

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abdelhamid ibn Badis Mostaganem

Faculté science de la nature et de vie

Département d'agronomie



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Aménagement Hydro-Agricole

THEME :

Problème des barrages en l'Algerie (Ain kahla)

Présenté par :

M^r BETTAHER Hamza

Membres de jury :

Président: M^r TAYEB CHRIF AEK MAA U. Mostaganem

Examinatrice : M^{me} BENOUDAH Salima MCB U. Mostaganem

Encadreur : M^r BENFETTA Hassen Noureddine Professeur U. Mostaganem

Année universitaire : 2022 - 2023

Remercîment

Merci tout d'abord à Dieu, Tout puissant qui m'a donné la santé pour entreprendre ce mémoire.

Je remercie très sincèrement toute ma famille de son soutien combien très important durant la préparation de ce travail.

J'exprime mon immense gratitude et mon grand respect à
Monsieur BENFETTA HASSEN,

Je remercie également les membres de jury

Je remercie l'ensemble du personnel d'exploitation de barrage (Ain kahla (krada)) d'avoir mis à notre disposition les données et les documents nécessaires à mon projet.

Enfin, je tiens à exprimer mes sincères remerciements à tous mes amis pour leurs encouragements.

BETTAHER HAMZA

Sommaire

Introduction générale	1
I. Chapitre I Recherches bibliographiques sur la perte de capacité des barrages dans le monde	4
I.1 Introduction	4
I.2 Perte de capacité par Envasement	4
I.3 L’envasement des barrages dans le monde	4
I.4 L’envasement des barrages dans le Maghreb	5
I.5 Envasement moyen annuel des barrages du Maghreb	7
I.6 L’envasement des barrages en Algérie	9
I.6.1 Processus d’envasement	10
I.7 Perte de capacité par infiltration	15
I.8.1 Les fuites d’eau au niveau des barrages dans le monde.....	15
I.8.2 Les fuites d’eau au niveau des barrages en Algérie	18
I.9 les pertes par évaporation	22
I.10.1 Les pertes par évaporation dans le monde	22
Evaporation des lacs des barrages Algériens	23
I.10.2 Prévision de l’évaporation.....	26
I.11 Conclusion	27
II. Chapitre 2 Perte de capacité des barrages dans le maghreb	29
Introduction	29
I.12 Barrage de Gargar	31
II.1.1 Situation géographique du bassin versant	31
II.1.2 But de l’aménagement.....	32
II.1.3 Topographie et paramètres physiographiques	32
II.1.4 Retenue du barrage de Gargar.....	33
II.1.5 Caractéristiques de la région d’étude.....	34
II.1.6 Géologie et Hydrogéologie	37
II.1.7. Hydrologie	43
II.1.8. Couvert végétal	43
II.2 Barrage de Bouhanifia	45
II.2.1 Présentation géographique du bassin versant	45
II.2.2 Topographie et paramètres physiographiques	46
II.2.3 Retenue du barrage de Bouhanifia	47
II.2.4 Éléments du barrage	48
II.2.5 Caractéristiques générales du barrage.....	50
II.2.6 Caractéristiques de la région d’étude	50
II.2.7 Géologie.....	53
II.2.8 Données géotechniques	56
II.2.9 Les travaux d’injection et d’étanchement	56
II.2.10 Etanchéité de la cuvette.....	57

II.2.11	Couvert végétal.....	57
III.	Chapitre 3 caractéristiques générales du barrage de ain kahla(krada).....	61
III.3	INTRODUCTION	61
III.4	ETUDE D'AVANT PROJET DETAILLE (COBA, 2001).....	64
III.5	Fiche synoptique du système de transfert.....	66
III.5.1	Barrage de dérivation du Chélif.....	66
III.5.2	Equipements.....	67
III.6	Etude topographique	68
III.7	Etude hydrologique.....	69
III.7.1	Apports liquides.....	69
III.7.2	Apports solides et envasement de la retenue.....	70
III.8	Système de prise d'eau	71
III.8.1	Généralités.....	71
III.8.2	Conception et fonctionnement hydraulique.....	72
IV.	Chapitre 4 Perte de capacité dans le barrage Ain kahla (krada).....	74
	Introduction.....	74
IV.1	Données utilisées.....	74
IV.2	Analyse des volumes des fuites	75
IV.2.1	Variation dans le temps de débit de fuite du barrage de Ain Kahla.....	76
IV.2.2	Variation de débit de fuite en fonction de la cote du plan d'eau	77
IV.2.3	Variation du débit de fuite en fonction de volume de la retenue.....	81
IV.2.4	Variation du volume de la retenue en fonction de temps.....	82
IV.2.5	Pertes par évaporation du plan d'eau de la retenue.....	83
IV.2.6	Quantification des différentes pertes d'eau du barrage Ain Kahla	83
IV.2.7	Mesure des fuites.....	84
IV.2.8	Origine du phénomène d'envasement	85
IV.3	Envasement de la retenu du barrage de Ain Kahla	85
IV.3.1	Perte de capacité du barrage de Ain Kahla	85
IV.3.2	Estimation des pertes en volume au niveau du barrage de Ain Kahla	86
IV.3.3	Conséquences de l'envasement	87
IV.3.4	Conséquences de l'Évaporation dans les Barrages Algériens	87
IV.3.5	Méthodes de Détermination des Taux d'Évaporation des Barrages en Algérie	88
	Conclusion générale	91

Listes des figures

Figure 1: <i>Capacité totale des barrages du Maghreb.</i>	6
Figure 2: <i>Envasement moyen annuel des barrages du Maghreb.</i>	8
Figure 3: <i>L'envasement des barrages du Maghreb (Cas du barrage de Mohamed V)</i>	9
Figure 4: <i>L'origine d'envasement des barrages</i>	10
Figure 5: <i>Processus d'envasement des barrages.</i>	11
Figure 6: <i>Répartition du taux de comblement annuel des grands barrages dans les bassins hydrographiques.</i>	12
Figure 7: <i>Carte de sensibilité à l'envasement des barrages.</i>	13
Figure 8: <i>Envasement des barrages en Algérie (Cas du barrage de Fergoug 2008).</i>	14
Figure 9: <i>Présentation du volume des fuites d'eau des barrages Algériens.</i>	18
Figure 10: <i>L'évolution du volume de fuites dans les barrages Algériens (22 barrages).</i>	19
Figure 11: <i>Variation du volume des fuites d'eau en fonction du temps Barrage Cheurfas</i>	20
Figure 12: <i>Variation du volume des fuites d'eau dans le temps-barrage Fergoug.</i>	21
Figure 13: <i>Variation du volume des fuites d'eau dans le temps-barrage Djorf-torba.</i>	21
Figure 14: <i>Bac Colorado installé à proximité de la retenue (photos. Ouadja A.2011).</i>	24
Figure 15: <i>Bac d'évaporation du Colorado.</i>	25
Figure 16: <i>Appareil de mesure de l'insolation installé à proximité de la retenue du barrage de Gargar (Photos. Ouadja Abid.2011).</i>	25
Figure 17: <i>Variation du volume de l'évaporation dans le temps-barrage Fergoug.</i>	26
Figure 18: <i>Carte de prévision de l'évaporation des lacs des barrages.</i>	27
Figure 19: <i>Localisation des barrages Algériens</i>	31
Figure 20: <i>Vue générale du barrage Algérien de Gargar</i>	32
Figure 21 <i>Vue générale de la digue du barrage Algérien de Gargar</i>	33
Figure 22 <i>Coupe longitudinale de la digue.</i>	34
Figure 23 <i>Pluviométrie moyenne annuelle (période 1990/2009) du barrage Gargar.</i>	35
Figure 24 <i>Variations annuelles des apports liquides du barrage de Gargar. II.1.5.8. Les apports solides</i> ...	36
Figure 25 <i>Maquette du barrage de Gargar.</i>	37
Figure 26 <i>Reconnaitances Géologiques Anciennes (puits et sondages).</i>	38
Figure 27: <i>Traitement des talus</i>	38
Figure 28 <i>Carte simplifiée du couvert des terres du bassin de Gargar</i>	44
Figure 29 <i>Vue générale du barrage Algérien de Bouhanifia</i>	46
Figure 30 <i>Situation géographique du barrage de Bouhanifia.</i>	46
Figure 31 <i>La variation des températures en fonction du temps.</i>	51
Figure 32 <i>Image Satellitaire du bassin versant de Bouhanifia.</i>	54
Figure 33 <i>Carte simplifiée du couvert des terres du bassin de Bouhanifia.</i>	58
Figure 34 <i>Implantation de l'aménagement</i>	62
Figure 35 <i>Plan de situation de l'aménagement</i>	63
Figure 36 <i>Schéma du système de transfert et d'adduction</i>	63
Figure 37 <i>Vue en plan générale de l'aménagement du Chélif, APD 2001</i>	68
Figure 38 <i>Courbes de superficie et de volume de la retenue du Chélif,</i>	69
Figure 39 <i>débits de pointe de l'oued Chélif au droit du barrage</i>	71
Figure 40 <i>Les fuites d'eau dans la rive droite du barrage de Ain Kahla</i>	75
Figure 41 <i>Variation dans le temps du volume de fuite -barrage de Ain Kahla</i>	76
Figure 42 <i>Variation du volume des fuites hm³ en fonction de la côte de plan d'eau (m)</i>	76
Figure 43 <i>Variation dans le temps de débit de fuite (galerie rive gauche) du barrage Ain Kahla</i>	77
Figure 44 <i>Evolution du débit de fuite en fonction de la côte du plan d'eau (2015/2016)</i>	77
Figure 45 <i>Variation du débit de fuite en fonction de la côte du plan d'eau (2016/2017)</i>	78
Figure 46 <i>Variation du débit de fuite en fonction de la côte du plan d'eau (2017/2018)</i>	78
Figure 47 <i>Variation du débit de fuite en fonction de la côte du plan d'eau (2018/2019)</i>	79
Figure 48 <i>Variation de débit de fuite en fonction de la côte de plan d'eau</i>	80

Figure 49 <i>Graphe combiné de la variation du débit de fuite en fonction de la côte du plan d'eau dans le temps</i>	80
Figure 50 <i>Variation de débit de fuite en fonction de la côte de plan d'eau</i>	81
Figure 51 <i>Variation du débit de fuite en fonction de volume de la retenue</i>	81
Figure 52 <i>Variation du débit de fuite en fonction de volume de la retenue</i>	82
Figure 53 <i>Variation du volume de la retenue en fonction de temps</i>	82
Figure 54 <i>Variation des pertes par évaporation dans le temps -Barrage de Ain Kahla</i>	83
Figure 55 <i>Evolution des pertes totales en fonction d'évaporation d'eau dans le temps</i>	83
Figure 56 <i>Représentation des fuites d'eau par secteurs par rapport aux pertes par évaporation et envasement</i>	84
Figure 57 <i>Représentation des fuites d'eau par secteurs et en pourcentage des pertes totales</i>	84
Figure 58 <i>présentation des pertes en volume par secteurs par rapport à la capacité totale</i>	86

Listes des tableaux

Tableau 1 : <i>Réduction de capacité suite à l'envasement dans certains barrages</i>	5
Tableau 2: <i>Capacité totale des barrages des pays du Maghreb</i>	6
Tableau 3: <i>Taux d'envasement annuel dans les pays du Maghreb</i>	7
Tableau 4: <i>Envasement moyen annuel des barrages du Maghreb</i>	8
Tableau 5: <i>Liste des barrages les plus envasés d'Algérie</i>	12
Tableau 6: <i>Envasement moyen annuel des barrages en Algérie</i>	14
Tableau 7: <i>Les perte en volume des fuites d'eau dans les barrages Algériens</i>	18
Tableau 8: <i>Liste des barrages Algériens confrontés sérieusement au problème des fuites d'eau</i>	19
Tableau 9: <i>Liste des barrages en Algérie</i>	29
Tableau 10 <i>Présentation des températures de la station de Bouhanifia</i>	51
Tableau 11 <i>Présentation des variations de vitesses du vent</i>	52
Tableau 12 <i>Les apports mensuels pour les années plus sèches de l'oued El Hammam. Source : ANBT-barrage Bouhanifia</i>	53
Tableau 13 <i>Apports mensuels moyens de l'oued Chélif au droit du barrage</i>	70
Tableau 14 <i>débits de pointe de l'oued Chélif au droit du barrage</i>	71
Tableau 15 <i>Taux d'érosion en Algérie [,,]</i>	85

ملخص

وتتعرض معظم السدود لفقدان قدرتها بشكل أساسي بسبب ثلاث ظواهر، وهي: تسرب المياه، وتراكم الطمي في الخزانات، والتبخر الشديد. وتحظى دراسة هذه الظواهر بأهمية كبيرة، لأنها من الممكن أن تعرض استقرار السد للخطر وتقلل من قدرته الإنتاجية. وينطبق هذا بشكل خاص على سدود قرقار ووزيرتين كحلة وبوهنيفية وفم الغرزة. تقع في المناطق القاحلة حيث أصبحت موارد المياه شحيحة بشكل متزايد. ولتحقيق هذه الغاية، رأينا أنه من المفيد أن نقدم في هذه الدراسة الميزانية العمومية لإجمالي فاقد المياه من هذه السدود، وقد قدرنا متوسط حجم الفاقد بين السنوات لسد جركر بـ 119.014 (هم³)، ولسد البوحنيفية بـ 45.45 (هم³). لسد ويزرت 20.28 (هم³) وأخيرا لسد فم الغرزة 39 (هم³). وتظهر هذه التقديرات بوضوح أن السدود الواقعة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة تعاني من خسائر هائلة في المياه بسبب المشاكل الهيدروليكية الثلاثة

الكلمات المفتاحية: الفاقد المائي – السد – ويزرت – عين الكحلة – البوحنيفية – فم الغرزة – القاحلة – الجزائر.

SUMMARY

Most dams are subject to a loss of capacity due essentially to three phenomena, namely: water leaks, siltation of reservoirs and intense evaporation. The study of these phenomena is of great importance, because they can endanger the stability of the dam and reduce its useful capacity. This is particularly the case for the Gargar, Ain Kahla, Bouhanifia and Fom El Gherza dams. Located in arid areas where water resources are becoming increasingly scarce. To this end, we saw it useful to present in this study the balance sheet of the total water losses from these dams. We estimated the interannual average volume losses for the Gargar dam of 119.014 (hm³), for the dam of Bouhanifia 45.45 (hm³), For the Ouizert dam 20.28 (hm³) and finally for the Fom El Gherza dam 39 (hm³). These estimates clearly show that dams located in arid and semi-arid zones suffer colossal water losses due to the three hydraulic problems.

Keywords: Water losses – Dam – Gargar – Ouizert – Ain kahla – Bouhanifia – Fom El Gherza – Arid – Algeria.

RESUME

La plupart des barrages sont soumis à une perte de capacité due essentiellement à trois phénomènes à savoir : les fuites d'eau, l'envasement des retenues et l'évaporation intense. L'étude de ces phénomènes s'avère d'une très grande importance, car ils peuvent mettre en danger la stabilité du barrage et réduire sa capacité utile. C'est le cas en particulier des barrages Gargar, Ouizert- ain kahla ,Bouhanifia et Fom El Gherza. Implantés en zones arides où la ressource hydrique se fait de plus en plus rare. A cet effet, nous avons vu utile de présenter dans cette étude le bilan des pertes totales d'eau de ces barrages. Nous avons estimé les pertes en volume moyennes interannuelles pour le barrage de Gargar de 119,014 (hm³), pour le barrage de Bouhanifia 45,45 (hm³), Pour le barrage de Ouizert 20,28 (hm³) et enfin pour le barrage de Fom El Gherza 39 (hm³). ces

estimations montrent bien que les barrages situés en zones arides et semi arides subissent des pertes colossales en eau à cause des trois problèmes hydrauliques.

Mots clés : Pertes d'eau – Barrage – Gargar – Ouizert – Ain kahla - Bouhanifia - Foum El Gherza – Arides - Algérie.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

D'une manière générale, les barrages dans le monde et plus particulièrement ceux des régions arides et semi arides sont confrontés à trois problèmes hydrauliques très sérieux qui sont l'évaporation intense, l'envasement excessif et les fuites d'eau à travers les rives et les fondations surtout que notre pays a été affecté par une période sèche depuis une vingtaine d'année environ.

Le problème des fuites d'eau a pris de l'ampleur au niveau des barrages Algériens au cours du temps du fait que la plupart des barrages se trouvent exposés à ce phénomène d'où l'étude au niveau des barrages fortement menacés s'avère d'une grande importance, notamment pour les barrages qui se trouvent dans des zones stratégiques surtout pour ceux en zones arides et semi arides où le développement économique est étroitement lié aux quantités d'eau stockées.

Devant ce fléau qui menace nos barrages et dans le souci que représente la diminution galopante des capacités en eau de nos retenues par ces phénomènes, nous avons vu très utile de faire une étude des pertes d'eau au niveau des barrages situés dans les zones arides et semi-arides et en particulier les barrages de (Gargar, Bouhanifia, Ouizert, Foug El Gherza).

Pour atteindre notre objectif ; nous avons suivi les démarches suivantes :

Nous avons débuté notre mémoire par une recherche bibliographique sur les barrages touchés par ces trois problèmes hydrauliques.

Nous présentons par la suite les caractéristiques générales des barrages étudiés à savoir : la situation géographique, historique, les données climatiques, géologiques, hydrologiques, hydrogéologiques et géotechniques... etc.).

Par contre, le troisième chapitre, sera consacré à l'évolution de l'envasement dans les barrages concernés.

Enfin, nous avons consacré le quatrième chapitre au traitement des données et discussions des résultats, la quantification des pertes causées par ces trois problèmes hydrauliques tout en essayant de faire un bilan des pertes au niveau de ces barrages, Dans la partie d'analyse des débits des fuites, nous présenterons la variation des débits de fuites au cours du temps et en fonction de la cote du lac, puis nous étudierons l'impact de ces fuites sur les pertes totales de ces barrages, la quantification des pertes en volume dues aux autres

phénomènes hydrauliques (envasement, évaporation) puis nous terminerons par une conclusion générale avec une série de recommandations .

***CHAPITRE I RECHERCHES
BIBLIOGRAPHIQUES SUR LA PERTE DE
CAPACITE DES BARRAGES***

I. Chapitre I Recherches bibliographiques sur la perte de capacité des barrages dans le monde

I.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons une recherche bibliographique sur les barrages concernés par la perte de capacité causée par les trois phénomènes hydraulique à savoir : l'évaporation intense, l'envasement excessif et les fuites d'eau à travers les rives et les fondations surtout que notre pays et plus précisément les zones arides qui sont affectées par une période sèche depuis une vingtaine d'années environ.

I.2 Perte de capacité par Envasement

Dans de nombreux pays du monde, le transport des sédiments dans le réseau hydrographique des bassins versants et leurs dépôts dans les retenues pose aux exploitants des barrages, des problèmes dont la résolution ne peut qu'être onéreuse. Non seulement la capacité utile est progressivement réduite au fur et à mesure que les sédiments se déposent dans la retenue mais encore l'enlèvement de la vase est une opération délicate et difficile, qui bien souvent exige que la retenue soit hors service, ce qui est pratiquement impossible dans les pays arides et semi-arides. Dans l'un et l'autre cas, il en résulte des dommages considérables à l'environnement et une mise en péril de l'économie du projet ¹.

I.3 L'envasement des barrages dans le monde

L'accumulation de vase, dont la centrale hydro-électrique chinoise de Sanmenxia sur le fleuve jaune avait souffert, tel que la quantité d'envasement est évalué à 55% de capacité durant les dix premières années. Le barrage des trois gorges, étant donné que la vase qui s'y est accumulée chaque année est inférieure de 40% aux chiffres qui avaient été prévus .

¹-Remini B ; Envasement des Barrages. Alger : Office des Publications Universitaires (OPU), 2004.

Tableau 1 : Réduction de capacité suite à l'envasement dans certains barrages.

Pays	Barrage	Capacité initiale (10 ⁶ m ³)	% annuel de perte de capacité	Observation
Chine	Sanmenxia	9,64	5,5	Une perte de 55% de capacité durant les dix premières années. d'exploitation.
Géorgie	Lanjanuri	25	10,8	Réservoir réduit à 6,1.10 ⁶ m ³ durant les sept premières années
Iran	Safidrud	1800	2,35	Une perte de capacité de 42,4.10 ⁶ m ³
Inde	Kundah palarm	1,75	6,3	Réservoir réduit à 0,96.10 ⁶ m ³ /an
	Baira	2,4	3,8	Une perte de capacité de 0,092.10 ⁶ m ³ /an
Soudan	Roseirs	-	-	Une perte de capacité de 40.10 ⁶ m ³ /an.
	Girba	-	-	Une perte de capacité de 30.10 ⁶ m ³ /an.
Taiwan	Jensanpei	7	3,4	Une perte de 0,237.10 ⁶ m ³ /an.
Vénézuela	Santo Dmingo	3	5,5	Une perte de capacité de 0,167.10 ⁶ m ³ /an.

Source : Remini B.

I.4 L'envasement des barrages dans le Maghreb.

Les pays du Maghreb comme l'Algérie, le Maroc et la Tunisie se caractérisent par la rareté des ressources en eau, rejoignant ainsi l'ensemble des pays arides et semi-arides. Le

potentiel des eaux mobilisées par 250 barrages n'exède par 22.109m³ répartis selon le Tableau².

Tableau 2: *Capacité totale des barrages des pays du Maghreb*

Pays	Nombre de barrages	Capacité (10 ⁹ m ³)
Algérie	114	5.2
Maroc	90	14
Tunisie	30	3.5

Source : Remini B.

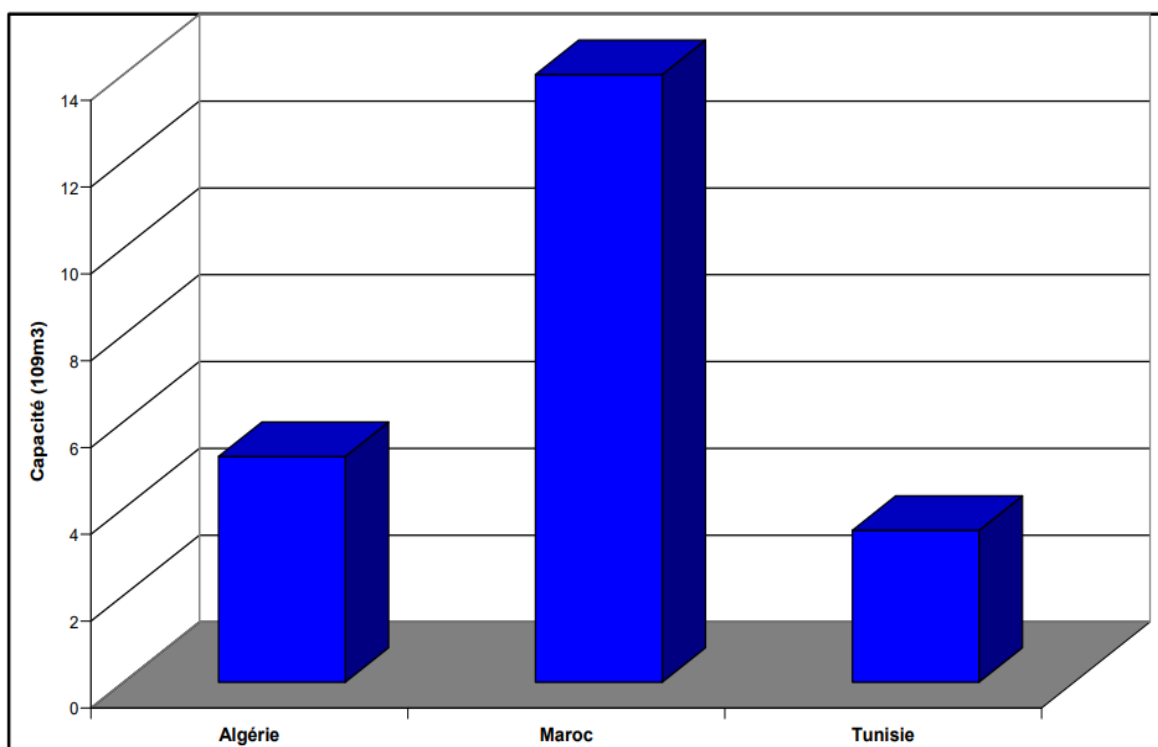


Figure 1: *Capacité totale des barrages du Maghreb.*

La figure (1), montre que les barrages au Maroc présentent des potentialités en eau très considérables en comparaison avec l'Algérie et la Tunisie.

² - Remini B ; Envasement des Barrages. Alger : Office des Publications Universitaires (OPU), 2004.

I.5 Envasement moyen annuel des barrages du Maghreb

Au moins 100.106 m³ de sédiments se déposent chaque année dans les retenues, entraînant une diminution des disponibilités en eau potable et pour l'irrigation, au total l'envasement moyen annuel dans les pays du Maghreb est estimé comme suit.³

Tableau 3: *Taux d'envasement annuel dans les pays du Maghreb.*

Pays	Envasement moyen annuel (10⁶ m³/an)	Taux d'envasement annuel (%)
Maroc	50	0,5
Algérie	20	0,5
Tunisie	30	1,0

Source : Remini B.

³ - Remini B ; Envasement des Barrages. Alger : Office des Publications Universitaires (OPU), 2004.

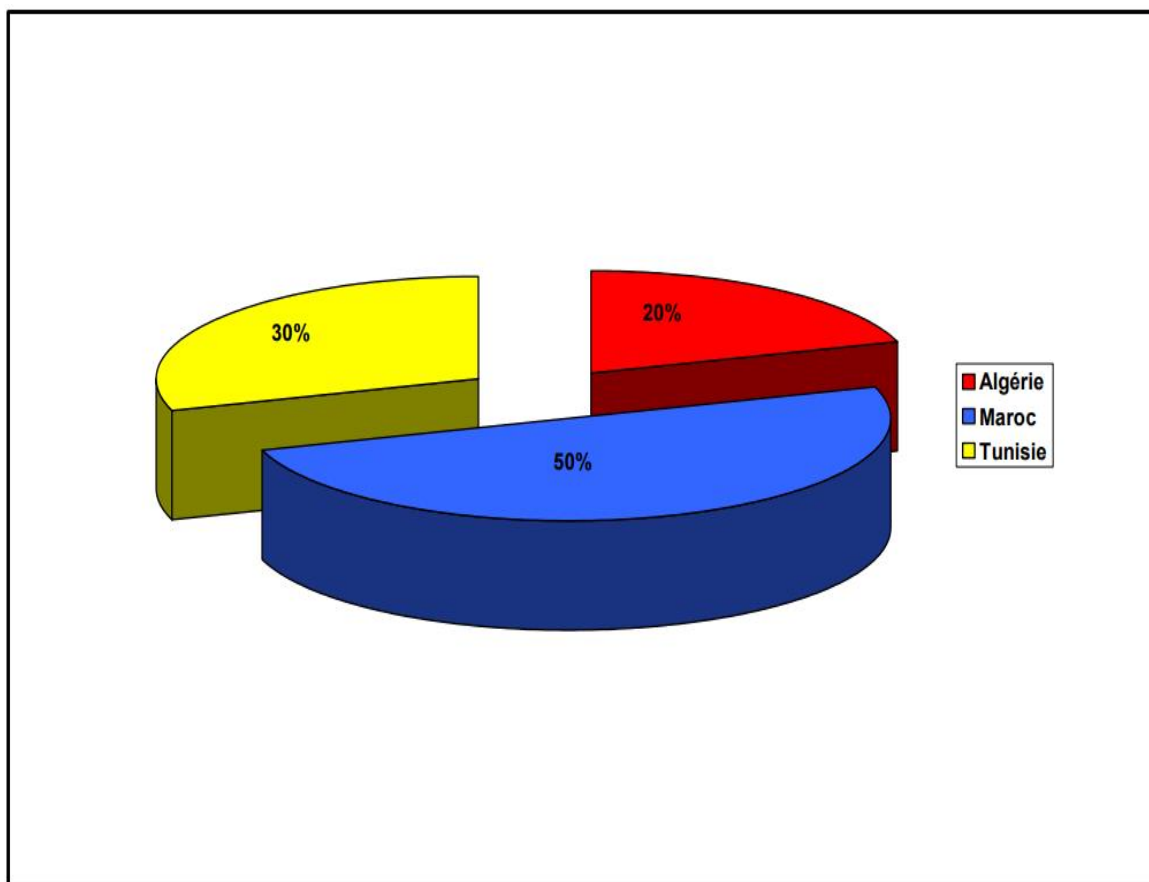


Figure 2: *Envasement moyen annuel des barrages du Maghreb.*

Tableau 4: *Envasement moyen annuel des barrages du Maghreb.*

Barrages	Pays	Année de mise en eau	Capacité initiale (10^6m^3)	Surf du B.V (Km^2)	ENV moy an ($10^6\text{m}^3/\text{an}$)

Al Massira	Maroc	1979	2724	28500	9
Bin el oudane	Maroc	1953	1484	6400	3.3
Idriss lies	Maroc	1973	1217	3680	2
El makhabine	Maroc	1979	789	1820	1.8
Mohamed V	Maroc	1967	725	49920	14.5
M.Eddahbir	Maroc	1972	567	15000	4.7
S.M.ben abd	Maroc	1974	493	9800	2.5
Hassan	Maroc	1971	369	4400	1.75
Eddak	Maroc	---	330	---	1.40
El kansera	Maroc	1935	310	4540	1.1
y.b tachfine	Tunisie	1973	216.3	3784	0.2
Sidi Salem	Tunisie	1981	268	1300	5.94
Mellegue	Tunisie	1954	86.4	10300	1.64
Nebhana	Tunisie	1965	81.9	855	0.43
Khasseb	Tunisie	---	53	101	0.3875
Bir M'cherga	Tunisie	---			

Source : Remini B.

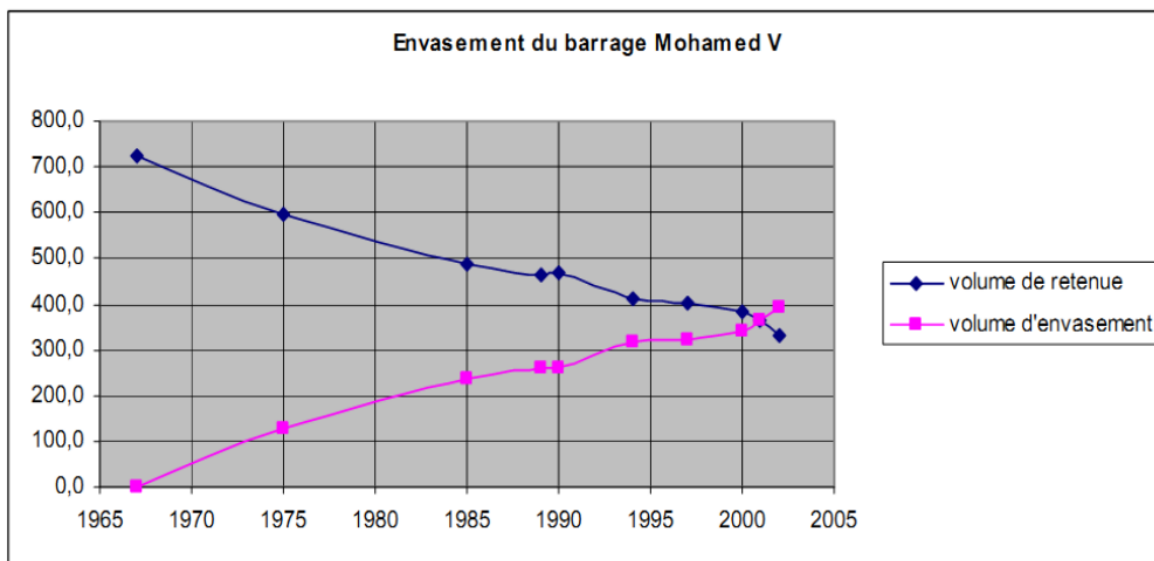


Figure 3: L'envasement des barrages du Maghreb (Cas du barrage de Mohamed V)

La figure montre que le volume de la retenue du barrage de Mohamed V est en nette diminution à cause de l'envasement accéléré.⁴

I.6 L'envasement des barrages en Algérie

En Algérie, les 52 grands barrages reçoivent 32 millions de m³ de matériau solide annuellement. La répartition des barrages sur les cinq bassins hydrographiques indiquent clairement que les barrages de la région de Chéllif – Zahrez sont les barrages les plus

⁴ - Mokhtar Bzioui, 2004 ; Rapport national sur les ressources en eau au Maroc.

menacés par le phénomène de l’envasement, puisque le taux de sédimentation annuel est de 0,75% (Fig. I.5). Ceci est dû à la forte érosion des bassins versants de la région, favorisé par la nature des sols et l’absence de boisement. Même pour les petits barrages, le taux de comblement évalué en 2002 dans le bassin hydrographique Chéllif –Zahrez est de 16% de la capacité totale, il est beaucoup plus grand par rapport à celui des autres régions .⁵

I.6.1 Processus d’envasement

L’Algérie est un pays vulnérable au réchauffement climatique, la hausse des températures et la baisse des précipitations dans la région du Maghreb auront des impacts négatifs sur le stockage des eaux de surface. En l’Algérie, l’envasement ; l’une des conséquences de l’érosion hydrique augmentera dans les années à venir.

