

ملخص

إن مشكلة التوحد المبكر التي تمس عددا كبيرا من السدود، يؤدي إلى خسائر معتبرة في القدرة التخزينية يعد التنبؤ بحجم الوحل خطوة مثيرة للاهتمام يجب أخذها بعين الاعتبار ، من أجل مراقبة وإدارة مشكلة الطمي والنظر في الوسائل الضرورية للتحكم الكافي من أجل تقليل حجمها.

حليل حالة الطمي في سد غريب ، من خلال تطوير منحنيات مساحة الخزان - السعة - الارتفاع لفتراته التنبؤية مع تقدير حجم الطمي في الخزان.

بالإضافة إلى ذلك، مكّنا تكامل نظم المعلومات الجغرافية من رسم خريطة تآكل-ترسيب. وقد أتاح لنا هذا الأخير تحديد مناطق الترسبات والترسبات في قاع خزان سد غريب. في الواقع ، يقدر حجم الرواسب المودعة بحوالي 2 مليون م³. يقدر الحجم المتآكل بـ 0.75 مليون م³.

الكلمات المفتاحية: سد غريب ، ترسيب ، تآكل ، ترسيب ، نظم المعلومات الجغرافية.

Résumé

Le problème d'envasement avancé concerne un grand nombre de barrages en exploitation, il a induit ainsi une perte considérable de leurs capacités utiles.

La prédiction du volume de vase s'avère une démarche intéressante à prendre en considération, afin de suivre et gérer le problème de l'envasement et d'envisager les moyens nécessaires de luttes adéquats afin de réduire son ampleur.

L'analyse de l'état de l'envasement du barrage du Ghrib, et ce, par l'élaboration des courbes de capacités-hauteurs-surfaces de la retenue pour ses périodes prédictives avec une estimation du volume de vase dans le réservoir.

En outre, l'intégration des SIG nous a permis l'élaboration de la carte érosion-dépôt. Cette dernière nous a permis l'identification des zones de dépôts et de sédimentation au fond de la retenue du barrage Ghrib. En effet Le volume des sédiments déposés est évalué à environ 2 Millions de m³. Le volume érodé est estimé à 0.75 Mm³.

Mots clés : Barrage Ghrib, Envasement, Érosion, Dépôt, SIG.

Abstract

The advanced siltation problem concerns a large number of dams in operation, and has thus led to a considerable loss of their useful capacities.

The prediction of vase volume is an interesting approach to take into consideration in order to manage the problem of siltation and to envisage the means of struggles to reduce its scale.

Analysis of the siltation state of the Ghrib dam, by developing the reservoir's capacity-height-area curves for its predictive periods with an estimate of the volume of silt in the reservoir.

In addition, the integration of GIS allowed us subsequently to define the volumes of sediments deposited and eroded at the level of the reservoir of the Ghrib dam.

Key words: Ghrib dam, Siltation, Erosion, Deposit, GIS.

DEDICACE



Ceux qui m'ont aidé et m'ont offert cette occasion :

** A ceux qui m'ont indiqué la bonne voie. A ceux qui ont été mon guide sur le chemin de la vie.*

A ceux qui ont attendu avec patience les fruits de ma bonne éducation à vous seuls « mes très chères parents »,

** A ma Chère Femme, mes enfants Yakoub Housem Eddine et Maher Hacene.*

** A mon frère Hamza et mes Sœurs.*

** A mes beaux Parents et mes belles Sœurs, mon beau-frère Mohamed*

** A mon frère et meilleur ami Dr Mezereb zoubir Fouzi.*

** A Tous les professeurs qui m'ont enseignés.*

** A mes Collègues de travail, mes fidèles amies et mes*

Camarades de l'université.

** A toutes les personnes qui me respectent et qui m'aiment ;*

Remerciements



*Avant d'aborder le vif du sujet, je tiens à remercier vivement :
Madame Benkaci Souhila pour tout le soutien et l'encadrement
qu'elle m'a donné, sa disponibilité de tous les instants pour ses
orientations et ses précieux conseils qu'elle m'a prodigués tout du
long de mon travail de recherche.*

*Je tiens également à exprimer nos profondes gratitudee et nos
vives reconnaissances à l'égard des membres de jury pour avoir
accepté d'examiner et de juger ce travail.*

*Ma très chère Femme Rahima qui m'a encouragé de continuer
mes études universitaires.*

*Le corps enseignant administratif de la faculté des sciences de
l'eau et de l'environnement.*

*Le commandant Benaouda.B et le Capitaine Mhamedi.R; le
Cpt Benghanem.Y, et le Cpt OMARI.O pour leur soutien.*

Madame Aguenini.S de L'ANBT.

*Je tiens à remercier également tous ceux qui m'ont aidé de près et
de loin pour l'élaboration de ce mémoire.*

A tous ceux dont le soutien m'a été utile et nécessaire, je dis:

MERCI

SOMMAIRE

Résumé.....	2
Dédicace.....	3
Remerciements.....	4
INTRODUCTION GENERALE.....	11
CHAPITRE 1 : GÉNÉRALITÉS SUR LES PHÉNOMÈNES ÉROSION –TRANSPORT–ENVASEMENT DES BARRAGES.....	12
1.1. L'érosion.....	11
1.1.1. Définition.....	11
1.2. Le transport solide.....	12
1.2.1. Définition.....	12
1.2.2. Mode de transport.....	12
1.2.2.3 Transport solide par charriage.....	13
1.2.2.4 Transport solide en suspension.....	13
1.3. Envasement des barrages.....	14
1.4. Moyens de lutte préventive et curative contre l'alluvionnement et l'envasement des barrages.....	18
1.4.1. Introduction.....	18
1.4.2. Moyens de lutte préventive.....	18
1.4.2.1. Correction torrentielle des cours d'eau.....	18
1.4.2.2. Protection des berges des cours d'eau.....	20
1.4.2.3. Actions en génie civil.....	21
1.4.3. Moyens de lutte curative.....	22
1.4.3.1. Soutirage des sédiments.....	22
1.4.3.2. Mise en place de barrage de décantation.....	22
1.4.3.3. Technique du dragage d'une retenue.....	22
1.4.3.4 .Surélévation du barrage.....	26

1.5. Valorisation de la vase.....	27
1.5.1. Fabrication du béton et mortier.....	27
1.5.2. Construction des routes et chaussées.....	28
CHAPITRE 2. BASSIN VERSANT CHÉLIFF	
GHRIB.....	30
2.1 Présentation de la zone d'étude.....	30
2.2. Caractéristiques physiographiques.....	32
2.2.1. Caractéristiques géométriques.....	32
2.2.2. Caractéristiques du relief.....	32
2.2.2.1. Courbe hypsométrique.....	32
2.2.3. Caractéristiques de forme.....	34
2.2.3.1. Indice de compacité de Gravelius.....	35
2.2.3.2. Rectangle équivalent.....	35
2.2.3.3. Les Indices de pente.....	36
2.4. Le Réseau Hydrographique.....	41
2.5. Cadre géologique.....	42
CHAPITRE 3. ANALYSE DE L'ÉTAT D'ENVASEMENT DU	
BARRAGE GHRIB.....	44
3.1. Présentation du barrage.....	44
3.2. Envasement du barrage Ghrib.....	46
3.2.1. Variation des apports annuels.....	47
3.2.2. Variation de la capacité de la retenue du barrage Ghrib.....	48
3.2.2.1. Variation de capacité de la retenue en fonction de	
temps.....	48
3.2.2.2. Courbe de la variation de capacité en fonction de	
temps.....	49
3.2.2.3. Variation de la retenue durant les années 2004-	
2018.....	50
A. Variation de la capacité de la retenue en 2004.....	50
B. Variation de la capacité de la retenue en 2019.....	51
3.2.2.4. Comparaison de la Variation de la capacité en 2004-	
2019.....	52

3.4. Taux de sédimentation du barrage Ghrib.....	53
3.4.1. Courbe d'évolution du taux d'envasement au cours du temps.....	54
3.4.2. Calcul de la durée de vie du barrage Ghrib.....	54
3.5. Courbe hauteur – capacité surface (HSV).....	55
3.5.1 Hauteur – capacité.....	55
3.5.2. Courbe hauteur - surface.....	55
3.5.3. Evolution de la capacité et de la surface.....	57
3.5.3.1. Evolution de la capacité	57
3.5.3.2. Évolution de la surface.....	58
 CHAPITRE 4. CARTOGRAPHIE DES PHÉNOMÈNES EROSION – DÉPÔT PAR L'APPLICATION MODEL -BUILDER	
4.1. Matériels et méthodes.....	59
4.1.1. Logiciels utilisés.....	59
4.1.1.1. Google earth.....	59
4.1.1.2. Mapinfo.....	59
4.1.1.3. Global Mapper.....	60
4.1.1.4. ArcGis.....	60
4.1.2. Diagramme méthodologique.....	61
4.2. Élaboration de la carte Érosion-Dépôt.....	61
4.2.1. Utilisation de l'application Model-builder.....	61
4.2.2. Edition de la carte	63
4.2.3. Calcul des volumes des sédiments.....	64
4.2.3.1. Volume des dépôts.....	64
4.2.3.2. Volume des sédiments érodés.....	66
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	67

Liste des illustrations graphiques et tableaux

Figure 1.1 : Schéma représentatif du processus de l'érosion hydrique.....	11
Figure 1.2 : Illustration des différents modes de transport solide.....	12
Figure 1.3 : Illustration schématique d'un seuil génie biologique.....	19
Figure 1.4 : Protection des berges par les gabions.....	20
Figure 1.5: Protection d'un cours d'eau par du gabion compartimenté.....	21
Figure 1.6 : Dragage par aspiration et refoulement.....	24
Figure 1.7 : La drague à pelle rétro-caveuse à benne preneuse.....	24
Figure 1.8 : l'organigramme de techniques de lutte contre l'envasement.....	25
Figure 1.9 : Surélévation du barrage Ghrib par des hausses fusibles.....	26
Figure 2.1 : Situation du sous bassin Cheliff-Ghrib.....	30
Figure 2.2 : Image satellitaire du sous bassin Cheliff-Ghrib.....	31
Figure 2.3 : Courbe hypsométrique de la zone d'étude.....	33
Figure 2.4 : Carte hypsométrique du sous bassin versant Cheliff Ghrib.....	33
Figure 2.5 : Rectangle équivalent.....	36
Figure 2.6 : Réseau hydrographique du bassin versant.....	41
Figure 2.7: Plan général de l'ouvrage présentant l'identification des couches géologiques.....	43

Figure 3.1 : Retenue du barrage Ghrib (Photo : S.Ghecham 20 Avril 2021).....	45
Figure 3.2 : Image satellitaire du barrage Ghrib.....	45
Figure 3.3 : Retenue du barrage Ghrib (Photo : S.Ghecham 20 Avril 2021).....	46
Figure 3.4 : Variation des apports.....	47
Figure 3.5 : Variation de la capacité de la retenue du barrage Ghrib.....	49
Figure 3.6 : Variation de la perte annuelle du volume de la retenue jusqu’au dernier levé 2019.....	50
Figure 3.7: Variation de la capacité de la retenue en 2004.....	51
Figure 3.8 : Variation de la capacité de la retenue en 2019.....	51
Figure 3.9: Comparaison de la capacité de la retenue entre 2004-2019.....	52
Figure 3. 10 : Courbe d’évolution du taux d’envasement au cours du temps.....	54
Figure 3. 11 : Courbe Estimative de la durée de vie du barrage Ghrib.....	55
Figure 3. 12 : Courbe Hauteur - Capacité	56
Figure 3. 13 : Courbe Hauteur - surface	56
Figure 3.14 : Courbe d’évolution de la capacité	57
Figure 3.15 : Courbe d’évolution de la superficie.....	58
Figure 4.1 : Organigramme méthodologique.....	61

Figure 4.2: Schéma de l'élaboration de la carte érosion dépôt par l'application model builder sur ArcMap.....62

Figure 4.3 : Volume moyen des sédiments déposés au fond de la retenue.....63

Figure 4.4 : Table volume - surface.....64

Figure 4.5 : Volume total des sédiments déposés (au fond de la retenue et au niveau du tronçon de l'oued amont).....65

Figure 4.6 : Diagramme de Dépôt au niveau de la retenue et au niveau de l'oued amont.....65

Figure 4.7 : Volume total des sédiments érodés.....66

Figure 4.8 : Diagramme Erosion au niveau de la retenue et au niveau de l'oued amont Ghrib.66

INTRODUCTION GENERALE

L'érosion hydrique est une problématique particulièrement importante, notamment dans la zone méditerranéenne et semi-aride. Cette zone est caractérisée par des régimes pluviométriques irréguliers qui ont un impact considérable sur les pertes en sol. Dans les zones montagneuses, les phénomènes d'érosion hydrique sont accentués par les fortes pentes et la couverture réduite du sol. Les barrages alimentés par ces zones subissent un envasement lié à une érosion importante. L'envasement de ces barrages limite drastiquement leur capacité et donc leur durée d'exploitation.

L'érosion et le transport solide au niveau du bassin versant du barrage du Ghrib sur l'Oued Cheliff, cause principale de son envasement, objet de notre travail, se révèlent très actifs, du fait de la disponibilité des facteurs favorables à ce phénomène, dont on cite :

- ✚ L'érosion, le transport solide.
- ✚ La nature du relief qui présente des pentes importantes favorisant l'écoulement torrentiel accompagné par des sédiments importants.

L'une des conséquences immédiate de l'érosion et du transport solide est la sédimentation des cuvettes des barrages. En effet, le problème de sédimentation du barrage Ghrib est fort préoccupant, puisque le volume d'envasement annuel atteint les 3,20 Hm³ (ANBT). Ce qui a provoqué une perte de capacité de l'ordre de 169,35 Hm³ en une période de 79 ans (1939-2018), soit plus de la moitié de la capacité initiale.

Sans aucun doute, si ce phénomène continue avec cette manière, et sans aucune intervention préventive, afin de diminuer et stopper le processus de

l'envasement, les infrastructures à l'aval aussi bien l'AEP que l'irrigation seront affectées.

Dans cette optique, notre travail consiste à établir une quantification prédictive de l'envasement dans le bassin versant de l'Oued Cheliff-Ghrib, par intégration des Systèmes d'information géographiques, tenant compte des levés bathymétriques et leurs évolutions dans le temps.

Notre travail est présenté en quatre parties :

En premier lieu, une étude bibliographique sur les phénomènes érosion, transport solide et envasement, a été abordée. Par la suite, et dans une deuxième étape, une étude hydrologique du bassin versant Cheliff-Ghrib s'avérait importante pour caractériser le relief de la région.

Nous procéderons, dans la troisième étape à l'analyse de l'état d'envasement du barrage Ghrib.

Finalement, nous avons établi une cartographie du fond de la retenue du barrage Ghrib par intégration des « SIG » dans l'objectif d'identifier les zones d'érosion et de dépôts et également d'établir une estimation quantitative des volumes déposés ou érodés au niveau de la retenue.

CHAPITRE 1

Généralités sur les Phénomènes

Erosion –Transport–Envasement des barrages

1.1. L'EROSION

1.1.1. Définition : C'est l'ensemble des actions physiques et organiques qui aboutissent à la destruction des roches et au nivellement progressif du terrain. Plus simplement l'érosion est l'usure de la partie superficielle de l'écorce terrestre. L'eau, le vent et l'homme sont les principaux agents [1]. Ce processus naturel qui affecte l'ensemble de la couverture terrestre géo-pédologique est considéré comme l'un des facteurs importants de formation et d'évolution des milieux naturels. Aujourd'hui, l'aggravation des phénomènes d'érosion des sols est constatée. Cela est dû notamment à l'extension démesurée des surfaces imperméables, à la disparition des éléments du paysage qui jouaient un rôle anti-érosif, et à l'évolution du parcellaire et des pratiques agricoles.

Le phénomène en question peut causer la perte de la couche fertile du sol par ravinement, augmentation des risques d'inondations, dégradation de la qualité des eaux de nos Oueds et de notre littoral. Au niveau de la retenue du barrage d'eau, les conséquences sont lourdes, à titre d'exemple, le barrage de Ghrib a perdu plus de 50% de son volume de stockage, des mesures curatives ont été prises par l'état mais ces efforts n'ont pas donné les résultats souhaités. Sur 57 grands barrages d'Algérie, le taux de l'envasement est estimé par 45 millions de m³ [2]. L'ampleur de l'érosion varie selon les régions et les barrages. Ainsi, pour la région de l'Est, l'envasement dépasse les 50% pour les barrages Ksob (M'Sila), Foug El

Gherza (Biskra) et Foug El Gueiss (Khenchela). Dans le centre, l'envasement dépasse les 40% pour le barrage de Ghrib (Ain Defla) et le barrage de Oued Fodda (Chlef). Ce taux dépasse aussi les 40% pour les barrages de Bouhnifia et Fergoug à Mascara.

