

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université SAAD DAHLAB - BLIDA



Faculté de Technologie
Département de science de l'eau et de l'environnement
Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme Master
Filière : Hydraulique
Option : Ressources Hydrauliques

**Etat actuel des barrages du bassin hydrographique de
Cheliff-Zahrez**

Réalisé par Abdelhakim BENHOCINE
Sofiane MEGHAOUZEL

Devant le jury composé de

KHOULI Redha

Président

BOUZOUIDJA Souad

Examinatrice

REMINI Boualem

Promoteur

Promotion 2019/2020

Dédicaces

Je dédie ce travail aux êtres qui me sont le plus chers,

A mes chers parents

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance. Votre présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles et j'espère que votre bénédiction m'accompagnera toujours.

Que ce modeste travail soit le fruit de vos nombreux sacrifices, puisse Dieu vous accorde santé, bonheur et longue vie.

A mes frères Youcef et Said

A tous les moments d'enfances passés à vos côtés, puissent nos liens fraternels se consolider et se pérenniser encore plus. Je vous souhaite toute la joie et le bonheur dans votre vie, ainsi qu'un avenir plein de succès.

A ma très chère amie Rima Khebbab

En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, je te souhaite une vie pleine de santé, du bonheur et de la réussite.

A mon oncle Mohamed

Qui m'a aidé et supporté dans mon parcours universitaire, ses soutiens moraux et ses conseils précieux tout au long de mes études. Je te souhaite un agréable avenir plein de succès.

A toute ma famille

Aucun langage ne saurait exprimer mon respect et ma considération pour votre soutien et encouragements. En reconnaissance de l'amour et votre bonté exceptionnelle. Que Dieu le Tout Puissant vous garde et vous procure santé et bonheur.

A mes cousins Samir et Abdelkrim et mes amis Abdenour, Naoufal, Abdelkarim, Amine, Mohamad, Zakaria, Abdellatif, Fatma Zohra, Isma, Mohamad, Islam, Sofiane, Lina, Celya. Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées. En témoignage de notre amitié loyale qui nous a liés tout au long de notre vie et parcours universitaire, en vous souhaitant un avenir radieux et plein de bonheur.

Abdelhakim

Dédicaces

J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail à

Mes très chers parents

A tous ceux qui m'aime et que j'aime

A toute ma famille et a tous mes amis

A tous mes camarades de groupe

*A tous les enseignants et toutes les enseignantes qui
ont contribué à ma formation tout au long de ma vie
d'études.*

Sofiane

Remercîments

En préambule, nous tenons tout d'abord à remercier le bon Dieu tout puissant et miséricordieux, de nous avoir donnée la force et le courage d'entamer et d'aboutir ce travail.

A nos cher parents, frères et sœurs, nous les remercions pour leurs amours, patience, sacrifices et encouragements.

Nous tenons à exposer à notre promoteur, le professeur REMINI B. nos sincères remerciements et lui dévouer notre gratitude pour son aide, volonté de travail et son précieux soutien tout au long de la réalisation de ce travail.

Nous souhaitons adresser nos remerciements à l'ensemble des enseignants du département de science de l'eau et de l'environnement pour leur aide, soutien et conseils tout au long du cycle universitaire au sein du département.

Ainsi nous voudrions remercier également tous nos amis et camarades pour leurs encouragement, soutiens, aide et compagnie partagés tout au long de notre parcours dans ce département, merci.

ملخص

نعالج في هذه المذكرة مشكلة توحل السدود. التي تعتبر مسألة عويصة لمختلف مسيري السدود وتفرض عليهم مشاكل ضخمة.

الحوض الهيدروغرافي الشلف زهرز، عبارة عن منطقة شبه قاحلة بامتياز، التي تتميز بشدة تآكل التربة. ينشط حالياً في هذه المنطقة ثمانية عشر سداً، حيث تبلغ الطاقة الإجمالية لهذه السدود بحوالي 2،3 مليار متر مكعب.

إستناداً على آخر مسح قياسات الأعماق التي أجرتها الوكالة الوطنية للسدود والتحويلات، يتبين أن حجم الطمي المودع في أعماق هذه السدود يقدر ب 700 مليون متر مكعب.

وادي الفضة، غريب وسيدي محمد بن عودة في حالة حرجة بالنسبة للتوحل. حيث يسجلون على التوالي نسب تصل إلى 62%، 39.5% و 48%.

أجريت عدة طرق لإزالة الوحل المترسب في أعماق السدود في هذه المنطقة الهيدروغرافية كالتجريف الهيدروليكي، إستخراج تيارات الكثافة، رفع مستوى هيكل السد، تهيئة الحوض... إلخ.

تقدر مدة الحياة لأكبر السدود في المنطقة كمدة قصيرة للغاية (سيدي محمد بن عودة 2045، غريب 2052، فرقار ووادي الفضة 2065)

الكلمات المفتاحية: سد - توحل - حوض هيدروغرافي - الطمي - إزالة

الوحل - مدة الحياة

Résumé

Nous abordons dans ce mémoire le problème de l'envasement des barrages. Ce dernier pose d'énormes problèmes aux gestionnaires des barrages. Le bassin hydrographique de Cheliff-Zahrez, une région semi-aride par excellence, est très connue par la gravité de l'érosion des sols. Dix-huit barrages d'une capacité d'environ 2,3 Milliards de M³ (ANBT) sont actuellement en exploitation au niveau de cette région.

Sur la base des derniers levés Bathymétriques effectués par l'Agence Nationale des Barrages (ANBT), se ressort que le volume de la vase déposée au niveau de ces barrages est évalué à 700 Millions de M³. Oued el Fodda, Ghrib, Sidi M'Hamed Ben Aouda sont dans un état critique vis-à-vis de l'envasement. Ils enregistrent successivement un taux d'envasement égale à 62%, 39,5% et 48%.

Des techniques des dévasement ont été déployées au sein des barrages les plus envasé de la région tel que (Le dragage hydraulique, le soutirage des courants de densité, la surélévation de l'ouvrage, l'aménagement du bassin versants...etc).

La durée de vie estimée des plus grands barrages de la région s'avère très courte (2042 pour SMBA, 2052 pour Ghrib et 2065 pour Gargar et Oued el Fodda)

Mots clés : Barrage – Envasement – Bassin hydrographique Cheliff-Zahrez – Vase – Dévasement – Durée de vie

Abstract

We address in this thesis the problem of siltation of dams. Siltation poses enormous problems for dam managers. The Cheliff-Zahrez watershed, an ultimate semi-arid region, is well known for the severity of soil erosion. Eighteen dams with a capacity of about 2,3 billion of M³ (ANBT) are currently in operation in this region.

Based on the latest bathymetric surveys carried out by the National Dams Agency (ANBT), the volume of silt deposited at these dams is estimated at 700 million of M³. Oued el Fodda, Ghrib, Sidi M'Hamed Ben Aouda are in a critical state with regard to silting. They successively record a silting rate equal to 62%, 39.5% and 48%.

Desilting techniques have been deployed in the most silted dams of the region such as (hydraulic dredging, drawing off density currents, raising the structure, watershed management, etc.).

The estimated lifespan of the largest dams in the region is very short (2042 for SMBA, 2052 for Ghrib and 2065 for Gargar and Oued el Fodda).

Key words: Dam – Siltation – Cheliff-Zahrez Watershed – Silt – Desilting - Lifespan

Liste des abréviations

AEP : Alimentation en Eau Potable

AGIRE : Agence Nationale de Gestion Intégrée des Ressources en Eau

ANBT : Agence nationale des barrages et des transfert (Algérie)

ANRH : Agence Nationale de Ressources Hydrauliques (Algérie)

CES : Conservation des eaux et des sols (Tunisie)

CIGB : Commission internationale des grands barrages

CW : Chemin Wilaya

CZ : Cheliff Zahrez

EPFL : Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse)

HEC-RAS: Hydrologic Engineering Centers River Analysis System

HM³ : Millions de mètres cubes

M.O : Matières organiques

MW : Méga Watt

NE-SW : Axe anticlinal de direction atlasique

PNE : Plan National de l'Eau (Algérie)

RESSED : The Reservoir Sedimentation Database

RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat (Algérie)

RHCZ : Région Hydrographique Cheliff-Zahrez

S.M.B.A. : Sidi Mohamad Ben Aouda

USD : Dollars Américain

Liste des figures

Chapitre 1 Un aperçu sur l'envasement des barrages

Figure 1.1 : Force érosive de l'eau attribuable à la concentration de l'écoulement des eaux de ruissellement...	17
Figure 1.2 : Erosion en nappe.....	18
Figure 1.3 : Le tracé distinct formé par les eaux de ruissellement est un signe d'érosion en rigoles ayant emporté le sol.....	18
Figure 1.4 : Sans intervention, l'érosion en rigoles peut mener à l'érosion par ravinement.....	19
Figure 1.5 : L'érosion des berges résulte du sapement et de l'affouillement des berges des cours d'eau naturels et des canaux de drainage.....	19
Figure 1.6 : Modes du transport solide.....	21
Figure 1.7 : Genèse et cheminement des sédiments dans les cours d'eau et les bassins versants, modèle de Karaouchov.....	22
Figure 1.8 : Envasement du barrage d'Ighil Emda.....	23
Figure 1.9 : Blocage des vannes de fond.....	23
Figure 1.10 : Curage d'un canal par les moyens mécaniques.....	24
Figure 1.11 : Couleur verdâtre de l'eau du barrage de SMBA.....	24
Figure 1.12 : Sédimentation des réservoirs inventaire des mesures possibles pour la gestion des sédiments..	25

Chapitre 2 Travaux antérieurs sur l'envasement

Figure 2.1 : Évolution de la capacité de stockage et des volumes exploitables des barrages de Tunisie.....	27
Figure 2.2 : Capacité de stockage des réservoirs au niveau mondial et par capitalisation au fil du temps.....	30
Figure 2.3 : Haut barrage d'Assouan, Egypte.....	33
Figure 2.4 : Barrage de Dez, Iran.....	34
Figure 2.5 : Le barrage des Trois-Gorges, Chine.....	35
Figure 2.6 : Techniques de nettoyage des barrages par des tourbillons.....	36

Chapitre 3 Région d'étude et méthodologie de travail

Figure 3.1 : Situation géographique du bassin hydrographique Cheliff-Zahrez.....	39
Figure 3.2 : Situation géographique de la région Cheliff-Zahrez.....	40
Figure 3.3 : Région hydrographique Cheliff-Zahrez.....	41
Figure 3.4 : Découpage administratif de la région Hydrographique Cheliff-Zahrez.....	42
Figure 3.5 : Relief – Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez.....	43
Figure 3.6 : Carte pluviométrique et tranches de précipitation moyenne de la région hydrographique Cheliff-Zahrez.....	45
Figure 3.7 : Ressources en eau – Bassin hydrographique Cheliff-Zahrez.....	46
Figure 3.8 : Les eaux souterraines de la région hydrographique Cheliff-Zahrez.....	47
Figure 3.9 : Barrages dans la région Cheliff-Zahrez.....	48

Chapitre 4 Résultats et discussions

Figure 4.1	: Barrage de Bakhadda.....	52
Figure 4.2	: Vue satellitaire sur le barrage Bakhdda	52
Figure 4.3	: Barrage de Colonel Bougara.....	53
Figure 4.4	: Vue satellitaire sur le barrage Colonel Bougara.....	53
Figure 4.5	: Barrage de Dahmouni.....	54
Figure 4.6	: Vue satellitaire sur le barrage Dahmouni.....	54
Figure 4.7	: Barrage de Deurdeur.....	55
Figure 4.8	: Vue satellitaire sur le barrage Deurdeur.....	55
Figure 4.9	: Barrage de Gargar.....	56
Figure 4.10	: Vue satellitaire sur le barrage Gargar.....	56
Figure 4.11	: Barrage de Ghrib.....	57
Figure 4.12	: Vue satellitaire sur le barrage Ghrib.....	57
Figure 4.13	: Barrage de Harreza.....	58
Figure 4.14	: Vue satellitaire sur le barrage Harreza.....	58
Figure 4.15	: Barrage de Koudiat Rosfa.....	59
Figure 4.16	: Vue satellitaire sur le barrage Koudiat Rosfa.....	59
Figure 4.17	: Barrage de Merdja Sidi Abed.....	60
Figure 4.18	: Vue satellitaire sur le barrage Merdja Sidi Abed.....	60
Figure 4.19	: Barrage de Oued el Fodda.....	61
Figure 4.20	: Vue satellitaire sur le barrage Oued el Fodda.....	61
Figure 4.21	: Barrage de Ouled Mellouk.....	62
Figure 4.22	: Vue satellitaire sur le barrage Ouled Mellouk.....	62
Figure 4.23	: Barrage de Sidi Mohamad Ben Aouda.....	63
Figure 4.24	: Vue satellitaire sur le barrage Sidi Mohamad Ben Aouda.....	63
Figure 4.25	: Barrage de Sidi Mohamad Ben Taiba.....	64
Figure 4.26	: Vue satellitaire sur le barrage Sidi Mohamad Ben Taiba.....	64
Figure 4.27	: Barrage de Sidi Yacoub.....	65
Figure 4.28	: Vue satellitaire sur le barrage Sidi Yacoub.....	65
Figure 4.29	: Classification des barrages de la région CZ selon le taux d'envasement.....	67
Figure 4.30	: Classification des barrages du Nords Algérien selon le taux d'envasement...67	
Figure 4.31	: Variation des taux d'envasement en fonction des capacités initiales des barrages du bassin hydrographique Cheliff-Zahrez.....	71
Figure 4.32	: Variation des taux d'envasement en fonction des surfaces des bassins versants des barrages du bassin hydrographique Cheliff-Zahrez.....	72
Figure 4.33	: Variation des taux d'envasement en fonction des apports liquides moyens annuels des barrages de la région Cheliff-Zahrez.....	72

Liste des tableaux

Chapitre 3

Tableau 3.1 : Découpage par sous-région du Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez.....	41
Tableau 3.2 : Inventaire du réseau pluviométrique du Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez.....	44
Tableau 3.3 : Les principales unités hydrogéologiques de la région hydrographique Cheliff-Zahrez.....	47
Tableau 3.4 : Les systèmes de transfert d'eau dans la région Cheliff-Zahrez.....	49

Chapitre 4

Tableau 4.1 : Les barrages du bassin hydrographique Cheliff-Zahrez.....	66
Tableau 4.2 : Détermination des taux d'envasement des barrages de la région hydrographique Cheliff-Zahrez.....	68
Tableau 4.3 : Capacité estimée des barrages de la région Cheliff-Zahrez en 2020.....	69
Tableau 4.4 : Estimation de la durée de vie des barrages de la région Cheliff-Zahrez.....	70
Tableau 4.5 : Les différentes opérations de dévasement réalisés sur quelques barrages du bassin hydrographique Cheliff-Zahrez.....	73

Sommaire

Introduction.....	14
-------------------	----

Chapitre I : Un aperçu sur l'envasement des barrages

1.1 L'érosion.....	16
1.1.1 Un aperçu sur l'érosion.....	16
1.1.2 L'érosion hydrique.....	17
1.1.2.1 L'érosion en nappe.....	17
1.1.2.2 L'érosion en rigole.....	18
1.1.2.3 L'érosion par ravinement.....	18
1.1.2.4 L'érosion des berges.....	19
1.1.2.5 La sédimentation.....	19
1.2 L'érosion en Algérie.....	20
1.3 Le transport solide.....	20
1.4 L'envasement.....	21
1.4.1 Réduction de capacité.....	22
1.4.2 Blocage des vannes de fond.....	23
1.4.3 Envasement des canaux d'irrigation.....	24
1.4.4 Impact de l'envasement sur la qualité de l'eau du barrage.....	24

Chapitre II : Travaux antérieur sur l'envasement

2.1 Evolution de l'envasement à travers le monde.....	27
2.2 Les barrages et l'envasement dans le monde.....	31
2.3 Moyens et techniques de lutte contre l'envasement, quelques exemples dans le monde...32	
2.3.1 Outils et logiciels de simulations.....	32
2.3.2 Quelques exemple de la gestion de l'envasement dans le monde.....	33
2.3.2.1 Haut barrage d'Assouan, Egypte.....	33
2.3.2.2 Barrage de Dez, Iran.....	34
2.3.2.3 Barrage des Trois Gorges, Chine.....	35

Chapitre III : Région d'étude et méthodologie de travail

3.1. Région d'étude.....	39
3.1.1 Situation et caractéristiques de la région d'étude.....	39

Chapitre IV : Résultats et discussions

4.1 Présentation des barrages de la région étudiée.....	51
4.1.1 Barrage Bakhadda.....	51
4.1.2 Barrage Colonel Bougara.....	53
4.1.3 Barrage Dahmouni.....	54
4.1.4 Barrage Deurdeur.....	55
4.1.5 Barrage Gargar.....	56
4.1.6 Barrage Ghrib.....	57
4.1.7 Barrage Harreza.....	58
4.1.8 Barrage Koudiat Rosfa.....	59
4.1.9 Barrage Merdja Sidi Abed.....	60
4.1.10 Barrage Oued el Fodda.....	61
4.1.11 Barrage Ouled Mellouk.....	62
4.1.12 Barrage Sidi Mohamad Ben Aouda.....	63
4.1.13 Barrage Sidi Mohamad Ben Taiba.....	64
4.1.14 Barrage Sidi Yacoub.....	65
4.2 Détermination des taux d'envasements des barrages.....	68
4.3 Capacité des barrages en 2020.....	69
4.4 Durée de vie des barrages.....	70
4.5 Moyens de lutte contre l'envasement.....	73
Conclusion.....	75
Références bibliographiques.....	77

Introduction

Introduction générale

L'érosion des sols, problème naturel qui consiste à arracher les particules des sols grâce au ruissellement. Une fois transportés par les cours d'eaux, les sédiments se déposent des lacs et des barrages.

Avec le temps, les dépôts de vase deviennent gênants, réduisant le volume utile du réservoir et obturant les pertuis de vidange. Le taux d'érosion a été évalué à 180 Millions de mètres cubes par an au niveau du bassin versant du nord de l'Algérie (Demmak, 1982). Un pourcentage élevé se dépose dans les 74 barrages en exploitation dans le pays.

En 2017, le volume total de la vase déposée au niveau des barrages a été évalué à 1,6 Milliard de mètre cubes (Remini, 2017). Le taux d'envasement annuel est de 65 Millions de mètre cubes par an (Remini, 2017).

Le bassin hydrographique de Cheliff-Zahrez qui recueille 18 barrages en exploitation d'une capacité de 2,3 Milliards de mètre cube sont destinés à l'irrigation et à l'alimentation en eau potable.

Au vu du phénomène de l'érosion qui est important, les barrages se trouvent menacés par le comblement rapide de leurs réservoirs. Notre étude intitulé " L'envasement des barrages du bassin hydrographique Cheliff-Zahrez " consiste à faire un état de l'envasement de ces barrages, et de les classer par ordre de gravité au but de déterminer une estimation de leurs durées de vie, afin de pouvoir suggérer des techniques de lutte contre le phénomène de l'envasement dans ces barrages de la région.

L'historique sur les techniques de dévasement utilisés au niveau de cette région fera l'objet de cette étude.

Chapitre I

Un aperçu sur l'envasement des barrages

Chapitre 1

UN APERÇU SUR L'ENVASEMENT DES BARRAGES

Introduction

L'envasement des barrages constitue sans doute la conséquence la plus grave de l'érosion hydrique. Les effets néfastes de ce phénomène sont nombreux, allant de la réduction considérable de la capacité des barrages, pouvant aller jusqu'à la dégradation nette de la qualité de l'eau du barrage. Dans ce chapitre, nous décrivons brièvement le phénomène de l'érosion (Formes, causes, conséquences, moyens de lutte), le transport solide et l'envasement des barrages.

1.1 L'érosion

1.1.1 Un aperçu sur l'érosion

Indépendamment du modelé du relief, tous les sols sont naturellement soumis à l'érosion. En agriculture, l'érosion du sol renvoie à l'amincissement de la couche arable d'un champ sous l'effet des forces érosives naturelles de l'eau (fig. 1) et du vent, ou sous l'effet des activités agricoles, comme le travail du sol.

Que la cause de l'érosion soit l'eau, le vent ou le travail du sol, dans tous les cas, le sol : se détache, se déplace, puis se dépose. La couche arable, fertile, vivante et riche en matière organique, est emportée ailleurs sur le terrain, où elle s'accumule avec le temps, ou hors du terrain, dans les réseaux de drainage. L'érosion du sol abaisse la productivité de la terre et contribue à la pollution des cours d'eau, des terres humides et des lacs adjacents.

Le phénomène peut être lent et passer relativement inaperçu. Il peut aussi se produire à un rythme alarmant et causer alors de lourdes pertes de terre arable. Le compactage du sol, l'appauvrissement du sol en matière organique, la dégradation de la structure du sol, un mauvais drainage interne, des problèmes de salinisation et d'acidification du sol sont d'autres causes de détérioration du sol qui en accélèrent l'érosion.



Figure 1.1 : Force érosive de l'eau attribuable à la concentration de l'écoulement des eaux de ruissellement (Cliché : Jim Ritter, 2012)

L'érosion se manifeste sous deux formes, érosion hydrique et érosion éolienne.

1.1.2 Erosion hydrique :

L'érosion hydrique est composée d'un ensemble de processus complexes et interdépendants qui provoquent le détachement et le transport des particules de sol. Elle se définit comme la perte de sol due à l'eau qui arrache et transporte la terre vers un lieu de dépôt.

La pluie et le ruissellement superficiel sont à l'origine de l'arrachage du transport et du dépôt de la terre enlevée. L'arrachage est dû à la fois aux gouttes d'eau (par rejaillissement) et aux eaux de ruissellement et le transport est assuré par ces eaux.

L'érosion hydrique est due aussi à :

L'érodabilité du sol, pente et longueur de pente, culture et végétation et les pratiques culturales

Avec le temps, l'érosion hydrique passe par plusieurs stades de gravité

1.1.2.1 L'érosion en nappe : qui est liée à deux mécanismes :

- Le détachement des particules de terre causé par le choc de gouttes des pluies (effet splash).
- Le ruissellement lorsque l'intensité devient supérieure à la vitesse d'infiltration.

L'accumulation de sol et de débris de culture à l'extrémité basse d'un champ est un indice d'érosion en nappe (fig. 1.2).