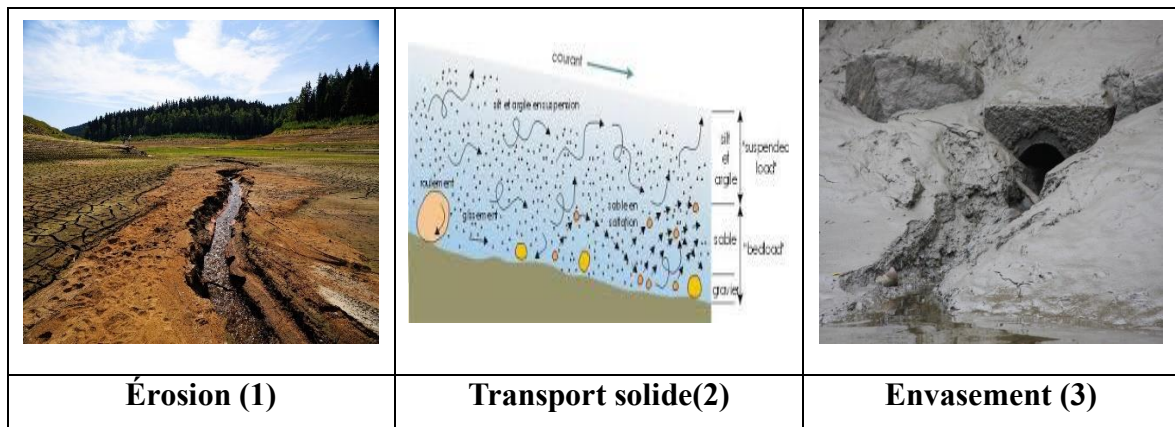


Figure 4: L’origine d’envasement des barrages .⁶

⁵- Remini Boualem, Christian Leduc Wassila Hallouche, 2009 ; Evolution des grands barrages en régions arides : quelques exemples algérien.

⁶ - Remini Boualem ,2005 ; Eau et irrigation traditionnelle en Algérie Problématique et stratégie.

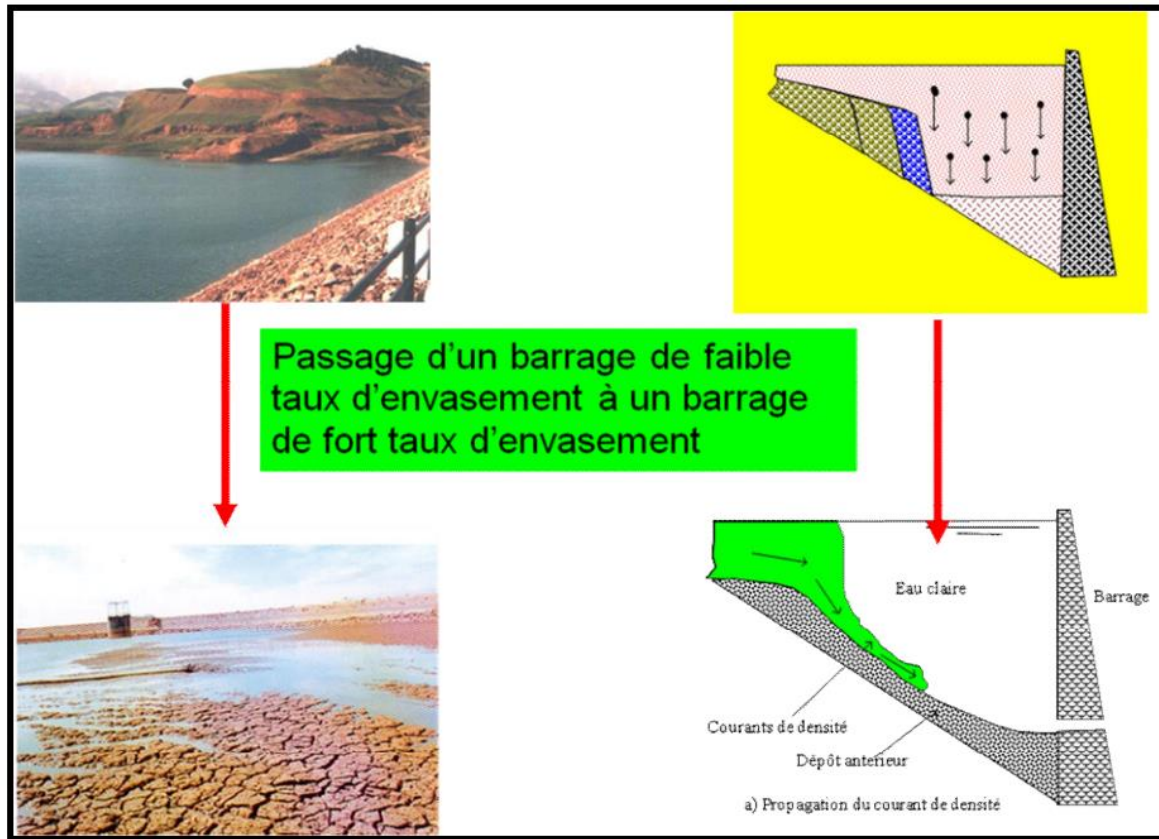
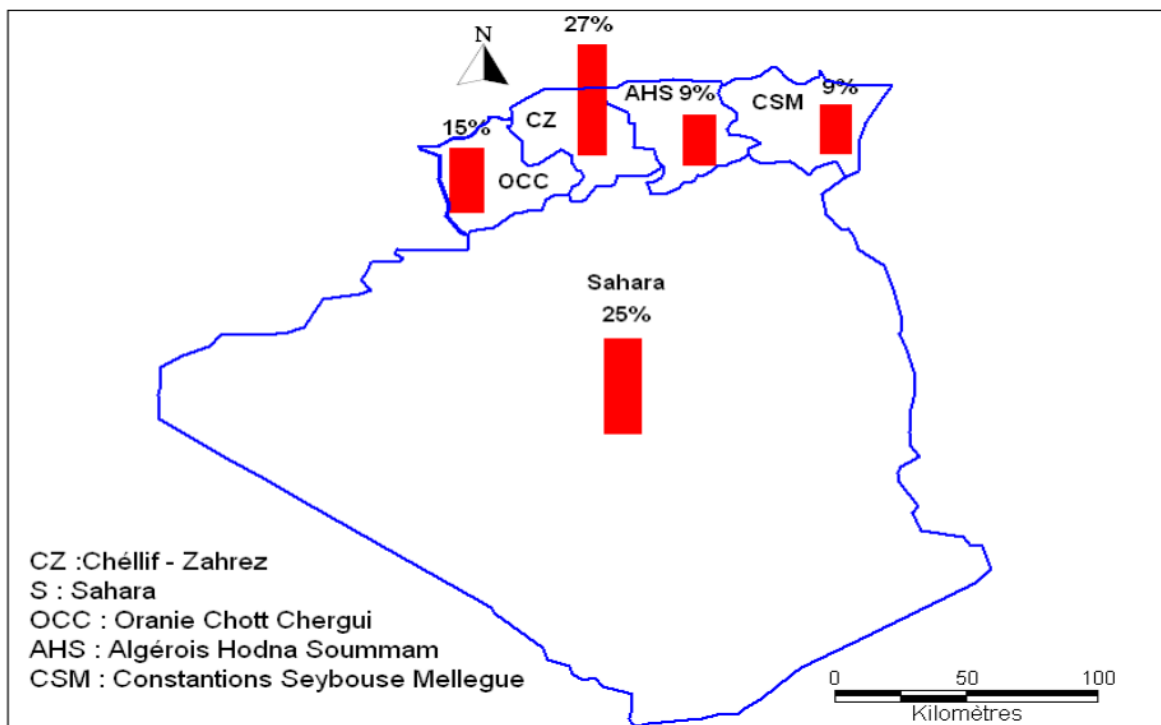


Figure 5: *Processus d'envasement des barrages.*⁷



⁷ - Remini Boualem ,2005 ; Eau et irrigation traditionnelle en Algérie Problématique et stratégie.

Figure 6: Répartition du taux de comblement annuel des grands barrages dans les bassins hydrographiques.

Tableau 5: Liste des barrages les plus envasés d'Algérie

Barrage	Année de mise en eau	Capacité initiale (Mm ³ /an)	Comblement en 2006 (%)	Dévasement effectué (Mm ³)
Fergoug	1970	18	97	7
Béni Amrane	1988	16	80	3
Meurad	1860	1	80	-
Foum El Gherza	1950	47	70	4
Foum El Gueiss	1939	3	67	-
Ghrib	1939	280	60	
Ksob	1977	30	60	4
Oued Fodda	1932	228	57	45
Bouhanifia	1940	73	57	-
Boughezoul	1934	55	56	-
Zardezas	1977	27	54	10
Ighil Emda	1953	155	35	47
Hamiz	1935	21	27	8
Djorf Torba	1969	350	27	-
Sarno	1954	22	24	-
Bakhada	1963	56	20	-
Béni Bahdels	1952	63	17	-
Merdja	1984	55	14	5

Source : ANBT ,Agence Nationale des Barrages et des Transferts.

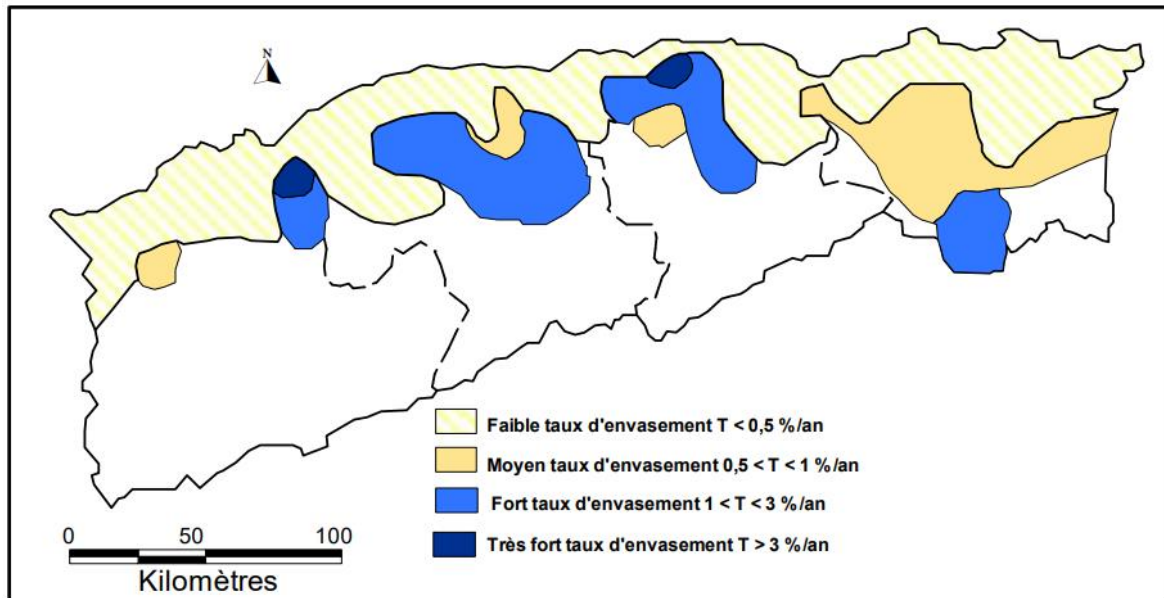


Figure 7: *Carte de sensibilité à l'envasement des barrages.*⁸

A) Barrage de Fergoug

Le barrage de Fergoug, situé dans la wilaya de Mascara, connaît un taux d'envasement de 97,77% selon le bulletin publié par l'Agence Hydro Canal Chott Chergui (ABH). Une situation qui a été, selon le responsable du service prise en considération dans la mesure où une étude en vue de son dévasement, sera très prochainement entamée « Agence des Barrages Hydro Canal Chott Chergui ».⁹

⁸- Morsli B, Mazour M, Mededjel N, HamoudiA, Roose E ; Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et d'érosion sur les versants semi-arides du nord-ouest de l'Algérie. Sécheresse 2004.

⁹ - Hadj Sahraoui El Watan : 20 - 10 – 2010.

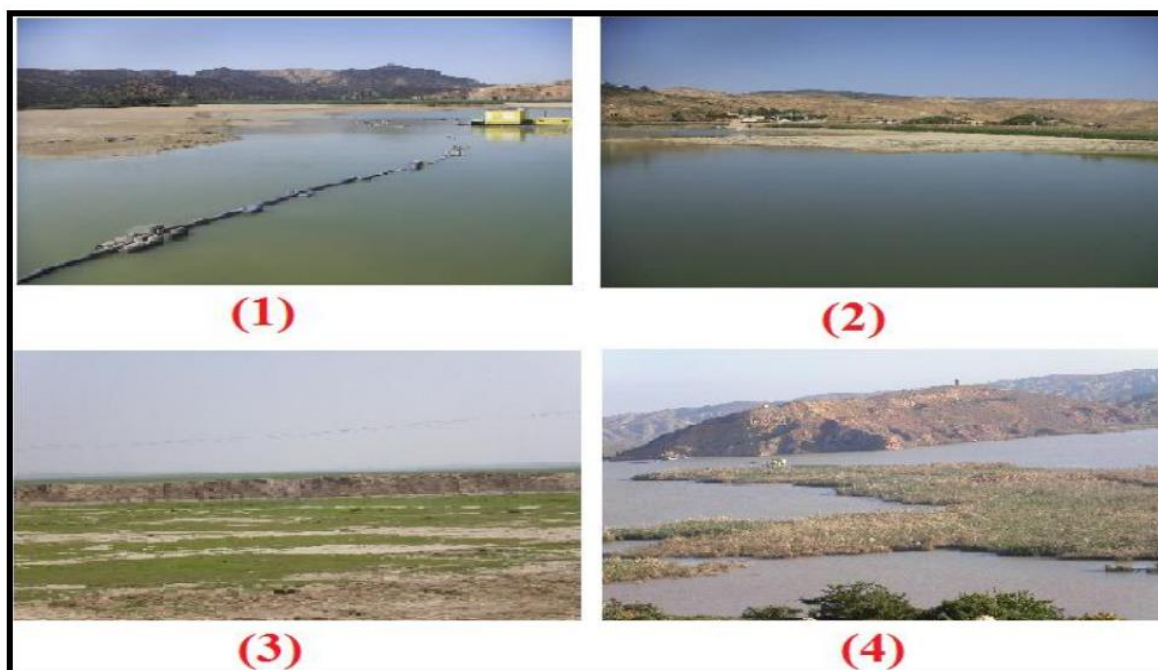


Figure 8: *Envasement des barrages en Algérie (Cas du barrage de Fergoug 2008)*¹⁰.

B) Barrage de Cheurfas (II)

De 1992 à 2008, le réservoir de Cheurfas il se serait envasé de 4.8 hm³ selon l'ANBT avec un envasement annuel de 0.30 hm³/an. En 2008, le volume envasé a représenté environ 36 % de la capacité initiale.¹¹

C) Barrage d'oued El Fodda

Du fait de l'envasement intensif qui affecte la retenue d'oued El Fodda, la capacité initiale était importante soit 228. 106m³ en 1932. Elle a été nettement réduite, le toit de la vase près des vannettes est d'environ 36 m du fond, soit un taux de comblement évalué à 57% en 2006.¹²

D) Barrage d'Ighil Emda

La capacité est évaluée à 103.106m³ en 1992 au niveau normal de la retenue (66.5m), soit un taux de comblement de 37% durant la période 1953-2006.

Tableau 6: *Envasement moyen annuel des barrages en Algérie*

¹⁰ - Agence Nationale des Barrages (A.N.B) 2008-2009, document interne ,2008-2009.

¹¹ - Tahri Tahr, 2009; Etude des Fuites d'eau au niveau du barrage de Cheurfas (II) W.Mascara, Univ Mostaganem.

¹² -Remini B ; Envasement des Barrages. Alger : Office des Publications Universitaires (OPU), 2004.

Barrage	Pays	Année mise en eau	Capacité initial (10 ⁶ m ³)	Surf du B.V(Km ²)	Env. moy an (10 ⁶ m ³ /an)
Djorf El torba	Algérie	1934	350	22000	1.30
Ghrib	Algérie	1939	280	23300	3.2
S.M.B.A	Algérie	1978	235	4890	1
Oued El Fodda	Algérie	1932	228	----	2.66
Lachiffia	Algérie	1965	175.68	575	0.17
Ighil Emda	Algérie	1953	154.8	652	1.60
Bouhanifia	Algérie	1944	73	7000	0.78
Béni Bahdels	Algérie	1940	63	1016	0.20
Bakhada	Algérie	1936	37.6	1300	0.27
Foum El Gharza	Algérie	1950	47	1280	0.80
Zardezas	Algérie	1936	37.6	1300	0.27
Hamiz II	Algérie	1935	21	139	0.35

Source : ANBT ,Agence Nationale des Barrages et des Transferts.

I.7 Perte de capacité par infiltration

Les fuites d'eau au niveau des barrages présentent un problème très sérieux surtout pour les pays à climat sec puis qu'ils menacent les volumes d'eau stockés dans les barrages à travers le monde et peuvent engendrer une déstabilisation de ces ouvrages, si ce problème atteint un certain stade d'évolution (risque de rupture des barrages).¹³

Chapitre I Recherches bibliographiques sur la perte de capacité des barrages

I.8.1 Les fuites d'eau au niveau des barrages dans le monde

Nous allons présenter quelques barrages dans le monde touchés par le problème des fuites d'eau :

- Les barrages voute de **CASTILLON** est situé à l'entrée d'une gorge creusée par l'érosion fluviale dans les calcaires du jurassique supérieur, construit sur le VERDON, il a

¹³ - Benfetta Hassan Nourddine ; Etude de la perte de la capacité et la qualité de l'eau du barrage de Quizert, Thèse du doctorat 2006-2007.

une hauteur maximale au dessus de la fondation de 100m et une capacité de 149 millions de m³, il a été construit en 1948 et a été accompagnée de fuite a proximité de l'ouvrage et a travers la rive droite a moyenne distance. L'étanchéité des appuis a été améliorée par un voile de 46 000 m².

- Le barrage poids de **CAMARASA** est situé en Espagne sur la Noguera Pallasera, affluent de SERGE, il a une hauteur de 92 m et une capacité de 157 millions m³. En 1920, la mise en eau pareille de la retenue s'accompagna de pertes d'eau supérieures à 10 m³/s, un voile étanchéité de 1100m de développement descendant jusqu'au marnes a été réaliser entre 1927 et 1931, il a fallu injecter plus de 190 000 t de produits secs pour réduire les fuites a 80%.

- Le barrage voute de **CANELLES** est construit sur la NOGUERA RIBAGORZANA affluent de l'ERBE (Espagne), il a une capacité utile de 543 millions de m³ et une hauteur de 148m. Il est situé a la sortie d'une gorge creusée par la rivière dans une série calcaires traverses a la vallée. Lors de la mise en eau en 1958 des fuites importantes ont été observées en rive gauche a proximité de la centrale souterraine. Le débit atteignit 1600l/s pour un plan d'eau a +75 m la montée du plan d'eau au dessus de cette cote provoqua des débousses importants. Pour la côte +85 m les débits de fuites atteignirent 8 m³/s, interdisant la poursuite du remplissage. L'importance de ces fuites devait motiver des travaux d'étanchement considérables .

- Le barrage poids de **BOUVANTE** est situé sur la Lyon au cœur de massif montagneux de Vercors (Alpes Française du Nord) la mise en eau 1926 s'accompagna de fuites d'eau de l'ordre de 1100l/s. les eaux infiltrées dans les calcaires Urgoniens et crétacés rejoignaient la source des FREYDIERES. Les traitements réalisés entre 1927 et 1958 ont permis de réduire les fuites a moins de 300l/s.

- Le barrage de **CEYRACV**, affluent rive droite du VIDOURLE, est construit sur le RIEUMASSEL il prend appui sur le sommet des calcaires du JURASSIQUE supérieur. A l'aval, la rivière coule dans une gorge sinueuse creusée dans les calcaires et les marno-calcaire du crétaé inferieur. Il a une capacité de 7 millions de m³ et une hauteur de 20m avec une longueur en crête de 390m. A la hauteur de l'ouvrage, la nappe de fissures est située à 30m au dessous du lit de la rivière. Sauf en période de crue, les eaux du

RIEUMASSEL disparaissent avant d'atteindre la retenue pour rejoindre la source de SAUVE, la vitesse des circulations souterraines est de 450m/h environ.¹⁴

- Le barrage de **CONQUEYRAC** prend appui sur les calcaires Karstiques de portlandien. A l'aval, la rivière coule dans une gorge très sinueuse creusée dans le portlandien. À l'amont immédiat de l'ouvrage, la retenue se développe sur les derniers affleurements de calcaires jurassiques puis sur les calcaires et les morno-calcaires du créacé inférieur. Il a une longueur en crête de 570m et une hauteur de 17m. En période de Pluit, le niveau remonte jusqu'à la surface et durant les périodes de sécheresse, les eaux de VIDOURLE se perdent en queue de retenue pour rejoindre la source de SAUVE par les réseaux Karstiques. Le niveau des écoulements souterrains se situe à quelques mètres au dessus du niveau du bed-rock.

- Le barrage a noyau de **GAUTIN** de hauteur 50m situé en BEIJING en république populaire de chine a été fondé sur des calcaires et de la dolomie. Dès sa première en eau en 1955, les fuites ont atteint 1 m³/s. les traitements effectués ont réduit les fuites jusqu'à 0.1 m³/s.

- Le barrage d'ANDI de hauteur 29.8m est situé en province de SHANDONG en république populaire de chine débit de fuites a travers la rive droite est de l'ordre de 0.6 m³/s. les traitements effectués ont réduit les fuites a moins de 0.08 m³/s.

- Le barrage voute de **WUJLANGDU** de la province de GUIZEHOU en république populaire de chine est situé dans la roche de Yulongshon, il a une hauteur de 165m et une épaisseur de 230. Les fuites a travers sa fondation sont de l'ordre de 10 m³/ jour depuis sa construction.¹⁵

- Le barrage en enrochement **du NEBAANA** de TUNISIE est éd sur l'oued NEBAANA, il a une capacité de 86 millions m³ et une hauteur de 62.5m. en 1965, la mise en eau partielle de la retenue s'accompagna de pertes d'eau dans l'oued OHEICHE en rive droite qui ont atteint 10 l/s environ, pour ces circulations d'eau, le rôle joué par les diaclases a remplissage de calcite était évident. En rive gauche, le débit de fuites augmentait a quelque

¹⁴ - Benfetta Hassan Nourddine ; Etude de la perte de la capacité et la qualité du l'eau du barrage de Ouizert, Thèse du doctorat 2006-2007.

dizaines de litres /seconde. Les traitements de surface réalisés en rive droite ont permis de réduire les fuites sur cette rive .¹⁶

I.8.2 Les fuites d'eau au niveau des barrages en Algérie

Suite à une étude approfondie et l'examen des dossiers techniques au niveau de l'agence nationale des barrages et des transferts, nous avons constaté que plusieurs barrages sont concernés par le problème des fuites d'eau.¹⁷

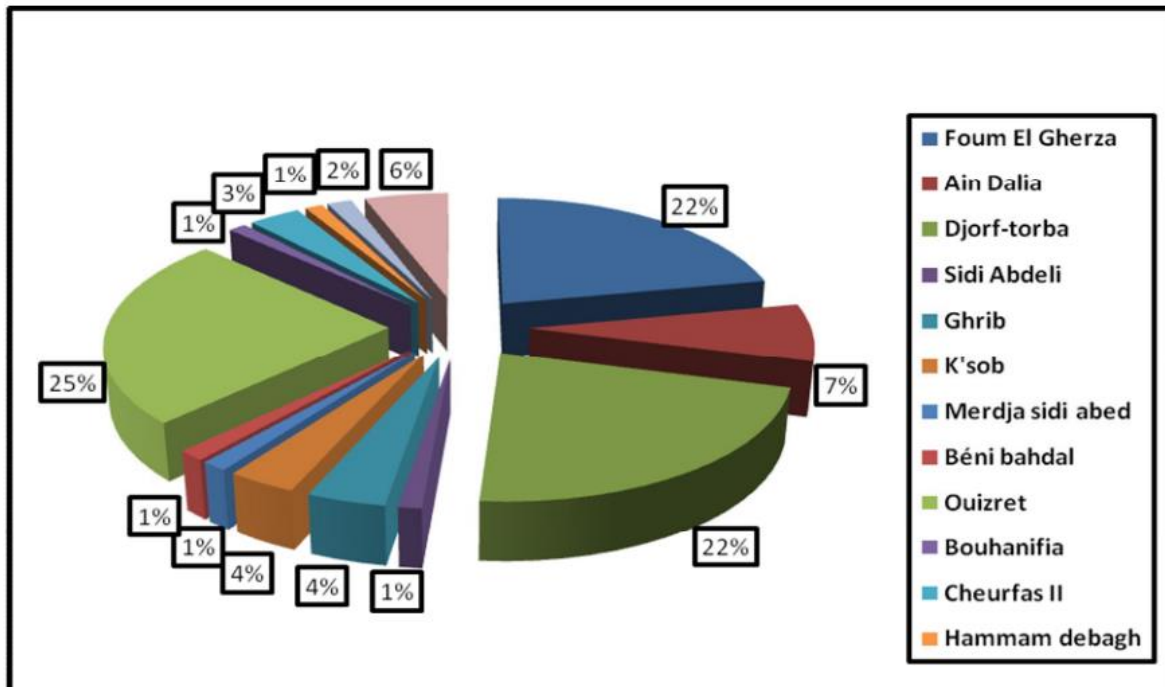


Figure 9: *Présentation du volume des fuites d'eau des barrages Algériens.*

Tableau 7: *Les perte en volume des fuites d'eau dans les barrages Algériens.*

N°	Nom du barrage	Volume perdu (10 ⁶ m ³)
1	Foum El Gherza	20.7
2	Ain Dalia	7.00
3	Djorf-torba	20.891
4	Sidi Abdeli	1.09
5	Ghrib	3.69
6	K'sob	3.237
7	Merdja sidi abed	1.219
8	Béni bahdal	1.289
9	Ouizert	23.34

¹⁶ - Benfetta Hassan Nourddine ; Etude de la perte de la capacité et la qualité du l'eau du barrage de Ouizert, Thèse du doctorat 2006-2007.

¹⁷ - Remini Boualem ,2005 ; La problématique de l'eau en Algérie. Blida.

10	Bouhanifia	1.098
11	Cheurfas II	3.237
12	Hammam debagh	1.126
13	Zardezas	1.546
14	Cheffia	5.250

Source : ANBT ,Agence Nationale des Barrages et des Transferts.

La Figure (I.8.), représente l'évolution du volume des fuites dans les barrages Algériens durant la période 1992-2002. Il est intéressant de constater que le volume minimum perdu a été enregistré durant l'année 1994-1995 soit 50.106m³ par contre 1998-1999 ; 210.106m³ d'eau de perte par les fuites ont été enregistrés. ¹⁸

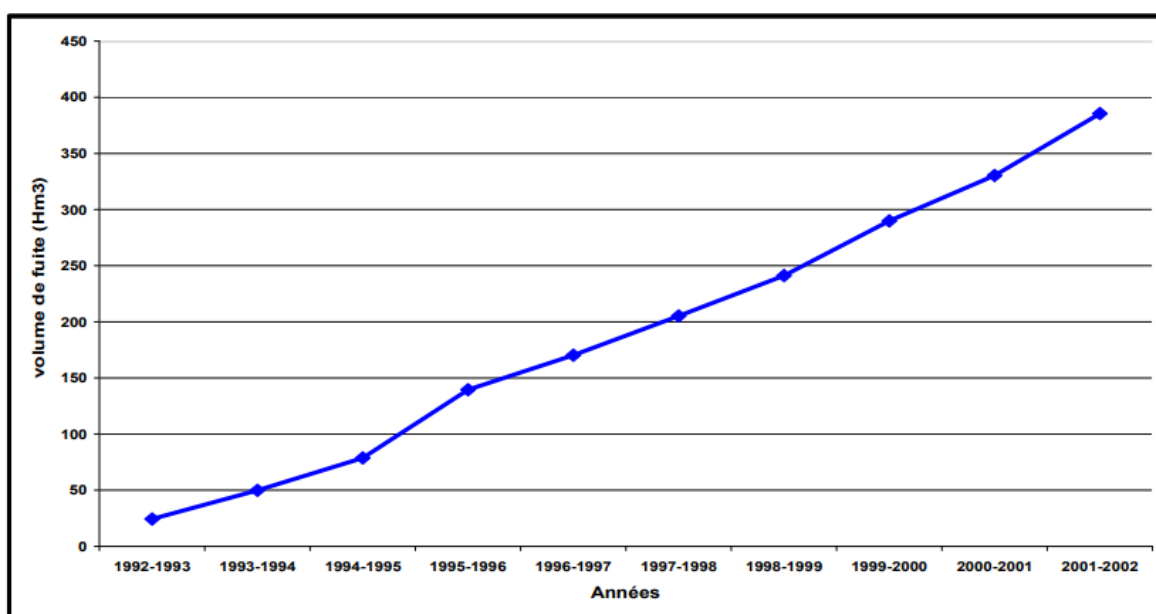


Figure 10: L'évolution du volume de fuites dans les barrages Algériens (22 barrages).

Le volume total des fuites enregistré durant la période 1992-2002 avoisine les 350 millions de m³, alors que le volume moyen perdu annuellement est de 40 millions de m³ d'eau. Ces mesures des débits de fuite sont effectuées par la méthode volumétrique. Les eaux perdues sont collectées à l'aide des réseaux de canaux depuis les résurgences et les sources de fuites jusqu'aux périmètres à irriguer.

Tableau 8: Liste des barrages Algériens confrontés sérieusement au problème des fuites d'eau.

N°	Année	Nom du barrage	Volume Perdu (10 ⁶ m ³)
----	-------	----------------	--

¹⁸ - Remini Boualem ,2005 ; La problématique de l'eau en Algérie. Blida.

1	1990/1991	Ain Dalia	07,000
2	1990/1991	Djorf-Torba	20,891
3	1994/1995	K'sob	03,237
4	1995/1996	Ouzert	23,34
5	1997/1998	Bouhanifia	01,098
6	1997/1998	Cheurfas (II)	3,170

Source : ANBT ,Agence Nationale des Barrages et des Transferts.

