الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mohamed Khider – Biskra
Faculté des Sciences et de la technologie
Département : Génie civile et hydraulique
Ref :……

جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم: الهندسة المدنية و الري
المرجع:……

Mémoire présenté en vue de l'obtention
Du diplôme de

Magister En Hydraulique

Option: Hydraulique urbaine et ouvrages hydrotechniques

Etude du bilan hydrologique de la retenue du barrage de Foum El Gherza (wilaya de Biskra)

Présenté par :
Aidoudi Leîla

Soutenu publiquement le 26/04/2012

Devant le jury composé de :

Dr. Debabeche Mahmoud	**Professeur.**	**Président.**	**Université de Biskra**
Dr. Ben Khaled Abdelkader	**Maître de conférences.**	**Promoteur**	**Université de Biskra**
Dr. Bouziane Mohamed Toufik	**Maître de conférences.**	**Examinateur**	**Université de Biskra**
Dr. Houichi Larbi	**Maître de conférences.**	**Examinateur**	**Université de Batna**

بسم الله الرحمن الرحيم

Remerciement

Avant tout Merci à Dieu de tout puissant pour m'avoir donné la force, la volonté et le courage pour pouvoir réaliser ce modeste travail.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé tout au long de mon travail.

Je remercie vivement, mon promoteur Mr. BEN KHALED ABDELKADER qui m'aider avec une extrême bienveillance et autant de gentillesse et grâce a ses orientations et ses conseils judicieux et combien éclairé pour d'élaborer cette étude dans les meilleures conditions de ce la je tiens a exprimé ici mes profonds respects et ma très grande reconnaissance.

J'exprime également ma gratitude et mon profond respect à l'égard du Professeur DEBABECHE MAHMOUD au département de "Génie Civil et Hydraulique université de Biskra" de m'avoir fait l'honneur de présider le jury.

Et je tiens aussi également à exprimer ma reconnaissance aux Dr BOUZIANE MOHAMED TOUFIK "MC au département de Génie Civil et Hydraulique Université de Biskra", Dr HOUICHI LARBI "MC au département d'hydraulique Université de Batna", d'avoir accepté de faire partie du jury et de rapporter mon travail avec leurs critiques constructives.

Je tiens aussi remercier bien sincèrement le Professeur ACHOUR BACHIR président du comité scientifique, ainsi que tous les membres de l'administration du département de l'Hydraulique et génie civile Faculté des Sciences et de la technologie de l'université de Biskra qui trouvent également l'expression de mon profond respect à travers ces lignes.

A tous mes collègues de la promotion Magister option Hydraulique urbaine et ouvrages hydrotechniques 2009 à qui je souhaite le succès et la prospérité pour toute.

AIDOUDI LEILA

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissances et de respect :

- *A ma mère et mon père pour tous les sacrifices qu'ils ont consenti à mon égard, et pour qui le mot éducation veut dire: respect, droiture, morale, honneur et sens du devoir*
- *A la mémoire de mon grand frère "AMAIRA" que dieu accueillie son âme en son vaste paradis.*
- *A mon frère TARIK*
- *A mes sœurs et à AMINA et NOUSA*
- *A toute la famille AIDOUDI et KHEMIRI*
- *A Mes amis par tous, en particuliers: MAYADA; MERIEM; YAKOUTA; NASIMA; SALIMA; AMEL;*

… ET .... Avec toute mon amitié.

AIDOUDI LEILA.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction générale 10

PREMEIRE PARTIE. APERCU BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I. Considérations générales sur le cycle de l'eau

Introduction 15
I.1. Le cycle hydrologique 15
I.2. Le bassin versant 17
I.3. Les retenues des eaux "les barrages" 18
Conclusion 19

Chapitre II. Les éléments du bilan hydrologique

Introduction 21
II.1. Equation du bilan hydrologique 21
II.2. Les facteurs qui affectent le bilan hydrologique 23
II.3. Les éléments du bilan hydrologique 24
II.3.1. Les entrées 24
II.3.1.1. Les apports d'eau 24
II.3.1.2. Les Précipitations 25
II.3.2. Les sorties 26
II.3.2.1. L'irrigation 26
II.3.2.2. L'Evaporation 27
II.3.2.3. La vidange du barrage 27
II.3.2.4. Le déversement du barrage 28
II.3.2.5. Les fuites 28
II.3.2.6. L'infiltration 28
II.4. Méthodes de calcul du bilan hydrologique 30
II.4.1 Travaux effectués dans le monde 30
II.4.2. Méthode d'application générale aux retenues de barrage 33
II.5. Intérêt des études du bilan hydrologique 36
II.6. Le bilan hydrologique mondial 36
Conclusion 39

DEUXIEME PARTIE. TRATEMENT DES DONNEES

Chapitre III. Présentation de la zone d'étude

Introduction 42
III.1. Description du Bassin versant d'oued Abiodh 42
42

III.1.1. Situation géographique
III.1.2. Caractéristique physiographiques et morpho métriques du bassin 44
III.1.2.1. La forme du bassin d'oued Abiodh 44
III.1.2.2. La topographie 44
III.1.2.3. La courbe hypsométrique 46
III.1.2.4. Le réseau hydrographique d'Oued Abiodh "Chevelu hydrographique" 48
III.1.2.5. Récapitulatif des caractéristiques du Bassin Versant 48
III.2. Hydro climatologie du bassin versant d'Oued Abiodh 51
III.2.1. Les précipitations et leur variabilité 51
III.2.2. Le vent 54
III.2.3. Les températures 55
III.2.4. Evaporation du bassin versant 56
III.2.5. Le couvert vegetal 57
III.3. Les caractéristiques géologiques et lithologiques du bassin 60
III.3.1. Structure géologique du bassin versant 60
III.3.2. Stratigraphie 61
III.3.2.1. Crétacé 61
III.3.2.2. Miocène 61
III.4. Barrage de Foum El Gherza 64
III.4.1. Situation géographique du barrage 64
III.4.2. Historique de la construction du Barrage de Foum-El-Gherza 66
III.4.3. Caractéristiques du barrage de Foum El Gherza 67
III.4.4. Exploitation des eaux du barrage de Foum El Gherza 68
III.4.5. Équipement hydro pluviométrique du barrage de Foum El Gherza 69
III.4.6. Les caractéristiques géologiques de la cuvette du barrge 70
III.4.7. Tectonique du barrage Foum El Gherza 70
III.4.8. Fondation du barrage 70
Conclusion 71

Chapitre IV. La mesure des éléments du bilan hydrologique du barrage de Foum El Gherza

Introduction 73
IV.1. Mesure des pluies 73
IV.2. Mesure des apports 73
IV.3. Mesure de l'évaporation 75
IV.4. Mesure des irrigations 76
IV.5. Mesure des fuites 77
IV.6. Mesure des volumes vidangés du barrage 79
IV.7. Mesure des volumes déversés du barrage 80
Conclusion 81

Chapitre V. Analyse préliminaire des éléments du bilan hydrologique

83

Introduction
V.1. Données 83
V.1.1. Collecte des données 83
V.1.2. Constitution de la base de données 83
V.2. Etude de la variabilité des éléments du bilan hydrologique 86
V.2.1. Les pluies 86
V.2.1.1. Echelles Annuelle et Interannuelle 86
V.2.1.2. Echelle mensuelle 89
V.2.2. Les apports 91
V.2.2.1. Echelles annuelle et Interannuelle 91
V.2.2.2. Echelle mensuelle 94
V.2.3. Les Evaporations 96
V.2.3.1. Echelle annuelle et interannuelle 96
V.2.3.2. Echelle mensuelle 99
V.2.4. Les Irrigations 101
V.2.4.1. Echelles annuelle et interannuelle 101
V.2.4.2. Echelle mensuelle 103
V.2.5. Les Déversements 105
V.2.5.1. Echelles annuelle et interannuelle 105
V.2.5.2. Echelle mensuelle 107
V.2.6. Les Vidanges 110
V.2.6.1. Echelles annuelle et interannuelle 110
V.2.6.2. Echelles mensuelle 112
V.2.7. Les fuites 113
V.2.7.1. Echelles interannuelle et annuelle 113
V.2.7.2. Echelle mensuelle 114
Conclusion 116

Chapitre VI. Etude du bilan hydrologique

Introduction 118
VI.1. L'établissement du Bilan hydrologique 118
VI.1.1. Les entrées et les sorties 119
VI.1.2. Résultats et Interprétations 123
Conclusion 129

Conclusion générale 131
Référence bibliographique 134
Table des illustrations 137
Liste des figures 138
Liste des tableaux 141

Résumé:

Cette étude a été effectuée à partir des données d'exploitation qui s'étalent sur plus de 50 ans du barrage de Foum El Gherza situé à 18 Km à l'est de Biskra et d'une capacité de 45 Hm^3. L'étude a pour objectif de l'établissement et l'analyse d'un bilan hydrologique qui permettra de connaître l'évolution des volumes d'eau en fonction des cotes dans la retenue. Il a expliqué le suivi du bilan en eau de la retenue et l'analyse de son fonctionnement hydrologique. L'observation annuelle pendant 58 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. Parallèlement l'étude de bilan hydrologique de la retenue est fortement varié dont le faible taux annuel de remplissage de la retenue est à lié aux faibles apports du barrage de Foum El Gherza, notez que les déficits d'eau ont de l'ordre 39.65% durant la série d'étude.

Mots clés: *barrage, hydrologie, bilan hydrologique, apport, perte d'eau, déficit d'eau*

Abstract:

This study was conducted on the data block "Foum El Gherza" for a period of more than 50 years. The dam is located 18 km east of the city of Biskra. It has capacity of 45 Hm^3. The study aims to analyze the water balance ,which will reveal the evaluation of the water volume in the reservoir, as well as follow-up to the water balance within the dam by monitoring changes in water level in the tank. The annual study during 58 years of the constituent elements of the water balance equation has shown the irregular changes in imports and exports of the dam. These irregular changes are influence by topographic or climatic features of the area. From this point we obtain the balance water study of the reservoir between the surplus stocks that meet the agricultural needs, and its incapacity to meet these needs is estimated at 39.65% through a series of study.

Key-Words: *dam, hydrology, water balance, intake, water loss, Water deficits.*

الملخص :.

أجريت هذه الدراسة على البيانات الخاصة بسد "فم الغرزة" لفترة تمتد لأكثر من 50 عاما, حيث يقع هذا السد على بعد 18 كيلومترا شرق مدينة بسكرة وهو بسعة 45 هم^3 . تهدف الدراسة إلى تحليل الموازنة المائية التي سوف تكشف عن تقييم حجم المياه في الخزان و كذلك متابعة التوازن المائي داخل السد من خلال رصد تغيرات منسوب المياه في الخزان. أظهرت الدراسة السنوية خلال 58 سنة للعناصر المكونة لمعادلة التوازن المائي التغيرات الغير نظامية في الواردات و الصادرات للسد ، نظرا لتأثرها سواء بالميزات المناخية أوالطبوغرافية للمنطقة. من هذ المنطلق نتحصل على دراسة لتوازن المائي للخزان بين فائض في مخزون المياه يلبي الحجيات الزراعية، و عجزفي تلبية هذه الحجيات يقدر بنسبة 39.65 ٪ خلال سلسلة الدراسة.

الكلمات المفتحية: *السد, هيدرولوجيا, التوازن المائي, الواردات, ضياع المياه, العجز في المياه.*

Introduction générale

Introduction générale

L'information disponible pour la connaissance des ressources en eau dans les régions semi arides et arides n'est généralement pas très abondante et l'utilisation des relevés de niveau d'eau dans les retenues de barrages, pour palier l'insuffisance du réseau hydrométrique, constitue une possibilité non négligeable d'accroissement de cette information.

Dans les régions semi arides et arides la ressource en eau est souvent un facteur limitant du développement. Les objectifs d'une politique saine d'emmagasinement des eaux de surface et de l'optimisation de la gestion des retenues de barrages demandent que l'on étudie avec soin le fonctionnement de tels réservoirs et leur influence sur le bilan hydrologique de la région.

L'utilisation des ressources en eau de la retenue du barrage de Foum El Gherza pour l'irrigation pose souvent des questions sur la quantité d'eau disponible et sa variabilité saisonnière, sur la durée de vie de l'aménagement ainsi que sur l'efficacité des pratiques de vanne et de chasse des crues.

Cette retenue d'eau, située à 15 km au nord-est de Biskra, doit en principe (avec ces 45 hm^3), réguler et satisfaire les besoins en eau d'irrigation d'un périmètre de 1 200 ha correspondant à la plantation de plus de 300 000 palmiers dans les villages de Sériana, Garta et dans la daïra de Sidi Okba. Ce barrage, vieux de plus d'un demi-siècle et qui, malgré tout, défie encore les ans, est envasé aux 2/3 de son volume. Sa capacité ne dépasse guère les 17 millions de mètres cubes d'eau.

Face à ces problèmes, l'estimation des termes du bilan hydrologique peut s'effectuer à partir de l'information susceptible d'être extraite des chroniques de niveaux d'eau des retenues des barrages.

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.

En général l'équation du bilan hydrologique constitue le fondement des modèles de prévision en Hydrologie. L'estimation quantitative des ressources potentiellement disponibles peut être utilisée pour déterminer l'optimum nécessaire à la satisfaction des divers besoins économiques de la région considérée.

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 de plus de 50 ans, l'étude permettra de connaître l'évolution des volumes d'eau en fonction des cotes dans la retenue. La confrontation entre les entrées et les sorties mettra en évidence la disponibilité en eau de la retenue et les facteurs qui peuvent agir sur sa variabilité saisonnière et interannuelle.

Pour cela il a fallu faire appel que pour l'étude et le calcul des bilans hydrologiques annuels du barrage de Foum El gherza, on à partagé notre étude dans deux partie:

La première partie, consiste une synthèse bibliographique sur l'étude du bilan hydrologique, composé de 02 chapitre dont:

- Le 1er chapitre il est représenté l'eau dans la nature et il est sous le titre "Considérations générales sur le cycle de l'eau".

- Le 2eme chapitre "Les éléments du bilan hydrologique" est comprend une définition des termes essentiels du bilan hydrologique, une revue des applications et résultats trouvés dans la région du Maghreb et dans le monde, et l'explication du modèle utiliser du bilan hydrologique sur la retenu du barrage de Foum El Gherza.

La deuxième partie, sera consacrée à étudier le bilan hydrologique de la retenue du barrage de Foum El Gherza et il est composé de 04 chapitre:

- Le 3eme chapitre "Présentation de la zone d'étude" est une présentation du bassin versant d'oued El Abiodh et du barrage étudié.

- Le 4eme chapitre " La mesure des éléments du bilan hydrologique du barrage de Foum El Gherza" dans ce chapitre on a représentée la méthode de mesure de chaque élément.

- Le 5eme chapitre "Analyse préliminaire des éléments du bilan hydrologique" elle comprend le traitement et l'analyse des données d'exploitation du barrage de Foum El Gherza mois par mois, année par année entre les ressources, les besoins et les pertes d'eau.

- Le 6eme chapitre "Etude du bilan hydrologique" est donnée les résultats d'étude des bilans hydrologique annuels sur la retenu du barrage.

PREMEIRE PARTIE

APERCU BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I

Considérations générales sur le cycle de l'eau

Chapitre I. Considérations générales sur le cycle de l'eau

Introduction

La question de la disponibilité et la quantité de l'eau est sans aucun doute un des problèmes majeurs auquel devra faire face l'humanité durant le développement urbain des villes. Face à la poussée de l'urbanisation, les barrages sont appelés à assurer des adductions d'eau de plus en lointaines, au profit des villes et aussi à être affectée pour une large part des grosses concentrations industrielles et à la mise en valeur de dizaines de milliers d'hectares de terres agricoles "sèches".

I.1. Le cycle hydrologique

L'eau est la source principale et originelle de toute vie et elle se retrouve dans l'atmosphère terrestre sous trois états :

- Solide : neige et glace.
- Liquide : eau chimiquement pure ou chargée en solutés.
- Gazeux : à différents degrés de pression et de saturation.

La température, la pression et le degré de pollution de l'atmosphère sont essentiellement les facteurs principes qui ont un effet sur le changement de la phase de l'eau.

Les eaux sont en constante circulation sur la terre et subissent des changements d'état, on soulignera que l'eau est le seul et unique élément qui existe sous ces trois états dans les conditions que l'on rencontre à la surface de la Terre. L'importance de ces modifications fait de l'eau le principal agent de transport d'éléments physiques, chimiques et biologiques. L'ensemble des processus de transformation et de transfert de l'eau forme le cycle hydrologique.

Le cycle hydrologique est un concept qui englobe les phénomènes du mouvement et du renouvellement des eaux sur la terre. Cette définition implique que les mécanismes régissant le cycle hydrologique ne surviennent pas seulement les uns à la suite des autres, mais sont aussi concomitants.

Le terme "Cycle de l'eau" nécessite la permanence des échanges entre l'eau de surface et l'eau atmosphérique, par un jeu qui combine l'évaporation et les précipitations, alors que l'évaporation qui causée par le réchauffement de la surface des océans sous l'effet du rayonnement solaire, entraine la libération de vapeur d'eau dans l'atmosphère (fig. I.1). Cette vapeur se déplace ensuite au gré des mouvements des masses d'air par des phénomènes de convection et d'advection. D'autre part par, soumise à des conditions favorables, la vapeur d'eau se condense pour former les nuages qui se déplacent vers les continents et se transforment partiellement en précipitation. Que ces précipitations prennent la forme de neige ou de pluie, la majorité d'entre d'elles retournent aux océans, qui occupent environ 70% de la surface de la terre.(Anctil, 2005)

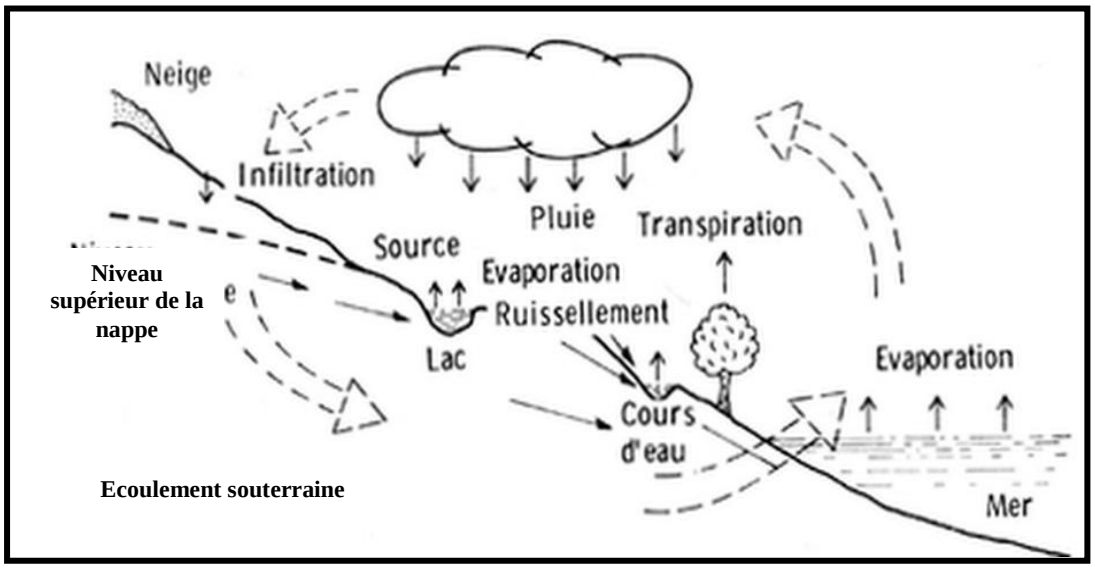


Figure I.1. Représentation du cycle de l'eau

- La précipitation, sous forme de pluie ou de neige, est la source d'apport en eau. Elle dépend principalement des conditions climatiques.

- L'évapotranspiration correspond à l'eau qui est transpirée par les plantes et évaporée au niveau du sol. Elle dépend de la température, du type de végétation et des propriétés physiques du sol et aussi du taux d'humidité dans l'air.

- Le ruissellement de surface (ou écoulement de surface) survient lors d'un évènement de précipitation durant lequel la capacité d'infiltration du sol est atteinte de sorte que l'eau ne peut plus le pénétrer et s'écoule en surface. Il dépend entre autres, du climat, de la pente, du type de sol et ses propriétés physiques, et de l'utilisation du sol.

- L’infiltration (qui devient l’écoulement de l’eau souterraine) se divise en deux parties:
  - ✓ Le ruissellement hypodermique s’effectue près de la surface et est constitué de l’eau qui s’infiltre dans le sol et qui circule horizontalement dans les couches supérieures jusqu’à ce qu’elle face résurgence à la surface, par la pente du terrain ou dans un cours d’eau, ou bien jusqu’à ce qu’elle s’infiltre plus bas vers l’aquifère.
  - ✓ La recharge correspond à l’eau qui atteint l’aquifère. Le partage entre le ruissellement hypodermique et la recharge dépend surtout des propriétés hydrogéologiques et des formations géologiques.

Le cycle de l'eau est donc sujet à des processus complexes et variés parmi lesquels nous citerons les précipitations, l'évaporation, la transpiration (des végétaux), l'interception, le ruissellement, l'infiltration, la percolation, l'emmagasinement et les écoulements souterrains qui constituent les principaux éléments du cycle hydrologique. Ces divers mécanismes sont rendus possibles par un élément moteur qui est le "soleil" un organe vital du cycle hydrologique. Le cycle hydrologique est donc un cycle fermé et répétitif.

I.2. Le bassin versant

Le bassin versant, appelé aussi bassin de drainage d'un oued, en un point donnée de son cours, est l'aire limitée par le contour à l'intérieur duquel l'eau précipitée se dirige vers ce point de l'oued (fig. I.2). La définition topographique d'un bassin versant fait passer ses limites par la ligne des crêtes.

Le bassin versant a un objectif de collecteur; il recueille les pluies et les transforme en écoulement à l'exécutoire. Cette transformation est fonction des conditions climatiques et des caractéristiques physique du bassin versant. Ces caractéristiques sont:

- morphologique: forme, relief, réseau de drainage,
- superficielles: nature de sol et couverture végétale

L’exutoire d'un bassin est le point le plus en aval du réseau hydrographique par lequel passent toutes les eaux de ruissellement drainées par le bassin. La ligne de crête d’un bassin versant est la ligne de partage des eaux. La ligne ainsi définie, limite les bassins versants topographiques adjacents.

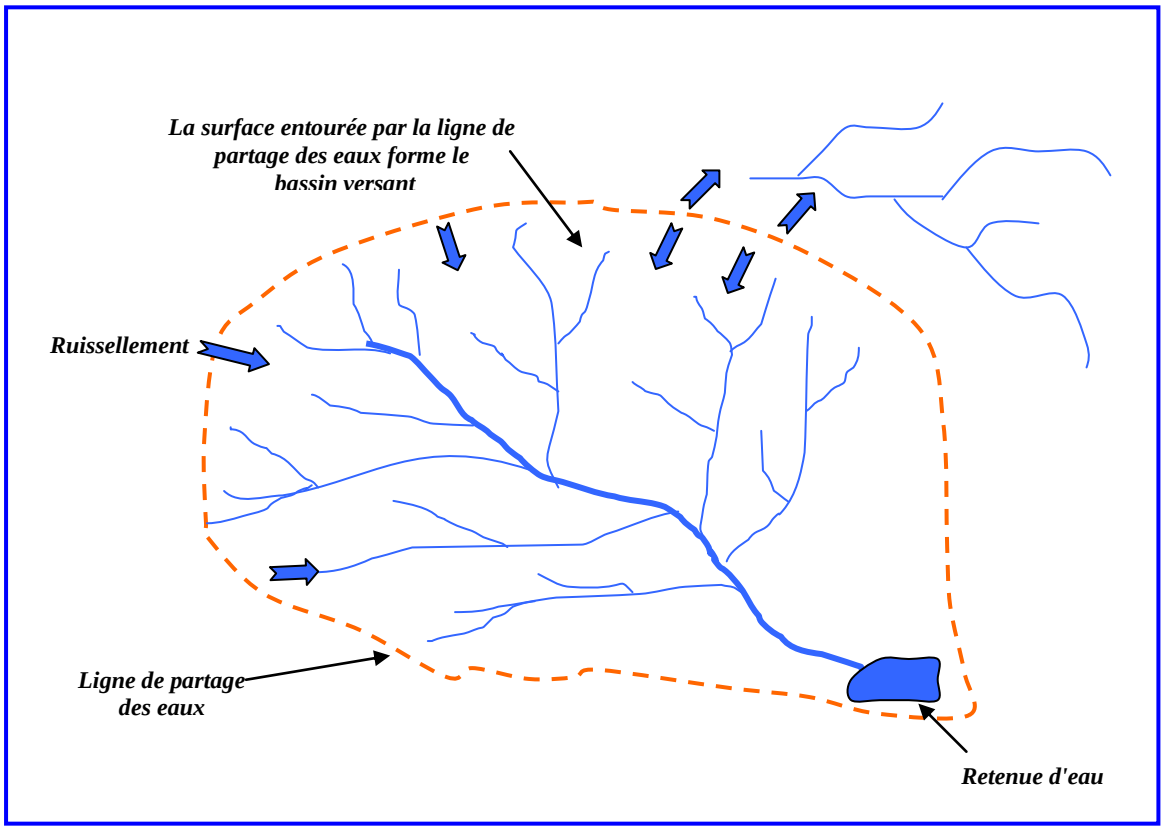


Figure I.2. Schématisation du bassin versant

I.3. Les retenues des eaux "les barrages"

Un barrage n’est pas un simple mur plus ou moins solide. L’ouvrage vit, travaille et se fatigue en fonction des efforts auxquels il est soumis. Un barrage est un ouvrage d'art construit en travers d'un cours d'eau et destiné à réguler l'écoulement naturel de l'eau pour permettre à l'écoulement recherché.

Quand le barrage est submersible, on parle plutôt de chaussée, seuil ou de la digue ; ce dernier terme est également préféré à celui de barrage lorsqu'il s'agit de canaliser un flot et non de créer une étendue d'eau stagnante.

On dit que le barrage fluvial par exemple permet la régulation du débit d'une rivière ou d'un fleuve (favorisant ainsi le trafic fluvial), a pour but l'alimentation en eau des villes, l'irrigation des cultures, et aussi pour développer le tourisme et les loisirs, etc …. Le principe est de construire un barrage sur une rivière à fort débit. La zone en amont de la rivière se retrouve ainsi inondée et la zone en aval par conséquent voit son niveau d'eau s'abaisser.

Le barrage hydroélectrique qui est autorisé sous certaines conditions, la production de force motrice (moulin à eau) et d'électricité, à un coût économique acceptable, le coût environnemental étant plus discuté.

La réalisation d'une construction de qualité comme un barrage nécessite la mise en place de points de contrôle pendant sa construction, à la fin de sa réalisation, et durant toute sa durée de vie.
Les barrages hydrauliques ont un indéniable rôle structurant de l'espace, mais sont aux prises à des contraintes diverses, liées à la gestion des infrastructures de la ressource, à la planification des utilisations de l'eau, en plus de la menaces de la pollution abordée précédemment et de l'épineux problème de l'envasement. Ce dernier phénomène revêt une ampleur particulière dans les régions méditerranéennes, affectées d'une érosion très active (Mebarki, 2009).

Conclusion

La compréhension et l'analyse du cycle de l'eau et l'étude de bilan hydrologique sont la base de toute étude et réflexion au sujet de la gestion des eaux de surface et des barrages pour une bonne utilisation de la ressource d'eau. Dans ce contexte, il peut être utile de rappeler que "la mesure quantitative et qualitative des éléments du cycle hydrologique et la mesure des autres caractéristiques de l'environnement qui influent sur l'eau constituent une base essentielle pour une gestion efficace de l'eau". (Déclaration de Dublin, 1992).

Chapitre II

Les éléments du bilan hydrologique

Chapitre II. Les éléments du bilan hydrologique

Introduction

Le calcul des termes du bilan hydrologique (précipitations, apport, évaporation) relatif à la période pluriannuelle considérée, permet d'établir des comparaisons spatiales entre les années observées. Les fortes nuances spatiales des bilans trouvent leur explication dans la variété des contextes hydrologiques et l'influence relative de chacun des facteurs conditionnels.

II.1. Equation du bilan hydrologique

Du point de vue hydrologique, la première étape de la gestion des bassins versants est d'évaluer les pratiques de gestion passées, présentes et proposées sur un bassin versant en ce qui concerne le bilan hydrologique des bassins versants. Le terme de l'équilibre "Water shed water" se réfère à l'équilibre entre les apports d'eau à un bassin versant sous forme de précipitations et l'écoulement de l'eau du bassin versant de l'évapotranspiration, le débit des eaux souterraines et le débit d'écoulement. Le bilan hydrologique dans un bassin versant prend en compte les données de l'évapotranspiration des plantes et dans ce cas en a appelé le bilan hydrique du bassin versant. Ce dernier est en fait l'application de l'équation de conservation de la masse, et constitue une simple opération de calcul à l'intérieur d'un système donné, on parle alors d'une approche systématique (Anctil, 2005). On peut souvent simplifier un système hydrologique, comme le montre la figure II.1. Il s'applique à toute région soumise à un apport variable d'une substance ou d'une énergie Q_E, qui se conserve dans le temps, dont une partie S est emmagasinée et dont l'excédent Q_S s'écoule par un exutoire.

Le principe du bilan hydrique revient à considérer le sol comme un réservoir d'eau et à estimer par le calcul, l'état de cette réserve en tenant compte de la quantité d'eau consommée par la culture et les apports des précipitations ou des irrigations. Fondamentalement, le bilan hydrique des bassins versants est un outil de comptabilité pour suivre le cycle hydrologique d'un bassin versant au fil du temps.

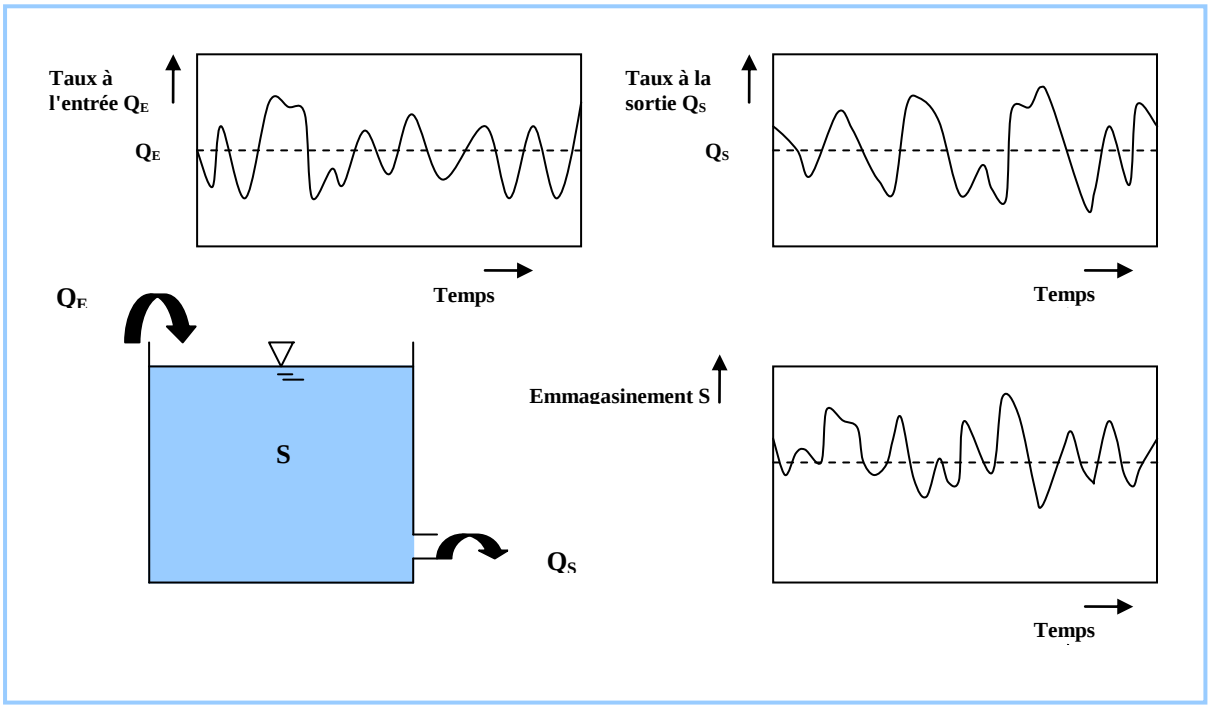


Figure n° II.1. Diagramme conceptuel d'un système hydrologique (d'après Anctil, 2005)

Établir le bilan en eau d'une région sur une période donnée, c'est chiffrer les quantités d'eau qui entrent et sortent des différents bassins versants qui la composent (le bassin versant d'une rivière est la zone à l'intérieur de laquelle l'eau précipitée s'écoule et converge vers la rivière).

Le bilan hydrologique d'un bassin versant peut s'exprimer par la formule suivante :

$$P = E + R + I \quad \text{.....[II.1]}$$

Avec:

P – précipitation totales

E **-** évaporation + évapotranspiration (transpiration des plantes)

R **–** ruissellement de surface

I **-** infiltration;

D'autre part il existe une autre forme d'écriture de l'équation générale du bilan hydrologique qui est comme suit:

$$P + S = E + R + (S + \Delta S) \quad \text{..... [II.2]}$$

Dont le "S" est le stock et "ΔS" est la variation de stock.

Chacun des termes du bilan hydrologique est naturellement pondéré par divers paramètres climatiques et géographiques. Par exemple, la température est l'un des facteurs principaux du pouvoir évaporant de l'atmosphère, le relief conditionne les précipitations des masses nuageuses, et la nature de la couverture végétale influe sur les phénomènes d'interception et de transpiration.

Les durées de séjour de l'eau dans les différents compartiments du cycle sont très variables. En moyenne, elles sont de l'ordre de la semaine dans l'atmosphère, de plusieurs jours à plusieurs années dans les rivières selon la taille des bassins versants, des siècles à des millénaires dans les grands aquifères du sous-sol, d'une trentaine de siècles dans les océans.

II.2. Les facteurs qui affectent le bilan hydrologique

Pour évaluer les quantités d'eau qui participent aux différentes étapes du bilan hydrologique, on utilise les données relatives aux principaux facteurs qui peuvent affecter le bilan hydrologique. L'impact de ces données sur le bilan hydrologique est présenté dans le tableau I.1.

Tableau II.1. L'impact des différents facteurs qui affectent le bilan(d'après Croteau, 2006)

Types de données	Exemple d'impact sur le bilan
Donnée météorologiques (température, précipitation, vent, rayonnement solaire et humidité relative)	Quand le sol est gelé, l'eau ne pas s'infiltrer.
Couverture végétale (profondeur des racines, densité du couvert végétal et saison de croissance des végétaux)	Plus la végétation est mature et dense, plus la transpiration est importante.
Pente de terrain (Dérivées de carte topographique et du modèle numérique de terrain)	Plus la pente est abrupte, plus le ruissellement de surface est important

Carte pédologique (type de sol de surface)	Plus le sol est fin et compact, plus le ruissellement de surface est important
Image satellite d'utilisation du sol	En zone urbaine le ruissellement est plus important qu'en zone cultivée.
Densité du drainage de surface (cours d'eau et drainage agricole)	La présence de nombreux cours d'eau et système de drainage agricole réduit l'infiltration efficace donc la recharge.
Cartes géologique du socle rocheux et des dépôts meubles (porosité, fracturation,ordre et superposition des unités géologiques)	Si l'aquifère est recouvert d'argile ou s'il est peu poreaux et non fracturé, le ruissellement hypodermique sera très important et la recharge sera très faible.

II.3. Les éléments du bilan hydrologique

Afin d'étudier l'hydrologie d'un bassin versant il est importante de connaître les volumes d'eau qui entrent en jeu sur un bassin versant et qui ressortent aux exsurgences. Ceux-ci sont la base d'un bilan hydrologique, sur une année par exemple, qui caractérisera le fonctionnement d'un réseau hydrographique.

En peut utiliser une autre présentation de l'équation du bilan hydrologique sous forme de:

$$\Delta V = Entrées - Sorties \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [II.3]$$

II.3.1. Les entrées

II.3.1.1. Les apports d'eau

Les apports et le comportement hydrologique des cours d'eau sont la résultante de l'interaction complexe des facteurs climatiques et physiographiques dont le caractère de disparité spatiale, dans l'Est algérien, est nettement marqué.

Dans le présent document, l'apport en eau se définit comme la quantité d'eau dérivée des mesures de volume non régularisés dans une zone géographique donnée transféré vers l'exutoire du bassin versant. Le volume d'eau est la quantité d'eau de ruissellement en surface provenant de l'eau des précipitations ou de l'accumulation annuelle de neige. Le débit englobe les processus hydrologiques (par exemple, interception, infiltration et évapotranspiration), l'état du stockage d'eau (par exemple, lacs, aquifères, accumulation annuelle de neige) dans un bassin hydrographique et dépend de variables climatiques (comme la température) et physiographique (la topographie).

L’apport en eau s’appuie sur le débit non régularisé en ce sens que seules les mesures démontrant le débit naturel (c'est-à-dire, non endigué ou détourné) sont utilisées dans son calcul. Le débit est utilisé exclusivement pour estimer l’apport en eau parce qu’il peut être mesuré avec un niveau de précision connu, comparativement à d’autres parties du cycle de l’eau, telles que les précipitations et l’évapotranspiration, qui peuvent présenter des taux d’incertitude plus élevés.

Les apports à un lac varient généralement suivant les saisons. Ces mouvements saisonniers sont principalement dus aux variations saisonnières du climat. Actuellement, le niveau de nombreux lacs est toutefois régulé par des vannes à la sortie des réservoirs et les mouvements saisonniers sont très fortement atténués, voire supprimés. Rappelons que la présence de plans d'eau influence fortement le comportement hydrologique d'un bassin versant, notamment par leur capacité de stockage qui a pour effet de laminer les crues (Musy, 2003).

II.3.1.2. Les Précipitations

Les précipitations constituent un phénomène qui décrit le transfert de l'eau, dans une phase liquide (pluie) ou solide (neige, grêle), entre l'atmosphère et le sol. Au-dessus des continents, les précipitations représentent l'élément le plus important du cycle hydrologique, leur volume étant supérieure a celui des autres composantes. D'après le principe de conservation de la masse et en considérant l'échelle de la planète pendant une période de temps suffisamment longue, les précipitations sont égales à l'évaporation. On peut considérer ce phénomène comme l'aboutissement d'un processus formé par les trois étapes suivantes (Llamas, 1993):

- le refroidissement de l'air jusqu'à la saturation; la condition de saturation est un état thermodynamique appelé point de rosée;
- le changement de phase de vapeur d'eau en liquide ou en solide;
- la croissance de gouttelettes jusqu'à la formation de vapeur d'eau;

La mesure de la pluviométrie et des volumes d'eau précipités sur une aire donnée est difficile à réaliser. En effet, l'irrégularité des précipitations aussi bien temporelle que spatiale rend l'instrumentation considérable et très coûteuse.

II.3.2. Les sorties

Un calcul de bilan hydrique nécessite la prise en compte de l'eau perdue naturellement, par évaporation ou par évapotranspiration, et par ruissellement et aussi les eaux destiné au besoin.
En plus de la faible quantité d'eau reçue par nos barrages à cause de la sécheresse qui a touchée le pays depuis une vingtaine d'année, cette quantité se trouve menacée par trois problèmes hydrauliques majeurs qui sont l'évaporation intense, l'envasement accéléré et les fuites d'eau surtout à travers les appuis (Toumi et Remini 2002).

II.3.2.1. L'irrigation

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production, et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides.

L'irrigation peut aussi avoir d'autres applications :

- L'apport d'éléments fertilisants soit au sol, soit, par aspersion, aux feuilles (fertilisation foliaire) ; dans la culture hydroponique, l'irrigation se confond totalement avec la fertilisation ;
- La lutte contre le gel, par aspersion d'eau sur le feuillage (vergers, vignobles) peut permettre de gagner quelques degrés de température précieux au moment des gelées printanières, voire dans certains cas par inondation.

Généralement on parle d'« arrosage » pour les petites surfaces (jardinage) réservant le terme d'« irrigation » pour les surfaces plus importantes (agriculture de plein champ, horticulture), mais il n'y a pas de norme en la matière.

Selon le glossaire international d'hydrologie, l'irrigation c'est un apport artificiel d'eau sur des terres à des fins agricoles.

