

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Ecole Nationale Polytechnique
Département Hydraulique



Mémoire de projet de fin d'études
pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique

Etude d'impact des digues des oueds de Laadhira
et Labiod sur le système de gestion de l'eau du
Mzab.

Réalisé par :

AHMANI FERDI Salah

Sous la direction de BENZIADA Salim et TALEB BAHMED Ali

Présenté et soutenue publiquement le (25/10/2020)

Composition du jury :

Président Dr. TACHI Salah Eddine

Promoteur Mr. BENZIADA Salim
Mr. TALEB BAHMED Ali

Examineur Mr. MESSAHLI Rabie

Invité Mr. SIOUSIOU Rostom

ENP 2020

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Ecole Nationale Polytechnique
Département Hydraulique



Mémoire de projet de fin d'études
pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique

**Etude d'impact des digues des oueds de Laadhira
et Labiod sur le système de gestion de l'eau du
Mzab.**

Réalisé par :

AHMANI FERDI Salah

Sous la direction de BENZIADA Salim et TALEB BAHMED Ali

Présenté et soutenue publiquement le (25/10/2020)

Composition du jury :

Président	Dr. TACHI Salah Eddine
Promoteur	Mr. BENZIADA Salim Mr. TALEB BAHMED Ali
Examineur	Mr. MESSAHLI Rabie
Invité	Mr. SIOUSIOU Rostom

ENP 2020

Dédicace

Je dédie ce travail à :

*Ma très chère mère pour m'avoir mis au Monde et qui m'a toujours
apporté son amour et son affection*

Que dieu ait pitié de toi maman

*Mon cher père, qui a toujours su me donné les meilleurs conseils pour ma
réussite, qui m'a toujours encouragé, et soutenu*

Que dieu le garde

A ma grande mère

A mes frères et mes sœurs

A toute ma famille

A mes très chers amis

Et mes camarades de la promo d'hydraulique 2019/2020.

Salah

Remerciement

En tout premier lieu, nous remercions Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous aide et nous donne la force, la patience et le courage durant ces longues années d'étude, d'accomplir ce modeste travail.

*Au terme de cette modeste étude, je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance et nos chaleureux remerciements Mlle **BENMAMARE Saâdia** son soutien, ses conseils, et surtout sa gentillesse.*

*Nous tenons à remercier Mr. **BENZIADA Salim** pour ses conseils, ses consignes, et sa gentillesse.*

*Je remercie aussi cordialement Mr. **SIOUSIOU Rostom**, pour sa gentillesse, son ambition et son sérieux.*

*Je tiens à remercier Mr. **ALI TALEB BAHMED** pour le soutien, l'aide et les conseils qu'il m'a dispensé pour l'élaboration de ce présent mémoire.*

Je remercie également le président et les membres du jury qui nous feront l'honneur de juger notre travail.

A tous les enseignants du département d'hydraulique qui ont contribué à ma formation.

Je remercie enfin toutes les personnes qui ont contribués de près ou de loin à la réalisation de ce travail

ملخص

إن عملنا هذا يتمثل في دراسة تأثير السدين بلعديرة ولبييض على نظام تجميع و تقسيم مياه السيول بواد مزاب بهدف تبيان مختلف التأثيرات التي قد تنجم عنهما. ولهذا الصدد قمنا بتقدير كمية تدفق المياه في مختلف فترات الرجوع قبل وبعد السدين لغرض استعمالها في محاكاة نظام تقسيم المياه بمختلف الحالات قبل و بعد السدين. المحاكاة أظهرت أن نظام تقسيم المياه لم يعد يعمل كما في السابق وذلك بسبب التأثير السلبي للسدين عليه

كلمات مفتاحية

سد لعديرة، سد لبييض، نظام تقسيم المياه، واد مزاب، تأثير، بوشمجان، بوشن.

Abstract

Our work, which is entitled the impact study of the Laadhira and Labiod dikes on the Oued Mzab water collection and sharing system, aims to show the impact of dams on this ancestral system.

This study was done by quantifying the peak flows of different return periods to construct the flood hydrographs before and after the dikes in order to simulate the different possible scenarios.

The simulation shows that the system no longer works as before due to the large negative impact of the dams.

Key words

Dike of Labiod, dike of Laadhira, collection system, Mzab, impact, Bouchen, Bouchemdjen.

Résumé

Le travail traite de l'impact des digues de Laadhira et de Labiod sur le système de collecte et de partage des eaux de l'oued Mzab.

Pour se faire, un essai de quantification des débits de pointe pour différentes périodes de retour a été effectué. Et cela, afin de construire les hydrogrammes de crue simulant les différents scénarios possibles et montrant ainsi l'impact négatif des digues sur le système en son amont et en son aval.

Mots clés

Barrage de Laadhira, barrage de Labiod, système de partage, oued Mzab, impact, Bouchen, Bouchemdjen.

Table des matières

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	11
Chapitre I Présentation de la vallée du Mزاب.....	12
I.1. Introduction	12
I.2. Situation géographique.....	13
I.3. Historique de la vallée du Mزاب :.....	15
I.4. Les régions naturelles de la wilaya :	15
I.5. Climatologie	16
I.6. Relief	17
I.7. Végétation	17
I.8. Aperçu Hydrologique	17
I.9. Description générale de l'Oued Mزاب.....	19
I.10. Caractéristiques de la région	20
I.11. Aspect géologique	20
I.12. Ressources en eau de la vallée du Mزاب	22
I.12.1. Eaux de surface	22
I.12.2. Eaux souterraines	22
I.13. Conclusion.....	23
Chapitre II Etude hydrologique.....	24
II.1. Introduction.....	24
II.2. Etude pluviométrique.....	24
II.2.1. La collecte des données des précipitations maximales journalières.....	25
II.2.2. Le traitement statistique des précipitations journalières.....	27
II.2.3. Présentation du logiciel EasyFit	29
II.2.4. Pluie journalière maximale fréquentielle.....	36
II.3. Caractéristiques du bassin versant	36
II.3.1. Délimitation des bassins versants	37
II.3.2. Longueur du cours d'eau principale	38
II.3.3. Surface et périmètre	40
II.3.4. Résultats.....	41

