes engendrés par l'envasement :

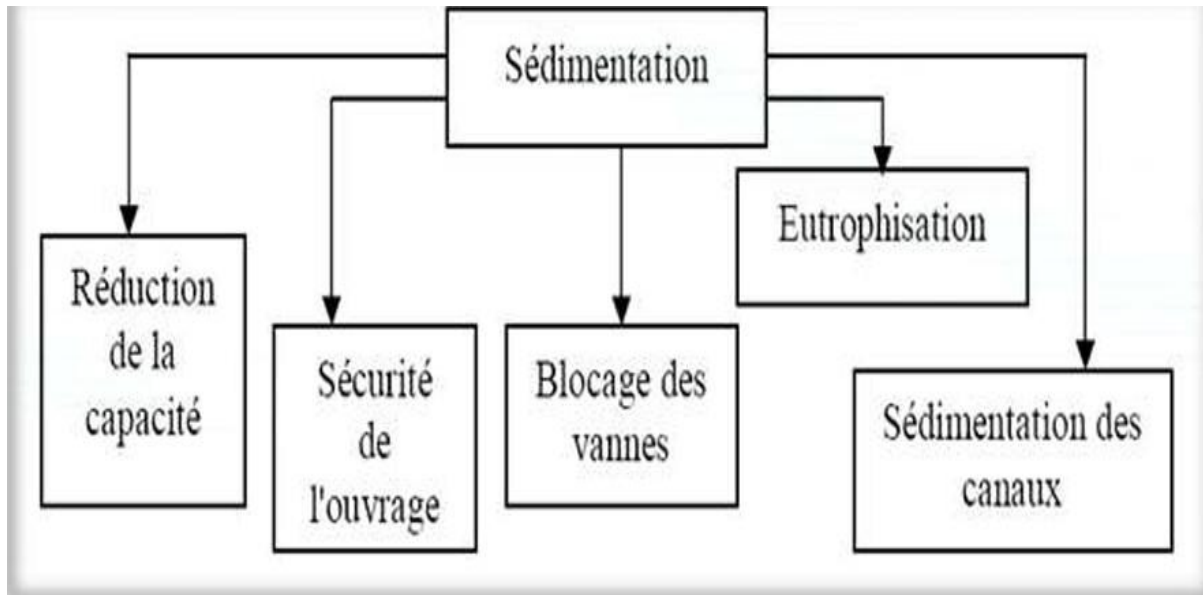
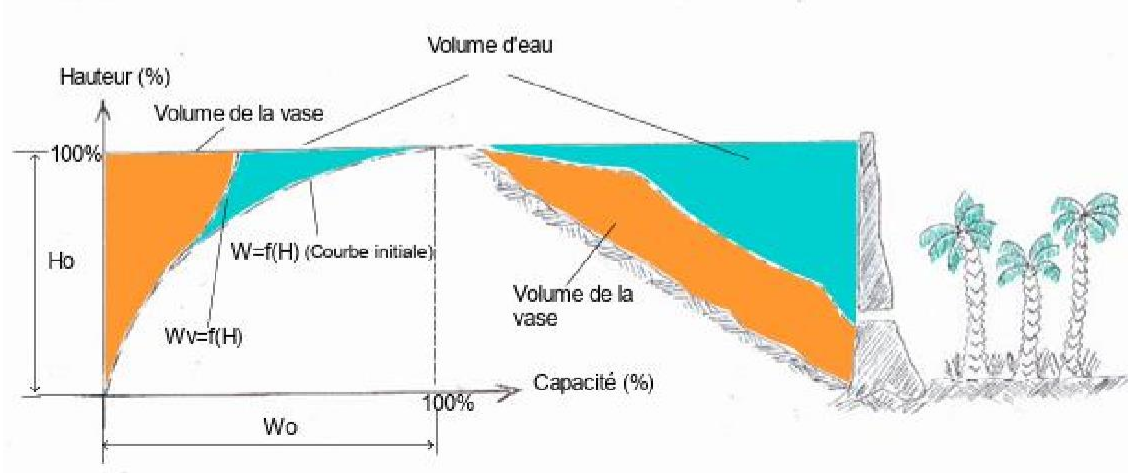
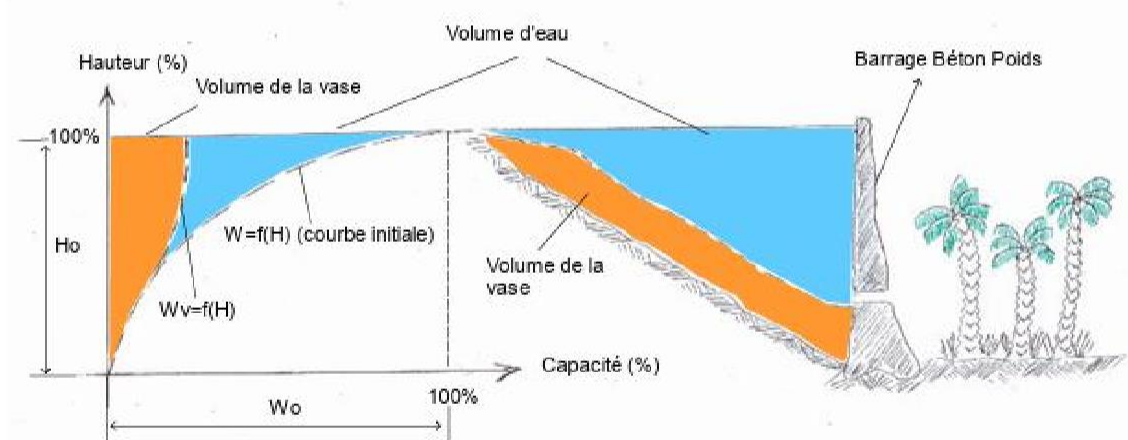
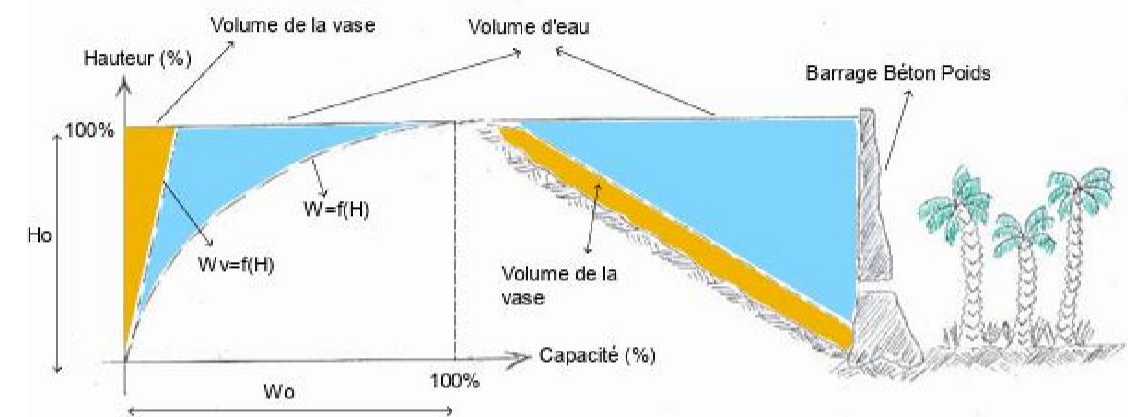
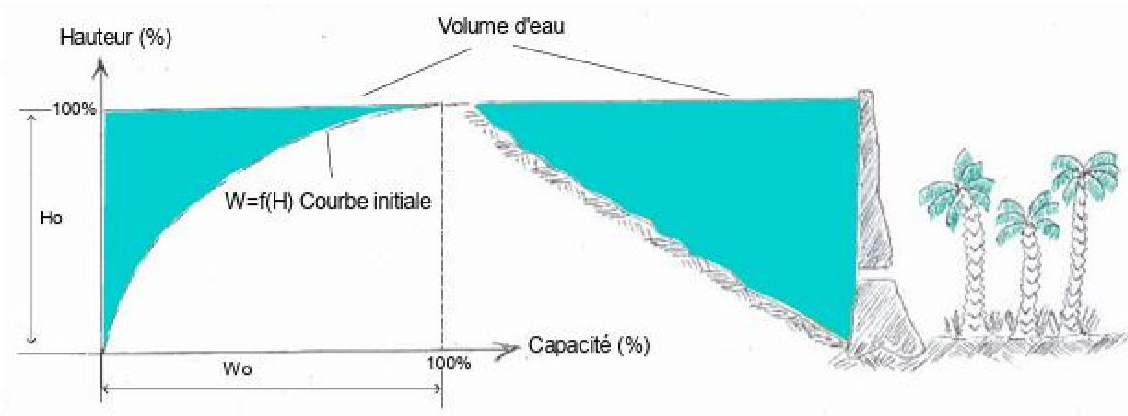


Figure (1.3) : Schémas des Problèmes posés par l'envasement. **Remini, (2005)**

1.4.1 Réduction de la capacité

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.

Sur la base du graphe de l'évolution de la capacité d'eau d'un barrage, nous avons représenté sur **figure (1.4)**, le diagramme de l'évolution temporelle de la capacité de stockage d'un barrage qui englobe la courbe : Hauteur – capacité initiale du barrage, la courbe de l'envasement à un période donnée ainsi qu'un schéma explicatif du réservoir du barrage. Il est intéressant de constater l'évolution de la capacité de stockage de l'eau depuis l'année de la mise en eau jusqu'au comblement total du barrage .



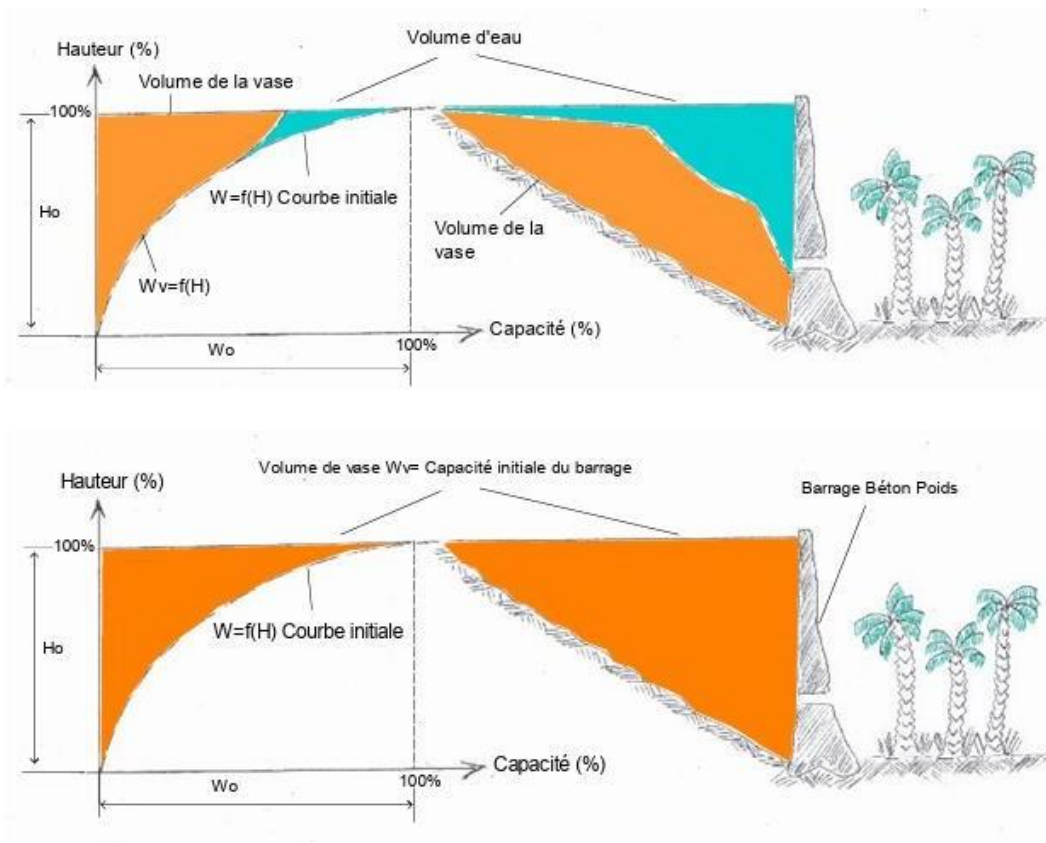


Figure (1. 4) : Diagramme de l'évolution temporelle de la capacité de stockage d'un barrage.
Remini et al., (2016)

1.4.2 Obturation des organes de vidange

Un autre danger présenté par l'envasement est celui du non fonctionnement des organes de vidange de fond, et de ce fait toute opération de vidange de la retenue est impossible.



Figure (1. 5) : Blocage de la vanne de fond de la deuxième digue du barrage Boughezoul.
Reminiet al., (2011)

1.4.3 Sécurité 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. Ceci se traduit par l'accroissement de la masse spécifique qui peut atteindre 1,8 t/m³. Ce cas a été signalé aux barrages des Zardézas et K'sob.

Nous pouvons dire que si le taux de comblement d'une retenue dépasse 50% de la capacité initiale et que la vase est en contact avec l'ouvrage, dans ce cas, il faut prendre au sérieux la stabilité du barrage. C'est le cas des barrages de Oued EL Fadda et Foum El Gherza .

1.4.4 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 (des canaux) 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, c'est ainsi que ces particules fines vont se déposer dans les canaux réduisant leurs sections mouillées et bien sûr le débit d'eau véhiculée. Le curage et le nettoyage des canaux deviennent des opérations quotidiennes.



Figure (1.6) : Curage d'un canal par les moyens mécaniques Remini et al.,(2011) .

1.4.5 Dégradation de la qualité de l'eau

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



Figure (1.7) : Couleur verte de l'eau du barrage. Remini,et al., (2011)

1.5 Mécanisme de l'envasement

Au moment de l'arrivée de la crue au niveau des eaux calmes du réservoir, les matériaux grossiers se déposent dans la zone de remous en formant un « delta » en queue de la retenue. Les particules fines sont piégées dans la retenue et commencent à se déposer, se tasser et à se consolider en diminuant ainsi progressivement leur capacité de stockage en eau. Lorsque la concentration des sédiments est très élevée, les particules fines plongent au fond de la retenue et s'y écoulent sous forme d'un courant de densité voir **figure (1.8)**. La configuration géométrique des retenues sous forme de canal pour la plupart des barrages de l'Afrique du nord favorise les courants de densité à se propager jusqu'au pied du barrage. En l'absence d'ouverture des vannes, les sédiments drainés par les courants de densité, se déposent et se tassent puis se compactent selon leur nature, et les conditions physico- chimiques du milieu. Cette consolidation peut gêner, plus tard, l'évacuation des sédiments accumulés dans la cuvette lorsque les manœuvres des vannes seront opérées très en retard. **Remini. B , (2005)**

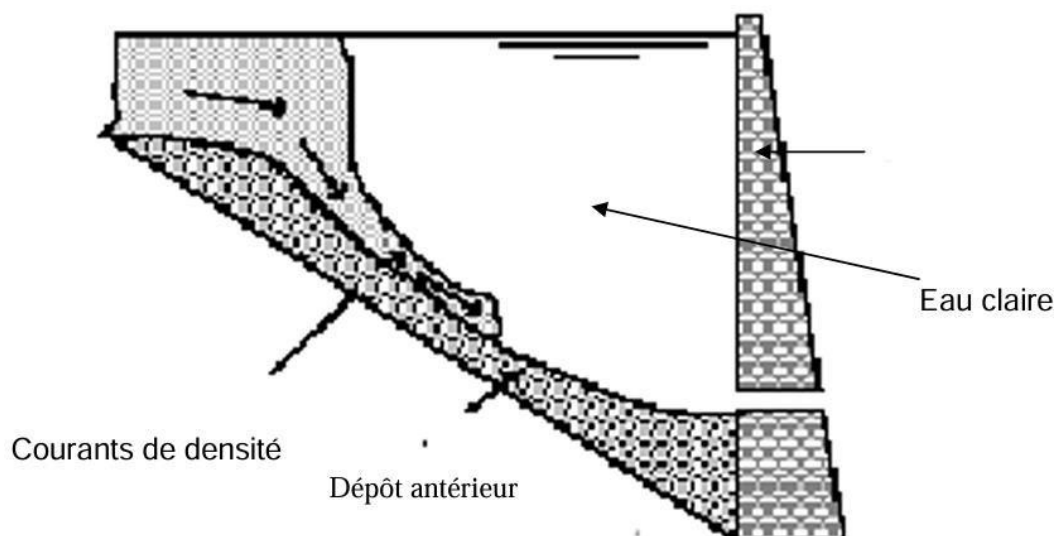


Figure (1.8): Propagation d'un courant de densité. Remini B, (2005)

1.6 L'érosion des bassins versants

L'érosion désigne le déplacement de sol ou de roches sous l'action combinée de la gravité et des éléments naturels tels que le vent, la pluie, le ruissellement de l'eau ou les vagues. Ce phénomène naturel entraîne le transfert progressif de grands volumes de matière depuis l'amont des bassins versants vers l'aval.

Ce processus joue un rôle très important dans le façonnement des paysages. Il dessine la morphologie des côtes ou la forme et l'emplacement des vallées. Il est généralement lent, mais se produit parfois de manière brutale, sous forme de mouvements de terrain. Sur des centaines de milliers d'années, l'érosion « gomme » les reliefs et alimente les vallées des fleuves et les plages en sédiments divers : limons, sables, galets, etc.

En Algérie, le taux d'érosion de la plupart des bassins versants dépasse 2000 t/km².an. Atlas tellien (Rhiou, Sly, Fodda, Mazafran, Isser). La chaîne atteint 4000 t/km².an Côte de Dahra, et bassin fortement dégradé de l'Oued Agrioum 5000 t/km².an. **Remini, (2008)??**



Figure (1. 9) : Phénomène d'érosion dans le bassin versant Chélif. **Remini, (2008)**

1.7 Les apports solides dans la retune

Le transport solide représente l'entraînement de granulat sous l'action d'un coulement fluide ;il existe dans différents phénomènes physiques ;naturels ou industriels ,et constitue un écoulement à surface libre ou en charge .

Le transport solide dans les cours d'eau constitue la seconde phase de l'érosion, il relève essentiellement du ruissellement et met en jeu diverses formes d'écoulement de l'eau dans la nature. Les matériaux alluvionnaires constituant le lit des cours d'eau proviennent de l'élaboration des éléments de surfaces en générale de matériaux meubles du bassin versants, si l'on tient compte que de l'érosion en nappe évaluée au maximum à 20t /ha/an , cette ablation est de l'ordre de 1,3 mm/an **Bouvard M ,(1984)**.

Les apports solides provenant de l'amant du barrage sont fonction essentiellement des facteurs suivants :

- Volume et intensité des particules .
- Géologie et nature de sol .
- Couverture du sol (végétation, fragment de roches) .
- Utilisation et exploitation du sols (methode de culture, exploitation forestiere, chantier de construction) .
- La geomorphologie et topographie .
- Reseau hydrographique (pente, forme, dimensions et tracés des canaux) .
- Caractéristiques des sediments (granulométrie et minéralogie) .
- Hydraulique de lit (rugosité, rayon hydraulique,...).

✚ Les eaux des cours d'eaux transportent les sédiments sous deux formes:

- **par charriage.**
- **en suspension.**

1.7.1 Les apports solides par charriage

Ils concernent les matières minérales en phase solide, plus particulièrement les plus gros éléments qui contribuent à la formation et à l'équilibre du lit, principalement la pente. Ces éléments sont transportés sur le fond par roulement, glissement, et aussi par suspension lorsque le débit liquide est très important.

Le débit charrié dans les retenues Algériennes est estimé entre 10 à 15% du débit en suspension.

- ❖ Le charriage dit transport de fond, constitue un sérieux problème en régularisation des débits des cours d'eau et dans la construction des ouvrages hydrotechniques. **Graf , (2000).**

1.7.2 Les apports solides en suspension

Ils concernent les éléments fins du transport solide qui sont maintenus en suspension, par la turbulence de l'eau, créée par les matériaux du lit. La quantité de matériaux en suspension dépend uniquement des quantités d'éléments très fins, qui proviennent de l'érosion des bassins versants, due au ruissellement des eaux de pluie.

Les concentrations d'éléments en suspension des oueds Algériens dépassent souvent les 100 g/l surtout pendant les premières pluies d'automne.

- ❖ Si les particules ne sont jamais en contact avec le fond, elles se déplacent en étant emportées par l'écoulement. Ceci concerne les particules très fines.(suspension intrinsèque) **Graf, (2000).**

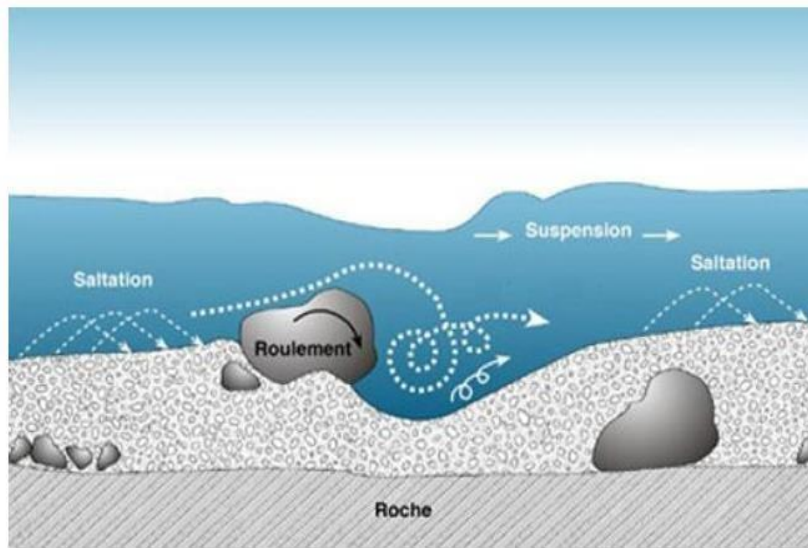


Figure (1.10) : Mode de transport des particules dans les cours d'eau. Serbah, (2011)

1.8 L'envasement des barrages en Algérie

Lors des derniers levés bathymétriques effectués par l'ANBT entre 2004 et 2010 , sur les 62 barrages en exploitation, seuls 59 d'entre eux ont fait l'objet d'un levé o , les résultats suivants ont été enregistrés :

- Barrages en exploitation : 59 barrages;
- Capacité initiale cumulée : 6,704 milliards de m³ ;
- Capacité totale au dernier levé (2004/2006) :5,806 milliards de m³ ;
- Volume perdu par envasement à 2006:898 hm³ ;
- Taux d'envasement : 13,4%;

Les pertes de capacité enregistrées dans les retenues sont d'autant plus inquiétantes que la vase accumulée durant ces années empêche parfois le fonctionnement des équipements hydromécaniques, la réduction des capacités dépasse :

- 80% pour les barrages de Fergoug, Foug El Guiss ;
- 50 % pour les barrages de Foug El Gherza, Bouguezoul, Ghrib, Oued Fodda et K'Sob ;
- 40 % pour les barrages de Bouhaifia, Iguil Emda et Zardezas ;

Selon les estimations prévisionnelles, l'envasement à atteint :

- 950 Hm³ en 2010 (soit 21% de la capacité globale d'emménagement) ; Et il atteindrait
- 1 100 Hm³ en 2020 (14% de la capacité),
- 1 200 Hm³ en 2030 (13% de la capacité) ;

A partir des données disponibles, l'ANBT a estimé l'envasement global prévisible à différents horizons présenté en Tableau (1. 1).

Tableau (1 .1) : capacités de certains barrages Algériens en l'an 2010 . ANBT (2010)

Barrages	Capacité initiale (10^6 m^3)	Quantité de vase en 2010 (10^6 m^3)
Fergoug	18	31
zardezas	31	37
Oued El fodda	228	82
Ghrib	280	227
K'sob	11,6	11,1
Foum El Gherza	47	39,5

1.9 Conclusion:

A la fin de ce premier chapitre, on peut dire que la sédimentation des barrages est un phénomène naturel très complexe qu'il faut étudier de l'amont à l'aval du barrage. Les conséquences de ce phénomène sont extrêmement gênantes. Elle a un impact au niveau du réservoir lui-même, mais aussi en amont et en aval du barrage.

Chapitre 2:

Valorisation des vases des barrages

2.1 Introduction

Les sédiments dragués des retenues de barrage (vase) constituent un problème majeur avec l'importance de leur volume, il est nécessaire de gérer ces déchets car ils constituent d'une part une contrainte pour l'environnement (inondation des berges avec nuisance esthétique ou un danger toxique) et d'autre part, un gisement de matières premières ou de matériaux à valoriser. Ces solutions peuvent régler en partie le problème du dévasement au point de vue cout et stockage.

Dans un esprit de développement durable, et pour une bonne gestion de l'environnement, plusieurs domaines pour prévoient l'utilisation de la vase en tant que matière première notamment le génie civil.

Le présent chapitre a pour but de donner quelques exemples d'utilisation des sédiments dragués du barrage dans différents domaines de valorisation tel que l'industrie des matériaux de construction comme la brique ,la céramiqueetc. , ils peuvent aussi être utilisés dans le domaine de l'agriculture comme un fertilisant des terres pauvres en sel minéraux et dans le domaine des travaux hydrauliques et des travaux publics (domaine routier), comme un matériau de remblai.

2.2 Les moyens de lutte contre l'envasement

La lutte contre l'envasement des barrages en Algérie doit être solutionné tant les enjeux sont énormes. Tous les spécialistes s'accordent à dire que les pays du Maghreb d'ici à 2025 connaîtront des problèmes aigus d'eau. Pour prolonger la durée de vie des grands barrages, l'entretien de ces ouvrages est devenu aujourd'hui une nécessité pour les services d'hydraulique. En plus de la diminution du volume utile des barrages, la stabilité de certains ouvrages est menacée par la forte poussée des vases. La rareté des sites favorables à la réalisation de nouveaux barrages a poussé les services d'hydraulique à entretenir les barrages en exploitation. Plusieurs méthodes (curatives et préventives) de lutte contre l'envasement ont été appliquées.

