



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج



Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi - B.B.A.
كلية علوم الطبيعة و الحياة و علوم الأرض و الكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers
قسم العلوم الفلاحية
Département des Sciences Agronomiques

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Aménagement hydro agricole

Intitulé

Etude du Bilan hydrologique du barrage Ain Zada

– Bordj Bou Arreridj -

Présenté par : - SERIFEG Fella
- LESSAAD Khawla

Soutenu le :2020

Devant le jury :

Président : BIBAK Mohamed

MCB (Univ. Bordj. Bou. Arréridj)

Encadrant : BENAINI Mohamed

MAA (Univ. Bordj. Bou. Arréridj)

Examineur : CHOURGHAL Nacira

MCA (Univ. Bordj. Bou. Arréridj)

Année universitaire : 2019/2020

Remerciements

Avant tout, nous remercions « Allah » le tout puissant qui nous a guidé tout au long de notre vie, il nous a donné courage et patience pour passer tous les moments difficiles, et nous a permis d'achever ce travail et de pouvoir le mettre entre vos mains aujourd'hui.

Un travail de recherche, nécessite le concours d'un certain nombre de personnes.

Ce mémoire est aujourd'hui l'occasion de remercier toutes les personnes qui ont collaboré à ce travail.

Tout d'abord, nous tenons à remercier l'encadreur Monsieur BENAINI Mohammed, qui nous a donné confiance, et a mis à notre disposition tous les moyens et les ressources nécessaires à la réalisation de ce travail.

Nous remercions vivement les membres du jury qui nous ont fait l'honneur de juger notre travail.

Nous remercions tous les enseignants du département de Science de la nature et de la vie.

Nous remercions les membres des laboratoires du département des Sciences, merci pour votre disponibilité et vos encouragements.

Merci à tous

Dédicaces

*Avant tout, je remercie « ALLAH » le tout puissant de m'avoir accordé la force afin
d'accomplir ce travail.*

Je dédie ce Modest travail de fin d'études

À Ma mère la lumière de mes yeux.

À Mon père Mon père Mon père

A ma grande famille (SERIFEG)

A Mes frères (Fatah –Amar)

Mes sœurs (Dalila- Rabiaa- Halima-Hafida-Akila)

Spéciale dédicace à mon mari « Elhadj Belkhiri »

Je t'aime de tout mon cœur

A (Iman, Zakyia, Chaima ...).

SERIFEG FELLA

Dédicaces

*Au nom du **Dieu** clément et miséricordieux et que le salut de **Dieu**, soit sur son*

Prophète Mohammed.

A ceux qui m'ont tout donné sans rien en retour

A ceux qui m'ont encouragé pour continuer mon chemin universitaire

Et ceux à qui je dois tant

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de

Tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite,

*À ma **mère**...*

*A mon **père**, école de mon enfance, qui a veillé tout au long de ma vie*

À m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.

A mes frères et mes sœurs

Tous les gens que j'aime et qui m'aiment

LESSAAD KHAWLA

Résumé

Le barrage de Ain Zada permettra d'emmagasiner un volume d'eau de 125hm³ régularisant ainsi un volume de 50hm³ par an, afin d'assurer les basions en eau potable et industrielle des populations des villes en rapide expansion de la région, notamment les villes de SETIF, Bordj Bou Arreridj et El-Eulma. L'objectif est d'étudier le bilan hydrologique à partir des données CRM de 1986 à 2019, et les résultats obtenus sur une période de 34 ans ont montré que le barrage d'Ain Zada souffre s'un déficit important et d'une diminution critique de la réserve d'eau.

Mots clés : Barrage d'Ain Zada, Bassin Versant Oued Boussellam, Bilan hydrologique, AEP.

Abstract

The Ain Zada dam will store a water volume of 125hm³, regulating a volume of 50hm³ per year, in order to ensure the drinking and industrial water basics of the populations of the rapidly expanding cities of the region, in particular the cities of SETIF, Bordj Bou Arreridj and El-Eulma. The objective is to study the hydrological balance based on CRM data from 1986 to 2019, and the results obtained over a period of 34 years have shown that the Ain Zada dam suffers from a significant deficit and a critical decrease in the water reserve.

Keywords: Ain Zada dam, Oued Boussellam watershed, Hydrological balance. Drinking water supply.

ملخص

يقوم سد عين زادة بحجز حجم من المياه مقداره 125 مليون متر مكعب مما يضمن إمداد ثابت سعته 50 مليون متر مكعب سنويا للتزويد بالمياه المعالجة الصالحة للشرب و للصناعات المحلية خاصة لأهالي سطيف و برج بوعريريج والعلمة. الهدف هو دراسة التوازن الهيدرولوجي باستخدام بيانات CRM من عام 1986 إلى 2019 وقد أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها على مدى 34 سنة أن سد عين زادة يعاني عجزا كبيرا وانخفاضا حرجا في مخزون المياه.

الكلمات المفتاحية : سد عين زادة , مستجمعات مياه وادي بوسلام, التوازن الهيدرولوجي, إمدادات مياه الشرب .

TABLE DES MATIERES

Remerciements.....	I
Dédicaces	II
Résumé	III
Table des matières.....	V
Liste des figures	IX
Liste des Tableaux	XI

TABLE DES MATIERES

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I

I.1. Introduction.....	3
I.2. Historique des barrages.....	3
I.3. Classification des barrages.....	4
I.4. Utilité des barrages	5
I.5. Différents type des barrages.....	6
I.5.1. Barrage en béton.....	6
I.5.2. Barrage en remblai	6
I.6. Les barrages en terre	7
I.6.1. Types de barrage en terre	8
I.6.1.1. Barrage Homogène	8
I.6.1.2. Barrage a noyau	8
I.6.1.3. Barrage a masque	10
I.7. Les critères de choix du site et du type de barrage	11
I.7.1. Critères techniques	11
I.7.1.1. Topographie et apports du bassin versant	11
I.7.1.2. Morphologie de la vallée	11
I.7.2. Critères géologiques.....	12

I.7.2.1. Etanchéité de la cuvette	12
I.7.2.2. Nature des fondations de l'ouvrage	12
I.7.3. Critères hydrauliques.....	12
I.7.4. Critères socio-économiques	13
I.8. Les différents problèmes des barrages	13
I.8.1. L'envasement des barrages	13
I.8.2. Les fuites des barrages	14
I.8.3. Perte par évaporation.....	14
I.9. Evolution des grands barrages en Algérie	14
I.10. Conclusion	16

Chapitre II

II.1. Introduction	17
II.2. Présentation de barrage Ain Zada.....	17
II.3. Situation géographique	17
II.4. Le potentiel hydrique dans le sous bassin versant de l'oued Boussellam amont	18
II.5. La mobilisation des ressources en eau dans le sous bassin amont de Boussellam	19
II.6. Géologie du barrage d'Ain zada	19
II.7. Les caractéristiques techniques du barrage	19
I.8. La digue principale	20
II.8.1. Les matériaux utilisés dans la réalisation de la digue.....	21
II.9. Equipement hydrométrique	22
II.10. Station climatique au barrage Ain zada.....	23
II.11. Climat de la zone d'étude	23
II.11.1. Caractéristiques climatiques	23
II.11.2. Aperçu général sur le climat de la région	24
II.11.2.1. La température	24
II.11.2.2. la précipitation	25
II.11.2.3. Diagramme Ombro-thermique	25
II.12. Conclusion.....	26

Chapitre III

III.1. Introduction	27
III.2. Les élément du bilan hydrologique	27
III.3. Statistiques des CRM du barrage Ain zada	27
III.4. Etude de la variabilité des éléments du bilan hydrologique	28
III.4.1. Les précipitation.....	28
III.4.1.1. Variation interannuelle des précipitations.....	28
III.4.1.2. Variation intrannuelle des précipitations	28
III.4.2. les apports	29
III.4.2.1. Variation interannuelle des apports.....	29
III.4.2.2. Variation intrannuelle des apports.....	29
III.4.3. Evaporation	30
III.4.3.1. Variation interannuelle de l'évaporation.....	30
III.4.3.2. Variation intrannuelle d'évaporation	30
III.4.4. AEP (Alimentation en eau potable)	31
III.4.4.1. Variation interannuelle de l'AEP	31
III.4.4.2. Variation intrannuelle d'AEP.....	32
III.4.5. Défluent	32
III.4.5.1. Variation interannuelle du défluent.....	32
III.4.5.2. Variation intrannuelle du défluent.....	33
III.5. La variation annuelle des éléments du bilan hydrologique	34
III.6. volume	34
III.6.1. Volume moyenne intrannuelle du barrage Ain zada.....	34
III.6.2. Variation interannuelle du volume du barrage Ain zada (1986/2019).....	35
III.7. Conclusion	35
Conclusion général	36
Référence Bibliographique	

LISTE DES FIGURES

Figure I.1. Catégories des barrages en remblai.....	7
Figure I.2. Profil du barrage homogène.....	8
Figure I.3. Digue à noyau central étanche.....	9
Figure I. 4. Digue à noyau incliné.....	9
Figure I.5. Digue à diaphragme.....	10
Figure I.6. Digue avec masque étanche.....	10
Figure I.7. Localisation des barrages en 1890.....	15
Figure I.8. Localisation des barrages en 2014.....	16
Figure II.1. Situation géographique du sous-bassin versant de Boussellam amont.....	18
Figure II.2. Photo de la digue principale et coupe en travers du barrage d'Ain zada.....	21
Figure II.3. Station climatique au barrage Ain zada.....	23
Figure II.4. Bac Colorado.....	23
Figure II.5. Photo de thermomètre.....	23
Figure II.6. Photo de pluviographe.....	23
Figure II.7. Variation des températures moyennes mensuelles à la station d'Ain zada.....	24
Figure II.8. Précipitation moyennes mensuelles de la station du barrage Ain zada.....	25
Figure II.9. Diagramme ombro-thermique de la station de Ain zada.....	26
Figure III.1. Variation interannuelle des précipitations du barrage Ain zada.....	28
Figure III.2. Variation mensuelle des précipitations du barrage Ain zada.....	28
Figure III.3. Variation interannuelle des apports du barrage Ain zada.....	29
Figure III.4. Apport moyenne mensuelle intrannuelle du barrage Ain zada.....	30
Figure III.5. Variation interannuelle d'évaporation du barrage Ain zada.....	30
Figure III.6. Variation intrannuelle d'évaporation du barrage Ain zada.....	31
Figure III.7. AEP moyenne interannuelle du barrage Ain zada.....	31
Figure III.8. Variation intrannuelle d'AEP du barrage Ain zada.....	32
Figure III.9. Défluent interannuelle du barrage Ain zada.....	33
Figure III.10. Défluent moyenne mensuelle intrannuelle.....	33
Figure III.11. Variation interannuelle des éléments du bilan hydrologique.....	34
Figure III.12. Variation interannuelle du volume du barrage Ain zada.....	34

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1. Les principaux rôles des barrages	5
Tableau II.1. Caractéristiques techniques du barrage Ain zada	20
Tableau II.2. Températures moyennes mensuelles d'Ain zada	24
Tableau II.3. Précipitations moyenne intrannuelle du barrage Ain zada.....	25
Tableau III.1. Statistique des données CRM du barrage Ain zada.....	27
Tableau III.2. Précipitation moyenne intrannuelle du barrage Ain zada.....	28
Tableau III.3. Apport moyenne intrannuelle du barrage Ain zada	29
Tableau III.4. Evaporation moyenne intrannuelle du barrage Ain zada.....	30
Tableau III.5. AEP moyenne intrannuelle du barrage Ain zada.....	32
Tableau III.6. Défluent moyenne mensuelle intrannuelle	33

Introduction Générale

Introduction Générale

Dans les pays à pluviométrie insuffisante ou irrégulière, l'eau est le principal facteur limitant de tout développement Hydro-agricole.

Les barrages sont des constructions particulières de point de vue technique et économique, cela justifie certainement les hautes exigences imposées en ce qui concerne l'étude du projet, la conception et l'exploitation. En effet le choix du type de barrage nécessite la prise en compte de plusieurs facteurs, citant la forme de la vallée (morphologie), la géologie, les conditions climatiques, la sismicité et la disponibilité des matériaux de construction, en vue de choisir la variante la plus économique tout en garantissant le plus haut degré de sécurité, et en minimisant les impacts causés par l'ouvrage ([Berramdane, 2018](#)).

Il existe deux grandes familles de barrages, ceux construits en béton et ceux construits en remblai (terre ou enrochement). Les barrages en remblais sont constitués de matériaux locaux meubles, qu'ils soient très fins (argile) ou très grossiers (enrochements). Cette famille regroupe cependant plusieurs catégories. Les différences proviennent des types de matériaux utilisés, et de dispositif d'étanchéité ([Berramdane, 2018](#)).

Un barrage est un ouvrage artificiel, généralement établi en travers d'une vallée, transformant un site naturel en réservoir d'eau. Avant les besoins en énergie électrique ont conduit à réaliser des ouvrages de dimensions considérables afin d'assurer la meilleure utilisation des ressources en énergie hydroélectrique. Les barrages sont conçus pour un objectif bien précis, et peuvent combiner plusieurs fonctions pour l'AEP, l'agriculture, l'industrie ([Durand et al, 1999](#)).

La demande mondiale en eau ne cesse d'augmenter. Depuis presque 5 000 ans, les barrages participent efficacement à l'alimentation en eau, car ils stockent les excédents en période d'abondance pour les relâcher néfastes des crues. Actuellement, les barrages dont les retenus représentent actuellement une capacité totale de stockage de près de 6 000 km³, contribuent efficacement à la gestion des ressources mondiales en eau qui sont limitées, mal réparties et peuvent présenter de grandes variations saisonnières ([Djemili, 2006](#)).

En Algérie, d'après l'agence Nationale des barrages et transferts (2017) il existe 95 barrages dont 67 barrages en exploitations, la tension relative à l'AEP ne cesse de s'accroître face à une demande croissante. Les aléas climatiques observés, conjugués à une forte démographie en milieu urbain ont contribué à une pénurie incontournable des ressources mobilisables. Les politiques adoptées ces vingt dernières années, en termes de construction de

barrages, de dessalement de l'eau de mer, restent insuffisantes (Allal et al, 2012). Une gestion non adaptée et insuffisamment planifiée s'est greffée, et a créé des tensions difficilement maîtrisables dans la distribution de l'eau potable (Bessedik, 2011). Les pertes d'eau dans les réseaux ont Dépassés les 55% (ADE, 2010). Ces déperditions sont dues à plusieurs facteurs, entre autres, la vétusté des conduites, une conception non adaptée au relief, des piquages illicites dus aux constructions anarchiques, une insuffisance de matériels adaptés (détection et réparation des fuites).

Dans cette étude, le barrage en terre d'Ain zada, situé à l'Est de la Wilaya de Bordj Bou Arreridj. L'objectif de ce travail consiste a étudié le bilan hydrologique du barrage d'Ain zada.

Le présent mémoire est structuré en trois chapitres interdépendants :

Le premier chapitre : présent à la fois une bibliographie et des généralités sur les barrages ainsi que les critères de choix des sites et les types de barrages.

Le deuxième chapitre : description de la zone d'étude « Ain zada » les caractéristiques générales du sous bassin versant Boussellam.

Troisième chapitre : L'analyser de la variation des différents paramètres du bilan hydrologique du barrage Ain zada.

Chapitre I

Généralités sur les Barrages

I.1. Introduction

Un barrage est un ouvrage artificiel retenant de l'eau. Il peut être installé sur un cours d'eau pour en bloquer les écoulements et élever le niveau d'eau en amont de l'ouvrage, ou de manière à fermer une cuvette naturelle dans le but de retenir les eaux de pluie et de ruissellement. Les barrages peuvent être constitués de matériaux durs (autrefois en maçonnerie, aujourd'hui en béton), ou en matériaux meubles (terre, enrochements).

