

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE EL-OUED

DEPARTEMENT HYDRAULIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES



En vue de l'obtention du diplôme master en hydraulique

OPTION : Ouvrage hydraulique

Thème

**Etude d'évolution de l'envasement
dans le Barrage De Fontaine Des
Gazelles -W- Biskra).**

Présenté par:

HAFI Tahar

BOUHOREIRA Bachir

ATIA Amara

Dirigé par :

Mr.Mohammed SayahLembarek

2021

Remerciement

Nous commençons par remercier Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et l'amour du savoir pour pouvoir réaliser ce modeste travail.

*Nos plus vifs remerciements vont à **Mr. Mohammad Sayahlembarek.***

pour avoir accepté de nous encadrer et nous diriger tout en long de la réalisation de ce projet. Aux membres du jury qui ont bien voulu examiner notre Travail.

Nos profonds respects à tous les enseignants du département d'hydraulique qui ont contribué à notre formation.

*Enfin un grand merci à **Mr. Barbari Khalifa** le chef section gestion de ressource du barrage de Fontaine Des Gazelles – BISKRA –*

Tahar* Bachir* Amara

Résumé

En raison de l'importance économique des barrages en particulier dans les régions arides et semi ardes ils sont exposés à des problèmes d'envasement et évaporation comme c'est le cas dans Barrage de Fontaine des gazelles.

Le présent travail a pour objet d'estimer l'envasement du Fontaine des gazelles atteint durant chaque année, à travers une évaluation de l'érosion de bassin d'Oued el Hai, ou' environ 0,25million de mètres cubes étaient déposés annuellement sur la base de lève bathymétrique réalisée par Agence National des Barrages et des Transferts vers e réservoir de barrage doit protégé du risque de l'envasement et ainsi assurer la durée de vie la plus longue possible pour cette réalisation.

Mots clés : Barrage, Fontaine des gazelles, Erosion, l'envasement, Réservoir.

Abstract

Due to the economic importance of dams, especially in arid and semi-arid regions, they are exposed to problems of siltation and evaporation as is the case Mannba Elgozlane dam.

This study included an assessment of the erosion stream in the El Hai basin, where about 0,25 million cubic meters were des posited annually based on the bathymetry surveys conducted by the National Agency for dams and Transfers to the dams reservoir therefore, he must protect the dam form the risk of siltation and the thus ensure the longest possible life for this vital achievement.

Keywords: Dam – Mannba Elgozlane- the erosion -Siltation - Evolution – Reservoir.

ملخص

نظرا للأهمية الاقتصادية لسدود وخصوصا في المناطق الجافة والشبه جافة إلا أنها تتعرض الى مشاكل كا التو حل والتبخر كما هو الحال في سد منبع الغزلان.

تضمنت هذه الدراسة تقييم تآكل مستجمعات المياه في حوض وادي الحي حيث تم إيداع حوالي 0.25 مليون متر مكعب سنويا بناء على مسح قياس الأعماق التي أجرتها الوكالة الوطنية للسدود والتحويلات على خزان السد لذلك يتوجب عليه حماية السد من خطر التو حل وبالتالي ضمان أطول عمر ممكن لهذا الانجاز الحيوي الهام.

كلمات مفتاحيه: سد- منبع الغزلان- تآكل- التو حل- خزان.

Sommaire

Dédicace

Remerciement

Sommaire

Liste des Tableaux

Listes des Figures

Liste des Formules

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I: Présentation du barrage de Fontaine Des Gazelles

Introduction 4

I.1. Barrage de Fontaine Des Gazelles : 4

I.1.1. Situation géographique du barrage : 4

I.1.2. Historique De La Construction de Fontaine Des Gazelles : 5

I.1.3. Exploitation des eaux du barrage de Fontaine Des Gazelles : 5

I.1.4. Équipement hydro pluviométrique du barrage de Fontaine Des Gazelles: 6

I.1.5. Les caractéristiques géologiques de la cuvette du barrage: 6

I.1.6. Type de sol du Fontaine Des Gazelles: 6

I.2. Description du Bassin versant d'Oued El Hai : 7

I.2.1. Situation géographique : 7

I.2.2. Caractéristique physiographiques et morpho métriques du bassin : 8

I.2.2.1. La forme du bassin d'Oued El Hai: 8

I.2.2.2. La courbe hypsométrique : 11

I.2.2.3. Le réseau hydrographique d'Oued El Hai "Chevelu hydrographique" 12

I.3. Hydro climatologie du bassin versant d'Oued El Hai: 15

I.3.1 Climat : 15

I.3.2. Les températures : 15

I.3.3. précipitation : 16

I.3.4. Le vent :	17
I.3.5. Humidité de l'aire.....	18
I.3.6. Le couvert végétal :	18
I.4. Les caractéristiques géologiques et lithologiques du bassin :	19
I.4.1. Structure géologique du bassin versant :	19
I.4.2 Domaine morpho-structurale.....	19
I.4.3. Stratigraphie :	19
I.4.2.1. la lithologie:	19
I.4.2.2. la perméabilité :	21
Conclusion	21

CHAPITRE II : Recherche Bibliographique

II.1. Introduction :	24
II.2. Les Barrages:	24
II.2.2.Définition:	24
II.2.2.Le bassin versant:	25
II.2.3.La cuvette (retenue):	25
II.2.4.Eléments constructifs d'un barrage :	25
II.2.4.1. Corps du barrage :	25
II.2.5.Types de barrages :	25
II.2.6.Le but d'utilisation des barrages :	27
II.3.Envasement Des barrages :	28
II.3.1. Définition :	28
II.3.2.Problématique de l'envasement.....	28
II.3.3.Etapes de l'envasement d'un barrage :	29
II.3.4.Notion d'érosion et de transport solide :	30
II.3.4.1.L'érosion:	30
II.3.4.2. Effets visibles de l'érosion hydrique	30

II.3.4.3.Types d'érosion:	31
II.3.4.4.Transport solide :	32
II.3.4.5.Modes de transport solide :	32
II.3.5. les sédiments:	33
II.3.6. Piégeage des sédiments:	33
II.4. l'envasement:	34
II.4.1. Généralité:	34
II.4.2. Mécanisme de l'envasement :	34
II.5. Problèmes posés par l'envasement des barrages :	35
II.5.1. Réduction de la capacité :	35
II.5.2. Blocage des vannes de fond :	36
II.5.3. Envasement des canaux d'irrigation :	36
II.5.4. Impact de l'envasement sur la qualité de l'eau du barrage :	37
II.6. Moyens techniques de lutte contre l'envasement :	38
II.6.1. Aménagement des bassins versants :	38
II.6.2. Dévasement des barrages :	38
II.6.3. La surélévation du barrage	39
II.7. Conclusion	41

Chapitre III :Méthodes l'estimation de l'envasement dans les barrage

III.1.Introduction :	44
III.2. Méthodes de détermination de l'envasement:	44
III.2. 1. Bathymétrie par nivellement:	43
III.2.2. Bathymétries par sondeurs : « Echosondeur bathymétrique »	46
III.3.Quantification de l'érosion:	47
III.3.1. Formule Universelle de perte en sol.....	47
III.3.2.Formule de Fournier (1960)	48

III.3.3. Formule de Tixeront:	48
III.3.4. Formule de Sogreah :	48
III.3.5. Formule de L'A.N.R.H (1970) :	48
III.3.6. Le volume mort :	50
III.4. Les travaux antérieurs sur l'envasement :	51
III.4.1. Travaux de Heusch B et Millies-Lacroix A en 1971 :	51
III.4.2. Travaux de Valembois J et Migniot C en 1975 :	51
III.4.3. Travaux de Demmak A en 1982 :	51
III.4.4. Travaux de Bourouba.M en 1993, 1994, 1996, 1997, 1998 :	52
III.4.5. Travaux de Remini B en 1997 :	52
III.4.6. Travaux de Benblidia en 2001 :	52
III.4.7. Travaux de Morsli B et Mazour M et Mededjel N et Hamoudi A et Roose E en 2004 :	52
III.4.8. Travaux de Remini B et Leduc C et Hallouche W en 2009 :	52
III.4.9. Travaux de Ghenim A et Seddini A. et Terfous A en 2008 :	54
III.4.10. Travaux de Serbah B en 2011 :	54
III.5. Conclusion :	54

CHAPITRE IV: Etude De l'envasement de Fontaine Des Gazelles

IV.1. Introduction	57
IV.2. Mécanisme De l'envasement le barrage de Fontaine Des Gazelles:	58
IV.2.1. Erosion et sapement des berges :	58
IV.2.1. 1. Les types des sols	58
IV.2.1.2. l'érosion :	59
IV.3. Données de base pour d'estimation de l'envasement :	62
IV.3.1. Les apports :	62
IV.3.1.1. Apports liquides :	62

IV.3.1.2 Apports solides :.....	62
IV.3.1.3 Quantités des apports :	62
IV.3.2. Les caractéristiques techniques de Fontaine Des Gazelles:	63
IV.3.3. Levé Bathymétrique :	64
IV.3.4. Utilisation des données de l'envasement.....	65
IV.3. 4.1 Evolution de l'envasement dans le barrage de Fontaine Des Gazelles	65
IV.3.4.2. D'estimation de l'envasement :	65
IV.4. Plan de protection du Barrage de Fontaine des gazelles contre l'envasement.....	67
IV.4.1 Intervention Rapids.....	68
IV.4.2. Intervention de Moyen terme.....	69
IV.4.3. Proposition a long terme.....	69
IV.4.4. Proposition scientifique.....	71
IV.4.Conclusion	73
CONCLUSION GÉNÉRALE	72
Références bibliographiques	74

Liste Des Tableaux

Tableau I.1: Répartition des classes des pentes.....	9
Tableau I.2: la densité de drainage.....	14
Tableau I.3: Les valeurs de température mensuelles.....	15
Tableau I.4: Les moyennes de précipitation de Biskra.....	16
Tableau I.5: Moyennes mensuelles de vitesse du vent de Biskra.....	17
Tableau I.6: Moyenne mensuelle de l'humidité relative de Biskra.....	18
Tableau I.7: Le classement des formations selon leurs résistances.....	20
Tableau I.8: la perméabilité des formations	21
Tableau II.1: les types des barrages.....	24
Tableau II.2: Envasement moyen annuel des barrages Algériens ANBT	40
Tableau III.1: Valeurs de α pour différentes perméabilités	48
Tableau IV.1: Récapitulation de la dégradation dans le B.V de O. El-Hai.....	58
Tableau IV.2: Dégradation spécifique du Bassin versant de Oued .El-Hai.....	64

Listes des Figures

Figure I.1: barrage de Fontaine Des Gazelles.....	4
Figure I.2: Localisation et représentation photographique des stations prospectées dans le sous bassin versant de l'oued El Hai.....	7
Figure I.3: la carte localisation de l'oued El Hai.....	8
Figure I.4: coupes topographiques du Bassin versant Oued ELHAI.....	10
Figure I.5: Bassin versant de Oued El Haï Carte des pentes.....	11
Figure I.6: les courbes hypsométriques.....	12
Figure I.7: La carte de densité de drainage.....	13
Figure I.8: profil topographique Talweg principale.....	14
Figure I.9: Les valeurs de température mensuelles.....	16
Figure I.10: Précipitations moyennes mensuelles de Biskra.....	17
Figure I.11: Moyennes mensuelles de vitesse du vent de Biskra.....	17
Figure I.12: Moyennes mensuelles de l'humidité relative de Biskra.....	18
Figure I.13: Carte lithologique Bassin versant de Oued El Haï	20
Figure II.1: Schéma d'un barrage en béton-type poids.....	26
Figure II.2: D'un barrage en béton-type voûte	26
Figure II.3: Dépôt de vase.....	28
Figure II.4: Sensibilité à l'envasement des barrages.....	29
Figure II.5: Processus d'envasement d'un barrage réservoir	30
Figure II.6: Différents modes du transport solide.....	33
Figure II.7: Comportement des sédiments grossiers.....	34
Figure II.8: Comportement des sédiments fins.....	35
Figure II.9: Blocage des vannes de fond.....	36
Figure II.10: Curage d'un canal par les moyens mécaniques.....	37

Figure II.11: Couleur verdâtre de l'eau du barrage de SMBA.....	37
Figure II.12: La drague est au centre de la retenue du barrage.....	39
Figure III.1: Schématisation de la bathymétrie par nivellement.....	44
Figure III.2: Estimation de l'envasement par la méthode de nivellement.....	45
Figure III.3: Schématisation de la bathymétrie par échosondeur.....	45
Figure IV.1: Image satellitaire de Fontaine Des Gazelles.....	55
Figure IV.2: La carte d'érosion le Bassin versant de Oued El-Hai.....	58
Figure IV.3: Oued El-Hai.....	59
Figure IV.4: Quantités des apports annuels au barrage de Fontaine Des Gazelles.....	60
Figure IV.5: Quantités annuelles évacuées par la vanne de fond.....	61
Figure IV.6: Evolution de l'envasement dans la retenue barrage de Fontaine Des Gazelles..	63
Figure IV.7: Dégradation spécifique du Bassin versant de Oued .El-Hai.....	65
Figure IV.8: Figure 36:Méthode de chasse des sédiments parla vidange de fond.....	67
Figure IV.9: Plan de protection du Barrage de Fontaine des gazelles contre l'envasement.....	69

Liste des Formules

Numéro	La Formule	Page
III.1	$V = S * L (1.8)$	44
III.5	$Ass = 354.E^{0.15}$	47
III.8	$Le = \frac{Pa^3}{3 \times ETP^2}$	48
III.9	$Lr = Pa(1 - 10^{-k(Pa)^2})$	49
III.10	$K = 0.18 - 0.01 \text{Log}10Sb$	49
III.3	$As = \frac{1}{36} \cdot \left(\frac{Ph^2}{Pa}\right)^{2.65} \cdot \left(\frac{h^2}{Sb}\right)^{0.46}$	47
III.6	$Ass = 92.E^{0.21}$	47
III.7	$Ass = 200. E$	47
III.12	$V_{mort} = \frac{Ta. S. N}{\gamma_s}$	49
III.11	$T_{ss} = 26.62Le + 5.07lp + 9.77Ct - 593.5$	49
IV.2	$Ds = \frac{Vv.T}{N.S}$	63

INTRODUCTION GENERALE

L'Algérie comptera prochainement un nombre important de barrages de toutes catégories et de toutes dimensions. Malheureusement cette richesse se dégrade de jour en jour par la sédimentation accélérée. L'érosion des bassins versants en amont des retenues, sous toutes ses formes ; laminaire, en rigole, en ravine, des berges, glissement de terrains, coulées de boue, etc..., est à l'origine de l'envasement de ses dernières. Les conséquences de l'érosion ne se limitent pas seulement à l'envasement des retenues, mais contribue aussi à la perte de la couche arable, la plus fertile du sol, en diminuant sa productivité et dégradant la qualité des eaux de surface, ce qui affecte alors les infrastructures en aval telles que les usines de traitement d'eau potable, les centrales hydroélectriques et les barrages. Ce dernier problème touche particulièrement les pays du Maghreb. En Algérie, une réduction de 20% de la capacité initiale de stockage était liée à l'envasement des retenues depuis la construction des barrages. (Benblidia, Salem & Demmak, 2001).

La construction du barrage fontaine des gazelles entre El-Kantara et El Outaya a pour conséquence L'emmagasinement des eaux de surface du bassin versant d'Oued EL Hai qui a été la mise en eau depuis 25mai2000, ces eaux servent à irriguer la vaste plaine d'El Outaya permettent ainsi la mise en valeur de millier d'hectare de terre agricole.

Le bassin versant d'Oued El-Hai couvre une superficie de 1660 km² et possède un Périmètre de 193 km. Ce bassin versant est constitué par un relief très accidenté, Le bassin versant d'Oued El-Hai se situe dans le piémont Sud des Aurès ; il fait partie du grand bassin hydrographique de Chott Melghir.

Suite à la forte érosion hydrique dans le bassin versant d'Oued EL Hai, une quantité considérable de sédiment est drainée directement dans la retenue de barrage fontaine des gazelles. Ces dépôts posent des problèmes au barrage, tel que la déstabilisation de la digue, la diminution du volume utile d'eau de stockage, l'obturation des pertuis de vidange et le colmatage des canaux d'irrigation.

L'objectif de notre travail est bien l'estimation de l'envasement pendant plusieurs années, et les techniques de dévasements nous avons utilisée sont des levées bathymétriques Des données de 4 levées bathymétriques (1985-1993-2001-2004) et du bilan hydrologique, des données sur les débits de la suspension évacué durant la période :1984-2020 ont été mis à notre disposition par l'Agence Nationale des Barrages.

Le mémoire s'articule en quatre chapitres :

Chapitre 1 :aborde une présentation générale du Barrage fontaine des gazelles - et du bassin versant d'Oued EL Hai (situation géographique, étude morpho métrique, étude géologique).

Chapitre 2 : Recherche Bibliographique sur les barrages et dès l'envasement.

Chapitre 3 : Méthodes d'estimation de l'envasement dans les barrages et Les travaux antérieurs sur l'envasement (1969-2011).

Chapitre 4: Etude De l'envasement des barrage fontaine des gazelles, Ce que nous avons abordé : Mécanisme De l'envasement, Données de base pour d'estimation de l'envasement, Evolution de l'envasement, Techniques dévasement du barrage de fontaine des gazelles.

Enfin une conclusion générale sera donnée à la fin du travail.

CHAPITRE I :

Présentation du barrage Fontaine des Gazelles

I.1. Barrage de Fontaine des Gazelles :

Introduction :

Ce chapitre constitue un rapport sur la situation du barrage de Fontaine des Gazelles, et de donner le détail du barrage sur la base des informations collectées au près de service du barrage.

I.1.1 Situation géographique du Barrage de fontaine des gazelles :

Le Barrage de Fontaine des Gazelles est situé à 35 kilomètres au Nord Est de la ville de Biskra, Il a été construit sur l'oued El-Hai. Le bassin versant de Oued EL-Hai, appartient au grand bassin du Chott Melghir. Ce bassin s'étale sur une superficie de 1660 km². Il est limité au Nord par la daïra de Batna, celle de Merouana, au Sud par la Wilaya de Biskra, à l'Ouest par la daïra de N'Gaous et les de Merouana, au Sud par la Wilaya de Biskra, à l'Ouest par la daïra de N'Gaous et les Tamarins et Barika, à l'Est par Tazoult, Arris et Menaâ. Il prend naissance dans les monts de Batna ;Chaaba et Ain touta et a pour affluents principaux : Oued Tilatou, Oued Fadhala qui convergent pour former Oued El Hai. En fin se jette dans la plaine de loutayaa travers un réseau hydrographique forme essentiellement par Oued El-Hai et alimentant le barrage des fontaines des Gazelles. La limite de la zone d'étude par rapport aux coordonnées géographiques est donnée suivant la carte topographique de Batna et Barika à l'échelle, 1/200.000 : Latitude :35° 5 53 et 35° 35' 21 Nord, Longitude : 5° 30' et 6° 17' 36 Est sur le plan administratif ; il s'étale sur deux wilayas ; celle de Batna avec une superficie de 1314 km²et celle de Biskra de l'ordre 346 km², où la superficie totale est environ de 1660 km². (Figure I.1) .



Figure I.1 : barrage de Fontaine des Gazelles (2021).

I.1.2. Historique De La Construction Du Barrage de Fontaine des Gazelles:

Le barrage destiné à l'irrigation, régularise les apports de l'oued El Hai. L'aménagement est constitué d'une digue à noyau central en argile et recharges en alluvions, d'évacuateur de crue de surface en rive droite et d'un ouvrage de prise comportant une tour de prise et une galerie.

L'aménagement est destiné à l'irrigation gravitaire du périmètre d'El-Outaya :

- Par vidange - Quota pour l'irrigation des terres agricole pour un volume de 4 Hm³
- Par conduite - Dotation annuelle pour la campagne d'irrigation en 2011 = 10 hm³

* Historique des travaux

- Début de construction : 1986
- Année de mise en Eau : 2000

Inauguré par son excellence le président de la république en date du 08/06/2001.