D'après le tableau on remarque que le volume des fuites d'eau varie d'un barrage à un autre selon les conditions naturelles et la situation géographique de chaque site

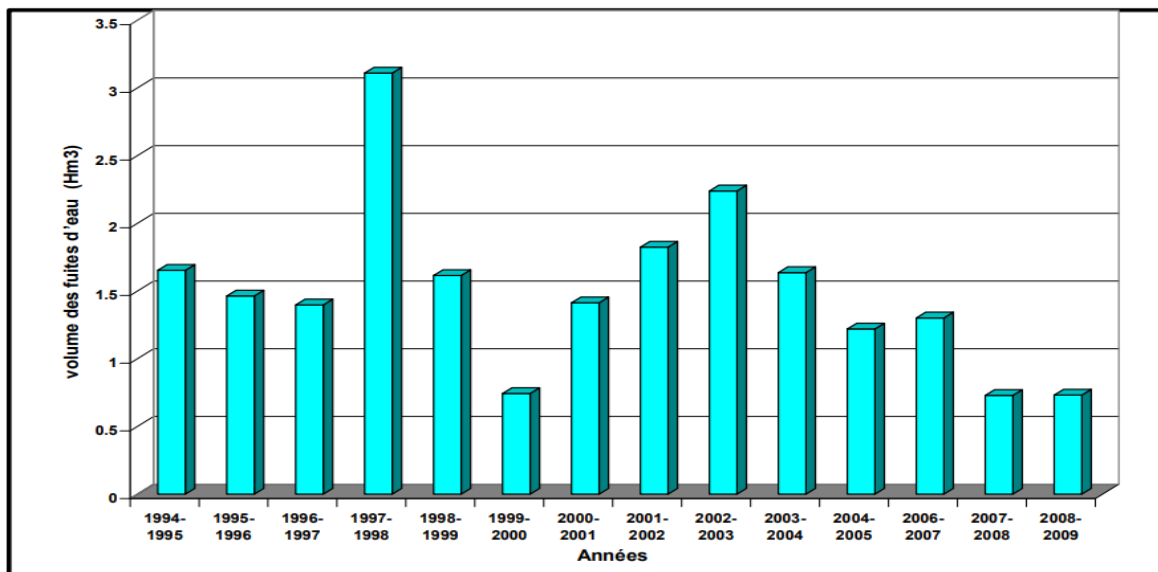


Figure 11: *Variation du volume des fuites d'eau en fonction du temps Barrage Cheurfas¹⁹*

¹⁹ - Remini Boualem ,2005 ; La problématique de l'eau en Algérie. Blida.

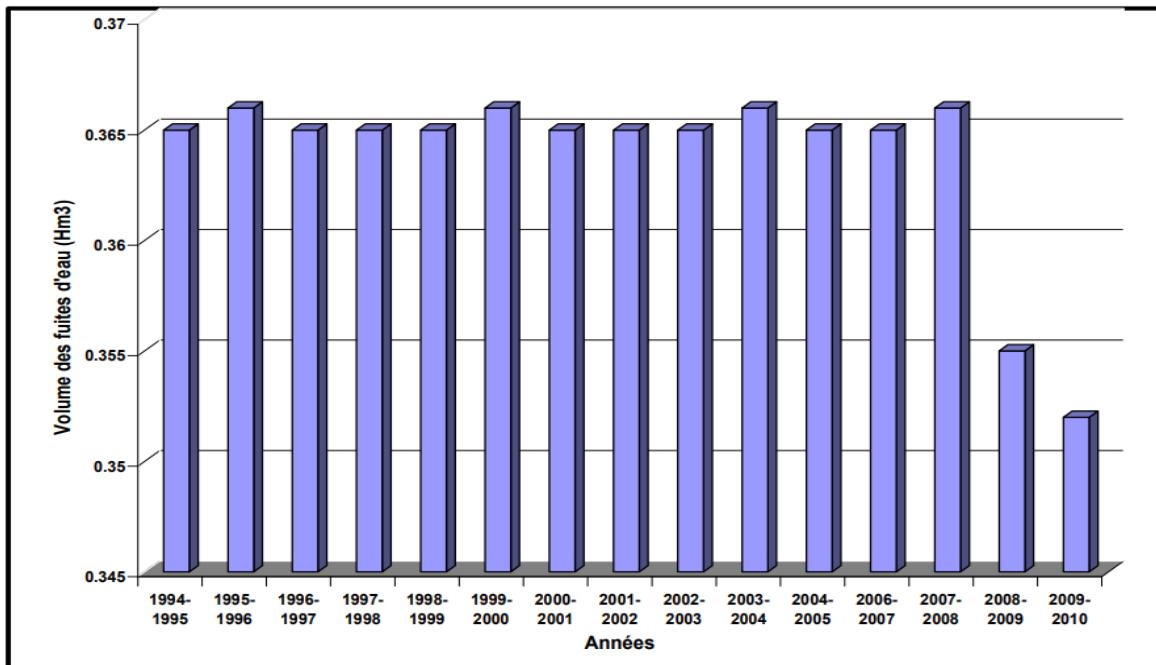


Figure 12: Variation du volume des fuites d'eau dans le temps-barrage Fergoug.²⁰

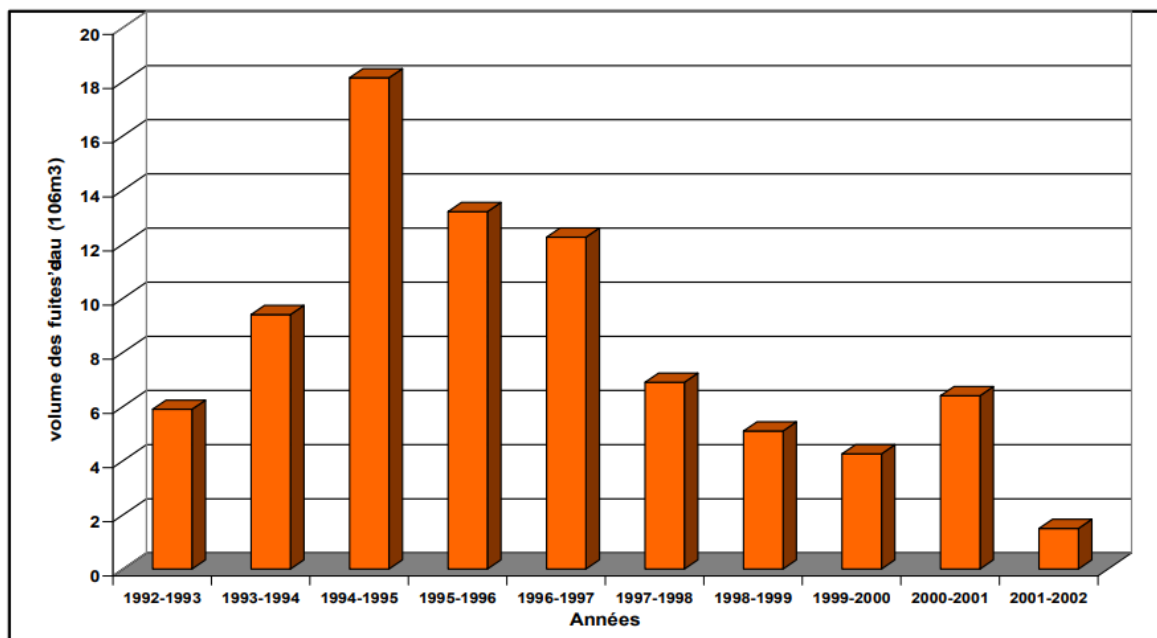


Figure 13: Variation du volume des fuites d'eau dans le temps-barrage Djorf-torba.²¹

Les figures, montrent que les fuites d'eau dans les barrages Algériens présentent une variabilité très nette dans le temps et dans l'espace et cela selon les conditions naturelles et

²⁰ - Agence Nationale des Barrages -Barrage de Fergoug, document interne ,2008-2009. Mascara.

²¹ - Remini Boualem ,2005 ; La problématique de l'eau en Algérie. Blida.

la situation géographique du site de chaque barrage. Les conditions climatiques et la situation géographique sont propres à chaque site, donc, l'étude des fuites devrait se faire cas par cas.

I.9 les pertes par évaporation

Les pertes évaporation dans une réserve sont directement liées à la surface de l'eau. On exprime les pertes en hauteur d'eau évaporé (généralement en mm)-mais elles dépendent également:

- de la durée de l'ensoleillement
- de la surface exposée aux vents
- du déficit de saturation de l'air
- de la présence ou non de la végétation aquatique
- de la profondeur de la retenue (inertie thermique variable selon celle –ci)

Les lacs d'eau (sebkhas et chottes) situées dans des zones arides présentent une forte évaporation, puisque l'ensemble des facteurs se trouvent réunis, une forte insolation presque continue durant toute l'année et une présence considérable des vents secs (grande vitesse) sortant durant l'automne et le printemps.²²

I.10.1 Les pertes par évaporation dans le monde

Les pertes par évaporation sont les plus importantes en Afrique. Dans les régions Sahéliennes, elles s'élèvent cumulativement à 2 mètres par an en moyenne. De ce fait, sous ces latitudes, toute retenue dont la hauteur ne dépasse pas deux ou trois mètres sera forcément vide avant la saison des pluies. Selon Bouchardeau M, l'évaporation moyenne annuelle au lac Tchad est 2260 mm, soit 4 à 5 mm/an (G. Remenieras 1986).

Elle est de 2 à 2.4 m/an selon Touchèdeuf de Lassigny p (in Foutès J-Chi, et al 1970), durant la période 1946-1950, l'évaporation moyenne annuelle dans la station de Gafsa (près de chott El Djerid) est de 2858 mm (Mamou A 1990). Rognon p(2000), donne les valeurs hyper arides comme l'Egypte. Selon le même auteur, 10% du débit de Nil se transforme en vapeur dans le lac Nasser.

Un milliard de m³ d'eau sur les 13 milliards de m³ stockés dans les 90 barrages du Maroc s'évapore chaque année, sur l'oued Ziz (Maroc), un barrage classique retient un

²² - Remini Boualem ,2005 ; La problématique de l'eau en Algérie. Blida.

grand volume d'eau dont une partie (20 à 25%) est perdue par évaporation. L'évaporation des eaux du barrage Mansour Eddahbi s'élève à 40 million de m³/an.²³

Evaporation des lacs des barrages Algériens

L'évaporation joue le rôle majeur dans le bilan hydrologique. Elle tient elle-même à plusieurs facteurs parmi lesquels le vent, l'insolation et la température. Plus la durée de la saison sèche est longue plus l'importance de l'évaporation est forte. On mesure alors, l'importance de cet élément même dans les régions les plus humides.

Ce qui ressort clairement des quelques stations relevées plus bas et qui montrent que l'évaporation croît sensiblement du Nord au Sud Selon la méthode de THORNTHWAITE, la moyenne annuelle sur la période 1962-1990 est de 1.371 mm à Tébessa, 1.370 mm à Jijel, 1.369 mm à Skikda, 1.370 mm à Constantine, 1.470 mm à Sétif, 1.786 mm à Khenchela, 2.017 mm à Batna, 1.370 mm à Annaba, 1.270 mm à Guelma et de 1.369 mm à Souk Ahras (ABHCSM, 2000-2005).²⁴

Elle atteint, selon l'ANAT, 1.860 mm au niveau du barrage de Foug El Gueiss (les mesures s'effectuent quotidiennement à 8 heures tout au long de l'année à partir d'un 'bac Colorado') et 2.400 mm au niveau du barrage de Foug El Gherza, dont 15 % en juillet (360 mm) et 3 % en janvier (72 mm). Cette évaporation varie, dans le Hodna, entre 1.085 mm/an sur les reliefs (Boutaleb) et 1.362 mm/an au sud de la cuvette (400 m) (KEBICHE, 1986) pour atteindre les 2.260 mm au niveau du barrage du K'sob.

Elle culmine à plus de 3.900 mm à Tamanrasset et à 4.500 mm à Adrar. Dans son étude, l'ANAT relève que l'évaporation, lors des jours de vent, est intense et que des milliers de m³ sont soustraits aux barrages. Au niveau de la retenue de Foug El Gherza et lorsque le plan d'eau est large, on enregistre un volume annuel de 4 à 4,5 hm³ évaporé (8 % de la capacité initiale du barrage).

²³ - Remini Boualem, 2005 ; La problématique de l'eau en Algérie. Blida.

²⁴ - TOUATI Bouzid, Les barrages et la politique hydraulique en Algérie : état, diagnostic et perspectives d'un aménagement durable, Thèse du doctorat 2010.



Barrage de Foug El Gherza



Barrage de Ouizert



Barrage de Gargar

Figure 14.: *Bac Colorado installé à proximité de la retenue (photos. Ouadja A.2011).*

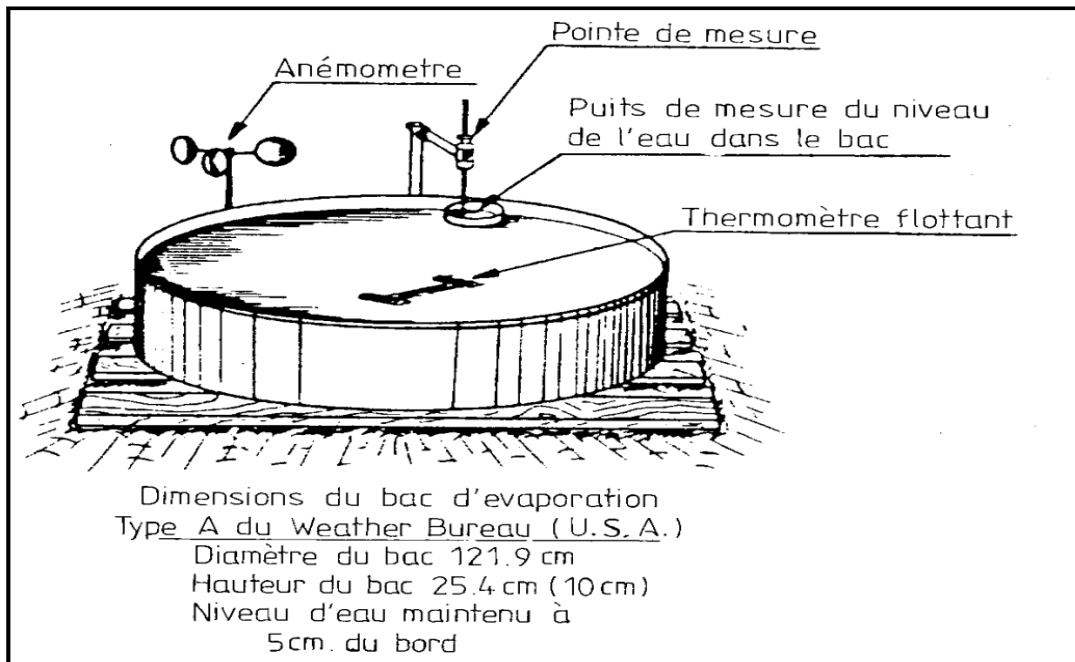


Figure 15: Bac d'évaporation du Colorado.



Figure 16: Appareil de mesure de l'insolation installé à proximité de la retenue du barrage de Gargar (Photos. Ouadja Abid.2011).

Nous représentons sur la figure, l'évolution du volume évaporé dans les retenues de 39 barrages, d'une capacité de 3,8 milliard de m³ durant la période 1992-2002. Sur le même

graphe nous avons illustré l'évolution de la consommation en A.E.P, l'irrigation et l'industrie pour mieux montrer l'ampleur de l'évaporation.²⁵

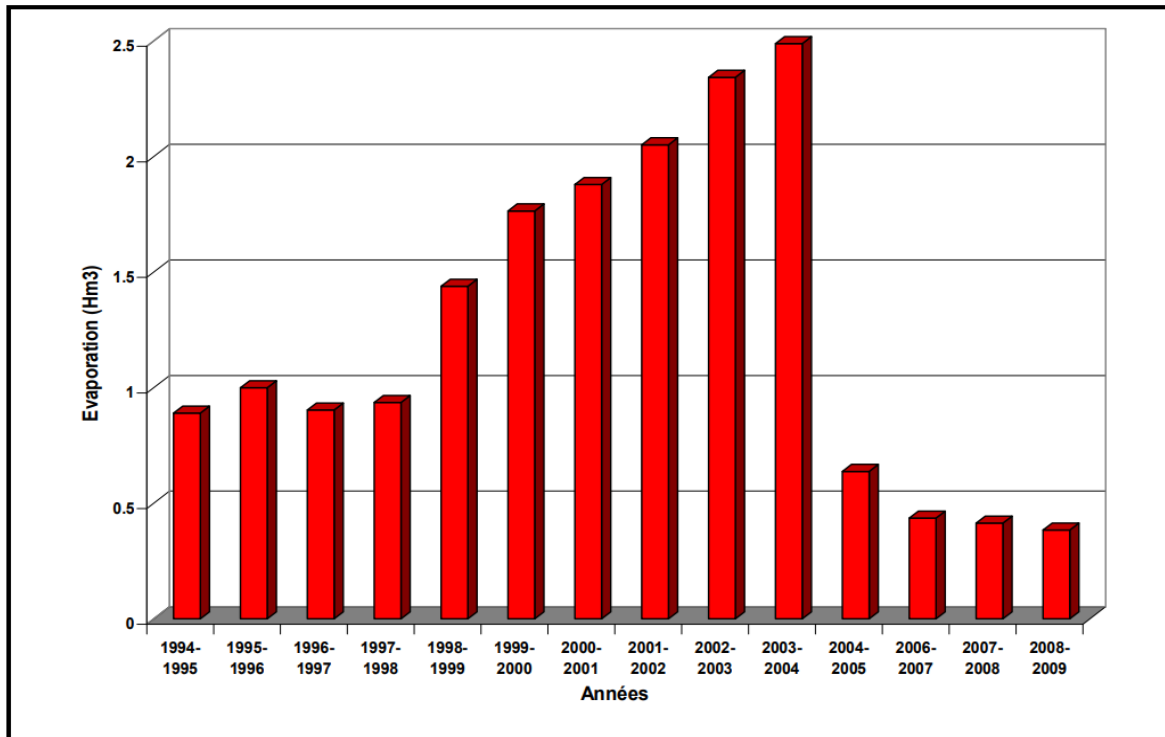


Figure 17: *Variation du volume de l'évaporation dans le temps-barrage Fergoug.*²⁶

I.10.2 Prédiction de l'évaporation

En se basant sur les données de 39 barrages répartis sur les 4 bassins hydrauliques de l'Algérie du Nord, nous avons présenté une carte de sensibilité à l'évaporation (Fig.I.20). Trois zones se dégagent du Nord au Sud. La première de faible évaporation dont la perte par évaporation est inférieure à 0,5 m/an et elle s'étend sur une largeur moyenne de 50 km à partir du littoral. Environ 25 barrages sont situés dans cette partie.

La deuxième bande de moyenne évaporation d'une largeur moyenne de 100km située juste après la première dans laquelle 25 barrages sont en exploitation ; elle est caractérisée par une perte d'eau par évaporation comprise entre 0.5m/an et 1m/an. Celui ci est suivi par une 3ème bande caractérisée par une forte évaporation dont la perte s'élève à une hauteur d'eau supérieure d'1 m/an, 8 barrages en exploitation sont situés dans cette zone.

²⁵ - Remini Boualem ,2005 ; La problématique de l'eau en Algérie. Blida.

²⁶ - Agence Nationale des Barrages -Barrage de Fergoug, document interne ,2008-2009. Mascara.

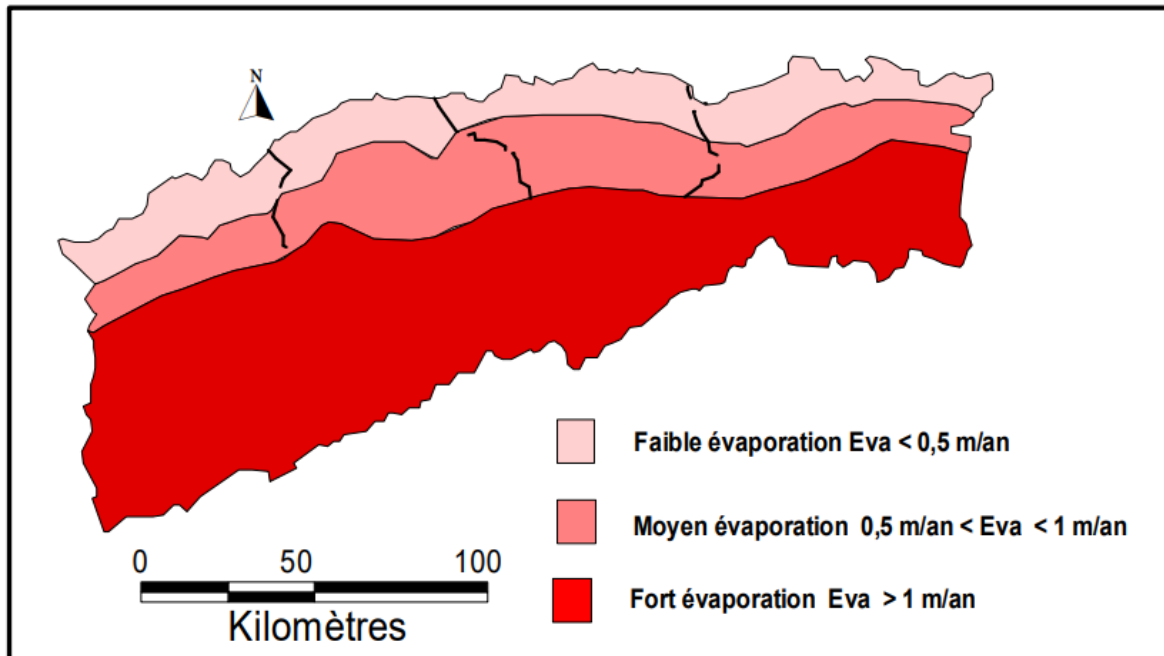


Figure 18: *Carte de prévision de l'évaporation des lacs des barrages.*²⁷

I.11 Conclusion

La recherche bibliographique sur les pertes d'eau dans les barrages du monde nous a permis de conclure que :

La perte de capacité des barrages se traduit par des pertes considérables en eau précieuse et rares et aussi par des menaces très sérieuses de la stabilité des ouvrages, elle est causée par trois problèmes hydrauliques à savoir : l'envasement excessif, les fuites d'eau par infiltration et l'évaporation intense.

Le problème des pertes d'eau est très complexe, il touche la majorité des barrages dans le monde surtout ceux des régions arides et semi arides.

En Algérie, nous avons constaté que nos barrages sont touchés par le problème de la perte de capacité par les trois facteurs hydrauliques, à titre d'exemple nous avons recensé environ quinze barrage ayant des pertes par fuites qui dépassent 1 million de m^3 par an chacun, parmi ces barrages six présentent un volume de fuite supérieur à 5 millions de m^3 .

²⁷ - Remini Boualem ,2005 ; La problématique de l'eau en Algérie. Blida.

CHAPITRE 2

II. Chapitre 2 Perte de capacité des barrages dans le maghreb

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter un aperçu sur les caractéristiques générales des barrages étudiés (Gargar, Bouhanifia, Ouizert, Foug El Gherza) à savoir: la situation géographique, historique du barrage, les données climatiques, hydrologiques, géologiques, hydrogéologiques, et géotechniques du chaque barrage.

Tableau 9: *Liste des barrages en Algérie.*

N ⁰	Barrage	Date de la mise en eau	Capacité initiale (Mm ³)	N ⁰	Barrage	Date de la mise en eau	Capacité initiale (Mm ³)
1	Souani	2005	47	30	Keddara	1985	145
2	Bougrara	1999	175	31	Béni Amrane	1988	16
3	Béni Bahdels	1952	63	32	Lekhal	1985	30
4	Mefrouch	1963	15	33	Ksob	1977	30
5	Sidi Abdeli	1988	110	34	Tisedit	2005	167
6	Sarno	1954	22	35	Taksebt	2001	175
7	Ouizert	1986	100	36	Ain Zada	1986	125
8	Bouhanifia	1948	73	37	Ighil Emda	1953	155
9	Fergoug	1970	18	38	Erraguene	1961	200
10	Cheurfas II	1992	82	39	El Agrem	2002	34
11	SM Benaouda	1978	235	40	Béni Hroun	2004	960
12	Bakhada	1963	56	41	H.Grouz	1987	45
13	Dahmouni	1987	41	42	Béni Zid	1993	40

14	Merdja	1984	55	43	Guenitra	1984	125
15	Gargar	1988	450	44	Zardezas	1977	27
16	Sidi Yakoub	1985	280	45	Zit Emba	2001	117
17	Bouguera	1989	13	46	H. Debagh	1987	200
18	Kouidat Rasfa	2004	75	47	Oued Cherf	1995	157
19	Oued Fodda	1932	228	48	Ain Dalia	1987	82
20	Oued Mellouk	2004	127	49	Chafia	1965	171
21	Harreza	1984	70	50	Mexa	1998	47
22	Deurdeur	1984	115	51	K. Medaouar	2004	69
23	Ghrib	1939	280	52	F. El Gueiss	1939	3
24	Boughezoul	1934	55	53	Babar	1995	41
25	Boukourdane	1992	97	54	Foum Gherza	1950	47
26	Meurad	1860	1	55	F. Gazelles	2000	55
27	Bouroumi	1985	188	56	Brezena	2000	122
28	Ladrat	1989	10	57	Djorf Torba	1969	350
29	Hamiz	1935	21				

Source : Remini B.

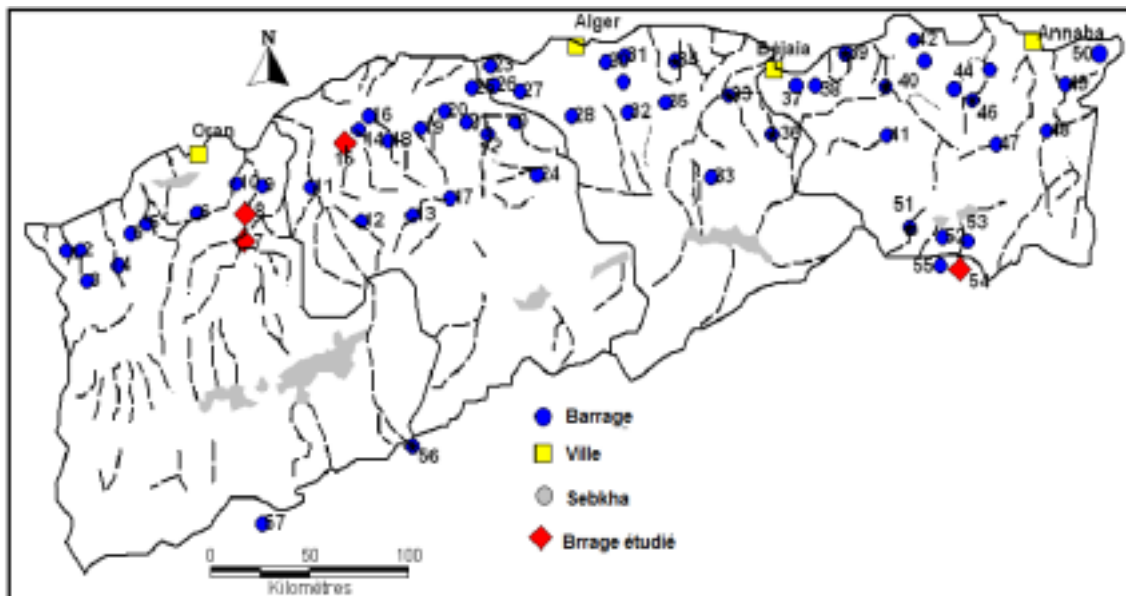


Figure 19: Localisation des barrages Algériens.²⁸

I.12 Barrage de Gargar

II.1.1 Situation géographique du bassin versant de Gargar

Le site du barrage de Gargar est situé sur oued Rhiou, tributaire de la rive gauche du Chéllif. Le bassin versant du Chéllif est le plus grand bassin de l'Algérie du Nord se déversant dans la mer. La superficie du Chéllif est de 43750 km² lui permet de recueillir près de 13% des ressources en eau superficielle de l'Algérie du Nord. L'oued Rhiou prend sa source près de la localité de Tissemsilt et parcourt 163 km avant de rejoindre le Chéllif, qui se jette à la mer, environ 10 km plus à l'Ouest.

La figure (II.1.2), localise le barrage et son bassin versant.

Les coordonnées géographiques du barrage sont : E : 1°20'04" N: 35°58'57" Le bassin versant de Gargar est compris dans le bassin régional 01, soit le Chéllif, de la région hydrographique 2 Chéllif -Zahrez. L'oued principal a une pente moyenne de 5,05 m/km. La densité de drainage du réseau hydrographique est de 3,89 km/km².²⁹



²⁸ - Remini Boualem ,2005 ; La problématique de l'eau en Algérie. Blida.

²⁹ - Agence Nationale des Barrages -Barrage de Gargar, Monographie de barrage Gargar 1989, Relizane.



Figure 20: *Vue générale du barrage Algérien de Gargar*

II.1.2 But de l'aménagement

Le barrage de Gargar servi pour créer une retenue, avec la capacité totale de 450 Hm³ jusqu'à la côte normale de retenue (118m), pour exploiter le débit hautement saisonnier de l'oued Rhiou, dont l'apport annuel moyen au site du barrage est de 185 Hm³.

La retenue, dont la régularisation annuelle garantit quatre années sur cinq est de 120 Hm³, servira essentiellement aux besoins en eau d'irrigation de 16000 ha dans la plaine du Bas-Chéllif et l'alimentation en eau potable de la ville d'Oran de 40 Hm³/an.

II.1.3 Topographie et paramètres physiographiques

Le bassin versant de Gargar s'étend sur une superficie de 2360 km² environ, depuis une altitude de 123 m jusqu'à 1 230 m. Les altitudes maximales sont concentrées à l'Est et au Sud du bassin, sur la ligne de partage des eaux, de même que sur le cordon montagneux qui domine le Sud-Est du paysage. La dénivelée maximale du bassin atteint 1107m, tandis que celle des terres principales (H 5% - 95%) atteint tout au plus 965 m. ³⁰

Le bassin de Gargar est caractérisé par deux grandes unités de paysage, à savoir une zone au relief ondulé près du réservoir et au Sud-Ouest du bassin et une zone montagneuse encavée par de nombreux oueds dans la région Centrale et Sud-Est.

Voici au préalable un résumé des principales caractéristiques physiographiques du bassin

- Superficie du bassin versant: 2362 km²
- Périmètre du bassin versant: 304 km
- Longueur du rectangle équivalent: 134 m
- Largeur du rectangle équivalent: 17,8 m
- Indice de compacité de Gravelius (KG) : 1,8
- Dénivelée moyenne (Fournier) : 523 m
- Dénivelée spécifique (H5% - H95%) : 755 m

³⁰ - Agence Nationale des Barrages (A.N.B) 2004 ; Etude de la protection des bassins versants de l'ensemble des barrages en études d'Avant Projet Détaillé (lots nos 1 à 4) et des bassins versants des barrages en exploitation (Lot No 5 : Barrages Gargar et S.M.Ben Aouda).

- Pente moyenne du bassin: 15,5 m/km
- Indice de pente global (IG) : 5,6
- Pente moyenne de l'oued principal: 5,1 m/km
- Densité du drainage: 3,9 km/km²



Figure 21 *Vue générale de la digue du barrage Algérien de Gargar*

(Photos. Ouadja Abid ,28 /12/2011).

