

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED EL-BACHIR EL-IBRAHIMI

BORDJ BOU-ARRERIDJ

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DES GENIE CIVIL



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Réalisé en vue de l'obtention du diplôme de MASTER

Option : Géotechnique

THEME :

*Problèmes de risque d'envasement des barrages
(cas du barrage Ain Dalia Souk Ahras)*

Présenté par :

- Boubakeur Mustapha
- Lakhal Redhouane

Encadré par :

- Rouaibia Farid

Soutenu publiquement le / /
(Nom et Prénom)

.....
.....
.....

devant le jury composé de :
(Grade) (Désignation)

.....
.....
.....

Année universitaire : 2020-2021

DÉDICACE

La vie comme un chemin long, mais lorsque vous marchez dans ce passage vous rencontrez des étapes qui restent toujours avec nous donc il faut de faire une pause et Regarder en arrière et se rappeler toutes ces personnes qui ont partagé avec nous tous

Les bons moments de notre existence, mais surtout les mauvais. Ces personnes qui Nous ont aidés sans le leur dire, soutenus sans réserve, aimés sans compter, ces Personnes à qui notre bonheur devient directement le leur, Je dédie ce modeste mémoire :

**À Mon très Cher et adorable père qui n'a épargné aucun effort pour m'instruire et me guider tout au long mon cursus*

** À ma très chère mère, à qui je dois beaucoup pour ces sacrifices, son amour son aide et son soutien, sans les quelles J'avoue je ne serai pas ce que je suis aujourd'hui.*

** À la petite famille composée de ma Damme et les fils Roaa Alaa ABD Elkader, et Lokmane qui ont été une grande source de motivation pour atteindre ce niveau*

**À mes frères qui ont toujours avec moi et qui m'a encouragé dans tout ma vie et qui lui m'dit "n'arrête pas quand tu souffre arrête _toi quand tu atteins ton objectif*

**À toutes les deux familles : Boubakeur et Lakhal sans exception*

Le long de ma vie, J'ai été venturé de personnes qui m'ont donné le meilleur d'eux

Même, je crois qu'aujourd'hui il est le temps de dédiés du fond

Du Cœur ce

modeste à frères, collègues, que j'ai trouvés à l'université sans exception Qui Je garderai avec eux un excellent souvenir durant tout ma vie

DÉDICACE

La vie comme un chemin long, mais lorsque vous marchez dans ce passage vous rencontrez des étapes qui restent toujours avec nous donc il faut de faire une pause et Regarder en arrière et se rappeler toutes ces personnes qui ont partagé avec nous tous Les bons moments de notre existence, mais surtout les mauvais. Ces personnes qui Nous ont aidés sans le leur dire, soutenus sans réserve, aimés sans compter, ces Personnes à qui notre bonheur devient directement le leur, Je dédie ce modeste mémoire :

**À Mon très Cher et adorable père qui n'a épargné aucun effort pour m'instruire et me guider tout au long mon cursus*

** À ma très chère mère, à qui je dois beaucoup pour ces sacrifices, son amour son aide et son soutien, sans lesquelles J'avoue je ne serai pas ce que je suis aujourd'hui.*

** À la petite famille composée de ma Damme et les fils Rouaya, et Ouail qui ont été une grande source de motivation pour atteindre ce niveau*

**À mes frères qui ont toujours avec moi et qui m'a encouragé dans tout ma vie et qui lui m'dit "n'arrête pas quand tu souffres arrête _toi quand tu atteins ton objectif*

**À toutes les deux familles : Lakhal et Boubakeur sans exception*

Le long de ma vie, J'ai été entouré de personnes qui m'ont donné le meilleur d'eux

Même, je crois qu'aujourd'hui il est le temps de dédiés du fond

Du Cœur ce

modeste à frères, collègues, que j'ai trouvés à l'université sans exception Qui Je garderai avec eux un excellent souvenir durant tout ma vie

Sommaire

Introduction général.....	01
---------------------------	----

A- PARTIE BIBLIOGRAPHIE

CHAPITRE I :

L'ENVASEMENT DES BARRAGES

I.1. Généralité sur l'envasement des barrages	02
I.2. Problèmes posés par l'envasement	04
I.3. Processus de l'envasement des barrages	05
I.3.1. Erosion des bassins versants	07
I.3.2. Les apports solides dans la retenue	07
I.3.3. Piégeage des sédiments dans la retenue	09
I.3.4. Dépôt et tassement des sédiments	09
I.3.5. Tassement et consolidation des vases	09
I.3.6. Tassement des sédiments grossiers	10
I.4. Distribution des sédiments dans les retenues de barrages	10
I.4.1. Distribution des sédiments par courants de densité	11
I.5. Les modèles d'estimation de l'envasement	12
I.5.1. Bathymétrie par nivellement	13
I.5.2. Bathymétries par sondeurs	14
Conclusion	15

CHAPITRE II :

MOYEN DE LUTTE CONTRE L'ENVASEMENT

II.1. Généralités	15
II.2. Technique de lutte contre l'envasement	16
II.2.1. Aménagement des bassins versants	17
II.2.2. Installation des obstacles émergés dans les cours d'eau	17
II.2.3. Réalisation de barrage de décantation	18
II.2.4. Le reboisement	18
II.2.5. Soutirage des courants de densité	18
II.2.6. La technique du barrage de chasse	19
II.2.7. La chasse par les vidanges de fond	20
II.2.8. La chasse par vidange	20
II.2.9. Surélévation des barrages	21
II.2.10. Extraction par siphonnèment	22
II.2.11. La technique de drague des barrages	23
II.3. L'application de cette technique en Algérie	24
II.4. Les types de dragages	25
II.5. Les techniques de dragage	25
II.5.1. Les dragages mécaniques	25
II.5.2. Les dragages hydrauliques	26
II.5.3. Les dragages à l'américaine	28
II.6. Stockage des sédiments après le dragage.....	29
II.7. Quelques exemples de dévasement des barrages en Algérie	30
II.7.1. Dévasement du barrage de K'sob	30
II.7.2. Dévasement du barrage de Foug El Gueiss	30
II.7.3. Dévasement du barrage de Zardezs	30
II.7.4. Dévasement du barrage de Foug El Gherza	31

II.7.5. Dévasement de la retenue de Fergoug	32
II.7.6. Dévasement du barrage de Mardja Sidi Abed	33
Conclusion :	33

**CHAPITRE III :
PRESENTATION DU BARRAGE D'AIN DALIA**

III- Problématique et enjeu de l'envasement.....	34
III.1- Aperçu sur l'aménagement hydraulique d'Ain Dalia.....	35
III.1.1- Historique de l'ouvrage.....	35
III.1.2- Principales caractéristiques hydrologiques des Oueds alimentant l'ouvrage.....	35
III.1.3- Apport annuel des Oueds.....	35
III.1.4- Ecoulement des crues.....	36
III.1.5- Fiche matricule de l'aménagement.....	36
III.2- Caractéristiques Barrage Ain Dalia.....	36
III.3- Situation géographique.....	39
III.3.1- Les principaux affluents.....	40
III.3.2- Caractérisation morphométrique du réseau hydrographique.....	40
III.4- Géologie locale.....	41
Conclusion	44

B- PARTIE EXPERIMENTAL

CHAPITRE V :

APPLICATION A LA VALORISATION DES SEDIMENTS D'EVASEMENT DUBARRAGE AIN DALIA.

V.1- Introduction.....	45
V.2- Prélèvement des échantillons.....	45
V.3- Caractérisation physico –chimiques et mécaniques.....	46
V.4- Caractéristiques des sédiments étudiés.....	47
V.4.1- Analyses des propriétés physiques.....	47
V.4.2- La teneur en eau initial.....	47
V.4.3- Le poids volumique des grains solides.....	47
V.4.4- Analyse Granulométrie.....	47
V.4.5- Les limites d'Atterberg.....	50
V.4.8- Valeur au bleu méthylène.....	51
V.4.9- Caractérisation de compactage.....	55
V.4.10- Les propriétés chimiques.....	60
V.4.11- Les propriétés minéralogiques.....	60
V.4.12- Principe de la diffraction des rayons X.....	61
Conclusion.....	62
V.5-Utilisation des Sédiments d'envasements en corps de chaussée.....	63
V.5.1-Type de squelette granulaire recherché.....	65
V.5.2-Ajout d'une fraction granulaire.....	60
V.5.3-Ajout de liant hydraulique.....	67
V.5.4-Variation de l'état de plasticité des formulations étudiées.....	67
V.5.4-Détermination de la densification et la portance des formulations étudiées.....	71
Conclusion.....	76
CONCLUSION GENERALE.....	77

ملخص

اليوم، الجزائر لديها أكثر من 110 سدود قيد التشغيل بطاقة إجمالية تبلغ 4.5 مليار متر مكعب وتسمح بتنظيم حجم سنوي قدره 2 مليار متر مكعب يستخدم لإمدادات مياه الشرب والصناعة والري. ومع ذلك، وبسبب التعرية الحساسة إلى حد ما (الأمطار قصيرة العمر وعالية الكثافة، وغياب الغطاء النباتي والتضاريس الصغيرة إلى حد ما، وما إلى ذلك)، تفقد الجزائر قدرتها السنوية المقدرة بـ 20 مليون متر مكعب بسبب ترسب الرواسب في الخزانات. يبلغ عمر غالبية السدود في الجزائر حوالي 30 عامًا. على سبيل المثال، السعة الأولية للسد عين داليا (سوق أهراس) 84 مليون متر مكعب في عام 1986 وأصبحت 70 مترًا مكعبًا فقط في عام 2018. خلال 32 عامًا من التشغيل، حيث صار حجم الطين يساوي 16.10^6 متر مكعب.

هذا الانخفاض في سعة تخزين المياه هو نتيجة تآكل التربة الذي يعد أخطر مشكلة في المنطقة القاحلة وشبه القاحلة، حيث أن الطمي ناتج عن رواسب الطين من تآكل التربة في مستجمعات المياه و تقويض ضفاف الأنهار وخاصة فيضانات الخريف الأولى التي تصرف أهم كمية من الطين باتجاه الخزانات. الهدف من هذه الدراسة هو تحديد وتقييم قابلية تآكل التربة في مستجمعات مياه وادي مجردة في شمال شرق الجزائر، وقد تم اقتراح بعض استراتيجيات الإدارة لتجنب تآكل التربة في المستقبل.

الكلمات المفتاحية: سد عين داليا، منطقة شبه قاحلة، تعرية التربة، تربة مجردة.

Résumé

Aujourd'hui, l'Algérie dispose de plus de 110 barrages en exploitation totalisant une capacité de 4,5 milliards de m^3 et permettant de régulariser un volume annuel de 2 milliards de m^3 utilisées pour l'A.E.P., l'industrie et l'irrigation. Or du fait de l'érosion assez sensible (pluie de courte durée, de forte intensité, absence du couvert végétal et relief assez jeune ...), l'Algérie perd annuellement une capacité estimée à 20 millions de m^3 par le dépôt des sédiments dans les retenues. La majorité des barrages en Algérie ont une durée de vie de l'ordre d'une trentaine d'années. A titre d'exemple, la capacité initiale du barrage de Ain Dalia (Souk Ahras) était de 84 millions de m^3 en 1986 et n'était plus que de 70 m^3 en 2018. durant les 32 ans d'exploitation, soit un volume de vase égal à $16.10^6 m^3$.

Cette réduction de la capacité de stockage de l'eau est le résultat, d'érosion des sols qui est le problème le plus grave de la région aride et semi-aride, car l'envasement est le résultat de dépôts de la boue de l'érosion des sols dans les bassins versants et le sapement des berges des cours d'eau, surtout les premières crues d'automne qui drainent la quantité la plus importante de la boue vers la retenues. L'objectif de la présente étude est d'identifier et d'évaluer la susceptibilité de l'érosion des sols dans le bassin versant l'oued Medjerda au nord-est de l'Algérie, certaines stratégies de gestion sont proposées pour éviter l'érosion future des sols.

Mots clés : du barrage d'Ain Dalia, région semi-aride, l'érosion des sols, **Medjerda** l'envasement.

Abstract

Today, Algeria has more than 110 dams in operation with a total capacity of 4.5 billion m³ and allowing to regulate an annual volume of 2 billion m³ used for DWS, industry and irrigation. . However, due to fairly sensitive erosion (short-lived, high-intensity rain, absence of plant cover and fairly young relief, etc.), Algeria annually loses a capacity estimated at 20 million m³ by the deposition of sediments in reservoirs. The majority of dams in Algeria have a lifespan of around 30 years. For example, the initial capacity of the dam of Ain Dalia (Souk Ahras) was 84 million m³ in 1986 and was only 70 m³ in 2018. during the 32 years of operation, a volume of mud equal to 16.106 m³.

This reduction in the water storage capacity is the result, of soil erosion which is the most serious problem of the arid and semi-arid region, as the siltation is the result of deposits of the mud from the 'soil erosion in the watersheds and the undermining of the banks of the rivers, especially the first autumn floods which drain the most important quantity of the mud towards the reservoirs. The objective of this study is to identify and assess the susceptibility of soil erosion in the Medjerda Wadi watershed in northeast Algeria, some management strategies are proposed to avoid the future soil erosion.

Keywords: Ain Dalia dam, semi-arid region, soil erosion, Medjerda siltation.

Introduction Générale :

L'envasement des barrages constitue sans doute la conséquence la plus grave de l'érosion hydrique. Le potentiel hydraulique perd annuellement environ 30 millions de mètres cubes, selon les sources hydrauliques. Cette quantité est jugée énorme pour certains barrages. Le volume de la sédimentation annuelle peut aller jusqu'à atteindre les 6% du volume total des barrages. Les effets néfastes de ce phénomène sont nombreux, allant de la réduction considérable de la capacité d'emmagasinement et de stockage du barrage, et pouvant aller même jusqu'à la dégradation nette de la qualité de l'eau du barrage.

La majorité des spécialistes s'accordent à dire que les pays du Maghreb, d'ici à 2025, connaîtront des problèmes aigus d'eau. Autant, dès maintenant, penser à une stratégie globale de préservation de nos barrages contre ce grave problème de l'envasement, qui nécessite d'être pris en considérations et prévoir tous les moyens nécessaires pour lutter contre ce phénomène comme les chasses, le dragage, le soutirage des courants de densité. Il y a aussi la surélévation, ou mieux encore l'utilisation nouvelle des barrières végétales.

L'extraction de ces sédiments d'envasement des barrages est tellement onéreuse qu'on souhaite les exploiter dans la valorisation dans les domaines tels que le génie civil, les matériaux de construction ainsi que les routes, afin d'amortir leurs coûts d'extraction.

L'objectif de la présente étude est le traitement des sédiments d'envasement du barrage d'Ain Dalia en vue de les utiliser comme constituant dans les couches d'assise de structures routières. Cette étude se divise en deux parties : une partie bibliographique, Et une partie expérimentale

- La première partie s'intéresse à la problématique de l'envasement des barrages, les moyens de lutte contre ce phénomène et les différents domaines de valorisation des sédiments d'envasements ainsi qu'un aperçu sur la zone d'étude du barrage Ain Dalia.

- La deuxième partie est une étude expérimentale qui présente une description de la méthodologie d'utilisation des sédiments comme des matériaux routiers après leur traitement. La démarche de valorisation envisagée, s'appuie sur des choix de préparation et de formulations simples applicables sur le terrain. Cette partie est consacrée d'une part à la caractérisation géotechnique des sédiments d'envasement du barrage d'Ain Dalia avant traitement et à l'analyse et l'interprétation des résultats d'une série d'essais mécaniques effectués sur les échantillons selon des préparations et formulations d'autre part.

Une fois les essais réalisés et d'après les résultats obtenus, qu'on pourra conclure dans quel domaine se situe notre valorisation.

CHAPITRE I : L'ENVASEMENT DES BARRAGES

I.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 de barrages. Ces dépôts posent des problèmes aux barrages, tel que la déstabilisation de la digue, la diminution du volume utile d'eau, l'obturation des pertuis de vidange et le colmatage des canaux d'irrigation.

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).

Le présent chapitre a pour objet de donner un aperçu sur l'envasement des barrages, les problèmes posés, la distribution des sédiments dans la retenue.

La figure I. 1 et I. 2 montre respectivement la capacité de stockage et de l'envasement annuel en Afrique de nord.

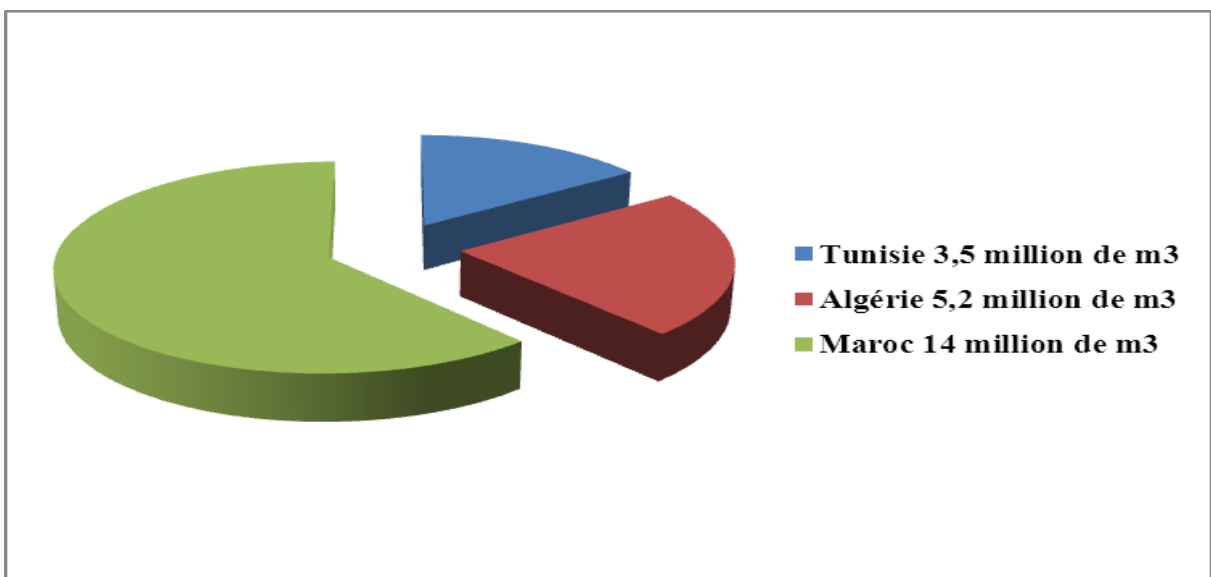


Figure I.1: Capacité de stockage en Afrique du nord.

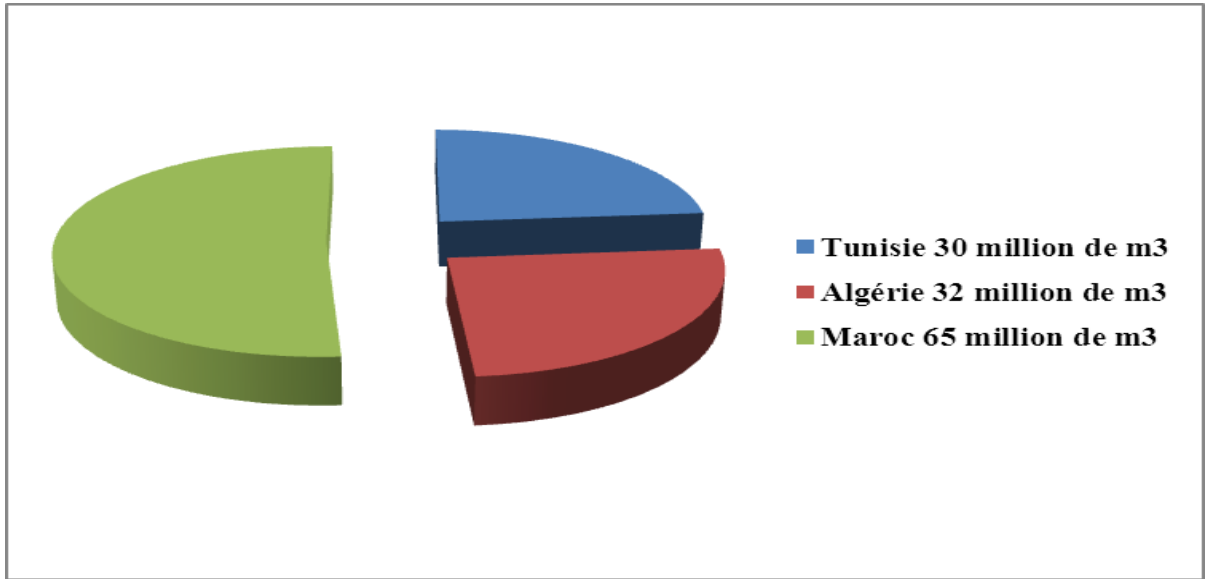


Figure I.2: Envasement annuel en Afrique du nord.

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.

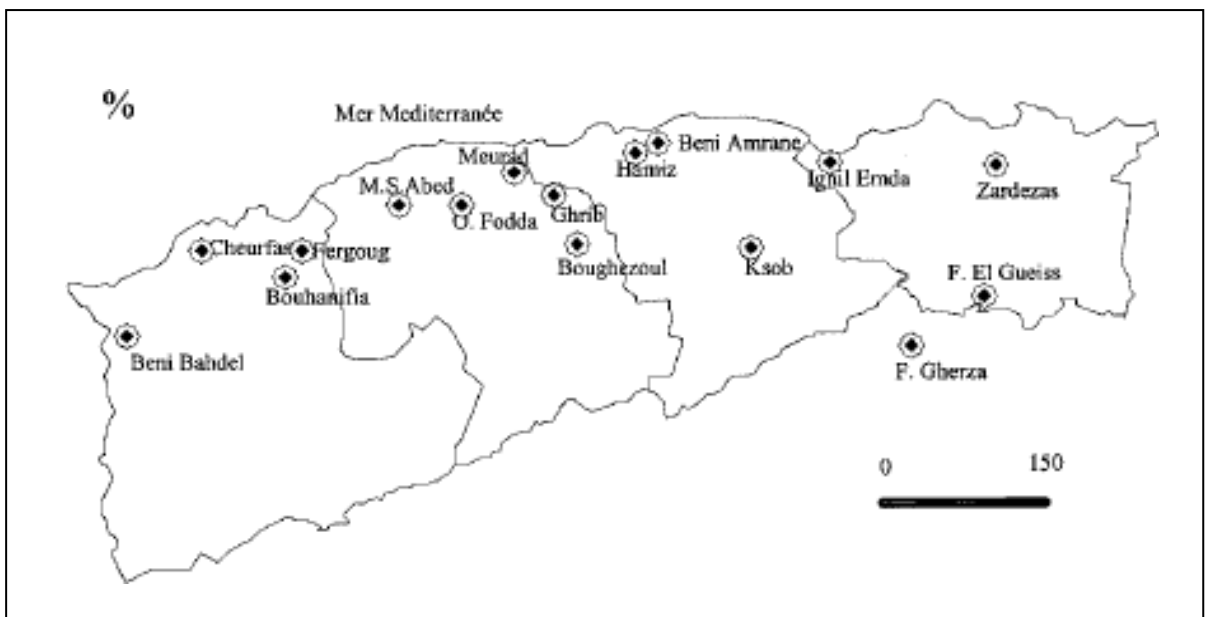


Figure I.3: Situation des retenues les plus envasées en Algérie.

I.2. 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 I.4 illustre les problèmes engendrés par l'envasement.

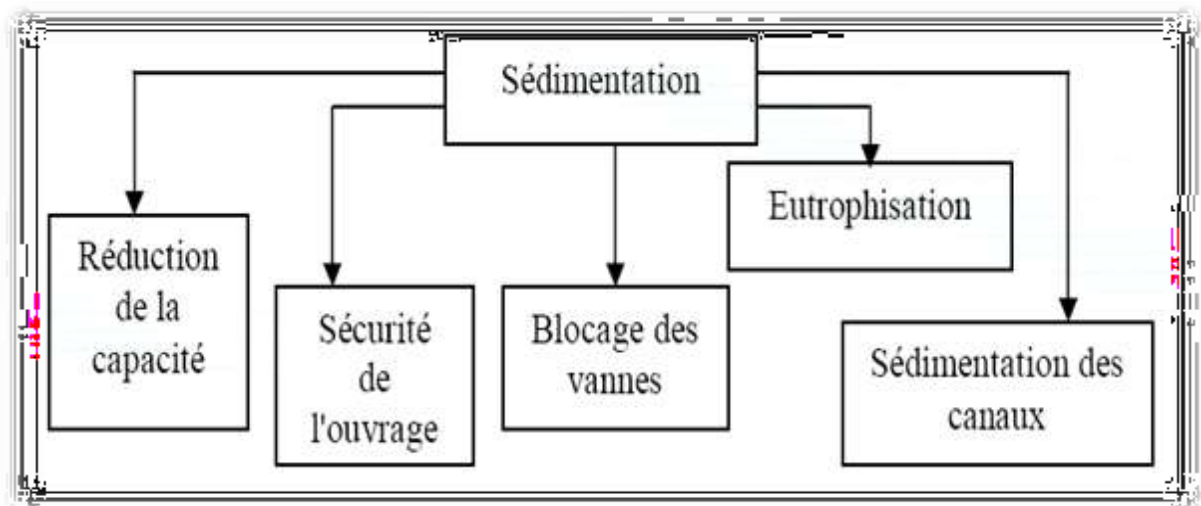


Figure I.4: Schémas des Problèmes posés par l'envasement.

✚ 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.

✚ 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.

✚ 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 $1,8 \text{ t/m}^3$. 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 Fom El Gherza .

✚ 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.

✚ 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.

I.3. Processus de l'envasement des barrages :

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 dépôts peuvent progresser rapidement lors des crues importantes entrant dans le réservoir 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 constituée des particules fines en suspension ou déplacées par des courants de densité au début de la mise en eau de la retenue.

La figure I.5 illustre la formation de la vase au fond d'un barrage.

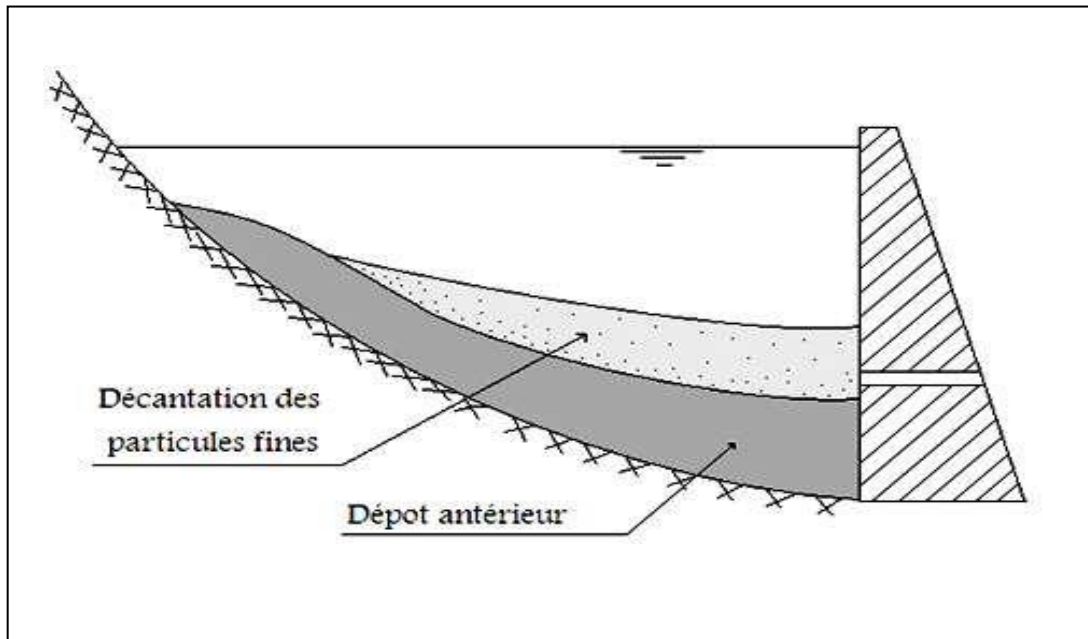


Figure I.5: Formation de la vase au fond de barrage.