II.4. Débits de crues	41
II.4.1. Introduction	41
II.4.2. Matériels et méthodes	41
II.4.3. Hydrogramme de crue	45
II.5. Conclusion	49
Chapitre III Description et fonctionnement du système hydraulique de partage des eaux de la palmeraie	50
III.1. Introduction	50
III.2. Présentation générale de la palmeraie de Ghardaïa	50
III.3. Situation géographique de la palmeraie de Ghardaïa	50
III.4. Description et fonctionnement du système hydraulique de la partie collecte des eaux d'oued Mzab	51
III.4.1. Introduction	51
III.4.2. Description (Figure)	51
III.4.3. Fonctionnement	57
III.5. Description et fonctionnement de la partie partage des eaux collectées	58
III.5.1. Le partage des eaux au niveau de l'Ouvrage « Tissambads de partage »	58
III.6. Conclusion	60
Chapitre IV Etude d'impact des barrages	61
IV.1. Introduction	61
IV.2. Etude d'impact	61
IV.3. L'évaluation environnementale	62
IV.3.1. Qu'est-ce qu'un barrage ?	62
IV.3.2. Impact des barrages sur les cours d'eau	62
IV.3.3. Utilité des barrages.....	62
IV.3.4. Intérêt des barrages dans la mobilisation de l'eau	63
IV.3.5. La limitation des risques d'inondation par les barrages en aval	63
IV.3.6. L'efficacité des barrages	64
IV.3.7. Le risque de rupture des barrages	65
IV.3.8. La résistance des barrages devant les crues	66
IV.3.9. Les différentes perturbations provoquées par les barrages	66
IV.4. Présentation des digues de Laadhira et Labiod	67
IV.5. Conclusion.....	67
Chapitre V Modélisation du système de partage des eaux de Mzab	68
V.1. Introduction.....	68
V.2. Calculs des débits du système de régulation du canal de Bouchemdjen	68

V.2.1. Calcul du débit passant par les ouvertures de régulation « Tissambads » du canal de Bouchemdjén	68
V.2.2. Calcul du débit passant par les ouvertures de régulation « Tissambad » du canal de Bouchen.....	70
V.2.3. Calcul de la capacité du barrage de Bouchene	70
V.3. Schéma de modélisation du fonctionnement du système de collecte sans/avec digues	72
V.3.1. Considérations de modélisation du système.....	72
V.3.2. Scénarios de simulation du système	73
V.3.3. Algorithme de la partie collecte du système de gestion de l'eau de l'oued Mzab	74
V.3.4. Algorithme du barrage de Labiod et Laadhira	75
Chapitre VI Résultats et discussion.....	78
VI.1.1. Résultats de simulation	78
Conclusion générale	92
Bibliographie	94

Liste des figures

Figure I.1. Limites administratives de la wilaya de Ghardaïa.....	14
Figure I.2. Les régions naturelles (ANRH Ouargla, 2003).....	16
Figure I.3. Bassin versant des oueds de la région du Mzab (ANRH Ouargla, 2003)	18
Figure I.4. Bassin versant de Laadhira et de Labiod au point d'exutoire « Amlaga » le point de confluence au début de l'oued Mzab. (ArcGIS)	19
Figure I.5. Carte géologique de la wilaya de Ghardaïa (OULED.S.A.T, 2016).....	21
Figure II.1. Pluies journalières maximales.	25
Figure II.2. Ajustement à la loi de Log Normal.....	31
Figure II.3. Ajustement à la loi de Gumbel.	34
Figure II.4. Modèle numérique du terrain de Ghardaïa.	36
Figure II.5. Bassin versant du Mzab.	37
Figure II.6. Tableau des longueurs de tous les affluents.....	38
Figure II.7. Cours d'eau principale du BV de Laadhira et le tableau des longueurs.....	38
Figure II.8. Somme des longueurs	39
Figure II.9. Cours d'eau principal de Laadhira et de Labiod avec leurs affluents.....	39
Figure II.10. Calcul de la surface et le périmètre dans ArcGIS.....	40
Figure II.11. Bassin versant de Laadhira et Labiod en modèle polygone.....	41
Figure II.12. Carte de localisation des bassins hydrographiques de l'Algérie (ANRH).....	42
Figure II.13. Hydrogrammes de crue du bassin versant de Laadhira.	48
Figure II.14. Hydrogrammes de crue du bassin versant de Labiod.	48
Figure III.1. Photo satellitaire de la partie collecte du système (Google Earth 2020).....	51
Figure III.2. Figure schématique de la partie collecte des eaux.	52
Figure III.3. Ouvertures de régularisation de canal de Bouchemdjen (DJOUDI et RAFA, 2009).....	53
Figure III.4. Vannes métallique de régularisation de débit. (DJOUDI et RAFA, 2009).....	53
Figure III.5. Déversoir de canal de Bouchemdjen vers le canal de Bouchen (DJOUDI et RAFA, 2009).....	54
Figure III.6. Déversoir de canal de Bouchemdjen vers le barrage de Bouchen (DJOUDI et RAFA, 2009).....	55
Figure III.7. Digue d'Inerez (DJOUDI et RAFA, 2009).	55
Figure III.8. Retenue de barrage Bouchen (Projet DELTA, 2004).....	56