Figure 1.2 : Erosion en nappe (Cliché : Jim Ritter, 2012)

1.1.2.2 L'érosion en rigole :

Sur un bassin versant ou une parcelle, l'érosion en rigole succède à l'érosion en nappe par concentration du ruissellement dans les creux. A ce stade, les rigoles ne convergent pas mais forment des ruisselets parallèles.



Figure 1.3 : Le tracé distinct formé par les eaux de ruissellement est un signe d'érosion en rigoles ayant emporté le sol (Cliché : Jim Ritter, 2012)

1.1.2.3 Erosion par ravinement :

Le ravinement constitue un stade avancé de l'érosion. Les ravines peuvent atteindre des dimensions considérables. L'approfondissement des ravines remonte du bas vers le haut de la pente (érosion régressive).



Figure 1.4 : Sans intervention, l'érosion en rigoles peut mener à l'érosion par ravinement.
(Cliché : Jim Ritter, 2012)

1.1.2.4 Erosion des berges :

Les cours d'eau naturels et les canaux de drainage servent d'exutoires aux eaux de ruissellement et aux effluents des réseaux de drainage souterrain. L'érosion fait son œuvre sur les berges au fur et à mesure du sapement, de l'affouillement et de l'effondrement de celles-ci. Des aménagements déficients, le manque d'entretien, le libre accès du bétail et la trop grande proximité des superficies cultivées sont autant de facteurs en cause.



Figure 1.5 : L'érosion des berges résulte du sapement et de l'affouillement des berges des cours d'eau naturels et des canaux de drainage. (Cliché : Jim Ritter, 2012)

1.1.2.5 La sédimentation :

Les particules arrachées aux terres se déposent entre le lieu d'origine et les mers en fonction

- De leur dimension
- De leur densité
- De la capacité de transport du ruissellement ou de la rivière.

Les particules se déposent dans l'ordre suivant :

- Sable
- Sable fin
- Limon.

1.2 Erosion en Algérie :

L'érosion hydrique est un phénomène complexe par son caractère irrégulier, aléatoire et par sa discontinuité spatiotemporelle. En raison de son ampleur et son agressivité, elle constitue une contrainte majeure au développement de l'agriculture et à la promotion des activités rurales.

Ce phénomène, est caractéristique dans la région du Maghreb dont les potentialités en eau et en sol sont sérieusement menacées (Heush et al., 1971 ; Demmak, 1982 ; Lahlou, 1994 ; Touaibia et al., 2001 ; Meddi, 1992 ; Terfous et al., 2003 ; Achite et al., 2005). Les quantités de sédiments transportés en suspension susceptibles de se déposer dans le littoral méditerranéen des côtes Algériennes sont estimées à 47 millions tonnes par an (Probst et al., 1992).

L'intensité de l'érosion hydrique varie d'une zone à l'autre. La partie Ouest du pays est la plus érodée, où l'érosion touche 47 % de l'ensemble des terres ; suivie du Centre (27%) et de l'Est (26%). L'érosion spécifique varie de 2000 et 4000 t/km².an et le taux d'envasement est supérieur à 15 %. L'Algérie est, de ce fait l'un des pays les plus menacés dans le monde par l'érosion.

En Algérie du Nord, particulièrement l'Ouest du pays, les dispositions socioéconomiques, comme d'ailleurs les conditions hydro climatiques sont naturellement réunies pour intensifier et favoriser le déclenchement de ce mécanisme néfaste qui potentiellement menace l'équilibre de l'environnement tant à l'échelle régionale que locale (Dekiche et al., 1997). L'érosion hydrique affecte 28 % des terres de l'Algérie du Nord. Ce sont les terres à fortes pentes des massifs telliens qui sont les plus touchées. L'érosion se manifeste par la formation de rigoles et de ravines sur tout le versant avec affleurement de la roche-mère et une évolution en badlands (Hadjiat, 1997).

En général, l'érosion spécifique varie entre 2000 et 4000t/km².an (Demark, 1982),

L'Algérie est de ce fait l'un des pays les plus menacés dans le monde par l'érosion.

L'intensité de l'érosion hydrique varie d'une zone à l'autre. La partie Ouest, où l'érosion touche 47 % de l'ensemble des terres, est la région la plus érodée du pays ; viennent ensuite les régions du Centre (27%) et de l'Est (26%) (Ministère de l'environnement et l'aménagement du territoire, 2000).

1.3 Transport solide

C'est le deuxième processus constituant l'érosion hydrique. Il est par définition la quantité des sédiments (ou débit solide) transportée par un cours d'eau. Ce phénomène est limité par la quantité de matériaux susceptible d'être transportée (selon la fourniture sédimentaire). Il est régi par deux propriétés du cours d'eau :

- **La compétence** : Elle est mesurée par le diamètre maximal des débris rocheux que Peut transporter le cours d'eau (Musy et Higy, 2003). Cette caractéristique est fonction de la vitesse d'eau comme le montre le diagramme de Hjulstrom qui divise le transport solide en trois phases : la sédimentation, le transport avec une fonction croissante qui est toujours au-dessous de celle d'arrachement des particules (l'érosion).

- **La capacité** : C'est la quantité maximale de matériaux solides que peut transporter en un point et à un instant donné le cours d'eau. Elle est fonction de la vitesse de l'eau, du débit et des caractéristiques de la section (forme, rugosité, etc...).

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.

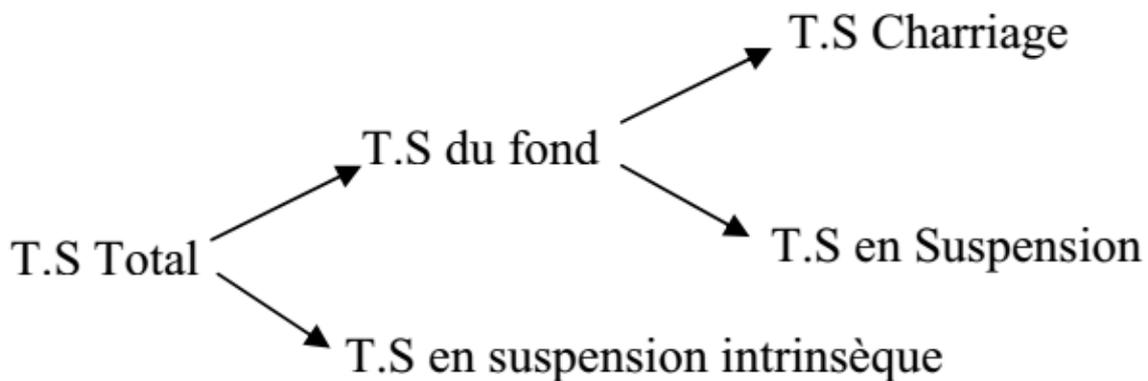


Figure 1.6 : Modes du transport solide (Graf W, 2000).

La quantité de sédiments transportés par un cours d'eau, à une section donnée peut être mesurée par plusieurs méthodes : (Mussy 2002)

- Collecte d'échantillons.
- Levé topographique et bathymétrique de lacs ou de retenues pour évaluer l'apport global de sédiments.
- Utilisation de traceurs de sédiments dont les signatures permettent surtout d'évaluer les taux de sédimentation.

1.4 L'envasement

Le mécanisme d'envasement est généré en général par l'apport solide transporté par les cours d'eau qui viennent alimenter les réservoirs par les matériaux en suspension.

Un réservoir s'engrève 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.

La construction de barrages modifie les conditions d'écoulements du débit solide, que ce soit pour le charriage ou pour le transport en suspension.

La formation de l'envasement dans les retenues des barrages passe par des étapes présentées dans la figure suivante.

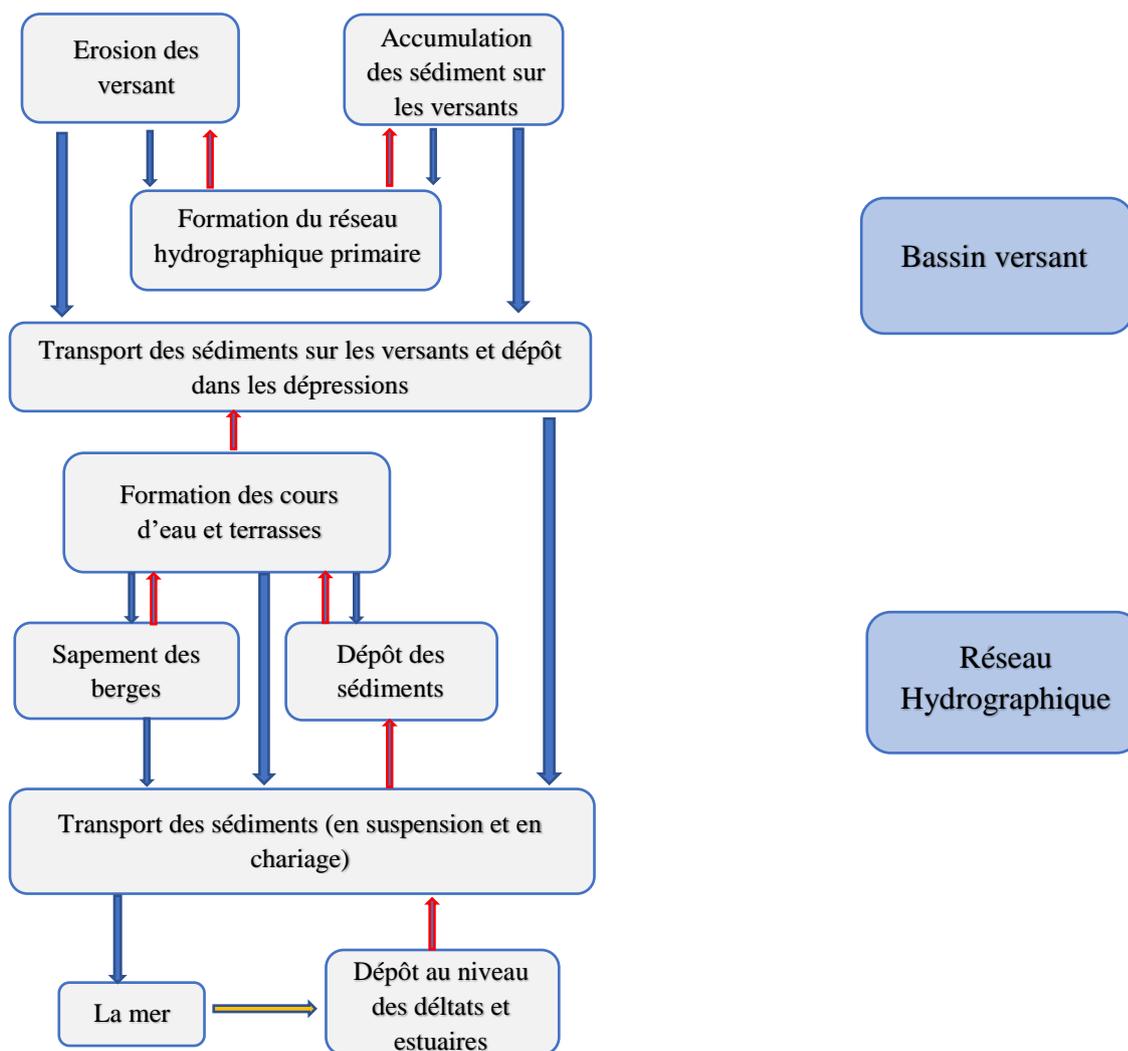


Figure 1.7 : Genèse et cheminement des sédiments dans les cours d'eau et les bassin versants, modèle de Karaouchov

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.

1.4.1 Réduction de 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.



Figure 1.8 : Envasement du barrage d'Ighil Emda (Remini et Ouaret, 2004)

1.4.2 Blocage des vannes de fond

Les dépôts vaseux durant les premières années, les pertuis de vidange sont épargnés 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.



Figure 1.9 : Blocage des vannes de fond (Remini, 2011)

1.4.3 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 mécaniques.



Figure 1.10 : Curage d'un canal par les moyens mécaniques (OPIM, 2008).

1.4.4 Impact de l'envasement sur la qualité de l'eau du barrage

Il n'y a pas une relation directe entre la vase et l'eau, mais la présence d'une quantité importante de vase dans un barrage accélère l'eutrophisation des eaux du lac du barrage.



Figure 1.11 : Couleur verdâtre de l'eau du barrage de SMBA (REMINE, 2011)

De nombreuses mesures sont présent en charge dans différentes zones afin de faire face aux problèmes de la sédimentation, nous avons traduit ces mesures dans la figure suivante :

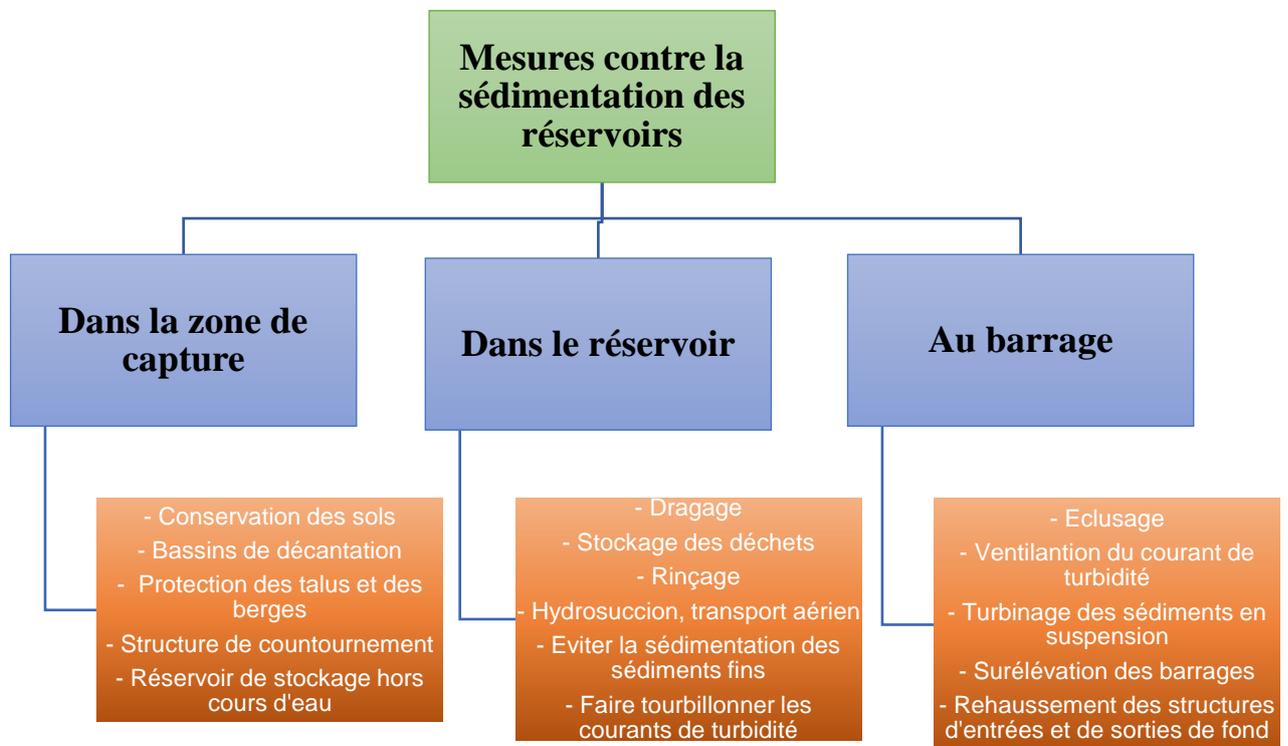


Figure 1.12 : Sédimentation des réservoirs inventaire des mesures possibles pour la gestion des sédiments (Schleiss et Oehy, 2002).

Conclusion :

A la fin de ce chapitre, on peut dire que le phénomène de l'érosion cause et induit à de sérieux problèmes. L'envasement des barrages, étant le plus néfaste d'entre eux, dont les gestionnaires de l'eau y font face tous les jours à travers le monde. Les conséquences de l'envasement d'un barrage sont extrêmement gênantes. Qui, S'ils ne sont pas pris en charge dès le début, vont mettre en danger la sécurité du barrage. Elles ont un impact direct sur le réservoir lui-même, mais aussi en amont et en aval du barrage, en réduisant sa capacité au fil du temps.

Chapitre II
Travaux antérieurs sur
l'envasement

Chapitre 2

TRAVAUX ANTÉRIEURS SUR L'ENVASEMENT

Introduction

Nous mettons en évidence dans ce deuxième chapitre, l'évolution de la sédimentation et de l'envasement des barrages dans le monde, ainsi que les moyens de lutte et les techniques développés pour faire face à ces deux majeurs phénomènes dans différents pays du monde. Nous partageons aussi, de différents chiffres globaux de l'impact de l'envasement sur la gestion de ce phénomène sur l'échelle mondiale.

2.1 Evolution de l'envasement à travers le monde

En 2010, la perte de capacité de stockage des retenues des barrages Tunisiens a atteint 530 Hm^3 , soit 37 % de la capacité initiale de toutes les retenues en exploitation (G.E.O.R.E, 2001). En tenant compte de la perte annuelle des capacités des retenues des barrages, les volumes perdus par alluvionnement en 2030 pourraient atteindre 1 142 Mm^3 , soit environ 43 % de la capacité de stockage des barrages (Fig. 2.1).

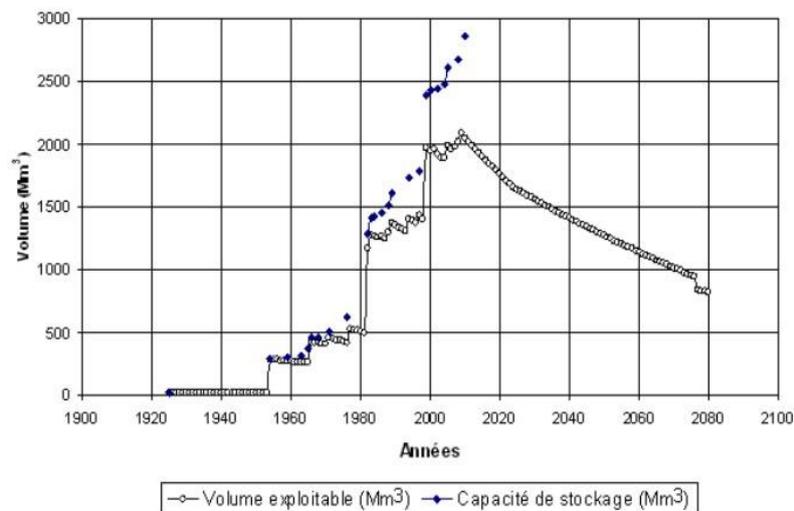


Figure 2.1 : Évolution de la capacité de stockage et des volumes exploitables des barrages de Tunisie. (Ben Mammou A. et Louat M.H., 2007)

Selon la figure (fig. 2.1), il se pose que les barrages Tunisiens font face à un sérieux problème de perte de capacité, dû à l'envasement de ces derniers. Et cette perte n'a cessé d'augmenter au fil des années malgré la capacité de stockage disponible. Selon (fig. 2.1) le volume d'eau exploitable dans barrages Tunisiens ne cessera de se réduire, et ça, allant même jusqu'à l'horizon 2080

Pour faire face à la réduction de la capacité de stockage, les services hydrauliques Tunisiens envisagent la surélévation des seuils des déversoirs et la construction de nouveaux barrages dans les bassins des retenues ayant atteint un taux d'alluvionnement important. La surélévation du seuil du barrage Sidi Salem a entraîné une augmentation du taux de l'alluvionnement comme ce fut le cas pour les barrages algériens surélevés (REMINI et al., 1997). De plus, des actions de lutte contre l'érosion sont entreprises pour préserver, aussi longtemps que possible, la capacité de stockage des retenues des barrages en retenant le sol et en réduisant l'érosion. Toutefois, il a été noté que les travaux de CES ont un impact sur les volumes d'eau ruisselés (NASRI et al., 2004 ; YAHYAOUÏ et al., 2002). En effet, le suivi des écoulements avant et après les travaux de CES à l'échelle d'un petit bassin de 18,1 km² contrôlé par un lac collinaire (El Gouazine) a montré une réduction du coefficient d'écoulement global initial d'environ 25 % pour des précipitations supérieures à 20 mm à 2 % pour des pluies de 30 à 50 mm (NASRI et al., 2004).

En Maghreb, d'après (Lahlou, 1994), les 23 grands barrages en exploitation au Maroc perdent annuellement 50 Mm³ de leur capacité de stockage. En Tunisie, au moins 25 à 30 Mm³ d'alluvions se déposent chaque année dans les 13 retenues des barrages. La perte annuelle de la capacité de stockage est estimée entre 0,5 % (SAADAOUÏ, 1995) et 1 % pour une capacité totale initiale d'environ 1 430 Mm³ (ABID, 1998). En Algérie, l'envasement annuel estimé par l'Agence Nationale des Barrages (ANBT) pour l'ensemble des 98 retenues en exploitation en 1995 correspond à environ 20 Mm³. Le volume total de sédiment pourrait atteindre 482 Mm³ à la fin de la construction des 43 barrages et des 800 retenues collinaires projetés jusqu'à 2010 (BOUDJADJA et al., 2003). Les treize barrages Tunisiens observés, d'une capacité initiale d'environ 1 430 Mm³, ont perdu au total environ 250 Mm³ de leur capacité de stockage, soit environ 17,7 % (ABID, 1998).

L'alluvionnement le plus élevé correspond à la retenue du barrage Sidi Salem avec environ 6 Mm³/an. La perte de capacité des 17 retenues d'une capacité initiale de 2 059 Mm³ évaluée en 2002 est de 440 Mm³ (ABID, 2003).

L'alluvionnement moyen des barrages Algériens est au minimum de 0,1 Mm³ (barrage Dahmoun) et au maximum de 4,32 Mm³ (barrage Gargar). La capacité totale initiale des barrages algériens est passée de 4 319 Mm³ depuis leur mise en service à 2 134 Mm³ (BOUDJADJA et al., 2003).

Au Maroc, dont les potentialités hydrauliques sont de loin plus importantes, les ouvrages prospectés d'une capacité totale initiale de 9 550 Mm³, ont perdu environ 593 Mm³ de leur capacité depuis leur mise en service (LAHLOU, 1994). L'alluvionnement moyen annuel par barrage varie de 0,07 Mm³ (Nakhla) à 10 Mm³ (Mohamed V).