I.2. Historique

Les premiers barrages sont nés avec les premières civilisations de l'antiquité, en particulier dans la vallée du Nil, Mésopotamie, en Chine et en Asie du sud. Ce sont certainement les traces de ces anciennes civilisations que les archéologues retrouvent facilement.

Le XX^{ème} siècle a été marqué pour un taux très élevé de construction de barrages sur la planète, la plupart concentrés dans les pays les plus industrialisés. Selon le rythme de la croissance démographique et du développement économique, on a assisté à un accroissement de la construction des barrages dans le monde. À la fin du XX^{ème} siècle, le total de retenues a atteint les 45 000, distribuées sur plus de 140 pays. Actuellement, près de la moitié des grands fleuves du monde comptent au moins un grand barrage. L'apogée de la construction de ces ouvrages remonte aux années 1960 et 1970, époque à laquelle ils étaient considérés comme un symbole de développement économique, de progrès technologique et de modernisation. C'est à cette époque que la plus grande partie des barrages a été construite dans les pays d'Amérique du Nord, d'Asie et d'Europe, tandis que les pays d'Afrique, d'Amérique du Sud et d'Océanie présentaient un taux linéaire de croissance.

Après les pays du nord de la Méditerranée, ceux d'Afrique du Nord et du Proche-Orient se sont lancés dans une politique de construction de petits barrages. Les objectifs de ces aménagements sont essentiellement la gestion et la conservation des eaux et des sols avec la protection des infrastructures en aval, en particulier en Afrique du Nord, celles des grands barrages contre une sédimentation trop rapide.

Le développement des petits barrages a suivi des chemins et des objectifs différents. Le premier trait commun est une volonté politique de développer ce type d'aménagement dans les années à venir.

L'évolution des capacités de stockage des petits barrages a été étudiée à travers un modèle d'estimation et de simulation des transports solides. Ces études ont permis de mieux comprendre les phénomènes d'envasement en relation avec l'érosion des sols sur les bassins-versants (Alberge et Als, 2004).

La réalisation de nouveaux barrages et retenues collinaires à travers le territoire de l'Algérie est retenue dans le cadre du programme du secteur de l'hydraulique au titre de la période quinquennale 2010-2014. Pour ce faire, des études sont prévues afin de déterminer la faisabilité de plus d'une quarantaine de petits barrages et retenues collinaires dans l'objectif évident de combler le déficit enregistré en ce qui concerne l'irrigation agricole et l'alimentation en eau potable des populations .

Le manque d'expérience dans de telles études a engendré un investissement colossal dans les travaux de conception. Pour remédier à cette situation, les bureaux d'études algériens ont développé leur propre méthodologie d'étude. Contrairement aux grands barrages, les petits barrages et retenues collinaires ont été considérés différemment vu leurs particularités. La consistance des études a été sensiblement modifiée avec comme résultat des délais de réalisation qui sont passés de 12 à 6 mois se répercutant aussi sur le coût global, qui est passé de 2 500 000 à 1 200 000 DA , sans pour autant affecter la qualité et la fiabilité de l'étude. Cette réduction a été obtenue grâce à la normalisation de certaines études et à la rationalisation des tâches, comme l'étude hydrologique, les reconnaissances géologiques et géotechniques (sondages, fouilles, essais en laboratoire), le dimensionnement hydraulique des ouvrages, le calcul de génie civil des ouvrages en béton armé et les pièces dessinées (Benlaoukli et Touaïbia, 2004).

I.3. Classification des barrages

Un barrage est un ouvrage d'art construit en travers un cours d'eau, dans le but de créer des réservoirs (retenues) qui permettent d'accumuler l'eau durant les périodes pluvieuses pour pouvoir en distribuer ensuite durant les périodes sèches. La classification des barrages est basée, en général, sur les normes de projection, les spécificités techniques de construction et en particulier les risques attendus à l'aval de l'ouvrage après sa rupture. Comme elle peut se faire également selon plusieurs critères parmi lesquels on peut citer : les matériaux de la fondation, les matériaux de construction ou la façon de s'opposer à la poussée de l'eau. Le critère le plus important de la classification de ces ouvrages hydrauliques reste la hauteur (H, hauteur prise à partir de la fondation) :

- Grands barrages : $H > 50$ m ;
- Moyens barrages : $15 \text{ m} < H < 50$ m ;
- Petits barrages : $H < 15$ m.

En Algérie, sont considérés comme grands barrages :

- tous les barrages dont la hauteur $H \geq 15$ mètres (hauteur prise à partir des fondations).
- tous les barrages dont la hauteur $10 \leq H \leq 15$ mètres et qui satisfont à l'une des conditions suivantes :

- capacité supérieure ou égale à 1 million de mètres cubes ;
- longueur en crête supérieure à 500 mètres ;
- débit maximum de l'évacuateur de crue égal ou supérieur à 2000 m³/s ;
- barrage d'une conception inhabituelle ou barrage dont les fondations présentent des caractéristiques exceptionnelles.

Tous les barrages qui ne répondent pas à ces critères seront considérés comme petits barrages ou retenues collinaires.

Tenant compte des critères ci-dessus, le barrage d'Ain Zada se classe dans la catégorie des grands barrages avec une hauteur H égale 50 m.

I.4. Utilité des barrages

Les barrages jouent deux rôles principaux celui d'une part des stocker les apports d'eau afin de répondre aux besoins vitaux et économiques des Populations (eau potable, irrigation, fourniture d'énergie, navigation), et celui d'autre part, de protection contre des effets destructeurs de l'eau (maitrise des crues, rétention de sédiments, protection contre les avalanches). D'autres fonctions assurées par les barrages sont présentées dans le tableau I.1.

Tableau I.1. Les principaux rôles des barrages.

Eau élément vital	Eau élément destructeur
<ul style="list-style-type: none"> - stockage de l'eau - production d'énergie électrique - Approvisionnement en eau potable et industrielle, protection incendie - Irrigation - Pêche, pisciculture (élément, économique essentiel dans certains pays) - Soutient d'étiage (garantie d'un débit minimal) - Navigation fluviale (garantie d'un tirant d'eau minimal) 	<ul style="list-style-type: none"> - Ouvrages de protection - Bassin de rétention contre les crues (inondation, érosion) - Digue de protection contre les crues - Bassin de rétention de rétention de sédiments Charriés - Ouvrage de protection contre les Avalanches - Régulation des lacs - Rétention des glaces en pays Nordiques

Source ([Anton et Als, 2011](#))

Certains de ces objectifs peuvent être complémentaires sur un même ouvrage. D'autres sont, à priori, opposés : il est, par exemple, impossible d'avoir en même temps une retenue pleine pour fournir une réserve d'eau potable mais aussi un retenue vide pour limiter au maximum l'impact des crues. Notamment, les barrages excréteurs de crue sont des ouvrages conçus spécialement à cette fin avec des dispositions particulières de conception et d'exploitation ([Delliou, 2003](#)).

I.5. Différents types de barrages

Les techniques et les moyens disponibles à la fin du XIX^{ème} et au début du XX^{ème} siècle ne permettaient pas la construction de retenues d'une capacité importante. L'amélioration des techniques et des bétons dans le premier quart du XX^{ème} siècle permet d'envisager la réalisation de retenues plus conséquentes, capables de réguler la production hydro-électrique. La géologie (nature des roches sur lesquelles sera édifié le barrage, les matériaux disponibles sur le site) et la topographie (largeur de la vallée), déterminent le type de barrage à projeter.

Selon la nature du matériau de construction utilisée, on classe les barrages selon deux grandes catégories :

- Les barrages en béton
- Les barrages en remblai

I.5.1. Barrages en béton

Les barrages en béton se partagent en trois groupes :

- Barrage poids** : comme son nom l'indique, résiste à la poussée de l'eau par son propre poids. La plupart des barrages poids sont massifs et pleins avec un profil triangulaire. Le parement aval est vertical ou légèrement incliné, quant au parement amont il est incliné avec un fruit de talus de (75 à 80%) ([Anton et Pougatsch, 2011](#)).
- Barrage voûte** : Le barrage est constitué d'un mur en béton arqué. La poussée de l'eau est reportée sur les flancs de la vallée. Le barrage a parfois une double courbure verticale et horizontale. Lorsque toutes les conditions nécessaires sont réunies, il permet d'économiser un volume de béton important.
- Barrage à contreforts** : Résiste à la poussée de l'eau par son poids propre, mais un certain nombre de dispositions permettent de diminuer le volume de béton par rapport au barrage poids.

Ces contreforts conduisent les efforts jusqu'aux fondations, qui doivent être de qualité permettant des sollicitations élevées, et sont des éléments stabilisateurs de l'ouvrage.

I.5.2. Barrages en remblai

Il s'agit d'ouvrages de grand volume dont la construction a été rendue possible par l'emploi des engins modernes de terrassement et de manutention.

On choisit ce type d'ouvrage lorsque la vallée est trop large et lorsqu'on trouve les matériaux sur place ou à faible distance.

Ce type de barrage constitué de terre ou d'enrochements comporte généralement un noyau central d'argile qui assure l'étanchéité. Dans certains ouvrages, l'étanchéité est assurée par un masque amont en béton ou une géo membrane interne.

Cette technique a également été utilisée pour la construction de retenues de moyenne capacité.

On distingue deux catégories de barrage en remblai :

- Les barrages en terre, réalisés à partir de sols naturels meubles prélevés à proximité du site de l'ouvrage.
- Les barrages en enrochement, dont la majeure partie est constituée de matériau de Carrières concassé.

La figure I.1 représente les sous types de barrage, pour les deux catégories de barrages en remblai en fonction du matériau de construction, et du dispositif d'étanchéité.

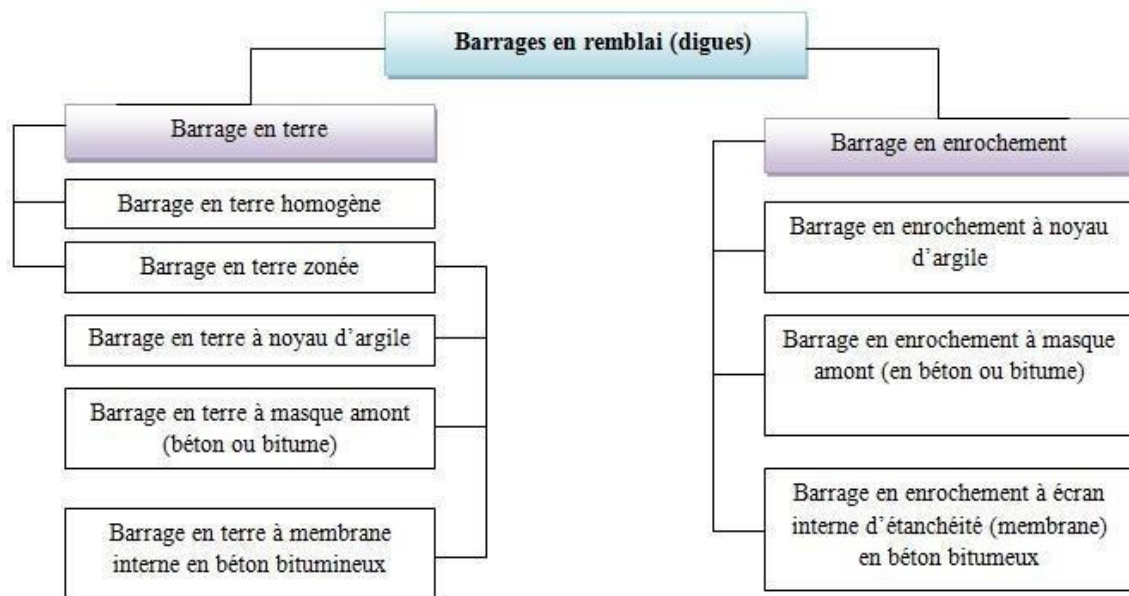


Figure I.1. Catégories des barrages en remblai (Anton et Pougatsch, 2011).

Dans notre travail on va s'intéresser qu'aux barrages en terre :

I.6. Les barrages en terre

La réalisation des barrages en terre homogène a connu un grand succès grâce aux améliorations réalisées dans le domaine des grands engins de terrassement. Ceci a permis de rendre leur réalisation plus économique que les barrages en terre est souvent réalisé avec des matériaux collectés à proximités du site ou il sera érigé.

Les principaux paramètres à prendre en compte dans le choix du site et du type de barrage sont les suivants :

- La topographie.
- Les apports du bassin versant.
- La morphologie de la vallée.
- Les conditions géologiques et géotechniques.
- Le contexte météorologiques et le régime des crues.
- Les apports moyens en eau et leurs fluctuations saisonnières.
- Les caractéristiques.
- Les risques sismiques.

I.6.1. Types de barrage en terre

Il existe trois types de barrages en terre, les ouvrages enterre homogènes, ceux à noyaux étanches et ceux à masques amont, qui diffèrent en fonction des matériaux utilisés et de la méthode utilisée pour assurer l'étanchéité du barrage.

I.6.1.1. Barrage Homogène

Utilisé en cas d'existence de grande quantité de sol pratiquement imperméable le plus souvent argileux remplissant simultanément les deux fonctions d'écran et de masse. Ce matériau doit présenter des caractéristiques permettent de garantir une étanchéité suffisante et une stabilité du remblai. La figure I.2 représente le profil général d'un barrage homogène.

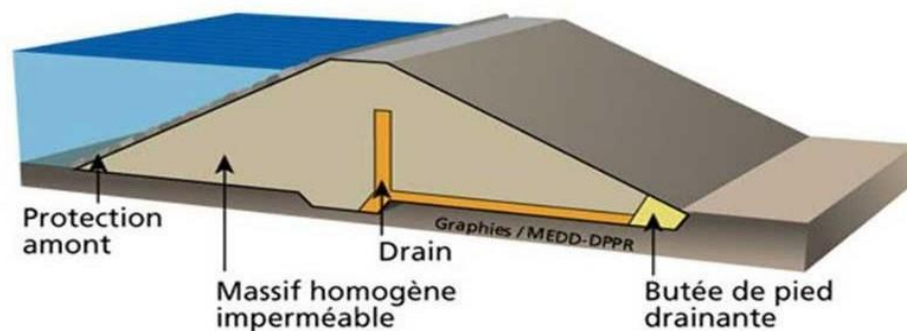


Figure I.2. Profil du barrage homogène.

I.6.1.2. Barrage à noyau

Dans le cas où la quantité des matériaux imperméables disponibles sur site est insuffisante pour réaliser tout le corps du barrage. Dans ce cas les fonctions de résistance et d'étanchéité sont en quelques sortes séparées. D'une part, la résistance est assurée par les recharges placées sur les flancs de l'ouvrage, d'autre part l'imperméabilité est assurée par le noyau central constitué de terre, la plus imperméable possible (argile) . La stabilité du massif sera assurée par des zones perméables appelées recharges.

a) Barrage à noyau central

Dont le profil est présenté par la figure I.3. Le noyau est constitué d'un sol imperméable ou peu perméable pour assurer l'étanchéité par contre la stabilité du massif sera assurée par des zones perméables appelées recharges (Cherif et Bouhassane, 2013).