Figure III.9. Puits capteur dans la retenue de barrage Bouchen (DJOUDI et RAFA, 2009)..	57
Figure III.10. Tissambads de partage de Bouchemdjen vers les jardins de la palmeraie (NACER, 2011).....	58
Figure III.11. Puits d'aération. (DJOUDI et RAFA, 2009).	59
Figure III.12. Puits d'aération (DJOUDI et RAFA, 2009).	59
Figure III.13. Canaux souterrains (DJOUDI et RAFA 2009).....	60
Figure IV.1. Allure de la crue avant et après le barrage.....	64
Figure IV.2. Allure de la crue avant et après le barrage.....	65
Figure V.1. Tissambad du premier point de régulation du canal de Bouchemdjen (NACER, 2011).....	69
Figure V.2. Orifice vanné (Carlier, 1980).	69
Figure V.3. Délimitation à main levée du bassin de barrage de Bouchen par ArcGIS.	71
Figure VI.1. Hydrogramme de crues de différentes périodes de retour avant et après le barrage de Labiod (le cas B-1 et 2).	80
Figure VI.2. Diagramme de taux de récupération de la crue de Labiod par le système de partage (cas B 1-2).	81
Figure VI.3. Volumes cumulés dans les différents canaux T=1 an avant la digue de Labiod (cas B-1)	82
Figure VI.4. Volumes cumulés dans les différents canaux T=1 an après la digue de Labiod (cas B-2)	82
Figure VI.5. Hydrogrammes de crues de différentes périodes de retour avant et après le barrage de Labadira (le cas A-1 et 2).	84
Figure VI.6. Diagramme de taux de récupération de la crue de Laadhira par le système de partage (cas A-1 et 2).	85
Figure VI.7. Volumes cumulés dans les différents canaux T=2 ans avant la digue de Laadhira (cas A-1).....	86
Figure VI.8. Volumes cumulés dans les différents canaux T=2 an après la digue de Laadhira (cas A-2).....	86
Figure VI.9. Hydrogrammes de crues de différentes périodes de retour avant et après les deux barrages (le cas C-1 et 2).....	88
Figure VI.10. Diagramme de taux de récupération des deux crues Laadhira-Labiod par le système de partage (cas C-1 et 2).....	89

Liste des tableaux

Tableau II.1. Caractéristiques de la station pluviométrique de Ghardaïa	25
Tableau II.2. Pluies journalières maximales observées à Ghardaïa (1975-2008).....	26
Tableau II.3. Statistique de la série.....	26
Tableau II.4. Les différents tests statistiques de la loi de Log Normal à partir du logiciel "EasyFit"	31
Tableau II.5. Les différents tests statistiques de la loi de Gumbel à partir du logiciel "EasyFit"	34
Tableau II.6. Pluies journalières maximales fréquentielles	36
Tableau II.7. Longueurs des oueds de Laadhira et de Labiod.	39
Tableau II.8. Surface et périmètre des BV de Laadhira et de Labiod.	41
Tableau II.9. Valeurs des coefficients A, B et n.	43
Tableau II.10. Caractéristique des bassins versants de Laadhira et de Labiod.	44
Tableau II.11. Résultats des débits de pointe de BV de Laadhira.	45
Tableau II.12. Résultats des débits de pointe de BV de Labiod.	45
Tableau II.13. Valeurs extrêmes de k en fonction de la superficie.....	47
Tableau II.14. Valeurs de K pour le BV de Laadhira et Labiod.....	47
Tableau IV.1. Différentes caractéristiques des barrages de Laadhira et de Labiod.....	67
Tableau V.1. Caractéristiques du barrage de Bouchen.	71
Tableau V.2. Différents scénarios de la simulation	73
Tableau VI.1. Débits de pointe de chaque période de retour.....	78
Tableau VI.2. La réponse du système à la crue venant du BV de Labiod (cas B-1 et 2).	81
Tableau VI.3. La réponse du système à la crue venant du BV de Laadhira (A-1 et 2).	85
Tableau VI.4. La réponse du système à la crue venant du BV total (cas C-1 et 2).	89

Introduction générale

Depuis plusieurs siècles, les habitants de la région du Mzab ont élaboré un système original de gestion d'une eau rare et précieuse liée à l'aridité du milieu. Le système permet la collecte, la distribution et le stockage des eaux de crue.

Les oueds de Laadhira et de Labiod sont les principaux affluents de l'oued Mzab. Depuis une dizaine d'années, deux digues ont été construites sur les axes principaux des deux oueds.

Il est évident que la construction de tels ouvrages devrait changer les régimes d'écoulement en aval des oueds, en influençant et/ou en altérant le fonctionnement initial ainsi que l'efficacité du système de gestion de l'eau du Mzab.

Ainsi, notre étude vise à évaluer l'impact des digues des oueds Laadhira et Labiod sur le fonctionnement du système de gestion de l'eau du Mzab et se déroulera en :

Un premier chapitre donnera un aperçu général des différentes caractéristiques de la zone d'étude. Il présentera sa situation géographique et ses caractéristiques géologiques, climatiques, hydrogéologiques et ces ressources en eau.

Un second chapitre traitera de la génération des hydrogrammes de crue de l'oued Mzab par la méthode « hydrogramme synthétique basé sur la loi de distribution de Galton avec périodes de retour relativement faibles (entre 2 ans et 50 ans) et serviront comme des entrées aux simulations du fonctionnement du système ancestral de gestion de l'eau de la vallée du Mzab.

Un troisième chapitre présentera un descriptif du fonctionnement hydraulique des différents ouvrages, constituant le système de collecte et de partage des eaux.

Un quatrième chapitre décrira les digues de Laadhira et de Labiod avec une revue de la littérature existante sur l'impact des barrages sur l'amont et l'aval du site de son implantation.