Pour estimer l'impact de ces prélèvements d'irrigation dans un barrage, nous procédons de la même manière que pour le bilan hydrologique, à deux différences près :

- Les apports sont diminués des prélèvements.
- L'inconnue est la variation de volume du lac. Ou, si l'on préfère, la variation de niveau.

II.3.2.2. L'Evaporation

L'évaporation est la transformation d'eau en vapeur d'eau, et un processus physique de transfert d'eau vers l'atmosphère qui affecte toutes les masses d'eau présentes sur terre. Considérons le cas spécifique de la surface libre d'un lac ou d'un réservoir. Le taux d'évaporation s'exprime généralement en mm/jour, mm/mois ou mm/an (Anctil, 2005).

- L'évapotranspiration représente l'eau « évaporée » par la végétation, qui naturellement absorbe une partie importante des eaux météoriques. D'une manière générale, l'évapotranspiration annuelle est supérieure aux précipitations dans les zones de plaines et inférieure sur les reliefs, plus forte en période printanière et estivale qu'en période automnale ou hivernale.

L'évaporation et l'évapotranspiration dépendent des composants de l'air (humidité, température, pression…) mais également de l'insolation et de la vitesse du vent (Baudouin, 2009).

II.3.2.3. La vidange du barrage

Pour des questions de sécurité, les barrages sont vidés tous les 10 ans : ainsi le mur, les vannes et les infrastructures pourront être contrôlés. Mais lors de cette opération, une partie de la matière accumulée au droit du barrage et dans la retenue, sera transférée à l'aval. Elle ira polluer et colmater la rivière entraînant, d'une part, la mort des êtres vivants (microfaunes, poissons, végétaux), d'autre part, la pollution des prises d'eau potable.

Lors de la vidange des barrages ou simplement lors de simples lâchers d'eau liées à l'exploitation des ouvrages hydroélectriques, le niveau de l'eau à l'aval des barrages monte rapidement, pouvant mettre en danger les personnes qui s'y trouveraient.

Les vidanges décennales des barrages ont pour objectif d'assurer la sécurité de l'ouvrage par visite des parties immergées. La vidange consiste à retirer tout ou partie de l'eau stockée par ouverture des vannes de fond du barrage. Cette opération remet en suspension dans l'eau une partie des couches superficielles des sédiments déposés dans le lac depuis sa mise en eau. Les concentrations de matières en suspension (MES) augmentent alors temporairement dans la rivière, en aval du

barrage, en y provoquant des déficits d'oxygène dissous et en y apportant des éléments indésirables en excès (ammoniac, fer, manganèse, phosphore, parfois métaux lourds et pesticides). Cet ensemble de changements des caractéristiques physico-chimiques du milieu est de nature à gêner certains usages de l'eau, comme par exemple la production d'eau potable.

Les visites décennales réglementaires ne sont pas l'unique cause de vidange : en effet certaines vidanges complètes sont réalisées, avec une périodicité inférieure à la décennie, dans des bassins versants à fort taux d'érosion. L'objectif essentiel est de limiter l'envasement des réservoirs.

II.3.2.4. Le déversement du barrage

La majorité des ouvrages hydrauliques sont équipés de seuil "évacuateur de crues" ou "déversoirs" qui permettent d'évacuer des débits importants lorsque le niveau de la retenue est élevé. Le dimensionnement de ces seuils est fondamental pour la sécurité des ouvrages, car il permet d'éviter que le niveau n'atteigne des cotes pour lesquelles la sécurité de l'ouvrage ne serait plus assurée. La réglementation définit les périodes de retour de crue face auxquelles doivent résister les ouvrages selon leur taille et leur utilisation.

Les seuils de déversoirs peuvent être soit « libres », soit « vannés ».

II.3.2.5. Les fuites

Le problème de fuites revêt une grande importance, surtout pour notre pays où le développement économique est lié aux quantités d'eau emmagasinées au sein des retenues de barrages.Le barrage de Foum-El-Gherza est un cas concret où le problème de fuites à travers les appuis est devenu dangereux et épineux, puisque d'une part on assiste chaque année à un accroissement du débit de fuites pour la même côte du lac (Toumi et Remini, 2004). D'autre part à la méconnaissance avec précision des endroits de circulation d'eau.

II.3.2.6. L'infiltration

L'infiltration qualifie le transfert de l'eau à travers les couches superficielles du sol, lorsque celui-ci reçoit une averse ou s'il est exposé à une submersion. L'eau d'infiltration remplit en premier lieu les interstices du sol en surface et pénètre par la suite dans le sol sous l'action de la gravité et des forces de succion. L'infiltration influence de nombreux aspects de l'hydrologie, du génie rural ou de l'hydrogéologie. L'infiltration est conditionnée par les principaux facteurs ci-dessous (Llamas, 1993) :

- L'épaisseur de la couche saturée du sol.
- L'humidité du sol.
- La compaction due à l'impact des gouttes d'eau sur le sol.
- Le mouvement des particules fines dans le processus d'infiltration; celles-ci jouent le rôle de filtre.
- La compaction due à l'homme et aux animaux.
- La couverture végétale.
- La température en raison de l'écoulement laminaire de l'eau infiltrée, tout changement de viscosité influence nécessairement la capacité d'infiltration.
- Le gel.
- La quantité d'air dans le sol

Finalement, les facteurs les plus influents, pour une même topographie, sont le type de sol, sa couverture et son taux initial d'humidité.

On voit la difficulté pour quantifier le volume qui va s'infiltrer dans le karst, car celui-ci est à la fois dépendant du type de sol et de la végétation qui le recouvre, mais également de la quantité d'eau qui ruissellera en surface pour alimenter directement les cours d'eau superficiels. De plus, si l'évaporation d'un plan d'eau n'a pas beaucoup d'importance par rapport à l'évapotranspiration, par contre la sublimation est un facteur qu'il faudrait prendre en compte en période hivernale!
La quantité d'eau pénètre dans le sol, ce sera l'infiltration. Sous la terre, l'eau peut traverser de grandes profondeurs pour atteindre les couches aquifères, c'est-à-dire les couches du sous-sol qui atteindre les couches aquifères, c'est-à-dire les couches du sous-sol qui contiennent de l'eau. (Sari Ahmed, 2009)

II.4. Méthodes de calcul du bilan hydrologique

II.4.1 Travaux effectués dans le monde

Le bilan hydrologique peut s'appliquer sur les systèmes de surface, et les systèmes souterrains dont il est important de connaitre les volumes d'eau qui entrent en jeu sur le système quels que soit le bassin versant ou la retenue d'eau, et les volumes qui ressortent aux exsurgences. Des travaux effectués dans le domaine de la modélisation du bilan hydrologique dans la région du Maghreb et dans le monde, sont synthétisés comme suit :

- (Dubreuil, 1966) a utilisé le principe de conservation de la masse dans ce modèle pour calculer la variation du volume dans des réservoirs de capacité variable en région intertropicale, sur des renseignements provenant du nord-est du Brésil (polygone de la sècheresse). Le but est de fournir une bonne estimation des termes du bilan hydrologique des apports du bassin versant par l'équation simplifiée suivante:

$$Q_E = \Delta V - P + (Q_S + E) \quad \text{..... [I.13]}$$

- (Vuillaume, 1981) a choisi un modèle de bilan hydrologique, qui est basé sur l'application de l'équation de conservation de la masse, qui consiste une simple opération de calcule du bilan hydrologique mensuelle à l'intérieur du lac de Tchad, dans la variation du stock est calculer par la formule suivante:

$$\Delta V = (V_{apport} + V_{pluie}) - (V_{evap} + V_{inf} + V_{irrig}) \quad \text{..... [II.4]}$$

Où ΔV est la variation de volume, V_{apport} est le volule des apports, V_{pluie} est le volume des pluies, V_{evp} est le volume d'évaporation, V_{inf} volume d'infiltration, V_{irrg} volume d'irrigation.

- L'étude de (Aellen, 1990) a été proposée une équation fondamentale pour établir le modèle adopté du bilan hydrologique du bassin de la masse en Suisse, cette équation montre le même principe dans les autres études, qui décrit l'équilibre entre les apports et les pertes en eau:

$$P + D + E + d_S = 0 \quad \text{..... [II.5]}$$

Dont ;

P: Précipitation liquide ou solide, ***D:*** Débit écoulés,

E: Evaporation ou condensation, d_S***:*** Variation des réservoirs.

- Dans une autre cas au Maroc (Abdellaoui, 2002) utiliser un modèle pour déterminer le bilan hydrologique de la retenue du barrage "Sabon" au Maroc qui a été basée sur l'application de l'équation du bilan qui découle du principe de conservation des volume d'eaux, c'est le même pricipe du formule [I.4], mais elle confédère le volume des eaux souterraine dans les entrée et aussi le volume des déversement et des vidange au niveau du barrage qui entrent en jeu dans le volume des sortie du barrage "les pertes", ce modèle est définir par la formule suivante:

$$\Delta V = (Vr + Vecs + V_p + V_f) - (V_{ev} + V_d + V_{vi} + V_i + V_u) \quad \text{..... [II.6]}$$

Avec:

V_r: volume ruisselé V_{ecs}: volume d'apport souteraine V_p: volume d'apport de pluie

V_f : volume de fonte des neiges V_{ev} : volume d'évaporation V_d : volume déversé

V_{vi}: volume vidangé V_i: volume infiltré V_u: volume utilisé.

- (Le Moine, 2005) a été fait un travail de recherche a pour bute d'étudier des termes du bilan en eau et en particulier des pertes, qui a été limiter cette recherche dés le départ à des bassins versants pour lesquelles la connaissance de la pluie de bassin semblait correcte. L'´echantillon obtenu se compose de 99 bassins versants, issus de la base des 307 bassins versants français. Cette étude montre la modélisation hydrologique et en particulier, la modélisation de la relation pluie-débit à l'échelle du bassin versant reposent sur un certain nombre de principes, à commencer bien sur par la conservation de la masse. Pourtant, il est assez rare de trouver dans la littérature une formalisation complète du bilan en eau à l'échelle du bassin versant. Dans le cas général, ce bilan s'écrit de la façon suivante sur un pas de temps quelconque:

$$P = Q + ETR + \Delta S + L \quad \text{..... [II .7]}$$

Où P est la pluie, Q le débit jaugé à l'exutoire, ETR l'´evapotranspiration réelle, ΔS la variation d'humidité et L la perte (ces 2 derniers termes étant algébriques).

- (Anctil, 2005) est défini le bilan hydrique par l'égalité entre la quantité qui entre dans un volume de contrôle (S_E) moins celle qui en sort (S_S) correspond, pour une période donnée, au changement des stocks, on peut écrire:

$$\Delta S = S_E - S_S \quad \text{..... [II.8]}$$

Le bilan hydrologique est l'approche la plus simple d'estimation de l'évaporation, on reprenant l'équation [I.9], et on peut isoler le volume d'eau évaporée S_{EV} de sorte que:

$$S_{EV} = S_E - S_S - \Delta S \quad \text{..... } [II.9]$$

- Une simple formule est proposée par J.Richard cité in (Haoues, 2007), Pour l'Est Algérien qui établit que le bilan hydrique ne dégage aucun excédent certainement à cause de l'importance de l'évaporation d'une part et le pas de calcul du déficit en écoulement de l'autre dans la région d'étude du bassin versant de l'oued Abiodh.

$$RFU = 1/3.\ (Da.\ He.\ P) \text{..... } [II.10]$$

. RFU : Réserve facilement utilisable (mm).

. Da : Densité apparente du sol.

. He : Humidité équivalente (%).

. P : Profondeur du sol parcouru par les racines(m).

$$ETP = ETR + Da \text{ ..... } [II.11]$$

Les résultats d'étude indiquent des valeurs élevées de l'évapotranspiration, ce qui se répercute directement sur le bilan hydrique de la région. Ce dernier est le plus souvent déficitaire en raison des faibles précipitations annuelles. Il faut noter aussi que l'estimation au pas annuel de l'évapotranspiration ne permet pas de dégager le surplus d'eau en forme d'infiltration et ruissellement, seule une analyse au pas journalier permet de caractériser un bilan assez précis et dégager l'excédent réel en évitant la compensation annuelle.

- (Krimil, 2008) a utilisé une expression du bilan hydrologique sur la retenu du barrage de Foum El Gherza utilisé par (Lebdi, 2002), pour expliquer la variation de stock entre le volume des entrées sur la retenu du barrage et le volume à la sortie du barrage (les pertes), cette variation de stock est calculée par la formule [II.4].

- Différents modèles de calcul du bilan hydrique des bassins versant et du sol ont été proposés, dont l'évaporation et/ou l'évapotranspiration est la base de calcul du bilan, comme le montre le modèle de bilan hydrologique de Lamy (2010). Ce modèle se base sur le calcul de l'évapotranspiration potentielle ***(ETP)*** obtenue à partir de la formule de Turc. Cette formule dépend du rayonnement global ***(R g)*** et de la température moyenne ***(t)***.

$$ETP\ (mm) = 0{,}40\ (R\ g + 50)\ t/(t + 15) \text{ ..... } [II.12]$$

II.4.2. Méthode d'application générale aux retenues de barrage

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.

- Les apports d'eau sont effectués par les précipitations et les apports sur ce lien.
- Les pertes d'eau sont effectuées par l'évaporation, les besoin d'eau et l'infiltration.

Les données de mesures, établies par l'Agence Nationale des Barrages et des Transferts, permettent de suivre l'évolution mensuelle et interannuelle du bilan hydraulique du réservoir depuis sa mise en exploitation. Dans notre cas le bilan du barrage de Foum El-Gharza consiste en une balance d'eau, effectuée année par année, de débit entrant (apport), et débit sortant (pertes par évaporation, prélèvement pour irrigation, …) et variation du stock du réservoir.

Sur un intervalle de temps donné, l'équation générale du bilan hydrologique d'une retenue d'eau, découle de l'application du principe de la conservation des volumes d'eau (Lebdi, 2002). Elle peut s'écrire :

$$\Delta V = (V_A + V_P) - (V_{IR} + V_E + V_V + V_D + V_F + V_{INF}) \ldots\ldots \text{[II.14]}$$

Avec:

$\mathbf{V_A}$: Volume des apports
$\mathbf{V_P}$: Volume des pluies
$\mathbf{V_{IR}}$: Volume des irrigations
$\mathbf{V_E}$: Volume des évaporations
$\mathbf{V_V}$: Volume des vidanges
$\mathbf{V_D}$: Volume des déversements
$\mathbf{V_F}$: Volume des fuites
$\mathbf{V_{INF}}$: Volume des infiltrations

Dans un bilan hydrologique du réservoir d'une retenue d'eau, en peut classer les éléments de ce bilan selon leur effet par deux catégories, à l'actif 2 postes et, 4 postes au passif :

a) A l'actif :

- les apports pluviaux P.
- les débits entrant provenant du bassin direct de la retenue en amont.

b) Au passif :

- les déversements et les vidange
- l'irrigation et l'alimentation des populations
- L'évaporation E
- L'infiltration I et/ou Fuites

Ces deux catégories des éléments du bilan hydrologique fait présenter le principe des entrées et des sorties d'un système donnée qui ils sont toujours un effet déférent.

En d'autres termes, le volume des apports d'eau V_A ou « Entrée » est répartir entre les besoins d'irrigation V_{IR}, les pertes globales (V_E, V_F, V_{INF}), les lâchers (V_V, V_D). Ces 3 éléments représentant les « Sorties », et enfin le surplus éventuel qui reste dans la cuvette $\Delta \mathbf{V}$. La figure II.1 montre de façon schématique les états possibles de variation de la capacité du réservoir d'un barrage que l'on peut représenter à partir de l'exploitation des données d'observation (Mebarki, 2009).

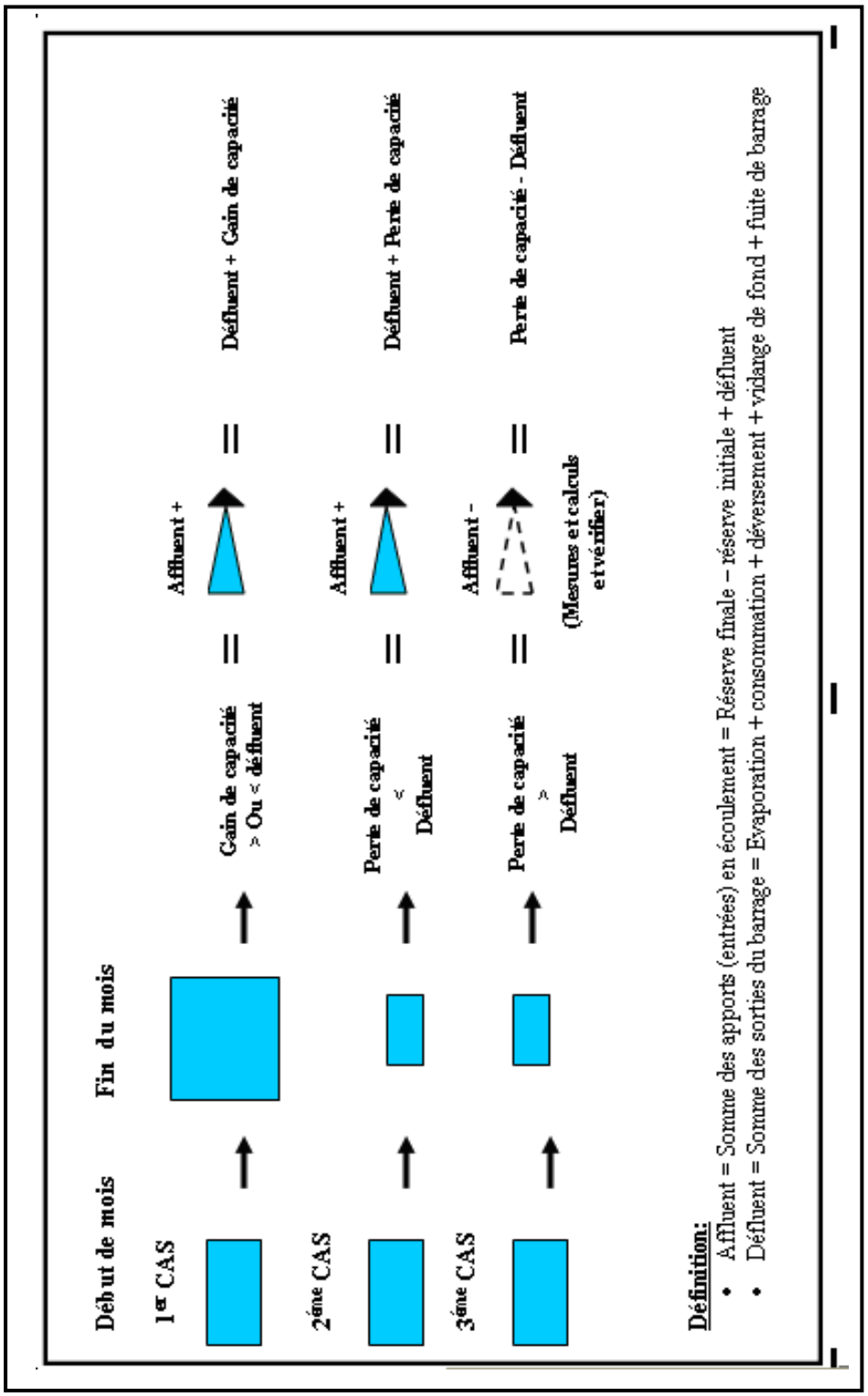


Figure II.2. **Schéma théorique du bilan d'un réservoir (d'après Mebarki, 2009)**

II.5. Intérêt des études du bilan hydrologique

Dans une région donnée (un bassin versant au une retenue d'eau), et avec une bonne connaissance du climat, des sols et des besoins en eau (des cultures, au pour l'alimentation en eau potable) permettent d'estimer les problèmes d'alimentation qui peuvent se poser à certaines périodes de gestionnaires des ressources, de ce faite l'étude du bilan hydrologique est nécessaire. Le bilan hydrologique varient constamment dans le temps et selon le stade des besoins en eau et les conditions climatiques (pluie et évapotranspiration …) qui permet de nous montre quelles sont les entrées et les sorties qui constituent le terme de ce bilan.

L'application de la méthode du bilan hydrologique est limitée par la difficulté de quantifier les variables. Effectivement, les processus hydrologiques sont difficiles à observer directement sur le terrain et donc à mesurer. Notons que les erreurs de mesure éventuelles des termes qu'on retrouve dans l'équation hydrologique simplifiée se répercutent directement sur les valeurs calculées de l'évaporation. Devant ces imprécisions, on suggère l'emploi de cette méthode dans le cas d'un avant-projet par exemple, pour vérifier l'état du système et surtout la validité (la fiabilité) des mesures qui le décrit.

II.6. Le bilan hydrologique mondial

Une étude à l'échelle mondiale du régime des débits des cours d'eau semble devoir être la première étape de l'établissement du bilan hydrologique mondiale. Cette étude fournira en même temps la solution de nombreux problèmes scientifiques relatifs aux eaux de surface et eux ressources en eau. Dans le monde la répartition des eaux sur la terre est donnée approximativement dans le tableau II.2.

Tableau II.2. Répartition de l'eau sur le globe terrestre (d'après Sari Ahmed, 2009)

Lieux	Volumes ($1000\ km^3$)	Pourcentage du volume total
Lac d'eau douce **Rivières** **Humidité du sol** **Eaux souterraines**	125 1.25 65 8250	0.620
Lacs salés	105	0.008
Atmosphère	13	0.001
Calotte glacière, glaciers et neige	29200	2.100
Mers et océans	1320000	97.250
Total	1360000 ou $1.36 \times 10^{18}\ m^3$	100.000

D'après ce bilan, seulement 2.5% environ du total constituent le volume d'eau douce. L'homme ne peut contrôler et exploiter qu'une part très faible de cette eau douce. Le bilan annuel est indiqué approximativement dans le tableau (II.3).

Tableau II.3. Bilan annuel de l'eau sur le globe terrestre (d'après Sari Ahmed, 2009)

		OCEANS	CONTINENTS
Superficies	(km^2)	361 300 000	148 800 000
Précipitations	(km^3/an)	458 000	119 000
	(mm/an)	1 270	800
Evaporation	(km^3/an)	505 000	72 000
	(mm/an)	1 400	484
Ecoulements vers la mer :			
Rivières	(km^3/an)		44 800
Eaux souterraines	(km^3/an)		2 200
Total	(km^3/an)		47 000
	(mm/an)		316

Pour notre pays, le bilan hydrologique s'établit comme suit: pour une superficie totale de 2.38 millions de km^2, la pluviométrie n'intéresse que 10% de cet espace, qui se divise approximativement en trois zones:

1- La zone Septentrionale

D'une superficie de 130 00 km^2, elle reçoit en moyenne 500 mm/an, ou 65 milliards de m^3.

2- La zone des Hauts Plateaux

D'une superficie de 76 000 km^2, avec 300 mm/an en moyenne, ou 22.8 milliards de m^3.

3- La zone Sud Atlas

D'une superficie de 67 000 km^2, avec 250 mm/an ou 16.75 milliards de m^3.

Globalement donc, le pays reçoit 100 milliards de m^3 de pluie par an, dont 85% s'évaporent (85 milliards de m^3). Devant cette évaporation, l'homme est impuissant. Les 15 milliards restant s'écoulent dans les cours d'eau et vers la mer, ou s'infiltrent dans les nappes souterraines.

Les quantités d'eau mobilisables économiquement (car si le prix de l'eau dépasse un certain seuil, jugé trop élevé, on renonce à mobiliser l'eau à ce prix-là et l'on cherche une autre source d'eau à mobiliser à moindre coût; ou bien l'on réduit les volumes utilisés en gaspillant moins) pour les différents usages de la population sont évaluées à :

* 5.7 milliards de m^3 en eau de surface,
* 1.8 milliards de m^3 en eaux souterraines dans le nord,
* 4.9 milliards de m^3 en eaux souterraines dans le sud,

Soit un total de 12.4 milliards de m^3.

La mobilisation de ces ressources rencontre un certain nombre de contraintes pour les eaux de surface elles sont caractérisées par une fort irrégularité dans le temps et dans l'espace. Il pleut beaucoup plus en hiver qu'en été, et beaucoup plus à l'est du pays qu'a l'ouest. Leur qualité physico-chimique est souvent médiocre. Les transports solides sont importants, ce qui pose problèmes: envasement des barrages et des canaux, détérioration rapide des pompes. (Sari Ahmed, 2009)

Conclusion

La nécessité d'entreprendre des extrapolations spatiales de l'une des composantes du bilan hydrologique, plus précisément pour les zones géographiques où il existe une absence d'information hydrologique, montre tout l'intérêt d'établir des corrélations, aussi bien hydro-pluviométriques qu'entre déficit d'écoulement et précipitations.

DEUXIEME PARTIE

TRATEMENT DES DONNEES

Chapitre III

Présentation de la zone d'étude

Chapitre III. Présentation de la zone d'étude

Introduction

Jusqu'à la fin du 19^{éme} Siècle, et en raison notamment de l'insécurité qui y régnait, les zones cultivées le long de l'oued El Abiod, en amont de Foum El Gharza, n'étaient pas importantes.
Aussi, les oasis du Zab, de Sidi Okba (Seriana, Thouda, Garta, Sidi Khellil) disposaient elle d'un débit suffisant pour irriguer leurs palmeraies. Sidi Okba comptait à elle seule plus de cent mille palmiers.

Depuis cette période, les Aurasiens se sont installés le long de l'Oued et ont crée de nombreux jardins qui absorbent la presque totalité du débit au point de mettre en péril l'existence de ces palmerais. De plus, aucune nappe aquifère souterraine exploitable n'existe dans la région pour remédier à cette situation.

La seule solution consistait à construire un barrage- réservoir destiné à emmagasiner les eaux des crues de l'oued El Abiod et à les restituer pour les irrigants.

III.1. Description du Bassin versant d'oued Abiodh

III.1.1. Situation géographique

Le bassin versant d'Oued Abiodh porte le code 06.15 de l'A.N.R.H, il est annexé au bassin versant 06 de Chott Melghir. Le bassin versant d'Oued Abiodh est l'un des sous bassin du grand ensemble hydrologique du chott Melghrir (Figure III.1), situé dans le massif des Aurès (partie orientale de l'Atlas saharien). Il est composé de trois principaux Oueds: Oued Labiod, Oued Chenawra et Oued de T'kout formant par leur confluence Oued Ghassira. L'ensemble de ces Oueds cheminent vers le Sud et se déversent dans Chott Melghir. Oued Abiodh est formé par la réunion de plusieurs torrents descendant des pentes du Djebel Chellia (2328 m) et du Djebel Ichmoul (2071 m) deux des plus hauts sommets d'Algerie.

L'Oued coule vers le Sud – Ouest et il descend de près de 2000 mètres en 120 km. Son caractère torrentiel est très accusé.

Après avoir traversé le défilé resserré de Tighanimine, il s'encaisse dans les canyons de Ghoufi et les gorges étroites de Mchounèche, puis s'ouvre une voie vers la plaine Saharienne jusqu'aux gorges de Foum El Gherza.

Le bassin versant de oued Abiodh est situé entre une forte et moyenne pente, les reliefs du bassin se caractérise par des altitudes très fortes dans sa grande partie, le bassin a une forme allongée, et présente une exposition dominante Nord Est, occupe par une superficie environs 1300 Km².
Le bassin versant peut être divisé en deux zones de superficie sensiblement égale:

- Une zone montagneuse et boisée depuis les monts de Chélia jusqu'au défilé resserré de Tighanimine, il s'encaisse dans les canons de Ghoufi et les gorges étroites de Mchounech.
- Une zone de pentes désertiques, sans aucune couverture végétale de Tighanimine vers la plaine saharienne à travers les gorges de Foum El Gherza.

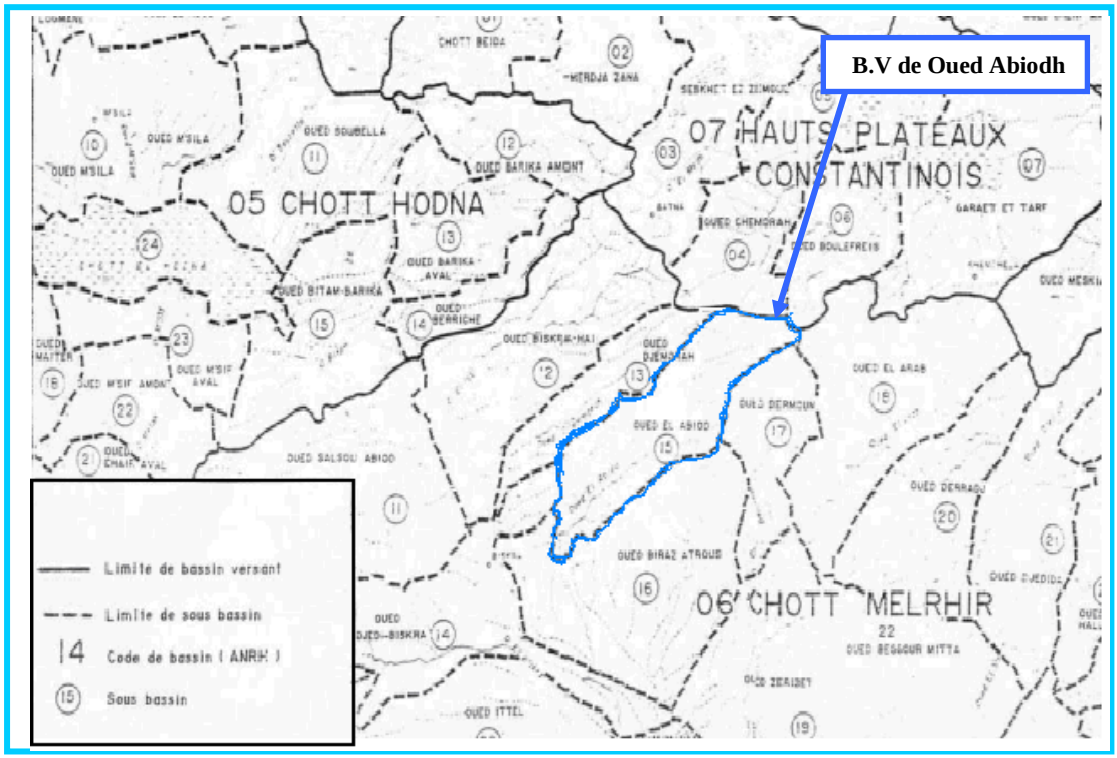


Figure III.1. Bassin versant d'oued El Abiodh « 15 » (d'après (Mebarki, 2009)

L'Oued El Abiodh reçoit les eaux de ses principaux affluents dont les noms suivant :

- Oued Elannza
- Oued El Hammam
- Oued Chemora
- Oued T'kout
- Oued El Ars
- Oued Touaba
- Oued El Chouhada
- Oued Bouyabes
- Oued Zalatou
- Oued Thiet El Abed

III.1.2. Caractéristique physiographiques et morpho métriques du bassin

Le bassin versant d'oued Abiodh fonctionne comme un collecteur chargé de recueillir les pluies et de les transformer en écoulement.Cette transformation ne va pas sans perte en eau, et ces pertes dépendent des conditions climatologiques régnant sur le bassin, mais aussi des caractéristique physiographiques et morphometriques du bassin (forme, réseau hydrographique, …ect).

III.1.2.1. La forme du bassin d'oued Abiodh

La forme du bassin versant influence fortement dans l'écoulement global, et notamment le temps de réponse du bassin versant. C'est la configuration géométrique projetée sur un plan horizontal. Un bassin versant allongé ne réagira pas de la même manière qu'un bassin ramassé même s'ils sont placés dans les mêmes conditions météorologiques.

III.1.2.2. La topographie

Le bassin versant d'oued Abiodh est défini topographiquement par la surface délimitée et par la ligne des partages des eaux qui passe par les lignes des crêtes et les lignes des plus grandes pentes, autrement dit, c'est la surface drainée par un cour d'eau et ses affluents, en amont d'une section donnée, par conséquent tout écoulement se manifestant à l'intérieur de cette surface doit forcément traverser la section normale considérée et s'écouler vers l'aval jusqu'à l'exutoire du barrage de Foum El Gherza.

Le bassin versant est caractérisé aussi par sa dissymétrie, une partie montagneuse au Nord culminant à plus de 2000 m (2326 m Dj Chelia) et une autre basse au Sud (295 m El Habel), ce qui génère des pentes longitudinales et transversales le long de son exposition. Quand au pentes, on constate une série de ruptures qui s'expliquent par les variations lithologiques (résistance à l'érosion) d'une part et le degré de perméabilité des matériaux de l'autre, d'autre ressauts le long de l'Oued beaucoup moins marqués, sont également liés à des seuils rocheux qui apparaissent d'une manière moins nette sur le profil en long (Haoues, 2007).

On constate, une accentuation de pentes entre El Hamra et Ghassira qui engendrent également un encaissement rapide des vitesses d'écoulement, et met en évidence la puissance de l'érosion, d'où un encadrement du lit dans l'absence du champ d'inondation au niveau de la confluence d'Oued Abiodh et Oued Zellatou (1940 m).

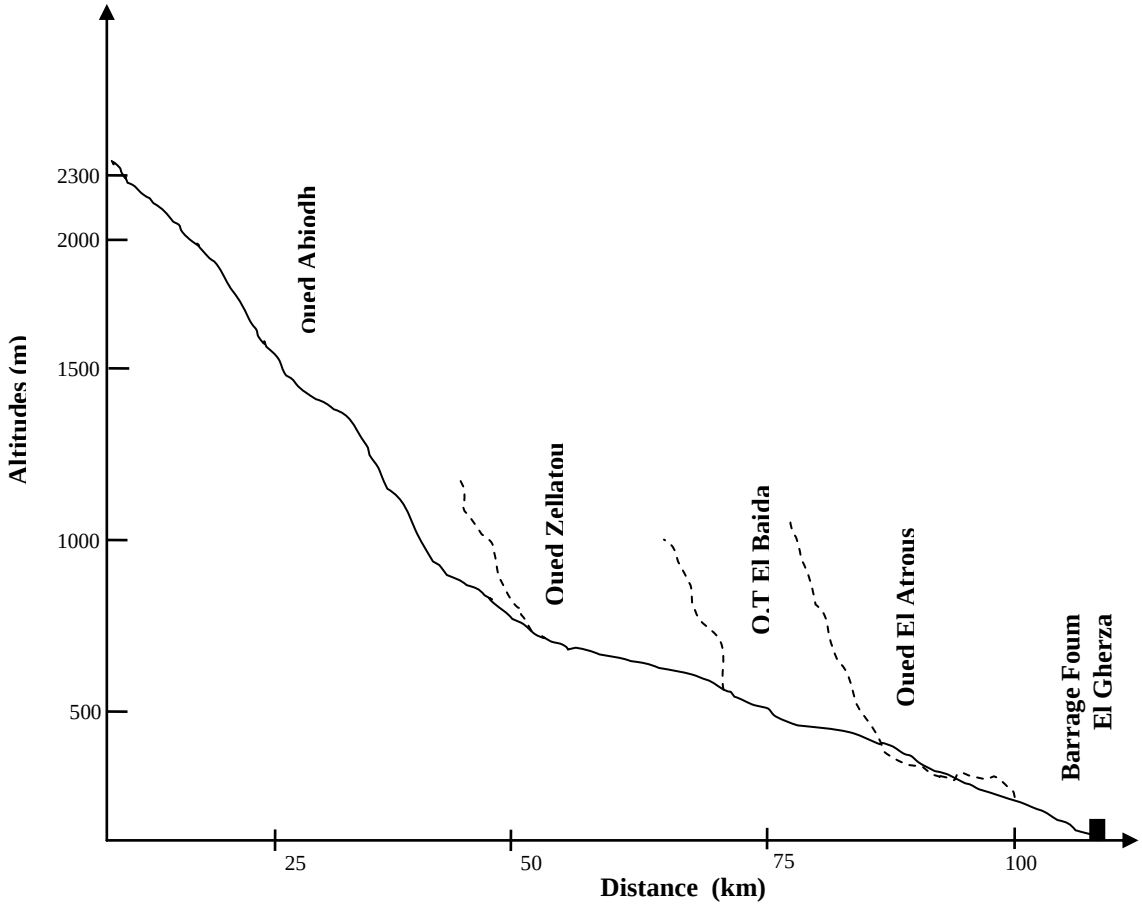


Figure III.2. Profil en long d'Oued Abiodh

Il existe une nette relation entre le changement brusque des pentes et l'exposition Nord-est / Sud-ouest due à l'inadaptation du réseau hydrographique avec la structure. Ainsi au niveau d'Oued Zellatou, on constate de très fortes pentes révélant ainsi le caractère torrentiel de cet affluent, les pentes élevées dans la partie amont, ne sont réalisées que sur de brefs secteurs et sont à l'origine des crues exceptionnelles.

En revanche Oued El Attrous (1640m), présente un profil assez régulier, interrompu par quelques légères ruptures de pentes annonçant les cours d'eau des hautes plaines semi-arides.
Ainsi la partie basse, présente une allure régulière traduisant l'amorce d'équilibre. On notera la présence de gros blocs dans le lit de l'Oued, due soit à un affleurement rocheux, soit à l'arrivée d'un affluent qui transporte des matériaux beaucoup plus gros que ceux transportés par l'Oued principal, ce qui traduit l'inexistence d'équilibre permanent.

III.1.2.3. La courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonnée. Elle exprime ainsi la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude.

Les courbes hypsométrique demeurent un outil pratique pour comparer plusieurs bassin entre eux ou les diverses sections d'un seul bassin. Elles peuvent en outre servir à la détermination de la pluie moyenne sur un bassin versant et donnent des indications quant au comportement hydrologique et hydraulique du bassin et de son système de drainage.

Le but recherché ici, est la détermination de la classe de relief, la hauteur moyenne, la médiane et le pourcentage des aires partielles entre les différentes courbes de niveau.

Tableau III.1. Variation de surface en fonction de l'altitude

Altitude (m)	Surface(Km²)	Surface (%)	Surface Cumulée(Km²)	Surface Cumulée(%)
>2200	0.16	0.012	0.16	0.012
2200-2000	28	2.154	28.16	2.166
2000-1800	142	10.923	170.16	13.089
1800-1600	240	18.462	410.16	31.551
1600-1400	214	16.462	624.16	48.012
1400-1200	210	16.154	834.16	64.166
1200-1000	170	13.077	1004.16	77.243
1000-800	113.84	8.757	1118	86.000
800-600	100	7.692	1218	93.692
600-400	78	6.000	1296	99.692
<400	4	0.308	1300	100

(Source: Krimil, 2008)

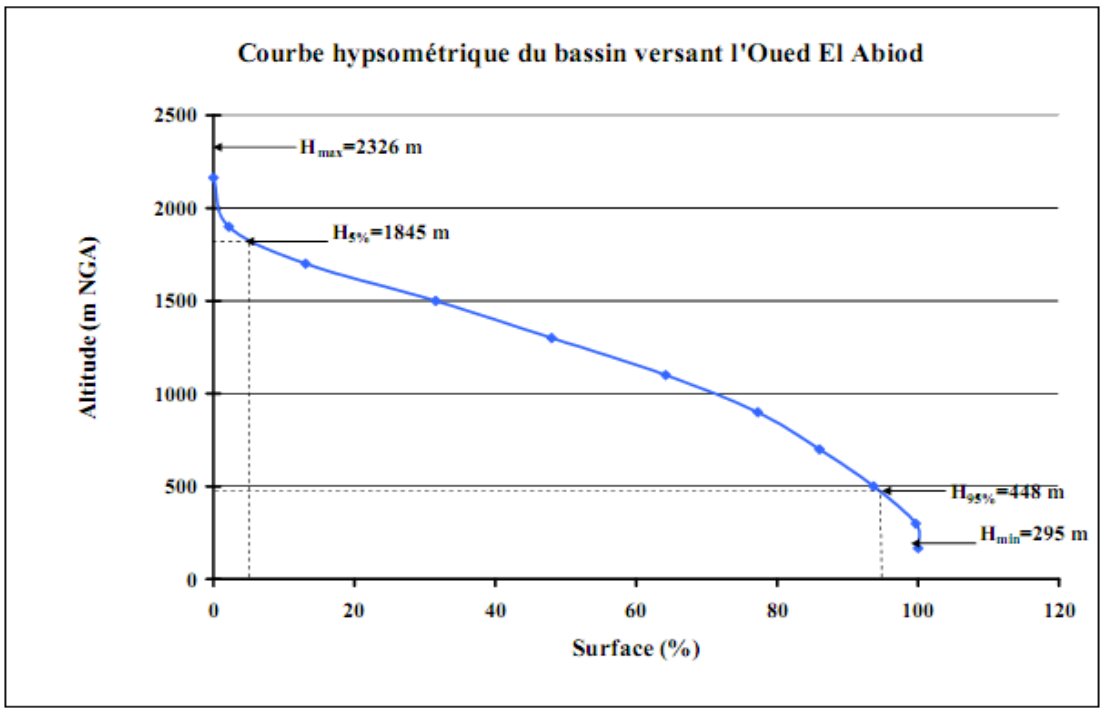


Figure III.3. Courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued El Abiodh.