2.2.1 Méthodes préventives

La première idée qui vient à l'esprit pour réduire l'envasement, est celle qui consiste à empêcher la formation des sédiments - produits de l'érosion - par un traitement efficace des bassins versants. A titre d'exemple, on peut citer quelques méthodes utilisées en Algérie.

- Le reboisement.
- La restauration et défense des sols.
- La formation des banquettes et correction torrentielle.
- La création de petits barrages en gabions dans les petits thalwegs.
- La création de plages d'épandage.
- La plantation des cultures suivant les courbes de niveau.
- La plantation de végétation à longues tiges dans les oueds. Il est à noter que les tamaris qui ont poussé à l'amont des barrages de Bouhnifia, Fergoug et Cheurfas constituent de véritables pièges à sédiments.

IL a noté qu'un programme reboisement a été lancé par l'ANBT pour l'implantation de **2 millions d'arbres** à l'amont immédiat des retenues des barrages sur l'ensemble du territoire nationale, un total de **2 611 239** plants ont été implantés depuis 2016.

Des études de protection des bassins versants ont été réalisées sur l'ensemble des bassins existants et des dispositifs de protection antiérosifs ont été identifiées

2.2.2 Méthodes curatives

2.2.2.1 Surélévation des digues

La surélévation d'un barrage est un des moyens de récupération de la capacité perdue par l'envasement. Elle doit obéir à certaines conditions particulières telles que :

- La géologie du sol
- L'hydrologie du bassin versant
- Le rapport coût /gain de capacité

En Algérie les surélévations ont constitué des solutions seulement pour les barrages en béton (rehaussement de la crête de l'ouvrage), pour les barrages en terre et en enrochement, les surélévations ont été réalisées par le rehaussement des seuils d'évacuation des crues (barrage Bakhada, Ghrib, Beni Amrane et Foug El Gueiss).



Figure (2.1): Barrage de Ksob surélevé en 1977. (ANBT, 2004).

2.2.2.2 Les Chasses (dites à l'Espagnole) :

Méthode utilisée pendant les premières crues pour les barrages de moindre importance, Cette méthode est efficace quand elle est possible. Elle consiste à vider complètement le barrage au début de l'automne et à le laisser vider, toutes vannes ouvertes, jusqu'aux premières pluies. La première crue enlève sans difficulté les vases de l'année non encore consolidées. La technique de « chasse à l'espagnole » est appliquée au barrage de Beni Amrane. Environ 3 Millions de m³ de vase ont été évacués durant la période 1988-2000 , avec un rendement de 26% du total des sédiments entrants

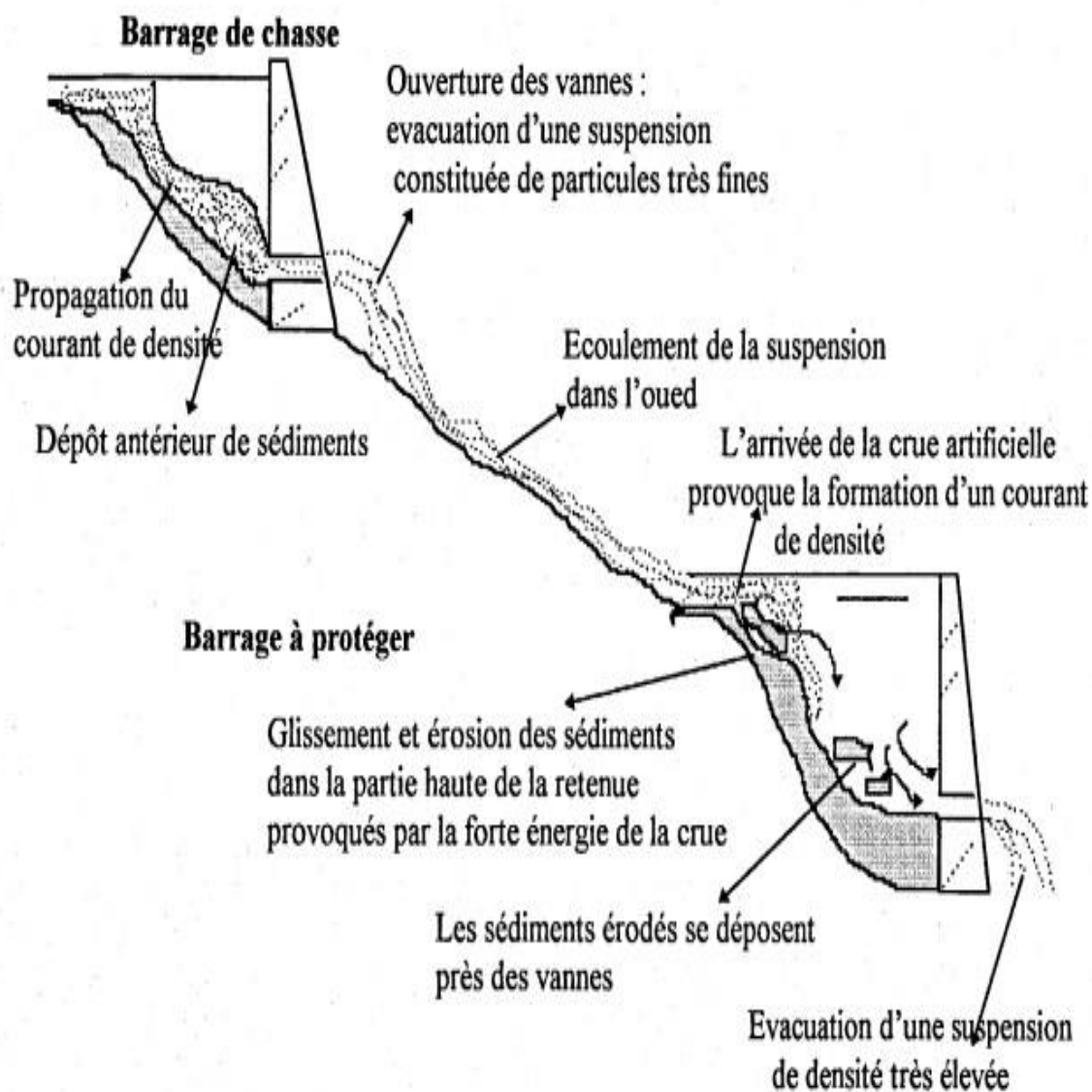


Figure (2.2): Fonctionnement d'un barrage de chasse. (Remini,1997)

2.2.2.3 Soutirage des courants de densité

Une méthode pratique qui consiste à évacuer les sédiments drainés par les courants de densité sur le fond de la retenue en utilisant des pertuis de vidange (Vannettes de dévasement ou vanne de fond) du barrage.

La majorité des retenues en Algérie présentent les conditions favorables à l'apparition des courants de densité. En effet, 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.

Des dispositifs de ce genre existent au niveau des barrages de Ighil Emda, Sidi-Mohamed Ben-Aouda, K'sob, Zardezas, Deurdeur, Guenitra, Ain-Dalia, Cheurfas.... etc.

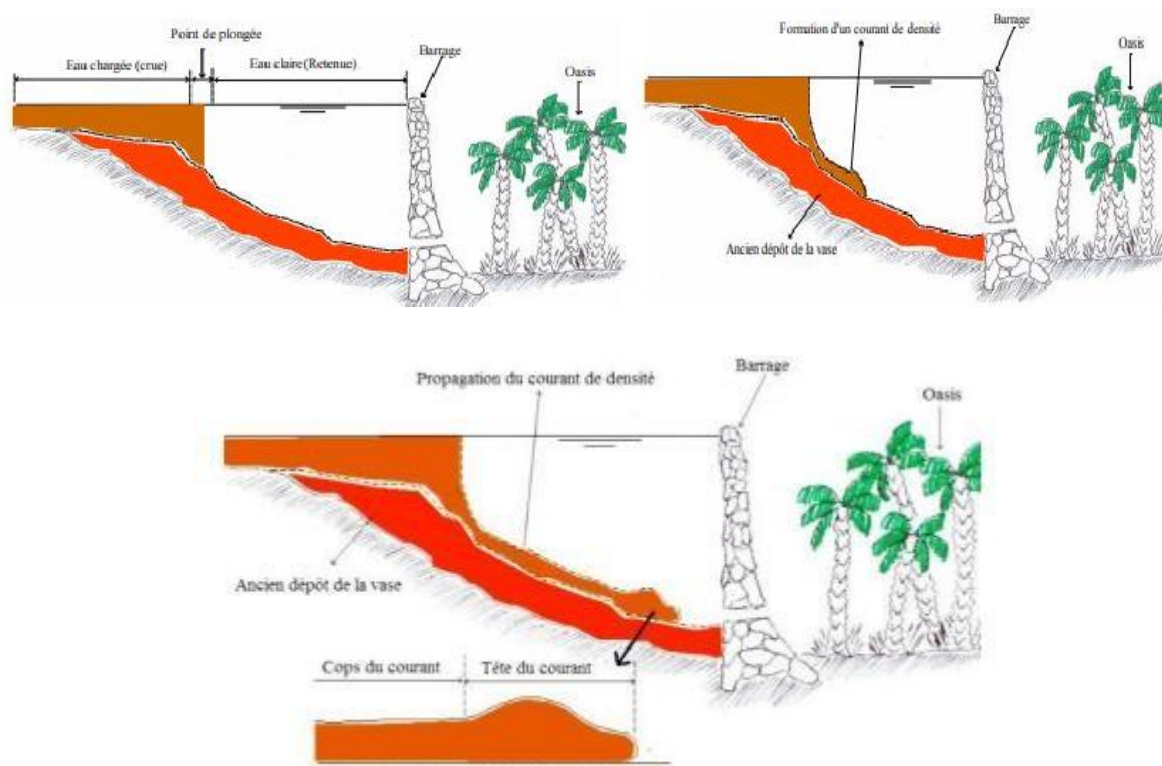


Figure (2.3): Propagation du courant de densité dans un barrage (Remini, 2019).

2.2.2.4 Travaux spéciaux (perçement du parement amont du barrage Oued Fodda)

Le barrage Oued Fodda, W. de Chlef, a été construit à partir de 1928 et a été mis en eau à partir de 1932, pour atténuer les effets néfastes de l'envasement accéléré de la retenue des travaux ont été entrepris en 1957 pour la réalisation d'une prise d'eau de secours, consistant en une galerie de 1 m de diamètre et de 4 m de long, percée dans le parement amont du barrage.

2.2.2.5 La technique de dragage des barrages :

Le dragage est une opération très coûteuse qui n'est pas économique pour les grandes retenues. Dans certains pays, cette opération s'impose, surtout lorsqu'il existe peu de sites favorables à la réalisation de nouveaux barrages, comme en Algérie par exemple. Lorsque la stabilité de l'ouvrage est menacée, ou tout simplement lorsque le barrage présente un intérêt économique, le dévasement devient obligatoire. Cette solution a comme but de :

- Servir à récupérer la capacité des retenues moyennes.
- Employé soit pour extraire les sédiments des retenues d'une chaîne d'usines hydro-électriques, soit pour abaisser la cote de la crue de la rivière, soit pour maintenir la profondeur nécessaire à la navigation sur la longueur du remous du barrage.

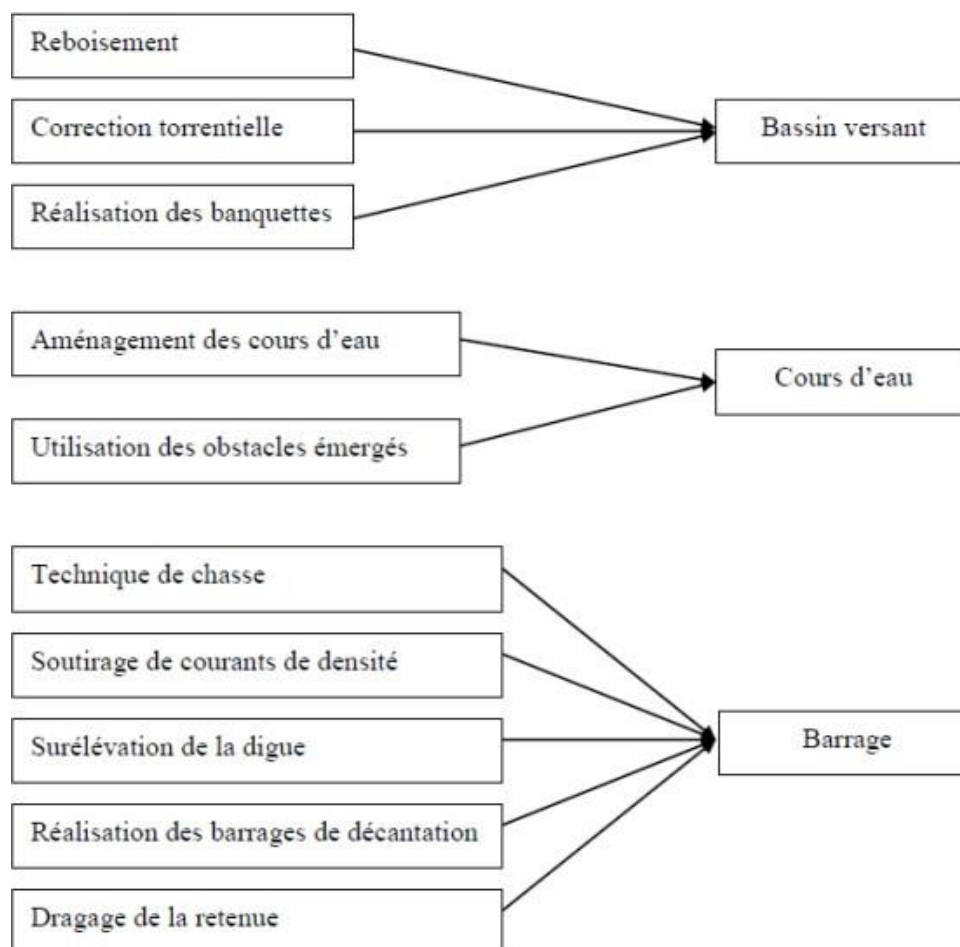


Figure 2.4: moyens de lutte contre l'envasement

2.3 Valorisation des sédiments de dragage

La valorisation des sédiments de dragage est une solution très intéressante qui s'inscrit dans la philosophie de développement durable, visant à la fois le dégagement des matériaux entravant l'activité portuaire, et l'exploitation de ces ressources (sédiments) dans plusieurs domaines tout en respectant les critères environnementaux.

2.4 Les filières de valorisation des sédiments de dragage

La valorisation des sédiments de dragage constitue une issue pour le problème de gestion de ces matériaux. Nombreuses sont les voies possibles de valorisation des sédiments de dragage. En effet, les secteurs de travaux publics, l'environnement, ou l'agriculture et aquaculture peuvent absorber des quantités importantes de ces matériaux, et constituer par conséquent des destinations potentielles pour les sédiments de dragage.

2.4.1 Utilisation de la vase comme matériau de construction en génie civil :

Les possibilités offertes pour la valorisation de matières issues du dragage sont nombreuses. Ces applications concrètes dans le domaine de matériaux de construction ont été mise en évidence, plusieurs études ont été élaborées dans ce domaine montrent ces possibilités de valorisation dans le génie civil.

2.4.1.1 Utilisation de la vase dans l'industrie du béton et mortier

Il est utile de pouvoir introduire les sédiments de dragage sous forme de granulats dans la fabrication du béton, afin de couvrir la demande croissante de ce matériau. En Algérie, des études ont été faites concernant la valorisation de la vase issue des barrages, telle que celle de **Belas, et al., (2011)**, ont étudié la valorisation des vases issues du barrage de Fergoug, dans la composition du béton, en dosages définis substituables au ciment (10 à 15)% et 20 % de vase par rapport au dosage en masse du ciment. Le béton confectionné sera par la suite testé vis-à-vis du comportement mécanique en compression et du retrait. Les résultats ont été satisfaisants pour ces bétons à base de vase. fig. (2.5)

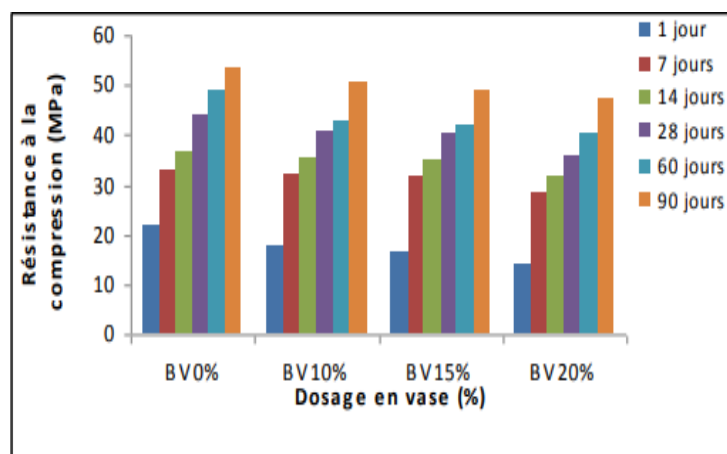
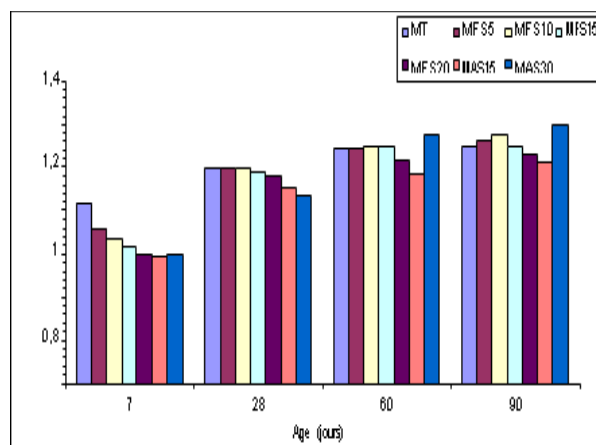


Figure (2.5): Évolution des résistances à la compression en fonction du temps et du dosage en vase. (**Belas, et al., (2011)**).

2.4.1.2 Utilisation de la vase dans les liants (ciments):

La composition chimique des sédiments (principalement de la silice, quartz, calcite,...) rappelle celle de la matière brute utilisée pour la fabrication du clinker. Il faut cependant trouver le moyen de les introduire dans l'industrie cimentaire. C'est en 2004 que l'étude de la fabrication de clinker en utilisant les sédiments a été entamée par (**Dalton., et al., 2004**). En Algérie, pour la production d'un ciment composé de type CEM II de classe élevée, les cimenteries utilisent une pouzzolane naturelle.



Figure(2.6) : Comparaison des évolutions de la résistance en compression des mortiers MT. (SEMCHA et al .2006)

2.4.2 Utilisation dans l'industrie des matériaux rouges

2.4.2.1 Fabrication de brique

La vase a aussi été sujet d'étude de valorisation dans la composition des briques. **Ben Allal, et al., (2011)** ont étudié la valorisation des sédiments provenant des ports de Larache et de Tanger, en substitution partielle de l'argile, comme matière première dans la fabrication des briques, leurs briques ont été fabriqués à base d'un mélange constitué de 70% de sédiment et 30 % d'argile. Après séchage à l'air libre, broyage et tamisage à un (01) mm, ils ont été malaxés et moulés puis finalement séchés à une température de 920°C pendant 32 heures.

En Algérie, le sujet aussi a été traité par **Semcha, (2006)** par son étude de valorisation de la vase pour la fabrication des briques autoclaves.

Sédiment de Larache

Sédiment de Tanger

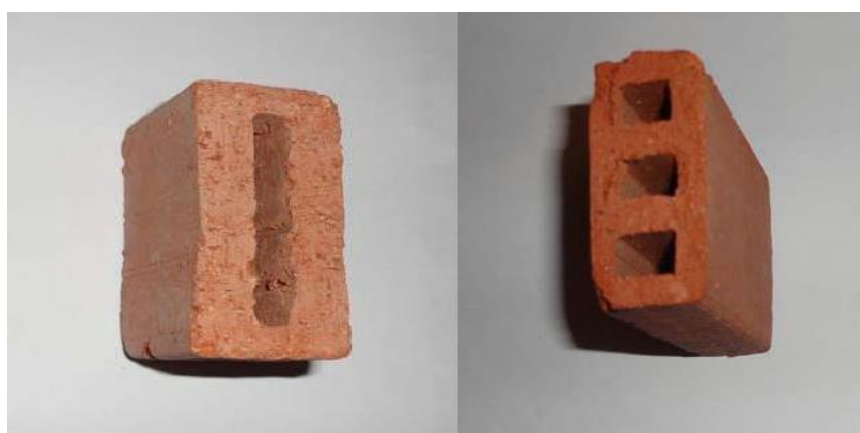


Figure (2.7) : Briques fabriquées avec un taux de substitution de 70% de sédiments, (Ben Allal et al. 2011).

Labiod.et al., 2004, ont traité la vase du Barrage de Bouhnifia en vue de sa valorisation. Leur étude s'est basée sur des analyses physiques, chimiques et minéralogiques de la vase prélevée dans la retenue du barrage de Bouhanifia. Les résultats obtenus vérifient bien les normes d'une argile utilisée pour la fabrication de la brique. tableau (2.2).

Tableau (2.2): Résultats des essais de compression .

force de rupture (kg)	Contrainte de rupture (bars)	
	vase	Argile de Hacine
11	72,75	
8	52,91	
9	59,52	59,52
6	39,68	39,68
14	92,59	
3		19.84
45		26,45
5		33,06
13		85,97

2.4.3 Utilisation de la vase dans l'industrie de la céramique

La composition chimique et minéralogique de la vase du barrage de Gargar répond aux conditions du choix d'une argile pour l'industrie de la céramique. Pour cela, des carreaux sont préparés en ajoutant d'autres composantes telles que le feldspath et le sable. Ces carreaux sont donnés des résultats après la cuisson proche à d'autres carreaux préparés par une argile utilisée déjà dans la société Céramis Souafliia. La vase confirme qu'elle est utilisable dans la fabrication de la céramique jusqu'à un taux de 65%. Les résultats obtenus représentés dans la figure (2.8) montrent que la résistance à la flexion augmente en fonction de la température jusqu'à la valeur maximale qui est de 1100 °C , avec une résistance à la flexion de 300 kgf/cm². Cette valeur est proche à celle du mélange initial commercialisé (Rf=314 kgf/cm²).

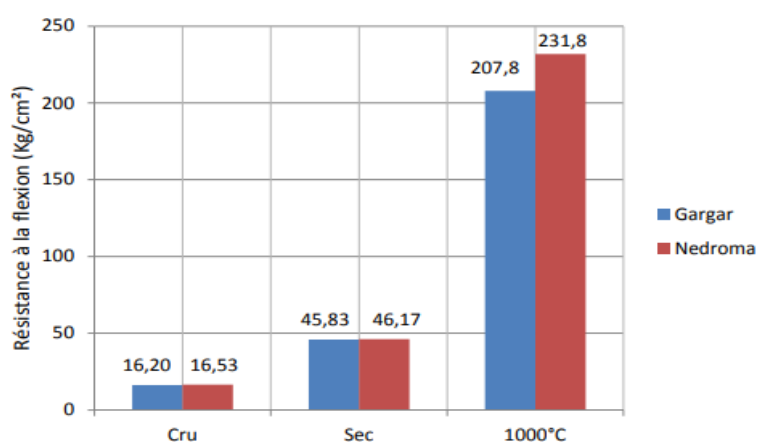


Figure (2.8): Résistance à la flexion des deux types de carreaux (Gargar et Nedroma).
(Meskine A., 2013)

2.4.4 Utilisation comme matériau de construction dans les travaux hydraulique

Il existe plusieurs exemples d'utilisation de la vase dans le domaine de réalisation des travaux publics et hydrauliques. La vase peut être utilisée comme une argile crue naturel dans la réalisation du noyau d'argile des retenues collinaires, comme une couche de base dans le bassin d'une station d'épuration par lagunage et même dans la réalisation d'une décharge public sous forme d'une couche aussi, la vase peut être utilisée aussi comme une argile cuite sous forme des matériaux et pierre de la maçonnerie.

2.4.4.1 Noyau d'argile d'une retenue collinaire

L'étanchéité de la digue d'un barrage en terre ou une retenue collinaire est assurée par un noyau central en argile, la mise en place de l'argile pendant la réalisation se fait sous forme des couches de 30 cm compacté par un engin à pieds de mouton. L'argile compactée devient étanche par une certaine teneur en eau. C'est la teneur en eau optimale pour un poids volumique sec maximale donné par l'essai Proctor. Parmi les exemples de lutte contre l'envasement est la construction des digues de décantation en amont de la retenue du barrage envasé pour freiner l'arrivée des sédiments et amortir la vitesse d'écoulement du cours d'eau. Le matériau principal pour la construction de ces digues est l'argile, dont on peut utiliser la vase du barrage.



Figure (2.10): Noyau centrale d'argile, cas du barrage de kramis.

2.4.5 Utilisation dans le domaine d'agricole

2.4.5.1 Comme fertilisant des terres agricoles

Plusieurs études ont été élaborées dans ce domaine. A titre d'exemple, en **2002 Labiod** a mis en évidence une possibilité d'utiliser la vase du barrage de Fergoug et celle de Bouhanifia comme fertilisant des terres agricoles.