- Date de début d'exploitation : Janvier 2006 (ANBT, 2004)

* Bureaux d'étude :

- A.P.D : HYDROCONSULT Tchécoslovaquie
- Etude : I L F Autriche 1986-1990
- Etude : TRACTEBEL Belgique 1993-2000
- Suivi des travaux : Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT)

* Entreprises de réalisation :

- 1986 à 1990 ENERGOPROJEKT Yougoslavie.
- 1992 à 2000 HYDROTECHNIQUE Algérie
- Hydromécanique : ENCC Cote rouge Algérie

I.1.3. Exploitation des eaux du barrage de Fontaine des Gazelles :

La gestion de la conduite principale, au niveau du barrage est gérée par l'ANBT. Cette conduite part du barrage pour arriver au périmètre (26 km). Au delà, c'est à l'Office National d'Irrigation et de Drainage (ONID) qu'incombe la responsabilité de la gestion de l'eau et de la conduite. A ces 880 ha identifiés par l'étude pédologique ont été rattachés 70 ha irrigués par 3 piquages sur la conduite maîtresse desservant respectivement la zone de Megraoua (58 ha), la ferme Driss Amor (5 ha) et la palmeraie de Smala (7 ha). La superficie totale irrigable est donc de 950 ha. Par ailleurs, la construction du barrage (Fontaine des Gazelles) s'est traduite par un assèchement des puits réalisés dans l'oued pour l'irrigation des palmeraies existantes ; aussi pour les sauvegarder, 5 piquages ont été créés le long de l'adduction. Ces derniers permettront la desserte de 5 chapelets de palmeraies (Sellami, AbdEnabi, Amara, Bourada, El Outaya) couvrant une superficie de 187 ha. La surface irrigable est, de ce fait, portée à 1.137 ha, Au niveau de la wilaya de Biskra, le périmètre n'occupe que 1 % de la superficie irriguée qui est estimée à 110.000 ha pour une SAU de 200.000 ha. L'on se rend compte de l'effort fourni pour permettre à la wilaya d'avoir un rayonnement agricole à l'échelle régionale voire même national, ce qui est perceptible pour celui qui se rend au marché de gros des fruits et légumes d'El Ghrous où affluent des camions et camionnettes en provenance de wilayas très éloignées (même celles de l'ouest du pays) pour s'y approvisionner.

I.1.4. Équipement hydro pluviométrique du barrage de Fontaine des Gazelles:

I.1.5. Les caractéristiques géologiques de la cuvette du barrage:

Le barrage de la Fontaine des gazelles appartient aux mêmes formations rocheuses qui constituent les principaux reliefs de la wilaya de Biskra (Amri, 2006). Selon Sedrati (2011), la géologie de la wilaya de Biskra se caractérise par des formations d'origine sédimentaire à prédominance de sédiments carbonatés. Les calcaires massifs de demi cluse d'El-kantara reviennent au Maestrichtien avec une épaisseur de 340 mètre vers le Sud, surmontés par des formations de l'oligocène, miocène et quaternaire, formées essentiellement par des marnes, galets, alluvions, argile et sables (Guiraud, 1973 : in Rerboudj, 2005)

I.1.6. Type de sol :

Selon Rerboudj (2005), les sols de barrage de Fontaine des Gazelles sont : lithosols qui repose sur un substratum marno -calcaire, calcaire-marneux, calcaire massif ou marne et dans les hautes montagnes Il caractérise par une texture grossière. Sols d'apports éoliens couvrent 9.05% de superficie au sud Ouest du bassin versant d'Oued El Hai près de barrage Sa profondeur est faible. Les sols au niveau du barrage de la Fontaine des gazelles sont de type halomorphe à structure non dégradée salins relativement profonds, ils sont dominés par l'évolution, soit par la présence de sels solubles, dont la teneur élevée provoque une modification importante de la végétation. Ils se distinguent par leur forte salinité, ils sont calcarifères et une charge graveleuse d'environ 20 % dans les premiers horizons pédologiques ((Anonyme, 2002) in : Amri, 2006).

I.2. Description du Bassin versant de l'oued El Haï:

I.2.1. Situation géographique :

Le bassin versant de l'oued El Haï se situe dans le piedmont sud des Aurès ; il fait partie du grand bassin hydrographique de Chott Melghir, avec une surface d'environ 1660 km². Il est limité au Nord par le bassin versant des hauts plateaux constantinois, à l'Est par le bassin versant de l'oued Abdi et à l'ouest par le bassin versant de Chott El Hodna. Oued El Haï est situé entre les wilayas de Batna et Biskra entre les latitudes de 35° 5" 53" et 35° 35" 21" Nord et les longitudes 5° 30' et 6° 17' 36" Est (Figure I.2) . Il prend son origine sur les flancs de l'Atlas Saharien, qui à son tour prend sa naissance du confluent de deux oueds : oued Fedhala issu du djebel Ich Ali (1815m) et l'oued Tilatou qui descend des monts de Bellezma (2091m), et coule sur une longueur de 73,43 km. (Figure I.3) .

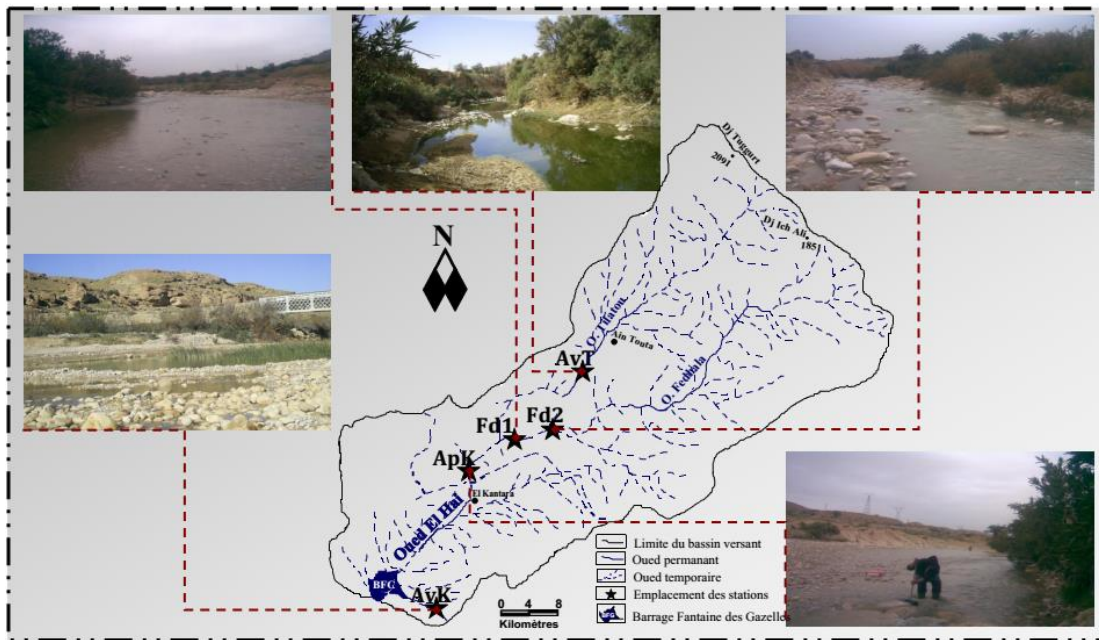


Figure I.2: Localisation et représentation photographique des stations prospectées dans le sous bassin versant de l'oued El Hai (Bebba, 2017).

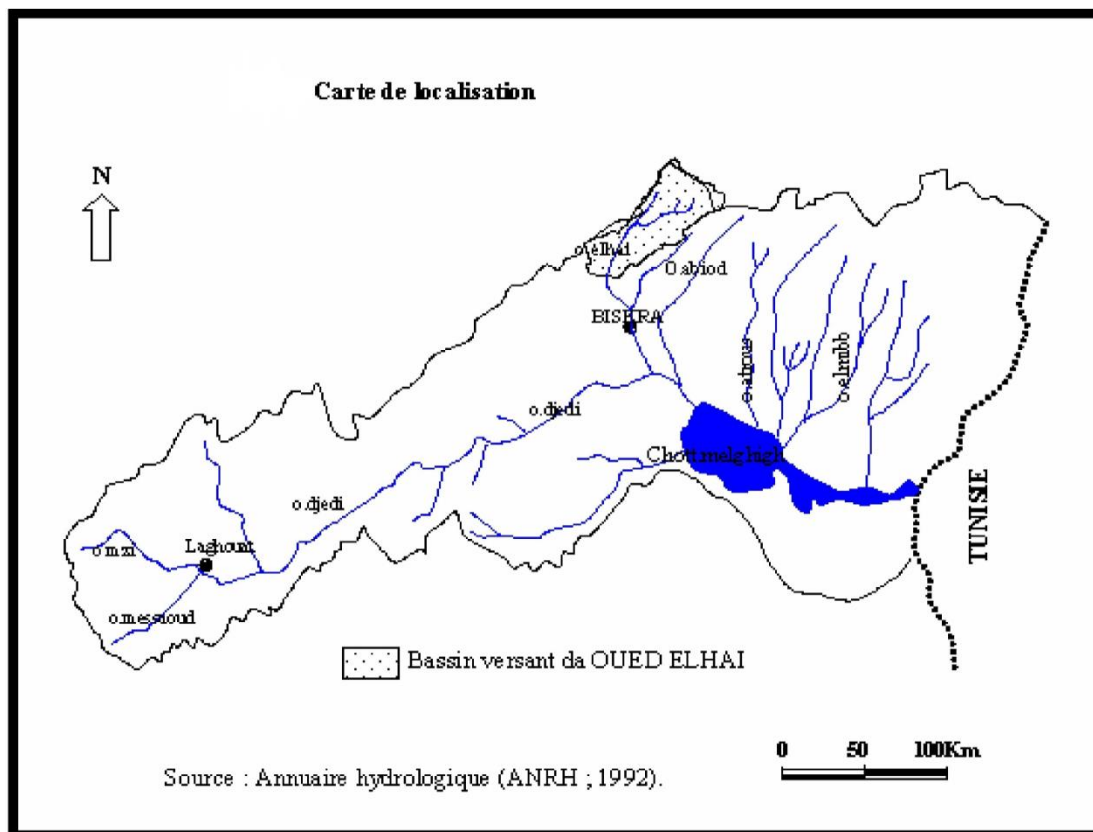


Figure I.3: carte localisation de l'oued El Hai

I.2.2. Caractéristique physiographiques et morpho métriques du bassin :

I.2.2.1. La forme du bassin l'oued El Haï :

-TOPOGRAPHIE:

Les différents paramètres topographiques reflètent souvent la réponse du Bassin versant sur la mobilité des matériaux; notamment sur l'accélération de la pesanteur.

- **LE RELIEF** : l'examen de la carte topographique (Figure I.4), fait apparaître les unités suivantes :

A- Les montagnes :caractérisées par un enchaînement des massifs; d'une orientation générale NE-SO, avec une décroissance d'altitude du nord vers le sud. On peut citer à titre d'exemple: Les Monts de Bel ezma au nord ; dans les quelles l'altitude maximal atteint 2091m. (Dj. Tuggurt).Dans Les monts de Metlili le pique atteint 1496m à l'ouest. Au sud Dj. Bous 1789m, à l'Est RAS ELKROUCH 1508m, Dj. El Malou 2091m et Dj. ELRherah 1865m.

B- Les piedmonts :constituent la plus grande partie de la zone d'étude, Sont en générale avec un profil irrégulier en particulier l'exposition Nord et Nord-ouest ; dans ces conditions on attendant une dynamique active.

C- Les plaines :deux plaines se distinguent; l'une entre Batna et Ain Touta avec environ 36 Km de longueur et une largeur variant entre 6 à 8Km, et l'autre au sud ; c'est la plaine entre El-kantara jusque au site du barrage «fontaine des gazelles » le long de oued El-Hai .Les coupes topographiques (Figure I.4) .

-**Les PENTES:** Le rôle de la pente est net dans tous les mécanismes d'érosion ; 93,8 T/Km²/an sur pente forte contre 18,7 T/Km²/an sur pente faible selon Alain Marre. Ainsi que Hudson (1971) a trouvé que la perte de sol (E) augmente plus vite que l'inclinaison de la pente (S) selon la relation :

$E = S^a$ où : $1,3 < a < 1,5$ on prend la moyenne de l'intervalle $a = 1,4$.

A partir de la carte des pentes (Figure I.5) Nous avons extrait les classes des pentes et calculé la capacité érosive de la pente selon Hudson (1971); qui sont représentées dans le Tableau I.1.

Tableau I.1: Répartition des classes des pentes (Rerboudj, 2004)

Classe de pente	Surface		S _{moy}	S ^{1,4}
	Km ²	%		
0-3	334,80	20,17	1,5	1,76
4-12	378,40	22,79	8	18,38
12,5-20	810,80	48,84	16,25	47,57
20,5-25	136,0	8,12	22,75	79,39

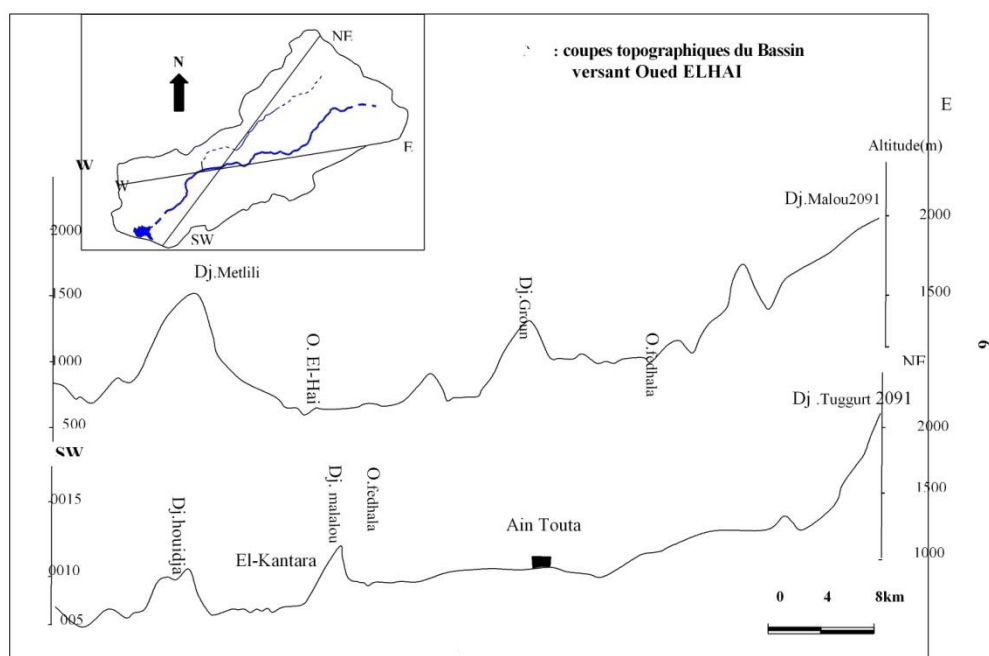


Figure I.4: coupes topographiques du Bassin versant Oued ELHAI (Rerboudj, 2004)

Les pentes faibles (0-3%) coïncident essentiellement avec les plaines et les terrasses fluviales ; occupant 20,17% de la superficie total du Bassin versant avec une capacité érosive de la pente moyenne est négligeable (1,76t/ha). Par contre les pentes moyennes au niveau des piedmonts avec une surface de 22,79% et une capacité érosive de la pente moyenne de la classe (4-12%) de l'ordre 18,38t/ha.

La classe (12,5-20) de pente moyen à forte est la plus dominante avec un pourcentage de 48,84% de la superficie totale du bassin versant; dans la quelle l'indice érosif de la pente moyenne est de 47,57t/ha.

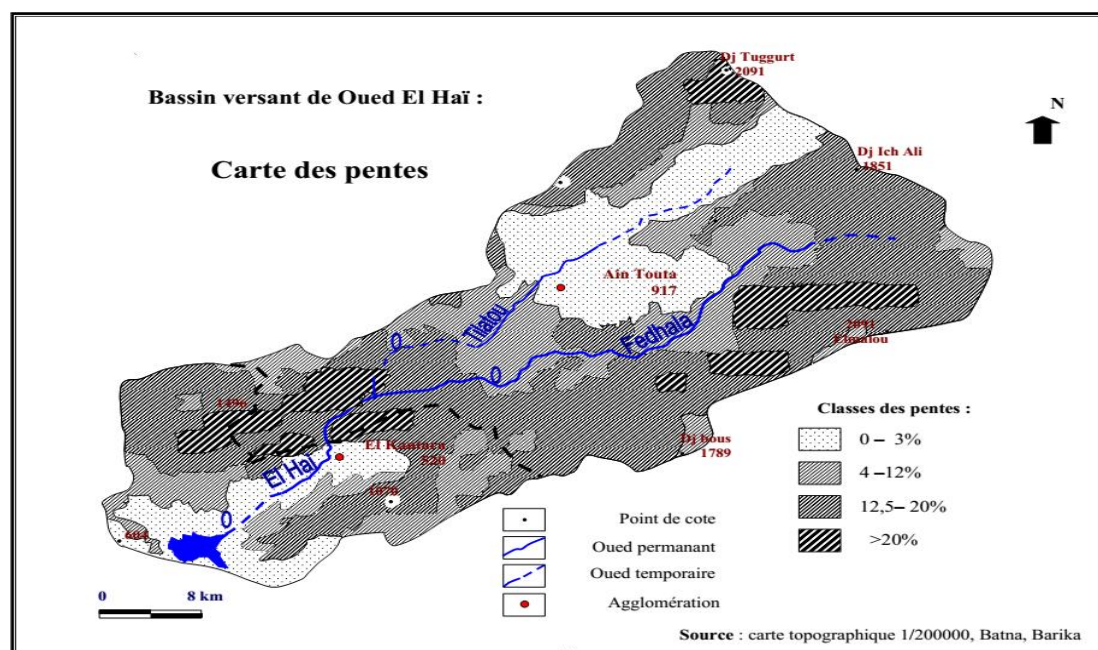


Figure I.5: Bassin versant de Oued El Haï Carte des pentes

Les pentes les plus fortes s'étalent sur les crêtes des hautes altitudes avec des surfaces restreintes de 8,12% ; où la capacité érosive de la pente dépasse 79,39 t/ha .Enfin, on peu dire que le bassin versant de Oued El-Hai est caractérisé par des pentes moyennes à fortes (71,63%), ce qui augmente la capacité érosive des pentes entre (18,38à 47,57);sous cette condition , l'érosion peut être excessive. Cette probabilité n'est pas fiable sans une connaissance précise de la nature des formations géologiques.

I.2.2.2. La courbe hypsométrique :

À l'aide des données de levé altimétrique, les tableaux à l'annexe nous avons dessiné les courbes hypsométriques (Figure I.6), des sous bassins amont; aval d'El-kantara et le bassin versant de Oued El-Hai.

Les paramètres altimétriques sont :

$$H_{5\%} = 1700\text{m.}$$

$$H_{50\%} = 990\text{m.}$$

$$H_{95\%} = 600\text{m.}$$

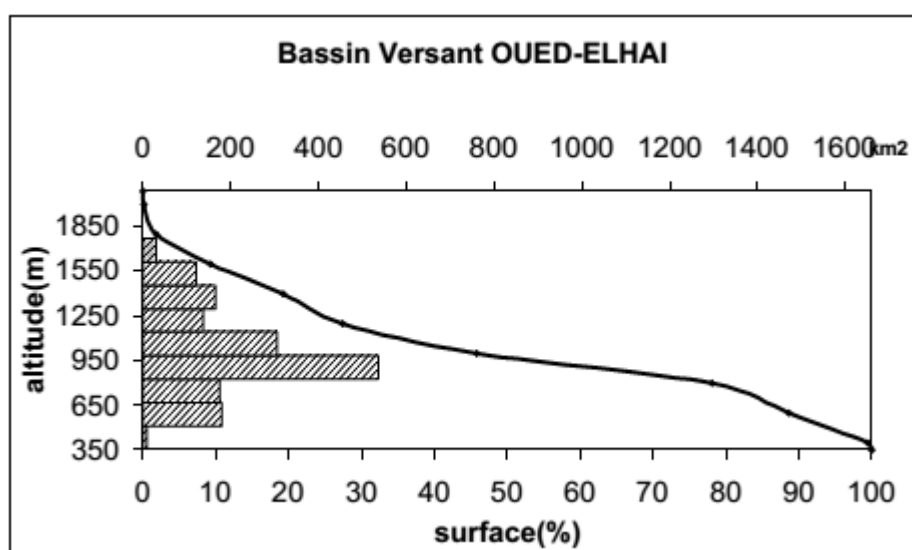


Figure I.6: les courbes hypsométriques (Rerboudj, 2004)

la dénivelée spécifique:

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} = 1100\text{mètre.}$$

$$* \text{ Altitude moyenne : } H_{\text{moy}} = VR/S = S(H_i * S_i)/S = 1039,83\text{m.}$$

L'altitude moyenne du bassin versant de oued El-Hai est de l'ordre de 1039,83m, où la dénivelée entre eu et l'altitude minimal (à l'exutoire) est de l'ordre de 689,83 mètre ;ce qui montre l'aspect accentué de relief.

2.2.4. Le réseau hydrographique l'oued El Haï:

Il est fondamental que la densité de réseau hydrographique exprime bien le degré de dégradation du milieu naturel.

Le réseau hydrographique du bassin versant d'Oued El-Hai caractérisé par un écoulement temporaire et très dense. Le talweg principal est alimenté par plusieurs affluents en particulier Oued Tilatou; qui alimentent par les versants Dj.Ich Ali et Dj.Tuggurt par Oued Châaba et Oued Elbiar; ensuite Oued Laksour; qui traversent la plaine et la ville de Ain Touta.