L'organigramme suivant donne les étapes du processus de l'envasement des retenues :

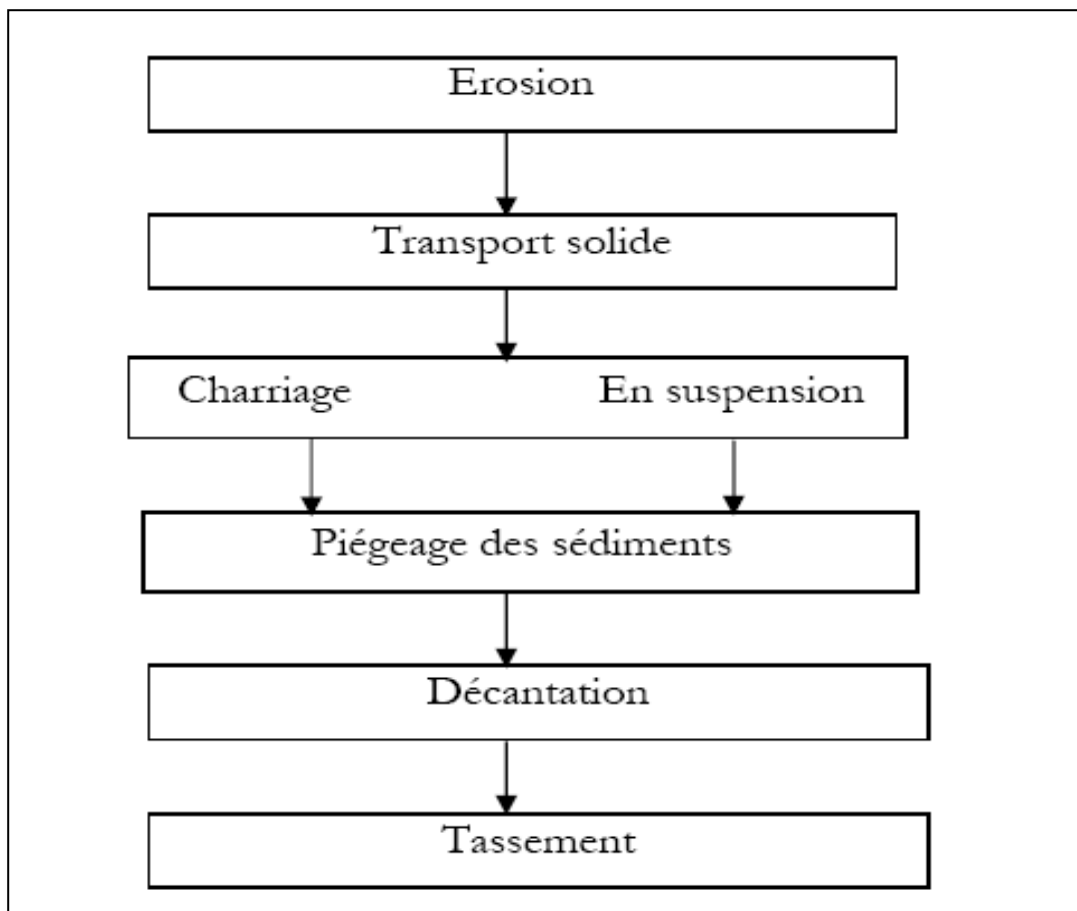


Figure I.6: Organigramme du processus d'envasement d'une retenue.

I.3.1.Erosion des bassins versants :

Erosion vient de « Eroder », verbe latin qui signifie « ranger », d'où l'interprétation pessimiste de certains auteurs qui décrivent l'érosion comme une lèpre qui ronge la terre jusqu'à ne laisser qu'un squelette blanchi.

L'érosion est un phénomène très répandu en zone Méditerranéenne, dont il menace gravement les potentialités en eau et en sol. L'intensité du phénomène se manifeste essentiellement en période des crues.

L'intensité du phénomène se manifeste essentiellement en période des crues, C'est ainsi que les fortes crues de Mars 1978 d'une durée de 3 jours ont drainé 30×10^6 de tonnes de sédiments dans la région Algéroise pour les bassins Versant côtiers (Demmak A ; 1982). La quantité moyenne annuelle du sol Érodé en Algérie est environ de 180×10^6 de tonnes (Remini B ; 1997).



Figure I.7: Dégradation d'un lit d'oued.

I.3.2. Les apports solides dans la retenue :

Le transport solide représente l'entraînement de granulat sous l'action d'un écoulement 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 et Chebani R ,1999).

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 sol (méthode de culture, exploitation forestière, chantier de construction).
- La géomorphologie et topographie.
- Réseau hydrographique (pente, forme, dimensions et tracés des canaux).
- Caractéristiques des sédiments (granulométrie et minéralogie).
- Hydraulique de lit (rugosité, rayon hydraulique,...).

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

- a- par charriage.
- b- en suspension.

a. 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. Pour l'évaluation du débit solide par charriage, on applique généralement la Formule de Meyer- Peter, qui est donnée par :

$$g_s = K(\tau - \tau_c)^{3/2}$$

Où :

g_s : est le débit solide charrié par unité de largeur du lit de l'Oued, exprimé en Kg/s.m.

τ : est la contrainte de cisaillement moyenne réelle ou contrainte de frottement, dépendant de l'écoulement et exprimée en kg/m^2 .

τ_c : est la contrainte de cisaillement sur le lit ou force tractrice critique de début de charriage.

Exprimée en kg/m^2 , dépendant uniquement du matériau charrié notamment de ses Caractéristiques dimensionnelles et de son poids spécifique.

Les paramètres K , et τ_c s'expriment respectivement par : ρ

$$K = \frac{8\sqrt{\rho} y_s}{y_s - y}$$

$$\tau_c = 0,047 (\gamma_s - \gamma) d_{50} \tau = a R_h I$$

b. 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.

I.3.3. Piégeage des sédiments dans la retenue :

Arrivées dans les retenues, les particules solides seront piégées dans les eaux calmes de ces dernières, se tassant et se consolidant, diminuant ainsi progressivement leur capacité de stockage en eau.

I.3.4. Dépôt et tassement des sédiments :

Les sédiments apportés en suspension par les cours d'eau sont susceptibles de se déposer plus ou moins dans les eaux de la retenue. Ils peuvent, soit décanter et y être piégé, soit simplement y transiter en suspension avant être évacués selon les conditions d'écoulement de la retenue.

I.3.5. Tassement et consolidation des vases :

Décantés par gravité sur les fonds, les sédiments formeront des dépôts qui pourront subir des tassements et des consolidations au cours du temps.

Le tassement des vases complètement saturées peut être subdivisé en deux processus :

a. Sédimentation : lorsque les particules élémentaires de la vase ne forment un réseau continu tridimensionnel qu'à l'échelle de la dimension des flocons. Dans ce cas, la vase est en état de suspension.

b. Consolidation : lorsque les particules élémentaires de la vase forment un réseau continu tridimensionnel. Dans ce cas, la vase est caractérisée par la présence des contraintes effectives, une partie des contraintes est transmise grain à grain et donc, la vase est en état de dépôt.

I.3.6. Tassement des sédiments grossiers :

Les sédiments non cohésifs une fois déposés sur les fonds ne se tassent pratiquement pas sous leur propre poids mais peuvent subir une « mise en place » avec une imbrication entre eux, leur permettant d'avoir une portance et de mieux résister aux actions hydrodynamiques. Des sols constitués par de tels matériaux grossiers (galets, graviers et sables) sont pratiquement stables dans le temps. Leurs indices des vides et leurs masses spécifiques dépendent du type de grains de sable.

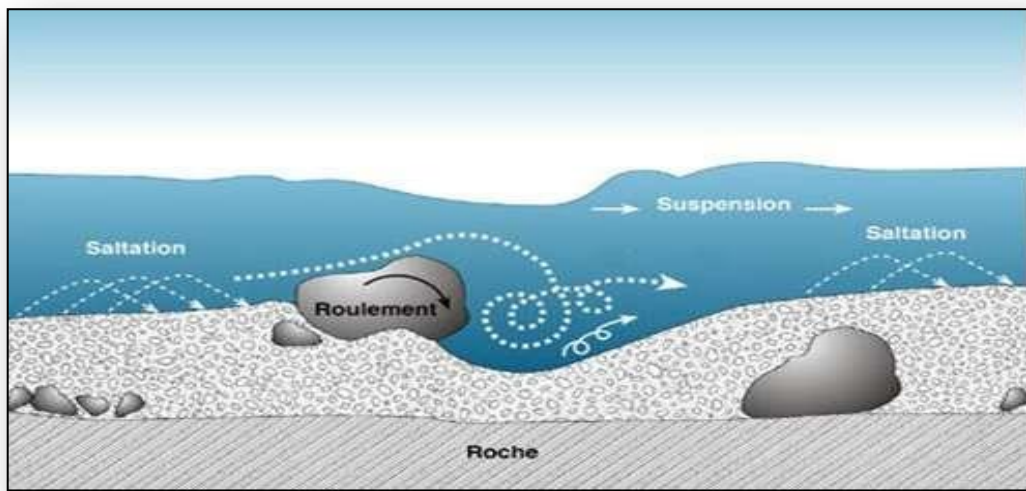


Figure I.8: Classification des transports.

1.4 : Distribution des sédiments dans les retenues de barrages :

La capacité utile d'un réservoir diminue au cours du temps suite aux dépôts successifs des sédiments sur le fond de la retenue, mais la question qui se pose, c'est de quelle manière ces particules solides se sont réparties et distribuées dans l'ensemble de la retenue, surtout lorsqu'on sait que ce phénomène complexe dépend de certains paramètres tels que :

- La forme géométrique de la retenue.
- La pente du fond de la retenue.
- La profondeur de la retenue.
- L'apport solide de la retenue.

Généralement la quantité des sédiments en suspension est égal 5 à 10 fois le volume de celui en dépôt. Les dépôts des sédiments dans un réservoir sont ainsi composés: la quantité volumineuse, qui est portée près du lit, se dépose à l'entrée du réservoir ; la matière en suspension est transportée plus loin et se dépose d'une manière plus ou moins uniforme sur tout le réservoir.

On distingue deux types de distribution des sédiments :

1. Distribution des sédiments par courants de densité.
2. Distribution des sédiments par envasement des sédiments grossiers et décantation des particules fines.

I.4.1. Distribution des sédiments par courants de densité :

La formulation des courants de densité dans une retenue est conditionnée par deux paramètres :

- ✓ Apport solide important (concentration élevée) dans la retenue.
- ✓ Ecoulement torrentiel à l'entrée de la retenue, c'est-à-dire que le courant principal présente une forte pente.

Les courants de densité appelés parfois courants de gravité, sont des phénomènes qui se créent naturellement ou artificiellement. Les courants de densité se propagent au fond des retenues et peuvent parcourir plusieurs kilomètres.

I.4.2. Distribution des sédiments par l'envasement des sédiments grossiers et décantation des particules fines :

Si le cours d'eau est de faible pente, il draine un apport solide de faible concentration et débouche dans une retenue de type «Lac» (cet élargissement brusque des vallées représente une zone de dépôt et de disparition des courants de densité). Dans ce cas la distribution des sédiments se fait par décantation des particules fines dans tous les endroits de la retenue et par charriage des particules grossières dans la partie amont du réservoir.

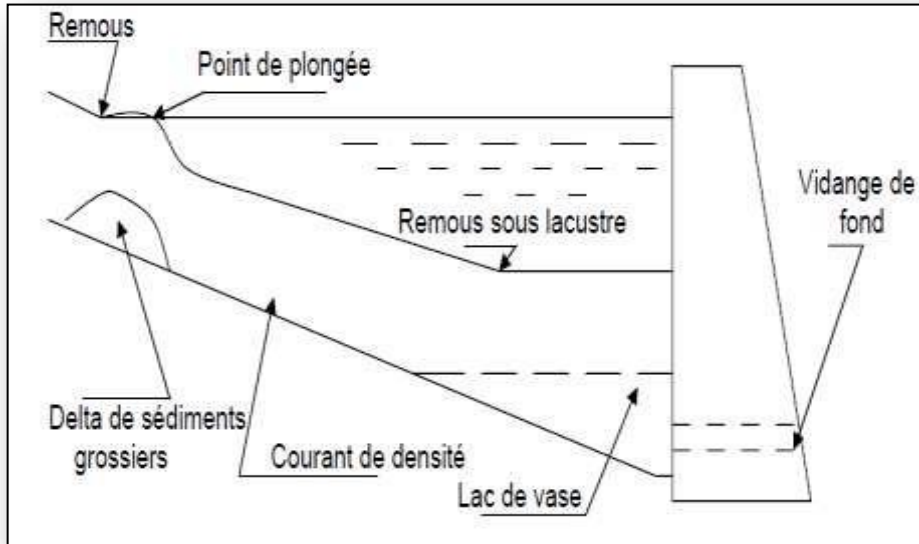


Figure I.9: Comportement des sédiments fins.

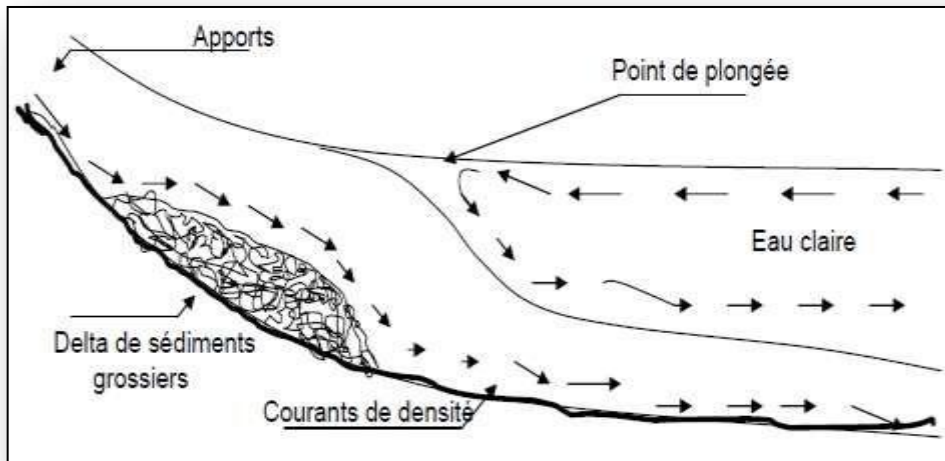


Figure I.10: Ecoulement d'un courant de densité dans une retenue.

1.5 : Les modèles d'estimation de l'envasement :

L'accumulation des sédiments véhiculés par les eaux pluviales et venantes se déposer dans la cuvette des barrages, constitue une préoccupation essentielle pour les méthodes d'évaluation du volume des vases .On distingue deux méthodes de mesures.

I.5.1. Bathymétrie par nivellement :

Cette méthode présente l'avantage de tenir compte de toute la hauteur de sédiment et est intéressante à mettre en œuvre dans les projets où le toit du substrat n'est pas connu.

Il y a plusieurs méthodes utilisées pour le levé bathymétrie par nivellement, on prend quelques exemples :

a- La première méthode de bathymétrie par nivellement est réalisée à l'aide d'un instrument de mesure gradué, à partir du bord et préférentiellement à partir d'une embarcation si les conditions le permettent.

Elle permet soit de mesurer simplement la hauteur totale de vase par enfoncement, soit de mesurer la hauteur d'eau avant et après les travaux, une résistance plus soutenue permet d'apprécier le haut du substrat, les mesures sont composées de profils en travers qui pour être représentatif, doivent être judicieusement localisés et dénombrés. La définition du volume extrait ou à retirer est établie par exploitation entre deux profils à partir du produit entre la section envasée et la distance.

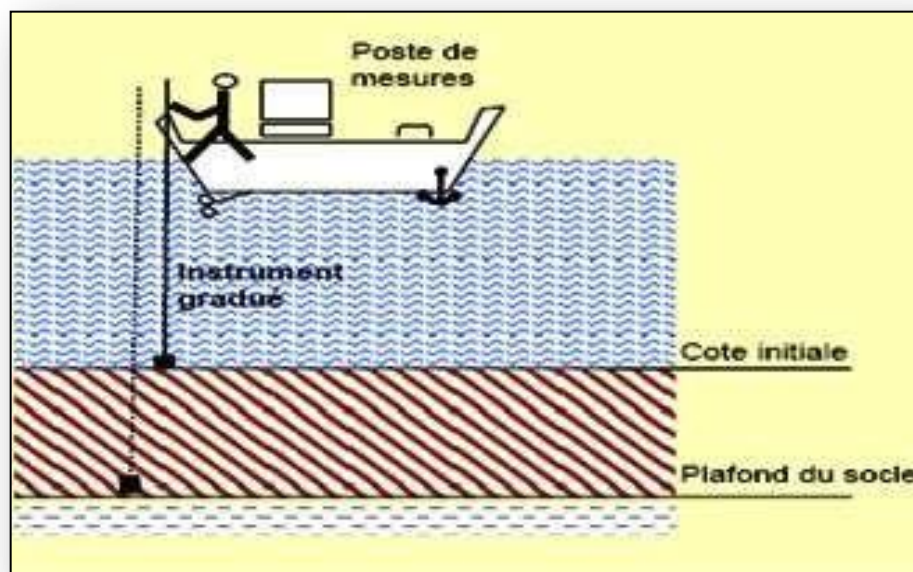


Figure I.11: Schématiquement de la bathymétrie par nivellement.

b- la deuxième méthode de nivellement est à l'aide d'une mire sur une embarcation et d'une lunette de visée ou d'un tachéomètre (lunette de visée laser), la hauteur d'eau, le niveau supérieur de la couche de vase et le fond dur sont obtenus (Figure I.11).

Le relèvement s'effectue point par point selon un profil transversal au cours d'eau. Le nombre de points sera forcément fonction de la largeur du cours d'eau. La carte globale se fait alors par extrapolation des profils transversaux. Il est nécessaire de prendre en compte la cote de l'eau, d'avoir un positionnement précis des profils pour tenir compte des particularités du terrain. Le nivellement n'est généralement pas précis et admet une erreur de 20 %. Le volume de sédiment se fait ensuite par extrapolation entre deux profils.

$$V = S \times L$$

Où :

V : volume de sédiments en mètres cubes.

S : section envasée en mètres carrés.

L : distance entre deux points de mesure en mètre.



Figure I.12: Estimation de l'envasement par la méthode de nivellement

I.5.2. Bathymétries par sondeurs: «Echosondeur bathymétrique»

Le dernier appareil a mesuré la profondeur par échosondeur, une véritable révolution dans la mesure de l'eau profonde. Cette sonde de l'écho, le type moderne a été inventé pour la première fois dans les années de la première guerre mondiale sur Les sites physicien français angevin. Les mesures bathymétriques permettent de suivre l'évolution du volume des sédiments accumule.

Bathymétrie par sondeurs (figure I.12) le volume des sédiments est calculé par informatique avec, comme hypothèse de départ, la cote du projet à atteindre, (un point de sonde = couple (distance, angle)

Pratiquement mesure (t, θ) et exploitation (y, z) .deux approches pour estimer (t, θ) : mesure de l'instant d'arrivée à angle fixe, mesure de l'angle en fonction du temps d'arrivée. À l'aide des nouvelles technologies de sondeurs, cette technique peut-être Utilisable dans une hauteur d'eau restreinte. Cette technique s'applique à partir de Sondeurs mono ou multi-faisceau. (Xavier luron, jean marie augustin).

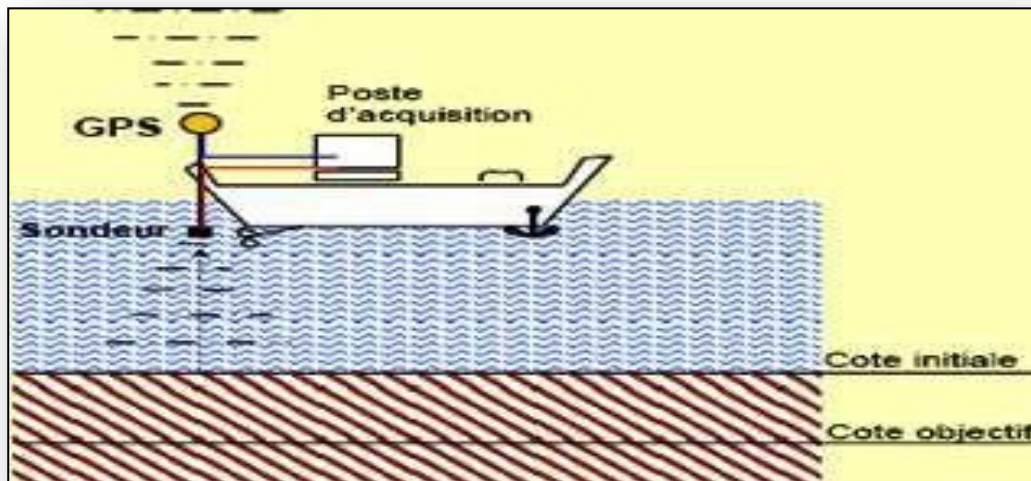


Figure I.13: Estimation de l'envasement par Ecosondeur.

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. Le mécanisme de la sédimentation et plus particulièrement les courants de densité restent l'étape la plus délicate de ce processus et leur maîtrise aboutira directement à la proposition des méthodes de lutte adéquates.

CHAPITRE II :

MOYEN DE LUTTE CONTRE L'ENVASEMENT

II.1. Généralités :

La lutte contre l'envasement des barrages en Algérie doit revêtir une dimension nationale tant les enjeux sont énormes ; tous les spécialistes s'accordent à dire que les pays du Maghreb d'ici à 2025 connaîtront des problèmes aigus d'eau.

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.

II.2. Technique de lutte contre l'envasement :

L'organigramme suivant résume l'ensemble des techniques de lutte contre l'envasement des barrages.

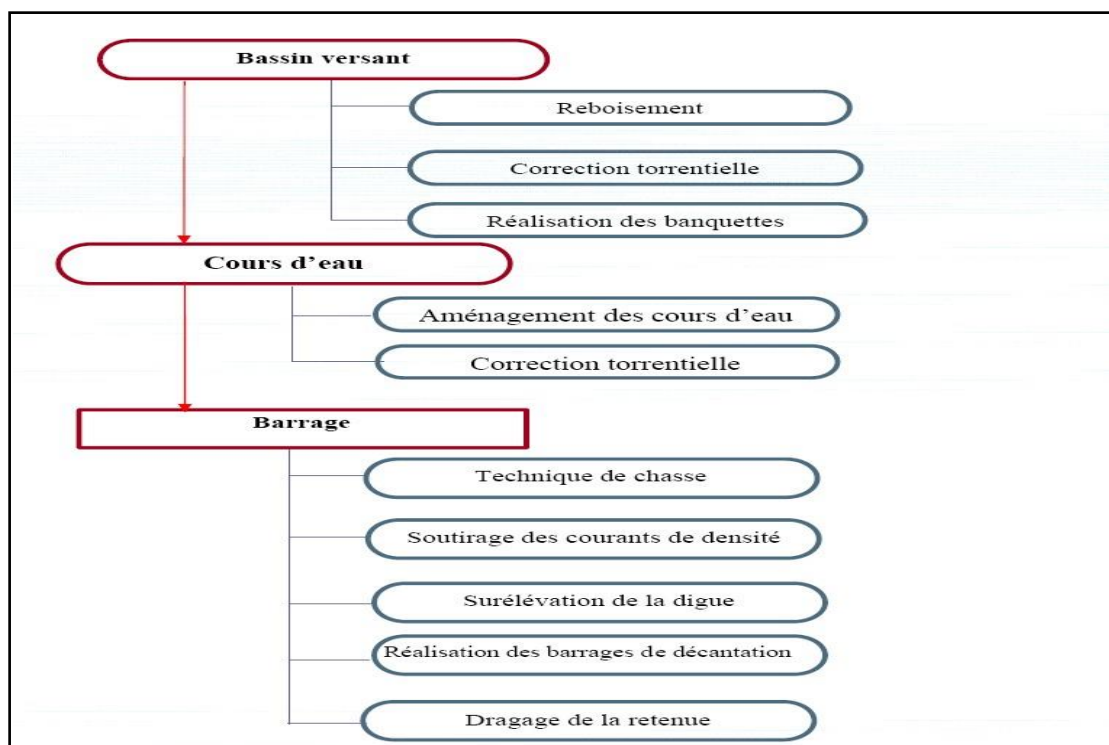


Figure II.1 : l'organigramme de techniques de lutte contre l'envasement.

II.2.1- Aménagement des bassins versants :

Deux méthodes de conservation des sols utilisées pour freiner l'érosion et la pénétration des matériaux solides dans une retenue sont : l'implantation de structures anti-érosion et l'aménagement des sols dans le bassin versant.

On peut construire plusieurs types de structures dans le bassin ; par exemple, des bassins de rétention conçus soit pour retenir les matériaux solides définitivement pendant la durée de vie de l'ouvrage, soit pour stocker les matériaux solides provenant du ruissellement créé par un certain nombre d'orages entre des vidanges périodiques ; le revêtement des berges pour réduire leur érosion, et des seuils ou des déversoirs pour la stabilisation du lit.

Parmi les mesures d'aménagement des sols destinées à éviter l'érosion du bassin versant, on peut citer l'amélioration des sols, l'introduction de meilleures méthodes agricoles, l'utilisation du terrain par bandes de niveau, la culture en terrasses, et l'assolement.

II.2.2- Installation des obstacles émergés dans les cours d'eau :

L'année hydrographique en Algérie peut être répartie en deux saisons : sèche et humide. La période sèche s'étend du mois de Mai au mois d'Octobre, elle est caractérisée par de faibles précipitations et les oueds sont à sec. Quant à la saison humide qui s'étale du mois de Novembre au mois d'Avril, il y a généralement un écoulement dans les rivières, et on assiste des fois à de fortes crues.

Une année hydrologique peut être favorable pour mettre au point une technique pratique et simple au niveau du cours d'eau principal (débouchant dans la retenue) qui consiste à réaliser un système d'obstacles émergés (en gabions) pour piéger des sédiments fins en amont de la retenue dans le cours d'eau principal). Durant la saison humide, l'apport solide dans les oueds est considérable, la concentration en particules dépasse souvent la valeur de 100 g/l, ce qui peut favoriser les dépôts des sédiments dans l'oued causés par l'emplacement de ces obstacles, et qui peuvent être déblayés lors de la saison sèche à l'aide de simples moyens mécaniques.

Ensuite ces vases peuvent être récupérées pour d'éventuelles utilisations industrielles (briques, tuiles et poterie...) et comme amendement pour les sols pauvres en matières organiques. Cette méthode consiste à minimiser l'arrivée des sédiments fins dans la retenue, tout en favorisant leur dépôt dans le cours d'eau principal. Cette technique peut être réalisée par les blocs existants déjà dans l'oued lui-même et peut être même utilisée pour la réalimentation des nappes.

II.2.3- Réalisation de barrage de décantation :

La meilleure façon d'éviter l'envasement, c'est d'empêcher la vase d'arriver jusqu'au barrage.

Cela peut se faire par la création de retenues pour la décantation des apports solides, ce qui revient à construire un autre barrage en amont du barrage principal.

L'exemple du barrage de Boughezoul (situé à l'amont du Ghrib) qui est exploité partiellement comme réservoir de décantation au barrage de Ghrib, a permis de retenir depuis sa création 35 millions de m³ de vase. Il a réduit ainsi l'envasement de Ghrib de près de 24%.

II.2.4- Le reboisement :

Les coupes de bois et le pâturage des troupeaux au XIX^{ème} siècle sont à l'origine de l'érosion des sols dans certaines zones montagneuses. Lors d'orages violents, l'eau ruisselle alors sur les pentes et forme des ravines. Comme rien ne retient plus le sol sur les pentes et au fond des ravines, l'eau se charge en sédiments qu'elle charrie vers les cours d'eau. Ceux-ci deviennent alors trop chargés en matière solide. Toute cette matière s'accumule lorsque l'écoulement ralentit, ce qui provoque le phénomène de l'envasement des barrages.

Pour lutter contre ce phénomène, les chercheurs ont pensé à utiliser au mieux l'effet de la végétation pour piéger et retenir ces sédiments à l'amont des cours d'eau. Des études ont donc été menées sur des placettes et sur des ravines pour connaître l'efficacité des barrières végétales naturelles. Elles ont mis en évidence que si 20% de la zone érodée était recouverte de végétaux et si ces végétaux sont situés à l'aval de cette zone, les sédiments étaient efficacement piégés.

Un écran de végétation peut servir de façon efficace à empêcher les matériaux solides de pénétrer dans une retenue. L'installation de tels écrans. Qu'ils soient artificiels ou naturels, à l'entrée d'une retenue, diffuse l'écoulement entrant, réduit sa vitesse et encourage la sédimentation. Ainsi, on peut capter une grande quantité de matériaux solides à l'entrée de la retenue et les empêcher d'aller plus loin. L'accroissement de la végétation entraîne l'inconvénient d'une forte consommation d'eau.