Selon **Vilain (1987)**, un bon sol cultivé est composé de 96 à 98% de la matière minérale et de 1 à 3% de la matière organique. Cette dernière joue un rôle très important dans l'équilibre du bilan hydrique du sol ; diminue aussi la remontée capillaire des eaux et l'évaporation pendant les périodes du manque d'eau et garde une humidité par sa caractéristique d'emménagement de l'eau vu le tableau suivant:

Tableau (2.1): Evolution de la biomasse microbienne totale selon les stades végétatifs du blé. (Oulbachir et al ., 2018)

stades sols	T1	T2	T3	T4
Sol 1	6144.10 ⁶	3531,92.10 ⁶	12550,26.10 ⁶	631,68.10 ⁶
Sol 2	12295,08.10 ⁶	4740,84.10 ⁶	120448,795.10 ⁶	676,766.10 ⁶
Sol 3	1850,12.10 ⁶	3652,58.10 ⁶	8726,34.10 ⁶	1383,87.10 ⁶
Sol 4	1850,12.10 ⁶	3652,58.10 ⁶	8726,34.10 ⁶	1383,87.10 ⁶

2.4.6 Utilisation de la vase pour Construction des routes et chaussées

Vu l’absence de restriction sévère sur les matériaux utilisés dans la conception routière, il est plus facile d’introduire des éléments issus de déchets de dragage dans la conception des ouvrages et infrastructure routières. Plusieurs travaux ont été élaborés dans ce domaine d’application de la vase soustraite des barrages, notamment en Algérie.

On site à titre d’exemple, l’étude de l’usage des sédiments de dragage du barrage de Cheurfas II (Algérie) dans la formation de matériaux routier réalisé par **Bourabah et al.,(2009)**.

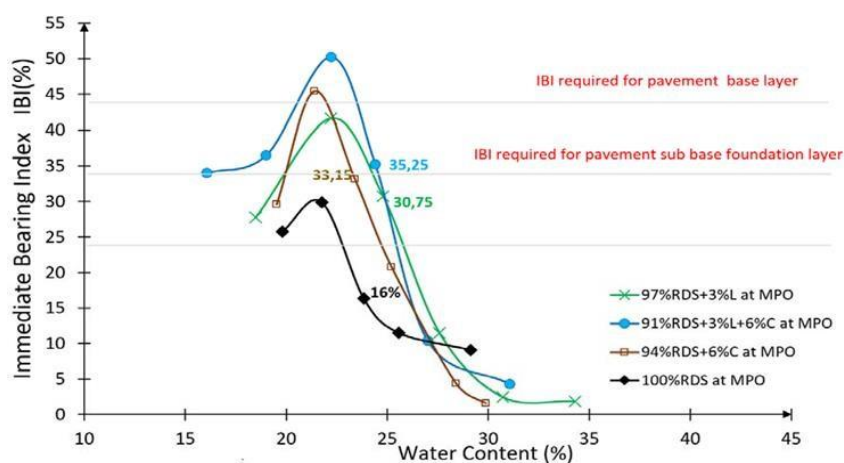


Figure (2.11): Courbes de compactage et de portance (IBI) du matériau après traitement au liant . (Bourabah et al ., 2013)

Les différents traitements utilisés sont les suivants :

- a) *Traitement physique* : il est utilisé afin de modifier la structure physique des sédiments en réduisant les volumes, les teneurs en eau ou en séparant les fractions polluées. Le traitement consiste à extraire la pollution, son principe est basé à ce que les polluants sont préférentiellement fixés sur les fines et les matières organiques ;
- b) *Traitement chimique* : il sert à enlever ou transformer la contamination chimique des sédiments de façon à abaisser les teneurs en polluants et d’éliminer son caractère toxique ;

- c) Traitement biologique : il vise la modification de la nature et de la structure du sédiment selon des approches mettant en jeu des êtres vivants (bactéries, champignons, végétaux) et leur métabolisme pour dégrader les polluants ;
- d) *Traitement par stabilisation / immobilisation* : l'objectif est d'immobiliser les polluants des sédiments soit en les piégeant au sein de barrières actives (confinement...) ou soit en les stabilisant en y ajoutant des liants destinés à les rendre inertes (c'est le cas de nos travaux de recherche) ; par exemple le tableau de suivant :

Tableau (2.2): Paramètres de compactage du RDS et du RDS traité avec des liants.(Bourabah et al .,2013)

Type	Paramètres de ompactage		IBI _{MPO} (%)	Corrélation	
	γ (kN/m ³) d _{max}	W _{MPO} (%)		γ (kN/m ³) d _{max}	W _{MP} (%)
Sédiments naturels (RDS) LL = 55%					
RDS en MPO	16.33	23.5	16	16.95	18.20
97%RDS + 3%L en MPO	15.74	24.79	30.74	16.8	18.91
94%RDS + 6%C en MPO	15.95	23.38	33.15	16.56	18.51
91%RDS + 6%C + 3%L e n MPO	16.2	24.4	35.25	16.90	18.40

Finalement, la composition obtenue peut bien être utilisée en couche de fondation et en couche de base. Dans ce domaine particulièrement, un autre type de sédiments ont été pris comme sujet de plusieurs études de valorisation, ce sont les sédiments marins.

2.4.7 Utilisation de la vase Couche étanche pour un bassin de lagunage

Les bassins de décantation d'une station d'épuration par lagunage nécessitent une étanchéité pour éviter l'infiltration des eaux usées vers les eaux souterraines et la pollution de la nappe par la suite. Pendant la réalisation et après l'étape de terrassement et l'évacuation des déblais, ces bassins sont couverts par les rouleaux de géomembrane. Ce dernier est imperméable mais coute très cher. L'utilisation de la vase de barrages peut servir à minimiser le cout de réalisation et jouer le même rôle d'étanchéité des bassins de décantation qu'un tapis en géomembrane. Le même cas pour les centres d'enfouissement techniques ou ce qu'on appelle les décharges publiques. Les déchets sont remblais dans des bassins qui doivent être .

2.5 Travaux de recherches effectués dans ce domaine

En Algérie, comme à l'étranger, et depuis plus de dix ans, les gestionnaires se sont orientés vers les filières de valorisation des sédiments. La consommation importante et l'exploitation des matériaux de nature très variée dans le monde et particulièrement en France, dans le domaine routier, nous orientons vers le traitement des sédiments aux liants hydrauliques. Les applications en technique routière restent pour le moment dans le cadre de faible trafic. Nous citons dans ce qui suit quelques exemples de recherches :

Bakkali Y. Et al. (2016) , ont contribué à l’élaboration des briques en terre cuite à base d’une boue industrielle, cette étude présente la solution pour la gestion des boues avec double objectif, le premier est d’ordre environnemental et le second est d’intérêt économique. La caractérisation physico-chimique d’une boue provenant d’une industrie de céramiques sanitaires a montré qu’elle peut être utilisée comme matière première de substitution dans la préparation des briques, en vue de l’obtention d’un nouveau matériau de construction dont la qualité est analogue aux matériaux fabriqués avec 100% d’argile. (Figure 2.12)

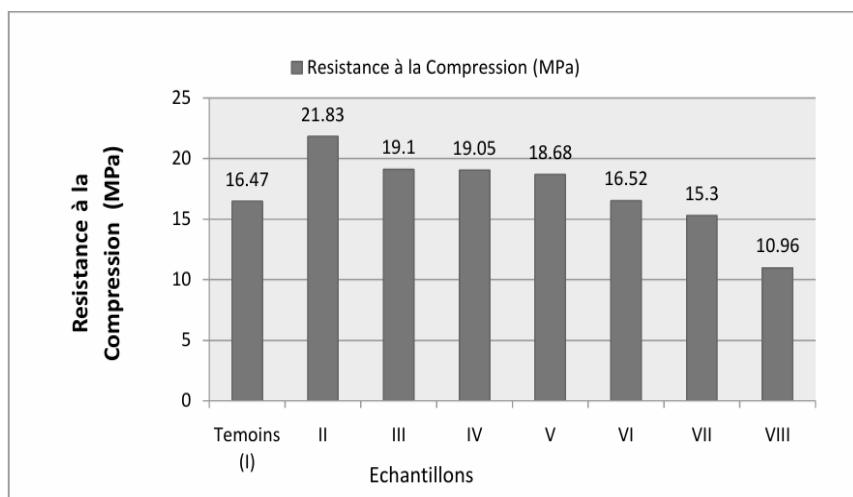


Figure (2.12): Résistance à la compression des briques . (Bakkali et al ., 2016)

Bhuvaneshwari et al, (2007): ont étudié la stabilisation et la modification microstructural des sols argileux dispersifs par l’ajout de la chaux. L’effet été étudié par l’essai de gonflement libre, l’essai de trou d’épingle, le double hydromètre, l’essai de miette et les essais chimiques.

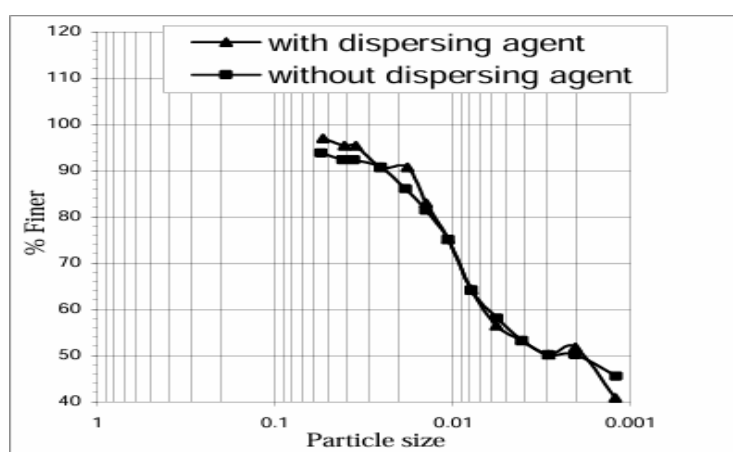


Figure (2.13): Test de l'hydromètre double pour la terre + 2 % de chaux + 11 % de cendres volantes. (Bhuvaneshwari et al, 2007)

Bouziane M.,(2014) a contribué à la caractérisation des processus du phénomène d'érosion et de dispersion des sols fins. Il s'agit de l'application des essais tel que la sédimentométrie en parallèle, essai d'émiéttage, l'essai de l'aiguille et les essais chimiques décrit selon les normes, pour quatre sols de la région de Tlemcen. Autrement dit qu'il s'agit d'une étude expérimentale de la dispersion pour les sols étudiés.

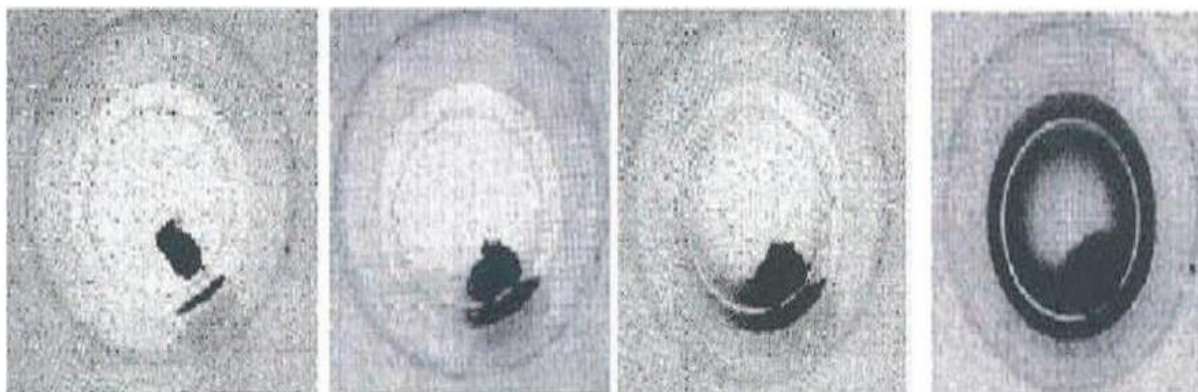


Figure (2.14) : Essais typiques de « Crumb test », a) niveau 1 : non dispersif, b) niveau 2 : intermédiaire, c) niveau 3 : dispersif, d) niveau 4 : très dispersif (**Bouziane et al.2014**)

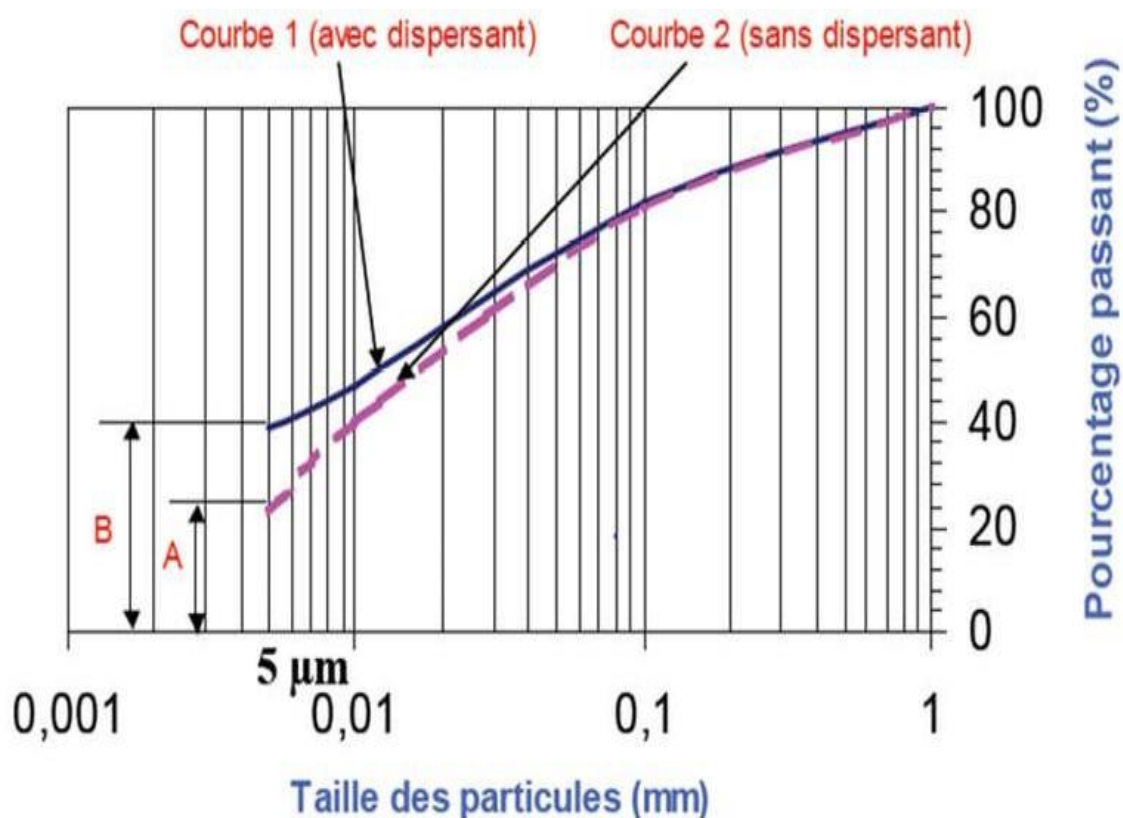


Figure (2.7) : Courbes granulométrique de l'essai de double sédimentation. (**Bouziane et al.,2014**).

L'étude de **Bourabah et al., (2023)** s'inscrit dans le cadre d'une recherche visant à valoriser les sédiments de dragage par le développement de formulations utilisables en technique routière. L'objectif de l'étude était de déterminer si les matériaux sélectionnés pour les couches de chaussée sont conformes aux normes de conception des routes, en particulier aux exigences spécifiques en matière de densité, de granulométrie, de propriétés plastiques, de matière organique et de performances mécaniques. Méthodes : Afin de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques des sédiments de dragage obtenus à partir d'échantillons prélevés dans le barrage de Bakhadda situé dans le climat semi-aride de l'ouest de l'Algérie, les sédiments ont été traités avec des liants en petites quantités (3 % de chaux (L), 6 % de ciment (C)) en vue de leur réutilisation dans la construction de routes .

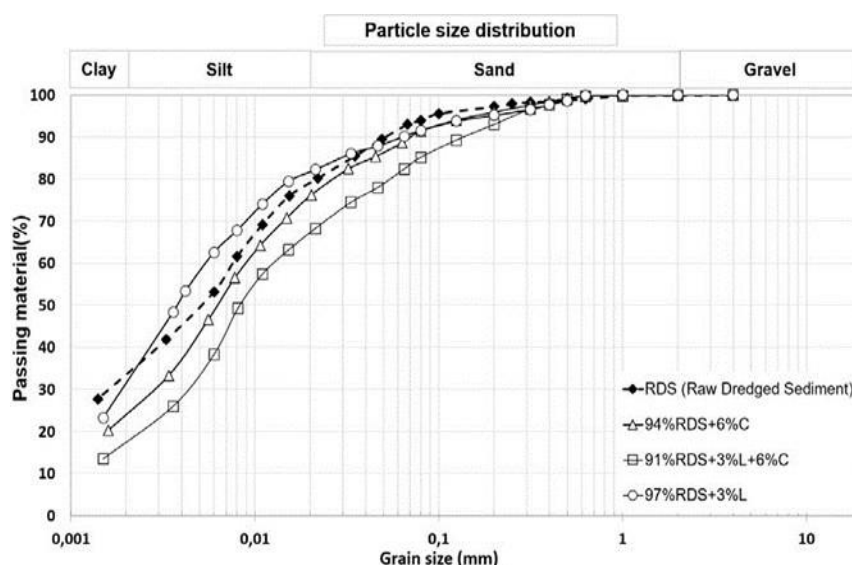


Figure (2.15) : Distribution granulométrique des RDS et des RDS traités à la chaux et au ciment. (**Bourabah et al., 2023**).

Gontran et al.,(2014) ont traité des sols limoneux et argileux avec la chaux. une technique largement utilisée pour améliorer et stabiliser les sols en vue de la construction de routes, d'autoroutes, de voies ferrées et de plates-formes, largement utilisée pour l'amélioration et la stabilisation des sols en vue de la construction de routes, d'autoroutes, de voies ferrées et de plates-formes. Cependant, il était nécessaire d'évaluer une série de caractéristiques inconnues et de propriétés pertinentes des structures traitées à la chaux pour une application dans un contexte hydraulique, par le biais d'études en laboratoire et d'expériences à grande échelle.

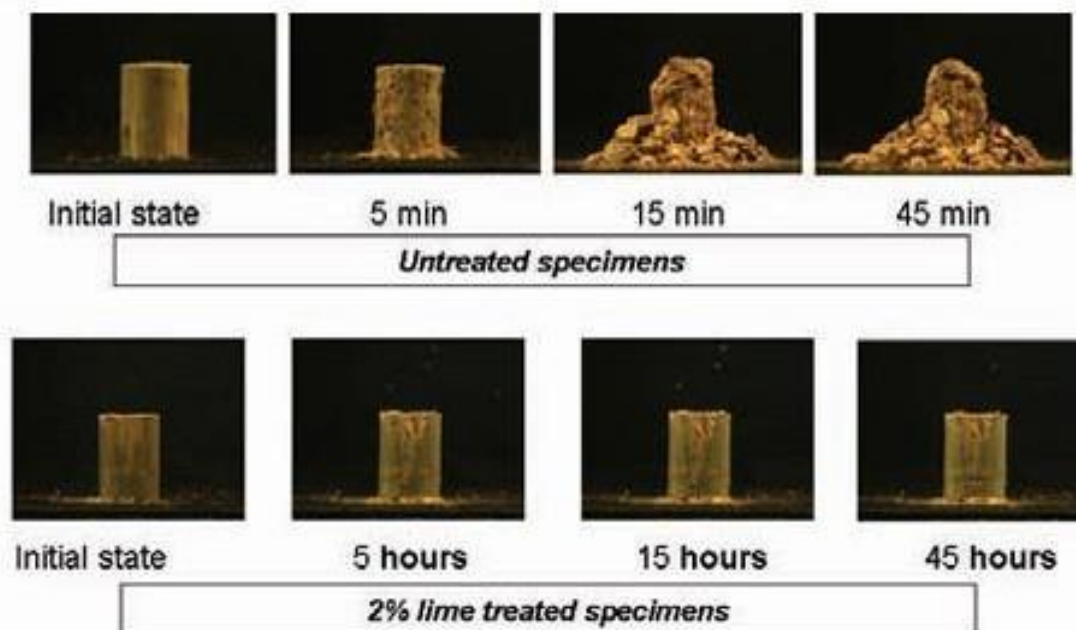


Figure (2.16): Essai d'émiettement renforcé réalisé sur le sol limoneux de d'Héricourt (PI=11), non traité (en haut, échelle en minutes), et traité avec 2% de chaux (en bas, échelle en heures). **Gontran et al.,(2014)**

2.6 Conclusion :

Au lieu de rejeter la vase issue du dragage dans le milieu naturel comme un déchet, on la donne une valeur par la réutiliser comme matériau de construction dans le domaine de réalisation de Barrages en terre, digues de protection et retenues collinaire.

Bassins pour les stations d'épuration par lagunage.

Centre d'enfouissement techniques (CET).

La vase peut être utilisée aussi comme une matière première dans l'industrie des matériaux rouges. Plusieurs études sont élaborées dans ce domaine sur des échantillons de vase des barrages envasés.

La réutilisation de la vase vise deux objectifs : éviter les problèmes d'ordres écologiques posés par le rejet des sédiments dans la nature d'un côté et de faire l'économie par la vente de cette vase aux entreprises de réalisation des projets qui nécessite l'argile comme un matériau de construction et aux usines de fabrication de la brique et la céramique qui nécessite l'argile comme une matière première dans l'industrie de ces matériaux.

L'objectif de notre étude est d'analyser la vase du barrage Gargar, déterminer les caractéristiques physiques, mécanique afin de la valoriser.

Chapitre 3 :

Présentation du barrage de Gargar

3.1 Introduction

Le présent chapitre a pour but de présenter les caractéristiques de la zone d'étude du barrage, à travers sa localisation, la taille du bassin versant et les propriétés hydrologiques et géologiques et climatiques de ce bassin versant.

3.2 Présentation du barrage de Gargar:

Le barrage Gargar est situé dans la willaya de Relizane à 5 km au Sud-Ouest de la ville d'Oued Rhiou et à 3 km en amont de la route nationale n° 04. (Voir figure (3.1))

Le barrage est construit sur Oued Rhiou; un affluent de Oued Chéllif (le plus grand Oued en Algérie). Le site du barrage de Gargar est situé sur oued Rhiou, tributaire de la rive gauche du Chéllif. Le bassin versant du Chéllif est le plus grand bassin de l'Algérie du Nord se déversant dans la mer.

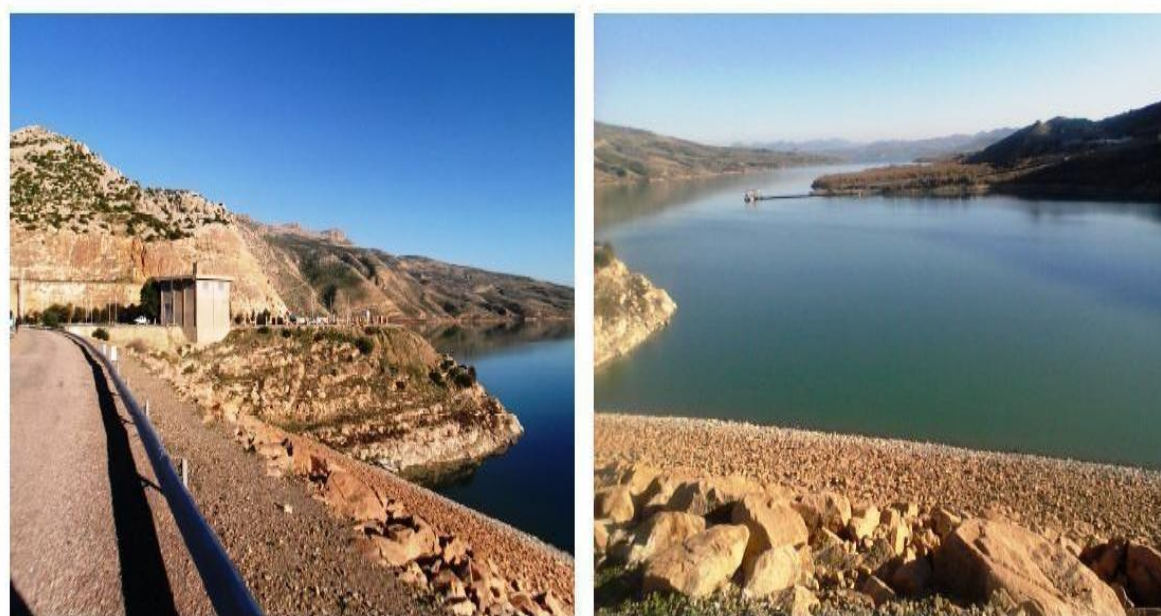


Figure (3.1) : Vue générale du barrage de Gargar.(ANBT,2004)

Les coordonnées géographiques du barrage sont : **E : 1 °20'04" N: 35°58'57"** .

Le bassin versant de Gargar est compris dans le bassin régional 01, soit le Chéllif, de la région hydrographique de Chéllif -Zahrez.