La zone d'altitude comprise entre 1600m et 1200m correspond en majorité au bassin des hautes plaines d'Arris, les secteurs d'altitude entre 1200 à 600m où se fait la jonction de l'oued El Abiodh avec ces deux principaux affluents en l'occurrence les oueds Zellatou et Theniet El Beida. La tranche d'altitude inférieure à 600m où oued El Abiodh est accueilli par un affluent important oued

El Atrouss. Cette répartition altitudinale de relief du bassin a une influence directe sur le régime hydrologique du bassin.

III.1.2.4. Le réseau hydrographique d'Oued Abiodh "Chevelu hydrographique"

Les différences relief de l'atlas saharien ont pour la conséquence de réseau hydrographique, et la variabilité du climat dans le bassin d'oued Abiodh. Les Oued des Aurès prennent leurs sources aux environ de 2000 m d'altitude (oued Abiodh et oued Abdi) ces oueds s'écoulent rapidement ver le sud, dans la dépression du chott Melghir (-36m) (Djeddou, 2000). C'est le niveau de bases de tous les oueds du versant sud de l'Aurès qui ne l'atteignent qu'à l'occasion de leurs plus grandes crues.

Le réseau hydrographique du versant sud de l'atlas saharien (Figure III.4), comporte une proposition non négligeable de cours d'eau pérennes (oued el Hai et oued Abiodh) mais ces oueds sont asséchées par l'évaporation dans les vallées en amont, seul l'oud Abiodh reste pérenne, jusqu'au piémont du barrage de Foum –El Gharza **(**Kasmiouri, 2007).

L'Oued Abiodh prend sa naissance dans les montes des Aurés, et est formé par la réunion de plusieurs torrents descendant des pentes du Djebel Chélia et du Djebel Ichmoul, les deux plus hauts sommets d'Algérie. Pendant sons écoulement vers le sud ouest, l'Oued descend de près de 2000 m en 120 km.

III.1.2.5. Récapitulatif des caractéristiques du BV

La connaissance des paramètres morphométriques d'un bassin versant est nécessaire afin de connaître leurs effets sur la variation du régime hydrologique. Les caractéristiques physiques d'un bassin versant influent fortement sur les caractéristiques hydrologiques et notamment le régime de l'écoulement en période de crue. Ces caractéristiques sont représentées respectivement dans le tableau (III.2).

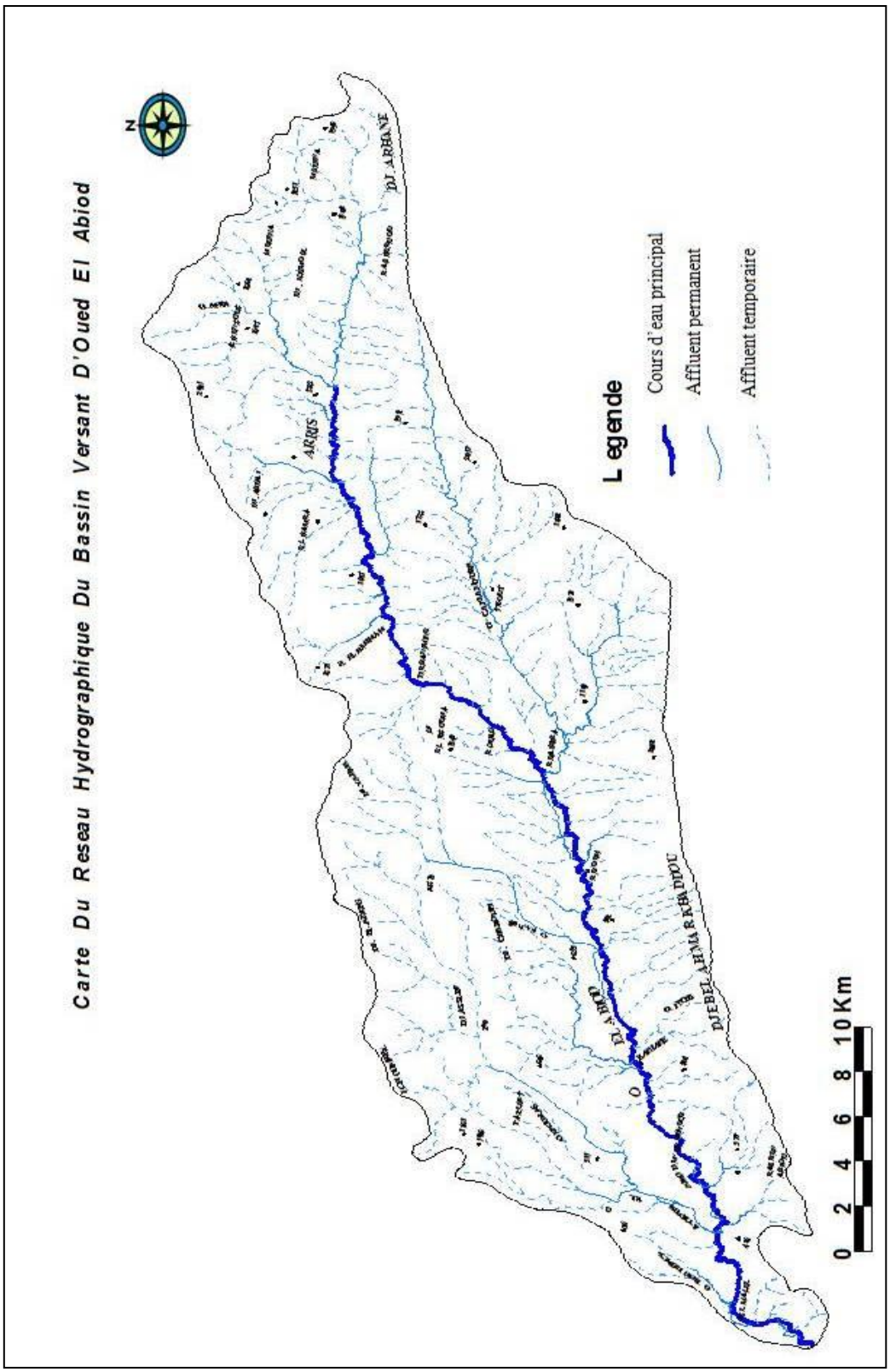


Figure III.4. Carte du réseau hydrographique d'Oued Abiodh (d'après Kasmiouri, 2007)

Tableau III.2. Caractéristiques morphometriques et hydrographiques du B.V

Type de paramètre	*Unité*	*Symbole*	*Valeur*
Superficie du bassin versant	Km^2	S	1300
Périmètre du bassin versant	Km	P	206
Longueur du talweg principal	Km	L	106
Altitude Max	m	H_{max}	2326
Altitude moyenne	m	H_{moy}	1267.24
Altitude Min	m	H_{min}	295
Altitude 5%	m	$H_{5\%}$	1845
Altitude 95%	m	$H_{95\%}$	448
L'indice de compacité de Gravelius	/	K_c	1,60
Largeur de rectangle équivalant	Km	l	14.62
Longueur de rectangle équivalent	Km	L	88,29
dénivelé entre les deux altitudes H 5% et H 95%	m	D	1397
L'indice de pente globale	m/Km	I_g	15, 82
Dénivelée spécifique	m	D_s	570.48
Classe de relief	/	/	relief trés fort
Temps de concentration selonla formule de de Giandotti	h	Tc	12

Tableau III.3. Classification des reliefs d'après l'ORSTOM.

Classe de relief	**Ds (m)**	**Type**
R1	Ds < 10	Très faible
R2	10 < Ds < 25	Faible
R3	25 < Ds < 50	Assez faible
R4	50 < Ds < 100	Modéré
R5	100 < Ds < 2250	Assez fort
R6	250 < Ds < 500	Fort
R7	Ds > 500	Très fort

III.2. Hydro climatologie du bassin versant d'Oued Abiodh

La région d'étude est caractérisé par un climat semi-aride et il se trouve dans une zone de transition entre deux milieux différents, un climat plus ou moins tempère au nord et un climat désertique au sud, dont les caractéristiques de ce climat se manifestent par un hiver froid à frais et un été très chaud et sec. Les masses d'air doux et humides venant du nord se déversent sur la côte et les chaînes telliennes, elles arrivent moins chargées en eau sur l'atlas saharien. Ainsi s'explique la diminution de la pluie vers le sud et l'allongement de la saison sèche, par ailleurs l'allongement de la saison sèche se répercute sur le couvert végétal et impose ainsi une sélection naturelle des espèces les plus adaptées à ces conditions, de plus les coups de sirocco sont fréquents pendant la saison chaude, accentuant sur l'évapotranspiration qui engendre un déficit d'écoulement annuel considérable.

III.2.1. Les précipitations et leur variabilité

L'étude des précipitations est d'une importance capitale, car elle constitue l'un des éléments de base pour notre étude. Pour le bassin versant d'Oued l'Abiodh, la répartition des précipitations est assez irrégulière. On note cependant l'échelonnement nettement délimité, des précipitations qui varient avec l'altitude mais aussi avec la latitude saharienne; en allant vers le Sud, les altitudes diminuent et la sécheresse s'affirme selon un double gradient latitudinal et altitudinal.

On constate une individuation nette dans le bassin versant en mois de Juin, Juillet et Août qui sont les mois les plus secs de l'année, et on remarque ainsi la diminution de la pluviométrie on allant du Nord vers le Sud, ce qui ne montre la liaison intime entre les altitudes et la hauteur de la lame précipitée.

D'autre part la saison pluvieuse s'étend du début de l'Automne à la fin du Printemps. Ainsi qu'en mois de décembre en hautes montagnes, des pluies orageuses se produisent fréquemment.

Les pluviomètres donnent des indications ponctuelles sur la quantité d'eau tombée, et ne peuvent pas forcément représenter les conditions pluviométriques exactes d'une grande surface. C'est pourquoi, la détermination de la précipitation moyenne sur un bassin versant est une opération relativement délicate. La carte suivante représente la situation des stations pluviométriques dans le bassin d'oued Abiodh, (figure III.5).

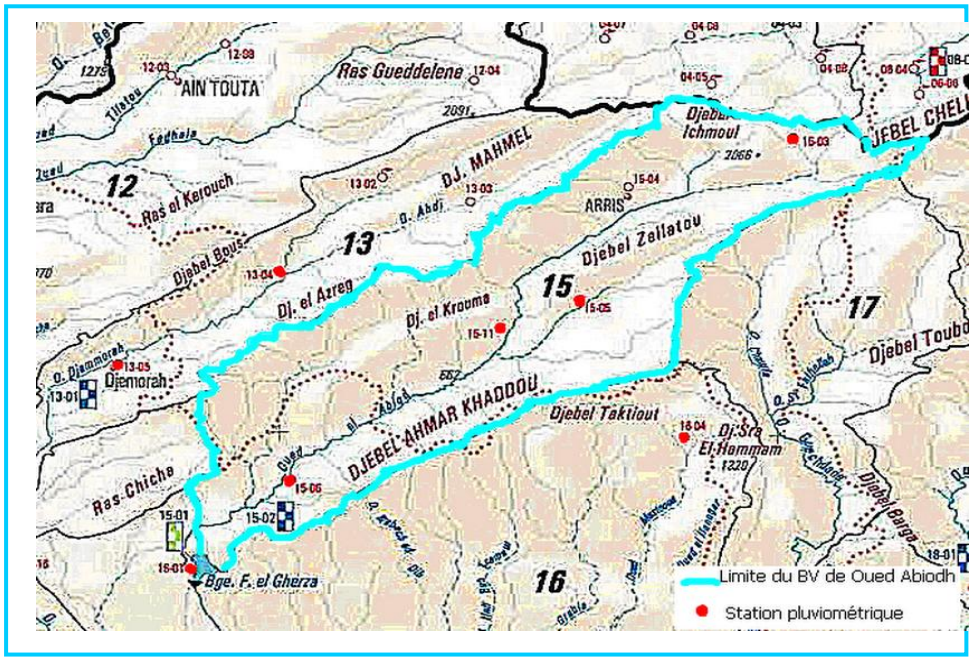


Figure III.5. Carte de situation des stations pluviométriques du bassin versant d'oued Abiodh (d'après Aidoudi, 2008)

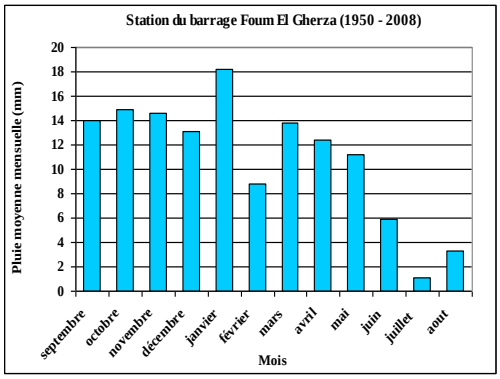
Nous avons retenu cinq stations pluviométriques existantes dans le bassin versant d'Oued Abiodh dont une est située à l'exutoire du bassin (station Foum El Gherza). Le tableau III**.**4 résume les coordonnées des stations.

La variation mensuelle des précipitations moyenne pour chaque une de ces stations pluviométrique du bassin versant d'oued Abiodh est représentée aux figures III.6 a à III.6 e

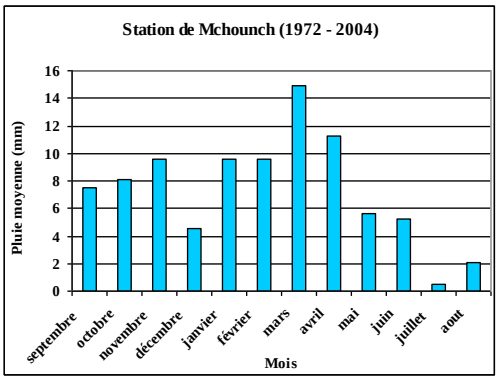
Tableau III.4. Cordonnées des stations pluviométriques

Codes	*Stations*	*Coordonnées*			*Période d'observation*	*Type d'instrument*	*Mise en service*
		X	*Y*	*Z*			
06-16-01	Foum El Gherza	794.7	177.6	140	1971-2007	PV+PG+Bac	1970
06-15-02	Mchounch	800.4	186.2	295	1973-2004	PV	1973
06-15-11	Tefelfel	821.9	207.6	740	1973-2007	PV	1972
06-15-05	Tkout	829.1	210.5	998	1969-2007	PV	1968
06-15-03	Medina El Annasseur	849.7	230.5	1570	1974-1996	PV	1973

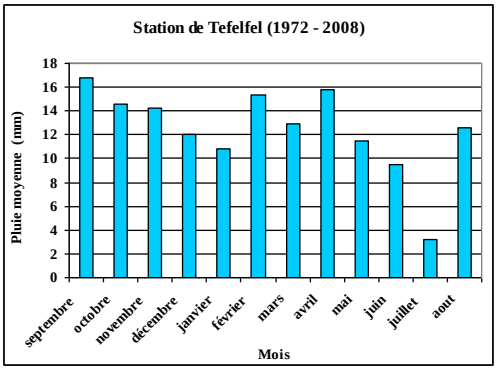
PV: Pluviomètre ***PG:*** Pluviographe



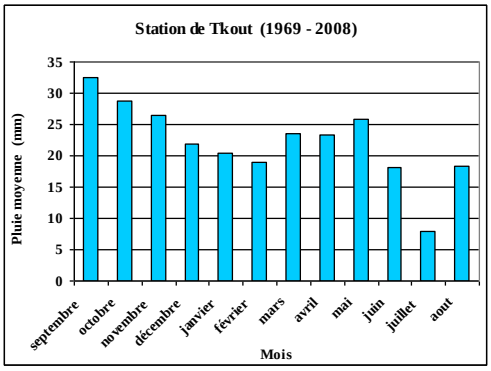
a.) Station du barrage Foum El Gherza (1950-2008)



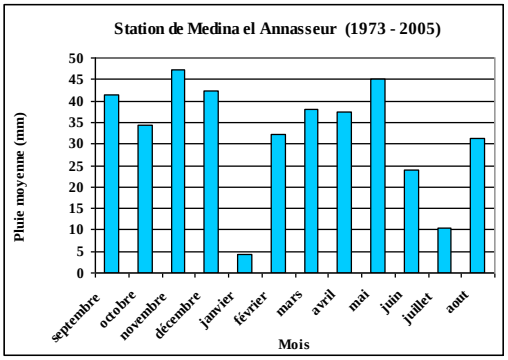
b) Station de Mchounech (1972-2004)



c) Station de Tefelfel (1972-2008)



d) Station deTkout (1969-2008)



e) Station de Medina el Annasseur (1973-2005)

Figure III.6 Variation de la pluie mensuelle aux stations : a) Foum El Gherzza ; b) Mchounech ; c) Tefelfel ; d) Tkout ; e) Medina El Annasseur

III.2.2. Le vent

Le principal agent atmosphérique de l'érosion est le vent. Mais il agit par isolement, même à grande vitesse, son efficacité abrasive est principalement due à sa charge en poussière et en sable. L'érosion éolienne est fréquente, le vent entraîne les particules fines de sable déposées sur les roches, et il influe sur la dégradation de ces derniers. A ce moment la une partie des particules transportées sera déposée dans la retenue.

En été durant les périodes de températures maximales arrivent souvent des « Sirocco» (du sud-est). En période d'automne et hiver on remarque la prédominante des vents (Nord-Ouest) et (Nord-est) qui amenant L'humidité de l'Atlantique du Nord. Le maximum de force des vents est enregistré en fin d'hiver et au printemps. Les vents de sable sont fréquents en Avril et Mai.

Du fait de l'absence totale de station anémométrique dans le bassin versant, le tableau suivant donne les caractéristiques générales similaires aux études faites par "Seltzer" indiquant la vitesse et la période de passage. (Haoues, 2007)

Tableau III.5. Le régime des vents par mois dans le bassin d'oued Abiodh

Mois	*Direction*	*Vitesse (m/s)*	*Fréquence (jour)*
Septembre	**N**	**3.9**	**8.1**
Octobre	**NO**	**4.4**	**11.1**
Novembre	**NO**	**4.1**	**9.7**
Décembre	**NE**	**4.5**	**11.6**
Janvier	**NE**	**4.5**	**13.7**
Février	**NE**	**5.2**	**13.7**
Mars	**NE**	**4.6**	**12.2**
Avril	**E**	**4.4**	**11**
Mai	**SE**	**4.2**	**9.6**
Juin	**SE**	**4**	**8.1**
Juillet	**SO**	**4**	**9**
Aout	**SO**	**4.2**	**10.3**
Moyenne annuelle		***4.3***	***10.7***

Source: Haoues, 2007

La direction Nord-est susceptibles d'être porteuse de pluies est dominante par rapport aux autres directions, elle est fréquente durant les mois de Décembre-Janvier -Février et Mars avec une fréquence de 12 à 14 jours par an. Ceci explique d'abord que la partie Nord reçoit d'avantage les précipitations, ensuite l'effet de l'exposition va contribuer au processus érosif.

III.2.3. Les températures

La température moyenne annuelle dans un climat aride celui des Ziban n'a pas une grande signification. L'analyse des températures sera faite à partir d'une série d'observation de 1980 à 2004 pour la station de Foum El Gherza (Aidoudi, 2008), et a partir les cartes de l'agence nationale des ressources hydraulique "ANRH" nous avons obtenu les températures mensuelle de la station de Batna (ANRH, 2002).

La température moyenne annuelle dans le bassin d'Oeud Abiodh au droit du barrage de Foum El Gherza est de 21.98°C et il est plus élever que la température moyenne annuelle à Batna qui est 13.98°C. Le tableau suivant définie bien la variation mensuelle des températures entre deux stations, station de Batna et la station du barrage de Foum El Gherza.

Tableau III.6 : Les températures mensuelles pour les stations de Batna et Foum El Gherza

Batna		*Barrage Foum El Gherza*		
Mois	***Température moy°C***	***Température min°C***	***Température moy°C***	***Température max°C***
Janvier	04.9	00,5	06,3	13,2
Février	06.1	03,9	12,8	21
Mars	08.5	07	16,9	23,5
Avril	11.9	10,4	20,1	29,5
Mai	15.9	11,5	24,2	32,5
Juin	21.0	18	33,6	40,5
Juillet	24.7	23	36,4	47
Août	24.0	28	35,1	46
Septembre	20.4	17	27,2	39,2
Octobre	14.9	09,4	22,3	33,5
November	09.6	06,5	18,8	30,5
December	05.9	04,1	10,1	15,9
Moyenne annuelle	***13.98***	***11,6***	***21,98***	***31,03***

III.2.4. Evaporation du bassin versant

Le bilan hydrique est fonction d'un certain nombre de facteur, dont les précipitations, l'infiltration et surtout l'évapotranspiration sont les facteurs de base. Cette dernière conditionne est l'abondance ou la déficit en eau pour la végétation, et par conséquent, sa connaissance est fondamentale pour toute action d'aménagement et de lutte contre les crues et les transports solides.

De même l'évaporation est l'un des facteurs constitutifs du climat. On constate que le pouvoir évaporant de l'atmosphère atteint des valeurs maximales surtout pendant la saison chaude sur notre zone d'étude qui s'étend de Mai à Octobre, ou elle atteint 70% de l'évaporation annuelle, et en interaction avec les autre facteurs météorologiques (évapotranspiration, insolation, fréquence du vent, ect…).

Les cartes des évapotranspirations moyennes mensuelles sont les éléments de base pour l'établissement de bilans hydriques dans différentes optiques (hydrologie, agronomie …) et à différentes échelles de surface, et à partir ces cartes nous avons fait une comparaison entre des zone défiante dans notre bassin versant d'oued Abiodh (ANRH, 2002) :

- L'évapotranspiration moyenne au sud du bassin versant à Biskra est marqué une variations la plus augmenté que autre partie du bassin versant d'oued Abiodh, et puis la partie de Arris et Batna qui a fait marqué des valeurs minimales, ce qui montre les valeurs moyenne annuel de l'évapotranspiration du bassin au tableau ci-dessous:

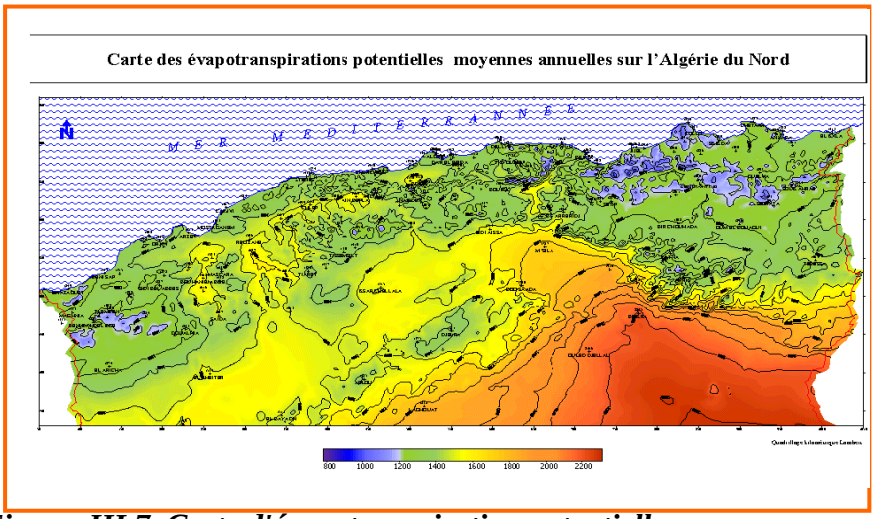


Figure III.7. Carte d'évapotranspiration potentielle moyenne annuelle de l'Algérie du nord (source: www.anrh.dz)

Tableau III.7. Les évapotranspirations moyennes mensuelles de Biskra, Batna et Arris

Mois	Evapotranspiration moyenne [mm]		
	Biskra	Batna	Arris
Janvier	65	31	34
Février	89	43	48
Mars	127	79	85
Avril	214	123	138
Mai	269	165	170
Juin	316	207	227
Juillet	349	240	248
Aout	310	211	216
Septembre	223	147	152
Octobre	145	90	95
Novembre	81	45	49
décembre	57	29	39
Moyenne annuel	187.08	117.50	125.08

III.2.5. Le couvert végétal

La résistance de tout bassin versant à l'érosion est fonction de son couvert végétal. Cette dernière joue un rôle vital de protecteur dans la mesure où il protège le sol du point de vue mécanique contre l'écoulement en diminuant la force de cet écoulement et favorisant l'infiltration des eaux, ainsi que le rôle que joue le feuillage qui diminue l'impact des précipitations sure le sol en diminuant leur énergie cinétique.

Les plus denses forets du bassin versant d'oued Abiodh sont localisés sur le versant Nord entre 1600 à 2000m composées essentiellement de cèdres sur 1400 ha environ, le reste de la surface couverte, se partage entre chêne verte et Pin d'Alep entre 1000 à 1400 m plus particulièrement tandis que la basse vallée du bassin versant est couverte de palmiers associés à d'autres culture telles que la céréaliculture et les cultures maraîchères qui puisent leur eau d'irrigation par des prises d'eau dans l'oued ou par le dépendage des crues. Ces pratiques sont rencontrées essentiellement dans les régions de Rhassira, Ggoufi, Benniene et Mchounech.

En générale la répartition végétale du bassin versant de l'Oued Abiodh se présente comme suit (Djeddou, 2000**)**:

- Une partie couverte représentant 42% de la superficie total du bassin versant soit 54767 ha compris entre Djebel Chélia et les gorges de Tighanimine, d'une part et sur les montagnes de Ahmar-Kheddou et Djeble Takhmout D'autre part.
- Puis une zone qu'on peut qualifier de semi-aride ou aride représentant 58% de la superficie totale du bassin versant soit 74949 ha (figure III.8).

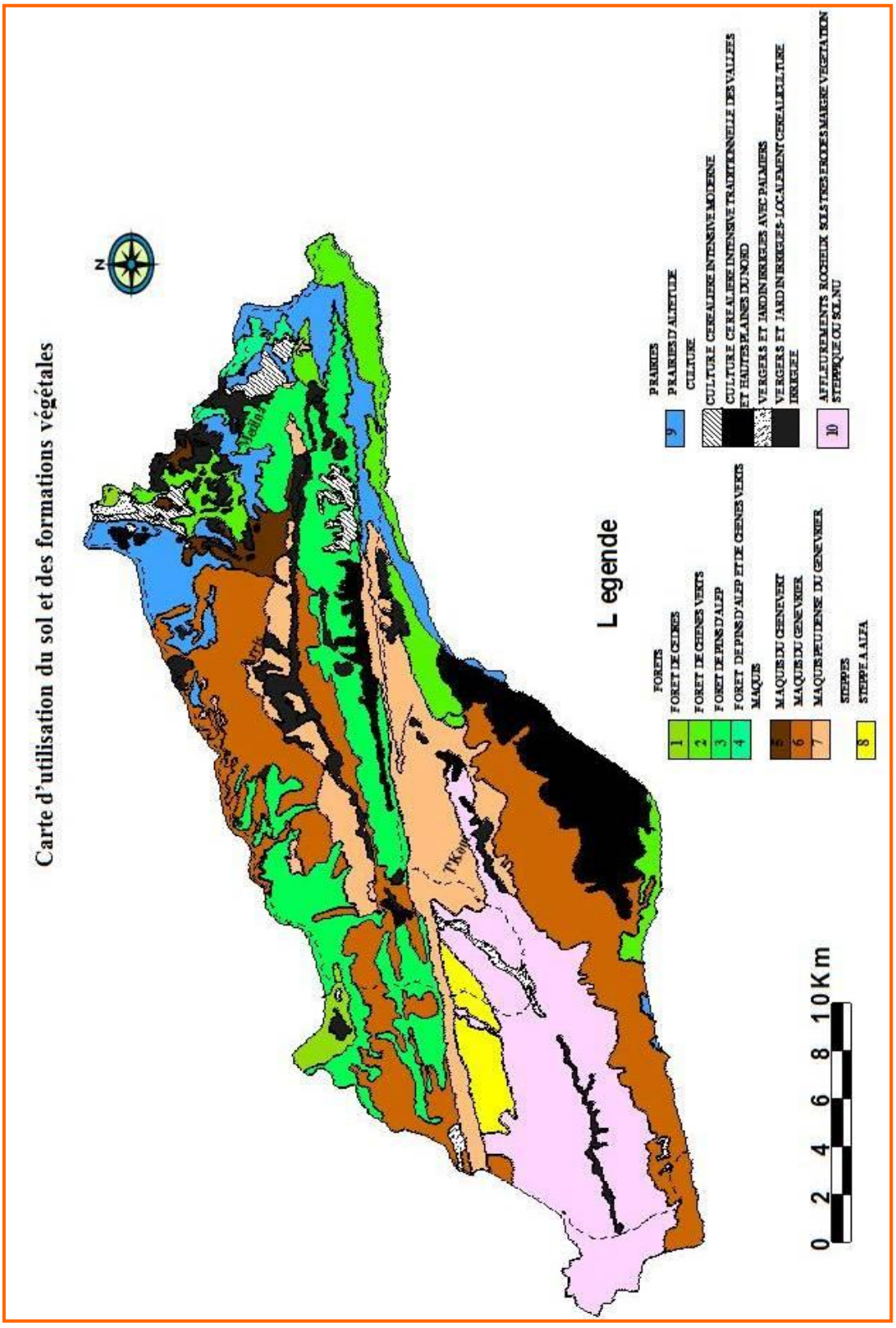


Figure III.8. Carte d'utilisation du sol et des formations végétales (d'après Kasmiouri, 2007)

III.3. Les caractéristiques géologiques et lithologiques du bassin

III.3.1. Structure géologique du bassin versant

L'étude géologique du terrain à le plus souvent pour objet de classer les matériaux selon leur résistance et plus ou moins leur perméabilité ; celle-ci intervient de façon directe sur la réponse du bassin versant lors des crues ou le soutien qu'elle apporte aux débits d'étiage par les nappes souterraines, de plus elle apporte beaucoup d'indications sur l'érodibilité du matériau rocheux, indispensables à l'évaluation de l'érosion, le transport solide, et l'envasement du barrage. Le bassin versant d'Oued Abiodh s'inscrit dans l'évolution générale de l'atlas Saharien en général et du massif des Aurès en particulier.

Les gorges de Foum El Gherza font partie de la chaîne qui borde au sud l'atlas saharien. Cette zone tectonique a été affectée par les deux phases de plissement qui se sont superposées dans l'atlas. Deux systèmes de failles ou de fissures sont en relation avec les deux phases de plissement. A cette tectonique se sont ajoutées des actions très récentes dues en majorité à la pesanteur (Krimil, 2008)

A l'amont des gorges, dans la cuvette, affleurent les marnes campaniennes absolument imperméables. Les gorges elles-mêmes sont formées par des calcaires maestrichtiens rigides, fissurés, donc perméables.

Des galeries de profondeur de 10 m creusées sur les deux rives de la gorge montrent que les calcaires sont fissurés et que presque toutes les fissures sont obturées par des argiles sableuses rouges qui ont autrefois recouvert le massif. Le remplissage des fissures ne va pas très loin ni latéralement dans les berges de la gorge, ni en profondeur sous le lit de l'oued (Krimil, 2008).

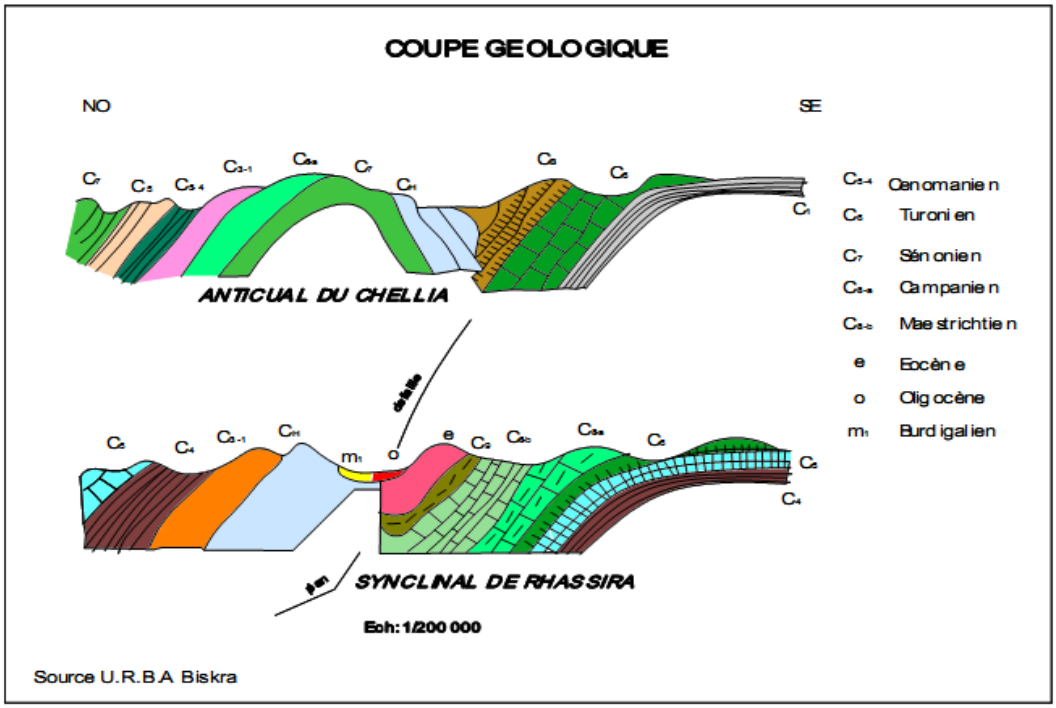


Figure III.9. Coupe géologique du bassin versant d'oued Abiodh (d'après Krimil, 2008)

III.3.2. Stratigraphie

La série stratigraphique et les formations géologique essentielles du bassin versant d'oued Abiodh sont les suivantes (Krimil, 2008):

III.3.2.1. Crétacé

-Campanien inférieur : alternance de calcaires et de marnes, présent au centre de la retenue.

-Campanien supérieur : schistes et marnes schisteuses constituant un niveau imperméable.

-Mæstrichtien : calcaires cristallins constituant la fondation du barrage.

III.3.2.2. Miocène

Ce sont des poudingues et des alternances de marnes, grés, marnes gypseuses, rencontrés en amont du barrage.

Cette première série lithologique est surmontée en disconcordance par des formations plus récentes appartenant essentiellement au Miocène et au Pliocène caractérisées par des conglomérats, des argiles et des sables. Ces dernières se localisent surtout vers le Sud du bassin versant (Haoues, 2007).

Théoriquement, la répartition lithologique du bassin versant d'oued Abiodh montre des zones à érodibilité moyenne à faible au nord, et d'autres secteurs à érodibilité forte au sud en raison de la lithologie favorable qui coïncide avec l'absence du couvert végétal, ce qui favorise un ruissellement violant et donc l'érosion sera plus ou moins importante. Pour une meilleure évaluation des risques qui menacent notre bassin versant, on à opté pour la division de ce dernier suivant les caractéristiques dominantes et leur influence sur le comportement du bassin versant.

Tableau III.8. Les caractéristiques des matériaux du bassin versant

Formations	***Résistance à l'érosion***	***Perméabilité***
Calcaire fissuré	Très résistant	Perméable
Dolomie	Très résistant	Imperméable
Grés	Très résistant	Semi-perméable
Calcaire-gréseux	Résistant	Semi-perméable
Calcaire-marneux	Résistant	Semi-perméable
Quaternaire	Résistance moyenne	Perméable
Marne	Non résistant	Perméabilité faible
Galets	Résistance moyenne	Perméable
Graviers	Résistance moyenne	Perméable
éboulis	Résistance moyenne	Perméable

Source: Krimil, 2008

Le fait remarquable dans ce contexte, c'est l'inexistante d'une formation géologique prédominance sur le bassin versant d'oued Abiodh.

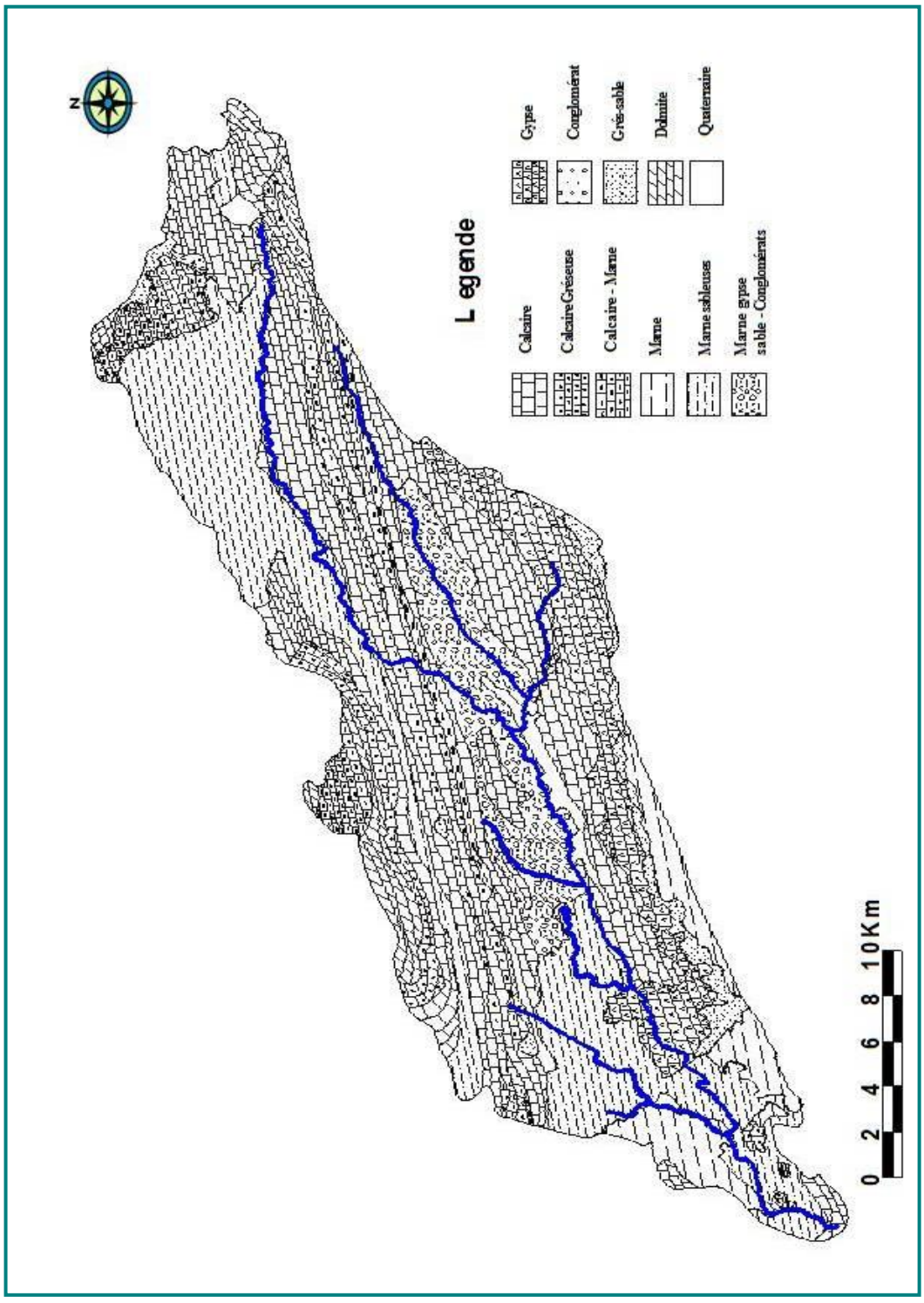


Figure III.10. Carte l'éthologique du BV de Oued Abiodh (d'après Kasmiouri, 2007)

III.4. Barrage de Foum El Gherza

III.4.1. Situation géographique du barrage

Le barrage de Foum-el-Gherza est un joyau hydrotechnique situé à l'est algerien, au pied du massif des Aurés a 18 Km à l'est de Biskra et a environ 400 Km au sud-est d'Alger (figure III.11).