II.2.5- Soutirage des courants de densité :

La pratique des soutirages, particulièrement lorsque la configuration de la retenue du barrage est favorable à l'apparition des courants de densité, conduit à l'évacuation d'un volume de vase avec évidemment une perte d'eau.

La forte concentration en sédiments dans les cours d'eau surtout en période de crues

Et la forme géométrique de la cuvette donne naissance aux courants de densité à l'entrée d'une retenue et peuvent se propager jusqu'au pied du barrage. L'ouverture des vannes de fond au moment favorable peut évacuer une forte quantité en sédiment.

Si une opération de soutirage n'est pas effectuée au bon moment pour une raison quelconque, on perd alors tout simplement une capacité de retenue égale au volume qu'on aurait dû évacuer, avec par ailleurs des répercussions ultérieures (la vase, en se déposant près de l'ouvrage, évolue dans le temps et les vannes finiront par se bloquer). Il est important donc de ne négliger aucune occasion de soutirer la vase chaque fois que cela est possible. Comme fut le cas de la vanne de fond du barrage de Oued El Fadda, obturée en 1948 et celui de la vanne de fond du barrage des Zardezas, bloquée durant les années quatre-vingt, ou celui de vanne de fond du barrage de Foum El Gherza, obturée en 1982.

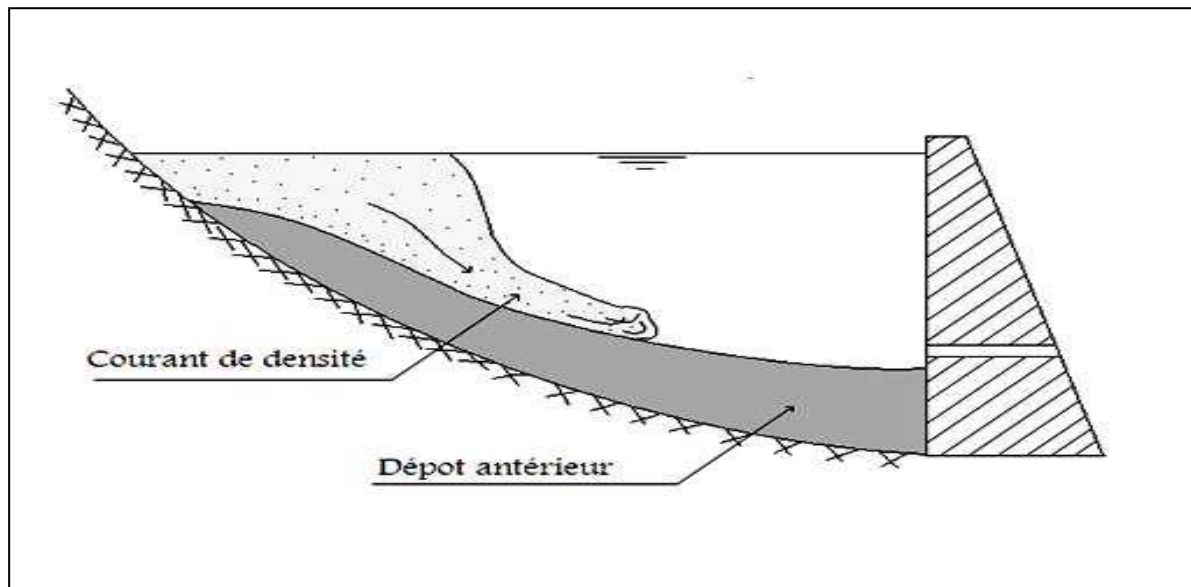


Figure II.2 : Propagation d'un courant de densité.

II.2.6- La technique du barrage de chasse :

La technique de chasse consiste à évacuer une quantité des sédiments par les pertuis de vidange à l'arrivée des crues. En Algérie elle est appliquée souvent au barrage de Benni Amran. Le rendement des opérations de soutirage peut être augmenté par la création d'ondes de crues artificielles provenant d'un barrage de chasse réalisé à l'amont du barrage protégé. Cependant, la maîtrise de cette technique peut être néfaste et conduit forcément à un comblement rapide du barrage principal. Cette technique est envisagée surtout pour les réservoirs qui ont atteint un degré avancé d'envasement. Son inconvénient réside dans le choix du site de l'emplacement du barrage de chasse.

La construction du barrage de chasse de BOUHANIFIA en amont de celui de FERGOUG avait pour but de minimiser la sédimentation dans ce dernier, mais finalement l'envasement a été extrêmement rapide.

II.2.7- La chasse par les vidanges de fond :

La vidange de fond du barrage a été conçue spécialement pour la chasse annuelle des sédiments de la retenue.

Dans chaque retenue menacée par le problème de la sédimentation, il est souhaitable lors de la conception du barrage d'envisager une évacuation des matériaux solides par des vidanges de fond. Il faut également prendre en compte les méthodes d'exploitation de la retenue. Parmi toutes les méthodes employées pour évacuer des matériaux, l'utilisation des vidanges de fond semble être la plus efficace.

Les vidanges de fond peuvent être utilisées pour évacuer une crue, pour vidanger une retenue dans des cas d'urgence où une vidange très rapide est nécessaire.

Elles peuvent également servir à chasser des sédiments, en abaissant le niveau d'eau afin de chasser des dépôts de limon, de sable et de graviers, qui sont donc érodés par la force tractrice de l'écoulement. D'une façon analogue, on peut évacuer des courants de densité de retenues servant au stockage.

Quand les vidanges de fond sont situées en dessous des prises d'eau, elles empêchent les matériaux solides de pénétrer dans la prise d'eau, et elles minimisent ainsi l'usure des turbines.

II.2.8- La chasse par vidange :

La vidange d'une retenue est une méthode fréquemment employée pour freiner la sédimentation ou pour encourager une érosion des sédiments afin de récupérer du volume.

Cette méthode est notamment utilisée pour des retenues destinées à la production d'électricité. L'efficacité de la chasse des sédiments dépend de la situation topographique de la retenue, de la capacité d'évacuation des vidanges, de la hauteur des vidanges, des caractéristiques des matériaux solides entrants, du type d'exploitation, de la durée de l'opération de chasse, du débit de la chasse, etc.,...

II.2.9- Surélévation des barrages

La surélévation constitue l'une des techniques qui permettent de prolonger la vie d'un barrage, l'augmentation de la hauteur de la digue permet de compenser le volume d'eau perdu en profondeur occupé par la vase. Cette opération est très en cour agente (M .Kassoul ,A Abdelkader ,M Belorgey 1997).

La surélévation d'un barrage permet d'augmenter la capacité de la retenue et donc de compenser la valeur envasée. Dans ce contexte, la surélévation des barrages existants est une solution intéressante, lorsqu'elle est techniquement réalisable c'est-à-dire lorsque la stabilité du barrage n'est pas mise en jeu. Spécialement, si elle n'entraîne pas de contestations sociales.

L'évacuateur de crues doit faire passer la crue de projet sans mettre en danger le barrage et sans provoquer des conditions à l'aval qui serait plus dangereuses que celles existant avant la construction du barrage.

Il existe deux méthodes pour surélever un barrage soit : en surélevant le corps du barrage ainsi que tous les ouvrages annexes, ou bien par des brochures mobiles.

✚ A- la surélévation des barrages en Algérie :

En Algérie la première technique a été réalisée sur cinq barrages :Fergoug Mefrouch, Bakhada, K'sob, Zardezas. La surélévation des barrages permet d'augmenter la capacité de retenue et donc décompenser la valeur envasée.

- ✓ **Barrage El Hamiz** : l'envasement accéléré de la retenue permis à l'administration en 1883 de surélever la digue du barrage de 7m pour porter sa capacité à 23 millions de m³.
- ✓ **Barrage de K'sob** : du fait de la progression de l'envasement du barrage, la capacité a été réduite à moins de 4 millions de m³. En 1975, la hauteur du barrage a été portée à 43m(15m de plus) pour porter sa capacité à 31 millions de m³.
- ✓ **Barrage de Zérdézas** : du fait de l'envasement accéléré, la capacité du barrage est passée à 7,5 millions de m³ en 1974. En 1977, la hauteur du barrage a été portée à 45 m (12,5 mde plus). Le volume ainsi obtenu est de 31 millions de m³.

L'équipement du seuil libre permet de valoriser la tranche du plan d'eau comprise entre le niveau normal de retenue et le niveau des plus hautes eaux :

- Soit pour accroître la ressource en eau, sans diminuer la sécurité vis-à-vis décrues,
- Soit pour accroître la sécurité vis-à-vis des crues à niveau de retenue identique.

Trois dispositifs sont envisageables :

- L'installation d'organes mobiles.
- La mise en place de boudins gonflables.
- La pose de hausses fusible.

II.2.10-Extraction par siphonnement :

La méthode d'évacuation des sédiments par un siphon à un barrage a été envisagée pour la première fois par **Jandin**, au siècle dernier, L'ingénieur **Jandin** a développé et utilisé cette méthode entre 1892 et 1894, pour évacuer des sédiments avec siphon à travers le barrage de Djidioua, $1,4 \times 10^6$ m³ de limons et d'argile ont été évacués en 3 ans. cependant, seulement 498 000 m³ représentaient des sédiments déposés antérieurement, et le volume restant avait pénétré dans la retenue pendant les années d'évacuation.

La retenue avait été aménagée entre 1873 et 1875 pour les besoins en eau potable, avec une capacité d'origine de $2,49 \times 10^6$ m³ qui a été sérieusement diminuée pendant les 10 années suivant son aménagement. La concentration moyenne en matériaux solides de l'écoulement entrant était de 3%, avec une concentration maximale de 7% pendant les crues.

L'appareil de **Jandin** se composait d'un tuyau flexible d'un diamètre de 61cm, avec une capacité d'évacuation de 1,53m³/s dans des conditions normales d'opération.

A partir d'une ouverture dans le bas du barrage, il était relié à des pontons flottants en tôle, ce qui permettait de déplacer le tuyau dans la retenue dans un rayon d'environ 1.6km.

Une tribune installée près de l'embouchure du tuyau, et actionnée par l'écoulement dans le tuyau, était reliée à un appareil à roues coupantes près de la prise d'eau du tuyau, qui était conçu pour remuer les sédiments (Stevan Bruk, 1986).

Vidange de fond, Le tuyau est amovible afin de créer une charge pour évacuer les sédiments. il n'y a pas besoin de pompe. Le tuyau peut avoir une longueur de plus de 2km, et il est attaché à des flotteurs afin de rester au-dessus de la surface de la vase.

La figure suivante représente de façon schématique la disposition de « l'hydro aspirateur » Développé par Hannyer (1974).

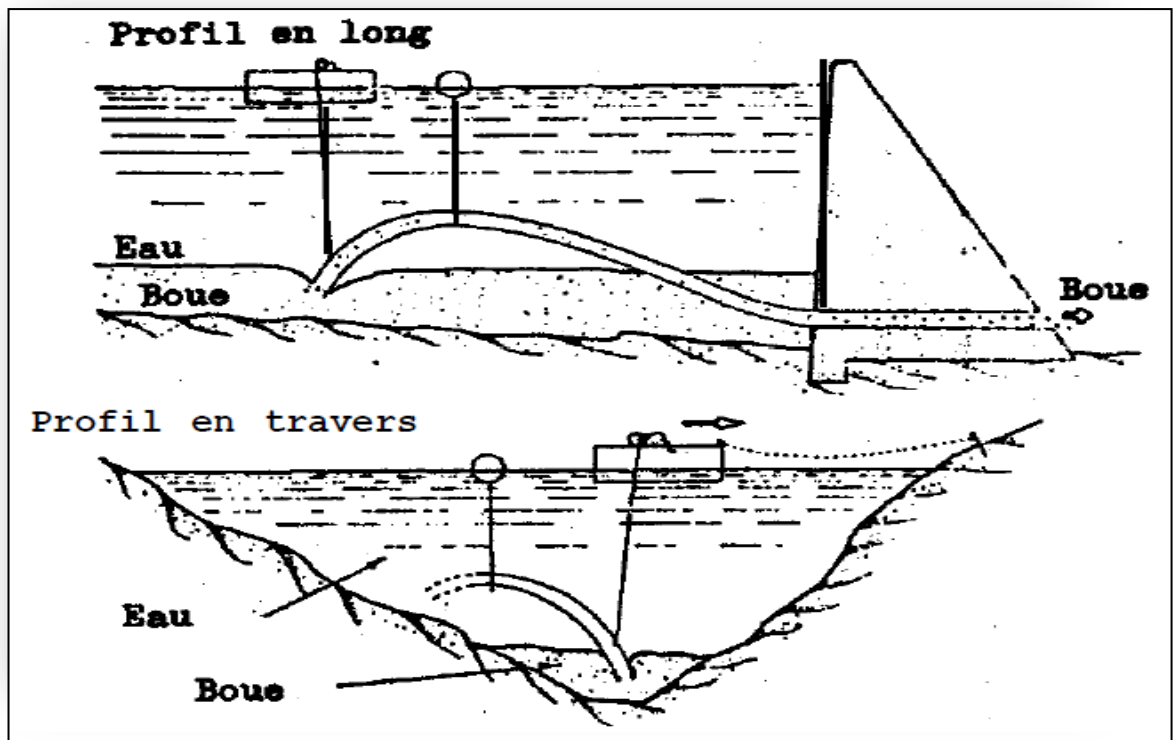


Figure. II.3:Schéma de l'installation du siphon évacuateur (Hannyer,1974)

II.2.11- La technique de dragage des barrages :

Le dragage est une technique de dévasement sûre, mais selon certains auteurs, la récupération d'une capacité de stockage par dragage est une opération très coûteuse qui n'est pas économique pour les grandes retenues. 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.

D'une façon générale, le dragage constitue une méthode de récupération de capacité qui coûte cher, à moins que les sédiments puissent être recyclés de façon intéressante.

On a recours au dragage pour enlever les sédiments d'une retenue si :

- a- les opérations de chasse ne sont pas efficaces.
- b- la construction d'une galerie de dérivation est impossible.
- c- l'abaissement de la retenue pour la chasse est impossible pour des raisons de conservation de l'eau.
- d- le barrage est irremplaçable et ne peut être surélevé.

e- la quantité d'énergie requise pour réduire l'envasement en vidangeant la retenue représente une trop grande perte économique.

On effectue le dragage dans une retenue dans des situations différentes. En voici quelques exemples :

1. Le dragage peut servir à récupérer la capacité de petites retenues, de bassins de rétention de graviers ; ou alors à récupérer partiellement la capacité de retenues moyennes.
2. Le dragage est également 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.

II.3. - L'application de cette technique en Algérie :

La technique du dragage a été utilisée en Algérie depuis les années cinquante. Le premier barrage ayant subi des opérations de dragage en Algérie est celui de Fergoug, situé dans la région de Perrégaux (l'est algérien) : de 1986 à 1989 plus de 10 millions de m³ de vase ont été dragués. Ce dragage a été réalisé avec une drague suceuse refouleuse flottante. Après remaniement local, les sédiments sont aspirés par la drague et refoulés à travers une canalisation constituée d'une partie flottante et d'une partie fixe sur plusieurs centaines de mètres de longueur. Cette canalisation sert aussi au transport par refoulement des sédiments jusqu'à la zone de rejet située en aval du barrage.

Préalablement au choix du type de drague à utiliser, une étude des fonds de la retenue a été nécessaire. Une étude géotechnique a été réalisée sur des sondages effectués dans la retenue; ils ont permis le prélèvement d'échantillons intacts. Les échantillons prélevés ont fait l'objet d'identifications et de caractérisations géomécaniques au laboratoire. Ces études ont aidé à la prise de décision sur le choix du type de matériel à utiliser pour le dragage, ainsi que sur les moyens de transport et de mise en dépôt.

De cette première expérience de dragage en Algérie, sont apparues des désordres sur l'environnement, et des enseignements sont à tirer pour les prises de décisions futures.

Les moyens de dragage sont très variés, allant du simple pelletage aux systèmes automatisés qu'il est possible de concevoir. La réalité a montré la nécessité de prise en charge des opérations de dragage sur toutes ses facettes :

- La caractérisation initiale des matériaux à draguer.
- La mise en état des matériaux avant dragage (séparation de phases).
- Le transport et la mise en dépôt des matériaux dragués.
- Les questions de dépollution des matériaux à déposer dans les sites naturels.
- Les aspects de valorisation des matières pouvant être exploitées.
- Les retombées économiques immédiates et à long terme.

Malgré la diversité des problèmes liés à l'envasement des retenues, la récupération des volumes de stockage des moyens existants est une priorité. Même si la construction de nouvelles retenues est envisageable, elle est confrontée dans de nombreux cas à l'inexistence de sites nouveaux. Ainsi que ce soit par soutirage ou par dragage, plus de 650 millions de m³ de sédiments cumulés sont estimés en 2000 et répartis dans les 98 barrages algériens (ANBT).

II.4. Les types des dragages :

On distingue trois types de dragages qui diffèrent selon les natures des sédiments à draguer et les types de travail à réaliser :

- **Entretien** : sont des opérations répétitives, visant à extraire les sédiments déposés qui gênent la navigation.
- **Aménagements** : sont des opérations d'aménager et créer des canaux, des bassins de plaisance et autres voies de navigable.
- **L'approfondissement** : sont commencés lorsqu'il devient nécessaire d'adapter le seuil de navigation et prolonger la durée de vie des barrages, les travaux nécessitent de déplacer d'importants volumes de sédiments et demandent des moyens de dragage importants. (Proulhac N ; Ker lann 2006).

II.5. Les techniques de dragage :

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

II.5.1. Les dragages mécaniques :

Ils s'effectuent grâce à des engins à godet qui opèrent soit depuis les berges (pelle mécanique), soit depuis la surface (pelle sur ponton, drague à godet...etc.).

L'extraction de sédiments pollués se fait actuellement majoritairement par cette méthode.

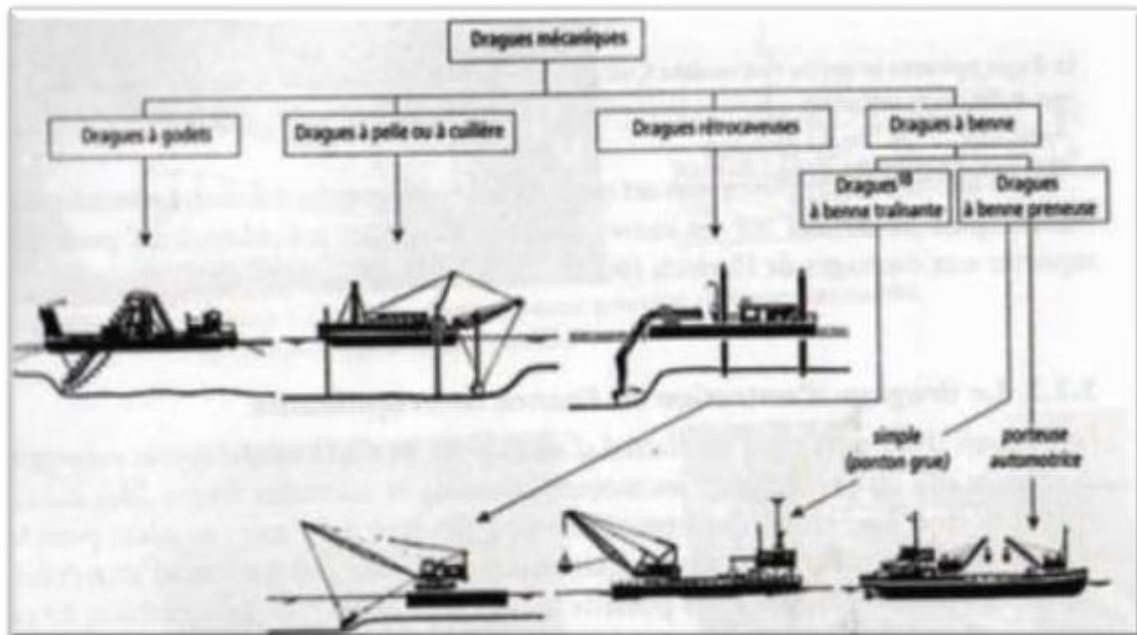


Figure II.4:Récapitulatif des différents types de dragages mécaniques

(Rouland Boutin 2000)

II.5.2. Les dragages hydrauliques :

Ils réalisent par des dragues désagrégées et aspiratrices, les matériaux sont désagrégés par jets d'eau sous pression ou par rotation d'un outil et mis en suspension pour être aspirés et évacués par des pompes vers les points de stockage.

Par exemple la technique aspiratrice utilise des pompes centrifuges, aspirant à travers un tube d'élinde, muni d'un embout, appelé bec d'élinde, un mélange eau sédiments. Elle aspire et refoulent donc les sédiment sous forme de boues liquides dans la teneur en eau varie autour de 85%, vis-à-vis des volumes extraits ;l'une des principales différences entre les dragages mécaniques et hydrauliques est constituée par les volumes extraits et les dilutions des sédiments en place .Dans les faits, alors que les engins mécaniques ne remanient que faiblement le sédiment ,les dragages par aspiration implique une dilution par 3 à 10 volumes d'eau pour un volume de sédiment en place Schématiquement.

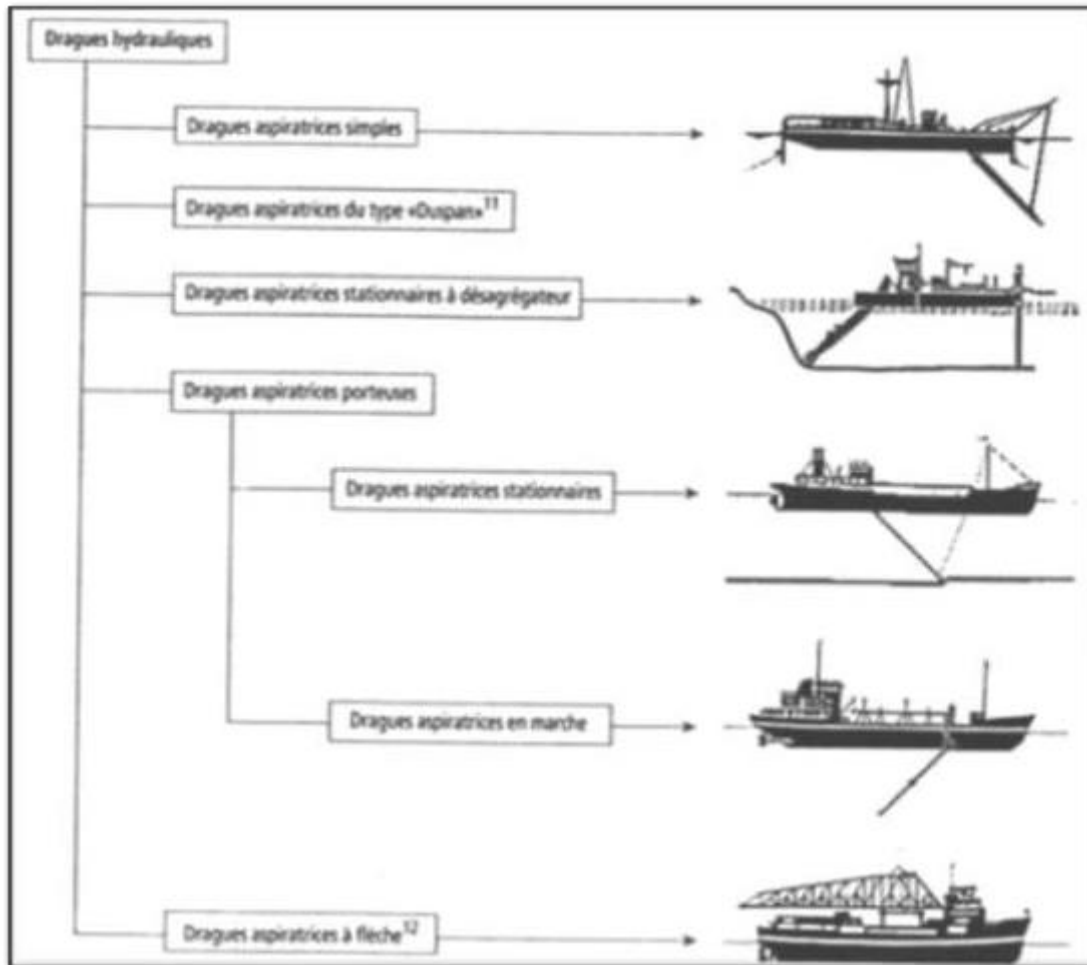


Figure II.5 : Les dragues hydrauliques (Roland Boutin 2000).

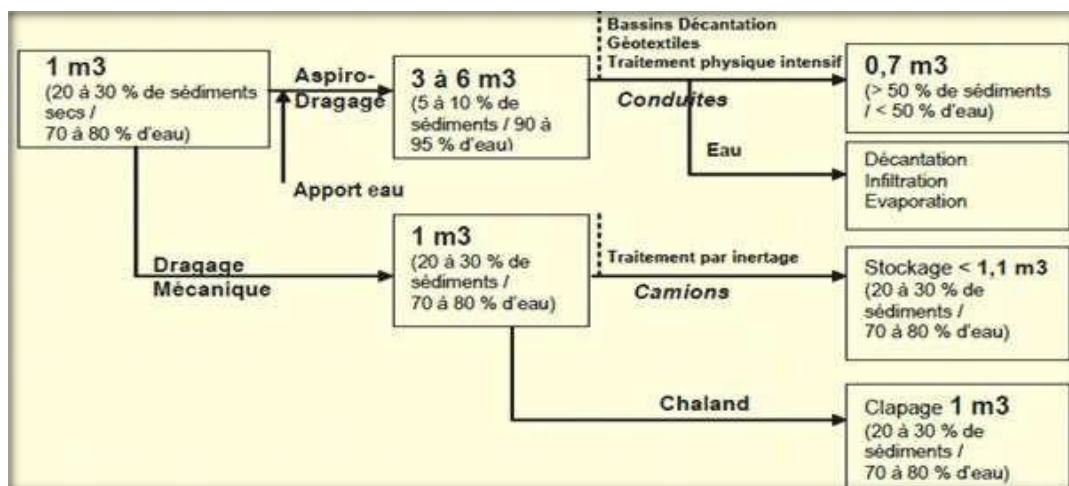


Figure II.6 : Représentation des volumes extraits selon la technique de dragage utilisé (Proulhac.N,Kerlann 2006).

II.5.3. Les dragages à l'américaine :

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

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

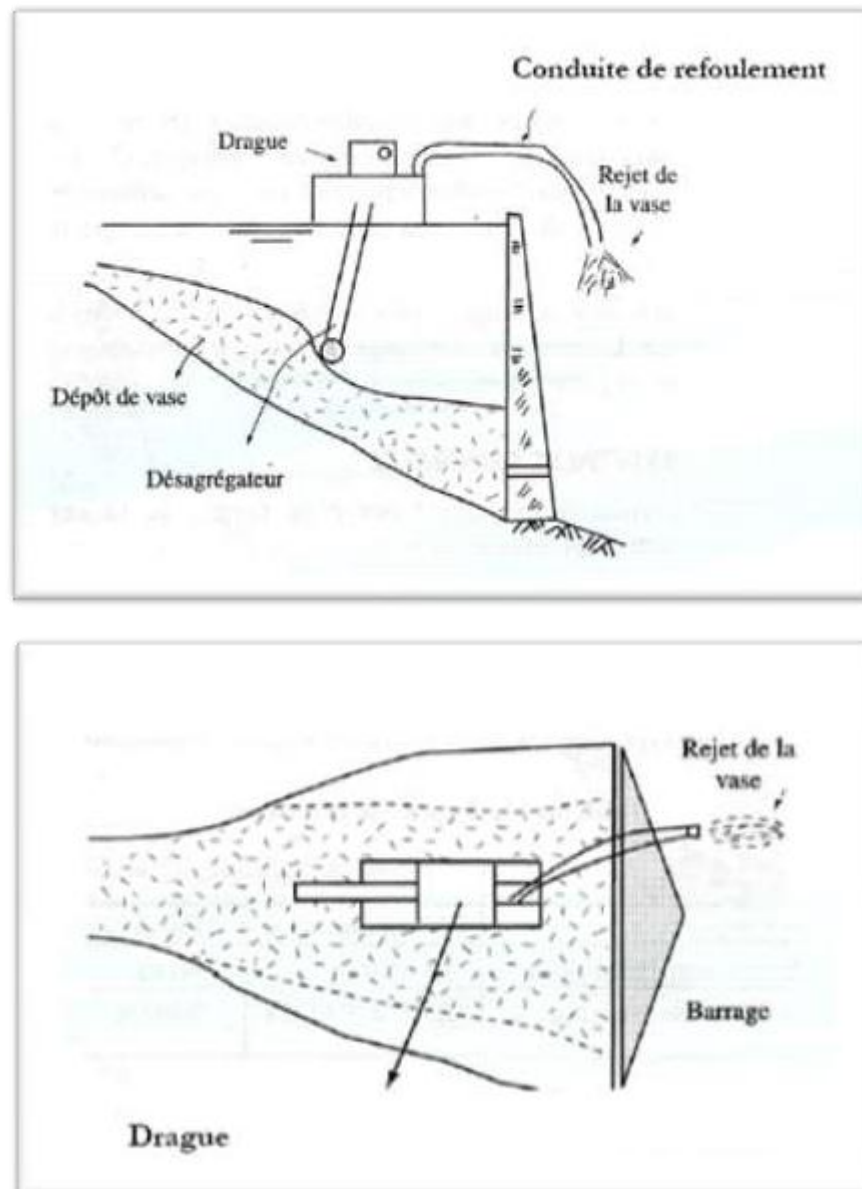


Figure II.7: Dévasement d'une retenue de barrage l'aide d'une drague suceuse refouleuse.