L'oued principal a une pente moyenne de 5,05 m/km. La densité de drainage du réseau hydrographique est de 3,89 km/km. (Voir figure (3.2))

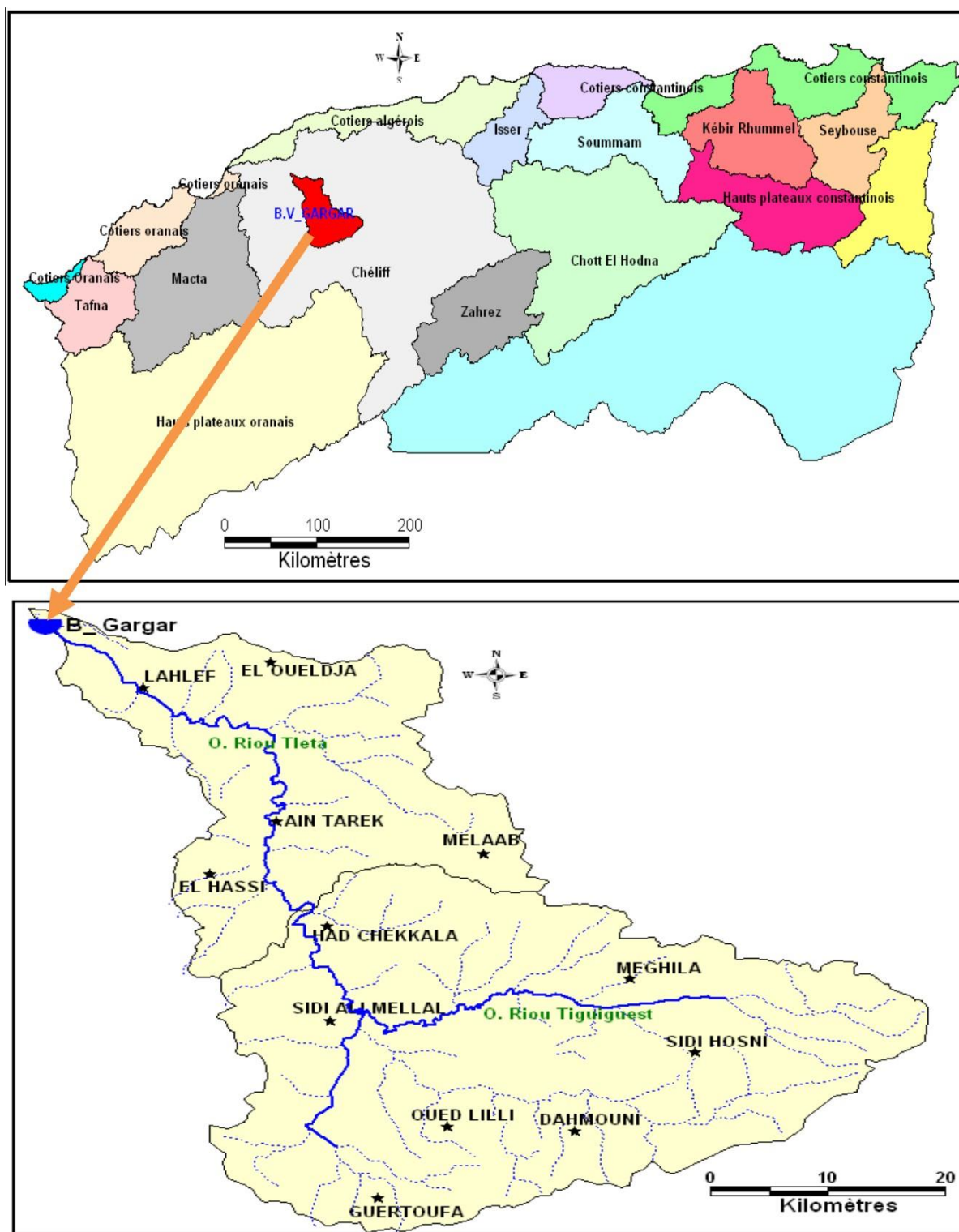


Figure (3.2) : Situation géographique du barrage de Gargar. (Oudja,2012)

3.3 Destination du barrage :

Le barrage Gargar a pour but de stocker un volume de 450 Hm³ et régulariser annuellement un volume de 120 Hm³. Il a été destiné en premier lieu à l'alimentation en eau pour l'irrigation de 16000 Ha du plateau bas Chéiff d'Oued Rhiou avec 40 Hm³/an et accessoirement à l'alimentation en eau des diverses communautés locales.

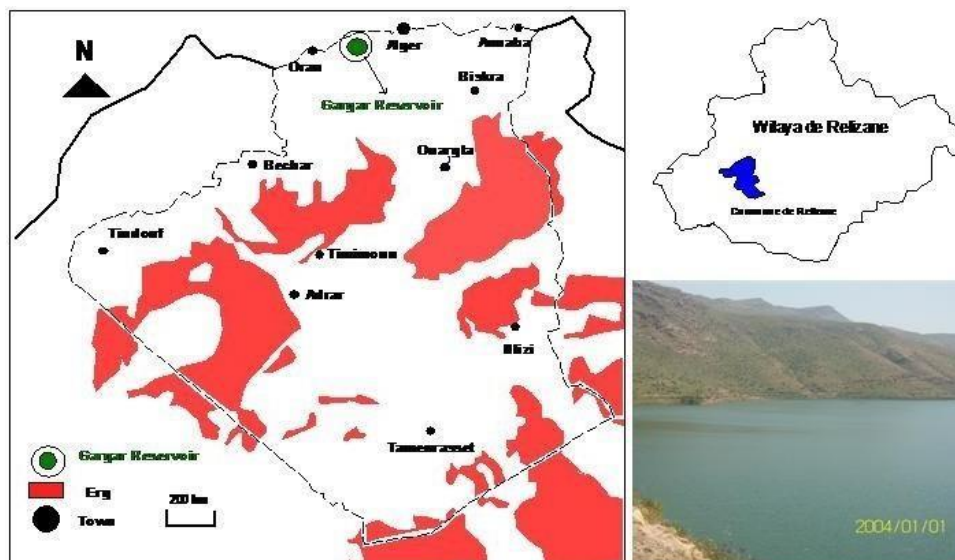


Figure (3.3) : destination de barrage de Gargar. (ANBT, 2004)

Après la crise d'eau en Algérie, les eaux du barrage sont destinées aussi pour l'alimentation en eau potable des villes Mostaganem et Oran. (Figure 3.2)

3.4 Historique du barrage

L'idée de construire un barrage sur Oued Rhiou revient à la période coloniale dont les premiers pas de la phase d'étude daté en 1926. Trois sites ont été proposés dans l'étude préliminaire avant de fixer le choix du site dans la zone des gorges du Gargar.

En 1980, la direction générale des infrastructures hydrauliques (DGIH) a confié à l'entreprise W.S. Thins International d'Angleterre, la définition des variantes, l'étude des variantes, l'élaboration de l'avant-projet détaillé (APD) et du dossier d'appel d'offres et encore, l'essai hydraulique sur modèle réduit de l'évacuateur de crues.

De nombreux rapports et documents ont été soumis par les consultants pendant les études de l'avant-projet détaillé dont la mémoire de synthèse est datée de septembre 1982.

Le 31 Décembre 1983, le marché ayant pour l'objet la construction et l'équipement hydromécanique et électromécaniques du barrage a été confié au groupement des entreprises HAZAMA-GUMI, CTD et C.ITHO et COLTD du Japon.

Le 07 Juillet 1984, les études d'exécution ont été confiées au bureau d'étude des états unis d'Amérique (USA) HARZA ENGINEERING COMPANY. Le 02 Janvier 1985, la surveillance des travaux pendant la réalisation de l'ouvrage a été confiée au bureau d'étude COBA (Consultores para Obra-Barragense planeamento).

- Début des travaux le mois de Juin 1984.
- Fin des travaux le 17 Octobre 1988 (Après 4 ans et 4 mois des travaux).
- Mise en eau le 22 Novembre 1988.
- Réception de l'ouvrage le 16 Septembre 1989.



Figure (3.4) : Début de travaux de réalisation du barrage de Gargar. (ANBT, 2004)

3.5 Retenue du barrage de Gargar

Tableau (3.1) Les caractéristiques de la retenue du barrage de Gargar. (ANBT, 2004)

Profondeur maximale	58 m
Longueur de la digue	400m
Largeur de la digue	10 m
Longueur de la digue à la base	520 m
Bassin versant	2 900 km ²
Superficie de la cuvette expropriée (Max 130)	2 750 ha
Superficie de la retenue de la côte normale	2 100 ha
Longueur de la retenue	10 km
Volume de la retenue côte normale	400 hm ³
Volume régularisé 4 années sur 5	120 hm ³
Périmètre à irriguer	16 000 ha
A.E.P. d'ORAN	40 hm ³
Apports annuels moyens	185 hm ³
Prévision de l'envasement annuel moyen (2,5 % de l'apport annuel moyen)	4,6 hm ³
Capacité utile	300 hm ³
Garde d'envasement	150 hm ³
Volume du réservoir utilisable par la galerie de prise supérieure	235 hm ³
Volume du réservoir utilisable entre la galerie de prise supérieure et la galerie de prise inférieure.	185 hm ³
Culot vidange (tranche de retenue située entre le niveau de la galerie de prise	30 hm ³

3.6 Les différents ouvrages composant l'aménagement du barrage

3.6.1 Mur du Barrage

Le barrage de Gargar est un barrage de type remblai avec un noyau central vertical en silt argileux Gargar a une hauteur de 90 m, la longueur de la crête est de 400 m et sa largeur est de 10 m. La crête du barrage se trouve à la cote 130 m NGA. Le niveau normal de la retenue du barrage est de 118 m, peut stocker un volume de 450 Hm³.

La largeur de la base du barrage est de 480 m. Le volume du remblai utilisé est de 4,46 Hm³ et celle des excavations est de 2,79 Hm³.

Le barrage est composé d'un noyau imperméable en argile siliceuse (l'organe d'étanchéité), ce noyau est soutenu par des recharges en gravier alluvionnaire.

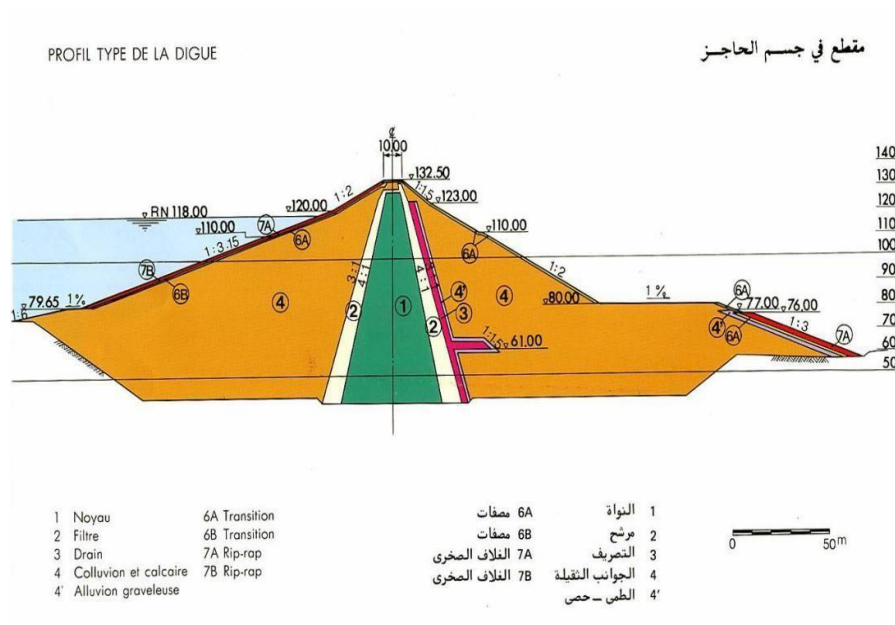


Figure (3.5) : profil de type de la digue. (ANBT, 2004)

De plus, des risbermes amont et aval composées de matériaux provenant des excavations, en majeure partie du calcaire apporte à la digue un soutien supplémentaire. Le rip rap disposé sur le talus amont assure une protection contre l'action des vagues.

Pour limiter les infiltrations à travers les fondations, il a été prévu un voile d'injection le long de l'axe du barrage. Comme les fondations sont de nature alluvionnaire et pour éviter le problème d'équifaction qui résulte d'un tassement rapide du barrage, le voile d'injection au-dessous du barrage doit être construit en amont et jusqu'à la crête des deux culées.

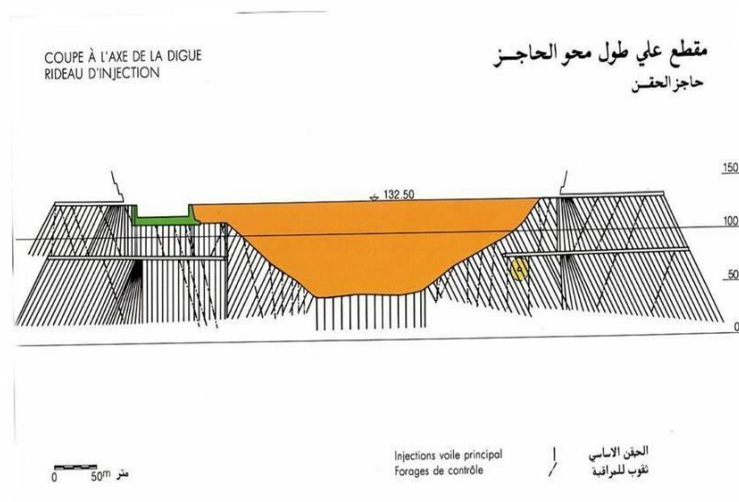


Figure (3.6): coupe a l'axe de la digue radeau d'injection. (ANBT, 2004)

La couche des alluvions a une épaisseur varie de 20 à 25 m de l'amont vers l'aval. Elle va en profondeur du niveau du lit de l'Oued à la cote 60 m jusqu'à l'arrivé de la marne au niveau 40 m NGA. Un problème d'arrivé des eaux d'infiltration à travers les deux rives est engendré par l'enlèvement de la couche alluvionnaire. La solution a été la mise en sec du site par l'installation d'un système de pompage et l'évacuation de ces eaux vers l'aval.

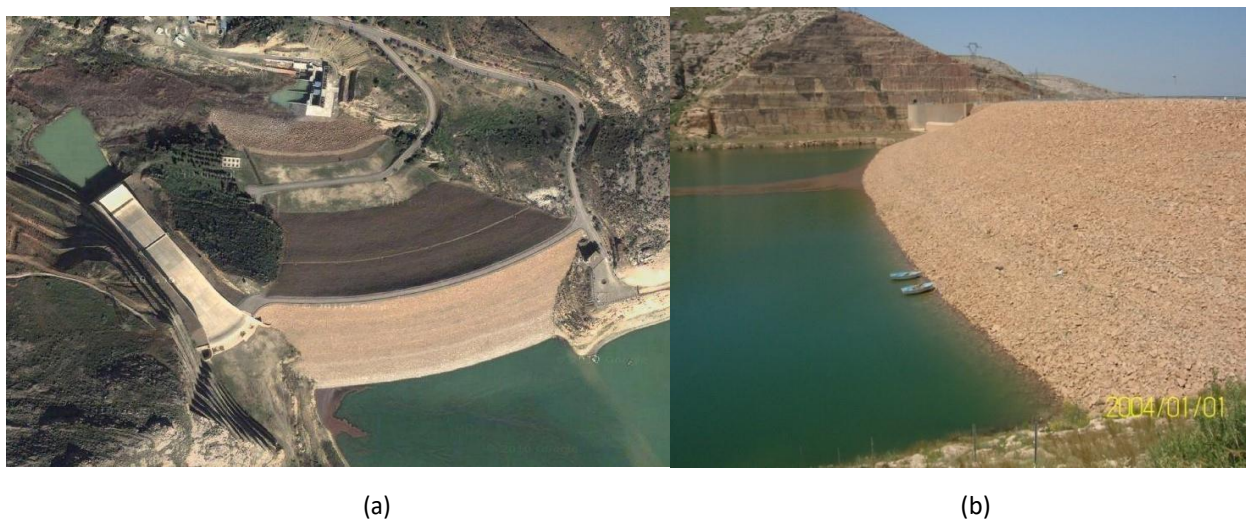


Figure (3.7) : Corps du barrage de Gargar, (a) Vue en plan du corps du barrage Gargar (Google maps), (b)Talus amont de la digue du barrage de Gargar. (ANBT, 2004)

3.6.2 Evacuateur de crue

L'évacuateur de crues est implanté en rive gauche, il est constitué par un déversoir à seuil libre arrondi en plan et suivi d'un coursier à ciel ouvert d'une structure en saut de ski et d'un tapis en béton pour protection en aval du saut de ski.



Figure (3.8) : Evacuateur de crue du barrage Gargar. (ANBT, 2004)

- Cote de la crête du déversoir : 118.00 m NGA.
- Longueur du coursier : 112.50 m.
- Largeur du coursier : 36.00 m.
- Longueur de la structure en saut de ski.
- Longueur du tapis de protection en aval du saut de ski : 50.00 m.
- Longueur totale : 221.96 m.

L'évacuateur de crue a été conçu de manière à pouvoir déverser un débit de $4800 \text{ m}^3/\text{s}$, sans débordement par-dessus la crête du barrage et à dissiper totalement l'énergie d'un débit de $1700 \text{ m}^3/\text{s}$ qui correspond à la crue millénaire.

3.6.3 Ouvrage de sortie

Une galerie d'un diamètre de 4.5 m est creusée dans la roche calcaire de la rive droite, à proximité du niveau de l'Oued ; cette galerie servie dans un premier temps comme une dérivation de l'Oued par la suite elle a été utilisée comme une galerie de vidange de fond.

Pour lutter contre l'apparition de sous pression, un important système de drainage a été mise en place sous l'évacuateur de crues.

L'eau évacuée par le pertuis de fond au bas du puits de prise d'eau se déverse directement dans la partie supérieure de la galerie de vidange de fond par laquelle arrive à la sortie de la galerie

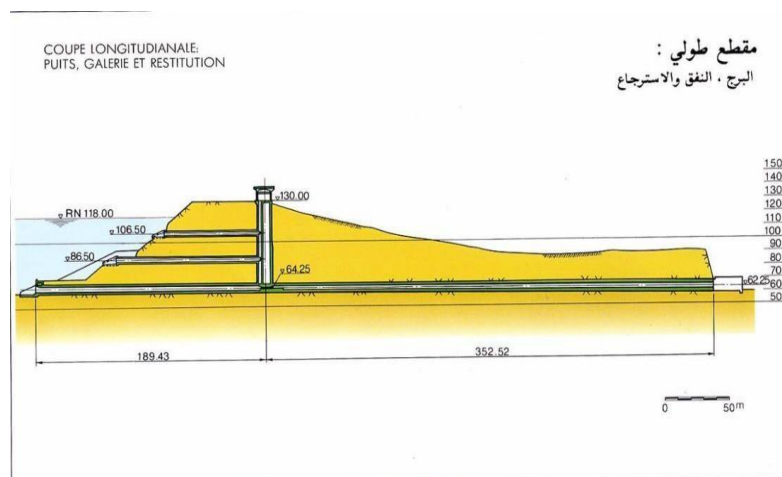


Figure (3.9) : coupe longitudinale puits et galerie. (ANBT, 2004)

Un puits vertical d'un diamètre de 8,5 m relie les galeries de prise excavées aux niveaux 105 m et 85 m avec la galerie de vidange.

Les deux prises d'eau permettent d'assurer le captage du débit nécessaire pour l'irrigation dans une marge de fourchette de variation du plan d'eau de la retenue. Ce plan aura annuellement des fluctuations variables qui seront comprises entre la cote de retenue normale et la prise d'eau inférieure.

L'eau d'irrigation décent le puits vertical de la tour de prise et arrive à la sortie de la galerie de vidange de fond par deux conduites en acier soudé qui sont situées à son intérieur scellé dans le béton mise en place dans la partie inférieure de la galerie.



Figure (3.10) : La vidange de fond et la prise d'eau du barrage Gargar. (ANBT, 2004)

3.7 Caractéristiques de la cuvette

Tableau (3.2) : Les caractéristiques de la cuvette du barrage de Gargar. (ANBT, 2004)

Superficie de la cuvette	2 750 Ha
Superficie de la retenue de cote normale	2 100 Ha
Longueur de la retenue	10 Km
Volume de la retenue normale	450 Hm ³
Prévision de l'envasement annuel moyen	(4.6 ÷ 6.0) Hm ³
Capacité utile	300 Hm ³
Garde d'envasement	150 Hm ³
Volume du réservoir utilisable par la galerie de prise supérieure	235 Hm ³
Volume du réservoir utilisable entre la galerie de prise supérieure et la galerie de prise inférieure	185 Hm ³
Volume mort (tranche de retenue situé entre le niveau de galerie de prise inférieure et de la vidange de fond	30 m ³

3.8 Bassin versant

3.8.1 Topographie et paramètres physiographiques

Le bassin versant de Gargar s'étend sur une superficie de 2360 km² environ, depuis une altitude de 123 m jusqu'à 1 230 m. Les altitudes maximales sont concentrées à l'Est et au Sud du bassin, sur la ligne de partage des eaux, de même que sur le cordon montagneux qui domine le Sud-Est du paysage. La dénivelée maximale du bassin atteint 1107 m, tandis que celle des terres principales (H 5% - 95%) atteint tout au plus 965 m. Le bassin est caractérisé par deux grandes unités de paysage, à savoir une zone au relief ondulé près du réservoir et au Sud-Ouest du bassin et une zone montagneuse encavée par de nombreux oueds dans la région Centrale et Sud-Est. Superficie du bassin versant : 2362 km.

- Périmètre du bassin versant : 304 km
- Longueur du rectangle équivalent : 134 m
- Largeur du rectangle équivalent : 17,8 m
- Indice de compacité de Gravelius (K_c) : 1,8
- Dénivelée moyenne (Fournier) : 523 m
- Dénivelée spécifique ($H_5\% - H_{95\%}$) : 755 m
- Pente moyenne du bassin : 15,5 m/km
- Indice de pente global (I_G) : 5,6
- Pente moyenne de l'oued principal : 5,1 m/km
- Densité de drainage : 3,9 km/km



Figure (3.11) : Vue générale de la digue du barrage de Gargar. (ANBT, 2004)

3.8.2 Caractéristiques de la région

3.8.2.1 Climat :

Le climat du bassin versant de barrage de Gargar est un climat presque continental. La partie supérieure du bassin est caractérisée par un climat de montagne pluviale, froid avec une amplitude thermique relativement faible et des chutes de neige abondantes. La partie inférieure du bassin est caractérisée par un climat plus relativement chaud avec de forts écarts de température [4].

3.8.2.2.1 Température :

Il est intéressant d'étudier la température moyenne mensuelle qui fut relevée au niveau de ce site pendant l'année précédente (2010), la température moyenne mensuelle varie de 8.40 °C à 39.84 °C avec une moyenne annuelle de 18.2 °C. Dans la **figure (3.12)**, nous présentons les températures mensuelles minimales (m), mensuelle moyennes (M+m/2), et mensuelles maximales (M) de la station (Gargar barrage) pour la période (1992-2005).

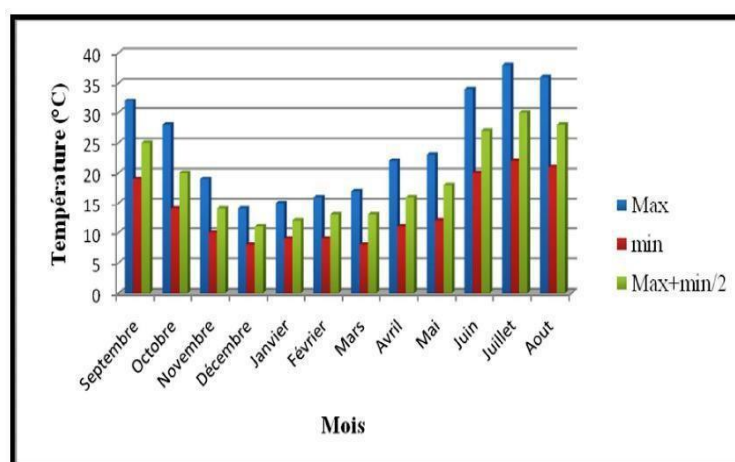


Figure (3.12) : Température moyenne mensuelle de la station -Barrage Gargar. (ANBT, 2004)

3.8.2.3 Les précipitations

C'est l'élément climatique le plus important, le périmètre d'étude reçoit une précipitation moyenne annuelle de 350 à 450 mm/an.

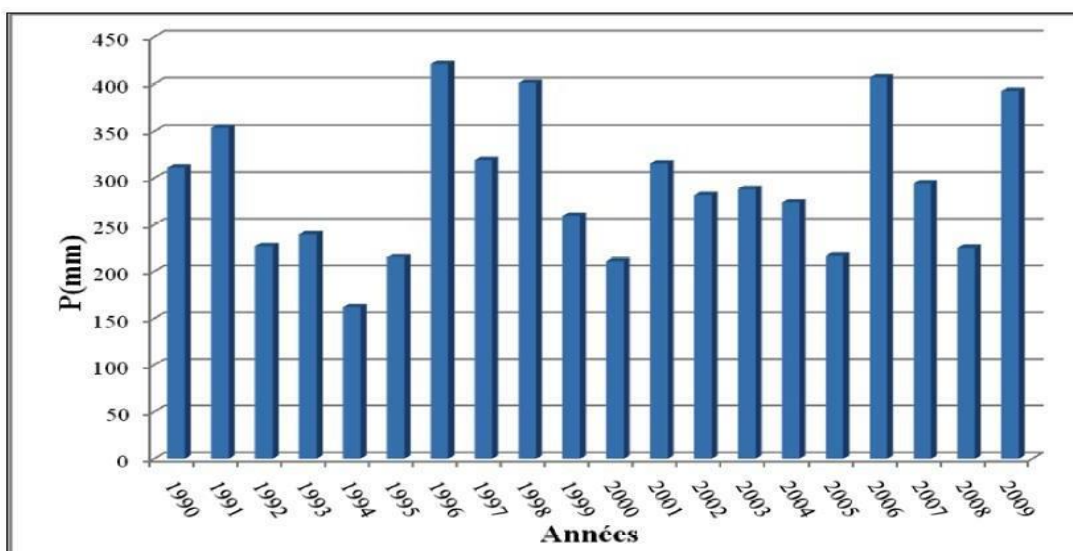


Figure (3.13) : Pluviométrie moyenne annuelle (période 1990/2009) du barrage Gargar.
(ANBT, 2004)

3.8.2.4 Le vent

C'est l'élément le plus caractéristique du climat local de la région de Relizane, la fréquence moyenne annuelle des vents est de 6.02 m/s.