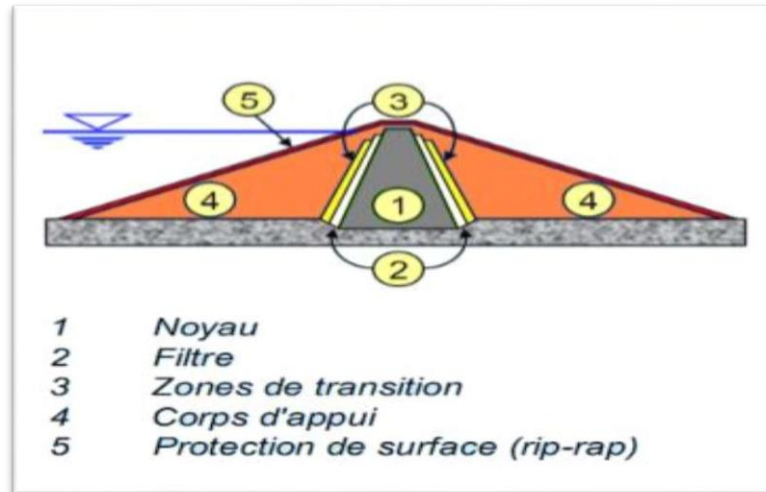


Figure I.3. Digue à noyau central étanche (Benkaci, 2014).

b) Barrage à noyau incliné

Présenté par la figure I.4. Dans ce cas le noyau est déplacé vers l'amont. Les surfaces potentielles de glissement traversent le noyau et la pente du parement amont est donc plus douce pour garantir la stabilité. La masse du corps d'appuis aval augmente également ce qui représente un certain avantage pour le barrage (Cherif et Bouhassane, 2013).

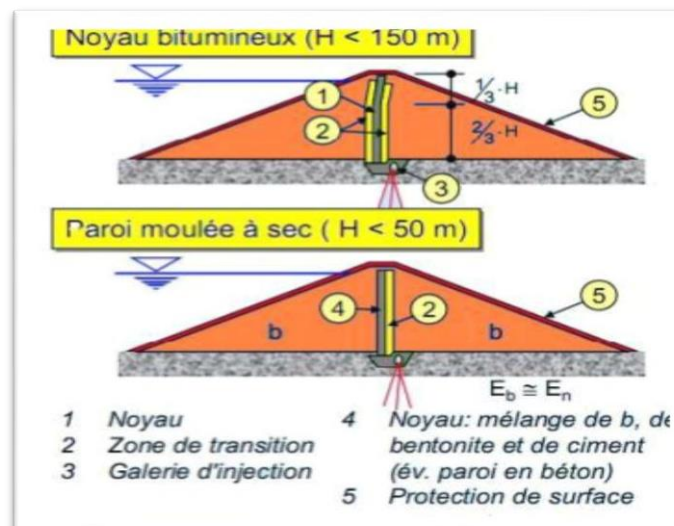


Figure I.4. Digue à noyau incliné (Benkaci, 2014).

c) Barrage à diaphragme

Digue zonée (noyau incliné) présentée par la figure I.5.

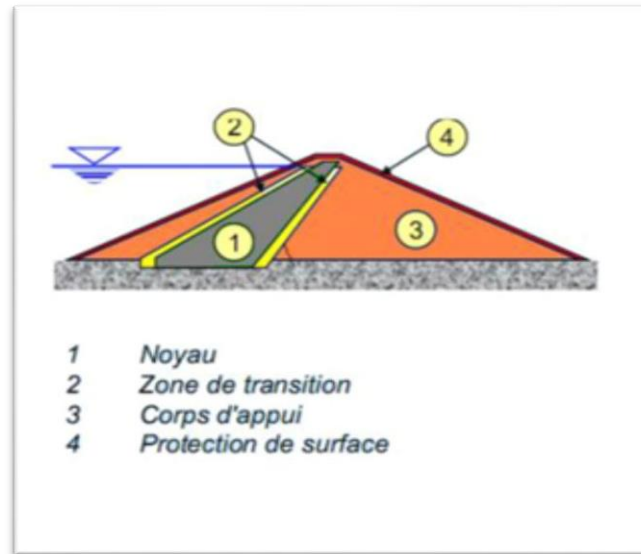


Figure I.5. Digue à diaphragme (Benkaci, 2014).

I.6.1.3. Barrage à masque

Sur des sites particuliers où aucune terre imperméable n'est disponible et où seuls les enrochements sont dominants, Le corps du barrage est donc construit avec un matériau quelconque pour autant qu'il soit peu déformable et pouvant assurer la stabilité au glissement de l'ensemble de l'ouvrage. Le masque qui assure l'étanchéité peut être en béton, en produits bitumineux ou en géo-membrane. La présence de ce masque sur le parement amont présente un double avantage de pouvoir faire des réparations en cas de dégradation du masque et de permettre de faire des vidanges rapides sans risque de glissements. Ses éléments sont montrés sur la figure I.6 (Messaid, 2009).

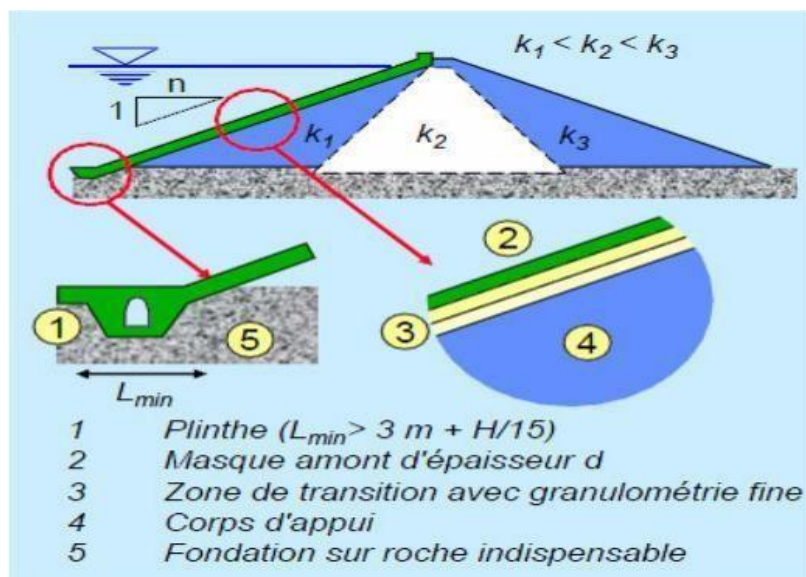


Figure I.6. Digue avec masque étanche (Benkaci, 2014).

I.7. Les critères de choix du site et du type de barrage

Le choix du type de barrage s'impose tout naturellement dans bien des cas, sans qu'il soit nécessaire de faire des investigations poussées. Ainsi, lorsque le substratum rocheux est à une profondeur supérieure à environ 5 mètres, seul un barrage en remblai est raisonnablement envisageable, du moins pour les ouvrages de hauteur inférieure à 25 mètres

Dans certaines régions, le contexte géologique est tel que le type de barrage est presque toujours le même. Dans d'autres cas, le choix du type de barrage sera un compromis entre les différents aspects suivants : nature de la fondation, disponibilité des matériaux à proximité et hydrologie, pour aboutir au meilleur choix économique. Mais il y aura toujours intérêt à choisir le plus rapidement possible, en règle générale à l'issue des études de faisabilité (Becue et al, 2002).

Les principaux paramètres à prendre en compte dans le choix du site et du type de barrages sont les suivants :

I.7.1. Critères techniques

Critères techniques Les principaux paramètres techniques à prendre en compte dans la construction du barrage sont

I.7.1.1. Topographie et apports du bassin versant

La topographie d'un site influe fortement sur le choix de l'ouvrage. Si l'on excepte le cas des plans d'eau à vocation touristiques et les petits barrages hydroélectriques, c'est le volume de la retenue qui conditionne toute la conception du barrage. Le travail consiste à vérifier si le bassin versant autorise le remplissage de la retenue et à calculer avec quel risque de défaillance Elle consiste à chercher un emplacement qui répond à la fois aux besoins en eau en fournissant un volume d'eau suffisant afin d'en tirer le type de l'ouvrage à édifier. Par souci de la rentabilité économique de l'ouvrage, on fait tendre le rapport volume d'eau emmagasinée de la plus grande valeur possible vers le cout du barrage (Jochlin, 2009).

I.7.1.2. Morphologie de la vallée

Tout barrage est nécessairement lié à son environnement. La morphologie de la vallée joue un rôle important dans le choix du site du barrage et du type d'ouvrage le mieux adapté. Bien entendu, l'emplacement idéal et le plus économique est celui d'un site étroit, précédé à l'amont par un élargissement de la vallée, à condition que les appuis du barrage soient sains (resserrement indépendant d'une zone d'éboulement ou d'un glissement). Ce type déiste est peu fréquent, soit parce qu'il n'existe pas toujours de resserrement de vallée dans la nature, soit parce que le choix du site n'obéit pas toujours aux seules considérations techniques. En

première approximation, une vallée large conviendra mieux à l'aménagement d'un barrage en remblai. Un site étroit conviendra aussi à un barrage poids et un site très étroit conviendra aussi à une voûte. Tout cela bien sûr sous réserve que les fondations le permettent ([Becue et al, 2002](#)).

I.7.2. Critères géologiques

Du point de vue géologique, l'étanchéité, la nature de fondations et les zones d'emprunt doivent être prises en considérations ([Jochlin, 2009](#)).

I.7.2.1. Étanchéité de la cuvette

Les sols de la cuvette doivent être aussi imperméables que possible afin d'éviter des pertes considérables en eau qui peuvent provoquer la vidange prématurée de la retenue et des phénomènes dangereux comme la destruction de l'ouvrage. La carte géologique de la région permet de voir la nature des terrains d'assise de la cuvette. Les zones suivantes sont à éviter : les argiles gorgées d'eau, les tourbes et les silts, les argiles molles et les bancs rocheux irréguliers et les terrains qui sont susceptibles de se dissoudre par exemple : le gypse.

I.7.2.2. Nature des fondations de l'ouvrage

Deux genres de fondations peuvent être rencontrés : les fondations rocheuses et les fondations meubles. Pour les fondations rocheuses, on essaiera seulement de voir l'importance de la partie altérée. En ce qui concerne les fondations meubles, pour avoir une idée de leur nature exacte, il est préférable de faire quelques sondages à la tarière. Trois grands types de terrains meubles peuvent être rencontrés :

- Les terrains graveleux ou sableux :
Ces terrains sont à perméabilité élevée mais offrent l'avantage d'avoir une bonne stabilité.
- Les terrains formés de sables très fins, de limons, de roches broyées (type de sol rencontré le plus souvent). Ces terrains ont une perméabilité relativement faible et sont compressible
- Les terrains à fort pourcentage d'argile : même s'ils sont imperméables ces types de terrain sont à éviter (problème de gonflement, de glissement car l'argile est un matériau à comportement variable) ([Jochlin, 2009](#)).

I.7.3. Critères hydrauliques

Des considérations d'ordre hydraulique peuvent également entrer en ligne de compte. Les ouvrages en béton ou en maçonnerie offrent par exemple de meilleures garanties de

sécurité vis-à-vis des incertitudes de l'hydrologie, les surverses ne leur causant en effet que des dégâts mineurs. Au contraire, un barrage en terre classique ne supporte rarement un débordement par-dessus de la crête. Par contre, pour évacuer des débits importants, on peut être amené (s'il n'y a pas d'aménagements en aval) de choisir des barrages en terre rendus totalement déversant par la pose d'un parement aval en gradins de gabions, en matelas Reno ou en perré mastic bitumineux par exemple. On s'oriente aussi de préférence vers des ouvrages rigides lorsque le projet comporte des ouvrages hydrauliques importants à insérer dans le barrage : vannes segments, vidanges et prises de gros diamètres, conduites forcées, etc. ..., (Becue et al, 2002).

I.7.4. Critères socio-économiques

Dans plusieurs cas, les considérations précédentes auront permis de retenir plusieurs types de barrage. Par exemple, des fondations rocheuses, la présence de matériaux meubles proches du site, un débit de crue important, conduiront à mettre en balance un barrage en BCR et un barrage en terre équipé d'un évacuateur de crue coûteux. Il convient alors de poursuivre les études pour les deux types d'ouvrages, en veillant à affiner les estimations de coût au fur et à mesure de la progression des études. Dès que l'un des types de barrages paraît significativement plus économique, il est préférable de ne pas s'entêter sur l'autre option (Becue et al, 2002).

Le choix de certains types d'ouvrages est quasiment conditionné par des considérations socio-économiques qui peuvent être regroupées en trois critères à savoir : La disponibilité de la main d'œuvre, les objectifs généraux du projet et les sujétions d'entretien.

I.8. Les différents problèmes des barrages

Les retenues de barrages sont exposées aux différents problèmes hydrauliques tels que l'évaporation intense, les fuites d'eau, et envasement. Ces problèmes menacent la quantité d'eau emmagasinée dans la cuvette du barrage d'une part et d'autre part la stabilité de la digue. Mais le phénomène d'envasement est le plus désastreux de tous les problèmes hydrauliques qui touchent les retenues de barrage en Algérie ou à travers le monde (Toumi et Remini, 2018).

Aujourd'hui, L'Algérie dispose actuellement de 84 grands barrages d'une capacité dépassant 9 milliards de m³, annuellement c'est barrages perd une capacité estimée à 20 millions de m³ par le dépôt des sédiments dans les retenues (ANBT, 2019).

I.8.1. L'envasement des barrages

L'envasement des barrages est l'un des grands problèmes hydrauliques qui menace l'existence de l'infrastructure hydrotechnique en Algérie.

En Algérie, 20 barrages sont menacés par l'envasement rapide du réservoir cependant plus de 30 barrages enregistrent un faible taux d'envasement (Remini et Benfatta, 2015).

Suite à la forte érosion hydrique dans les bassins versants, des quantités considérables, des sédiments sont drainées directement dans les retenues de barrages. Ces dépôts posent des problèmes aux barrages, tel que la déstabilisation de la digue, la diminution du volume utile d'eau, l'obturation des pertuis de vidange et le colmatage des canaux d'irrigation (Dammak, 1982). Les pays de l'Afrique d Nord comme l'Algérie, le Maroc, et la Tunisie détiennent plus de 230 barrages d'une capacité totale de 23 Km³. Environ 125hm³ de sédiments se déposent annuellement au fond de ces barrages, par ordre d'importance décroissante, le Maroc avec 65hm³, l'Algérie avec 32hm³, et la Tunisie avec 30hm³ (Remini, 1997).

I.8.2. Les fuites des barrages

Le problème de fuites revêt une grande importance, surtout pour les pays comme l'Algérie où le développement économique est lié aux quantités d'eau emmagasinées au sein des retenues de barrages (Toumi et Remini, 2004). Le problème des fuites d'eau très sérieux surtout pour les pays à climat sec puisqu'il menace 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) (Benfatta et al, 2017).

I.8.3. Perte par évaporation

En Algérie, le phénomène de l'évaporation de l'eau des lacs des barrages est considérable et en enregistrant annuellement des pertes de volume très élevées. En général, les mesures de l'évaporation au niveau des barrages algériens se font à l'aide d'un bac COLORADO ou d'un bac de type CLASSE A comme celui installé à proximité de la retenue du barrage de Béni Haroun sis au Nord Est de la willaya de Mila. L'intérêt primordial des valeurs, des différentes mesures obtenues, de l'évaporation pour le cas d'un problème d'envasement d'un barrage est d'évaluer les quantités perdues par évaporation et faire une étude comparative avec les pertes par envasement et par fuites (Toumi et Remini, 2018).

I.9. Evolution des grands barrages en Algérie

La construction des barrages a commencé depuis plus de 7 siècles dans les vallées de Mzab et la Saoura. Selon les peu de données que nous avons collecté, c'est en 1846 la date de

la réalisation du barrage de Sig d'un volume de 0.7 à 1 million de m³. En 1860, trois barrages au total sont exploités pour l'irrigation, il s'agit des barrages Sig, Tlilet1 et Meurad d'une capacité totale de 2.26 millions de m³ d'eau. (Remini et al, 2009).