II.1.4 Retenue du barrage de Gargar

Profondeur maximale	58m
Longueur de la digue	10m
Largeur de la digue	400m
Longueur de la digue à la base	520m
Bassin versant	2 900 km ²
Superficie de la cuvette expropriée (Max 130)	2 750 ha
Superficie de la retenue de la côte normale	2 100 ha
Longueur de la retenue	10 km
Volume de la retenue côte normale	450 hm ³
Volume régularisé 4 années sur 5	120 hm ³
Périmètre à irriguer	16 000 ha

A.E.P. d'ORAN	40 hm ³
Apports annuels moyens	185 hm ³
Prévision de l'envasement annuel moyen (2,5 % de l'apport annuel moyen)	4,6 hm ³
Capacité utile	300 hm ³
Garde d'envasement	150 hm ³
Volume du réservoir utilisable par la galerie de prise supérieure	235 hm ³
Volume du réservoir utilisable entre la galerie de prise supérieure et la galerie de prise inférieure.	185 hm ³
Culot vidange (tranche de retenue située entre le niveau de la galerie de prise inférieure et de la vidange de fond).	30 hm ³

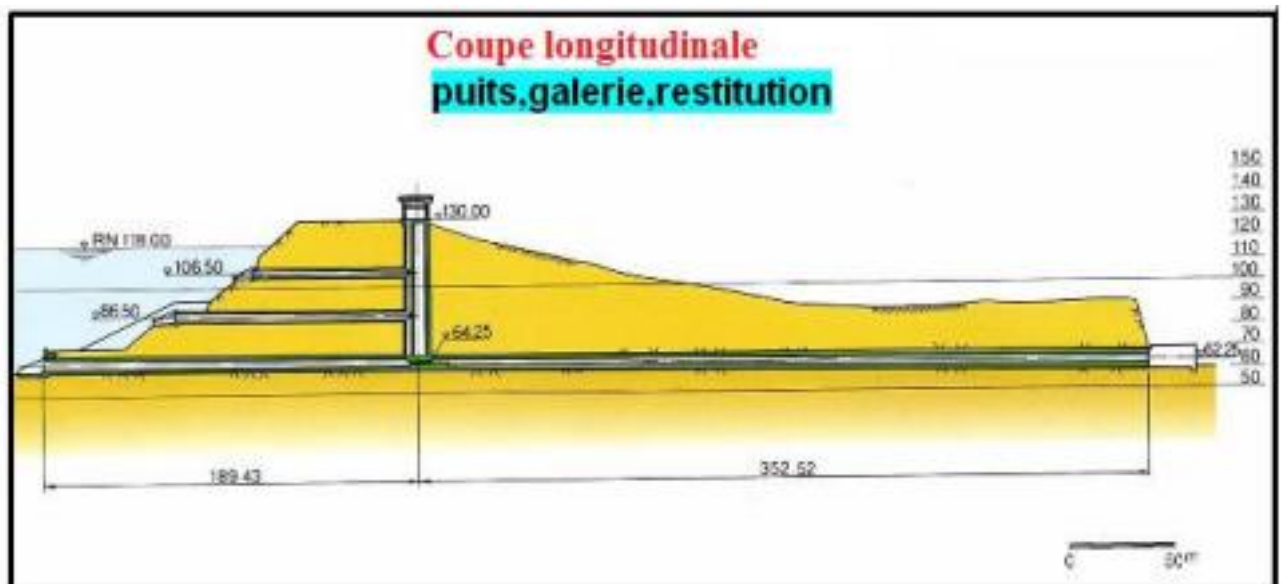


Figure 22 Coupe longitudinale de la digue.

II.1.5 Caractéristiques de la région d'étude

II.1.5.1 Climat

Le climat du bassin versant de barrage de Gargar est un climat presque continental caractérisé par deux aspects climatiques :

- La partie supérieure du bassin se caractérise par un climat de montagne pluviale, froid

a amplitude thermique relativement faible avec des chutes de neige abondante. • La partie inférieure du bassin se caractérise par un climat plus relativement chaud avec de forts écarts de température.

II.1.5.2 Température

Il est intéressant d'étudier la température moyenne mensuelle qui fut relevée au niveau de ce site pendant l'année précédente (2010), la température moyenne mensuelle varie de 8.40 °C à 39.84 °C avec une moyenne annuelle de 18.2 °C.

Les précipitations

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

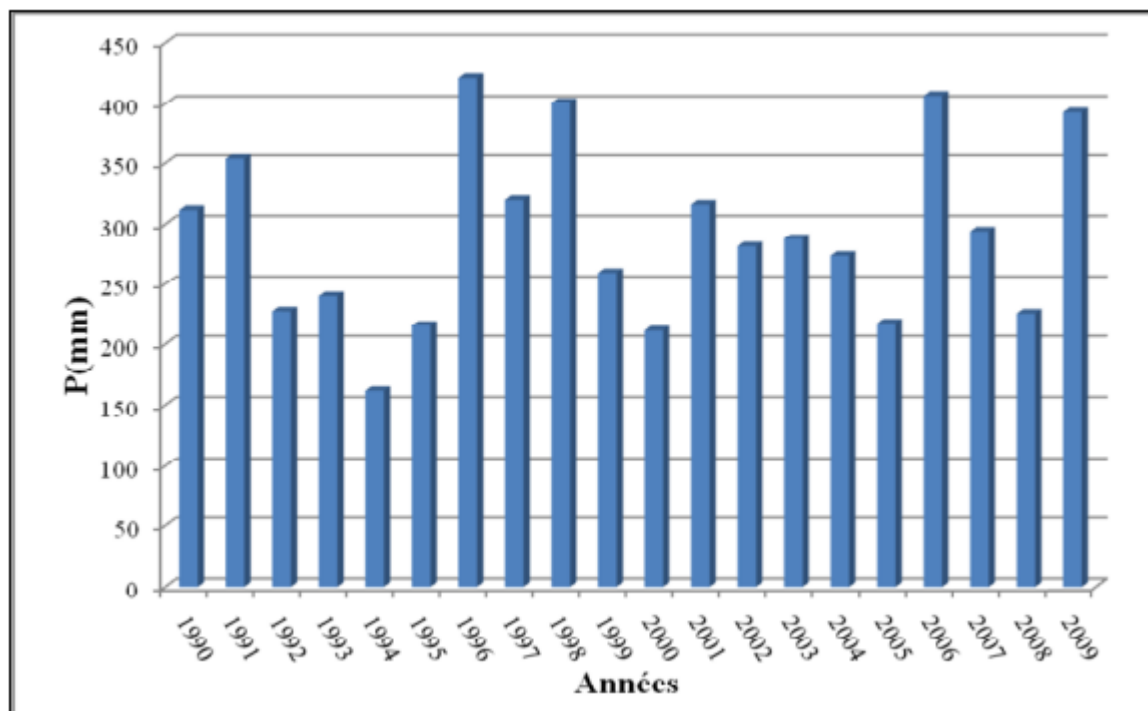


Figure 23 *Pluviométrie moyenne annuelle (période 1990/2009) du barrage Gargar.*

C'est l'élément le plus caractéristique du climat local de la région de Relizane, la fréquence moyenne annuelle des vents et de 6.02 m/s.³¹

II.1.5.3 L'insolation

Le rayonnement solaire représente la source d'énergie primaire associée aux deux facteurs écologiques fondamentaux: lumière (éclairage) et la chaleur (température), la durée

³¹ - Besouna Mohamed et Serrar 2008-2009 ; Contribution à l'étude d'un écoulement numérique bidimensionnel de transport de sédiment en suspension cas d'application ; Retenue du barrage Gargar. Univ d'Oran.

moyenne annuelle d'insolation et de 5.9 h/j avec un maximum de 9.7 h/j en Juillet et un minimum de 2.9 h/j en Décembre.

II.1.5.4 L'évaporation potentielle

L'évaporation potentielle permet d'estimer les pertes totales que peuvent subir les sols par évaporation directe et par la transpiration des végétaux. Elle est de 154.70 mm moyenne annuelle.³²

II.1.5.5 Les apports liquides

L'ensemble des informations hydrométriques et pluviométriques existantes a permis de reconstituer une série continue d'apports moyens annuels à Gargar pour une période allant de 1990 à 2009, soit sur une période de 19 ans qui n'est que de 72,58 hm³/an environ.³³

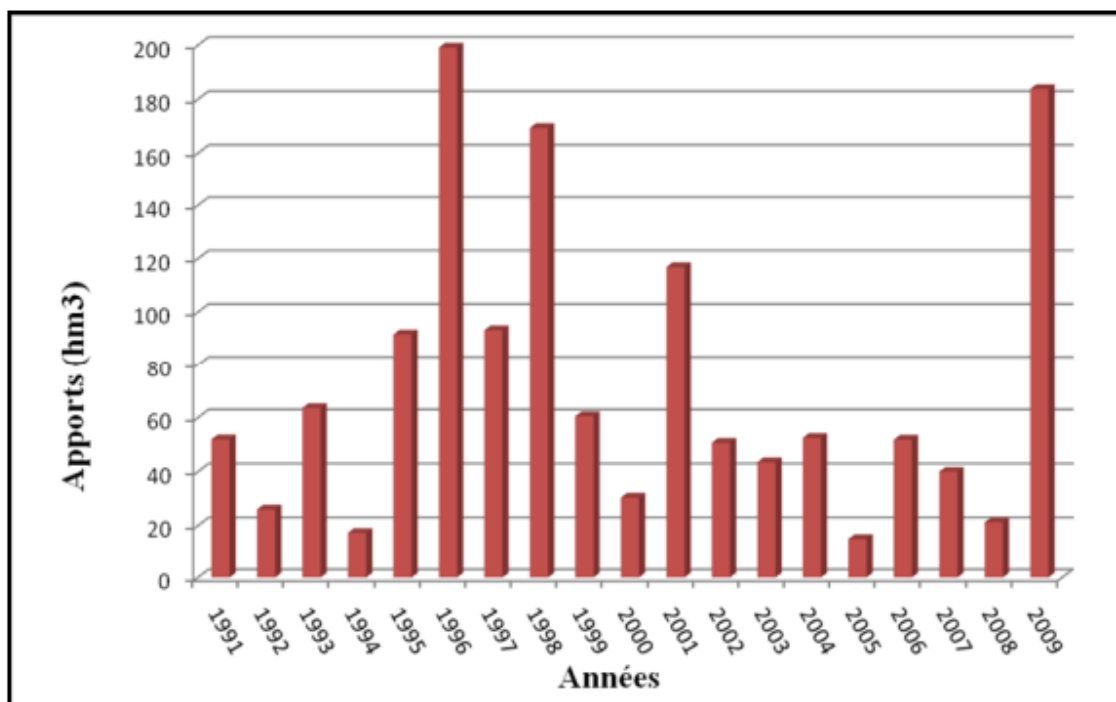


Figure 24 Variations annuelles des apports liquides du barrage de Gargar. II.1.5.8. Les apports solides

De 1988 à 2004, le réservoir de barrage Gargar se serait envasé de 92 hm³ (ANB) avec un envasement annuel 4,6 hm³/an. Pourcentage du débit annuel moyen est d'environ 2,5% de la capacité initiale. La durée de vie du barrage pourra être estimée à environ 150 ans.

II.1.5.6 Vidange de fond et prise d'eau

Les ouvrages de sortie de l'eau de la retenue comprennent d'une part deux parties de prise et

³² - Oulhiz Aicha. 2008-2009 ; Contribution à l'étude des opérations de repeuplement par deux espaces aquacoles (carpes argentée et carpe à grande bouche du barrage Gargar. Univ d'Oran.

³³ - Agence Nationale des Barrages -barrage de Gargar, document interne, Relizane.

d'autre part les ouvrages de vidange rapide et de chasse se déversant dans l'oued Rhiou, tous les débits de ces ouvrages utilisent la galerie de vidange de fond, passant dans l'appui droit du barrage et qui a servi à la dérivation de l'oued pendant la construction du barrage. Ils se sont en outre desservis par un puits de prise d'eau, allant du fond de la galerie de vidange jusqu'à la surface et par deux galeries de prise dont les radiers se trouvent aux cotes 105m et 85m (axes aux cotes 16,5 m et 86,5m).

Les deux prises d'eau permettent d'assurer le captage du débit nécessaire pour l'irrigation dans une large fourchette de variables du plan d'eau de la retenue. Ce plan aura annuellement des fluctuations variables. L'eau évacuée par le pertuis de fond au bas du puits de prise d'eau se déverse directement dans la partie supérieure de la galerie de vidange de fond par laquelle arrive à la sortie de la galerie [15].



Figure 25 *Maquette du barrage de Gargar.*³⁴

II.1.6 Géologie et Hydrogéologie

Des dépôts épais de marnes et de calcaires recouvrent les roches du miocène. Au site du barrage, l'oued Rhiou traverse une gorge creusée dans les falaises calcaires des Djebels Gargar et Abbadia.

De par sa topographie, cette gorge est depuis long temps estimée constituer un site intéressant pour la construction d'un barrage. La vallée qui s'élargit en amont aux alentours du village de Lahlef forme un bassin naturel en grande partie recouvert par des calcaires.³⁵

³⁴ - Agence Nationale des Barrages (A.N.B) 2008-2009, document interne ,2008-2009.

³⁵ - Agence Nationale des Barrages (A.N.B) 2010-2011 ; Données géologiques et hydrogéologiques du barrage Gargar.



Figure 26 *Reconnaitances Géologiques Anciennes (puits et sondages).*

II.1.6.1 Cartographie Géologique

L'ensemble des fondations du barrage et de l'évacuateur de crues est couvert par une cartographie géologique à l'échelle 1/1000. L'échelle 1/200 a été adoptée pour les cartographies géologiques réalisées, au fur et mesure de l'avancement des travaux, pour les appuis droits et gauches de la digue et pour la zone des fouilles de l'évacuateur de crues. La zone de saut de ski ou, par la suite des travaux d'excavation, un ancien chenal fossilifère de l'oued à été mis en évidence. ³⁶



Figure 27: *Traitement des talus .*

II.1.6.2 Conditions Géologiques

II.1.6.2.1 Structure du site

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

³⁶ - Agence Nationale des Barrages -barrage de Gargar, document interne, Relizane.

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

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

Des phénomènes de karstification, quoique n'étant pas de grande taille, sont très fréquents soit en rive droite soit en rive gauche. C'est surtout en rive gauche qu'on a trouvé, dans les fouilles de l'évacuateur de crues, des entonnoirs et des chenaux souterrains comblés soit par des alluvions soit par des argiles de dissolution. La partie haute de la zone d'emplacement du barrage présente des terrasses de grande étendue formées par des argiles et des limons récents.

Les flancs et les crêtes des montagnes dominant la gorge sont lisses, sans aspérités, ce qui prouve qu'un important transport solide de blocs et galets a rasé ces montagnes quand le niveau de la mer était bien plus haut que maintenant.

II.1.6.2.2 Perméabilité des massifs

Par les essais type **Lugeon** réalisés en phase d'Avant-projet détaillé, les perméabilités moyennes obtenues ont été :

- Prés de la surface, de 2 lugeons, dans une fourchette également de 1 à 15 lugeons.
- En profondeur, de 10 lugeons, dans une fourchette également de 1 à 15 lugeons. En phase de projet d'exécution et aussi pendant les injections, les perméabilités moyennes obtenues en toute la profondeur des forages jusqu'à la marne argileuse, c'est à dire en traversant le calcaire, la marne sableuse et le conglomérat, ont été de 51 lugeons, dans une fourchette de 1 à 580 lugeons. Dans le lit de l'oued, après le déblayage total des alluvions, ont été réalisés des essais sur la marne argileuse, lesquels ont donné des résultats de l'ordre de 1 lugeons, ce qui a permis de prendre la décision de ne pas faire des injections dans cette formation.³⁷

II.1.6.2.3 Etanchéité de la retenue

Une grande partie du bassin de la retenue repose sur des marnes relativement imperméables qui forment un écran naturel empêchant la formation de pertes importantes par percolation. Les calcaires sous-jacents affleurent toutefois sur une assez grande distance des deux cotes des appuis du barrage.

Les nombreux essais de lugeons qui ont été faits dans le calcaire ont tous donné des résultats assez peu élevés (valeur maximale de 15) malgré les fractures et les failles et la présence de caractéristiques karstiques mineures dans certaines zones. Cette condition d'imperméabilité et

³⁷ - Agence Nationale des Barrages -Barrage de Gargar, Monographie de barrage Gargar 1989, Relizane.

la longueur des chemins d'écoulement donnent lieu de penser que les pertes par percolation dans les failles seront faibles. Le niveau de la nappe souterraine est plus bas sous les ailes, de toute évidence, il ne semble monter guère plus haut que le niveau de l'oued. En conséquence, au début de la mise en eau, il y aura absorption d'un certain volume d'eau dans le sol lors de l'établissement du nouveau régime des eaux souterraines. Bien qu'on n'ait relevé aucune structure géologique susceptible d'entraîner de grosses fuites, plusieurs caractéristiques karstiques mineures ont été mises à jour dans certain sondage des trous ouverts qui se trouvent probablement à proximité des fissures verticales. Il est par conséquent jugé prudent d'étendre le voile d'injection sur approximativement 150 m sur chaque faille pour essayer de localiser toutes les zones comportant des caractéristiques karstiques qui n'ont pas encore été identifiées et seraient susceptibles de provoquer des fuites. Le voile d'injection devra être continu de manière à ramener la perméabilité à moins de 5 lugeons.

Le risque de fuites au travers des caractéristiques karstiques se présente également dans les zones des ailes plus loin du barrage. Toutefois, les résultats des reconnaissances de site permettent de penser que l'extension du programme d'injection n'est pas justifiée à plus de 150 m au-delà du barrage à moins que des caractéristiques exceptionnelles n'apparaissent lors de l'injection. Si, après la mise en eau, des zones de percolation se développaient le long de certaines voies dans les zones aval, des injections complémentaires pourront s'imposer.

II.1.6.3 Conditions de fondation des ouvrages

II.1.6.3.1 Fondation de la digue

Dans la zone correspondante au lit de l'oued, la fondation est constituée d'une marne argileuse, relativement tendre mais imperméable. Les appuis sont constitués d'une série de roches perméables, dont la base est un conglomérat d'épaisseur variable, généralement de 0.4 m à 0.6 m, sur lequel repose une marne sableuse, d'épaisseur variable de 8 m à 10 m, et finalement une épaisse formation de calcaire sableux constituant des couches de 0.5 m à 3 m d'épaisseur.

Dans les couches de calcaire sont intercalées deux couches de cinérite : un cinérite supérieur, de 0.2m à 0.6m d'épaisseur, situé dans les deux rives à la cote d'environ 100m, et un cinérite inférieur, généralement avec l'épaisseur de 1m à 2m, qui peut être réduite à moins de 0.2m en des zones qui ont été siège d'un étirage, situé à la cote 80m en rive droite et à une cote d'environ 65m en rive gauche.

Les formations de la rive gauche, étant litologiquement les mêmes de la rive droite, ont subi des déformations dues au fait qu'elles sont plus résistantes d'une part et appuyées sur une marne relativement plastique. Par conséquent, un grand bloc situé en amont de la limite des fouilles sous le moyen a subi un tassement et une relation sur la marne, ayant par effet une surface de rupture

complexe qui traverse l'axe du barrage.³⁸

II.1.6.3.2 Fondation des ouvrages en béton de l'évacuateur de crues.

Le terrain de fondation des ouvrages en béton de l'évacuateur de crues est formé, pour la

³⁸ - Agence Nationale des Barrages (A.N.B) 2010-2011 ; Données géologiques et hydrogéologiques du barrage Gargar.

plupart d'un calcaire sain, généralement de bonne qualité mais avec quelques exceptions. Au niveau du canal d'accès et du coursier, la roche, bien que saine, se présentait très fracturée et un joint de direction NW /SE était karstifiées et c'est pourquoi, après nettoyage la cavité a été rempli avec du béton. La roche était constituée d'un calcaire fragmenté en des grands blocs cimentés par de l'argile. Cette zone à été traitée par nettoyage des argiles des fissures et des cavités karstiques et par l'enlèvement des matériaux détachés. Après on a fait le remplissage avec du béton et l'ancrage dans le calcaire sous-jacent. La longueur prévue pour les ancrs était de 3m mais elle a été augmentée pour 6m dans le but d'atteindre le calcaire afin d'obtenir une plus grande surface de contact. Dans la zone terminale du coursier et dans les zones du saut de ski et du canal de fuite, un ancien chenal de l'oued a creusé la roche calcaire et y ont été déposés des alluvions graveleux passant à sableux, lesquels étaient bien cimentés et avaient le comportement mécanique d'un conglomérat.

Le traitement de cette zone à été fait par l'enlèvement presque total des alluvions sous le saut de ski et de 2m d'épaisseur des alluvions de la zone amont, de forte pente. Ils ont fait aussi le remplacement des alluvions par du béton.³⁹

II.1.6.4 Principales formations géologiques

Les lits qui affleurent dans la zone du barrage de Gargar sont formés de calcaires crème et sableux du miocène supérieur. Les marnes sous - jacents du miocène inférieur affleurent dans le bassin de la retenue mais, sur le site du barrage, ils ne les retrouvent que dans les forages en profondeur. Ces roches sont recouvertes de dépôts alluvions et colluvions plus récents.

❖ Les formations se présentent comme suit:

II. I.6.4.1. Alluvions du lit de l'oued

Le lit actuel et les dépôts de la terrasse inférieure adjacente sont recouverts par une couche épaisse d'alluvions. Le lit dont le fond est généralement plat, est découpé dans la marne qui devient plus profonde le long de la gorge. La couche des dépôts alluvions ne fait que 11m au pied amont du barrage contre peut - être 30m en son pied aval. Ces dépôts sont essentiellement formés de sables et de graviers argileux comparant par endroits des galets et des blocs. Ils ont observé des couches minces et des lentilles d'argile, de limons argileux et de sables.⁴⁰

II.I.6.4.2. Dépôts des terrasses

Deux terrasses formées d'alluvions anciennes se présentent, l'une à la cote de 66m et l'autre à 70m. Toutes deux se composent de limons brun foncé à gris et d'argiles qui sont généralement homogènes.

II.I.6.4.3. Colluvions

La partie inférieure de la pente des falaises calcaires est recouverte de dépôts provenant des

³⁹ -Agence Nationale des Barrages (A.N.B) 2010-2011 ; Données géologiques et hydrogéologiques du barrage Gargar.

⁴⁰- Abdelhafidh Khettab, Synda Baaziz 2006 ; Mémoire de fin d'étude : « La dynamique fluviale et les risques associés dans le bassin versant de oued l'abiod » Université de Batna.

versants se composant de fragments de calcaires anguleux à sub arrondis allant des graviers aux galets dans une matrice argileuse.

II.I.6.4.4. Calcaires

Des calcaires de couleur crème, blanche ou beige affleurent à l'emplacement des appuis du barrage et dans la partie supérieure des rives de la retenue. Ils se présentent généralement en couches épaisses modérément à très fracturées. Des horizons forment des couches fossilifères ou rocailleuses sont partout présents, les moulages tubulaires de vers sont les formes fossiles les plus courantes. Les valeurs du calcaire varient ; elles vont de zéro dans les zones fortement faillées et fragmentées à 80 - 90 % dans les calcaires sains. La résistance des matériaux rocheux varie selon les couches, la modérée (10 MPa) tandis que les couches marneuses présentent une résistance inférieure (5 MPa) et les couches coquillières une résistance supérieure (peut être 50 MPa).

Les failles et l'importance des fractures - entre lesquelles un lien existe probablement représentent la plus importante des facettes en matière d'ingénierie. Plusieurs sondages ainsi que la galerie ont rencontré les zones faillées qui sont consignées dans les carnets de sondage.

Dans ces zones, la roche est en général complètement fragmentée et présente des importantes fissurations irrégulières en direction verticale.

II.I.6.4.5. Marnes

Les marnes sont de couleur bleu-gris lorsqu'elles ne sont pas altérées mais deviennent gris - marron en s'altérant. La majorité des marnes rencontrées au cours des forages était altérée, bien que l'on ait identifié en profondeur des restes de matériau moins altéré. Les marnes semblent être résistante est celle d'une roche très faible.

Fissures, joints et tracs de mouvement tectoniques se présentent couramment sur les surfaces polies et striées. Sur le site du barrage, deux types de marnes se distinguent, marne supérieure et marne inférieure, selon la quantité de gypse présente dans les joints. Les couches de marne supérieure se trouvent approximativement au-dessus de la cote de 45 m. Ce sont des marnes brunes altérées contenant peu ou pas de gypse. En général, la marne inférieure contient beaucoup de gypse.⁴¹

II.I.6.4.6. Stabilité des pentes

L'origine et la signification de la structure géologique de l'appui gauche et des ailes juste en amont du barrage ont soulevé de nombreuses discussions sur la faisabilité de Gargar. Des chercheurs avaient suggéré comme mécanisme responsable la formation de failles et de plis tectoniques. A l'issue des recherches qui viennent d'être achevées récemment il apparaît improbable qu'une explication simple reposant sur un glissement de grande échelle soit justifiée. Selon l'évidence, il y aurait eu rotation de certains blocs entre des failles normales.⁴²

⁴¹ - Abdelhafidh Khettab, Synda Baaziz 2006 ; Mémoire de fin d'étude : « La dynamique fluviale et les risques associés dans le bassin versant de oued l'abiod » Université de Batna.

⁴² - Agence Nationale des Barrages (A.N.B) 2010-2011 ; Données géologiques et hydrogéologiques du barrage Gargar.

II.I.6.5. Fondation du barrage

Au droit du site du barrage, des séquences épaisses de calcaires sont exposées sur les deux appuis au - dessous de 85m environ. Au - dessous de ce niveau, il existe une couverture de dépôts colluvions et de terrasse. Dans l'axe du barrage, le fond de la vallée repose sur quelque 18m d'alluvions graveleuses et sableuses qui recouvrent d'épais dépôts de mêmes du miocène. Ces marnes se prolongent sous le calcaire au voisinage immédiat du site du barrage. Des dépôts alluvions et la terrasse meuble d'une épaisseur maximale de 15m environ s'étendent sous le pied amont du barrage, leur épaisseur atteint probablement 30m sous le pied aval. Les matériaux de terrasse sont des limons et des argiles très peu cimentés dans lesquels on trouve des lentilles et des strates de sables fins, notamment à la partie inférieure. La structure complexe du site peut être expliquée par la présence de deux ensembles de failles normales, très inclinées, orientées Nord-Sud et Est-Ouest qui déterminent probablement le cours de l'oued à travers la gorge de Gargar et qui forment les falaises calcaires escarpées de ce régime. Aux failles, il faut ajouter de nombreux joints

et fractures que l'on remarque surtout dans le calcaire [18,20].

II.I.6.6. Pertes par percolation

En divers points de la fondation sous le barrage et autre de celui-ci, une étude a été effectuée sur les pertes par percolation dans les calcaires en absence du voile d'injection. La conclusion obtenue est que dans ces conditions, les pertes par percolation dans les calcaires devraient être déjà situées dans des limites raisonnables. En effet, à partir de l'écoulement dans sept zones étudiées, en appliquant la formule de **Dupuit** les pertes ont été estimées à $0.3 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ au total [18,13].

II.I.7. Hydrologie

D'après les études antérieures concernant le barrage de Gargar, les apports à prendre en compte sont de 185 hm^3 . Le débit moyen annuel (module) est donc de $5,9 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui correspond à un débit spécifique de $2,48 \text{ l/s/km}^2$ (78 mm/an). Ce débit spécifique est plutôt élevé comparativement à celui du bassin hydrographique régional 01 Chélif qui présente un débit spécifique de 35 mm/an, ou celui du Bas Chélif qui est de 39 mm/an, ou même en comparaison au débit spécifique global de 35 mm/an de la Région hydrographique 02, Chélif-Zahrez.

II.I.7.1. Volume régularisé de la retenue

La capacité totale de la retenue, soit $450 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, assure un volume régularisé de $120 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$. Quatre années sur cinq pour l'irrigation de la plaine du Chélif, en aval du barrage du Gargar. Cette capacité a été établie en fonction à la fois du degré de la sécurité dans la fourniture de l'eau et de la capacité prévue pour l'alluvionnement ($200 \cdot 10^6 \text{ m}^3$).⁴³

II.I.8. Couvert végétal

⁴³ - Agence Nationale des Barrages -Barrage de Gargar, Monographie de barrage Gargar 1989, Relizane.

Le tiers du bassin Gargar est couvert de massifs forestiers. Le deuxième type de couvert qui domine le paysage est constitué de cultures céréalières et fourragères. Cette utilisation agricole couvre presque le quart du bassin et se concentre sur les terres ondulées près du réservoir et au Sud Ouest du bassin. Bien que le couvert forestier domine le paysage, les massifs ligneux s'avèrent beaucoup plus morcèles que les terres agricoles. En effet, des formations de type maquis/garrigue fragmentent ce couvert, particulièrement dans la région Sud-Est du bassin. Une concentration relativement uniforme de forêts peut toutefois être observée près de la limite Est du bassin.

Les formations de type maquis/garrigue et matorral couvrent plus du quart du bassin, soit 17% pour le premier type et environ 9% pour le matorral. En général, ces formations sont localisées entre les terres agricoles et les massifs forestiers. Elles indiquent souvent un stade de dégradation de terres anciennement agricoles qui se régénèrent peu à peu en espèces arborescentes. Il faut d'ailleurs noter que les sols à nu représentent près de 13% du bassin. En général, ce sont des milieux issus de processus d'érosion accélérée, malgré que plusieurs zones représentent un stade de jachère temporaire. La illustre ces caractéristiques et montre de façon plus détaillée les caractéristiques du couvert végétal du bassin versant de Gargar .⁴⁴

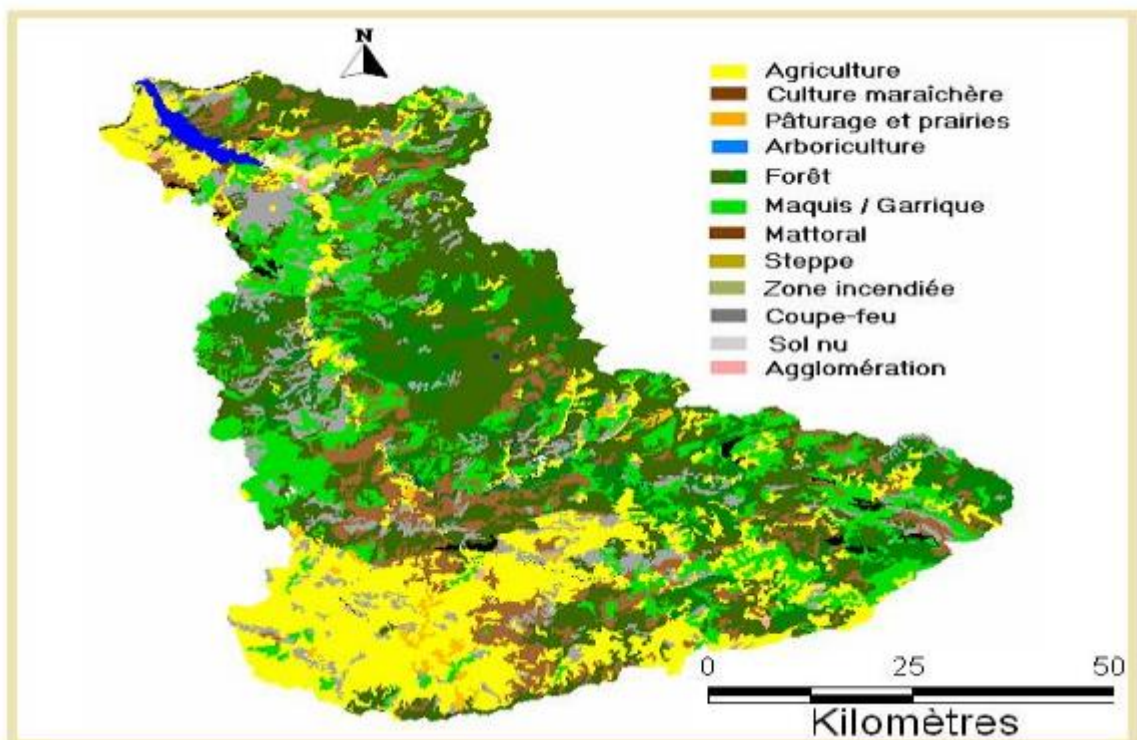


Figure 28 *Carte simplifiée du couvert des terres du bassin de Gargar*⁴⁵

⁴⁴ - Remini Boualem, Christian Leduc Wassila Hallouche, 2009 ; Evolution des grands barrages en régions arides : quelques exemples algérien.