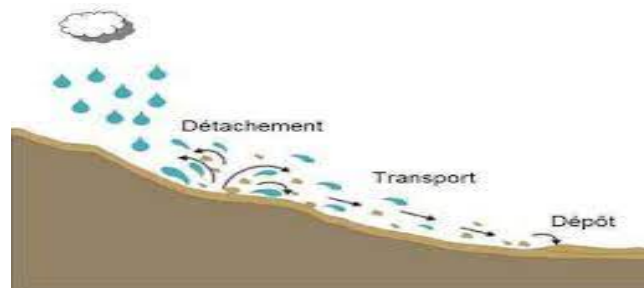


Figure 1.1 : Schéma représentatif du processus de l'érosion hydrique [13].

1.2. LE TRANSPORT SOLIDE :

1.2.1. Définition

Le transport solide joue un rôle important dans la dynamique fluviale, son expression couvre un ensemble de phénomènes physiques extrêmement vastes, il s'agit de l'entraînement des particules solides à l'état granulaire sous l'action de l'écoulement du fluide [3]. Ce processus dépend de deux critères essentiels qui sont la vitesse de l'écoulement et la granulométrie. Ainsi l'entraînement des particules solides par un écoulement liquide est essentiellement en fonction de la dimension des particules [4].

1.2.2. MODES DE TRANSPORT

Généralement deux modes de transport solide sont considérés, le transport solide par charriage et le transport solide en suspension. Il y'a des auteurs qui considèrent un troisième mode caractéristique intermédiaire, la saltation, ou les particules se déplacent par des bonds, en alternant charriage et suspension [5].

1.2.2.3. Transport solide par charriage

Le transport solide par charriage, représente la progression de sédiments grossiers (sables, gravier, galets et blocs) de diamètre supérieur à 1 mm, qui se déplacent par glissement ou roulement au voisinage du fond du cours d'eau et parcourent des distances relativement petites et discontinues dans le temps et l'espace [5].

1.2.2.4. Transport solide en suspension

Le transport solide en suspension représente le transport de sédiments fins (argiles, limons, sables fins), de taille micronique, maintenues en suspension sur toute la hauteur de la masse liquide du cours d'eau, sous l'action des fluctuations turbulentes de l'écoulement. Les sédiments se déplacent sur des grandes distances et le débit solide croît de l'amont vers l'aval. Dans la très grande partie des cas, la charge en suspension représente quantitativement un pourcentage très important du transport global [5].

Par conséquent, il est estimé que 40 000 ha de terres cultivables sont perdus chaque année. [6]. Et une quantité de 30 millions de mètre cube de vase se dépose chaque année dans les barrages Algériens [2]

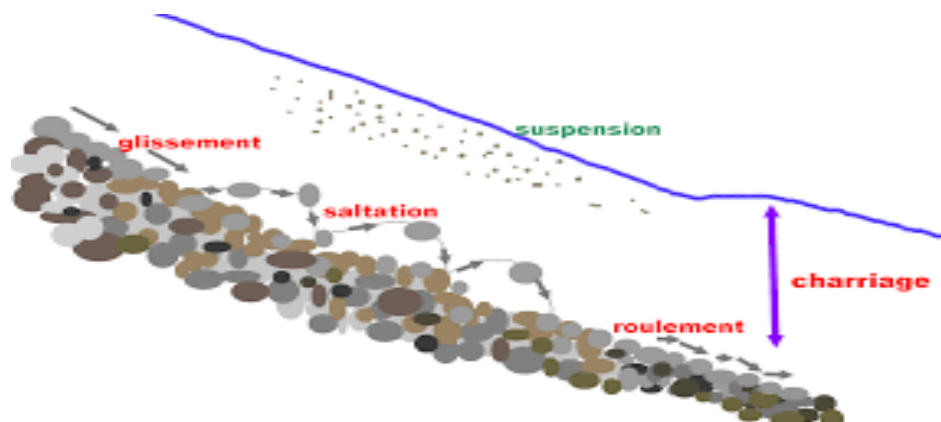


Figure 1.2 : Illustration des différents modes de transport solide [14].

1.3. ENVASEMENT DES BARRAGES

L'envasement des barrages est l'un des principaux problèmes que rencontrent de nombreux pays dans le monde. Selon le Comité International des Grands Barrages (CIGB), plus de 50.000 grands barrages existants dans le monde avec une capacité très importante de stockage, leur capacité de stockage est menacée par l'envasement qui est une conséquence directe de l'érosion et de la sédimentation.

La maîtrise du phénomène de l'envasement ne peut passer qu'à travers un diagnostic et état de fait du bassin versant qui nous permettent de décrire et de quantifier dans la mesure du possible, les différents paramètres qui peuvent être à l'origine de l'envasement, en suite les solutions proposées doivent être expérimentées. En Algérie, La wilaya de M'sila a été choisie par l'état pour lancer un projet pilote qui consiste à la revégétalisation, par ensemencement hydraulique dans le bassin versant du barrage K'sob, un dispositif expérimental qui sera testé en vue de permettre une couverture des zones dénudées, une stabilisation des terres environnantes du barrage, réduire l'impact de l'érosion du sol et protéger ce barrage contre l'envasement.

IL est a signalé que De nombreux pays dans le monde sont touchés par le problème de l'envasement et non seulement l'Algérie. En Afrique, Le Maghreb est considéré comme le plus touché par le problème d'envasement les barrages des pays du Maghreb enregistrent une perte annuelle de capacité de 125 Hm³ [2].

La situation s'aggrave encore dans les zones arides et semi-arides où le manque d'eau est très préoccupant. Le phénomène de l'envasement réduit progressivement le volume de stockage d'un barrage d'eau, non seulement

cet effet direct, mais encore l'enlèvement de la vase déposée au fond au cours de plusieurs années nécessite des techniques spécifiques et coûteuses. Au niveau de la digue du barrage, la vase déposée peut présenter un risque considérable sur la stabilité de l'ouvrage et ces équipements hydrauliques, les études de dimensionnement doivent donc bien estimer le volume mort [2].

Tableau 1.1 : Etat d'envasement de quelques barrages d'Algérie en 2004[2].

Barrage	Envasement moyen annuel (Hm ³)/an	Perte de volume (%)
Oued El Fodda	2.31	71
Ghrib	3.2	72
Ighil Emda	1.33	42
Boughezoul	0.66	81
Derdeur	1.05	25
Keddara	0.05	2.2
Keddara	0.35	26
Bouroumi	0.8	34
Meurad	0.005	83.3

1.4. MOYENS DE LUTTE PREVENTIVE ET CURRATIVE CONTRE L'ALLUVIONNEMENT ET L'ENVASEMENT DES BARRAGES.

1.4.1. Introduction

La lutte contre l'envasement des barrages en Algérie doit revêtir une dimension nationale tant les enjeux sont énormes ; tous les spécialistes s'octroient à dire que les pays du Maghreb d'ici à l'année 2025 connaîtront des problèmes aigus d'eau. Afin de prolonger la durée de vie des grands barrages, à savoir 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. En raison des conséquences engendrées par le phénomène d'érosion et du transport solide, il est impératif de prévoir d'une part, des moyens de lutte contre l'érosion à titre préventif en amont de la retenue sur l'étendue du bassin versant.

D'autre part, engager des mesures qui doivent être prises pour atténuer l'ampleur du phénomène d'alluvionnement des retenues par des mesures curatives, tels que : le dragage, la surélévation de la digueetc. 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.

1.4.2. Moyens de lutte préventive

Pour permettre la protection de la retenue du barrage contre le transport sédimentaire, on propose plusieurs solutions pour lesquelles on cite :

1.4.2.1. Correction torrentielle des cours d'eau

A. Mise en place de seuils de génie biologique

✚ Objectifs:

- Endiguer l'évolution des petites ravines au stade de formations en brisant l'énergie de l'écoulement.
- Retenir une partie des sédiments produits au niveau de la ravine.

✚ Principe:

- Seuil constitué de deux rangées de boutures plantées avec un garnissage de bouture placées horizontalement.
- Rangée d'herbacées à enracinement puissant plantées au pied du seuil pour diminuer les risques d'affouillement.
- Stabilisation des atterrissements par des plantations.

Ci-après une illustration schématique (Figure 1.3) :

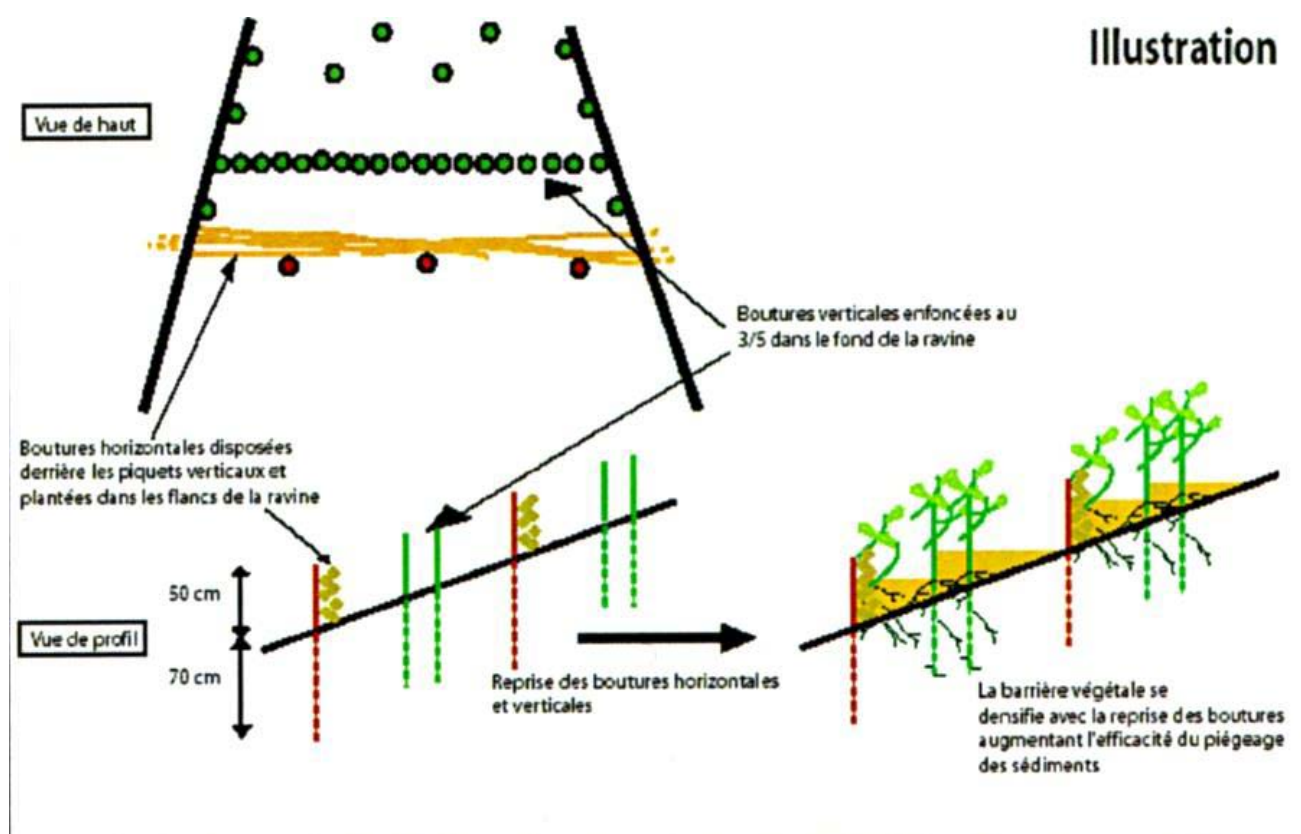


Figure 1.3 : Illustration schématique d'un seuil génie biologique [16].

B. Mise en place de seuils de génie mécanique et biologique

✚ Objectifs :

- Aménagement des ravines dont le stade de développement ne permet plus d'utiliser le seuil de génie végétal.
- Dissiper l'énergie de l'écoulement et créer un atterrissement de sédiments.
- Utiliser des techniques alternatives au gabion relativement onéreux.

✚ Principe :

- Réaliser un barrage filtrant en pierres sèches, grillage, sacs plastiques, pneus.
- Rangées d'herbacées à ancrage profond plantées au pied du seuil pour limiter les risques d'érosion.
- Stabilisation des atterrissements par des plantations (espèces fourragères ou fruitières).

1.4.2.2. Protection des berges des cours d'eau

La méthode classique de protections des berges se fait par la mise en place de gabions tout le long des berges.



Figure 1.4 : protection des berges par les gabions [15].



Figure 1.5: Protection d'un cours d'eau par du gabion compartimenté [16].

1.4.2.3. Actions en génie civil

L'ouvrage de génie civil, représente une étape de lutte contre l'envasement des retenues.

Il existe deux types d'ouvrage en génie civil qui sont décrits ci-après :

1- Les barrages épandeurs de crue à parement aval vertical

L'objectif de ces ouvrages est de favoriser les dépôts sédimentaires tout en assurant lors des crues la recharge des nappes.

Les terrains agricoles sous l'influence des épandages sont alors propices à une intensification de l'agriculture.

2- Les barrages de consolidation implantés en série et destinée à stabiliser les profils en longs, réduire la divagation de certains oueds et limiter ainsi l'érosion des berges qui sont fortement productives en matériaux dans les secteurs aval.

Toutefois l'obtention de résultats notables nécessite souvent un nombre important de barrages dont la réalisation peut prendre de nombreuses années avec un coût disproportionnel par rapport aux résultats attendus.

1.4.3. MOYENS DE LUTTE CURRATIVE

Le but de ces moyens est de récupérer une partie de la capacité du barrage perdu par l'effet du dépôt sédimentaire causé par le phénomène de l'envasement et transports solide, on cite :

1.4.3.1. Soutirage des sédiments

Elle est possible grâce à l'ouverture partielle ou totale des vannes d'un barrage lors du passage d'une crue, ce qui permet d'exporter ou de chasser une partie des sédiments avant de se décanter au fond du réservoir par la force du torrent d'eau. Cela permet une réduction partielle estimée de 30% jusqu'à 70% de la vase permettant d'atténuer l'ampleur du dépôt dans une retenue.

1.4.3.2. Mise en place de barrages de décantation

La mise en place d'un barrage de décantation de la vase permet d'augmenter et de préserver l'efficacité de remplissage d'une retenue. A titre d'exemple, le barrage de Boughezoul, ouvrage écrêter de crue, situé à l'amont du barrage Ghrib [16].

Le barrage de Boughezoul a été engendré essentiellement comme bassin de décantation des sédiments du bassin versant du Cheliff, et les empêcher d'atteindre le réservoir du barrage Ghrib. Cette solution a permis un taux de réduction de 24% de l'envasement du Ghrib [7].

1.4.3.3. Technique du dragage d'une retenue

La technique du dragage reste une technique onéreuse la moins pratique, elle doit satisfaire des conditions de faisabilités très précises de géologie et de morphologie du réservoir, c'est pour cette raison qu'on fait recours au dragage que lorsqu'il représente la meilleure solution du point de vu technico-économique [17].

On opte pour le dragage dans un barrage quand :

- ✚ L'opération de la chasse des sédiments n'est pas possible.
- ✚ La quantité d'énergie requise pour réduire l'envasement en vidangeant la retenue représente une perte économique.
- ✚ Le barrage est irremplaçable et de grande utilité.
- ✚ Le barrage ne supporte pas une charge supplémentaire qui peut être gagnée par la mise en place d'une surélévation.

Parmi les conditions de faisabilité de l'opération de dragage, on cite :

- ✚ La taille de la retenue qui doit être moyenne ou grande.
- ✚ La taille de la granulométrie de la vase, qui doit être composée essentiellement des silts et argiles, et donc d'éléments de diamètre très petit inférieur à 1 mm, avec une tolérance à la présence de sables fins de diamètre inférieure à 5 mm.
- ✚ Teneur en eau adéquate qui ne soit pas dans les limites de plasticité ni de liquidité.
- ✚ L'approximation de la zone de décharge des vases soustraites.

Cependant il existe deux types de dragage :

a. Dragage hydraulique

Les dragues hydrauliques sont généralement équipées d'une élinde, sorte d'aspirateur situé au bout d'un long tube, qui fait remonter les sédiments ces derniers seront stockés à bord ensuite l'évacuation du produit dragué jusqu'à la zone de rejet, la figure ci-après représente le dragage par aspiration et refoulement.