Au Maroc, l'érosion des sols et les pertes en terre constituent un processus de dégradation des ressources naturelles qui touche, avec des intensités diverses les régions du territoire national. Ainsi, sur une totale superficie des zones montagneuses d'environ 23 millions d'ha, 75 % sont touchées par l'érosion dont un tiers de manière très critique.

Les bassins versants à l'amont des barrages présentent des risques importants d'érosion accentuée par l'action des populations sous la pression démographique par une surexploitation des forêts et des pratiques culturelles inadéquates. En effet, la majorité des bassins versants du pays est caractérisée par de fortes dégradations spécifiques dépassant les 2000 T/Km²/an au niveau des bassins abritant les grands ouvrages hydrauliques. Elle est :

- Supérieure à 2 000 T/Km²/an au niveau des bassins du Martil, de l'Ouergha, de Lakhdar et de la Tessaout ; (Badraoui A., Hajji A., 2001)
- Comprise entre 1 000 et 2000 T/Km²/an au niveau des bassins du Neckor, de M'Harhar et du Loukkos ; (Badraoui A., Hajji A., 2001)
- Comprise entre 500 et 1 000 T/Km²/an au niveau des bassins de Sebou, de l'Inaouène, de l'Oued El Abid et du Massa ; (Badraoui A., Hajji A., 2001)
- Inférieure à 500 T/Km²/an au niveau du reste du pays (Badraoui A., Hajji A., 2001)

Ces valeurs de la dégradation spécifique sont à comparer au niveau jugé tolérable qui est, en moyenne, de l'ordre de 300 T/Km²/an. Les pertes en terres annuelles cumulées à cause de l'érosion sont estimées à plus de 100 millions de tonnes par an, dont près de 60 % se dépose dans les retenues de barrages.

Cette proportion est de plus en plus importante au fur et à mesure de la poursuite de l'effort d'aménagement des ressources en eau superficielles.

En 2001, une étude a été réalisée afin de faire le suivi de l'envasement des retenues de barrages au Maroc et a permis d'évaluer à près de 65 Mm³ la capacité perdue actuellement par envasement en moyenne chaque année sur une capacité totale de stockage de près de 14 Milliards de m³. La capacité totale perdue jusqu'à aujourd'hui est évaluée à près de 1 100 Mm³, soit près de 6 % de la capacité de stockage des barrages.

L'analyse des résultats de suivis bathymétriques des retenues de barrages permet de tirer les constatations suivantes :

- Six retenues sont envasées à plus de 40 % de leurs capacités initiales. Il s'agit des barrages M. Homadi, S. Driss, Nakhla, Oued Mellah et Mohamed V,
- Six retenues sont envasées de 20 à 40 % de leurs capacités initiales. Il s'agit des barrages M. Youssef, Lalla Takerkoust, M.B Al Khattabi et Ibn Battouta,
- Les autres barrages enregistrent une perte de capacité inférieure à 20 %,
- Trois barrages enregistrent des rythmes d'envasement annuels trois fois plus importants que ceux qui ont été admis dans les études de conception de ces ouvrages. Il s'agit des barrages Hassan 1er, Sidi Driss et Moulay Youssef.
- Trois barrages ont fait l'objet d'une surélévation. Il s'agit des barrages El Kansera, Lalla Takerkoust et Oued El Mellah,
- Deux barrages ont déjà fait l'objet de dévasement partiel. Il s'agit des Barrages S. Driss et Mechraâ Hommadi.

Il est à noter que le rythme de perte de capacité, actuellement de l'ordre de 60 Mm³/an, connaîtra une progression au fur et à mesure de l'évolution du taux de mobilisation du potentiel en ressources en eau superficielle et risque même de s'aggraver avec l'accroissement de l'érosion par la sollicitation accrue des sols et du couvert végétal. Le maintien de la capacité totale de stockage à un niveau constant exigerait donc un effort constant de la réalisation de barrages.

Les réservoirs situés sur les canaux naturels des cours d'eau dans toutes les régions des États-Unis (et dans le monde entier) finiront par connaître des problèmes de sédimentation. Les problèmes de sédimentation les plus immédiats sont évidents dans les petits réservoirs situés dans des zones à forte teneur en sédiments, telles que les chaînes côtières et transversales de Californie, où un certain nombre de barrages se sont déjà remplis, ce qui

nécessite une stabilisation coûteuse des sédiments et/ou la suppression des barrages (Minear et Kondolf, 2009).

La diminution de la capacité de stockage d'eau à travers le temps aux Etats Unis d'Amérique, selon (White, 2001) et (Garcia, 2008) qui estiment le taux annuel moyen de perte de capacité de stockage des réservoirs à 0,2 % pour l'Amérique du Nord en raison de la sédimentation des réservoirs. D'après la base de données RESSED (Gray et al., 2010), le taux de perte moyen des réservoirs du Bureau of Reclamation est de 0,19 % de leur capacité par an, alors que, selon l'inventaire national des barrages, le rythme de construction des barrages a diminué rapidement depuis les années 1960. Comme peu de barrages fédéraux sont construits, et donc que la capacité des nouveaux réservoirs augmente peu, la capacité du pays à stocker l'eau diminue avec le temps en raison de la sédimentation des réservoirs. Ce processus de perte de stockage se produit parce que la capacité des nouveaux réservoirs (grâce à la construction de barrages) augmente beaucoup plus lentement aujourd'hui qu'avant les années 1960 et en raison des efforts insignifiants déployés pour gérer durablement les sédiments des réservoirs.

Globalement, Annandale (2013) indique que la capacité de stockage des réservoirs a atteint un pic de 4 300 milliards de m³ à la fin des années 1990 et qu'elle devrait diminuer progressivement dans les années à venir, à mesure que les sédiments continuent de s'accumuler derrière les barrages existants. Cependant, avec l'augmentation de la population, le stockage par habitant a atteint un pic de 760 m³ au début des années 1980 (fig. 2.2). Il a diminué depuis lors en raison de la perte de capacité due à l'accumulation de sédiments, de sorte que le stockage par habitant a diminué en 2010 au même niveau que dans les années 1960 et devrait continuer à diminuer à l'avenir.

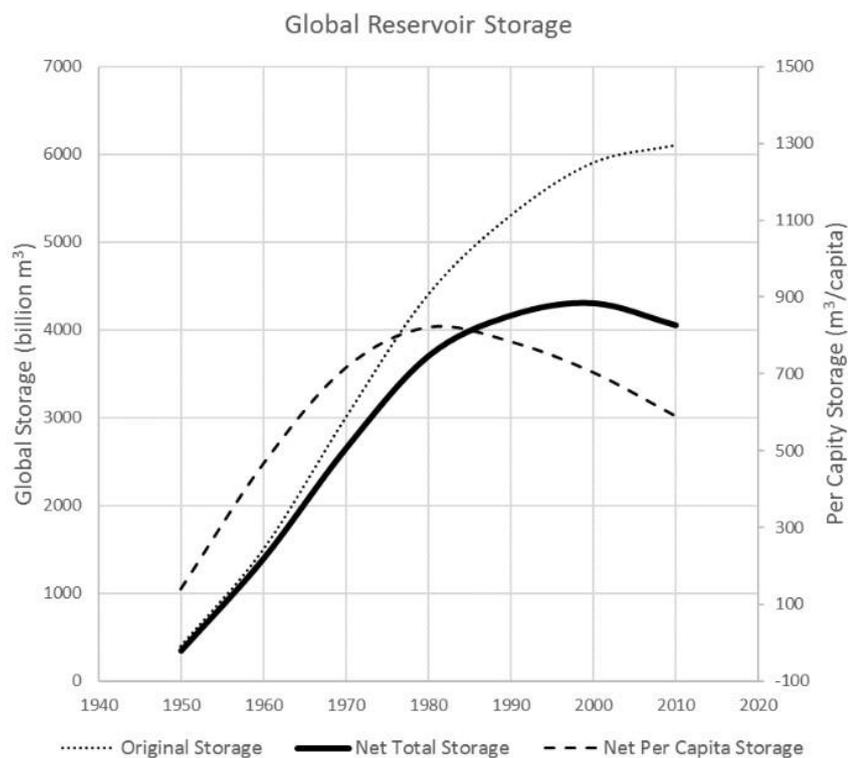


Figure 2.2 : Capacité de stockage des réservoirs au niveau mondial et par capitalisation au fil du temps (Annandale, 2013).

La sédimentation des réservoirs est-elle gérée aux États-Unis ?

À quelques exceptions près, la réponse est "non". Les sédiments des réservoirs sont gérés là où il existe des problèmes aigus (tels que l'obstruction des sorties de barrage ou des prises d'eau, l'abrasion des turbines ou l'enfouissement des sédiments dans les marinas ou les rampes d'accès aux bateaux), mais souvent à un coût très élevé. En 2016, la sédimentation des réservoirs n'est gérée que dans un petit nombre de barrages aux États-Unis. Lorsque les sédiments ne sont pas gérés, on suppose que les sédiments entrants passent en aval parce qu'ils sont très fins ou se déposent le long du fond du réservoir dans la zone dite de "stockage mort". Il n'y a que quelques exceptions connues à cette pratique. L'une d'entre elles est le barrage de Guernesey sur la rivière North Platte, dans le Wyoming, où l'eau du réservoir est vidée chaque année par des exutoires de faible niveau et acheminée vers l'aval. Une partie des sédiments s'érodent au fur et à mesure que le réservoir se vide et sont transportés vers le canal d'aval. L'eau riche en sédiments est détournée vers des fossés d'irrigation, où les agriculteurs pensent que les particules de limon qui se déposent contribuent à sceller les canaux et les fossés et ralentissent la vitesse à laquelle l'eau d'irrigation s'infiltré dans le sol. Cela, pensent-ils, prolonge la durée d'irrigation de leurs cultures. L'autre exemple est celui du barrage Spencer sur la rivière Niobrara, au Nebraska, dont les vannes sont temporairement ouvertes chaque année pour permettre le déversement de l'eau vers les eaux réceptrices en aval. C'est une pratique établie de longue date et nécessaire car le réservoir se remplit très rapidement de sable.

2.2 Les barrages et l'envasement dans le monde :

De forts pourcentages de sédimentation de beaucoup de réservoirs et l'attention portée à leur durabilité à long terme ont donné de l'importance à ce problème. Certaines données correspondantes ont été mal utilisées, spécialement par des organisations anti-barrages, pour insinuer que l'utilité des barrages dans le monde va vers sa fin. Il est donc important d'évaluer l'influence réelle de sédimentation des retenues et de l'efficacité économique des différentes solutions pour réduire ce problème. Les principaux problèmes sont :

- La perte de stockage de la retenue.
- Les dommages causés aux turbines.
- L'influence sur le lit de la rivière à l'aval.

Le volume total stocké dans le monde est d'environ 7 000 km³ dont 3 000 km³ de tranche morte pour l'hydroélectricité ; sur les 4 000 km³ restants de volume utile, la plus grande partie est consacrée à l'hydroélectricité, 1 000 à l'irrigation et à l'alimentation en eau, et une partie dans des réservoirs à but multiple. Le nombre de barrages d'irrigation est plus grand que celui pour l'hydroélectricité mais le volume moyen stocké pour l'irrigation est beaucoup plus petit. (Bulletin Cigb 144, 2011)

Le volume annuel de sédiments transportés dans toutes les rivières du monde est évalué entre 20 et 40 milliards de tonnes pour des apports de 40 000 km³ (cigb,2011), soit un transport moyen de 0,5 à 1 tonne pour 1 000 m³ d'eau, mais ce dernier pourcentage varie énormément selon les rivières et les débits dans l'année. Toutes les rivières ne comportent pas de barrage et tous les sédiments ne sont pas retenus dans les réservoirs, mais plusieurs barrages peuvent être concernés le long de la même rivière. Le volume des sédiments stockés dans toutes les retenues du monde a été évalué, grossièrement et de façon typique, à 1 000 km³ pour les

barrages qui ont 40 ans, soit par an de l'ordre de 20 à 30 milliards de m³, donc 0,3 à 0,5 % du volume stocké total.

La plupart des dépôts concernent les réservoirs hydroélectriques, en partie dans la tranche morte. La perte d'énergie n'est pas proportionnelle à la perte de stockage. La perte d'énergie serait de l'ordre de 0,2 % par an sur un investissement total pour les réservoirs hydroélectriques d'environ 1 000 milliards d'USD, soit une perte de 2 à 3 milliards d'USD par an. (cigb, 2011)

La perte annuelle de stockage pour les retenues pour l'irrigation, peut-être 5 à 10 milliards de m³, a un impact direct sur les volumes pour l'irrigation. Pour un investissement moyen de 0,5 USD/m³, la perte annuelle pourrait être de l'ordre de 3 à 5 milliards d'USD. (cigb, 2011)

Il y a aussi le coût des dommages à l'aval et, peut-être pour 10 % des usines hydroélectriques des pertes d'énergie, de coût d'entretien et d'usure de turbine.

La perte totale annuelle due aux problèmes de sédimentation semble donc être comprise entre 10 et 15 milliards d'USD et par conséquent mérite une grande considération. (cigb, 2011)

Les problèmes et solutions diffèrent selon les objectifs de chaque barrage

- Les barrages pour l'irrigation où le problème majeur est la perte de stockage, mais le réservoir peut être vidé souvent chaque année : ceci favorise la réduction de l'envasement grâce à l'évacuation des apports par des pertuis de fond.
- Les barrages de faible hauteur pour l'hydroélectricité qui ne sont pas gérés de la même façon que les barrages pour l'irrigation.
- Les barrages hydroélectriques de grande hauteur où le niveau de la retenue peut ne pas varier beaucoup dans l'année et dont un problème-clé est probablement l'usure des turbines. Dans ce cas, le revenu financier n'est pas diminué autant que le volume d'eau stockée.
- Les barrages à but multiple pour lesquels la réduction des envasements peut être plus difficile.

2.3 Moyens et techniques de lutte contre l'envasement, quelques exemples dans le monde

Différents moyens de luttent sont utilisés dans le monde, que ça soit sur le terrain par la plantation de certains ouvrages ou à travers des outils et logiciels qui permettent une meilleure gestion des barrages.

Lorsque les problèmes de la sédimentation peuvent être importants, ils devraient être pris en compte pour l'implantation des différents ouvrages, tels que : prise d'eau, vannes de fond, évacuateurs de crue et même probablement le choix du site du barrage et l'utilisation globale de la rivière. Placer la retenue principale sur un affluent est parfois la meilleure solution.

Des essais sur modèle hydraulique bien appropriés peuvent être très utiles pour optimiser l'implantation et le calage des vannes et pour étudier les options pour la gestion du réservoir.

2.3.1 Outils et logiciels de simulations

Divers outils de simulation hydromorphologique sont disponibles afin d'optimiser la gestion des réservoirs :

- Le modèle HEC-RAS du U.S. Army Corps of Engineers comporte un module de calcul du transport sédimentaire à limite mobile qui a récemment été utilisé pour simuler les processus de sédimentation résultant du développement de l'hydroélectricité dans le nord du Manitoba. (U.S. Army Corps of Engineers, 2016).

- MIKE 21 est un modèle hydrodynamique bidimensionnel utilisé pour simuler les processus de sédimentation qui a été utilisé pour évaluer les modèles de dépôt de sédiments et simuler les résultats des futures opérations de chasse d'eau au barrage de Boegoeberg en Afrique du Sud. (Sawadogo, O., and G. Basson, 2016).
- Le modèle hydrodynamique, de transport des sédiments et d'habitat physique FAST est utilisé pour simuler les processus morphologiques et les changements de l'habitat des poissons dans les rivières alluviales (Bui, M., and P. Rutschmann, 2016). Il a été utilisé pour prévoir les conditions hydromorphologiques et pour optimiser les procédures de chasse des sédiments avant la construction de nouvelles installations hydroélectriques sur le Nil.

2.3.2 Quelques exemples de la gestion de l'envasement dans le monde

2.3.2.1 Haut barrage d'Assouan, Egypte

Le projet de haut barrage d'Assouan de 2 100 MW sur le Nil en Égypte comprend un barrage de 111 m de haut qui retient un réservoir de 130 km³. Ce barrage a été controversé, en grande partie à cause des préoccupations concernant la pénurie de sédiments dans le delta du Nil (Abd-El Monsef, H., S. Smith, and K. Darwish, 2015)

Avant la construction de ce barrage, le Nil transportait en moyenne 100 x 10⁶ tonnes/an de sédiments vers le delta du Nil en mer Méditerranée. (Milliman, J., and R. Meade, R., 1983). Aujourd'hui, avec une efficacité de piégeage de 99%, peu de sédiments atteignent le delta, (Milliman, J., and R. Meade, R., 1983). Si la capacité de stockage de la vie du réservoir du lac Nasser/Nubie en amont du haut barrage d'Assouan ne devrait pas être compromise avant 300 à 400 ans (Smith, S., 1990). Les effets négatifs en aval ont été largement signalés. L'érosion le long de la côte méditerranéenne de l'Égypte se poursuit depuis des siècles, mais le piégeage des sédiments s'est combiné à l'élévation du niveau de la mer et à d'autres facteurs pour exacerber les problèmes d'érosion côtière.



Figure 2.3 : Haut barrage d'Assouan (Cliché : The Encyclopaedia Britannica, 2012)

2.3.2.2 Barrage de Dez, Iran

Le projet hydroélectrique Dez de 520 MW dans le sud-ouest de l'Iran comprend un barrage-voûte en béton de 203 m de haut. La sédimentation du réservoir a provoqué une élévation du lit de la rivière d'environ 2 m par an, ce qui a entraîné la perte d'environ 19 % du stockage du réservoir pendant ses 40 années d'exploitation. En 2016, le lit du réservoir était désormais à moins de 12 m des prises d'eau, de sorte que les sédiments peuvent être aspirés dans les tunnels en l'espace d'une décennie.

Les stratégies de gestion des sédiments envisagées pour le projet Dez comprenaient la gestion des bassins versants, le rinçage des sédiments, le dragage tactique près des prises d'eau et le rehaussement du barrage. La solution optimale a été déterminée comme étant le rinçage des sédiments, géré au moyen de changements dans l'exploitation de la centrale et du déversoir.

Un autre problème était le fait que les sédiments s'étaient élevés au-dessus des sorties de bas niveau. Comme l'évacuation des sédiments par les vannes Howell-Bunger présentait un risque d'endommagement des vannes, un modèle physique a été construit pour évaluer le remplacement de ces vannes par des vannes radiales. Les résultats ont montré que le tronçon de rivière en aval ne pouvait pas tolérer la quantité d'affouillement associée à cette modification, aussi les vannes Howell-Bunger ont-elles été redessinées avec des matériaux résistants à l'abrasion.



Figure 2.4 : Barrage de Dez, Iran (Cliché : iFILM ENGLISH)

2.3.2.3 Barrage des Trois Gorges, Chine

En Chine, l'ampleur de ce problème a conduit au développement d'innovations dans la gestion des sédiments (Kondolf, G., et al., 2014). Quatre grandes stratégies de gestion des sédiments ont été adoptées. Elles sont : le stockage du clair et la libération du turbide, la libération des courants de turbidité, le rinçage des sédiments et le dragage.

Le projet des Trois Gorges sur le fleuve Yangtze, d'une puissance de 22 500 MW, est la plus grande installation hydroélectrique du monde. La partie morte du réservoir des Trois Gorges (17 milliards de m³) est conçue pour être remplie de sédiments dans environ 120 à 150 ans. Les 22 milliards de m³ restants doivent être conservés indéfiniment par les chasses d'eau. Wang, Z., and C. Hu, 2009). Pendant la saison des crues de juin à septembre, lorsque 50 à 60 % du ruissellement annuel transporte une grande partie des sédiments des rivières chinoises [19], les exploitants puisent dans le réservoir, retenant une eau plus claire pour le reste de l'année. Cette stratégie s'est avérée efficace pour réduire l'impact des sédiments au barrage des Trois Gorges et au réservoir de Sanmenxia, avec une centrale électrique de 400 MW (Wang, Z., and C. Hu., 2009).



Figure 2.5 : Le barrage des Trois-Gorges, Chine (Cliché : [STR / AFP], 2020)

Des tourbillons pour nettoyer les barrages

Comme la retenue de Mauvoisin en Valais ou le barrage de Xiaowan en Chine, tous les barrages de la planète doivent faire face au même problème : l'accumulation des sédiments dans leur réservoir d'eau. Une situation connue et prise en compte par la mise en place d'un « volume mort » inexploitable, destiné à l'accumulation des alluvions. Ces dépôts, s'ils ne sont pas évacués, programment le comblement inéluctable du bassin, suivant les cas en quelques dizaines d'années seulement, jusqu'à le transformer en plage de sable.

Une équipe de l'EPFL a développé un dispositif ingénieux de jets d'eau sous-marins qui, en provoquant des tourbillons, maintient les sédiments les plus fins en suspension et permet de les évacuer facilement lors du turbinage. Grâce à ce procédé, les réservoirs gagneraient en longévité, car il empêche une partie des sédiments de se déposer et pourrait même remettre en suspension les dépôts déjà installés. La recherche a été publiée dans *Chemical Engineering Science* et dans *Journal of Hydraulic Engineering*.