⁴⁵ - Remini Boualem, Christian Leduc Wassila Hallouche, 2009 ; Evolution des grands barrages en régions arides : quelques exemples algérien.

II.2 Barrage de Bouhanifia

II.2.1 Présentation géographique du bassin versant

Le bassin versant de l'oued El Hammam fait partie du grand bassin versant de la Macta. Il s'étend sur une superficie de 7685 km² il prend source dans les hautes plaines semi-arides au Nord des monts de Saida. Il coule de Sud vers le Nord.

Le bassin est limité par les monts de Béni Chougranes au Nord et les massifs de Saida au Sud. Le barrage de Bouhanifia est situé sur l'oued El Hammam et a été mis en eau en 1948.

Le bassin est drainé par l'oued Sefioun à l'Ouest, l'oued Melrir au Centre et l'oued Taria à l'Est, dont les eaux sont recueillies par le barrage de Ouizert. Le barrage est situé près de la localité de Bouhanifia. localise le barrage et son bassin versant. Les coordonnées géographiques du barrage sont : E : 0°24'29" N : 35°59'07".⁴⁶

Le bassin versant de Bouhanifia est compris dans le bassin régional 11, soit le Macta, de la région hydrographique 01 Oranie. L'oued principal a une pente moyenne de 5,52 m/km. La densité de drainage du réseau hydrographique est de 2,24 km/km², caractéristique d'un réseau hydrographique peu dense.

L'ouvrage, qui doit son nom au village de Bouhanifia situé en amont de l'oued El Hammam (Nord –Nord-Est). à 3 km en amont du village de Bouhanifia; à 22 km au Sud -Ouest de Mascara et à 56,2 km à l'amont du barrage de Fergoug sur l'oued El Hammam, c'est un ouvrage type réservoir à régulation inter annuelle pour l'irrigation de la région de Hacine ,Mohammadia ,Oran et Arzew .⁴⁷



⁴⁶ - Agence Nationale des barrages (A.N.B) 2004 ; Etude de la protection des bassins versants de l'ensemble des barrages en études d'Avant Projet Détaillé (lots nos 1 à 4) et des bassins versants des barrages en exploitation (Bouhanifia, Ouizert, Fergoug).

⁴⁷ - Boutine Faiza et Messiouen Hind 2003-2004 ; Réhabilitation du réseau d'auxultation du Bouhanifia.

Figure 29 *Vue générale du barrage Algérien de Bouhanifia*

(Photos. Ouadja Abid ,23 /06/2011).

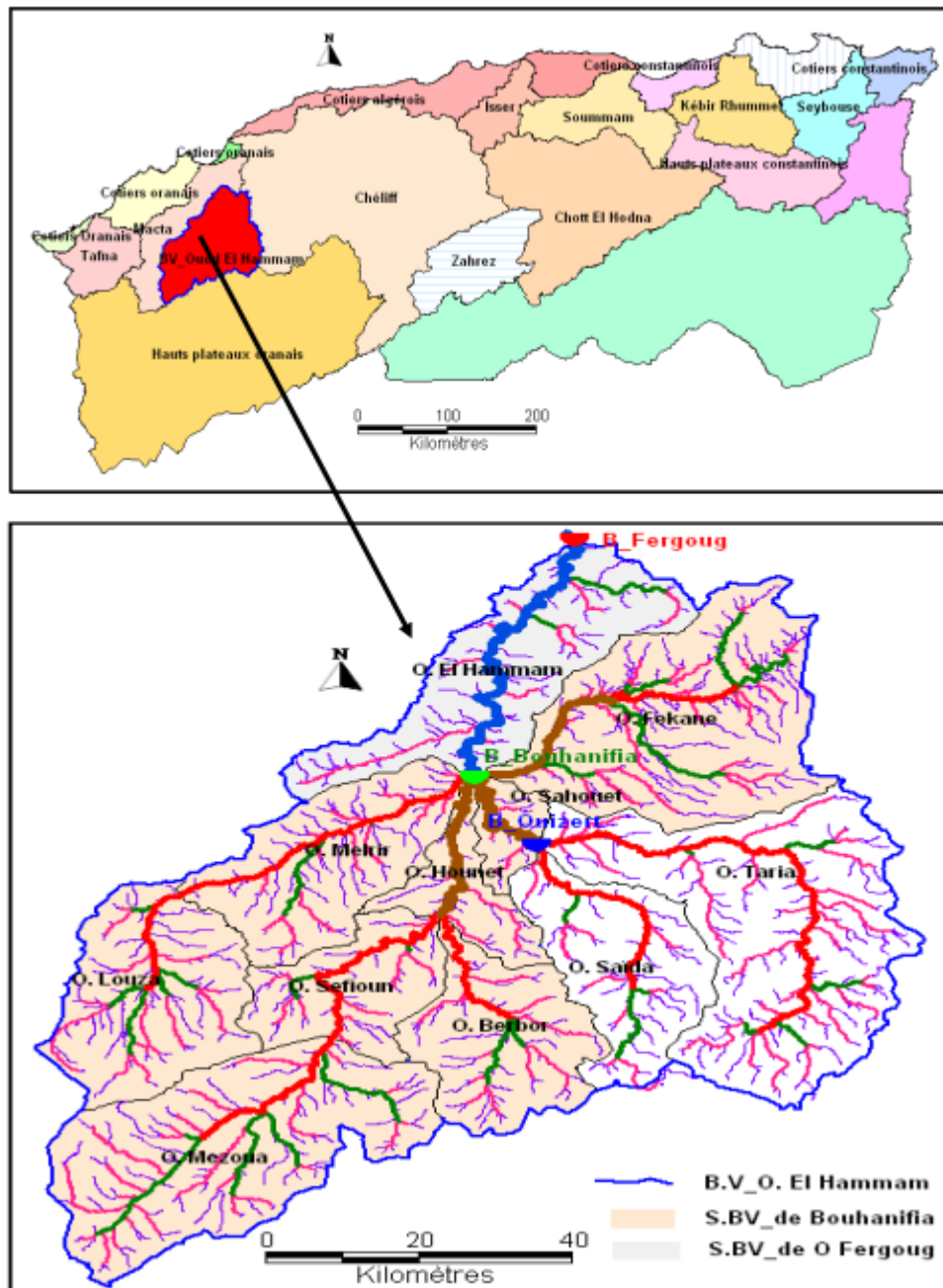


Figure 30 *Situation géographique du barrage de Bouhanifia.*

II.2.2 Topographie et paramètres physiographiques

Le bassin de Bouhanifia couvre une superficie de 5 566 km² et un périmètre de 520 km. La pente moyenne du bassin n'est que de 8%. Cette valeur s'explique par la très forte proportion

de replats, de coteaux ondulés et de hauts plateaux.⁴⁸

Comme ces unités sont bordées de collines et de massifs montagneux importants, la dénivelée maximale des terres atteint ainsi une valeur supérieure à celles des autres bassins.

En effet, les terres s'étendent de 275 m à 2 033 m, ce qui représente une dénivelée maximale de 1 758 m. La dénivelée des terres principales est beaucoup moins importante, n'atteignant que 783 m. Le bassin de Bouhanifia possède une forme allongée et dotée de nombreuses concavités. Ce type de géométrie produit un indice de circularité de seulement 0,51.

Voici un résumé des principales caractéristiques physiographiques du bassin versant:⁴⁹

- Superficie du bassin versant : 5 566km²
- Périmètre du bassin versant : 520km
- Longueur du rectangle équivalent : 237m
- Largeur du rectangle équivalent : 23 m
- Indice de compacité de Gravelius (KG) : 2,0
- Dénivelée moyenne (Fournier) : 502m
- Dénivelée spécifique (H5% - H95%) : 783m
- Pente moyenne du bassin : 7,5 m/km
- Indice de pente global (IG) : 3,3
- Pente moyenne de l'oued principal : 5,5 m/km
- Densité du drainage : 2,2 km/km²

II.2.3 Retenue du barrage de Bouhanifia

Barrage	Bouhanifia
Wilaya	MASCARA
Oued	EL-HAMMAM
Type	ENR.
Année Mise En Eau	1948

⁴⁸ - Agence Nationale des barrages (A.N.B) 2004 ; Etude de la protection des bassins versants de l'ensemble des barrages en études d'Avant Projet Détaillé (lots nos 1 à 4) et des bassins versants des barrages en exploitation (Bouhanifia, Ouizert, Fergoug).

⁴⁹ - Agence Nationale des barrages (A.N.B) 2004 ; Etude de la protection des bassins versants de l'ensemble des barrages en études d'Avant Projet Détaillé (lots nos 1 à 4) et des bassins versants des barrages en exploitation (Bouhanifia, Ouizert, Fergoug).

Cote R.N	295
Capacité .Initiale Hm ³	73
Capacité .Dernier Levé(2004)	38,11
Surface B.V Km ²	5566
Apport Moy-Ann Hm ³ /An	80
Envase. Annuel Hm ³ /An	0.78
Volume Régula, Hm ³ /An	TRANSF.
Destination	Transfert (Fergoug - AEP - Hacine)

II.2.4 Éléments du barrage

II.2.4.1 La Rivière

La rivière étant oued El Hammam avec une superficie du bassin versant de 7685Km².

II.2.4.2 La Reserve

Cote normale de la retenue étant 295m avec une capacité initiale de 73Hm³.

II.2.4.3 Le Barrage

Le barrage étant en enrochement armés avec masque étanche en béton bitumineux (2 couches de 6cm d'épaisseur dont une armée) dispose sur le parement amont de revêtement de protection en béton armée sur le masque étanche. Les enrochements reposent sur un filtre de protection cloisonné (5couches successives de matériaux de plus en plus gros) destiné à éviter l'érosion régressive en cas de résurgence se produisant dans le massif.⁵⁰

Des tuyaux visitables évacuent vers l'aval les eaux qui traversent le filtre.

- ❖ Cote de la crête du barrage = 300m
- ❖ Hauteur maximum=53m
- ❖ Longueur en crête = 464m
- ❖ Largeur au sommet de la crête = 5m
- ❖ Largeur maximum a la base de crête =137m
- ❖ Cube des enrochements =750000m³

⁵⁰ - Agence Nationale des Barrages -Barrage de Bouhanifia., Monographie de barrage Bouhanifia.

II.2.4.4 Ouvrages d'étanchéité dans le sol

Les ouvrages sont constitués par:

Un mur parafouille en béton de 4m de larguer, disposé devant le barrage et s'enfonçant dans le terrain à des profondeurs variant de 19 à 72m. Ce mur se termine à sa partie supérieure par un épaissement dans lequel sont aménagés deux galeries de visite, de drainage, de contrôle et de travail.

Des écrans principaux et secondaires réalisés au moyen d'injections de ciment et de produits chimiques complétant le mur parafouille et s'enfonçant latéralement dans les berges pour s'opposer aux contournements de l'ouvrage par les eaux.

II.2.4.5 Ouvrage de dérivation

Les eaux de la rivière ont été dérivées par deux canaux souterrains de 297.5m et de 344.45m de longueur capable de débiter chacun 500 m³/s avec une revanche de 0.5m sous la clef. Le canal souterrain Nord est aménagé pour la vidange de fond et son entrée est fermée par deux vannes de garde et deux vannes de décharge.

Le canal souterrain sud est aménagé pour la prise d'eau d'irrigation avec une conduite forcée qui alimente une usine électrique installée à la sortie du canal souterrain.

II.2.4.6 Digue en terre

Une digue en terre de 1Km de longueur et de 20m de hauteur maximum ferme un col aplati existant à l'Ouest des ouvrages de dérivation.

II.2.4.7 Ouvrage d'évacuation de la crue

L'évacuateur de crue est caractérisé par :

- Débit de la crue maximum admise 6000m³/s
- 5500 m³/s pourraient être évacués par le déversoir de 80m de largeur et son canal de fuite de 1425m de longueur de profil semi-circulaire de 22m de rayon.
- 500m³/s par le canal souterrain Nord (aménagé en vidange de fond) et un canal de fuite de 317m de longueur, à profil semi-circulaire de 15m de rayon.
- Le déversoir à profil creager est muni de vannes constituées par des volets rabattants (16 volets de 5m).
- Le canal de fuite du déversoir et celui de la vidange de fond aboutissent à une chambre d'amortissement circulaire de 100m de diamètre intérieur, construite dans le lit de l'oued El Hammam.

II.2.4.8 Caractéristiques hydrologiques

- Capacité initiale : 73hm³

- Capacité utile (1982) : 48hm³
- Capacité dernier levé (2004) : 38.11hm³
- Apport moyen annuelle : 80hm³
- Envasement: 0.73 hm³/an
- Surface du bassin versant: 5566Km²

II.2.4.9 Destination

- Alimentation en eau potable des couloirs Bouhanifia -Hacine ; Bouhanifia-Sfisef et Bouhanifia-Mascara.
- Transferts des eaux vers le barrage de Fergoug
- Irrigation du périmètre de Hacine.
- L'apport durant l'année 2008 : 80.711hm³.
- Le volume actuel mobilisé : 37.23hm³.⁵¹

II.2.5 Caractéristiques générales du barrage

La perméabilité des terrains du barrage a nécessité la construction d'un mur parafouille ancre dans les marnes miocènes, ce mur parafouille n'assure par le relais complet entre le massif d'enrochement et la marne miocène, l'examen d'un profil en long de l'ouvrage a montré qu'il existait aux ailes du barrage deux larges passages à travers les terrains perméables en Pontien : des rideaux d'injection ont pour rôle d'obturer au mieux ces zones de fuites possibles, afin de parer à tout entrainement de matériaux (sable de la fondation).

II.2.6 Caractéristiques de la région d'étude

II.2.6.1 Le climat

En général le bassin versant d'oued EL Hammam suit l'influence méditerranéenne au Nord et continentale au Sud, ou le climat est semi aride et sec avec des hivers froids et des étés chauds. Il est important d'étudier les paramètres climatiques pour déterminer en grande partie le comportement hydrologique des cours d'eau et pour expliquer quantitativement les variations des composants du régime hydrologique.

II.2.6.2 Pluviosité

Les conditions climatiques jouent un rôle déterminant dans le régime d'un cours d'eau, en effet les précipitations agissent directement dans l'alimentation de l'écoulement du bassin versant de l'oued EL Hammam.

Malgré que la moyenne pluviométrique soit plus loin de la réalité climatique, sa

⁵¹ - Agence Nationale des barrages (A.N.B) 2004 ; Etude de la protection des bassins versants de l'ensemble des barrages en études d'Avant Projet Détaillé (lots nos 1 à 4) et des bassins versants des barrages en exploitation (Bouhanifia, Ouizert, Fergoug).

connaissance est nécessaire pour l'étude d'abondance des cours d'eau, elle permet également d'étude de variabilité des précipitations en fonction d'observation.

II.2.6.3 Températures

La répartition géographique des températures du bassin versant montre aussi bien pour les extrêmes que pour les moyens deux contrastes thermiques remarquables séparés par un seuil orienté Sud-Ouest : Nord-Est, la température moyenne du bassin versant d'oued El Hammam est d'environ 15.8°C.

Les températures moyennes mensuelles et annuelles agissent directement sur le climat en interaction avec les autres facteurs météorologiques.

Le tableau(II.II.1), présente les températures mensuelles minimales (m), mensuelles moyennes et mensuelles maximales (M) de la station de Bouhanifia.

Tableau 10 *Présentation des températures de la station de Bouhanifia.*

	Sep	Oct	Nov	Des	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout
T min	14.6	7	6	3.5	3.7	3.4	4.4	7.1	11,8	14,6	17.5	11.7
T max	32.1	31.4	23.9	19.9	18.7	20.8	24	24.3	32.1	35.4	37.6	37.5
T moy	23.35	19.2	14.95	11.07	10.57	11.56	14.2	15.7	21.95	25	27.55	24.6

Source : ANRH

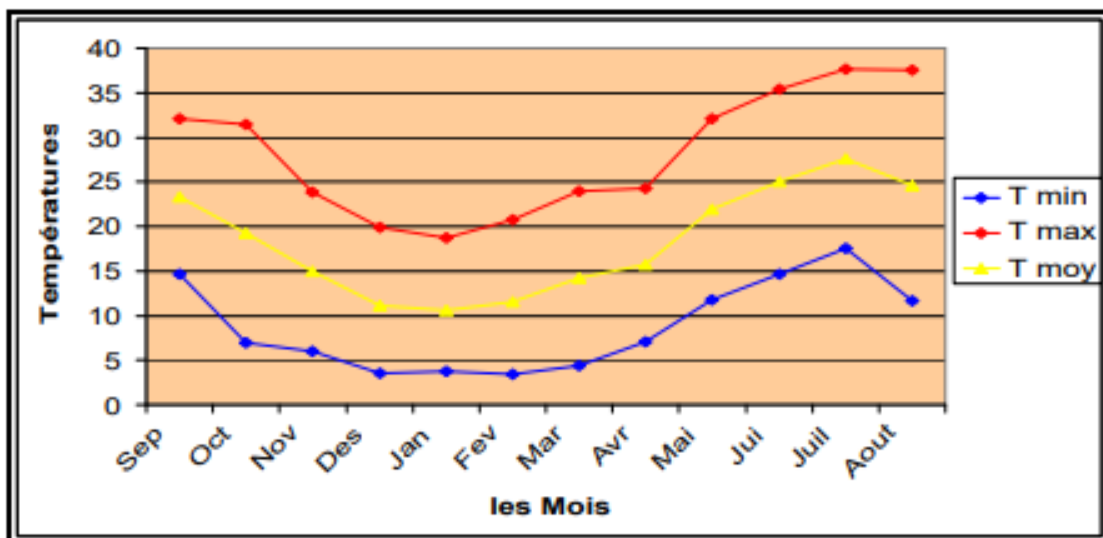


Figure 31 *La variation des températures en fonction du temps.*

II.2.6.4 L'humidité

C'est la quantité de vapeur d'eau contenue dans un certain volume d'air .Elle est représentée par l'humidité relative qui est considérée comme l'un des éléments essentiels du cycle hydrologiques source de toute les précipitations, elle contrôle pour une large part les taux d'évaporations et la couverture végétale.

La répartition de l'humidité relative du bassin versant aux époques critiques froides et chaudes se caractérise par une décroissance régulière du Nord vers le Sud ; avec un rayon élevé sur les montagnes (Mascara, Tighennif) et dans les régions de vallée d'air froid (Ain Faress, Sfisef).

II.2.6.5 Le vent

La connaissance de la direction, de la force et de la fréquence des vents est importante, les vents observés à 7 h sont de secteur Ouest pratiquement toute l'année, à 13h, ils sont de secteur Nord de Mai jusqu'en Octobre et Ouest et Nord-Ouest le reste de l'année .A 18 h, ils sont de secteur Nord toute l'année. Les vents les plus forts sont observés au cours du printemps.

Le vent le plus dominant à Saida est celui de Sud quel que soit le mois ou l'heure de la journée.la force du vent est également constante tout au long de l'année, relativement faible au moyenne, rarement violente.

Les brises vent ne se justifient dans la région que pour la protection des périmètres irrigués.

Tableau 11 *Présentation des variations de vitesses du vent*

	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03
Max	14.32	9.91	7.51	14.97	10.89	17.48	19.81	15.19	16.73	15.64
Min	1.13	0.70	0.33	0.31	0.42	0.33	0.97	0.70	0.25	0.01
Moy	2.87	4.12	2.15	3.02	3.14	4.12	3.73	4.19	3.75	3.07

Source : ANRH

II.2.6.6 Les gelées

La situation géographique particulière de la région contribue à aggraver le risque des gelées qui présente un problème important dans la région étudiée.⁵²

II.2.6.7 Hydrologie

L'étude hydrologique est considérée comme base de départ pour tout calcul d'un ouvrage hydrotechnique. L'hydrologie est technique importante de l'art de l'ingénieur intéressé à

⁵² - Aribi Soufiane Tayeb. 1995-1996 ; Tassement et consolidation des vases superficielles du barrage de Bouhanifia.

l'exploitation et au control des ressources naturelles en eaux. Elle peut être définie comme étant la science qui étudie le cycle de l'eau dans la nature et l'évolution de celle-ci à la surface de la terre et dans le sol.

II.2.6.7.1 Etude du régime des apports

Les apports de l'oued El Hammam sont connus sur 24 années consécutives, l'apport annuel moyen sur ces années est de 51.680 millions de m³ l'apport le plus faible est de 14,64 millions de m³ ; à titre de comparaison signalons qu' au barrage de Ghrib où l' on a un apport du même ordre de grandeur le débit mesuré le plus faible n'a pas atteint 20 millions de m³ .L'oued El hammam à

Bouhanifia à un apport sensiblement plus régulier que les autres oueds, les hydrologues l'expliquent par l'existence d'une nappe souterraine dans les calcaires de la région de Saida. En examinant les valeurs des apports mensuels pour les années les plus sèches, on arrive à distinguer les apports qui viennent de la nappe de ceux provenant des faibles pluies qui sont tombés ces années là, sans vouloir prétendre à une précision excessive dans cette distinction on peut estimer ainsi les apports minimums.

Sep	Oct	Nov	Des	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Total
2.9	3.5	5	6	6	5	5	4	3.5	2.5	2.3	1.7	47.4

Tableau 12 Les apports mensuels pour les années plus sèches de l'oued El Hammam.

Source : ANBT- barrage Bouhanifia

II.2.6.7.2 Régulation des apports

On appelle débit régularisé garanti la quantité d'eau que peut fournir le barrage neuf années sur dix avec cette condition supplémentaire que les années ou on ne peut pas fournir toute l'eau demandée, donc une année sur dix, on puisse en fournir au moins 80%. Pour une capacité de 52.5 hm³ évaluait à 89 hm³ le débit régularisé garanti au pied du barrage de Bouhanifia .Mais en raison des pertes dans l'oued entre Bouhanifia et Fergoug (estimés a 12% des lâchées) le débit utilisable apporté par le barrage de Bouhanifia est de 78 hm³.⁵³

II.2.7 Géologie

II.2.7.1 Travaux de recherches- caractéristiques géologiques

Etant donné l'urgence de la réalisation du barrage-réservoir de Bouhanifia, les travaux ont commencé sans études préliminaires, ni travaux de reconnaissances géologiques et le peu des résultats dont disposaient les ingénieurs, se sont révélé insuffisants.

C'est au cours des travaux que l'étude géologique à peut être faite dans des conditions d'observations favorables : profondes, excavations, nombreux puits. , galeries et plus de 3000

⁵³ - Agence Nationale des Barrages -Barrage de Bouhanifia., Monographie de barrage Bouhanifia.

mètre de forages.⁵⁴

D'après **A.FALCONNIER** et **LOMBARD** (Bull-Lech-Suisse-Romande 1942) La description géologique de la région du barrage, est suivante :

- a-Soubassement marneux tertiaire.
- b-Complexe gréso-marneux Pontien.
- c-Alluvions quaternaires anciennes et modernes.

L'épaisseur respective de ces divers terrains est de quelques centaines de mètre pour le soubassement marneux, de plus de 200m pour le Pontien est très variable pour les dépôts quaternaires.

Leur répartition est schématiquement la suivante : La région du barrage, le cours de l'oued El Hammam à l'amont de ce dernier et celui du Chabet Sidi Sahnoun est intéressée par tous ces terrains, mais principalement par le complexe Pontien.

Au Nord de cette région, les plateaux qu'entaillent les affluents rive gauche de l'oued El Hammam soit l'oued Mecil, Chabet, El Haraig, Ghabet El Guendoul, ainsi que le cours aval de l'oued El Hammam, sont formés par des terrasses quaternaires d'alluvions anciennes ou modernes reposant directement sur le soubassement marneux tertiaires, le Pontien ne forme plus dans cette région que des buttes-témoins isolées telles que celle du djebel Rakhmoun El Kebir.



Figure 32 *Image Satellitaire du bassin versant de Bouhanifia.*⁵⁵

⁵⁴ -Agence Nationale des Barrages -Barrage de Bouhanifia., Monographie de barrage Bouhanifia.

⁵⁵ -T.A.D Consult, 2005 ; Etude relative a la caractérisation et a la délimitation des zones de montagne et des massifs montagneux : « massif des Béni Chougrane-phase III ».

II.2.7.2 Stratigraphie

La stratigraphie de la région du barrage se compose de la façon suivante :

A-le soubassement marneux tertiaire, d'abord attribué à l'éocène ; correspond en réalité aux marnes du « miocène inférieur marin » qui sont constituées par un dépôt bathyal consolidé ayant subi des fortes compressions, en profondeur, ces marnes se présentent comme une roche très cohérente et homogène, la teneur en eau est en moyenne de 12%, la résistance à l'écrasement varie de (45 à 130 Kg/cm²), le module d'élasticité entre (0 et 30) kg/cm².

B-le complexe gréso-marneux : (oligocène de la carte géologique) est le « miocène continental » à faune pontienne.

Les différents niveaux découverts à l'aplomb du barrage sont données par **FALCONNIER** et **LOMBARD** dont un résumé de la coupe suivante:

Zone(I): Sableuse avec lentilles de grés et niveaux argilo-sableux discontinus, épaisseur maximum 54 m (rive gauche), épaisseur minimum 16 m (rive droite).

Zone (II) : Argilo-sableuse avec lentilles des sables et grés, épaisseur maximum 18 m (rive droite), épaisseur minimum 6 m (rive gauche).

Zone (III) : Sableuse avec lentilles de marnes gréseuses, épaisseur maximum 10m sur les rives, épaisseur minimum nulle dans le thalweg.

Zone (IV): Marno-gréseuse avec lit inter stratifié continu de marne micacées stéariques au dessus duquel se trouve le niveau fossilifère à « Hélix », épaisseur maximum 22m (rive gauche), épaisseur minimum 16m (rive droite).

Zone (V) : Gréso-marneux avec mur, un lit discontinu de poudingues sableuses de 18m d'épaisseur maximum, et un niveau lenticulaire de sables en rive droite, avec plusieurs niveaux de montmorillonite, l'épaisseur maximum 52 m (rive droite), épaisseur minimum 36 m (rive gauche) **Zone (VI) :** Gréseuse et Marno-gréseuse avec niveau à Hipparion et forme pontienne à 150 m au dessus du toit des marnes marines du miocène inférieur.

C -les alluvions de l'oued « anciennes et modernes » appartiennent à différents niveaux du quaternaire.

Les formations n'intéressent l'emplacement de l'ouvrage principal que par les déblais qu'elles ont exigés, 6m environ de sables et graviers dont le lit de l'oued, une épaisseur de même ordre. En rive gauche, niveau de la terrasse plus de 20 m (cote 270). Une terrasse ancienne (cote 300) a dû être entaillée lors de la construction de canal de fuite du déversoir, elle constitue le plateau qui coupe le ravin de Guendoul, ainsi que celui des oueds El Haraig et Mecil, sa constitution et son épaisseur sont très irrégulières, elles comprennent des fosses consolidées : grés, poudingues, tufs et des lits sableux et argileux avec ou sans galets.

II.2.7.3 Tectonique

Les accidents tectoniques principaux ayant affecté la région du barrage sont les suivants : ❖

La faille Nord : est l'élément dominant de celle tectonique locale, elle est inclinée de 60°

vers le Sud au Nord Ouest de l'aile gauche du barrage on le rejet atteint 120 m, elle s'atténue vers l'Est et devient indiscernable dans le thalweg de l'oued El Hammam en aval du barrage, en rive droite, on la retrouve à nouveau avec un rejet de 40m.

La conséquence pratique de la présence de cette faille à l'aval du barrage, la formation d'un talus imperméable de 40 à 120m de hauteur.

- ❖ La faille Sud : est inclinée de 40° vers le Nord, son rejet atteint 35m, elle est brusquement limitée vers l'Est par la faille I, mais provoque jusque là, la présence d'une crête imperméable qui a fourni au mur parafouille une assise homogène et étanche.
- ❖ La faille I : s'atténue vers le Nord, elle est quasi nulle à son intersection avec la faille Nord, mais reprend plus en aval avec un rejet de 20 m surélevant toujours le compartiment Est par rapport au compartiment Ouest.
- ❖ Les autres failles: d'autres accidents moins importants sont conséquences notables sur le fonctionnement du barrage. Les principales failles sont : la faille II, au pied de la faille Sud très inclinée vers le Sud-Est, et la faille III qui casse en diagonal le compartiment effondré avec un rejet au Nord-Ouest.⁵⁶

II.2.8 Données géotechniques

L'hétérogénéité du socle Pontien et la souplesse des marnes miocènes bannissait tout projet de barrage rigide, on pouvait choisir entre un barrage en enrochements et une digue en terre, l'existence d'une excellente carrière au Rakhmoun El Kebir, à 5km du barrage a fait prévaloir la solution « enrochement ».

La perméabilité des terrains Pontien à l'aplomb du barrage a nécessité la construction d'un mur parafouille ancré dans les marnes miocènes, le tracé de ce mur a été conditionné par la topographie souterraine du toit des marnes qu'il fallait rejoindre au moindre prix.

La souplesse du substratum a fait adopter un mur articulé fait de panneaux de (15/20) m de longueur.

Ce mur parafouille n'assure par le relais complet entre le massif d'enrochement et la marne miocène, l'examen d'un profil en long de l'ouvrage montre qu'il existe aux ailes du barrage deux larges passages à travers les terrains perméables en Pontien: des rideaux d'injection ont pour rôle d'obturer au mieux ces zones de fuites possibles.⁵⁷

II.2.9 Les travaux d'injection et d'étanchement

Le mur parafouille n'assurant pas partout le relais complet entre le massif et la marne miocène, des écrans d'injections furent disposés pour s'opposer au contournement par les eaux souterraines ou au moins pour ralentir leur vitesse de circulation;

Pour éviter la perforation de terrains stériles au-dessus du niveau de la retenue, les écrans

⁵⁶ - Agence Nationale des barrages (A.N.B) 2004 ; Etude de la protection des bassins versants de l'ensemble des barrages en études d'Avant Projet Détaillé (lots nos 1 à 4) et des bassins versants des barrages en exploitation (Bouhanifia, Ouizert, Fergoug).

⁵⁷ -Boutine Faiza et Messiouen Hind 2003-2004 ; Réhabilitation du réseau d'auxultation du Bouhanifia.

ont été attaqués, sur chacune des rives, à partir de galeries situées sensiblement au niveau du plan maximum.

Sur la rive gauche droite, une deuxième galerie, située à la cote 255, partage en deux la hauteur de l'écran qui se raccorde au talus miocène ;il comprend un écran principal qui descend jusqu'au substratum et s'étend du mur de pied (qu'il complète vers la base) à la lèvre aval da la faille Nord ,et un écran secondaire qui s' étend de l'ancrage R.G en direction aval ,suivant sensiblement la courbe de niveau de la retenue normale ,sur une longueur de 130m.

En rive droite, renonçant à raccorder l'écran au talus marneux de la lèvre aval de la faille Nord, l'écran principal est poussé profondément dans le flanc de la vallée (300 m environ) et descendu jusqu'à la marne miocène; cet écran fut complété dans les couches les plus dangereuses par des forages rayonnants injectés à partir d'un puits creusé ultérieurement.

Un écran secondaire place le long d'une courbe de niveau 300 renforce l'action de l'écran principal et en comble l'éventuelle imperfection.