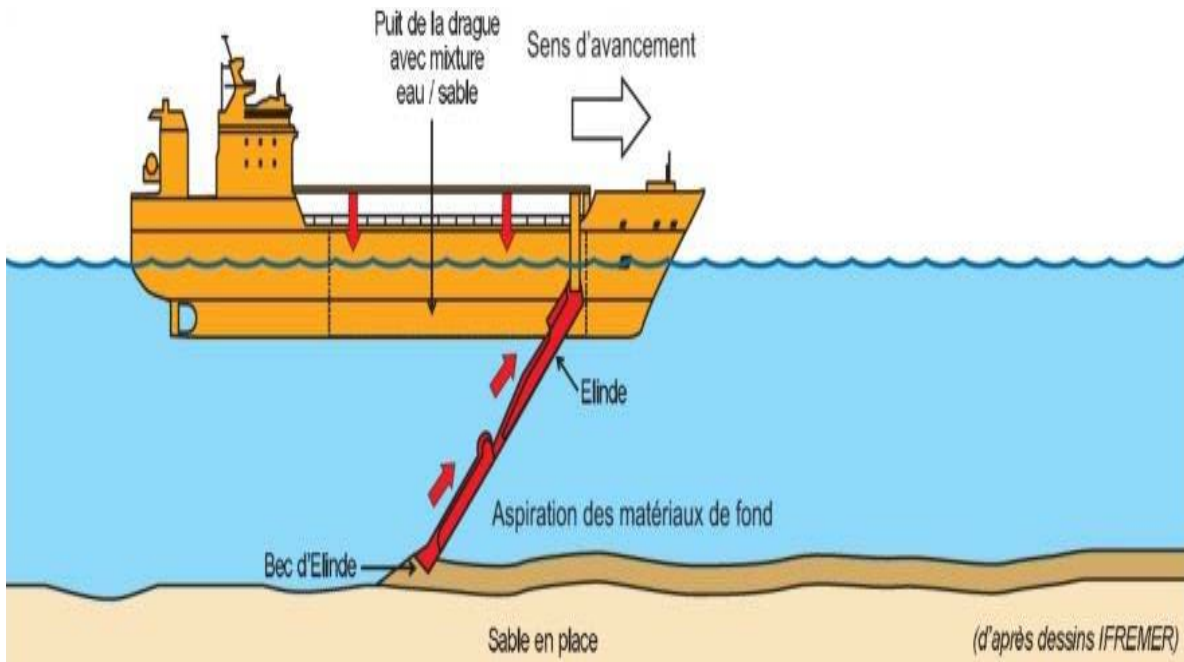


Figure 1.6 : Dragage par aspiration et refoulement [17].

b. Dragage mécanique

Il nécessite soit une drague à godets, benne preneuse ou du matériels de terrassement (tel que le bulls, pelles hydraulique, chargeurs hydraulique etc...).

A cet effet, cette technique ne peut être utilisée que si la retenue est vide.

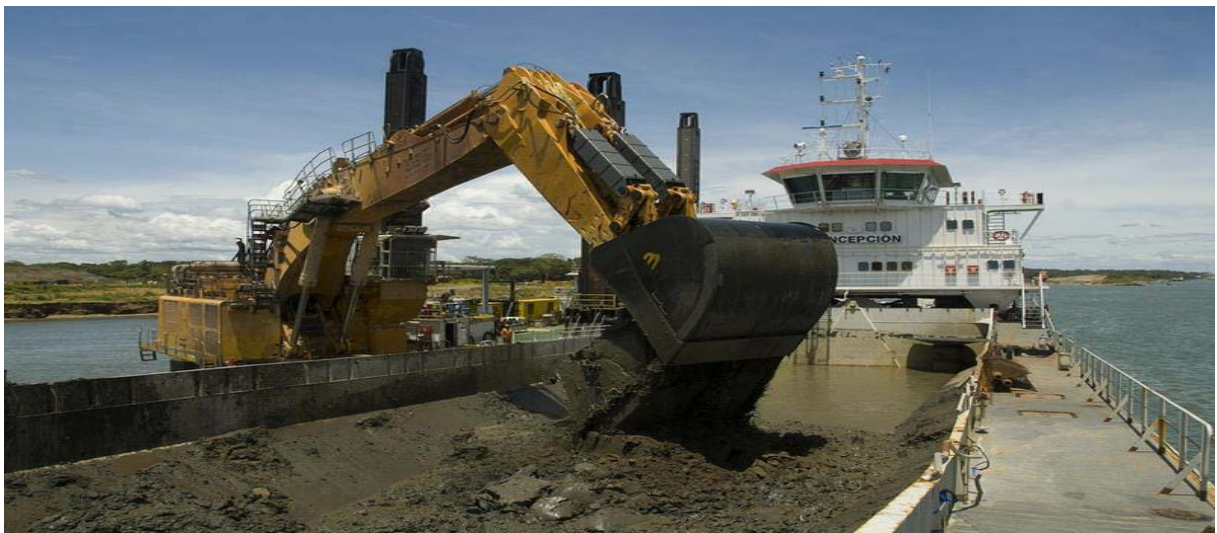


Figure 1.7 : La drague à pelle rétro-caveuse à benne preneuse [16].

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

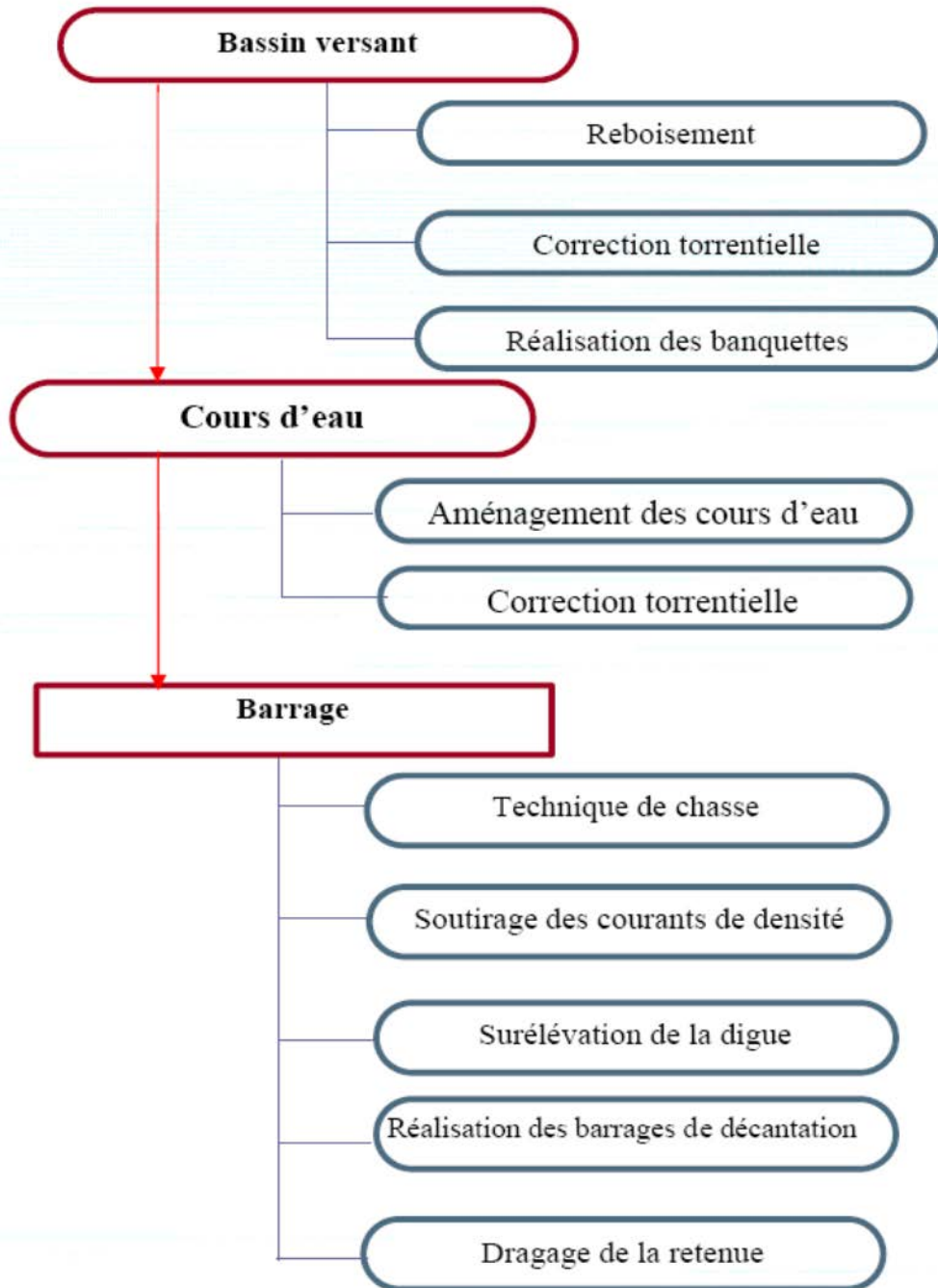


Figure 1.9 : l'organigramme de techniques de lutte contre l'envasement [16].

1.4.3.4 .Surélévation du barrage

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 encourageante.

Dans certain cas, la surélévation du seuil libre du barrage par des hausses fusibles reste une solution intéressante qui demeure parmi les autres solutions relativement couteuses.

Car il existe plusieurs techniques de surélévation du seuil du barrage selon la nature de cette dernière, dont ces techniques on citera la surélévation par l'emplacement de hausses fusibles, comme il à exécuté au niveau du barrage du Ghrib.

L'emplacement de 20 hausses fusibles de type labyrinthe avec 2 clapets automatiques centrales de hauteurs respectives de 4,50 m et 4,00 m, a permis à ce dernière de gagner une tranche de sa capacité initiale qui était à la base de 280 Hm³, puis elle a atteint les 115,3 Hm³ en 2004 pour passer finalement à un volume de 185,32 Hm³ après la surélévation [17].



Figure1.8 : Surélévation du barrage Ghrib par des hausses fusibles [17].

1.5. VALORISATION DE LA VASE

C'est vrai que l'opération du soutirage et le dragage des barrages reste une solution très encourageante qui permet de prolonger la durée de vie de l'ouvrage, cependant ces pratiques posent un problème d'ordre environnemental concernant l'utilisation d'énormes quantités de vase soutirée par chaque opération de dragage qui sont rejetées à l'aval du site du barrage, de ce fait de nombreux problèmes d'environnement sont apparus .

Il serait alors plus judicieux de mener une réflexion pour une utilisation rationnelle de la vase qui peut être valorisée dans le domaine des matériaux de construction (Labiod, *et al.*, 2004) [17]. Dans ces travaux de recherche, Selkaoui (2016), a présenté une synthèse de travaux et des propositions relatives à l'emploi de la vase pour une meilleure efficacité de l'opération et une valorisation des matériaux dans les domaines ci-après :

1.5.1. Fabrication du béton et mortier

La production du béton présente l'un des grands consommateurs de matériaux, particulièrement les granulats, qui représentent un élément majeur dans la fabrication du béton.

La provenance des granulats sont habituellement issus des carrières, qui sont de plus en plus surexploitées et finiront par s'épuiser. Ce qui donne signe qu'il utile de pouvoir introduire les vases de dragage sous forme de granulats dans la fabrication du béton, afin de couvrir la demande progressive de fabrication de béton.

En Algérie, des études ont été faites concernant la valorisation de la vase issue des barrages. (Belas, *et al.*, 2011) , ont étudié la valorisation des vases issues du barrage de Fergoug, dans la composition du béton, en dosages

définis substituables au ciment (10 à 15)% et 20 % de vase par rapport au dosage en masse du ciment[17].

Le béton confectionné sera par la suite testé vis-à-vis du comportement mécanique en compression et du retrait. Les résultats ont été satisfaisants pour ces bétons à base de vase.

A cet effet, nous pouvons dire qu'il est temps de réagir vis –à vis ces opérations importantes afin de permettre dans le futur la récupération des vases et les réutiliser dans le domaine de construction et pourquoi pas dans les travaux publics.

1.5.2 Construction des routes et chaussées

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

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

La formulation retenue est un mélange de 30% de sédiments avec 70% de sable. Pour améliorer les caractéristiques mécaniques du matériau traité, des ajouts de ciment ou de chaux ou une combinaison de ces deux liants ont été effectués.

Finalement, la composition obtenue peut bien être utilisée en couche de fondation et en couche de base [17].

Il est important de signaler qu'une vaste campagne de dévasement des barrages est en cours d'exécution au niveau national visant à extraire une quantité totale de 38 millions de m³ de vase, ont indiqué mercredi les services de l'Agence nationale des barrages et transferts (ANBT).

Au total, ils sont 9 barrages concernés par cette opération inscrite dans le cadre de la quatrième campagne nationale de dévasement prévue sur la période 2019-2024, ont précisé les services de l'ANBT dans un rapport portant sur l'évolution de la bathymétrie et qualification de la vase entreposées dans les retenues et dont l'APS a obtenu une copie.

L'opération concerne les barrages de Fergoug et Bouhanifia (Mascara), Foug El Gueiss (Khenchela), K'Sob (M'sila), Zardzas (Skikda), Djorf Torba (Béchar), Merdja Sidi Abed (Relizane), El Hamiz (Boumerdès) et le barrage Ghrib (Ain Defla).

Ces opérations de dévasement permettront d'extraire une quantité totale de 38 millions de m³ de vase, a ajouté l'ANBT [17].

CHAPITRE 2

BASSIN VERSANT CHELIFF GHRIB

2.1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

2.1.1. Situation géographique

Le bassin versant du Chélif représente l'essentiel des ressources en eau dans la région ouest algérienne. Il constitue un enjeu majeur pour le développement agricole. Cette région hydrographique est découpée en trois grands sous bassin versant (Haut et Moyen Cheliff, Cheliff Zahrez et côtier Cheliff). Notre zone d'étude fait partie du bassin haut et moyen cheliff (Figure 2.1)

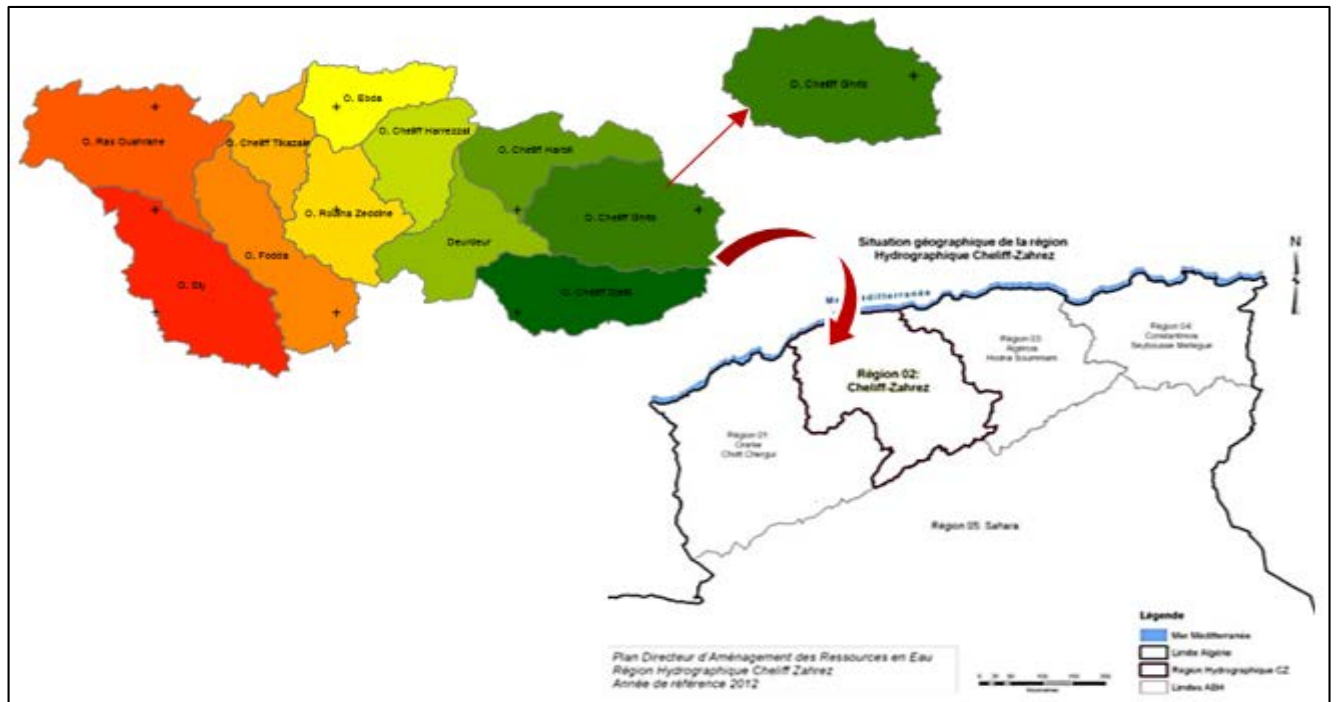


Figure 2.1 : Situation du sous bassin Cheliff-Ghrib.