La partie Nord-Est; Amont de Oued Fedhala caractérisé par des affluents alimentés par des sources naturels; comme Oued Bouaioun et Oued Tafrenet. par contre la partie Aval ; où les affluents sont a écoulement périodique surtout pendant les averses, parmi les principaux affluents ; Oued Hassi ben tamtam; Oued Elmelah; Oued Agroum et Oued Boubiada; qui traverse la ville d'Elkantara. En général le réseau hydrographique de Oued El-Hai, dans sa plus grande partie est caractérisé par un écoulement périodique durant les saisons pluvieux.

a-La densité de drainage Dd: On peut la définir comme étant la longueur de réseau hydrographie par unité de surface.

$$Dd = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{A} (R.Gloor ,1982) \dots\dots\dots(I.1)$$

A: la surface en km²

Dd: densité de drainage en Km/km²

La carte de densité de drainage (Figure I.7), été réalisée à partir des cartes topographiques à l'échelle 1/50 000, qui couvre la totalité du bassin étudié

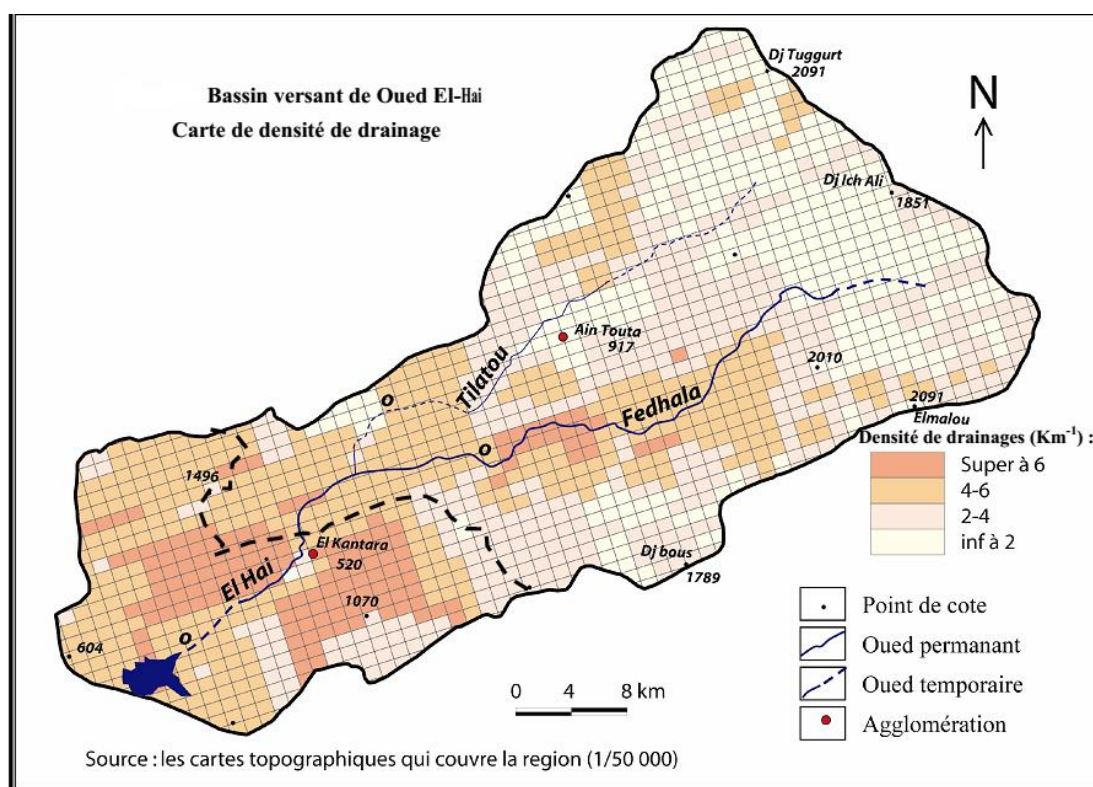


Figure I.7: La carte de densité de drainage (Rerboudj, 2004)

Nous avons calculé la longueur de réseau hydrographique dans chaque maille de 1km^2 . A fin de regrouper les résultats dans des classes arbitraires et leurs répartitions spatiales.

Tableau I.2: la densité de drainage (Rerboudj, 2004)

Classe	Densité de drainage	Surface km^2	S (%)
I	<2	352	21,20
II	2 – 4	482	29,04
III	4 – 6	663	39,94
VI	> 6	163	9,82
TOT	4,22	1660	100%

L'objectif a rapproche de cette carte est de savoir le degress d'adaptation de réseau aux autres caractéristiques physiques (pente, nature des formations, ...) L'interprétation du tableau et de la carte montre que la classe III (4 -6km) est la plus dominante avec une superficie de 39,94 %, suite par la classe (II), la on peut dire que 68 ,98 % de la superficie

totale du bassin versant de Oued EL Hai est représentée par une densité de drainage qui varié entre (2 –6 Km) dans les piedmonts et les bas de versants.(Tableau I.2).

b. Le Talweg principale:

La topographie de la cour d'eau principale joue un rôle très important dans le transport des matériaux vers l'aval (barrage). Le profil topographique Fig. N°08; montre une pente moyenne environ de 2,28% dans la plus grande partie de talweg (65Km) Amont d'El-kantara. (Figure I.8).

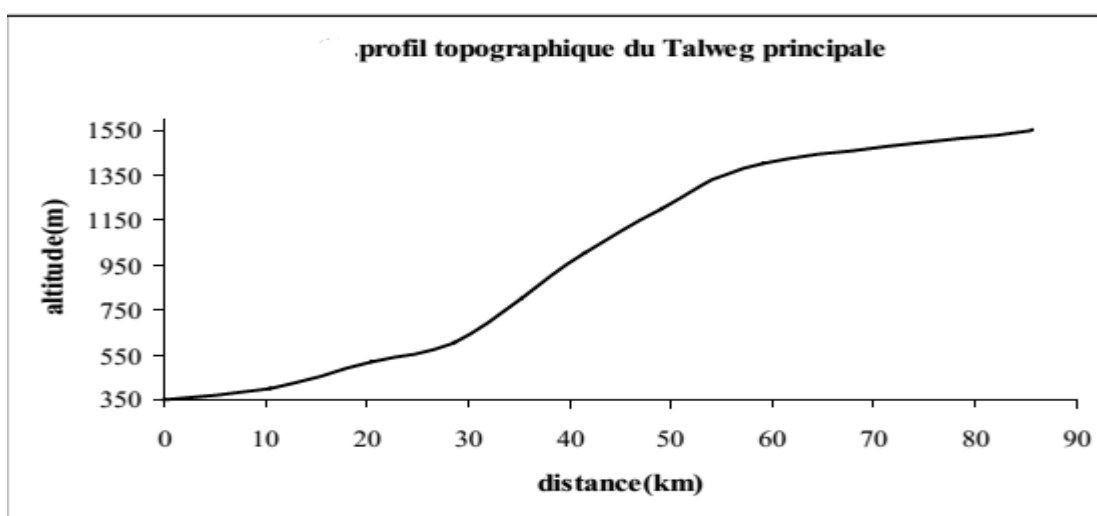


Figure I.8: profil topographique Talweg principale (Rerboudj, 2004)

la vitesse d'écoulement augment et même le volume du transport solide de différent types; ainsi que le sapement des berges. Par contre dans la partie aval d'El-Kantara jusque au site du barrage où la pente moyenne devient faible environ de 0,83% sur une longueur de 20,5Km

I.3. Hydro climatologie du bassin versant l'oued El Haï:

I.3.1 Climat :

Les facteurs climatiques (Précipitations, Transpiration, Evaporation, Température, Insolation, etc...) sont variables dans le temps et dans l'espace, et permettent d'expliquer quantitativement les variations du régime hydrologique dans la région.

L'étude climatologique a pour but de donner une idée sur le régime pluviométrique du secteur d'étude et l'importance de sa variabilité dans l'alimentation des eaux souterraines. Concernant le bassin versant de l'oued El Haï-Biskra, la station d'El Outaya présente la seule source de données pluviométriques, mais malheureusement elle présente des périodes d'arrêt et de dysfonctionnement sur une longue durée, ce qui rend les données de cette station inexploitable. Par contre, la station de Biskra est marquée par son fonctionnement régulier, continu pendant de longues années et vu sa proximité de la zone d'étude ce qui favorise l'exploitation des données de cette station

1.3.2. Température: La température est l'élément du climat le plus important étant donné que tous les processus métaboliques en dépendent. La grande majorité des êtres vivants ne peut subsister que dans un intervalle de températures comprises entre 0 et 50 C°, les exceptions se rencontrant surtout dans le milieu aquatique. (DAJOZ, 2006). Les valeurs de température mensuelle (minimale maximale et moyenne) dans notre région pendant la période 2010 -2019 sont enregistrées dans le Tableau I.3.

Tableau I.3: Les valeurs de température mensuelles (minimale, maximale et moyenne) dans la période (2010-2019).

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
M(C°)	18.02	19.1	23.11	28.13	29.42	37.77	41.33	40.12	35.39	29.64	22.59	16.8
m(C°)	7.14	7.93	11.50	15.60	19.56	24.66	28.37	27.69	21.49	18.33	12.10	7.16
T (C°)	12.58	13.51	17.3	21.86	24.49	31.21	34.85	33.90	28.44	23.98	17.34	11.99

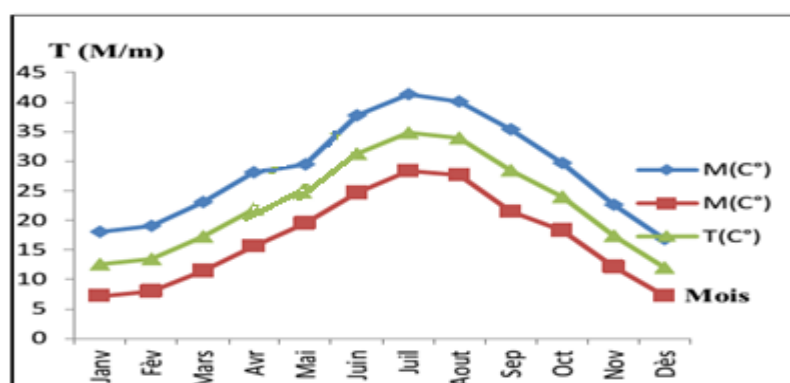


Figure I.9: Température moyennes, maximales, minimales de Biskra (2010-2019).

A partir de ces données des températures minima et maxima dans le tableau 7 on observe que les mois les plus chauds sont Juin, Juillet, Aout et Septembre et avec des moyennes des températures mensuelles : 37.77, 41.33, 40.12 et 35,39, cependant le mois le plus froid est Janvier avec un moyenne de température mensuelle égale à : 7.14 C° sur la période d'observation (2010 -2019), (Figure I.9).

1.3.3. Précipitations :

Le terme « précipitations» englobe toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, que se soit sous forme liquide (pluie) ou sous forme solide (neige, grêle) (Dajoz, 2006).Avec une série d'observation relativement longue, relevée sur la station de Biskra (2010-2019).Tableau I.4 est marquée les moyennes de précipitation de Biskra (2010-2019) .

Tableau I.4: Les moyennes de précipitation de Biskra (2010-2019).

Mois	Janv.	Févr.	Mars	Avar.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Somme
P(mm)	10.108	5.182	15.873	19.862	13.487	7.549	0.534	2.464	16.942	29.362	10.97	3.326	135.659

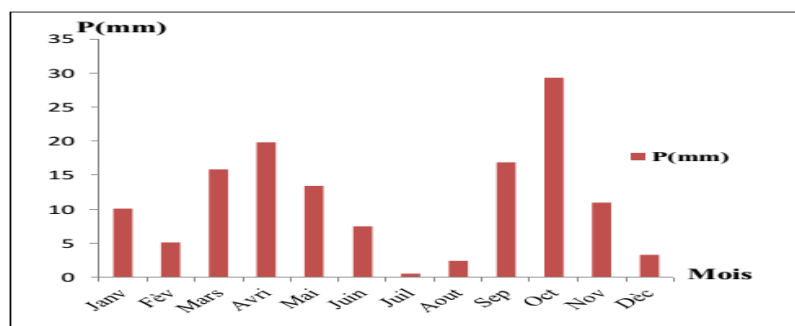


Figure I.10: Précipitations moyennes mensuelles de Biskra (2010 -2019).

Le total des précipitations est de dont 135.659mm, la valeur la plus élevée est enregistrée avec 29.362mm durant le mois d'Octobre, suivie par celle d'Avril avec 19.862 mm. Par contre le mois le moins pluvieux est celui de Juillet 0.534mm.(Figure I.10).

1.3. 4 Vent:

Selon la(Figure I.11), la vitesse maximale du vent est enregistré au mois Avril, et la minimale au mois d'Août. Les vents les plus dominants dans la région sont ceux venant du

nord-ouest pendant l'hiver ; Cependant le ciroco (Vent sec), qui vient du sud souffle en printemps et en été. Malgré les apparences, le Sahara n'est pas un pays venteux, mais un pays où, par suite de sa dénudation, on ressent le plus facilement le vent (Dubief, 1952).

Tableau I.5: Moyennes mensuelles de vitesse de vent de Biskra (2010-2019).

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
Vent (m/s)	11.36	13.55	16.56	15.76	16.03	14.71	12.13	9.83	10.26	9.59	10.68	9.3

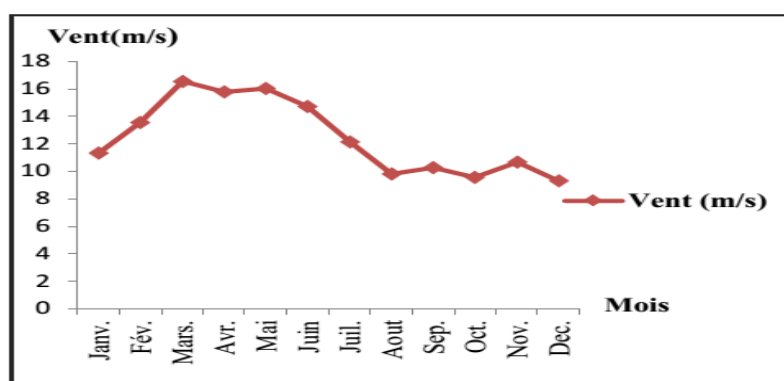


Figure I.11: Moyennes mensuelles de vitesse du vent de Biskra (2010-2019).

1.3.5. Humidité de l'air:

Elle exprime le rapport en pourcentage de la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air (Pa), à la pression de vapeur saturante (Pr) dans les mêmes conditions de mesure de température lue au thermomètre sec et en pression.(Tableau I.6).

Tableau I.6: Moyenne mensuelle de l'humidité relative de Biskra (2010-2019).

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
Humidités	54.37	48.75	42.59	40.41	35.21	29.48	26.16	31.44	37.52	45.47	53.52	56.78

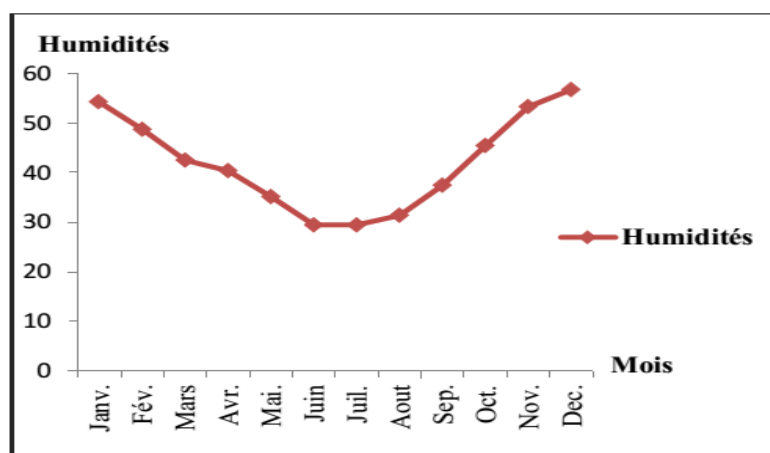


Figure I.12: Moyennes mensuelles de l'humidité relative de Biskra (2010-2019).

Selon le Tableau I.6 , l'humidité relative est faible, varie beaucoup dans l'année par l'effet des températures élevées et les amplitudes thermique importantes, elle est estimée de 26.16% au mois de juillet jusqu'à 56.78 % au mois de Décembre, pour la période 2010-2019(Figure I.12).

1.3.6. Couvert végétal:

La zone nord où on trouve le barrage de la Fontaine des gazelles, est montagneuse et assez dénudée, exception faite pour quelques rares zones forestières, comme la région de M'ziraâ ((Anonyme, 2002) : in Amri, 2006). Les plantes spontanées occupent une majeure périphérie de barrage Fontaine des Gazelles comme le Tamarix gallica. Elles ont adapté avec la rareté des pluies et l'état du sol s'est détérioré ces dernières années

I.4. Les caractéristiques géologiques et lithologiques du bassin :

I.4.1. Structure géologique du bassin versant :

Les Aurès ont fait l'objet d'étude par plusieurs géologues et en particulier R. LAFFITTE qui a réalisé l'esquisse géologique des Aurès en 1939 couvrant la région d'étude.

I.4.2 Domaine morpho-structurale :

- **Les synclinaux** : le bassin versant de Oued El-Hai rejoint deux synclinaux :

***Synclinale BATNA –AIN TOUTA** : avec une direction NE-SW, est constituée essentiellement par des alluvions de quaternaire; avec des affleurements des marnes; qui sont surmontées par des assises détritiques continentales (conglomérat et grès).

***Synclinale d'EL-KANTARA** : cité par R. Guiraud, 1973. Les calcaires massifs de demi cluse d'El-kantara reviennent au Maestrichtien avec un épaisseur de 340 mètre vers le Sud, surmonte par des formations de l'oligocène, miocène et quaternaire ; formées essentiellement par des marnes, galets, alluvions, argile et sables . A la base du flanc sud de Dj. Mimoun, on observe un affleurement de paléocène représentant des faciès de marnes rouges (25m), grés et poudingues d'après J.L.Ballai.

I.4.3. La stratigraphie :

- Trias : argiles violacées avec des masses dolomitiques de couverture dans les Aurès.
- Jurassique il est représenté par une épaisse série de calcaire et noduleuse et Marno-Calcaire, dolomies ou série d'alternance de dolomie de calcaire et de marne .
- Crétacé : avec une épaisseur dépasse parfois 4000mètre (par endroit)
- Miocène supérieur :des formations marins; marne, conglomérat et formations anciens. Affleurent autours de terrasse au sud ouest.
- Quaternaire :dans les plaines de Ain Touta et El-kantara, et terrasse fluvial former par des éboulis, graviers, sable, limons et grés ; avec un épaisseur très varie.

I.4.4. La lithologie : il est très important de savoir la nature des formations et leurs résistances à l'agressivité climatique. Sur la base de l'esquisse géologique des Aurès, nous avons réalise la carte lithologie (Figure I.13).

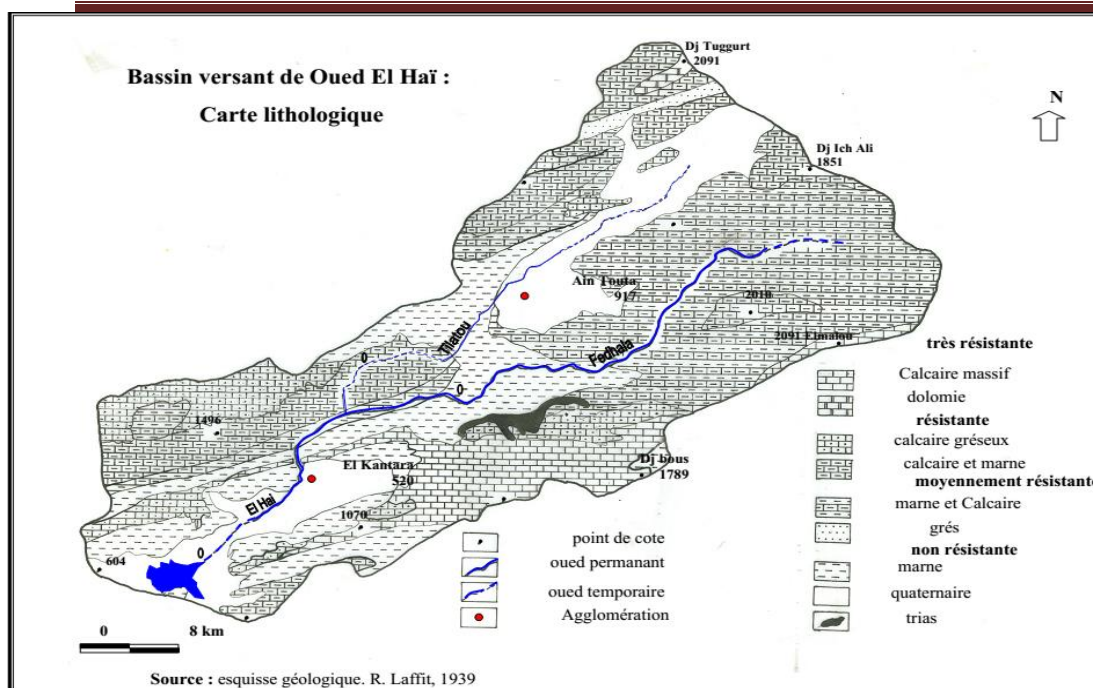


Figure I.13: Carte lithologique Bassin versant de Oued El Haï

Le classement des formations selon leurs résistances à l'érosion et ses répartitions spatiales conclut dans Tableau I.7.

Tableau I.7: Le classement des formations selon leurs résistances (Rerboudj, 2004).