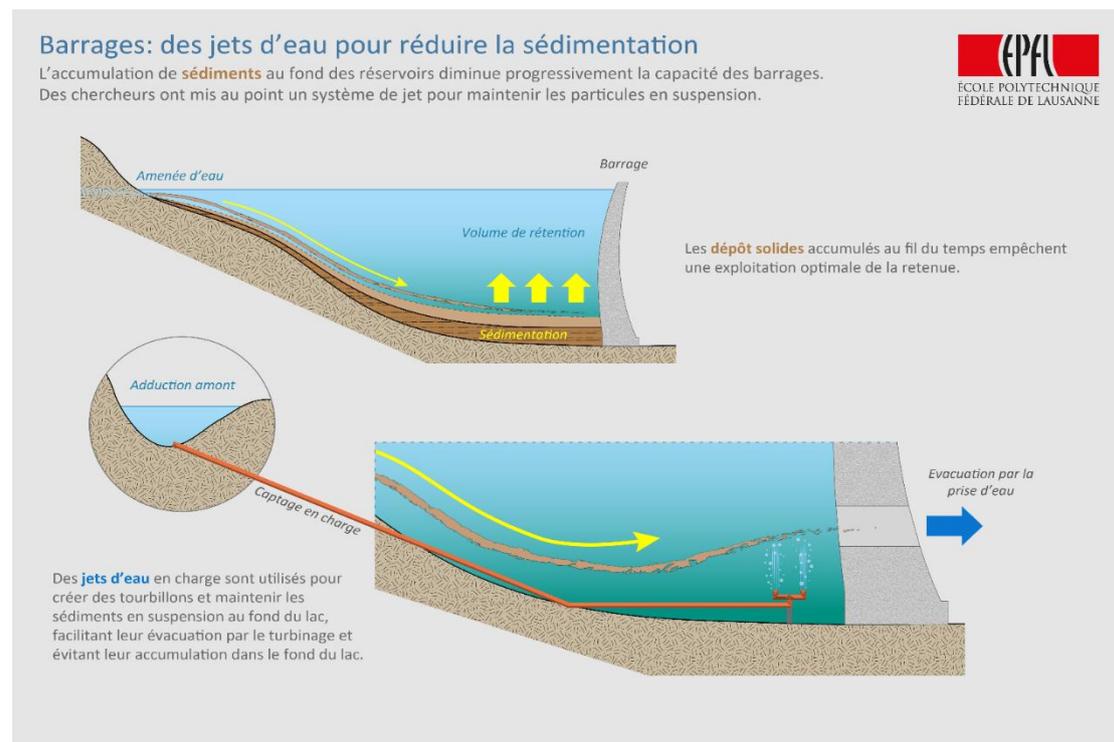


Figure 2.6 : Techniques de nettoyage des barrages par des tourbillons
 (Schéma : Sandy Evangelista, 2016)

Le concept des jets d'eau sous-marins, testé dans le laboratoire de constructions hydrauliques de l'EPFL, a permis d'expérimenter plusieurs configurations. Dans un bassin de 12m³, quatre jets ont été installés ainsi que 3 kg de poudre de noix. « De la même taille que les sédiments, mais un peu plus légères, les coquilles de noix broyées permettent d'extrapoler ce qui se passerait dans le réservoir du barrage », précise Giovanni De Cesare.

L'idée est de positionner des jets d'eau pour qu'ils provoquent un flux de rotation, comme le ferait un mixer. Les chercheurs ont déterminé qu'une configuration de quatre jets, disposés en cercle sur un plan horizontal, se révélait la plus performante. Ils ont aussi fait une découverte étonnante : en fonction de la hauteur des jets, le sens de rotation de l'eau change et agrandit la zone d'influence des tourbillons. Des tourbillons qui vont éjecter les particules dans tous les sens plutôt que de les aspirer sur une seule zone.

Les ingénieurs ont ensuite transposé leurs résultats sur un cas concret, le barrage de Mauvoisin en Valais. En appliquant cette technique de jet d'eau, les calculs préliminaires montrent qu'on pourrait empêcher 20% des sédiments de se déposer dans le réservoir, chaque année. De plus, à Mauvoisin, les jets fonctionneraient sans discontinuer, alimentés par une source naturelle, qui se jette de plus de 100 mètres dans le bassin, assurant une pression suffisante.

Conclusion

Comme nous l'avons mentionné au début du chapitre, le phénomène de l'envasement des barrages prend une ampleur dangereuse et s'accélère d'une façon très rapide. La lutte contre ce problème est devenue un casse-tête pour les différents décideurs et gestionnaires dans ce domaine, sachant que y faire face demande d'énormes mobilisations et des budgets énormes afin de réduire l'impact de l'envasement. Les différentes techniques et méthodes de lutte contre ce dernier, citant : Le dragage hydraulique, le soutirage des courants de densité, la surélévation du barrage et bien d'autres techniques mise à disposition selon la gravité du cas, donnent souvent de très bons résultats.

Chapitre III
Région d'étude et
méthodologie de travail

Chapitre 3

REGION D'ETUDE ET METHODOLOGIE DE TRAVAIL

Introduction

Dans le présent chapitre nous examinons d'une façon très brève la situation et les caractéristiques du bassin hydrographique du Cheliff-Zahrez. En effet la région d'étude est localisée à l'Ouest d'Alger, caractérisée par un climat semi-aride à aride. Une telle zone a pour conséquences une accélération du phénomène de l'érosion du sol. Une grande quantité de boue se dépose au fond des barrages réservoirs du bassin hydrographique.

3.1. Région d'étude

3.1.1. Situation et caractéristiques de la région d'étude

D'une superficie de 56.000 Km², le bassin hydrographique Cheliff-Zahrez est situé à environ 200 Km à l'ouest de la capitale Alger (Fig. 3.1)

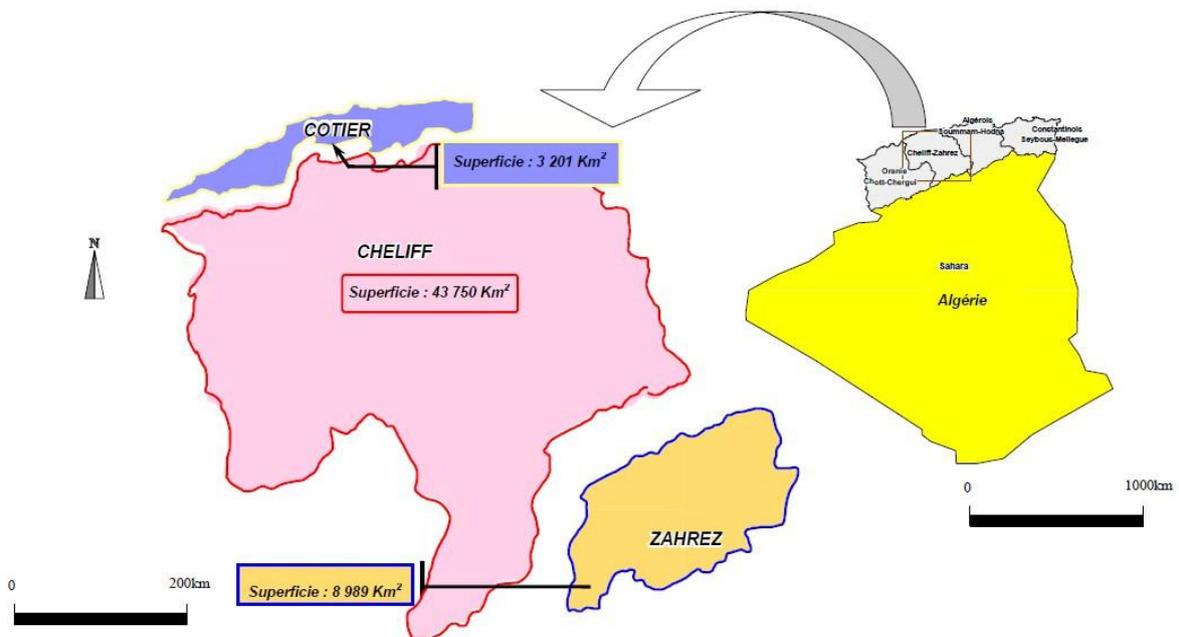


Figure 3.1 : Situation géographique du bassin hydrographique Cheliff-Zahrez

(AGIRE, 2016)

La Région Hydrographique Cheliff -Zahrez est située dans le centre Ouest de l'Algérie. Elle est bordée au Nord par la méditerranée, à l'Est par le bassin Algérois-Hodna-Soummam, à l'Ouest par le bassin Oranie-Chott-Chergui et au Sud par le Bassin Sahara. La région hydrographique CZ s'étend sur une superficie de **56.000 Km²**. On distingue de l'amont à l'aval de la région hydrographique CZ : l'Atlas Saharien, les hautes plaines, les massifs telliens, la vallée du Cheliff et les massifs côtiers du Dahra au Nord.

La région hydrographique CZ est composée de trois (03) bassins versants : Le bassin Côtier Dahra, le bassin Cheliff et le bassin Zahrez.

La Région hydrographique CZ couvre **255 communes** réparties sur trois **(03) wilayas** en totalité (Chlef, Relizane et Tissemsilt) et neuf **(09) wilayas** en partie (Ain Defla, Djelfa, Laghouat, Mascara, Médéa, M'sila, Tiaret, Tipaza et Mostaganem).

Selon le recensement général de la population et de l'habitat (RGPH) de 2015, la Région Hydrographique CZ comptait **5 869 059 habitants**.

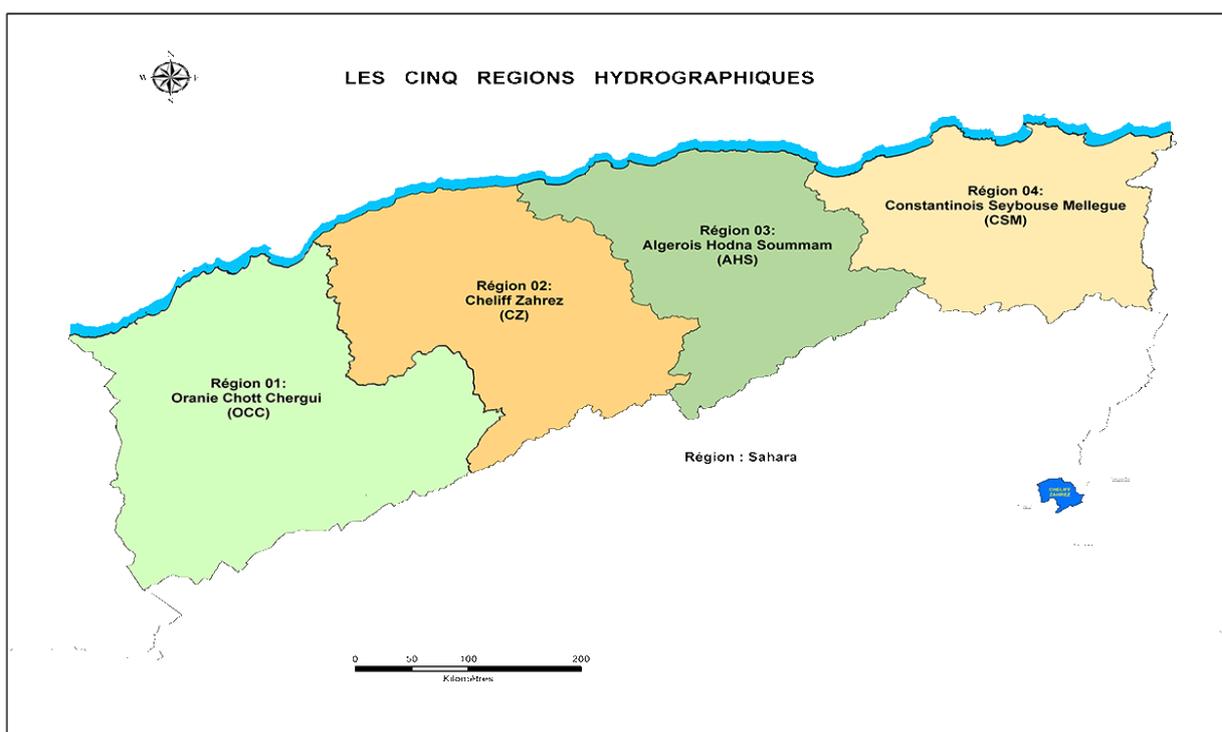


Figure 3.2 : Situation géographique de la région Cheliff-Zahrez (Source : AGIRE)

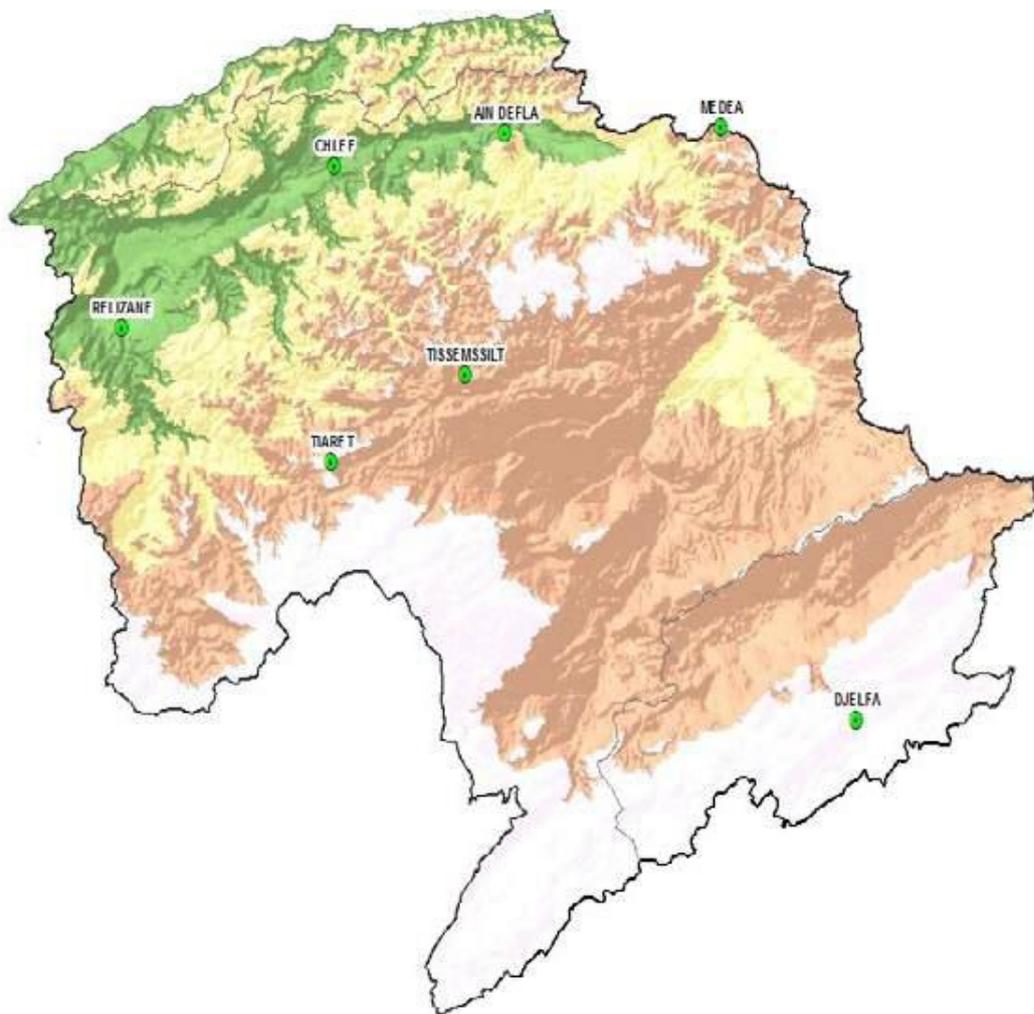


Figure 3.3 : Région hydrographique Cheliff-Zahrez (Source : AGIRE,2016)

Le bassin hydrographique de Cheliff-Zahrez est découpé en 04 sous-régions, ou sont réparti les 12 Wilaya de la région (Tableau 3.1).

Tableau 3.1 : Découpage par sous-région du bassin hydrographique Cheliff Zahrez

Sous-région	Bassin	Wilaya
Sous-région 1	Haut Cheliff	Ain Defla, Médéa, Tissemsilt et Tipaza
Sous-région 2	Moyen Cheliff	Chlef
Sous-région 3	Mina, Bas Cheliff	Rélizane, Tiaret, Mostaganem et Mascara
Sous-région 4	Haut plateaux	Dhelfa, Laghouat et M'sila

Selon le RGPH 2008 la RHCZ compte 668 agglomérations situées dans 255 communes, (fig. 3.4).

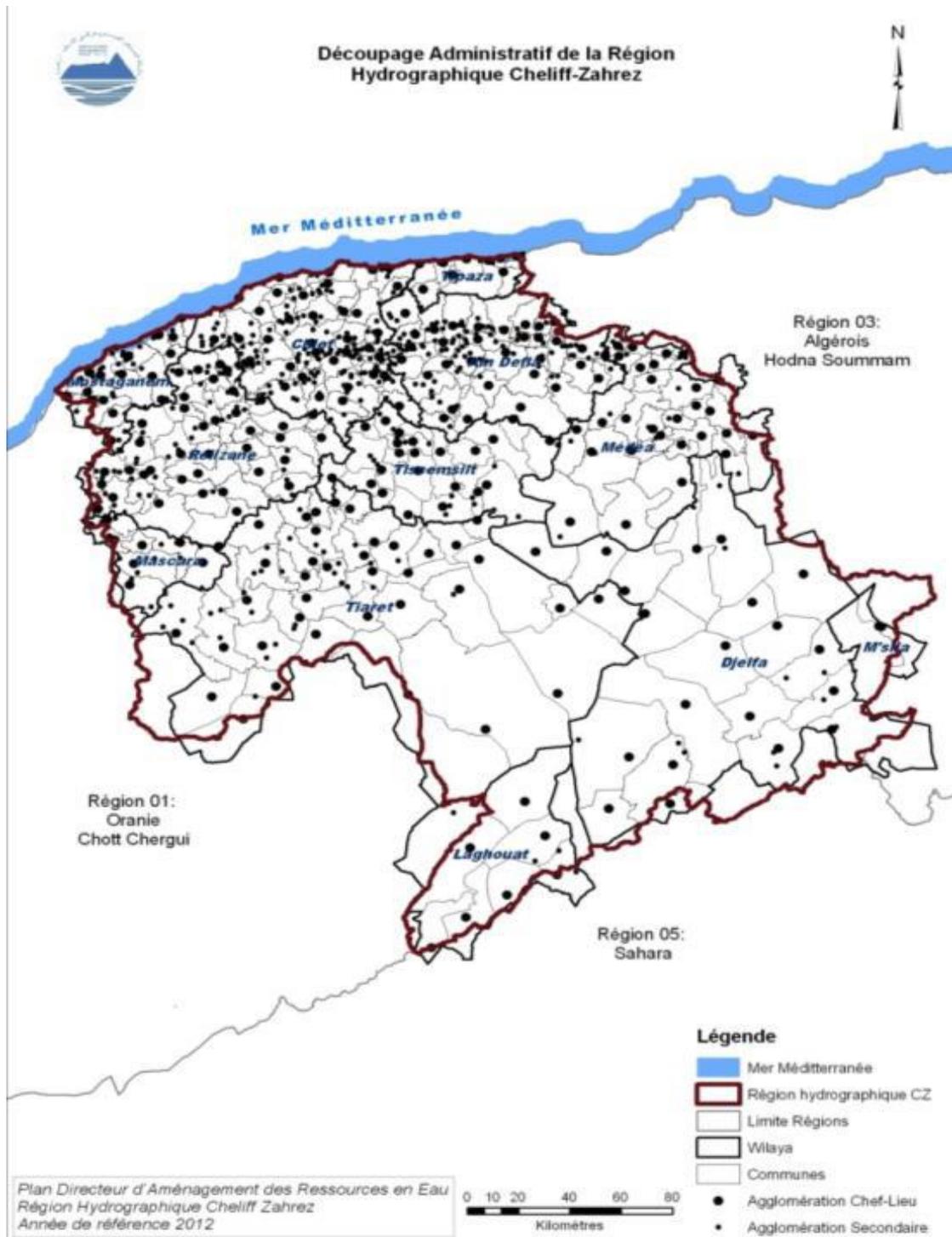


Figure 3.4 : Découpage administratif de la région Hydrographique Cheliff-Zahrez. (Source : AGIRE)

La Région Hydrographique Cheliff-Zahrez, s'ajoute une opposition structurale qui se traduit par un substratum relativement simple au sud, formé de vastes étendues sédimentaires d'où émergent des massifs calcaires isolés, et un édifice beaucoup plus complexe au nord, constitué de nombreuses séries hétérogènes empilées de phases tectoniques successives. Aussi, on distingue de l'amont à l'aval de la RHCZ : l'Atlas Saharien, les hautes plaines, les massifs telliens, la vallée du Cheliff et les massifs côtiers du Dahra au nord. Les limites du bassin du Cheliff-Zahrez sont très nettes sur la partie tellienne où elles suivent rigoureusement les lignes de crête ; elles sont souvent très floues en ce qui concerne la ligne de partage des eaux le séparant du bassin du Sahara, au sud, car la limite endoréisme – exoréisme est localement imprécise. De ce fait, le calcul de la superficie de la RHCZ diffère souvent d'un opérateur à un autre.

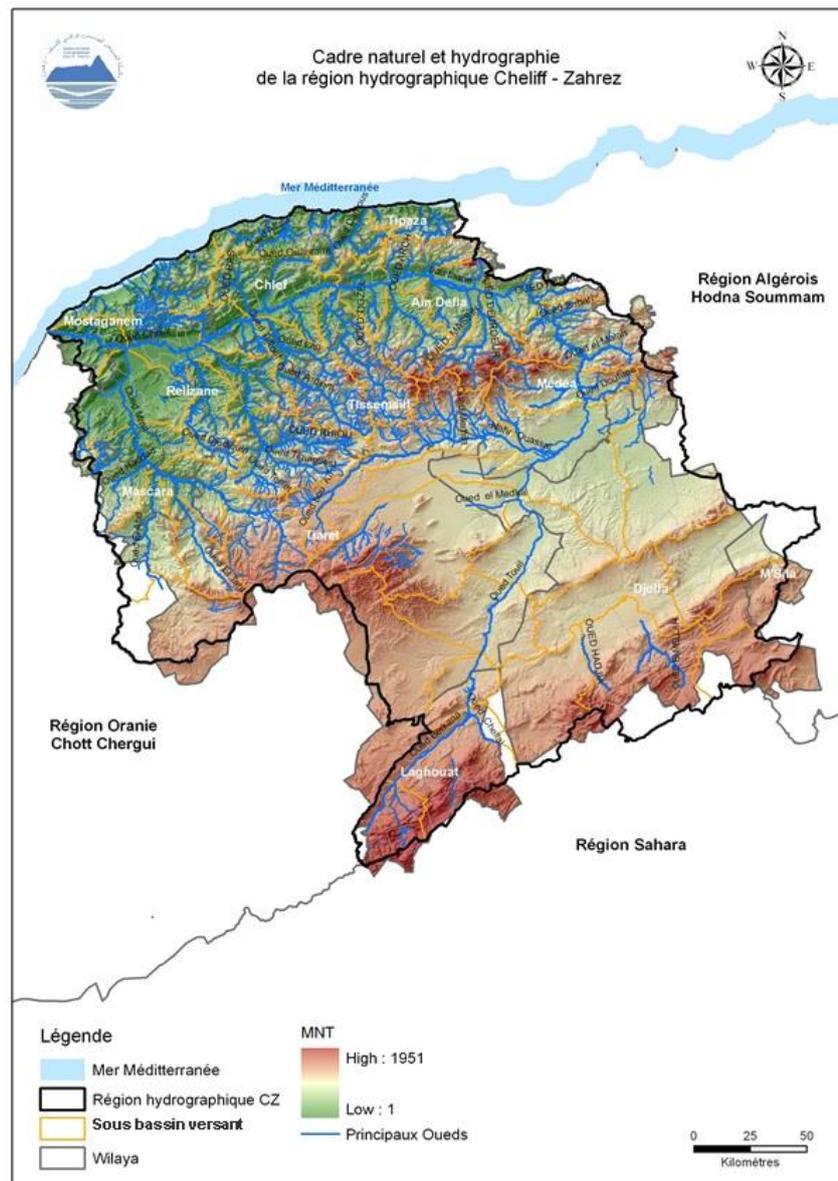


Figure 3.5 : Relief – Bassin Hydrographique Cheliff Zahrez (Source : Agire)

La région se compose de 03 (trois) zones bien distinctes :

- Au Nord, le sillon du Cheliff encadré par les deux chaînes telliennes (Monts du Dahra au Nord et le Massif de l'Ouarsenis au Sud).
- Au Sud, les hautes plaines entre l'Ouarsenis et l'Atlas Saharien.
- Plus au Sud, le bassin du Zahrez.