Un cinquième chapitre concernera une modélisation du système de collecte par une programmation en tableur (Excel) représentant le fonctionnement du système afin de générer un modèle pour simuler les différents cas d'étude.

Un sixième chapitre, exposera les différents résultats de simulation tout en analysant et interprétant ces résultats.

Et enfin, ce mémoire sera clôturé par une conclusion générale.

Chapitre I Présentation de la vallée du Mzab

I.1. Introduction

La vallée du Mzab, fondée au XI^{ème} siècle, est un véritable musée à ciel ouvert situé en plein désert et couvrant une superficie de 50 km². Elle est classée comme patrimoine national en 1971 et patrimoine de l'humanité par l'UNESCO depuis 1982, (UNESCO)

La particularité de cet héritage humain, est qu'il est de nos jours habité par sa population d'origine qui a mis au point un système ingénieux de structuration et d'aménagement de son territoire d'établissement, réputé par son aridité et son isolement.

Cette maîtrise de l'occupation spatiale et la capacité de capitaliser les moindres ressources sont le fruit d'un savoir-faire ancestral.

Le secret de la réussite prouvée sur plusieurs plans de ce modèle de société, s'explique par l'esprit qui a animé ses bâtisseurs en étant parfaitement conforme à leurs idéaux sociologiques, politiques et religieux. Ceci a donné naissance à une civilisation à part entière qui a permis l'épanouissement de l'individu avec son environnement et son milieu naturel depuis déjà mille ans.

Cette symbiose entre l'homme et son milieu naturel, connue particulièrement chez les berbères Zénètes du sud, a été aiguisé chez les Ibadites au Mzab depuis leur premier établissement humain, compte tenu de l'inhospitalité des lieux et de la rareté de l'eau. Mais le génie Mozabite, modelé par ses principes socioreligieux, a su extraire de ce milieu naturel stérile une multitude de richesses. Ainsi, il a instauré une économie du territoire pointue, basée sur l'exploitation rationnelle de l'espace au bénéfice d'une vie communautaire prospère. Ceci, s'est traduit par :

- La mise au point d'un système ingénieux de captage, de stockage et de distribution des eaux de crues qui sont des ressources hydriques rares.
- La création de vastes étendues de palmeraies avec une culture à trois étages.
- La construction d'un chapelet de ksour (cités fortifiées) d'une architecture avant-gardiste.
- La production d'un artisanat riche et varié couvrant les besoins de la vie quotidienne et développé au cours des siècles.

C'est dans le creux de l'oued Mzab, sur des pitons rocheux, que s'est érigée la pentapole ou les cinq cités : **Tagherdaït** (Ghardaïa), **At-Mlichet** (Mélika), **At-Bounour** (Bounoura), **Tajnint** (El Atteuf) et **At-Izgen** (Beni-Isguen). Chacune de ces cinq cités est entourée par des collines ravineées par l'érosion pluviale. Deux autres cités, **At-Ibergane** (Berriane) et **Iguerraren** (Guerrara) font partie aussi de la région, mais qui se situent en dehors de la vallée ; la première à 45 km au nord, la seconde à 110 km au nord-est.

L'exploitation de l'eau dans la vallée du Mزاب s'était opéré par le creusement progressif de quelques milliers de puits traditionnels atteignant la nappe phréatique et par un système ingénieux qui assure la retenue la canalisation et le partage des eaux de crues. Actuellement, l'alimentation en eau s'effectue par des forages, d'une profondeur variant de 350 à 500 mètres, puisant l'eau fossile de la nappe albienne (continental intercalaire).

I.2. Situation géographique

La vallée du Mزاب est située dans la wilaya de Ghardaïa, elle se situe à 600 Km au sud de la capitale Alger, sur une altitude moyenne de 600 m environ, et une longitude de 3°.45 Est, et latitude de 32°.50 Nord. Elle se trouve dans le plateau de la Hamada, dans le Sahara septentrional, où figure la Chébkha (filet) du Mزاب. C'est un plateau de calcaire disséqué en vallées et ravins qui s'enchevêtrent les uns dans les autres. Ainsi, sont sculptées les mailles de ce filet géant ouvert du Nord-ouest vers le Sud-est pour laisser passer l'Oued Mزاب (rivière ou torrent coulant à intervalles très irréguliers).

La Wilaya de Ghardaïa est limitée :

- Au Nord par la Wilaya de Laghouat ;
- Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa ;
- A l'Est par la Wilaya d'Ouargla ;
- Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset ;
- Au Sud-ouest par la Wilaya d'Adrar ;
- A l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayadh ;

Avec une superficie de plus de 86 105 km².

Elle est caractérisée par des plaines, des régions ensablées, la Chebka et l'ensemble de la région centrale et s'étend du Nord au Sud sur environ 450 km et d'Est en Ouest sur environ 200 km.

Du point de vue urbain, les agglomérations sont classées selon leur statut administratif, la Taille (nombre d'habitants) et la localisation par rapport aux axes principaux et l'importance (la hiérarchie fonctionnelle). De ce fait, Ghardaïa est une ville d'importance nationale, Guerrara, El-Menea, Metlili, et Berriane sont des villes d'importance régionale. En outre Bounoura, El-Atteuf et Hassi-El-Gara sont des centres urbains d'importance locale.



Figure : Schéma de localisation de la wilaya de Ghardaïa.