Ce barrage est situé sur l'oued l'Abiod qui prend sa naissance au centre du massif de l'Aurés et qui est formé par la réunion de plusieurs torrents descendants.

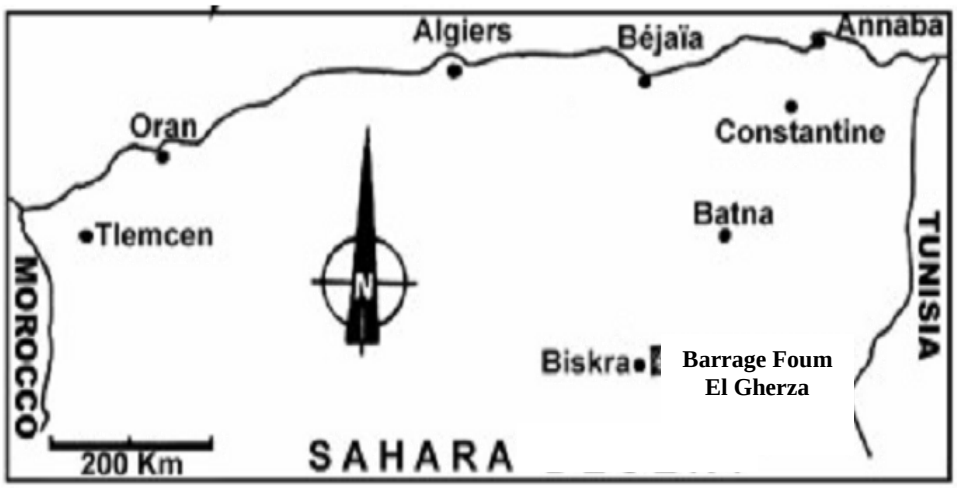


***Figure III.11: Situation géographique du barrage de Foum-el-Gherza Biskra, Algérie (D'après* Toumi et Remini, 2004)**

Cet ouvrage d'art elle a un rôle de régulariser le régime d'Oued El-Abiodh, et pour permis à la région de Sidi Okba de garder sa vocation économique basée sur l'agriculture durant un demi-siècle, du fait qu'il a aidé à contrer la sécheresse qui sévit dans la région depuis une vingtaine d'années. Il a un très grand intérêt économique dans la région puisqu'il permet d'irriguer plus de 250 000 palmiers dattiers des palmeraies de Sidi Okba, Garta, Seriana et Thouda. Barrage de Foum El Gherza il est destiner aussi de produit l'énergie électrique au début de sa réalisation qui été évacuée sur le réseau de distribution de la ville de Biskra (1.500000 Kw/h en 1959) soit environ la moitié de la consommation annuelle de la ville. (ANBT)

Figure III.12. La retenue du barrage de Foum El Gherza (Mai 2011)

Le barrage de Foum El Gherza a une capacité initiale de l'ordre de 47 Hm^3 et une hauteur maximale atteint 73 m. Ce barrage est de type voute à double courbure s'appuyant en Rive Gauche sur une Culée Poids, cette infrastructure est traduit par l'intelligence de l'être humain qui étant donné l'importance de ce compose le barrage en deux parties qui sont la voûte de 126 m et la culée à environ de 60 m de longueur chacune dont les caractéristique de la voute et la culée sont les suivantes (Krimil, 2008):

**** La voûte**:* La voute aux dimensions suivantes :

- Hauteur au dessus du terrain naturel : 65 m.
- Hauteur maximale sur fond de fouilles : 73 m.
- Longueur développée de la voûte en crête : 126 m.
- Longueur développée totale : 196 m.
- Épaisseur à la base dans l'axe : 11.48 m.
- Épaisseur en crête de la voûte : 3 m.

****La culée rive gauche:*** La culée a les dimensions suivantes :

- Longueur totale de la culée : 60,30 m.
- Hauteur maximale au-dessus des fondations : 21,60 m.

Figure III.13. Le mur du barrage de Foum El Gherza

III.4.2. Historique de la construction du Barrage de Foum-El-Gherza

Le Barrage de Foum El Gherza a connu plusieurs phases d'étude et de réalisation. Les étapes de construction on connu bien des interruptions, pour des raisons aussi bien techniques, qui peut être résumées en historique comme suit. (Djeghlaf, 2005)

A l'époque en 1847 un premier barrage de dérivation à été construit en amont des gorges de Foum El-Gharza, cet ouvrage rudimentaire fut emporté par les crues et il ne reste rien de cet ouvrage, et en 1912-1918 une construction d'un barrage de 3 m de hauteur fut édifiée au milieu de la gorge.

Une étude d'avant projet est menée en 1927 l'administration commence à établir un projet de grand barrage – réservoir, c'est l'idée de construire le barrage de Foum El Gherza. Le service de la carte géologique de l'Algérie fait une étude géologique détaillée de l'emplacement du barrage en 1941, l'étude a été faite par l'ingénieur du service R. Laffite.

En 1944 à 1955 des travaux ont porté sur; la série de sondage du barrage, la voûte et la culée, ainsi que les pontes sur les déversoirs. Le montage de la conduite forcée, la mise en place des déchargeurs et l'installation de la centrale hydroélectrique sont effectues en 1951. En septembre 1957 tous les travaux du barrage sont terminés.

III.4.3. Caractéristiques du barrage de Foum El Gherza

Le barrage de Foum El-Gharza est inscrit au registre mondial des grands barrages avec les caractéristiques suivantes :

Tableau III.9. Les caractéristiques du barrage de Foum El Gherza

Type de caractéristique		***Unité***	***Valeur***
Type : voûte mince avec culée rive gauche		/	/
Altitude de la retenue maxima		m	195.65
Surface de la retenue au niveau maximum		Km^2	3.09
Capacité totale et utilisable du réservoir		Hm^3	47
Cote de plus hautes eaux		m	200.00
Hauteur maximale du barrage au dessus du talweg		m	65
Hauteur de la crête du barrage au dessus de la crête déversoir		m	4.35
Pente des parements amont et aval par rapport à la verticale		/	variable
Largeur maxima au niveau des fondations		m	11.48
Largeur au couronnement		m	3
Longueur au couronnement	voûte	m	126
	culée	m	60
Volume du corps du barrage		m^3	40.000
Rayon de courbure		m	80

En 1926 la Société Française de stéréo-topographie avait dressé un plan de la cuvette au 1/5000. Ce plan qui a servi de base à tous les travaux et études jusqu'en 1952 avait été retitué dans un système d'altitude fictif inférieur de 3.25 m aux altitudes du plan stéréo 1952 rattaché au N.G.A. De ce fait, toutes les cotes des plans d'exécution du barrage sont inférieures de 3.25 m aux cotes N.G.A (Djeghlaf, 2005).

III.4.4. Exploitation des eaux du barrage de Foum El Gherza

L'irrigation rationnelle des palmeraies a pour but d'assurer pendant toute l'année et surtout pendant l'été, les quantités d'eau nécessaires à une évolution normale des arbres et à l'élaboration d'une bonne récolte. Donc, les spécialistes sont assez imprécis sur le volume et la fréquence des arrosages. Quelque en soit, la culture du palmier dattier exige d'importantes quantités d'eau.

L'influence défavorable des facteurs climatiques font qu'au Sahara la prospérité du palmier dattier est principalement fonction des volumes d'eau disponibles pour l'arroser.

En fait, l'eau d'irrigation sert à humidifier l'horizon du sol fouillé par les racines nourricières des arbres. Le palmier peut évoluer normalement entre 20 et 24% d'humidité relative du sol (Krimil, 2008)

Les besoins en eau du palmier dattier dépendent donc :

***-De facteurs édaphiques*:** (nature physique du sol donc capacité de rétention en eau, nature chimique des terres qui en général sont pauvres mais riches en sels et donc arrosages plus fréquents et copieux pour combattre la salinité).

-De la qualité des eaux: les irrigations doivent être d'autant plus nombreuses et volumineuses que les eaux sont plus chargées afin de limiter les phénomènes de salinisation secondaire généralisée et stabilisée.

-De l'aménagement et de l'entretien de la plantation: plus les planches sont parfaitement nivelées et le sol est entretenu plus l'exécution des arrosages est favorisée et la pénétration de l'eau est meilleure.

Dans la pratique, l'irrigation des palmeraies ne tient pas compte du stade de développement biologique et physiologique des palmiers et par conséquent de la variation des besoins durant l'année. De plus, au point de vue production de dattes, certains chercheurs ont calculé qu'il fallait ***1 m^3*** d'eau pour obtenir ***1 kg*** de dattes (Krimil, 2008).

Par ailleurs, en dehors de la technique d'irrigation par submersion, une technique récente a été essayée. II s'agit de « l'irrigation goute à goutte ». Elle permet une économie d'eau incontestable.

Dans notre étude le site du barrage de Foum El Gherza se situe à 15 Km au nord-est de Biskra il est destiné pour irriguer 1200 ha correspondant à la plantation de plus de 300 000 palmiers dans les villages de Sériana, Garta et dans la daïra de Sidi Okba.

III.4.5. Équipement hydro pluviométrique du barrage de Foum El Gherza

Dans le but de suivi le fonctionnement du barrage de Foum El Gherza au d'établir le bilan hydrologique et de mettre en place un outil du suivi futur de sa disponibilité en eau dépend les entrées et les sortes de la retenu du barrage, une station de mesure a été installée prés de la retenue du barrage de puis sa mise fonction, l'année de la mise eau en 1950. Cette station qui a été installé est équipé d'un dispositif expérimental composé par :

- Un pluviomètre permettant d'enregistrer les cumuls de précipitation sur une une journée.
- Un bac d'évaporation enterré de type Colorado-ORSTOM de 1 m^2 d'ouverture et 60 cm de profondeur et un bac de classe A.
- Une batterie de deux échelles limnimétriques.
- Une centrale d'enregistrement et de mémorisation des données au niveau de la direction du barrage.
- Un thermomètre protégé sous un abri météorologique.

Figure III.14. Abri météorologique du barrage de Foum El Gherza

Les données limnimétriques et pluviométrique enregistrées, sont transférées régulièrement au laboratoire, puis gérées et transformées en formats accessibles (Excel). Les données d'évaporation sont déterminées de façon manuelle par un gardien tous les matins à 8 heures à partir du bac.

III.4.6. Les caractéristiques géologiques de la cuvette du barrage

L'étanchéité de la cuvette est assurée par la présence des marnes du campanien qui affleurent en amont du barrage. Il reste toutefois une partie importante de calcaire baigné par la retenue et qu'il a été nécessaire d'étancher par injections. Le voile d'étanchéité réalisé se raccorde aux marnes campaniennes (Krimil, 2008).

III.4.7. Tectonique du barrage Foum El Gherza

Sur le plan tectonique la région a connu plusieurs phases qui ont fortement influencés sur le dispositif structural de la région. La phase post-lutétienne a donné sa charpente à la région avec les structures atlasiques. Il s'agit de nombreux anticlinaux orientés NE-SO qui constituent l'essentiel des reliefs de la région (Krimil, 2008).

- Une phase cassante pliocène s'est soldée, ensuite, par des formes d'effondrement qui ont donné lieu à de nombreux fossés tectoniques, notamment la fosse sud-atlasique, qui a bouleversé l'ensemble des réseaux hydrographiques. Elle a même complètement inversé la direction des écoulements dans le massif.
- Une phase tardive quaternaire à accentué les mouvements verticaux des grands comportements du massif et un abaissement avec une subsidence très marquée de la bordure saharienne.

Ce changement dans le niveau de bases des cours d'eau est responsable de l'encaissement des principaux Oueds de la région.

III.4.8. Fondation du barrage

La voûte et la culée rive gauche est entièrement fondées sur les calcaires maestrichtiens. Ceux-ci se présentent sous formes de bancs épais, parfois intercalés de bancs marneux. Les couches ont une direction parallèle à la vallée et un pendage général de 30° vers l'aval (Krimil, 2008).

Conclusion

Le bassin versant d'Oued El Abiodh représente l'un des plus grands bassins du massif des Aurès (Est Algérien) sur un impluvium de près de 1050 km². De par ses dimensions et ses composantes naturelles, il représente les caractéristiques d'une zone semi-aride favorable à une érosion accentuée : pentes raides, couvert végétal dégradé, relief dont la nature lithologique est favorable à la dégradation et des pluies plus au moins torrentielles et irrégulières, engendrant des répercussions directes à l'amont, par des pertes de sols et des ravinements intenses, et à l'aval, par l'envasement du barrage de Foum El Gherza.

Chapitre IV

La mesure des éléments du bilan hydrologique du barrage de Foum El Gherza

Chapitre IV. La mesure des éléments du bilan hydrologique du barrage de Foum El Gherza

Introduction

Les caractéristiques hydro-climatiques d'une région ont un lien direct avec son comportement socio-économique. La prise en compte des régimes de précipitations vont conduire à prendre des décisions différentes en matière de gestion des ressources en eau.

La simplicité du bilan hydrologique ne signifie toutefois pas qu'il soit facile de l'appliquer, par exemple mesurer toutes les entrées et les sorties d'un lac devient rapidement une tâche ardue. Il faut d'abord jauger toute les révère impliquées dans le système (lac, réservoir,…) et estimer les apports provenant des bassins versants côtiers qui se déversent par l'intermédiaire de plusieurs petits cours d'eau (Anctil, 2005). Il faut également mesurer les précipitations locales et, finalement il faut suivre les fluctuations du niveau d'eau et les coupler aux données bathymétriques afin d'évaluer les variations du volume emmagasiné (les sèches causées par le vent entrainent des fluctuations du niveau d'eau qui sont difficiles à différencier des fluctuations associées à l'évaporation). (Anctil, 2005)

IV.1. Mesure des pluies

La mesure des pluies sur l'ensemble du barrage de Foum El gherza, est basée obligatoirement sur les relevés pluviométriques effectués dans la station au niveau de la retenu du barrage. Elle est basée sur l'hypothèse que la pluie tombée à une station est représentative de celle tombée autour de la station, sur une étendue plus ou moins vaste selon la densité du réseau pluviométrique. Ces mesures sont obtenues par un pluviomètre pour chaque jour.

IV.2. Mesure des apports

Le levé bathymétrique qui a été effectué sur le barrage en 1975 (Mebarki, 2009), a permis de construire une relation entre Hauteur-Surface-Capacité du barrage. Pour faire estimer les mesures des apports du barrage de Foum El Gherza on se base sur la méthode d'interpolation ***"Kriging"*** de (Hauteur-Surface-Capacité) (ANBT, 2004), dont l'altitude maximale est de: 203.25 m et l'altitude minimale est de : 182.20 met le nombre d'itération est de : 2106, de cette méthode on trouve le

volume de la retenu du barrage dans chaque jour, et par la déférence entre le volume de la retenue d'un jour présidant en peut ressortir le volume des apport qui entrent au barrage.

Figure IV.1. Pluviomètre de mesure des pluies au barrage de Foum El Gherza

Figure IV.2. et IV.3. Position de l'échelle limnimétrique sur la digue du barrage de Foum El Gherza

Tableau IV.1. Echantillon de points de référence de Hauteur-Surface-Capacité " Mesures janvier 2004"

Altitude (m)	*Surface m^2*	*Volume m^3*
182.20	73.85	6.88
182.21	79.23	7.65
182.22	85.20	8.47
182.23	92.05	9.36
182.24	99.77	10.31
182.25	108.38	11.35
182.26	127.79	12.51
182.27	166.07	13.97
182.28	210.77	15.86
182.29	253.73	18.18

IV.3. Mesure de l'évaporation

Les facteurs qui conditionnent l'évaporation sont les suivants: les rayonnements solaires et atmosphériques, la température de l'eau et de l'air, l'humidité de l'air, la pression atmosphérique, le vent, la qualité de l'eau. Certains de ces sont facilement mesurables.

Il existe différents types de bac d'évaporation. Ce sont des bassins a dimension défirent posés sur au dans le sol, dans tous les cas on doit maintenir le niveau de l'eau à faible distance au-dessous du bac. Les variations du niveau d'eau du bac, mesurées à des intervalles fixes, sont le reflet de l'intensité de l'évaporation. Dans le barrage de Foum El Gherza il existe deux bacs d'évaporation:

1- ***Bac de Colorado:*** carré de 1 m^2 d'ouverture et de 60 cm de profondeur, il est enterré de façon telle que le rebord est à 10 cm au dessus du sol. L'eau est sensiblement au niveau du sol (photo n° 9).

2- ***Bac classe A:*** il est circulaire de 1.20 m de diamètre et de 0.25 m de profondeur, en tôle galvanisée non peinte, et posé sur un socle laissant circuler l'air librement. Ce bac largement utilisé, et a été préconisé à l'échelon international (photo n°10).

En effet les petits volumes d'eau des bacs réagissent beaucoup plus rapidement au rayonnement et aux fluctuations saisonnières de la température de l'air que les grands volumes des lacs ou des réservoirs. Il faut donc appliquer un coefficient de correction au flux d'évaporation des bacs afin d'estimer le flux du lac ou du réservoir à proximité, pour le barrage de Foum El gherza ce coefficient est de "0.78".

Figure IV.4. Bac d'évaporation de Colorado au barrage de Foum El Gherza

Figure IV.5. Bac d'évaporation classe A au barrge de Foum El Gherza

IV.4. Mesure des irrigations

Pour l'irrigation des oasis qui est bénéficié aux eaux du barrage de Foum El Gherza un canal rectangulaire a été construire pour transformé les eaux a partir du barrage de puis sa mise en fonction, avec les caractéristique suivante (ANBT):

La galerie de visite et de drainage est aménagée dans le corps de la voute à la cote 154.75 NGA de 3 x 2.50 m elle est ancrée sur des massifs en béton armé. Cette Galerie de pied est existe sur toute la base de la Culée Rive Gauche.

Figure IV. 6, IV.7, IV.8, IV.9. Le canal d'irrigation du barrage de Foum El Gherza

IV.5. Mesure des fuites

Le problème des fuites d'eau dans les retenues de barrages préoccupe les services de l'hydraulique. En effet, en plus des pertes en eau précieuse. Il peut même mettre en péril la sécurité des ouvrages et par conséquent présente des menaces sur les biens et les populations se trouvant en aval. Le barrage de Foum El Gherza est l'un des barrages algériens fortement sujets à ce problème. Cependant, il se trouve amputé chaque année d'un volume important estimé en moyenne à 5 millions de m^3 d'eau. Ces pertes sont dues au site d'implantation de cet ouvrage qui est composé de calcaires cristallins du maëstrichtien fissurés jusqu'à une profondeur de 80m (Toumi, 2004).
Cette situation a conduit les services de l'hydraulique durant la période 1952 à 1957 à réaliser un voile d'étanchéité (Figure IV.1), mais malheureusement le problème persiste. (Toumi, 2004)

Dans ce voile d'étanchéité de nombreuses résurgences sont apparues en aval sur les deux rives. D'autre résurgences plus lointaines existent également, dont on ne sait si elles sont en relation avec la retenue. Aujourd'hui la situation est la suivante (Krimil, 2008):

- En rive gauche à proximité de la voûte, 09 points de résurgence sont identifiées. Les résurgences les plus importantes étaient auparavant captées, mais les ouvrages de réception sont aujourd'hui hors service. Les fuites de la rive gauche alimentent par conséquent la nappe de l'oued.
- En rive droite, on note une résurgence à environ 350m en aval du barrage. Son débit est faible et retourne également à l'oued. L'essentiel des fuites est toutefois capté par des forages restituant les débits dans une galerie située en rive droite, qui constitue le départ du système d'alimentation destiné à l'irrigation. (Krimil, 2008)

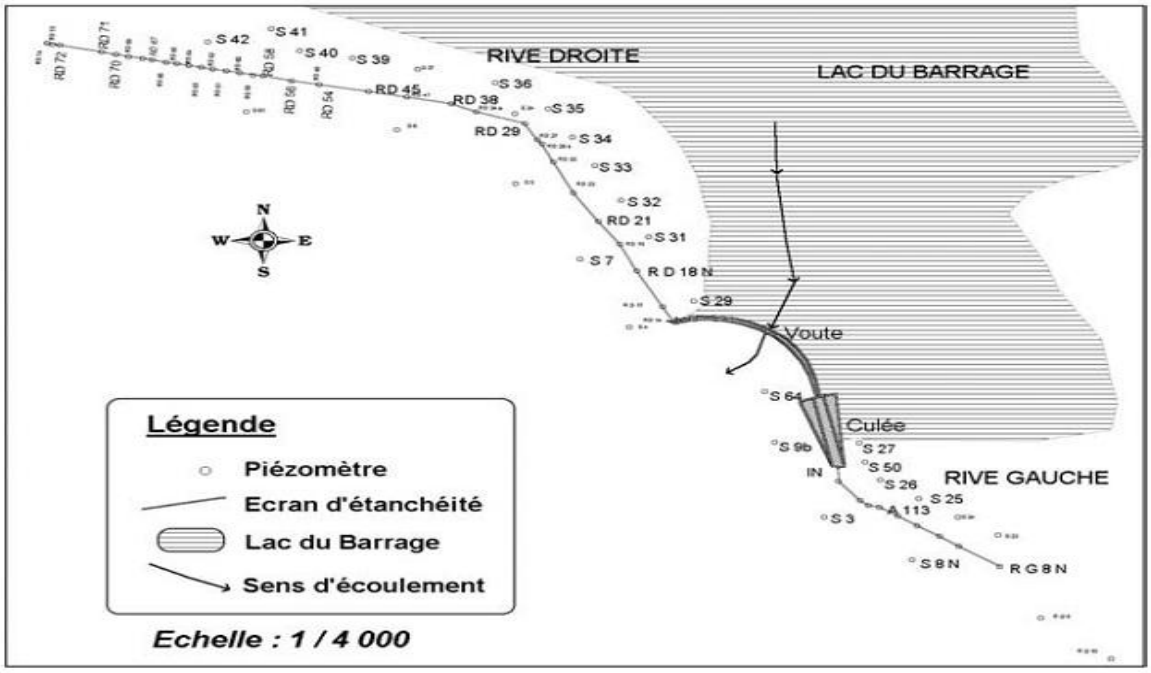


Figure IV.10. Disposition des piézomètres par rapport à l'écran d'étanchéité (D'après Toumi, 2004)

Il est à signaler que la diminution du débit de fuites au cours de la dernière décennie est due à un manque de mesure due au comblement des dispositifs de mesure par la vase évacuée du barrage. (Toumi, 2004)

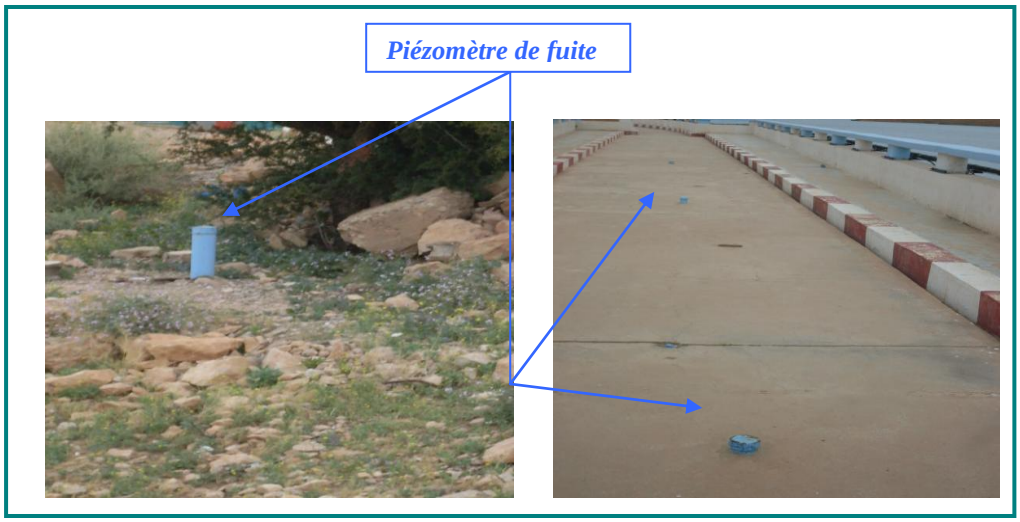


Figure IV. 11. Piézomètre de fuite a la rive gauche du barrage de Foum El Gherza

Figure IV.12. Piézomètre de fuite sur la dige du barrge de Foum El Gherza

IV.6. Mesure des volumes vidangés du barrage

Le barrage de Foum Gherza est un ouvrage hydraulique qui nécessite la vidange de temps en temps, afin de maintenir le barrage de tous les effets négatifs, le barrage est vider du fond pour vider les boues accumulées au fond de la retenue "le volume mort", par une vidange de fond dans les caractéristique des vannes sont présenté au suivant (ANBT);

La vidange est constitué par une galerie Blindée de (2 x 2 m) de section calée dans le "Plot Central" du barrage à la cote 149.25 m obturable à l'amont par une vanne batardeau de garde de type Wagon (h = 3.3 m / I = 3.3 m) manœuvrable depuis la crête du barrage et une vanne de décharge type Secteur de réglage (h = 2.4 m / I = 2.35 m) la capacité d'évacuation de cette vidange est de ***110 m3/s*** sous la RN .

A. *Vanne de garde*

Le Batardeau est une Vanne du type " Wagon " en tôles profilées et soudées (Largeur hors tout 3.30 m / Hauteur 3.30 m) pour pertuis de 2.60 m de Large sur 3.15 m de Haut.

B. *Le pertuis de vidange*

Le pertuis est protégé à travers la voute par blindage auto résistant d'une longueur de 18.54 m et constitué par un tube carré de (2 x 2 m) en tôle de 15 m/m renforcée par des profilés.

C. *Vanne de décharge*

La vanne de décharge est une vanne Secteur NEYRPIC du type " Segment " munie d'un Tablier de 2.35 m de Largeur et de 2.40 m de hauteur construite en tôles et profilés soudés

Figure IV.13. Chambre de vidange des eaux du barrage Foum El Gherza

IV.7. Mesure des volumes déversés du barrage

Les eaux déversé de barrage de Foum El Gherza sont plus que la capacité de l'ouvrage ils sont déversé par un évacuateur de crue dans les caractéristiques de ce évacuateur sont présenté comme suit:

L'évacuateur de crue est à Seuil Libre aménagé en Partie Centrale du barrage avec 2 Passes de 18 m de Longueur. Le Seuil est calé à la cote 198.90 NGA .Ces déversoirs peuvent évacuer un débit de ***730 m3/s*** pour une Lame d'eau de ***4.35 m*** de hauteurs soit une cote du plan d'eau maximum de ***203.25 m***. faisant ressortir ainsi un coefficient de débit de 0.51 pour les déversoirs.

Figure IV.14. Evacuateur de crue du barrage de Foum El Gherza en plein déversement

Conclusion

La mesure des données est la base de notre étude et dans toute étude hydrologique pour ce la il nécessite des défirent instrument de mesure pour chaque paramètre, et il se fait quotidiennement au périodiquement selon le paramètre.

Chapitre V

Analyse préliminaire des éléments du bilan hydrologique

Chapitre V. Analyse préliminaire des éléments du bilan hydrologique

Introduction

L'objectif de ce chapitre est d'analyser la variation des différents paramètres d'exploitation du barrage de Foum El Gherza. Cette analyse préliminaire servira ensuite pour établir le bilan hydrologique du barrage. Une présentation des données est donnée en tête de chapitre. Elle sera suivie de la description statistique de ces paramètres.

V.1. Données

V.1.1. Collecte des données

Les données ont été collectées auprès de l'A.N.B .T de Biskra, qui nous a fourni un fichier de données journalières allant de 1950 à 2008, soit 58 années, appelé « données d'exploitation du barrage Foum El Gherza». Les données portent sur les paramètres suivants :

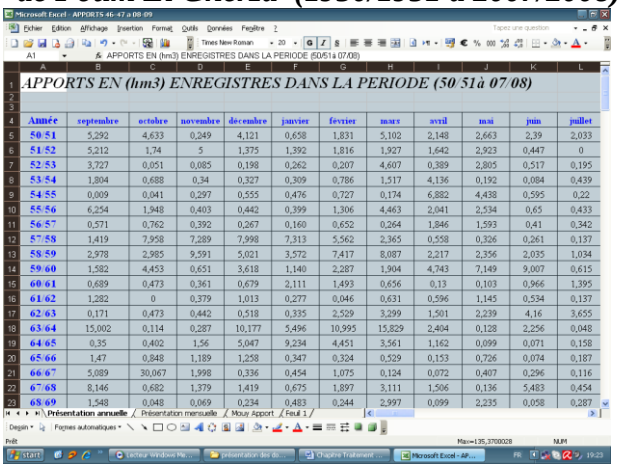
- Pluies
- Apports
- Evaporations
- Irrigations
- Déversements
- Vidanges
- Fuites

Ces données sont considérées comme les paramètres entrants et sortants qui composent l'équation du bilan hydrologique du barrage de Foum El Gherza. Les éléments du bilan sont mesurés au droit de la retenue du barrage comme il a été rapporté au sous chapitre IV.

V.1.2. Constitution de la base de données

La constitution de la base de données se fait à partir des données de base du barrage de Foum El Gherza sur le fichier « données barrage F-G ». Dans ce fichier nous avons transformé les données journalières en totaux mensuels pour chaque mois et structurées suivant l'année hydrologique définie entre le 1er septembre et le 31 août de l'année suivante. Les résultats de cette étape sont résumés dans des tableaux de format Excel suivants :

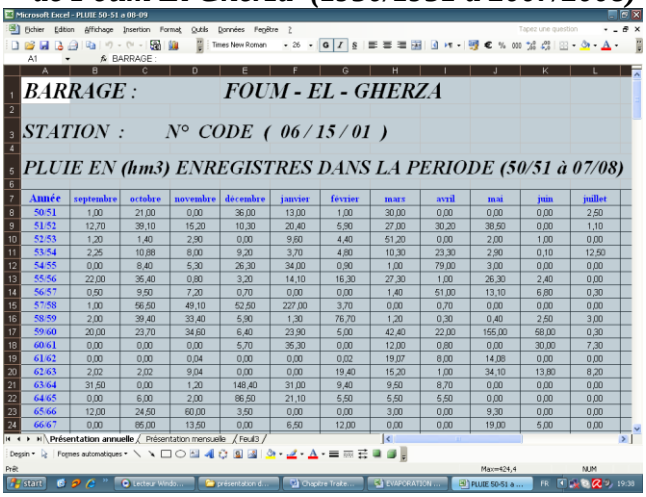
Tableau V.1. Apport mensuels et annuels du barrage de Foum El Gherza (1950/1951 à 2007/2008)



APPORTS EN (hm3) ENREGISTRES DANS LA PERIODE (50/51 à 07/08)

Année	septembre	octobre	novembre	décembre	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet
50/51	5,292	4,633	0,249	4,121	0,658	1,831	5,102	2,148	2,663	2,39	2,033
51/52	5,212	1,74	5	1,375	1,392	1,816	1,927	1,642	2,923	0,447	0
52/53	3,727	0,051	0,085	0,198	0,262	0,207	4,607	0,389	2,805	0,517	0,195
53/54	1,804	0,688	0,34	0,327	0,309	0,786	1,517	4,136	0,192	0,084	0,439
54/55	0,009	0,041	0,297	0,555	0,476	0,727	0,174	6,882	4,438	0,595	0,22
55/56	6,254	1,948	0,403	0,442	0,399	1,306	4,463	2,041	2,534	0,65	0,433
56/57	0,571	0,762	0,392	0,267	0,160	0,652	0,264	1,846	1,593	0,41	0,342
57/58	1,419	7,958	7,289	7,998	7,313	5,562	2,365	0,558	0,326	0,261	0,137
58/59	2,978	2,985	9,591	5,021	3,572	7,417	8,087	2,217	2,356	2,035	1,034
59/60	1,582	4,453	0,651	3,618	1,140	2,287	1,904	4,743	7,149	9,007	0,615
60/61	0,689	0,473	0,361	0,679	2,111	1,493	0,656	0,13	0,103	0,966	1,395
61/62	1,282	0	0,379	1,013	0,277	0,046	0,631	0,596	1,145	0,534	0,137
62/63	0,171	0,473	0,442	0,518	0,335	2,529	3,299	1,501	2,239	4,16	3,655
63/64	15,002	0,114	0,287	10,177	5,496	10,995	15,829	2,404	0,128	2,256	0,048
64/65	0,35	0,402	1,56	5,047	9,234	4,451	3,561	1,162	0,099	0,071	0,158
65/66	1,47	0,848	1,189	1,258	0,347	0,324	0,529	0,153	0,726	0,074	0,187
66/67	5,089	30,067	1,998	0,336	0,454	1,075	0,124	0,072	0,407	0,296	0,116
67/68	8,146	0,682	1,379	1,419	0,675	1,897	3,111	1,506	0,136	5,483	0,454
68/69	1,548	0,048	0,069	0,234	0,483	0,244	2,997	0,099	2,235	0,058	0,287

Tableau V.2.Pluies mensuelles et annuelles du barrage de Foum El Gherza (1950/1951 à 2007/2008)



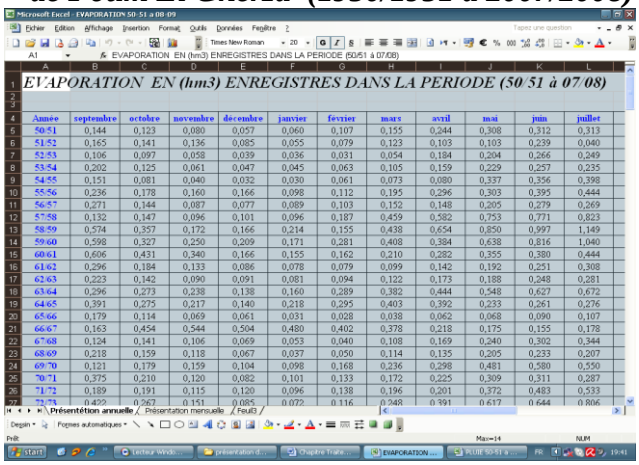
BARRAGE : FOUM - EL - GHERZA

STATION : N° CODE (06 / 15 / 01)

PLUIE EN (hm3) ENREGISTRES DANS LA PERIODE (50/51 à 07/08)

Année	septembre	octobre	novembre	décembre	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet
50/51	1,00	21,00	0,00	36,00	13,00	1,00	30,00	0,00	0,00	0,00	2,50
51/52	12,70	39,10	15,20	10,30	20,40	5,90	27,00	30,20	38,50	0,00	1,10
52/53	1,20	1,40	2,90	0,00	9,60	4,40	51,20	0,00	2,00	1,00	0,00
53/54	2,25	10,88	8,00	9,20	3,70	4,80	10,30	23,30	2,90	0,10	12,50
54/55	0,00	8,40	5,30	26,30	34,00	0,90	1,00	79,00	3,00	0,00	0,00
55/56	22,00	36,40	0,80	3,20	14,10	16,30	27,30	1,00	26,30	2,40	0,00
56/57	0,50	9,50	7,20	0,70	0,00	0,00	1,40	51,00	13,10	6,80	0,30
57/58	1,00	56,50	49,10	52,50	227,00	3,70	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00
58/59	2,00	39,40	33,40	5,90	1,30	76,70	1,20	0,30	0,40	2,50	3,00
59/60	20,00	23,70	34,60	6,40	23,90	5,00	42,40	22,00	165,00	58,00	0,30
60/61	0,00	0,00	0,00	5,70	35,30	0,00	12,00	0,80	0,00	30,00	7,30
61/62	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,02	19,07	8,00	14,08	0,00	0,00
62/63	2,02	2,02	9,04	0,00	0,00	19,40	15,20	1,00	34,10	13,80	8,20
63/64	31,50	0,00	1,20	148,40	31,00	9,40	9,50	8,70	0,00	0,00	0,00
64/65	0,00	6,00	2,00	86,50	21,10	5,50	5,50	5,50	0,00	0,00	0,00
65/66	12,00	24,50	60,00	3,50	0,00	0,00	3,00	0,00	9,30	0,00	0,00
66/67	0,00	86,00	13,50	0,00	6,50	12,00	0,00	0,00	19,00	6,00	0,00

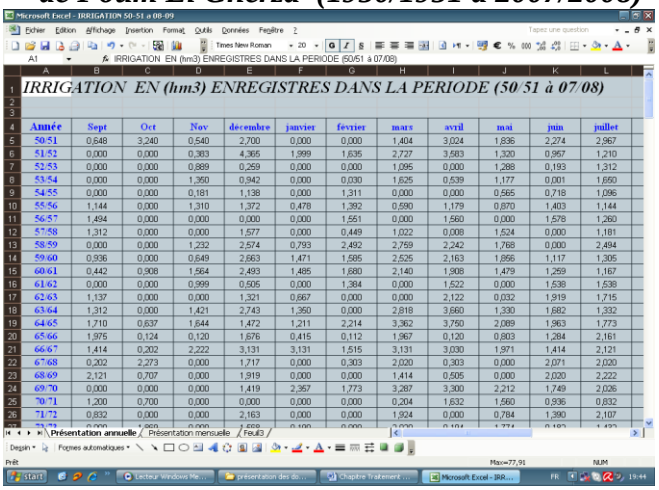
Tableau V.3. Evaporations mensuelles et annuels du barrage de Foum El Gherza (1950/1951 à 2007/2008)



EVAPORATION EN (hm3) ENREGISTRES DANS LA PERIODE (50/51 à 07/08)

Année	septembre	octobre	novembre	décembre	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet
50/51	0,144	0,123	0,080	0,057	0,060	0,107	0,155	0,244	0,308	0,312	0,313
51/52	0,165	0,141	0,136	0,085	0,055	0,079	0,123	0,103	0,103	0,239	0,040
52/53	0,106	0,097	0,058	0,039	0,036	0,031	0,054	0,184	0,204	0,266	0,249
53/54	0,202	0,125	0,061	0,047	0,045	0,063	0,105	0,159	0,229	0,257	0,235
54/55	0,151	0,081	0,040	0,032	0,030	0,061	0,073	0,080	0,337	0,356	0,398
55/56	0,236	0,178	0,160	0,166	0,098	0,112	0,195	0,296	0,303	0,395	0,444
56/57	0,271	0,144	0,087	0,077	0,089	0,103	0,152	0,148	0,205	0,279	0,269
57/58	0,132	0,147	0,096	0,101	0,096	0,187	0,459	0,582	0,753	0,771	0,823
58/59	0,574	0,357	0,172	0,166	0,214	0,155	0,438	0,654	0,850	0,997	1,149
59/60	0,598	0,327	0,250	0,209	0,171	0,281	0,408	0,384	0,638	0,816	1,040
60/61	0,606	0,431	0,340	0,166	0,155	0,162	0,210	0,282	0,355	0,380	0,444
61/62	0,296	0,184	0,133	0,086	0,078	0,079	0,099	0,142	0,192	0,251	0,308
62/63	0,223	0,142	0,090	0,091	0,081	0,094	0,122	0,173	0,188	0,248	0,281
63/64	0,296	0,273	0,238	0,138	0,160	0,289	0,382	0,444	0,548	0,627	0,672
64/65	0,391	0,275	0,217	0,140	0,218	0,295	0,403	0,392	0,233	0,261	0,276
65/66	0,179	0,114	0,069	0,061	0,031	0,028	0,038	0,062	0,068	0,090	0,107
66/67	0,163	0,454	0,544	0,504	0,480	0,402	0,378	0,218	0,175	0,155	0,178
67/68	0,124	0,141	0,106	0,069	0,053	0,040	0,108	0,169	0,240	0,302	0,344
68/69	0,218	0,159	0,118	0,067	0,037	0,050	0,114	0,135	0,205	0,233	0,207
69/70	0,121	0,179	0,159	0,104	0,098	0,168	0,236	0,298	0,481	0,580	0,550
70/71	0,375	0,210	0,120	0,082	0,101	0,133	0,172	0,225	0,309	0,311	0,287
71/72	0,189	0,191	0,115	0,120	0,096	0,138	0,196	0,201	0,372	0,483	0,533
72/73	0,422	0,267	0,151	0,085	0,072	0,116	0,248	0,391	0,617	0,644	0,806