Pour terminer avec cette technique, on peut dire que le dragage est une technique de dévasement sûre, mais selon certains auteurs, la récupération d'une capacité de stockage par dragage est une opération très coûteuse qui n'est pas économique pour les grandes retenues. 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.

D'une façon générale, le dragage constitue une méthode de récupération de capacité qui coûte cher, à moins que les sédiments puissent être recyclés de façon intéressante.

II.6. Stockage des sédiments après le dragage:

Dans un esprit de développement durable, la gestion de l'environnement doit prendre en compte tous les aspects liés à la mise en dépôt et au stockage des sédiments issus des opérations de dragage.

Grâce aux médias, le grand public est maintenant bien informé des dommages que court l'environnement du fait des « pollutions » dont les origines et les formes sont multiples. Mais le grand public est beaucoup moins sensible au rôle protecteur que le sol peut exercer à l'égard des pollutions si certaines conditions sont respectées.

L'efficacité du sol est moins évidente lorsque la pollution est provoquée par les composants même du sol, ou de sa constitution physique qui altère directement les équilibres des bassins versants vis-à-vis des ruissellements et des infiltrations alimentant les nappes souterraines.

Cependant, une attention particulière est attirée sur les désordres pouvant apparaître suite aux dépôts et stockages des matières de granulométrie fine. En effet, dans le cas du dragage du Fergoug, le dépôt des sédiments en aval de la digue a été à l'origine de la grande catastrophe écologique pour toute la plaine située en aval du barrage.

II.7. Quelques exemples de dévasement des barrages en Algérie :

II.7.1. Dévasement du barrage de K'sob :

C'est un barrage d'une capacité initiale de 11,6 millions de m³ (avant sa surélévation). Au milieu des années 1970, sa capacité a été réduite au moins de 4 millions de m³, ce qui ne permettait plus de satisfaire les besoins en irrigation, malgré des apports liquides importants (50 millions de m³/an). L'administration a alors décidé de surélever le barrage de 15m; il a atteint ainsi 47m de hauteur pour une capacité de 29,5 millions de m³. Mais en 2001, cette capacité était réduite à 15 millions de m³ suite à l'envasement accéléré de la retenue, avec un taux d'envasement moyen annuel égal à 0,3 millions de m³/an. Malgré la surélévation de ce barrage, le recours au dévasement s'est avéré être l'unique solution pour la récupération de sa capacité de stockage. L'opération de dragage est en cours et l'objectif à atteindre est de dévaser 4 millions de m³ de vase en première phase.

II.7.2. Dévasement du barrage de Foum El Gueiss :

C'est un petit barrage de 3 millions de m³ de capacité qui a subi une surélévation de la digue en 1969 suite au dépôt des sédiments dans la retenue, avec un taux d'envasement moyen annuel de 0,03 millions de m³. Le dévasement de ce barrage est programmé à court terme.

II.7.3. Dévasement du barrage de Zardezs :

L'état d'envasement très avancé de la retenue du barrage de Zardezas a obligé les services hydrauliques à des opérations de dévasement. En plus de la capacité de stockage qui a été réduite par l'envasement, la stabilité de l'ouvrage a été menacée par la forte poussée des sédiments. Les travaux de dragage ont commencé à partir de 1993 et aujourd'hui encore, la drague se trouve sur le site, il est programmé d'extraire un volume de 10 millions de m³ de vase. Durant dix années (1993-2002) de dragage, 22 millions de m³ de suspensions et un volume de vase de 8,6 millions de m³ ont été évacués. Mais il faut ajouter que durant cette période de dix années, un volume de vase de 2,5 millions de m³ s'est déposé dans la retenue, pour un taux d'envasement de 0,25 millions de m³/an.

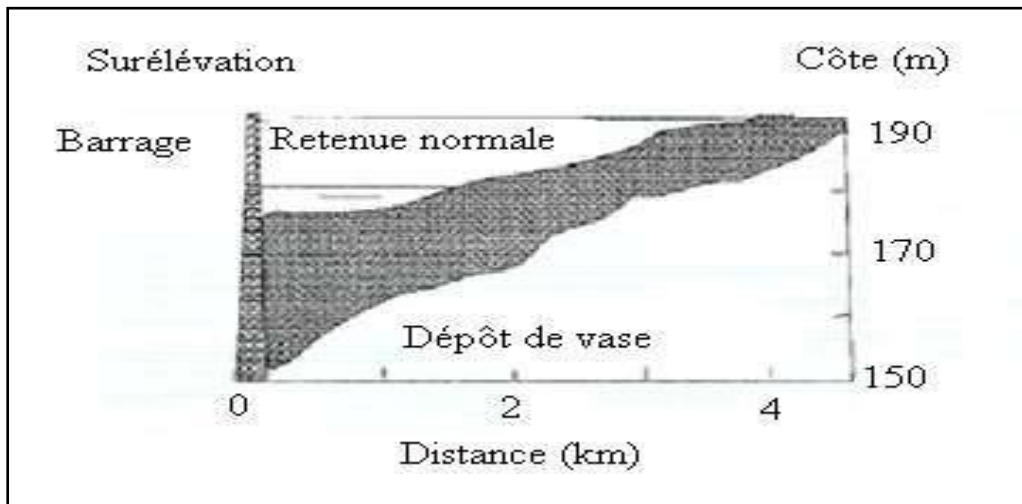


Figure II.8 : Etat d'envasement du barrage de Zardezas en 1986.

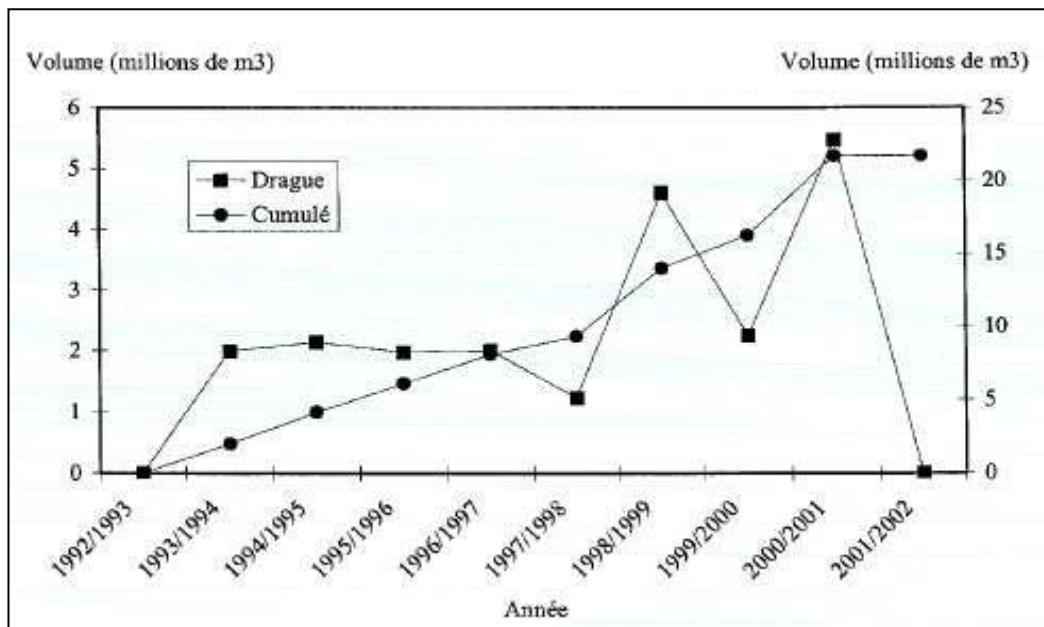


Figure II.9 : Quantités de suspension dévasées au niveau du barrage de Zardezas.

II.7.4. Dévasement du barrage de Foum El Gherza :

C'est un barrage de 47 millions de m³ de capacité qui n'a jamais fait l'objet d'un dévasement sauf à l'aide de chasses périodiques par l'ouverture de la vanne de fond. Le barrage se trouve actuellement envasé à plus de 65 % de sa capacité initiale. Vu son importance économique pour la région du sud, l'unique solution s'avère à court terme le dévasement d'un volume de 10 millions de m³.

II.7.5. Dévasement de la retenue de Fergoug :

La retenue de Fergoug d'une capacité initiale de 18 millions de m^3 en 1970, était envasée à hauteur de 11,5 millions de m^3 en 1989. Elle a été dévasée durant la période 1989-1992. Un volume de vase de 6,5 millions de m^3 a été enlevé avec une quantité d'eau claire égale à 7 millions de m^3 . Par ailleurs, la retenue de Fergoug est envasée à plus de 80 %, bien qu'elle ait été dévasée en 1992. Après dix années d'exploitation (1992-2002) l'état de son envasement est revenu à la situation initiale (1989), avec un taux d'envasement annuel égal à un million de m^3/an . La reprise du dragage dans la retenue de Fergoug fut l'unique solution permettant de garantir la fourniture en eau à l'aval de m^3 de vase. Pour la zone industrielle de souk ahras, l'AEP de la ville de SOUK AHRAS ainsi que pour l'irrigation de la plaine de Habra. A court terme, il est programmé d'extraire un volume de 10 millions.

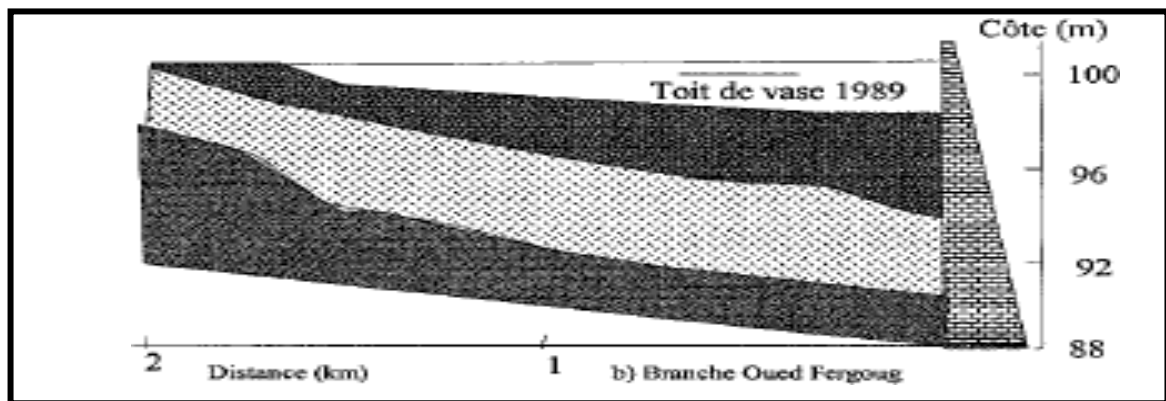


Figure II.10: Etat de l'envasement de la retenue de Fergoug en 1989 (avant le dévasement).

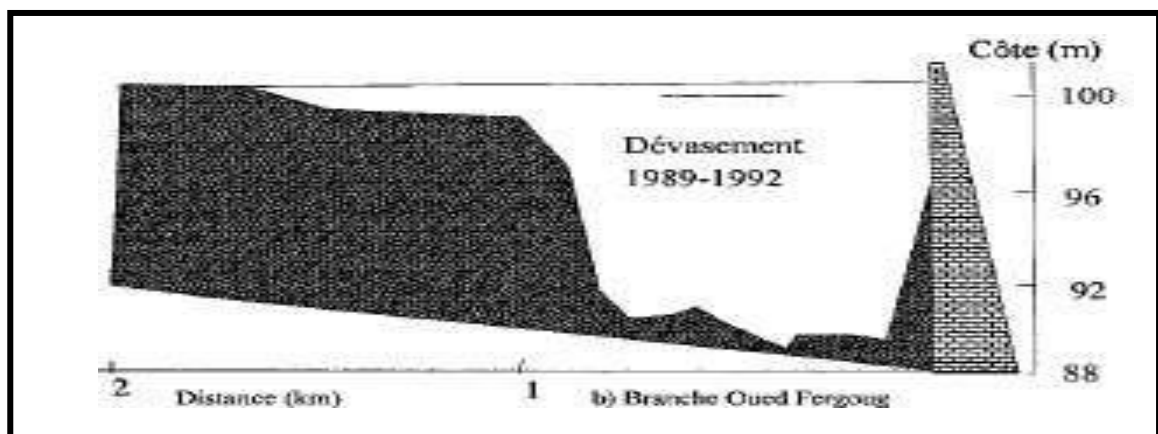


Figure II.11: Dévasement du barrage de Fergoug de 1989 à 1992.

II.7.6. Dévasement du barrage de Mardja Sidi Abed :

Le barrage de Mardj Sidi Abed, d'une capacité initiale de 5,5 millions de m³, se trouve actuellement envasé à plus de 14 %, suite à un taux d'envasement annuel égal à 0,6 millions de m³. En plus de la réduction de sa capacité, les équipements hydromécaniques se trouvent obturés par le dépôt de la vase. Le dévasement de 5 millions de m³ de vase est programmé à court terme.

Conclusion :

Les barrages algériens sont menacés par l'envasement en raison de désertification accélérée et l'érosion hydrique intense des bassins versants telliens. Pour certaines retenues, la sédimentation annuelle peut représenter des valeurs de l'ordre de 6 % du volume total. Les effets néfastes de ce phénomène sont nombreux, allant de la réduction considérable de la capacité d'emménagement et de stockage du barrage, jusqu'à la dégradation nette de la qualité de l'eau du barrage. Il existe plusieurs moyens de lutter contre ce phénomène, les chasses, le dragage, le soutirage des courants de densité. Il y a aussi la surélévation ou, mieux encore, l'utilisation nouvelle des barrières végétales.

CHAPITRE III : PRESENTATION DU BARRAGE D'AIN DALIA

III. Problématique et enjeu de l'envasement

Le volume de matériaux qui se déposent chaque année dans les retenues des barrages algériens est évalué, en moyenne à 20 millions de m³ par an (Remini, 1999), ce qui contribue à réduire de 0.3% par an les capacités de stockage de l'eau estimée à 6,2 milliard de m³ (Riad 1999), dans des régions caractérisées par une pluviométrie à la fois faible et irrégulière. Le phénomène de l'envasement des barrages, de par la situation géographique du pays (zone semi-aride), constitue un enjeu d'envergure nationale. Selon une récente étude basée sur des séries statistiques comportant les données de 57 grands barrages, l'Algérie perd par envasement 45 à 50 millions de m³ chaque année. En effet, le phénomène de l'envasement touche les pays du Maghreb, mais plus particulièrement l'Algérie s'est accélérée à partir des années 2000 (Particulièrement à partir de 2003). Les retombées sont directes et graves et sur L'économie nationale et sur le développement de la société tout entière. Sachant qu'en Algérie les barrages de taille et d'importance diverses ne recueillent en fait que 5% des précipitations atmosphériques, le problème apparaît dès lors dans toute son acuité. D'importantes quantités de pluies rejoignent la mer, ou reviennent vers l'atmosphère par évaporation. Autant donc apprécier le temps de remplissage d'un barrage et l'ampleur des dégâts engendrés par le fléau de l'envasement.

Selon le ministère des Ressources en eau, durant la période allant du 1er au 11 octobre 2008 une quantité de 209 millions de mètres cubes a été reçue au niveau des 59 barrages en exploitation. Conséquence de ces apports, le taux de remplissage des barrages est estimé à 44, 37%. Un taux supérieur à celui enregistré l'année dernière à la même période. Selon le communiqué du ministère des Ressources en eau, la réserve totale de l'ensemble des barrages qui était de 2,49 milliards de mètres cubes est passée à 2,58 milliards de mètres cubes, soit un stockage global estimé à 87 millions de mètres cube.

Au niveau de la région ouest, le volume d'eau stocké est de 449 millions de mètres cubes, dans la région du Chelif il est de 252 millions de mètres cubes, au centre le volume est de 556 millions de mètres cubes, alors qu'à l'Est, il est de 1,322 milliard de mètres cubes. La région de l'est a également connu une pluviométrie importante.

III.1-Aperçu sur l'aménagement hydraulique d'Ain Dalia

Les principales caractéristiques de l'aménagement du bassin versant d'Ain Dalia sont comme suit : la Capacité totale, le Volume annuel régularisable, et le Débit de la crue de projet, la Superficie du bassin versant, et l'apport interannuel moyen.

III.1.1-Historique de l'ouvrage

Le Barrage d'Ain Dalia a été mis en service en février 1987 et sa mise en eau le 1er Mars 1988. Il a une capacité théorique de 70 millions de m³. Le barrage d'Ain Dalia est situé à l'extrême Est Algérien, à une dizaine de kilomètre au sud de la ville de Souk-Ahras. [12]

III.1.2-Principales caractéristiques hydrologiques des Oueds alimentant l'ouvrage

L'ouvrage le plus important dans ce bassin est celui de barrage d'Ain Dalia (1987 par l'ANB), il est réalisé en aval de l'oued Medjerda dans un sous bassin d'une superficie de 193 km².

On peut définir l'Oued Medjerda comme le poumon de la ville de Souk-Ahras, il joue le rôle de principale source d'alimentation en eau potable en amont de la ville (Barrage de Ain Dalia).

La région d'étude contient trois types d'ouvrages de mobilisation des eaux superficielles qui sont: les barrages, les retenues collinaires et les seuils déversoirs (prises au fil de l'eau).

Tableau III.1 : Potentialité des ressources en eau superficielles dans le bassin versant de Medjerda.[6]

Bassin	Superficie (Km ²)	Pluviométrie moyenne (mm) (St : 12.01.01)	Apport (Hm ³ /an) (ANRH. 2002)	Apport (Hm ³ /an) (PNE. 1992)	Apport (Hm ³ /an) (DHW. 2009)
Medjerda	1411	653.60	47.5	57.31	61

III.1.3-Apport annuel des Oueds

Le volume d'apport annuel des Oueds est de 55 Hm³, et le débit est de 1040 m³/s, et la crue de projet (T=10000 ans) [14].

La pluviométrie interannuelle moyenne sur le bassin versant est de 700 mm.

III.1.4-Ecoulement des crues

Les grandes crues pluviales dont les débits de pointe dépassent $10 \text{ m}^3/\text{s}$ s'observent au cours d'un ou quelques mois en période du décembre à l'avril et rarement (1 fois sur 10 années) en octobre, novembre ou mai. En fonction de la durée et de la succession de la tombée des précipitations les crues sont à une seule pointe ou complexe à quelques pointes. Pendant les périodes de la haute hydraulicité selon les précipitations l'écoulement mensuel peut dépasser la norme de volume moyen annuel de l'apport. La répartition de l'apport entre les mois de la saison humide est irrégulière et instable. [13]

III.1.4-Fiche matricule de l'aménagement [13]

✚ - Maître d'ouvrage : Agence nationale des Barrages et transferts

- Agence nationale des Barrages et transferts

✚ - Bureau d'études :

- Tractebel, Bruxelles Pays : Belgique

✚ - Surveillance des travaux :

- Energo Project, Belgrade Pays : Yugoslavia

✚ - Entreprises : Travaux de génie civil

- LESI S A (Lavori edilie stradali) Pays : Italie Equipement hydromécanique
- SDEM (société d'étude et de montage) Pays : France

✚ Appareils d'auscultation:

- Géotechnical Instrumentants Pays : Grande Bretagne

III.2-Caractéristiques du barrage d'Ain Dalia :

L'ouvrage le plus important dans ce bassin est celui d'Ain Dalia (1987 par l'ANB), il est réalisé en aval de l'oued Medjerda dans un sous bassin d'une superficie de 193 km^2 , ce barrage mobilise 82 Mm^3 , dont un volume régularisable de 45 Hm^3 . Ce barrage représente la principale source d'alimentation en eau potable du chef-lieu de la wilaya de Souk Ahras; avec un volume actuel prélevé autorisé à $75000 \text{ Hm}^3/\text{j}$, et d'autre partie du débit régularisée est transférée vers le Nord de la Wilaya de Tebessa où l'eau est utilisée pour les besoins ménagers.

Le Barrage d'Ain Dalia est de type remblai à noyau et recharges en enrochement, le choix de ce type de barrage relié à la nature des terrains et leurs fondations de (Marnes et Grès), le Niveau de la crête de 715.50 m NGA, et Longueur de 300 m, et d'une Largeur de 9 m à une Hauteur de 55 m. Les talus amont et aval d'une pente de (1/1.2, 1/2), la Côte de retenue normale 710 m. [13]



Figure III.1: Vue satellitaire du bassin versant d'Ain Dalia (Google earth 2014).



Figure III.2 : Vue du barrage d'Ain Dalia.



Figure III.3 : Problème d'érosion de sédimentation du barrage d'Ain Dalia

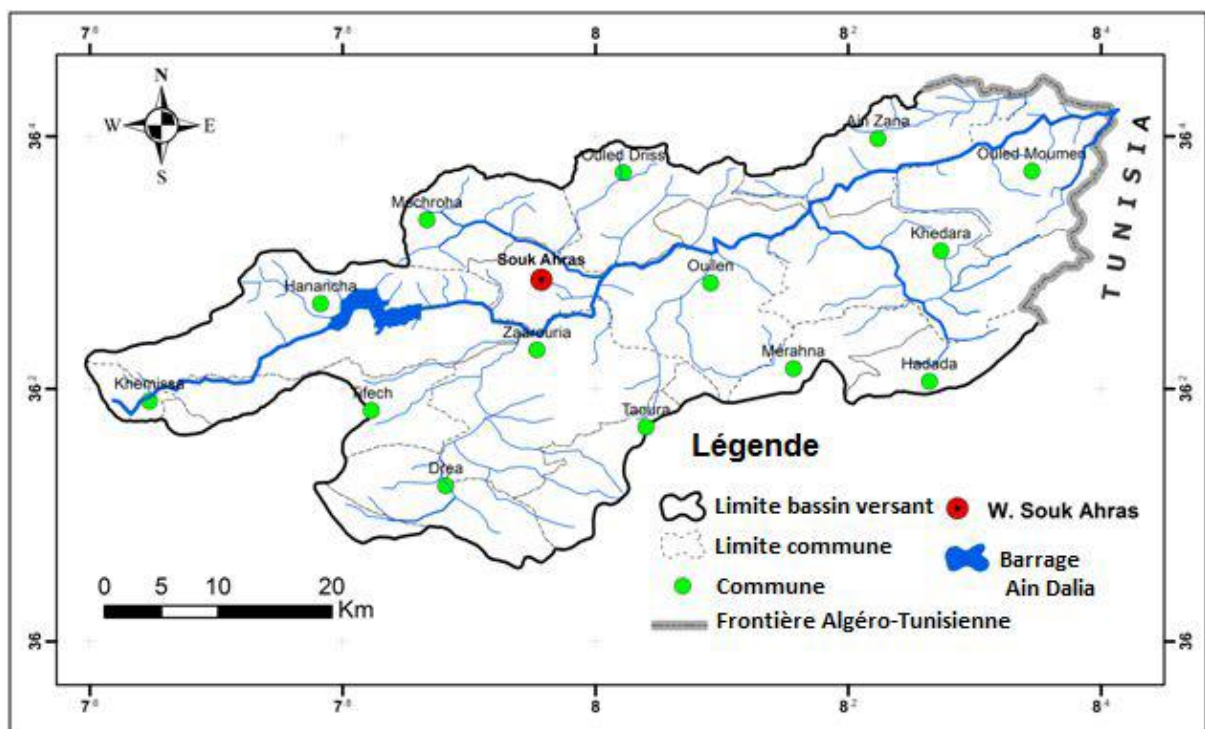


Figures III .4 : Vue du sédiment de barrage d'Ain Dalia

III.3 - Situation géographique

Le bassin versant transfrontalier de la Medjerda est situé à l'extrême Nord-Est de l'Algérie, il appartient au grand bassin versant Constantinois-Seybouse-Mellègue (CSM), selon la classification de l'ABH et porte le code (1201), il s'étend du 7°34' et 8°25' de longitude Est et du 36°04' et 36°25' de latitude Nord, il couvre une superficie de 1505.5 Km² et il est drainé par l'oued Medjerda et ses affluents (Fig. 1). Il se trouve presque totalement inclus dans le territoire administratif de la wilaya de Souk Ahras. Il est limité par les bassins versant suivants:

- ✚ Au Nord, par le bassin versant côtier constantinois.
- ✚ A l'Ouest, par le bassin versant de la Seybouse.
- ✚ Au Sud, par le bassin versant de Mellègue.
- ✚ A l'Est, par le frontière Tunisienne.



Le bassin versant de l'oued Medjerda couvre une superficie de 1524 Km², il est juxtaposé entre le bassin de l'oued Mellegue amont et aval au S, la bassin de Charef a l'O, seybousse et la bounamossa au N et sa continuité a l'E chez nos voisin les tunisien, sont talweg principale présente une longueur de 107 km

Au réservoir de Ain Dalia Le haut bassin versant de la Medjerda à une superficie d'environ 193 Km², la longueur du talweg est de 37 km. Et cumule au mont de Rass el alia a 1317m au pied duquel l'oued prend sa naissance. L'oued coule au centre d'une véritable gouttière,

encadrée par de long reliefs orientés NE –NW qui descendent rarement au-dessous de 1000 m (Djebel Dekma a 1286m, Djebel Serou a 1033m, Djebel Tiffech a 1031m, Djebel Jelala a 1286m, Djebel Tebaga a 1227 m,)

- Les affluents toujours courtes, au profil tendu confluent perpendiculairement avec l'oued

Medjerda. Du point de vue géologique la haute vallée de la Medjerda correspond a un synclinal marneux, Plus au moins pincé entre les reliefs gréseux et clair orientés NE-SW, le trais complexe hétérogène, marnes avec des venus clair, gypse apparait à l'oued.

- La pluviométrie moyenne est de 280 mm (d'après la sorte Gaussen). Mais sa répartition n'est plus homogène, spatial que temporel.
- La végétation du plateau d'absence de végétation importante est une des caractéristiques de ce BV. Les sommets greso-calacaires sont ouverts d'une maigre garrigue, basse et semi ouverte.
- Caractéristique physique du bassin : il s'agit du haut bassin de l'oued Medjerda, fleuve de l'est qui après avoir traversée la Tunisie se jette dans la méditerrané au nord au golf de Tunis.

III.3.1- Les principaux affluents

Les principaux affluents d'Oued Medjerda sont: Oued Djedra (12.34km), Oued Chouk (12.34km), Oued hammam (30km), Oued Renem (12.46km), Oued el Bateum(14.97km), Oued Erroul (11.48km), Oued Medjerda(106.16km), Oued Sidi Menndil (11.09km), Oued El berrich (15km). (ABH, C-S-M, 2001)

III.3.2- Caractérisation morphométrique du réseau hydrographique

III.3.2.1- Profil en long

L'étude du profil le long du cours d'eau montre des ruptures de pente que l'on ne peut expliquer que par des seuils rocheux particulièrement résistants à l'érosion hydrique. La première rupture importante est observée à l'altitude de 800 m. La deuxième rupture est observée à l'altitude de 700 m, où la pente est plus accentuée faisant accélérer l'écoulement et donnant naissance à un régime défavorisant l'infiltration. La troisième à l'altitude de 500 m, qui se stabilise et donne l'occasion à l'eau de s'infiltrer. La quatrième à l'altitude de 300 m, qui est plus importante car s'étend à une distance plus importante (Claude et al, 1977).