Le bassin versant de l'oued Cheliff Ghrif est situé à 100 km au Sud-ouest d'Alger, entre 2°25' et 3°45' de longitude Est et entre 35°45' et 36°00' de l'altitude Nord. Il draine une superficie de 1379 Km² et un périmètre de 175.66 km. L'oued Cheliff Ghrif parcourt une distance de 69.95 km suivant une orientation Sud-est à l'Ouest du bassin versant, le relief atteint une altitude de 1284 mètres, tandis que le point le plus bas est à l'exutoire avec une altitude de 351 mètres. Sur le plan administratif le sous bassin Ghrif fait partie à deux wilayas Médéa et Aïn-Defla[10].

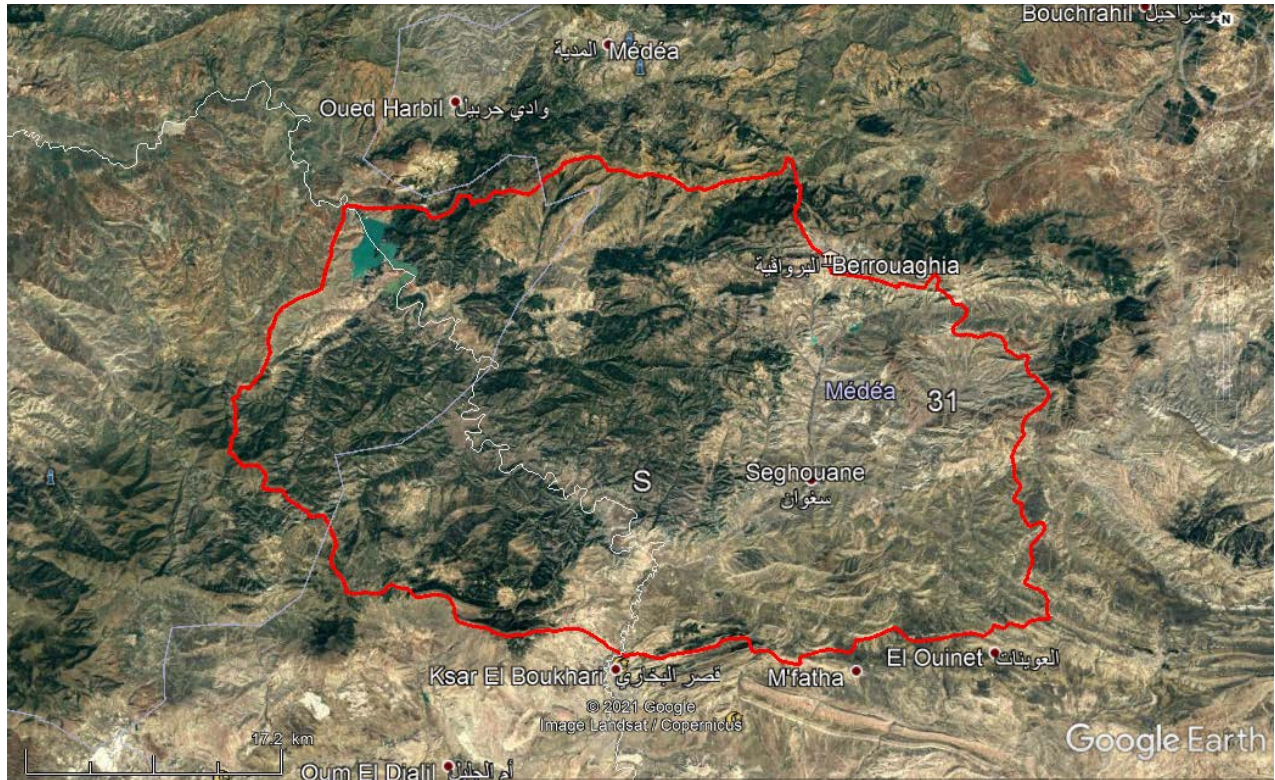


Figure 2.2 : Image satellitaire du sous bassin Cheliff-Ghrif

2.2. CARACTERISTIQUES PHYSIOGRAPHIQUES

Les hydrologues ont proposé une gamme d'indices et de paramètres simples qui permettent de comparer les caractéristiques morpho métriques des bassins versants. Ces paramètres sont étudiés dans les paragraphes suivants :

2.2.1. Caractéristiques géométriques

Le bassin versant est considéré comme étant un lieu de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, d'où les débits vont être en partie reliés à sa surface. Il est important que ce paramètre devrait être pris en considération, tout en déterminant le périmètre est la longueur, généralement exprimée en km, de la ligne de contour du bassin.

Ces deux facteurs sont estimés en utilisant les logiciels ArcGisTM et Global mapper après délimitation du bassin sur Google Earth. Notre zone d'étude délimitée couvre une superficie de 1378,63km² pour un périmètre de 175,66 km.

2.2.2. Caractéristiques du relief

2.2.2.1. Courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique (Figure 2.3) permet de caractériser la nature du relief et fournit une vue synthétique de la pente du bassin versant. Elle représente la répartition des différentes altitudes en fonction des pourcentages des surfaces partielles du bassin. Ces deux paramètres (altitudes et surfaces) sont déterminés suite à l'élaboration de la carte hypsométrique (Figure 2.4) sur ArcgisTM.

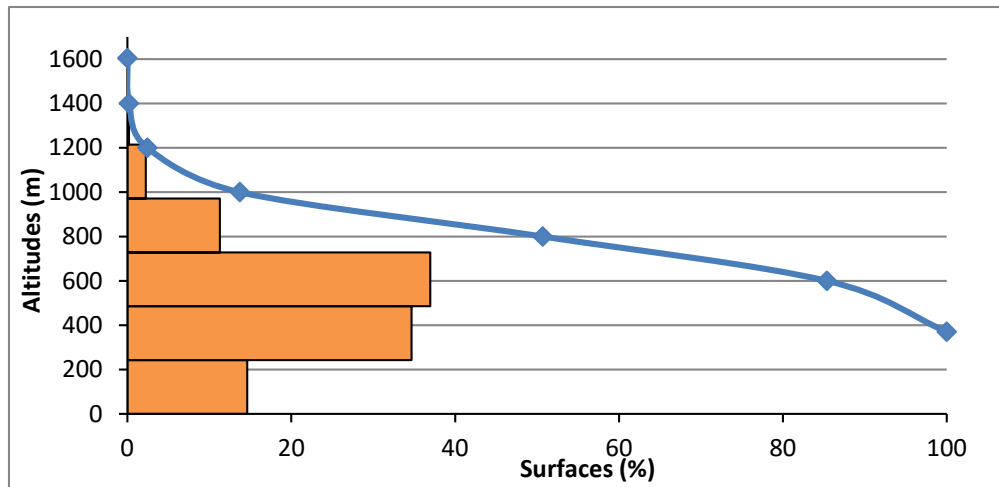


Figure 2.3: Courbe hypsométrique de la zone d'étude

A. Interprétation de la courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique traduit la répartition des altitudes à l'intérieur du bassin versant, en outre, elle permet de déterminer les altitudes caractéristiques suivantes :

Figure 2.4 : Carte hypsométrique du sous bassin versant Cheliff-Ghrib.

Altitudes maximales et minimales

L'altitude maximale représente le point culminant du bassin, elle est estimée à environ 1604m. Cependant, l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire, elle est égale à 370m.

Altitude moyenne

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique. Elle s'obtient également par la relation suivante :

$$H_{\text{moy}} = \sum ai * \frac{hi}{A} \quad (2.1)$$

Avec :

H_{moy} : altitude moyenne du bassin [m] ;

ai : aire comprise entre deux courbes de niveau [km^2] ; hi : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m] ; A : superficie totale du bassin versant [km^2].

L'équation (2) peut s'écrire sous la forme :

$$H_{\text{moy}} = \frac{1}{A} * \sum ai * \frac{(hi+hi+1)}{2} \quad (2.2)$$

L'altitude moyenne calculée pour notre bassin est estimée à :

$H_{\text{moy}} = 800,78$ m.

Altitude médiane

Elle correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50 % de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. Pour notre cas elle est estimée à 800 m.

2.2.3. Caractéristiques de forme

La dimension et la forme d'un bassin versant n'ont pas une influence essentielle sur la moyenne à long terme des écoulements mais elles sont très importantes pour les crues et la répartition des débits au cours de l'année. Ces caractéristiques sont définies essentiellement par trois indices :

- ✚ Indice de compacité (coefficient de Gravelius)
- ✚ Rectangle équivalent
- ✚ Les indices de pente

2.2.3.1. Indice de compacité de Gravelius

L'indice de compacité de GRAVELIUS représente le rapport entre le périmètre stylisé du bassin à celui d'un cercle de même surface. Il nous renseigne sur la forme du bassin et sur la vitesse de concentration des eaux à l'exutoire. Il est donné par la formule suivante :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}} * 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

où, A : surface du bassin versant [km²], P : périmètre du bassin [km]. Si :

1.5 < K_G < 1.8 ⇒ le bassin est de forme allongée.

1.0 < K_G < 1.15 ⇒ le bassin est de forme ramassée.

L'indice de compacité de Gravelius a ainsi été évalué à K_G = 1,32 < 1.5.

Notre bassin versant est donc plutôt, de forme allongée type chêne favorisant un écoulement lent des eaux de ruissellement.

2.2.3.2. Rectangle équivalent

Le rectangle équivalent est une représentation géométrique du contour du bassin versant transformé en rectangle de même surface, de même indice de compacité, de même courbe de fréquence altimétrique et de mêmes conditions d'écoulements. Les dimensions (Longueur L et largeur l) du rectangle équivalent sont évaluées à l'aide des équations suivantes :

$$L = \frac{K_G \cdot \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right] \quad (2.3)$$

$$l = \frac{K_G \cdot \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right] \quad (2.4)$$

Avec :

L : La longueur du rectangle équivalent [Km] ; l : La largeur du rectangle équivalent [Km]. A : surfaces du bassin versant [Km^2] ;

KG : Indice de compacité.

La longueur et la largeur du rectangle équivalent ont été déterminées pour notre zone d'étude. Elles sont estimées respectivement par 66,95km et 23,19km.

Le rectangle équivalent (Figure 2.5) a été tracé sur Excel en utilisant les pourcentages des différentes surfaces correspondantes aux écartements entre les courbes de niveau.

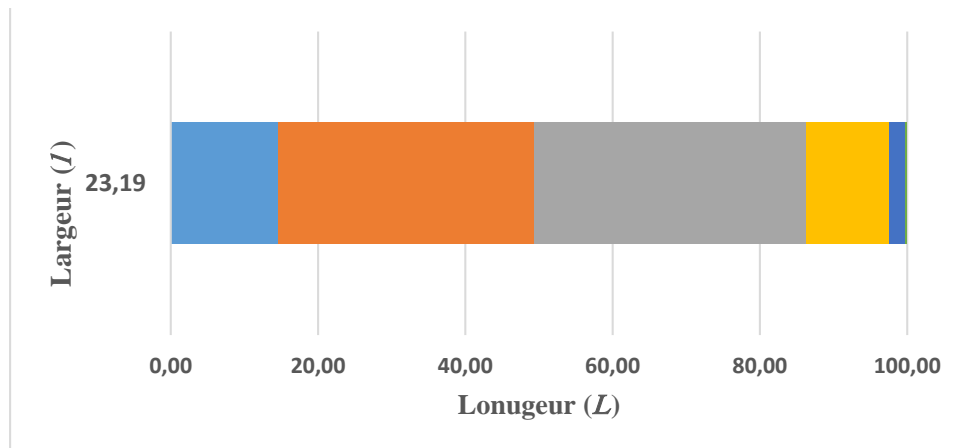


Figure 2.5: Rectangle équivalent.

2.2.3.3. Les indices de pente

A. Indice de pente moyenne

Le calcul de la pente moyenne ne tient pas compte de la forme de la courbe hypsométrique. C'est le facteur moteur qui détermine la vitesse avec laquelle l'eau va s'écouler jusqu'à l'exutoire. Il est donné par la relation suivante :

$$I_{\text{moy}} = \frac{D * \Sigma L}{A} \quad (2.6)$$

i_{moy} : pente moyenne, [m/km ou %]

Σl : longueur totale des courbes de niveau [km].

D : équidistance des courbes de niveau, [m] A : superficie du bassin, [km²]

La valeur obtenue pour notre bassin est de : $im = 2,14 \%$

B. Indice de pente de Roche

M. Roche a proposé un indice de pente plus facile à calculer que le précédent. Il caractérise la pente globale du bassin versant et se calcul comme suit :

$$I_P = L^{-\frac{1}{2}} \sum_n^1 * \sqrt{a_i * d_i} \quad (2.7)$$

Où :

L: longueur du rectangle équivalent,

a_i : représente la fraction en % de la surface A comprise entre deux courbes de

Niveau voisines distantes de d_i

C. Indice de pente global

Cet indice permet de déduire la nature du relief en se référant à la classification de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-mer (O.R.S.T.O.M.) illustrée sur le tableau 2.1 suivant :

Tableau 2. 1: Classement ORSTOM du relief à partir de l'indice de pente global

R1	Relief très faible	$I_g < 0.002$
R2	Relief faible	$0.002 < I_g < 0.005$
R3	Relief assez faible	$0.005 < I_g < 0.01$
R4	Relief modéré	$0.01 < I_g < 0.02$
R5	Relief assez fort	$0.02 < I_g < 0.05$
R6	Relief fort	$0.05 < I_g < 0.1$
R7	Relief très fort	$I_g > 0.1$

Il est définie par :

$$I_g = \frac{D}{L} \quad (2.8)$$

D : la dénivelée : $D = h_{5\%} - h_{95\%}$ définie sur la courbe hypsométrique

L : la longueur du rectangle équivalent.

Ce qui donne : $I_g = 9,85\%$. En se référant à la classification donnée sur le tableau ci-dessus, on déduit que cet indice correspond à un relief fort.

D. Dénivelée spécifique

Elle est définie comme suit :

$$Ds = I_g \cdot \sqrt{A} \quad (2.9)$$

$$\Rightarrow \frac{D}{L} \sqrt{L * l} = D \sqrt{\frac{l}{L}} \quad (2.10)$$

Elle donne lieu à une deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M., indépendante des surfaces des bassins, comme illustrée sur le Tableau 2.2 ci-après :

Tableau 2. 2 : Classement ORSTOM du relief à partir de la dénivelée spécifique

R1	Relief très faible	Ds<10m
R2	Relief faible	10m<Ds<25m
R3	Relief assez faible	25m <Ds<50m
R4	Relief modéré	50m <Ds<100m
R5	Relief assez fort	100m <Ds<250m
R6	Relief fort	250m <Ds<500m
R7	Relief très fort	Ds> 500m

La valeur calculée est de : $Ds = 364,61$ m, ce qui traduit un relief fort.

Les caractéristiques morphométriques du sous bassin versant Cheliff Ghrib sont résumées sur le tableau 2.3 ci-après :

Tableau 2.3: Caractéristiques physiographiques de la zone d'étude.

Superficie (km ²)	1378 ,63	-
Périmètre (km)	175,67	-
Indice de compacité KG	1,32	le bassin est de forme allongée favorisant un écoulement lent des eaux de ruissellement.
Altitude maximale (m)	1604	Point culminant du bassin.
Altitude moyenne (m)	800,78	Déterminée après génération des courbes de niveau sur Global Mapper et extraction des différentes surfaces correspondantes.
Altitude minimale (m)	370	Exutoire du bassin versant.
Longueur du rectangle équivalent (km)	66,95	-
Largeur du rectangle équivalent (km)	23,19	-
Pente moyenne en %	9,85	-
Dénivelée spécifique (m)	364,61	Relief fort

2.4. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Le réseau hydrographique est une des caractéristiques les plus importantes du bassin. Il se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement [16].

Notre zone d'étude est caractérisée par un chevelu hydrographique très dense (Figure 2.6), avec un réseau de l'ordre d'une superficie de 1378.63 Km² et un périmètre de 175.67 Km. Les faibles valeurs caractérisent les terrains à faibles pentes, qui sont surtout localisées au niveau des hautes plaines. Ce qui se traduit par de faibles précipitations et une perméabilité non négligeable des structures lithologiques.