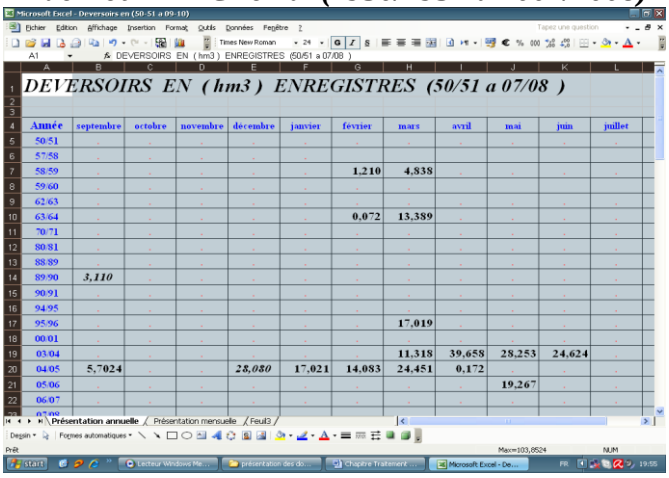
Tableau V.4.Irrigations mensuelles et annuelles à partir du barrage de Foum El Gherza (1950/1951 à 2007/2008)



IRRIGATION EN (hm3) ENREGISTRES DANS LA PERIODE (50/51 à 07/08)

Année	Sept	Oct	Nov	décembre	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet
50/51	0,648	3,240	0,540	2,700	0,000	0,000	1,404	3,024	1,836	2,274	2,967
51/52	0,000	0,000	0,383	4,365	1,999	1,635	2,727	3,583	1,320	0,957	1,210
52/53	0,000	0,000	0,889	0,259	0,000	0,000	1,095	0,000	1,288	0,193	1,312
53/54	0,000	0,000	1,350	0,942	0,000	0,030	1,625	0,539	1,177	0,001	1,650
54/55	0,000	0,000	0,181	1,138	0,000	1,311	0,000	0,000	0,565	0,718	1,096
55/56	1,144	0,000	1,310	1,372	0,478	1,392	0,590	1,179	0,870	1,403	1,144
56/57	1,494	0,000	0,000	0,000	0,000	1,551	0,000	1,560	0,000	1,578	1,260
57/58	1,312	0,000	0,000	1,577	0,000	0,449	1,022	0,008	1,524	0,000	1,181
58/59	0,000	0,000	1,232	2,574	0,793	2,492	2,759	2,242	1,768	0,000	2,494
59/60	0,936	0,000	0,649	2,663	1,471	1,585	2,525	2,163	1,866	1,117	1,305
60/61	0,442	0,908	1,564	2,493	1,485	1,680	2,140	1,908	1,479	1,259	1,167
61/62	0,000	0,000	0,999	0,505	0,000	1,384	0,000	1,522	0,000	1,538	1,538
62/63	1,137	0,000	0,000	1,321	0,667	0,000	0,000	2,122	0,032	1,919	1,715
63/64	1,312	0,000	1,421	2,743	1,360	0,000	2,818	3,660	1,330	1,682	1,332
64/65	1,710	0,637	1,644	1,472	1,211	2,214	3,362	3,750	2,089	1,963	1,773
65/66	1,975	0,124	0,120	1,676	0,415	0,112	1,967	0,120	0,803	1,284	2,161
66/67	1,414	0,202	2,222	3,131	3,131	1,515	3,131	3,030	1,971	1,414	2,121
67/68	0,202	2,273	0,000	1,717	0,000	0,303	2,020	0,303	0,000	2,071	2,020
68/69	2,121	0,707	0,000	1,919	0,000	0,000	1,414	0,505	0,000	2,020	2,222
69/70	0,000	0,000	0,000	1,419	2,357	1,773	3,267	3,300	2,212	1,749	2,026
70/71	1,200	0,700	0,000	0,000	0,000	0,000	0,204	1,632	1,560	0,936	0,832
71/72	0,832	0,000	0,000	2,163	0,000	0,000	1,924	0,000	0,784	1,390	2,107

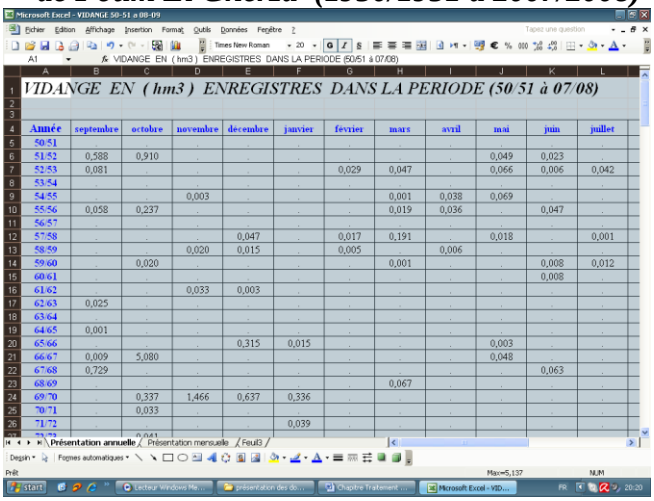
Tableau V.5. Déversements mensuels et annuels du barrage de Foum El Gherza (1950/1951 à 2007/2008)



DEVERSOIRS EN (hm3) ENREGISTRES (50/51 a 07/08)

Année	septembre	octobre	novembre	décembre	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet
50/51											
57/58											
58/59						1,210	4,838				
59/60											
62/63											
63/64						0,072	13,389				
70/71											
80/81											
88/89											
89/90	3,110										
90/91											
94/95											
95/96							17,019				
00/01											
03/04							11,318	39,658	28,253	24,624	
04/05	5,7024			28,080	17,021	14,083	24,451	0,172			
05/06									19,267		
06/07											

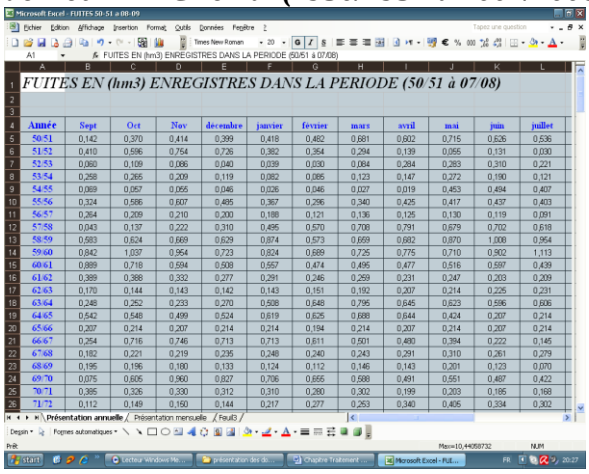
Tableau V.6.Vidanges mensuelles et annuelles du barrage de Foum El Gherza (1950/1951 à 2007/2008)



VIDANGE EN (hm3) ENREGISTRES DANS LA PERIODE (50/51 à 07/08)

Année	septembre	octobre	novembre	décembre	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet
50/51											
51/52	0,588	0,910							0,049	0,023	
52/53	0,081					0,029	0,047		0,066	0,006	0,042
53/54											
54/55			0,003				0,001	0,038	0,069		
55/56	0,058	0,237					0,019	0,036		0,047	
56/57											
57/58				0,047		0,017	0,191		0,018		0,001
58/59			0,020	0,015		0,005		0,006			
59/60		0,020					0,001			0,008	0,012
60/61										0,008	
61/62			0,033	0,003							
62/63	0,025										
63/64											
64/65	0,001										
65/66				0,315	0,015				0,003		
66/67	0,009	5,080							0,048		
67/68	0,729									0,063	
68/69							0,067				
69/70		0,337	1,466	0,637	0,336						
70/71		0,033									
71/72					0,039						

Tableau V.7.Fuites mensuelles et annuelles du barrage de Foum El Gherza (1950/1951 à 2007/2008)



FUITES EN (hm3) ENREGISTRES DANS LA PERIODE (50/51 à 07/08)

Année	Sept	Oct	Nov	décembre	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet
50/51	0,142	0,370	0,414	0,399	0,418	0,482	0,681	0,602	0,715	0,626	0,536
51/52	0,410	0,596	0,754	0,726	0,382	0,354	0,294	0,139	0,055	0,131	0,030
52/53	0,060	0,109	0,086	0,040	0,039	0,030	0,084	0,284	0,283	0,310	0,221
53/54	0,258	0,265	0,209	0,119	0,082	0,085	0,123	0,147	0,272	0,190	0,121
54/55	0,069	0,057	0,055	0,046	0,026	0,046	0,027	0,019	0,453	0,494	0,407
55/56	0,324	0,586	0,607	0,495	0,367	0,296	0,340	0,425	0,417	0,437	0,403
56/57	0,264	0,209	0,210	0,200	0,188	0,121	0,136	0,125	0,130	0,119	0,091
57/58	0,043	0,137	0,222	0,310	0,495	0,570	0,708	0,791	0,679	0,702	0,618
58/59	0,583	0,624	0,669	0,629	0,874	0,573	0,659	0,682	0,870	1,008	0,964
59/60	0,842	1,037	0,954	0,723	0,824	0,689	0,725	0,775	0,710	0,902	1,113
60/61	0,889	0,718	0,594	0,508	0,557	0,474	0,495	0,477	0,516	0,597	0,439
61/62	0,389	0,388	0,332	0,277	0,291	0,246	0,259	0,231	0,247	0,203	0,209
62/63	0,170	0,144	0,143	0,142	0,143	0,151	0,192	0,207	0,214	0,225	0,231
63/64	0,248	0,252	0,233	0,270	0,508	0,648	0,795	0,645	0,623	0,596	0,606
64/65	0,542	0,548	0,499	0,524	0,619	0,625	0,688	0,644	0,424	0,207	0,214
65/66	0,207	0,214	0,207	0,214	0,214	0,194	0,214	0,207	0,214	0,207	0,214
66/67	0,254	0,716	0,746	0,713	0,713	0,611	0,501	0,480	0,394	0,222	0,145
67/68	0,182	0,221	0,219	0,235	0,248	0,240	0,243	0,291	0,310	0,261	0,279
68/69	0,195	0,196	0,180	0,133	0,124	0,112	0,146	0,143	0,201	0,123	0,070
69/70	0,075	0,605	0,960	0,827	0,706	0,655	0,588	0,491	0,551	0,487	0,422
70/71	0,395	0,326	0,330	0,312	0,310	0,280	0,302	0,199	0,203	0,185	0,168
71/72	0,112	0,149	0,150	0,144	0,217	0,277	0,253	0,340	0,405	0,334	0,302

V.2. Etude de la variabilité des éléments du bilan hydrologique

La période de fonctionnement d'une station est liée à la période d'exploitation de l'ouvrage hydraulique auquel elle est assignée. Par ailleurs, à travers l'information extraite des fiches d'exploitation des barrages-réservoirs, il y a possibilité d'acquérir des données sur les différents paramètres observés (apport, pluie, évaporation, irrigation, …) mensuels et annuels aux barrages.

Les apports moyens journaliers ne sont pas toujours significatifs, en égard au manque de précision de la méthode d'estimation des apports, établie sur la base du bilan du réservoir. (Mebarki, 2009)

V.2.1. Les pluies

V.2.1.1. Echelles Annuelle et Interannuelle

La présentation graphique de la pluie du barrage de Foum El Gherza est ce fait en des histogrammes pour une série d'étude de 58 année dans la quelle en va présenter en six décade les histogrammes des années d'étude.

La comparaison entre les années d'une série d'étude a permis de constater une variabilité importante des totaux annuels des précipitations à la station de Foum El Gherza (figure V.1***)***.

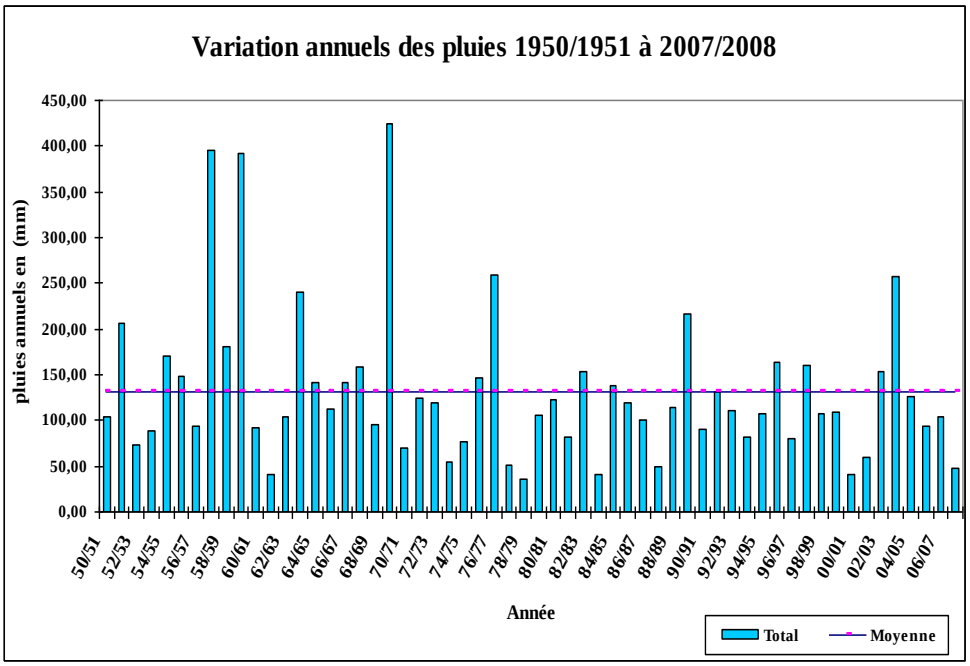


Figure V.1. Variation interannuelle des pluies au barrage de Foum El Gherza (1950 - 2008)

La variation interannuelle des précipitations du barrage de Foum El Gherza montrée à la figure V.1 permet de noter que la majorité des valeurs sont inférieures à la moyenne des pluies qui égale à 131.202 mm, dont 34% des valeurs de pluies annuelles dans notre série d'étude sont supérieures à la moyenne. L'année hydrologique 1991/1992 est particulièrement une année où l'on remarque que son total annuel est égal à la moyenne des pluies (131.20 mm).

De puis le graphe de variation annuelle des pluies (figure V.1) fait ressortir trois années exceptionnelles avec une augmentation remarquable des pluies par rapport aux autres valeurs : l'année 1957/1958 avec un total annuel de 395.50 mm; 'année 1959/1960 avec un total annuel de 391.30 mm ; l'année 1969/1970 avec un total annuel de 424.40 mm.

La série des études des pluies du barrage de Foum El Gherza a connu une diminution remarquable de la pluie comme le montre le graphe de la figure V.1. Les années à faibles précipitations sont: l'année 1961/1962 avec un total annuel de 41.21 mm; l'année 1978/1979 avec un total annuel de 36.50 mm ; l'année 1983/1984 avec un total annuel de 40.80 mm; et l'année 2000/2001 avec un total annuel de 40.42 mm.

La pluie au barrage de Foum El Gherza varie d'une année à l'autre. On présente aux figures V.2 et V.3 deux années assez particulières du point de vue concentration des mois les plus arrosés au cours de l'année : 1951/1952 et 1959/1960. La dernière année (1959/1960) est exceptionnelle avec un total annuel et aussi des lames d'eau qui dépassent 40 mm, dont le maximum mensuel est situé en Mai avec 155 mm. Il est aussi bien de montré le graphe de l'année 1998/1999 de la faible répartition des pluies durant l'année (figure V.4).

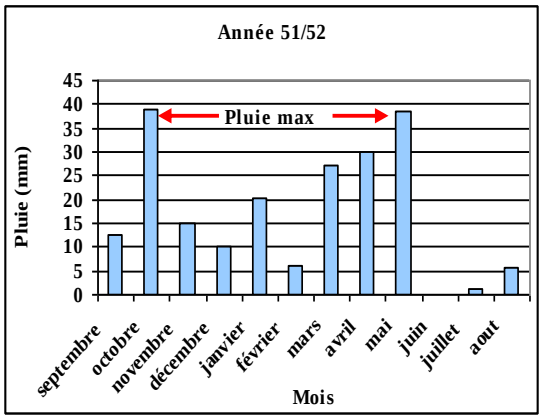


Figure V. 2. Histogramme de variation annuelle des pluie de barrage Foum El Gherza (1951/1952)

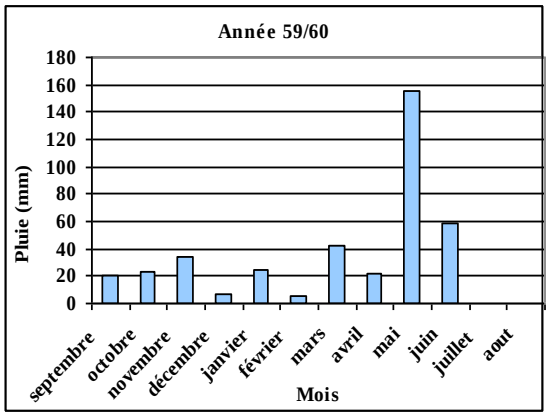


Figure V. 3. Histogramme de variation annuelle des pluie de barrage Foum El Gherza (1959/1960)

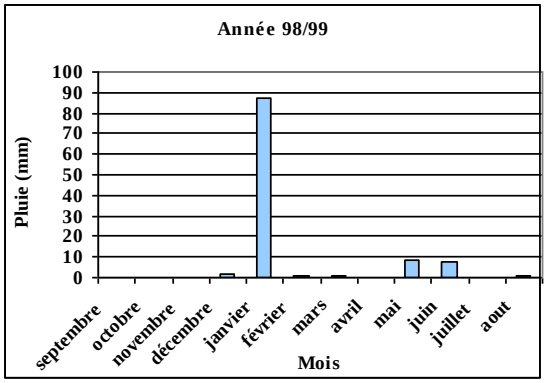


Figure V. 4 .Histogramme de variation annuelle des pluie de barrage Foum El Gherza (1998/1999)

La comparaison entre les totaux annuels des pluies de chaque décade, montre que la première décade des années cinquante est la période marquée par le plus de précipitations avec un total de 1855.03 mm, Ensuite ce total a diminué pour la deuxième et la troisième décade des années soixante-dix, soit un total de 1043.50mm. Les années 80 et 90 ont connu un volume plus élevé par rapport à la troisième décade, Les huit dernières de la série d'observation sont marquées par un volume de pluies assez important, soit 881.38 mm.

V.2.1.2. Echelle mensuelle

Les données pluviométriques disponibles au niveau de la station du barrage de Foum El Gherza ont été synthétisées sous forme de paramètres statistiques (tableau V.8).

Tableau V.8. Paramètres statistiques des précipitations mensuelles au barrage de Foum El Gherza

Mois	Moy	Max	Min	Ecart type	Coefficient de variation Cv
Septembre	14,00	234,40	0	32,11	2,29
Octobre	14,89	146,80	0	24,29	1,63
Novembre	14,64	79,50	0	17,78	1,21
Décembre	13,12	148,40	0	23,63	1,80
Janvier	18,16	227,00	0	35,60	1,96
Février	8,80	76,70	0	12,61	1,43
Mars	13,79	88,20	0	17,17	1,25
Avril	12,37	79,00	0	18,16	1,47
Mai	11,22	155,00	0	22,35	1,99
Juin	5,91	58,00	0	11,12	1,88
Juillet	1,05	12,50	0	2,64	2,51
Aout	3,26	28,70	0	6,78	2,08

L'écart type calculé sur la série mensuelle d'étude des pluies s'élève dans tous les mois et il dépasse donc la moyenne arithmétique mensuelle des pluies, et la dispersion relative autour de la moyenne est reflétée par un coefficient de variation qui varié entre 0.56 et 1.85.

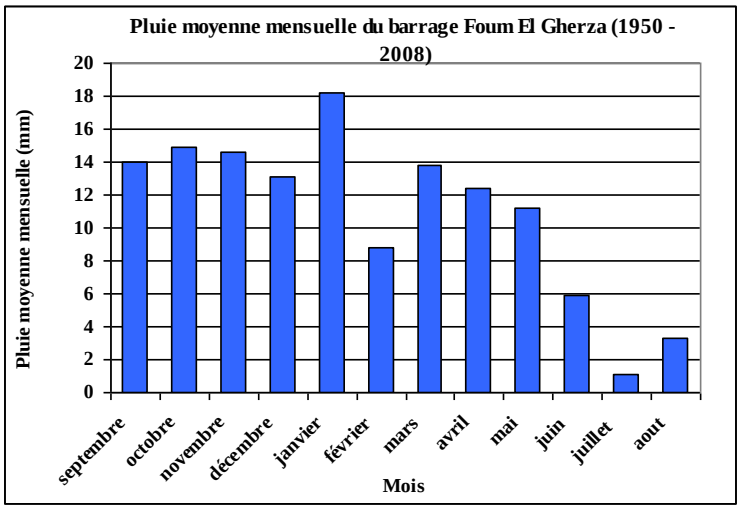


Figure V.5. Variation mensuelle des pluies

Outre la présentation mensuelle des pluies et la concentration des pluies sur un nombre réduit de jours par an, le régime pluviométrique est caractérisé par un minimum d'été (juillet-aout) accentué partout alors que le maximum moyen mensuel, déjà variable en quantité, et ne se situe pas au même mois partout (figures V.6 et V.7).

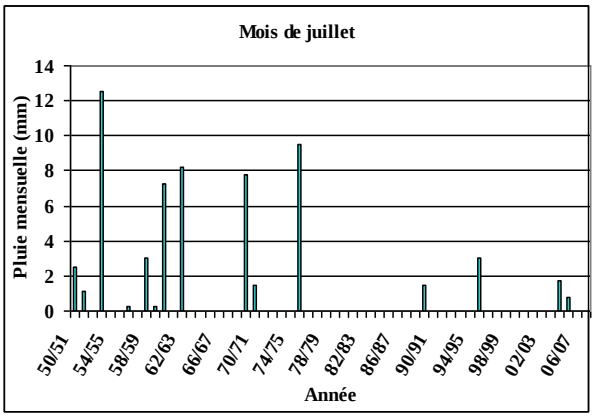


Figure V. **6. Histogramme de variation du pluie au mois de juillet du barrage Foum El Gherza**

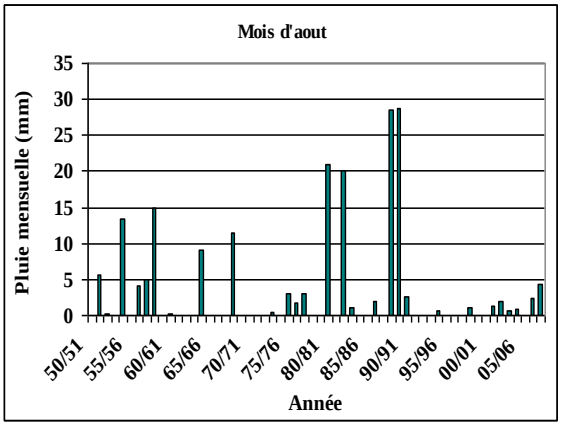


Figure V.**7 . Histogramme de variation du pluie au mois d'aout du barrage Foum El Gherza**

Les histogrammes de variation mensuelle des pluies au barrage de Foum El Gherza des mois de Novembre, Février, Mars et Avril sont bien distribués (figures V.8 ; V.9 et V.10) . Le régime pluviométrique de la zone d'étude montre un maximum principal en hiver et un maximum secondaire au printemps.

On remarque que le mois de janvier est le plus arrosé durant les années d'étude (année 1957/1958) avec un total mensuel de 227 mm (figure V.11).

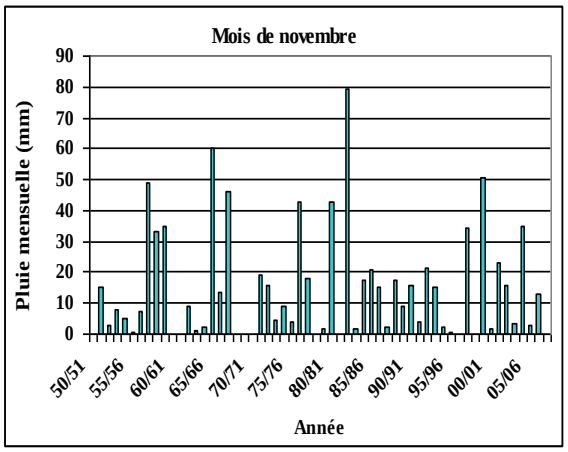


Figure V. **8. Histogramme de variation du pluie au mois de novembre du barrage Foum El Gherza**

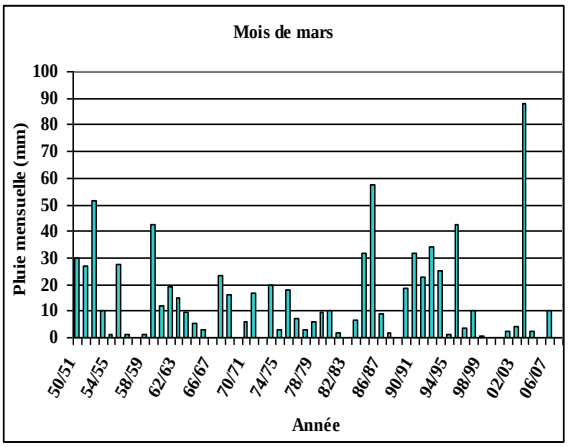


Figure V. **9 . Histogramme de variation du pluie au mois de mars du barrage Foum El Gherza**

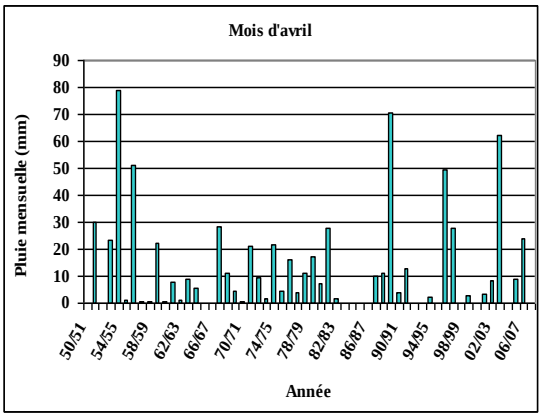


Figure V. 10 . Histogramme de variation du pluie au mois d'avril du barrage Foum El Gherza

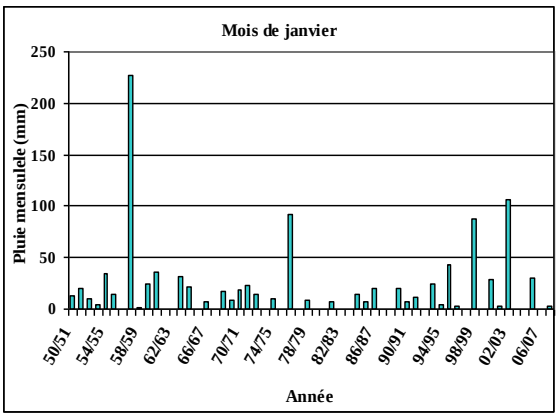


Figure V. 11. Histogramme de variation du pluie au mois de janvier du barrage Foum El Gherza

V.2.2. Les apports

V.2.2.1. Echelles annuelle et Interannuelle

L'étude des apports d'eau entrants au barrage de Foum El Gherza sera basée uniquement sur les données acquises auprès des services de l'ANBT de Biskra. La station est située à l'exutoire du bassin versant d'Oued Abiodh et dispose d'une série d'observations de 58 années.

Une première analyse des apports est montrée à la figure (V.12). Pour simplifier l'observation de l'évolution de l'apport et les autres paramètres nous avons séparé l'évolution des graphes en décade de 10 ans.

La variation des apports annuels dans la période d'étude de 1950 à 2008 montre bien qu' il y a des valeurs dépassant largement la capacité totale du réservoir qui est initialement égale à 47 hm^3. On remarque aussi que la plus part des apports, soit 68% sont inférieures à la la moyenne qui égale à 24.43 hm^3, comme le montre le graphe suivant:

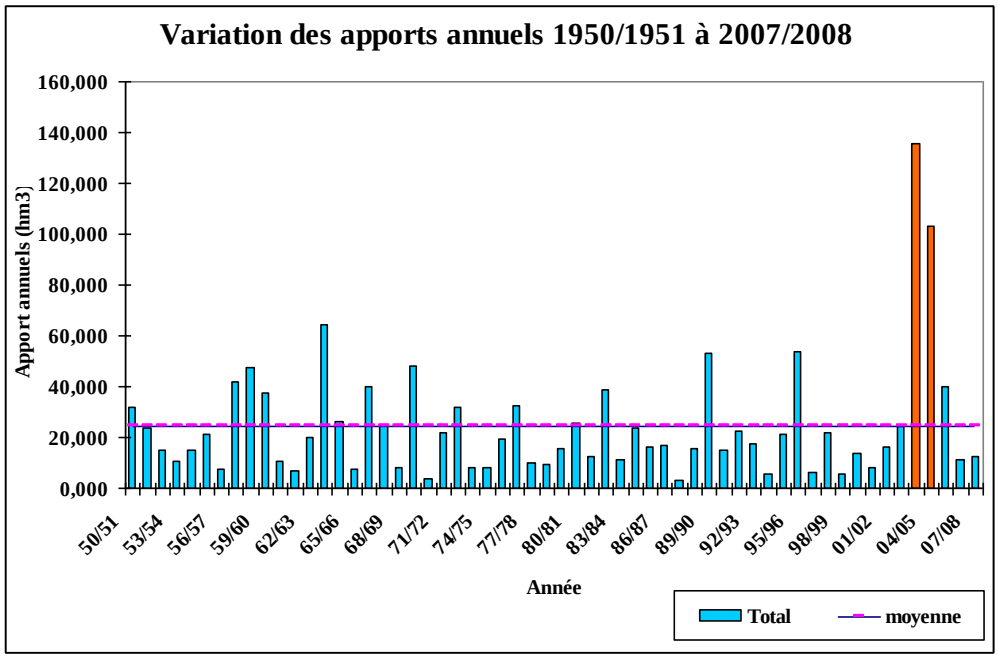


Figure V.12. Variation interannuelle des apports au barrage du Foum El Gherza (1950 à 2008)

Ces valeurs d'apport qui dépassent la capacité de barrage sont automatiquement déversées par l'évacuateur de crues au droit du barrage de Foum El Gherza. Le graphe de la figure V.12 exhibe deux années exceptionnelles où il ya un fort volume des apports :

- L'année 2003/2004 avec un total annuel égal à 135.370 hm^3
- L'année 2004/2005 qui marqué un total annuel égal à 102.939 hm^3

A l'opposé, on remarque sur le même graphique des années où l'apport est assez faible, comme c'est le cas de l'année 1987/1988 avec un volume annuel égal à 3.033 hm^3

L'évolution des apports au barrage de Foum El Gherza durant la période d'étude montre bien une irrégularité soulignée par une augmentation des apports au barrage qui s'effectue en général durant la saison d'automne. C'est le cas par exemple des années 1957/1958 ; 1958/1959 ; 1963/1964; 1969/1970. Les figures V.13; V.14 ; V.15 et V.16 illustrent ce constat.

L'année 1958/1959 a connu deux maximums. Le premier en Novembre, le second au mois de Mars.

.

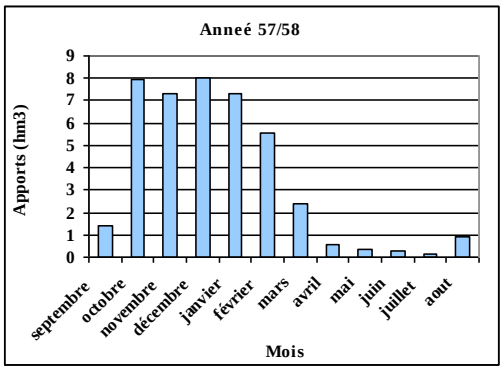


Figure V.13 . Histogramme de variation annuelle des apports au barrage FG (1957/1958)

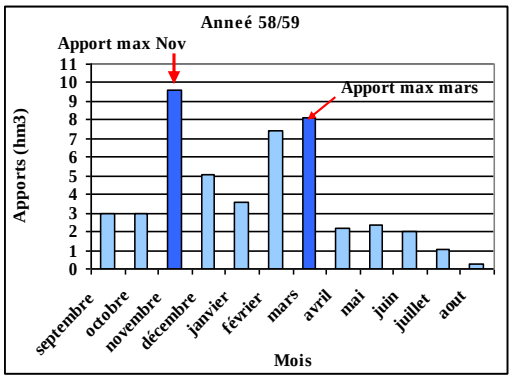


Figure V.14 . Histogramme de variation annuelle des apports au barrage FG (1958/1959)

La période des années soixante (1960-1970) est caractérisée par une augmentation remarquable de l'apport d'une année à l'autre avec des valeurs qui dépassent 10 hm^3 pour un mois, (15.002 hm^3 septembre 1963/1964; 11.342 hm^3 septembre 1969/1970; et 22.354 hm^3 en octobre 1969/1970).

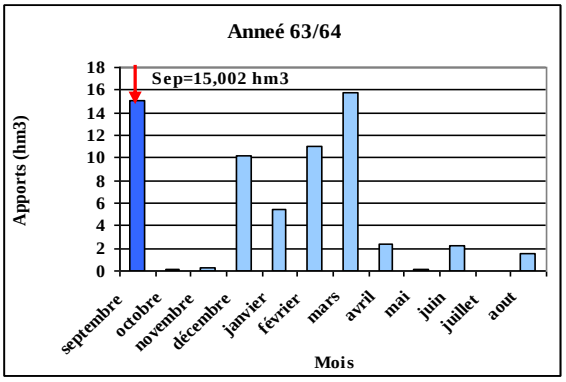


Figure V.15 . Histogramme de variation annuelle des apports de barrage FG (1963/1964)

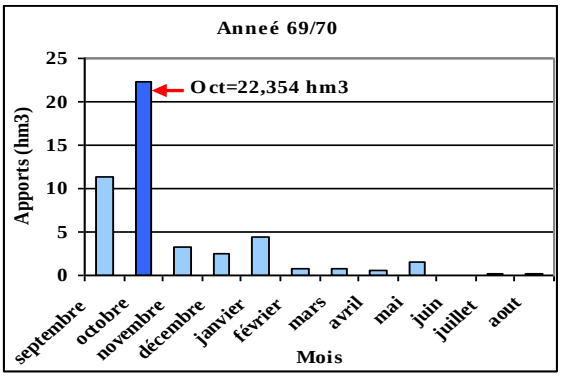


Figure V.16 . Histogramme de variation annuelle des apports de barrage FG (1969/1970)

Les années particulières 1966/1967; 1982/1983; 1996/1997 et 1999/2000 s'identifient par des apports faibles et caractérisent ainsi la faible occurrence des apports au barrage de Foum El Gherza (figures V.17 ; V.18 ; V.19 et V.20). Toutefois les deux dernières années montrent des apports exceptionnels en conséquence aux crues d'Août 1997 et de Mai 2000.

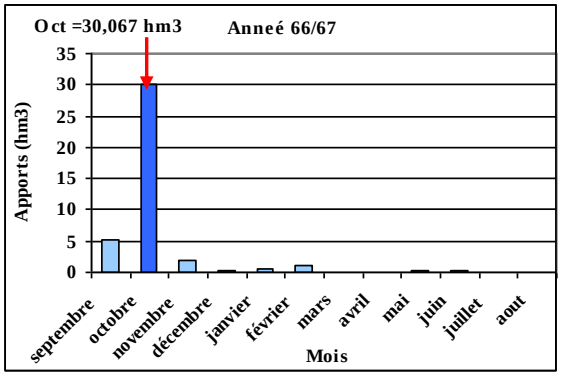


Figure V.17.Histogramme de variation annuelle des apports de barrage FG (1966/1967)

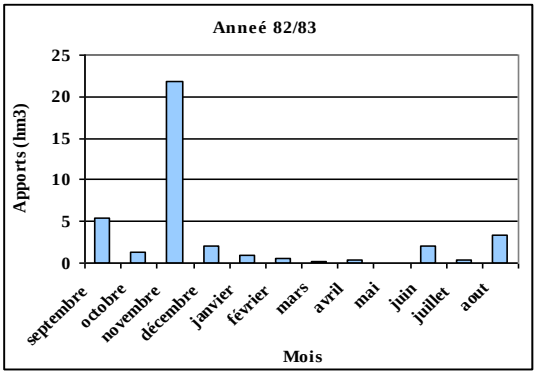


Figure V. 18 : Histogramme de variation annuelle des apports de barrage FG (1982/1983)

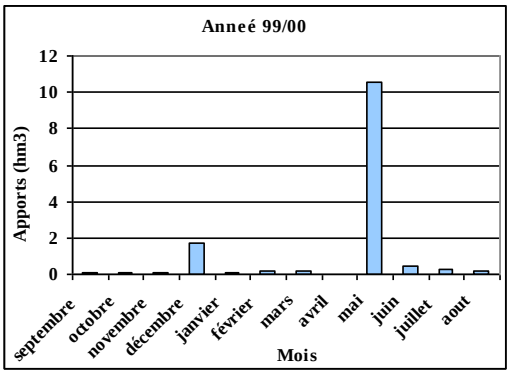


Figure V.19 . Histogramme de variation annuelle des apports de barrage FG (1996/1997)

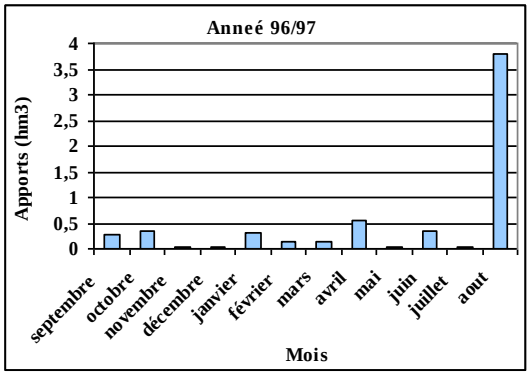


Figure V. 20. Histogramme de variation annuelle des apports de barrage FG (1999/2000)

En général par la comparaison des apports des différentes décades, on constate que la première décade marque le début de fonctionnement du barrage de Foum el Gherza. Les apports sont bien distribués au cours des premières années, ensuite l'apport augmente faiblement dans la deuxième décade. La diminution des apports est remarquée pour la troisième décade qui est la plus sèche dans la période d'étude. L'apport augmente sensiblement dans les années 90 et culmine lors des années 2003 et 2004.

V.2.2.2. Echelle mensuelle

L'analyse statistique des apports du barrage de Foum El Gherza est représentée au tableau V.9. Le volume moyen mensuel varie d'un mois à l'autre. Le volume maximal se situe au mois de septembre. Le mois de mars montre également un volume presque le même que celui de septembre. Le volume minimal est enregistré au mois de juillet (Figure V.21).

Tableau V.9. Paramètres statistiques des apports mensuels au barrage de Foum El Gherza

Mois	Moy	Max	Min	Ecart type	Coefficient de variation Cv
Septembre	3,61	25,96	0	4,50	1,25
Octobre	2,52	30,07	0	5,04	2,00
Novembre	1,75	21,89	0,03	3,40	1,94
Décembre	1,77	29,17	0,02	4,13	2,33
Janvier	1,75	17,85	0,04	3,17	1,81
Février	1,70	14,73	0,01	2,62	1,54
Mars	3,31	29,49	0,04	5,69	1,72
Avril	2,36	45,14	0	5,99	2,54
Mai	2,54	30,99	0	5,62	2,21
Juin	1,62	25,43	0	3,61	2,22
Juillet	0,57	6,77	0	1,12	1,98
Aout	0,94	8,11	0	1,45	1,55

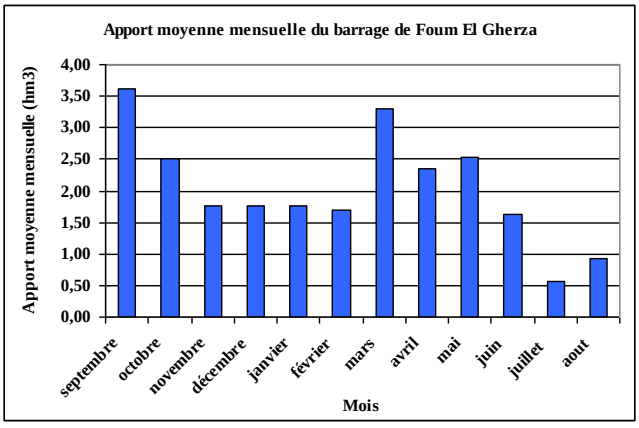


Figure V.21. Variation mensuelle des apports

Les valeurs extrêmes du coefficient de variation de la série mensuelle des apports varient entre 1.25 et 2.54, L'écart type calculé sur la série mensuelle d'étude des pluies est plus élevé par rapport à la moyenne arithmétique mensuelle des apports, caractérisant ainsi une variabilité assez importante de ces apports.

Le mois de septembre et le mois de mars sont les mois où l'apport est assez important contrairement au mois d'avril avec une exception pour l'année 2004/2005 (45.135 hm^3) Il est à remarquer certaines valeurs élevées des apports enregistrées au mois d'août (figures V.22 ; V.23 ; V.24 et V.25).