De nombreuses formations géologiques contiennent des eaux souterraines, les plus anciennes sont attribuées au jurassique et les récentes correspondent aux alluvions quaternaires. Dans la zone septentrionale de la RHCZ, les deux chaînes telliennes présentent des ressources médiocres et non exploitables directement, les niveaux perméables (calcaires et grès) sont généralement peu développés et encaissés dans de puissantes formations imperméables.

Le sillon du Cheliff est compartimenté en trois cuvettes (Haut, Moyen et Bas Cheliff), séparées par deux seuils : le seuil d'Ain Defla et le seuil d'Oum Drou.

Le bassin du Cheliff appartient aux bassins sédimentaires sublittoraux allongés Est -Ouest et mis en place après la dernière phase alpine de tectonique tangentielle.

Au Nord, cette dépression est séparée de la mer par le Tell septentrional représenté par une suite de reliefs parallèles formés essentiellement de terrains jurassico-crétacés que l'on retrouve aussi dans la plaine (Dahra et massifs épi-métamorphiques à schistosités du Doui, Rouina et Témoulga).

Au sud, le bassin du Cheliff est limité par le Tell méridional représenté par un ensemble de massif montagneux où le substratum y est principalement marno-calcaire et correspond à l'allochtone tellien avec ses différentes nappes.

Une phase infra-crétacé, compressive donne des plis NE-SW ; Une phase à composante tangentielle intervient après le Sénonien et le Paléocène et serait en partie responsable de l'épimétamorphisme Une phase datée Aquitano-Burdigalienne, compressive et profonde génératrice d'un nouvel épimétamorphisme.

Pendant que les nappes telliennes achèvent de se mettre en place, un nouveau cycle sédimentaire s'amorce marqué par une transgression qui envahit le bassin et finit par déposer une épaisse sédimentation mio-plio-quaternaire. Parallèlement, le bassin du Cheliff est soumis pendant tout le Néogène à une importante tectonique principalement distensive pour certains auteurs (Y. Gourinard, A.Perrodon, B.Fenet) et polyphasée pour G.Thomas. Cette tectonique continue jusqu'à l'actuel comme en témoigne l'intense activité séismique de la région.

La région hydrographique Chélif est équipée d'un réseau pluviométrique de 127 postes pluviométriques et 29 stations hydrométriques. Géré par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, ainsi réparti dans les bassins de la région d'étude (Tableau 3.2)

Tableau 3.2 : Inventaire du réseau pluviométrique

Bassin	Superficie (km ²)	Nombre de poste pluviométrique		Densité du réseau en (1000Km ²)	
		Total	Opérationnel	Total	Opérationnel
Côtier-Dahra	3202	14	9	4,37	2,81
Haut et Moyen Chélif	13 940	67	61	4,82	4,32
Bas Chélif et la Mina	10 140	40	31	3,94	3,05
Chélif à l'amont Boughzoul	19 990	28	26	1,45	1,2
Zahrez	8 990	9	3	0,88	0,33

La Carte pluviométrique et tranches de précipitation moyenne (période 1968-2001), établie à partir des séries chronologiques de longue durée couvrant la période 1968/1969-2001/2002 fait bien ressortir les traits essentiels de la répartition des précipitations dans la région d'étude :

- Dans le bassin du Haut et Moyen Chélif ; une concentration des précipitations sur les versants Sud des monts du Dahra et du Zaccar, avec une moyenne interannuelle de plus de 600 mm (stations 011803 Sidi Medja et 011806 El Anneb). Les précipitations se réduisent dans la plaine du Haut et Moyen Chélif où elles varient entre 300 et 400 mm, et dans le sud du bassin où elles atteindraient plus de 500 mm.
- Pour le bassin versant du Bas Chélif et de la Mina, il illustre clairement l'augmentation de la concentration des précipitations proportionnellement à l'altitude de 200 mm à 500 mm ; les versants Nord-ouest des monts de Tiaret ouverts au vent de la mer sont les plus arrosés, avec une moyenne interannuelle de plus de 400 mm (Sidi Bakht (013103) et Tiaret ANRH (012917)). Les précipitations se réduisent dans la plaine du Bas Chélif où elles varient entre 200 et 350 mm.
- La région bassin Amont Boughzoul est cernée en gros par la tranche d'eau moyenne précipitée 300-350mm dont le tracé suit étroitement la limite des versants Sud-tellien, sauf au Nord, au niveau de limite de l'Ouarsenis où intervient le rôle important de l'altitude, où la limite remonte jusqu'à 500 mm. Et plus au Sud par l'isohyète 150mm.

La figure suivante représente la carte pluviométrique et les tranches de précipitation moyenne de la région hydrographique Chélif - Zahrez (période 1968-2001).

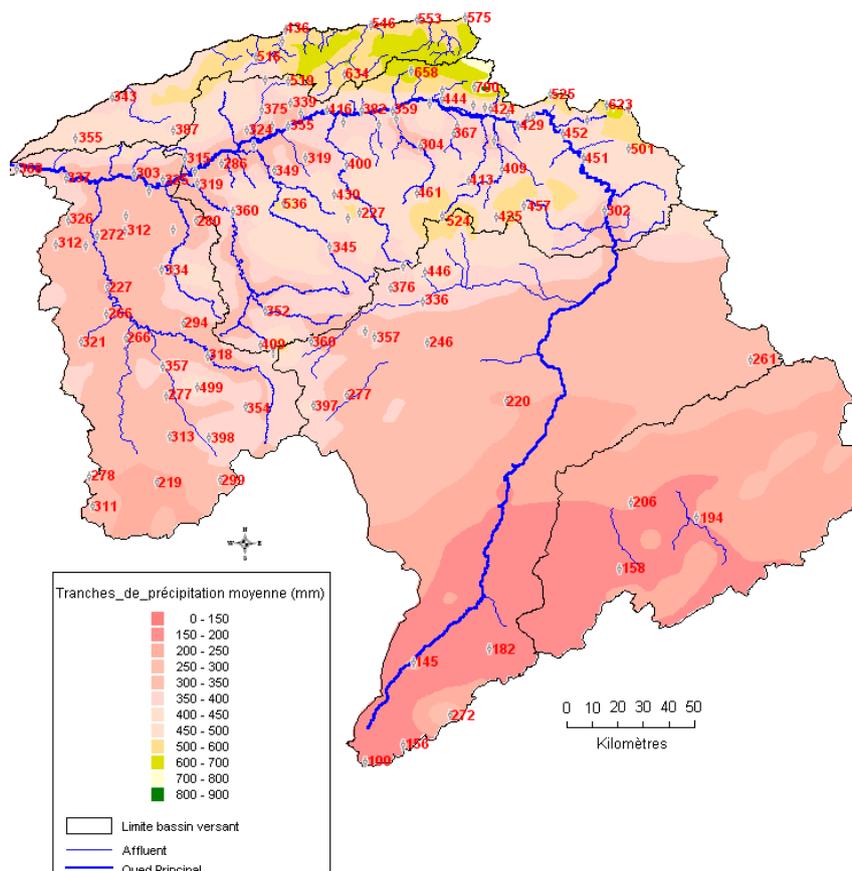


Figure 3.6 : Carte pluviométrique et tranches de précipitation moyenne de la région hydrographique Chélif-Zahrez (Mehaiguene, 2005)

Les principales unités hydrogéologiques de la région Cheliff– Zahrez et leur potentialité en période moyenne sont :

Tableau 3.3 : Les principales unités hydrogéologiques de la région hydrographique Cheliff-Zahrez

Unité Hydrogéologique	Potentialité (Hm ³)
Plaine d’Ain Oussera	59.47
Vallée des Oueds el Abd et That	37.80
Région de Tiaret	33.16
Plaine Alluviale du Haut Cheliff	30.32
Plaine de la Mina	22.38
Plaine d’Eghriss	18.78
Région de Djelfa	18.60
Plateau du Sersou	18.51
Plaine Alluviale du Bas Chellif	17.28
Région des Zahrez	16.59
Plaine Alluviale du Moyen Cheliff	16.00

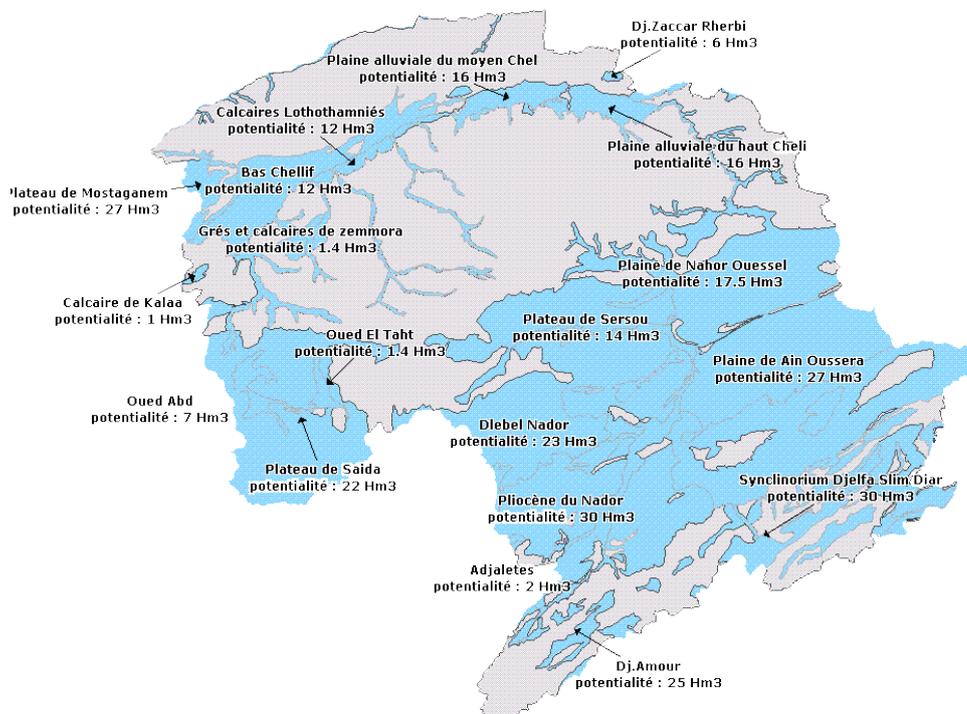


Figure 3.8 : Les eaux souterraines de la région hydrographique Cheliff-Zahrez (Source : AGIRE)

Dix-huit (18) barrages sont en exploitation dans la RHCZ : 17 dans le bassin du Cheliff et 1 dans le bassin du Côtier Dahra (Kramis).

Leur capacité initiale totale est de 2,3 Milliards de M³. Avec un taux d'envasement qui varie de 1 à 62 %, leur capacité au dernier levé a totalisé 1 759,58 Hm³. Le volume d'eau total emmagasiné à la date du 31/01/2014, dans les retenues de ces barrages est de 1 175.21 Hm³. Le volume régularisable est le volume annuel maximum que l'on peut mobiliser à un endroit spécifique par la régularisation des débits historiques par un réservoir d'une dimension donnée. Cette définition implique que le volume régularisable peut changer au fur et à mesure que les débits historiques deviennent disponibles.

D'après le PNE 2010, le volume régularisable total des 18 barrages en exploitation, est de 512.30 Hm³/an destinés à l'AEP et 730.50 Hm³/an pour l'irrigation.

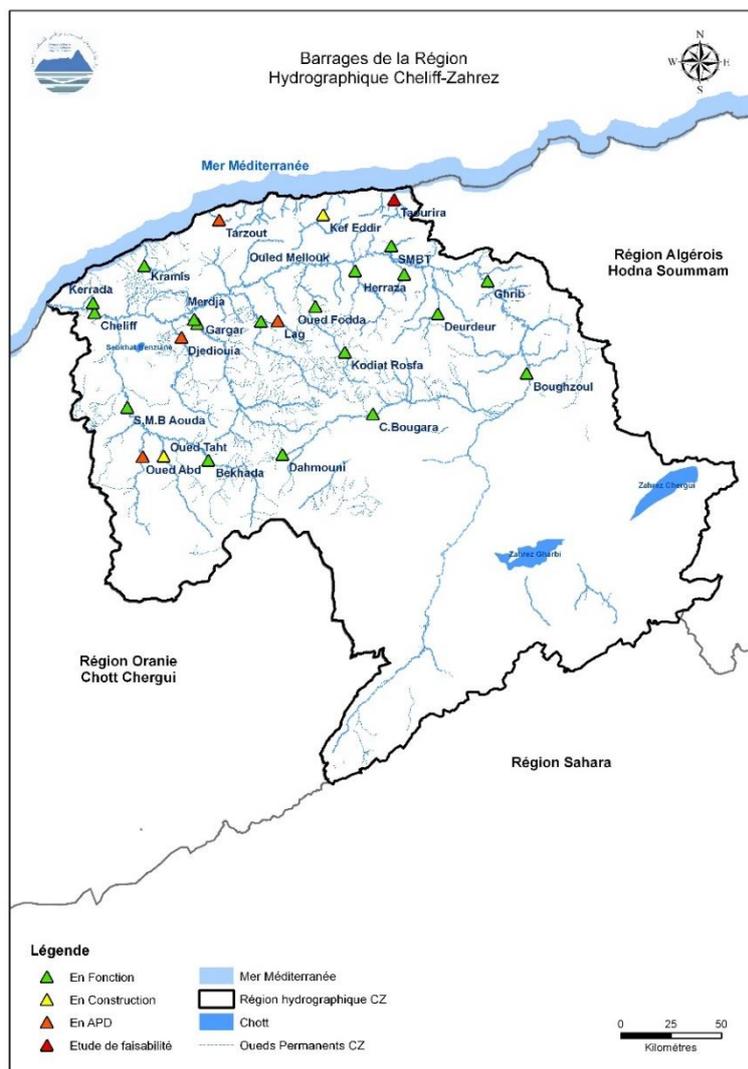


Figure 3.9 : Barrages dans la région Cheliff Zahrez (Source : AGIRE)

Les systèmes de transferts existants dans la région hydrographique Cheliff-Zahrez sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 3.4 : Les systèmes de transfert d'eau dans la région Cheliff-Zahrez (Source : AGIRE)

Code du système	Nom du Système	Source
BOUK	Système Boukerdane	Eau superficielle (Barrage)
S1	Système Bakhada	
S4	Système Deurdeur	
S8	Système Gargar	
S9	Système Ghrib	
S10	Système Koudiat Acerdoune	
S12	Système Kodiet Rosfa	
S13	Système Kramis	
S15	Système Merdja Sidi Abed	
S16	Système Oued fodda	
S17	Système Ouled Mellouk	
S20	Système Sidi Mhamed Ben Taiba	
S25	Système Sidi Yacoub	
S26	Système Sidi Mhamed Benaouda	
S30	Système MAO	
S37	Système C/Bougara	
S21	Système SDEM Mactaa	
ST22	Système SDEM Mostaganem	Eau Souterraine (Forage)
S6	Système Ardh el beidha	
S7	Système Hassi fedoul	
S19	Système Rechaiga	
S31	Système Dahra	
S32	Système Ouarsenis	
S33	Système Birine	
S34	Système Ain Dzarit	
S35	Système Tousnina	
S36	Système Oued Mina (Sidi	

Conclusion

Comme a été revu au sein de ce troisième chapitre, le Bassin Hydrographique de Cheliff-Zahrez est un bassin riche en ressources et potentialités hydrauliques qui, avec une bonne gestion peuvent satisfaire les besoins domestiques, industriels ou agricoles de la région. Cependant, avec l'agressivité que peut prendre le climat allant de semi-aride à aride, nombreuses mobilisations, potentialités et ouvrages hydrauliques de ce bassin hydrographique sont soumises à un danger majeur dont est l'érosion, qui provoque l'envasement, la sédimentation et le transport solide.

Chapitre IV

Résultats et discussions

Chapitre 4

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Introduction

Au sein de ce chapitre, nous décortiquons les informations et les données recueillis sur les quatorze grands barrages de notre région hydrographique Cheliff-Zahrez. En réalisant une analyse sur leurs situations actuelles vis-à-vis de l'envasement et de la réduction des leurs capacités au fil des années, pour la mise en œuvre d'un plan ou une perspective adaptée à cette région connue par l'agressivité de l'érosion, induisant a un taux d'envasement très élevé qui met en danger la sécurité et réduit la capacité de la plupart de ces barrages, question de lutter contre ce phénomène et ralentir son ampleur par les différentes techniques de dévasement afin de rallonger la durée de vie de ces barrages.

4.1 Présentation des barrages de la région étudiée

4.1.1 Barrage Bakhadda

Le barrage de Bakhadda, situé au nord de l'Algérie à 25 km à l'ouest de la ville de Tiaret. Il faisait partie du programme dit « Le programme de 1920 » avec les barrages des *Beni-Bahdel*, de *Bou-Hanifia*, de *l'Oued-Fodda*, du *Ghrib*, du *Ksob*, des *Zardézas* et de *Foum-el-Gueiss* qui formaient un ensemble remarquable, qui a augmenté considérablement le potentiel économique de l'Algérie grâce à la législation spéciale sur l'exploitation en vue de l'irrigation (Décret-loi du 30 octobre 1935). A pour but de stocker les eaux de l'oued Mina, affluent de l'oued Chellif. Il est essentiellement destiné à :

- L'irrigation de la plaine de Relizane
- L'alimentation en eau potable de Rouina et Draa Sfa.



Figure 4.1 : Barrage de Bakhadda (Cliché : ANBT)



Figure 4.2 : Vue satellitaire du barrage Bakhadda (Cliché : Google Earth, 2020)

4.1.2 Barrage Colonel Bougara

Le barrage de Colonel Bougara, situé au Nord de l'Algérie à une dizaine de kilomètres de la ville de Tissemsilt, a pour but de stocker les eaux de l'Oued Nahr Ouassel. Il est destiné à l'irrigation des plaines de Tiaret et Tissemsilt.

Le bassin versant de 454 km² permet un apport moyen inter-annuel de 9 millions de m³ environ. La capacité de la retenue est de 13 millions de m³ à la cote de retenue normale.



Figure 4.3 : Barrage Colonel Bougara (Cliché : ANBT)



Figure 4.4 : Vue satellitaire sur le barrage Colonel Bougara (Cliché : Google Earth, 2020)

4.1.3 Barrage Dahmouni

Le barrage de Dahmouni est situé à la proximité des villes de Dahmouni et Quinze kilomètres (15 km) de la ville de Tiaret dans la Wilaya de Tiaret. Mis en service en 1987 avec une capacité de 40,1 Millions M³. A pour but de stocker les eaux de l'Oued Nahr Ouassel affluent de l'Oued Cheliff.

Le barrage est alimenté dans sa totalité par les eaux usées de la ville de Tiaret, les localités qui l'entourent (Dahmouni, Sougueur, Bouchekif, Ain Meriem, l'usine de SONACOM et l'usine de FATIA) ainsi que les eaux des pluies pendant la saison hivernale (ADNAN FARIDA, 2015). Il est destiné à :

- L'alimentation en eau potable et industrielle de la ville de Tiaret
- L'irrigation de cette région de façon à aider son développement agricole.



Figure 4.5 : Barrage Dahmouni (Cliché : ANBT)



Figure 4.6 : Vue satellitaire sur le barrage Dahmouni (Cliché Google Earth, 2020)

4.1.4 Barrage Deurdeur

Le barrage de Deurdeur, situé à 30 km au sud de la ville d'El-Khémis dans la Wilaya d'Aïn Defla. Le barrage est implanté au confluent des oueds EL MELAH et TIGHZERT qui se réunissent pour constituer L'oued Zemmour. Il a été mis en eau en septembre 1984.

Le barrage permet de constituer une accumulation de 115 millions M3 et a pour but de stocker les eaux de l'Oued Zemmour affluent de l'oued Cheliff et pour l'irrigation du périmètre Haut Cheliff et à l'alimentation en Eau Potable de Tissemsilt.



Figure 4.7 : Barrage Deurdeur (Cliché : ANBT)



Figure 4.8 : Vue satellitaire sur le barrage Deurdeur (Cliché : Google Earth, 2020)

4.1.5 Barrage Gargar

Le barrage Gargar est situé à 5 kilomètres au Sud – Ouest de la ville de Oued Rhiou. Il est destiné à créer une retenue d'une capacité de 450 hm³ sur l'Oued Rhiou. Il est classé troisième en termes de capacité après ceux de Beni Haroun (998 M m³) et Koudiat Acerdoune (650 M m³), visant essentiellement à satisfaire les besoins en eau d'irrigation des vergers de Relizane et à l'alimentation en eau potable de la ville d'Oran.