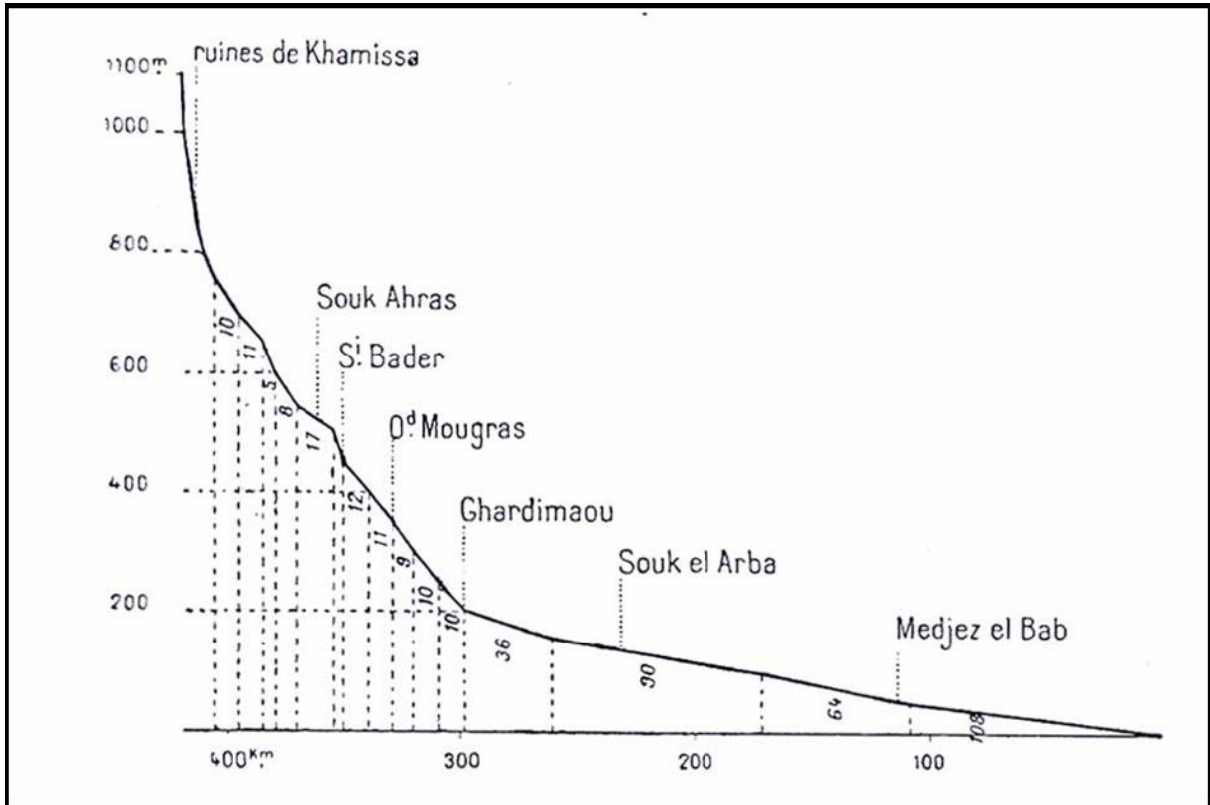


Figure 2-4 : Profil en long d'Oued Medjerda selon (Claude et al, 1977)

III.3.2.2- Aspect sociaux économique

La vocation principale sur le bassin de la Medjerda est l'agriculture, à l'exception de quelques unités industrielles localisées au niveau de la ville de Souk-Ahras.

À l'échelle économique l'industrie constitue relativement le secteur secondaire, où la ville de Souk-Ahras comporte 03 grandes unités industrielles et 03 moyennes mais de grands consommateurs d'eau et beaucoup de déversement.

III.4- Géologie locale

Le territoire de la wilaya de souk Ahras faisait partie de la zone alpine plissée, est localisé en bordure du bloc et des hauts plateaux.

La superposition de certains complexes structuraux est parfois observée. Le complexe autochtone inférieur et quatre complexes allochtones de flyshs (tellien, Guerrouche, microbrèche) sont mis en évidence.

Les terrains rencontrés sur le territoire de la wilaya appartiennent aux formations carbonatées marines, terrigènes et évaporitiques du trias, Crétacé; Paléogène et Néogène. Les faciès continentaux sont représentés par des formations meubles ou faiblement cimentées du Pliocène, Plio-Quaternaire et Quaternaire

III.4.1- Litho stratigraphie

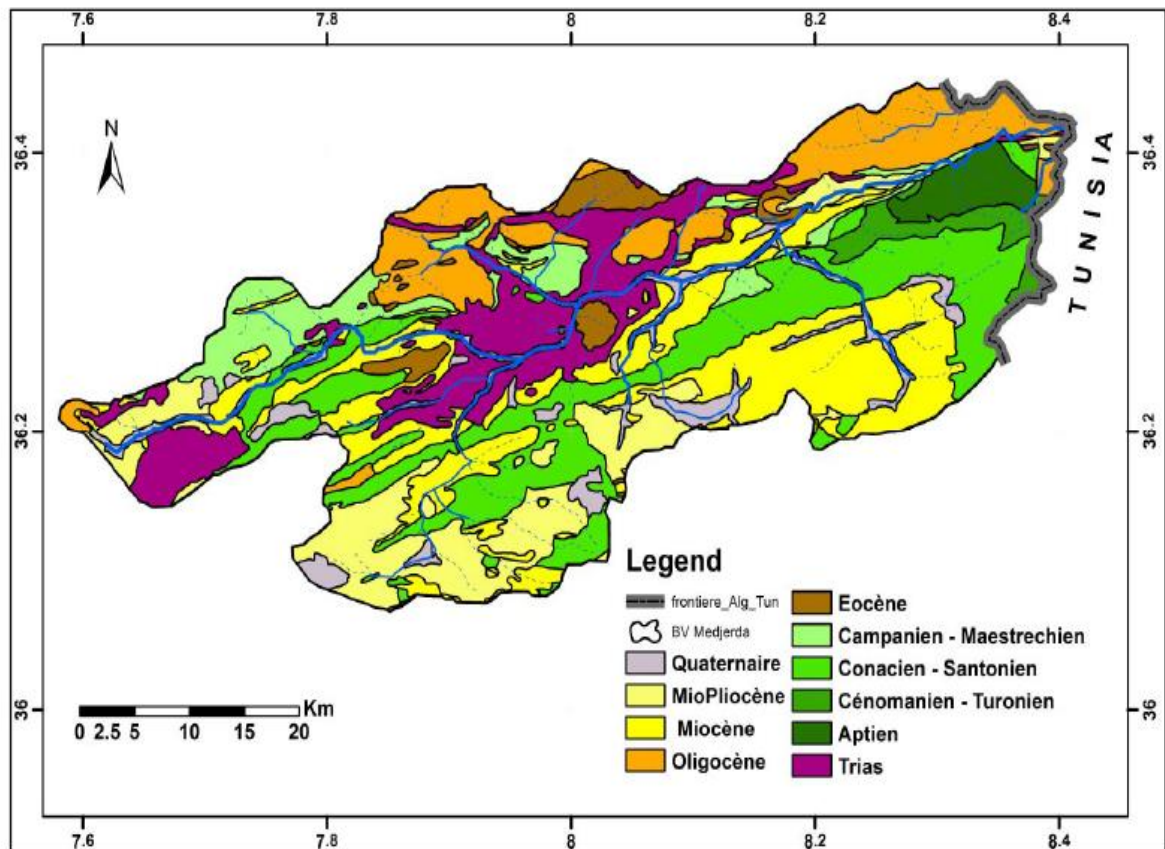
Les différents âges des formations rencontrées varient du Trias au Quaternaire (Fig. 4). TRIAS Les plus anciens terrains rencontrés dans la wilaya sont des dépôts du Trias marin ou lagunaire. Ils affleurent dans les structures diapiriques de Tifech au Nord-Ouest de souk Ahras, il s'agit de facies argilo-gypseux versicolores avec un mélange chaotique de marne, argiles bariolés, il est également représenté par des cargneules de couleur jaune ou brune, de calcaires dolomitiques bleu noir, de calcaires marneux en plaquette de couleur grise ou beige, de dolomie et calcaires divers, de psammites et grés.

✚ Crétacé inférieur

- **Aptien** : Il est formé par une alternance de marnes grises ou noirâtres, des calcaires dont la puissance atteint plusieurs centaines de mètre, des marno-calcaires, de grés gris ou blanchâtres à patine brune, souvent calcareux.
- **Albien-Cénomaniens**: Il est rencontré sous forme d'intercalation de marnes de couleur grise, de marnocalcaires de couleur gris foncé et de calcaires de couleur gris. Il apparait au Nord dans l'anticlinal de l'oued Mougras (Sidi El Hemissi, Djebels Graouet et Bourzine) et s'étend jusqu'à la frontière Tunisienne.
- **Crétacé supérieur**
- **Le Cénomaniens** : Il est rencontré sous forme d'intercalation de marnes de couleur grise, de marnocalcaires de couleur gris foncé et de calcaires de couleur gris. La puissance de ces formations est de plus de 500 m
- **Le Turonien** : Le Turonien se présente principalement par une intercalation monotone de calcaire gris foncé à patine grise ou jaune, et de marnes, la puissance de ces formations atteint les 200 m.
- **Coniacien** : Le Coniacien est rencontré sous forme d'intercalation de marnes avec quelque passées détritiques, marno-calcaire et calcaires marneux à patine jaune, avec une puissance de 250 m.
- **Santonien** : Formé par une intercalation de calcaires de couleur gris, de calcaires marneux et marnes grises foncées à petits lits de calcaires, l'épaisseur de ces formations est de 400m.
- **Campanien** : Du point de vue lithologique, la base de la Campanienne présente une grande uniformité avec les marnes grises tantôt bleutées, tantôt verdâtres à petits lits de calcaires. Dans sa partie supérieure, il est formé par une intercalation de calcaires, marno-calcaires et marnes blanchâtres. La puissance de ces formations est de 400 m.

III.4.2- Paléogène

- **L'Eocène** : L'Eocène est très peu observé dans le territoire de la wilaya de Souk-Ahras. Il n'apparaît que sous forme de lambeaux dans la région Nord. Il renferme des roches carbonatées marneuses et des dépôts conglomératiques. Sa puissance est de 200m.
- **L'Oligocène** : Est largement étendu à l'extrême nord de la région, se présente sous un faciès numidien et une alternance de grès et d'argiles.
- **Le miocène** : Il forme une puissante série terrigène participant au remplissage des dépressions intramontagneuse et constitue le cœur des structures synclinales. Il est subdivisé en deux termes: Miocène inférieur-moyen et supérieur. Le miocène inférieur-moyen est constitué de conglomérats, grès, argiles et marne. Ces dépôts sont largement répandus dans la partie centrale du territoire. Son épaisseur varie de 80 à 100 m.
- **Le Mio-Pliocène** : Englobe toutes les formations continentales postérieures à la dernière avancée marine du Miocène. Il est représenté par des marnes blanches à gypse, des calcaires bicolores gris bleu et jaune vif, des argiles et des conglomérats rouges, remplissant le synclinal de Taoura-Mérahna où l'épaisseur atteint les 350 m.
- **Le Quaternaire** : Une partie importante de la région est recouverte par des dépôts continentaux. Le quaternaire ancien est représenté par des travertins, des calcaires lacustres, des argiles et limons de teinte rouge et une croûte calcaire. Le quaternaire moyen est représenté par les terrains de pente avec des limons et fragments de croûte calcaire, les dépôts détritiques gravitationnels tels que les dépôts de pente, brèches, cailloutis, sables et limons. Le quaternaire supérieur comprend les terrains de pente, de dépôts torrentiels et d'autres sédiments meubles.



Conclusion :

Le Barrage d'Ain Dalia est de type remblai à noyau et recharges en enrochement qui mobilise 82 Mm³, dont un volume régularisable d'eau de 45 Hm³. Ce barrage représente la principale source d'alimentation en eau potable du chef-lieu de la wilaya de Souk Ahras ainsi que celles d'Oum El Bouaghi et Tebassa.

CHAPITRE VI : APPLICATION A LA VALORISATION DES SEDIMENTS D'ENVASEMENT DU BARRAGE D'AIN DALIA

V.1-Introduction :

Tout projet de construction doit être étudié avec des données complètes, ce qui suppose une bonne connaissance du matériau utilisé, la reconnaissance des sédiments est donc indispensable dans n'importe quel domaine.

La recherche effectuée dans les études de valorisation consiste à déterminer les formulations optimales de mélange pour un comportement idéal du sol destiné à la structure de chaussée.

Pour une valorisation des sédiments en technique routière, la méthodologie utilisée est divisée en trois phases :

- **La première phase** : c'est la caractérisation des sédiments bruts (vase) ces études permettent d'identifier les caractéristiques physico- chimiques et minéralogiques des sédiments. Pour nous permettre de choisir le mode de traitement pour éventuelle utilisation dans le domaine routier.
- **La deuxième phase** : c'est le traitement des sédiments par un correcteur granulométrique (tout venant oued) et par des liants hydraulique aérien (chaux) afin d'étudier leur influence sur les propriétés géotechnique et mécaniques des sédiments. Donc les formulations adoptées sont 25% Vase et 75% TVO avec un pourcentage de chaux ajoutée.
- **La troisième phase** : cette phase s'intéresse à étudier le comportement mécanique des différentes formulations cités ci-dessus constituées des sédiments traités qui seront proposés pour une utilisation en corps de chaussée (couche de forme, couche de fondation, couche de base).

V.2-Prélèvement des échantillons :

Les échantillons étudiés sont prélevés de deux sites à l'aide de la pelle manuelle. Les échantillons ont été prélevés en aval de la retenue du barrage de V à proximité de la vanne de vidange, Les échantillons de sédiments prélevés ont été conditionnés en sachets plastique.

V.3-Caractérisation physico –chimiques et mécaniques :

Un certain nombre d'essais d'identification ont été réalisés sur les échantillons prélevés du Barrage de Ain Dalia permettant de classer nos sédiments selon la norme NF P11-300 (Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de Forme d'infrastructure routières) et le GTR 2000 (Guide technique pour la réalisation des Remblais et des couches de forme). Nous avons donc déterminé les paramètres suivants :

▪ **Les propriétés physico-chimiques :**

- La détermination de la teneur en eau naturelle.
- L'analyse granulométrique (Tamisage sous l'eau, sédimentométrie).
- Les limites d'Atterberg (W_L , W_P).
- La valeur de bleu de méthylène (VBS).
- La masse volumique des grains solides (au pycnomètre).
- Les analyses chimiques et minéralogiques des sédiments d'envasement par fluorescence X et diffraction X.

▪ **Les propriétés mécaniques (Les paramètres de compactage et portance) :**

- Les essais de compactage-portance (Proctor modifié, IP immédiat).

Tableau V.1 : Présentation des essais géotechniques effectués sur les échantillons.

Essai d'Identification	Norme
Teneur en eau Naturelle	NFP 94- 050 AFNOR, 1995
Analyse granulométrique (tamisage par voie humide)	NFP 94-041 AFNOR ,1995
Analyse granulométrique par sédimentométrie	NFP 94-057 AFNOR ,1995
Les limites d'Atterberg (W_L , W_P)	NFP 94-51 /XPP 060-1 AFNOR, 1993/1997
Valeur d bleu méthylène (VBS)	NFP 94-068 AFNOR ,1998
Masse volumique des grains solides au pycnomètre	NFP 94- 054 AFNOR ,1991
l'essai de compactage (Proctor modifié, IPI immédiat)	NFP 94-093 /078 AFNOR ,1997

Les valeurs des essais obtenues sont des paramètres importants pour classer les matériaux selon la norme NF P 11- 300 et le GTR 2000 et prévenir leurs impacts sur le processus de valorisation par la suite.

V.4 .Caractérisation des sédiments étudiés :

V.4 .1- Analyses des propriétés physiques :

Dans ce chapitre, les propriétés physiques déterminées mesurées sont en relation directe avec le secteur de valorisation envisagé pour ces sédiments. La détermination de la teneur en eau, le poids volumique des grains solides, la distribution granulométrique, la valeur au bleu méthylène (VBS), les limites d'Atterberg .La caractérisation de ces sédiments est une opération indispensable pour l'orientation du choix de la méthodologie et les outils à mettre en œuvre dans cette étude.

V.4.2- La teneur en eau initial:

La teneur en eau définit l'état hydrique du matériau. Elle est désignée par W et exprimé en (%), west calculé par la formule (VI-1). La teneur en eau de notre vase est de l'ordre de 42%. Les mesures de la teneur en eau ont été réalisées selon la norme NF P 94-050.

$$W = \frac{\text{Masse d'eau}}{\text{Masse Sèche}} \times 100 \dots\dots\dots(\text{VII.1})$$

V.4.3- Le poids volumique des grains solides:

Le poids volumique des grains solide est le rapport entre le poids de la vase sec sur le volumedes grains solides, ce dernier est calculé à l'aide du pycnomètre. Trois mesures ont été faites.

ys Est calculé par la formule suivante :

$$y = \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_1 - m_3 + m_2} \dots\dots\dots(\text{VII.2})$$

- m₁ : Poids du pycnomètre vide,
- m₂ : Poids du pycnomètre + échantillon,
- m₃ : Poids du pycnomètre + échantillon + eau,
- m₄ : Poids du pycnomètre + eau, le gain.

V.4.4- Analyse Granulométrique:

La distribution granulométrique a été réalisée selon les normes françaises (NF P 94-56 /57), elle constitue le premier paramètre d'entrée dans les tables de classification. L'analyse granulométrique a pour but de déterminer les proportions pondérales des grains de différentes tailles dans le sol afin de le classer. Elle s'effectue : par tamisage pour les grains de diamètre supérieur à 80 µm et par sédimentométrie pour les grains plus fins.

La courbe granulométrique est le résultat de cet analyse, Elle représente le poids des tamisât cumulés à l'échelle arithmétique en fonction du diamètre des particules solides à l'échelle logarithmique.

Le tamisage; c'est de faire passer le matériau à travers une série normalisée d'où séparer les grains en fonction de leur dimension. Dans le cas des sols argileux tel que la vase, le tamisage se fait sous l'eau pour faciliter la séparation entre les grains de différentes tailles.

Les particules passant par le tamis le plus bas (80 µm) sont traitées par la sédimentométrie. Le principe est de mesurer au bout de certains intervalles de temps; la densité de la solution à une profondeur donnée.

Et on en déduit le diamètre équivalent des plus gros grains encore présents à cette profondeur, ainsi que la proportion des grains dont le diamètre équivalent est inférieur à celui qui vient d'être calculé.

La sédimentométrie est basée sur la loi de Stokes qui permet de calculer la vitesse de chute d'un corps dans un fluide en fonction de la grosseur des grains du corps qui tombe, des masses volumiques du fluide et du corps, de la viscosité dynamique du fluide et de l'accélération de la pesanteur.

Coefficient d'uniformité et coefficient de courbure: Coefficient d'uniformité C_U :

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \dots\dots\dots (VI.3)$$

Coefficient de courbure C_C :

$$C_C = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} \dots\dots\dots (VI.4)$$

D_{10} , D_{30} et D_{60} représentent les diamètres des éléments correspondant à 10%, 30% et 60% de tamisât.

Indices de classement des sédiments:

Ces indices sont calculées par des diamètres tirés à partir de la courbe granulométrique et correspondants aux pourcentages des tamisât: 25, 50, 75 %.

L'indice de classement S_0 :

$$S_0 = \left(\frac{d_{75}}{d_{25}} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (VI.5)$$

Avec:

$S_0 < 2$: Sédiment très bien classé.

$2 < S_0 < 6$: Sédiment bien à moyennement classé.

$S_0 > 6$: Sédiment mal à très mal classé.

L'indice d'assymétrie S_K :

Il exprime la symétrie par rapport à la médiane:

$$S_K = \frac{(d_{25} \times d_{75})^{1/2}}{d_{50}} \dots\dots\dots (VI.6)$$

Avec:

$S_K > 1$: Courbe dissymétrique avec décalage et classement maximum du coté fin;

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

$S_K < 0,7$: Courbe dissymétrique avec décalage et classement maximum du coté grossier.

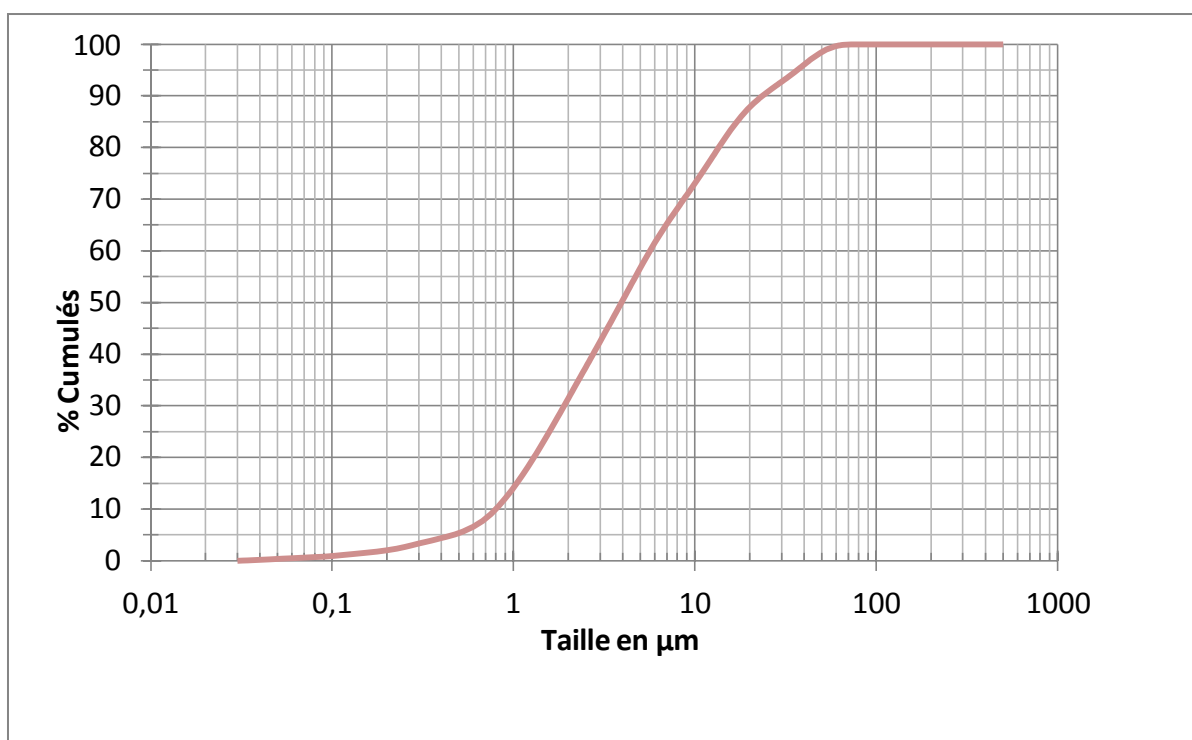


Figure V.1: Courbe granulométrique du sédiment étudiée (Vase de Ain Dalia).

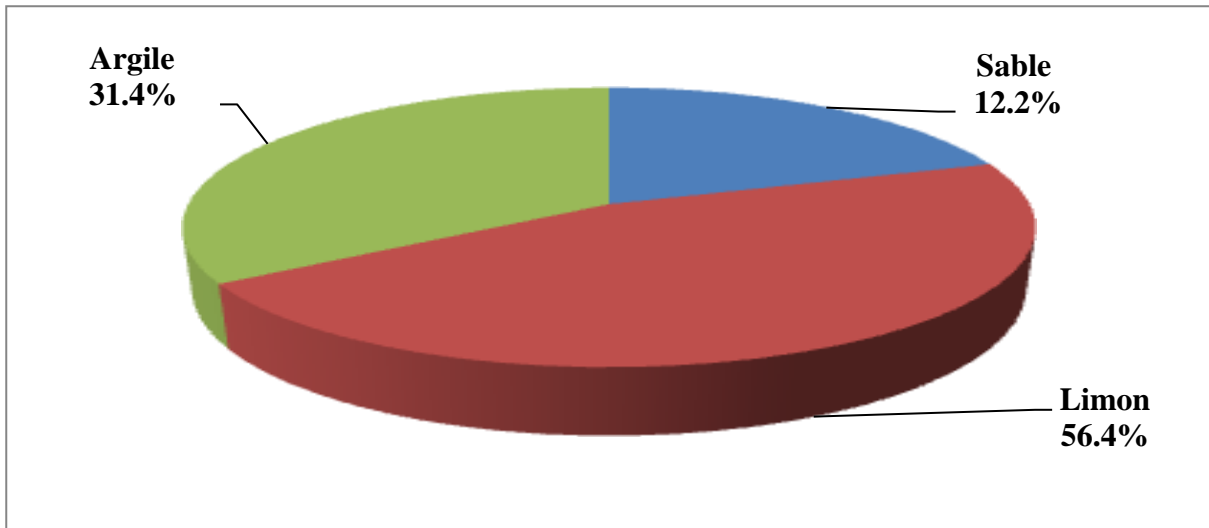


Figure V.2 : Histogramme de répartition en pourcentage (Sable, Argile, Limon).

L'analyse granulométrique effectuée sur les sédiments a donné la courbe granulométrique représentée dans la figure N° (VI-1), 96% de la masse est passée par le tamis 100 μ m .d'ou il s'agit d'un sol à granulométrie fine, ces sédiments sont composées majoritairement de 56.4% de limon, de 31.4% d'argile et de 12.2% de sable.

V.4.5- Les limites d'Atterberg :

Les limites d'Atterberg (limites de liquidité et de plasticité) sont les teneurs en eau pondérables correspondantes à des états particuliers d'un sol.

- **Limite de liquidité (W_L) :** c'est la teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états liquide et plastique.
- **Limite de plasticité (W_p) :** c'est la teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre l'état plastique et solide.
- **Indice de plasticité (I_p) :** c'est le domaine situé entre les états de liquidité et de plasticité .Il est déterminé par la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité : $I_p = W_L - W_p$.

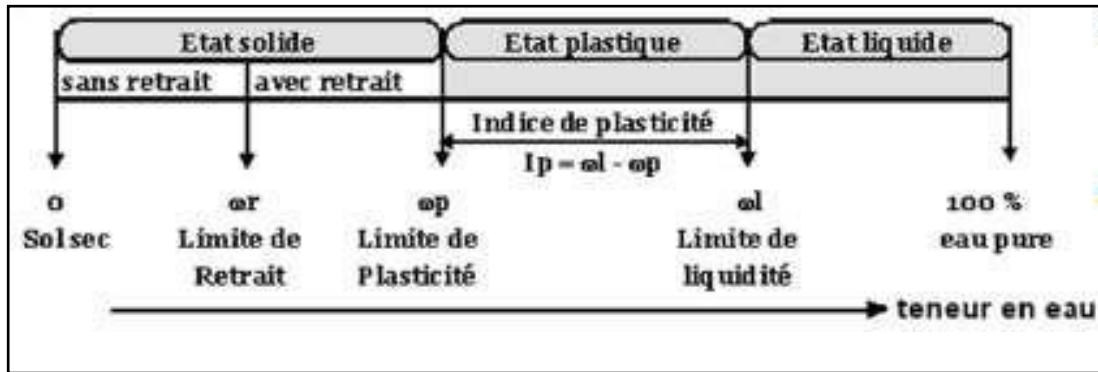


Figure V.3 : Définition des limites d'Atterberg et l'indice de plasticité.

V.4.6- La limite de liquidité (WL) :

La limite de liquidité est déterminé à l'aide de la méthode de Casagrande selon les normes française (NF P 94 051) . l'essai consiste à déterminer la relation entre la teneur en eau et le nombre de chocs imposés à une coupelle contenant le matériau, induisant la fermeture, sur 1cm, d'une rainure préalablement formée dans le matériau . Par définition , la limite de liquidité est la teneur en eau qui correspond à une fermeture sur un centimètre pour 25 chocs .

- **Calcul de la limite de liquidité :**

$$W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121} \dots\dots\dots (VI-7)$$

WL : limite de liquidité.

W : teneur en eau du mortier au moment de l'essai.

N: nombre de coups correspondant à la fermeture du mortier sur 1 cm dans la coupelle.



Figure V.4: Appareil de Casagrande pour déterminer la limite de liquidité.