Formations	La résistance	Surface	
		Km ²	%
-calcaire massif -dolomie -grés	Très résistante	216,63	13,05
-calcaire gréseux -calcaire et marne	Résistante	396,24	23,87
-marne et calcaire	Moyennement résistante	511,94	30,84
-quaternaire -marne -gypse	Non résistante	535,19	32,24

I.4.5 La perméabilité :

L'expérience a montré que la perméabilité est très importante dans les études d'érosion, D'ailleurs la Sogréah en 1969 a trouvé une relation exponentielle entre l'apport solide

spécifique et l'apport liquide en fonction de la perméabilité des bassins versants; dans les terrains perméables le risque d'érosion provoqué par les écoulements est faible ; par apports aux terrains imperméables. Selon la nature des formations, nous avons les groupées dans des classes de perméabilité et leurs superficie enregistré dans le Tableau I.8. suivant :

Tableau I.8: la perméabilité des formations (Rerboudj, 2004).

Formations	Perméabilité	Superficie	
		Km ²	%
Galets, éboulis, graviers (El-kantara)	Perméable	110,72	6,67
Grés -Calcaire-marneux -Marno -calcaire -Calcaire gréseux	Semi-perméable	908,18	54,71
-Marne	Perméabilité faible	261,62	15,76
-Calcaire massif -Argile (Ain Touta) -Dolomie	imperméable	379,48	22,86

Nous avons plus de la moitié (54,71 %) de la superficie du bassin versant des formations semi-perméables suit par les formations imperméables de 22,86 % dans la partie amont et les marnes 15,75 % à perméabilité faible dans la zone de transition entre la plaine de Ain Tout a et celle d'El-kantara . En fin les formations perméables avec la plus petite superficie 6,67% dans la plaine d'El kantara .

CONCLUSION :

Le bassin versant de Oued El-Hai est caractérisé par des composantes stables du milieu physique qui favorise le déclenchement de toute les formes d'érosion. Les altitudes décroissent de l'amont vers l'aval avec un dénivelé de 1714 m, les pentes sont moyennes à fortes de 71,63%, avec des formations moyennes à faibles résistance à l'érosion de 63,08%,

semi-perméable 54,71%, les caractéristiques morpho métriques montre l'existence d'une dynamique active, justifie par une densité de drainage moyenne à forte (68,98%), les sols sont squelettiques peu évolués à minéraux brutes de 49,94% et mal protégés par une végétation dégradée à très dégradée particulièrement des maquis 58,05%. Tous ces facteurs ont prouvé que la zone d'étude souffre par les phénomènes d'érosion, et pour accepter cette probabilité; il faudrait passer au deuxième chapitre.

CHAPITRE II :
Recherche Bibliographique

II.1. Introduction :

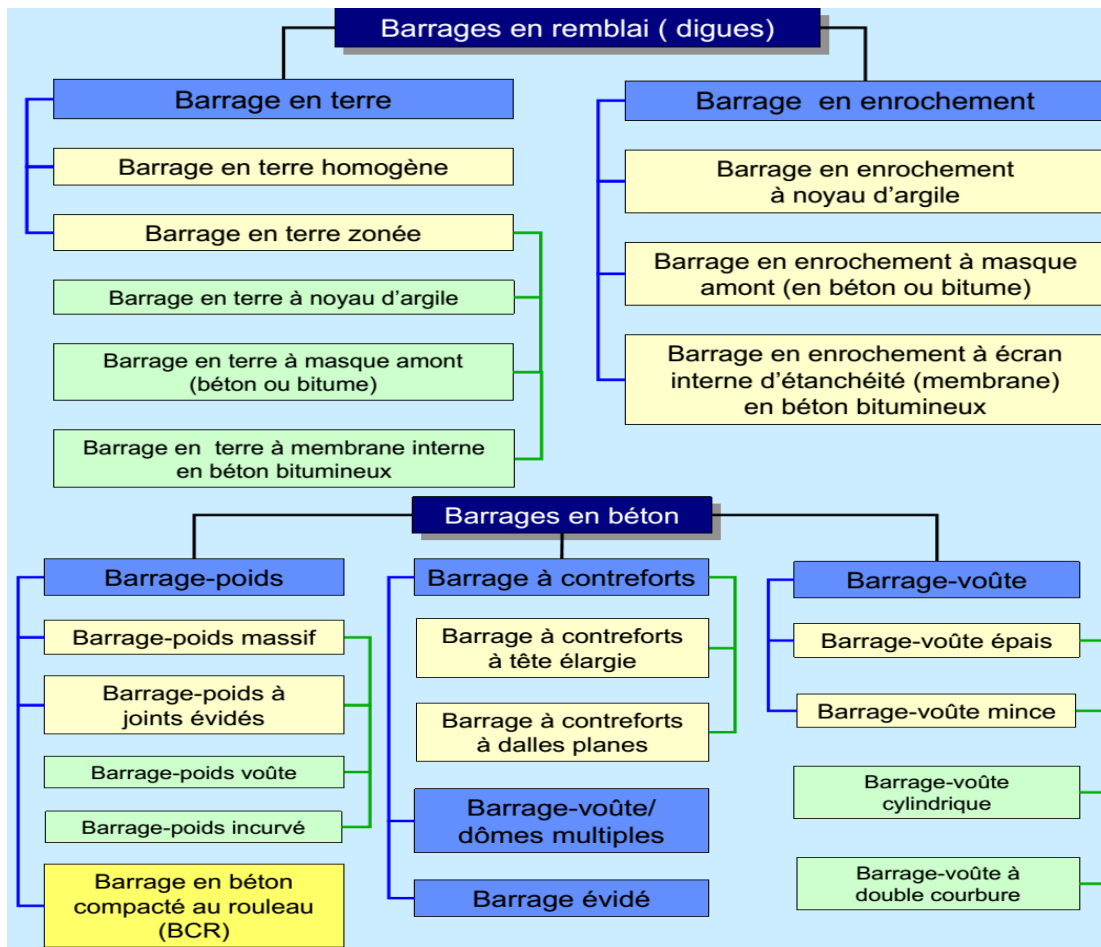
En plus des terres arrachées par l'érosion des bassins versants, une quantité non négligeable en provenance des sapements des berges participe à l'accélération de l'envasement des barrages réservoirs. Dans ce chapitre on va présenter une recherche bibliographique sur les barrages et des l'envasement.

II.2. Les Barrages:

II.2.1.Définition:

Les barrages sont des ouvrages réalisées en travers des cours d'eau pour modifier leur régime d'écoulement et permettre une utilisation rationnelle de l'eau avec de meilleures conditions pour les divers usages. Les barrages peuvent avoir deux rôles en corrigeant le régime d'écoulement des cours d'eau dans le temps et dans l'espace. (Mohammed S L, 2020). (Tableau II.1).

Tableau II.1 les types des barrages (LCH, 2003).



II.2.2.Le bassin versant:

Le bassin versant est l'unité de base pour la détermination du bilan hydrologique, Il est défini comme la surface parcourue par un cours d'eau et ses affluents. Un cours d'eau prend généralement naissance dans une zone à reliefs et draine la surface topographique. Les écoulements convergent vers la section la plus basse du cours d'eau appelée exutoire

II.2.3.La cuvette (retenue):

C'est le domaine topographique attenant au barrage vers l'amont, pouvant être inondé le niveau de stockage de l'eau. La cuvette a donc pour de stocker le volume d'eau dont on a besoin. Cette eau peut être restituée en aval grâce à des ouvrages annexes. La réserve en eau constituée dans la cuvette s'appelle la retenue.

II.2.4.Eléments constructifs d'un barrage :

II.2.4.1.Corps du barrage :

Grossièrement le corps du barrage Présente en coupe un profile Trapézoïdal prolongé en profondeur par un moyen d'étanchéité des fondations. (Mohammed, 2019)

- Evacuateur de crues : C'est un ouvrage qui permet le passage des crues quand le barrage est rempli.
- Dérivation provisoire : La dérivation provisoire est associée à un batardeau ,ces ouvrages servent à se protéger des eaux de crues durant la construction de l'ouvrages
- Pris d'eau :C'est un ouvrage qui permet de prélever l'eau pour son utilisation .
- Vidange de fond : C'est un ouvrage qui permet de vidanger partiellement ou totalement la retenue .

II.2.5.Types de barrages :

Si chaque barrage est un cas particulier par bien des aspects, et notamment par la morphologie et la nature du terrain sur lequel il s'appuie, il peut néanmoins être classé dans les types ci dessous en fonction des matériaux qui le constituent, de sa forme et de sa

conception. Son site doit répondre à des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques précises.

1-Les barrages en béton ou maçonnerie se divisent en trois catégories : barrage-poids, barrages-voûtes et barrages à contreforts.

* Dans le barrage poids, c'est le poids du barrage qui assure la stabilité face à la poussée des eaux. Le tracé en long, rectiligne dans les anciens barrages, est maintenant souvent courbe pour permettre les mouvements de la structure. On choisit ce type de barrage quand la vallée est large (Figure II.1).

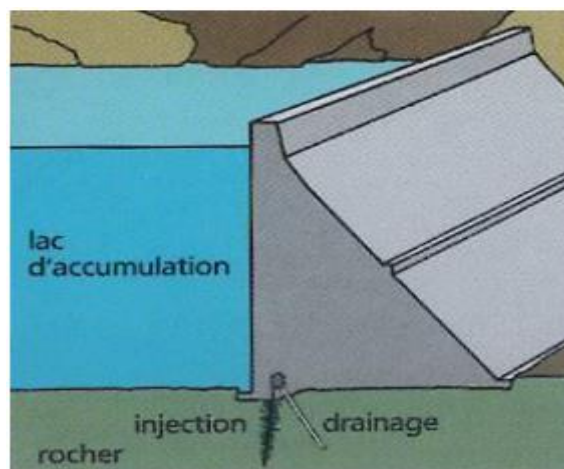


Figure II.1: Schéma d'un barrage en béton-type poids

***Les barrages-voûtes** : la forme courbe permet un report des poussées sur les rives rocheuses (la force s'exerce sur les cotés). Cela permet également de diminuer le volume de béton et d'utiliser au mieux ses capacités à supporter la compression dans les barrages à contreforts, les murs de coupe triangulaire sont soutenus par des Contreforts(Figure II.2).

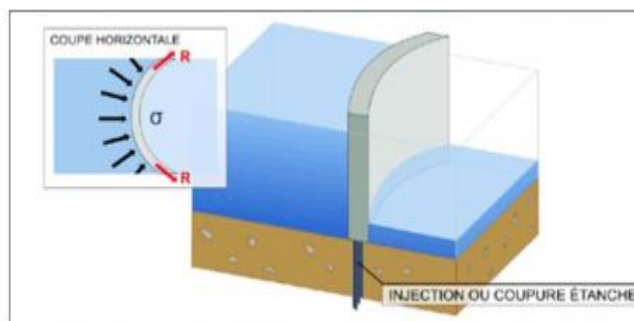


Figure II.2: D'un barrage en béton-type voûte.

- Les barrages en remblai se divisent également en trois catégories : barrages en terre homogène, barrages zonés et barrages à masque.
- Les barrages en terre homogène sont des digues constituées d'un matériau meuble et imperméable. Comme c'est le cas des barrages de Cheffia, Guenitra, Beni Zid, Mexa, Zit Emba,...
- Les barrages zonés sont des barrages en remblai, constitués de plusieurs types de matériaux dont le zonage, variable en fonction des matériaux trouvés sur le site, assure les fonctions de stabilité et d'étanchéité. C'est le cas du barrage de Fontaine des Gazelles.
- Les barrages à masque sont constitués d'un remblai qui assure la stabilité et d'un écran imperméable sur le parement amont. Le remblai est souvent réalisé en enrochements bien compactés et le masque est constitué de béton, de produits bitumineux ou d'une membrane qui accepte des déformations importantes.

II.2.6.Le but d'utilisation des barrages :

- Stockage d'eau potable, d'eaux industrielles ;
- Irrigation des terres agricoles ;
- Abreuvement des animaux ;
- Soutien d'étiage ;
- Écrêtement des crues ;
- La pisciculture ;
- Réfrigération des centrales nucléaires ;
- Fourniture de l'énergie électrique ;
- Navigation ;
- Plans d'eau à vocation touristique ...etc.

II.3. Envasement Des barrages :

II.3.1. Définition :

L'envasement est défini comme étant le dépôt de sédiments dans les retenues et barrages, réduisant ainsi leurs capacités de stockage

La construction d'un barrage change les caractéristiques hydrauliques de l'écoulement et la capacité de transport des sédiments (Chow, 1964), transportée par l'écoulement, la matière solide tend à se déposer à l'approche des plans d'eau, car en réduisant sa vitesse, l'écoulement perd petit à petit sa capacité de transport quand le cour d'eau s'approche et se jette dans le lac du réservoir, les particules grossières se déposent en premier ensuite les plus fines jusqu'à atteindre la digue, n'ayant pas où s'échapper le dépôt se tasse et se consolide en réduisant ainsi la capacité de stockage du réservoir, sachant qu'en moyenne 90% des sédiments transportés par le cour d'eau sont piégés (Chow, 1964)

II.3.2. Problématique de l'envasement

Le problème d'envasement des barrages n'est pas un problème propre à l'Algérie, beaucoup de pays dans le monde souffre du problème surtout dans les zones arides et semi-arides, où le manque de ressources hydrique est accentué par l'érosion des sols qui peut atteindre les 5000 t/km²/an contre 30 à 50 t/km²/an en Europe (Abdeli, 2007).

L'envasement est la conséquence directe de l'érosion et la sédimentation, qui sont aussi la cause de la dégradation des sols agricoles ; 45% des sols agricoles du Nord Algérien sont directement menacés par l'érosion, soit 12 Millions d'hectares (Chebbani et al, 1999). (Figure II.3)

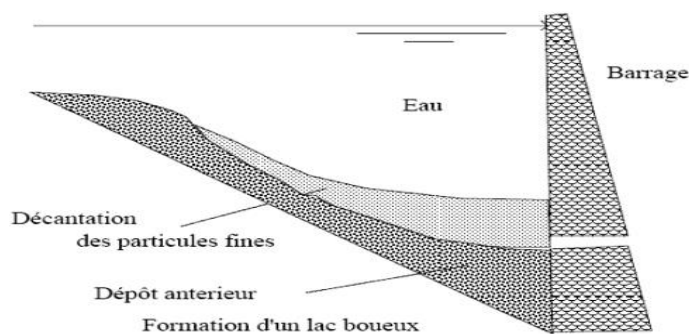


Figure II.3: Dépôt de vase (Remini, 2003).

Remini (2005) a développé un model prévisionnel de l'envasement en se basant sur les données de près de 90 barrages, ce qui a donné la carte de sensibilité à l'envasement suivante. (Figure II.4).

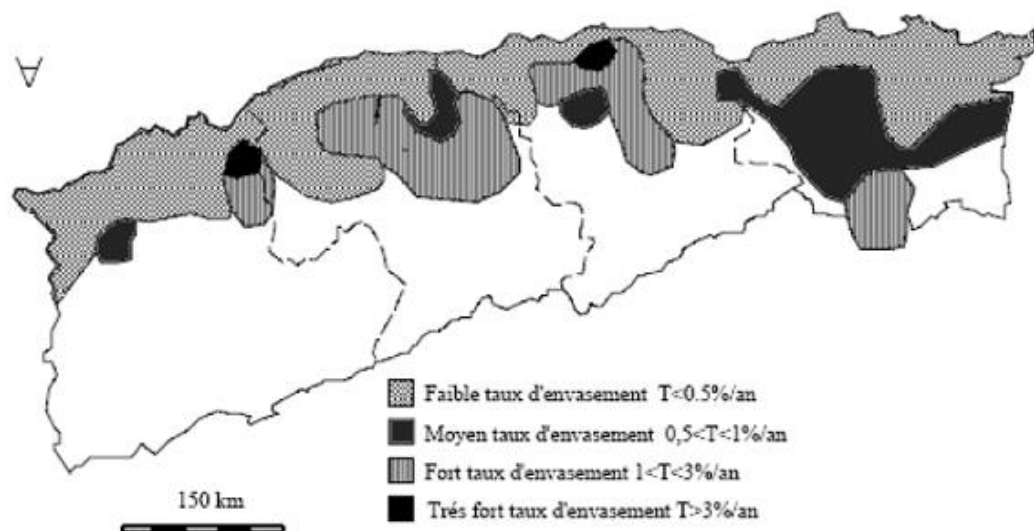


Figure II.4: Sensibilité à l'envasement des barrages (Remini,2005).

II.3.3. Etapes de l'envasement d'un barrage :

Le processus de l'envasement d'un barrage débute dans la première phase par l'arrachage des particules fines de leurs positions initiales par le ruissèlement. Dans la seconde phase, les sédiments seront drainés par les cours d'eau jusqu'au barrage. Dans la troisième partie, les particules seront piégées pour se décanter et se tasser au fond du lac du barrage (figure 18) (Figure II.5).

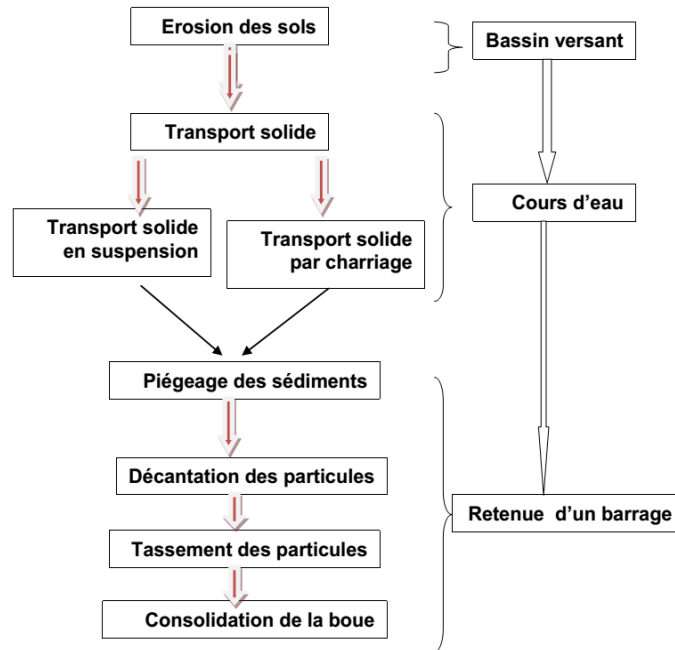


Figure II.5: Processus d'envasement d'un barrage réservoir (Remini, 1990).

II.3.4. Notion d'érosion et de transport solide :

II.3.4.1. L'érosion:

L'érosion du sol est un processus au cours duquel des particules de sol sont détachées et déplacées par un vecteur (eau, vent, travail du sol) (Poesen et Govers, 1994). Elle est dite naturelle ou géologique lorsqu'elle correspond plus ou moins à un état d'équilibre entre la formation (pédogenèse) et le transport des particules meubles.

II.3.4.2. Effets visibles de l'érosion hydrique:

Parmi les signes et effets physiques visibles de l'érosion hydrique (Touré et al. 2004), on peut citer:

- Les griffes, fines rigoles formées par l'eau, particulièrement en haut des pentes, sur le bord des pistes ou dans les champs sillonnés par les labours, elles deviennent des ravines par élargissement dû à la concentration de ruissellement excessif.
- Les pavages de cailloux et de pierres laissés en surface, une fois les particules les plus fines du sol emportées par le ruissellement, observés dans un grand nombre de champs labourés et de terrains de pâture.

Les buttes de sol résiduel, où sont perchées des touffes d'herbes, signes d'érosion, quand elles n'ont pas été créées par l'accumulation de débris foliacés et

d'humus, ou par le fouissage des rongeurs.

Les racines d'arbres et arbustes, exposées à l'air, ou mise à nu dans des cours d'eau, résultats d'une dispersion du sol ou d'un accroissement de ruissellement suite à

la dégradation de bassins versants.

Les dépôts de sols sur les pentes douces, ou de graviers, sables et limons, dans les lits de cours d'eau résultent d'une érosion en amont.

Les taches nues dans les herbages et les pacages signalent d'une tendance à la dégradation.

Le déplacement du sol par piétinement résultant du pâturage sur les pistes à bétail au long des courbes de niveau, où les animaux font progressivement glisser la terre en bas de la pente.

Les atterrissements dans les retenues de barrages, lacs et étangs.

II.3.4.3. Types d'érosion:

Les chercheurs ont divisé le phénomène d'érosion en deux types principaux qui sont cités ci-dessous d'après

Erosion en nappe:

Elle se produit lorsque l'écoulement et l'érosion se font sur toute la surface du sol, ce qui provoque une usure homogène non perceptible dans la majorité des cas. Ce type d'érosion entraîne des conséquences morphologiques et pédologiques fâcheuses suites à un décapage de l'horizon superficiel diminuant insidieusement sa réserve en élément fertilisant.