Figure 4.9 : Barrage Gargar (Cliché : ANBT)

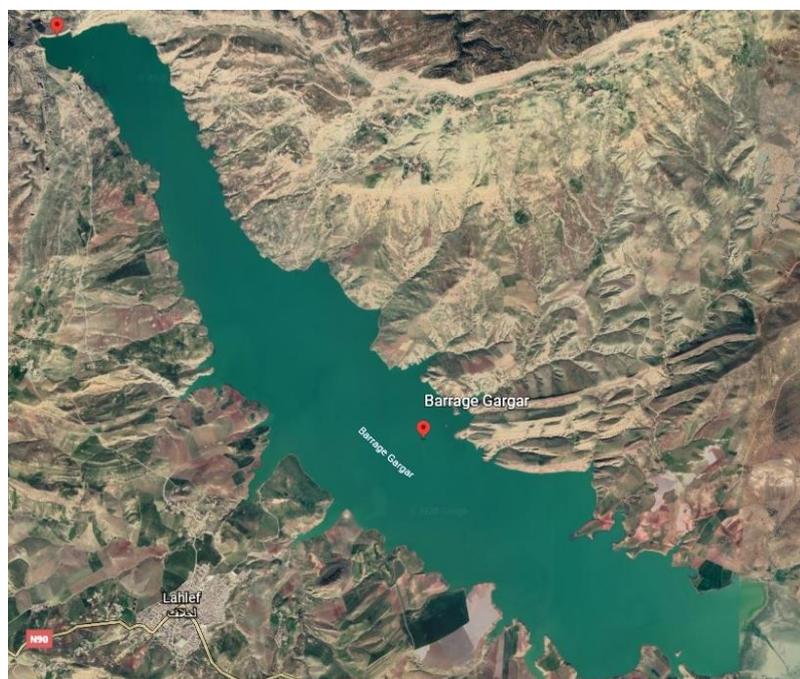


Figure 4.10 : Vue satellitaire sur le barrage Gargar (Cliché : Google Earth, 2020)

4.1.6 Barrage Ghrib

Le barrage Ghrib est situé dans la commune de l'Oued-Chorfa dans la Wilaya de Ain-Defla. Il est implanté sur l'oued Chélif à 20 kilomètres au Sud – Ouest de la ville d'Ain-Defla. A été mis en service en 1936 pour les parties basses et en 1939 pour son maximum. En 1950 il irrigue une superficie de 30.000 hectares et fournit 13700 kW en électricité pour l'Algérois. Ce barrage est destiné à Irrigation, AEP et le transfert vers le barrage de Bouroumi.



Figure 4.11 : Barrage de Ghrib (Cliché : ANBT)

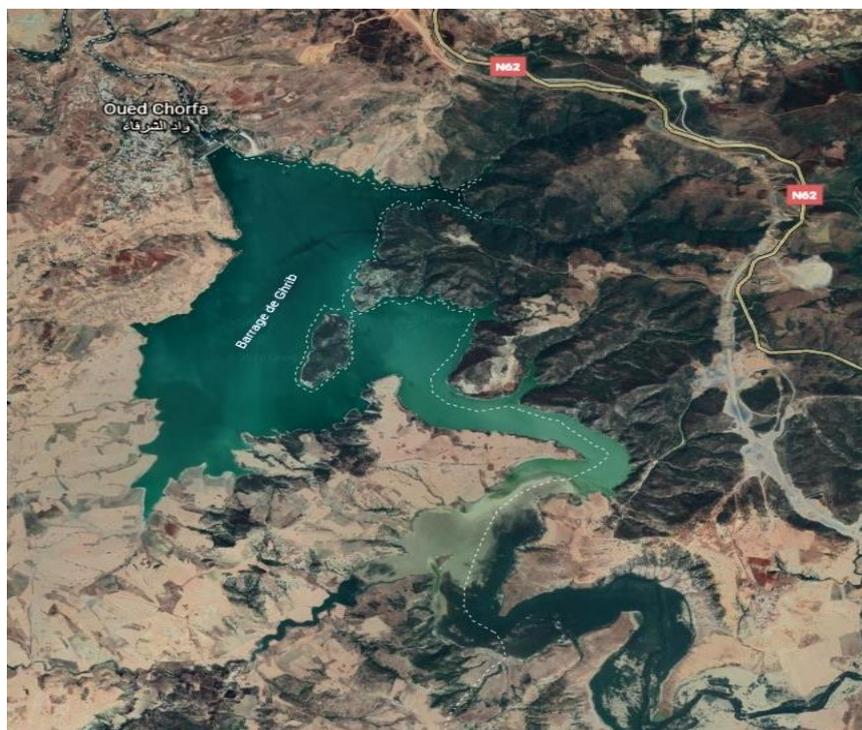


Figure 4.12 : Vue satellitaire sur le barrage Ghrib (Cliché : Google Earth, 2020)

4.1.7 Barrage Harreza

Le bassin versant de l'oued Harreza fait partie du bassin de l'oued Cheliff. Il se situe à 120 Km à l'Ouest d'Alger, 15 km au Sud-Ouest de la ville d'El-Khemis, sur l'oued Harreza, qui est un affluent en rive gauche de l'oued Cheliff. Il draine une superficie de 142 Km².

Il est mis en service en 1984 afin de satisfaire partiellement les besoins en eau d'irrigation de la haute plaine rive gauche du Cheliff, par stockage des eaux de l'oued Harreza et par pompage de l'Oued Cheliff à partir de la station d'El-Khemis II.



Figure 4.13 : Barrage Harreza (Cliché : ANBT)



Figure 4.14 : Vue satellitaire sur le barrage Harreza (Cliché : Google Earth, 2020)

4.1.8 Barrage Koudiat Rosfa

Le Barrage de Koudiat Rosfa, réalisé en 2004 est situé dans la wilaya de Tissemsilt, sur l'Oued Fodda à environ 18kms en amont du barrage implanté entre la commune de Beni-Chaib et Sidi-Slimane sur le CW 05 à 40 Kms au Nord-Ouest du Chef-lieu de la Wilaya.

Il destine à :

- L'alimentation en eau potable de la ville de Tissemsilt (15Mm³/an)
- L'irrigation via le barrage Oued Fodda des périmètres en aval (6Mm³/an)
- La récupération du volume envasé du barrage Oued Fodda.



Figure 4.15 : Barrage Koudiat Rosfa (Cliché : B.H, 2011)

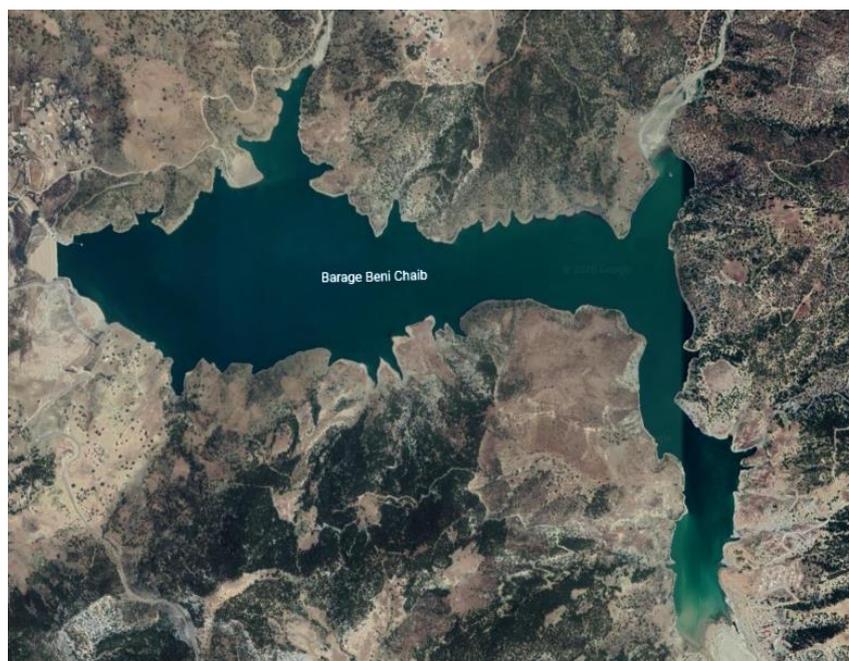


Figure 4.16 : Vue satellitaire sur le barrage Koudiat Rosfa (Cliché : Google Earth, 2020)

4.1.9 Barrage Merdja Sidi Abed

Le barrage de Merdja Sidi Abed est situé dans la wilaya de Relizane en bordure de la route nationale N°04, entre la ville de l'Oued-Rhiou à l'ouest et la ville de Bou kadir à l'est.

Le barrage est un réservoir alimenté d'une part par un canal gravitaire jusqu'à la côte 64,20 et d'autre part par une station de pompage équipée de 04 pompes d'une capacité chacune de 1,75 m³/s pompant les eaux à partir d'un canal appelé tronc commun alimenté par le Cheliff au niveau du barrage de Boukadir situé à 10 km environ en amont du site de la Merdja.

Il permet de stocker une partie des eaux non régularisée de l'oued Cheliff en hiver et l'irrigation de la plaine du bas Cheliff en dérivant les eaux circulant dans le canal (tronc commun) par gravitation.

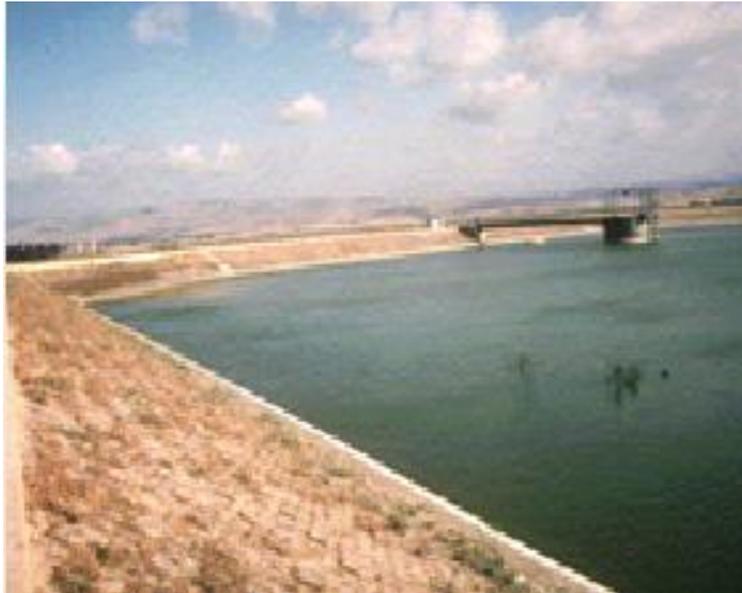


Figure 4.17 : Barrage Merdja Sidi Abed (Cliché : ANBT)



Figure 4.18 : Vue satellitaire sur le barrage Merdja Sidi Abed (Cliché : Google Earth, 2020)

4.1.10 Barrage Oued el Fodda

Le barrage de l'Oued-Fodda est situé à 45 kilomètres au Sud de la ville de Chlef. Appelé aussi « barrage Steeg » du nom d'un des gouverneurs de l'Algérie Française, le barrage d'Oued Fodda est le premier des grands barrages construits en Algérie. L'étude de faisabilité débute en 1910 mais sa construction commence en 1926 pour se terminer en 1932.

A pour objet d'approvisionner :

- L'irrigation du périmètre du moyen Cheliff.
- L'alimentation en Eau Potable du barrage et des localités avoisinantes.
- Le transfert vers le barrage de Bouroumi (SAA).

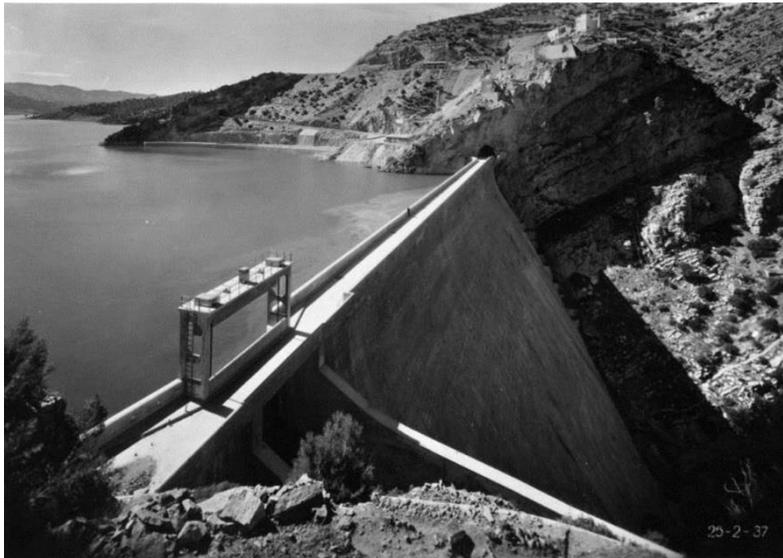


Figure 4.19 : Barrage Oued el Fodda (Source : www.canalblog.com, Cliché : 1937)

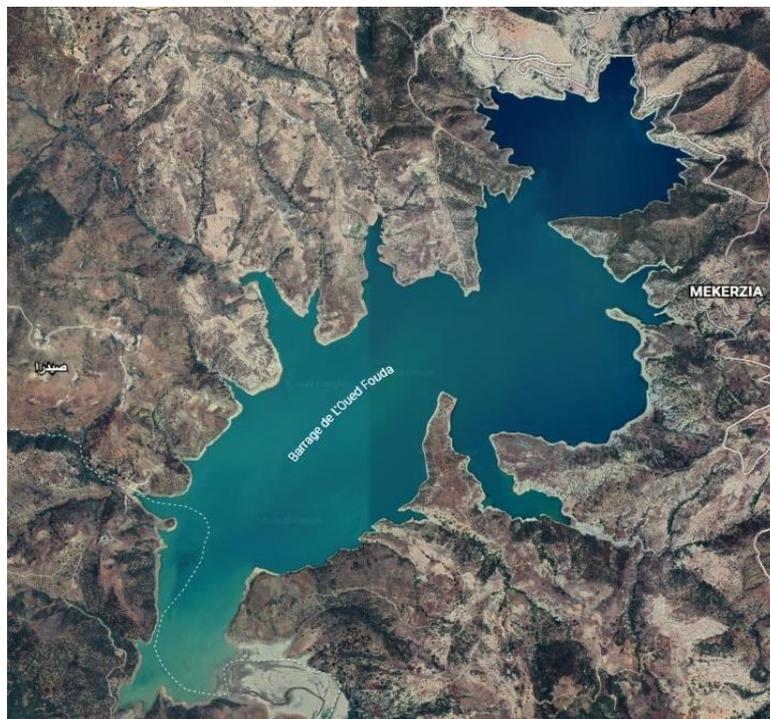


Figure 4.20 : Vue satellitaire sur le barrage Oued el Fodda (Cliché : Google Earth, 2020)

4.1.11 Barrage Ouled Mellouk

Le barrage d'Ouled Mellouk, sur l'oued Rouina, affluent du versant gauche de l'oued Chelif, est situé dans la wilaya d'Ain Defla, à l'ouest de cette localité, à environ 5 km en amont du village de Rouina, juste à l'amont des anciennes mines de Rouina.

Il domine un bassin versant qui couvre une aire d'environ 876 km². Sa capacité de stockage est de 119.04 hm³

Ce barrage est destiné à :

- L'alimentation en eau potable des villes de Rouina, Bourached, Zeddine, El Mayenne et El-Attaf
- L'irrigation du périmètre EL AMRA, EL ABADIA et ROUINA



Figure 4.21: Barrage Ouled Mellouk (Cliché: ANBT)



Figure 4.22 : Vue satellitaire sur le barrage Ouled Mellouk (Cliché : Google Earth, 2020)

4.1.12 Barrage Sidi Mohamad Ben Aouda

Le Barrage de S.M.Benaouda est situé sur l'oued MINA à 20 Km au sud de la ville de Relizane , le barrage nommé Sidi M'hamed Benaouda (S.M.B.A.) au nom du village voisin est également connu sous le nom de Barrage. Il est mis en service en 1978.

Il s'agit en première position de répondre à des besoins essentiellement pour l'alimentation en eau potable pour le village de Sidi M'hamed Benaouda et la ville de Relizane par des lachures permanents, en deuxième position répondre à des besoins agricoles par des lachures d'irrigation modulées du printemps à l'automne et renforcées en été pour le périmètre de la Mina.



Figure 4.23 : Barrage Sidi Mohamad Ben Aouda (Cliché : ANBT)



Figure 4.24 : Vue satellitaire sur le barrage Sidi Mohamad Ben Aouda

(Cliché: Google Earth, 2020)

4.1.13 Barrage Sidi Mohamad Ben Taiba

Le barrage de Sidi M'Hamed Ben Taiba sur l'Oued Ebda, affluent rive droite de l'Oued Chélif, est situé dans la wilaya de Ain Defla, à environ 15 kilomètres au nord-ouest de la ville de Ain Defla.

Le site du barrage se trouve à l'aval immédiat de la confluence des Oueds Ferhat et El Had qui se rejoignent pour former l'Oued Ebda. Le but de l'aménagement est essentiellement la régularisation des apports de l'oued Ebda, en vue de satisfaire les besoins d'irrigation du périmètre d' El Amra – Abadia, dont la superficie est de 8 500 hectares, ainsi que le renforcement de l'alimentation en eau potable des localités de Ain Defla, Khemis Miliana et Sidi Lakhdar.



Figure 4.25 : Barrage Sidi Mohamad Ben Taiba (Cliché : ANBT)



Figure 4.26 : Vue satellitaire sur le barrage SMBT (Cliché : Google Earth, 2020)

4.1.14 Barrage Sidi Yacoub

Mis en service en 1985, le Barrage de Sidi Yacoub est un barrage en terre situé sur l'Oued Ardjem à 20 kilomètres au Sud de la ville d'Oued Fodda dans la Wilaya de Chlef. Avec une capacité de 286 Mm³, Il est destiné à :

- L'irrigation d'un périmètre de 10 000 ha environ
- L'alimentation en eau potable de la wilaya Cheliff.



Figure 4.27 : Barrage Sidi Yacoub (Cliché : ANBT)



Figure 4.28 : Vue satellitaire sur le barrage Sidi Yacoub
(Cliché : Google Earth, 2020)

Le tableau suivant est un tableau récapitulatif de quatorze grands barrages du bassin hydrographique Cheliff-Zahrez, montrant leurs (capacité initiale, capacité dernier levé bathymétrique, taux d'envasement, taux de comblement...) (ANBT, 2020 ; REMINI, 2017).

Tableau 4.1 : Les barrages du bassin hydrographique Cheliff-Zahrez

Barrage	Oued	Type Ouvrage	Année mise en service	Capacité initiale (HM ³)	Capacité dernier levé (HM ³)	Perte (HM ³)	Taux de comblement en 2014 (%)	Taux d'envasement (%)
Merdja S.Abed	<i>Chlef</i>	<i>Terre</i>	1984	54,9	44,86	10,04	20	22,66
Gargar	<i>Rhiou</i>	<i>Terre</i>	1988	450	283,49	166,51	33	37
Sidi M.B Aouda	<i>Mina</i>	<i>Terre</i>	1978	235	125,32	109,68	51	48
Bakhadda	<i>Mina</i>	<i>En roche</i>	1959	56	37,26	18,74	34	33,46
Dahmouni	<i>Nahr-Ouassel</i>	<i>Terre</i>	1987	41	35,51	5,49	01	11,45
C.Bougara	<i>Nahr-Ouassel</i>	<i>Terre</i>	1989	69,50	60,65	8,85	13	12,73
Sidi Yacoub	<i>Ardjen</i>	<i>Terre</i>	1985	280	224,064	55	15	21,66
Oued el Fodda	<i>Fodda</i>	<i>Poids</i>	1932	228	96,79	131,21	63	62,04
Deurdeur	<i>Ain Defla</i>	<i>Terre</i>	1984	115	107,54	7,46	10	6,49
Harreza	<i>Hareza</i>	<i>Terre</i>	1984	76	74,61	1,19	9,8	1,57
Ghrib	<i>Chlef</i>	<i>En roche</i>	1939	350	169,35	180,65	57	39,52
Sidi M.B Taiba	<i>BDA</i>	<i>En roche</i>	2005	75	70,22	4,78	04	6,37
Ouled Mellouk	<i>Rouina</i>	<i>Terre</i>	2003	127	114,10	12,9	23	10,16
Koudiat Rosfa	<i>Fodda</i>	<i>Terre</i>	2004	75	66,04	8,96	12	9,53

Nous avons pris en compte les différents taux d'envasement (%) ci-présents dans le (Tableau 4.1) afin de les classer selon la gravité de l'envasement de chaque barrage.

Taux d'envasement (%) : [0 – 2]



Taux d'envasement (%) : [2 – 10]



Taux d'envasement (%) : [10 – 20]



Taus d'envasement (%) : [20 – 50]



Taux d'envasement (%) : [>50]



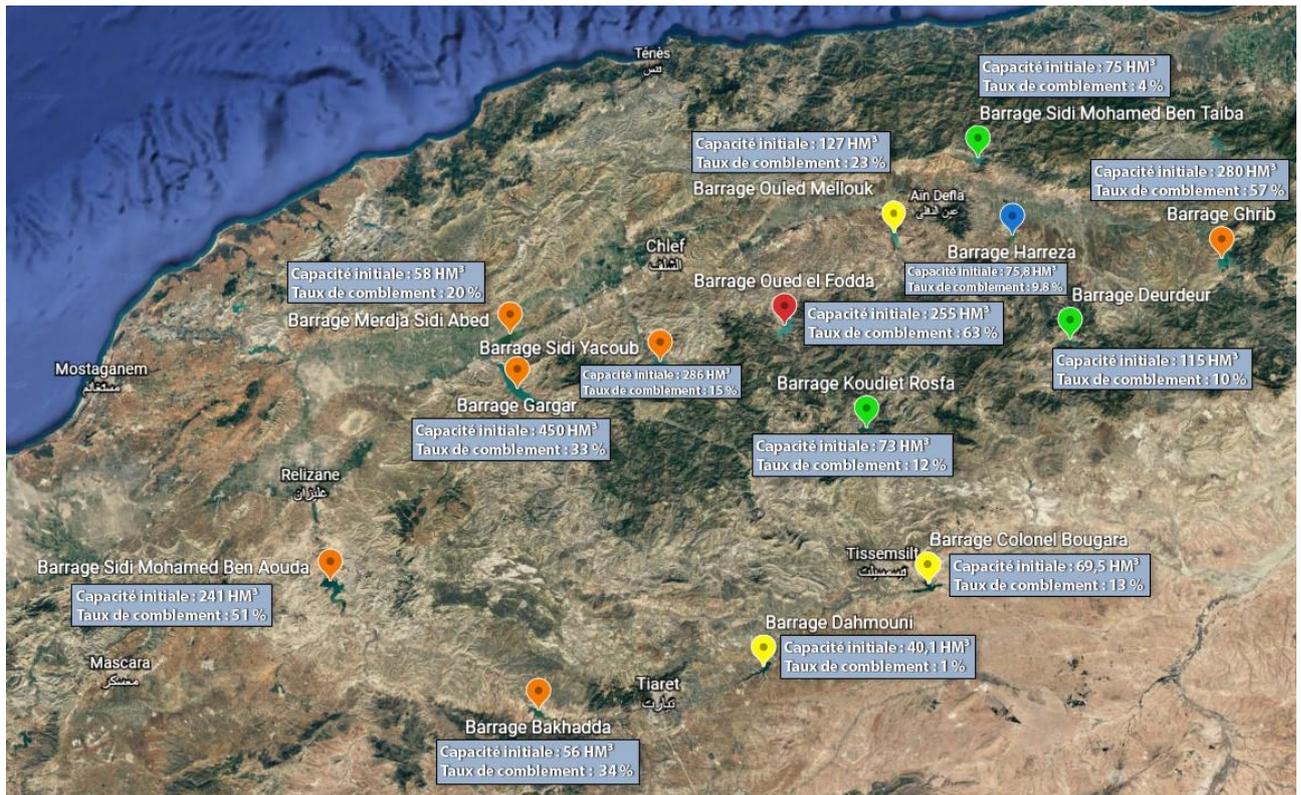


Figure 4.29 : Classification des barrages de la région CZ selon le taux d'envasement

Depuis la figure nous constatons que plus de la moitié des barrages sont dans un état critique vis-à-vis de l'envasement. Le barrage de (Oued el Fodda), avec un taux d'envasement dépassant les 60% est le barrage le plus envasé de la région perdant plus de la moitié de sa capacité initiale. Viennent ensuite (Sidi M'Hamed Ben Aouda, Ghrif, Gargar et Bakhadda) enregistrant des taux d'envasement successifs de 48%, 39%, 37% et 33% qui sont proche de perdre la moitié de leurs capacités initiales. (Sidi Yacoub et Merdja Sidi Abed) (21% et 22%) de taux d'envasement sont en voie de dégradation. Les autres barrages de la région, avec des taux en dessous des 20%, cependant il ne faut jamais négliger l'ampleur du danger de ce phénomène qui ne cessent de réduire les capacités de ces barrages.