Les sondages ont été exécuté par rotation, au diamètre de 45 à 85 mm, leur écartement varie de 1.50 m à 4.0 m selon la perméabilité des terrains à traiter; l'injection à été effectuée par passes descendantes de 3 à 4 m ; la longueur des forages atteint 62 350 m dont (3500 m dans le béton) pour 97000 m² d'écrans traités.

Les produits injectés sont le ciment dans les zones à large fissuration (grés, diaclases, poudingues ...) et le silicate de soude pour les terrains à fine porosité (sables et grés poreux).⁵⁸

II.2.10 Etanchéité de la cuvette

De nombreuses petites sources qui existaient aux abords du barrage à l'emplacement de la cuvette de la retenue avant la construction du barrage, se manifestèrent au cours des fouilles : la principale, dite « Source aval» N°III à été canalisée.

A ces circulations souterraines d'origine profonde en raison des cassures de la région, viennent s'ajouter les eaux d'infiltration de la retenue au travers des terrains de la fondation et principaux organes d'étanchement :

- Sols perméables et écran d'injection.
- Mur de pied en béton.
- Masque amont en béton bitumeux.

II.2.11 Couvert végétal

Le bassin de Bouhanifia est utilisé en majorité à des fins agricoles. En effet, environ 46% des terres sont couvertes de grandes cultures. Les terres en pâturage augmentent cette proportion de 2%. Les massifs forestiers couvrent près du quart du bassin en se concentrant sur les versants montagneux.

⁵⁸ -Boutine Faiza et Messiouen Hind 2003-2004 ; Réhabilitation du réseau d'auxultation du Bouhanifia.

Une mosaïque de maquis/garrigue, matorrals et steppes complète le paysage, particulièrement aux abords des massifs forestiers, ainsi que dans la pointe Sud-Ouest du bassin. En fait, les formations de maquis/garrigue, de même que le matorral représente, chacun, 10% du territoire. Bien que les steppes couvrent moins de 3%, leur présence est notable car elles sont concentrées en un îlot relativement uniforme.

La **figure (II.III.6)**, montre de façon plus détaillée les caractéristiques du couvert végétal du bassin versant de Bouhanifi **Fig.II.II.6. Carte simplifiée du couvert des terres du bassin de Bouhanifia.**

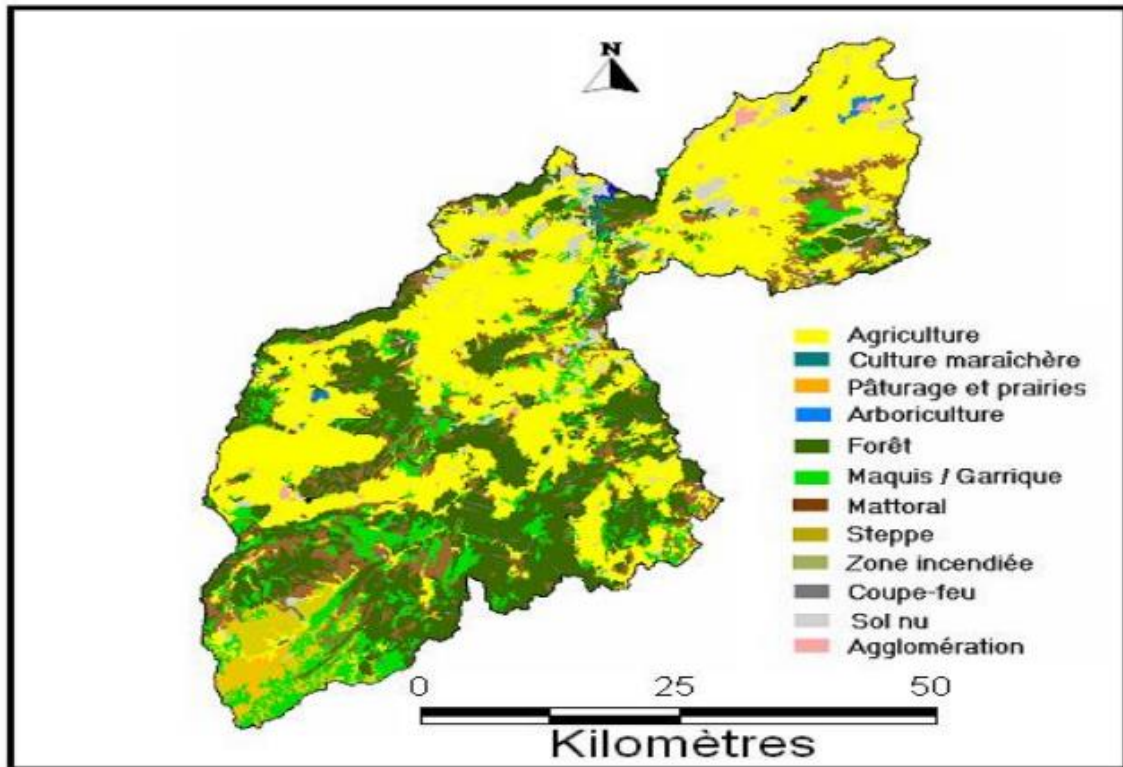


Figure 33 Carte simplifiée du couvert des terres du bassin de Bouhanifia.

Conclusion

L'étude de la région d'étude, nous a permis de faire les conclusions suivantes:

- Le barrage de Gargar est situé dans la wilaya de Relizane, à 5 km au Sud-Ouest de la ville de oued Rhiou et à peu près à 3 km en amont du pont de la Route Nationale W 4 sur l'oued Rhiou avec un climat semi aride. En effet, le barrage de Gargar a été implanté sur un substratum constitué de terrains miocènes qui sont, de bas en haut essentiellement gréseux et marneux, et calcaire. Les roches meubles existantes dans la région du site sont divers et comprennent des éboulis graveleux, couche d'altération sableuse et argileuse du terrain de alluvions, vases récentes, calcaires.

- L'ouvrage, qui doit son nom au village de Bouhanifia situé en amont de l'Oued El Hammam (Nord –Nord-Est). à 3 km en amont du village de Bouhanifia; à 22 km au Sud - Ouest de Mascara et à 56,2 km à l'amont du barrage de Fergoug sur l'oued El Hammam, c'est un ouvrage type réservoir à régulation inter annuelle pour l'irrigation de la région de Hacine, Mohammadia, Oran et Arzew.

- Le Barrage de Ouizert situé au Sud-Ouest de la ville de Mascara est l'un des barrages fortement sujets à ce problème et sa perte de capacité est en évolution à cause de l'augmentation des fuites d'eau. En effet, le barrage de Ouizert a été implanté sur un substratum constitué de couches légèrement inclinées (5° - 10°) d'une épaisseur de quelques mètres et composé d'une masse rocheuse formée de marnes, grès, poudingues, calcaires, colluvions et alluvions. D'après les travaux de reconnaissances géologiques, la couche de calcaire dont l'épaisseur est estimée à 5m environ est très fissurée représentant ainsi l'écoulement privilégié aux eaux souterraines. Malgré le voile d'étanchéité qui a été réalisé le long de l'axe de la digue et qui a permis la suppression des fuites d'eau en rive droite, le problème des pertes d'eau à travers la rive gauche du barrage vers l'aval demeure toujours.

- Le barrage de Fom El Gherza est situé au Sud de l'Atlas Saharien à environ 18 Km à l'Est de la ville de Biskra. C'est un barrage de type voûte et culée en béton de capacité initiale égale à 47 Hm^3 destiné principalement à l'irrigation des palmeraies de Sidi-Okba, Seriana, Garta et Thouda. Pour des conditions climatiques normales, avec une pluviométrie annuelle moyenne de 355 mm (sur l'ensemble du bassin versant, 1300 Km^2), l'ouvrage régule l'écoulement de l'oued El-Abiod avec un apport annuel en eau de 13 Mm^3 . Les composantes naturelles représentent des caractéristiques d'une zone semi-aride favorable à une érosion accentuée : pentes raides, couvert végétal dégradé et des pluies plus ou moins torrentielles et irrégulières. Ce qui engendre des pertes de sols de l'amont vers l'aval où on est face à un grand problème qui est l'envasement du barrage.

Les barrages étudiés sont fortement sujets à ce problème et sa perte de capacité est en évolution à cause de l'augmentation des fuites d'eau, de l'évaporation et de l'envasement.

Chapitre 03

III. Chapitre 3 caractéristiques générales du barrage de ain kahla(krada)

III.3 INTRODUCTION

Pour satisfaire les besoins en eau potable et industrielle du couloir Mostaganem - Arzew - Oran (MAO) très déficitaire, le Plan Directeur de la région d'Oran (1983-1984) envisageait l'utilisation des ressources disponibles dans le bas Cheliff, moyennant la construction d'un système de transfert de grande capacité. Une partie de la ressource devait également permettre de satisfaire les besoins du périmètre d'irrigation de Mostaganem et de Bordjias-Habras.

Les études préalables ont montré que le transfert à partir du Chélif d'un volume de l'ordre de 155 hm³/an était envisageable. Cependant, la grande irrégularité des apports prévus au site de dérivation nécessite une capacité de stockage suffisante capable de régulariser les apports et de garantir la satisfaction des besoins.

La création d'une telle capacité de stockage sur le Chélif lui-même s'est avérée impossible pour des raisons économiques, techniques et sociales.

Plusieurs sites ont été envisagés, dont le site de Sidi Hadjel sur l'oued El Kheir. Des études d'Avant-Projet Détaillé ont été menées à leur terme, mais en raison de difficultés sociales (forte occupation humaine) et économiques (inondations de terrains agricoles) le projet fut abandonné.

Un schéma alternatif a été envisagé, basé sur un barrage de stockage à construire sur l'oued Kerrada. Cependant, les caractéristiques du site de Kerrada sont nettement moins favorables que celles de Sidi Hadjel et limitent la capacité de stockage aux seuls besoins en eau potable et en eau industrielle du couloir MAO.

Le principal objectif du système de transfert Chélif-Kerrada-STE (Station de Traitement d'Eau) et de l'adduction MAO sera donc de dériver l'eau du Chélif, la stocker temporairement à Kerrada, puis la transférer régulièrement, après potabilisation en fonction de la demande, vers les centres urbains et industriels le long du couloir Mostaganem- Arzew-Oran.

Les études réalisées ont montré que les apports disponibles au site de prise seront certainement suffisants pour satisfaire la demande prévue en eau potable et industrielle estimée à 155 hm³/an. Ce volume régularisé ne considère par les apports complémentaires des retenues en amont comme celle de Ain kahla.⁵⁹

système de transfert et d'adduction est composé par les ouvrages suivants :

- Barrage de dérivation sur l'oued Chélif, créant un retenue de capacité totale 50 hm³ dont 20 hm³ utile,
- Barrage de stockage de Kerrada créant une retenue de 70 hm³ de capacité totale dont 65 hm³ utile,
- Station de pompage du Chélif, avec capacité total de 9,50 m³/s, Adduction (refoulement) Chélif - Station de Traitement d'Eau, avec une capacité de 6,5 m³/s et 6,7 km de longueur Barrage du Chélif et adduction Chelitt-STE
- Adduction (réversible refoulement / gravitaire) Chélif Kerrada avec une capacité de 9,5 m/s (en pompage lorsque lorsque Kerrada est à Niveau bas) et 8,7 km de longueur,
- Station de traitement d'eau de Sidi Hadjel avec capacité de 6,5 m³/s,

⁵⁹ - Le méga projet MAO entre en service. Sur reflexiondz.net

- Adduction MAO avec capacité de 6,5 m/s et 88,5 km de longueur en gravitaire depuis la Station de Traitement d'Eau, permettant l'alimentation des principales villes situées sur le couloir Mostaganem-Arzew - Oran
- Réservoirs de distribution à l'entrée des villes de Mostaganem et d'Oran, avec une capacité de stockage de 120 000 m³ à l'entrée de Mostaganem et 300 000 m³ à l'entrée d'Oran



Figure 34 Implantation de l'aménagement



Figure 35 Plan de situation de l'aménagement

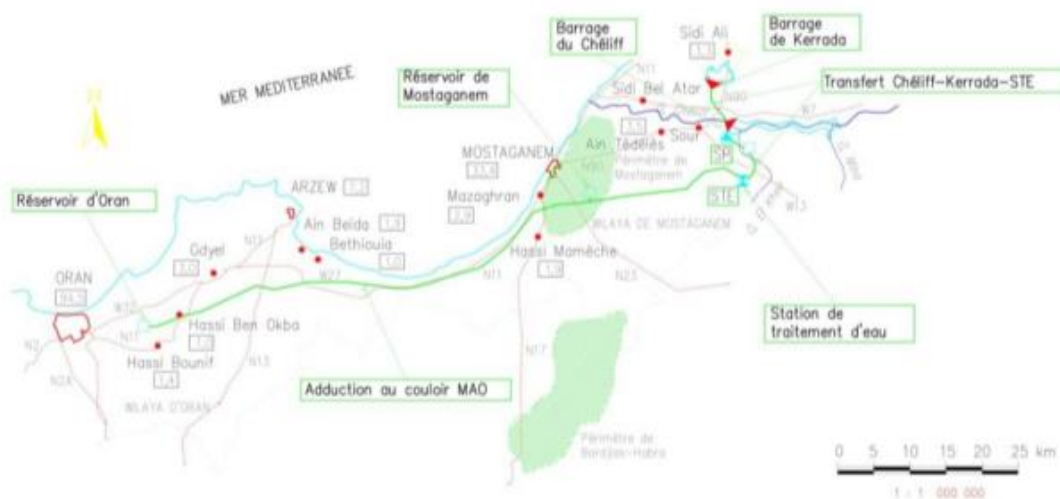


Figure 36 Schéma du système de transfert et d'adduction

III.4 ETUDE D'AVANT PROJET DETAILLE (COBA, 2001)

Le lot n°01 - Barrage de Chélif et Adduction Chélif - STE- comprend les ouvrages suivants :

Barrage de dérivation sur l'oued Chélif Les études d'Avant-Projet Détaillé prévoient la construction d'une digue en terre de 440 mètres de longueur et de 38 mètres de hauteur maximale.

Le volume total de remblai de la digue est de 443 000 m³.

L'évacuateur de crues est prévu en rive et est constitué d'un déversoir vanné, mesurant 48 mètres de hauteur sur fondation et 80 mètres de longueur. Un bassin de dissipation est prévu à l'aval du seuil déversant.

L'évacuateur de crues est équipé de quatre vannes segment de 15 * 11,5 m (1*h) et de quatre vannes papillons DN 300 mm.

b) Ouvrage de prise d'eau L'ouvrage de prise d'eau est constitué de :

- Une prise d'eau en béton armé, de dimensions 3,00m*12,30 m.
- Une conduite métallique de 1700 mm de diamètre et 245 mètres de longueur.
- Des tuyaux métalliques, grilles et batardeau à l'entrée de la prise d'eau, et des équipements de levage.⁶⁰

c) Dessableur

Le dessableur est une structure en béton armé, mesurant 88,40 m *20,10 m en plan, divisé en quatre secteurs indépendants, avec une surface de 1530 m². Il est équipé de:

- une chambre amont d'une surface de 11 "20,95 m² en plan.
- vannes de sectionnement amont et aval,
- vannes de réglage de niveau et d'un système de tuyaux et robinets pour nettoyage et évacuation des sédiments déposés.
- une bêche d'aspiration des pompes.

d) Station de pompage

La station de pompage est une structure en béton armé enterrée de dimensions en plan approximative 92,90 m *22,0 m et de hauteur maximale 17,30 m dont 12,50 m enterrés.

La station de pompage est équipée de 3 groupes électropompes de puissance unitaire 10 000 kW et de 5 groupes électropompes de puissance unitaire 5 000 KkW, de vannes de sectionnement et clapets anti-retour, de tuyaux métalliques d'aspiration et de refoulement, d'un groupe électrogène diesel, de pompes d'assèchement, de systèmes de ventilation et d'éclairage, des auxiliaires électriques nécessaires, d'un pont roulant et d'un portique roulant.

e) Conduite de refoulement entre la station de pompage et le réservoir de régulation Les travaux les plus importants comprennent l'excavation et le remblayage des tranchées, la fourniture et la pose d'environ 2,8 km de tuyaux de diamètre 2 000 mm en béton précontraint à âme tôle. Les travaux comprennent aussi la fourniture et l'installation des trous d'homme, ventouses, vidanges, massifs de butée, ainsi que les traversées des routes et des oueds.

f) Réservoir de régulation

⁶⁰ - Le méga projet MAO entre en service. Sur reflexiondz.net

Les travaux comprennent les travaux de terrassement et de construction du réservoir de régulation, avec revêtement d'étanchéité en géo- membrane, de dimensions en plan de 54,0 m x 49,0 m, de hauteur maximale 3,0 m et de capacité de stockage 3000 m divisée en deux parties.

Fourniture et installation des batardeaux amont et aval, grilles métalliques, équipements de levage, tuyaux métalliques et accessoires.

g) Conduite gravitaire entre le réservoir de régulation et la Station de Traitement d'Eau Les travaux comprennent les travaux de terrassement de la tranchée, la fourniture et la pose d'environ 4,0 km de tuyaux de diamètre 2 000 mm en béton précontraint à âme tôle.

Les travaux comprennent aussi la fourniture et la construction des trous d'homme, des structures de ventouses, vidange et trous d'homme, des massifs de butée, des traversées des routes et oueds.

h) Réservoirs anti-bélier

Les travaux comprennent la fourniture et l'installation des réservoirs hydropneumatiques anti-bélier avec volume total de 120 m³ pour adduction Chélif - STE et de 400 m³ pour l'adduction Chélif-Kerrada, incluant la fourniture et l'installation de tuyaux métalliques, robinets, compresseurs, tuyaux de drainage, tuyaux d'alimentation d'air, pompes d'assèchement et accessoires. Construction de la fondation en béton armé.

i) Traversée de l'Oued El Kheir

Située au droit de la Station 0+910 et 3+800 de l'adduction Chélif - STE, la traversée est constituée d'une conduite autoportante en acier, incluant les massifs de butée associés.

Fourniture et installations de tuyaux métalliques, appareils d'appui, joints de dilatation et accessoires.

j) Chambre du débitmètre

Construction d'une chambre située en amont de l'adduction Chélif - STE en béton armé, incluant les massifs de butée associés et des tuyaux de drainage. Fourniture et installation du débitmètre et de la ventouse, tuyaux métallique, accessoires, pompes d'assèchement et des systèmes d'aération et éclairage.

k) Fourniture et installation de l'équipement de mesure, télémétrie, télécommande et télécommunication.

l) Sous-station 220/10kV

m) Eclairage extérieur

Construction du réseau d'éclairage extérieur du périmètre de la station de pompage, et du barrage du Chélif.

n) Routes d'accès

Construction des routes goudronnées et du parking à l'intérieur du périmètre de la station de pompage.

Route d'accès définitive goudronnée entre la route qui dessert le hameau Beni Ifren et la station de pompage et barrage du Chélif, mesurant 7,0 m de largeur sur une longueur d'environ 250 m.

Route définitive non goudronnée d'accès au réservoir de régulation, mesurant environ 200 m de longueur et 5,0 m de largeur.

III.5 Fiche synoptique du système de transfert

Les objectifs principaux du barrage de dérivation du Chélif sont :

- Création d'une capacité de stockage suffisante pour permettre la régularisation à court terme (hebdomadaire) des apports de l'oued, de façon à augmenter l'efficacité de la dérivation et réduire au minimum les déversements.
- Création de bonnes conditions de prise pour le refoulement soit vers Kerrada soit vers la STE.

III.5.1 Barrage de dérivation du Chélif

Les caractéristiques topographiques, hydrologiques et géologiques du site ont conduit à la conception d'un barrage mixte, avec une partie en béton dans le lit mineur de l'oued, formant un seuil déversant équipé de vannes et une digue en remblais fermant la vallée en rive gauche.

Type: Mixte, comprenant un ouvrage en béton équipé de 4 vannes segment 15 m x 11,5 m (lxh) et bassin d'amortissement à ressaut hydraulique ainsi qu'une digue en remblai. Localisation sur l'oued Chélif, 500 m en aval de la confluence de l'oued Kheir et 5 km en amont du pont de la RN 90.

Bassin versant:

- Superficie

Totale: 7000 km²

A l'aval des barrages existants: 14 000 km²

A l'aval des barrages existants et prévus: 7000 km²

- Apports

Apports annuels moyens en régime naturel :

Apports à l'horizon du projet

Moyenne annuelle: 505 hm/an

Moyenne en période sèche (5 ans): 227 hm/an

Moyenne en période humide (5 ans): 1080 hm/an

Apports solide: 8 hm/an

- Débits de crue exceptionnelle, pour les périodes de retour

10 années : 1800 m³/s

100 années: 3200 m³/s

1 000 années: 4500 m³/s

10 000 années: 6000 m³/s

Caractéristiques de la retenue

Capacité totale: 50 hm

Capacité utile:	15 à 20 hm
Niveau de la retenue normale (NRN):	30,00 m NGA
Niveau minimal d'exploitation (Nme) :	25.00 m NGA
Niveau des Plus Hautes Eaux (NPHE):	31,98 m NGA
Niveau maximal de l'oued en aval du barrage:	27 m NGA
Surface de la retenue pour le NRN:	10 km
Evaporation nette:	1000 mm/an

Caractéristiques du barrage

Crue de projet (T=10000ans):	6000 m ³ /s
Ouvrage en béton:	15 à 20 hm ³
Cote de la crête du barrage:	34 m NGA
Cote du seuil déversoir	19 m NGA
Corps du barrage:	
Hauteur maximale :	48 m
Longueur en crête:	80 m
Largeur à la base:	32,5 m
Bassin d'amortissement à ressaut hydraulique:	
Cote du radier:	8 m NGA
Longueur:	60 m
Largeur:	80 m
Digue en remblai	
Matériaux :	remblai zone avec noyau argileux
Cote de la crête	34 m NGA
Hauteur maximale sur TN	26,0 m
Hauteur maximale sur fondation	38,0 m
Longueur en crête:	440 m
Largeur en crête :	6,0 m
Pente des talus:	3,5/1 (amont) et 3,0/1 (aval)
Volume des remblais:	443 000 m

III.5.2 Equipements

- Quatre (4) vannes type segment pour contrôle du seuil déversant, avec 15,0 m de largeur et 11,5 m de hauteur, commandées par servomoteur

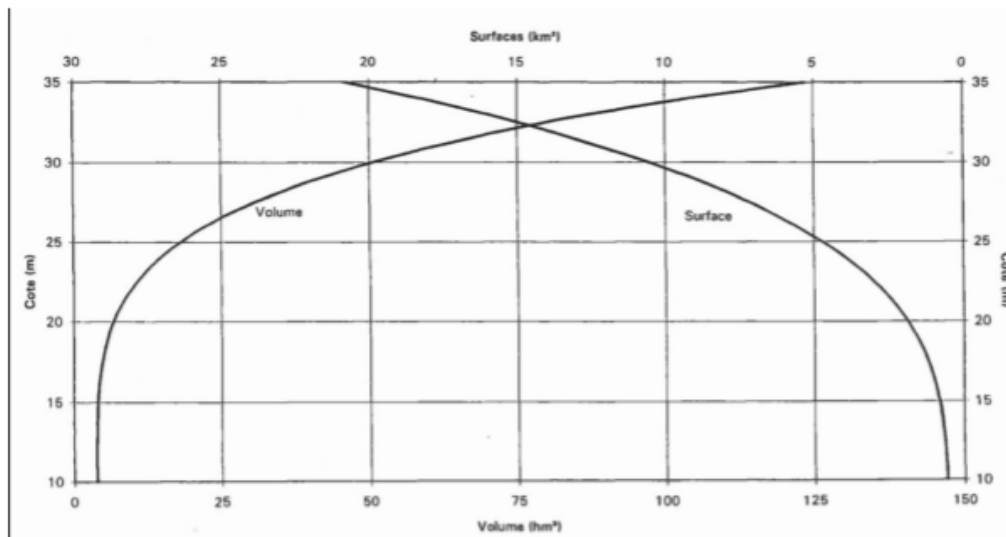


Figure 38 Courbes de superficie et de volume de la retenue du Chélif,

APD 2001

Pour le Niveau de Retenue Normal (NRN) (30,0 m NGA), la capacité totale de la retenue est de 50 hm³ et la surface de la retenue de 10 km².

III.7 Etude hydrologique

III.7.1 Apports liquides

Le bassin hydrographique contrôlé par le barrage de dérivation du Chélif couvre une superficie totale de 44 000 km², dont 30 000 km² sont partiellement contrôlés par 10 barrages d'accumulation construits sur les principaux affluents du Chélif. Les constructions d'autres aménagements potentiels réduiront à 7000 km² la superficie du bassin versant non contrôlée en amont du barrage de dérivation

Selon les données disponibles, les apports moyens au droit du site du barrage sont, en régime naturel (c'est-à-dire sans prélèvements en amont) de l'ordre de 1 295 hm³/an.

En raison des nombreux prélèvements en amont, les apports au droit du site sont considérablement limités et seront encore réduits d'avantage dans le futur, à moyen terme. En considérant l'évolution prévue pour les prélèvements en amont, les estimations à l'horizon de la mise en service du projet, les apports moyens au site de dérivation sont de l'ordre de 505 hm³/an.

Au-delà de cette importante diminution, les apports deviendront plus irréguliers, variant entre 225 hm³/an en année quinquennale sèche et 1080 hm³ en année quinquennale humide.

MOIS	SEPT	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	Année
Apport (hm ³)	14,4	17,8	20,8	28,5	88,5	100,1	95,1	60,9	24,1	18,8	29,6	17,4	504,9

Tableau 13 Apports mensuels moyens de l'oued Chélif au droit du barrage

Les écoulements assez importants prévus en période d'étiage (mois de mai à octobre) sont dus principalement aux retours d'irrigation des périmètres en amont et seront donc, en principe, très réguliers et théoriquement dérivables en totalité. Cependant, de forts doutes existent concernant ces apports.

D'abord, il n'est pas certain que le temps de réponse des nappes soit suffisamment court pour que les retours d'irrigation puissent être utilisables pendant la période d'étiage.

Ensuite, il est possible que la qualité de cette eau (teneur en sels, pollution par les engrais et pesticides) la rende impropre à la consommation.

C'est pour ces raisons qu'on propose de ne pas compter avec la totalité de ces apports, en attendant que les résultats obtenus après la mise en service de la première phase du système donnent des indications sûres sur la disponibilité et la qualité de l'eau durant les mois d'étiage.

L'évaporation nette de la retenue (évaporation moins pluie) est estimée à 1.000 mm/an.

III.7.2 Apports solides et envasement de la retenue

La morphologie et la climatologie dominantes sur le bassin versant de l'oued Cheliff font supposer des phénomènes significatifs d'érosion et de transport solide. L'impact de ces phénomènes sur la retenue sera d'autant plus important que sa capacité est faible.

L'analyse de l'envasement de la retenue dépend de la détermination de deux facteurs : l'estimation de la quantité de sédiments entrant dans la retenue et la définition du pourcentage qui s'y déposent.

L'estimation des apports solides s'est basée sur les relevés des débits solides de 8 stations hydrométriques dans le bassin versant du Chélif. On dispose des estimations des taux de sédimentation dans 4 retenues existantes (Ghrib, Boughzoul, Deurdeur et Fodda) obtenues à partir des variations des capacités utiles.⁶¹

L'analyse des relevés disponibles montre l'existence du rapport suivant entre l'écoulement annuel et le taux de transport de sédiments en suspension :

$$Q = 19,0 \times Q^{0,921} \text{ avec :}$$

En tenant compte de chasses régulières à niveau bas, vannes ouvertes, le phénomène d'érosion des sédiments déposés dans la retenue permettra d'assurer que la tranche supérieure du réservoir, avec 1 à 2 mètres, ne sera jamais envasé, ce qui correspond à un volume de 10 à 15 hm' qui, ajouté au prisme ouvert dans le lit, assure une capacité utile de l'ordre de 15 à 20 hm.

Crues

Une analyse statistique des débits de crues à partir des données enregistrées à Sidi Bel Atar a été réalisée sur une période couvrant 26 années de mesures.

⁶¹ - Article de recherche : "Reservoir Sedimentation Handbook

Une analyse complémentaire de validité des données a également été faite en les comparant avec les données disponibles de la station de Djilouia-Chélif, située quelques kilomètres en amont de Sidi Bel Atar et pour laquelle on dispose de relevés à partir de 1975. En ce qui concerne les débits des crues extrêmes, le régime naturel de l'oued ne sera que très faiblement modifié pour la présence de barrages d'accumulation dans la retenue (existants ou prévus) en raison de la capacité limitée des retenues en comparaison des volumes de ces crues.

En utilisant les séries des débits maximums annuels enregistrés à Sidi Bel Atar, les débits de pointe des crues jusqu'à une période de retour de 10 000 années ont été estimés:

Période ce retour (années)	10	50	100	500	1000	10000
Débit de pointe (m ³ /s)	1800	2000	3200	3900	4500	6000

Tableau 14 débits de pointe de l'oued Chélif au droit du barrage

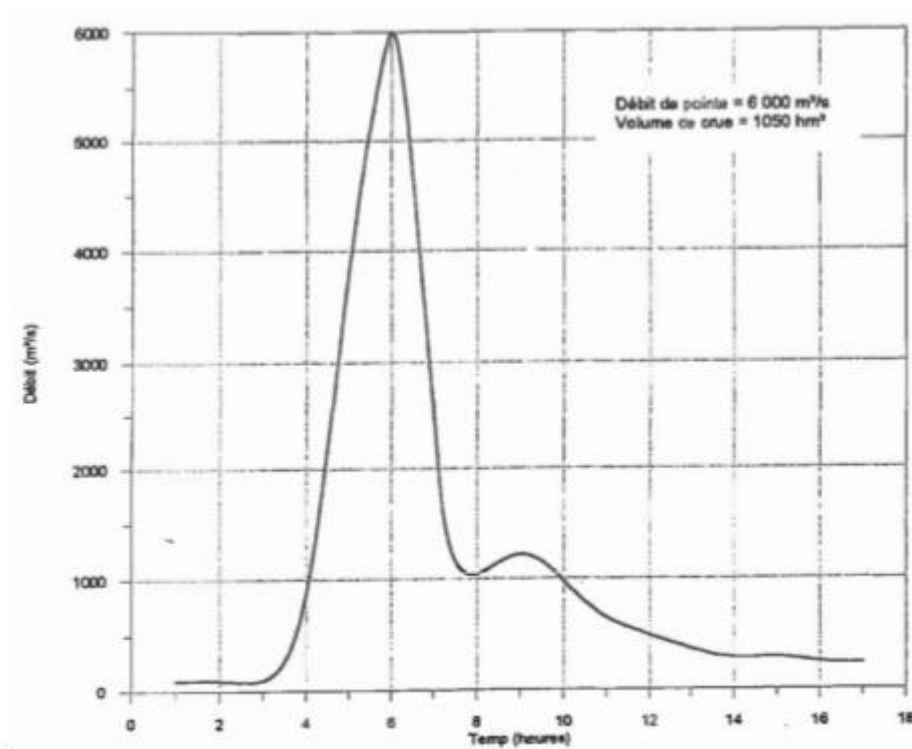


Figure 39 débits de pointe de l'oued Chélif au droit du barrage

III.8 Système de prise d'eau

III.8.1 Généralités

Le système de prise d'eau est la partie du transfert comprise entre le barrage de dérivation du Chélif et la station de pompage. Il est formé essentiellement par la prise d'eau, conduites métalliques d'amenée, la chambre amont des vannes de réglage de niveau, le dessableur et la bêche d'aspiration des pompes. Le système de prise d'eau fonctionne gravitairement en utilisant la charge disponible entre la retenue du Chélif (niveau variable entre 25,00 et 30,00 m) et l'entrée de la station de pompage (niveau variable entre 24.40 et 25,00 m).