En 1890, l'infrastructure hydrotechnique Algérienne s'est dotée de dix barrages d'une capacité totale égale à 61 millions de m³ (figure I.7). Ils ont enregistré une capacité de boue piégée au fond des barrages égale à 2.7 millions de m³. (Remini et al, 2009).

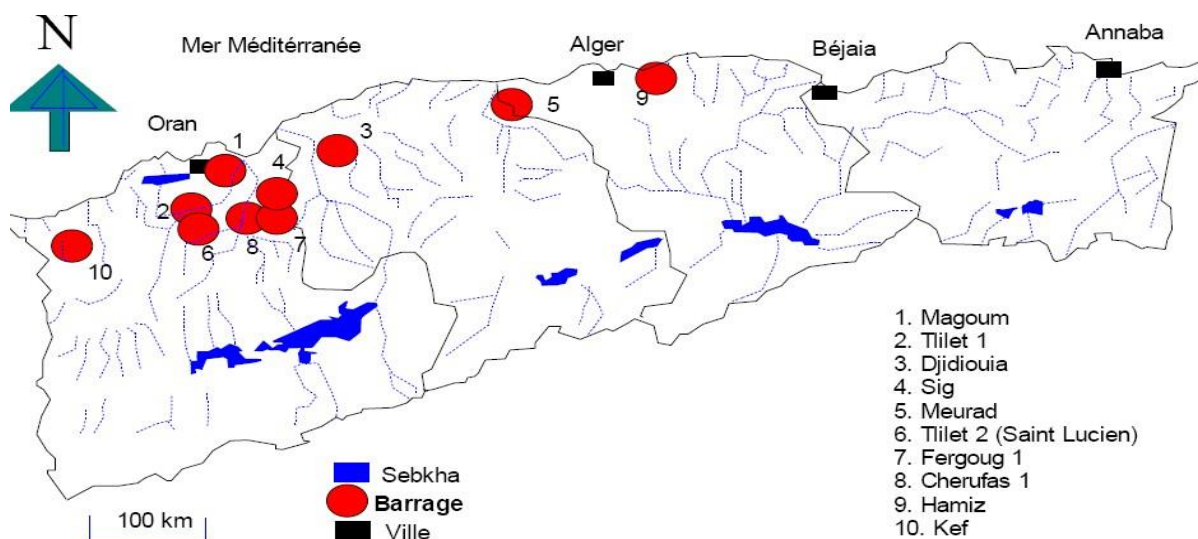


Figure I.7. Localisation des Barrages en 1890.

Cependant après 55 ans d'exploitation, c'est-à-dire en 1945, les services d'hydraulique ont enregistré les premières conséquences de l'envasement ; le déclassement de 7 barrages sur 10. Il s'agit des barrages : Magoun, Sig, Kef, Tlilet1, Tlilet2 (Saint Lucien), Fergoug. Seulement, les barrages Cheurfas 1, Meurad et Hamiz ont pu échapper à ce phénomène. Pour faire face à ce phénomène, 8 grands barrages ont été mis en exploitation durant la période : 1890-1945 pour porter le nombre de barrages à 11 dont la capacité totale avoisine le volume de 785 millions de m³. Cependant un dépôt vaseux de 73 millions de m³ se trouvait au fond de ces onze barrages.

En 2004, la capacité des eaux a été doublée pour atteindre un volume de 6800 millions de m³ stockée dans 60 barrages. En parallèle pour la première fois, le volume de vase déposée au fond des barrages a atteint 1.1 milliards de m³. Entre 2004 et 2006, plus de 30 levées bathymétriques ont été effectuées par l'Agence Nationale des Barrages et Transferts.

En 2014, la capacité a atteint 8600 millions de m³ stockée dans 74 barrages (figure I.8). Cependant le cumul de la vase déposée au fond des barrages a atteint 1.7 milliards de m³, soit un taux de comblement de 20%. Il est intéressant de constater que malgré la réalisation de nouveaux ouvrages, l'envasement s'est accéléré à cause notamment de la dégradation de

nombreux bassins versants et le sapement des berges. En 140 ans d'exploitation, soit en 2014, le taux d'envasement a atteint la valeur de 65 millions de m³/an. (Remini et al, 2009).

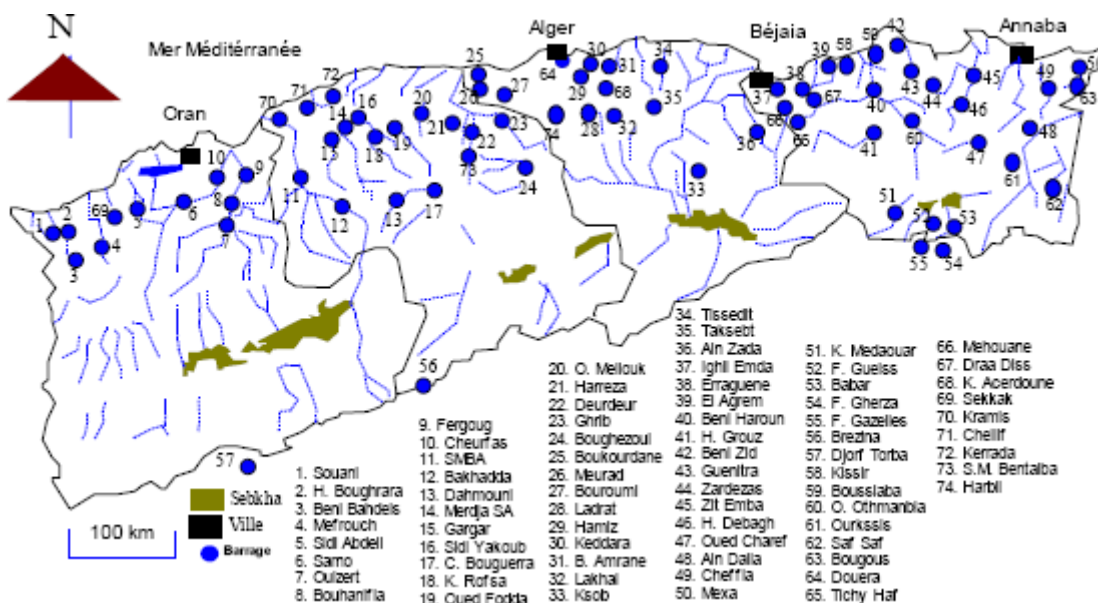


Figure I.8. Localisation des Barrages en 2014.

I.10. Conclusion

Au cours du présent chapitre, nous avons tenté de présenter une définition simplifiée des barrages, en tant qu'ouvrages vitaux, voire stratégiques, pour la mobilisation et le stockage de la ressource en eau en tant que ressource indispensable pour la continuité de la vie de l'être vivant sur cette terre. Il a été question de faire un aperçu historique de la construction des premiers barrages, durant les civilisations anciennes, ainsi que leur répartition géographique à travers le monde.

Au niveau local, l'Algérie, ne s'est pas trop tardée pour se lancer dans le domaine de la construction des barrages, bien au contraire, de grands efforts ont été déployés en la matière. Plus encore, un nombre important d'ouvrages est en cours de construction parallèlement à l'adoption d'une politique de l'eau consacrée grâce aux institutions et au cadre législatif adopté en la matière.

Sur le plan technique, il s'est avéré que la diversité des types d'ouvrages est liée aux conditions très complexes et diversifiées des sites prédestiné à recevoir ce genre d'ouvrage, entre autres les conditions climatiques (pluviométrie et intensité des pluies), les conditions morphologiques (forme de la cuvette et disposition des talus), les conditions géologiques (nature du socle et son étanchéité) et les conditions lithologiques (disponibilité des matériaux étanches et des enrochements) etc....

Chapitre II

Présentation de la zone d'étude

II.1. Introduction

Le barrage en terre homogène est un ouvrage constitué de terres compactées et imperméables ayant de très bonnes caractéristiques d'étanchéité. Le barrage en terre hétérogène ou à zones est privilégié lorsqu'on ne dispose pas de terres imperméables en quantités suffisantes sur le site du barrage. Le barrage d'Ain Zada fait partie de cette catégorie d'ouvrages ([Berramdane, 2018](#)).

Ce chapitre est consacré à l'étude de la généralité de la région. La situation géographique et les caractéristiques générales du sous-bassin versant de Boussellam amont, ainsi le climat et le type du couvert végétal.

II.2. Présentation de Barrage Ain Zada

L'étude du barrage d'Ain Zada est faite au début par le bureau d'étude Américain BECHTEL en 1979, et réalisée par l'entreprise Hidrotéchnika- Belgrade- Yougoslavie, l'étude d'exécution et l'étude des travaux faite par Atkins Humphrey et Sir M. Mac Donal- Angleterre, de 1981 à 1986 l'année de sa mise en service. C'est un barrage en remblai et enrochement avec un noyau central en argile, Il est doté d'un évacuateur de crues sans organes de réglage et d'un coursier à ciel ouvert sur l'un des côtés de la digue ([Mebarkia, 2011](#)).

En 1986, est mis en service le barrage d'Ain Zada sur l'oued Boussellam, dont il fait un exutoire du sous bassin destiné initialement à l'irrigation mais rapidement détourné au profit des villes de Sétif et celles de Bougaa et El Eulma et Bordj Bou Arreridj avec une capacité de 125 Hm³ en plus il existe plus 6 retenus collinaires ([DHW Sétif, 2011](#)) destinées essentiellement à l'irrigation des moyens et des petits périmètres agricoles et l'abreuvements du cheptel.

II.3. Situation géographique

Le site du barrage de Ain Zada est situé à cheval sur les Wilaya de Sétif et de Bordj Bou Arreridj, à 40 km au nord du chef-lieu de la wilaya de Bordj Bou Arreridj et à 25 km à l'ouest du chef-lieu de la wilaya de Sétif. Il se localise à 11 km au nord-est du village Ain-Taghrout sur l'Oued Boussellam. Il est Situé entre le Mont de Hodna au sud et les montagnes de Kabylie au nord.

Il est implanté dans la Commune de Ain-Taghrout sur l'Oued Boussellam (direction Sud-Nord) au niveau de la jonction avec l'Oued Ain-Taghrout à l'ouest, l'Oued Kharoua au Nord-est et l'Oued Mellah au Sud-est.

Le bassin versant drainant l'ensemble du site s'étend sur 2080 km². Cuvette du barrage a nécessité la déviation de la Route Nationale n°5 qui délimite maintenant la partie sud du site.

Les coordonnées géographiques sont les suivantes :

* Latitude : 36°08' 54''N

* Longitude : 05°09'27''E

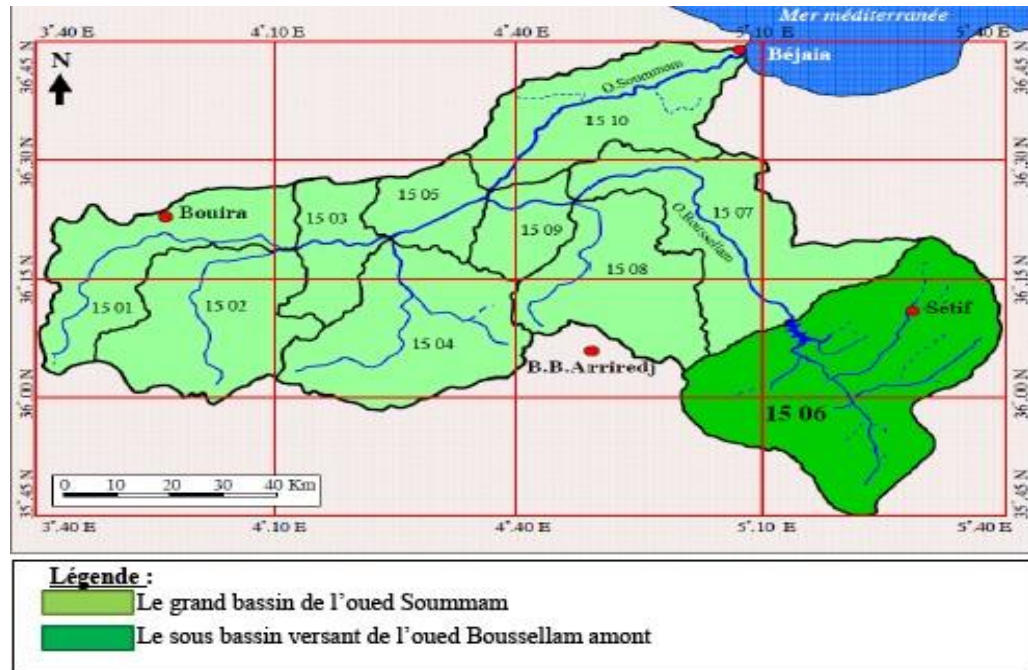


Figure II.1. Situation géographique du sous-bassin versant de Boussellam amont.

Le sous bassin du Boussellam amont qui fait l'objet de cette étude contient 35 % de la surface du grand bassin Boussellam (1785 Km²), du code 15-06 d'après l'Agence nationales du réseau hydrographique (ANRH), il se situe entre le grand bassin Constantinois à l'Est et celui de HODNA au Sud, et le sous bassin de Boussellam moyen à l'Ouest.

Le sous bassin du Boussellam amont s'étend sur les hauts-plateaux Sétifiennes avec une superficie de 1785 Km², et inscrit dans le territoire de deux wilayas une grande partie Ouest de la wilaya de Sétif et une partie Est de la wilaya de Bordj Bou-Arredj, elle est située au Nord-est de l'Algérie. (Mebarkia, 2011).

II.4. Le potentiel hydrique dans le sous bassin versant de l'oued Boussellam amont

La plaine de Boussellam est traversé par un seul oued qui est le oued Boussellam, et ses principaux affluents oued Malah (Ain arnat) et oued Malah (Ksar Al Abtal) oued Fermatou oued Guellal oued Tixter et oued Ftaisa, ces ressources naturelles assurent un apport annuel approximatif extrapolé de l'ordre de 50 Hm³/an qui reste très peu exploité vu le volume total Mobilisé par les différents ouvrages hydrauliques installés dans le bassin.

II.5. La mobilisation des ressources en eau dans le sous bassin amont de Boussellam

Le sous bassin de Boussellam contient un potentiel hydrique très important et estimé à environ 190 Hm³/an dont une grande quantité de ce volume est une eau de surface (75% des eaux totales reconnues) assurées par le barrage d'Ain Zada dans la wilaya de B.B.Arreridj avec un volume annuel moyen de 115 Hm³/an.

Les eaux totales mobilisées au niveau du bassin sont d'environ 58.1 Hm³/an soit 35% des eaux mobilisables globales (164.5 Hm³/an) ainsi que les eaux souterraines représentent 51% des eaux totales mobilisées et 18% des eaux totales mobilisables.

II.6. Géologie du barrage d'Ain Zada

Le site comprend trois strates géologiques marquées :

1. Dépôts quaternaires ces matériaux de couverture en discordance avec le socle rocheux sous-jacent, se composent d'alluvions récentes, de dépôts terrasses et de dépôts colluvionnaires (talus, éboulis de pente et glissements de terrain).

2. Roches sédimentaires noires de l'époque Eocène formant le socle de la vallée :

- Calcaire argileux de couleur grise,
- Schiste calcaire noir,
- Calcaire argileux caillouteux entremêlé de lentilles.