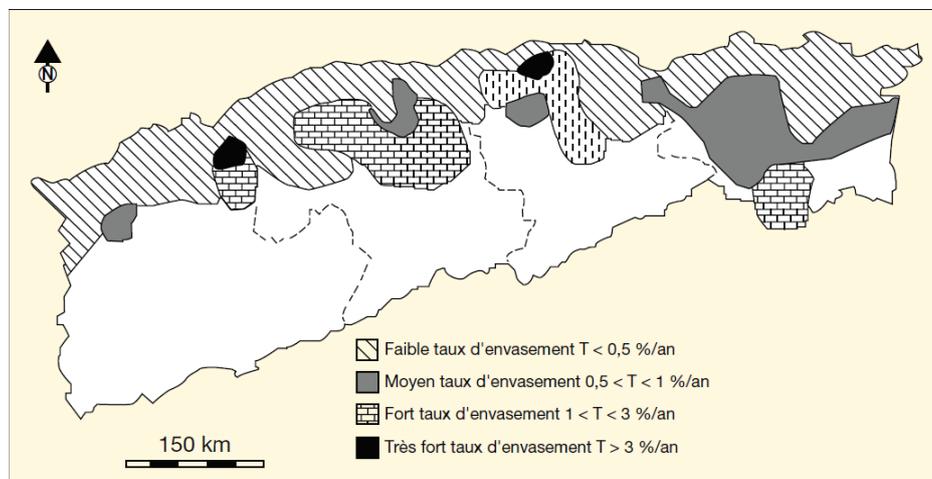


Figure 4.30 : Classification des barrages du Nords Algérien selon le taux d'envasement (Source : Remini, 2004)

4.2 Détermination des taux d'envasement des barrages

Sur la base des levés bathymétriques effectués par l'ANBT en (2004), nous avons pu déterminer les taux d'envasement de nos 14 barrages par le rapport entre la capacité initiale du barrage, la capacité du levé bathymétrique de (2004) ainsi que la différence d'année entre (2004 et année mise en service du barrage). L'équation est la suivante :

$$\text{Taux d'envasement} = \frac{\text{Capacité initiale (HM}^3) - \text{Capacité levé (2004)(HM}^3)}{\text{Différences d'années (2004 - Année mise en service)}}$$

$$\tau = \frac{W_0 - W_{2004}}{T}$$

τ : Taux d'envasement (HM³/An)

W_0 : Capacité initiale (HM³)

W_{2004} : Capacité levé bathymétrique (2004) (HM³)

T : Différence d'années (2004 – Année mise en service du barrage)

Nous avons repris l'équation ci-dessus et nous l'avons appliqué sur les 14 barrages étudiés. Les résultats sont inscrits dans le tableau suivant (Tableau 4.2) :

Tableau 4.2 : Détermination des taux d'envasement des barrages de la région hydrographique Cheliff-Zahrez

Barrages	Années mise en service	Capacité initiale (HM ³)	Capacité levé (2004) (HM ³)	Taux d'envasement (HM ³ /An)
Merdja S.Abed	1984	54,9	47,97	0,35
Gargar	1988	450	358,28	5,75
Sidi M.B Aouda	1978	235	153,71	04
Bakhadda	1959	56	39,94	0,30
Dahmouni	1987	41	39,52	0,09
C.Bougara	1989	69,50	68	0,1
Sidi Yacoub	1985	280	252,85	1,5
Oued el Fodda	1932	228	102,85	1,7
Deurdeur	1984	115	105,122	0,55
Harreza	1984	76	61	0,75
Ghrib	1939	350	115,32	2,4
Sidi M.B Taiba	2005	75	-	0,25
Ouled Mellouk	2003	127	119,04	1
Koudiat Rosfa	2004	75	-	0,75

(-) : Pas de données (Barrage mis en service après le levé bathymétrique de 2004)

Pour les trois barrages (Sidi Mohamad Ben Taiba, Ouled Mellouk et Koudiat Rosfa), nous avons utilisé la capacité d'un levé bathymétrique plus récent (ANBT, 2020) afin de déterminer le taux d'envasement de ces derniers.

4.3 Capacité des barrages en 2020

Se basant sur le calcul des taux d'envasement des barrages, nous avons déterminé la capacité estimée des barrages en 2020, par le rapport entre (Capacité initiale, taux d'envasement et différence d'années entre 2020 et l'année de mise en service du barrage).

En prenant l'équation utilisée dans (4.2), et en ayant le taux d'envasement, l'équation devient :

$$W_{2020} = W_0 - (\tau \times T)$$

τ : Taux d'envasement (HM³/An)

W_0 : Capacité initiale (HM³)

W_{2020} : Capacité en 2020 (HM³)

T : Différence d'années (2020 – Année mise en service du barrage)

Les résultats sont inscrits dans le tableau suivant (Tableau 4.3) :

Tableau 4.3 : Capacité estimée des barrages de la région Cheliff-Zahrez en 2020

Barrages	Années mise en service	Capacité initiale (HM ³)	Taux d'envasement (HM ³ /An)	Capacité en (2020) (HM ³)
Merdja S.Abed	1984	54,9	0,35	43,2
Gargar	1988	450	5,75	266
Sidi M.B Aouda	1978	235	04	67
Bakhadda	1959	56	0,30	37,7
Dahmouni	1987	41	0,09	38,03
C.Bougara	1989	69,50	0,1	66,4
Sidi Yacoub	1985	280	1,5	227,5
Oued el Fodda	1932	228	1,7	78,4
Deurdeur	1984	115	0,55	95,2
Harreza	1984	76	0,75	49
Ghrib	1939	350	2,4	155,6
Sidi M.B Taiba	2005	75	0,25	71,25
Ouled Mellouk	2003	127	1	110
Koudiat Rosfa	2004	75	0,75	63

4.4 Durée de vie des barrages

Sur la base de la détermination des taux d'envasement de nos 14 barrages, nous avons abouti à l'estimation de la durée de vie de ces derniers. Etant le rapport entre la capacité (levé bathymétrique de 2004) du barrage et son taux d'envasement, les résultats sont comme suit :

$$T = \frac{W_{2004}}{\tau}$$

T : Durée de vie du barrage (Ans)

W_{2004} : Capacité au levé bathymétrique (2004) du barrage (HM³)

τ : Taux d'envasement du barrage (HM³/An)

Tableau 4.4 : Estimation de la durée de vie des barrages de la région Cheliff-Zahrez

Barrages	Années mise en service	Capacité au levé (2004) (HM ³)	Taux d'envasement (HM ³ /An)	Durée de vie estimée (Ans)	Année de perte de l'ouvrage (estimée) (Ans)
Merdja S.Abed	1984	48	0,35	157	2141
Gargar	1988	358,3	5,75	78	2066
Sidi M.B Aouda	1978	153,7	04	64	2042
Bakhadda	1959	40	0,30	178	2137
Dahmouni	1987	39,5	0,09	456	2443
C.Bougara	1989	11,3	0,1	128	2117
Sidi Yacoub	1985	252,9	1,5	187	2172
Oued el Fodda	1932	102,9	1,7	133	2065
Deurdeur	1984	105,1	0,55	211	2195
Harreza	1984	76	0,75	121	2105
Ghrib	1939	115,3	2,4	113	2052
Sidi M.B Taiba	2005	-	0,25	299	2304
Ouled Mellouk	2003	119	1	120	2123
Koudiat Rosfa	2004	75	0,75	100	2104
(-) : Pas de donnée (Barrage mis en service après le levé bathymétrique de 2004)					

Pour le barrage (Sidi Mohamad Ben Taiba) mis en service en 2005, la durée de vie estimée a été calculé selon un levé bathymétrique plus récent (ANBT).

Les barrages de cette région de Cheliff-Zahrez, sont menacés plus que jamais par l'envasement rapide et la perte de leurs capacités avec une vitesse alarmante.

Selon le rapport entre le taux d'envasement et (La capacité initiale des barrages (HM³), les apports liquides moyen annuels (HM³/An), la surface du bassin versant du barrage (KM²)) nous avons obtenus les graphes suivants :

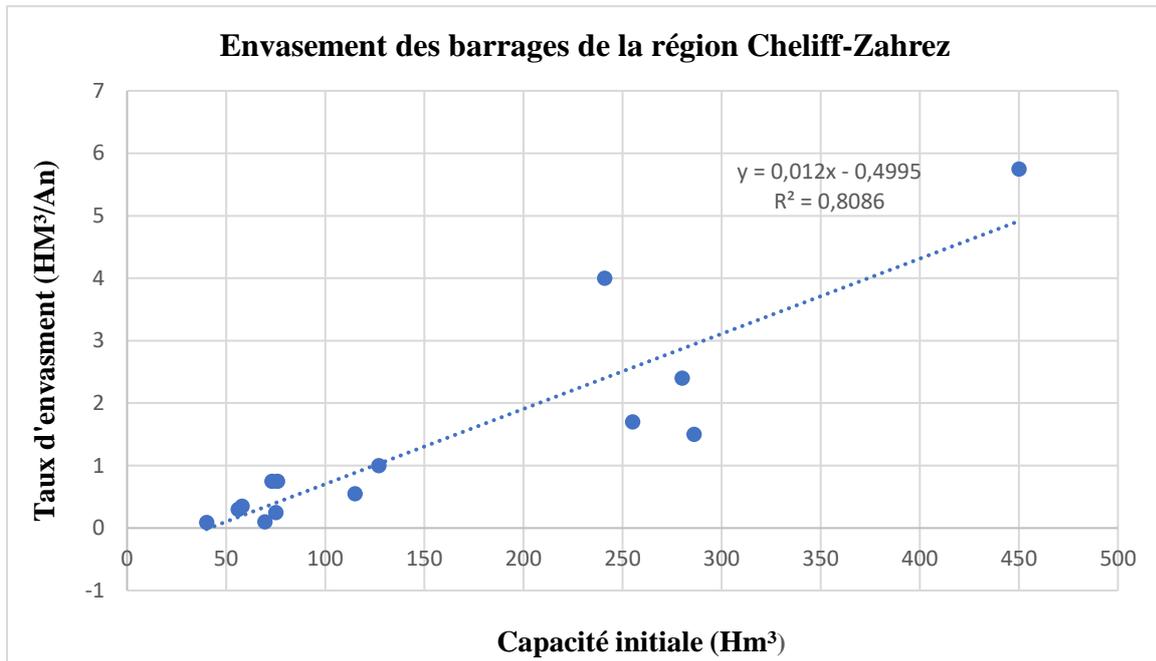


Figure 4.31 : Variation des taux d'envasement en fonction des capacités initiales des barrages du bassin hydrographique CZ

La figure (fig. 4.1), fait ressortir que le taux d'envasement d'un barrage a une relation directe avec la capacité initiale de ce dernier. Avec un taux de (5,75 HM³/An), le barrage de Gargar d'une capacité initiale de 450 HM³ représente le barrage avec le taux d'envasement le plus élevé vu que c'est le plus grand barrage de la région. Selon la capacité initiale d'un barrage à un autre les taux d'envasement les plus élevées sont enregistrés sur les plus grands barrages de cette région hydrographique de Cheliff-Zahrez.

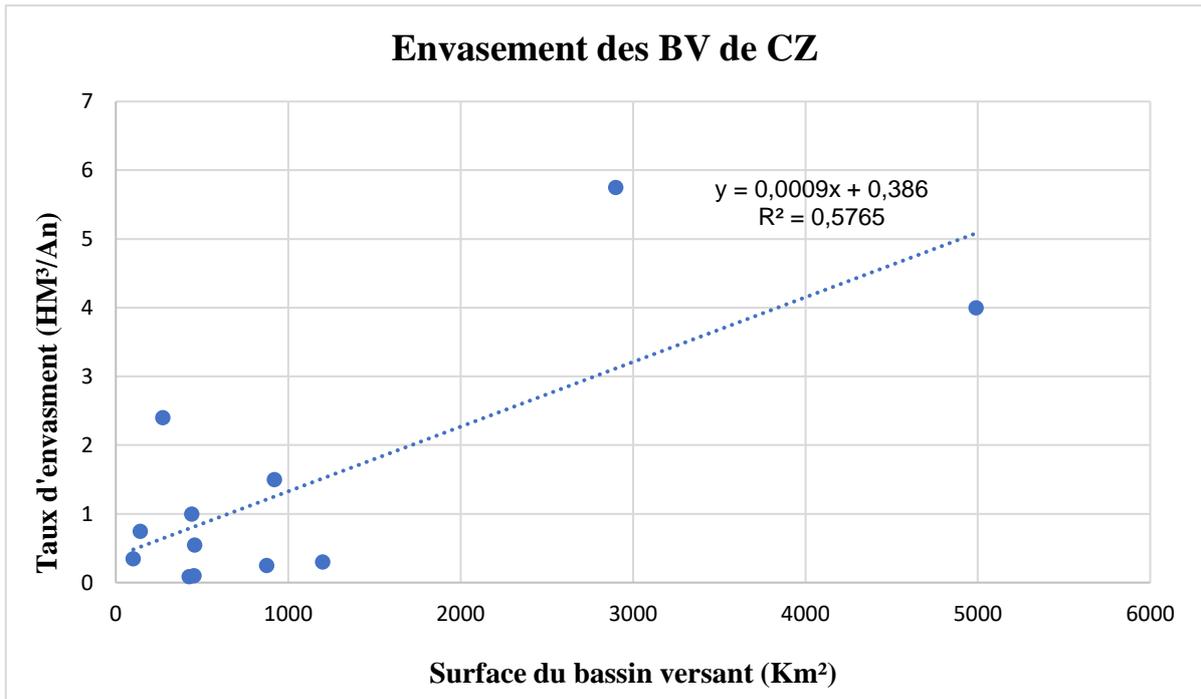


Figure 4.32 : Variation des taux d'envasement en fonction des surfaces des bassins versants des barrages du bassin hydrographique Cheliff-Zahrez

Compte tenu de la courbe de la (fig. 4.2), qui nous montre qu'indépendamment de la région ou est situé le barrage, la surface du bassin versant de ce dernier joue un rôle dans la variation des taux d'envasement de ces barrages. Avec des surfaces successives du BV de 4990Km² et 2900 Km², les barrages de SMBA et Gargar enregistre les taux d'envasement les plus élevés de cette région. Ce qui nous pousse à dire que malgré la variation du climat et d'autres facteurs, plus la surface du BV et grande plus le taux d'envasement augmente d'une façon considérable.

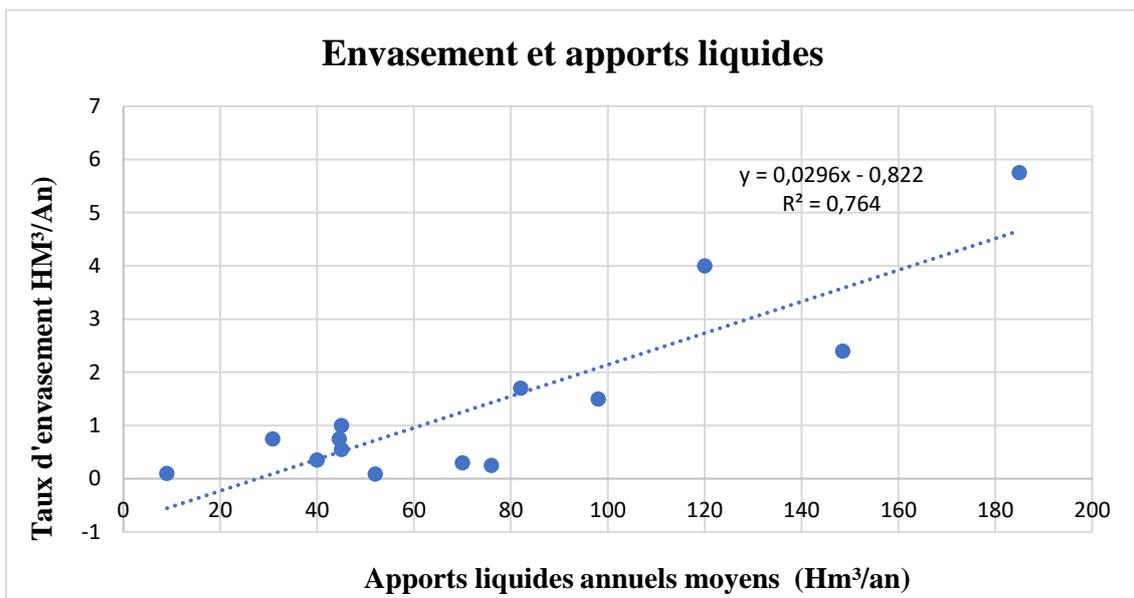


Figure 4.33 : Variation des taux d'envasement en fonction des apports liquides moyens annuels des barrages de la région Cheliff-Zahrez

Depuis la (fig. 4.3), qui représente la variation des taux d'envasements en fonction des quantités d'apports liquides reçus dans chaque barrage de la région. Se ressort que exceptés de quelques barrages, les apports liquides influence de façon considérable la quantité de vase déposés sur ces barrages. Le taux d'envasement augmente chaque fois que la quantité d'apports liquides annuels moyens reçus est grande. Avec une quantité de (185 HM³/An) le Gargar est le barrage qui reçoit chaque année le plus grand volume d'apports liquides qui induit à ce qu'il enregistre le taux d'envasement le plus élevé.

4.5 Moyens de lutte contre l'envasement

Le bassin hydrographique de Cheliff-Zahrez, une région au climat semi-aride à aride où les barrages sont menacés et mis en danger par l'envasement rapide de ces derniers, dû à la forte érosion de cette région. Ces barrages se voient comblés d'année à année par le volume de vase déposée au fond de ces ouvrages à une vitesse alarmante. En vue de cette menace, les moyens de lutte contre le phénomène sont plus que jamais nécessaires pour ralentir l'allure de l'envasement.

Au fil des années, nombreuses opérations de dévasement ont été enregistrées au sein des barrages les plus envasés de la région de Cheliff-Zahrez tel que (Oued el Fouda, Ghrib, Sidi Mohamad Ben Aouda et Merdja Sidi Abed). Nous avons résumé les techniques et moyens utilisés de dévasement dans le tableau suivant :

Tableau 4.5 : Les différentes opérations de dévasement réalisées sur quelques barrages du bassin hydrographique Cheliff-Zahrez

Barrage	Wilaya	Année de mise en service	Technique de dévasement adoptée
Oued el Fouda	<i>Chlef</i>	1932	<ul style="list-style-type: none"> • Soutirage des courants de densité • Installation des vannettes de dévasement
Ghrib	<i>Chlef</i>	1939	<ul style="list-style-type: none"> • Réalisation d'un barrage à l'amont • Soutirage des courants de densité • Surélévation de la retenue
Merdja Sidi Abed	<i>Chlef</i>	1984	<ul style="list-style-type: none"> • Dragage
Sidi Mohamad Ben Aouda	<i>Rélizane</i>	1978	<ul style="list-style-type: none"> • Soutirage des courants de densité • Reboisement du bassin versant • Aménagement du bassin versant

Conclusion

Conclusion

Comme nous l'avons mentionné au début de ce mémoire, que l'envasement des barrages est devenu un problème hydraulique majeur. Les gestionnaires des barrages sont avertis que ce phénomène s'il n'est pas pris en charge au début de l'exploitation d'un barrage, il risque de réduire le volume utile et de colmater le pertuis de vidange. Les résultats obtenus dans ce modeste document s'avèrent très intéressants, puisqu'ils découlent d'un bassin hydrographique de Cheliff-Zahrez très vulnérable à l'envasement. Ce n'est pas un hasard que le plus grand barrage de la région nouvellement mis en exploitation (1988). Le Gargar se trouve aujourd'hui envasé à plus de 45% de sa capacité initiale.

Sur le potentiel de 14 barrages d'une capacité initiale de 2,2 Milliards de M³, un volume de vase évalué à plus de 720 Millions de M³ sont déposés au fond de ces ouvrages. Soit un taux de comblement de 30%.

Cinq grands barrages (Oued el Fodda, Ghrib, Gargar, Sidi Mohamad Ben Aouda, Bakhadda) d'une capacité de 1,2 Milliards de M³ sont envasés à plus de 600 Millions de M³ (soit un taux de comblement de 50%), sont aujourd'hui menacés de déclassement à court terme, si des dispositions de dévasement ne sont pas prises. Quatre de ces cinq grands barrages de la région (SMBA, Ghrib, Gargar et Oued el Fodda) se verront envasés au total aux dates successives suivantes (2042, 2052, 2066 et 2065), c'est-à-dire d'ici 20 à 45ans s'ils ne sont pas pris en charge très rapidement. Historiquement, la région a déployé d'énormes moyens techniques de lutte contre l'envasement. Il s'agit du : Reboisement du bassin versant, aménagement du bassin versant, le soutirage des courants de densité, le dragage hydraulique et la surélévation d'un barrage.