Erosion linière :

Elle se produit lorsque la concentration des eaux conduit à la formation de chenaux de dimension croissante : griffes (quelques centimètres de profondeurs), rigoles (incision dans la couche labourée), ravines (incision dépassant la couche labourée). Du point de vue

quantitatif, ce type d'érosion reste dans les mêmes proportions que l'érosion en nappe.(Addad, 2017)

II.3.4.4.Transport solide :

Le transport solide représente la quantité de matériaux granulaires transportée par un cours d'eau, les sédiments ainsi emportés proviennent soit du bassin versant soit des berges ou du fond du lit mineur. Dans le premier cas l'érosion qui se manifeste est dite aréolaire appelée aussi érosion en nappe ou en rigole, les particules entraînées en surface sont fines et souvent cohésives. Dans le deuxième cas on parle d'érosion linéaire, elle persiste même quand la pluie cesse de tomber, elle mobilise des forces hydrodynamiques inopérantes qui finissent par transporter des matériaux très grossiers (in Bouguerra S, 2014).

II.3.4.5. Modes du Transport solide :

Le transport solide total de sédiments est l'ensemble du transport des particules qui passent dans une section du cours d'eau, les sédiments sont transportés par plusieurs modes :

- **Charriage :**

Si les particules restent en contact étroit avec le fond, elles se déplacent en glissant, roulant ou sautant. Ce mode concerne les particules relativement grandes.

- **En Suspension :**

Les particules restent occasionnellement en contact avec le fond, elles se déplacent par bonds et restent souvent entourées d'eau. Cela concerne les particules relativement fines.

- **Suspension intrinsèque :**

Si les particules ne sont jamais en contact avec le fond, elles se déplacent en étant emportées par l'écoulement. Ceci concerne les particules très fines.(Figure II.6).

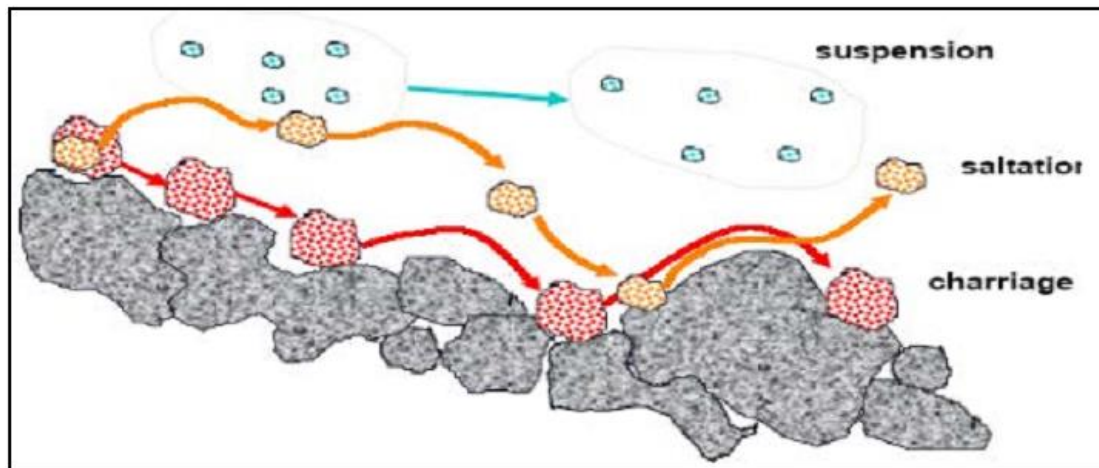


Figure II.6: Différents modes du transport solide (Graf W, 2000).

II.3.5. Les sédiments:

Les sédiments sont des particules minérales ou organiques déposées par l'eau, le vent ou la glace, qui proviennent de l'usure des continents, c'est-à-dire de la destruction de roches ou d'êtres vivants (Beauchamp J, 2005). La destruction se fait par des mécanismes physiques produisant la fragmentation des matériaux et des réactions chimiques donnant des solutions de lessivage. Parmi les particules minérales on peut citer les produits de l'érosion des berges et du lit lors du ruissellement après les fortes pluies.

II.3.6. Piégeage des sédiments:

Une fois l'eau de crue arrive au niveau du lac du barrage, les matériaux seront piégés par les eaux calmes du barrage. Les particules grossières seront freinées à l'entrée du barrage sous forme d'un delta. Par contre, les particules fines continueront leur chemin en fonction de la concentration, soit sous forme de courants de densité ou par diffusion. Les données de plus de 90 barrages du Maghreb sont reportées sur le graphique de Brune G.M. (1953) donnant le pourcentage des sédiments piégés dans une retenue. On peut constater que pour l'ensemble des barrages étudiés, le « trapecfficency » est situé dans l'intervalle : 90-98%, cela veut dire que la part des sédiments qui sont piégés dans une retenue est considérable. En d'autres termes, on ne commettra pratiquement pas d'erreurs en calculant le taux d'érosion spécifique à partir du volume de vase déposé dans une retenue. Les barrages Maghrébins sont considérés comme de véritables fosses à sédiments. (Djillali, 2016).

II.4. L'Envasement

II.4.1. Généralité :

Un réservoir s'engrave d'autant plus rapidement que sa capacité devient de plus en plus faible par rapport au débit solide transporté par le cours d'eau qui l'alimente.

Le mécanisme d'envasement est généré en général par l'apport solide transporté par les cours d'eau qui viennent alimenter les réservoirs. (MEZIANE S.M, 1992)

II.4.2. Mécanisme de l'envasement :

□ Comportement des sédiments grossiers

Les eaux de la rivière arrivant dans les eaux claires de la retenue sont freinées dans la zone de remous, qu'on peut en général caractériser par la présence d'objets flottants. Elles perdent leurs matériaux grossiers, qui vont former un delta en queue de retenue (Figure II.7). Il s'étend en amont, et avance vers le barrage avec le temps au futur et à mesure des apports.

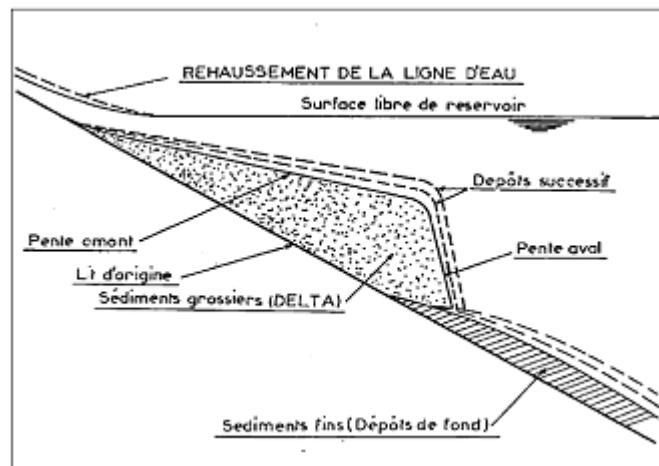


Figure II.7: Comportement des sédiments grossiers (Bouchelkia H, 2009).

□ Comportement des sédiments fins (Figure II.8). Dans la zone de remous, les eaux turbides entrant dans la retenue forment avec les eaux claires de celles – ci un front plus ou moins net et plus ou moins vertical. Les sédiments fins peuvent se comporter de deux façons :

□ si un courant de densité s'est formé, il peut sous certaines conditions hydrauliques, s'écouler au fond de la retenue (dans l'ancien lit de la rivière) et transporter les vases jusqu'au pied du barrage. Elles s'accumulent en l'absence de soutirage de fond, en formant un lac de vase d'un volume qui peut être très important.

□ Si le courant de densité ne s'est pas formé, les sédiments fins sont tributaires de la gravité, de la turbulence et des écoulements dans la retenue. Une fois déposées au fond, les vases sont susceptibles de former des coulées boueuses vers les particules les plus basses de la retenue. Lorsqu'elles sont stabilisées, et en l'absence de mouvements importants dans la retenue, les dépôts vont se consolider, en se débarrassant de leur eau interstitielle. (BESSENASSE M, 2010)

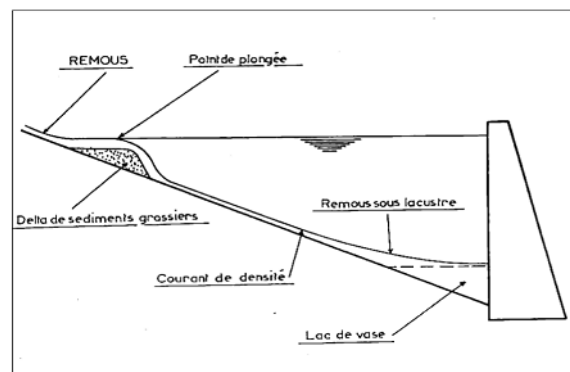


Figure II.8: comportement des sédiments fins (Bouchelkia H, 2009).

II.5. Problèmes posés par l'envasement des barrages :

L'envasement pose d'énormes problèmes au barrage et à son environnement. C'est ainsi que les dépôts successifs de la boue réduisent la capacité utile des barrages. Le tassement et la consolidation de la boue bloquent les pertuis de vidange d'un barrage. Un barrage envasé destiné à l'irrigation, provoque l'envasement des canaux d'irrigation. Un barrage envasé affecte fortement la qualité des eaux et accélère le phénomène d'eutrophisation. (Djillali, 2016).

II.5.1. Réduction de la capacité :

La vase chasse l'eau du barrage. Avec le temps, le barrage sera complètement occupé par la boue. Le barrage est considéré comme un corps étranger au cours d'eau, il perturbe l'écoulement des eaux et la dynamique sédimentaire. En déposant petit à petit la boue au fond d'un barrage, le cours d'eau tente de retrouver sa pente initiale.

II.5.2. Blocage des vannes de fond :

Les dépôts vaseux durant les premières années, les pertuis de vidange sont épargnées par l'envasement. Mais dès que le volume «mort» est atteint, les vannes seront menacées par les dépôts de vase. Avec les manœuvres de vannes, un cône de vase sera dégagé près des ouvertures. Avec le temps les vannes finiront par se colmater et devient difficile toute manœuvres des vannes. Dans les régions arides, la gestion des vannes d'un barrage est complexe. (Figure II.9) .

L'ouverture des vannes en période de crues devient indispensable pour prolonger la durée de vie de l'ouvrage et évitera le dysfonctionnement de ces vannes .



Figure II.9: Blocage des vannes de fond (Remini, 2011).

II.5.3. Envasement des canaux d'irrigation :

L'irrigation des terres agricoles par les eaux troubles en provenance de barrages envasés pose d'énormes problèmes pour les agriculteurs. Plusieurs kilomètres de canaux, les bassins et les siphons se trouvent envasés après chaque opération d'irrigation. Ce qui oblige les agriculteurs à effectuer périodiquement des opérations de curage par des moyens(Figure II.10).



Figure II.10: Curage d'un canal par les moyens mécaniques(OPIM, 2008).

II.5.4. Impact de l'envasement sur la qualité de l'eau du barrage :

Il n'y a pas de relation directe entre le limon et l'eau, mais la présence d'une grande quantité de limon dans le barrage accélère la pollution de l'eau et change sa nature. (Figure II.11).



Figure II.11: Couleur verdâtre de l'eau du barrage de SMBA.

II.6. Moyens techniques de lutte contre l'envasement :

II.6.1. Aménagement des bassins versants :

Tous les auteurs s'accordent à dire que le meilleur moyen technique de lutte contre l'envasement est situé au niveau de la source de production, c'est-à-dire au niveau du bassin versant. Diverses méthodes sont appliquées comme le reboisement, la réalisation des banquettes et l'aménagement des ravines par la correction torrentielle.

II.6.2. Dévasement des barrages :

Pour des solutions préventives, des tentatives de reboisement et des corrections torrentielles ont été appliquées sur plusieurs bassins versants. En parallèle, des opérations de dévasement des barrages se déroulent sur plusieurs barrages. Deux modes de dévasement ont été opérés au niveau d'un barrage. Il s'agit d'un dévasement périodique et d'un dévasement occasionnel.

a) Dévasement périodique Soutirage des courants de densité :

A l'arrivée des crues, l'ouverture des pertuis de vidange permet de soutirer les courants de densité qui se rapprochent du mur du barrage. Grâce à la forte concentration en particules fines, le courant de densité arrive au pied du barrage après avoir parcouru plusieurs kilomètres. La technique de soutirage des courants de densité a obtenu de très bons résultats au niveau des barrages d'Ighil Emda et d'Erraguene . Avec un rendement de 55%, la durée de vie du barrage d'Ighil Emda a triplé.

b) Dévasement périodique : Evacuation de la vase par la vanne de fond :

Pour éviter le blocage des vannes de fond. L'ouverture périodique des pertuis de vidange permet d'extraire les dépôts vaseux situés aux alentours des vannes. Dans ce cas, uniquement la vase située dans la zone basse qui peut être perturbée par les manœuvres des vannes. De telles manœuvres sont extrêmement nécessaires pour alléger l'ouverture des pertuis. Un retard dans l'ouverture pourra avoir des dégâts. A titre d'exemple, la vanne de fond du barrage de l'Oued Fodda est bloquée depuis 1939. Celle du barrage de Zardezas a été bloquée durant les années 90. La vanne droite du barrage de SMBA a été colmatée suite à un fort taux d'envasement depuis une dizaine d'années. (Remini, 1997).

c) Dévasement occasionnel : Dragage d'un barrage :

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

1. Le dragage permet de récupérer la capacité des petites retenues, des bassins de rétention de graviers ; ou alors de récupérer partiellement la capacité des 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 (Figure II.12)



Figure II.12: La drague est au centre de la retenue du barrage (ANBT Biskra, 2006).

II.6.3. La surélévation du barrage :

A tous ces moyens s'ajoute dans la mesure où la topographie des lieux le permet, la surélévation des barrages pour composer la capacité certains cas une solution viable

Cette technique a été réalisée sur 5 barrages : Fergoug, Meferouche, Bakheda, K'soub et Zardézas (Tableau II.2).

Tableau II.2: Envasement moyen annuel des barrages Algériens ANBT (ANBT, 2015).

	Barrage	Wilaya	Année de mise à l'eau	Cap Init	Levé 2014 Hm³	Taux Envas Hm³/an	(%) Envasement
1	AIN ZADA	BBA	1985	125	121,4	0,5	2,88
2	KOUDIAT MEDOUAR	BATNA	2001	69,1	74,32	0,023	-7,55
3	HEMMAM DEBAGH	GUELMA	1987	220	184,35	0,53	16,20
4	GUENITRA	SKIKDA	1984	125	117,82	0,13	5,74
5	ZIT EMBA	SKIKDA	2002	120	116,59	0,24	2,84
6	BENI ZID	SKIKDA	2000	40	39,39	0,52	1,53
7	ZARDEZAS	SKIKDA	1945-1974	31	16,86	0,4	45,61
8	KSOB	MSILA	1940-1976	29,5	11,83	0,7	59,90
9	BENI HAROUN	MILA	2003	960	880	6	8,33
10	HEMMAM GROUZ	MILA	1987	45	40,15	0,4	10,78
11	CHEFFIA	EL TAREF	1965	171,96	158,83	0,17	7,64
12	MEXA	EL TAREF	1998	47	30,27	0,11	35,60
13	OUED CHAREF	SOUK AHRAS	1995	157	152,65	0,52	2,77
14	AIN DALIA	SOUK AHRAS	1988	82	76,08	0,75	7,22
15	AL AGRAM	IJEL	2002	33,9	33,04	0,1	2,54
16	FOUM EL GHORZA	BISKRA	1950	47	12,9	0,8	72,55
17	FONTAINE DES GAZELLES	BISKRA	2000	55,5	54,74	0,3	1,37
18	BABAR	KHANCHELA	1995	41	38,01	0,68	7,29
19	FOUM EL GUEISS	KHANCHELA	1938-1969-2005	3	1,6	0,43	46,67
20	OUED ATHMANIA	MILA		33,25	31,7		4,66
21	KISSIR	IJEL		68	59,92		11,88
22	BOUSSIABA	IJEL		120	109,37		8,86
23	BOUGOUS	EL TAREF		66	60,55		8,26
24	BENI-AMRANE	BOUMERDES	1988-2003	16	11,85	4,1	25,94
25	BOUKOURDANE	TIPAZA	1992	97	105	0,21	-8,25
26	BOUROUMI	AIN DEFLA	1985	188	181,86	0,8	3,27
27	HAMIZ	BOUMERDES	1897-1935	21	15,53	0,35	26,05
28	KEDDARA	BOUMERDES	1986	145,6	142,39	0,05	2,20
29	LADRAT	MEDEA	1990	10	8,47	0,02	15,30
30	LEKHAL	BOUIRA	1985	30	27,16	0,17	9,47
31	MEURAD	TIPAZA	1861	0,9	0,2	0,005	77,78
32	NADOR	TIPAZA	2003	Prise		6	
33	TAKSEBT	TIZI-OUZOU	2001	175	181,02	0,27	-3,44
34	TICHY HAF	BEJAIA	2007	80	77,26	4,7	3,42
35	TILESDIT	BOUIRA	2004	165,55	165,55	0,69	0,00

II.7. Conclusion

A la fin de ce La deuxième chapitre, de l'envasement est un phénomène qui peut parvenir de façon naturelle ou provoquée suite aux actions extérieures et aussi aux agents anthropiques induisant des conséquences non négligeables, où nous enregistrons en l'Algérie l'érosion des sols qui peut atteindre les 5000 t/km²/an contre 30 à 50 t/km²/an en Europe. Parmi ces conséquences l'alluvionnement (l'envasement) des barrages-réservoirs provoquant des pertes considérables de la capacité utile d'un réservoir où le taux d'envasement, selon levé bathymétrique 2014 atteint jusqu' a 6 Hm³/an . Pour ce faire, il est nécessaire de s'intéresser à l'évolution de l'envasement dans le barrage-réservoir et de prédire son évolution durant son exploitation par l'emploi d'approches empiriques ou semi-empiriques. Permettant, ainsi de prévoir des actions de gestion ainsi que des solutions préventives ou curatives pour atténuer l'ampleur du phénomène.

Chapitre III :

**Méthodes l'estimation de
l'envasement dans les barrages**

III.1. introduction :

Le calcul de la sédimentation dans une retenue est considéré comme étant un outil de prévision lors de la planification, la conception et l'exploitation d'un ouvrage hydraulique.

La genèse, les transports et dépôts des sédiments sont des processus dynamiques complexes : ils englobent l'érosion des sols, le dépôt aux pieds des versants, la substitution des charges, le sapement et l'effondrement des berges, le transport dans le réseau hydrographique par le charriage de fond, la transformation et l'eutrophisation des cuvettes, l'ensablement des estuaires et la formation des deltas . Dans ce chapitre, nous examinerons quelques méthodes de calcul des sédiments.

III.2. Méthodes de détermination de l'envasement :

En dehors de l'estimation globale du débit solide, le contrôle du mécanisme d'envasement des retenus permet la surveillance des ouvrages et la détermination des mesures de protections à prendre.

Comment évaluer le volume de l'envasement ?

L'accumulation des sédiments véhiculés par les eaux pluviales et venants 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 mesure (Neto, 2007).

III.2.1. Bathymétrie par nivellement : (Proulhal et Kerlann 2006)

Cette méthode présente l'avantage de tenir compte de toute la hauteur de sédiments et est intéressante à mettre en œuvre dans les projets où le toit du substrat n'est pas connu. Il ya plusieurs méthodes utilisées pour le levé bathymétrique par nivellement, dont on cite 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 (Figure. III.1). Elle permet soit de mesurer simplement la hauteur totale de vases par enfoncement, soit de mesurer la hauteur d'eau avant et après les travaux.

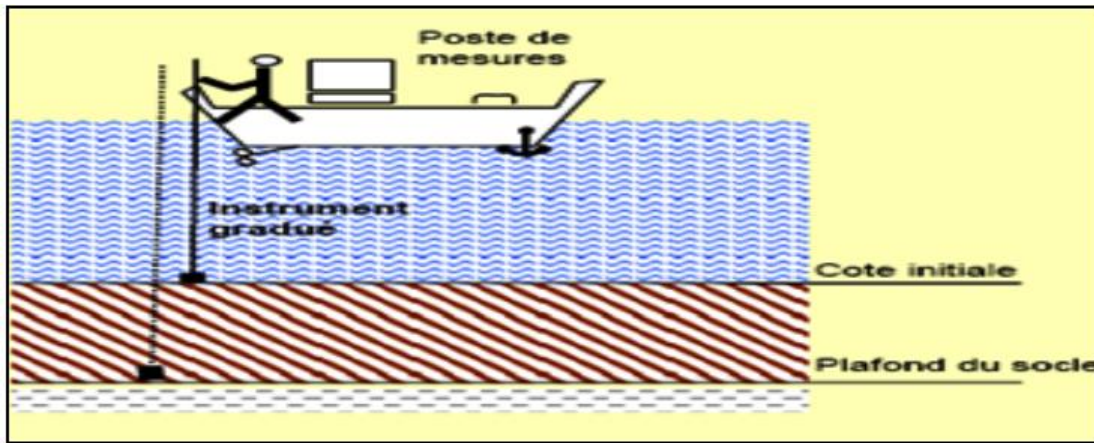


Figure. III.1: schématisation de la bathymétrie par nivellement (Proulhac et Lann 2006).

b. la seconde méthode de nivellement se fait 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. III.2). 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. 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.

$$V = S \times L \quad \dots\dots\dots (III.1)$$

V : volume de sédiments en mètres cubes.

S : section envasée en mètres carrés.

L : distance entre deux points de mesure en mètre.