III.8.2 Conception et fonctionnement hydraulique

La prise d'eau, située en amont du barrage, est constituée par des pertuis sur le mur bajoyer gauche de l'évacuateur et par une chambre en amont des conduites d'amenée. En aval de cette chambre se trouve le dessableur, suivi de la bêche d'aspiration de la station de pompage.

La zone de la prise d'eau et la chambre amont des vannes de réglage présente des niveaux égaux à ceux de la retenue, variant donc entre les cotes 25,00 et 30,00 m. Le dessableur et la bêche d'aspiration des pompes présentent des niveaux inférieurs, compris entre les cotes 24,40 et 25,00 m.

La dissipation de l'énergie excédentaire entre les deux zones est faite par les vannes de réglage de niveau.

Les vannes de réglage de niveau, du type « Avio », contrôlées par des flotteurs, garantissent que le niveau de l'eau dans le dessableur reste toujours égal à 25,00 m, pour des niveaux dans la retenue supérieure au niveau minimal d'exploitation prévu et en fonction du débit de prise.

Le fonctionnement du système de prise d'eau est complètement automatique et dépend seulement du débit demandé par la station de pompage.

Lors du démarrage d'un groupe à la station de pompage, le niveau de l'eau dans la bêche d'aspiration et dans le dessableur baisse. Les vannes de réglage commencent donc à s'ouvrir et de l'eau s'écoule à travers les pertuis des vannes, provenant de la prise. Si le débit qui s'écoule est inférieur au débit pompé, le niveau de l'eau continue à descendre et les vannes s'ouvrent davantage, jusqu'à ce que le débit qui passe dans les vannes soit égal au débit pompé. Si une autre pompe entre en service, le niveau descend un peu plus, les vannes s'ouvrent davantage jusqu'à ce qu'un nouvel état d'équilibre soit atteint.

Si les pompes s'arrêtent, le niveau de l'eau dans la bêche d'aspiration et dans le dessableur monte et les vannes de réglage se ferment.⁶²

⁶² - Fluid Power: Hydraulics and Pneumatics" par James A. Sullivan

Chapitre 04

IV. Chapitre 4 Perte de capacité dans le barrage Ain kahla (krada)

Introduction

Afin d'explorer en profondeur les défis liés aux pertes d'eau dans le barrage que nous avons analysés, nous avons initié une recherche qui se décompose en trois volets hydrauliques majeurs : les fuites d'eau, l'évaporation intense et l'envasement excessif.

IV.1 Données utilisées

Pour réaliser notre travail, nous avons utilisé les données suivantes :

- 1- Débit de fuites - volume de fuites
- 2- Cotes du lac
- 3- L'envasement et l'évaporation

Pour évaluer les pertes du barrage d'Ain Kahla sur la période de 2015 à 2023, nous nous sommes appuyés sur les données fournies par l'Agence Nationale des Barrages. À titre informatif, les informations relatives à l'envasement ainsi que d'autres paramètres opérationnels du barrage, tels que les fuites, la vidange de fond, l'évaporation, etc., ont été recueillies sur le terrain par les équipes de l'Agence Nationale des Barrages au cours de leurs campagnes de mesure. Les photos ont été prises lors de nos visites sur le site des barrages en question.



Figure 40 *Les fuites d'eau dans la rive droite du barrage de Ain Kahla*

IV.2 Analyse des volumes des fuites

Cette section a été dédiée à l'examen des débits de fuite, en analysant les variations de ces débits au fil du temps et en les reliant aux variations du niveau du lac. Les graphiques ci-dessous synthétisent les données des débits de fuite estimées par l'Agence Nationale des Barrages. Dans les figures (III.1), nous exposons l'évolution du volume de fuite en fonction du temps pour les années hydrologiques de 2015 à 2023. []

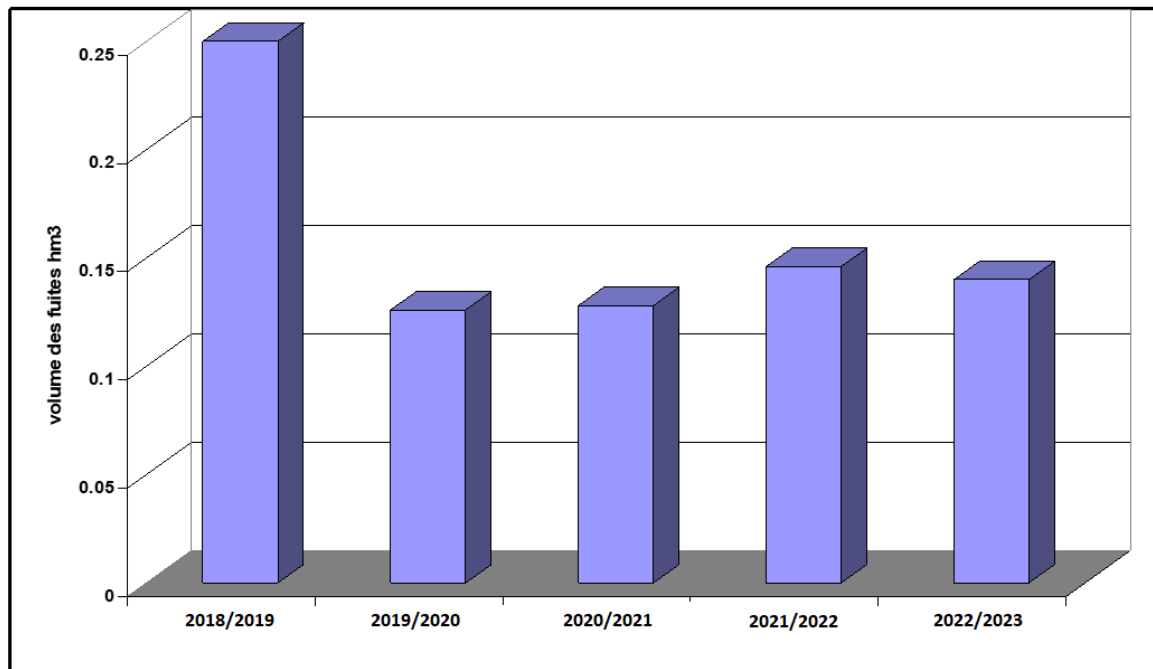


Figure 41 *Variation dans le temps du volume de fuite -barrage de Ain Kahla*

Dans les figures (III.1), on remarque que le volume de fuite à enregistré une valeur importante durant l'année 2018/2019→0,25hm³, puis il a diminué durant Les années 2019/2023.

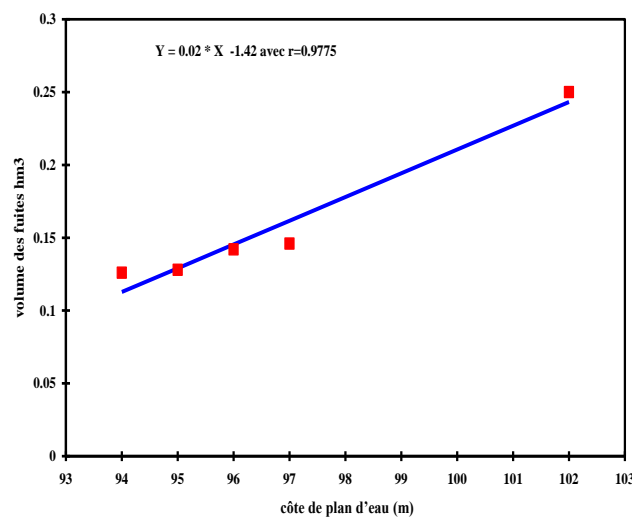


Figure 42 *Variation du volume des fuites hm³ en fonction de la côte de plan d'eau (m)*

IV.2.1 Variation dans le temps de débit de fuite du barrage de Ain Kahla

Sur les figures (III.3), nous présentons la variation de débit de fuite en fonction du temps : (période : 2019-2023)

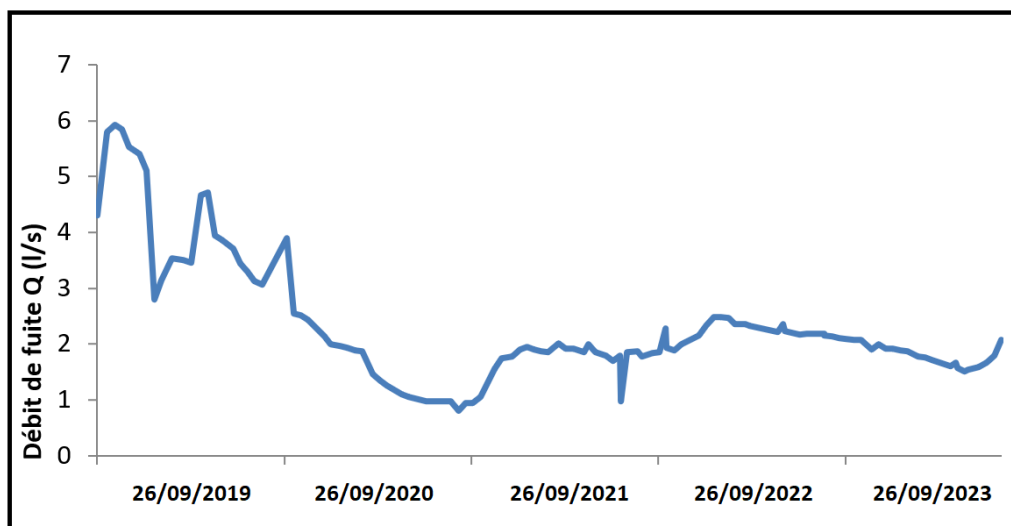


Figure 43 *Variation dans le temps de débit de fuite (galerie rive gauche) du barrage Ain Kahla*

Dans la figure (III.3), le débit de fuite a enregistré des valeurs importantes durant les périodes (26/09/2019 à 26/09/2020), pour diminuer à une valeur de 0,9 en date du 26/09/2021, puis augmenter légèrement (par exemple en date du 09/12/2022 on enregistre une valeur de 2,81)

IV.2.2 Variation de débit de fuite en fonction de la cote du plan d'eau

Sur les figures (III.4, III.5, III.6, III.7), nous présentons la variation de débit de fuite en fonction de la cote de plan d'eau et l'évolution des deux paramètres au cours de temps. []

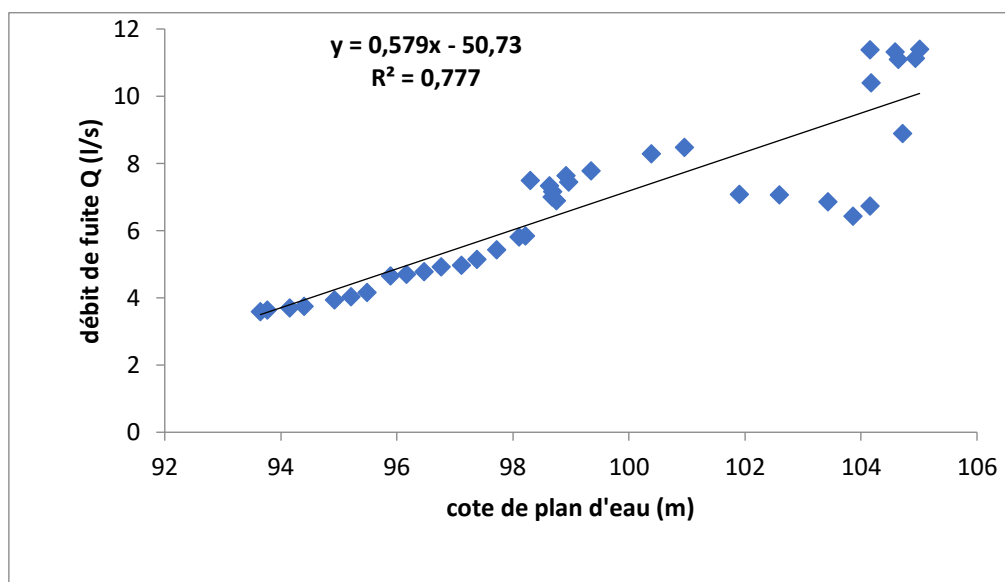


Figure 44 *Evolution du débit de fuite en fonction de la côte du plan d'eau (2015/2016)*

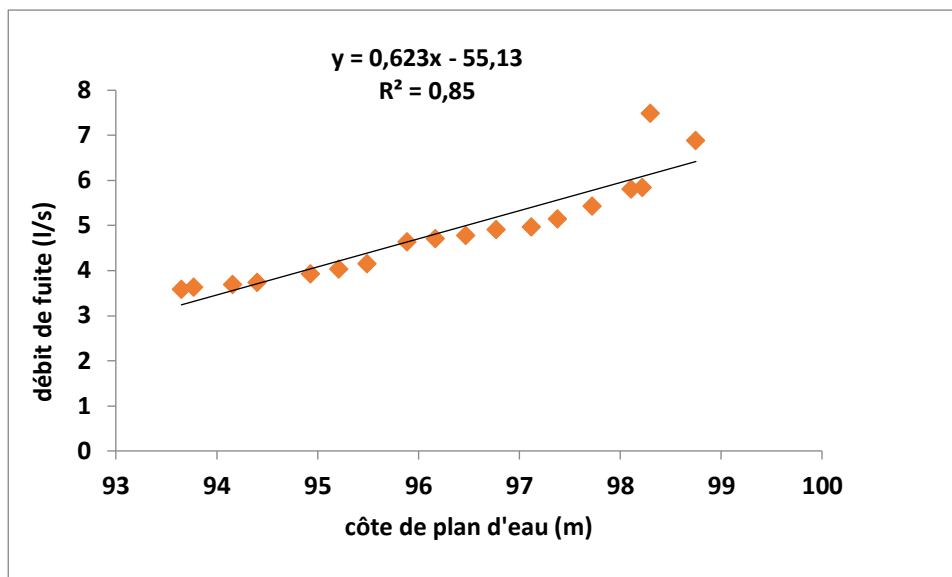


Figure 45 Variation du débit de fuite en fonction de la côte du plan d'eau (2016/2017)

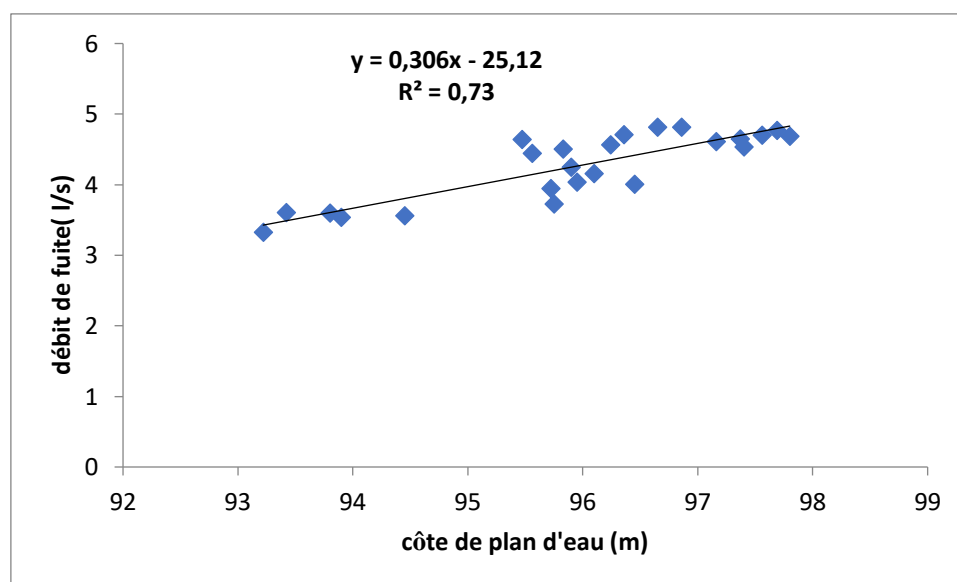


Figure 46 Variation du débit de fuite en fonction de la côte du plan d'eau (2017/2018)

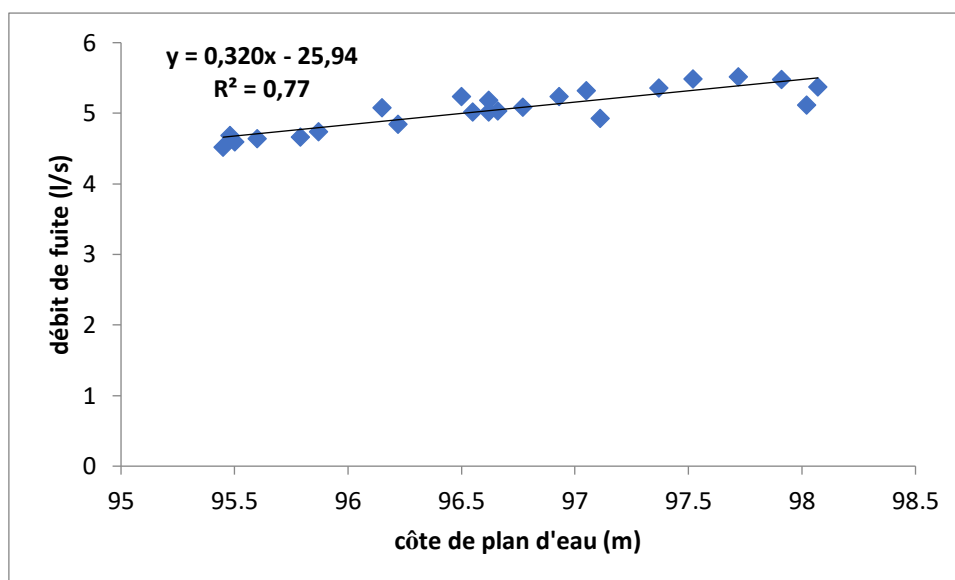


Figure 47 *Variation du débit de fuite en fonction de la côte du plan d'eau (2018/2019)*

On confirme bien l'augmentation de débit de fuite en fonction de la progression de la côte du lac (par exemple pour l'année 2015-2016 on enregistre : la valeur de côte du lac 98,63m→7,34 l/s de débit de fuite et pour la valeur de 105,01m→11,4 l/s de débit de fuite.

- 2016-2017 la valeur de côte du lac 93,65m→3,59l/s de débit de fuite et pour la valeur de 98,72m→5,44l/s de débit de fuite
- 2017-2018 la valeur de côte du lac 93,22m→3,33l/s de débit de fuite et pour la valeur de 97,80→4,70 l/s de débit de fuite.
- 2018-2019 la valeur de côte du lac 95,45→4.52l/s de débit de fuite et pour la valeur de 98,07 →5,38 l/s de débit de fuite

Nous ont permis de marquer l'évolution de débit de fuite dans le temps en fonction de la montée de niveau d'eau dans le lac. On note bien que le débit de fuite est étroitement corrélé au niveau d'eau dans le lac de Ain Kahla. Le débit de fuite est en accroissement progressif dans le temps en fonction de la cote de lac ;

(R²=0,77→2015/2016, R²=0,85→2016/2017, R²=0,73→2017/2018, R²=0,77→2018/2019) bonne corrélation

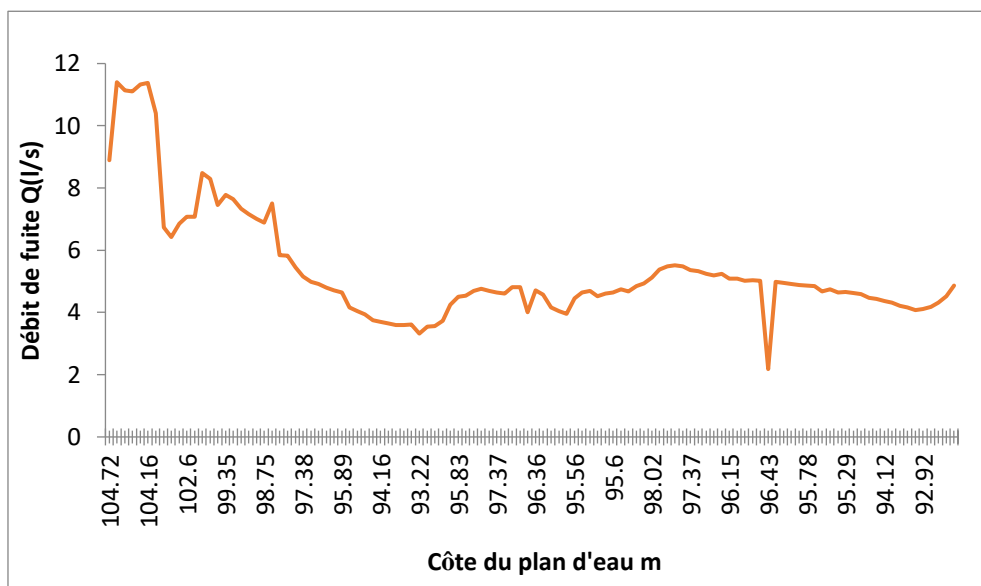


Figure 48 Variation de débit de fuite en fonction de la côte de plan d'eau

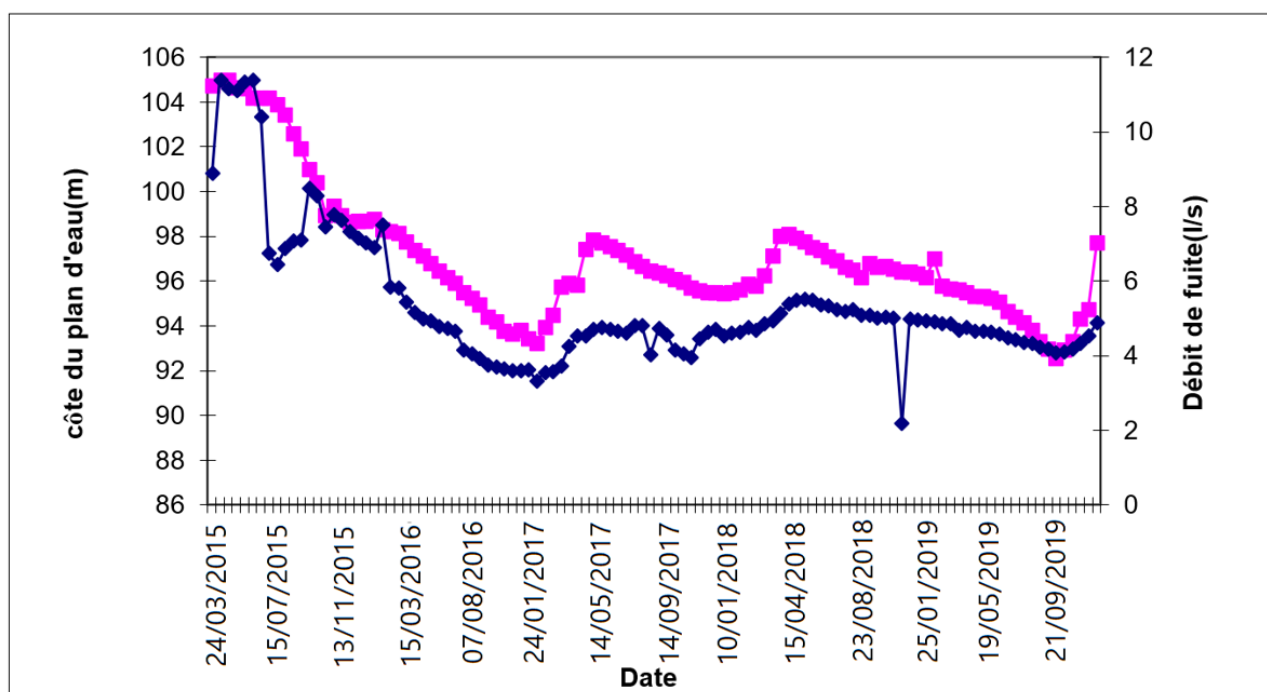


Figure 49 Graphe combiné de la variation du débit de fuite en fonction de la côte du plan d'eau dans le temps

On confirme bien la variation du débit de fuite en fonction de la côte du plan d'eau. (Par exemple pour une valeur de côte de plan d'eau 105,01m→11,4 l/s de débit de fuite et pour la valeur 92,57m→7,464 l/s.

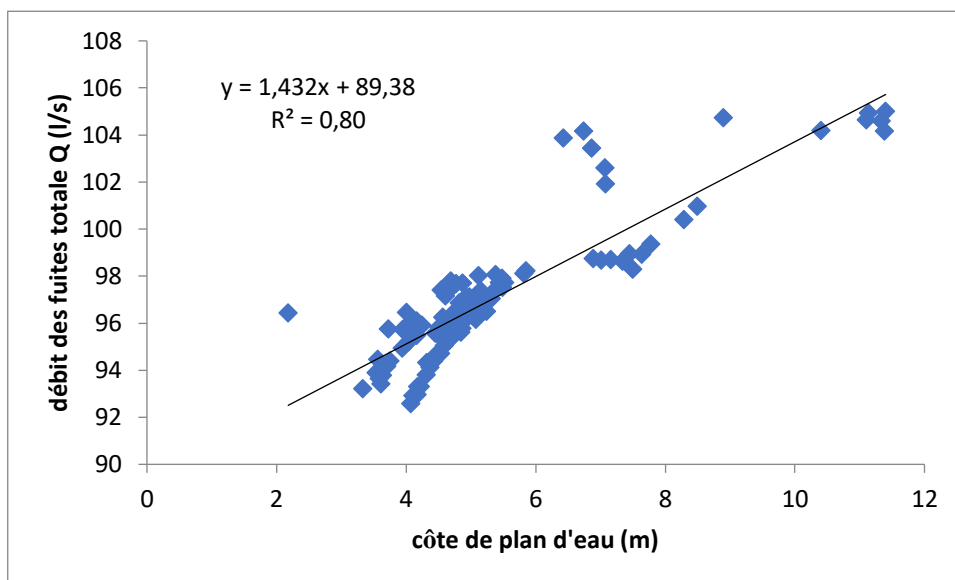


Figure 50 Variation de débit de fuite en fonction de la côte de plan d'eau

nous a permis de marquer l'évolution de débit de fuite dans le temps en fonction de la montée de niveau d'eau dans le lac. On note bien le débit de fuite est étroitement corrélé au niveau d'eau dans le lac de barrage de Ain Kahla. le débit de fuite est en accroissement progressif dans le temps en fonction de la cote de plan d'eau ($R^2 = 0,80$) bonne corrélation.

IV.2.3 Variation du débit de fuite en fonction de volume de la retenue

montre qu'il y a une relation directe entre le volume d'eau dans la retenue et le débit de fuite. Le débit de fuite diminue en fonction de la diminution du volume d'eau de la retenue. (Ex : pour un volume d'eau $211,72\text{hm}^3 \rightarrow 8,9 \text{ l/s}$ et pour un volume d'eau $3,394\text{hm}^3 \rightarrow 4,07\text{l/s}$).

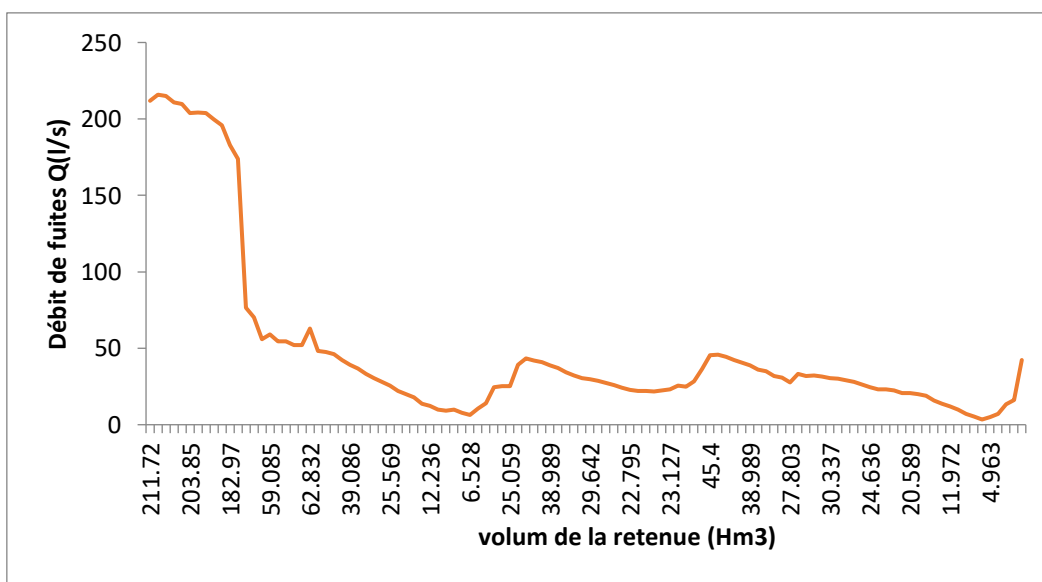


Figure 51 Variation du débit de fuite en fonction de volume de la retenue

La courbe de la figure de débit de fuite en fonction de volume dans la retenue montre clairement l'évolution de débit de fuite en fonction du volume de la retenue et que ces valeurs sont bien corrélées aux valeurs de volume d'eau dans la retenue ($R^2=0,72$).

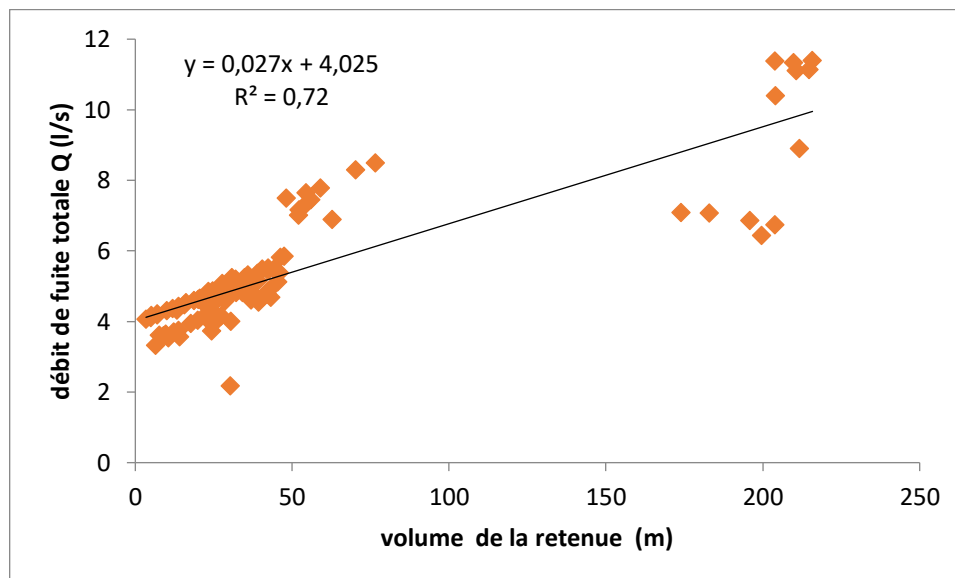


Figure 52 Variation du débit de fuite en fonction de volume de la retenue

IV.2.4 Variation du volume de la retenue en fonction de temps

Sur la figure nous représentons le volume de la retenue en fonction de temps :(2015-2023) []

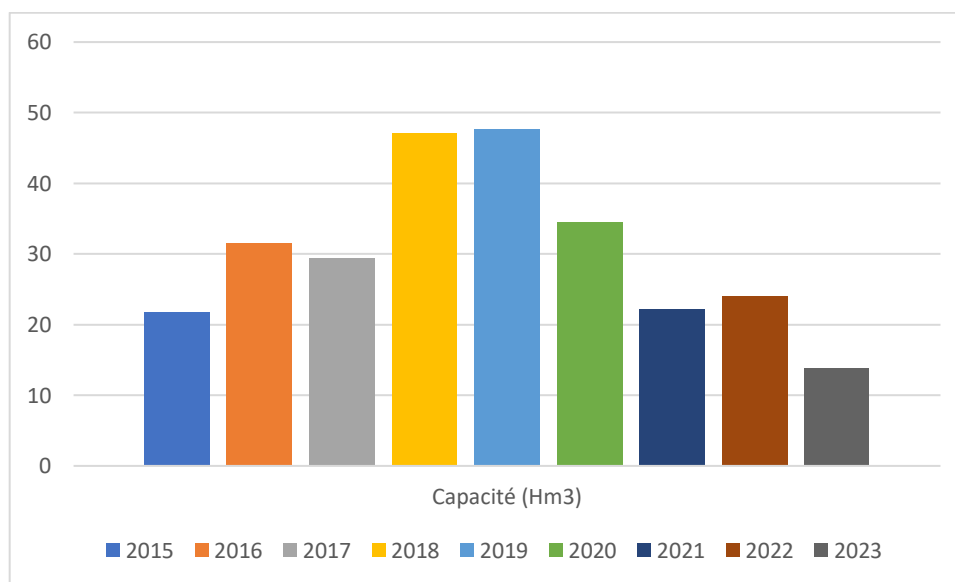


Figure 53 Variation du volume de la retenue en fonction de temps

le volume de la retenue est en diminution, ces valeurs étaient importantes durant l'année 2015 de la mise en service de barrage de Ain Kahla (2019 à 2020→47,655hm³ à 13,164 hm³) pour diminuer encore à une valeur 22,118 hm³ en 2021, puis augmenter à 1,825hm³ en 2022 puis le volume de la retenue a été réduit à 10,073 hm³ en 2023→ 13,87 hm³.