En ce qui concerne les barrages récemment mis en exploitation, des opérations de mesure du levé bathymétrique doivent être opérées périodiquement (2ans) au niveau des lacs de barrages (Koudiat Rosfa, Ouled Mellouk, Sidi Mohamad Ben Taiba, Colonel Bougara, Dahmouni et Sidi Yacoub) pour suivre l'évolution de la capacité.

Pour les autres barrages (les plus envasés), des opérations de dragage sont devenues une priorité pour rallonger leurs durées de vie. Cependant, le lieu de rejet de la vase doit être bien étudié et contrôlé. Des cas de surélévations peuvent avoir lieu dans quelques barrages puisque cette technique a donné de très bons résultats comme celui de Ghrib.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- ABD-EL MONSEF H., SMITH S., DARWISH K.** 2015. Impacts of the Aswan High Dam After 50 Years, Water Resources Management, Vol.29, pp. 1873-1885.
- ABID M.** 1998. Envasement des barrages en Tunisie. Direction Générale des Barrages et des Grands Travaux Hydrauliques (DGBGTH), ministère de l'Agriculture, Tunisie, 69 p.
- ABID M.** 2003. Gestion de l'envasement dans les retenues des grands barrages tunisiens. Direction Générale des Barrages et des Grands Travaux Hydrauliques (DGBGTH), ministère de l'Agriculture, Tunisie, 22 p.
- ACHITE M., TOUAIBIA B., OUILLON S.** 2006. 14th International Soil Conservation Organization Conference. Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments. Marrakech, Morocco, May 14-19, (ISCO 2006).
- ACHITE, M.** (2007), "Problématique de l'érosion et du transport solide en Algérie du nord : Bassin versant de l'Oued Mina (Wilaya de Relizane) ", Thèse de Doctorat Es-Science, Université Des Sciences et de la Technologie d'Oran M.B, Algérie, 207 p.
- ADNAN F.** 2015. Etude de la qualité des eaux destinées à l'irrigation : Cas du barrage Dahmouni, Wilaya de Tiaret. Thèse mémoire de Master, Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes, Université de Blida 1.
- AGENCE NATIONALE DES BARRAGES ET TRANSFERTS, Algérie.**
- AGENCE NATIONALE DE GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU,** 2016, Le Plan Directeur d'Aménagement des Ressources en Eau.
- AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES EN EAU,** 2010, Algérie.
- AHMARI H., AL.** 2013. "Assessment of Erosion and Sedimentation for Hydropower Projects on the Lower Nelson River, Manitoba," Canadian Dam Association, Montreal, Quebec, Canada.
- ALBERGEL J., NASRI N., BOUFARAOUA M. ET PEPIN Y.** 2000. Bilan de l'érosion sur les petits bassins versants des lacs collinaires de la dorsale Tunisienne, Séminaire International hydrologie des Régions Méditerranéennes, PHI-V, Unesco, documents techniques en hydrologie, vol. 51, pp. 63-71.
- ANNANDALE G., MORRIS G., KARKI P.** 2016. "Sediment Management at Reservoirs and Hydropower Plants: World Bank Technical Note," Proceedings of 84th ICOLD Meeting, International Commission on Large Dams, Paris.
- ANNANDALE G.** 2013. Quenching the Thirst, Sustainable Water Supply and Climate Change, Create Space Independent Publishing Platform, North Charleston, SC, 231 pages.
- ARABI M.** 1991. "Influence de quatre systèmes de production sur le ruissellement et l'érosion en milieu méditerranéen à Médéa", Thèse de Doctorat, Université de Grenoble, France.
- BADRAOUI A., HAJJI A.** 2001, Envasement des retenues de barrages, LA HOUILLE BLANCHE, Vol.6, n°17, pp 72-73.
- BELLETTI B., BIZZI S., CASTELLETTI A., GARCIA DE LEANIZ C., BORGER L., JONES J., OLIVO DEL AMO R., SEGURA G., TUMMERS J., VA DER BUND W., THE AMBER CONSORTIUM.** 2018. Small isn't beautiful: the impact of small barriers on longitudinal connectivity of European rivers. Geophysical research Abstracts 20: EGU2018-PREVIEW.

- BENKHADJA R., HATTAB A., MAHDAOUI N., ZEHAR C.** 2012. Assessment of soil losses and siltation of the K'sob hydrological system (semi-arid area, East Algeria). *Arabian Journal of Geoscience*. 10 p.
- BILLINGTON D.P., JACKSON D.C., MELOSI M.V.** 2005. *The History of Large Federal Dams: Planning, Design, and Construction*, U.S. Bureau of Reclamation, US Army Corps of Engineers, and the U.S. National Park Service.
- BOUDJADJA A., MESSAHEL M., PAUC H.** 2003. Ressources hydriques en Algérie du Nord. *Rev. Sci. Eau*, vol.16, pp. 285 -304.
- BOUGACHA, S., AND J. TASSOULAS**, "Seismic Response of Gravity Dams II: Effects of Sediments," *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 117, N°8, 1991, pp. 1839-1850.
- BUI M., RUTSCHMANN P.** 2016. "Numerical Modelling for Reservoir Sedimentation Management," *Proceedings of Sixth International Conference on Water Resources and Hydropower Development in Asia*.
- CAPOLINI J., PIENS S., RAMANA, R.** 1969. "Prévision des apports des crues et des débits solides. Bassin versant du Cheliff : Oued Rhiou, Sly, Fodda, Deurdeur, Zeddine, Ebda », *Etude S E S N 13/12/DH12*, Alger.
- COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES.** 2011. Cost savings in dams, *Bulletin* 144.
- DAKICH A., BEKHADI A. HAMMOUM A.** 1997. Evaluation de la sensibilité des sols à l'érosion par télédétection et SIG. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (Algérie), 32 p.
- DE LA CHEVALERIE F., DHERVILLY P., LEVACHER D.** 2006. Comment faire face à la sédimentation. www.notre-planete.info.
- DEMMAK A.** 1982. Contribution à l'étude de l'érosion et des transport solides en suspension en Algérie septentrionale. Thèse de docteur-Ingénieur, Univ. Paris IV, France.
- DEMMAK A.** 1982. Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de docteur-ingénieur, université Pierre et Marie Curie, Paris.
- DOGAN O., KUCUKCAKAR N.** 1997. "Pertes en sol et en eau sur les terrasses en gradins et détermination des dimensions des terrasses sous les conditions climatiques de l'Anatolie centrale en Turquie", *Bulletin Réseau Erosion*, vol. 17, IRD, Montpellier, France.
- DOMINGUEZ J., GALLEGRO R., JAPON B.**1997. "Effects of Porous Sediments on Seismic Response of Gravity Dams," *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 117, No°8, pp. 302-311.
- DORIJ U., GHOMASCHI R.** 2014. "Hydro Turbine Failure Mechanisms: An Overview," *Engineering Failure Analysis*, Vol. 44, pp. 136-147.
- FLEMING G.** 1969. "Design curves for suspended load estimation", *Proc Inst Civ Eng*, vol. 43, pp. 1-9.
- GARCIA M.H.** 2008. *Sedimentation engineering: processes, measurements, modeling and practice*, American Society of Civil Engineers.
- GARCIA D.LC.** 2008. Weir removal in salmonid streams: implications, challenges and practicalities. *Hydrobiologia*, Vol. 609, Issue 1, pp 83–96.
- G.E.O.R.E (GESTION OPTIMALE DES RESSOURCES EN EAU).** 2001. *Projet G.E.O.R.E, Coopération Allemande au Développement, Direction Générale des Barrages et des Grands Travaux Hydrauliques (DGBGTH), ministère de l'Agriculture, coopération Technique Tuniso-allemande.*

- GRAY J., R., BERNARD J.M., STEWART D.W., MCFAUL E. J., LAURENT K.W., SCHWARZ G.E., STINSON J.T, JONAS M.R., RANDLE T., WEBB J.W.** 2010. Development of a national, dynamic reservoir sedimentation database. In Proc. 9th Federal Interagency Sedimentation Conference, June 27–July 1, Las Vegas, Nevada, 12 p.
- GOGOI I., MAITY D.** 2007. "Influence of Sediment Layers on Dynamic Behavior of Aged Concrete Dams," *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 133, No°4, pp. 400-413.
- GOMER D.** 1994. Ecoulement et érosion dans des petits bassins-versants a` sols marneux sous climat semiaride méditerranéen en. Projet pilote d'aménagement intégré du bassin versant de l'Oued Mina. Eschborn (Allemagne) : Coopération Algéro-Allemande ; GTZ.
- GOMER D.** 1996 L'aménagement des zones marneuses dans le bassin-versant des montagnes de l'Atlas Tellien semi-aride. Eschborn (Allemagne) : GTZ.
- GRUMMER J.** 2009. "Combating Silt Erosion in Hydraulic Turbines," *HRW-Hydro Review Worldwide*, Vol. 17, No°1
- HADJIAT K.** 1997. Etat de dégradation des sols en Algérie. Rapport d'expert PNAE, Banque Mondiale, 45p.
- HATAMI, K.** 1997. "Effect of Reservoir Bottom on Earthquake Response of Concrete Dams," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 16, pp. 407-415.
- HEUSCH B., MILLIES-LACROIS A.** 1971. Une méthode pour estimer l'écoulement et l'érosion dans un bassin : Application au Maghreb. *Mines et Géologie*, vol. 33, pp. 21-39
- HEUSCH B.** 1986. Cinquante années de banquettes de DRS en Afrique du Nord. *Cah Orstom Ser Pédologie*. vol. 22, pp. 153-62.
- HYDROCOOP.** 2011. Influence de la sédimentation sur les projets de barrage (bulletin CIGB 144).
- JOLANDA M.I., ALTHAUS J., DE CESARE G., SCHLEISS A.J.** 2015. *Journal of Hydraulic Engineering Sediment Evacuation from Reservoirs through Intakes by Jet-Induced Flow*, *Journal of Hydraulic Engineering*, vol.141 Issue 2.
- JOLANDA M.I., ALTHAUS J., DE CESARE G., SCHLEISS A.J.** 2016. *Release of suspension particles from a prismatic tank by multiple jet arrangements* *Chemical Engineering Science*, Vol. 144, pp.153-164.
- JULIEN P.Y., FRENETTE M.** 1983. "LAVSED-II, A model for predicting suspended load in Northern stream", Department of civil Engineering, Laval University, Quebec, Canada.
- KARAMBIRI H., YACOUBA H.** www.eiretsher.org, 594 Ouagadougou 01 Groupe EIER/ETSHER.
- KENNY S., AL.** 2014. "Assessment of Impacts to the Sedimentation Environment for the Keeyask Generating Station Project using Numerical Modelling," *Proceedings of 2014 Canadian Dam Association Conference*, Canadian Dam Association, Montreal, Quebec, Canada.
- KONDOLF G., AL.** 2014. "Sustainable Sediment Management in Reservoirs and Regulated Rivers: Experiences from Five Continents," *Earth's Future*, Vol. 02, pp. 256-280.
- KOURI L.** 1993. "L'érosion hydraulique des sols dans le bassin versant de l'Oued Mina (Algérie). Etude des processus et types de fonctionnement des ravins dans la zone des marnes tertiaires". Thèse de Doctorat. Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 238 p.

- LAHLOU A.** 1994. Envasement des barrages au Maroc. Collection Sciences et Techniques, éd. Wallada, Maroc, 286 p.
- LAOUINA A., CHAKER M., NACIRI R., NAFAA R.** 1993. "L'érosion anthropique en pays méditerranéen, le cas du Maroc septentrional", Bulletin Association. Géographique Française, Paris, France, pp. 384-398.
- LIENON G., MAHE G., OLIVRY J., NAAH C.E., SERVAT E., NKAMDJOU L.S., SIGHOMNOU D., NGROUPAYOU J.N., EKODECK G.E., PATUREL J.E.** 2005. "Régimes des flux des matières solides en suspension au Cameroun : revue et synthèse à l'échelle des principaux écosystèmes ; diversité climatique et actions anthropiques", Hydrological Science Journal, vol. 50, n°1, pp. 111-123. 251.
- LIOPOLD L.B., MADDOCK T.G.** 1953. "The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implication", Washington D.C.U.S., Geological. Survey.
- MAHIEDDINE M.** 1997. "Quantification et variabilité parcellaire sous simulation de pluie dans le bassin versant de l'Oued Mina", Thèse de Magister, Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agronomiques, Alger, 120 p.
- MAMMOU A.B., LOUATI M.** 2007. Évolution temporelle de l'envasement des retenues de barrages de Tunisie. Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol.20 (2), pp. 201–210.
- MATHYS N., MEUNIER M., GUET C.** 1989. "Mesures et interprétation du processus d'érosion dans les marnes des Alpes du Sud à l'échelle de la petite ravine", La houille blanche, revue internationale de l'eau, France, 314 p.
- MEDDI M.** 1992 – Hydropluviométrie et transport solide dans le bassin versant de l'Oued Mina. Thèse doctorat Univ. Louis Pasteur Strasbourg, 320p.
- MEGNOUNIF A., TERFOUS A. BOUANINI A.** 2003. "Production et transport des matières solides en suspension dans le bassin versant de la Haute-Tafna (Nord-Ouest Algérien) ", Revue Science de l'Eau, vol. 16, n°3, pp. 369-390. 252
- MERRITTS D., RAHNIS M., WALTER R., HARTRANFT J., COX S., SCHEID C., POTTER N., JENSCHKE M., REED A., MATUSZEWSKI D., KRATZ L., MANION L., SHILLING A., DATIN K.** 2013. "The rise and fall of Mid-Atlantic streams: Millpond sedimentation, milldam breaching, channel incision, and stream bank erosion," In: *The Challenges of Dam Removal and River Restoration*, édition J.V. De Graff and J.E. Evans, The Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology, vol 21, n°10, pp. 93-104.
- MILLIMAN, J., AND R. MEADE, R.** 1983. "World-wide Delivery of River Sediment to the Oceans, Journal of Geology, vol. 91, No°1, pp. 1-21.
- MINEAR J.T., KONDOLF G.M.** 2009. Estimating reservoir sedimentation rates at large spatial and temporal scales: A case study of California. Water Resources Research, vol. 45, issue 12.
- MORRIS G., ANNANDALE G., HOTCHKISS R.** 2008. "Reservoir Sedimentation," in Sedimentation Engineering: Processes, Measurements, Modeling, and Practice, American Society of Civil Engineers, Reston, Va., U.S.
- MOUKHCHANE M., BOUHLASS, S. BOUADDI K.** 1998. "Quantification de l'érosion des sols du bassin versant El Hachef, par le biais du Cesium-137 (Région de Tanger, Maroc) ", Bulletin Réseau Erosion, IRD, Montpellier, France, pp. 106-118.

- MUSSY A.** 2002. Cours d'hydrologie générale. EPF Lausanne.
- MUSY A., HIGY C.** 2004, *Hydrologie (1. Une science de la nature)*, Presses polytechniques et universitaires romandes, vol. 21, 314 p.
- NASRI S., LAMACHÈRE J.M., ALBERGEL J.** 2004. Impact des banquettes sur le ruissellement d'un petit bassin versant. *Rev. Sci. Eau*, vol. 17, pp. 265-289.
- NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (NRCS)**, 2017. *Watershed Rehabilitation*. www.nrcs.usda.gov.
- PROBST J.L.** 1992. "Géochimie et hydrologie de l'érosion continentale. Mécanisme, bilan global actuel et fluctuations au cours des 500 derniers millions d'années", Mémoire des Sciences Géologiques, Université Louis Pasteur, France, 161 p.
- RAIS S., ABIDI M.** 1989. "Prévision du transport solide sur le bassin versant. Application à l'alluvionnement d'une retenue", *La houille blanche*, revue internationale de l'eau, France, 314 p.
- RAMDANE M.** 1993. "Caractéristiques lithologiques des bassins versants des barrages en liaison avec leur sensibilité à l'érosion". A.N.R.H, Rapport interne- Alger.
- RECENSEMENT GENERAL DE LA POPULATION ET DE L'HABITAT (RGPH)**, Algérie, (2008, 2015).
- REMINI B., AVENARD J.M., KETTAB A.** 1997. Évolution dans le temps de l'envasement dans une retenue de barrage dans laquelle est pratiquée la technique du soutirage. *La Houille Blanche*, vol. 6, pp. 54-57
- REMINI B.** 2017. Une Nouvelle Approche De Gestion De L'envasement Des Barrages, *Larhyss Journal*, N°31, pp. 51-81.
- RESERVOIR SEDIMENTATION MANUAL.** 1998. McGraw-Hill, New York.
- RITTER J.** 2012. L'érosion du sol — Causes et effets, Fiche technique n° 12-052 du MAAARO, *Équation universelle des pertes en terre (USLE)*, BMP 06F, *Gestion du sol*, BMP 26F, *Lutte contre l'érosion du sol à la ferme*.
- ROOSE E.** 1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bulletin pédologique FAO* 1994, vol 70, 420 p.
- ROOSE E.** 1999. Evolution historique des stratégies de lutte antiérosives. Vers la gestion conservatoire de l'eau de la biomasse et de la fertilité (GCES). *Bulletin Réseau Erosion* 1999, vol. 19, pp. 11-25.
- SAADAoui M.** 1995. Érosion et transport solide en Tunisie. Mesure et prévision du transport solide dans les bassins versants et de l'envasement dans les retenues des barrages. Direction Générale des Barrages et des Grands Travaux Hydrauliques (DGBGTH), ministère de l'Agriculture, Direction Générale des Ressources en Eau, Direction des Eaux de Surface, Tunisie, 30 p.
- SARI D.** 1977. L'homme et l'érosion dans l'Ouarsenis en Algérie. Alger, SNED.
- SAWADOGO O., BASSON G.** 2016. "2D Hydrodynamic Modelling of Sediment Deposition Processes and Flushing Operation of Boegoeberg Dam, South Africa," *Proceedings of 2016 ICOLD Conference*, International Commission on Large Dams, Paris.
- SHELLENBERG G., DONNELLY C.R., HOLDER C., AHSAN R.** 2017. www.hydroreview.com.
- SCHLEISS A., OEHY C.** 2002. Verlandung von Stauseen und Nachhaltigkeit. *Wasser, Energie, Luft-Eau, Énergie, Air*, N°94, vol. 7/8, pp. 227-234.

- SERRAT P., LUDWIG W., NAVARR, B., BLAZI J.** 2001. "Variabilité spatio-temporelle des flux des matières en suspension d'un fleuve méditerranéen : la têt (France) ", Science de la terre et des planètes, Paris, vol. 333, pp. 389-397.
- SMITH S.** 1990. "A Revised Estimate of the Life Span of Lake Nasser," Environmental Geology and Water Sciences, vol.15, pp. 123-129.
- STEELE R., AL.** 2006. Sedimentation Issues in the Dez Dam Reservoir, Hatch H.G. Acres Conference.
- TANGUY J.M., DHAH G., FRENETTE M., MONADIER, P.** 1989. "Modélisation du transport solide par charriage à l'aide d'un modèle aux éléments finis", La houille blanche, revue internationale de l'eau, France, 314 p.
- TERFOUS A., MEGNOUNIF A., BOUANANI, A.** 2001. Etude du transport solide en suspension dans l'Oued Mouilah (Nord-Ouest Algérien). *Revue des Sciences de l'Eau*, N°14, vol.2, pp. 175–187.
- THE SUBCOMMITTEE OF SEDIMENTATION AND NATIONAL RESERVOIR SEDIMENTATION SUSTAINABILITY TEAM.** 2017. Frequently Asked Questions about Reservoir Sedimentation and Sustainability Contribution.
- TOUAIBIA B, DAUTREBANDE S, GOMER D, AIDAOUI A.** 1999. Approche de l'érosion hydrique a différentes échelles spatiales : bassin-versant de l'Oued Mina. *Hydrol Sci J*, vol. 44, pp. 973-986.
- TOUAIBIA, B. ET ACHITE, M.** 2003. "Contribution à la cartographie de l'érosion spécifique du bassin versant de l'Oued Mina en zone semi-aride de l'Algérie septentrionale", *Journal des sciences hydrologiques*, vol. 48, N°2, pp. 235-242.
- TRAORE M.** 2012. Contribution à l'étude de la qualité des eaux de barrage de Cheliff, Thèse Master, Centre Universitaire Khemis-Miliana.
- U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE).** 2017. *Corps Map, National Inventory of Dams*, www.nid.usace.army.mil., Accessed November 9, 2017.
- U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR BUREAU OF RECLAMATION TECHNICAL SERVICE CENTER DENVER.** 2017. Dam Removal Analysis Guidelines for Sediment, Colorado.
- VOGHT T., GOMER D.** 1992. "Estimation du ruissellement et des matières en suspension par l'utilisation d'un SIG", Bulletin n° 4, Société Française de photogrammétrie et télédétection, France.
- VOROSMARTY C.J., MCINTYRE P.B., GESSNER M.O., DUDGEON D., PRUSEVUCH A., GREEN P., GLIDDEN S., BUNN S.E., SULLIVAN C.A., LIERMANN C.R., DAVIES, P.M.** 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature* 467, pp. 555-561.
- WANG Z., C. H.U.** 2009. "Strategies for Managing Reservoir Sedimentation," *International Journal of Sediment Research*, Vol. 24, pp.369-384.
- WHITE R.** 2001. Evacuation of sediments from reservoirs. Thomas Telford, Overdale.
- WISCHEMEIER W.H., SMITH D.D.** 1978. Predicting rainfall erosion losses: Guide to conservation planning. *Agriculture HandBook*, N° 232. Washington (DC): USDA.
- WOOD P.A.** 1977. "Controls of variation in suspended sediment concentration", *Revue sedimentol*, vol. 21, pp.437-445.
- YAHYAOUI H., CHAIEB H., OUESSAR M.** 2002. Impact des travaux de conservation des eaux et des sols sur la recharge de la nappe de Zeuss-Koutine. *Water harvesting in Mediterranean zones*, pp 71-86.

ZAIBAK I. 2008. "Contribution à une approche cartographique de l'érosion spécifique dans le bassin versant de Oued Cheliff", Mémoire de Magister, Ecole Nationale supérieure d'Hydraulique, Blida, Algérie, 180p.