Figure III.2 : Estimation de l'envasement par la méthode de nivellement (Tachéomètre). (Proulhac et Lann 2006).

III.2.2. Bathymétrie par sondeurs «Echosondeur bathymétrique » :

Le dernier appareil à mesurer la profondeur par échosondeur, une véritable révolution dans la mesure de l'eau profonde. Les mesures bathymétriques permettent de suivre l'évolution du volume des sédiments accumulés. Bathymétrie par sondeurs (Figure.III.3) Le volume des sédiments est calculé par informatique avec, comme hypothèse de départ, la cote du projet à atteindre.

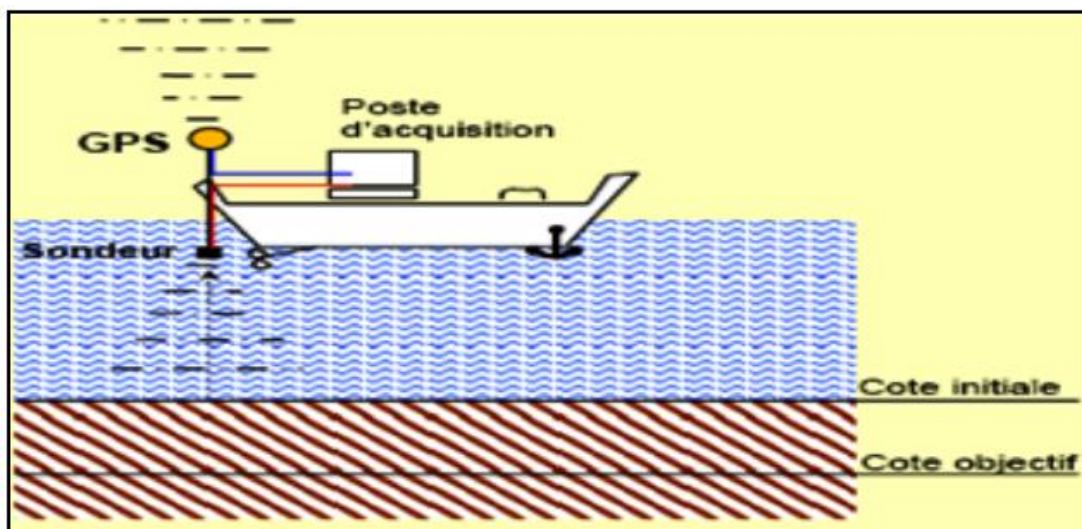


Figure. III.3: Schématisation de la bathymétrie par échosondeur (Proulhac et Lann 2006).

III.3. Quantification de l'érosion hydrique :

La quantification de l'érosion hydrique peut se faire soit :

- Par la mesure directe du transport solide au niveau des stations de mesure.
- Par des formules expérimentales

On citera dans ce qui suit quelques formules les plus utilisées :

III.3.1. Formule Universelle de perte en sol (USLE) :

Il s'agit d'un modèle d'érosion, permettant d'évaluer les zones à haut risque et de quantifier les pertes de sol moyennes annuelles. Le modèle permet l'estimation des quantités de sédiments qui seront transportées par le cours d'eau. La formule s'écrit :

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \dots\dots\dots (III.2)$$

Dans laquelle :

A : Perte de terre (tonne/ha/an) ;

R : Facteur d'agressivité climatique ;

K : Indice d'érodibilité du sol ;

L : Facteur longueur de pente ;

S : Facteur de pente ;

C : Facteur agronomique ;

P : Facteur des aménagements antiérosifs.

Elle porte le nom de WISCHMEIER et SMITH. C'est la formule la plus utilisée mais sa complexité réside dans la difficulté de la détermination exacte de tous ses paramètres.

(Bednarczyk et Madeyski, 1998).

III.3.2. Formule de Fournier :

$$Ass = \left(\frac{1}{36}\right) \left(\frac{Pm}{Pam}\right)^2 (2.65) \left(\frac{h}{S}\right)^2 (0.46) \dots\dots(III.3)$$

Avec

Ass : apport solide spécifique (t/km²/an) ;

Pm : précipitations moyennes mensuelles du mois le plus pluvieux (mm) ;

Pam : précipitations annuelles (mm) ;

h : dénivelée moyenne (m) ;

S : superficie du bassin versant (km²).

III.3.3. Formule de Tixeront :

Basée sur les données recueillies dans 32 bassins algériens et 9 bassins tunisiens sur une durée comprise entre 2 et 22 ans

$$Ass = 354.E^{0.15} \dots\dots\dots (III.4) \text{ pour les bassins tunisiens}$$

$$Ass = 92.E^{0.21} \dots\dots\dots (III.5) \text{ pour la région de l'est algérien}$$

$$Ass = 200. E \dots\dots\dots (III.6) \text{ pour la région du centre algérien}$$

Avec :

Ass : apport solide spécifique en t/km²/an ;

E : Ecoulement en mm.

III.3.4. Formule de Sogreah :

Basée sur les données de 30 bassins Algériens, la formule est donnée par :

$$Ass = \alpha .E^{0.15} \dots\dots\dots (III.7)$$

Avec :

Ass : apport solide spécifique (t/km²/an)

α : coefficient dépendant de la perméabilité du sol, donné au Tableau III.1.

E : Ecoulement annuel (mm).

Tableau III.1: Valeurs de α pour différentes perméabilités (Rerboudj, 2004).

Perméabilité	α
Forte	8.5
Moyenne	75
Moyenne à faible	350
Perméabilité faible	1400
Imperméable	3200

a)Évaluation de la lame d'eau ruisselée par la formule de TIXERONT et BERKALOFF

La relation de TIXERONT et BERKALOFF est définie ainsi :

$$Le = \frac{Pa^3}{3 \times ETP^2} \dots\dots\dots(III.8)$$

Avec:

Le : Lame d'eau ruisselée en m

ETP: Évapotranspiration potentielle

Pa : Pluviométrie moyenne annuelle en m. (SouadiY , 2011).

b)Évaluation de la lame d'eau ruisselée par la formule algérienne :

Le modèle connu sous le nom de formule algérienne s'écrit comme suit

$$Lr = Pa(1 - 10^{-k(Pa)^2})$$

$$K = 0.18 - 0.01 \text{Log}_{10} Sb \dots\dots\dots (III.10)$$

Avec,

Lr : Lamme d'eau ruisselée en mm

Sb: Superficie du bassin versant en Km²

Pa: Pluviométrie moyenne annuelle en m.

III.3.5. Formule de L’A.N.R.H (1970) :

$$Tss= 26.62Le +5.07Ip+9.77Ct-593.5 \dots\dots\dots(III.11)$$

ou:

Tss: transport solide spécifique moyen annuel (T/Km² /an)

Ie: indice lithologique (%).

IP : indice des précipitations (%).

Ct : Coefficient de torrentialité du bassin versant (km²). (Kana et Bouakaz, 2017).

III.3.6. Le volume mort :

est calculés par la formule de Tixeron :

$$Vmort = \frac{Ta.SN}{\gamma_s} \dots\dots\dots(III.12)$$

Avec :

Vmort : volume mort en (m³).

Ta : apport solide spécifique (t/km²/an).

S: superficie du bassin versant en Km².

N: durée de vie de l’ouvrage en (années).

γ : poids volumique de la vase en (t/m^3).

III.4. Les Travaux antérieurs sur l'envasement :

III.4.1. Travaux de Heusch B et Millies-Lacroix A en1971 :

Ils ont établi une méthodologie pour estimer l'écoulement et l'érosion dans un bassin : application au Maghreb Mines et géologie. L'Algérie du nord est une zone montagneuse fragile. Les montagnes s'étendent sur une superficie de 75000 km² dont les deux tiers sont situés à plus de 800 m, et le quart présente des pentes supérieures à 25 %. La lithologie y est souvent constituée de roches tendres (notamment schistes et argiles) sensibles à l'érosion. Le climat très irrégulier alterne années sèches et humides, avec des pluies souvent intenses et dévastatrices. La conjonction de ces différentes caractéristiques induit une érosion forte, difficile à quantifier : le chiffre moyen de 800 t/km² par an a été proposé pour différents bassins du Maghreb.

III.4.2. Travaux de Valenbois J et Migniot C en1975 :

Selon Valenbois J et Migniot C le premier barrage construit en Algérie est le barrage de Sig en 1846, Il a été abandonné faute de son envasement rapide. En 1890, il existait en Algérie neuf barrages, d'une capacité de 61 Million de m³ et un volume de Vase de 2,7 Million m³ /an. En 1957, les barrages d'Algérie d'une capacité de 900 Million de m³ avaient accumulé près de 200 Million de m³ de vase.

III.4.3. Travaux de Demmak A en 1982 :

Selon Demmak; l'érosion serait 5000 t/km² par an sur le bassin-versant de l'Oued Agrioum Demmak A estimé que le taux d'érosion spécifique atteint les valeurs les plus importantes d'Afrique du Nord, dépassant les 2000 t/km².an et concerne la plupart des bassins versants de l'Atlas tellien (Rhiou, Sly, Fodda, Mazafran, Isser, Soummam,...), il atteint 4000 t/km².an sur la chaîne des côtières Dahra et 5000 t/km².an sur le bassin d'Ighil-Emda.

III.4.4. Travaux de Bourouba. M en 1993, 1994, 1996, 1997,1998 :

Le travail de Bourouba. M est une étude complémentaire à la série de travaux que nous avons réalisés sur la géodynamique actuelle dans certains bassins-versants de l'Algérie orientale ou l'estimation chiffrée des phénomènes érosifs se heurte à beaucoup de difficultés. La relation entre les transports solides spécifiques moyens mensuels et le coefficient mensuel de débit exprimé par le rapport de l'écoulement à la pluviométrie moyenne mensuelle montre l'exutoire de deux périodes d'érosion complètement différent.

III.4.5. Travaux de Remini B en 1997 :

Selon Remini les fortes crues peuvent transporter des charges de sédiment en suspension on supérieures à 100 gramme/litre. Et aussi selon Remini le moyen des dépôts dans les retenues des barrages est 20 millions de m³/an.

III.4.6. Travaux de Benblidia en 2001 :

Selon Benblidia Au Maroc, près de 10% du volume des barrages est comblé par les sédiments. En Tunisie, la proportion est plus forte, soit 25%.

III.4.7. Travaux de Morsli B et Mazour M et Mededjel N et Hamoudi A et Roose E en 2004 :

Selon Morsli B et Mazour M et Mededjel N et Hamoudi A et Roose E Les petits barrages et retenues collinaires qui stockent l'eau et les sédiments avant leur arrivée dans les grands barrages sont une option, mais celle-ci n'est souvent qu'un simple déplacement du problème vers l'amont. La véritable solution consiste plutôt à empêcher l'érosion dès l'origine. De ce point de vue, les modes d'utilisation des terres sont très importants.

III.4.8. Travaux de Remini B et Hallouche W en 2007 :

Les fortes crues peuvent transporter des charges de sédiments en suspension supérieures à 100 gramme/Litre. Cette forte concentration se manifeste surtout pendant vient de rajouter la partie charriée du transport aux chiffres précédents.

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

Selon les auteures, l'évacuation des sédiments par les pertuis de vidange peut prolonger la durée de vie de barrage. On peut réduire l'envasement par l'évacuation des sédiments par les pertuis de vidange à condition de bien maîtriser les mécanismes de la sédimentation dans les barrages. Il existe trois méthodes

- la vidange annuelle du barrage (chasse espagnole) ;
- l'ouverture périodique des vannes de fond ;
- le soutirage des courants de densité.

La première technique consiste à vider le barrage en début d'automne, laisser les vannes ouvertes et attendre que les premières crues enlèvent les vases non encore consolidées. Cette méthode n'est pas adaptée aux régions semi-arides où l'on souhaite réaliser une gestion interannuelle des ressources en eau.

La deuxième technique est l'ouverture périodique des vannes de fond. Elle est indispensable pour enlever les dépôts vaseux près des pertuis de vidange, mais peu efficace au-delà. Les premières tentatives d'évacuation des sédiments par la vanne de fond ont été effectuées au barrage d'Oued El Fodda en 1937 et en 1939, malheureusement sans grand succès puisqu'en 1948 les vannes de fond étaient complètement obturées. Cette méthode n'est actuellement pratiquée que dans le barrage de Beni Amrane, ses six vannes de fond ont évacué environ 3 Million de m³ de vase entre 1988 et 2000, soit environ 26 % des sédiments entrants. La troisième méthode, probablement la plus efficace, est le soutirage des courants de densité par des vannettes de dévasement. La majorité des retenues en Algérie se prêtent à la mise en œuvre de cette technique. En effet, la forte concentration en sédiments dans les cours d'eau en période de crues et la forme allongée (de type canal) de la plupart des barrages donnent naissance à des courants de densité à l'entrée de la retenue, pouvant se propager jusqu'au pied du barrage.

III.4.9. Travaux de Ghenim A et Seddini A. et Terfous A en 2008 :

Ghenime.A etseddini.A et terfous.A estiment que les apports solides annuels du bassin de l'oued Mouileh (2650km²) ont varié de 6 à 1038t/km² par an entre 1978 et 1987 et l'érosion dans le bassin de l'oued mouileh et est 165 t/km² par an.

III.4.10. Travaux de Serbah B en 2011 :

Selon Serbah il convient d'éviter notamment le surpâturage, le défrichement excessif et autres méthodes de culture inappropriées qui mettent le sol à nu. Si le bassin versant en question n'est pas très grand, les effets de la conservation des sols se feront sentir très rapidement, d'après certaines expériences réalisées aux Etats-Unis, on peut réduire l'érosion des sols de jusqu'à 95 % en employant, exclusivement les méthodes traditionnelles de culture. Dans le cadre de la protection des bassins, un programme spécial a été lancé par les services des forêts. Il s'agirait de traiter une superficie de 1,5 millions d'hectares jusqu'au 2010 dans le territoire national. (Bouklikha et Berrichi, 2017).

III.5. Conclusion :

Selon les données de 57 grands barrages l'Algérie perd par envasement 45 à 50 millions de m³ chaque année , ce qui représente une perte de capacité annuelle égale à 0,65 % de la capacité totale. Le volume de vase estime en 2006 était de 1,1 milliards de m³, soit un taux de comblement de 16 % de la capacité totale de 6,8 milliard de m³. Et aussi selon Remini le moyen des dépôts dans les retenues des barrages est 20 millions de m³/an.

Tous les travaux antérieurs menés par les chercheuses sur le phénomène d'envasement des barrages surtout les études réalisées au niveau des bassins versants aideront à trouver des solutions pour réduire ce problème par : l'estimation de taux d'envasement, quantification de la vase, l'érosion et mécanisme d'envasement des barrages. l'ensemble des travaux sont axés sur la qualification de l'érosion et étude du mécanisme de l'envasement des barrages. Ce chapitre nous a permis d'éclaircir la méthode de notre étude.

CHAPITRE IV :

**Etude De l'envasement le barrage des Fontaine
Des Gazelles**

IV.1. Introduction

Le barrage s'étale sur une superficie de 1.660 km², situé pour partie dans la wilaya de Batna et pour partie dans la wilaya de Biskra. Son remplissage s'est fait entre 2000 et 2006 pour entrer, réellement, en exploitation en janvier 2006 afin d'irriguer le périmètre d'El Outaya distant de 26 km. Il est alimenté principalement par l'Oued El Hai ainsi que par oued Tamtam et oued El Melah. Le dénivelé entre le barrage de Fontaine des Gazelles et le périmètre d'El Outaya est de 164 m ; la cote du barrage est à 384 m alors que le périmètre est à 220 m. L'amenée d'eau au périmètre se fait donc par gravité.

Malgré son importance économique pour la région il est expose a envasement qui diminuent sa capacité de stockage Pour étudier le mécanisme de l'envasement et les techniques de dévasements, nous avons mené des enquêtes et des investigations et analyse des données .(Figure IV.1).

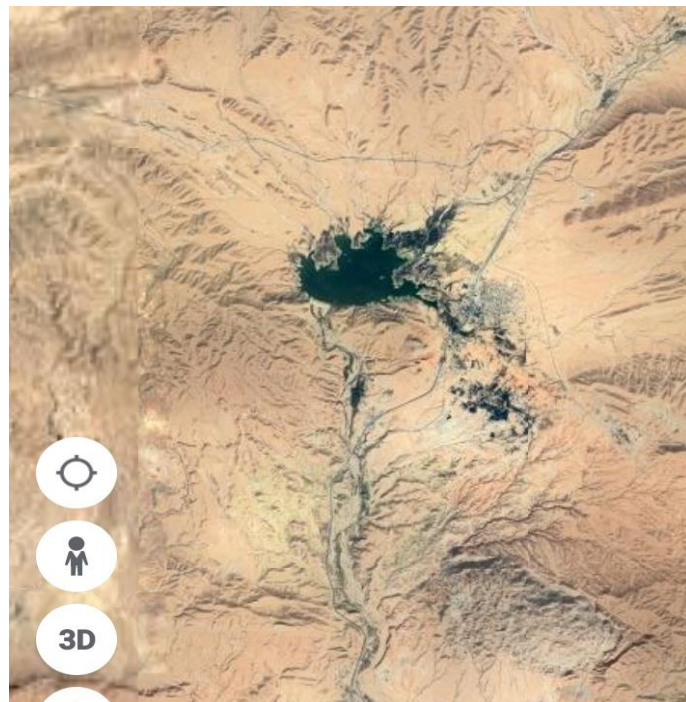


Figure IV.1: Image satellitaire du barrage Fontaine Des Gazelles(Google Earth,2021)

IV.2. Mécanisme De l'envasement le barrage de Fontaine Des Gazelles :

IV.2.1. Erosion et sapement des berges:

IV.2.1.1. Les types des sols:

Le sous bassin versant de l'oued El Hai : la répartition des sols du sous bassin versant de l'oued El Hai est comme suite (RERBOUDJ, 2005) :

A. Sols à minéraux bruts

A.1. Lithosols et régosols: c'est le type le plus fréquent (49,94 %) reposant sur un substratum généralement marno-calcaire, calcaire-marneux, calcaire massif ou marne ; et dans les hautes montagnes, caractérisé par une texture grossière, coupée par le ravinement.

A.2. Sols d'apports alluviales : se localisent le long du talweg principal ; avec une superficie de (7,67 %). La texture est grumeleuse ; la profondeur peut atteindre 2 m.

A.3. Sols d'apports éoliens: Ils couvrent une superficie de 9,05 % au Sud Ouest du bassin versant près du barrage fontaine des Gazelles, la profondeur est faible.

B. Sols peu évolués d'apport colluvial (Modaux, steppises, calcimorphes) : se situent sur la plaine de Ain Touta avec une bande allongée autour de l'oued Tilatou, représentant 9,45 % de la superficie totale, ils reposent sur les formations quaternaires où la pente est très faible.

C. Sols à encroûtement calcaire: ils se localisent en général sur les formations quaternaires dans les glacis autours des plaines, souvent recoupés par le ravinement. Ce type de sol est le plus érodé, car il se situe dans les pentes moyennes (4-12 %) et recouvrant une superficie de 23,89 %. En conclusion, les sols du sous bassin versant de l'oued El Hai sont très pauvres en éléments nutritifs, ce qui abaisse leur cohésion et laisse le ravinement se développer.

Les altitudes décroissent de l'amont vers l'aval avec un dénivelé de 1714 m, les pentes sont moyennes à fortes de 71,63%, avec des formations moyennes à faibles résistance à l'érosion de 63,08%, semi-perméable 54,71%, les caractéristiques morpho métriques montre l'existence d'une dynamique active, justifie par une densité de drainage moyenne à forte

(68,98%), les sols sont squelettiques peu évolués à minéraux brutes de 49,94% et mal protégés par une végétation dégradée à très dégradée particulièrement des maquis 58,05%. Tous ces facteurs ont prouvé que la zone d'étude souffre par les phénomènes d'érosion,

IV.2.1.2 l'érosion :

Le bassin versant de Oued El-Hai est caractérisé par des composantes stables du milieu physique qui favorise le déclenchement de toutes les formes d'érosion.

La perte de sol dans le bassin versant de Oued EL HAI varie selon le zonage de risque d'érosion suivant :

La zone (I) à érosion faible (1,40-5,53t/ha), la zone (II) érosion modérée à sévère (17,87-44,53t/ha) et l'érosion des zones (III) et (IV) sont très sévères (68,09-100,70 et 137,95-203,96 t/ha), et donc la dégradation moyenne des sols est estimée à 47 T/ha/an.

* le calcul de la sédimentation produite dans la retenue pendant la durée de vie du barrage (Tn = 50 ans).

La formule la plus utilisée est celle de WOOD BURN (II):

$$SP = 2,492 \cdot A^{0,9151} \cdot St^{0,8308} \cdot Tn^{0,7329} = 64,242\,578 \text{ m tonne.} \dots\dots\dots(\text{IV.1}).$$

SP: sédimentation produite en tonne.

A : surface du bassin versant en hectares.

St : dégradation spécifique en t/ha/an.

Tn : durée de vie de la retenue en ans.

Si on admet que la densité moyenne des sédiments égale à 1,6 t/m³ et la capacité totale du barrage est de 57,5.10⁶m³, le degré d'envasement pendant la durée de vie peut arriver à 69,81%. donc on constate que l'âge de cet ouvrage ne peut pas dépasser 25ans.