IV.2.5 Pertes par évaporation du plan d'eau de la retenue

Dans la figure), nous présentons la variation de l'évaporation au cours du temps :

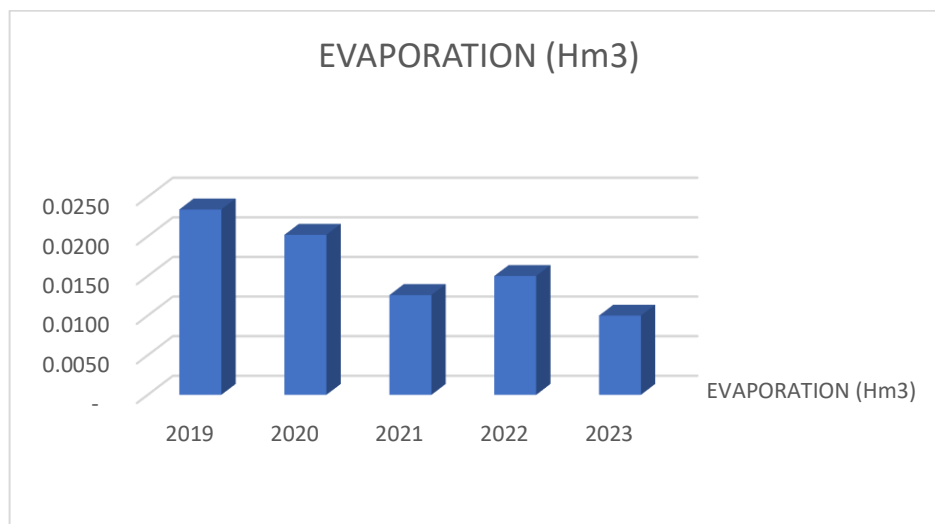


Figure 54 *Variation des pertes par évaporation dans le temps -Barrage de Ain Kahla*

D'après la figure on constate que les pertes évaporation varient de 0,009 hm³ à 0,022 hm³ par an, la valeur moyenne annuelle étant égale à 0,03 hm³ environ.

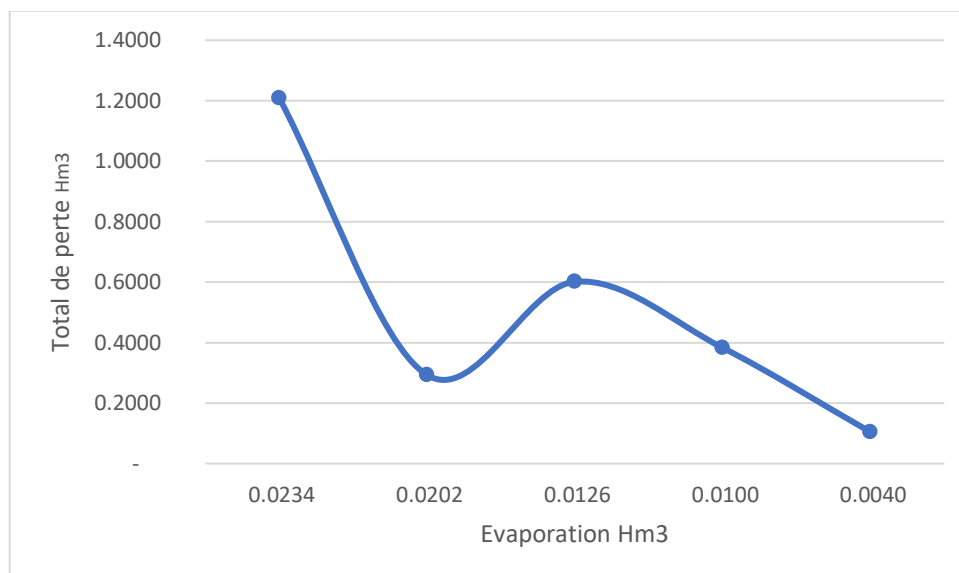


Figure 55 *Evolution des pertes totales en fonction d'évaporation d'eau dans le temps*

Sur la figure nous présentons l'évolution de la totalité des pertes d'eau en fonction de l'évaporation d'eau au niveau du barrage de Ain Kahla :

La figure montre que plus l'évaporation d'eau est élevée plus les pertes totales sont élevées.

IV.2.6 Quantification des différentes pertes d'eau du barrage Ain Kahla

Dans ce graphe nous présentons approximativement les valeurs moyennes annuelles des différentes pertes du barrage Ain Kahla :

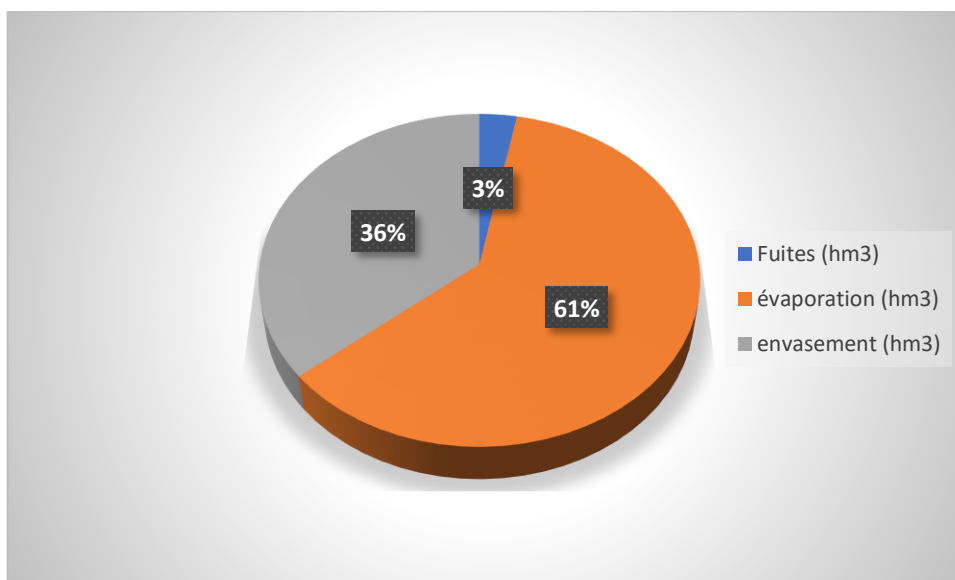


Figure 56 *Représentation des fuites d'eau par secteurs par rapport aux pertes par évaporation et envasement*

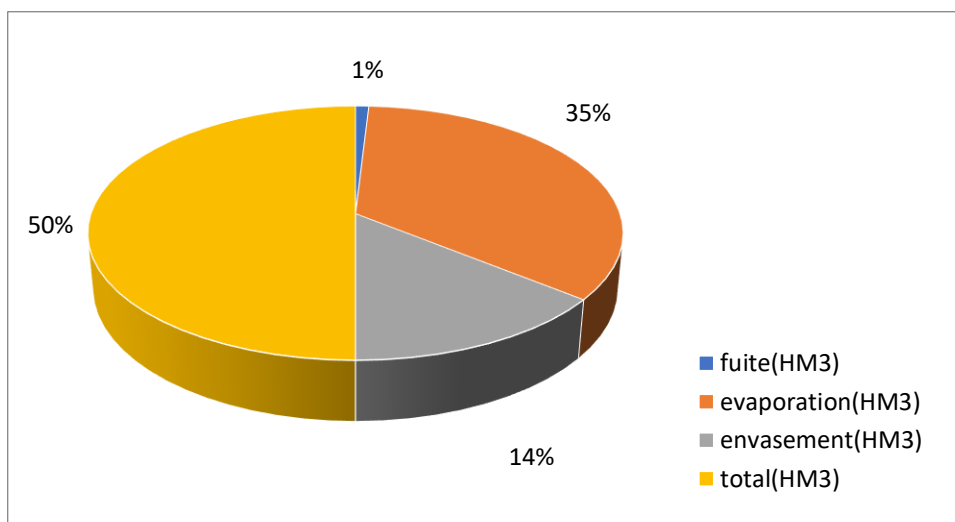


Figure 57 *Représentation des fuites d'eau par secteurs et en pourcentage des pertes totales*

Les représentation des pertes d'eau en pourcentage montre bien l'importance des pertes au niveau du barrage de Ain Kahla et leur impact sur les pertes totales du barrage, en effet, ces figures montrent bien que les pertes d'eau sont considérables, elles présentent des pourcentages importants des pertes totales du barrage de Ain Kahla .

IV.2.7 Mesure des fuites

Aucun dispositif de mesure des fuites de la galerie de drainage et d'injection n'avait été prévu à la conception. Actuellement l'exploitant effectue des mesures de débits à la capacité aux sorties des galeries RD et RG. L'aménagement des points de mesure permettrait de

fiabiliser les mesures et différencier les débits des différentes galeries (injection, drainage et accès). Observer la progression des fissures étant donné que ces fissures peuvent s'agrandir suivant l'élévation de plan d'eau (l'influence de la pression de l'eau).

IV.2.8 Origine du phénomène d'envasement

L'érosion est à l'origine de tous les types de transport solides qui se développent dans un système constitué d'une part par l'élément principal qui est le bassin versant ou la rivière, et d'autre part l'eau élément moteur. L'action de l'eau sur le bassin versant s'avère très complexe, et est conditionnée par plusieurs facteurs. D'après DEMMAK (1982), il est à remarquer que le taux d'érosion en Algérie a atteint des valeurs alarmantes en Afrique du Nord.

On peut représenter ces valeurs dans le tableau suivant :

Tableau 15 Taux d'érosion en Algérie [,,].

Erosion	Regions
200T/Km ² /an	Atlas tellien (Rhiou, Sly, Fodda, Isser.)
400T/Km ² /an	Chaîne côtière: Dahra
500T/Km ² /an	Bassin de l'oued Agrioun au barrage d'iril emda

L'ampleur de l'érosion s'explique par l'importance de la concentration en sédiments qui varie d'une part, suivant les régions (érodabilité du bassin versant) et d'autre part, pour la même rivière en fonction des crues.

IV.3 Envasement de la retenue du barrage de Ain Kahla

De 2019 à 2023, le garde de l'envasement du barrage de Ain Kahla 89,9 hm³, avec une prévision de l'envasement annuel moyen de 17 ,98 hm³.

IV.3.1 Perte de capacité du barrage de Ain Kahla

Pour actualiser les capacités de stockage et surveiller l'envasement du barrage Ain Kahla, une étude a été confiée pour la réalisation de levés bathymétriques et topographiques.

Conformément au cahier des charges, les profils bathymétriques ont été levés avec un intervalle de 50 m dans la zone des 1 000 m du barrage et un intervalle de 100 m au-delà de cette limite. Ce levé bathymétrique, représentant une surface totale de 1319 ha a été réalisé en 12 jours entre le 20 Janvier et le 10 Février 2004. Si l'on prend pour référence la capacité du barrage depuis sa mise en eau a perdu à la date de mars 2004 un volume de l'ordre de 91.72 Hm³ soit environ 20,4 % de sa capacité initiale qui était à la côte normale (RN 118 m) de 450 Hm³ en 1989. Cela correspond à une perte moyenne par an de l'ordre de 6 114 600 m³ / an. La capacité actuelle du barrage à la côte normale (RN 118 m) est de 358.28 Hm³.

IV.3.2 Estimation des pertes en volume au niveau du barrage de Ain Kahla

La capacité totale de la retenue comprend les volumes suivants :

- ◆ Volume utile : Quantité d'eau pour les besoins d'alimentation des agglomérations en eau potable et de l'industrie.
- ◆ Volume infiltré : Il correspond à la tranche perdue par infiltration.
- ◆ Volume évaporé : C'est la tranche d'eau perdue par évaporation.
- ◆ Volume mort : Tranche de la réserve envasée.

Si on prend comme référence les données de l'année 2008, nous pouvons estimer les pertes en volume en 2008 comme suit : (sans prendre en considération les pertes par vidange de fond)

$$PV = VM + VI + VE$$

PV : pertes en volume

VM : Volume mort = 4,6 hm³ /an

VI : Volume infiltré / an (fuite d'eau) : 0,3 hm³

VE : Volume évaporé / an : 18 hm³

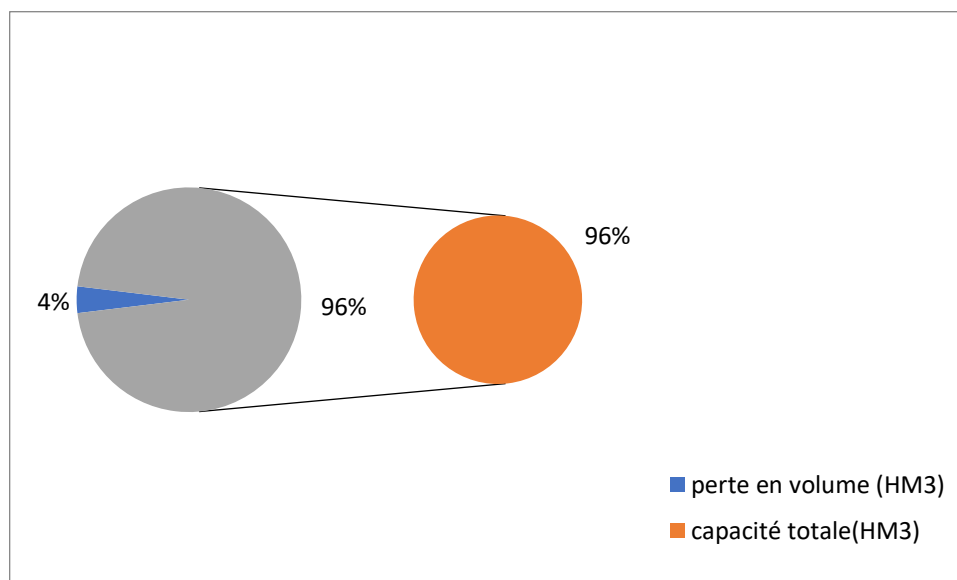


Figure 58 *présentation des pertes en volume par secteurs par rapport à la capacité totale*

D'après la figure nous constatons que les pertes en volume sont considérables et présentent un pourcentage important de 4% de la capacité totale du barrage ce qui signifie que chaque année en moyenne le barrage perd un volume de 18 hm³ environ . D'après ces estimations, nous pouvons conclure que la retenue du barrage de Ain Kahla est soumise à une perte de capacité due essentiellement à trois phénomènes :

- ◆ Les fuites d'eau
- ◆ Un envasement accéléré
- ◆ Une forte évaporation

De ce qui précède, nous constatons que les fuites d'eau et l'envasement présentent

les facteurs les plus importants qui engendrent des pertes considérables et réduisent la capacité du barrage de Ain Kahla d'une façon remarquable. A cet effet, il s'avère très nécessaire de lutter contre ces problèmes hydrauliques afin de réduire jusqu'aux volumes acceptables les pertes en volume de ce barrage.

IV.3.3 Conséquences de l'envasement

L'envasement, ou accumulation de sédiments dans les étendues d'eau, a plusieurs conséquences néfastes. Il réduit la capacité de stockage des réservoirs et des lacs, entrave la navigation, perturbe les écosystèmes aquatiques, détériore la qualité de l'eau en libérant des polluants, accroît le risque d'inondations, entraîne des coûts élevés d'entretien, et diminue la biodiversité. Pour atténuer ces effets, des mesures de gestion, comme le curage des sédiments, la protection des bassins versants, et des pratiques agricoles durables, sont souvent nécessaires.

IV.3.4 Conséquences de l'Évaporation dans les Barrages Algériens

Les conséquences de l'évaporation dans les barrages algériens sont multiples et ont des implications importantes pour la gestion des ressources en eau, en particulier dans une région caractérisée par des climats arides et semi-arides. La dépendance de l'Algérie vis-à-vis des barrages pour le stockage de l'eau rend impératif de comprendre et de résoudre les défis posés par l'évaporation. Dans cette section, nous explorons les différentes conséquences de l'évaporation dans les barrages algériens, englobant les dimensions écologiques, économiques et sociales.

1. Perte d'Eau et Réduction de la Capacité de Stockage

L'évaporation entraîne la perte de volumes substantiels d'eau des réservoirs dans les barrages algériens. Cette perte réduit la capacité de stockage effective des barrages au fil du temps. Avec l'augmentation des besoins en eau du pays pour l'agriculture, l'industrie et l'usage domestique, cette perte devient un problème critique, pouvant potentiellement entraîner des pénuries d'eau et une diminution de l'efficacité des réservoirs.

2. Détérioration de la Qualité de l'Eau

À mesure que l'eau s'évapore de la surface d'un barrage, elle laisse derrière elle des polluants et des sels concentrés. Cela peut entraîner une augmentation de la salinité de l'eau et une détérioration de la qualité de l'eau. Des niveaux élevés de salinité peuvent affecter négativement les écosystèmes aquatiques et la qualité de l'eau pour l'irrigation, limitant potentiellement la productivité agricole.

3. Impact sur les Écosystèmes

La réduction des niveaux d'eau due à l'évaporation peut perturber les écosystèmes locaux autour des barrages algériens. Les habitats aquatiques peuvent rétrécir, affectant les populations de poissons, tandis que les zones humides peuvent s'assécher, impactant les modèles de migration des oiseaux. Le maintien d'écosystèmes sains est non seulement important pour la biodiversité, mais aussi pour les services écologiques qu'ils fournissent.⁶³

⁶³ - Zalewski, M. (2002). Écohydrologie - Les bases scientifiques pour utiliser les propriétés des écosystèmes comme outils de gestion en vue de la durabilité des ressources en eau. *Ecological Engineering*, 20(5), 391-403.

4. Coûts Économiques

Les coûts économiques de l'évaporation dans les barrages algériens sont substantiels. La perte de ressources en eau affecte l'agriculture, qui est un secteur vital de l'économie du pays. La diminution de la disponibilité de l'eau peut entraîner une réduction des rendements des cultures et une augmentation des coûts d'irrigation, impactant la sécurité alimentaire et les moyens de subsistance ruraux.⁶⁴

5. Implications Sociales

La pénurie d'eau résultant de l'évaporation peut avoir des implications sociales, notamment des conflits autour des ressources en eau et le déplacement de communautés rurales. Assurer des pratiques de gestion durable de l'eau et minimiser les pertes par évaporation est essentiel pour éviter de telles perturbations socio-économiques.

6. Stratégies d'Atténuation

Pour atténuer les conséquences de l'évaporation dans les barrages algériens, diverses stratégies peuvent être envisagées. Celles-ci incluent l'utilisation de couvertures anti-évaporation, l'optimisation des opérations de réservoir et la promotion de pratiques agricoles économes en eau. La recherche et l'investissement dans ces stratégies sont cruciaux pour une gestion durable de l'eau.

IV.3.5 Méthodes de Détermination des Taux d'Évaporation des Barrages en Algérie

L'estimation précise des taux d'évaporation des barrages revêt une importance cruciale pour la gestion des ressources en eau, en particulier dans les régions arides comme l'Algérie, où la pénurie d'eau est un problème pressant. Des données précises sur les taux d'évaporation contribuent à optimiser l'allocation de l'eau, l'exploitation des réservoirs et à garantir un approvisionnement en eau durable. Plusieurs méthodes et techniques peuvent être utilisées pour déterminer le taux d'évaporation d'un barrage en Algérie. Ces méthodes varient en complexité et en précision, permettant leur sélection en fonction des besoins spécifiques et des ressources disponibles de la région. Dans cette section, nous discutons de quelques-unes des méthodes de premier plan utilisées dans ce contexte.

1. Méthode de l'Évaporation dans le Bac

La méthode de l'évaporation dans le bac implique la surveillance du taux d'évaporation à partir d'un bac d'évaporation standard placé près du barrage. Le taux de perte d'eau du bac est utilisé pour estimer le taux d'évaporation à proximité du barrage. Le bac d'évaporation de classe A, tel que défini par l'Organisation météorologique mondiale (OMM), est largement accepté à cette fin. Cette méthode est relativement simple et économique mais peut nécessiter des ajustements pour les conditions locales. Elle est couramment utilisée comme référence pour valider des méthodes plus complexes.⁶⁵

2. Méthodes Basées sur les Données Météorologiques

Ces méthodes reposent sur les données météorologiques telles que la température, l'humidité, la vitesse du vent et le rayonnement solaire pour estimer l'évaporation. L'équation de Penman-Monteith, recommandée par l'Organisation des Nations Unies pour

⁶⁴ - Sharma, D. P., & Singh, V. P. (2009). Pertes par évaporation des petits réservoirs dans les régions arides et semi-arides. *Hydrological Processes*, 23(23), 3305-3313.

⁶⁵ - Hadj Sahraoui El Watan : 20 - 10 – 2010.

l'alimentation et l'agriculture (FAO), est la plus largement utilisée à cette fin. Elle fournit une estimation complète de l'évapotranspiration en tenant compte de divers facteurs climatiques. Les données météorologiques peuvent être collectées à partir de stations météorologiques ou de sources basées sur les satellites.⁶⁶

3. Modélisation Hydrologique

Les modèles hydrologiques peuvent simuler le bilan hydrique d'un barrage et estimer les taux d'évaporation dans le cadre du bilan hydrique global. Ces modèles intègrent divers paramètres, notamment les apports, les déversements, la géométrie du réservoir et les données météorologiques. Des exemples de modèles hydrologiques couramment utilisés comprennent le Soil and Water Assessment Tool (SWAT) et le Hydrologic Engineering Center's River Analysis System (HEC-RAS). Cependant, ces modèles peuvent nécessiter des données approfondies et de l'expertise.⁶⁷

4. Télédétection

Les technologies de télédétection, telles que les images satellite et les capteurs infrarouges thermiques, peuvent fournir des informations précieuses sur l'évaporation du barrage. Ces méthodes offrent une couverture spatiale et temporelle et peuvent être particulièrement utiles dans les régions éloignées. Des techniques avancées telles que la modélisation du bilan énergétique de surface utilisent des données satellites pour estimer les taux d'évaporation en fonction de la température de la surface terrestre et d'autres paramètres pertinents.⁶⁸

5. Covariance d'Écoulement

La covariance d'écoulement est une technique de mesure directe qui consiste à utiliser des instruments spécialisés pour mesurer l'échange vertical de gaz, y compris la vapeur d'eau, entre la surface du barrage et l'atmosphère. Cette méthode fournit des données en temps réel et à haute fréquence, offrant une compréhension détaillée de la dynamique de l'évaporation, mais peut être techniquement exigeante et coûteuse.⁶⁹

⁶⁶ - Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Évapotranspiration des cultures - Directives pour le calcul des besoins en eau des cultures. FAO Irrigation and Drainage Paper 56.

⁶⁷ - Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2011). Documentation théorique de l'outil d'évaluation du sol et de l'eau, version 2009. Rapport technique de l'Institut des ressources en eau du Texas No. 406.

⁶⁸ - Bastiaanssen, W. G. M. (2000). Flux de chaleur sensible et latent basés sur SEBAL dans le bassin irrigué de Gediz, Turquie. *Journal of Hydrology*, 229(1-2), 87-100.

⁶⁹ - Aubinet, M., Grelle, A., Ibrom, A., Rannik, Ü., Moncrieff, J., Foken, T., ... & Bernhofer, C. (2000). Estimations des échanges annuels nets de carbone et d'eau des forêts : Méthodologie EUROFLUX. *Advances in Ecological Research*, 30, 113-175.

CONCLUSION

Conclusion générale

Le barrage étudié (Ain kahla) sont soumises à une perte de capacité accélérée due à l'envasement accéléré, à l'évaporation intense et surtout aux fuites d'eau très élevée qui engendrent des pertes considérables.

Le problème des fuites d'eau au niveau des barrages est un phénomène complexe qui menace la stabilité de ces ouvrages et auquel les chercheurs en hydraulique doivent lui donner une attention très particulière.

A fin de contribuer à la résolution de ce problème épineux, nous avons entamé ce travail qui a porté sur l'étude de la perte de la capacité au niveau de barrage (Ain kahla). Au terme de cette étude, il nous est permis de conclure que :

Nos barrages sont menacés par le problème des pertes d'eau surtout que le volume perdu est en augmentation au cours du temps à cause de la sécheresse et la détérioration de certaines zones du voile d'étanchéité causée à son tour soit par l'érosion hydraulique ou par la corrosion chimique. Il a été établi que l'origine de fuites était imputable à la continuité de la retenue et de la nappe dans les rives, c'est-à-dire à un défaut d'étanchéité.

D'après l'analyse des données d'exploitations fournie par l'Agence Nationale des barrages, nous constatons que les pertes totales en volume sont considérables et présentent un pourcentage important de 21% (**119,014Hm³**) de la capacité totale du barrage Ain kahla, 38% (**45,45Hm³**)

En deuxième lieu, il faut passer aux moyens de lutte contre les dépôts solides au niveau de la retenue et aussi réduire les pertes par l'évaporation pour augmenter la capacité de stockage du barrage et aussi éviter les dommages considérables à l'environnement et une mise en péril de l'économie du projet.

A la lumière de notre étude concernant les pertes d'eau au niveau des barrages Algériens, nous pouvons tirer les recommandations suivantes :

Le problème des pertes d'eau au niveau des barrages Algériens est du aux sites de ces ouvrages qui sont favorables aux fuites et défavorables au stockage d'une part et d'autre

part au choix du type du barrage.

La prévision de l'envasement est une étape indispensable pour tout projet de faisabilité d'un barrage. Le suivi régulier des apports solides dans un barrage est nécessaire pour un éventuel dévasement de la retenue.

L'établissement d'une carte de prévision de l'évaporation et l'obtention de relation entre l'évaporation et la superficie des lacs permet d'estimer le volume d'eau évaporée pour tout barrage en projet ou en exploitation.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- Abdelhafidh Khettab, Synda Baaziz 2006 ; Mémoire de fin d'étude : « La dynamique fluviale et les risques associés dans le bassin versant de oued l'abiod » Université de Batna.
- Agence Nationale des barrages (A.N.B) 2004 ; Etude de la protection des bassins versants de l'ensemble des barrages en études d'Avant Projet Détaillé (lots nos 1 à 4) et des bassins versants des barrages en exploitation (Bouhanifia, Ouizert, Fergoug).
- Agence Nationale des Barrages (A.N.B) 2008-2009, document interne ,2008-2009.
- Agence Nationale des Barrages (A.N.B) 2010-2011 ; Données géologiques et hydrogéologiques du barrage Gargar.
- Agence Nationale des Barrages -Barrage de Bouhanifia., Monographie de barrage Bouhanifia.
- Agence Nationale des Barrages -Barrage de Fergoug, document interne ,2008-2009. Mascara.
- Agence Nationale des Barrages -Barrage de Gargar, Monographie de barrage Gargar 1989, Relizane.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Évapotranspiration des cultures
- Directives pour le calcul des besoins en eau des cultures. FAO Irrigation and Drainage Paper 56.
- Aribi Soufiane Tayeb. 1995-1996 ; Tassement et consolidation des vases superficielles du barrage de Bouhanifia.
- Article de recherche : "Reservoir Sedimentation Handbook
- Aubinet, M., Grelle, A., Ibrom, A., Rannik, Ü., Moncrieff, J., Foken, T., ... & Bernhofer, C. (2000). Estimations des échanges annuels nets de carbone et d'eau des forêts : Méthodologie EUROFLUX. *Advances in Ecological Research*, 30, 113-175.
- Bastiaanssen, W. G. M. (2000). Flux de chaleur sensible et latent basés sur SEBAL dans le bassin irrigué de Gediz, Turquie. *Journal of Hydrology*, 229(1-2), 87-100.
- Benfetta Hassan Nourddine ; Etude de la perte de la capacité et la qualité du l'eau du barrage de Ouizert, Thèse du doctorat 2006-2007.

- Besouna Mohamed et Serrar 2008-2009 ; Contribution à l'étude d'un écoulement numérique bidimensionnel de transport de sédiment en suspension cas d'application ; Retenue du barrage Gargar. Univ d'Oran.
- Boutine Faiza et Messiouen Hind 2003-2004 ; Réhabilitation du réseau d'auxultation du Bouhanifia.
- Fluid Power: Hydraulics and Pneumatics" par James A. Sullivan
- Hadj Sahraoui El Watan : 20 - 10 – 2010.
- Le méga projet MAO entre en service. Sur reflexiondz.net
- Mokhtar Bzioui ,2004 ; Rapport national sur les ressources en eau au Maroc.
- Morsli B, Mazour M, Mededjel N, HamoudiA, Roose E ; Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et d'érosion sur les versants semi-arides du nord-ouest de l'Algérie. Sécheresse 2004.
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2011). Documentation théorique de l'outil d'évaluation du sol et de l'eau, version 2009. Rapport technique de l'Institut des ressources en eau du Texas No. 406.
- Oulhiz Aicha. 2008-2009 ; Contribution à l'étude des opérations de repeuplement par deux espaces aquacoles (carpes argentée et carpe à grande bouche du barrage Gargar. Univ d'Oran.
- Remini B ; Envasement des Barrages. Alger : Office des Publications Universitaires (OPU), 2004.
- Remini Boualem ,2005 ; Eau et irrigation traditionnelle en Algérie Problématique et stratégie.
- Remini Boualem ,2005 ; La problématique de l'eau en Algérie. Blida.
- Remini Boualem, Christian Leduc Wassila Hallouche, 2009 ; Evolution des grands barrages en régions arides : quelques exemples algérien.
- Sharma, D. P., & Singh, V. P. (2009). Pertes par évaporation des petits réservoirs dans les régions arides et semi-arides. Hydrological Processes, 23(23), 3305-3313.

- Tahri Tahr, 2009; Etude des Fuites d'eau au niveau du barrage de Cheurfas (II) W.Mascara, Univ Mostaganem.
- TOUATI Bouzid, Les barrages et la politique hydraulique en Algérie : état, diagnostic et perspectives d'un aménagement durable, Thèse du doctorat 2010.
- Zalewski, M. (2002). Écohydrologie - Les bases scientifiques pour utiliser les propriétés des écosystèmes comme outils de gestion en vue de la durabilité des ressources en eau. Ecological Engineering, 20(5), 391-403.
- Agence Nationale des Barrages (A.N.B) 2010-2011 ; Données géologiques et hydrogéologiques du barrage Gargar.
- Agence Nationale des Barrages -Barrage de Bouhanifia., Monographie de barrage Bouhanifia.
- Remini B ; Envasement des Barrages. Alger : Office des Publications Universitaires (OPU), 2004.
- T.A.D Consult, 2005 ; Etude relative a la caractérisation et a la délimitation des zones de montagne et des massifs montagneux : « massif des Béni Chougrane-phase III ».