3.8.2.5 L'insolation

Le rayonnement solaire représente la source d'énergie primaire associée aux deux facteurs écologiques fondamentaux : lumière (éclairage) et la chaleur (température), la durée moyenne annuelle d'insolation est de 5.9 h/j avec un maximum de 9.7 h/j en Juillet et un minimum de 2.9 h/j en Décembre.

3.8.2.6 L'évaporation potentielle :

L'évaporation potentielle permet d'estimer les pertes totales que peuvent subir les sols par évaporation directe et par la transpiration des végétaux. Elle est de 154.70 mm moyenne annuelle.

3.8.2.7 Les apports liquides

L'ensemble des informations hydrométriques et pluviométriques existantes a permis de reconstituer une série continue d'apports moyens annuels à Gargar pour une période allant de 1990 à 2009, soit sur une période de 19 ans qui n'est que de 72,58 hm³/an [3].

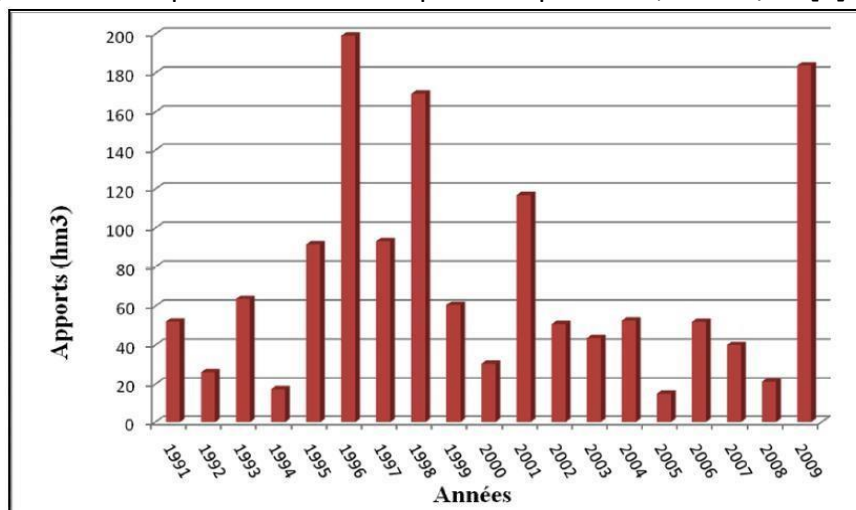


Figure (3.14) : Variations annuelles des apports liquides du barrage de Gargar. (ANBT, 2004)

3.9 Géologie du bassin versant

Le bassin d'Oued Rhiou se situe en grande partie dans le massif de l'Ouarsenis. Il est formé en grande partie par des marnes, des formations marno-calcaires shisto-gréseuses.

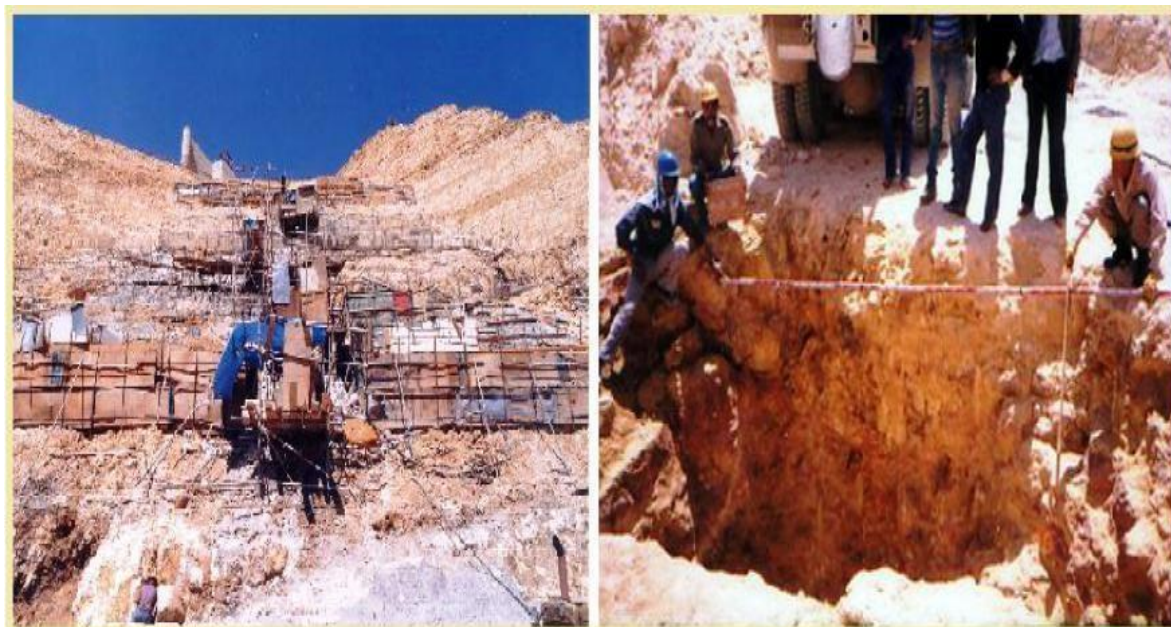


Figure (3.14) : Reconnaissances Géologiques Anciennes (puits et sondages). (ANBT, 2004)

Les roches du site du barrage, qui appartiennent au Miocène, se composent d'une base de marne du Tortonien recouverte d'une crête calcaire de la même époque, qui ne se présente pas de manière continue sur l'emplacement du barrage.

Le lit de l'oued contient des dépôts épais d'alluvions récentes constituées de sable, de gravier et de galets, avec des lentilles de sable, limons et d'argiles.

L'excavation sur la rive gauche a mis en évidence que les alluvions constituent des masses continues au-dessous de la cote 115 m. Les alluvions descendaient jusqu'à la cote 42 m dans l'axe de la digue et même jusqu'à la cote 38 m dans un chenal de l'oued. Ils donnent témoignage des grandes variations du niveau de l'oued dans le passé géologique.

Des phénomènes de karstification, quoique n'étant pas de grande taille, sont très fréquents soit en rive droite soit en rive gauche. C'est surtout en rive gauche qu'on a trouvé des entonnoirs et des chenaux souterrains comblés soit par des alluvions soit par des argiles de dissolution.

La partie haute de la zone d'emplacement du barrage présente des terrasses de grande étendue formées par des argiles et des limons récents.

3.9.1 Caractéristiques du sol

Les sols sont fragiles et exposés facilement à l'érosion. L'eau de l'Oued est toujours trouble avec une forte teneur en éléments solides fins.

Les terres sont lourdes composées d'argile gonflée, on distingue sur le bassin versant les sols suivants : Sols alluviaux, sols calcaires, sols calcines humifères et les vertisoles.

3.9.2 Végétation

Le bassin versant mentionner est caractérisé par une faible pression anthropique et une diversité de types de végétation. En basse altitude en aval de l'Oued Rhio, à l'ouest de ce dernier, dans la partie moyenne du bassin, on trouve une association d'olivier lentisque. Cette zone est également marquée par la présence dominante de l'association de *Thya*, une végétation très résistante. Ces informations mettent en lumière la richesse et la spécificité de la végétation dans cette région, soulignant l'importance de préserver ces écosystèmes pour un développement rural durable.

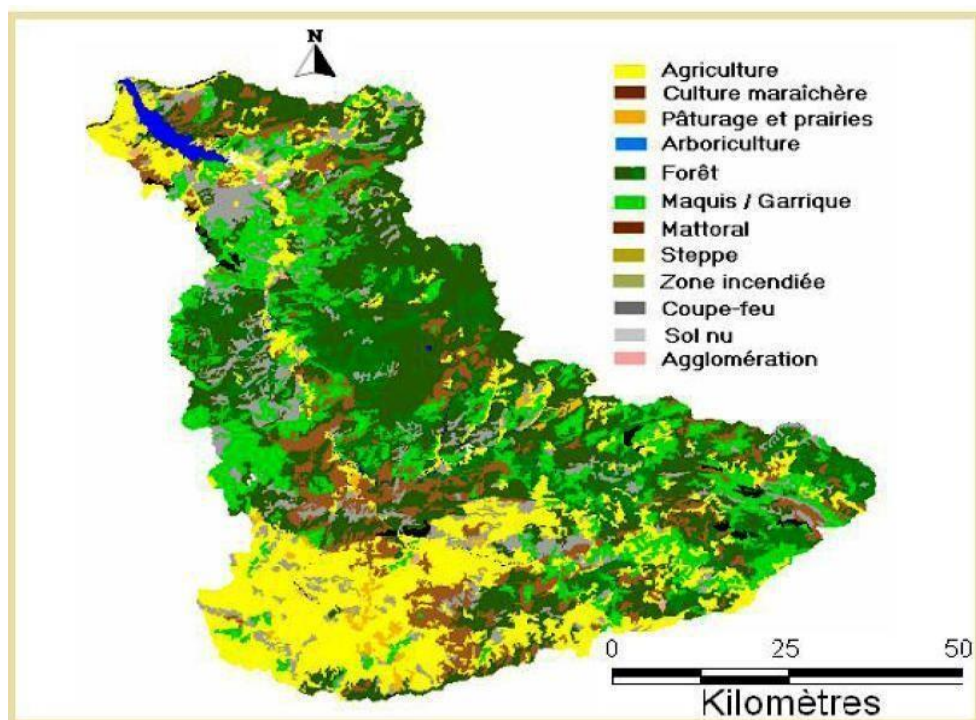


Figure (3.15) : Carte du couvert des terres du bassin de Gargar. (ANBT, 2004)

3.9.3 Les apports solides

Le débit moyen du bassin versant d'Oued Rhiau au site du barrage Gargar est de $185 \text{ Hm}^3/\text{an}$, pour les apports solides, une quantité de $4,6 \text{ Hm}^3/\text{an}$. La densité des alluvions est de 1.3 au minimum et ainsi la valeur prévue pour la sédimentation annuelle moyenne dans la retenue est de $6 \times 10^6 \text{ t/an}$. Le tableau suivant donne le débit des crues et la concentration en MES (matériau en suspension) de 1995 au 2006.

Tableau (3.3) : Débit liquide et concentration en MES des crues (ANRH-Oran).

	Débit liquide (m^3/s)	MES (g/l)
13 Oct.1995	64.18	260.64
06 Fév.1996	1120.00	135.52
22 Oct.1997	803.33	142.00
19 Jan.1999	151.52	103.50
19 Déc.1999	54.08	96.00
24 Oct.2000	503.70	284.00
11 Nov.2001	296.40	99.00
18 Fév.2003	550.50	141.20
10 Déc.2003	134.56	137.50
09 Déc.2004	39.32	145.00
05 Mai 2006	192.16	118.00

3.10 Envasement du barrage Gargar

Selon l'agence nationale des barrages et transferts (ANBT), le taux d'envasement du barrage Gargar a atteint 20% à la fin de l'an 2010. Le barrage se trouve dans le bassin hydrographique Chélif Zehrez dont ce dernier est classé parmi les zones les plus menacées par l'envasement dans l'Algérie.

Chaque année, l'Oued Rhiou transporte environ de 4.5 millions de m³ des particules fines. Ces particules arrivent jusqu'au barrage et se précipitent dans le fond de la retenue. Gargar a perdu depuis sa mise en eau en 1989 environ de 90,2 millions de m³ de sa capacité initiale qui a été de 450 millions m³.

3.10.1 Levés bathymétriques

Le principe de cette technique consiste à un levé des fonds le long de profils préalablement repérés. Le choix des profils dépend en particulier de la longueur de la retenue.

Pour une meilleure estimation des sédiments piégés, les profils doivent être parallèles et matérialisés sur le terrain par des repères visibles (canevas) depuis la barque (appareil topographique), quelle que soit la cote du plan d'eau. Dans le cas d'une retenue méandre forme, les profils doivent être assez rapprochés pour quantifier le volume des sédiments entre deux sections.

Pour actualiser les capacités de stockage et surveiller l'envasement du barrage Gargar, un levé bathymétrique a été réalisé par l'ANBT en collaboration du bureau d'étude LIC (Levanta Ingeniería y Construcción) en 2019.

Ce levé topographique, représentant une surface totale de 2812.16 ha (988.64 ha émergée et 1823.52 ha immergée), a été réalisé en 70 jours. L'évolution de la capacité de la retenue du barrage à la PHE (449.80 m) depuis 2004 a été estimée à 36% (ANBT2020)



Figure (3.16): Levé bathymétrique de la retenue du barrage de Gargar.

3 .11 Conclusion

Le barrage de Gargar est un ouvrage hydroélectrique situé dans la wilaya de Relizane, à 5 km au Sud-Ouest de la ville d'Oued Rhiou et à environ 3 km en amont du pont de la Route Nationale W 4 sur l'oued Rhiou .

Le débit moyen annuel (module) du barrage est de 5,9 m³/s, ce qui correspond à un débit spécifique de 2,48 l/s/km² (78 mm/an).

L'étude bathymétrique effectuée par l'ANBT en 2020a révélé qu'il perd annuellement un taux de 6.11 Hm³/an. Après 15 ans de sa mise en eau, le barrage a perdu un volume de 91.72 Hm³, soit un taux de 36%.

Chapitre 4:

Procédure expérimentale

4.1 Introduction

L'utilisation de la vase d'un barrage dans divers domaines nécessite une étude approfondie basée sur des analyses physiques, chimiques, minéralogiques et mécaniques des échantillons prélevés sur le site. Cette démarche est cruciale pour évaluer les propriétés de la vase et déterminer sa valorisation potentielle.

Un exemple concret de cette approche est l'étude menée sur les sédiments de dragage du barrage de Gargar en vue de leur valorisation dans le domaine de la technique routière. Cette étude vise à caractériser physiquement la vase du barrage de Gargar, prélevée lors de la vidange du fond du barrage.

Pour améliorer la compréhension de l'effet de sable, la chaux et de la pouzzolane naturelle avec leur combinaison sur la vase de barrage de gargar , un ensemble de tests de laboratoire a été réalisé sur le sol étudié avant et après traitement, comme le montre la suite dans cette chapitre.

4.2 Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés dans cette étude sont: notre sol (vase) ,sable de chlef, la chaux hydratée et la pouzzolane naturelle. La chaux et la pouzzolane naturelle sont des matériaux largement disponibles en Algérie, connus pour leur approche économique et respectueuse de l'environnement .(Figure (4.1))



Figure (4.1) : Présentation des matériaux utilisés.

4.2.3 Pouzzolane naturelle

D'une manière générale, les matières pouzzolaniques qu'elles soient naturelles ou artificielles sont des matières siliceuses ou silico-aluminates qui peuvent réagir avec l'hydroxyde de calcium (réaction pouzzolanique) comme décrit dans **ASTM C125**. La pouzzolane naturelle utilisée dans ces expériences est une roche d'origine volcanique qui a été collectée dans le gisement de Bou Hamidi (Béni-Saf) à Ain-Temouchent, comme le montre la **figure (4.2)**.



Figure (4.2) : Le gisement de Bou-hamidi de pouzzolane naturelle (Béni-Saf, Algérie).
(Driss, 2022).

Après la collecte de la pouzzolane naturelle, elle a été séchée à l'étuve à une température de 105 °C pour éliminer toute humidité. La pouzzolane naturelle a été broyée à une surface spécifique de 873.7 m²/kg à l'aide d'un broyeur micro-deval. **Figure (4.3)**

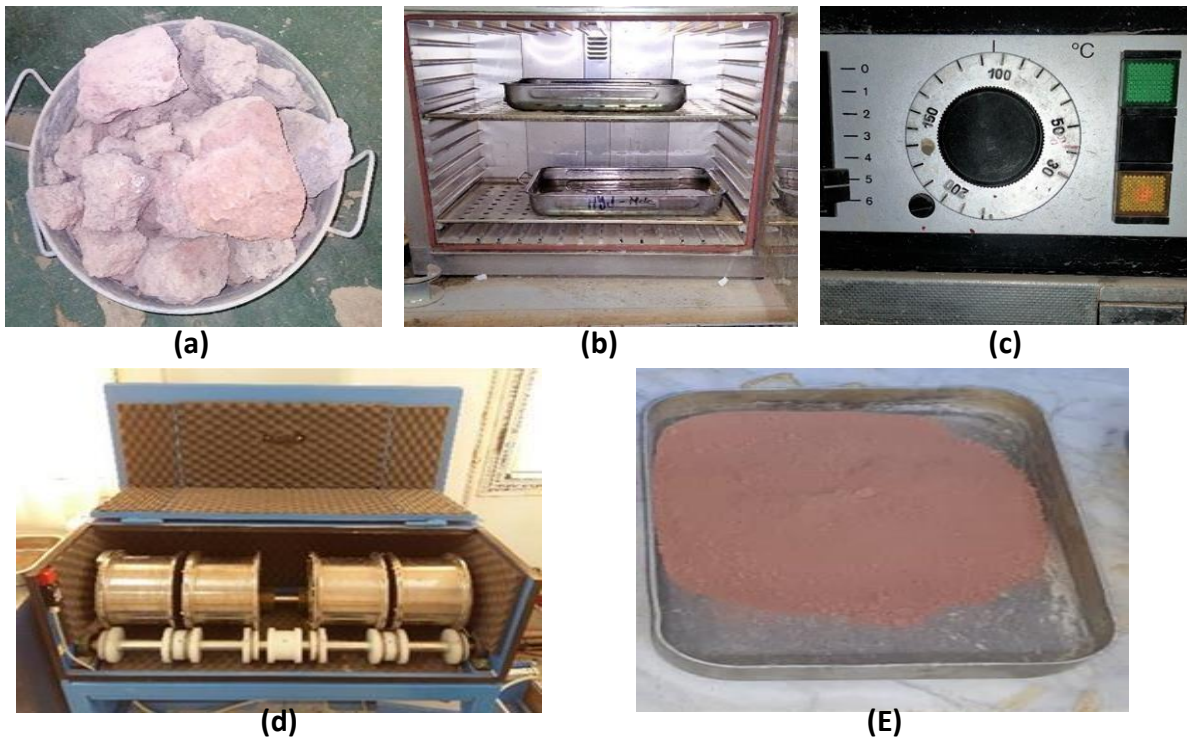


Figure (4.3) : Préparation de la pouzzolane naturelle, **(a)** pouzzolane cas initiale, **(b)** séchage, **(c)** Etuve, **(d)** broyeur au micro-deval, **(e)** forme finale de lapozzolane.

Les propriétés physiques et chimiques de la pouzzolane naturelle sont présentées dans le tableau (4.3).

Tableau (4.2): Propriétés physiques et chimiques de la pouzzolane naturelle. (Driss, 2022)

Paramètres géotechniques		PN
Couleur		Rouge
Gravité spécifique	(g/cm ³)	2.85
Masse volumique apparente	(g/cm ³)	1.02
La surface spécifique -Blaine-	(cm ² /g)	8737.2
Oxyde de calcium [CaO]	(%)	9.4
L'oxyde de magnésium [MgO]	(%)	3.88
Oxyde de fer [Fe ₂ O ₃]	(%)	8.36
Alumine [Al ₂ O ₃]	(%)	17.45
Silice [SiO ₂]	(%)	46.83
Sulfite [SO ₃]	(%)	0.36
Oxyde de sodium [Na ₂ O]	(%)	4.32
Oxyde de potassium [K ₂ O]	(%)	1.4

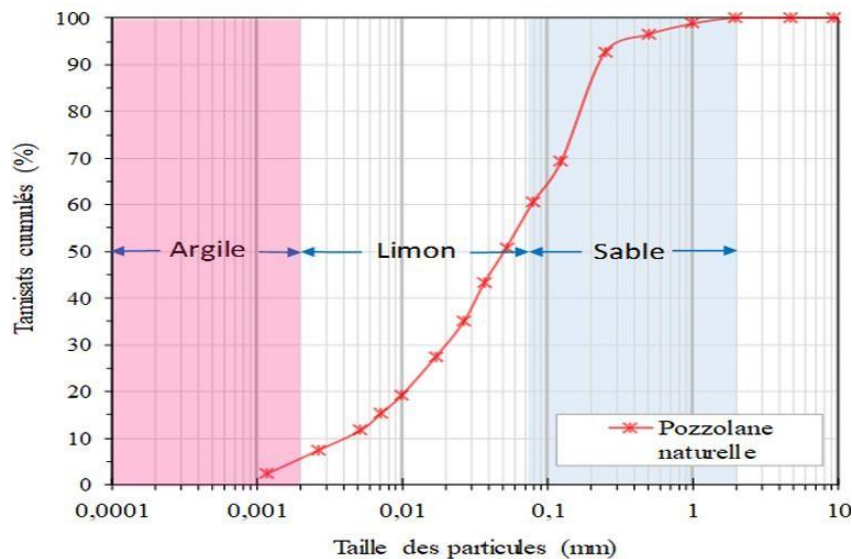


Figure (4.4) : Distribution granulométrique du pouzzolane naturelle. (Driss,2022)

4.2.4 La vase du Barrage de Gargar

4.2.4.1 Localisation des échantillons prélevés

Nos échantillons ont été prélevés au niveau de la vidange de fond du barrage Gargar. Les prélèvements ont été réalisés manuellement puis les échantillons ont été conservés dans des sachets en plastique fermés.



Figure (4.4): Localisation du prélèvement de la vase au niveau de l'exutoire du barrage de Gargar.

4.2.4.2 Propriétés géotechniques de la vase du barrage:

Les caractéristiques physique du barrage de Garagr sont bien récapitulées dans le tableau suivant (**tableau (4.3)**).

Tableau (4.3) : de base du sol argileux étudié .

Paramètres géotechniques		Variation
Couleur		Grise
Teneur en eau naturelle (%)		60 – 84
Passage d'un tamis de 80 μm (%)		98,86 %
Limites d'Atterberg	Limite de liquidité (%)	64,65%
	Limite de plasticité (%)	29,49%
	Indice de plasticité (%)	35,16%
Compactage	Teneur en eau optimale (%)	25%
PROCTOR	Densité sèche maximale (kN/m^3)	1.68

4.2.4.3. Analyse granulométrique par sédimentométrie

comme indiqué dans la courbe de la distribution granulométrique illustrée dans la Figure (4.5), le sol est composé de 6% de sable, 34% de limon et 60% d'argile.

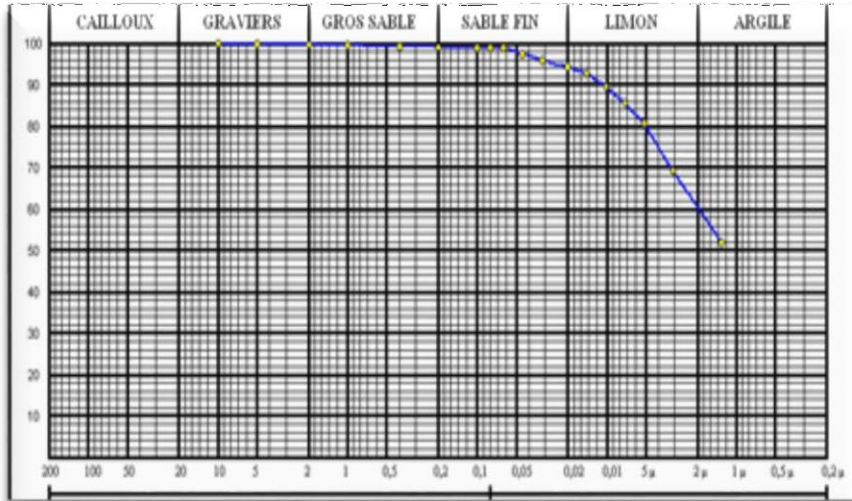


Figure (4.5): Distribution granulométrique du la vase.

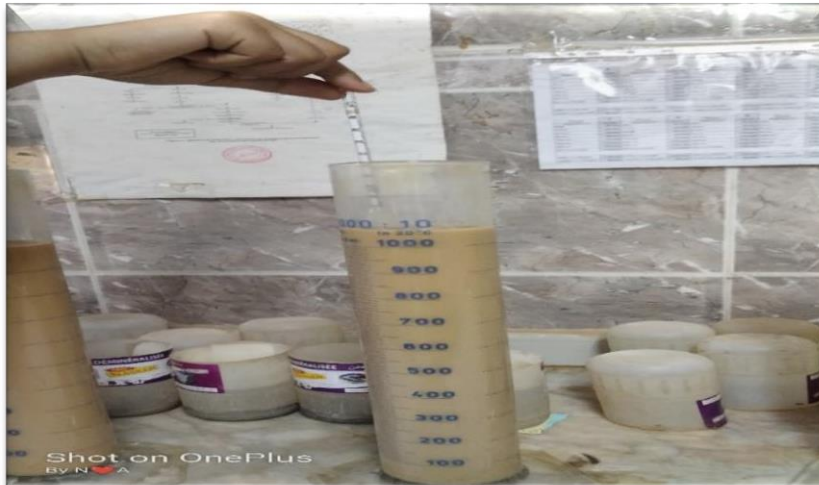


Figure (4.6): l'essai granulométrique par sédimentométrie .

4.2.4.3 Les limite d'Atterberg

Ce sont des constantes physiques conventionnelles qui indiquent les seuils entreselon l'USCS (ASTM D2487-06), (Figure 4.7- 4.8)

- Le passage d'un sol de l'état liquide à l'état plastique (limite de liquidité WL).
- Le passage d'un sol de l'état plastique à l'état solide (limite de plasticité WP).