La dégradation spécifique pour cette période est de Ds = 774tonne/Km²/an, ce qui fait plus de trois fois de la valeur trouvée par ANRH (200 T/Km²/an)

le bassin versant de O. El-Hai comprend quatre zones homogènes caractérisées par une dégradation annuelle qui varie de 1,40 a 203,96t /ha/an, où une zone à risque d'érosion faible. Contrairement trois autres à risque excessive, et la perte moyenne annuelle du bassin versant estime à 47,13T/ha/an.

Les résultats obtenus des 05 formules sont reportés dans le tableau IV.1 récapitulatif ; de la dégradation spécifique du bassin versant de O. El-Hai.

Tableau IV.1: Récapitulation de la dégradation dans le B.V de O. El-Hai(74-2004) (Rerboudj, 2004).

Formule	S.B amont	S.B aval	Ds t/km ² /ans
Tixéront	168 ,91	111,52	157,66
Sogréah	54,18	86	514,23
Fournier	31 ,99	9,61	23,03
Gavrilovic	713,63	464,35	496,22
ANRH	97,11	176,45	117,63
USLE	/	/	774

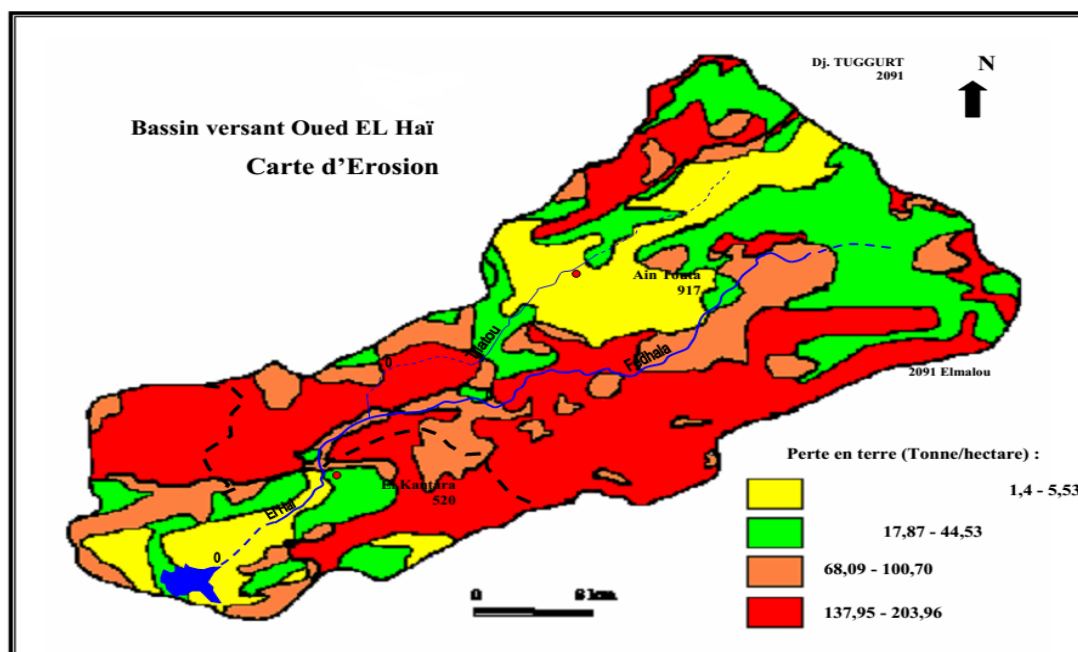


Figure IV.2: La carte d'érosion le Bassin versant de Oued El-Hai (Rerboudj, 2004).

cité par : Demmak, 1982 et Bourouba, 1995, on peut dire que l'érosion du bassin versant de O.El-Hai entre de 400 à 500t/km²/an.

- l'équation de Wischmeier évalue l'érosion en nappe et prend en considération cinq variables explicatifs ; mais dans l'absence d'une expérimentation on peut pas accepte la valeur trouvée par USLE de 774T/km²/an comme une seuil maximal de l'érosion. Donc on peut estimé l'érosion du Bassin versant de Oued El-Hai entre 400 et 500 T/km²/an, mais les mesures in cite reste les plus fiables dans le domaine de l'érosion.

L'application d'autres modèles a montré que la formule de la Sogréah et Gavrilovic est les plus adéquate aux conditions de la zone d'étude, avec un taux de 500 T/Km²/an. Ce qui laisse le barrage de fontaine des gazelles en exposition au risque d'envasement rapide. Figure IV.3.



Figure IV.3: Oued El-Hai (Bebba, 2017).

IV.3. Données de base pour d'estimation de l'envasement :

IV.3.1. Les apports :

IV.3.1.1. Apports liquides :

Les crues d'Oued El Hai sont liées aux précipitations orageuses ayant une double origine, puisque provenant soit d'orages locaux en été, soit des dépressions sahariennes au printemps et plus souvent encore en automne. Les crues de l'oued sont très violentes et soudaines.

IV.3.1.2 Apports solides :

Les matières solides transportées sont liées aux crues: fortes teneurs en octobre et décembre, tandis que les mois de mars et juin peuvent charrier jusqu'à 1/5 ème des apports solides.

IV.3.1.3 Quantités des apports :

Sur la base des données des apports et des lâchers fournis par l'agence nationale des barrages et transferts (ANBT) concernant les volumes de la suspension évacués par la vanne de fond durant la période : 2006 -2020, nous avons établis des relations entre les apports et les rejets par les pertuis de vidange. Nous avons représenté sur les (Figure IV.4 et 5), le volume annuel des apports du barrage ainsi que le volume des rejets de la suspension par la vanne de fond durant la période : 2006-2020. Il est intéressant de constater que les lâchers n'ont pas suivi les apports d'eau. A titre d'exemple, en 2008/2009, un apport d'environ de 90.20 millions de m³ d'eau a été enregistré dans le barrage, cependant, environ 3 millions de m³ de suspension ont été évacué par la vanne de fond. Soit un rapport de 3.3% entre les rejets et les apports, une valeur jugée très faible. Nous pouvons dire que durant l'année 2008/2009, le barrage a enregistré un envasement important.

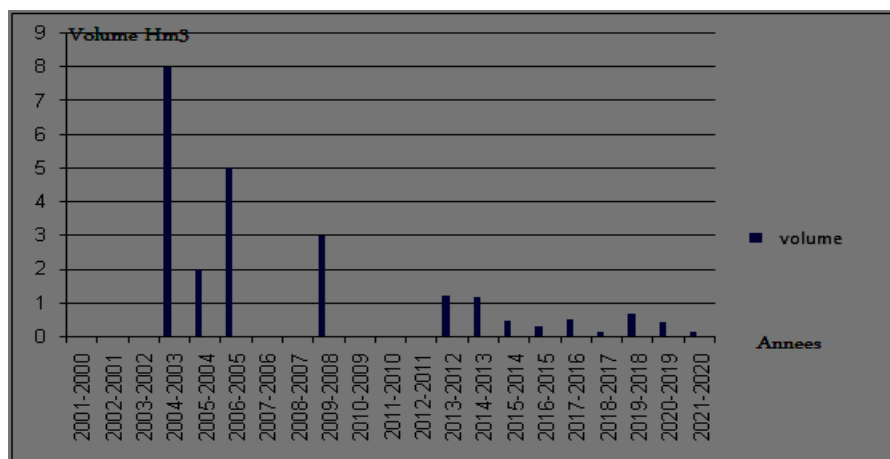


Figure IV.4: Quantités des apports annuels au barrage de Fontaine Des Gazelles (2000-2020).(ANBT, 2021.)

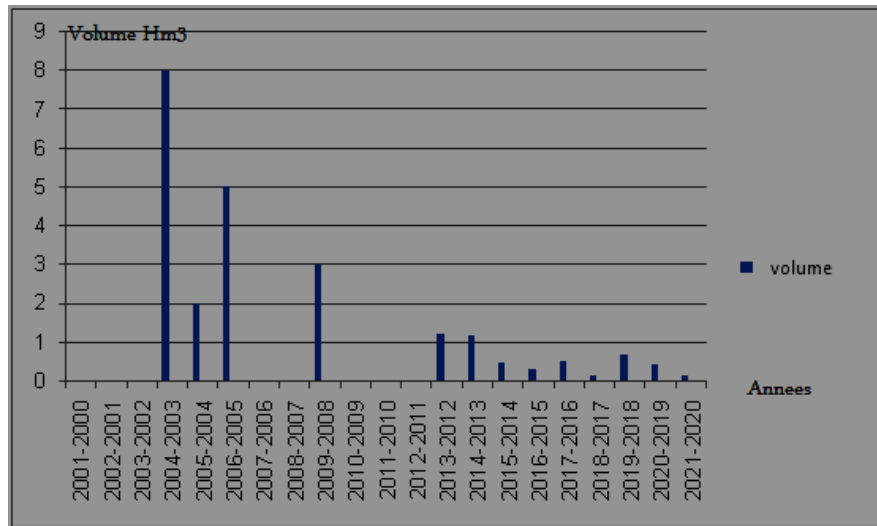


Figure IV.5: Quantités annuelles évacuées par la vanne de fond (2000-2020).(ANBT, 2020).

IV.3.2. Les caractéristiques techniques du Barrage de Fontaine Des Gazelles:

Le barrage de fontaine des gazelles est construit en matériaux locaux (remblai en alluvions compacté) avec un noyau d'argile, il se situe à l'aval de Oued El Hai, alimenté par une surface de 1 660Km², ayant une capacité normale 55,5hm³, il est rempli actuellement à 100 %, mais une grande tranche de ce volume apparent, n'est que vase et autres apports solides charriés lors des crues avec un débit solide de 360 000 m³/an. Le stocke de ce barrage souffre aussi d'une grande perte par évaporation, qui dépasse les 06 hm³par an, ce qui laisse juste 14 hm³à régulariser pour les besoins d'irrigation.

Tableau IV.2: Les caractéristiques techniques du Barrage de Fontaine Des Gazelles

Barrage fontaine des Gazelles (W. Biskra, à 35 km Nord de Biskra)	
Années d'exploitation	Avril 2000
Surface	4.051m ²
Volume	30.600 m ³
Cote	379.13 NGA
Capacité (Hm ³)	55.5
Volume régularisé (Hm ³)	14
Coordonnées	Lat. 35° 7' ; Long. 5° 34'E
Type	en terre à noyau
Evacuateur de crue	à surface libre type labyrinthe. 3000 m ³ /s
Vidange de fond	Galerie de vidange. 25 m ³ /s
Prise d'eau	Tour cylindrique de 10 m de diamètre à quatre Niveaux d'une capacité de 4m ³ /s pour chaque prise.
Hauteur (m)	42.5
NNR (m NGA)	384.00
Niveau de la crête (m NGA)	389.00
Niveau max (m NGA)	388.00
Longueur en crête	370 m
Largeur en crête	8.50 m
Mise en eau	2001
Destination	Irrigation de 1100 ha

IV.3.3. Levés bathymétriques:

Un levé bathymétrique constitue un moyen très efficace de mesure du volume des sédiments piégés dans un réservoir, principalement à long terme, car il prend en considération non seulement le débit solide en suspension, mais celui charrié (Morris and Fan 1998).

L'évaluation et la prévision de l'érosion se fait souvent par des méthodes mathématiques. Mais dans les dernières années, les chercheurs sont intéressés à la localisation et la

classification des degrés de dégradation dans une même unité physique à une certaine précision ; parce que la moyenne couvre toujours les valeurs extrêmes qui produisent souvent des dégâts.

IV.3.4. Utilisation des données de l'envasement :

IV.3.4.1. Evolution de l'envasement dans le barrage de Fontaine Des Gazelles:

Malgré sa jeunesse, le barrage le premier levé bathymétrique qui a été effectué en 2004, par GEOID (société française) montre que le volume des dépôts est de 0,768 hm³ pendant 04ans après la mise en service du barrage. soit un taux d'envasement moyen annuel de 0,25millions de m³/année(Figure IV.6).

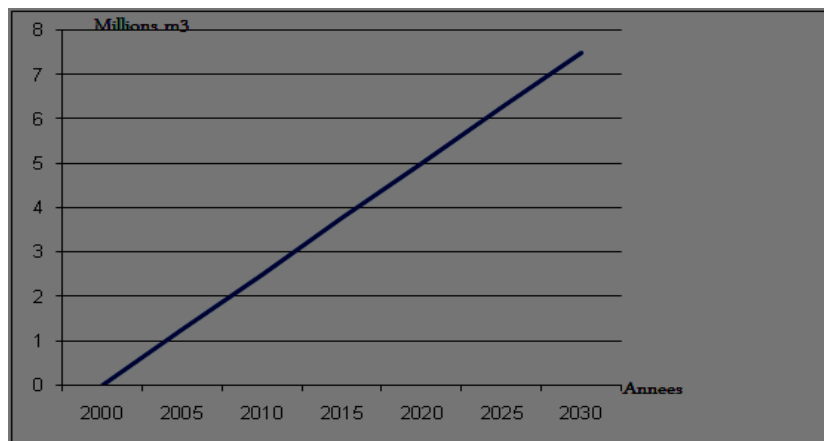


Figure IV.6 Evolution de l'envasement dans la retenue barrage de Fontaine Des Gazelles (2000-2021).

IV3.4.2. D'estimation de l'envasement:

Alors, on va essayer d'estimer la perte moyenne annuelle de sols pièges dans la cuvette :

$$Ds = \frac{Vv.T}{N.S} \dots\dots\dots(IV.2).$$

Où : Ds : dégradation spécifique en T/Km²/an.

Vv : volume des dépôts pièges dans le barrage en m³.

T : la densité moyenne des sédiments égale à 1,6 Tonne/m³

N : nombre d'années.

S : superficie du bassin versant en Km².

Supposant que la relation entre les apports liquides et les apports solides est linéaire, on obtient la répartition annuelle de la dégradation spécifique du bassin versant de Oued El-Hai dans le tableau IV.3.

Tableau IV.3: Dégradation spécifique du Bassin versant de Oued .El-Hai (2000-2020).

Anne	Apport (hm ³)	Volume des dépôts (m ³)	Masse des dépôts (tonne)	Ds (T/km ² /an)
2000-2001	0,919	7942,294492	12707,67119	7,66
2001-2002	4,496	38855,88252	62169,41203	37,45
2002-2003	30,76	265837,8439	425340,5503	256,23
2003-2004	52,69	455363,9791	728582,3665	438,91
2004-2005	10,20	88151,69077	141042,7052	84,965
2005-2006	56,31	486649,187	778638,6992	469,06
2006-2007	15,26	131881,8432	211010,9491	127,11
2007-2008	20,30	175439,1493	280702,6389	169,09
2008-2009	90,20	779537,5007	1247260,001	751,36
2009-2010	24,12	208452,8217	333524,5147	200,92
2010-2011	25,60	221243,4592	353989,5347	213,24
2011-2012	81,05	700460,2487	1120736,398	675,14
2012-2013	11,70	101115,1747	161784,2795	97,46
2013-2014	18,31	158240,9272	253185,4835	152,52
2014-2015	16,51	142684,7465	228295,5944	137,52
2015-2016	5,42	46841,38862	74946,22179	45,15
2016-2017	21,45	185377,8203	296604,5125	178,67
2017-2018	7,83	67669,38615	108271,0178	65,22
2018-2019	28,69	247948,2361	396717,1778	238,98
2019-2020	18,36	158673,0434	253876,8694	152,94
2020-2021	9,70	85795,30749	137272,492	82,69
Total	549,875	4754161,93	7606659,09	4537,175

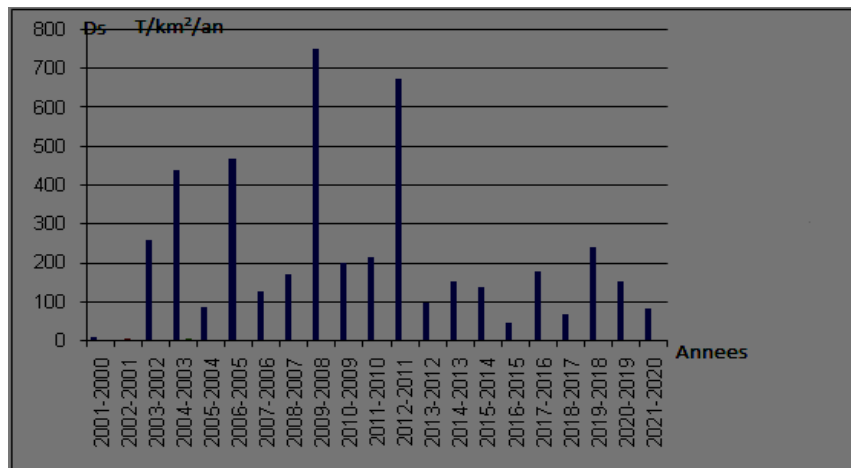


Figure IV.7: Dégradation spécifique du Bassin versant de Oued .El-Hai (2000-2020).

Dans ce cas on trouvera les valeurs max de Ds où il y a des apports max et donc en (2008-2009) $D_s = 751,36 \text{ T/km}^2/\text{an}$, avec un apport liquide de l'ordre de $90,20 \text{ hm}^3$. La valeur moyenne des 21 ans de dégradation spécifique ($D_s = 238,97 \text{ T/Km}^2/\text{an}$) . mais on trouvée dans l'étude de l'ANRH 1982 ($D_s = 181 \text{ T/Km}^2/\text{an}$); ainsi que l'étude de DEMRH (Direction des études du milieu et de la recherche hydraulique) 1973, $D_s = 200 \text{ T/km}^2/\text{an}$ à El-Kantara. Mais en réalité la valeur de $238,97 \text{ T/Km}^2/\text{an}$ n'exprime pas l'apport solide moyen des 21ans. car il y a des lâchées par la vidange de fond ($V = 22,87 \text{ Hm}^3$). pour raison de stabilisé la digue (en terre) surtout dans les deux années (2005–2006) et (2003 –2004) pendant les crues. qui permet de chasser un volume important des sédiments, le volume drainé par l'évacuateur de crue ($32, 425 \text{ hm}^3(36\%)$) en (2003-2004), qui se caractérisé par une concentration moins que celle évacuée par la vidange de fond. En somme, on peut dire que le bassin versant de Oued EL HAI au site du barrage de Fontaine des Gazelles est probablement soumis à une érosion plus que celle trouvé par les études de l'ANRH et DEMRH.(Figure IV.7)

IV.4. Plan de protection du Barrage de Fontaine des gazelles contre l'envasement:

protection du barrage devient une nécessité qui exige des techniques de restauration des sols, on prendre en considération le coût, l'efficacité des ouvrages et le développement de la région.

IV.4.1 Intervention rapide :

Ce type d'intervention concerne le sous bassin aval étant le plus proche du barrage comme suit :

***Fossé de sédimentation :**

Le gorge d'El-Kantara constituent un très bon site pour réaliser un fossé de sédimentation, où la largeur de Oued EL HAI est environ de 10 mètre, cet ouvrage peut garder la plus grande quantité des sédiments qui vient de la partie amont, surtout les éléments transporté par charriage et les sables grossiers

***L'aménagement de la partie AVAL :**

Le sous bassin aval contient 3 classes d'érosion : moyenne, forte et très forte de superficie de 490 Km².

L'aridité de la partie aval et la présence des matériaux pierreux sont un avantage qui peut assuré la fourniture en matériaux de construction des ouvrages anti-érosifs.

- Les murettes : C'est une technique adoptée aux fortes pentes (12,5 –25%) en pierre sèche sous forme linéaire ; selon les courbes de niveau ; la hauteur 50 cm et la largeur 60cm

-. Les banquettes :

Le caractère des pentes fortes et l'effet destructif des écoulements de surface nous obligent à établir un réseau de banquettes sur la zone II même en piedmonts où la dominance des formations meubles.

- La correction torrentielle :

Un torrent est corrigé par la construction d'un nombre de seuils

- La lutte contre le sapement des berge : Pendant les écoulements Violent, le courant détruite les berges concaves dans le système des méandres, surtout au niveau de O. El-Hai et Oued Tilatou

- La protection de la cuvette du Barrage : Avec les gabions, car ils résistent au forces d'entraînement des vagues d'eaux.

La hauteur des gabions doit être plus de 20 à 30 cm du niveau des berges pour que les sédiments se coïncident hors de la cuvette, ainsi que le reboisement autour de la cuvette.

***Une gestion optimale du barrage :**

La méthode la plus utilisée pour récupérer une capacité utile du barrage est la chasse des sédiments par la vidange de fond (Figure IV.8).