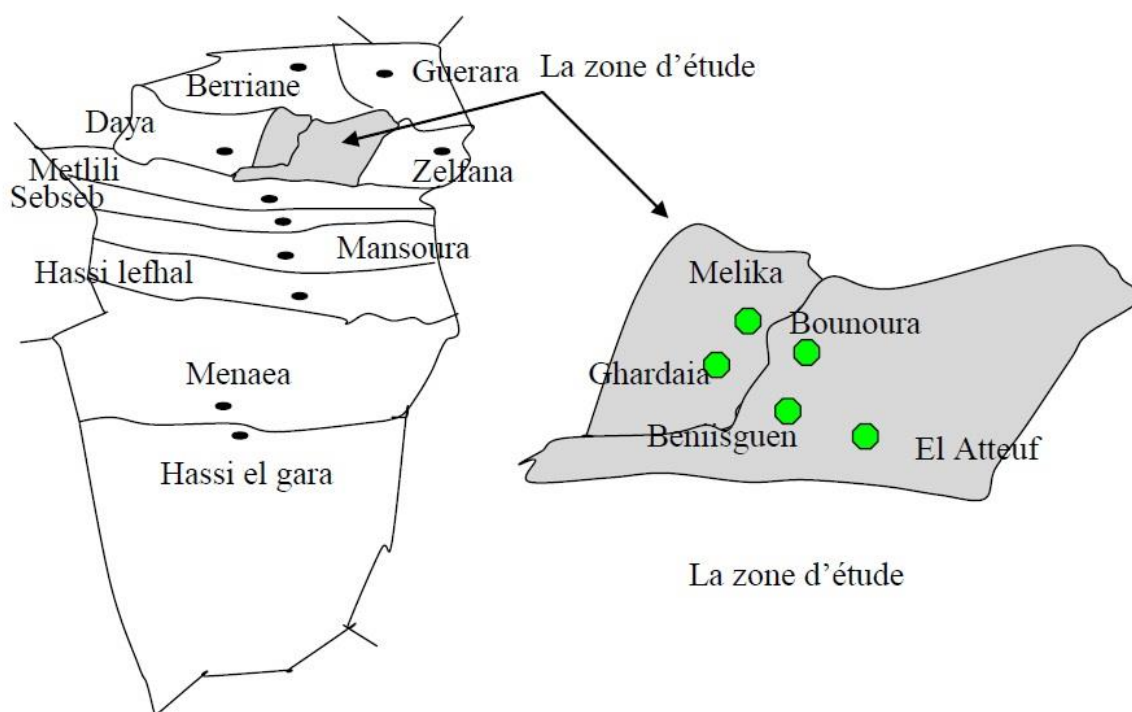


Figure I.1. Limites administratives de la wilaya de Ghardaïa.

I.3. Historique de la vallée du Mzab :

Les origines de la palmeraie de Ghardaïa et la première implantation par les Mozabites remontent au XI^e siècle.

- **Tajnint (El Atteuf)** : c'est la plus ancienne ville du Mzab; elle a été fondée en 1012 sur la rive droite de l'Oued Mzab à l'extrémité aval de la Pentapole et de manière bien détachée des quatre autres ksour.
- **At Bounour (Bounoura)** : fondée en 1046 sur la rive gauche de l'Oued Mzab, elle est située à 3 km à l'aval de Ghardaïa dont elle dépend économiquement comme les autres Igharman (ksour) de la Pentapole.
- **Tagherdaït (Ghardaïa)** : fondée en 1048 sur la rive droite de l'Oued Mzab et à l'amont des quatre autres centres; cette ville est le chef-lieu de la wilaya de Ghardaïa et la capitale commerciale du Mzab.
- **At-Mlichet (Mélika)** : fondée au début du XI^e siècle, cette petite cité domine la vallée de l'Oued Mzab et ne possède pas de palmeraie.
- **At Izguen (Beni-Isguen)**: fondée en 1347, au confluent de l'Oued Ntissa et de l'Oued Mzab, c'est la ville sainte du Mzab et le foyer intellectuel de l'Ibadisme; sa palmeraie s'étend sur 3 km le long de l'Oued Ntissa.

I.4. Les régions naturelles de la wilaya :

Les régions naturelles, de la wilaya sont :

- **Les plaines de la dalle hamadienne** : cuirasse calcaire avec, en surface un cailloutis anguleux;
- **Les régions ensablées** : partie du grand erg occidental avec des cordons dunaires particulièrement denses et élevés;
- **La chebka** : dorsale centrale à dominance calcaire en corniches continues de direction nord – sud.