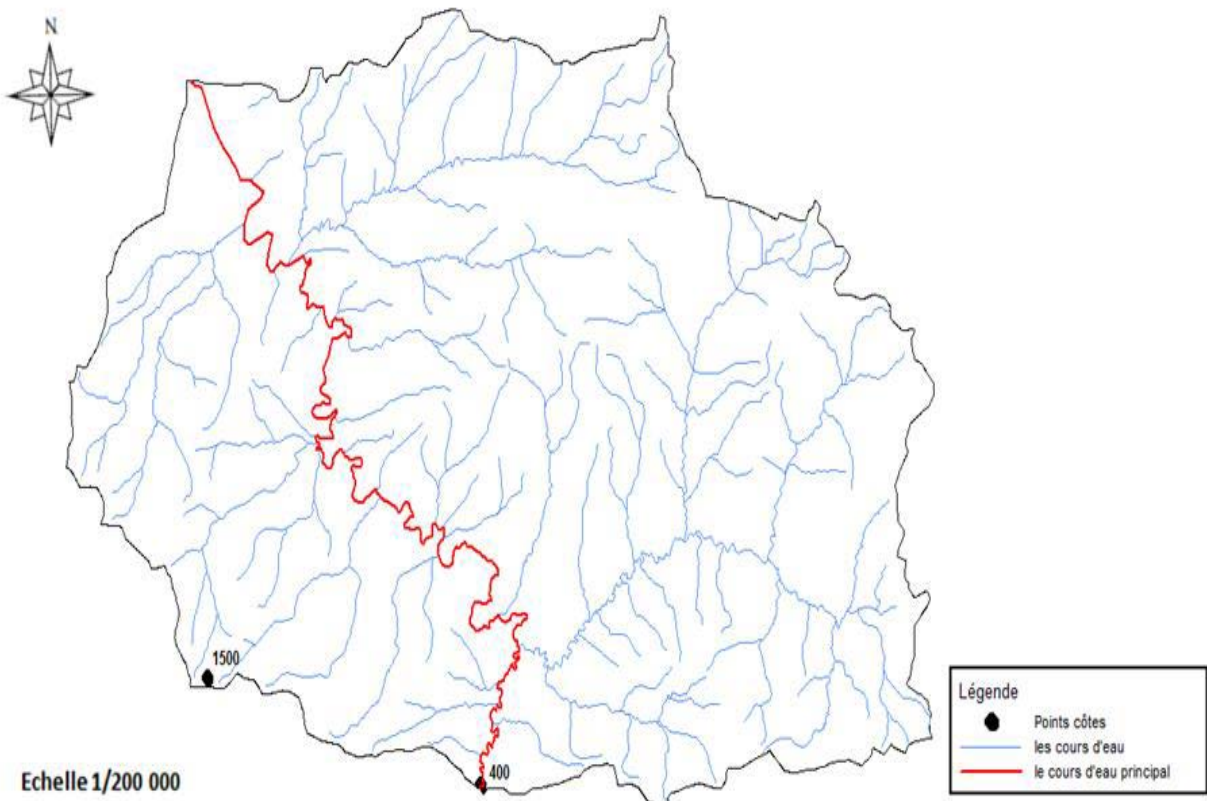


Figure 2.6 : Réseau hydrographique du bassin versant.

2.5. CADRE GEOLOGIQUE

Le barrage du Ghrib se situe sur des terrains constitués d'une alternance de grès et de marnes. Le pendage général, de 12° environ, est dirigé du Sud au Nord, c'est-à-dire d'amont en aval. L'axe du barrage coïncide avec le sommet d'un anticlinal parallèle à la vallée, ayant conduit à la réalisation d'une fondation en escaliers de part et d'autre de cet axe. Les épaisseurs des différents bancs sont très variables. L'horizon gréseux appelé «grès supérieur» a une puissance suffisante pour recevoir les ouvrages du barrage sur presque toute sa hauteur. Certains niveaux marneux, de quelques centimètres, présentent une continuité importante, créant des niveaux aquifères autonomes. Les caractéristiques des grès et des marnes peuvent être synthétisées comme suit :

- Les grès sont quasiment incompressibles (résistance à l'écrasement jusqu'à 180 kg/cm² pour certains bancs). Ils sont par contre plus ou moins poreux et fragmentés par des failles et des diaclases.

Les grès ne sont souvent que des sables à peine agglomérés au sein desquels quelques niveaux, ou même seulement quelques lits, sont plus cimentés.

La perméabilité des grès, pour des parties ne connaissant aucune fissuration, n'est de 8 x 10⁻⁵ m/s. Cependant, les grès sur le site sont fissurés et leur perméabilité après une circulation d'eau de quelques heures passe à 10⁻² m/s.

Cependant, les grès sur le site sont fissurés et leur perméabilité après une circulation d'eau de quelques heures passe à 10⁻² m/s. Ces terrains présentent un danger important d'érosion interne.

- Les marnes sont imperméables et compressibles sous l'effet de charges élevées. Elles ont une tendance au gonflement en immersion. Les lentilles de marnes qui séparent les couches de grès créent des risques de glissements [7].

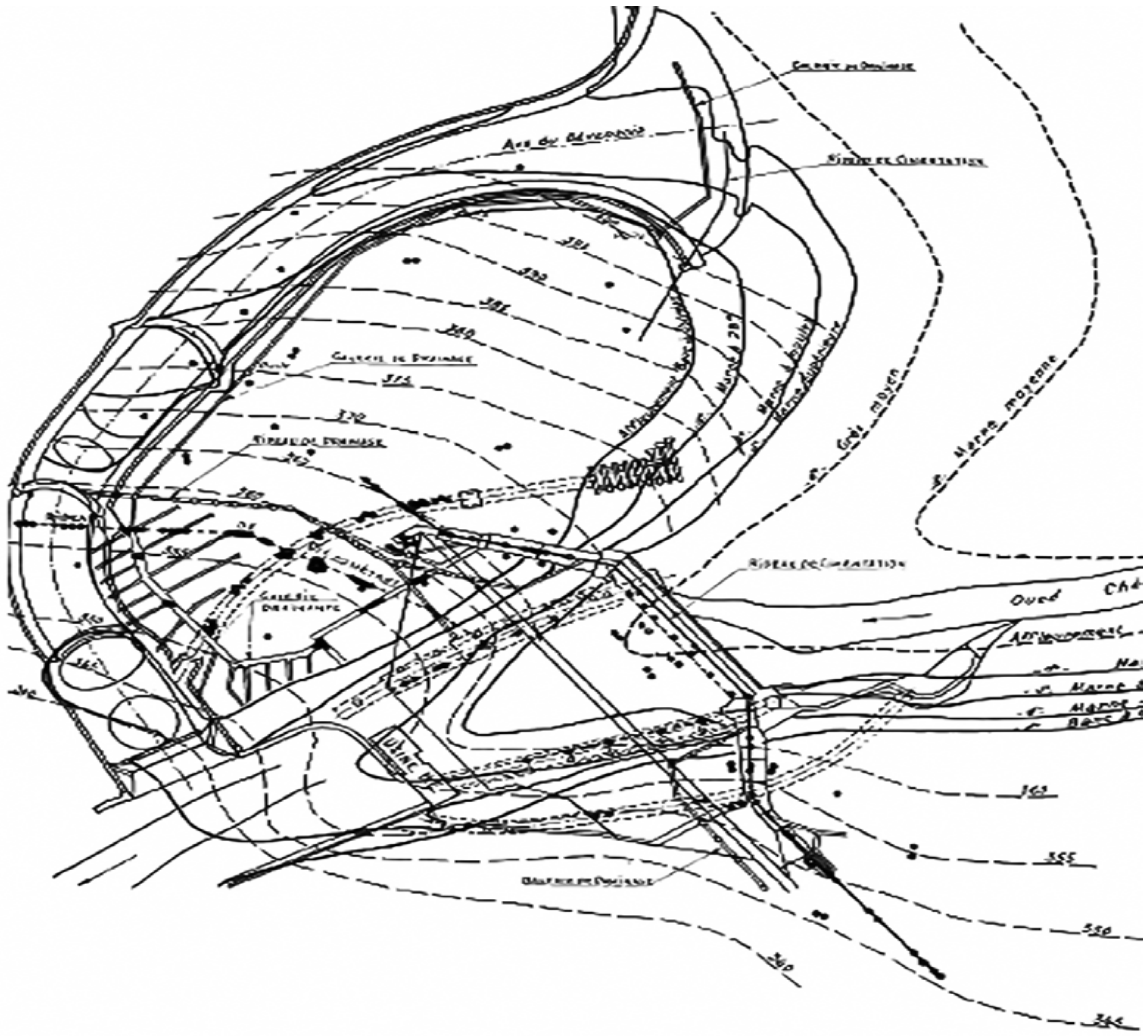


Figure 2.7 : Plan général de l'ouvrage présentant l'identification des couches géologiques

CHAPITRE 3

ANALYSE DE L'ETAT D'ENVAISEMENT DU BARRAGE GHRIB

3.1. PRESENTATION DU BARRAGE

Le barrage du Ghrib est l'ouvrage de base de l'aménagement de la vallée du Chélif. Construit en amont de trois périmètres : Haut-Chélif, Moyen-Chélif, Bas Chélif. Il permet de fournir de l'eau indifféremment à chacun d'eux : c'est donc lui qui a été construit en premier. L'oued Chélif prend naissance dans le Djebel Amour, dans l'Atlas saharien. Le lit de l'oued prend d'abord la direction sud-nord jusqu'au niveau du barrage du Ghrib, puis il change de direction est-ouest et se jette dans la Méditerranée, près de Mostaganem. Au droit du barrage Ghrib, d'où ce dernier est sans doute le plus connu et fait partie des plus grands barrages réservoirs et aussi parmi les sites les plus visités du pays. Cette situation favorable est due pour son originalité, premier barrage à masque en béton bitumineux dans la région du Maghreb, pour une bonne part à sa proximité d'Alger, et aussi aux facilités d'accès et au charme indescriptible du site [7]. Ce barrage est situé dans la commune d'Oued-Chorfa (Ain-Defla) à 20 kilomètres au sud-ouest de la ville d'Ain-Defla. Il est destiné à l'irrigation, l'AEP et le transfert vers le barrage de Bouroumi (SAA) pour un volume régularisé annuel de 105 millions de m³ [8].

La figure ci-dessous présente le barrage Ghrib, d'où on peut énumérer une baisse de la capacité de la retenue par rapport aux années précédentes, dont la capacité actuelle évoquée sur site recevant le barrage Ghrib est de 20 millions de M³.



Figure 3.1 : Tour de prise du barrage Ghibri (Photo : S. Ghecham 20 Avril 2021).



Figure 3.2 : Image satellitaire du barrage Ghibri

La figure ci-dessus représente une image satellitaire du barrage Ghibri, dont son taux d'envasement a atteint $2,63 \text{ Hm}^3$ en 2019, qui est vraiment remarquable.

3.2. ENVASEMENT DU BARRAGE GHRIB

Le taux d'envasement en 2018 atteint les 2,82 Hm³/an. Ce qui a causé une perte considérable de la capacité du réservoir de l'ordre de 164,7 Hm³ en une période de 64 ans (1939-2004), soit plus de la moitié de la capacité initiale. Il s'avère donc utile de suivre l'évolution de l'envasement et de prédire le volume d'envasement du barrage Ghrib, garantir un développement durable de la ressource en eau pour cette région. Et ce tout en mettant sur place des moyens nécessaires, pour effectuer une opération de dragage afin de gagner en capacité et prolonger la durée de vie du réservoir de quelques années supplémentaires [10].

La figure ci-dessous représente le barrage Ghrib, faisant apparaître une large différence par rapport à sa capacité initiale estimée à 280 Hm³, dont la présente est presque sa moitié qui reste dans sa cuvette qui est de 169,35 Hm³.



Figure 3.3 : Retenue du barrage Ghrib (Photo : S. Ghecham 20 Avril 2021).

3.2.1. Variation des apports annuels

Les apports annuels sont considérés comme un facteur important dans le domaine de l'hydraulique notamment dans l'étude ou analyse d'envasement des barrages.-Il existe deux types d'apports : Apports Liquides et apports solides qui sont définis comme suit :

- ✚ **Apports Liquides** : Total des précipitations cumulées au niveau de la retenue d'un barrage quelconque provenant des différents bassins versants au cours de l'année considérable.
- ✚ **Apports Solides** : Total des matières solides provenant d'un bassin ou passées dans une section donnée pendant un temps assigné. Ils comportent aussi bien le charriage que le transport en suspension.

La Figure 3.4. Suivante montre la variation des apports moyens annuels enregistrés au niveau du barrage Ghrib.

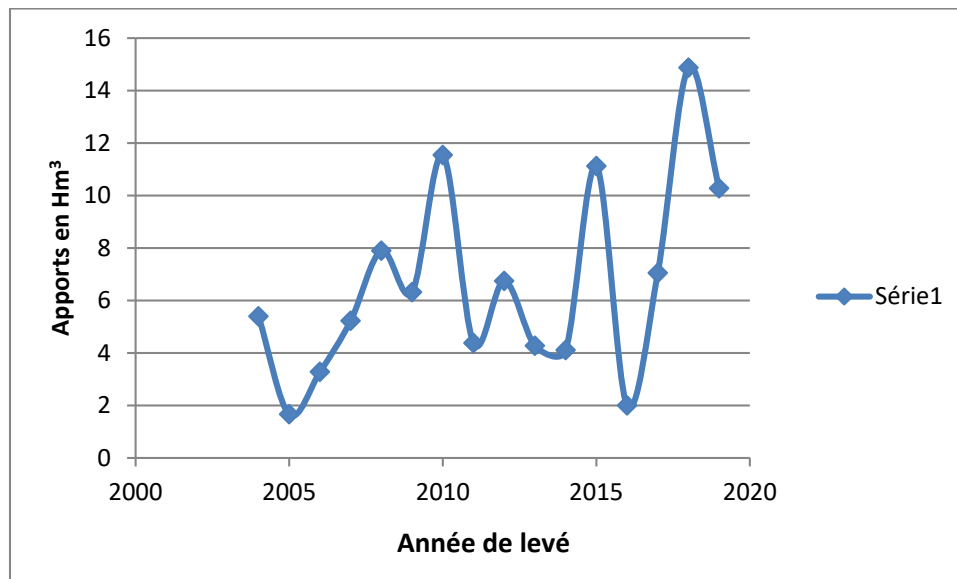


Figure 3.4 : Variation des apports.

De la figure ci-dessus nous avons constaté une augmentation considérable marquée particulièrement durant les années 2010-2015 et 2019. Au cours

de cette dernière le taux d'envasement du barrage a été évalué à 3.60 Hm³/an.

3.2.2. Variation de la capacité de la retenue du barrage Ghrib

3.2.2.1. Variation de capacité de la retenue en fonction de temps

Les levés bathymétriques au niveau de la retenue du barrage Ghrib ont été effectués par le groupement des deux entreprises (Hydrodragage et C.T.Système 2004) dans l'objectif de définir la capacité de la retenue et il nous a permis de mieux observer l'état d'envasement du barrage. En 2019, année du dernier levé, une perte de capacité importante a été enregistrée (Tableau 3.1).

Tableau 3.1 : comparatif des volumes a la cote de retenue normale RN=427.50 m.

Année de levé	Capacité(Hm ³)	Perte de capacité(Hm ³)	Nombre d'année	Perte de capacité(Hm ³)/an
1939	280	0	0	0
1976	177,78	102,22	37	2,76
1986	165,60	12,18	10	1,21
2004	115,30	50,30	18	2,79
2019	169,35	39,51	15	2,63

- La Perte de capacité moyenne annuelle des 15 dernières années est de 2,63 Hm³/An
- Le Taux de comblement du barrage est de 39, 51%.

En se référant au tableau 3.1 ci-dessus, nous remarquons une évolution de la capacité de la retenue du barrage Ghrib, depuis l'année de sa mise en eau

(1939) jusqu'à l'année du dernier levé (2019). Cette évolution peut être illustrée par la figure 3.5 ci-après.

3.2 .2.2. Courbe de la variation de capacité en fonction de temps

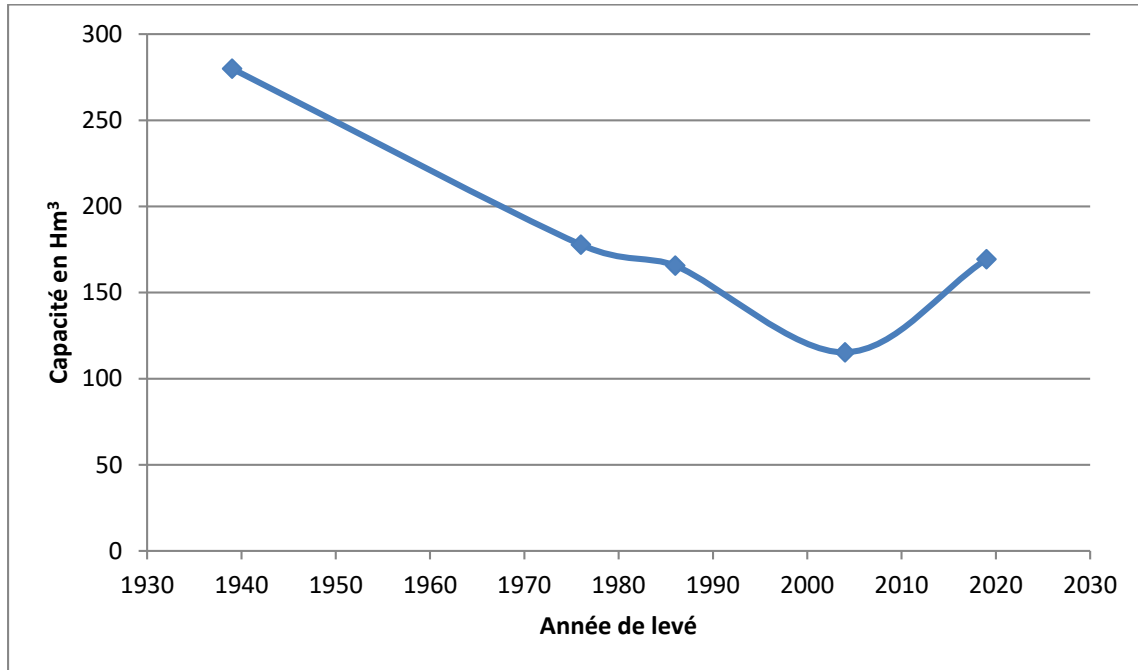


Figure 3.5 : Variation de la capacité de la retenue du barrage Ghrib.