3. Dépôts continentaux variés de couleur rouge à beige de l'époque Pliocène, recouvrant le socle de la vallée et par endroits les dépôts du quaternaire :

- Argile sableuse,
- Sable limoneux et argileux,
- Gravier sableux à argileux,
- Lentilles de conglomérats,
- Dépôt quaternaire,
- Alluvions,
- Dépôts de terrasse,
- Dépôts colluvion aérés,

Le barrage et la retenue d'Ain Zada reposent sur des calcaires et des schistes de l'Eocène (tertiaire) formant un pli synclinal de direction Est. Des dépôts du pliocène mal consolidés recouvrent ces roches.

II.7. Les caractéristiques techniques du barrage

La superficie initiale au niveau maximale normale de stockage était de 1300Ha correspondant à une capacité de 125 Hm³. Elle a subi une diminution au cours des dernières années d'exploitation, due essentiellement au phénomène d'envasement sachant que le levé bathymétrique effectué en septembre 2004, avait engendré une diminution de la capacité de

stockage, soit 121.4 Hm³ correspondant à une superficie de 1100 ha au niveau normale de stockage 855m (ANBT, 2013).

Depuis la mise en eau décembre 1985, la retenue à connu 6 déversements, en mars 1993, mai 2003, janvier des années 2004, 2005, 2006 et avril 2008. Elle a connu un niveau critique au mois d'octobre 2002 où le volume correspondant à son plus bas niveau atteint a été de 19,7 Hm³ (ANBT, 2013).

Les caractéristiques techniques du barrage Ain-Zada sont décrites dans le tableau suivant :

Tableau II.1. Caractéristiques techniques du barrage Ain-Zada (Mebarkia, 2011).

Wilaya	BBA
Commune	Ain Taghrout
Les oueds	Oued Boussellam. Kharwaa. Taghrout.
Déversoir	Saut de ski
Type de barrage	En terre
Surface de bassin versant	2080km ² (boisé et agricole)
Capacité initiale	125.000 Hm ³
Envasement annuel	0,240 Hm ³
Cote retenue normale	855 m
Bathymétrie septembre 2004	121,400 Hm ³
Capacité utile	106,400 Hm ³
Altitude de plus hauteur (PHE)	864,20 m
Précipitation moyenne annuelle	400 m
Destination AEP Ville	Sétif, el Eulma, BBA
Surface PHE	1920 ha
Volume PHE	261,200 Hm ³
Cote minimale	828,12 m
Volume (cote minimale)	0,001 Hm ³
Surface (cote minimale)	0,1 Ha
Apport moyenne annuelle	79 Hm ³
Evaporation moyenne annuelle	10 Hm ³
Percolation moyenne annuelle	6 Hm ³
Déversement moyenne annuelle	27 Hm ³
Volume régularisé	50 Hm ³
Année de mise en eau	Novembre 1985
Début de travaux	1981, 1986

II.8. La digue principale

La digue ou le barrage principal est une section souvent relativement épaisse, dont la propre masse suffit à résister à la pression exercée par l'eau et la forme est dans la plupart des cas simple (triangle-rectangle).

Le remblai se compose de recharge en enrochement compacté supportant un noyau en argile incliné, les deux matériaux étant séparés par un filtre à deux zones, le talus amont du remblai est protégé contre le battillage par un riprap.

Les volumes de remblai correspondant aux différents éléments sont :

- Recharges en enrochement 1950 380 m³
- Noyau en argile 434 430 m³
- Filtres 191 530 m³
- Rip – rap.....49 580 m³
- Parement/avant Digue..... 55 810 m³
- Volume total2681 730 m³

D'autres caractéristiques de la digue principale du barrage :

- Elévation de la crête 865m
- Hauteur de la crête (au dessus du niveau du lit de l'oued) 55m
- largeur de la crête 7m
- longueur de la crête 688m
- pente talus amont 2.5/1
- pente talus aval 1.8/1

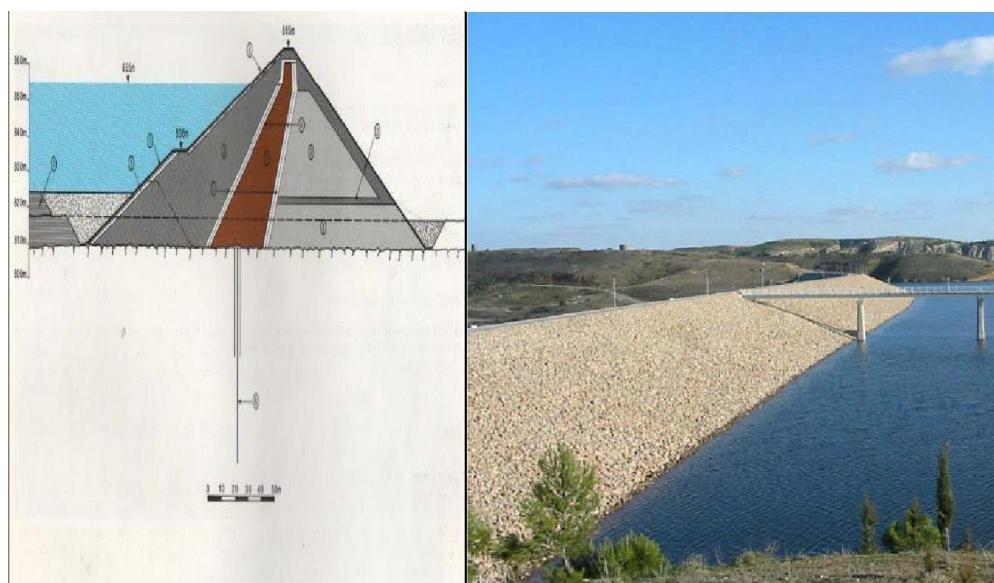


Figure II.2. Photo de la digue principale et coupe en travers du barrage d'Ain zada (ANBT).

II.8.1. Les matériaux utilisés dans la réalisation de la digue

La construction d'un barrage nécessite la mise en place de grandes quantités de matériaux. Les coûts de construction sont fortement influencés par le prélèvement, le transport et la mise en place des matériaux. Les zones d'emprunts devront donc se trouver à

proximité immédiate du site et les frais de traitement des matériaux (concassage, lavage, sélection) doivent être optimisés.

Pour un barrage en remblai, les matériaux de construction est un produit naturel dont les propriétés peuvent varier d'un point à l'autre et également selon la saison. Les matériaux devront impérativement satisfaire les conditions suivantes :

- Qualité :
 - Non organique
 - Non altérable
 - Extraction, transport et mise en place possible
 - Compactage possible
 - Résistance au cisaillement et cohésion élevées (pour le noyau).

• Disponibilité en quantité et qualité suffisante à proximité du site. Par exemple, en disposant de matériaux grossiers ou d'enrochement et d'une quantité limitée de matériaux imperméables.

- Économie

II.9. Équipement hydromécanique :

L'équipement hydromécanique comprend :

L'équipement de manutention :

- pont roulant circulaire, d'une force de levage de 5 tonnes
- palan monorail

L'équipement de pris :

- deux vannes papillons
- deux vannes batardeaux
- deux grilles
- 215 m de tuyau en acier de 1200 mm de diamètre

L'équipement de vidange de fond :

- vanne wagon à commande hydraulique
- vanne batardeau
- 215 m de tuyau en acier de 1600 mm de diamètre
- Grille
- Vanne secteur
- Equipement de télécommande a distance

Passerelle en acier d'une portée de 3*26 m et de 3 m de large ([Fiche technique](#)).

II.10. Station climatique au barrage Ain Zada

Au barrage Ain Zada, il existe une station climatique complète avec différents Instruments de mesure de la pluie, d'évaporation et température (Figure II.3).

- La mesure de la pluviométrie journalière est également une donnée précieuse pour L'interprétation des mesures hydrauliques, elle est mesurée à l'aide pluviographe.
- La température minimale varie jusqu'à -07°c et maximale varie jusqu'à 40°c , elle est Mesurée à l'aide thermomètre.
- L'évaporation moyenne annuelle est d'environ 10 Hm3, elle est mesurée par le bassin D'évaporation.



Figure II.3. Station climatique au barrage Ain Zada.



Figure II.4. Bac Colorado.



Figure II.5. Photo de Thermomètre.



Figure II.6. Photo de Pluviographe.

II.11. Climat de la zone d'étude

II.11.1. Caractéristiques Climatiques :

Le climat est un élément important dans l'étude du milieu, il est la base de la distribution des végétaux et des animaux. C'est un facteur clé de valorisation des milieux naturels d'étude (Sersoub, 2012).

L'étude climatique permet d'analyser des facteurs importants comme la température et les précipitations qui conditionnent le bilan hydrologique et l'alimentation des Barrages et même la recharge des aquifères (Mebarkia, 2011).

Le but de cette étude consiste à faire apparaître les influences et les relations des différents Facteurs et paramètres climatiques sur le milieu, l'analyse synthétique de ces différents facteurs permettra d'établir une classification bioclimatique dans la zone d'étude (Sersoub, 2012).

II.11.2. Aperçu général sur le climat de la région :

Le climat de la zone d'étude de bassin versant du barrage de Ain Zada est de type méditerranéen semi-aride, caractérisé par un hiver relativement tempéré et un été chaud et sec, cette zone est également caractérisée par une saison pluvieuse qui s'étale du mois de Septembre jusqu'au mois d'Avril ou parfois Mai qui annonce la fin de la saison humide (Mebarkia, 2011)

II.11.2.1. La température

La Température représente un facteur limitant de toute première importance Car, elle contrôle l'ensemble des phénomènes métabolique et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communications d'être vivant dans la biosphère (Ramade ,1984) (Sersoub, 2012).

Tableau II.2. Températures moyennes mensuelles interannuelles d'Ain zada

Température	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy
T.moy max	28.90	22.45	17.5	12.20	12.34	13.31	15.66	18.35	24.82	30.10	33.61	32.94	21.81
T.moy min	15.34	10.00	6.03	2.53	1.85	1.86	3.32	5.78	10.60	15.11	18.20	18.11	9.10
T.moy	22.12	16.22	11.54	7.37	7.09	7.58	9.74	12.04	17.71	22.60	25.90	25.52	15.45

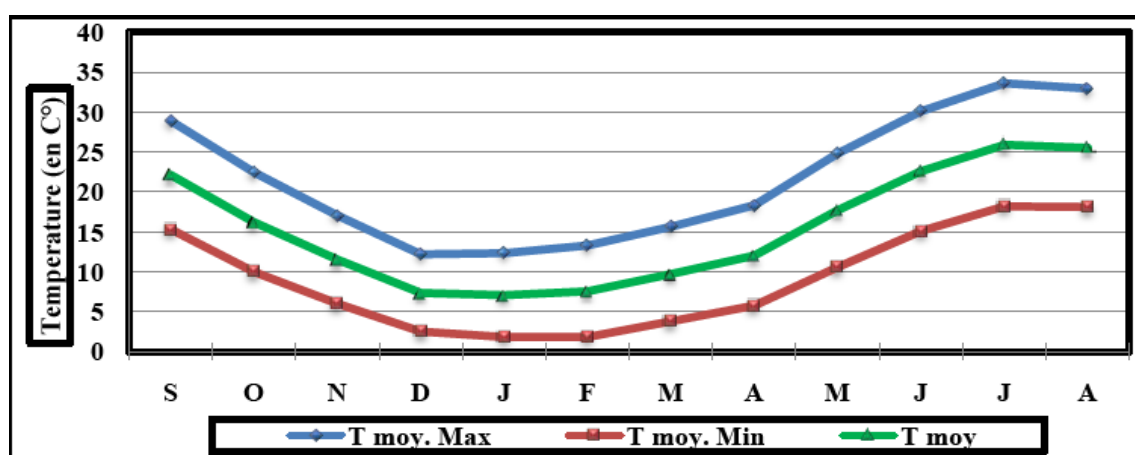


Figure II.7. Variations des températures moyennes mensuelles à la station d'Ain Zada.

La figure II.7 présente la température qui a été enregistrées pendant la période (1986-2010). La température moyenne annuelle dans la zone d'étude est évaluée à (15.45°C). La variation des températures moyennes mensuelles montre que le mois de Janvier est le mois le plus froid (7.09°C) bien que le mois de Juillet est le mois le plus chaud (25.90 °C).

II.11.2.2. Les précipitations

La précipitation est la totalité de la lame d'eau quantifiée par un pluviomètre ou un pluviographe, elle englobe l'ensemble des eaux météorologiques : pluie, grêle ...etc.

Tableau II.3. Précipitation moyenne intrannuelle du barrage Ain Zada.

Mois	S	O	N	D	J	V	M	A	M	J	J	A
P (mm)	35.14	27.20	34.89	36.63	36.53	31.89	34.53	40.35	37.74	22.00	10.49	18.01

D'après le tableau le mois le plus pluvieux au barrage Ain Zada est le mois d'Avril 40.35 mm, alors que le mois le plus sec est Juillet 10.49 mm.

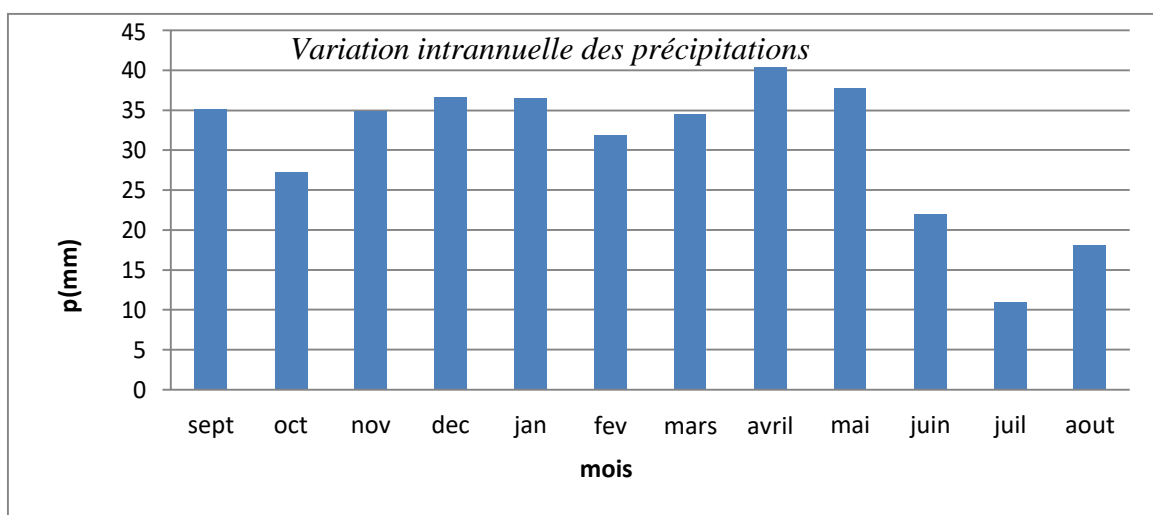


Figure II.8. Précipitations moyennes mensuelles de la station du barrage Ain Zada.

D'après le graphique nous notons que le mois d'Avril présente la précipitation la plus élevée 40,35 mm, par contre la moyenne mensuelle interannuelle la plus faible est enregistrée pendant le mois de juillet 10.49mm.

II.11.2.3. Diagramme Ombro-thermique

Les températures sont reportées à l'échelle double des précipitations selon la définition de Gaussen (1958).

Une période sèche est une période pendant laquelle les précipitations totales du mois sont inférieures ou égales au double de la température ($P \leq 2T$). Cette relation permet d'établir un diagramme Ombro-thermique représenté dans les figures II.9.