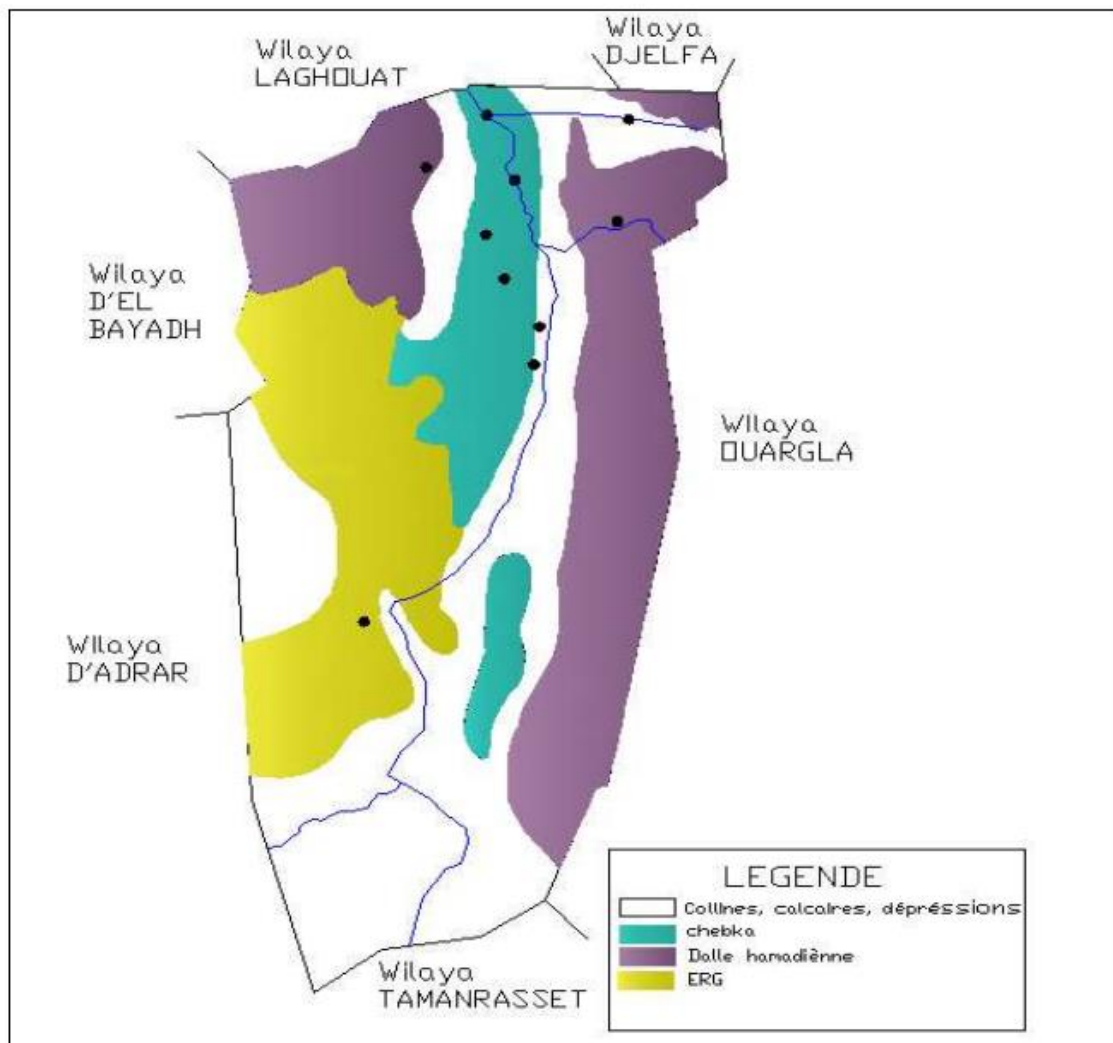


Figure I.2. Les régions naturelles (ANRH Ouargla, 2003).

I.5. Climatologie

Le climat de la région est typiquement saharien, caractérisé par deux saisons : une saison chaude et sèche (d'avril à septembre) et une autre tempérée (d'octobre à mars) avec un écart élevé entre les températures de l'été et celles de l'hiver. On enregistre une moyenne annuelle de 25°C, avec une évaporation de l'ordre de 2000 mm (Dubief, 1963).

- **Température**

L'analyse d'une série d'observations statistiques enregistrée au niveau de la Wilaya de Ghardaïa, sur une période d'observations de 10 ans, a fait ressortir que la température moyenne mensuelle enregistrée, est de 22,40 °C.

- **Précipitations**

La hauteur pluviométrique est faible. Le régime pluviométrique est irrégulier. La pluie peut faire défaut plusieurs saisons comme elle peut survenir à n'importe quelle saison (Dubief, 1963).

D'après les données statistiques, sur une période d'observation de 41 ans, on constate que la pluviométrie est très faible. La moyenne annuelle est de 68,4 mm Le nombre de jours de pluie ne dépasse pas onze (11) jours.

- **Humidité *******

Des données de la station météorologique de Ghardaïa montrent qu'il y a une période de sècheresse de mois de juin au mois de juillet et il y a une période humide qui est en automne et en hiver.

- **Vents**

Les vents dominants d'été sont forts et chauds tandis que ceux d'hiver sont froids et humides. Les vents de sable sont très fréquents dans la région d'El-Ménéa surtout pendant le printemps, les mois d'Avril, Mai et Juin. Pour ce qui est du Sirocco dans la zone de Ghardaïa, on note une moyenne annuelle de 11 jours/an pendant la période qui s'étend du mois de mai à Septembre.

- **Evapotranspiration**

La quantité d'eau évaporée dans la région de Ghardaïa est influencée par le degré de température, les vents et les précipitations. Elle augmente quand ceux-ci augmentent et vice versa.

I.6. Relief

Le relief de la wilaya est assez peu fluctuant. La bordure Est ne dépasse pas la cote 200 mètres. Dans le quart Nord - Ouest, les altitudes s'étagent entre 200 et 600 mètres. L'altitude moyenne de la wilaya est de 468 mètres.

I.7. Végétation

Dans toute la vallée, la végétation spontanée est très rare et ne se rencontre qu'en bordure des Oueds. Les espèces qui reverdissent après chaque pluie sont des herbacées et des arbustes appartenant à la flore saharienne.

I.8. Aperçu Hydrologique

L'hydrologie des déserts est encore mal connue en raison du faible nombre de données recueillies et de la difficulté de la documentation. Elle souffre de l'aridité, qui est la cause principale, et de la discontinuité des phénomènes (Fernand, 2006).

En effet, les Oueds sahariens n'ont pas un régime de crues régulier mais plutôt de caractère accidentel: quand les pluies s'abattent, les Oueds coulent quelques jours et débordent même (Gardi, 1973).

Le bassin versant de la région Mzab d'une superficie de 5000 Km² environ, est jalonné par un réseau très ramifié d'oued, appelé couramment Chebka (filet) (Dubief, 1953).

Il draine en grande partie les eaux de la dorsale de l'Ouest vers l'Est, les écoulements sont sporadiques, ils se manifestent à la suite d'averses orageuses que connaît la région (Dubief, 1963).