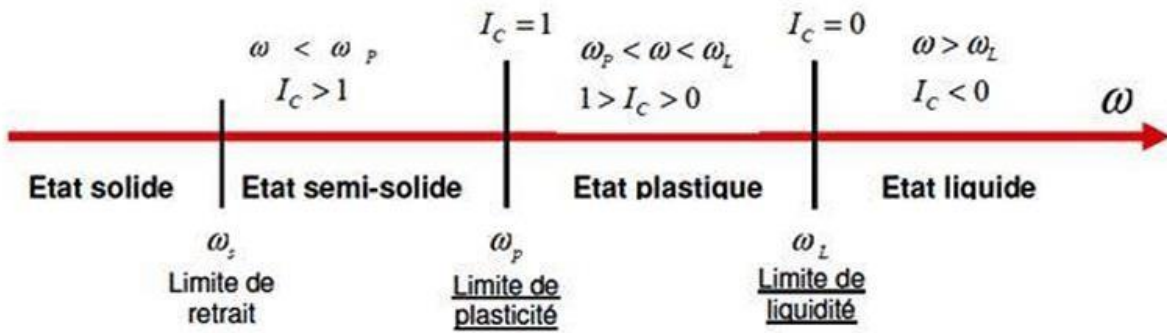


Figure (4.7) : Limites d’Atterberg. (ASTM D2487-06)



Figure (4.8): L’essai de limite de liquidité W_L .

La limite de plasticité W_L :

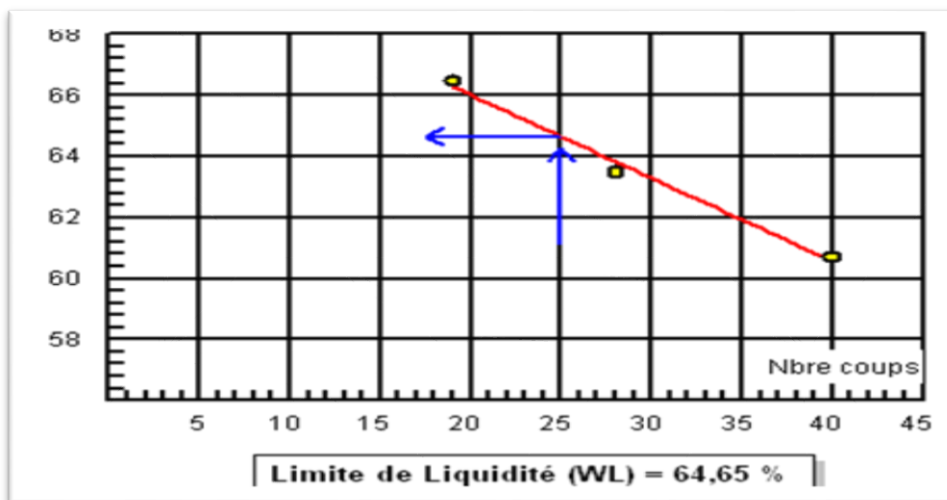


Figure (4.9) : courbe limite de liquidité W_L

_ La limite de plasticité W_p :



Figure (4.10) : L'essai de la limite de plasticité (W_p).

D'après les expériences, la limite de liquidité de notre échantillon est de 64.65%, celle de plasticité est de 29.49% ainsi que notre indice de plasticité I_p est de 35.16%. Donc on constate que les sédiments étudiés contiennent des argiles très plastiques d'après l'abaque de Casagrande. (Figure 4.11)

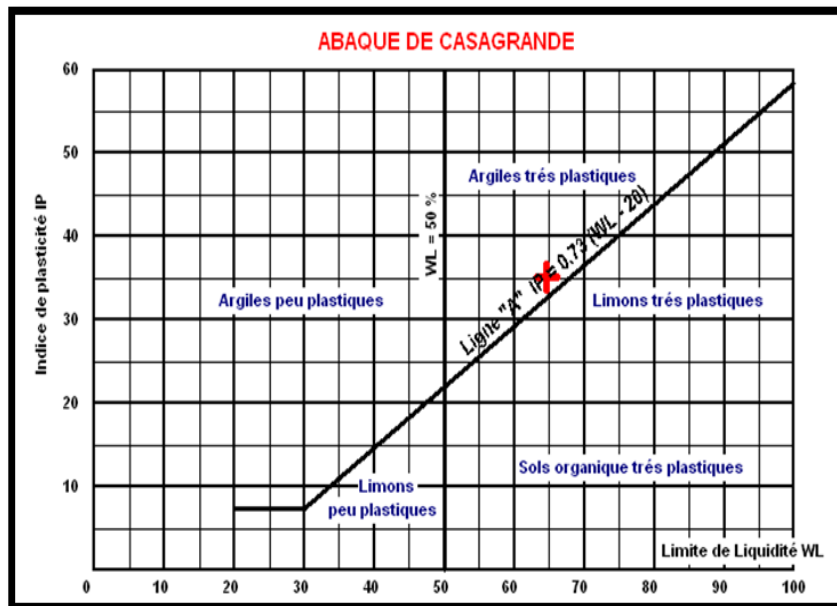


Figure (4.11): Diagramme de plasticité de Casagrande de la vase.

4.3 Programme de travail

Les sols argileux, en particulier ceux qui ont un indice de plasticité élevé, présentent souvent des difficultés dans les opérations de construction car ils contiennent généralement des minéraux argileux expansifs. Cependant, les propriétés techniques des sols argileux expansifs

peuvent être améliorées par différentes techniques de stabilisation. L'objectif de cette partie est d'étudier l'effet de l'utilisation de la chaux, de la pouzzolane naturelle dispersion des sols. Pour cela plusieurs combinaisons sont proposées comme suit :

- Sol naturel (à titre de référence pour voir l'influence de l'ajout de sable et de la stabilisation);
- Sol après correction (Sol + 20% de sable) afin d'améliorer le squelette des grains du sol, avec une meilleure répartition granulométrique et pour obtenir une résistance mécanique plus élevée;
- Ajout de chaux pour réagir chimiquement avec les particules d'argile (3% et 5%);
- Ajout de pouzzolane naturelle pour améliorer les résultats de stabilisation (10% et 20%) Un plan de travail a été mis en place pour réaliser des différentes combinaisons

Tableau (4.4) : plan du travail.

N°	Combinaisons	sol %	Sable%	Chaux%	PN %
1	S0L0P0	100	0	0	0
2	S20L0P0	80	20	0	0
3	S0L3P0	97	3	0	0
4	S0L5P0	95	5	0	0
5	S20L3P0	77	20	3	0
6	S20L5P0	75	20	5	0
7	S0L3P20	77	0	3	20
8	S0L5P20	75	0	5	20
9	S20L3P20	57	20	3	20
10	S20L5P20	55	20	5	20

Avec : S : Sand (sable); L : lime (chaux); PN : Pouzzolane Naturelle

4.4 Propriétés étudiées

4.4.1 Résultat de Proctor

Tableau (4.5) : Résultat de Proctor. (Kheil et Lallaoui, 2023)

N	Combinaison	Sol	Sable	Chaux	Pouzzolan	MDD (kN/cm ³)	OMC (%)
	Symbole	SG	S	L	P		
1	S0L0P0	100	0	0	0	16,8	20,4
2	S20L0P0	80	20	0	0	18,4	14,6
3	S0L3P0	97	0	3	0	16,42	25,71
4	S0L5P0	95	0	5	0	16,35	27,91
5	S0L3P20	77	0	3	20	14,83	26,1
6	S0L5P20	75	0	5	20	14,65	28,85
7	S20L3P0	77	20	3	0	15,67	21,25
8	S20L5P0	75	20	5	0	15,23	24,12
9	S20L3P20	57	20	3	20	14,48	29,25
10	S20L5P20	55	20	5	20	14,30	32,15



Figure (4.12) : Etapes d'essai de Proctor.

4.4.2 Crumb test

4.4.2.1 Objectif de l'essai

Le Crumb Test est un essai simple et reproductible qui fournit une indication rapide sur la dispersion de l'argile. Cet essai est peu coûteux, ne nécessite pas d'équipement complexe, et peut être réalisé en laboratoire ou sur site. Cependant, étant basé sur l'observation, il fournit une indication qualitative.

Les résultats peuvent varier en fonction de la couleur de l'argile, de l'éclairage du laboratoire et de l'opérateur. Une limitation du Crumb Test est qu'il est uniquement applicable aux sols dont la plasticité est supérieure à 8%. (**ASTM D6572-00**) .

4.4.2.1 Matériels utilisés

- Un cube de sol de taille (10 mm) ;
- L'eau distillé .
- Récipient transparent .
- Appariel photo.

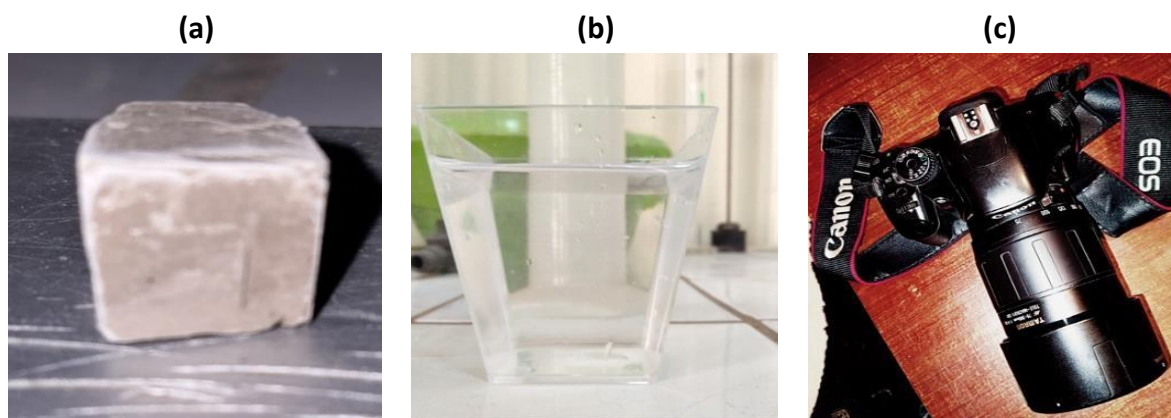


Figure (4.13): Matériel de crumb test, (a): cube du sol, (b) L'eau distillée, Appariel photo

4.4.2.2 Mode opératoire

Conformément la norme **ASTM D6572-00**, le Crumb test consiste à immerger un cube de sol remanié de petite taille (10 mm de côté) dans un volume d'eau beaucoup plus important (250 ml). La tendance des particules du sol à se disperser en suspension colloïdale est estimée par observation du nuage formé à 2 minutes, 1 heure et 6 heures. Selon le degré de turbidité du nuage, le sol est classé dans un des quatre niveaux de dispersion.

4.4.3 Essai Double Hydromètre

4.4.3.1 Objectif de l'essai

L'idée de l'essai du Double Hydromètre a été donnée par Volk en 1937 mais c'est en 1972 que la première procédure d'essai a été réalisé par Sherard. Une étude paramétrique des floculats et des précipités d'un sol dans différents liquides avec ou sans défloculants a été réalisée en 1988 au LCPC. (**Hénensal et al., 1987**), puis L'essai a été normalisé selon la norme **ASTM D4221-99**.

Le problème d'érosion et de dispersion des sols, montrent que la fraction des particules fines a un rôle significatif. L'objectif de la méthode est de comparer la tendance des particules fines d'un sol à sédimenter respectivement dans:

- L'eau distillée sans agitation mécanique (sédimentation normale),
- Une solution défloculante avec agitation mécanique (sédimentation dispersée).

La différence entre ces deux types de sédimentations montre la tendance à la dispersion naturelle du sol examiné.

4.4.3.2 Matériels utilisés

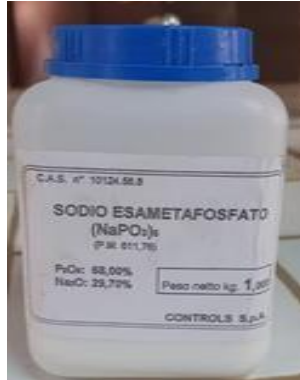
- Etuve ;
- Un tamis de 0.080 mm ;
- Eau distillée ou déminéralisée ;
- Dé floculant (hexa-métaphosphate de sodium) ;
- Un Bécher une capacité de 250 ml ;
- Agitateur mécanique ;

- Deux éprouvettes de sédimentation cylindriques graduées en verre transparent : de 457 mm de hauteur et de 63.5 mm de diamètre et marqué pour un volume de 1000 ml. Le diamètre intérieur doit être tel que la marque de 1 000 ml soit à 36 ± 2 cm du fond à l'intérieur ;
- Un Hydromètre gradué (Hydromètres 151H ou 152H).
- Thermomètre : Un thermomètre précis à 0.5°C .

Etuve à 105°C



Défloculant



Défloculant



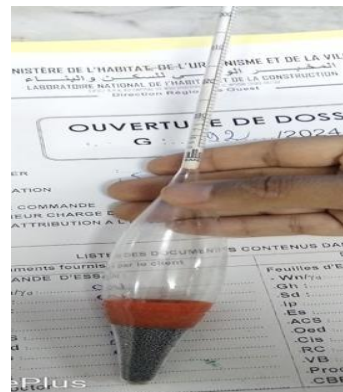
Agitateur mécanique



Tamis 0,080 mm



Hydromètre



Eprouvettes

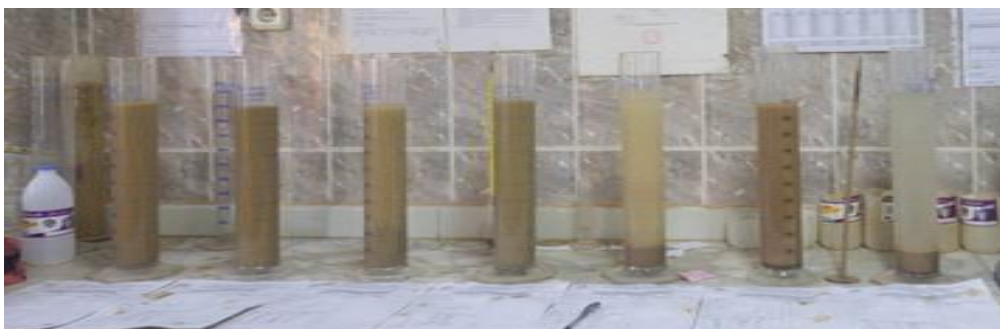


Figure (4.15) : Matériels de l'essai double Hydromètre.

4.4.3.3 Mode opératoire

- On procède par l'essai proctor pour faciliter l'exécution de l'essai crumb test, ensuite on entame le lavage de l'échantillon pour réaliser l'essai double Hydromètre;
- Lorsque le sol est principalement de la taille de l'argile et de la vase, pesez un échantillon de sol sec d'environ 50 g, et si le sol est principalement composé de sable, l'échantillon doit être d'environ 100 g ;
- Placer l'échantillon dans un bécher de 250 ml ;
- Ajoutez 125 ml de solution d'hexa métaphosphate de Sodium (**40 g / l**) (Défloculant) ;
- Remuer le mélange jusqu'à ce que le sol soit complètement mouillé ;
- Laisser tremper pendant au moins 16 h ;
- Pendant que le sol est trempé ;
- Ajouter 125 ml de défloculant d'hexa métaphosphate de sodium dans un éprouvette cylindrique et remplir avec de l'eau distillée jusqu'à la marque (1000 ml) ;
- Prendre la lecture de la correction zéro à la tige de l'hydromètre ;
- Une lecture inférieure à zéro est enregistrée comme une correction négative (-) et une lecture entre zéro et soixante est enregistrée comme une correction positive (+), **La correction du ménisque** est la différence entre le sommet du ménisque et le niveau de la solution dans le récipient de contrôle (habituellement environ +1) ;
- Agiter l'éprouvette cylindrique de manière à mélanger soigneusement le contenu ;
- Insérez l'hydromètre et le thermomètre dans le cylindre ;
- Contrôler et notez la correction du zéro et la température, respectivement.

L'addition d'un défloculant modifie la lecture faite dans l'eau déminéralisée. Pour déterminer la correction Cd :

- Remplir une éprouvette de 2 litres de l'eau déminéralisé ;
- Faire la lecture au sommet du ménisque ;
- Ajouter la quantité du défloculant pré-vue au mode opératoire ;
- Bien brasser le liquide pour répartir le défloculant ;
- Refaire la lecture du densimètre au sommet du ménisque.

La différence de deux lectures représente la correction Cd à apporter à la lecture R.

A la fin de la période de trempage, La dispersion mécanique de l'échantillon.

L'essai de sédimentométrie

- Immédiatement après la dispersion, transférer le mélange (eau + sol) dans le cylindre de sédimentation et ajouter de l'eau distillée ou déminéralisée jusqu'à ce que le volume total soit de 1000 ml;
- L'utilisation de la paume de la main pour boucher l'extrémité ouverte du cylindre;
- Procéder à une homogénéisation de la suspension à l'aide de l'agitation manuel;
- Tourner le cylindre à l'envers et retourner pendant 1 min pour compléter l'agitation.
- Au bout de 1 min, placer le cylindre dans un endroit pratique;

- Prendre des lectures d'hydromètre aux intervalles de temps suivants (mesurés à partir du début de la sédimentation), ou autant que nécessaire, en fonction de l'échantillon ou des spécifications du matériau en cours de test : (30'',1), 2, 5, 15, 30, 60, 250 et 1440 min. Si le bain d'eau contrôlé est utilisé, le cylindre de sédimentation doit être placé dans le bain entre les lectures de 2 et 5 min;
- Lorsque vous souhaitez effectuer une lecture de l'hydromètre, insérez soigneusement l'hydromètre environ 20 à 25 s avant que la lecture ne soit due à la profondeur approximative de la lecture;
- Dès que la lecture est faite, retirez soigneusement l'hydromètre et placez-le avec un mouvement de rotation dans un gradué d'eau distillée ou déminéralisée.

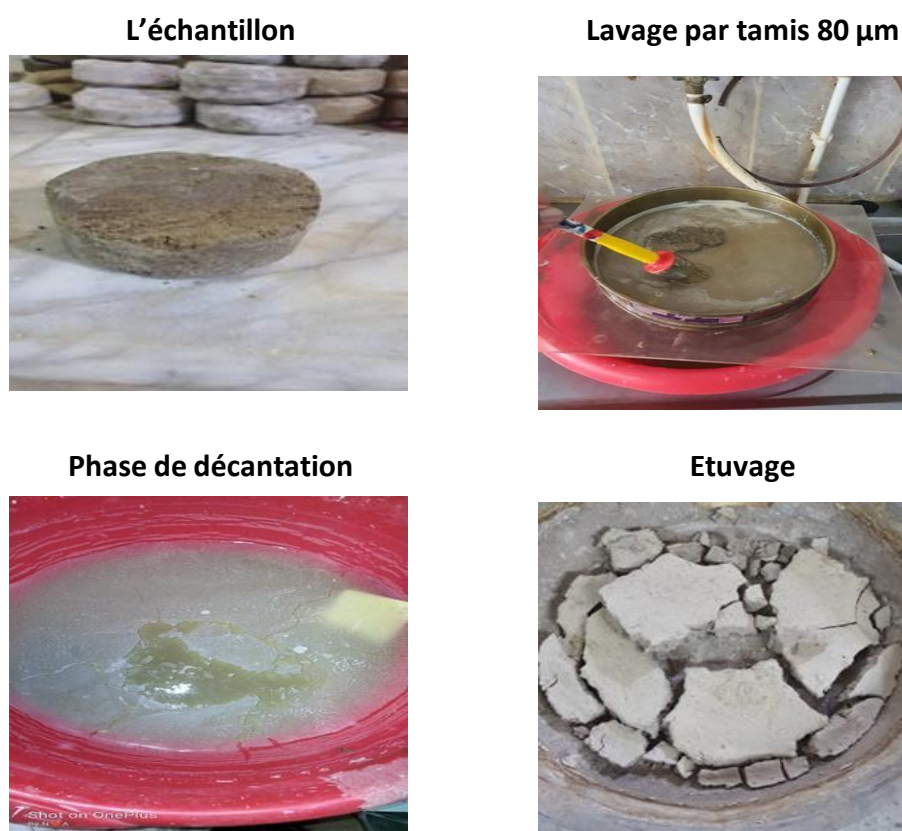


Figure (4.16) : Etape du lavage de l'échantillon étudié.

4.5 Conclusion

Les matériaux sélectionnés dans ce travail de thèse ont été d'abord identifiés et caractérisés tout en déterminant leurs propriétés physiques qui permettent de commenter, d'interpréter et de comparer les résultats issus du programme expérimental entrepris. Les échantillons sont préparés selon la nature et le type d'essai respectant les normes américaines (ASTM). Les résultats des différents essais réalisés seront présentés, analysés et discutés dans le Chapitre suivant à savoir : Crumb test et Double Hydromètre .

Chapitre 5 :

Stabilisation de la vase par ajout minéraux

5.1 Introduction

En ce chapitre, nous analyserons, comparerons et interpréterons les résultats des effets des additifs minéraux sur la dispersion des sols étudiés à travers l'essai crumb test et Double Hydromètre pour les différentes combinaisons étudiées au cours du temps.

5.2. Résultats Crumb test

5.2.1 Combinaison SOLOP0 (Vase brute)

Tableau (5.1) : Crumb test de l'échantillon SOLOP0 après 1 jour d'immersion.

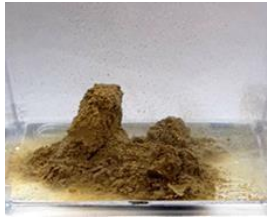





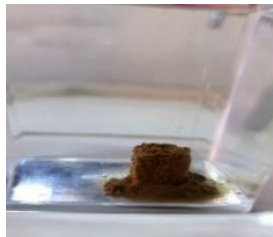


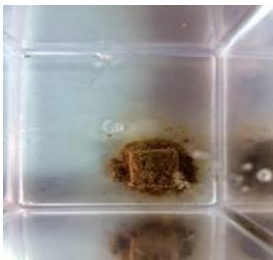


SOLOP0	Après 2 mn	Après 1 h	Après 6 h
Vue latérale			
Vue horizontale			

Tableau (5.2) : Crumb test de l'échantillon SOLOP0 après 28 jours d'immersion.

SOLOP0	Après 2 mn	Après 1 h	Après 6 h
Vue latérale			
Vue horizontale			

Commentaire

Un cube de 1×1×1cm de dimension a été prélevé de l'échantillon de chaque combinaison, puis immergé dans un récipient rempli d'eau afin de distinguer sa dispersion au cours du temps, l'interprétation est comme suite :

Il n'y a aucune différence entre 1 jour et 28 jours

- **Après 2 mn** : le sol se désagrège, diffuse et déborde avec de faible turbidité n'est observée qu'autour de l'échantillon ;
- **Après 1 h** : une réaction légère se produit avec la formation d'une suspension colloïdale de faible turbidité ;
- **Après 6 h** : le sol s'est facilement et complètement dispersé, avec un nuage de suspension colloïdale observable autour de l'interface entre le sol et l'eau de 15 mm d'extension, cela veut dire que la vase est un sol extrêmement dispersif.

5.2.2 Combinaison S20LOP0 (80% Vase + 20% Sable)

Tableau (5.3) : Crumb test de l'échantillon S20LOP0 après 1 jour d'immersion.

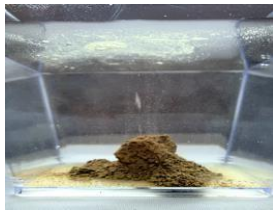





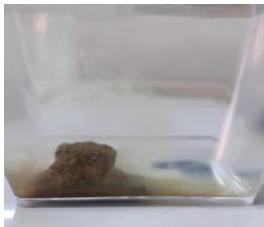

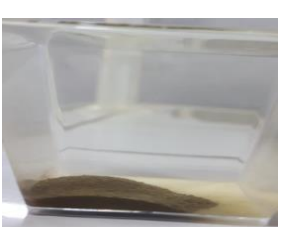
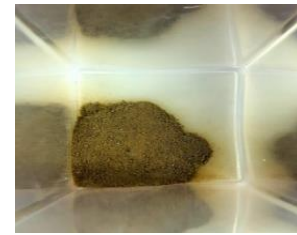
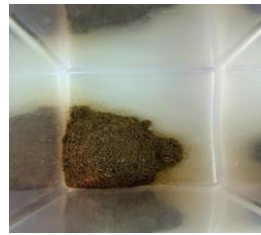
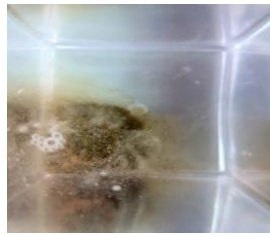
S20LOP0	Après 2 min	Après 1 h	Après 6 h
Vue latérale			
Vue horizontale			

Tableau (5.4) : Crumb test de l'échantillon S20LOP0 après 28 jours d'immersion.

S20LOP0	Après 2 min	Après 1 heure	Après 6 heures
Vue latérale			

Vue
horizontale



Commentaire

- **Après 2 mn** : Aucune différence d'observation entre 1 et 28 jours d'immersion, le sol se désagrège, se diffuse et déborde avec une faible turbidité observée autour de l'échantillon ;
- **Après 1 h** : le sol est dispersif, il se produit une réaction légère avec la formation d'une suspension colloïdale de faible turbidité ;
- **Après 6 h** : Dispersion modérée, le nuage de suspension colloïdale est facilement observable autour de l'interface entre le sol et l'eau d'une extension d'environ 15 mm de l'échantillon.

Donc on constate que cette combinaison est dispersive, pas de réaction chimique malgré la correction granulaire au sable.

5.2.3 Combinaison SOL3P0 (97% Vase + 3% chaux)

Tableau (5.5) : Crumb test de l'échantillon SOL3P0 après 1 jour d'immersion.