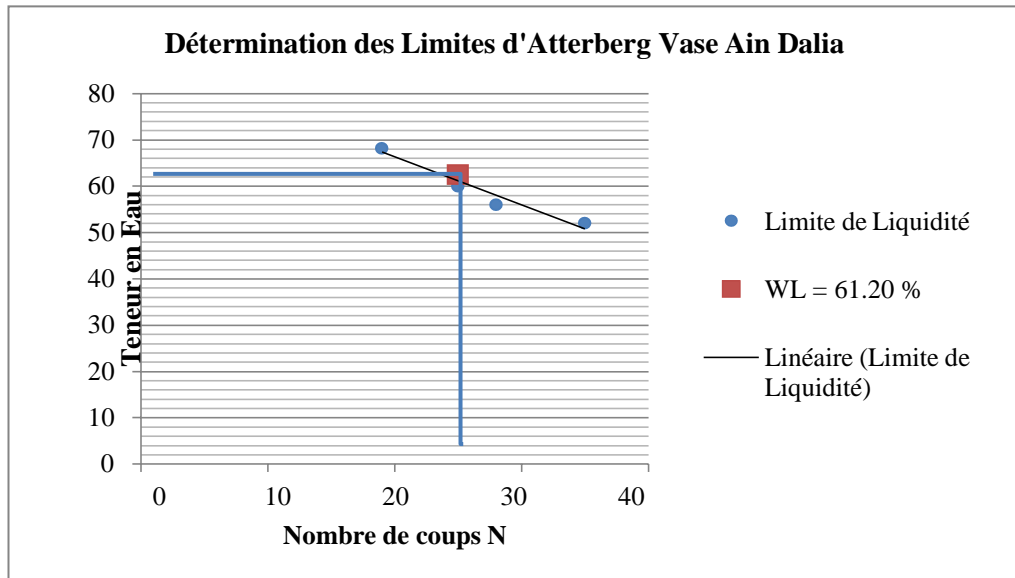


Figure V.5 : graphe teneur en eau en fonction du nombre de coup.

D'après la Figure (VI.3), La valeur de La limite de liquidité W_L des sédiments du barrage Ain Dalia est de l'ordre de **61%**.

V.4.7- La limite de plasticité W_p :

La limite de plasticité mesurée par la méthode du rouleau selon les normes française (NF P 94-051), cette limite de plasticité est le teneur en eau du rouleau qui se fissure au moment où son diamètre atteint 3mm.



Figure V.6 : Limite de plasticité par la méthode de rouleau.

Les limites d'Atterberg dépendent essentiellement des caractéristiques physico-chimiques et minéralogiques du sol lui-même. Monaco A et Chassefiere B. ont données les valeurs des limites de plasticité quelques argiles présentées dans le tableau suivant :

Tableau V.2: Les limites d'Atterberg de certaines argiles d'après (Monaco A. et Chassefiere B. 1976).

	Smectite	Attapulгите	Illite	Kaolinite
W_L	100 à 1000	150 à 270	60 à 90	30 à 75
W_P	50 à 100	100 en moyenne	25 à 60	20 à 40
I_P	75 à 125	20 en moyenne	25 à 50	10 à 40

La valeur de la limite de plasticité W_p de notre vase est de l'ordre de **27%**.

▪ **L'indice de plasticité :**

L'indice de plasticité caractérise la largeur ou la zone ou le sol étudié à un comportement plastique.

Classification de l'argile d'un sol selon l'indice de plasticité I_p selon CALLAUD M., 2004.

- 0 ÷ 5 Sol non plastique.
- 5 ÷ 15 Sol peu plastique.
- 15 ÷ 40 Sol plastique.
- > 40 Sol très plastique.

Les résultats obtenus des essais aux limites d'Atterberg sur le sédiment brut du barrage d'Ain Dalia et la courbe de limite de liquidité sont présentée sur le tableau (VI.3).

Tableau V.3 : Limites d'Atterberg du sédiment brut du barrage Ain Dalia.

Sédiment de l'Ain Dalia	Les Limites d'Atterberg		
	W_L (%)	W_P (%)	I_p (%)
	61	27	33

Sur la base de l'essai de limite de liquidité, la droite moyenne ajustée pour les couples de valeurs obtenus (log N- W) a été tracée et la limite de liquidité WL correspondant à N=25 a été déduite.

Selon l'abaque de Casagrande de classification des sols fins, l'échantillon étudié est un sol argileux très plastique.

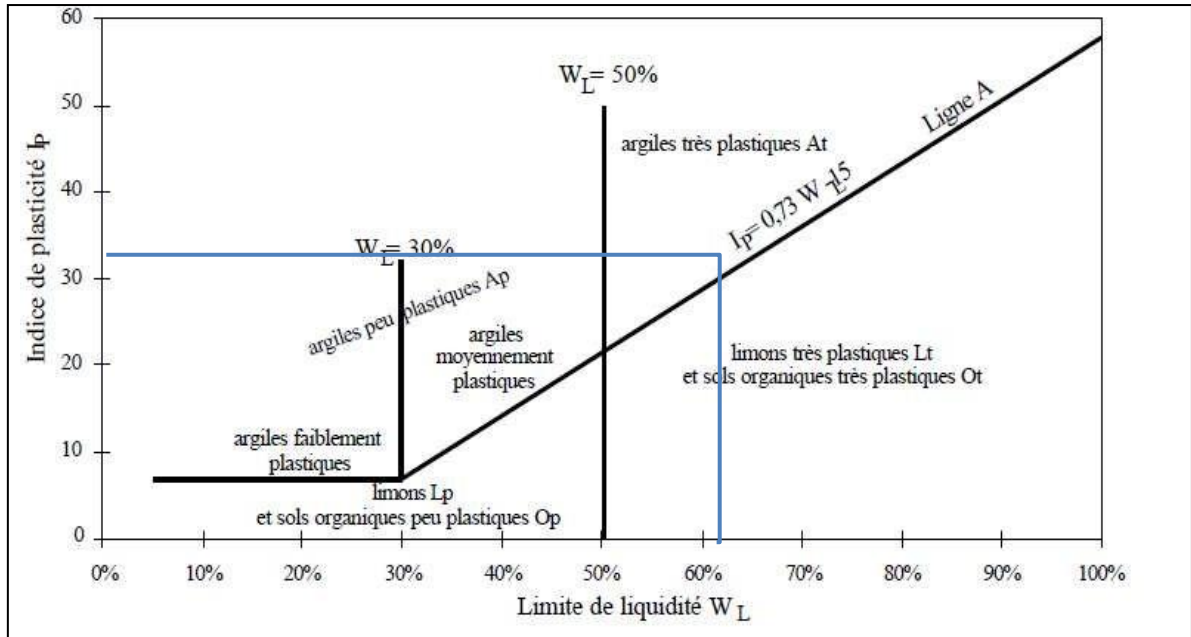


Figure V.7 : Diagramme de Casagrande pour classification des sols fin.

V.4.8- Valeur au bleu méthylène :

On appelle valeur de bleu des sols VBS exprime la quantité en grammes de bleu de méthylène adsorbée pour 100g de sol. L'essai consiste à introduire dans un échantillon des quantités croissantes de bleu de méthylène, par doses successives jusqu'à ce que les particules argileuses en soient saturées. Le sol adsorbera d'autant plus de bleu de méthylène que la quantité d'argile qu'il contient est importante.

Le bleu de méthylène est injecté dans un bain aqueux contenant la prise d'essai, en observant le comportement d'une goutte de suspension déposée sur une feuille de papier filtre. La tache formée se compose d'un dépôt central du matériau, coloré d'un bleu soutenu, entouré d'une zone humide incolore. L'excès de bleu clair persistant autour du dépôt central.

Selon la norme française FN P 94-064, on distingue les valeurs suivantes :

- $VBS \leq 0.2$: Sols sableux (sol insensible à l'eau).
- $0.2 < VBS \leq 2.5$: Sols limoneux (sol peu plastique et sensible à l'eau).
- $2.5 < VBS \leq 6$: Sols limono-argileux, (sol de plasticité moyenne).
- $6 < VBS \leq 8$: Sols argileux.
- $VBS > 8$: Sols très argileux.



Figure VI.8: Nomination d'un sol en fonction au bleu de méthylène (VBS).



Figure V.9 : Matériel de mesure de valeur de bleu de méthylène.

Tableau V.4 : Récapitulatif des paramètres d'identification des sédiments étudiés.

Paramètres d'identifier	Sédiment brut du barrage de Ain Dalia
Passant à 2 mm	100
Passant à 80 μ m	96
Ip	33
VBS	2,25

Selon l'analyse granulométrique (passant a 80 μ m > 35%), l'indice de plasticité (I_p) et la valeur au bleu méthylène (VBS) présentées dans le tableau (VI.4), On peut classer notre vase Selon la classification du GTR 200, comme étant des sols fins : limon -argileux très plastique appartenant à la classe A₃.

V.4.9- Caractérisation de compactage :

Les paramètres de compactage sont très utilisés pour identifier les matériaux et pour définir les spécifications de compactage, lorsque 'ils sont utilisés en construction routière. les essais de Proctor modifié (γ_{dmax} , W_{opm}) et CBR (IPI opm), permettent de déterminer les Caractéristiques de compactage d'un matériau et montre l'importance de la teneur en eau vis-à-vis du poids volumique sec obtenu pour une énergie de compactage donnée.

Afin d'obtenir la densité sèche maximale et la teneur en eau optimale, une étude de Proctor est nécessaire pour les formulations utilisés dans les couches de chaussées routier.

Nous avons compacté la vase dans un moule CBR avec différentes teneur en eau selon la norme (NF P 94 - 093) avec un processus et une énergie conventionnelle de 55 coups par couche .en association avec cet essai, des mesures de poinçonnement sur les éprouvettes compactées sont réalisées afin d'estimer

L'indice de portance immédiat (IPI) selon la norme (NF P 94-078). Ce paramètre permet d'évaluer l'aptitude d'un matériau à supporter directement sur sa surface la circulation des engins de chantier.



Figure V.10 : Matériel de l'essai Proctor modifié.

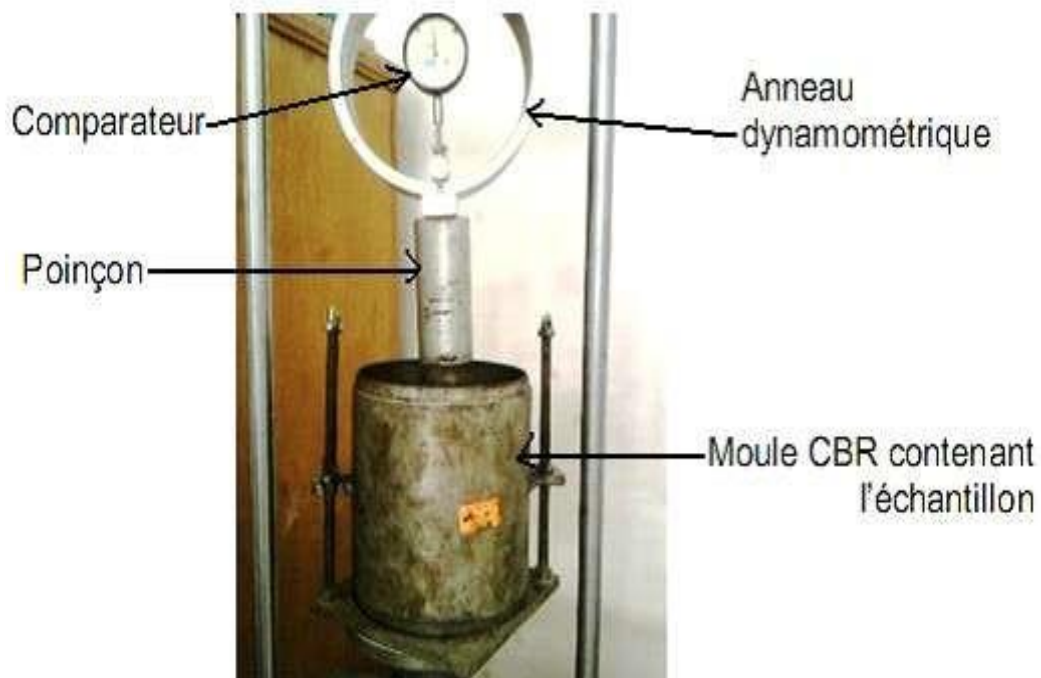


Figure V.11 : L'essai CBR et la détermination d'IP Immédiat.

Les courbes de compactage (Proctor modifié) – CBR immédiat sont représentées sur la figure (VI.12) et le tableau (VI.5) résume les paramètres de compacité et de portance obtenue à l'optimum Proctor Modifié pour les sédiments étudiés (Vase de Ain Dalia).

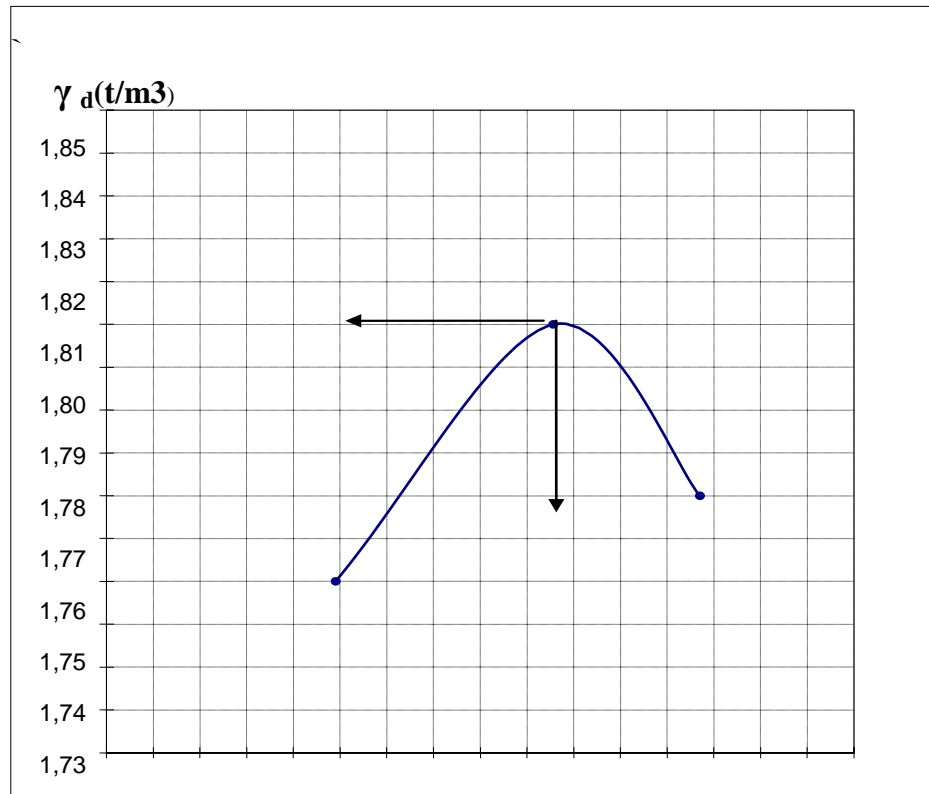


Figure V.12: Courbe Proctor Modifié de Vase d'Ain Dalia.

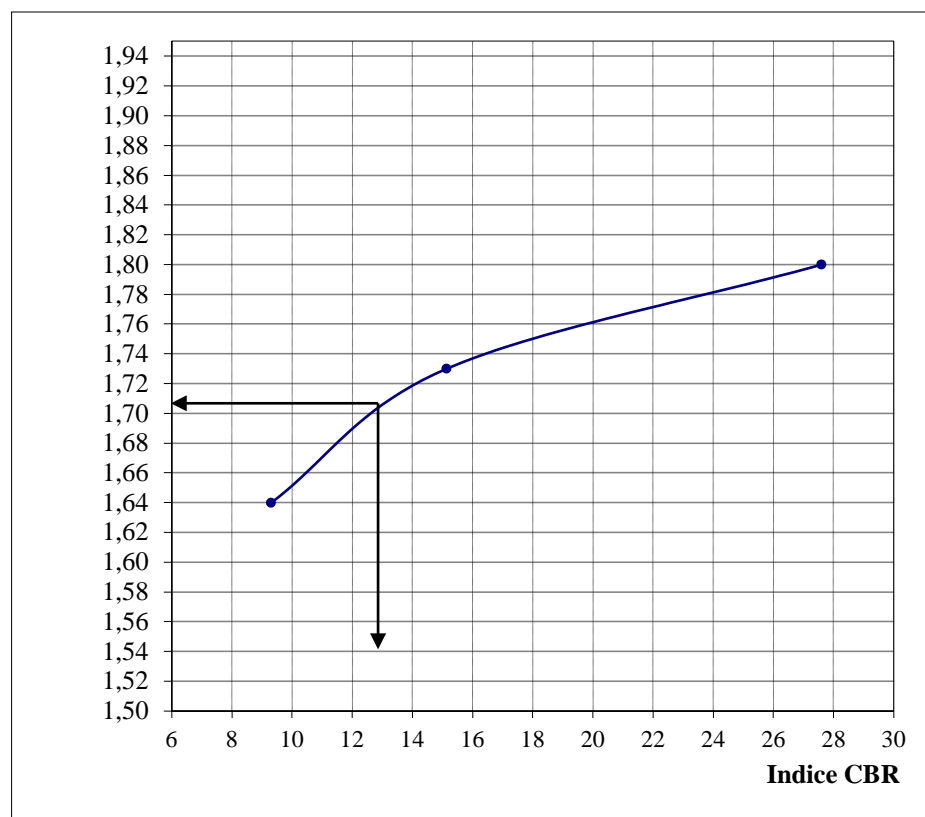


Figure V.13 : Courbe CBR immédiat de Vase d'Ain Dalia.

Les résultats d'essais de compactage –portance réalisés sur le sédiment brut (vase de Ain Dalia) sont représentés sur le tableau suivant :

Tableau V.5 : Les valeurs de l'optimum Proctor des sédiments étudiés.

Sédiment étudiée	WOPM (%)	γ_{dmax} (t/m³)	CBRimm
Vase de Ain Dalia	14,8	1,8	12,8

L'analyse des résultats obtenus indiquent que la vase présente une teneur en eau importante pour la densité sèche à l'optimum plus faible .en ce qui concerne la valeur de l'indice de CBR immédiat on remarque qu'il décroît avec l'augmentation de la teneur en eau, ce qui peut signifier une sensibilité plus importante à l'eau à l'état brut (vase) .ces valeurs impliquent d'après le GTR une difficulté de circulation des engins sur le chantier.

Commentaire :

On constate que la teneur en eau naturelle de notre vase est de l'ordre de 42%, pour une valeur élevée de la teneur, le sol se comporte à peu près comme un liquide, c'est de la vase, les forces de cohésion ne sont pas assez importantes pour maintenir les particules en place. Le poids volumique des grains solides γ_s de la vase étudiée est de l'ordre de 2.80 g/cm^3 . D'après (Jaques L. 2006), γ_s est au-dessous de $2,6 \text{ g/cm}^3$ pour les sols organique et il est plus de $2,7 \text{ g/cm}^3$ pour les sols métallifères. On constate que notre vase étudiée est classée comme un matériau faiblement organique.

L'analyse granulométrique effectuée a donné la courbe granulométrique représentée dans la Figure (VI.1), la masse est passée par le tamis $100 \mu\text{m}$. D'où il s'agit d'un sol très fin avec une composition moyenne de 20 % sable, 46 % limon et 34% argile.

La limite de liquidité W_L mesuré de la vase du barrage étudiée est de l'ordre de 60% pour un indice de plasticité I_p est de l'ordre de 30% (Tableau VI.3), sur la base de diagramme de plasticité de Casagrande Figure (VI-4), la vase étudié est un sol argileux de forte plasticité.

La valeur de bleu de méthylène par l'essai à la tâche, VBS est de l'ordre de 2,25 g/100g Selon lanorme française la vase est placés dans le groupe des sols limoneux est sensible à l'eau.

L'essai Proctor modifié est réalisé sur la vase étudiée .Les résultats obtenus (Tableau VI.5), indiquent que la vase présente une teneur en eau optimale de 14.8% pour une densité sèche de 1.80 à l'optimum.

D'après la Figure (VI.13), et avec la valeur corrigée de la densité sèche qui est de 1.70, on aura un indice CBR de 12.8 qui se trouve est en dehors de l'intervalle donné par les normes. Donc la vase seule ne peut être utilisée directement dans le corps des chaussées.

V.4 .10- .Propriétés chimiques :

Les analyses chimiques ont le but de déterminer la composition quantitative de la vase en oxydes et confirmer les résultats de l'analyse minéralogique. Ils sont effectués par Fluorescence X. au laboratoire de cimenterie LAFARGE (SIG).

Tableau V.6:La composition chimique de la vase du barrage d'Ain Dalia.

Caractéristiques	Symbole	Vase Ain Dalia (%)
La silice	SiO ₂	44.22
L'alumine	Al ₂ O ₃	12.75
L'oxyde de fer	Fe ₂ O ₃	5.307
Oxyde de calcium	CaO	15.58
Oxyde de Magnésium	MgO	2.01
L'oxyde de sodium	Na ₂ O	0.519
Oxyde de Potassium	K ₂ O	1.65
L'oxyde de Titane	TiO ₂	0.722
L'oxyde de magnésite	Mn ₂ O ₃	0.042
Perte au feu	PAF	17.96

On remarque d'après les résultats (Tableau VI.6) que le pourcentage (SiO₂) de représentent le quartz est important de l'ordre de 44 .22%, suivi de la chaux (CaO) 15 .58% et de l'alumine 12.75% représentant les argiles (type kaolinite) ,l'oxyde de magnésium (MgO) 2.01 % représentent faible quantité de dolomite ,tandis que l'oxyde de potassium (K₂O) représente une faible quantité d'argile type Illite .

V.4.11-Propriétés minéralogiques :

Une bonne connaissance de la composition minéralogique des matériaux est indispensable pour mieux connaître le matériau et anticiper l'influence de certains minéraux qui risque d'engendrer des problèmes dans le processus de la valorisation.

L'analyse par diffraction des rayons X permet de préciser les phases minéralogiques présentes dans le matériau. Dans cette étude, l'analyse est effectuée au Laboratoire de chimie inorganique de l'Université de Clermond Ferrand, ces analyses sont réalisées sur des poudres sèches passant par le tamis de 100µm.

V.4.12-Principe de la diffraction des rayons X:

Il consiste à appliquer un rayonnement de la longueur d'onde des rayons X ($0,1 < L < 10 \text{ nm}$) sur un échantillon de sol ($< 0,100 \text{ mm}$). Le rayonnement pénètre le cristal, il y a absorption d'une partie de l'énergie et excitation des atomes avec émissions de radiations dans toutes les directions. Les radiations émises par des plans atomiques qui sont en phases vont engendrer un faisceau cohérent qui pourra être détecté.

La condition pour que les radiations soit en phase s'exprime par la loi de Bragg:

$$n\lambda = 2d \sin(\theta) \dots \dots \dots (VI-8).$$

Avec:

- n: Ordre de la diffraction.
- λ : Longueur d'onde.
- d : Distance de deux plans réticulaire en Å .
- θ : Complément de l'angle d'incidence.

Cette relation montre qu'il suffit de mesurer les angles de Bragg (θ) pour déterminer les dimensions et la forme de la maille élémentaire du cristal. Les amplitudes des ondes réfléchies permettent de déterminer la structure atomique du motif et donc de connaître l'identité et la proportion des composants cristallisés de l'échantillon étudié.

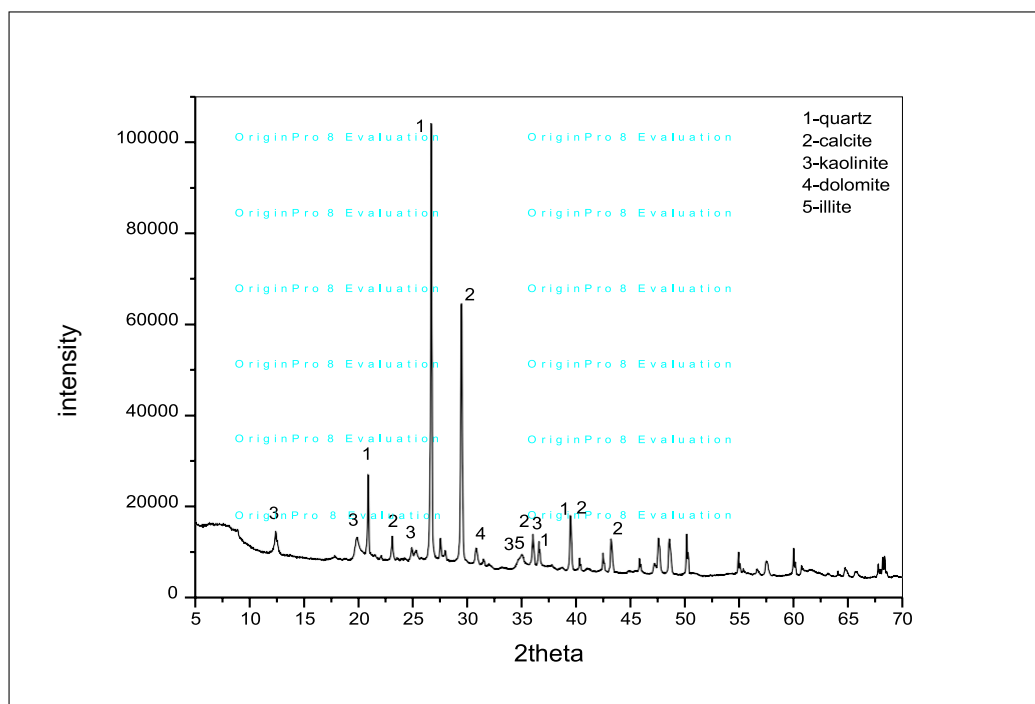


Figure V.14 : Diffraction des rayons 'X' de la vase d'Ain Dalia.

La figure (VI.14) présente le résultat de la diffraction par rayons X de la vase du barrage de Ain Dalia. On constate des Raies représentant le quartz (1) en pourcentage important, suivi de la calcite (2), la dolomite(4), la kaolinite (3) et un pourcentage minime de l'illite (5), chose confirmé par les analyses chimiques des oxydes. Ou on remarque une corrélation entre le pourcentage et l'intensité des pics.

Conclusion:

La première partie de ce chapitre présente l'origine de la vase du barrage d'Ain Dalia. Les différents essais de caractérisation physico- chimiques et minéralogiques ont permis de classer les sédiments bruts selon le GTR 2000 et NF P11-300. Du point de vue granulométrique le matériau est classée en rubrique de sols fins, noté classe A, la sous -classe peut être déterminée en fonction de l'activité argileuse (VBS) et du caractère plastique. la valeur au bleu, les limites d'Atterberg (I_p) nous permettent d'identifier notre sol vers la sous classe A_3 , avec l'identification obtenue, notre vase n'est pas favorable pour une utilisation comme un matériau de chaussées d'après le GTR 2000 et NF P 11-300.

A partir de ces analyses, l'utilisation de ces sédiments dans les structures routières demande un traitement préalable.

V.5-Utilisation des Sédiments d'envasements en corps de chaussée.

Les sédiments ont une composition structurelle complexe et peuvent être considérés comme un matériau évolutif (Abriak N., 2007). La présence de matières organiques, même si elles ne sont pas en quantités importantes, entraîne un comportement plastique et moyennement compressible. De par leurs caractéristiques physique, les sédiments étudiés appartiennent à la classe des matériaux limoneux –argileux .ce type de matériau est difficile à utiliser dans la construction des routes en raison de leur sensibilité à l'eau .En outre, une étude Proctor réalisée sur les sédiments bruts a révélé un faible indice portant immédiat.

Pour augmenter la performance mécanique des sédiments, une addition de correcteurs granulaires suivie par un traitement aux liant hydrauliques et /ou aériens (ciment et /ou chaux)est utilisée.