Nous englobons sous cette dénomination les cinq grands Oueds qui traversent la région à savoir :

- Oued Sebseb ;
- Oued Metlili ;
- Oued Mzab ;
- Oued N'sa ;
- Oued Zegrir.

L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du Mzab, ils drainent en grande partie les eaux de la dorsale de l'Ouest vers l'Est, leur écoulement est sporadique, il se manifeste à la suite des averses orageuses que connaît la région

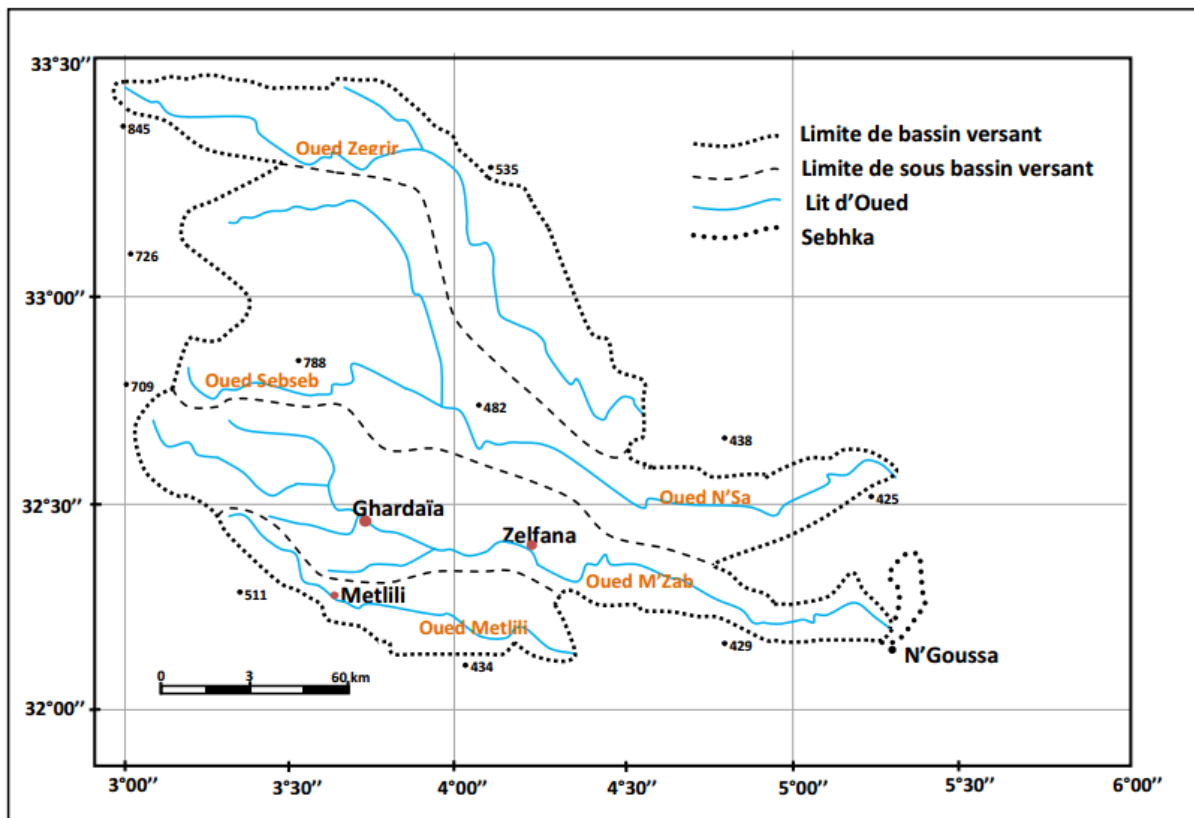


Figure I.3. Bassin versant des oueds de la région du Mzab (ANRH Ouargla, 2003)

Exceptionnellement, quand les pluies sont importantes, surtout au Nord-Ouest de la région de Ghardaïa, ces oueds drainent d'énormes quantités d'eaux. Les conséquences sont parfois catastrophiques et les dégâts sont souvent remarquables, notamment pour l'oued Mzab, et Metlili. (ANRH, 2003).

I.9. Description générale de l'Oued Mzab

L'Oued Mzab (figure (I-4)) coule sensiblement de l'Ouest vers l'Est sur un parcours de 320 Km environ, de la région de Botma Rouila, à 750 m d'altitude (où il prend sa source sous le nom d'Oued Labiod), à la Sebket Safiouna qui est à la cote de 107 m (Dubief, 1953).

Les principaux affluents d'Oued Mzab : Oued Labiod, est en amont de Ghardaïa, l'Oued Laadhira qui conflue à la Daïa Ben Dahoua et l'Oued Touzouz qui rejoint le Mzab immédiatement en amont de la palmeraie de Ghardaïa. En aval de ce centre, on rencontre à droite au niveau de At Izguen, l'Oued Ntissa qui traverse la palmeraie de cette ville, à gauche et à quelques centaines de mètres en aval du précédent, l'Oued Azouil dans le lit duquel sont situés les jardins de Bounoura (Dubief, 1953).

Sur la rive droite: l'oued Noumirate, sur celle de gauche, légèrement en amont de Zelfana: l'oued Nessaïmou. Enfin, très en aval de cette nouvelle Oasis, l'oued Hasseï, alias oued Ourillou qui draine la partie Nord du bassin du Mzab.

En outre, l'oued Mzab reçoit d'autres affluents de faible importance appelés "chaâbats», tel que chaâbat Benghanem sur la rive droite et celles de Bensmara et Azouil sur la rive gauche.