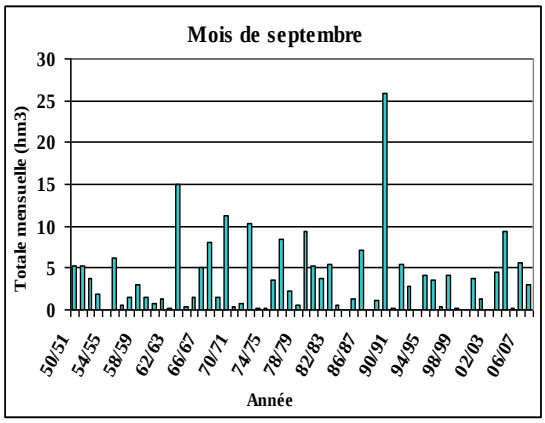


Figure V. **22 . Histogramme de variation du mois de septembre du barrage Foum El Gherza**

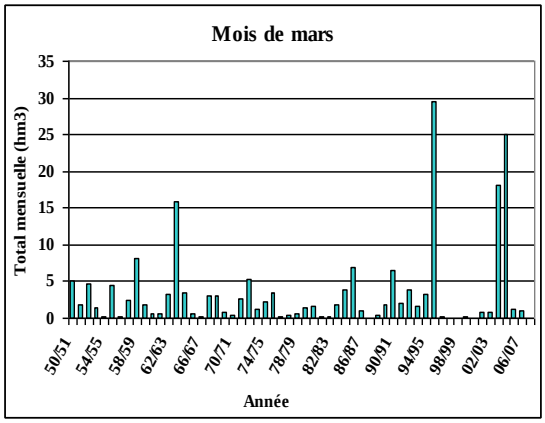


Figure V. **23. Histogramme de variation du mois de mars du barrage Foum El Gherza**

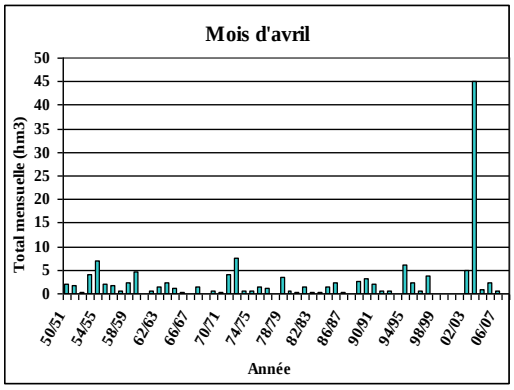


Figure V.**24 : Histogramme de variation du mois d'avril du barrage Foum El Gherza**

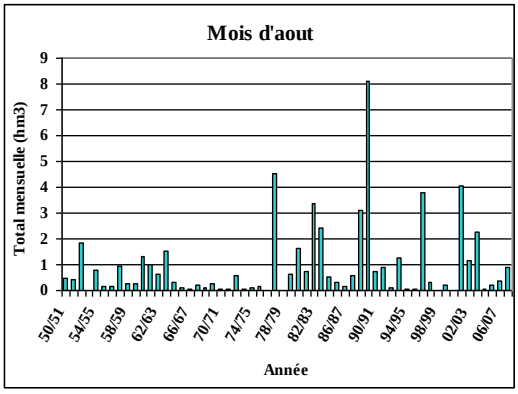


Figure V.**25 : Histogramme de variation du mois d'aout du barrage Foum El Gherza**

V.2.3. Les Evaporations

V.2.3.1. Echelle annuelle et interannuelle

L'évaporation de la surface de la retenue du barrage de Foum El Gherza est estimée à partir d'un bac Colorado situé dans le barrage.

Pour connaitre les volumes évaporés au barrage, on utilise une relation qui lie l'évaporation avec le volume d'eau stocké. Or le volume évaporé dépend de la lame évaporée et de la surface de la retenue :

$$V_{Evap} = (Surface.0.78.\ Lame\ évaporée)/1000 \ldots\ldots\ldots [V.1]$$

- V_{Evap} **:** Volume d'évaporation [m^3]
- ***S :*** surface de la retenue du barrage [m^2]
- C_r **:** Coefficient de correction au flux d'évaporation = 0.78
- ***Lame évaporée:*** Hauteur d'évaporation dans le bac [mm]

Les volumes évaporés sur la période d'observation 1950-2008 sont représentés à la figure V. 26. La variation des évaporations annuelles montre que le maximum des évaporations annuelles se situe durant l'année 58/59, soit 6.64 Hm^3 et 52% des évaporations sont inférieures à la moyenne (3.337 hm^3). La valeur minimale de l'évaporation durant la série d'étude est de 0.987 hm^3 observé durant l'année 1965/1966.

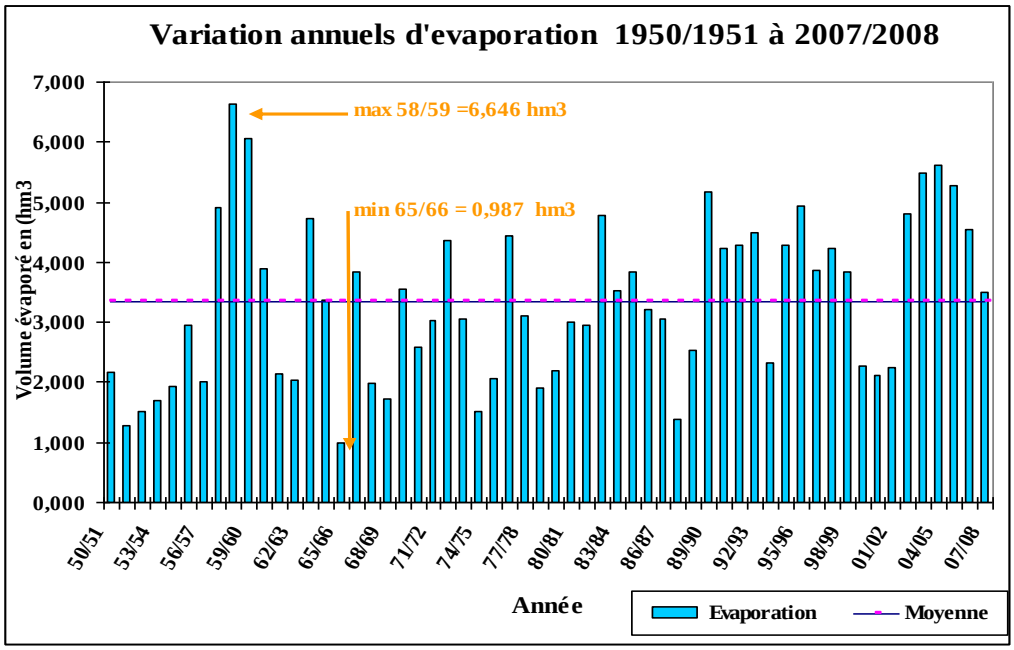


Figure V.26. Variation interannuelle des évaporations du barrage Foum El Gherza (1950 à 2008)

Les années 1958/1959, 1959/1960, 2003/2004, 2004/2005, 2005/2006, ont connu de très fortes évaporations. L'évolution de l'évaporation annuelle suit en général le rythme saisonnier. Ceci est vrai par exemple pour les années 1961/1962 et 1981/1982 (figures V.27 et V.28). L'année 1951/1952 est une année particulièrement moins évaporant en Juillet et Août (figure V.29).

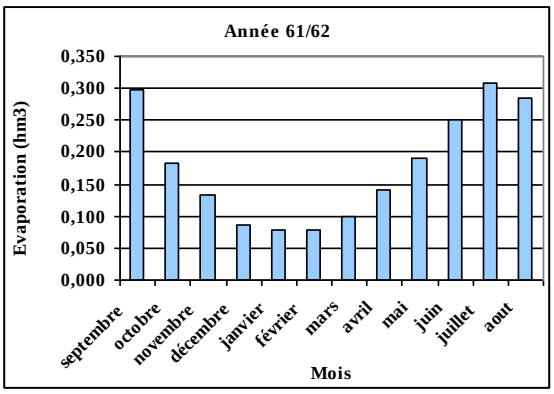


Figure V. 27. Histogramme de variation annuelle de l'évaporation du barrage FG (1961/1962)

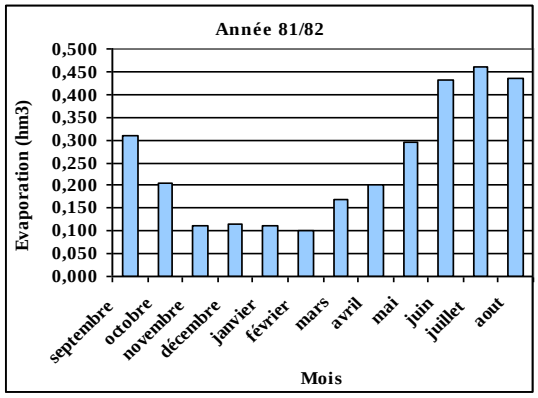


Figure V. 28. Histogramme de variation annuelle de l'évaporation du barrage FG (1981/1982)

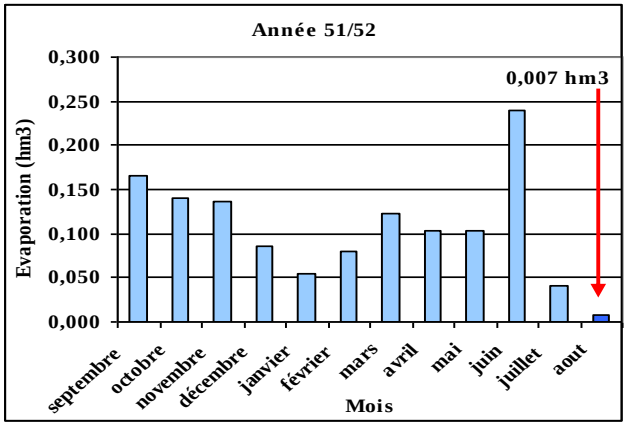


Figure V .29. Histogramme de variation annuelle de l'évaporation du barrage FG (1951/1952)

On observe durant les années 1964/1965 et 2001/2002 une variation irrégulière où l'évaporation est plus importante au printemps, par opposition à la saison estivale (figures V.30 et V.31). Ceci est dû certainement aux forts apports et aux températures élevées observées au printemps pour ces deux années.

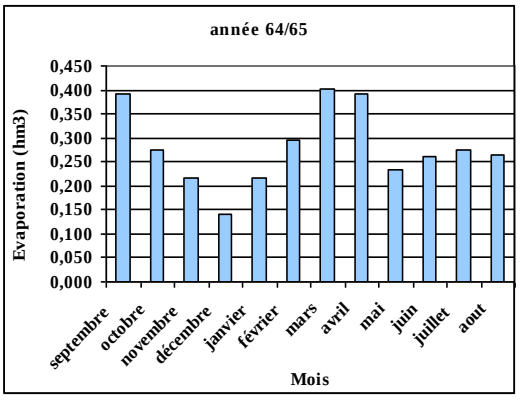


Figure V.30. Histogramme de variation annuelle de l'évaporation du barrage FG (1964/1965)

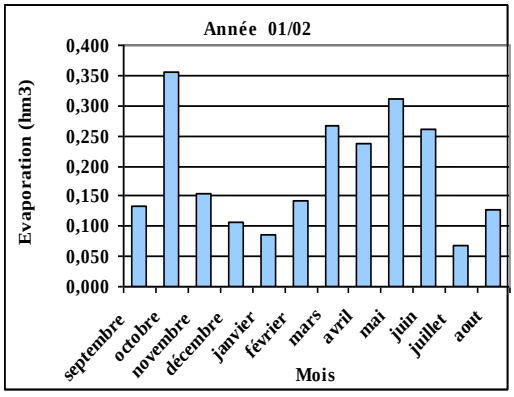


Figure V. 31. Histogramme de variation annuelle de l'évaporation du barrage FG (2001/2002)

L'année 1966/1967 est une année unique dans toute la période d'étude qui montre une augmentation remarquable durant les saisons d'automne et d'hiver et contrairement, une diminution en été (figure V.32). L'année 1999/2000 est aussi particulière par le volume d'évaporation presque nulle durant huit mois de l'année et une augmentation sensible durant les mois de mai, juin, juillet et aôut (figure V.33).

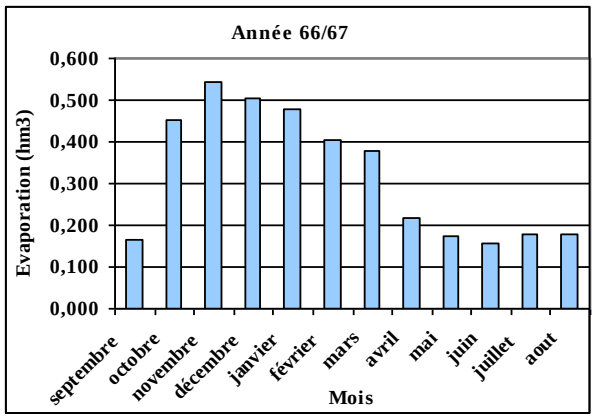


Figure V. 32. Histogramme de variation annuelle de l'évaporation du barrage FG (1966/1967)

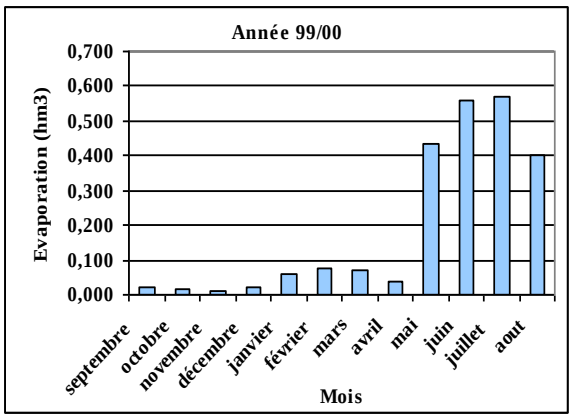


Figure V.33. Histogramme de variation annuelle de l'évaporation du barrage FG (1951/1952)

V.2.3.2. Echelle mensuelle

Le tableau suivant présente les paramètres statistiques de l'évaporation mensuelle sur la période d'observation.

Tableau V.10. Paramètres statistiques des évaporations mensuelles du barrage de Foum El Gherza

Mois	Moy	Max	Min	Ecart type	Coefficient de variation Cv
Septembre	0,31	0,63	0,02	0,15	0.48
Octobre	0,24	0,49	0,01	0,11	0,43
Novembre	0,16	0,54	0,01	0,08	0,52
Décembre	0,11	0,50	0	0,07	0,61
Janvier	0,11	0,48	0	0,07	0,61
Février	0,14	0,40	0	0,07	0,53
Mars	0,22	0,46	0	0,11	0,50
Avril	0,28	0,65	0	0,14	0,48
Mai	0,39	0,85	0	0,19	0,48
Juin	0,45	1,00	0	0,21	0,48
Juillet	0,48	1,15	0	0,27	0,57
Aout	0,40	0,93	0	0,23	0,57

Les valeurs calculées de l'écart type sur la série mensuelle d'évaporation est inférieure à la moyenne arithmétique. La dispersion relative autour de la moyenne est reflétée par un coefficient de variation qui varie entre 0.43 et 0.61.

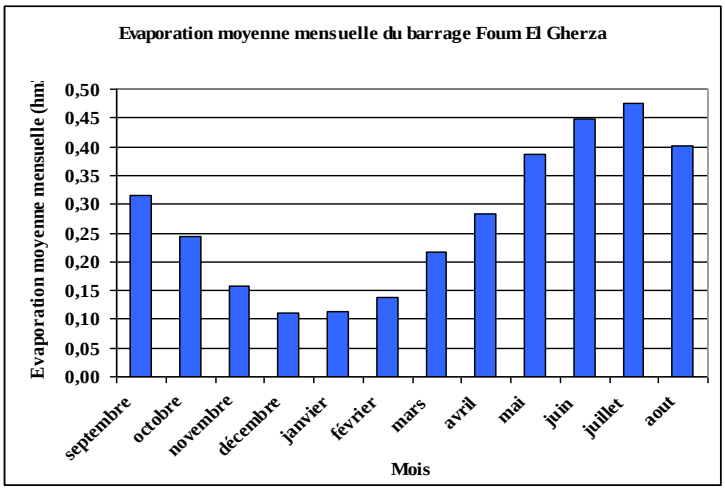


Figure V.34 : Variation mensuelle de l'évaporation

La représentation mensuelle de l'évaporation de la retenue du barrage de Foum El Gherza permet de constater que les mois où il y a le plus d'évaporation au cours de la période d'étude sont les mois de Septembre, Mai, Juin, Juillet et Août (figure V.35 et V.36).

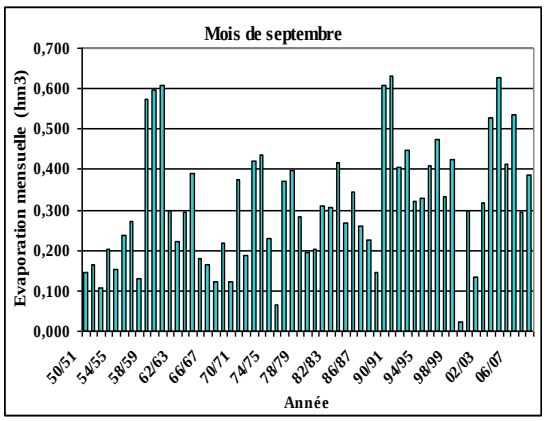


Figure V. 35. Histogramme de variation de l'évaporation de septembre du barrage Foum El Gherza

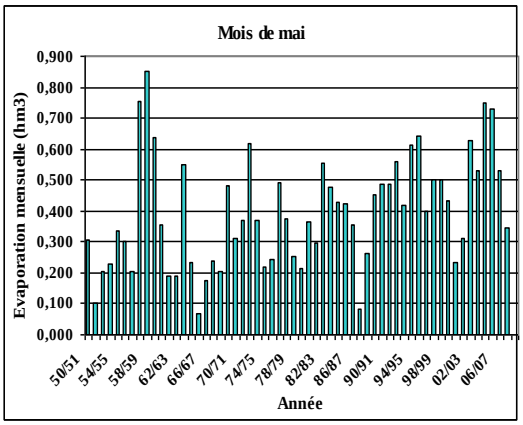


Figure V. 36. Histogramme de variation de l'évaporation de mai du barrage Foum El Gherza

On remarque que la distribution du volume d'évaporation du barrage de Foum El Gherza est assez particulière durant l'année 1966/1967 où des pics d'évaporation sont relevés aux mois de décembre et janvier, comme le montre le graphe des figures 37 et 38. Cette augmentation de l'évaporation est due à l'apport exceptionnel de crue de 22 Hm^3 qui a fait augmenter la surface du lac du barrage et par conséquent le volume évaporé, en dépit de faibles températures.

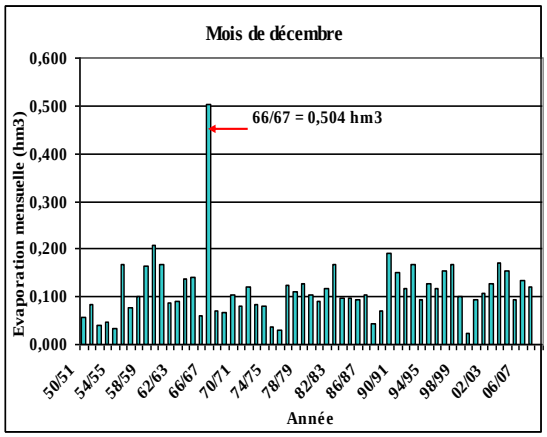


Figure V. 37. Histogramme de variation de l'évaporation de décembre du barrage Foum El Gherza

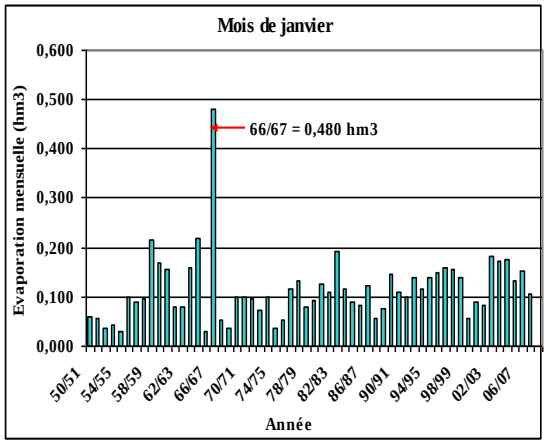


Figure V. 38. Histogramme de variation de l'évaporation de janvier du barrage Foum El Gherza

V.2.4. Les Irrigations

V.2.4.1. Echelles annuelle et interannuelle

L'irrigation des palmeraies de la région de Biskra s'effectue à partir du barrage de Foum El Gherza. Bien que supposée suffisante pour les besoins spécifiques de l'agriculture de la région, l'histogramme de la figure V.39 montre une distribution très variable sur la période d'étude. Ces besoins en eau d'irrigation sont satisfaits durant la campagne d'irrigation qui s'étale d'Avril à Septembre.

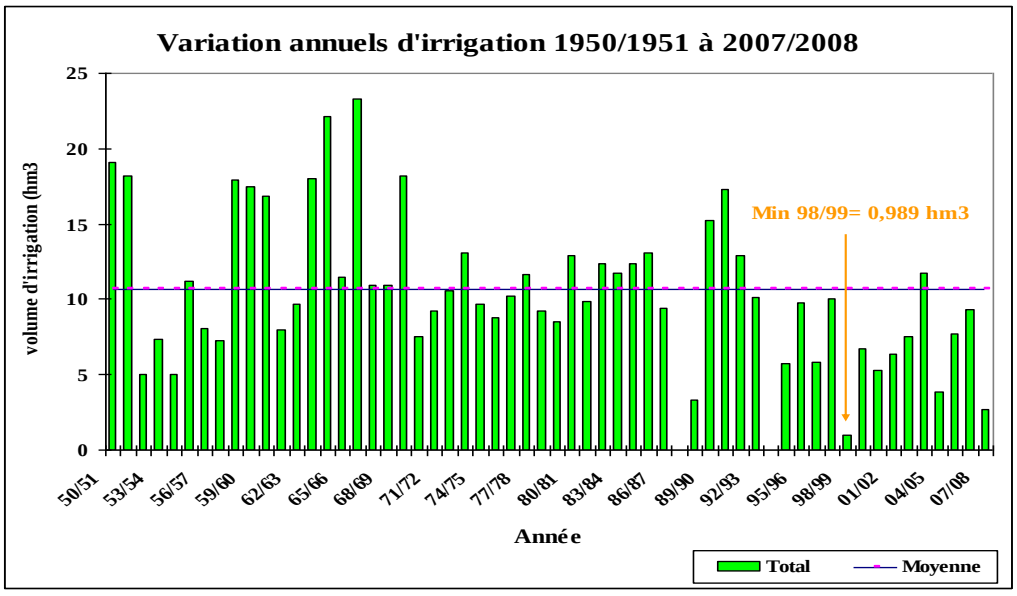


Figure V.39. Variation interannuelle des irrigations à partir du barrage du Foum El Gherza (1950 à 2008)

Il a été constaté que 41% des volumes destinés à l'irrigation sont supérieurs à la moyenne égale à 10.690 hm^3.

A l'échelle annuelle, les volumes d'irrigation n'ont pas été réguliers et ont été très différents en de volumes et de répartition tout au long de la période d'observation. A titre d'exemple, nous montrons aux figures V.40 ; V.41 ; V.42 et V.43 la variation des irrigations. La situation est assez particulière pour les années 1996/1997 et 2007/2008.

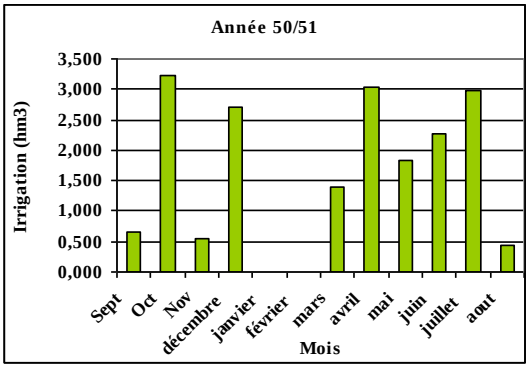


Figure V. 40 : Histogramme de variation mensuelle de l'irrigation de barrage FG (1950//1951)

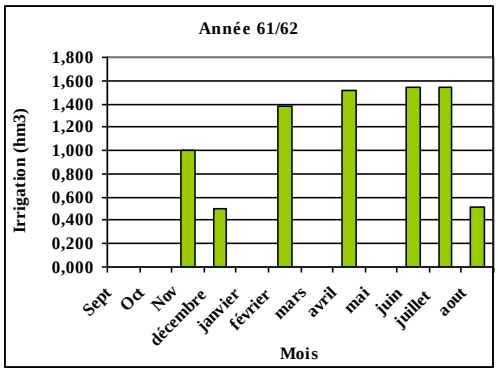


Figure V. 41 : Histogramme de variation mensuelle de l'irrigation de barrage FG (1961/1962)

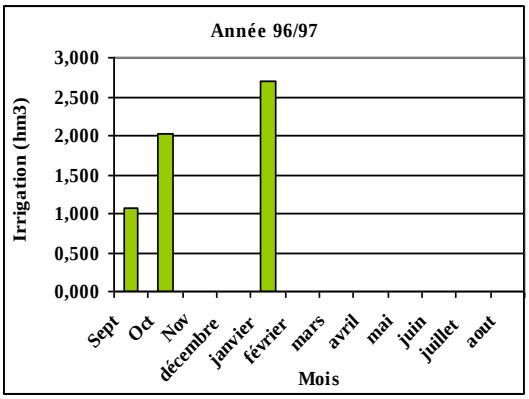


Figure V. 42 : Histogramme de variation mensuelle de l'irrigation de barrage FG (1996//1997)

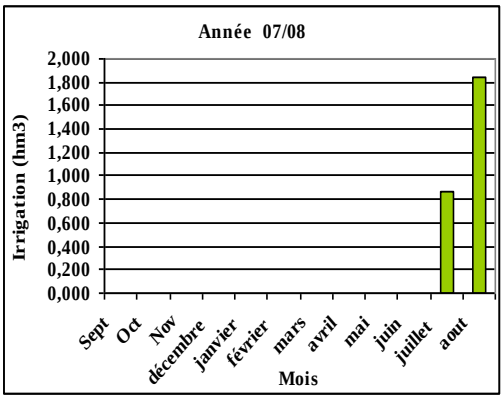


Figure V. 43 : Histogramme de variation mensuelle de l'irrigation de barrage FG (2007/2008)

Les années 1960/1961, 1964/1965 et l'année 1965/1966 ont connu une irrigation satisfaisante et complète pendant toute la campagne d'irrigation (figures V.44 ; V.45 et V.46).

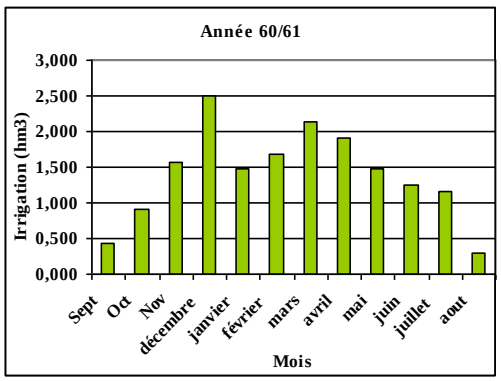


Figure V. 44 : Histogramme de variation mensuelle de l'irrigation de barrage FG (1960/1961)

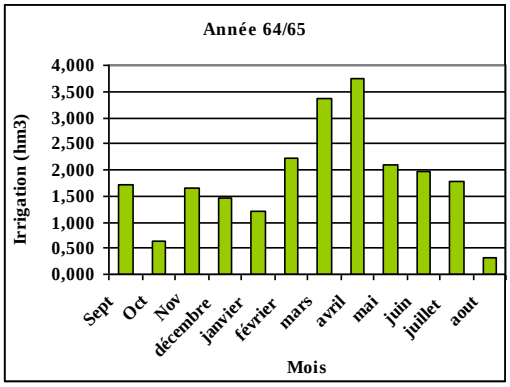


Figure V. 45 : Histogramme de variation mensuelle de l'irrigation de barrage FG (1964/1965)

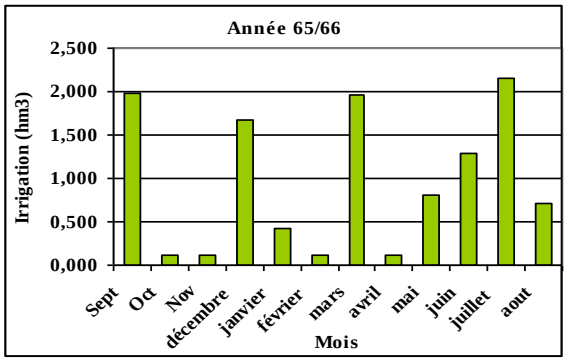


Figure V. 46 : Histogramme de variation mensuelle de l'irrigation de barrage FG (1965/1966)

V.2.4.2. Echelle mensuelle

Les besoins en eau du palmier sont faibles en Décembre et Janvier et augmentent pour atteindre leur maximum au cours des mois de l'été (juillet-août-septembre). Le taux moyen d'irrigation a été de 23 647 m^3/ha soit 0,9 l/h/ha pour la variété Deglet Nour, le besoin net n'est que de 15 714 m^3/ha. Le rythme d'irrigation doit être, pour Deglet Nour adulte, de 6 à 7 jours en « juillet-août-septembre », de 10 jours en «mars-avril-mai-juin-octobre», de 12 jours en «février et novembre» et de 15 à 21 jours en «décembre-janvier» (Krimil, 2008). Le tableau V.11 montre les besoins moyens, max des irrigations des palmiers durant toute l'année.

Tableau V.11.Paramètres statistiques des irrigations mensuelles du barrage de Foum El Gherza

Mois	Moy	Max	Min	Ecart type	Coefficient de variation Cv
Septembre	0,62	2,27	0,00	1,60	2,60
Octobre	0,78	3,24	0,00	2,29	2,94
Novembre	0,51	2,92	0,00	2,06	4,02
Décembre	1,18	4,37	0,00	3,09	2,62
Janvier	0,67	3,13	0,00	2,21	3,31
Février	0,46	2,49	0,00	1,76	3,82
Mars	1,14	3,36	0,00	2,38	2,08
Avril	1,14	3,75	0,00	2,65	2,32
Mai	0,79	2,70	0,00	1,91	2,41
Juin	1,15	3,13	0,00	2,21	1,92
Juillet	1,34	2,97	0,00	2,10	1,56
Aout	0,53	2,59	0,00	1,83	3,44

L'écart type sur la série mensuelle des eaux irrigations est dépassent la moyenne mensuelle dans tous les mois. Et le coefficient de variation varié entre 1.56 et 4.02.

La figure V.47 illustre la variabilité des volumes mensuels d'irrigation sur la période 1950-2008.

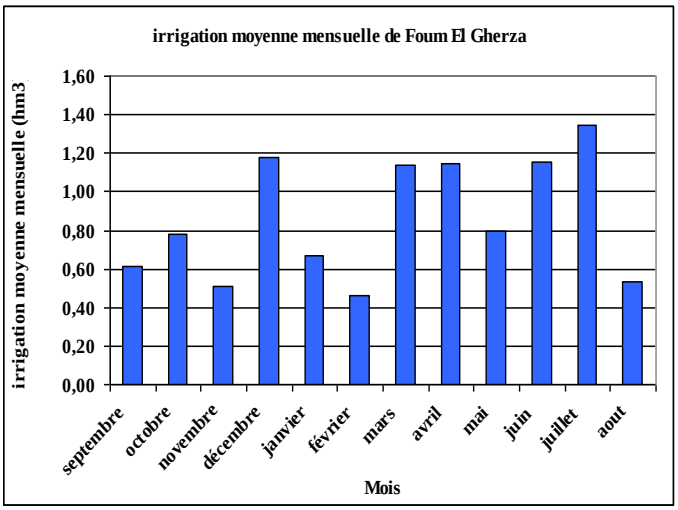


Figure V.47: Variation mensuelle de volume d'irrigation

Durant la période d'étude on remarque que le mois Juillet et Septembre enregistrent les irrigations les plus importantes en termes de volumes et de nombres (figures V.48 et V.49). Le contraire est observé pour les mois de novembre et février (figures V.50 et V.51)

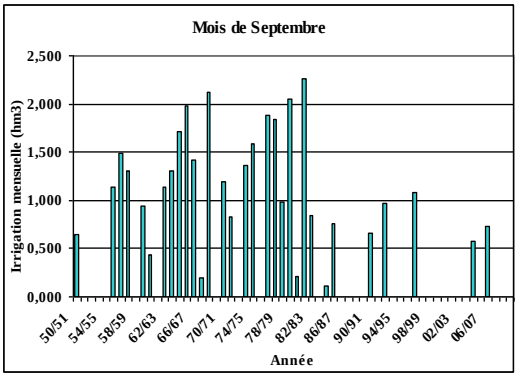


Figure V. 48. Histogramme de variation de l'irrigation de septembre à partir du barrage Foum El Gherza

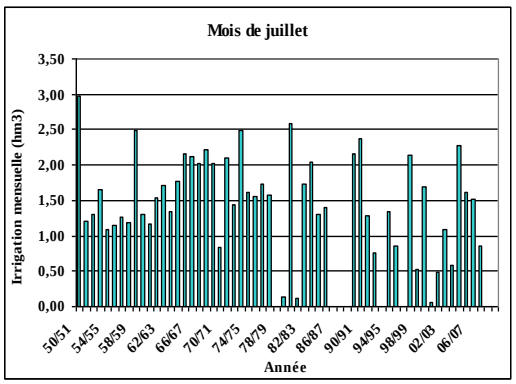


Figure V. 49. Histogramme de variation de l'irrigation de juillet à partir du barrage Foum El Gherza

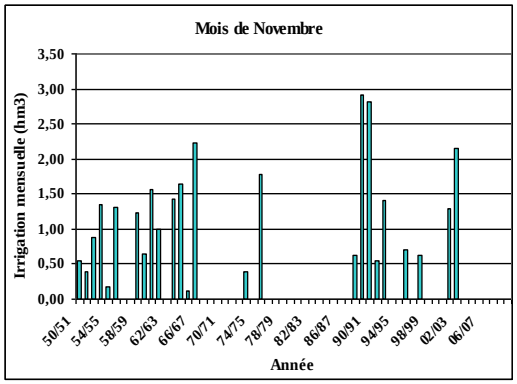


Figure V. 50. Histogramme de variation de l'irrigation de novembre à partir du barrage Foum El Gherza

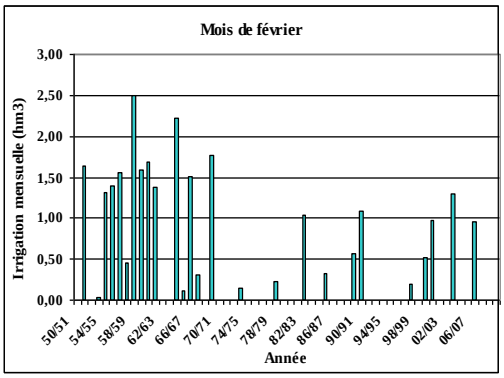


Figure V. 51. Histogramme de variation de l'irrigation de février à partir barrage Foum El Gherza

V.2.5. Les Déversements

V.2.5.1. Echelles annuelle et interannuelle

Pendant la période d'étude qui est de 58 années, on constate que le nombre de déversement est minimal. Le graphe de la figure V.52 a été réalisé en tenant compte des apports afin de mieux ressortir la relation apport – déversement. En fait le barrage a déversé sept années sur les 58 de la période considérée. La première année a été l'année 1958/1959 avec un volume annuel de 6.048 hm^3, Le volume déversé par le barrage de Foum El Gherza a augmenté de manière tout à fait exceptionnelle durant les drenières années, en particulier durant les années 2003/2004 et 2004/2005, avec respectivement des volumes de 103.852 hm^3 et 89.51 hm^3.

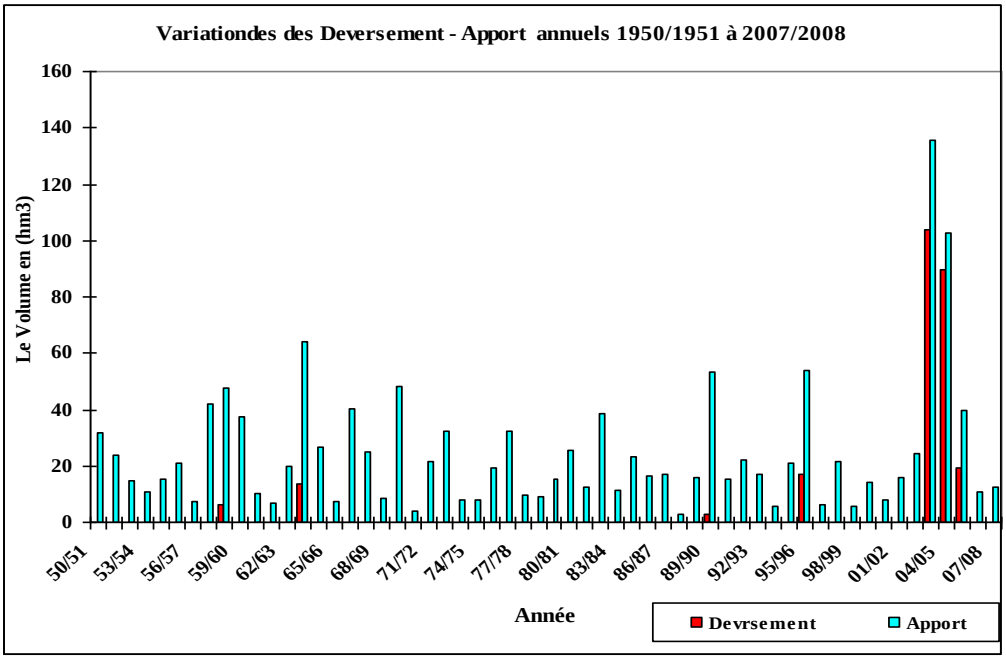


Figure V. 52. Variation interannuelle des volumes déversés en relation avec les apports au barrage de Foum El Gherza (1950 à 2008)

Les volumes annuels déversés à partir du barrage de Foume El Gherza sont très éparses sur la période d'analyse (figure V.53 ; V.54 ; V.55 ; V.56 ; V.57 et V.58)

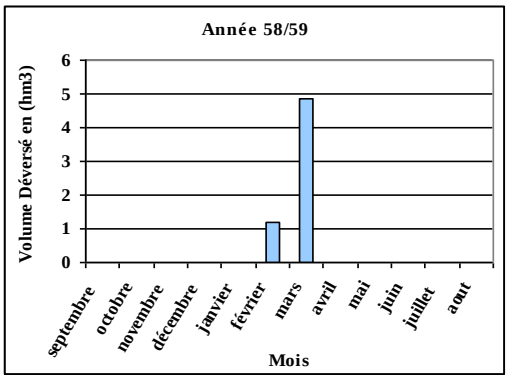


Figure V. 53. Histogramme de variation annuelle du volume déversé par le barrage FG (1958/1959)

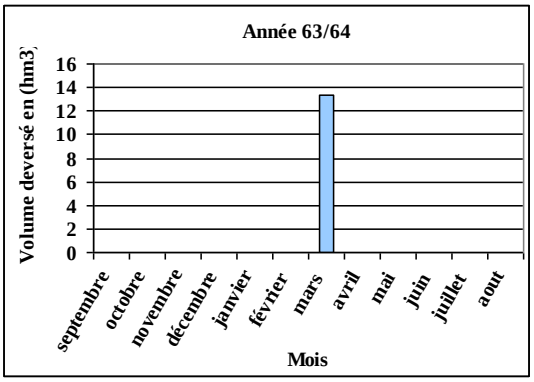


Figure V. 54 . Histogramme de variation annuelle du volume déversé par le barrage FG (1963/1964)

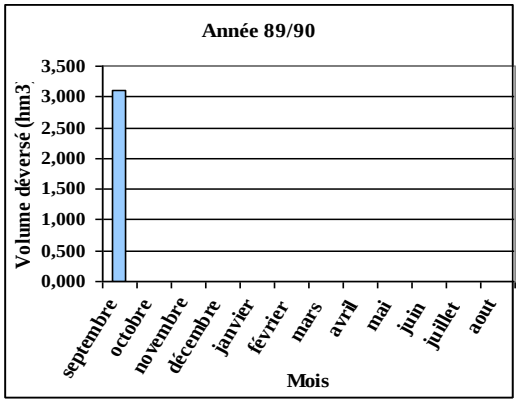


Figure V. 55 . Histogramme de variation annuelle du volume déversé par le barrage FG (1989/1990)

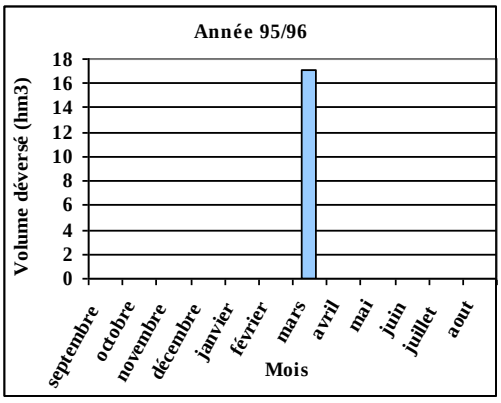


Figure V. 56 . Histogramme de variation annuelle du volume déversé par le barrage FG (1995/1996)

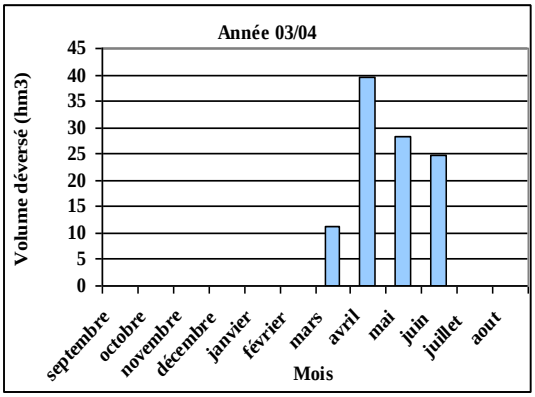


Figure V .57 .Histogramme de variation annuelle du volume déversé par le barrage FG (2003/2004)

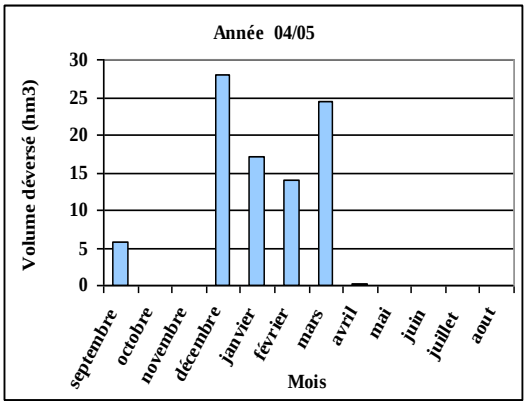


Figure V. 58. Histogramme de variation annuelle du volume déversé par le barrage FG (2004/2005)

Le dernier volume déversé en considération de la période d'étude a été en 2005/2006 au mois de mai avec un vomule de 19.267 hm^3 (figure V.59).