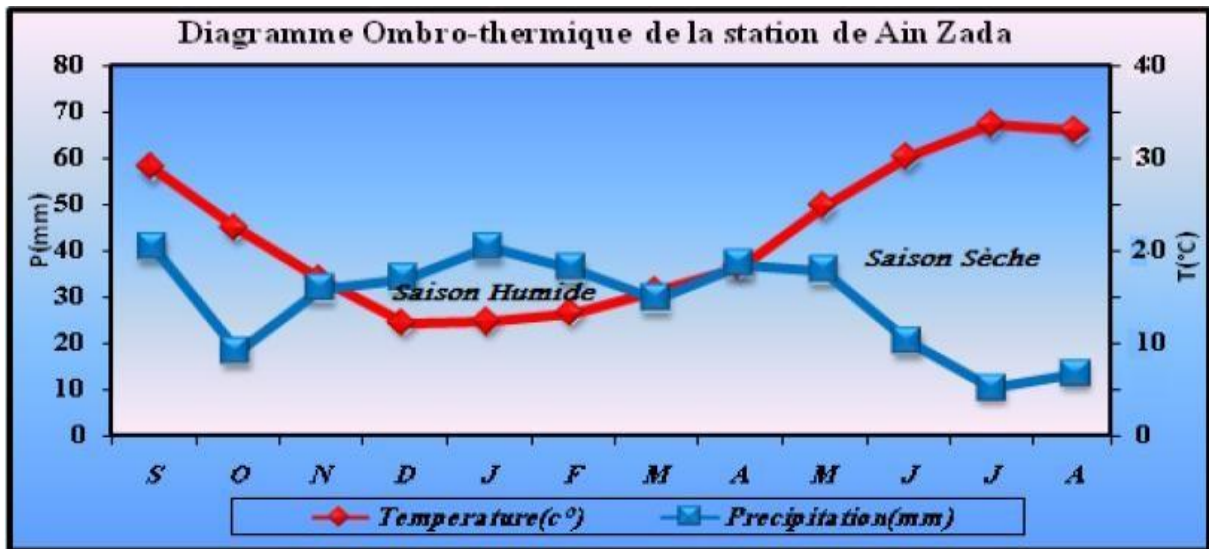


Figure II.9. Diagramme ombro-thermique de la station de Ain Zada (85/86 à 09/10).

Selon le diagramme Ombrothermique, la période de sécheresse débuté au mois d'Avril jusqu'au mois d'Aout. La période humide est débuté au mois de Janvier jusqu'au mois de Novembre.

II.12. Conclusion

Le barrage Ain zada, mis en exploitation en 1986 avec un volume de stockage de 125 Hm³, consiste à alimenter en eau potable les villes de Sétif, Bordj Bou Arreridj, El Eulma, Bougaa ainsi que autres communes. Il est doté d'un important dispositif d'auscultation dont les séries des données de 1986 à 2012 de certains dispositifs ont pu être recueillies talque la charge hydraulique des piézomètres ouverts dans le sol (WS) et dans la roche (WR), les pressions interstitielles dans le noyau argileux (PH) et les mesures des pressions pneumatiques (PP) de la fondation.

Chapitre III

Etude du Bilan Hydrologique

III.1. Introduction

Dans la pratique hydrologique, le bilan hydrologique est le suivi de l'ensemble des entrées et des sorties d'un système donné, (lac ou réservoir). Il est établi pour un lieu et une période donnés par une comparaison entre les apports et les pertes en eau dans ce lieu et pour cette période. Il tient aussi compte de la constitution de réserves et des prélèvements ultérieurs sur ces réserves. Le bilan est évidemment positif lorsque la différence entre les apports et les pertes est positive ou que le rapport est supérieur à 1.

III.2. Les éléments du bilan hydrologique

Un bilan hydrologique consiste en un bilan d'eau, fondé sur le principe que, pendant un certain intervalle de temps, le total des apports à un bassin versant ou à une formation aquatique doit être égal au total des sorties plus la variation, positive ou négative, du volume d'eau stocké dans le bassin ou la formation. L'équation du bilan hydrologique sous forme de:

$$\Delta V = \text{Entrées} - \text{Sorties}$$

Les entrées : Les apports d'eau, Les Précipitations

Les sorties : l'Evaporation, la vidange, le déversement, les fuites, l'infiltration.

III.3. Statistiques des CRM du barrage Ain zada

Les données collectées auprès la direction de barrage Ain Zada, qui nous a fourni un fichier de donnée journalières allant de 1986 à 2020, soit 34 années Compte Rendu Mensuel (CRM) du barrage Ain Zada.

Tableau III.1. Statistique des données CRM du barrage Ain zada.

Statistique	P (mm)	APPORT (hm ³)	EV (hm ³)	AEP (hm ³)	Défluent (hm ³)	V.FOND (hm ³)	VOLUME (hm ³)
Moyenne	364.86	39.75	10.51	24.22	40.61	0.95	981.98
Max	633.20	130.43	14.04	38.03	103.07	3.30	1450.70
Min	204.70	9.22	5.01	2.29	12.98	0.07	320.87
Ecart-Type	89.68	25.41	2.23	10.33	17.23	0.91	307.26
Coef. d'Asymétrie	0.59	1.72	-1.06	-0.92	0.92	1.45	-0.73
Coef. De Variation	4.06	1.56	4.71	2.34	2.35	1.04	3.19
Etendu	428.50	121.21	9.02	35.73	90.08	3.22	1129.83

A travers le tableau (III.1) le Volume des Apports représente la plus grande partie des entrées (39.75 hm³). Tandis que le volume des défluent (40.61hm³) représente la plus grande partie des sorties du barrage de Ain Zada. Les valeurs calculées de l'écart type sont inférieur de la moyenne mensuelle.

III.4. Etude de la variabilité des éléments du bilan hydrologique

III.4.1. Les précipitations

III.4.1.1. Variation Interannuelle des précipitations

La précipitation est la totalité de la lame d'eau quantifiée par un pluviomètre ou un pluviographe, elle englobe l'ensemble des eaux météorologique : pluie, grêleEtc.

La présentation graphique de la précipitation du barrage Ain Zada pour une série d'observation de 34 années.

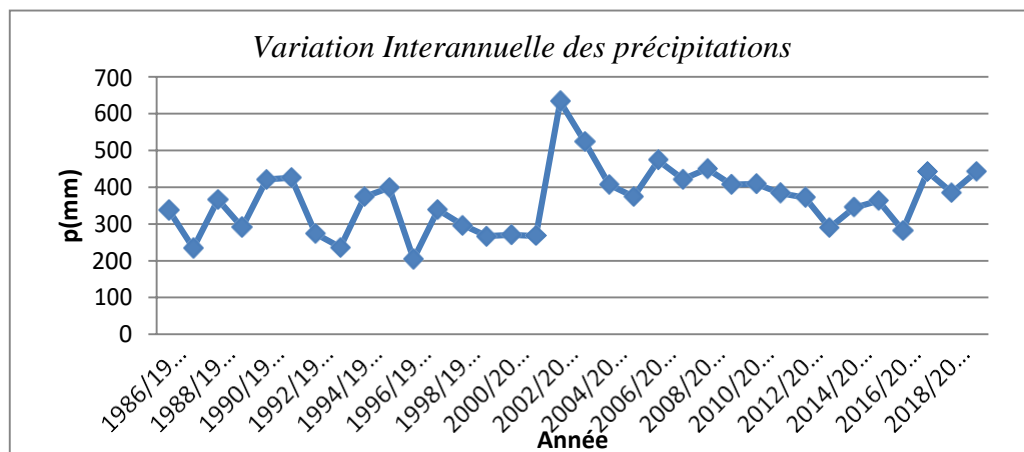


Figure III.1. Variation interannuelle des précipitations du barrage Ain Zada (1986/2020).

La variation interannuelle des précipitations du barrage Ain Zada présenté dans la figure III.1. Permet de noter que le barrage Ain Zada a connu la plus grande quantité de précipitation pendant l'année 2002-2003 avec une lame de 633,2 mm, par contre le volume le plus faible enregistré est 204.7mm pendant l'année 1996-1997.

III.4.1.2. Variation intrannuelle de Précipitation

Tableau III.2. Précipitation moyenne intrannuelle du barrage Ain Zada.

Mois	S	O	N	D	J	V	M	A	M	J	J	A
P (mm)	35.14	27.20	34.89	36.63	36.53	31.89	34.53	40.35	37.74	22.00	10.49	18.01

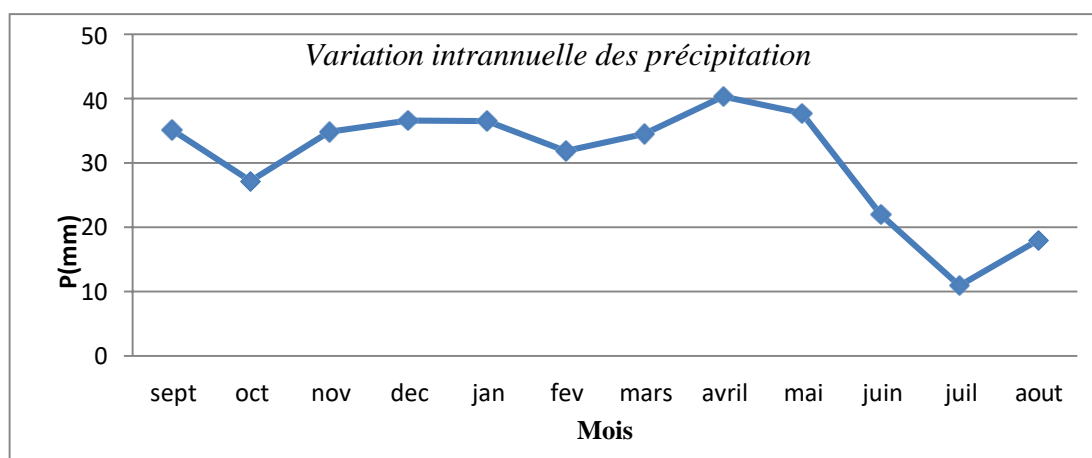


Figure III.2. Variation mensuelle interannuelle des précipitations du barrage Ain Zada.

D'après le graphique (figure III.2) nous notons que le mois d'Avril présente le volume de précipitation le plus élevée 40,35 mm, par contre la moyenne mensuelle interannuelle la plus faible est enregistrée pendant le mois de juillet 10.49mm.

III.4.2. Les Apports

L'étude des apports d'eau entrants au barrage Ain Zada sera basée sur les données acquises de la direction du barrage Ain Zada de Bordj Bou Arreridj.

III.4.2.1. Variation Interannuelle des Apports

La présentation graphique des apports du barrage Ain Zada est ce fait en des histogrammes pour une série d'étude de 34 années.

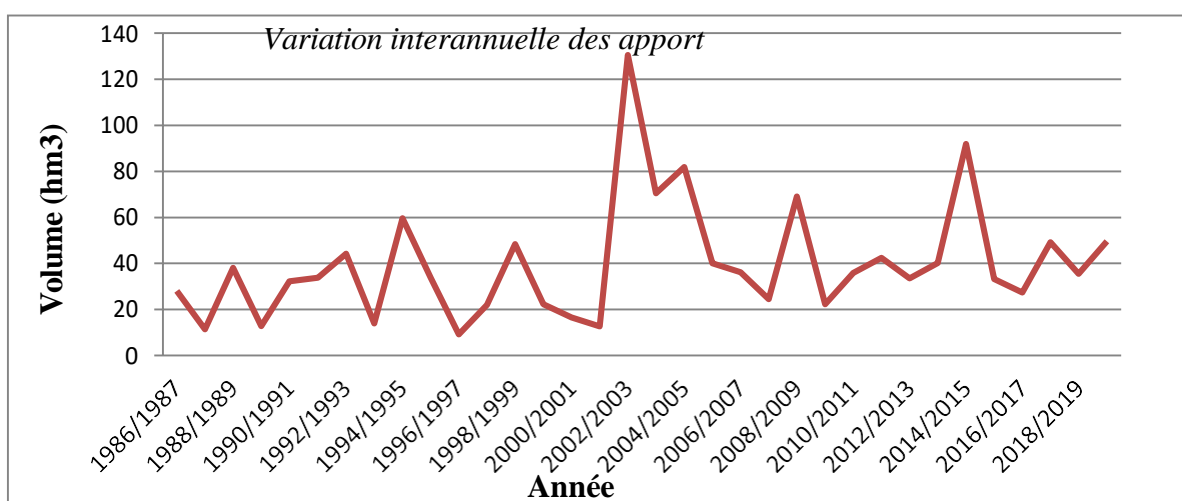


Figure III.3. Variation interannuelle des Apports du barrage Ain Zada (1986/2019).

La variation interannuelle des Apports du barrage Ain Zada dans la figure III.3. permet de noter que l'évolution des Apports durant la période d'étude montre bien une irrégularité soulignée, on constate que le débit le plus élevé a été enregistré au cours de la saison 2002-2003 pour atteindre 130.43 hm³, à l'opposé, on remarque sur le même graphique des années où le volume des Apports est assez faible, comme c'est le cas de l'année 1987-1988, 1996-1997, 2001-2002 avec le volume de précipitation successives suivant 11.44hm³, 2.22 hm³, 12.56 hm³.

III.4.2.2. Variation intrannuelle des Apports

Tableau III.3. Apport moyenne intrannuelle du barrage Ain Zada.

Mois	S	O	N	D	J	V	M	A	M	J	J	O
Apport (hm ³)	1.88	1.35	1.54	2.63	5.99	1.88	7.48	4.00	3.22	1.51	1.20	1.01

D'après le graphique (figure III.4) nous notons que le mois qui représente la valeur la plus forte d'Apport est le mois de Mars avec 7.48 hm³. Bien que le mois d'aout présente la valeur la plus faible d'Apport avec 1.01 hm³.

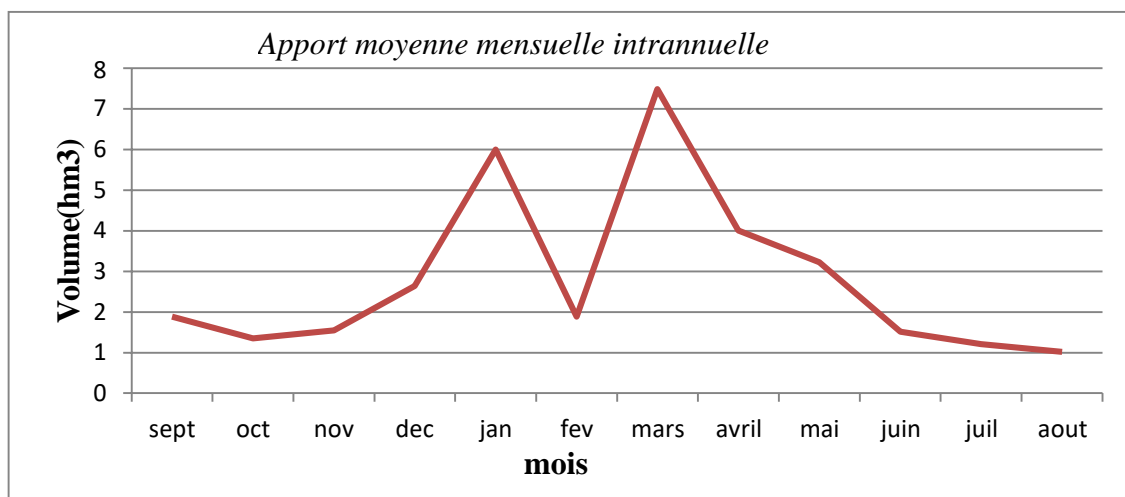


Figure III.4. Apport moyenne mensuelle intrannuelle du barrage Aïn Zada.