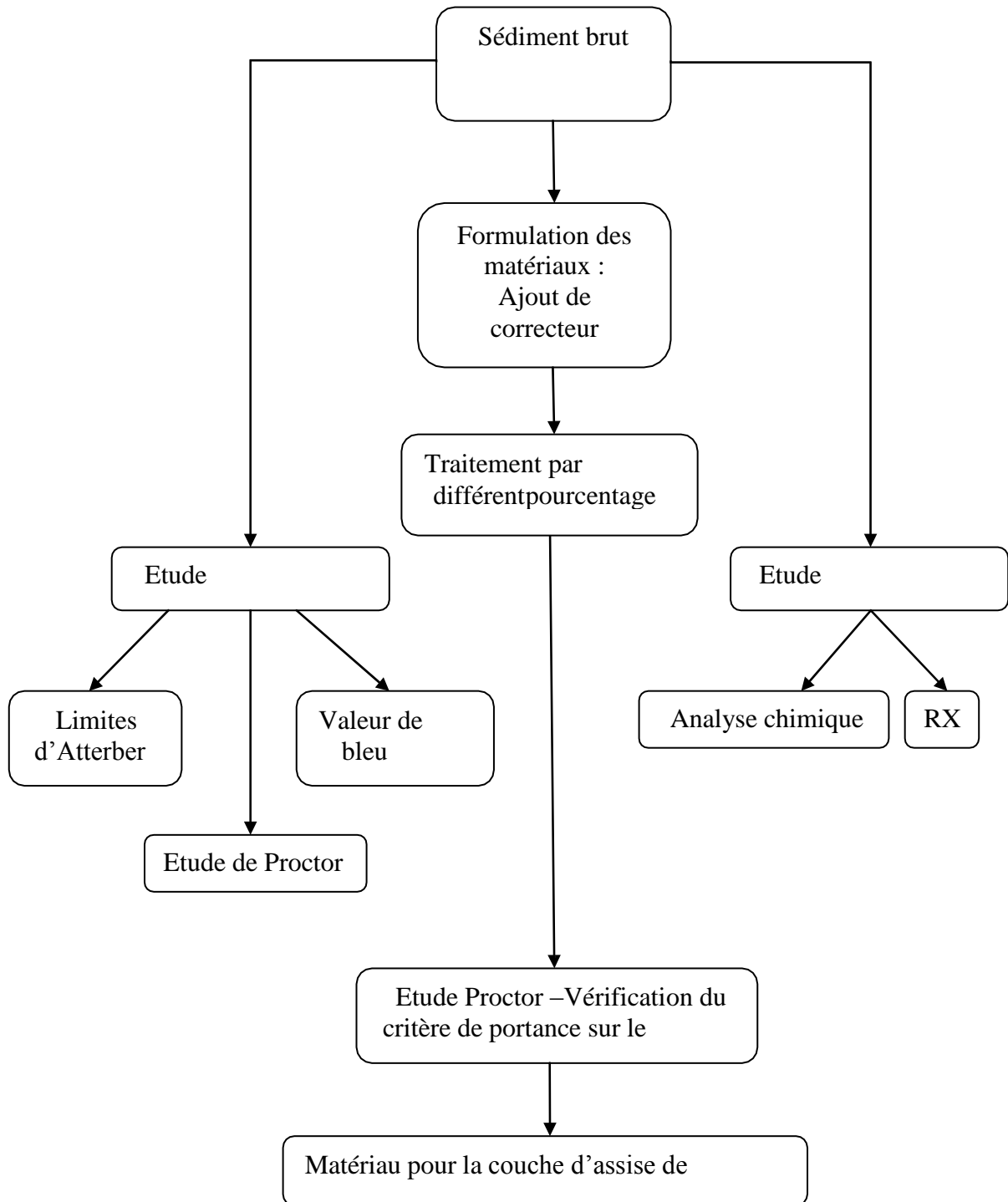


Figure V.15 : L'organigramme des étapes de valorisation des sédiments.

V.5.1- Type de squelette granulaire recherché

La teneur en matières organiques représente donc le facteur clés de l'utilisation des sédiments de dragage en technique routière. Il est nécessaire de pouvoir gérer leurs effets sur l'obtention d'un matériau durable sur le plan mécanique et environnemental, en s'appuyant sur la démarche de valorisation générale suivie dans cette étude, qui consiste, principalement, à ne pas employer de traitements lourds et coûteux.

Après traitement, il est nécessaire d'obtenir un matériau qui remplit les conditions suivantes :

- Répondre aux normes de classification et de dimensionnement en vigueur GTR (LCPC-SETRA, 2000).
- Maintenir ses propriétés mécaniques et structurales dans le temps pour satisfaire les normes de durabilité.
- Maitriser les couts de traitement et de la mise en œuvre in situ pour obtenir un matériau économiquement compétitif.

Le sédiment d'envasement étudié a été ainsi mélangé à d'autres composants granulaires dans des proportions intéressantes sur le plan économique, qui permettent une application facile à l'échelle industrielle et une réduction intéressante de la teneur en eau. L'ajout de liants hydrauliques ou aériens , pour l'obtention du matériau routier final, va permettre d'une part de diminuer la teneur en eau, par les phénomènes d'hydratation et d'apports de matières sèches et d'autre part la mise en place de liens forts entre les particules, pour augmenter les résistances, et diminuer la porosité ouverte qui permet le passage de l'eau libre dans la structure.

Pour cela, afin de renforcer la structure et d'améliorer les performances mécaniques du matériau comportant de chaux seule. La prise en compte du pourcentage de ces liants dans le squelette granulaire est donc nécessaire, car ce composant apporte une fraction fine supplémentaire.

V.5.2- Ajout d'une fraction granulaire :

Pour être utilise en tant que sol support, couche de structure, un matériau à distribution granulométrique étalée est conseillé.

L'objectif est de limiter les vides en permettant aux particules de différentes tailles de s'imbriquer de manière optimale. Il est donc important d'utiliser des matériaux permettant, avec la granulométrie des sédiments, d'obtenir un bon squelette granulaire.

Le choix des correcteurs granulaires doit satisfaire à la fois des contraintes économiques, techniques et environnementales.

L'ajout granulaire choisi c'est un sol graveleux sableuse le (TVO) d'oued Ain Dalia comportant 6% d'éléments inférieurs à 80 μ m et 30% de sable grossier avec sa granulométrie continue. Il s'agit d'un matériau provenant d'oued de couleur grisâtre à granulométrie continue, peu plastique , peu carbonaté , sa densité (γ_{dOPM}) et sa portance seront donc élevées par rapport au sédiment naturel et favorisera son utilisation en technique routière. Le tableau (VI.6) montre les paramètres physico-chimiques du TVO de Ain Dalia.

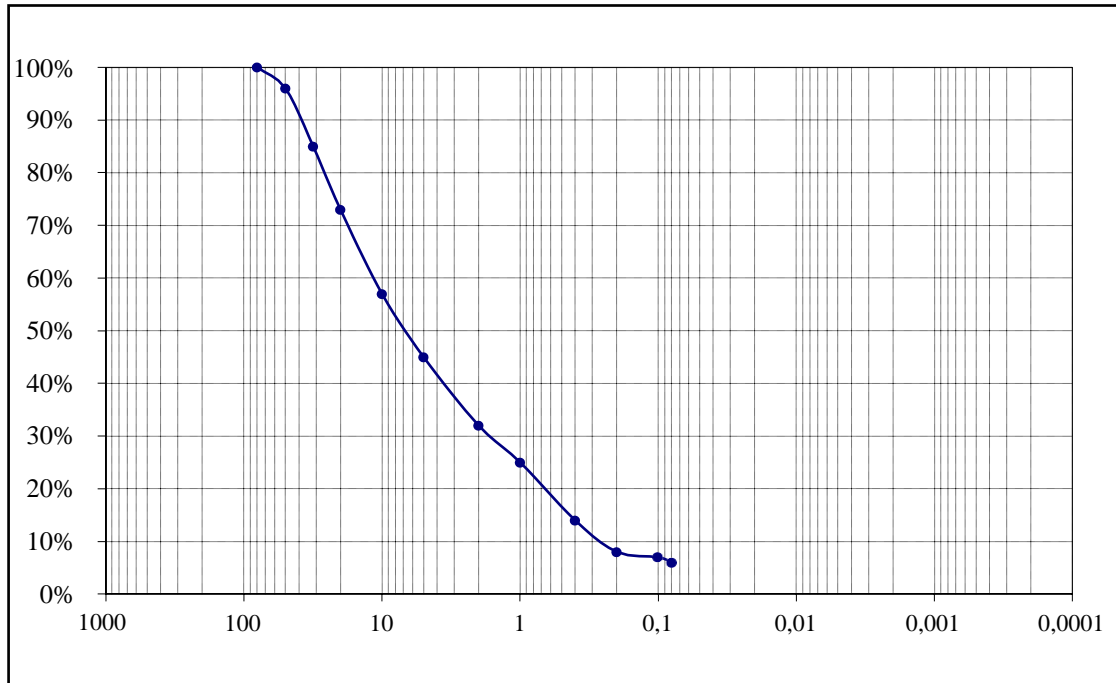


Figure V.16 : Courbe granulométrique du TVO d'Ain Dalia.

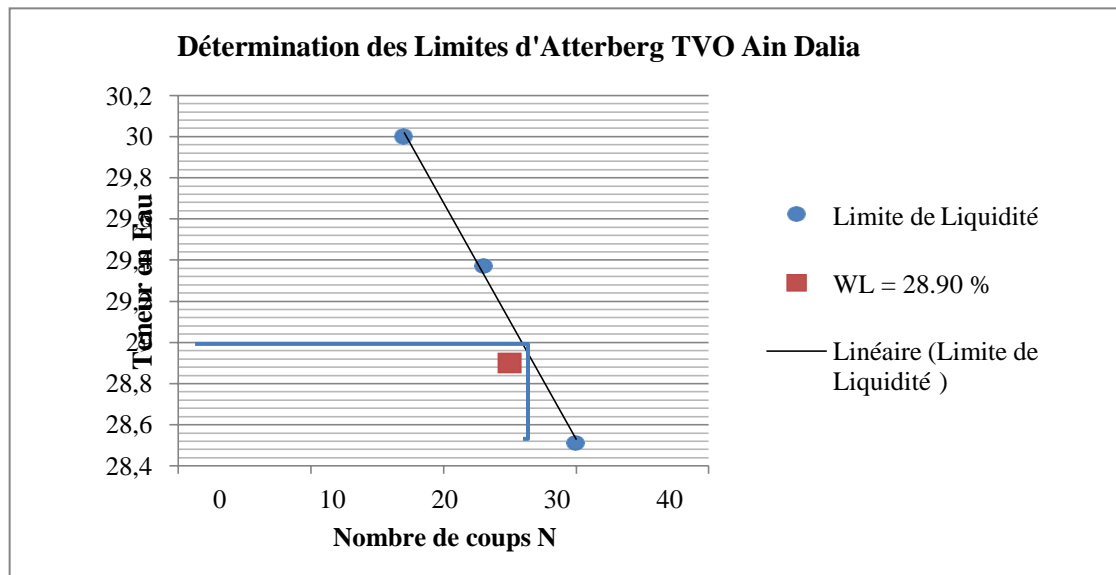


Figure V.17: graphe teneur en eau en fonction du nombre de coup du TVO d'Ain Dalia.

Tableau V.7 : Paramètres physiques du TVO de Ain Dalia.

Ajout granulaire	W _L (%)	W _p (%)	Ip(%)	VB S	CaCO(%)	γ _{d_{opm}} (t/m ³)	W _{opm} (%)	CBR Im
TVO d'Ain Dalia	26,79	20,79	6	0,08	26	2,23	6,20	47

V.5.3-Ajout de liant hydraulique :

Le traitement consiste en l'ajout de différent pourcentage de chaux de 5%, 7%,10% .Ces dosages sont inspirés de ce qui est habituellement utilisé en technique routière des couches d'assise pour le traitement des sols.

Les formulations étudiées sont les suivantes :

- 25% de sédiment brut + 75 % sol 2 (TVO).
- 25% de sédiment brut + 75 % sol 2 (TVO) + 5 % chaux.
- 25% de sédiment brut + 75 % sol 2 (TVO) + 7 % chaux.
- 25% de sédiment brut + 75 % sol 2 (TVO) + 10 % chaux.

Tableau VI.8: Présente les types de formulations étudiées.

Type de Formulation étudiée	Sédiment brut du barrage d'Ain Dalia (1)	Sol 2 (TVO) (%)	Chaux (%) (1+2)
Formulation 1	25	75	0
Formulation 2	25	75	5
Formulation 3	25	75	7
Formulation 4	25	75	10

V.5.4 : Variation de l'état de plasticité des formulations étudiées :

La mesure des limites d'Atterberg nous a permis de mettre en évidence les modifications importantes qui se sont produites dans la nature du sol traité. L'incorporation de chaux, en abaissant la teneur en eau du matériau et en augmentant la valeur des limites de liquidité et de plasticité.

Tableau V.9 : Récapitulatif des résultats obtenus sur les limites d'Atterberg.

Formulation étudiée	W _L (%)	W _P (%)	I _p (%)
25% Vase+75% TVO	38 ,50	21,55	16 ,95
25% Vase+75% TVO +5% Chaux	46,40	32 ,12	14 ,28
25% Vase+75% TVO +7% Chaux	45 ,80	32 ,16	12,84
25% Vase+75% TVO +10% Chaux	44,80	35 ,05	09,85

La mesure des limites d'Atterberg des sédiments traité pour les formulations étudiées représentées dans le tableau (VI-8) nous a permis de constater :

Les limites de plasticité augmentent pour toutes les formulations étudiées, quel que soit le pourcentage hydroxyde de calcium ajouté. Contrairement aux limites de liquidité qui diminuent avec l'augmentation du pourcentage de chaux ajoutée.

L'indice de plasticité diminue fortement après traitement par le liant hydraulique (Chaux), ce qui montre l'influence d'ajout de liant hydraulique sur la floculation des particules.

Cette floculation se traduit géo techniquement par une élévation importante de la limite de plasticité du sol sans modification significative de sa limite de liquidité qui conduira par conséquent à une réduction de son indice de plasticité Ip.

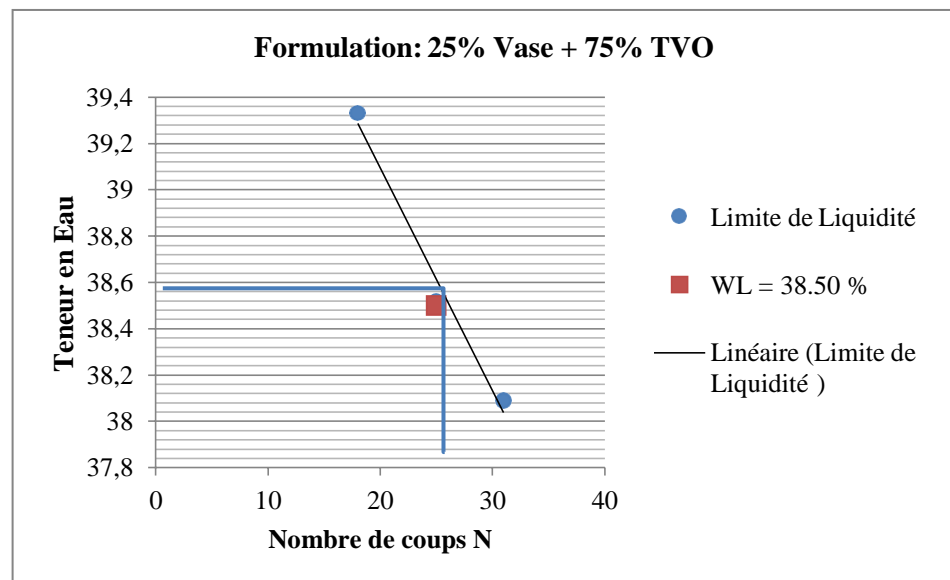


Figure V.18 : graphe teneur en eau en fonction du nombre de coup.

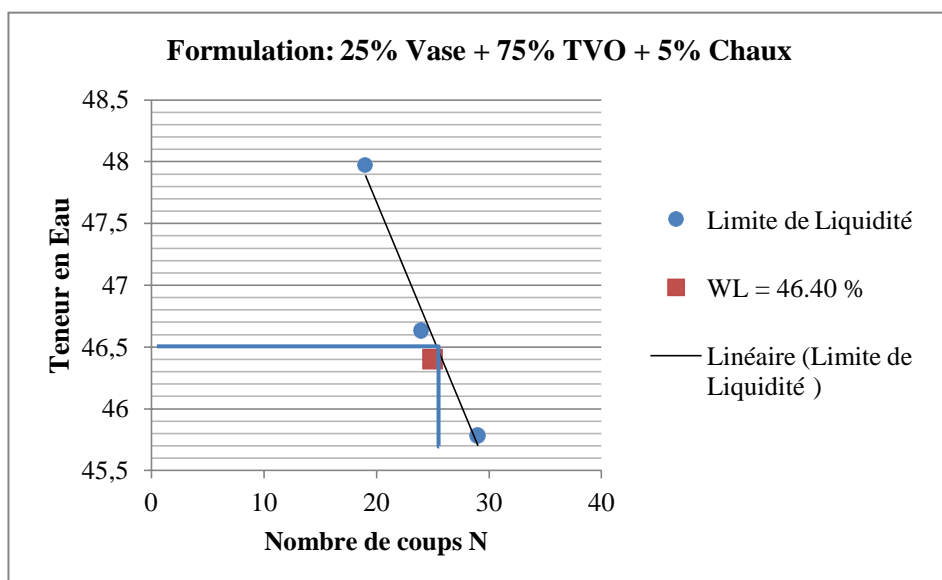


Figure V.19 : graphe teneur en eau en fonction du nombre de coup.

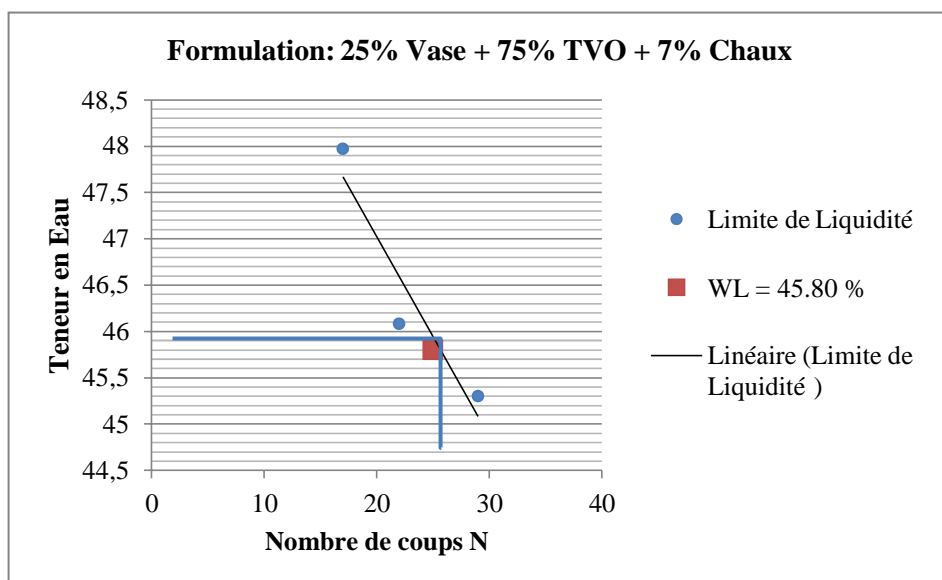


Figure V.20 : graphe teneur en eau en fonction du nombre de coup.

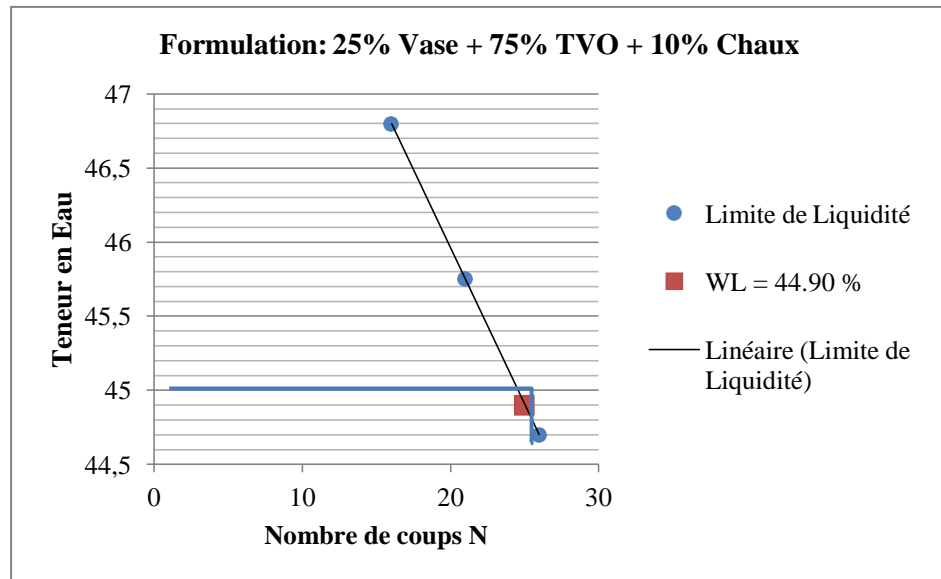


Figure V.21 : graphe teneur en eau en fonction du nombre de coup.

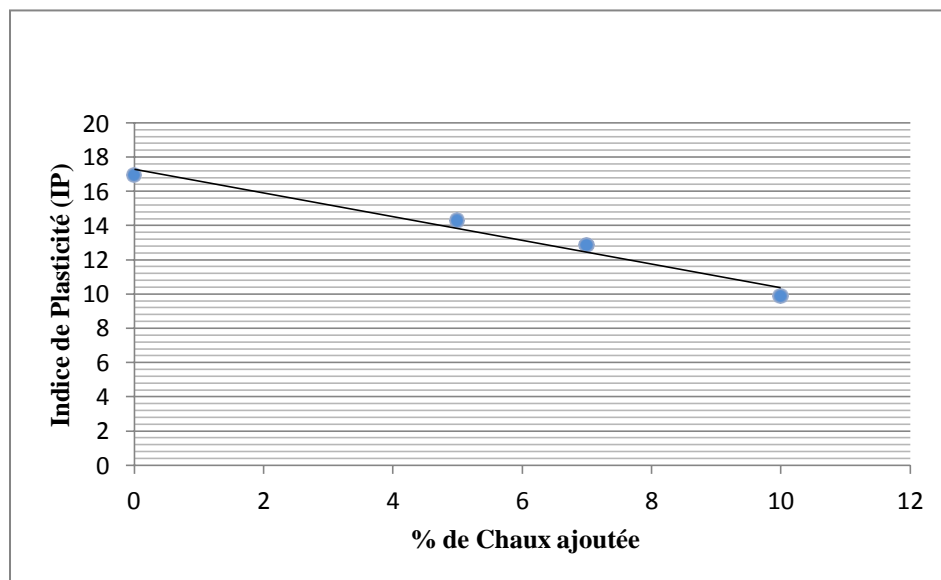


Figure V.22 : Graphe de variation du pourcentage de chaux ajoutée en fonction d'Ip.

D'après la figure (VI.22), on constate que l'indice de plasticité diminue quand le pourcentage de chaux ajoutée augmente.

V.5.5-Détermination de la densification et la portance des formulations étudiées

Les courbes obtenus suite aux essais Proctor modifié et CBR sont représentés sur les figures (VI.16), (VI.17), (VI-18), (VI-19) et le tableau (VI.9) résume les résultats des essais densification (W_{OPM} , γ_{dmax}) et l'indice CBR des formulations de mélange étudiés.

Tableau V.10 : Récapitulatif des résultats obtenus sur les caractéristiques mécaniques.

Formulations de mélanges	W_{OPM} (%)	$\gamma_{dOPM}(t/ m^3)$	CBRIm(4jours)
Sédiment brut (Vase de Ain Dalia)	14,78	1 ,8	12
Sol 2 (TVO) de Ain Dalia	6,20	2,23	47
25% sédiment brut+75%(TVO) +7 % chaux	7,3	2 ,19	36
25% sédiment brut+75%(TVO) +10 % chaux	7,4	2,20	55

L'analyse des résultats d'essais de compactage –portance obtenus a permis de constater que :

- La courbe Proctor modifié des sédiments (Vase de Ain Dalia) présente une forme en cloche.
- Une diminution de la teneur en eau à l'OPM clairement observe par l'ajout de la chaux.
- Une légère diminution de la densité sèche maximale (γ_{dOPM}) pour les deux formulations traité par la chaux par rapport au l'ajout de matériaux granulaire, Ces valeurs restent très proches de la valeur optimal de 2,23, indiquent un niveau de compacité acceptable.
- Une augmentation de la densité sèche maximale pour les formulations étudiée par rapport au sédiment brut.
- L'indice de CBR est faible pour le sédiment brut, ce qui n'assure pas la circulation des engins sur le chantier, par contre pour les autres mélanges leurs L'indice de CBR permettent d'assure la circulation des engins sur chantier et vérifié les conditions pour une utilisation en corps de chaussées.

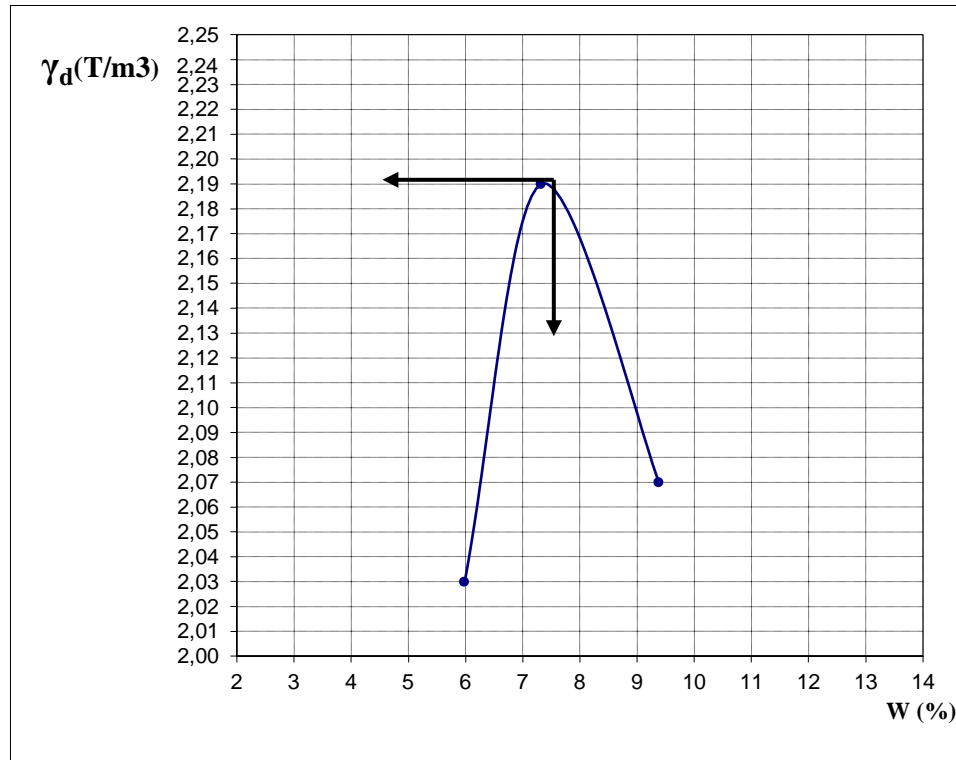


Figure V.23: Courbe Proctor Modifié

Formulation (25% Vase+75%+TVO+7% Chaux).

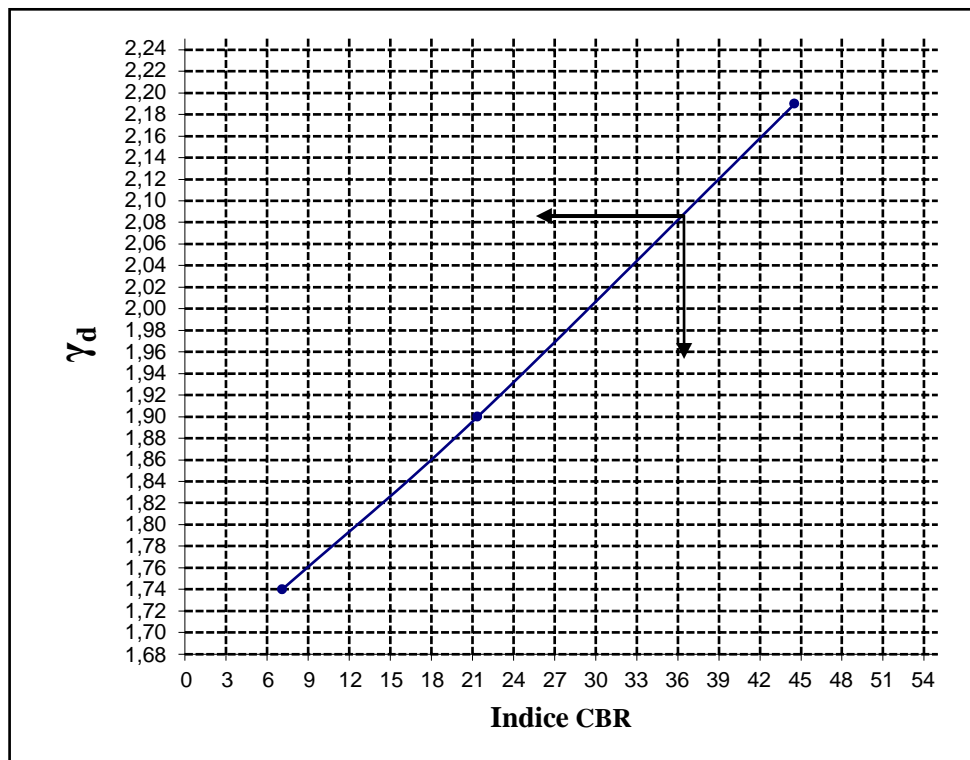


Figure V.24: Courbe CBR immédiat

Formulation (25% Vase+75%TVO+7% Chaux).