En se référant respectivement à la figure 3.4 ci-dessus, nous pouvons dire que la capacité du réservoir a diminué considérablement, depuis l'année de sa mise en eau (1939) jusqu'à l'année 2004 à partir de laquelle nous remarquons une augmentation de la capacité de la retenue jusqu'à une valeur de 169.35 Hm³ (Année 2019). La perte de la capacité moyenne annuelle des 15 dernières années est de 2.63 Hm³/an.

La variation de la perte annuelle du volume de la retenue jusqu'au dernier levé 2019 peut être également représentée (Figure 3.6).

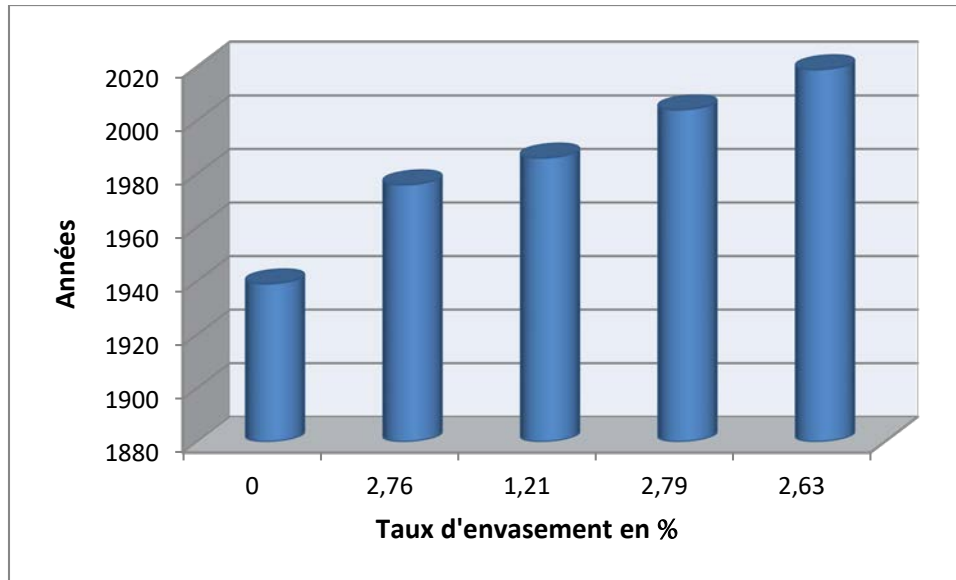


Figure 3. 6 : Variation de la perte annuelle du volume de la retenue jusqu’au dernier levé 2019.

Cette dernière figure montre clairement l’augmentation de la perte de la capacité moyenne annuelle de la retenue du barrage Ghrib. A cet effet, il est nécessaire de prendre des mesures préventives, particulièrement à l’amont au niveau du bassin versant Cheliff-Ghrib, afin de protéger notre barrage et augmenter sa durée de vie.

3.2.2.3. Variation de capacité de la retenue durant les années 2004-2019

A. Variation de la capacité de la retenue en 2004

Tenant compte des données requises de la part de l’ANBT, relatives à la période 2004, nous avons constaté une variation de la capacité durant le premier semestre de l’année (du mois de Janvier jusqu’au mois de Juin). Cependant, dans le deuxième semestre, un volume très bas a été enregistré (Figure3.7) :

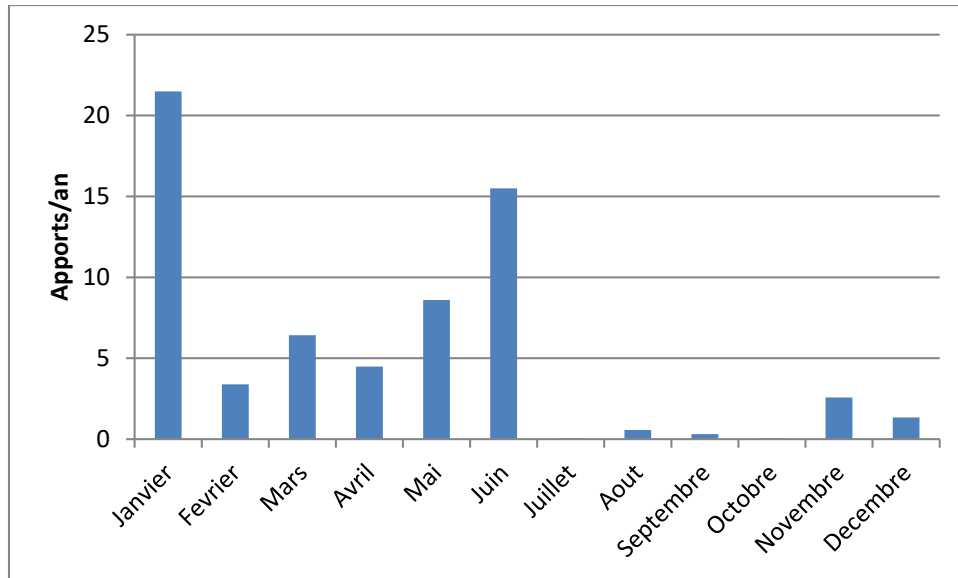


Figure 3.7 : Variation de la capacité de la retenue en 2004.

B. Variation de la capacité de la retenue la retenue en 2019

Au cours de l'année 2019 la variation de la retenue a donné un signe de progrès à partir du 3^{ème} mois de l'année. La valeur la plus importante a été enregistrée en mois d'Avril (Figure 3.7).

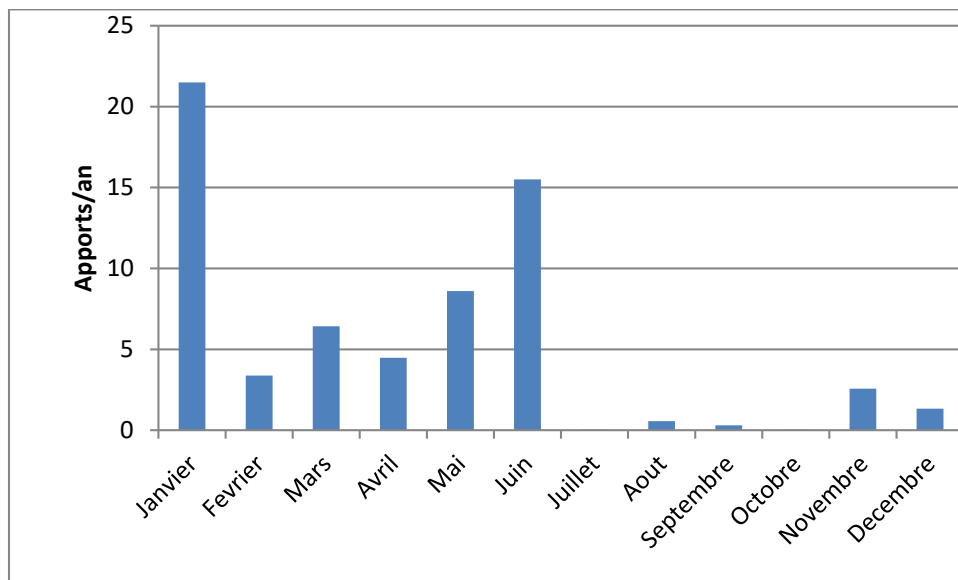


Figure 3.8 : Variation de la capacité de la retenue en 2019

3.2.2.4. Comparaison de la variation de capacité entre 2004-2019

Tenant compte des données précédentes nous avons établi une comparaison des capacités observées durant les années relatives aux derniers levés (2004-2019). Les résultats obtenus (Figure 3.9) montrent clairement l'augmentation de la capacité de la retenue du barrage Ghrib durant l'année 2018. Ceci peut être dû à plusieurs facteurs, le plus important peut être lié à l'impact du barrage de Boughezoul qui a été réalisé à l'amont du barrage Ghrib.

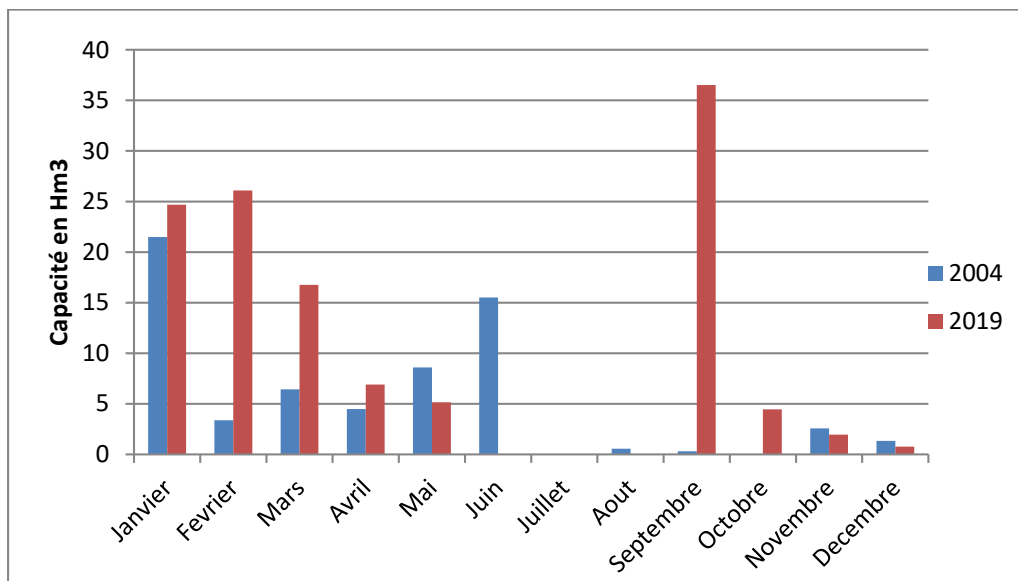


Figure 3.9 : Comparaison de la variation de capacité entre 2004-2019.

3.4. TAUX DE SEDIMENTATION DU BARRAGE GHRIB

Le taux d'envasement peut être influencé par plusieurs facteurs. La représentation des données sous forme graphique permet une comparaison plus simple et d'entrevoir si des éléments peuvent jouer un rôle important dans la compréhension des rythmes des sédimentations [11].

Il peut être calculé comme suit :

$$T = \frac{V_i - V_f}{V_i} * 100 \quad (2.11)$$

T : taux d'envasement (%),

V_i : capacité initiale de la retenue (hm^3)

V_f : capacité finale de la retenue (hm^3).

Tableau 3.2 : Récapitulatif d'évolution du taux d'envasement

Barrage	Volume initial (Hm^3)	Volume final (Hm^3)	Période	Nombre d'année (Années)	Perte de capacité (Hm^3/an)	Taux d'envasement (%)
Barrage Ghrib	280	280	1939	0	0	0
		177,78	1976	37	102,22	2,76
		165,60	1986	10	12,18	1,21
		115,30	2004	18	50,28	2,79
		169,35	2019	15	39,51	2,63

3.4.1. Courbe d'évolution du taux d'envasement au cours du temps

La courbe d'évolution du taux d'envasement depuis sa mise en eau jusqu'à l'année du dernier levé 2019 est représenté sur la (figure 3.9) suivante :

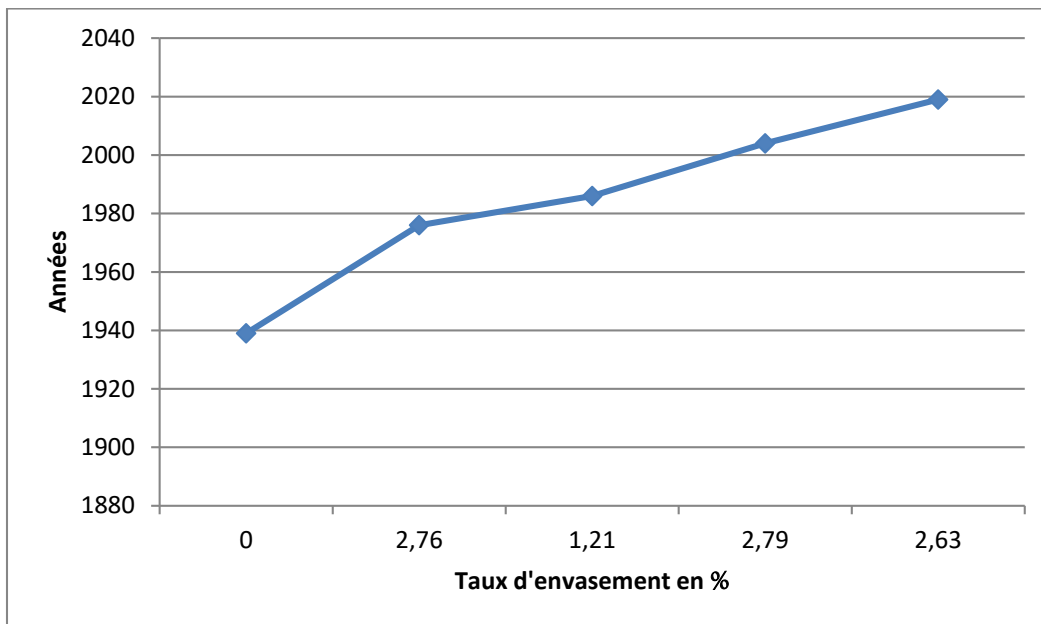


Figure 3.10 : Courbe d'évolution du taux d'envasement au cours du temps.

Sur la figure 3.9 ci – dessus, nous remarquons une faible variation du taux d'envasement enregistré durant les 15 dernières années (2004-2019).

3.4.2. Calcul de la durée de vie du barrage

L'accumulation de vase au fond de la retenue du barrage Ghrib à diminuée considérablement sa capacité et donc sa durée de vie. Cette dernière peut être peut être calculée comme suit :

$$\frac{\text{Capacité en (Hm}^3\text{)}}{\text{Taux d'envasement(Hm}^3\text{/an)}} \dots\dots\dots(3.1)$$

L'application de la formule citée ci-dessus en se référant à l'année 2019 a donné une durée de 47 ans. On peut dire que le barrage sera saturé de vase en 2066.

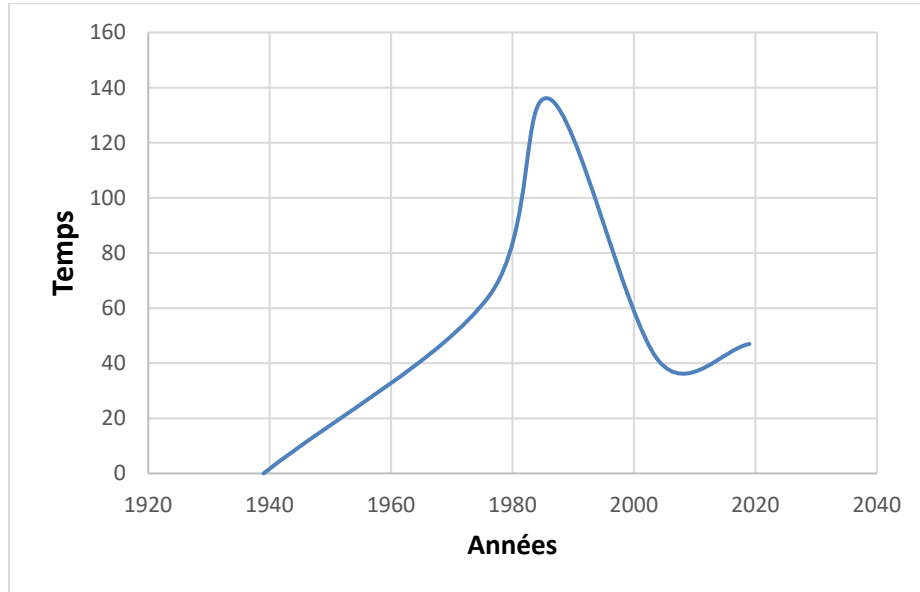


Figure 3.11 : Variation de la durée de vie du barrage Ghrib

De la figure ci-dessus nous remarquons que la durée de vie du barrage Ghrib a diminué de l'année 1986 jusqu'à 2004 de 95 ans. Cette diminution importante explique la quantité énorme des sédiments déposés au fond de la retenue du barrage Ghrib.