III.4.3. Evaporation

III.4.3.1. Variation Interannuelle de l'Evaporation

L'Evaporation du barrage Aïn Zada sur la période d'observation 1986-2019 est présentée sur le graphique suivant :

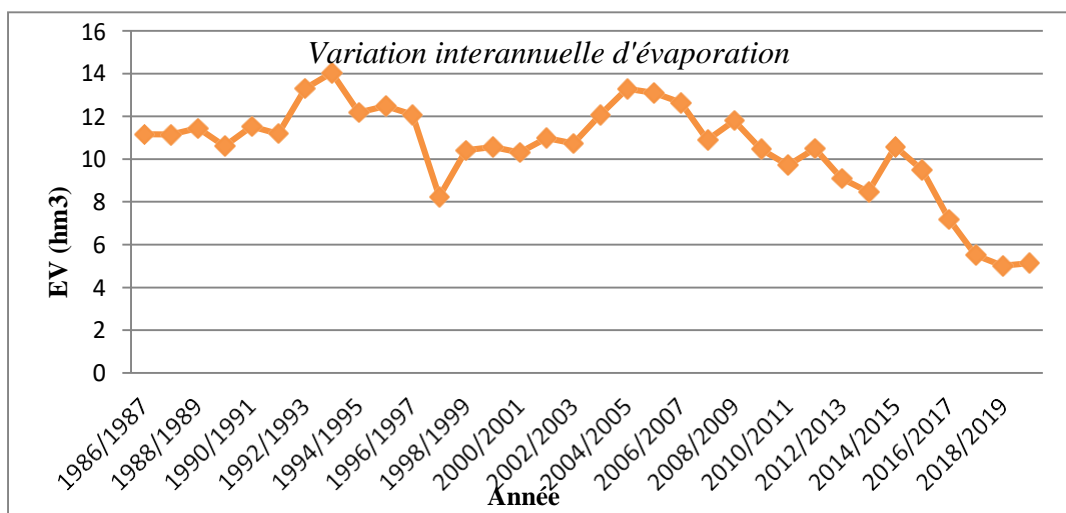


Figure III.5. Variation interannuelle d'évaporation du barrage Aïn Zada.

La variation interannuelle d'évaporation du barrage Aïn Zada sur la figure III.5. permet de noter que barrage Aïn Zada a connu la plus grande évaporation pendant l'année 1993-1994, avec un volume évaporé de 14,04 hm³, par contre le volume le plus faible enregistré est 5,01 hm³, pendant l'année 2018-2019.

III.4.3.2. Variation intrannuelle d'Evaporation

Tableau III.4. Evaporation moyenne intrannuelle du barrage Aïn Zada.

Mois	S	O	N	D	J	V	M	A	M	J	J	O
EV (hm ³)	1.07	0.67	0.30	0.17	0.18	0.29	0.57	0.83	1.09	1.61	1.93	1.74

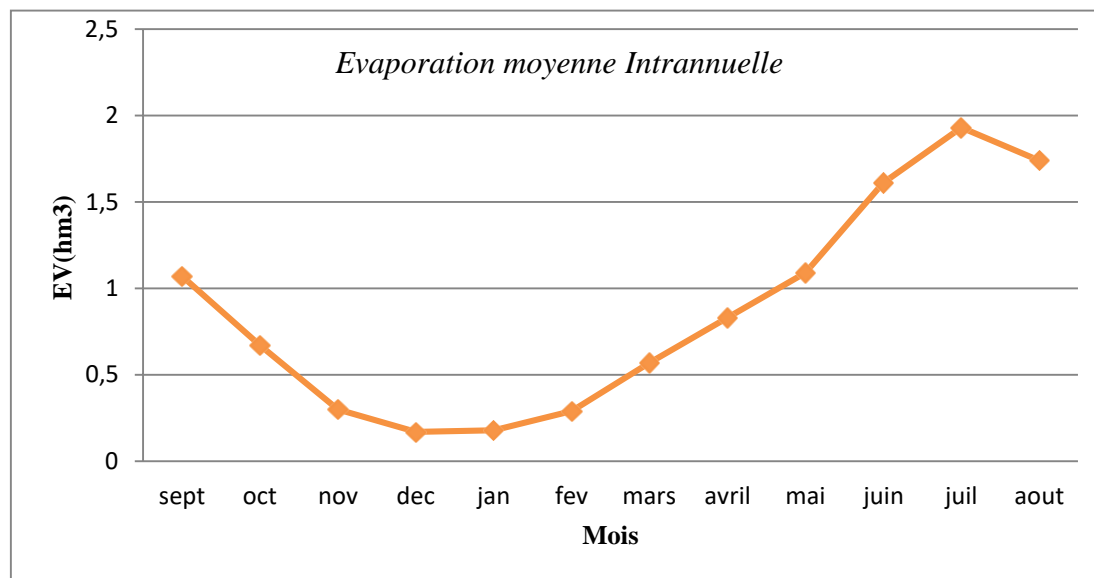


Figure III.6. Variation intrannuelle d'évaporation du barrage Ain Zada.

D'après le graphique (figure III.6) nous notons que le mois qui représente la valeur la plus forte d'évaporation est le mois de juillet avec $1,93 \text{ hm}^3$. Bien que le mois de décembre présente la valeur la plus faible de l'évaporation avec $0,17 \text{ hm}^3$.

III.4.4. AEP (Alimentation en Eau Potable)

III.4.4.1. Variation Interannuelle de l'AEP

Ensemble des équipements, des services et des actions qui permettent, en partant d'une eau brute, de produire une eau conforme aux normes de potabilité en vigueur, distribuée ensuite aux consommateurs.

La présentation graphique du volume destiné à l'AEP du barrage Ain Zada est ce fait en des histogrammes pour une série d'étude de 34 années.

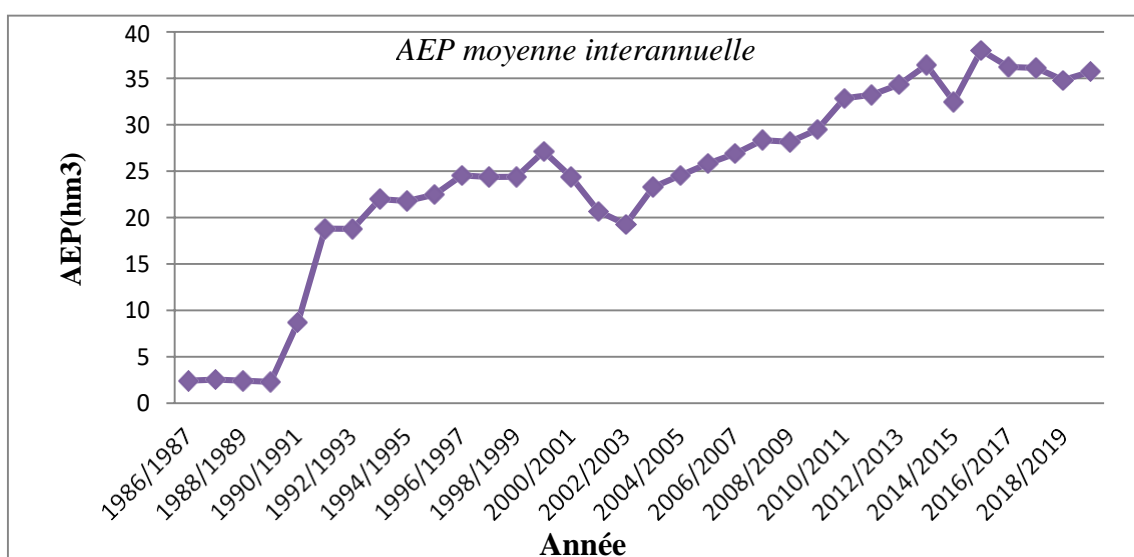


Figure III.7. AEP moyenne interannuelle du barrage Ain Zada (1986/2019).

D'après la figure III.7 on remarque que le volume destiné à l'AEP à partir barrage d'Ain Zada est en augmentation continue depuis la mise en eau du barrage. La plus grande valeur de l'AEP pendant l'année 2015-2016, avec un volume de 38,03 hm³, par contre le volume le plus faible enregistré est 2,29 hm³, pendant l'année 1989-1990.

III.4.4.2. Variation intrannuelle d'AEP

Tableau III.5. AEP moyenne intrannuelle du barrage Ain Zada.

Mois	S	O	N	D	J	V	M	A	M	J	J	O
AEP (hm ³)	2.04	2.05	1.94	1.96	1.95	1.81	1.96	2.03	2.11	2.05	2.17	2.11

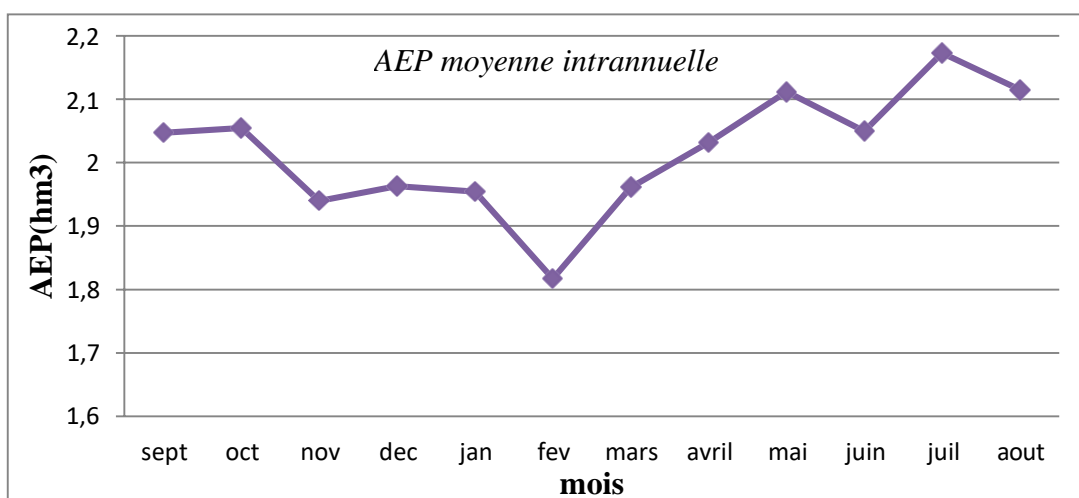


Figure III.8. Variation intrannuelle d'AEP du barrage Ain Zada.

D'après le graphique (figure III.8) nous notons que le mois qui représente la valeur la plus forte d'AEP est le mois de juillet avec 2,17hm³. Bien que le mois de février présente la valeur la plus faible d'AEP avec 1,81 hm³.

III.4.5. Défluent

III.4.5.1. Variation Interannuelle du défluent

La présentation graphique de défluent du barrage Ain Zada est ce fait en des histogrammes pour une série d'étude de 34 années.

La variation défluent interannuelle du barrage Ain Zada à la figure III.9 permet de noter que barrage Ain Zada a connu la plus grande valeur de défluent pendant la saison 2004-2005, avec un volume de 103.07 hm³ enregistré pendant l'année 2004-2005, par contre le volume le plus faible enregistré est 12,98 hm³, pendant les deux année 1986-1987/ 1993-1994.

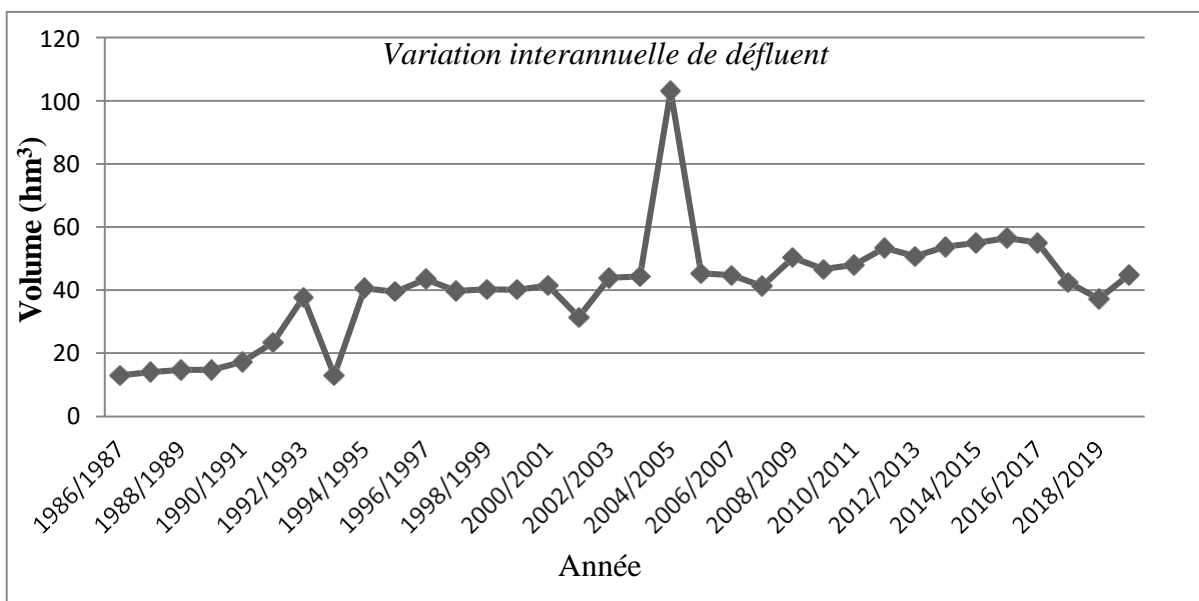


Figure III.9. Défluent interannuelle du barrage Ain Zada (1986/2019).

III.4.5.2. Variation intrannuelle du Défluent

Tableau III.6. Défluent moyenne intrannuelle du barrage Ain Zada

Mois	S	O	N	D	J	V	M	A	M	J	J	O
D (hm3)	2.91	2.59	2.59	2.19	2.91	2.19	2.21	3.22	3.08	3.32	3.59	3.90

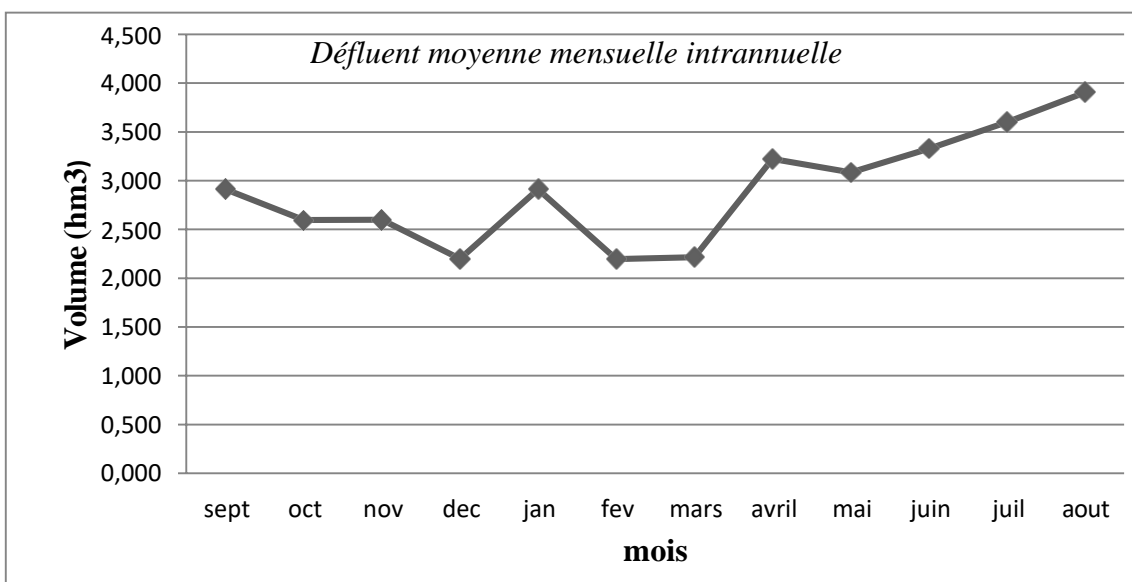


Figure III.10. Défluent moyenne mensuelle intrannuelle.