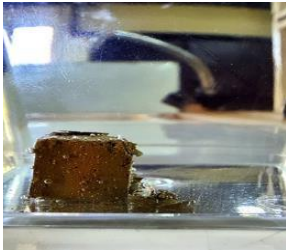
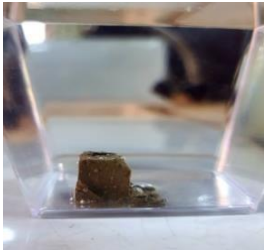
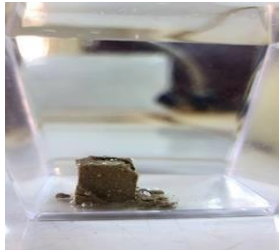
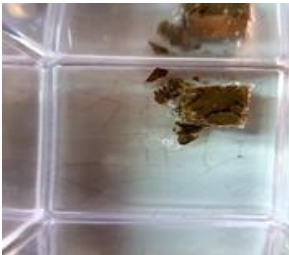
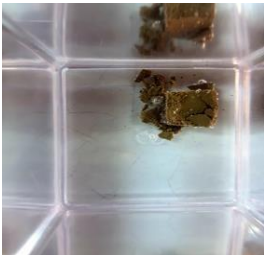

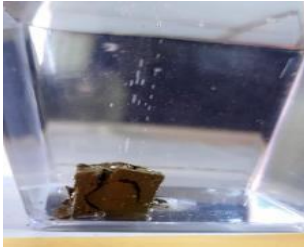
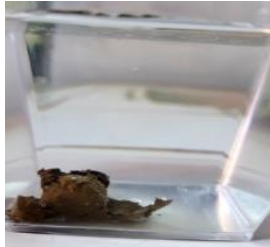

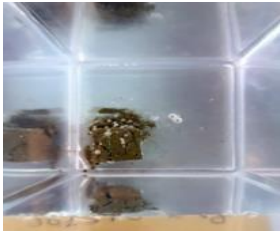


SOL3P0	Après 2 mn	Après 1 h	Après 6 h
Vue Latérale			
Vue horizontale			

Tableau (5.6) : Crumb test de l'échantillon SOL3P0 après 28 jours d'immersion.

SOL3P0	Après 2 mn	Après 1 h	Après 6 h
Vue latérale			
Vue horizontale			

Commentaire

- **Après 2 mn** : le sol est non dispersif à 1 jour d'immersion, aucune réaction entre le sol et la chaux, même comportement a été constaté à 28 jours ;
- **Après 1 h** : sol faiblement dispersif à 1jour, puis une dispersion modérée et une formation d'une suspension colloïdale de faible turbidité a été observée après 28 jours d'immersion ;
- **Après 6 h** : une réaction légère produite sans aucune formation d'une suspension colloïdale ou d'une turbidité à 1jour par contre à 28jours d'immersion, le sol est complètement dispersif.

Donc on peut conclure que la combinaison SOL3P0 est dispersive au cours du temps à cause que la réaction chimique était incomplète.

5.2.4 Combinaison SOL5P0 (95% Vase + 5% Chaux)

Tableau (5.7) : Crumb test de l'échantillon SOL5P0 après 1 jour d'immersion.

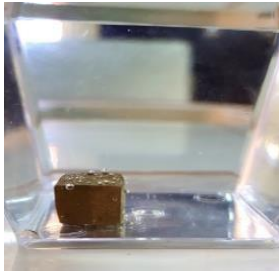
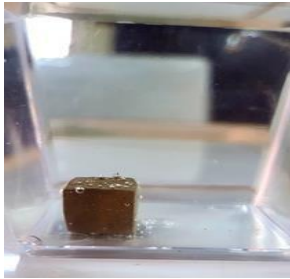
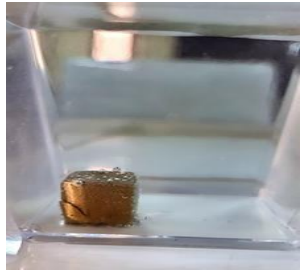
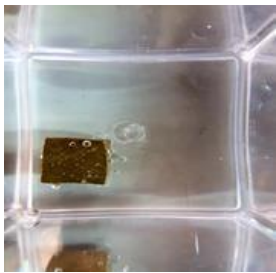
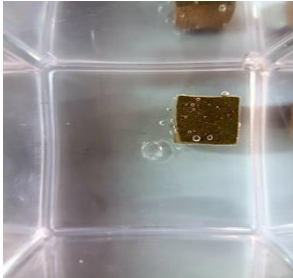
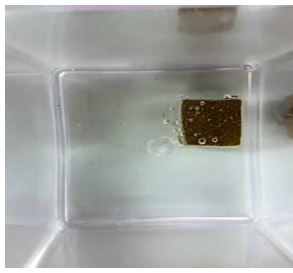
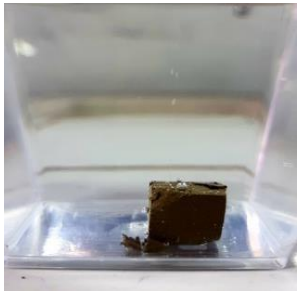


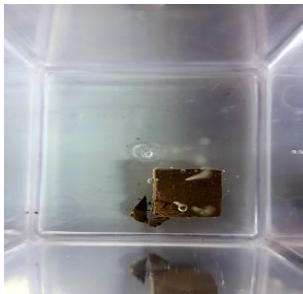


SOL5P0	après 2 mn	Après 1 h	après 6 h
Vue latérale			
Vue horizontale			

Tableau (5.8) : Crumb test de l'échantillon SOL5P0 après 28 jours d'immersion.

SOL5P0	Après 2 mn	Après 1 h	Après 6 h
Vue latérale			
Vue horizontale			

Commentaire

- **Après 2 mn** : l'échantillon est non dispersif à 1jour d'immersion ainsi qu'au 28 jours ;
- **Après 1 h** : le sol est pratiquement stable à 1jour même qu'après 28 jours, il est non dispersif juste un petit décollement d'angle ;
- **Après 6 h** : l'échantillon est non dispersif, reste quelque faible fissure et coupures d'angles.

On peut conclure que lorsque le taux de traitement à la chaux augmente de 3 à 5%, le sol est plus stable.

5.2.5 Combinaison S20L3P0 (77 % Vase+ 20 % Sable + 3 % chaux)

Tableau (5.10) : Crumb test de l'échantillon S20L3P0 après 1 jour d'immersion.

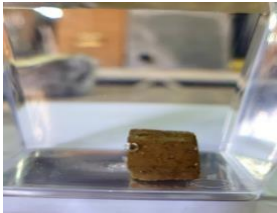
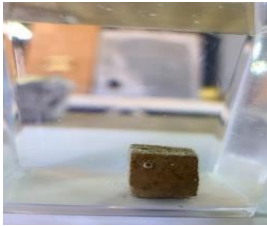
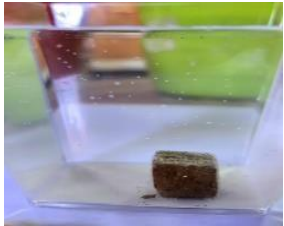
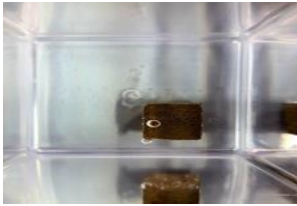
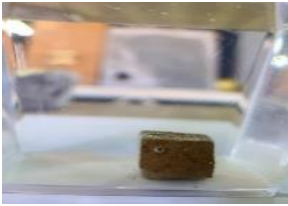

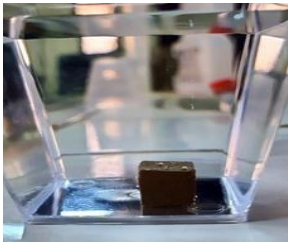
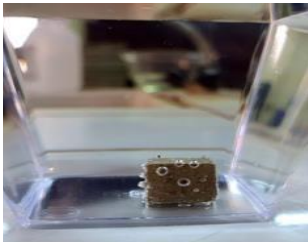
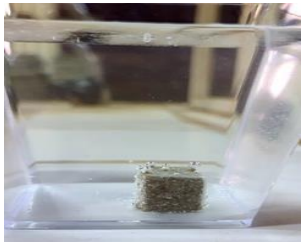
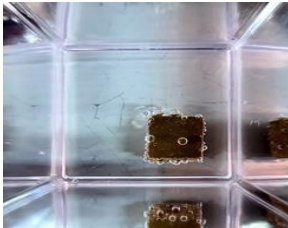
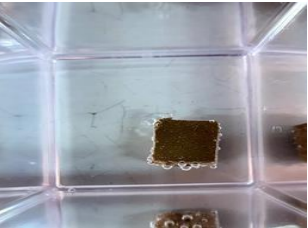

S20L3P0	Après 2 mn	Après 1 h	Après 6 h
Vue latérale			
Vue horizontale			

Tableau (5.11) : Crumb test de l'échantillon S0L5P0 après 28 jours d'immersion.

S20L3P0	Après 2 mn	Après 1 h	Après 6 h
Vue latérale			
Vue horizontale			

Commentaire

- **Après 2 mn** : Sol non dispersif, pas de réaction entre l'échantillon et l'eau car la chaux a modifié les propriétés de sol ;
- **Après 1 h** : sol non dispersif, aucune réaction entre l'échantillon et l'eau, l'échantillon est très stable ;
- **Après 6 h** : sol non dispersif.

5.2.6 Combinaison S20L5P0 (75 % Vase+ 20 % Sable + 5 % chaux)

Tableau (5.12) : Crumb test de l'échantillon S20L5P0 après 1 jour d'immersion.

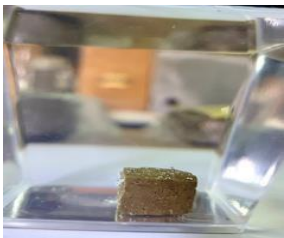
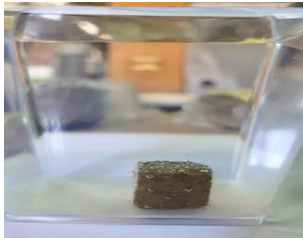
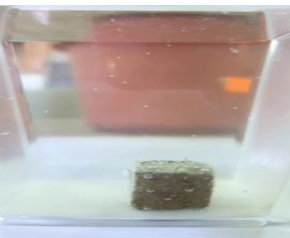


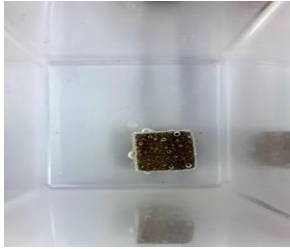
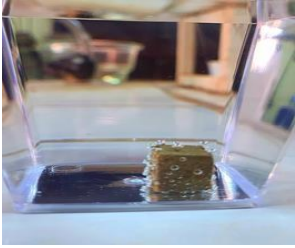
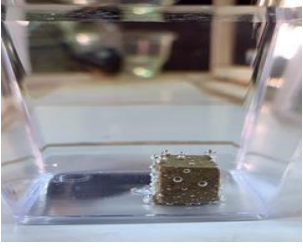
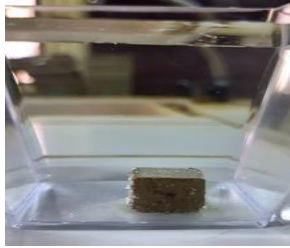
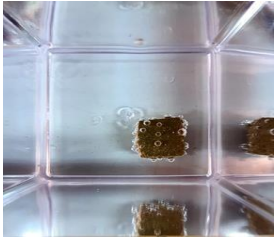

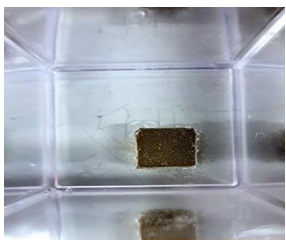
S20L5P0	après 2 min	après 1 h	après 6 h
Vue latérale			
Vue horizontale			

Tableau (5.13) : Crumb test de l'échantillon S20L5P0 après 28 jours d'immersion.

S20L5P0	Après 2 mn	Après 1 h	Après 6 h
Vue latérale			
Vue horizontale			

Commentaire

- Après 2 mn : Sol non dispersif à 1 et 28 jours après immersion ;
- Après 1 h : Bonne stabilité de la vase à 1 et 28 jours ;
- Après 6 h : Sol bien stable

5.2.7 Combinaison SOL3P20 (77 % Vase + 3 % chaux + 20 % Pouzzolane)

Tableau (5.14) : Crumb test de l'échantillon SOL3P20 après 1 jour d'immersion.

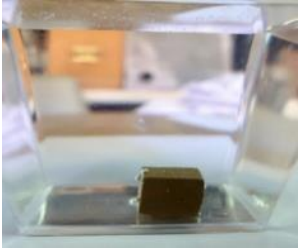
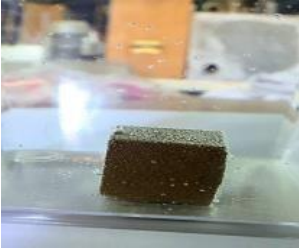
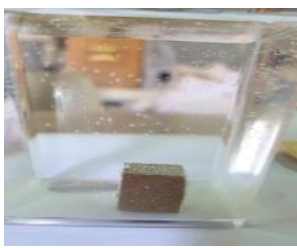
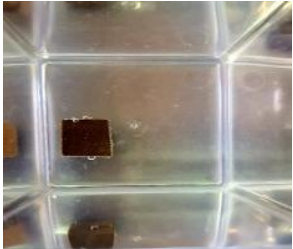
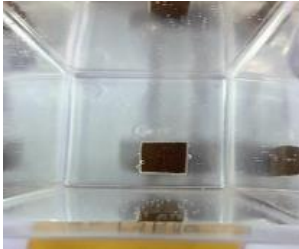
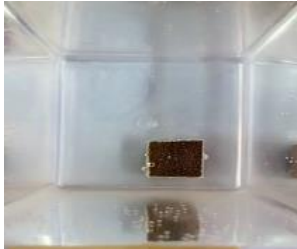
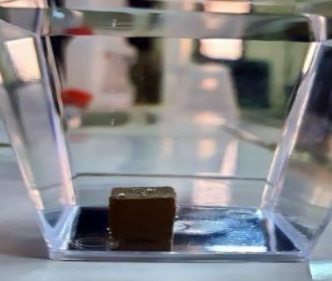
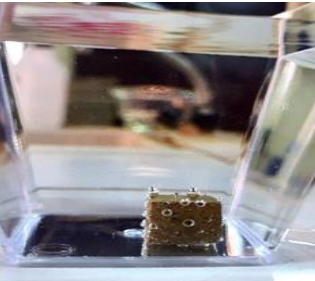
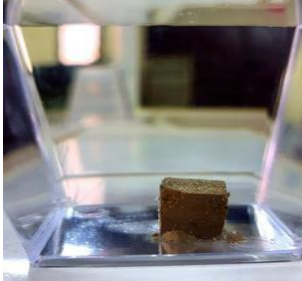
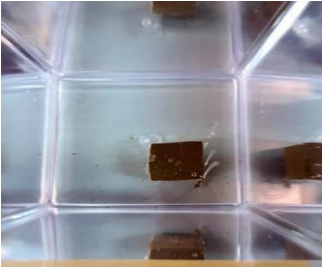
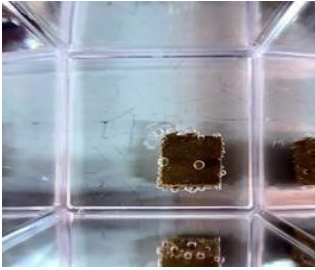
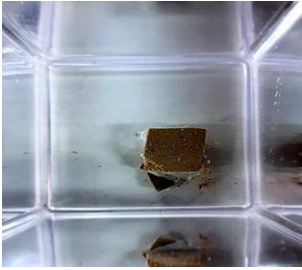
SOL3P20	après 2 mn	après 1 h	après 6 h
Vue latérale			
Vue horizontale			

Tableau (5.15) : Crumb test de l'échantillon SOL3P20 après 28 jours d'immersion.

SOL3P20	Après 2 mn	Après 1 h	Après 6 h
Vue latérale			
Vue horizontale			

Commentaire

- Après 2 mn : Sol non dispersif à 1 et 28 jours ;
- Après 1 h : Bonne réaction chimique ce qui rend le sol bien stable ;
- Après 6 h : meilleure stabilité obtenue après 28 jours d’immersion.

5.2.8 Combinaison SOL5P20 (75 % Vase + 5 % chaux + 20 % Pouzzolane)

Tableau (5.16) : Crumb test de l’échantillon SOL5P20 après 1 jour d’immersion.

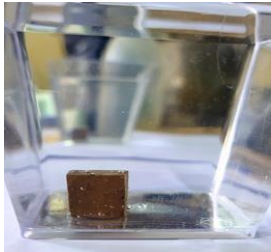
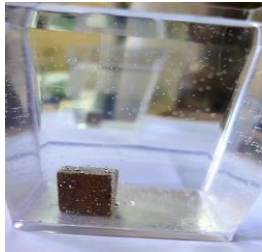
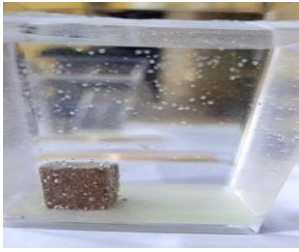
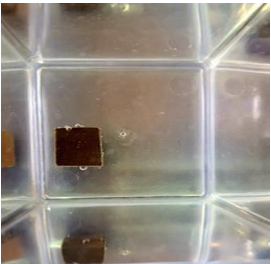
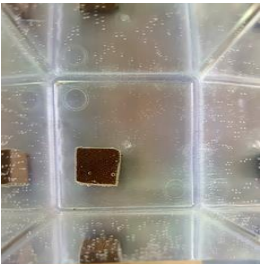
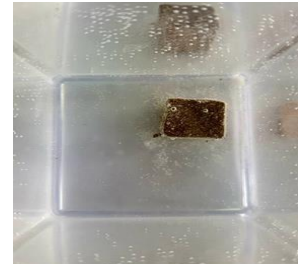
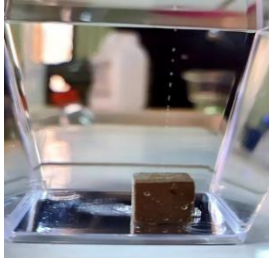
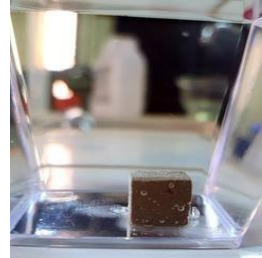
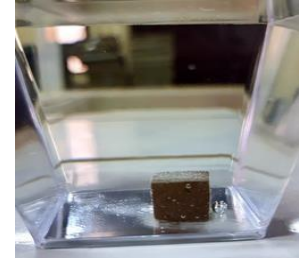
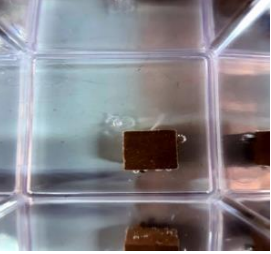
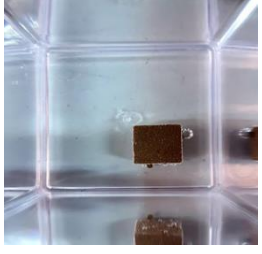
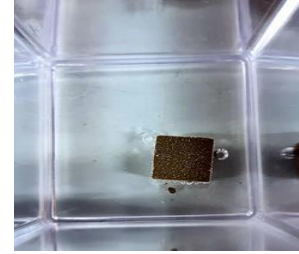
SOL5P20	après 2 mn	après 1 h	après 6 h
Vue latérale			
Vue horizontale			

Tableau (5.17) : Crumb test de l’échantillon SOL5P20 après 28 jours d’immersion.

SOL5P20	Après 2 mn	Après 1 h	Après 6 h
Vue latérale			
Vue horizontale			

Commentaire

- Après 2 mn : Sol non dispersif à 1 et 28 jours ;
- Après 1 h : Sol non dispersif, aucune réaction entre l'échantillon et l'eau.
- Après 6 h : très bonne stabilité obtenue.

5.2.9 Combinaison S20L3P20 (57 % Vase+20% Sable + 3 % chaux + 20 % Pouzzolane)

Tableau (5.18) : Crumb test de l'échantillon S20L3P20 après 1 jour d'immersion.


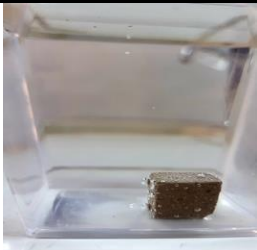
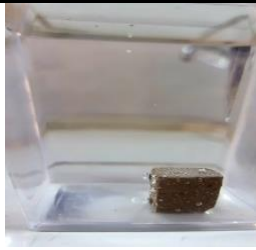
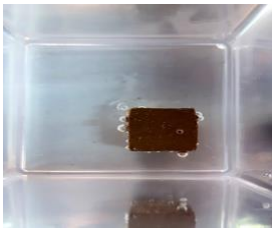
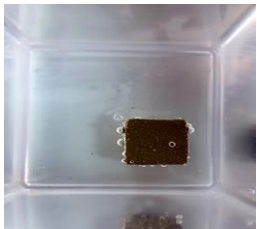

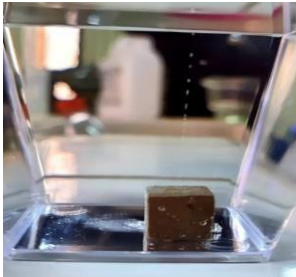
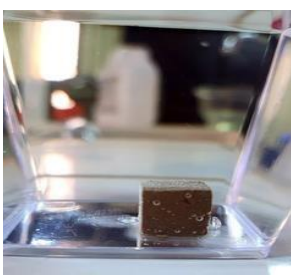
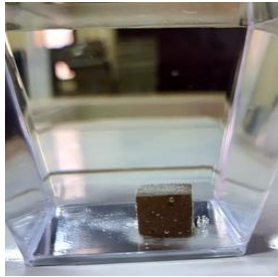
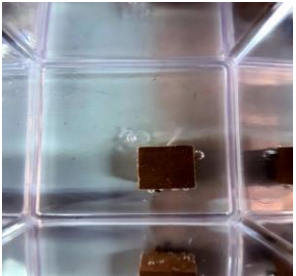
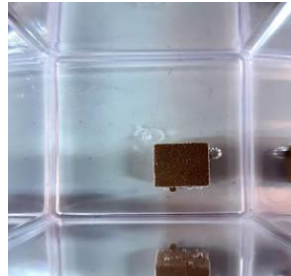
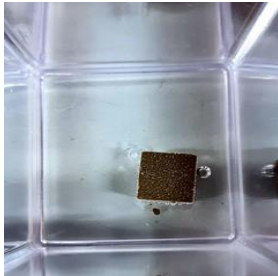
S20L3P20	après 2 mn	après 1 h	après 6 h
Vue latérale			
Vue horizontale			

Tableau (5.19) : Crumb test de l'échantillon S20L3P20 après 28 jours d'immersion.

SOL5P20	Après 2 mn	Après 1 h	Après 6 h
Vue latérale			
Vue horizontale			

Commentaire

- Après 2 min : Sol non dispersif ;
- Après 1 h : aucune dispersion entre 1 et 28 jours ;
- Après 6 h : sol non dispersif, apparence de bulles, ce qui indique l'interaction de l'eau et la surface du cube sans aucun changement.

5.2.10 Combinaison S20L5P20 (57 % Vase+20% Sable + 3 % chaux + 20 % Pouzzolane)

Tableau (5.18) : Crumb test de l'échantillon S20L5P20 après 1 jour d'immersion.

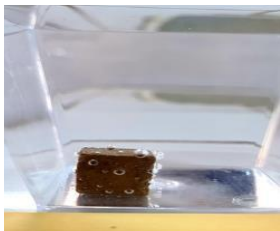
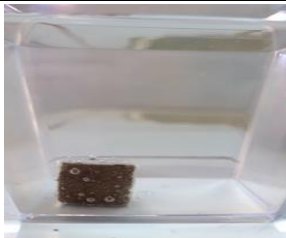
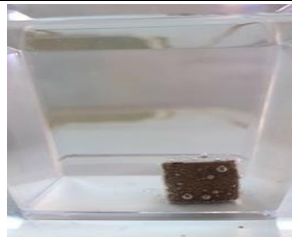



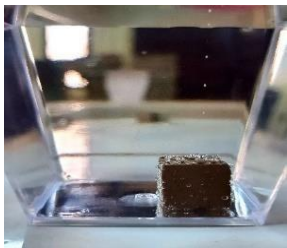
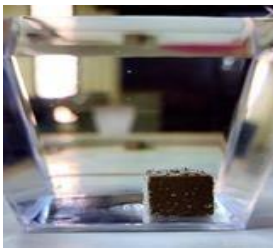
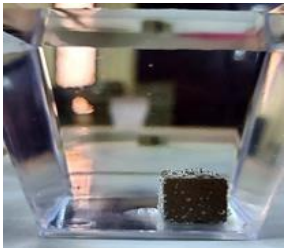

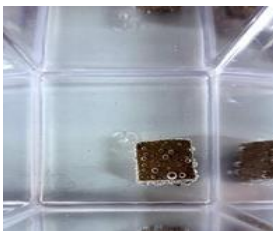
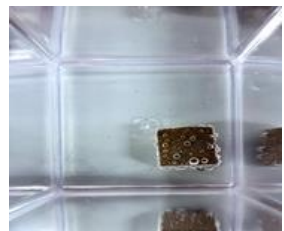
S20L5P20	après 2 mn	après 1 h	après 6 h
Vue latérale			
Vue horizontale			

Tableau (5.19) : Crumb test de l'échantillon S20L5P20 après 28 jours d'immersion.

S20L5P20	Après 2 mn	Après 1 h	Après 6 h
Vue latérale			
Vue horizontale			

Commentaire

- **Après 2 mn** : Aucune dispersion observée ;
- **Après 1 h** : Sol non dispersif entre 1 et 28 jours ;
- **Après 6 h** : Excellent résultat de stabilité obtenue.