3.5. COURBE HAUTEUR – CAPACITE-SURFACE (HSV)

3.5.1. Courbe Hauteur- capacité

Si on prend comme référence l'année 1939 correspondant à celle de la mise en service du barrage, nous pouvons affirmer que sa capacité qui est de 280 Hm^3 a été réduite de $110,65 \text{ Hm}^3$ presque la moitié, ce qui correspond à un pourcentage de perte de 60,48%. La figure 3.12 ci-dessous illustre la variation de la courbe hauteur capacité tenant compte du dernier levé bathymétrique 2019.

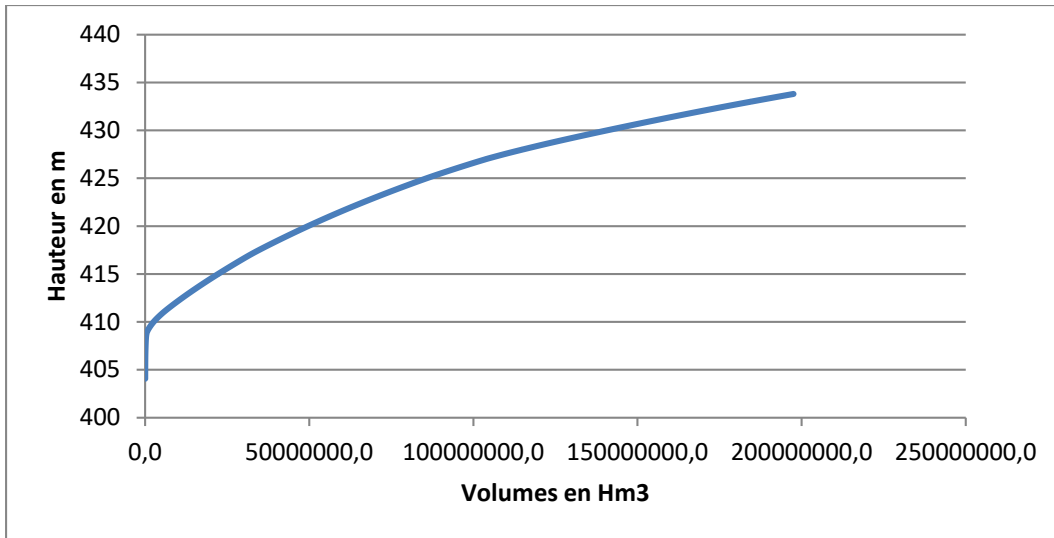


Figure 3.12 : Courbe Hauteur - Capacité.

Sur la figure 3.12 ci-dessus une augmentation régulière de la capacité est remarquable à partir de la cote 409 m, ce qui explique qu'il n'y a pas de particularité ni au niveau des fonds ni au niveau de la cuvette.

3.5.2. Courbe Hauteur - surface.

La variation de la surface de la retenue du barrage Ghrib en fonction des différentes altitudes est représentée sur la figure 3.13 suivante :

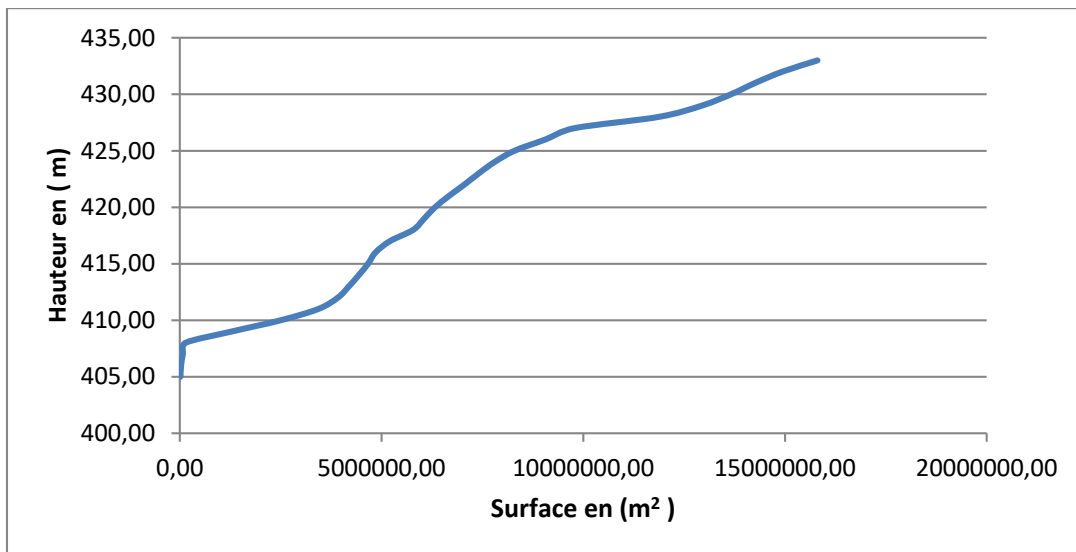


Figure 3.13: Courbe Hauteur - surface

Sur la figure 3.13 ci-dessus une augmentation irrégulière de la capacité est constatée à partir de la cote 408 m, ce qui explique le fond est irrégulier.

3.5.3. Evolution de la capacité et de la surface

La formule utilisée pour le calcul de l'évolution du pourcentage de la capacité (et de la surface) en fonction de l'altitude est définie comme suit :

$$(\%) \text{ d'évolution à la cote } (n) = \frac{\text{Volume à la cote } (n)}{\text{Volume à la cote } (n-1)} - 1 \dots \dots \dots (3.2)$$

3.5.3.1. Evolution de la capacité

La courbe d'évolution de la capacité de la retenue du barrage Ghrib en fonction des différentes altitudes est représentée sur la figure 3.14 suivante :

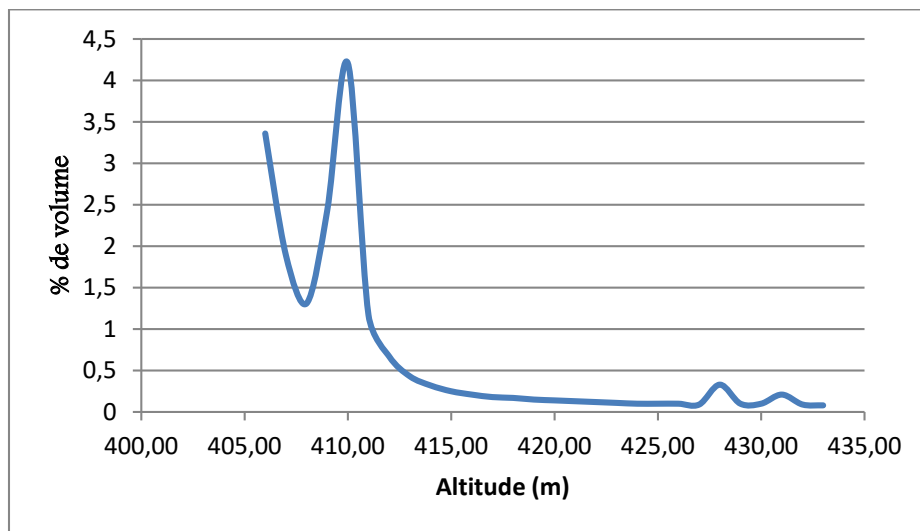


Figure 3.14 : Courbe d'évolution de la capacité de la retenue du barrage Ghrib

Nous observons sur la figure 3.13 ci-dessus que l'évolution de la capacité est irrégulière jusqu'à un pourcentage 4.21 %, correspondant à l'altitude 410 m à partir de cette dernière la courbe diminue jusqu'à 0,09 % correspond à la cote 432 m.

3.5.3.2. Evolution de la surface

La courbe d'évolution de la superficie est représentée sur la figure 3.15 suivante :

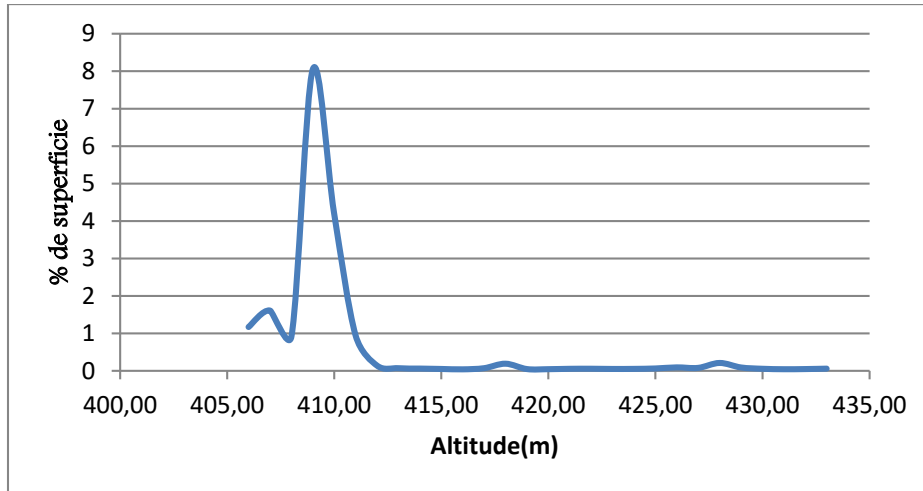


Figure 3.15 : Courbe d'évolution de la superficie

Sur la figure ci-dessus, le pourcentage d'évolution de la capacité atteint une valeur maximale de 8,05 % correspondant à une altitude 409 m à partir de laquelle la courbe diminue et se stabilise progressivement.

CHAPITRE 4

CARTOGRAPHIE DES PHÉNOMÈNES ÉROSION-DÉPÔT PAR L'APPLICATION MODEL-BUILDER

4.1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

4.1.1. Logiciels utilisés

Pour atteindre notre objectif, nous avons utilisés un certain nombre de logiciels d'information géographiques, à savoir :

4.1.1.1. Google Earth

Google Earth est une mappemonde virtuelle qui nous a permet de visualiser les images, enregistrées par satellite, de la plupart des endroits de la Planète. Que le lieu visité soit aperçu depuis l'espace ou à quelques mètres du sol, la précision des photos est surprenante. Au programme : images satellite, plans, cartes, images en relief et représentations 3D des bâtiments. Des informations supplémentaires peuvent êtres superposées à l'image satellite, comme les hôtels, les restaurants, les routes, etc. Ce logiciel nous a permis de convertir les données SIG au format KMZ et les exporter vers d'autres logiciels.

4.1.1.2. Mapinfo professional 10.5

Mapinfo est un logiciel convivial doté d'une interface graphique conviviale de type « pointer-cliquer ». Il fournit un ensemble d'outils pour visualiser, explorer, interroger, modifier et analyser des informations géographiques et présenter les résultats sur des documents cartographiques de qualité. C'est une application intégrant un ensemble de données prêts à l'emploi ; Il

permet de charger facilement des données localisées et tabulaires (littérales) et de les afficher sous forme de cartes, de tables ou de diagrammes.

Mapinfo est bien plus qu'un logiciel de cartographie. Il offre des outils performants d'analyse spatiale, de géocodage par adresse, de visualisation des résultats, de création et d'édition de données géographiques et tabulaires, de cartographie thématique et de mise en page. Les menus déroulants, les boutons et les outils d'interface utilisateur de Mapinfo permettent de travailler rapidement et efficacement [18].

Ce logiciel nous a bien servi surtout pour la délimitation de notre zone d'étude et particulièrement pour l'exportation des fichiers delimités vers goggle earth.

4.1.1.3. Global mapper V15.2

C'est un logiciel professionnel de cartographie. Il permet un accès direct à nombre de ressources satellites (Digital Globe, GlobeXplorer, AirPhotoUSA, Terra Server...). Il se lie avec un GPS pour une plus grande précision ou pour créer des cartes personnalisées.

Ce logiciel nous a permis en premier lieu, la lecture des fichiers KMZ pour obtenir le Modèle Numérique de Terrain (MNT) de notre région d'étude. Par la suite, il a permis également l'exportation de l'ensemble des fichiers créés, sous plusieurs formes : élévation, vecteur ou raster (DEM, Shape file...) [19].

4.1.1.4. Arc-Gis 10.2.1

Arc-GIS 10.2.1 est un logiciel qui nous permet d'effectuer toutes sortes de tâches SIG, y compris la cartographie, l'analyse géographique, l'édition de données (création, mise à jour,...), la gestion des données, la visualisation et le géo-traitement [19].

C'est un système d'information géographique très puissant qui permet de visualiser, interroger, analyser et mettre en page des différents types de données. Ce logiciel nous a permis de créer 'ensemble des cartes thématiques et particulièrement l'élaboration de la carte finale érosion – dépôt via l'application modele-builder.

4.1.2. Diagramme méthodologique

Pour atteindre les objectifs assignés dans cette étude, nous avons suivis les étapes illustrées sur le diagramme suivant :

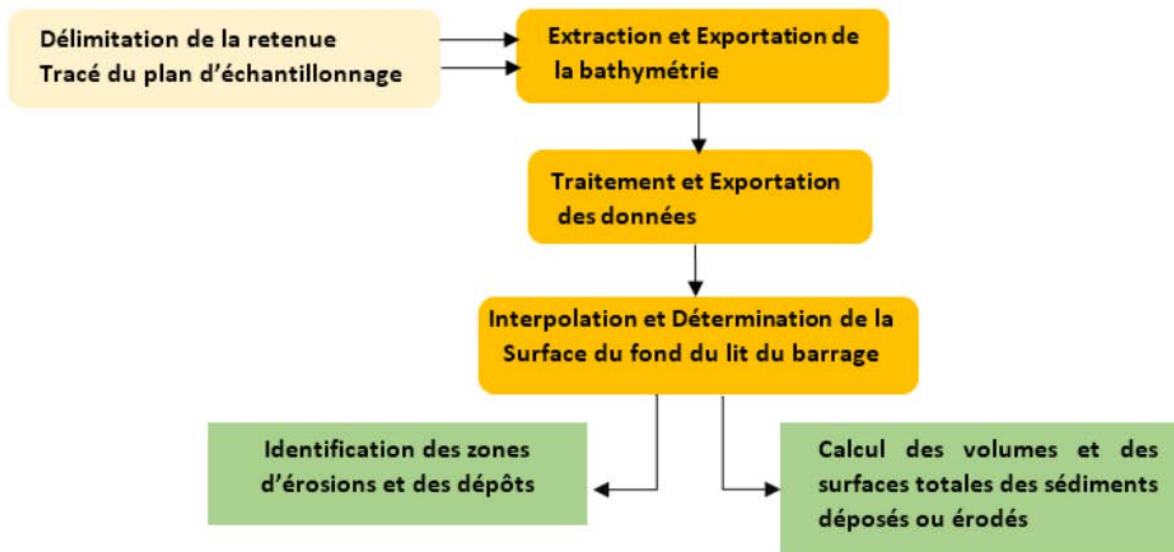


Figure 4.1 : Organigramme méthodologique [13]

4.2. ÉLABORATION DE LA CARTE ÉROSION-DÉPÔT

4.2.1. Utilisation de l'application modèle- builder

Non seulement Model-Builder est très utile pour la création et l'exécution de workflows simples, mais il fournit également des méthodes avancées permettant d'étendre les fonctionnalités d'ArcGIS grâce auxquelles vous pouvez créer et partager vos modèles en tant qu'outil [14]. Le schéma du modèle est représenté sur la figure 4.2 suivante :

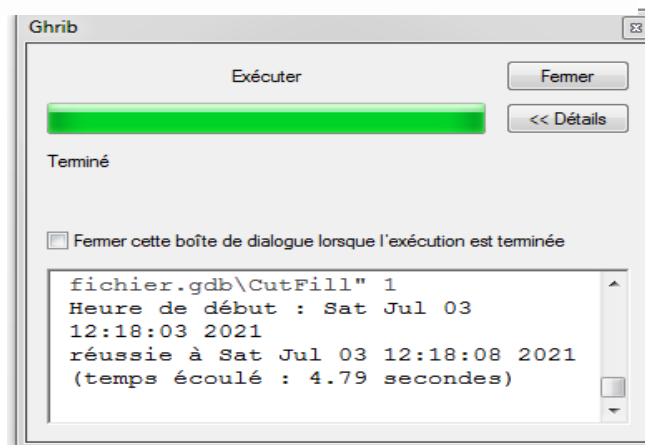
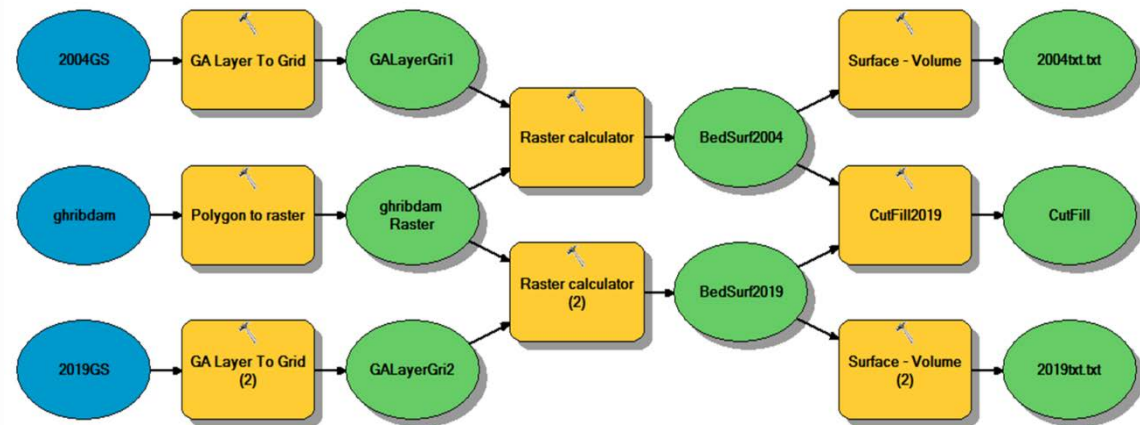


Figure 4.2 : Schéma de l'élaboration de la carte érosion dépôt par l'application model-builder sur ArcMap.