L'essai Proctor modifié est réalisé sur la la formulation de (25% Vase+75%TVO+7% Chaux).

Les résultats obtenus (Tableau VI-9), indiquent que cette formulation. Présente une teneur en eau optimale de 7.3% pour une densité sèche de 2.19 à l'optimum. D'après la Figure VI.17, et avec la valeur corrigée de la densité sèche qui est de 2.08 d'après la figure VI-17, on aura un indice CBR de 36 qui se trouve dans l'intervalle donné par les normes.

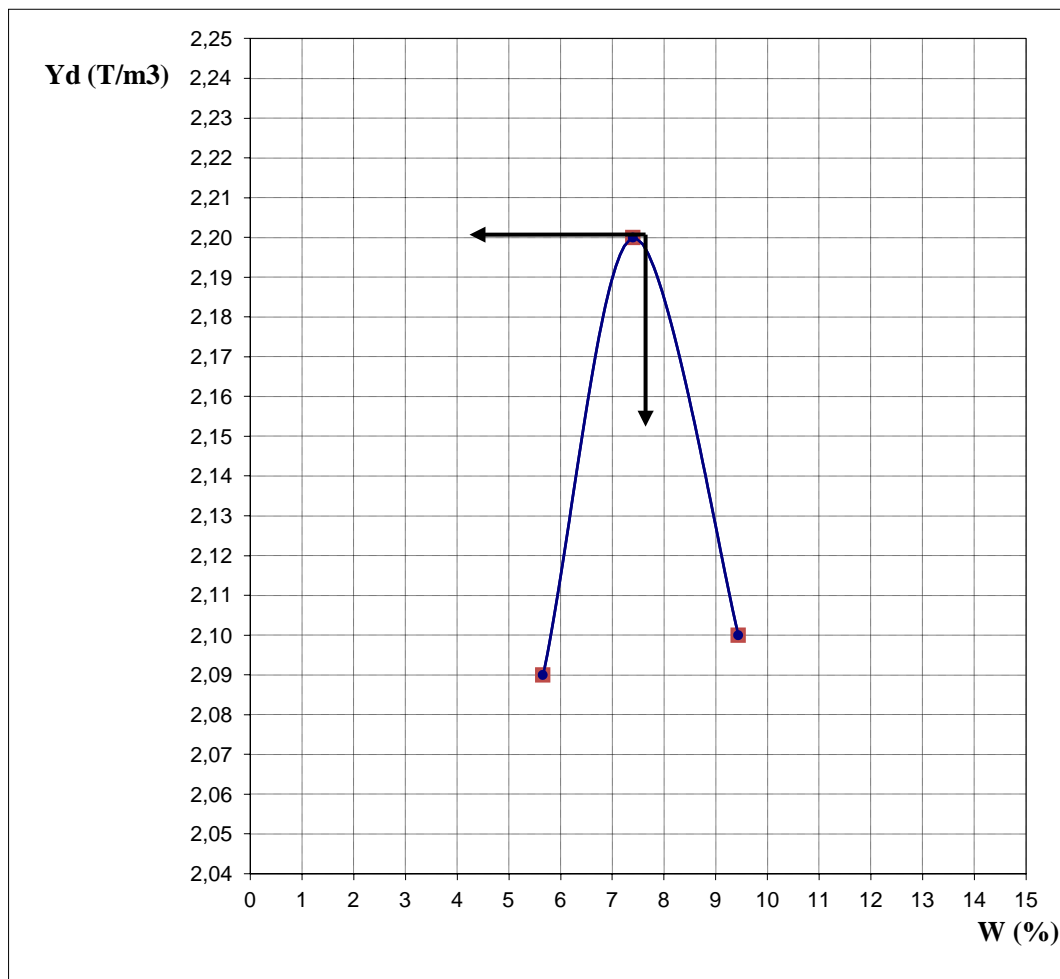


Figure V.25: Courbe Proctor Modifié Formulation
(25% Vase+75%+TVO+10% Chaux).

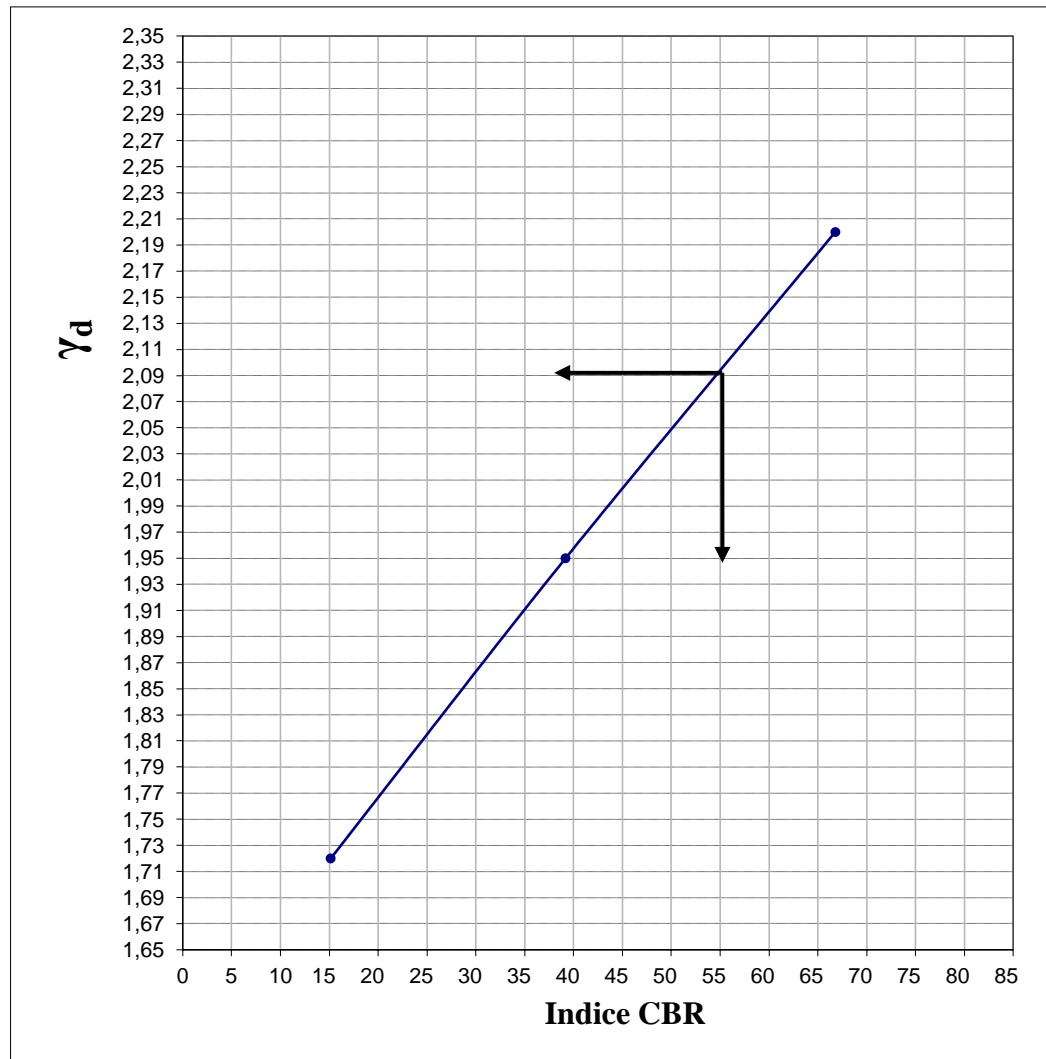


Figure V.26: Courbe CBR

Formulation (25% Vase+75%TVO+10%Chaux)

L'essai Proctor modifié est réalisé sur la formulation de (25% Vase+75%TVO+10% Chaux). Les résultats obtenus (Tableau VI-9), indiquent que cette formulation. Présente une teneur en eau optimale de 7.4% pour une densité sèche de 2.20 à l'optimum. D'après la Figure VI.18, et avec la valeur corrigée de la densité sèche qui est de 2.09 d'après la figure VI-19, on aura un indice CBR de 55 qui se trouve dans l'intervalle donné par les normes.

Cette campagne d'essais a permis de souligner plusieurs caractéristiques importantes concernant le comportement des sédiments traités. Les résultats des différents essais mis en œuvre pour la valorisation de ces sédiments en techniques routières ont été rassemblés dans le tableau (VI.11) ci-dessous.

Tableau V.11 : Récapitulatifs des résultats des essais effectués sur les formulations étudiées.

Formulation de mélanges	Les paramètres des essais					Observation	
	Granulométrie à 80 µm	Indice de plasticité I _p	Valeur de bleu méthylène	Donné Proctor			Indice de CBR après imbibition (4jours)
				W(%)	γ _{dmax}		
Sédiment brut (Vase de Ain Dalia)	96	33	2,23	14,78 /1,8		12	Faible Portance
TVO de Ain Dalia	06	06	/	6,20 /2,23		47	Bonne Portance Couche de base
25% Vase+75%+TVO	09	16,95	0,478	/		/	/
25% Vase+75%+TVO+5% Chaux	14	14,28	0,342	/		/	/
25% Vase+75%+TVO+7% Chaux	09	12,84	0,273	7,3/2,19		36	Portance Moyenne Couche de forme et fondation
25% Vase+75%+TVO+10% Chaux	09	09,85	0,369	7,4/ 2,20		55	Bonne Portance Couche de base

La méthode de valorisation des sédiments d'envasements décrite dans cette étude est utile quand l'utilisation ces sédiments en technique routière. Cependant, leur comportement et leur niveau de performance différent en fonction des formulations adoptées.

▪ **Formulation 01 (25% Vase + 75% TVO)**

Pour que les sédiments puissent traitées supporter la charge engendrée par le trafic, il faut améliorer leurs performances mécaniques. Une des méthodes intéressantes est d'ajouter des correcteurs granulométriques pour constituer un mélange granulaire ayant une bonne distribution granulométrique.

La formulation retenue est un mélange constitué de 25 % de sédiment brut et de 75% de TVO .le matériaux obtenu est classé suivant le GTR en classe B₄ .certes, L'ajout d'un correcteur granulométrique (TVO) sur le sédiment brut de barrage Ain Dalia permet

D'améliorer la granulométrie du mélange mais, cette correction ne contribue pas à modifier significativement la performance mécanique du mélange granulaire. C'est pourquoi l'association d'un liant hydraulique (chaux) est indispensable pour améliorer la portance du mélange.

▪ **Formulation 02 (25% Vase + 75% TVO + 5 % chaux)**

Cette formulation elle répond négativement à l'essai de limites d'Atterberg, elle est fortement plastique, dans la globalité des essais effectués cette composition ne représente pas la meilleure formulation, et par conséquent on l'a écarté.

▪ **Formulation 02 (25% Vase + 75% TVO + 7 % chaux)**

L'ajout de liant hydraulique avec 7% permet de rigidifier le mélange et augmenter sa portance, suivant l'indice de CBR obtenue on peut utiliser cette formulation comme couche de forme et de fondation.

▪ **Formulation 02 (25% Vase + 75% TVO + 10% chaux)**

Les résultats obtenus après les essais mécaniques à savoir (l'essai Proctor et CBR) sont jugés satisfaisants ce qui nous conduit à retenir la formulation. Suivant l'indice de CBR obtenue on peut utiliser cette formulation comme couche de base.

Conclusion

La méthodologie générale de valorisation décrite dans cette partie a pour but d'améliorer les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques du sédiment d'envasement du barrage Ain Dalia. La démarche de valorisation s'appuie sur des choix de formulations simples, peu coûteuses facilitant leurs mises en œuvre in situ. Les différents essais d'identification réalisés sur les sédiments dragués ont montré que l'ajout d'un matériau granulaire a amélioré la distribution granulométrique ainsi qu'une réduction de la densité sèche (γ_{dOPM}) et un accroissement de la teneur en eau optimale (W_{OPM}).

L'ajout des liants hydrauliques a permis de diminuer l'argilosité du mélange et améliorer sa portance pour qu'il soit utilisé dans la construction des corps de chaussées. On constate que pour le mélange (25% Vase et 75% TVO), et avec un ajout de chaux de 7% la formulation peut être utilisée en couche de forme et de fondation, tandis qu'avec l'ajout de 10% de chaux la formulation peut être utilisée en couche de base. Cela veut dire qu'en augmentant le pourcentage de chaux, le mélange devient plus stable avec une meilleure portance.

CONCLUSION GENERALE

L'érosion hydrique est un phénomène complexe très répandu dans le monde entier, touchant particulièrement les pays du Maghreb dont il menace gravement les potentialités en eau et en sol. L'ampleur de ce phénomène est considérable, pour y remédier, il est nécessaire d'avoir des outils fiables qui puisse prédire le comportement à court, moyen et long terme du problème d'envasement.

Objectif de trouver une relation entre le taux d'abrasion et les différents paramètres, telles que les variables morpho-métriques, d'occupation du sol et hydro pluviométriques. Pour l'étude des réponses des bassins versants aux débits liquides et solides, on a eu recours à une modélisation statistique, afin de développer un modèle spécifique à chaque bassin versant, évaluer le volume des sédiments transportés et déterminer sa dégradation spécifique. Les débits solides et liquides évoluent en général suivant un modèle en puissance. A la fin on a proposé quelques recommandations afin de limiter les conséquences de ce phénomène naturel.

A cet effet, nous avons mené une série d'analyses physique-chimiques et minéralogiques sur des échantillons prélevés de la retenue du barrage d'Ain Dalia (Souk Ahras) au niveau des laboratoires de mécanique des sols.

Ces résultats de caractérisation des sédiments nous ont conduits vers leurs utilisations en techniques routière, en les mélangeant avec d'autres matériaux tels que le TVO de Ain Dalia et la chaux.

Nous avons montré dans cette étude, l'influence de l'ajout de matériau granulaire et de liants hydrauliques en tant que correcteur à la fois granulométrique et mécanique permettant d'améliorer les paramètres d'état géotechniques, et les caractéristiques optimales de densification et de portance du matériau.

Le traitement proposé pour la valorisation en technique routière conformément aux recommandations du guide technique GTR (LCPC-SETRA version 2000), est basé sur les formulations de mélanges à différents pourcentages des sédiments de barrage (vase), de matériaux granulaires et de liants conformément au guide technique.

Les caractéristiques physiques définies en fonction du secteur de valorisation choisi, ont permis de classer respectivement nos sédiments (vase de Ain Dalia) en classes A₃ (limons très plastiques), les valeurs de l'indice portance immédiat obtenus à la teneur en eau optimale pour ces sédiments montrent une difficulté de circulation des engins sur le chantier. Ainsi, les sédiments brutes ne possèdent pas les performances requises pour une utilisation en couche d'assise de la chaussée à partir de ces caractéristiques, l'utilisation de ces sédiments demande un traitement préalable.

Le traitement des sédiments du barrage de Ain Dalia est obtenu par une méthode simple et peu coûteuse, deux approches peuvent ont été utilisés :

La première consiste à utiliser un correcteur granulaire pour améliorer la distribution granulométrique et diminuer la proportion des fractions fines, cette méthode permet d'atteindre les propriétés mécaniques souhaitables.

La deuxième consiste à traiter le mélange par des différents pourcentages de liant (chaux), l'utilisation de liant va permettre, pour les matériaux fins, généralement sensible à l'eau, de créer des liens forts entre les particules et diminuer la porosité ouverte qui permet le passage de l'eau libre dans la structure.

Pour la valorisation en techniques routières, un traitement à la chaux et l'utilisation de l'ajout granulaires comme le TVO (tout venant d'oued) d'Ain Dalia qui est indispensable dans la zone d'étude .Ces traitements ont l'intérêt de diminuer le taux global de la matière organique et d'étaler la distribution granulométrique. Ce qui peut améliorer la compacité et les performances mécaniques du matériau.

Dans le but de trouver une meilleure formulation pour l'utilisation des sédiments bruts du barrage Ain Dalia en corps de chaussée, on a mélangé les sédiments naturels (vase d'Ain Dalia) avec des matériaux granulaires (Chaux, TVO) à différentes proportions, ce qui nous a conduits à étudier quatre formulations.

On constate que La vase traité avec 5% de chaux présente une forte plasticité ,raison pour laquelle on ne peut l'utiliser en corps de chaussée ,celle de 7% de chaux présente une possibilité d'utilisation de ce matériau selon le GTR en couche de forme ,et que la formulation de 10% de chaux répond positivement à l'essai de Proctor et les limites d'Atterberg, Selon le GTR elle est acceptable pour l'utilisation en couche de base.

Les résultats de ce travail donnent encore fois la possibilité d'exploiter les sédiments de barrage qui existent en quantités importantes avec des caractéristiques semblables les uns aux autres dans le domaine routier afin de mieux exploiter nos retenus et subvenir aux problèmes d'environnement.

Je pense que le temps nécessaire n'était pas suffisant pour développer ce thème et étudier d'autres formulations, et que ce travail sera un début et servira comme base à l'avenir.

Recommandations

Les résultats très encourageants nous ont poussés à proposer un programme futur qui fait intervenir les éléments suivants :

- Elargir la base de donnée au reste des barrages en Algérie et en Afrique du Nord, vu la ressemblance des conditions physio climatique de la région dans le but de généraliser le modèle ;
- Améliorer les variables indépendantes et inclure d'autres en vue de cerner toutes les variables importants qui affectent le phénomène complexe de l'érosion ;
- Besoin de données plus détaillées pour mieux développer le modèle.
- Mettre en cohérence les propositions d'actions de traitement de bassins versants et de lutte contre l'envasement des barrages avec les autres programmes émanent des budgets de l'état et des collectivités locales (Agriculture, Environnement et Aménagements des territoires ;
- Les mesures antiérosives à caractère biologique et mécanique seront réalisées obligatoirement de concert avec les populations concernées, les propriétaires terriens et les différents services techniques, afin d'effectuer la sensibilisation requise à leur participation effective, pleine et entière dans le choix des interventions à privilégier pour le bon déroulement des travaux et des études, et une efficacité optimum et durable de ces mesures antiérosives ;
- Formulation et réalisation d'un programme national de contrôle de l'érosion ;
- Implication et promotion d'enseignements et de la recherche centrée sur les technologies de lutte-antiérosives.

Enfin, il convient de souligner que la réussite de toute démarche intégrée pour le traitement des bassins versants, se traduira par des impacts positifs, d'ordre économique, social et écologique.

LISTE DES PRINCIPAUX SYMBOLES

- γ_w : Poids volumique de l'eau (Kg/cm^3)
- γ_s : Poids volumique des grains solides (Kg/cm^3)
- γ_d : Poids volumique sec (Kg/cm^3)
- ω : Teneur en eau (%)
- ω_{opt} : Teneur en eau optimal (%)
- S_0 : Indice de classement des sédiments
- S_K : Indice d'asymétrie
- W_L : Limite de liquidité (%) W_P :
Limite de plasticité (%)
- I_P : Indice de liquidité
- I_C : Indice de consistance
- C_U : Coefficient d'uniformité
- C_C : Coefficient de courbure
- C_V : Coefficient de consolidations :
Débit solide Kg/s.m.
- τ : Contrainte de cisaillement moyenne kg/m^2
- τ_c : Contrainte de cisaillement.
- γ_s, γ : poids volumiques des sédiments exprimé en kg / m^3
- d_{50} : diamètre moyen des sédiments charriés (mm)
- a : facteur correctif de la rugosité moyenne
- R_h : rayon hydraulique en (m)
- I : La pente d'énergie

Liste des Tableaux

Tableau V.1 : Potentialité des ressources en eau superficielles dans le bassin versant de Medjerda.

Tableau III.2 : la distribution des apports pour les trois années.

Tableau III.3 : Classes de perméabilité.

Tableau V.1: Présentation des essais géotechniques effectués sur les échantillons.

Tableau V-2: Les limites d'Atterberg de certaines argiles d'après (Monaco A. et Chasse fière B.1976).

Tableau V.3 : Limites d'Atterberg du sédiment brut du barrage d'ain dalia.

Tableau V.4 : Récapitulatif des paramètres d'identification des sédiments étudiés.

Tableau V.5 : Les valeurs de l'optimum Proctor des sédiments étudiés.

Tableau V.6 : La composition chimique de la vase du barrage d'ain dalia.

Tableau V.7 : Paramètres physiques du TVO d'ain dalia.

Tableau V.8 : Présente les types de formulations étudiées.

Tableau V.9: Récapitulatif des résultats obtenus sur les limites d'Atterberg.

Tableau V.11 : Récapitulatifs des résultats obtenus sur les caractéristiques mécaniques.

Tableau V.12 : Récapitulatifs des essais effectués sur les formulations étudiées.

LISTES DES FIGURES

CHAPITRE I :

L'ENVASEMENT DES BARRAGES

- Figure I.1:** Capacité de stockage en Afrique du nord
- Figure I.2:** Envasement annuel en Afrique du nord
- Figure I.3:** Situation des retenues les plus envasées en Algérie
- Figure I.4:** Schémas des Problèmes posés par l'envasement.
- Figure I.5:** Formation de la vase au fond de barrage
- Figure I.6:** Organigramme du processus d'envasement d'une retenue.
- Figure I.7:** Dégradation d'un lit d'oued.
- Figure I.8:** Classification des transports.
- Figure I.9:** Comportement des sédiments fins.
- Figure I.10:** Ecoulement d'un courant de densité dans une retenue.
- Figure I.11:** Schématiquement de la bathymétrie par nivellement
- Figure I.12:** Estimation de l'envasement par la méthode de nivellement
- Figure I.13:** Estimation de l'envasement par Echosondeur.

CHAPITRE II :

MOYEN DE LUTTE CONTRE L'ENVASEMENT

- Figure II.1 :** l'organigramme de techniques de lutte contre l'envasement.
- Figure II.2 :** Propagation d'un courant de densité.
- Figure II.3 :** Schéma de l'installation du siphon évacuateur (Hannoyer,1974)
- Figure II.4 :** Récapitulatif des différents types de dragages mécaniques (Rouland Boutin 2000).
- Figure II.5 :** La drague hydraulique (Roland Boutin 2000).
- Figure II.6 :** Représentation des volumes extraits selon la technique de dragage utilisé (Proulhac.N,Kerlann 2006).
- Figure II.7:** Dévasement d'une retenue de barrage à l'aide d'une drague suceuse rémouleuse.
- Figure II.8 :** Etat d'envasement du barrage de Zardezas en 1986.
- Figure II.9 :** Quantités de suspension dévasées au niveau du barrage de Zardezas.
- Figure II.10:** Etat de l'envasement de la retenue de Fergoug en 1989(avant le dévasement).
- Figure II.11:** Dévasement du barrage de Fergoug de 1989 à 1992.

CHAPITRE III :

PRESENTATION DU BARRAGE D'AIN DALIA

Figure III.1: Vue satellitaire du bassin versant d'Ain Dalia (Google earth 2014).

Figure III.2 : Vue du barrage d'Ain Dalia.

Figure III.3 : La Tour de prise du barrage Ain Dalia.

Figure III.4 : Photo de l'évacuateur des crues du barrage d'Ain Dalia

CHAPITRE V :

APPLICATION A LA VALORISATION DES SEDIMENTS D'EVASEMENT DU BARRAGE D'AIN DALIA

Figure V.1: Courbe granulométrique du sédiment étudiée (Vase d'Ain Dalia).

Figure V.2 : Histogramme de répartition en pourcentage (Sable, Argile, Limon).

Figure V.3 : Définition des limites d'Atterberg et l'indice de plasticité.

Figure V.4: Appareil de Casagrande pour déterminer la limite de liquidité.

Figure V.5: graphe teneur en eau en fonction du nombre de coup.

Figure V.6: Limite de plasticité par la méthode de rouleau.

Figure V.7 : Diagramme de Casagrande pour classification des sols fin.

Figure V.8: Nomination d'un sol en fonction au bleu de méthylène (VBS).

Figure V.9: Matériel de mesure de valeur de bleu de méthylène.

Figure V.10: Matériel de l'essai Proctor modifié.

Figure V.11: L'essai CBR et la détermination d'IP Immédiat.

Figure V.12 : Courbe CBR immédiat de Vase d'Ain Dalia.

Figure V.13: Courbe Proctor Modifié de Vase d'Ain Dalia.

Figure V.14 : Diffraction des rayons 'X' de la vase d'Ain Dalia.

Figure V.15 : L'organigramme des étapes de valorisation des sédiments.

Figure V.16 : Courbe granulométrie du TVO d'Ain Dalia.

Figure V.17 : graphe teneur en eau en fonction du nombre de coup.

Figure V.18 : graphe teneur en eau en fonction du nombre de coup.

Figure V.19 : graphe teneur en eau en fonction du nombre de coup.

Figure .V.20 : graphe teneur en eau en fonction du nombre de coup.

Figure V.21 : Limite de liquidité, teneur en eau en fonction du nombre de coup.

Figure V.22 : Courbe Proctor Modifié la formulation (25% Vase+75%+TVO+7% Chaux).

Figure V.23: Courbe CBR immédiat Pour la formulation (25% Vase+75%+Tvo+7% Chaux).

Figure V.24 : Courbe Proctor Modifié la formulation (25% Vase+75%+TVO+10% Chaux).

Figure V.25 : Courbe CBR immédiat Pour la formulation (25% Vase+75%+TVO+10% Chaux).

Références Bibliographiques

- [1]- REMINI, B. (2005), « La problématique de l'eau en Algérie », Collection hydraulique et transport solide.
- [2]- DEGOUTTE, G. (1997), « Petits Barrages », Cemagref.
- [3]- BENOUNICHE, N. (2006). « Etude des hausses fusibles sur un déversoir », thèse d'ingénieur d'état en hydraulique de l'ENP (Alger).
- [4]- REMINI B. (1999). Les conséquences de l'envasement des barrages: quelques exemples algériens. Revue Techniques sciences méthodes, n°4, avril, pp. 55-62.
- [5]- DEMMAK A.(1982).Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de Docteur Ingénieur, université de Pierre et Marie Curie, Paris XI.
- [6]- REMINI B. (1997). Envasement 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, 342 P.
- [7]- N. TAOUCHE (2007). Fiabilité et exploitation du barrage de Beni-Amrane. Thèse de magistère, ENP d'Alger.
- [8]- [KASSOUL M., Abdelkader A, belorgey M 1997] caractérisation de la sédimentation des barrages en Algérie revue des sciences de l'eau
- [9]- [TRAN Ngoc Thanh., 2009] Valorisation de sédiments marins et fluviaux en technique routière, Thèse de doctorat de l'université d'Artois. Spécialité : Génie Civil
- [12]- Livre Le Compactage Routes et Pistes par GEORGE ARQUIE
- [13]- Guide technique Réalisation des remblais ET des couches de forme [GTR Fascicule I 2000 LCPC/Setra].
- [14]- Guide technique de Traitement des sols a la chaux et/ou aux liants hydrauliques Application a la réalisation des remblais et des couches de forme [GTS 2000LCPC/Setra].
- [15]- Estimation de l'érosion spécifique saisonnière et valorisation des sédiments des dragages : Cas particulière du barrage Fergoug / Communication sciences et technologie N°10 janvier 2012.
- [16]- Traitement de la vase du barrage de Bouhnifia en vue de sa valorisation par LABIOD Z. , REMINI B., BELAREDJ Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 03, Juin 2004, pp.7-12-2004 Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface .
- [17]- Valorisation des sédiments d'envasement du barrage Bakhada, Université de Tlemcen.[18]- Meskine Ahmed Valorisation des sédiments du barrage de Gurgar.
- [19]- AFECHKAR MOHAMED /HIMMI Mohamed GENERALITES SUR LES CHAUSSEES Fonctionnement et matériaux, pdf.
- [20]- 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.