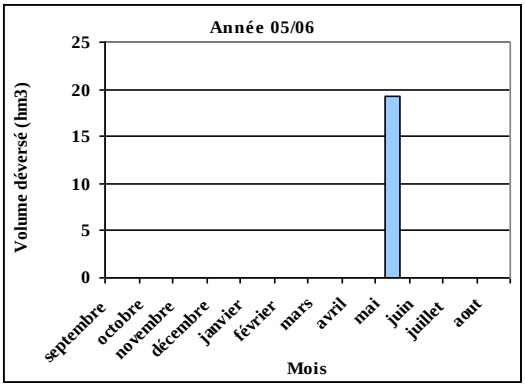


Figure V. 59. Histogramme de variation mensuelle de volume déversé de barrage FG (2005/2006)

V.2.5.2. Echelle mensuelle

Les eaux de crues d'oued Abiodh entrants au barrage de Foum El Gherza sont déversées par l'évacuateur de crue. Les déversements sont présentées au le tableau suivant où 17 volumes déversés sont reportés sur la période 1950-2008.

Tableau V.12. Les volumes déversés du barrage

Date de crue	*Volume déversé (hm^3)*	*Date de crue*	*Volume déversé (hm^3)*
Février 1959	1.210	Juin 2004	24.624
Mars 1959	4.838	Septembre 2004	5.7024
Février 1964	0.072	Décembre 2004	28.080
Mars 1964	13.389	Janvier 2005	17.021
Septembre 1989	3.110	Février 2005	14.083
Mars 1996	17.019	Mars 2005	24.451
Mars 2004	11.318	Avril 2005	0.172
Avril 2004	39.658	Mai 2006	19.267
Mai 2004	28.253		

Le tableau V.13 récapitule les principaux paramètres statistiques des déversements

Tableau V.13. Paramètres statistiques des volumes mensuels déversés du barrage de Foum El Gherza

Mois	Moy	Max	Min	Ecart type	Coefficient de variation Cv
Septembre	**4,41**	**5,70**	**0**	**0,85**	**0,19**
Octobre	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
Novembre	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
Décembre	**28,08**	**28,08**	**0**	**3,69**	**0,13**
Janvier	**17,02**	**17,02**	**0**	**2,23**	**0,13**
Février	**7,65**	**14,08**	**0**	**1,85**	**0,24**
Mars	**14,20**	**24,45**	**0**	**4,46**	**0,31**
Avril	**19,92**	**39,66**	**0**	**5,21**	**0,26**
Mai	**23,76**	**28,25**	**0**	**4,45**	**0,19**
Juin	**24,62**	**24,62**	**0**	**3,23**	**0,13**
Juillet	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
Aout	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**

De puis cette analyse statistique en remarque que dans les mois d'octobre, Novembre et juillet, aout ya pas de volume d'eau déversé ce qui montre que en à pas de crue enregistré dans ces mois. Les valeurs calculées de l'écart type sur la série mensuelle des volumes d'eau déversé les volumes d'eau de crue qui dépassent la capacité du barrage de Foum El Gherza sont inférieur de la moyenne mensuelle. Et le coefficient de variation varié entre 0.13 et 0.24, et nulle dans quatre mois.

La lecture du tableau permet de noter qu'aucun déversement n'a été enregistré durant les mois d'octobre, Novembre et juillet et août (figure V.60)

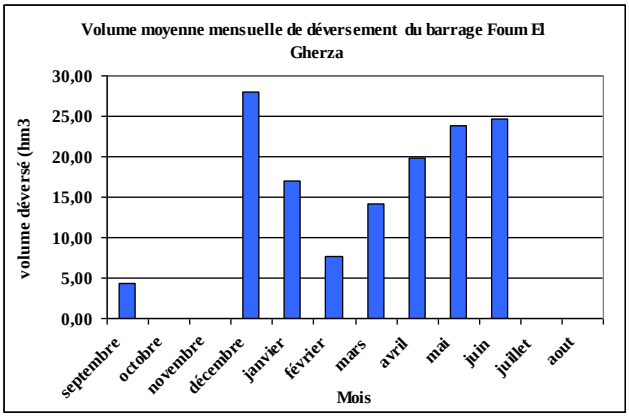


Figure V.60. Variation mensuelle des volumes déversés

Les données d'exploitation permettent de remarquer aussi c'est le mois d'Avril qui a enregistré le plus important volume déversé (figure V.61) suivi de Janvier, Février et Septembre (figures V.62 ; V.63 et V.64). Le déversement des eaux du barrage est observé une fois seulement durant les mois d'avril, juin et décembre 2004, et aussi une fois en janvier 2005, durant la période d'étude.

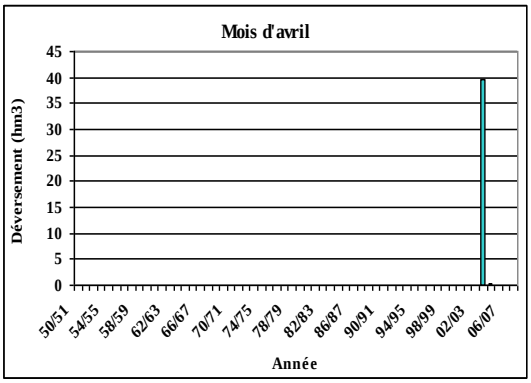


Figure V. 61. Histogramme de variation de déversement d'avril du barrage Foum El Gherza

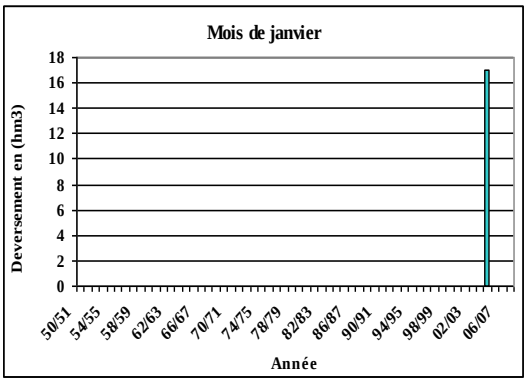


Figure V. 62. Histogramme de variation de déversement de janvier du barrage Foum El Gherza

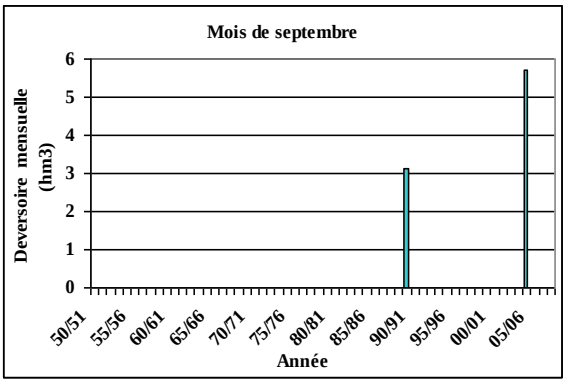


Figure V. 63. Histogramme de variation de déversement de septembre du barrage Foum El Gherza

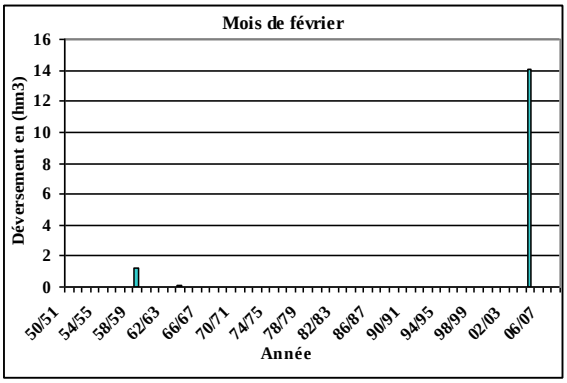


Figure V. 64 . Histogramme de variation de déversement de février du barrage Foum El Gherza

Le mois de mars est le mois le plus marqué par le nombre de déversements (5 fois) et répartis sur les années suivantes (figure V.65):

- l'année 1958/1959 avec un volume déversé égal à 4.838 hm^3
- l'année 1963/1964 avec un volume déversé égal à 13.389 hm^3
- l'année 1995/1996 avec un volume déversé égal à 17.019 hm^3
- l'année 2003/2004 avec un volume déversé égal à 11.318 hm^3
- l'année 2004/2005 avec un volume déversé égal à 24.451 hm^3

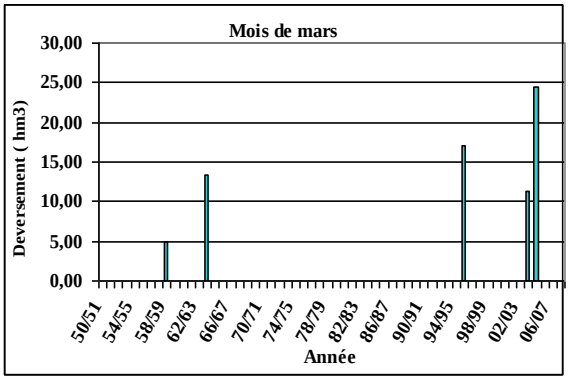


Figure V. 65. Histogramme de variation de déversement de mars du barrage Foum El Gherza

V.2.6. Les Vidanges

V.2.6.1. Echelles annuelle et interannuelle

En général, on effectue les lâchers (vidanges) après la crue c'est-à-dire lors des ruissellements importants. Les données de vidanges relevées sur la période d'étude 1950–2008 au barrage Foum El Gherza estiment qu'il y a eu 95 lâchers effectués.

La représentation graphique des volumes vidangés de la période considérée est donnée en figure 66. Sur les 58 années d'observation, 21 années n'ont enregistré aucun volume vidangé.

Comme pour les déversements, les vidanges sont très éparses dans le temps du fait de la variation des apports, de la spécificité des opérations de vidange et de l'état de la sédimentation de la retenue.

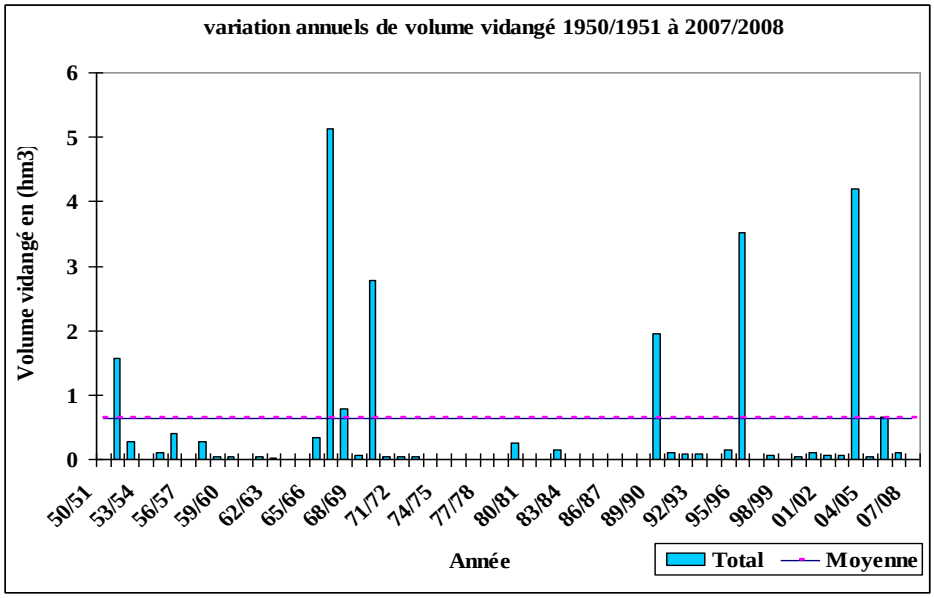


Figure V. 66. Variation interannuelle des volumes vidangés du barrage du Foum El Gherza (1950 à 2008)

L'analyse des volumes de vidange montre que sur 7 années seulement, le volume vidangé a dépassé la moyenne, soit 0.638 hm^3. Les valeurs maximales remarquables sont celles correspondantes aux années 1966/1967 et 2003/2004 avec respectivement des volumes vidangés égaux à 5.137 hm^3 et 4.203 hm^3 (figures V.67 et V.68)

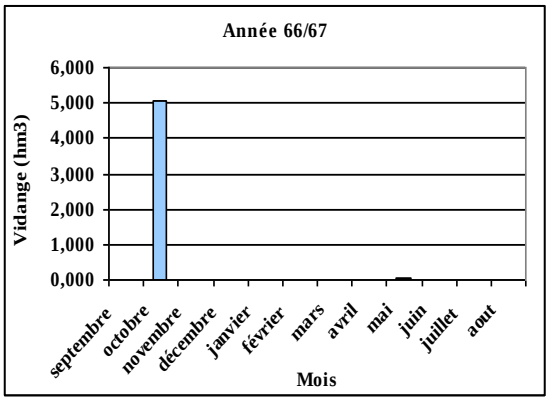


Figure V. 67 . Histogramme de variation mensuelle de volume vidangé de barrage de FG (1966/1967)

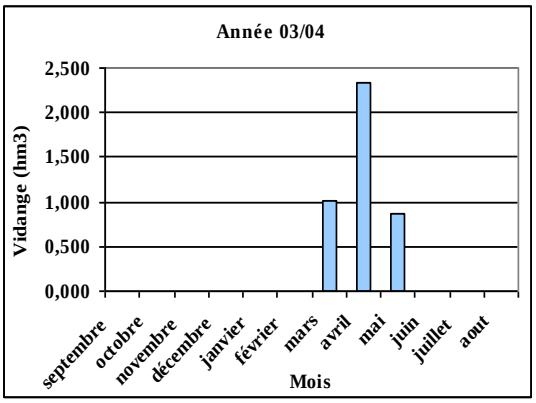


Figure V. 68 . Histogramme de variation mensuelle de volume vidangé de barrage FG (2003/2004)

Les années soixante sont connues pour avoir enregistré le nombre maximal de vidange (9 années) ensuite les années quatre vingt dix (huit années). Le nombre minimal de vidanges est observé dans les années soixante dix et les années quatre vingt (trois années).

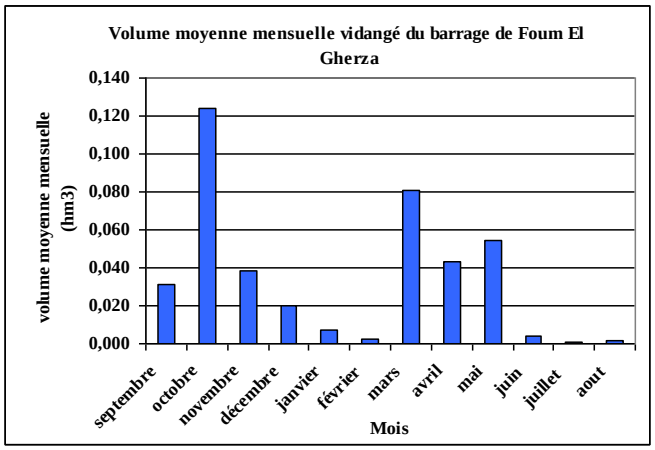
V.2.6.2. Echelles mensuelle

La distribution mensuelle des volumes vidangés du barrage de Foum El Gherza représentée au tableau V.14 et la figure V.69 permet de conclure qu'en moyenne le mois d'octobre est le mois où les gestionnaires du barrage ont effectué le plus de vidanges, suivi des mois de mars, avril et mai. Le total minimal mensuel interannuel de la période d'étude est représenté par les mois de juillet et août.

Tableau V.14. Paramètres statistiques des volumes mensuels vidangés du barrage de Foum El Gherza

Mois	Moy	Max	Min	Ecart type	Coefficientde variation Cv
Septembre	**0,031**	**0,729**	**0**	**0,125**	**4,017**
Octobre	**0,124**	**5,080**	**0**	**0,675**	**5,451**
Novembre	**0,038**	**1,466**	**0**	**0,203**	**5,299**
Décembre	**0,020**	**0,637**	**0**	**0,093**	**4,686**
Janvier	**0,007**	**0,336**	**0**	**0,044**	**6,491**
Février	**0,002**	**0,044**	**0**	**0,008**	**3,572**
Mars	**0,081**	**3,354**	**0**	**0,457**	**5,640**
Avril	**0,043**	**2,328**	**0**	**0,306**	**7,059**
Mai	**0,054**	**1,228**	**0**	**0,211**	**3,896**
Juin	**0,004**	**0,063**	**0**	**0,012**	**3,337**
Juillet	**0,001**	**0,042**	**0**	**0,006**	**6,019**
Aout	**0,002**	**0,096**	**0**	**0,013**	**7,616**

Les valeurs calculées de l'écart type sur la série mensuelle des volumes vidangés de puis le barrage de Foume El Gherza sont supérieur à la moyenne arithmétique mensuelle de chaque mois. La dispersion relative autour de la moyenne est reflétée par un coefficient de variation qui varié entre 3.337 au mois de juin et 7.616 au mois d'aout.



FigureV.69. Variation mensuelle des volumes vidangés

V.2.7. Les fuites

V.2.7.1. Echelles interannuelle et annuelle

Les fuites sont mesurées depuis l'année 1950. Elles sont différentes d'une année à l'autre et le maximum annuel se situe à l'année 1959/1960 avec une valeur de 10.441 hm^3 (figure V. 70). La valeur minimale et observée durant l'année 1993/1994 et est égale à 0.747 hm^3. On remarque que 62 % des valeurs de fuites sont inférieures à la moyenne qui égale à 3.604 hm^3.

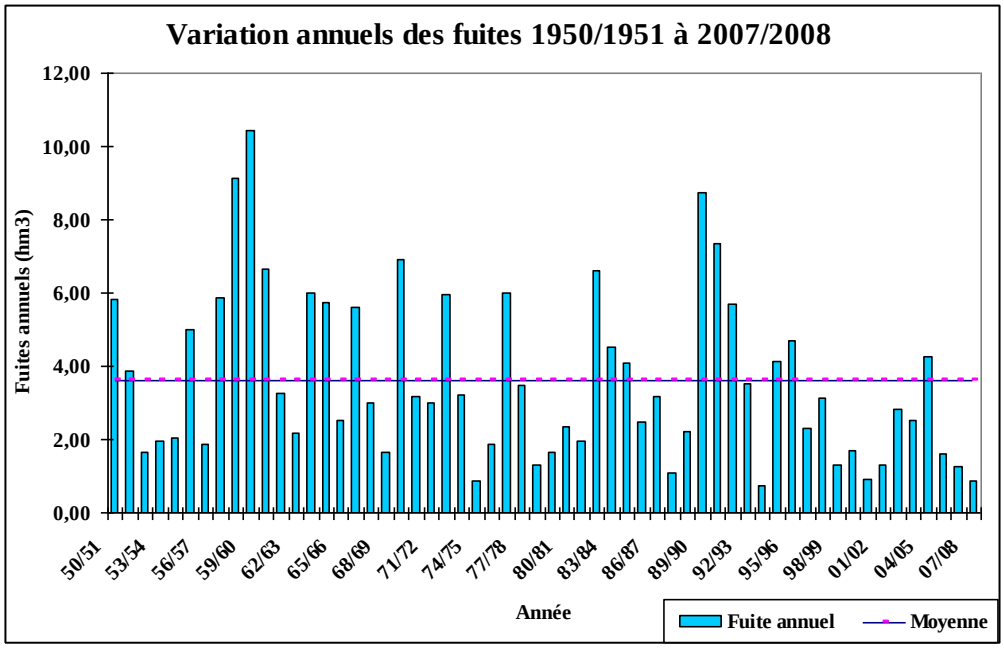


Figure V.70. Variation interannuelles des fuites du barrage du Foum El Gherza (1950 à 2008)

Les histogrammes des figures V.71, V.72, V.73 et V.74 montrent que le volume des fuites n'est pas constant pour chaque année.

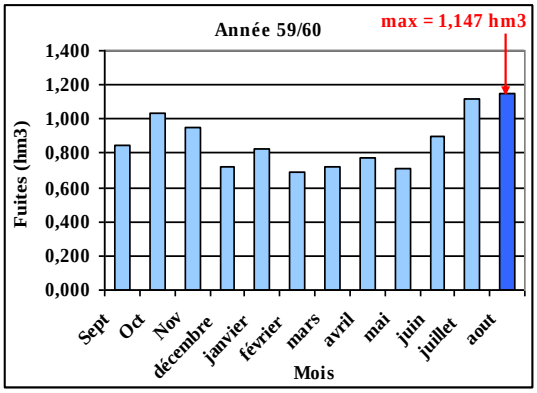


Figure V. 71. Histogramme de variation annuelle du volume des fuites du barrage FG (1959/1960)

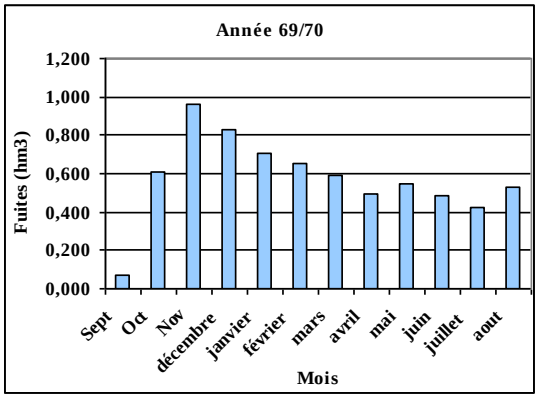


Figure V. 72 . Histogramme de variation annuelle du volume des fuites du barrage FG (1969/1970)

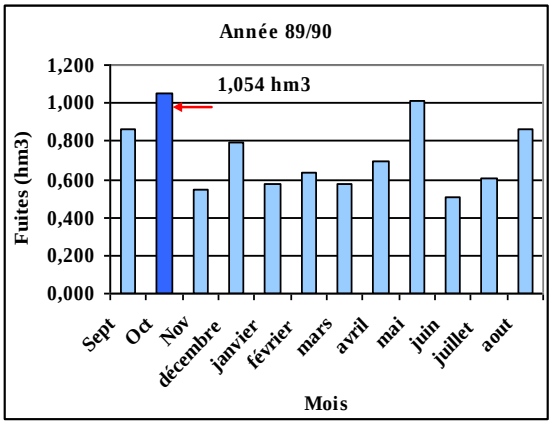


Figure V. 73 . Histogramme de variation annuelle du volume des fuites du barrage FG (1989/1990)

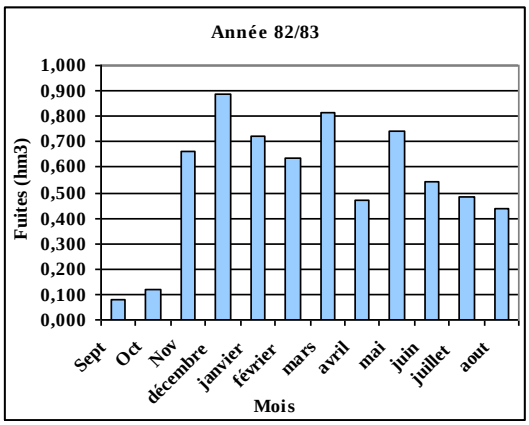


Figure V. 74 . Histogramme de variation mensuelle du volume des fuites du barrage FG (1982/1983)

V.2.7.2. Echelle mensuelle

Le contrôle des fuites et des suintements est d'abord visuel. La mesure des débits passe en premier lieu par leur collecte par le biais d'aménagement aux exutoires. Le tableau ci dessous montre bien l'analyse statistique des fuites du barrage de Foum El Gherza qui indique qu'en moyenne le maximum de fuite est mesuré au mois de mai, soit plus de 1 hm^3.

Tableau V.15. Paramètres statistiques des fuites mensuelles du barrage de Foum El Gherza

Mois	Moy	Max	Min	Ecart type	Coefficient de Variation Cv
Septembre	**0,26**	**0,89**	**0,03**	**0,22**	**0,83**
Octobre	**0,30**	**1,05**	**0,03**	**0,23**	**0,77**
Novembre	**0,33**	**0,96**	**0,04**	**0,23**	**0,69**
Décembre	**0,32**	**0,89**	**0,04**	**0,23**	**0,72**
Janvier	**0,31**	**0,87**	**0,03**	**0,22**	**0,70**
Février	**0,30**	**0,69**	**0,03**	**0,20**	**0,68**
Mars	**0,33**	**0,82**	**0,03**	**0,22**	**0,67**
Avril	**0,31**	**0,79**	**0,02**	**0,22**	**0,71**
Mai	**0,34**	**1,01**	**0,03**	**0,24**	**0,70**
Juin	**0,29**	**1,01**	**0,03**	**0,22**	**0,76**
Juillet	**0,26**	**1,11**	**0,01**	**0,23**	**0,86**
Aout	**0,25**	**1,15**	**0,00**	**0,24**	**0,98**

Les valeurs calculé de l'écart type sur la série mensuelle des fuites du barrage de Foum El Gherza est inférieur de la moyenne mensuelle dans et il ce varié entre 0.22 et 0.24. La dispersion relative autour de la moyenne est reflétée par un coefficient de variation qui varié entre 0.67 et 0.98.

La figure V.75 illustre la variation mensuelle des fuites au barrage de Foum el Gherza

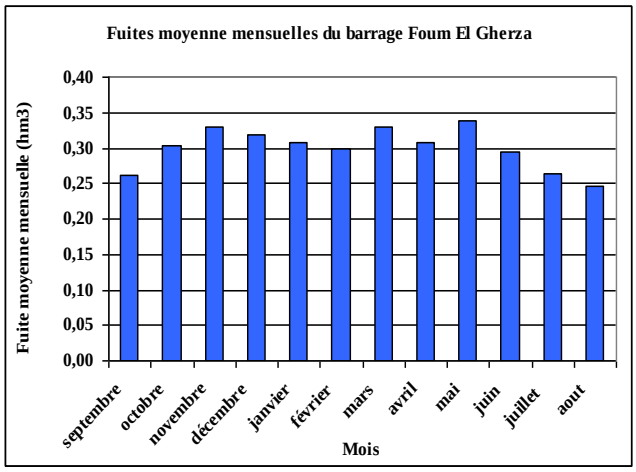


Figure V.75. Variation mensuelle des fuites

La répartition des fuites à l'échelle des mois n'est pas uniformément répartie comme le montre les graphiques des figures V.76, V.77, V.78 et V.79.

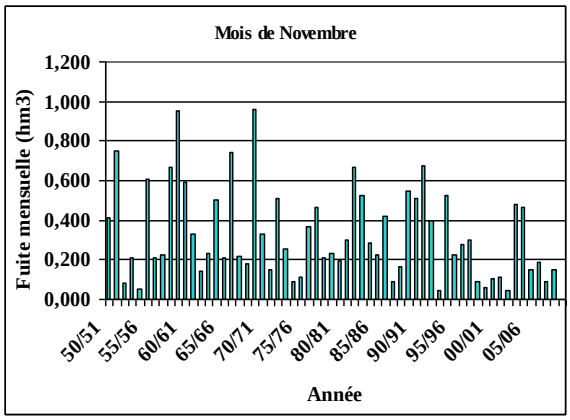


Figure V. 76. Histogramme de variation du volume de fuite de novembre au barrage de Foum El Gherza

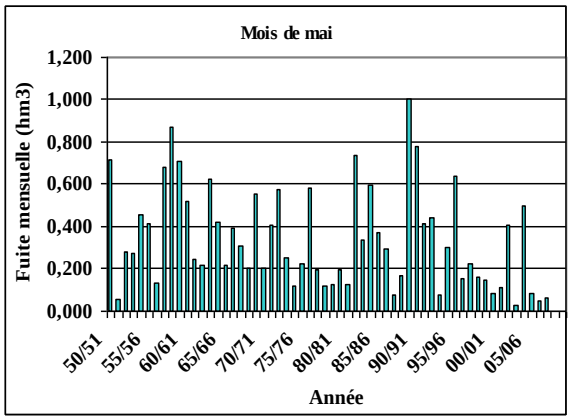


Figure V. 77. Histogramme de variation du volume de fuite de mai au barrage de Foum El Gherza

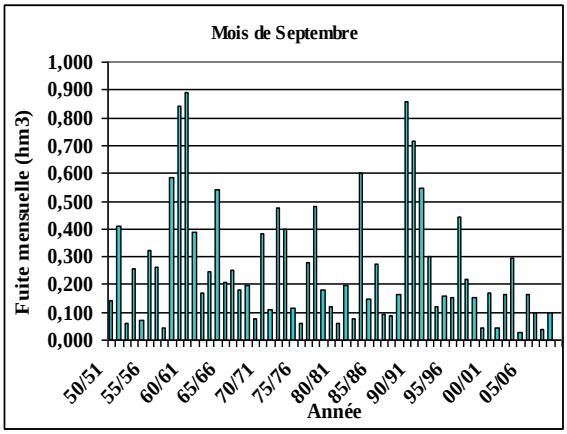


Figure V. 78. Histogramme de variation du volume de fuite de septembre au barrage de Foum El Gherza

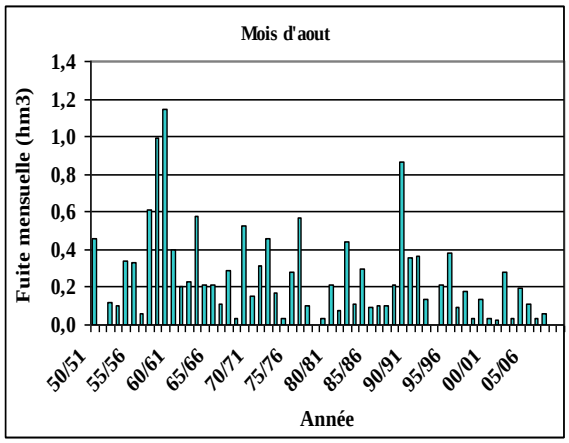


Figure V. 79. Histogramme de variation du volume de fuite d'aout au barrage de Foum El Gherza

Conclusion

L'analyse préliminaire des éléments du bilan hydrologique à pour clarifier et montré la variabilité des éléments dans des échelles différente que soit annuelle, interannuelle et l'échelle mensuelle. Cette analyse des données d'exploitation du barrage de Foume El Gherza sa change d'un élément à l'autre selon leur effet au barrage et selon leur changement à cause des défirent facteur externe qui en un effet directe sur cet élément. La présentation graphique des éléments explique des variations exceptionnelle au chaque de ces éléments comme l'irrégularité dans les pluies, et comme aussi pour les déversements, les vidanges qui sont très éparses dans le temps du fait de la variation des apports.

Chapitre VI

Etude du bilan hydrologique

Chapitre VI. Etude du bilan hydrologique

Introduction

Tout bilan hydrologique se trouve-t-il directement influencé par les nuances du climat, plus spécialement par deux paramètres déterminants: pluviométrique (conditionnant l'alimentation en eau des rivières) et évaporation (pertes ou retour de l'eau à l'atmosphère). Par ailleurs, toute mise en valeur hydro-agricole doit tenir compte de cette variété, même s'il est vrai que l'irrigation est nécessaire, quelque soit la situation géographique, pour faire face au déficit hydrique des mois «sec» et aux irrégularités interannuelles des pluies.

Les données établies par l'Agence Nationale des Barrages et Transferts, de Biskra permettent de suivre l'évolution interannuelle du bilan hydrologique de la retenue du barrage de Foum El Gherza depuis sa mise en exploitation et par la suite d'établir un bilan à l'échelle de la retenue en vue d'en déduire les conclusions quant au fonctionnement et la gestion des eaux du barrage qui est en perte de capacité (Remini, 2010).

VI.1. L'établissement du Bilan hydrologique

Ce bilan est établi à l'échelle annuelle sur la période d'observation 1950/1951- 2007/2008. Il est calculé à l'aide des données des différents paramètres analysés au chapitre 5. Le modèle utilisé est simple et complète. Dans cette étude, nous avons appliqué le modèle décrit au chapitre II pour calculer les bilans annuels de la retenue du barrage.

Pour rappel le modèle est défini par l'équation fondamentale qui décrit l'équilibre entre les apports et les pertes en eau. Il s'écrit comme suit:

$$\Delta V = (V_A + V_P) - (V_E + V_{IR} + V_V + V_D + V_F) \quad \text{..... [II.14]}$$

En d'autre termes le volume des "Entrées" est réparti entre le volume des apports V_A, et le volume des pluies V_P, qui entrent dans la retenu du barrage, et les autre éléments représentant les "Sorties" sont le volume d'évaporation V_E, volume des irrigations V_{IR}, volume des eaux de vidange V_V, volume des eaux de déversement V_D, et le volume des fuites V_F.

$$\Delta V = Entrées - Sorties \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [II.3]$$

VI.1.1. Les entrées et les sorties

Partant de la connaissance des entrées et des sorties du système, la méthode du bilan hydrologique de la retenue du barrage de Foum El Gherza est adoptée, afin de quantifier annuellement les différentes composantes du bilan.

Dans cette région semi-aride, en plus de la faiblesse des précipitations et de leur l'irrégularité figure (VI.1), l'effet de l'évaporation fait le reste des pertes par évaporation de la retenu du barrage, ces perte s'élèvent en moyenne de 0.39 Hm^3 au mois d'Mai à 0.40 Hm^3 au mois d'Aout par an dont la moitié s'effectue pendant les mois chaud de l'année.

Les résultats obtenus à l'échelle de la série d'étude du barrage de Foum El Gherza sont reportés sur le tableau suivant.

Tableau VI.1. Les données annuelles des éléments du bilan hydrologique en [Hm^3]

	Entrée		Sortes				
Année	Pluie	Apport	Evaporation	Irrigation	Vidange	Déversement	Fuite
50/51	0,0787	31,611	2,171	19,068	/	/	5,845
51/52	0,1274	23,870	1,276	18,179	1,570	/	3,875
52/53	0,0315	14,892	1,527	5,036	0,271	/	1,668
53/54	0,0541	10,633	1,706	7,314	/	/	1,977
54/55	0,0891	15,185	1,942	5,009	0,111	/	2,038
55/56	0,1575	21,012	2,940	11,171	0,397	/	5,019
56/57	0,0753	7,440	2,012	8,054	/	/	1,853
57/58	0,7039	42,120	4,920	7,261	0,274	/	5,883
58/59	0,4917	47,557	6,646	17,965	0,046	6,048	9,115
59/60	0,9592	37,411	6,055	17,429	0,041	/	10,441
60/61	0,1672	10,346	3,897	16,816	0,008	/	6,660
61/62	0,0488	7,061	2,132	7,996	0,036	/	3,281
62/63	0,1009	19,959	2,031	9,713	0,025	/	2,189
63/64	0,4892	64,237	4,726	18,004	/	13,461	6,000
64/65	0,2948	26,410	3,365	22,143	0,001	/	5,748
65/66	0,1995	7,198	0,987	11,463	0,333	/	2,523
66/67	0,3475	40,076	3,828	23,282	5,137	/	5,608
67/68	0,1964	25,117	1,978	10,909	0,792	/	3,021
68/69	0,0978	8,400	1,715	10,908	0,067	/	1,654
69/70	0,7596	48,179	3,542	18,218	2,776	/	6,895
70/71	0,1119	4,007	2,587	7,484	0,033	/	3,156
71/72	0,1662	21,723	3,043	9,2	0,039	/	2,994
72/73	0,2561	32,099	4,374	10,598	0,041	/	5,968
73/74	0,0962	7,973	3,063	13,089	/	/	3,220
74/75	0,0642	7,834	1,518	9,714	/	/	0,859
75/76	0,1297	19,139	2,060	8,801	/	/	1,872
76/77	0,5089	32,592	4,441	10,206	/	/	5,995
77/78	0,0869	9,758	3,117	11,612	/	/	3,464
78/79	0,0366	9,083	1,902	9,247	/	/	1,298
79/80	0,1160	15,591	2,200	8,497	0,252	/	1,643

	Entrée		Sortes				
Année	Pluie	Apport	Evaporation	Irrigation	Vidange	Déversement	Fuite
80/81	0,1572	25,488	2,999	12,948	/	/	2,363
81/82	0,1070	12,380	2,944	9,885	/	/	1,952
82/83	0,3308	38,492	4,792	12,341	0,155	/	6,596
83/84	0,0755	11,258	3,526	11,751	/	/	4,520
84/85	0,2419	23,497	3,838	12,354	/	/	4,068
85/86	0,1707	16,430	3,212	13,048	/	/	2,473
86/87	0,1844	16,817	3,045	9,45	/	/	3,190
87/88	0,0306	3,033	1,390	*	/	/	1,089
88/89	0,1439	15,845	2,529	3,351	/	/	2,207
89/90	0,5898	53,109	5,181	15,255	1,941	3,11	8,718
90/91	0,2302	15,228	4,243	17,258	0,096	/	7,336
91/92	0,3020	22,281	4,287	12,938	0,078	/	5,705
92/93	0,2173	17,298	4,503	10,092	0,081	/	3,504
93/94	0,1117	5,730	2,329	*	/	/	0,747
94/95	0,1923	21,222	4,285	5,719	0,153	/	4,124
95/96	0,3933	53,808	4,939	9,785	3,511	17,019	4,707
96/97	0,1645	6,008	3,857	5,796	/	/	2,308
97/98	0,3520	21,719	4,223	10,069	0,068	/	3,120
98/99	0,1863	5,891	3,829	0,989	0,009	/	1,322
99/00	0,1808	13,971	2,280	6,738	0,040	/	1,678
00/01	0,0553	7,814	2,113	5,315	0,106	/	0,918
01/02	0,1185	16,083	2,245	6,366	0,056	/	1,318
02/03	0,3479	24,121	4,816	7,55	0,059	/	2,808
03/04	0,7913	135,370	5,479	11,746	4,203	103,852	2,522
04/05	0,3750	102,939	5,623	3,84	0,042	89,51	4,275
05/06	0,1947	39,965	5,284	7,701	0,660	19,267	1,590
06/07	0,2574	10,993	4,537	9,29	/	/	1,262
07/08	0,0757	12,378	3,511	2,7	/	/	0,858

(/) Absence de donnée aucune opération de déversement et vidange en été enregistré.