D’après le graphique nous notons que le mois qui représente la valeur la plus forte du défluent est le mois d’aout avec 3,90 hm³. Bien que le mois de février présente la valeur la plus faible avec 2,19 hm³.

III.5. La variation annuelle des éléments du bilan hydrologique

Le graphe ci-dessus figure.III.11 présente les différents éléments du bilan hydrologique avec leur variation annuelle durant une série d'étude de 34 années.

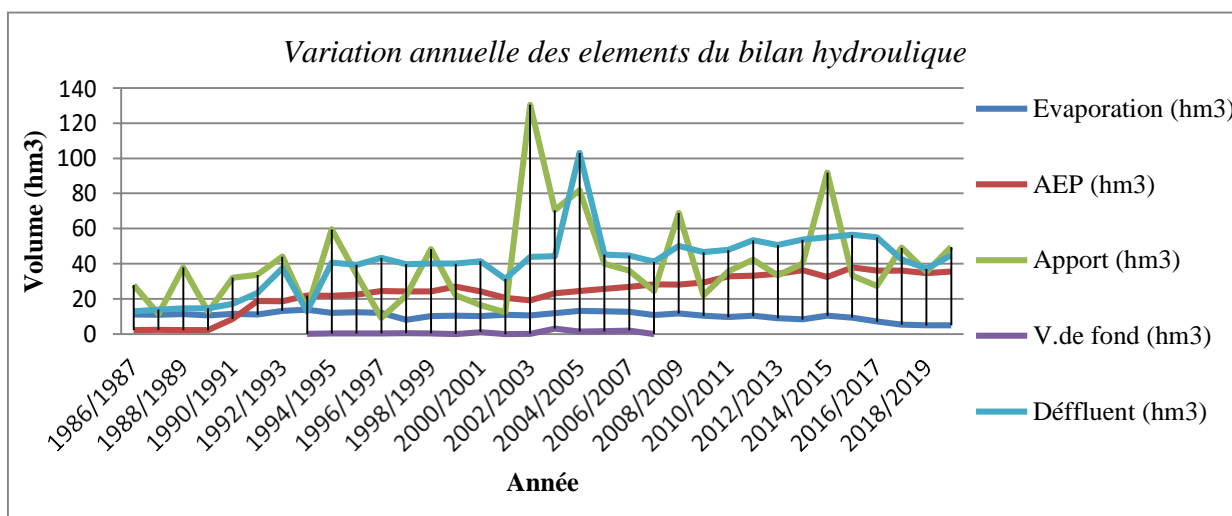


Figure III.11. Variation Interannuelle des éléments du bilan hydraulique.

Le graphe présente les différents éléments du bilan hydrologique avec leur variation annuelle durant une série d'étude de 34 années. L'élément le plus remarquable est l'apport pour les entrées du barrage Ain Zada et pour les sorties c'est le défluent et en deuxième position c'est l'AEP. L'apport le plus important est enregistré pendant la saison 2003/2004.

III.6. Variation interannuelle du volume du barrage Ain Zada (1986/2019)

Parmi les entrées et les sorties du barrage d'Ain Zada nous avons fait une comparaison entre les paramètres pendant 34 ans.

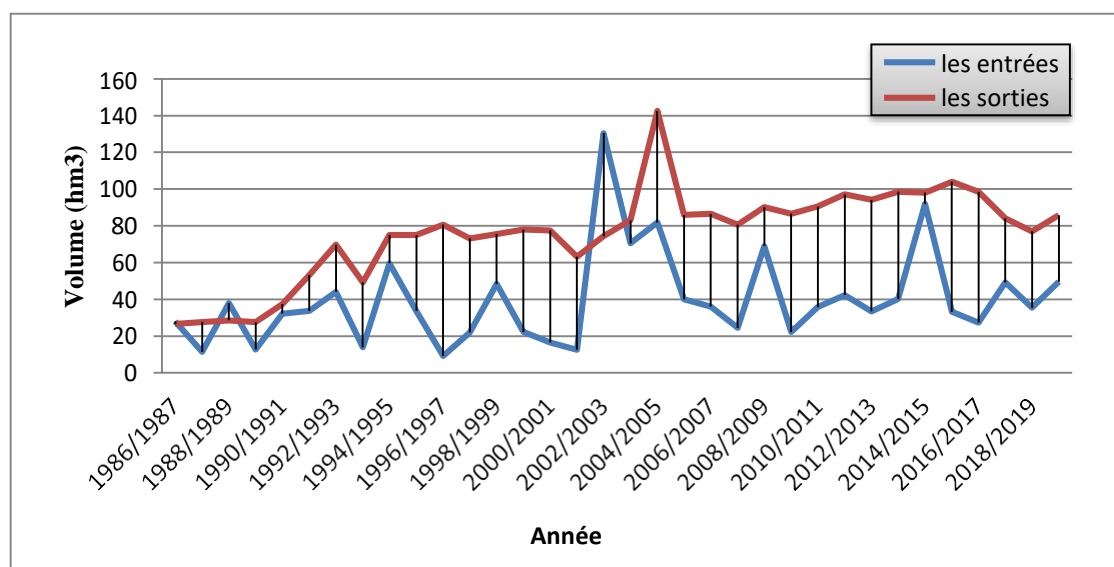


Figure III.12. Variation interannuelle du volume du barrage Ain Zada (1986/2019).

D'après la Figure III.12 qui représente la variation Interannuelle du volume du barrage Ain Zada pendant 34 ans, On remarque que le volume des sorties sont supérieurs au volume des entrées. Cette variation est liée au climat de la région (quantité des précipitations) et volume des apports en plus de la perte d'une quantité importante d'eau par évaporation.

III.7. Conclusion

L'analyse préliminaire des éléments du bilan hydrologique a pour objet de clarifier et montré la variabilité des éléments dans des échelles différentes que soit annuelle ou intrannuelle. Cette analyse des données d'exploitation du barrage de Ain Zada sa change d'un élément à un autre selon leur effet au barrage et selon leur changement à cause des différentes facteurs externe qui ont un effet directe sur cet élément.

Le faible taux annuel de remplissage de la retenue est lié aux faibles apports du barrage de Ain zada. Cette faiblesse du taux annuel de remplissage de la retenue du barrage à marquer une importance du déficit de régularisation du barrage. Le plus grand pourcentage de remplissage du réservoir dans le barrage d'Ain zada a eu lieu en 2003, puis a connu une baisse significative ces dernières années.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion général

La présente étude s'est effectuée à partir des données d'exploitation qui s'étalent de 34 ans du barrage Ain Zada qui situé dans la wilaya de Bordj Bou Arreridj à 25 km à l'ouest de Sétif et à 40 km à l'est de Bordj Bou Arreridj. C'est un barrage en remblai de type en enrochement avec un noyau central en argile, de 55 m de hauteur permettra d'emmagasiner un volume d'eau de 125 hm³ avec une capacité utile de 110 hm³. Régularisant ainsi un volume 44 hm³/an mais la capacité actuelle après l'étude bathymétrique qui a été effectuée en Avril 2004 est de 121,400 hm³ c.-à-d. sa capacité a été réduite de 3,60 hm³, Soit une valeur moyenne annuelle de perte en capacité de l'année 1985 jusqu'à 2004 de l'ordre de 189400 m³/an.

L'objectif de ce travail s'inscrit dans une démarche permettant une meilleure connaissance des éléments du bilan hydrologique. Au travers d'une analyse temporelle de données.

Le bilan hydrologique du barrage est basé sur l'application de l'équation de conservation de la masse, qui consiste une simple opération de calcul du bilan hydrologique entre la variation des éléments d'entrés et de sortis au niveau du barrage, dans laquelle on a présenté les apports et les pluies du barrage comme les éléments d'entrés, et en revanche les autre éléments telle que l'évaporation, les besoin en eau, les fuites, les vidange sont les sortis du barrage.

Le calcul du bilan hydrologique est un des plus importants aspects de l'analyse hydrologique. Les éléments du bilan hydrologique d'une retenue de barrage, à savoir les entrées et sorties, ne dépendent pas uniquement des dimensions physiques de la retenue mais aussi des facteurs climatologiques, hydrologiques, morphologiques et géologiques affectant le lac ainsi que la surface du bassin entourant la retenue.

L'observation annuelle pendant 34 années des éléments constitutifs du bilan de la retenue du barrage, a montré l'irrégularité des éléments entrant et sortant, au vu de la variété des contextes tant climatiques que physiographique qui les caractérise. L'analyse du bilan hydrologique a montré un faible taux annuel de remplissage de la retenue lié aux faibles apports du barrage de Ain zada. Cette faiblesse du taux annuel de remplissage de la retenue du barrage à marquer une importance du déficit de régularisation du barrage.

Le barrage d'Ain zada a récemment connu une baisse terrible du niveau de l'eau, qui ont conduit à l'assèchement du barrage, les opérations de pompage ont donc été arrêtées car le barrage a atteint le niveau du volume mort, un niveau qui empêche son pompage et reste une protection pour le barrage.

Référence Bibliographique

Référence Bibliographique

ADE. (2010). Rapport technique, Division d'exploitation, pp 42.

Alberge J., Nasri, Boufaroua M., Droubi A., Marzouk A. (2004). Petits barrages et lacs collinaires, aménagements originaux de conservation de eaux et de protection des infrastructures avales : exemples des petits barrages en Afrique du nord et au Proche-Orient. Sécheresse n°1 vol .15, pp 78-86.

Aidoudi L. (2012). Etude du bilan hydrologique de la retenue du barrage de Foug El Gherza (wilaya de Biskra). Mémoire Magister En Hydraulique, Université Mohamed Khider – Biskra, pp141.

Allal M. A., Abdelbaki C., et Djelloul S. (2012). Une approche qualité totale pour la Gestion des réseaux d'alimentation en eau potable - Cas du groupement urbain de Tlemcen (Algérie), Editions universitaires européennes, PP 168.

ANBT. (2013). Agence nationale des barrages et des transferts.

Anctil F., Rousselle J., Lauzon N. (2005). Hydrologie (cheminements de l'eau), Presses internationales polytechnique, Canada pp 317.

Anton S., Pougatsch H. (2011). Les barrages6 du projet a la mise en service. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR), école polytechnique fédérale de Lausanne, pp714.

Article. (2014). Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement JISTEE : 1737-6688 : Numéro 1- Octobre 2014. (Contribution à la gestion intégrée des ressources en eau dans le sous bassin versant amont de l'oued Boussellam, Nord-est Algérie).

Benfetta H., Achour B., Ouadja. (2018). Les fuite d'eau dans les barrages dans les monde : quelques exemples al geriens. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 31, Sept 2017, pp. 195-218.

Benkaci S. (2014). Chap.6 –barrages en remblais .umtto (Tizi-Ouzou), PP103.

Benlaharche R. (2019). Ecologie de la Foulque macroule Fulica atra dans la région des Hautes Plaines de l'Est Algérien (Cas du barrage d'Ain-Zada et le lac d'El-Aria). Thèse De Doctorat, Université Labri Ben M'Hidi Oum-El-Bouaghi, PP133.

Benlaoukli B., Touaïbia B. (2004). L'expérience algérienne dans le domaine des études de retenues collinaires. Revue des sciences de l'eau, journal of water, vol.17, n°2, pp.153-162.

Baudouin L. (2009). Hydrologie des crues application aux cuves de sassenage (Isère), (week-end scientifique de la ligue spéléologique de Bourgogne), Spéléo club de Chablis, 14 et 15 novembre 2009.

Becue J.P, Degoutte G, Lautrin D. (2002). Choix du site et du type de barrage. PP18.

Berramdane N. (2018). Contribution à l'étude des infiltrations dans la digue du barrage en terre par la méthode des réseaux de neurones artificiels. Cas du barrage d'Ain Zada. Mémoire de master, école nationale supérieure d'hydraulique - Arbaoui a département, PP 99.

Bessedik M. (2011). Pratiques de l'eau en situation de pénurie dans la ville de Tlemcen, Editions Universitaires Européennes.

Cherif S., Bouhassane M. (2013). Etude comparative des barrages a noyau central .Mémoire de Master. Tlemcen : université abou bekr belkaid, faculté de technologie, pp93.

Demmak A. (1982). Contribution a` l'étude de l'érosion et du transport solide en Algérie septentrionale. Thèse de docteur-ingénieur, université Paris-VI.

Delliou p. (2003). Les barrages : conception et maintenance. Presses universitaires de Lyon, Vaulx-en-Velin, vol .1, PP270.

DHW direction d'hydraulique de la wilaya. Mise en valeur et sauvegarde d'un écosystème cas d'Oued et de la vallée de Boussellam Sétif.

Durand J., Mariaux P., et Royet P. (1999). Technique des petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale .Cemagref-ISBN-285362-511-7/1999.

Fiche Technique de la station d'AIN ZADA

Heusch B., Millies-Lacroix A. (1971). Une méthodologie pour estimer l'écoulement et l'érosion dans un bassin : application au Maghreb. Mines et géologie (Maroc) ; 99 : 21-30.

Joane A. (2007). Géographie de l'Algérie .Ed. Hachett et Cie. Paris, pp237.

Jochlin R. (2009). Eude et analyse géotechnique de construction d'un barrage de rétention d'eau à ambatovy. Université d'Antananarivo. Mémoire d'études approfondies.

Ghenim A., Seddini A., Terfous A. (2008). Variation temporelle de la dégradation spécifique du bassin versant de l'Oued Mouilah (nord-ouest algérien).Hydrol Sci J ; 53 : 448-56.

Llamas J. (1993). Hydrologie générale (Principe et applications), éditeur Gaëtan Morin, Canada (527p).

Mebarki A. (2005). Hydrologie des bassins de l'Est Algérien : ressources en eau, Aménagement et Environnement, Univ-Nice-Sophia Antipolis, PP360.

Mebarkia A. (2011). Études des caractéristiques physico-chimiques des eaux de surface, cas du barrage de Ain zada wilaya de bordj Bou-Arredj». (Nord-est algérien), mémoire de magister, université Badji Mokhtar-Annaba, PP 288.

Messaïd B. (2009). Etude de la position efficace des drains dans les barrages en terre, Mémoire doctorat université de Batna -Algérie.

Musy A., Higy C. (2003). Hydrologie (une science de la nature), collection gérer l'environnement, presses polytechnique et universitaires Romandes PP314.

Remini B., Hallouche W. (2007). Studying sediment at Algeria's dams. Int Water Power Dam Construction ; 59 : 42-5.

Remini B. (1997). L'envasement des retenues de barrages en Algérie : importance, mécanismes et moyen de lutte par la technique du soutirage. Thèse de doctorat d'État, Ecole nationale polytechnique d'Alger. pp 342.

Remini B., Leduc C., Hallouche W. (2009). Evolution des grands barrages en régions arides : quelques exemples algériens, Sécheresse 2009 ; 20 (1) : 96-103.

Sari Ahmed A. (2009). L'hydrologie de surface (cours), Editions Houma, Alger pp223.

Toumi A., Remini B. (2002). Contribution à l'étude des fuites dans les barrages Algériens, 1ères journées pluridisciplinaires sur les sciences de l'ingénieur "JPSI'1 2002", Université Hassiba ben Bouali Chlef, 15-17 Décembre.

Toumi A., Remini B. (2004). Barrage de Foum El Gherza face au problème de fuites, Larhyss Journal, Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface, N° 03, juin 2004, (PP 25-38).