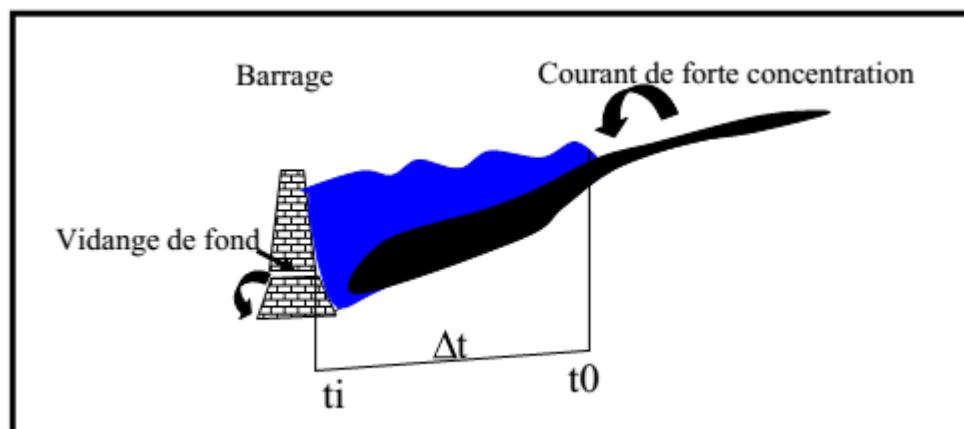


Figure IV.8 : Méthode de chasse des sédiments par la vidange de fond. (Rerboudj, 2004).

IV.4.2. Intervention de moyen terme :

Cette intervention concerne le sous bassin amont. Avec les mêmes propositions des murettes, banquettes, correction des torrents, ... et on peut ajouter d'autres proposition spécifiques à la partie amont.

- Pour la plaine de AinTouta :

L'établissement d'un réseau de banquettes constitue une ceinture sur les glacis sur les pentes (3-8%)

- L'entretien et la maintenance des anciens ouvrages :

Ils existent deux seuils (barrages) qui ont été réalisés sur Oued Tilatou

(Affluent Laksour) pendant la période coloniale pour le transfert des eaux destinées à l'irrigation d'une partie de la plaine de Ain Touta, ces ouvrages sont totalement envasés, la réactivation de ces derniers à un effet de diminution des sédiments transportés ; régularisé le débit de Oued Tilatou (d'ailleurs le pont de la route entre Ain Touta et Barika est détruit) et bénéficier de l'eau pour le développement Agricole. Ainsi que les autres ouvrages routiers.

-Le reboisement :

La lutte mécanique doit être suivie par une intervention biologique complémentaire.

- Amélioration de pâturage :

Devant la faiblesse de production en biomasse de la zone d'étude; il faudrait améliorer le pâturage pour que le milieu régénère la partie Herbacé

- le travail du sol : doit être basé sur des techniques scientifiques, qui mettent en considération la sensibilité des terres.

- proposition des retenues collinaires en Amont au temps que l'apport annuelle est estimé à 22hm³et le barrage ne peu régularisé que 14 hm³/an

IV .4.3.Proposition a long terme:

Amélioration et développement de la société, par des projets de proximité dans le cadre du plan national de développement agricole (P.N.D.A) dans les zones rurales, surtout le long de Oued Fedhala et El-kantara (O.EL HAI), avec les besoins en électricité et en gaze de ville pour éviter le défrichement de la forêt.

*** AutreProposition:**

-Réalisation d'une décharge publique dans les anciens fossés de carrière.

-Réalisation d'une station d'épuration pour le contrôle des déchets liquides à Ain Touta.

-utilisation des filtres pour les carrières et la cimenterie de AinTouta, pour abaisser la pollution de l'aire et des sols.

IV.4.4.Proposition scientifique :

Stations de mesures : pour une bonne connaissance des facteurs climatiques et Hydrologiques du bassin versant par :

- installation d'un réseau de contrôle climatique et de débit.
- Contrôle de l'information géographique récente.
- Mesure de la concentration de l'eau dans l'oued principal et pendant l'évacuation des eaux avec la vidange de fond.
- Réalisation des parcelles expérimentales pour le contrôle de l'érosion.

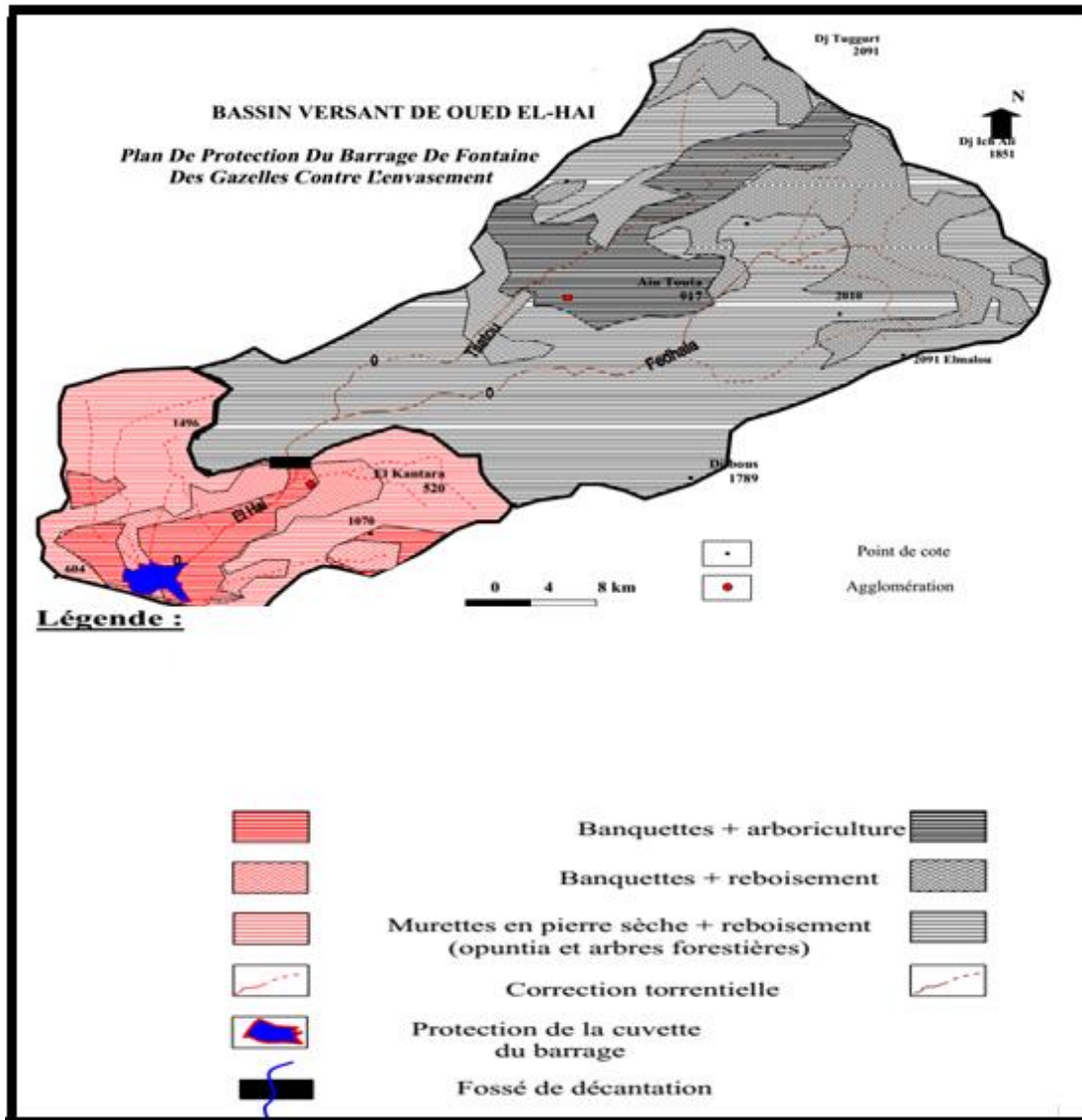


Figure IV.9: Plan de protection du Barrage de Fontaine des gazelles contre l'envasement(Rerboudj, 2004).

IV.5.CONCLUSION :

La valeur moyenne des 21 ans de dégradation spécifique ($D_s = 238,97 \text{ T/Km}^2/\text{an}$) . mais on trouvée dans l'étude de l'ANRH 1982 ($D_s = 181 \text{ T/Km}^2/\text{an}$); ainsi que l'étude de DEMRH (Direction des études du milieu et de la recherche hydraulique) 1973, $D_s = 200 \text{ T/km}^2/\text{an}$ à El-Kantara. Mais en réalité la valeur de $238,97 \text{ T/Km}^2/\text{an}$ n'exprime pas l'apport solide moyen des 21ans.car il y a des lâchées par la vidange de fond ($V = 22,87 \text{ Hm}^3$).pour raison. levé bathymétrique qui a été effectué en 2004,par GEOID (société française) montre que le volume des dépôts est de $0,768 \text{ hm}^3$ pendant 04ans après la mise en service du barrage. soit un taux d'envasement moyen annuel de 0,25millions de $\text{m}^3/\text{année}$. Ce qui laisse le barrage de fontaine des gazelles en exposition au risque d'envasement rapide Toutes ces propositions permettent de minimiser l'érosion dans le bassin versant de Oued El-Hai et donc assurer une durée de vie optimale du barrage de fontaine des gazelles et un développement durable dans la zone d'étude.

CONCLUSION GENERALE :

CONCLUSION GENERALE :

L'envasement en retenue de barrage de Fontaine Des Gazelles est liée la plus dramatique des phénomènes de l'érosion. le bassin versant de Oued El-Hai est caractérisé par des facteurs constants du milieu physique, qui favorisent le déclenchement de tous les formes d'érosion. Les pentes sont moyennes à forte (71,63%), avec des formations semi-perméable (54,71%) et moyenne à faible résistance à l'érosion (63,08%), plus de la moitié des sols sont peu évolués et mal protégés, par une végétation a dominance des maquis dégradé.

Le régime pluviométrique est aléatoire se forme orageux, les variations des températures mensuelles, saisonnières et journalières avec une ampleur thermique qui peut arriver à 15°C; favorisant le déclenchement de tous les mécanismes d'altération physico-chimique ou mécanique.

Le bilan Hydrologique du sous bassin amont exprimé un excès d'eau, qui alimente le ruissellement, par contre le sous bassin aval est déficitaire au cours de l'année. Avec l'apport moyen annuel estimé à 22 hm³ ; avec une lame d'eau écoulee de 13mm et un débit moyen annuel autour de 0,7 m³/s pour la période (1974-2004).

Le régime hydrologique du bassin versant de Oued El-Hai s'exprime par des crues de fortes puissances d'automne et de printemps, produits par des averses qui caractérisant le climat semi -aride et aride.

le bassin versant de O. El-Hai englobe quatre zones homogènes de risque potentielle d'érosion, qui se caractérisées par une dégradation moyenne annuelle variant de 7,66a 751,36 t/km²/an, dans les quelles une zones à risque d'érosion faible par contre les trois autres sont de risque sévère à excessive, où la perte moyenne annuelle du bassin versant estimée à 238,79T/km²/an.

L'objectif principal de l'étude étant la compréhension du phénomène l'érosion de Oued El-Hai et estimation l'envasement de barrage de Fontaine Des Gazelles, ce travail, basé sur les données sont approuvées l'Agence Nationale des Barrages, en prenant quelques données de la Bilan Hydraulique et en faisant référant à quelques travaux antérieurs menés par les chercheuses sur le phénomène d'envasement des barrages surtout les études réalisées au niveau des bassins versants testés. à trouver des solutions pour réduire ce problème.

Selon le donnée de levé bathymétrique en la période 2000-2004, le volume des dépôts est de 0,768 hm³. de vase s'est déposé dans le barrage soit un taux d'envasement moyen annuel de 0,25 millions de m³/année. Le barrage de Fontaine Des Gazelles suturé de cette manière couvrira l'envasement avec: 5,25 millions de mètres cubes, Il est exposé à des facteurs accrus de réduction de la capacité de stockage, notamment pour les années à venir, elle demande une intervention en urgence et efficace pour assurer une durée de vie optimale de cet ouvrage vital.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANBT, Agence Nationale des Barrages et Transferts, Biskra Algérie.

Aidoudi L, (2012). Etude de bilan Hydrologique de La retenue du barrage Foug El-gherza Mémoire de fin d'étude de Magister ,Faculté de science Technologie département d'Hydraulique et Génie civile université Mohammed khaidar Biskra, Algérie.

Bulletin N°17:érosion méditerranéennes. Centre ORSTOM, 1997

Bouabiba R &Moudjed K, (2017) L'envasement des barrages de Beni-Haron (Mila) et de Koudiat Acerdoune (Bouira). Mémoire Master . Département des Sciences de l'Eau et Environnement Université Saad Dahlab - Blida1

BOUGUERRA S, (2014). Quantification et modélisation du transport solide dans un cours d'eau de l'Algérie septentrionale cas du bassin versant de l'oued Boumessaoud (Tlemcen),Mémoire de Magister, Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen

BOUHAMDA T & NAIMI N, (2014) Dimensionnement D'un Évacuateur De Crues (Cas Du Barrage De Fontaine Des Gazelles -W- Biskra).

Bouklikha Z &BerrichiM,(2017). Estimation de l'envasement d'un barrage par le modèle PISA. Cas du barrage de El Izdihar, Mémoire Master, Faculté des Sciences et de la technologie, département d'hydraulique et génie civile, Université A bou BekrBelkaid Tlemcen, Algérie.

Boukoucha A &Daoud G,(2020). Etude d'évolution de l'envasement dans le barrage de Foug El Gherza –Biskra-

Bouvard M, 1984. Barrages mobiles et ouvrages de dérivation .Edition EYROLLES, Paris, France.

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

Djeddou M, (2000). Contribution de la valorisation de la vase cas d'étude barrage Foug el

Djillali B, (2016). Erosion et Sédimentation des barrages: perspectives et mise en œuvre de nouvelles formes d'ingénierie, Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences et de la technologie, département d'hydraulique et génie civile, Université Mohamed khaidar de Biskra , Algérie.

Ghenim A.2001.Contribution à l'étude des écoulements liquides et des dégradations du bassin versant de la Tafna Cas de Oued Isser, Oued Mouilah et la haute Tafna. Mémoire de Magister, Université de Tlemcen

Hadidi A, 2008. Une nouvelle approche de la détermination de taux d'envasement des barrages, Mémoire de Magister université Abou BekrBelkaid –Tlemcen

HENRI ILBOUDO, (1990): approche quantitative de l'érosion hydrique à L'aide d'un simulateur de pluie, (mémoire d'ingénieur d'état, option: hydraulique, INA)

Lefort P, 1995. Transport solide dans le lit des cours d'eau-Dynamique fluviale. Institut national polytechnique de Grenoble

Mohammed S, L. (2019) . Cours barrages I, Faculté des Sciences et de la technologie, département d'hydraulique et génie civile, Université Hama Lakhdar D'el Oued

Mohammed T, D & Mohammed B, (2017).Etude des infiltrations des eaux par les berges et le fond des barrages réservoirs en régions arides :Cas du barrage fontaine des gazelles –Biskra, Mémoire Master, Faculté des Sciences et de la technologie, département d'hydraulique et génie civile, Université Hama Lakhdar D'el Oued, Algérie.

Remini B, 2008. La surélévation des barrages : une technique de lutte contre L'envasement exemples algériens. Revue La Houille Blanche, N°5 pp. 103-108

ReminiB,(1997).Envasement des retenues de barrages en Algérie. Importance, mécanismes et moyen de lutte par la technique du soutirage. Thèse de doctorat, Ecole nationale polytechnique d'Alger.

RERBOUDJ Abdel (2005) Essai de Quantification de L'Erosion et Perspective de la Protection du Barrage de FONTAINE DESGAZELLES Contre L'Envasement .

TOUATI B,(2010).Les barrages et la politique hydraulique en Algérie: état, diagnostic et perspectives d'un aménagement durable. Thèse de doctorat Université Constantine

ANNEXE

Annexe 01: Bilan Hydraulique Annuel (Année :2001 /2002 /2003).

	Désignations	U	Total		
			2000-2001	2001-2002	2002-2003
Affluent	Apport	Hm3	0.91	4.49	30.76
Consomma	A E P	Hm3	0.00	0.00	0.00
	Irrigation	Hm3	0.00	0.00	0.00
	A E I	Hm3	0.00	0.00	0.00
Pertes T	Fuites	Hm3	0.00	0.00	0.00
	Vidange	Hm3	0.00	0.00	0.00
	Dévers	Hm3	0.00	0.00	0.00
	Evaporation	Hm3	0.253	2.325	4.990
	Pertes	Hm3	0.00	0.00	0.00
Cote maximum		m NGA	365.550	370.610	376.520
Climat	Pluviometrie	MM	70.5	63.21	154

Annexe 02: Bilan Hydraulique Annuel (Année :2004 /2005 /2006).

	Désignations	U	Total		
			2003-2004	2004-2005	2005-2006
Affluent	Apport	Hm3	52.69	10.20	56.31
Consomma	A E P	Hm3	0.00	0.00	0.00
	Irrigation	Hm3	0.00	0.00	0.534
	A E I	Hm3	0.00	0.00	0.00
Perte T	Fuites	Hm3	0.00	0.00	0.00
	Vidange	Hm3	8.00	2.00	5.00
	Dévers	Hm3	32.00	9.00	29.00
	Evaporation	Hm3	7.326	10.146	10.467
	Pertes	Hm3	0.00	0.00	0.00
Cote maximum		m NGA	382.690	385.520	384.00
Climat	Pluviometrie	MM	206.40	263.40	61.90

Annexe 03: Bilan Hydraulique Annuel (Année :2007 /2008 /2009).

	Désignations	U	Total		
			2006-2007	2007-2008	2008-2009
Affluent	Apport	Hm3	15.26	20.30	90.20
Consomma	A E P	Hm3	0.00	0.00	0.00
	Irrigation	Hm3	8.50	9.69	9.18
	A E I	Hm3	0.00	0.00	0.00
Pertes T	Fuites	Hm3	0.00	0.00	0.00
	Vidange	Hm3	0.00	0.00	3.00
	Dévers	Hm3	0.00	0.00	57.00
	Evaporation	Hm3	11.80	10.10	8.93
	Pertes	Hm3	0.00	0.00	0.00
Cote maximum		m NGA	384.200	383.540	383.580
Climat	Pluviometrie	MM	156.60	93.80	126.00

Annexe 04: Bilan Hydraulique Annuel (Année :2010 /2011 /2012).

	Désignations	U	Total		
			2009-2010	2010-2011	2011-2012
affluent	Apport	Hm3	24.12	25.60	81.05
Consomma	A E P	Hm3	0.00	0.00	0.00
	Irrigation	Hm3	9.19	13.75	10.01
	A E I	Hm3	0.00	0.00	0.00
Pertes T	Fuites	Hm3	0.00	0.00	0.00
	Vidange	Hm3	0.00	0.00	0.00
	Dévers	Hm3	57.62	1.31	0.00
	Evaporation	Hm3	9.24	9.28	8.29
	Pertes	Hm3	0.00	0.00	0.00
Cote maximum		m NGA	384.000	383.510	383.530
Climat	Pluviometrie	MM	235.90	160.85	181.97

Annexe 05: Bilan Hydraulique Annuel (Année :2013 /2014 /2015).

	Désignations	U	Total		
			2012-2013	2013-2014	2014-2015
Affluent	Apport	Hm3	11.70	18.31	16.51
Consomma	A E P	Hm3	0.00	0.00	0.00
	Irrigation	Hm3	8.51	10.36	10.03
	A E I	Hm3	0.00	0.00	0.00
Pertes T	Fuites	Hm3	0.00	0.00	0.00
	Vidange	Hm3	1.20	1.15	0.45
	Dévers	Hm3	0.00	0.00	0.00
	Evaporation	Hm3	9.185	6.794	6.033
	Pertes	Hm3	2.232	2.797	12.631
Cote maximum		m NGA	388.00	388.00	388.00
Climat	Pluviometrie	MM	84.40	137.90	78.10

Annexe 06: Bilan Hydraulique Annuel (Année :2016 /2017 /2018).

	Désignations	U	Total		
			2015-2016	2016-2017	2017-2018
Affluent	Apport	Hm3	5.42	21.45	7.83
Consomma	A E P	Hm3	0.00	0.00	0.00
	Irrigation	Hm3	6.77	6.69	7.25
	A E I	Hm3	0.00	0.00	0.00
Pertes T	Fuites	Hm3	0.00	0.00	0.00
	Vidange	Hm3	0.272	0.49	0.12
	Dévers	Hm3	0.00	0.00	0.00
	Evaporation	Hm3	5.424	7.53	5.20
	Pertes	Hm3	0.00	0.00	0.00
Cote maximum		m NGA	388.00	379.51	377.54
Climat	Pluviometrie	MM	131	142.40	67.70

Annexe 07: Bilan Hydraulique Annuel (Année :2019 /2020 /2021).

	Désignations	U	Total		
			2018-2019	2019-2020	2020-2021
Affluent	Apport	Hm3	28.69	18.36	9.70
Consomma	A E P	Hm3	0.00	0.00	0.00
	Irrigation	Hm3	7.63	9.49	10.03
	A E I	Hm3	0.00	0.00	0.00
Pertes T	Fuites	Hm3	0.00	0.00	0.00
	Vidange	Hm3	0.67	0.40	0.12
	Dévers	Hm3	0.00	0.00	0.00
	Evaporation	Hm3	5.36	6.51	5.93
	Pertes	Hm3	0.00	15.29	24.11
Cote maximum		m NGA	379.39	379.90	378.50
Climat	Pluviometrie	MM	171	145.60	86.60