5.3 Essai double hydromètre

5.3.1 Méthode de détermination de la Dispersion

Pour étudier la dispersion d'un sol cohérent, il est utile de l'analyser par double hydromètre et par la suite, déterminer le coefficient de dispersion, dont la relation est définie par :

$$D = \frac{\% \text{ fines } < 5\mu\text{m (sans dispersant)}}{\% \text{ fines } < 5\mu\text{m (avec dispersant)}}$$

Si D est proche de 100%, le sol est complètement dispersif, autrement dit, l'argile déflocule naturellement dans l'eau. En revanche, si D est très faible (proche de zéro) le matériau est non-dispersif, c'est-à-dire que l'argile reste floculée en condition normale (sans agent dispersant et sans agitation mécanique) dans l'eau. Le tableau suivant illustre la classification des sols en fonction de leur dispersion :

Tableau (5.20) : Classification de la dispersion des sols. (Sherard et al., 1976)

%Dispersion	Etat de sols
D<30%	Non dispersif
30% <D<50%	Probablement dispersif
D>50%	Dispersif

5.3.2 Calcul de la dispersion de la combinaison S0L0P0

On a choisi la combinaison S0L0P0 (Vase brute) comme exemple, afin de montrer la méthode suivie pour calculer sa dispersion.

Le tableau (5.21) présente les résultats de l'essai double Hydromètre à 28jours sans défloculant, par contre le tableau (5.22) donne les résultats toujours du double Hydromètre mais avec défloculant.

Tableau (5.21) : Sédimentométrie sans dispersant.

SOLOPO (sans défloculant) à 28 jours										
T (mn)	Lecture R	T (°C)	C.m C.D C.T	Lecture Corrigée R1	% Passant	P .E H.R	(HR/T) ^{1/2}	F	D (mm)	(%) Passant
0,5	24	26,5	1,2	25,2	80,14	12,95	5,09	0,01239	0,0631	79,98
1	23	26,5	1,2	24,3	76,96	13,16	3,63	0,01239	0,0449	76,8
2	22,5	26,5	1,2	23,7	75,37	13,16	2,57	0,01239	0,0318	75,22
5	22,2	26,5	1,2	23,4	74,41	13,37	1,64	0,01239	0,0203	74,26
10	21,9	26,5	1,2	23,1	73,46	13,37	1,16	0,01239	0,0143	73,31
20	20,5	26,5	1,2	21,7	69,01	13,58	0,82	0,01239	0,0102	68,87
40	19,7	26	0,9	20,6	65,51	13,79	0,59	0,01253	0,0074	65,38
80	18,1	26	0,9	19	60,42	14,21	0,42	0,01253	0,0053	60,3
240	13,0	26	0,9	14	44,20	15,26	0,25	0,01253	0,0032	44,11
1440	0,9	25,5	0,9	1,9	05,72	17,78	0,11	0,01253	0,0014	0,571

Tableau (5.22) : Sédimentométrie avec dispersant.

SOLOPO à 28 jours (avec défloculant)										
T (mn)	Lecture R	T (°C)	C.m C.D C.T	Lecture Corrigée R1	% Passant	P .E H.R	(HR/T) ^{1/2}	F	D (mm)	(%) Passant
0,5	28	27,5	1,4	29,4	93,49	12,11	4,92	0,01225	0,0603	93,31
1	27,2	27,5	1,4	28,6	90,95	12,11	3,48	0,01225	0,0426	90,77
2	26,7	27,5	1,4	28,1	89,36	12,32	2,48	0,01225	0,0304	89,18
5	26	27,5	1,4	27,4	87,13	12,53	1,58	0,01225	0,0194	86,96
10	25,5	27	1,2	26,7	84,91	12,53	1,12	0,01239	0,0139	84,74
20	24,9	27	1,2	26,1	83,00	12,74	0,8	0,01239	0,0099	82,83
40	23,5	26,8	1,2	24,7	78,55	12,95	0,57	0,01239	0,007	78,39
80	22,2	26,2	0,9	23,1	73,46	13,37	0,41	0,01253	0,0051	73,31
240	20,0	26	0,9	20,9	66,46	13,79	0,24	0,01253	0,003	66,33
1440	17,0	25,5	0,9	17,9	56,92	14,42	0,1	0,01253	0,0013	56,81

La figure suivante illustre la méthode de détermination du coefficient de dispersion : D

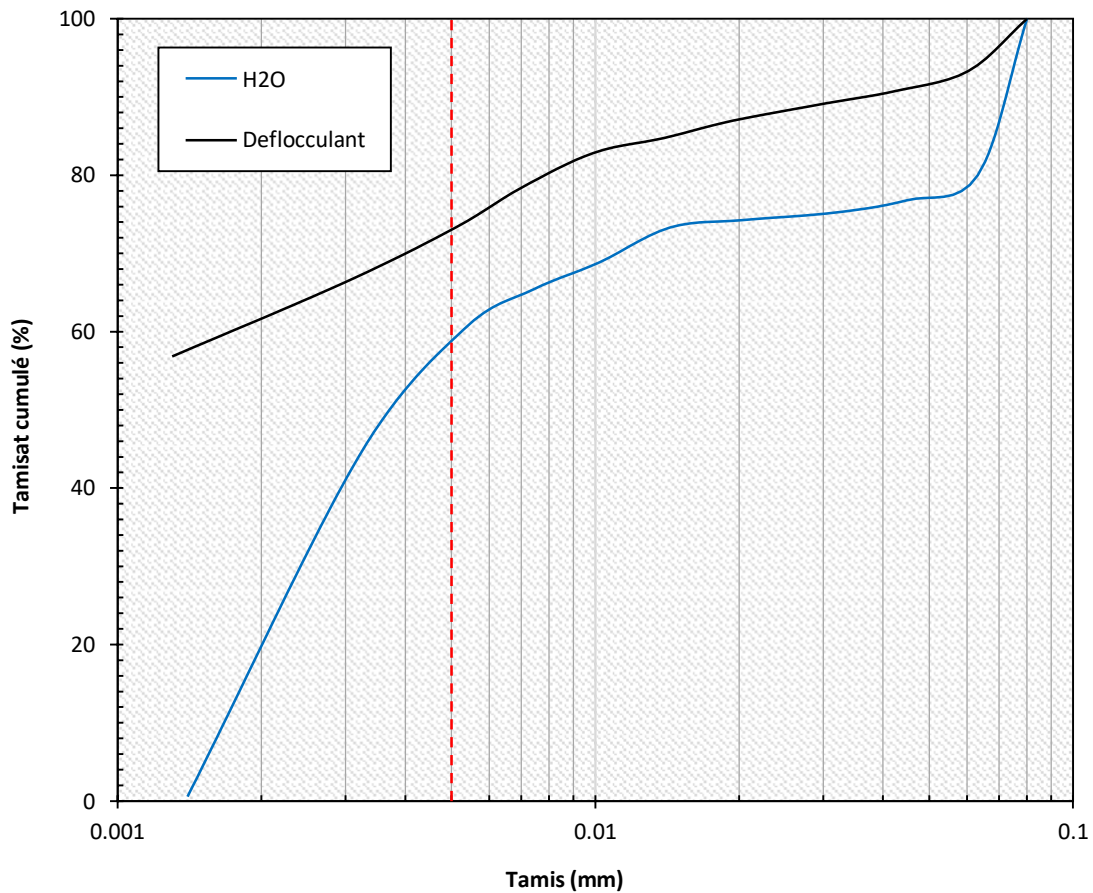


Figure (5.1) : Méthode de détermination du coefficient de dispersion (sol naturel).

Calcul du coefficient de dispersion :

- D'après le résultat d'un 1 jour : $D\% = \frac{60.3}{78.71} \times 100 = 76.6\%$
- D'après le résultat de 28 jours : $D\% = \frac{60.3}{73.30} \times 100 = 82.3\%$

Commentaire :

Le coefficient de dispersion de la combinaison S0L0P0 est Supérieur à 50% donc, le sol (Vase brute) est extrêmement dispersif.

5.3.3 Variation de la dispersion des différentes combinaisons étudiées

Tableau (5.22) : Coefficients de dispersion des différentes combinaisons.

Combinaison	% fines < 5 μ m		Coefficient de dispersion D (%)
	Sans dispersant (H ₂ O)	Avec dispersant (Défloculant)	
S0LOP0	60.30	73.31	82.30
S2OLOP0	38.14	55.55	68.70
SOL3P0 1j	07.50	68.83	11.00
SOL3P0 28j	08.51	68.42	12.40
SOL3P20 1j	04.43	58.26	07.60
SOL3P20 28j	05.08	48.64	10.40
SOL5P0 1j	08.00	67.13	12.00
SOL5P0 28j	08.53	60.68	14.10
SOL5P20 1j	05.39	55.81	09.70
SOL5P20 28j	05.98	50.03	12.00
S2OL3P0 1j	05.22	56.08	09.30
S2OL3P0 28j	05.36	49.24	10.90
S2OL5P0 1j	02.37	49.82	04.80
S2OL5P0 28j	06.49	44.98	14.40
S2OL3P20 1j	2.59	43.77	5.92
S2OL3P20 28j	2.4	34.49	6.96
S2OL5P20 1j	2.5	42.44	5.89
S2OL5P20 28j	2.4	32.82	7.31

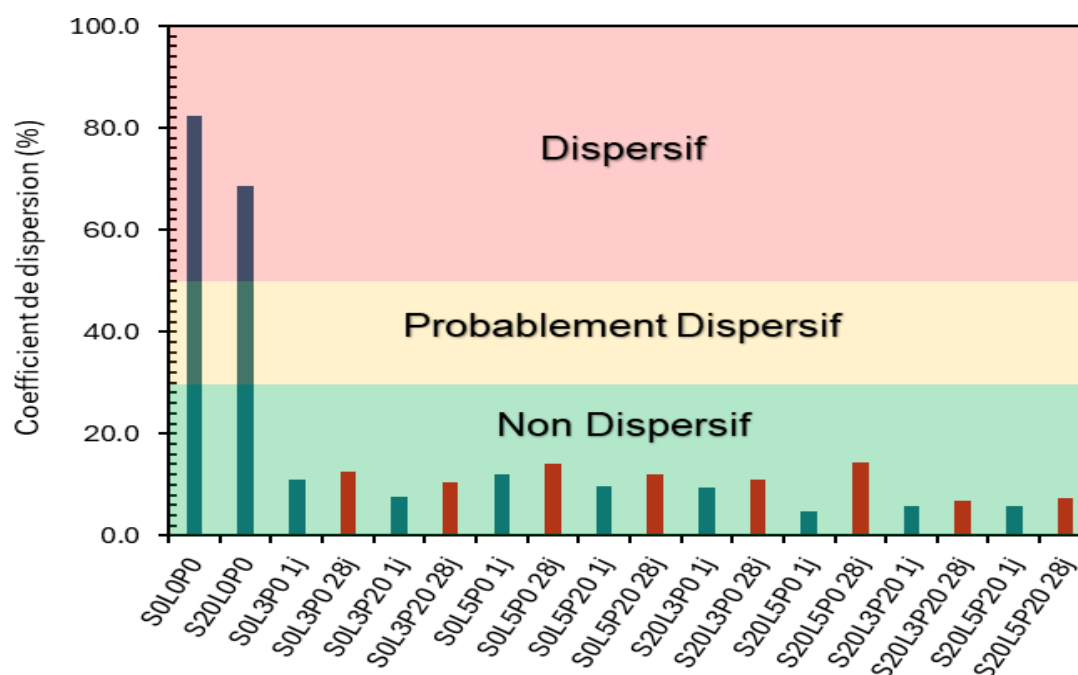


Figure (5.2) : Variation de la dispersion des combinaisons étudiées

Commentaire

D'après le tableau (5.22) et la figure (5.2), on constate que seules les combinaisons S0L0P0 et S20L0P0 sont des sols dispersifs, avec un coefficient de dispersion dépassant 50%, par contre tout échantillon traité à la chaux ou même à la pouzzolane naturelle présente une dispersion moins de 30%, ce qui signifie que ce sont des sols non dispersifs. Le même comportement a été souligné par Bhuvaneshwari, S. et al (2007) et Umesh T. S., et al., (2011) de leur étude menée sur des argiles dispersives. Donc, on peut conclure, d'une part, que la chaux seule à 3 ou 5% ou même combinée à la Pouzzolane naturelle, agit chimiquement sur la vase du barrage, et assure bien d'éventuelle une excellente stabilisation.

D'autre part on constate que le temps de cure agit significativement sur la dispersion des différentes combinaisons, car la dispersion augmente avec modération au cours du temps de traitement mais le sol demeure non dispersif. Toutefois, la dispersivité ne diminue pas en dessous de 30%. La diminution très graduelle on observe clairement cela depuis 1 jour jusqu'à 28 jours.

Ces résultats sont bien conformes aux résultats de l'essai Crumb Test où la stabilité a été clairement observée visuellement lors du traitement de la vase par la chaux même en augmentant son taux de 3 à 5% aussi en combinant avec la pouzzolane naturelle.

En comparant les valeurs des résultats de divers tests effectués sur le sol avec et sans agent dispersant. On peut conclure que la dispersivité du sol augmente généralement avec la quantité d'agent dispersant.

5.4 Conclusion

Ce chapitre souligne que la dispersivité de la vase du barrage de Gargar peut être évaluée en comparant les valeurs des résultats de divers tests. Tels que le Crumb test et Double Hydrométrie.

L'ajout de Sable de Chlef comme correcteur granulaire pour contrôler la dispersion n'a pas provoqué de changements prédominants et le % de dispersion est resté à 68.70%, ce qui signifie que le sable n'a pas de propriétés auto ciment en raison de l'absence de composés calciques, de sorte que le processus de floculation et d'agrégation n'a pas été développé.

Mais avec l'ajout d'activateurs tels que la chaux et la pouzzolane, la cimentation se développe, les caractéristiques cimentaires ont été conférées aux 3 % à 5% de chaux, donc la chaux induit le processus de floculation comme un agent liant. L'action combinée de l'agrégation et de la liaison mécanique réduit la dispersion. Le pourcentage de dispersion est réduit à près de 180 % pour une teneur en chaux de 5 %.

On constate que la combinaison qui favorise une excellente stabilisation est celle de la chaux combinée à la Pouzzolane S20L5P20 avec un coefficient de dispersion de 5.89% à 28 jours de traitement.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Au terme de cette étude menée pour le but de mieux analyser le phénomène d'envasement ainsi que la valorisation des sédiments d'envasement du barrage Gargar,

Nous avons consacré une partie, théorique qui permet de présenter le phénomène d'envasement, les causes et origines de l'envasement et les moyens de lutte contre ce problème et l'autre partie consiste à proposer une méthode permettant de réutiliser les sédiments obtenus par suite des opérations de dragage en domaine des travaux routier.

Les retenues de barrage qui se trouvent sur le bassin hydrographique de Zahrez sont les plus touchés par le phénomène d'envasement, vu l'importance du taux d'érosion dans cette région, favorisé par la nature des sols et le manque du couverture végétal.

Le taux d'érosion spécifique atteint dans le Nord Algérien est parmi la valeur la plus élevée en Algérie, dépassant $2000 \text{ t/km}^2.\text{an}$ sur la plupart des bassins versants de l'Atlas Tellien (Rhiou, Sly, Fodda, Mazafran, Isser, Soummam, ...). Il atteint $4000 \text{ t/km}^2.\text{an}$ sur la chaîne des côtiers du Dahra.

L'Algérie qui a une expérience considérable en matière de la lutte contre ce phénomène tente depuis plusieurs années de mettre en œuvre des moyens de lutte adéquats pour allonger la durée de vie des barrages en améliorant leur exploitation.

Ces moyens doivent être poursuivis, renforcés et généralisés dans le futur pour une meilleure protection des ressources.

Le barrage de Gargar est situé dans la wilaya de Relizane, à 5 km au Sud-Ouest de la ville d'Oued Rhiou et a peu près à 3 km en amont du pont de la Route Nationale RN 4 sur l'Oued Rhiou avec un climat semi aride, les apports à prendre en compte sont de 185 hm^3 . Le débit moyen annuel (module) est de $5,9 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui correspond à un débit spécifique de $2,48 \text{ l/s/km}^2$ (78 mm/an).

Si l'on prend pour référence la capacité du barrage depuis sa mise en eau en 1989, il a perdu à la date de Mars 2004 un volume de l'ordre de 91.72 Hm^3 , cela correspond à une perte moyenne par an de l'ordre de $6114600 \text{ m}^3/\text{an}$ de la capacité actuelle du barrage à la cote normale. Selon l'étude bathymétrique effectuée par l'ANBT en 2004 et après 15 ans de sa mise en eau, le barrage de Gargar a perdue un volume de 91.72 Hm^3 , soit un taux de 36.38% d'après son dernier levé bathymétriques daté 2019.

L'extraction de ces sédiments de barrage nécessite des dépenses importantes ce qui nous oriente à valoriser ces matériaux soit comme matière première dans l'agriculture que l'industrie, soit comme des matériaux de construction routière .

Dans le déroulement de projet de construction routière, la phase de caractérisation des matériaux est une étape essentielle qui conditionne de nombreux aspects économique et

Conclusion Générale

technique. Il est en effet primordial de savoir si les sols que le rencontre sur le tracé prévisionnel peuvent être utilisés pour constituer les différentes couches routières, en particulier la couche de forme.

Notre objectif est de valoriser les sédiments du barrage de Gargar en couche de forme, d'où nous avons appliqué cette méthodologie au niveau des laboratoires :

- Laboratoire Nationale de l'Habitat et Construction LNHC
- Laboratoire de l'Hydraulique et Génie civil de l'Université de Hassiba Benbouali Chlef UHBC

Le traitement des mélanges avec des liants hydrauliques (chaux) et pouzzolaniques permet de créer des liens forts entre les particules et de diminuer la porosité ouverte, ce qui réduit le passage de l'eau libre dans la structure.

Pour la valorisation en technique routière, les résultats suivants ont été obtenus :

- Traitement à la chaux : l'ajout de 3% ou 5% de chaux permet de rigidifier les mélanges et d'améliorer leurs propriétés mécaniques;
- Traitement au sable : l'ajout de 20% de sable améliore également les performances des mélanges;
- Traitement à la chaux-sable : le mélange de 3-5% de chaux et 20% de sable donne de meilleurs résultats que le traitement à la chaux seule;
- Traitement à la chaux-sable-pouzzolane : l'ajout de 10% ou 20% de pouzzolane naturelle en plus du mélange chaux-sable permet d'obtenir les meilleures performances mécaniques.
- Premièrement le traitement des mélanges avec des liants hydrauliques comme la chaux et des additions pouzzolaniques comme la pouzzolane naturelle s'avère efficace pour améliorer les propriétés des matériaux fins sensibles à l'eau et les rendre plus adaptés à une utilisation en technique routière.
- L'analyse granulométrique effectuée sur la vase de Gargar a permis de la classer comme un sol fin d'une granulométrie étalée, avec des sédiments mal à très mal classés, où la courbe dissymétrique avec décalage et classement maximum du côté fin.
- D'après l'abaque de Casagrande et le système de classification unifiée des sols (USCS) on voit que notre sol étudié est classé en tant qu'argile très plastique (CH).

Conclusion Générale

D'après les résultats d'essais de 10 combinaisons de sols on a conclu que :

- L'addition de la chaux au sol étudiée conduit à une augmentation importante dans la stabilité et la dispersif du sol;
- L'essai Crumb test a montré que tout les mélanges qui contiennent la chaux et pouzzolane naturelle produisent une réaction chimique qui peut augmenter la stabilité et les rendent non dispersif.
- Le mélange de S20L5P20 présente une excellente stabilité après immersion de 1 à 28 jours
- Les essais double Hydromètre confirment les essais Crumb, le traitement à la chaux et pouzzolane transforme la coefficient de dispersion du sol brute $D < 76,6\%$ et $D < 82,3\%$ à coefficient de dispersion (non dispersif) $D < 30\%$.

Finalement, cette étude souligne que la dispersion du sol peut être évaluée en comparant les valeurs des résultats de divers tests effectués sur le sol avec et sans agent dispersant. La dispersion du sol augmente généralement avec la quantité de solution défloculante. La dispersion du sol diminue après stabilisation du sol à la chaux. Parmi les différentes méthodes utilisées, telles que l'hydromètre double, le Crumb test.

En fin on peut dire qu'après traitement à la chaux, il se présente des agrégats d'argile Qui forment une masse plus cohérente en raison des réactions pouzzolaniques et des réactions d'échange d'ions ce qui rend le sol plus stable et par la suite peut être utilisé comme matière première de construction.

Référence bibliographique

Référence bibliographique

Référence bibliographique

- Agence National des Barrages et Transferts (2004) et (2010) ;
- Agence Nationale des Barrages -barrage de Gargar, document interne, Relizane ;
- **Agence Nationale des Barrages et Transfert (A.N.B.T). 2020**, Levées bathymétriques des barrages en exploitation. Rapport sur les barrages.

- **Boualem, 2006** :Nouvelles conditions et nouvelles estimations de la stabilité des chaînes de MARKOV: pplication aux modèles stochastiques de gestion des stocks . Université de Béjaia, 2 Mai 2006 .
- **Bourabah M.A, 2009** : « Comportement Mécanique des sols fins application a la valorisation des sédiments de barrages en technique routière ». Thèse de doctorat, Faculté de Technologie de l'Université de Tlemcen.
- **Bouvrard M , (1984)** : Barrages mobiles et ouvrages de dérivation, à partir de rivières transportant des **matériaux solides** . **Article École Nationale Supérieure d'Hydraulique Institut de Mécanique de Grenoble** Professeur à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées . 61, Bd Saint-Germain Paris Se 1984.
- **Daltan . (2004)**, Valorisation de sédiments fins de dragage en technique routière. Ph.D Thesis, Université de Caen, 180 p.
 - **Dongxing Wang, 2011** « solidification et valorisation de sédiments du port de dunkerque en travaux routiers » Thèse de doctorat de l'Université de Lille1.
 - **DRISS Aala Eddine., (2022)** : Etude des propriétés physico-mécaniques des sols fins argileux améliorés par des ajouts minéraux . THÈSE Présentée pour l'obtention du diplôme de DOCTORAT 3ème CYCLE (LMD).
- **Gontran Herrieret.,(2014)**, LIME TREATED SOIL AS AN EROSION-RESISTANT MATERIAL FOR HYDRAULIC EARTHEN STRUCTURES: STATE OF THE ART AND PRESENTATION OF THE FRENCH DIGUE.ELITE PROJECT . Proceedings of the South

Référence bibliographique

Baltic Conference on Dredged Materials in Dike Construction Rostock, 10-12 April 2014 ISBN: 978-3-86009-409-9

- **Guide Opérationnel Valorisation Des Sédiments De Dragage En Technique Routière**, Guide méthodologique élaboré par l'école des mines Douai dans le cadre de la démarche SEDIMATERIAUX.
 - **GRAF, W.H., ALTINAKAR M.S. (2000)** Hydraulique fluviale : écoulement et phénomènes de transport dans les canaux à géométrie simple, Traité de Génie Civil, Ed. Presses Polytechniques Romandes, Vol.16, Suisse .
 - **Hénensal P, Millon Devigne P et Duchatel F. (1987)**: L'érodimètre LCPC, Rapport interne, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, France, 21 P .
 - **KHELIL A., LALAOUI M.A., (2023)**. Traitement de sédiments de dragage d'un barrage pour une valorisation en techniques Routière-application du barrage de Gargar . Thèse de Master, université Hassiba Ben Bouali, Chlef.
 - **Meskine A., 2013**, Caractérisation Et Valorisation Des Sédiments D'envasement Du Barrage De Gargar, Thèse de Magister, Université des sciences et de la technologie Mohammed Boudia, Oran.
 - **N. BELAS, O. BELARIBI, A. MEBROUKI, N. BOUHAMOU,(2011)**:Valorisation des sédiments de dragage dans les bétons, INVACO2 : Séminaire International, innovation & valorisation en génie civil & maté.
 - **OULBACHIR K, BOUCHENAF N , KOUADRIA M.,(2018)**: Les variations au champ, de la biomasse microbienne d'un sol cultivé (Cas de la région de Tiaret).Faculté des sciences de la nature et de la vie. Université de Tiaret – Algérie.
 - **Remini B., 1997**, La technique du barrage en chasse en Algérie, Laryss journal .
 - **REMINI B. (1997)**: En vagement des retenues de barrages en Algérie : importance, mécanismes et moyen de lutte par la technique du soutirage. Thèse de Doctorat d'état, Ecole nationale Polytechnique d'Alger, mars .
- REMINI B., 2008**: La surélévation des barrages – une technique de lutte contre l'envasement- Exemples algériens.Revue La Houille Blanche.

Référence bibliographique

- **Remini,B et Bensafia,D (2016):** ENVASEMENT DES BARRAGES DANS LES REGIONS ARIDEXEMPLES ALGERIENS. Article Département des Sciences de l'Eau et Environnement, Faculté de Technologie, Université Blida1, Blida 9000, Algérie .
- **Remini B, 2019,** LES COURANTS DE DENSITE : UN PHENOMENE NATUREL QUI SE MANIFESTE DANS LES MILIEUX ARIDES, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°40, pp. 165-194.
- **Samara, M et al :** Valorization of stabilized river sediments in fired clay bricks: factory scale experiment. J. Hazard. Mater. **163**, 701–710 (2009).
- **Semcha. A, 2006 :** « Etude des propriétés géomécaniques des sédiments d'envasement de barrage et leur valorisation ».Thèse de doctorat (université des sciences et de la technologie .
- **Serbah B., 2011:** Serbah, B. (2011) Etude et valorisation des sédiments de dragage du barrage Bakhadda.Mémoire de Magister, Université Aboubakr Belkaïd, Tlemcen-Algérie. 120p **Guide Opérationnel Valorisation Des Sédiments De Dragage En Technique Routière**, Guide méthodologique élaboré par l'école des mines Douai dans le cadre de la démarche SEDIMATERIAUX.

Référence bibliographique