(*) manque de donnée

.

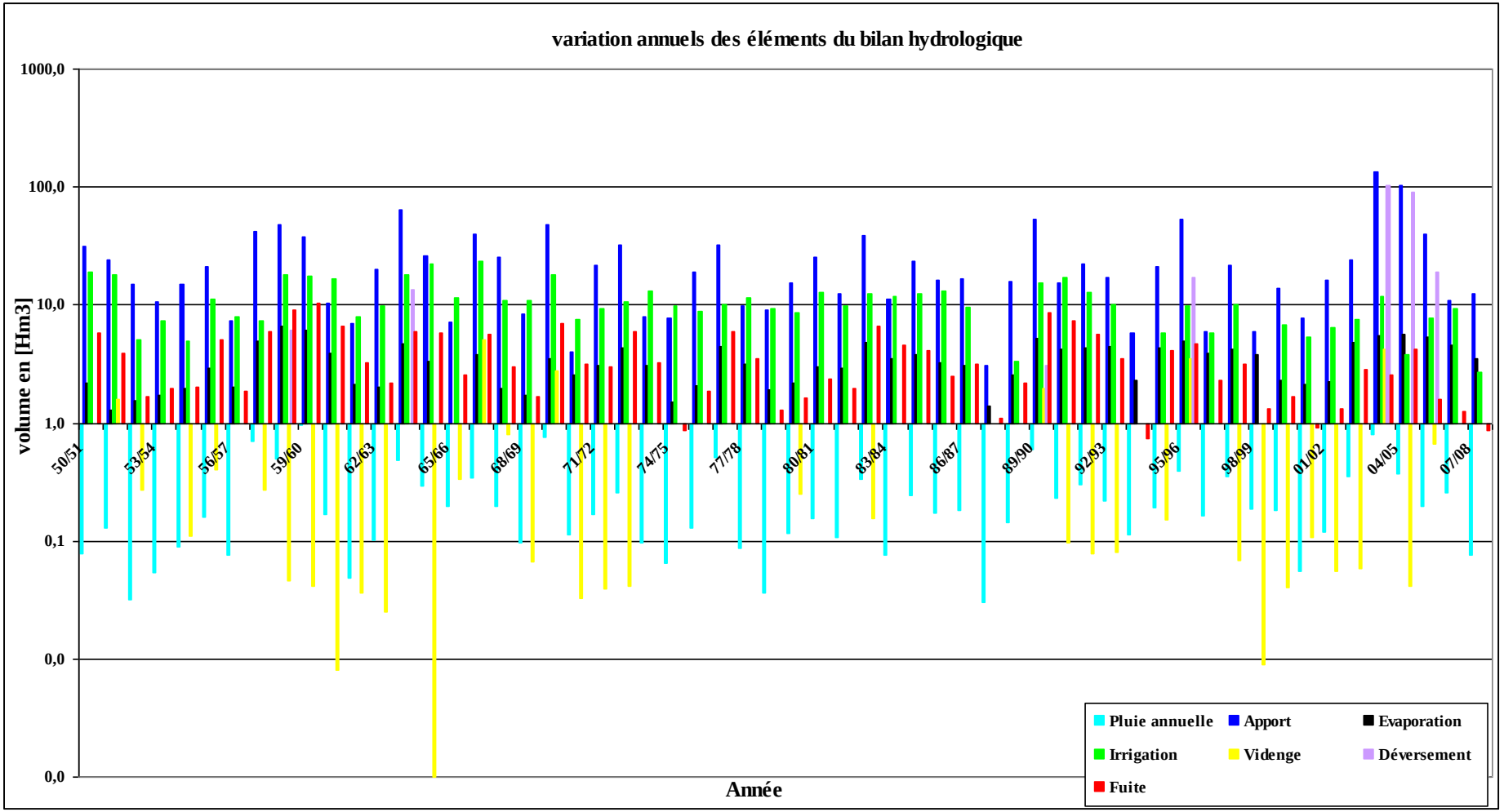


Figure VI.1. Variation des volumes annuels des éléments du bilan hydrologique

VI.1.2. Résultats et Interprétations

D'après le tableau VI.1, en peut notez les valeurs importantes des apports du barrage de Foum El Gherza qui dépassons la capacité initiale de l'ouvrage qui de l'ordre de (**47*10^6 m^3**) durant la séria d'étude, dans ces "6" années le barrage est conduisent à des opérations de déversement des eaux de la capacité excédentaire du barrage. Comme il est montré au tableau VI.1, ces eaux sont évacuées dans la partie aval du barrage par des volumes différent dont le plus important est le volume des années 2003 à 2005 figure VI.2.

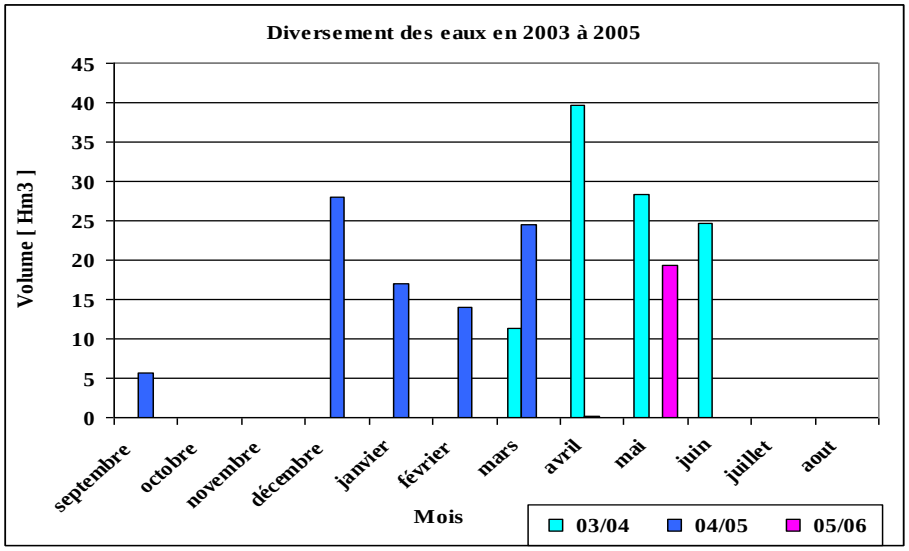


Figure VI.2. Variation des volumes mensuels déversés durant 2003-2005

Suite à ces fortes crues le volume déversé dans l'aval du barrage a enregistré une augmentation rapide au mois de décembre 2004 plus de 28 Hm^3, conséquemment à cette pluviosité exceptionnelle, l'apport annuel du barrage a dépassé les 100 Hm3 et de 135.370 Hm^3 dans 2003/2004.

De ce sorte en se trouve complètement que le bilan hydrologique est bien illustrée au figure VI.4 sur la retenu du barrage qui n'est pas enregistré des déficits ***(ΔV -)*** au cours de cette période (2003-2005).

Les résultats obtenus sur les 58 années d'exploitation du barrage de Foum El Gherza, sont reportés sur le tableau VI.2. La figure VI.4 illustre la variation du bilan hydrologique à l'échelle de la retenue.

Tableau VI.2: Bilan hydrologique annuels de la retenu du barrage de Foum El Gherza [Hm^3]

Année	*Les entrées*	*Les sorties*	*Bilan hydrologique*
50/51	31,689	27,084	4,605
51/52	23,997	24,899	**-0,902**
52/53	14,923	8,502	6,421
53/54	10,687	10,997	**-0,310**
54/55	15,274	9,100	6,174
55/56	21,170	19,527	1,643
56/57	7,515	11,919	**-4,404**
57/58	42,824	18,338	24,486
58/59	48,049	39,820	8,229
59/60	38,370	33,966	4,404
60/61	10,513	27,381	**-16,867**
61/62	7,110	13,445	**-6,335**
62/63	20,060	13,957	6,103
63/64	64,726	42,190	22,536
64/65	26,705	31,258	**-4,553**
65/66	7,398	15,306	**-7,908**
66/67	40,423	37,855	2,568
67/68	25,313	16,700	8,613
68/69	8,498	14,344	**-5,846**
69/70	48,939	31,431	17,507
70/71	4,119	13,260	**-9,141**
71/72	21,889	15,276	6,614
72/73	32,355	20,981	11,374
73/74	8,069	19,372	**-11,303**
74/75	7,898	12,091	**-4,193**
75/76	19,269	12,733	6,536
76/77	33,101	20,642	12,459
77/78	9,845	18,193	**-8,349**
78/79	9,120	12,447	**-3,328**
79/80	15,707	12,592	3,115
80/81	25,645	18,310	7,335
81/82	12,487	14,781	**-2,294**
82/83	38,823	23,884	14,939
83/84	11,334	19,797	**-8,463**
84/85	23,739	20,260	3,479
85/86	16,601	18,733	**-2,133**

86/87	17,001	15,685	1,316
87/88	3,064	2,479	0,584
88/89	15,989	8,087	7,902
89/90	53,699	34,205	19,494
90/91	15,458	28,933	**-13,475**
91/92	22,583	23,008	**-0,424**
92/93	17,515	18,180	**-0,665**
93/94	5,842	3,076	2,766
94/95	21,414	14,281	7,133
95/96	54,201	39,961	14,241
96/97	6,173	11,961	**-5,789**
97/98	22,071	17,480	4,591
98/99	6,077	6,149	**-0,072**
99/00	14,152	10,736	3,416
00/01	7,869	8,452	**-0,583**
01/02	16,202	9,985	6,217
02/03	24,469	15,233	9,236
03/04	136,161	127,802	8,359
04/05	103,314	103,290	0,024
05/06	40,160	34,502	5,657
06/07	11,250	15,089	**-3,839**
07/08	12,454	7,069	5,385

Autre présentation des éléments du bilan hydrologique est ce fait sur la figure VI.3, c'est une présentation totale de la variation des sommes d'entrées et sortes au barrage de Foum El Gherza.

De puis ce graphe VI.3, en remarque que le nombre des années au le volume des sortes est supérieur au volume des entrées est dans 23 année donc enivrent de 40% des volumes des entres.

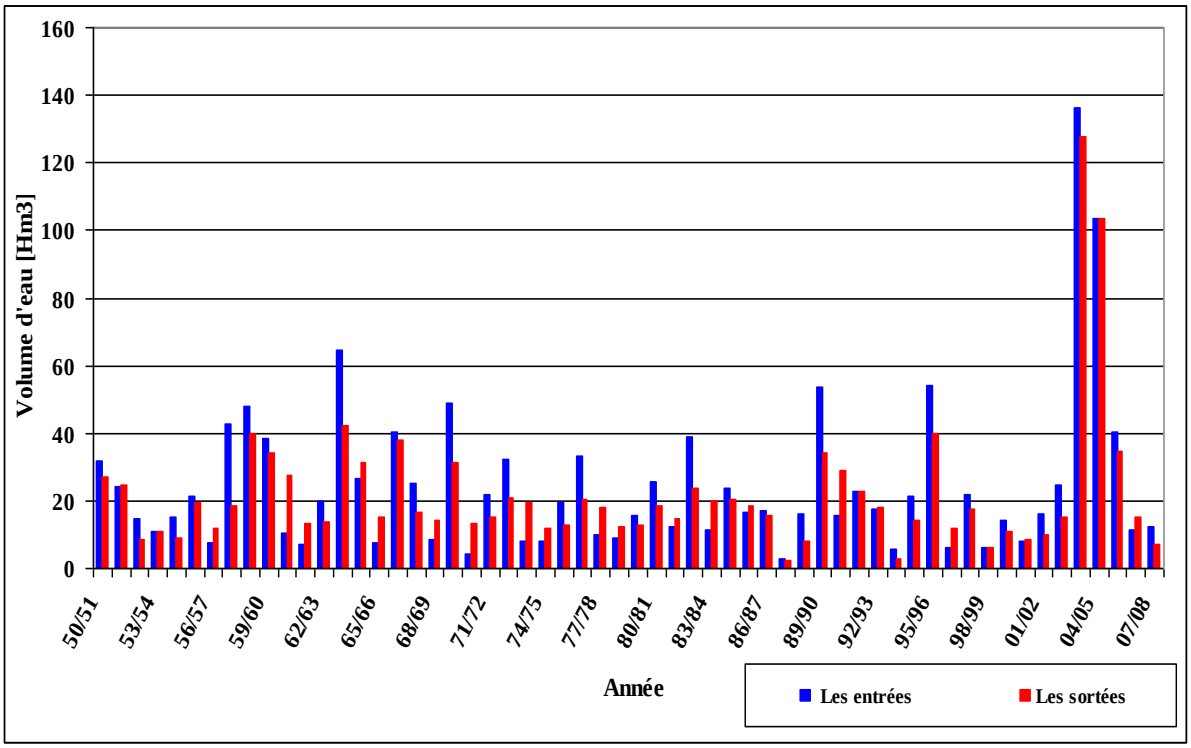


Figure VI.3. La répartition des entrées et sorties (1950-2008)

Parmi les entrées et les sortes du barrage de Foum El Gharza nous avons fait une comparaison entre deux paramètre qui ils sont liée l'un avec l'autre, ces deux paramètre sont:

1. Les apports qui en classé un des éléments d'entré du barrage.
2. Les irrigations qui en présenté un des volumes sortes du barrage.

Nous avons choisir ces deus élément à pour objectif de montré la dépendance des irrigations sur les apports du barrage pendant toute la série d'observation.

Le graphe ci-dessus figure.VI.1, a été présenté les déférent éléments du bilan hydrologique avec leur variation annuels durant une série d'étude de 58 années, l'élément le plus remarqué par un forte volume sur le graphe est les apports qui entrent au barrage de Foum El Gherza. Ces apports sont devinent par l'accumulation des eaux des pluies qui à tombée au tour du bassin versant d'Oued El Abiodh.

La variation annuelle des volumes d'eau destinée à l'irrigation de puis le barrage de Foum El Gherza est bien montrée au graphe VI.1, cette répartition est clairement présenté la dépendance des volumes d'irrigations para port au volume des apports au barrage, cette comparaison explique le

mode d'utilisation des eaux du barrage qui est basé par le volume des apports au bien par le volume de la retenu du barrage. Quand le volume d'apport augmente le volume d'irrigation augmente «voir sur tous la variation de la première et la deuxième décade figure (VI.1) ».

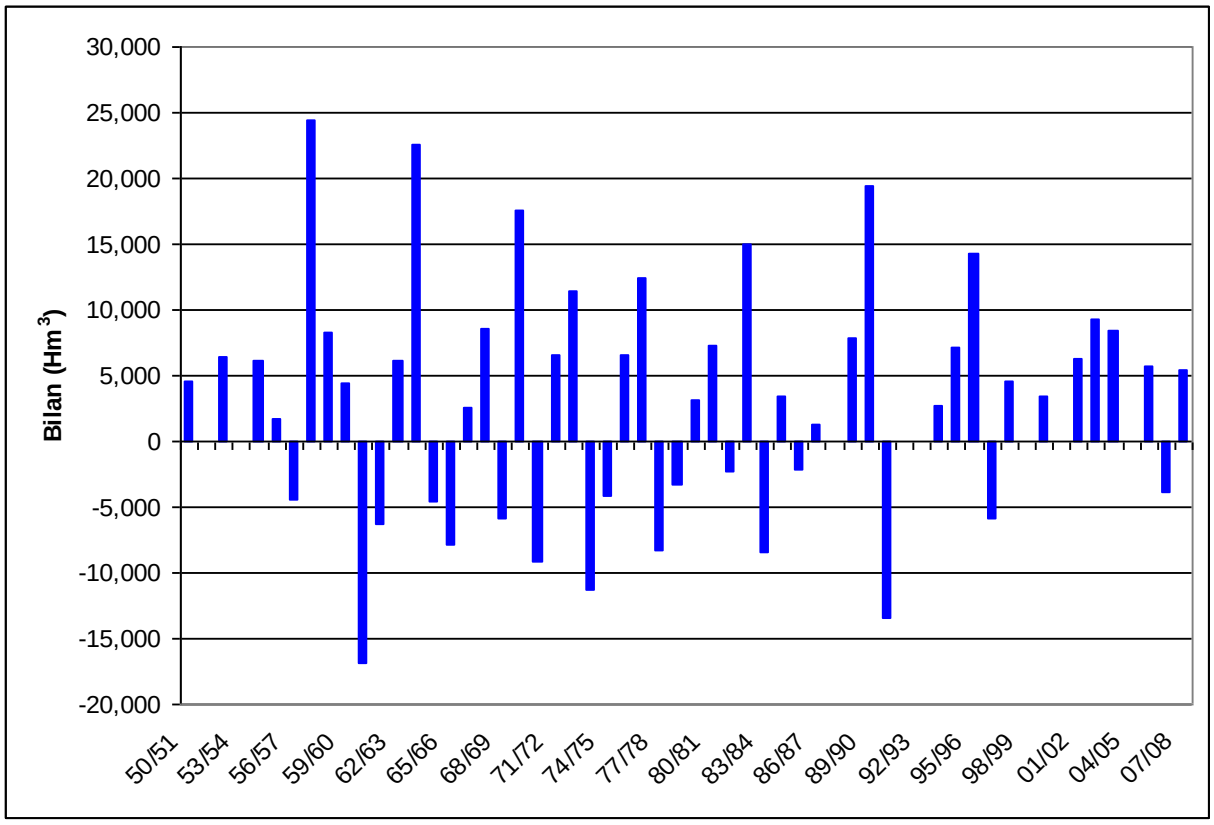


Figure VI.4: Résultats du bilan hydrologique

Le faible taux annuel de remplissage de la retenue est à lié aux faibles apports du barrage de Foum El Gherza. Du graphe VI.4 en remarque que dans 60% des valeurs d'entrée sont supérieures aux sorties. Cette faiblesse du taux annuel de remplissage de la retenue barrage est marqué une importance du déficit de régularisation du barrage, ce qui bien montré que la variation du volume d'eau "ΔV" est dépend de volume d'entré dans la retenue du barrage, comme il est illustrée au tableau VI.2. (V_{appt} = 23.997 Hm^3; ΔV = - 0.902 Hm^3), (V_{appt} = 10.513 Hm^3; ΔV = - 16.867 Hm^3).

L'évaluation du bilan hydrologique en termes de variation du volume fournit une bonne appréciation du fonctionnement du barrage durant notre série d'étude. Ceci montre clairement que l'ordre de grandeur de "ΔV" cherchée est d'un facteur n'est pas fixe. Il varie selon une amplitude faible de 2 à 5 fois des apports du barrage pour certaine années, pour donner finalement des ordres de grandeur très importants entre 12 à 15 fois du volume des apports.

Contrairement aux excédents, l'analyse des déficits observés au tableau VI.2 montre au pas de temps décadaire, que :

- La première décade (1950-1960) est marquée 3 années de déficit
- La deuxième (1960-1970) et la troisième décade (1970-1980) est marqués 5 années de déficit dans chaque une.
- La quatrième décade (1980-1990) est marqué 3 valeurs annuels de déficit.
- La cinquième décade (1990-2000) est marquée 5 années de déficit d'eau.
- Dans les années deux mille en remarque 2 années de déficit qui sont 2000/2001 et 2006/2007.

Parmi ces années en montre les valeurs suivantes comme des valeurs les plus fortes de déficit d'eau dans la série d'étude figurent en (VI.3):

- L'année 1960/1961 avec une valeur la plus forte qui égale de: -16.867 Hm^3
- L'année 1973/1974 avec une valeur de: -11.303 Hm^3
- L'année 1990/1991 avec une valeur de: -13.475 Hm^3

La déficit hydrologique enregistré pendant la duré d'exploitation du barrage, conduit à revoir que, à une diminution des volumes des entrées on a marqué un déficit de bilan. De sort que ces déficits sont du a la diminution des entrées au barrage de l'ordre de 39.65% durant la période d'exploitation.

Les résultats du bilan hydrologique explique que dans le quelle nous avons marqué un déficit d'eau dans la retenue du barrage on peut présenter que dans ces années les besoin en eau d'irrigation sont fait distribué à travers le volume stocké dans la retenu.

Conclusion:

Une faiblesse du taux annuel de remplissage de la retenue barrage de Foum El Gharza marqué une importance du déficit de régularisation du barrage, montre un abaissement critique du stock d'eau jusqu'à l'usage du volume mort, tels sont les éléments qui ont caractérisé le fonctionnement de la retenue du barrage de Foum El Ghrza à travers l'analyse des bilans annules de la retenue sur la période 1950- 2008. Si l'inventaire des ressources en eau peut à la rigueur se satisfaire da l'appoint d'information des besoins de niveaux d'eau précédente, la formation d'une gestion optimale d'un réservoir demande plus de précision.

Conclusion générale

Conclusion générale

La compréhension et l'analyse du cycle de l'eau et l'étude de bilan hydrologique sont la base de toute étude et réflexion au sujet de la gestion des eaux de surface et des barrages pour une bonne utilisation de la ressource d'eau. Dans ce contexte, nous avons présenté notre étude sur le barrage de Foum El Gherza a pour objectif d'étudié le bilan hydrologique de la retenu de ce la, la collecte des données consiste à rechercher toute les informations hydro pluviométriques disponibles de la région étudiée. Cette étape constitue une phase déterminante de notre étude, dans la quelle nous avons auprès de toutes les données de l'étude d'après l'Agence notionnelle des barrages et Transfère de Biskra.

Le bilan hydrologique du barrage de Foum EL Gherza est basé sur l'application de l'équation de conservation de la masse, qui consiste une simple opération de calcule du bilan hydrologique entre la variation des éléments d'entrés et de sortis au niveau du barrage, dans la quelle 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 et les déversements sont les sortis du barrage.

L'application de la méthode du bilan hydrologique est limitée par la difficulté de mesure de variables mises en jeu dans le modèle. Effectivement, les processus hydrologiques sont difficiles à observer directement sur le terrain et donc à mesurer, plusieurs dispositifs on été installé au niveau du barrage de Foum El Gherza a pour bute de donné les mesures quantitative des éléments du bilan hydrologique. Notons que devant ces imprécisions, on suggère l'emploi de cette méthode dans le cas d'un avant-projet par exemple, pour vérifier l'état du système et surtout la validité (la fiabilité) des mesures qui le décrit.

Les différents termes du bilan hydrologique ont été déterminés tel que les apports, les pluies, l'évaporation, lâche pour irrigation, vidange et déversement des eaux, et on été analysés annuellement et mensuellement sous le chapitre d'Analyse préliminaire des éléments du bilan hydrologique. L'irrégularité interannuelle de ces éléments donne un mode de la fonctionnalité du barrage variable. Les apports liquides du barrage ont été exceptionnels dans les années remarquées

comme l'année 1963/1964 et 2003 à 2005 est ce sont des années qui connue des crues dans notre série d'étude, pour ce la le barrage et nécessite des opérations de vidange et déversement d'eaux du barrage, dans ce la en peut dire que telle éléments du bilan hydrologique on été associés les uns aux autres.

Une faiblesse du taux annuel de remplissage de la retenue barrage de Foum El Gharza marqué une importance du déficit de régularisation du barrage, montre un abaissement critique du stock d'eau jusqu'à l'usage du volume mort, tels sont les éléments qui ont caractérisé le fonctionnement de la retenue du barrage de Foum El Ghrza à travers l'analyse des bilans annules de la retenue sur la période 1950- 2008.

L'évaluation du bilan hydrologique du barrage de Foum El Gharza fournit une bonne appréciation de la qualité des données en vue d'une future optimisation du modèle utilisé. Ce barrage est aujourd'hui dans un état d'envasement très avancé, ce qui a réduit considérablement sa capacité d'emmagasinement

Les résultats de l'étude sont à considérer dans un cadre de valorisation de l'information hydro pluviométrique et climatique disponible au barrage de Foum El Gherza. Ils sont à améliorer dans le but de constituer des outils de gestion et de protection des ressources naturelles, qui sont déterminées en fonction des usages selon les besoins en eau d'irrigation.

Bibliographie

Référence Bibliographiques

Abdellaoui B., Merzouk A., Aberkan M et Albergel J., (2002), Bilan hydrologique et envasement du barrage Saboun (Maroc), revue des sciences de l'eau, Rev. Sci. Eau 15/4 (2002), p737-748.

Aellen M. et Funk M., (1990), Bilan hydrologique du bassin versant de la Massa et bilan de masse des glaciers d'Aletsch (Alpes bernoises, Suisse), Hydrologie in Mountainous Régions. I-Hydrological Measurements; the Water Cycle (Proceedings of two Lausanne Symposia, August 1990). IAHS Publ. n° 193, 1990.

Aidoudi L. et Sebaâ L., (2008), Etude de la représentativité de la pluie moyenne du bassin versant d'oued Abiodh, Mémoire fin d'étude d'ingénieur d'état, Faculté des Sciences et de la technologie, département d'hydraulique et géni civile, Uuniversité Mohamed khaider de Biskra.

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

ANBT, (2004), Hauteur-Surface-Capacité (mesure janvier 2004), méthode d'interpolation Krigng pour calculer les apports du barrage, Agence Nationale des Barrages et Transferts (Barrage Foum El Gherza), Biskra Algérie (27p).

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

ANRH, (2002), Atlas des température et des évaporations du Nord de l'Algérie**,** projet de coopération Algéro-Allemande n° 92 21 835, ministère des ressources en eau, ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrique), conception et impression à l'I.N.C.T, juin 2002 Algérie.

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

Croteau A., (2006), Atlas du bassin versant de la rivière Châteauguay, (eau souterraine), Anne Croteau, INRS-ETE (2006).

Djeddou M., (2000), Contribution de la valorisation de la vase cas d'étude barrage Foum el Gharza(wilaya de Biskra), Thèse de magister, Ecole nationale supérieure de l'hydraulique Blida.

Djeghlaf S. et Bensaid M., (2005), Surveillance et Auscultation du barrage de Foum EL Gherza -Biskra-, Mémoire fin d'étude d'ingénieur d'état, Faculté des Sciences et de la technologie, département d'hydraulique et géni civile, Université Mohamed khaider de Biskra.

Dubreull P., (1966), (Directeur de recherche à l'ORSTOM), Conditions requises de l'observation des barrages réservoir en région intertropicale pour fournir une bonne estimation des termes du bilan hydrologique.

Haoues C., (2007), Evaluation par analyse multicritères du risque d'érosion dans la vallée de l'Oued Labiod (Approche systémique), Thèse de magister, faculté des sciences, département des sciences de la terre, université El Hadj Lakhdar, Batna, Algérie.

Kasmiouri D et Zedane A, (2007), Caractérisation des crues de Oued Abiodh au droit du barrage Foum El Gharza, Mémoire fin d'étude d'ingénieur d'état, Faculté des Sciences et de la technologie, département d'hydraulique et géni civile, Université Mohamed khaider de Biskra.

Krimil F., (2008), Essai de modélisation de la gestion du barrage de Foum El Gherza (W. de Biskra), Thèse de magister, Faculté des sciences de l'ingénieur Département d'Hydraulique, université colonel El Hadj Lakhdar, Batna, Algérie.

Lamy C. et Dubreuil V.,(2010), Impact des sécheresses en Bretagne sur le bilan hydrologique (Modélisation à partir du climat d'années passées), COSTEL-LETG (UMR 6554 CNRS), Université Européenne de Bretagne, Rennes 2, Place du Recteur H. Le Moal, 35043 Rennes Cedex, France, 23ième Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Rennes 2010.

Lebdi F. et Lamddalena N, (2002), Projet water saving in irrigated agriculture (WASIA), rapport final, pp. 219-245, Tunisie.

Le Moine N., (2005), Déterminants du bilan en eau à l'échelle du bassin versant (Vers une estimation réaliste des pertes des bassins de surface), Master 2 Sciences de l'univers-Ecologie Environnement, Parcours Hydrologie Hydrogéologie, Université Pierre et Marie Curie.

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

Mebarki A., (2009), Ressources en eau et aménagement en Algérie (Les bassins hydrographique de l'est), Office des publications universitaires, Alger, (389p.).

Musy A. et Higy C., (2003), Hydrologie (une science de la nature), collection gérer l'environnement, presses polytechnique et universitaires Romandes (314p).

Remini B., (2010), La problématique de l'eau en Algérie de Nord, Larhyss Journal, Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface, N° 08, juin 2010, (p.27-40).

Sari Ahmed A. (2009), L'hydrologie de surface (cours), Editions Houma, Alger (223p).

Toumi A. et 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. et 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, (p.25-38).

Vuillaume G., (1981), Bilan hydrologique mensuel et modélisation sommaire du régime hydrologique du lac Tchad, Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrol., vol. XVIII, n° 1, 1981.

www.anrh.dz, Site de l'Agence notionnel des ressources hydrique, Algérie.

Tables des illustrations

TABLES DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES FIGURES

Chapitre I.

Figure I.1. Représentation du cycle de l'eau 16
Figure I.2. Schématisation du bassin versant 18

Chapitre II.

Figure II.1 Diagramme conceptuel d'un système hydrologique 22
Figure II.2.Schéma théorique du bilan d'un réservoir 35

Chapitre III.

Figure III.1.Bassin versant d'oued El Abiodh « 15 » 43
Figure III.2.Profil en long d'Oued Abiodh 45
Figure III.3.Courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued El Abiodh 47
Figure III.4.Carte du réseau hydrographique d'Oued Abiodh 49
Figure III.5.Carte de situation des stations pluviométriques du bassin versant d'oued Abiodh 52
Figure III.6 Variation de la pluie mensuelle aux stations: a; b;c ; d; e; 53
Figure III.7.Carte d'évapotranspiration potentielle moyenne annuelle de l'Algérie du nord 56
Figure III.8.Carte d'utilisation du sol et des formations végétales 59
Figure III.9.Coupe géologique du bassin versant d'oued Abiodh 61
Figure III.10.Carte l'éthologique du BV de Oued Abiodh 63
Figure III.11. Situation géographique du barrage de Foum-el-Gherza Biskra, Algérie 64
Figure III.12.La retenue du barrage de Foum El Gherza 65
Figure III.13.Le mur du barrage de Foum El Gherza 66
Figure III.14.Abri météorologique du barrage de Foum El gherza 69

Chapitre IV.

Figure IV.1.Pluviomètre de mesure des pluies au barrage de Foum El Gherza 74
Figure IV.2.et IV.3. Position de l'échelle limnimétrique sur la digue du barrage 74
Figure IV.4. Bac d'évaporation de Colorado au barrage de Foum El Gherza 67
Figure IV.5. Bac d'évaporation classe A au barrge de Foum El Gherza 76
Figure IV. 6, IV.7, IV.8, IV.9. Le canal d'irrigation du barrage de Foum El Gherza 77
Figure IV.10.Disposition des piézomètres par rapport à l'écran d'étanchéité 78
Figure IV. 11.Piézomètre de fuite a la rive gauche du barrage de Foum El Gherza 79
Figure IV.12.Piézomètre de fuite sur la dige du barrge de Foum El Gherza 79
Figure IV.13.Chambre de vidange des eaux du barrage Foum El Gherza 80
Figure IV.14.Evacuateur de crue du barrage de Foum El Gherza en plein déversement 81

Chapitre V.

Figure V.1. Variation interannuelle des pluies au barrage de Foum El Gherza 87
Figure V. 2.Histogramme de variation annuelle des pluie (1951/1952) 88
Figure V. 3.Histogramme de variation annuelle des pluie (1959/1960) 88
Figure V. 4 Histogramme de variation annuelle des pluie (1998/1999) 88
Figure V.5. Variation mensuelle des pluies 89

Figure V. 6.Histogramme de variation du pluie au mois de juillet 90
Figure V.7 .Histogramme de variation du pluie au mois d'aout 90
Figure V. 8.Histogramme de variation de la pluie au mois de novembre 90
Figure V. 9 Histogramme de variation de la pluie au mois de mars 91
Figure V. 10. Histogramme de variation du pluie au mois d'avril 91
Figure V. 11. Histogramme de variation du pluie au mois de janvier 91
Figure V.12.Variation interannuelle des apports au barrage du Foum El Gherza 92
Figure V.13.Histogramme de variation annuelle des apports au barrage FG (1957/1958) 93
Figure V.14.Histogramme de variation annuelle des apports au barrage FG (1958/1959) 93
Figure V.15.Histogramme de variation annuelle des apports de barrage FG (1963/1964) 93
Figure V.16.Histogramme de variation annuelle des apports de barrage FG (1969/1970) 93
Figure V.17.Histogramme de variation annuelle des apports de barrage FG (1966/1967) 94
Figure V. 18.Histogramme de variation annuelle des apports de barrage FG (1982/1983) 94
Figure V.19 .Histogramme de variation annuelle des apports de barrage FG (1996/1997) 94
Figure V. 20.Histogramme de variation annuelle des apports de barrage FG (1999/2000) 94
Figure V.21.Variation mensuelle des apports 85
Figure V. 22.Histogramme de variation du mois de septembredu barrage Foum ElGherz 96
Figure V. 23.Histogramme de variation du mois de mars du barrage Foum El Gherza 96
Figure V.24.Histogramme de variation du mois d'avril du barrage Foum El Gherza 96
Figure V.25.Histogramme de variation du mois d'aout du barrage Foum El Gherza 96
Figure V.26.Variation interannuelle des évaporations du (1950 à 2008) 97
Figure V. 27.Histogramme de variation annuelle de l'évaporation (1961/1962) 98
Figure V. 28.Histogramme de variation annuelle de l'évaporation (1981/1982) 98
Figure V .29.Histogramme de variation annuelle de l'évaporation (1951/1952) 98
Figure V.30. Histogramme de variation annuelle de l'évaporation du barrage FG (1964/1965) 98
Figure V. 31.Histogramme de variation annuelle de l'évaporation (2001/2002) 98
Figure V. 32.Histogramme de variation annuelle de l'évaporation (1966/1967) 99
Figure V.33. Histogramme de variation annuelle de l'évaporation (1951/1952) 99
Figure V.34. Variation mensuelle de l'évaporation 100
Figure V. 35. Histogramme de variation de l'évaporation de septembre 100
Figure V. 36. Histogramme de variation de l'évaporation de mai 100
Figure V. 37. Histogramme de variation de l'évaporation de décembre 101
Figure V. 38. Histogramme de variation de l'évaporation de janvier 101
Figure V.39. Variation interannuelle des irrigations à partir du (1950 à 2008) 101
Figure V. 40.Histogramme de variation mensuelle de l'irrigation(1950//1951) 102
Figure V. 41.Histogramme de variation mensuelle de l'irrigation(1961/1962) 102
Figure V. 42.Histogramme de variation mensuelle de l'irrigation (1996//1997) 102
Figure V. 43.Histogramme de variation mensuelle de l'irrigation (2007/2008) 102
Figure V. 44.Histogramme de variation mensuelle de l'irrigation (1960/1961) 102
Figure V. 45.Histogramme de variation mensuelle de l'irrigation (1964/1965) 102
Figure V. 46.Histogramme de variation mensuelle de l'irrigation (1965/1966) 103
Figure V.47.Variation mensuelle de volume d'irrigation 103
Figure V. 48.Histogramme de variation de l'irrigation de septembre 104

Figure V. 49.Histogramme de variation de l'irrigation de juillet 104
Figure V. 50.Histogramme de variation de l'irrigation de novembre 105
Figure V. 51.Histogramme de variation de l'irrigation de février 105
Figure V. 52.Variation interannuelle des volumes déversés (1950 à2008) 105
Figure V. 53.Histogramme de variation annuelle du volume déversé (1958/1959) 106
Figure V. 54.Histogramme de variation annuelle du volume déversé (1963/1964) 106
Figure V. 55.Histogramme de variation annuelle du volume déversé (1989/1990) 106
Figure V. 56.Histogramme de variation annuelle du volume déversé (1995/1996) 106
Figure V .57.Histogramme de variation annuelle du volume déversé (2003/2004) 106
Figure V. 58.Histogramme de variation annuelle du volume déversé 106
Figure V. 59.Histogramme de variation mensuelle de volume déversé (2005/2006) 107
Figure V.60.Variation mensuelle des volumes déversés 109
Figure V. 61.Histogramme de variation de déversement d'avril 109
Figure V. 62.Histogramme de variation de déversement de janvier 109
Figure V. 63.Histogramme de variation de déversement de septembre 109
Figure V. 64.Histogramme de variation de déversement de février 109
Figure V. 65.Histogramme de variation de déversement de mars 110
Figure V. 66.Variation interannuelle des volumes vidangés (1950 à 2008) 111
Figure V. 67. Histogramme de variation mensuelle de volume vidangé (1966/1967) 111
Figure V. 68. Histogramme de variation mensuelle de volume vidangé (2003/2004) 111
Figure V.69.Variation mensuelle des volumes vidangés 113
Figure V.70. Variation interannuelles des fuites du barrage 113
Figure V. 71.Histogramme de variation annuelle du volume des fuites (1959/1960) 114
Figure V. 72 .Histogramme de variation annuelle du volume des fuites (1969/1970) 114
Figure V. 73 .Histogramme de variation annuelle du volume des fuites (1989/1990) 114
Figure V. 74 .Histogramme de variation mensuelle du volume des fuites (1982/1983) 114
Figure V.75. Variation mensuelle des fuites 115
Figure V. 76.Histogramme de variation du volume de fuite de novembre 116
Figure V. 77.Histogramme de variation du volume de fuite de mai au Gherza 116
Figure V. 78.Histogramme de variation du volume de fuite de septembre 116
Figure V. 79.Histogramme de variation du volume de fuite d'aout au barrage 116
Chapitre VI.
Figure VI.1.Variation des volumes annuels des éléments du bilan hydrologique 122
Figure VI.2.Variation des volumes mensuels déversés durant 2003-2005 123
Figure VI.3. La répartition des entrées et sorties (1950-2008) 126
Figure VI.4. Résultats du bilan hydrologique 127

Liste des Tableaux

Chapitre II

Tableau II.1. L'impact des différents facteurs qui affectent le bilan 23
Tableau II.2. Répartition de l'eau sur le globe terrestre 37
Tableau II.3. Bilan annuel de l'eau sur le globe terrestre 37

Chapitre III

Tableau III.1. Variation de surface en fonction de l'altitude 47
Tableau III.2. Caractéristiques morphometriques et hydrographiques du B.V 50
Tableau III.3. Classification des reliefs d'après l'ORSTOM 50
Tableau III.4. Cordonnées des stations pluviométriques 52
Tableau III.5. Le régime des vents par mois dans le bassin d'oued Abiodh 54
Tableau III.6 : Les températures mensuelles pour les stations de Batna et Foum El Gherza 55
Tableau III.7. Les évapotranspirations moyennes mensuelles de Biskra, Batna et Arris 57
Tableau III.8. Les caractéristiques des matériaux du bassin versant 62
Tableau III.9. Les caractéristiques du barrage de Foum El Gherza 67

Chapitre IV

Tableau IV.1. Echantillon de points de référence de Hauteur-Surface-Capacité 75

Chapitre V

Tableau V.1. Apport mensuels et annuels du barrage (1950/1951 à 2007/2008) 84
Tableau V.2.Pluies mensuelles et annuelles du barrage (1950/1951 à 2007/2008) 84
Tableau V.3. Evaporations mensuelles et annuels du barrage (1950/1951 à 2007/2008) 84
Tableau V.4.Irrigations mensuelles et annuelles à partir du barrage(1950/1951 à 2007/2008) 85
Tableau V.5. Déversements mensuels et annuels du barrage (1950/1951 à 2007/2008) 85
Tableau V.6.Vidanges mensuelles et annuelles du barrage (1950/1951 à 2007/2008) 85
Tableau V.7.Fuites mensuelles et annuelles du barrage (1950/1951à2007/2008) 86
Tableau V.8. Paramètres statistiques des précipitations mensuelles au barrage de Foum El Gherza 86
Tableau V.9. Paramètres statistiques des apports mensuels au barrage de Foum El Gherza 95
Tableau V.10. Paramètres statistiques des évaporations mensuelles du barrage de Foum El Gherza. 99
Tableau V.11. Paramètres statistiques des irrigations mensuelles du barrage 103
Tableau V.12. Les volumes déversés du barrage 107
Tableau V.13. Paramètres statistiques des volumes mensuels déversés 108
Tableau V.14. Paramètres statistiques des volumes mensuels vidangés 112
Tableau V.15. Paramètres statistiques des fuites mensuelles du barrage de Foum El Gherza 115

Chapitre VI

Tableau VI.1. Les données annuelles des éléments du bilan hydrologique 120
Tableau VI.2: Bilan hydrologique annuels de la retenu du barrage de Foum El Gherza 124