4.2.2. Edition de la carte

La carte Erosion-dépôt a été obtenue suite à l'exécution du modèle créé sur ArcGis (application model-builder). Cette carte (Figure 4.3) permet l'identification des zones d'érosion et de sédimentation au niveau de la retenue du barrage Ghrib. Les résultats obtenus montrent qu'une partie considérable de dépôts a été érodés et transportés sur le lit de l'oued Cheliff amont jusqu'à l'embouchure du barrage. La quantité des sédiments déposés au fond de la retenue est estimée à environ 17.47 Mm³.

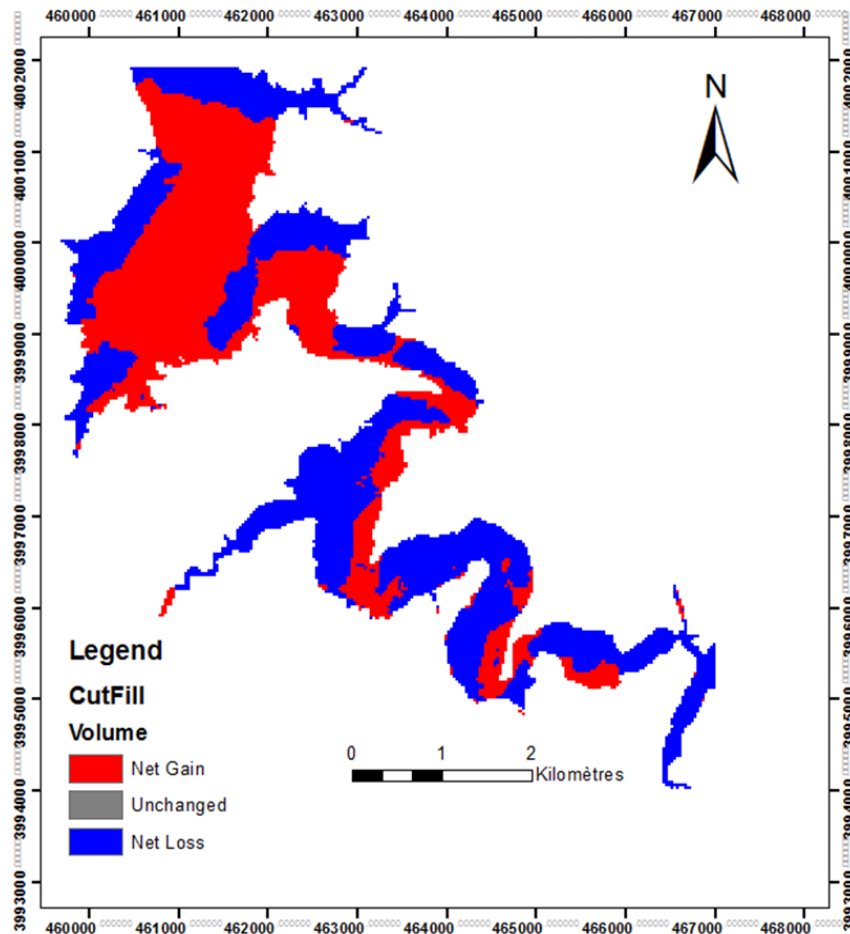


Figure 4.3 : Carte Dépôt – Erosion au niveau de la retenue du barrage Ghrib (Période 2004-2019)

4.2.3. Calcul des volumes des sédiments déposés ou érodés (2004-2019)

4.2.3.1. Volumes des dépôts

Le volume total des sédiments déposés au fond de la retenue Ghrib, durant la période 2004-2019 peut être calculé soit sur Excel, ou bien directement sur Arc Gis avec l'outil Statistiques sur la base de la table attributaire des surfaces et des volumes des dépôts (Figure 4.4).

VOLUME	AREA
0.521851	900
0	900
-0.769043	900
-1.18103	900
-1.373291	900
-3.213501	900
-3.488159	900
-3.625488	900
-4.53186	900
-4.724121	900
-5.877686	900
-5.905151	900
-6.015015	900
-6.317139	900
-8.843994	900
-11.206055	900
-14.859009	900
-15.518188	900
-15.957642	900
-16.204834	900
-17.578125	2700
-20.489502	900
-22.631836	900
-25.982666	900
-26.394653	1800
-31.503296	900
-35.897827	900
-42.901611	900
-43.286133	900
-43.533325	900
-44.439697	1800
-44.961548	900
-50.454712	900
-61.990356	900
-72.262573	900
-76.931763	900
-77.206421	900
-78.826904	900
-81.216431	900

Figure 4.4 : Table Volume- Surface.

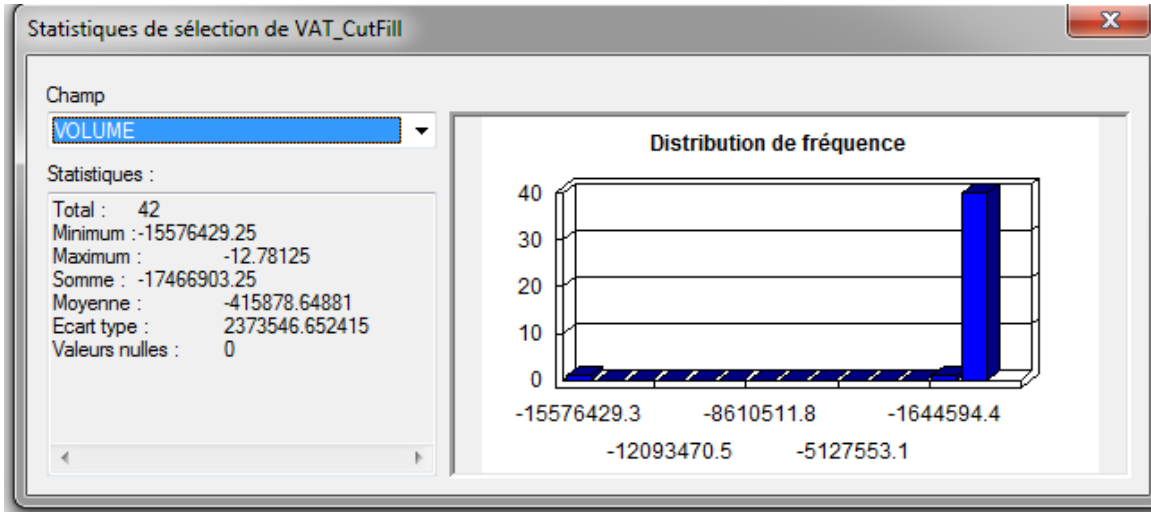


Figure 4.5 : Volume total des sédiments déposés (au fond de la retenue et au niveau du tronçon de l’oued amont).

Le volume des dépôts enregistré au niveau de la retenue du barrage Ghib est estimé à environ 15.62 Mm³ répartie sur une surface de 475.65 hectares. Cependant, au niveau de l’oued la quantité des sédiments déposés est beaucoup plus inférieure. Elle est estimée à 5.46 Mm³ répartie sur une surface de 145.92 hectares (Figure 4.6).

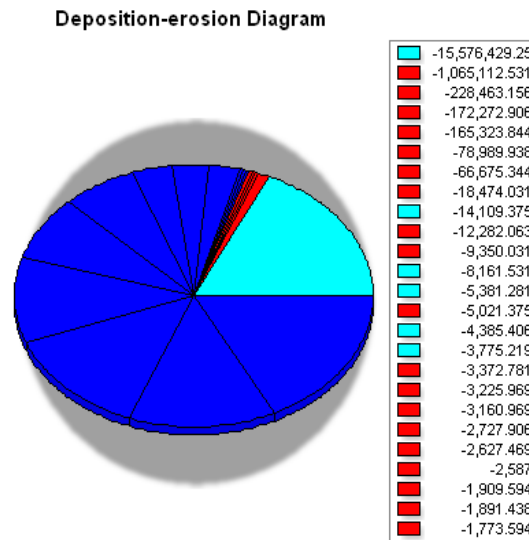


Figure 4.6 : Diagramme de Dépôt au niveau de la retenue et au niveau de l’oued amont.

4.2.3.2. Volume des sédiments érodés

Le volume total des sédiments arrachés, suite à la dégradation du fond de la retenue durant la période considérée est estimé à environ 69.48 Mm³ (Figure 4.7).

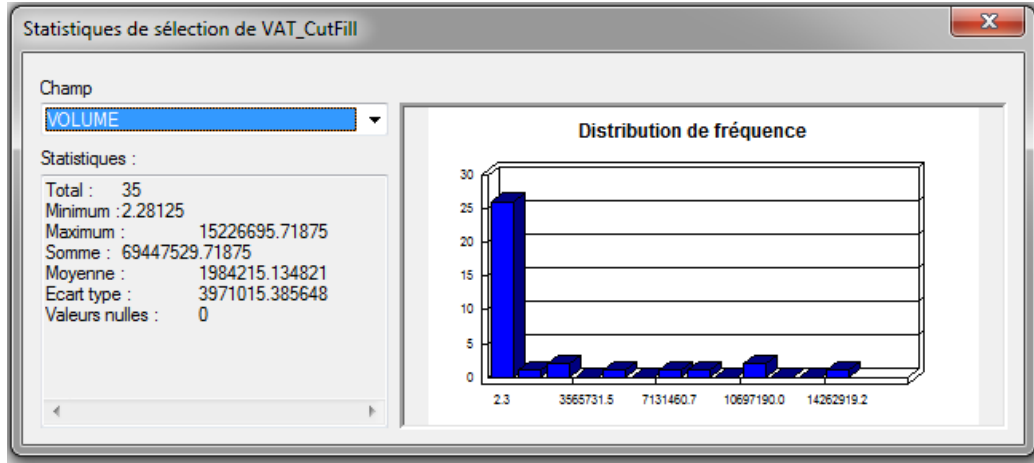


Figure 4.7 : Volume total des sédiments érodés.

En outre, le diagramme érosion –dépôt est représenté sur la figure 4.8 ci -dessous montre que le volume érodés au niveau de la retenue est encore plus important. Il est estimé à environ 44.25 Mm³ répartie sur une surface de 288.768 hectares. Ceci peut être dû à l’introduction des courants de densité importants au niveau de la retenue ou à l’ouverture des vannes de fond.

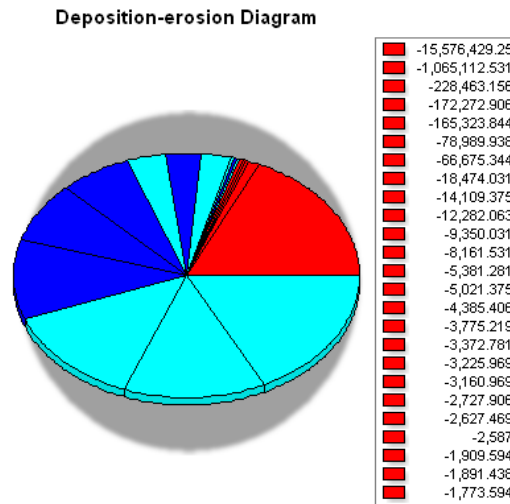


Figure 4.8 : Diagramme Erosion au niveau de la retenue et au niveau de l’oued amont Ghrib.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le barrage du Ghrib revêt une grande importance au développement de la région agricole du Chélif, cependant il figure parmi les barrages les plus envasés en Algérie.

En effet, depuis sa mise en service en 1939 il a perdu près de la moitié de sa capacité initiale estimée à 169.35 Hm³ à ce rythme sa mise hors service est inévitable dans peu de temps. Il est impératif d'envisager des démarches et moyens qui permettent d'estamper l'évolution du phénomène d'alluvionnement à l'échelle du bassin et l'envasement du réservoir à l'échelle de la retenue.

En outre, Le sous bassin Cheliff Ghrib est caractérisé par une superficie de 1395 Km², avec une forme allongée et un indice de compacité égale à 1.32 favorisant un écoulement lent des eaux des ruissellements. Son relief est accidenté et fort suite à la valeur de la dénivelée spécifique calculée estimée à 364,61 m. Le modèle numérique du terrain (MNT) a donné une altitude maximale de 1604 m, et une altitude minimale de 370 m. quant à elle, L'analyse hypsométrique nous a donné une vue démonstrative du relief du sous bassin Ghrib qui est fort et semi-aride.

L'analyse de l'état d'envasement du barrage Ghrib nous a démontré un état avancé d'envasement estimé à 50,28 % de sa capacité initiale en 2004.

Par ailleurs, le taux de comblement enregistré durant les 15 dernières années (2004-2019) a été estimé à environ 39,51 %.

La cartographie du fond de la retenue du barrage Ghrib a été effectuée et la carte Erosion-Dépôt a été élaborée. Cette dernière nous a permis l'identification des zones d'érosion et de dépôts. Le volume des sédiments

déposés est évalué à environ 15,62 Mm³. Cependant, le volume érodé est estimé à 44,26 Mm³.

A cet effet, il faut arrêter ou bien minimiser le taux d'envasement au niveau du barrage Ghrib, afin de Lui permettre une autre longévité prévisionnelle, dans l'attente de trouver des solutions adéquates à savoir le reboisement au niveau du bassin versant, traitement des cours d'eau....etc, tout cela pour préserver ce fameux ouvrage.

Références bibliographiques

- [1] Gréco, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie: MARA, 1966 p. 393.
- [2] Kara .B et Nemdili .A Colloque international sur la lutte contre l’envasement des barrages -m’sila les 23-24 Juin 2014 - p1-2
- [3]Leberon, Dynamique fluviale. Paris : Eyrolles1974; p.209
- [4] Hug, Mécanique de fluide appliquée: Dunod. Paris1975.p1-2
- [5] Elahcen, Etude du transport solide par charriage et en suspension dans le bassin versant de l'oued Bellah –Tipaza-. Alger 2013.p.23
- [6]Lekfir, Quantification du transport solide par la technique floue, application au barrage de Beni Amrane (Algérie) 2005 p. 247-257.
- [7]Agence Nationale Des Barrages Et Transferts / Ghrib 1ER TRIMESTRE 2018),pp36-37-38
- [8] ANRH, 2016, fiche technique du barrage Ghrib;p2.
- [9] Guerra, A.J.T. et Cunha S.B, « Processus érosifs sur les pentes. Géomorphologie: actualisation de bases et concepts », Bertrand Brésil, Rio de Janeiro, 7^{ème} Edition, (1998), pp. 149-209
- [10]Agence Du Bassin Hydrographique Cheliff Zahrez, A.B.H. « Cadastre hydraulique du bassin Hydrographique du Cheliff- Aval du barrage de Boughzoul », (2004), 62p.
- [11] Benkaci S., « Impact Du Transport Solide Sur L’évolution Des Dépôts Vaseux Dans Les Barrages » Thèse de doctorat en sciences. (2017), 169 p.
- [12] Agir pour la Diable. 2005. Agir contre l'érosion. Agir pour la diable. [En ligne] 2005. [Citation : 15 03 2017.] http://www.agirpouurladiable.org/html/do_erosion.html.
- [13] Transport des Sédiments de L'Indre (www.geocaching.com)
- [14] <https://ltp-geniecivil-gabions.fr>

[15] Echemim.C- Chettir.N, « Contribution à l'étude théorique d'un nouveau système de dévasement des barrages et ports »; (2020), 20p.

[16] Azzi.F. « Contribution à l'étude prédictive de l'envasement et la durabilité du barrage du Ghrib ».2016, 110 p.

[17]<https://www.aps.dz/economie/124643-barrages-une-campagne-de-devasement-de-38-millions-de-m3-en-cours>.

[18]Cheridi.L et Djebouri.T « simulation unidimensionnelle du transport solide avec HEC-RAS 4.10 application au sous bassin de l'oued cheliff –Ghrib » ,2016 ,110p.