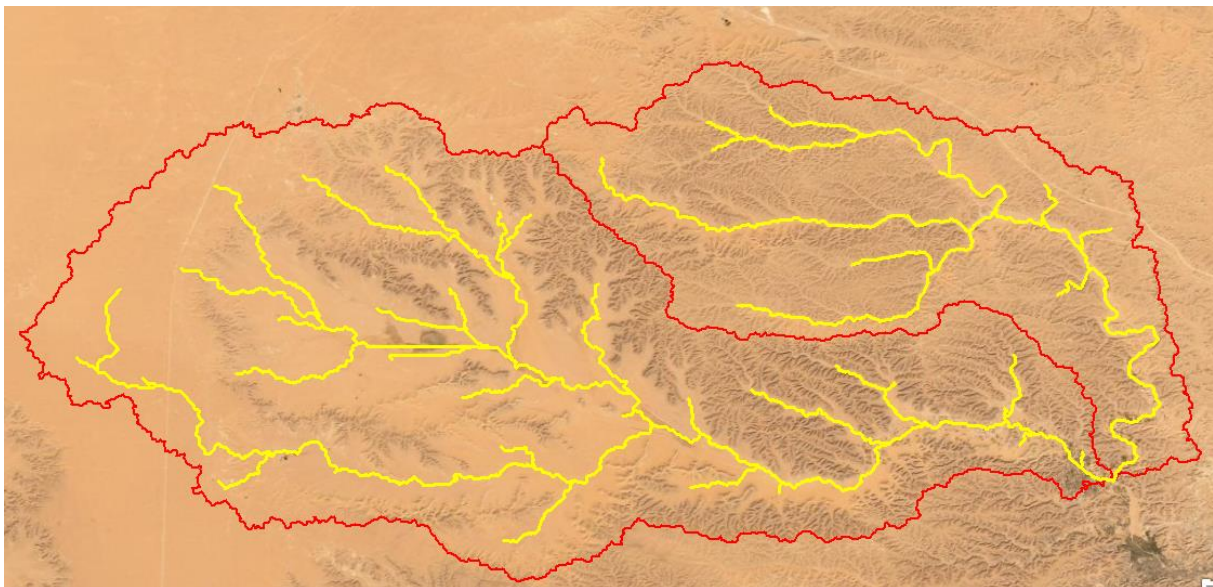


Figure I.4. Bassin versant de Laadhira et de Labiod au point d'exutoire « Amlaga » le point de confluence au début de l'oued Mzab. (ArcGIS)

I.10. Caractéristiques de la région

Les Escarpements rocheux et les oasis déterminent le paysage dans lequel sont localisées les villes de la pentapole du Mزاب et autour duquel gravitent d'autres oasis (Berriane, Guerrara, Zelfana, Metlili et beaucoup plus éloignée au Sud El-Ménéa).

L'appartenance au milieu saharien et aride contraint fortement l'occupation de l'espace. L'implantation des villes s'est faite par rapport aux grands axes de circulation et aux oasis et leur développement a été étroitement lié aux conditions naturelles (eau, climat, relief ...).

Le couvert végétal est pauvre, la structure et la nature du sol ne sont pas favorables à l'existence d'une flore naturelle abondante. La verdure est plutôt créée par l'homme. Cependant la région n'est pas dépourvue de végétation naturelle; elle est rencontrée dans les lits d'oueds.

C'est une région très active où le secteur tertiaire est prépondérant avec le commerce, le tourisme et l'artisanat ainsi que l'agriculture et l'industrie (ANRH Ouargla, 2003).

I.11. Aspect géologique

La wilaya de Ghardaïa, elle est située sur les bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Bas – Sahara. Les terrains affleurant sont en grande partie attribués au Crétacé supérieur, composés principalement par des dépôts calcaires turoniens dolomitiques ; qui forment un plateau subhorizontal appelé couramment "la dorsale du Mزاب".

L'épaisseur de ses massifs calcaires recoupés par les sondages est de l'ordre de 110 mètres. Sous les calcaires turoniens on recoupe une couche imperméable de 220 mètres formée d'argile verte et de marne riche en gypse et en anhydrite; elle est attribuée au Cénomani.

L'étage de l'Albien est représenté par une masse importante de sables fins à grès et d'argiles vertes. Elle abrite des ressources hydrauliques considérables, l'épaisseur est de l'ordre de 300 mètres.

Les alluvions quaternaires formées de sables, galets et argiles tapissent le fond des vallées des oueds de la dorsale, d'une épaisseur de 20 à 35 mètres. Ces alluvions abritent des nappes superficielles d'Inféro-flux (nappes phréatiques).

Pays de Chebka

Il est représenté comme un vaste et épais plateau, composé de terrains essentiellement carbonatés. Ce massif est élevé de plusieurs mètres d'altitude dans le nord-ouest, aride et dépouillé de toute végétation et il est littéralement taillé par d'innombrables ravins plus ou moins profonds, lesquels se joignent et s'enchevêtrent en dessinant des réseaux réticulés qui donnent par une vue aérienne une apparence d'un filet d'où l'appellation « Chebka » en arabe.

Les oueds de la Chebka sont regroupés en 12 bassins versants dont les cours d'eau principaux qui correspondent aux grands oueds connus dans la région sont à peu près parallèles, venant dans l'ensemble du NO et allant en pente faible vers le SE en suivant l'inclinaison générale du plateau du Mزاب. En allant du nord vers le sud, on distingue les grands oueds suivants : oued N'sa, oued Mزاب, oued Metlili, oued Sebseb, oued Chouikhat, oued El Fahl, oued Teghir, oued Bouali, oued Gouiret Moussa, oued El Khoua et oued BenBarour. L'âge du réseau hydrographique de la Chebka a été acquis au cours de Villafranchien supérieur, sous un climat de type méditerranéen.

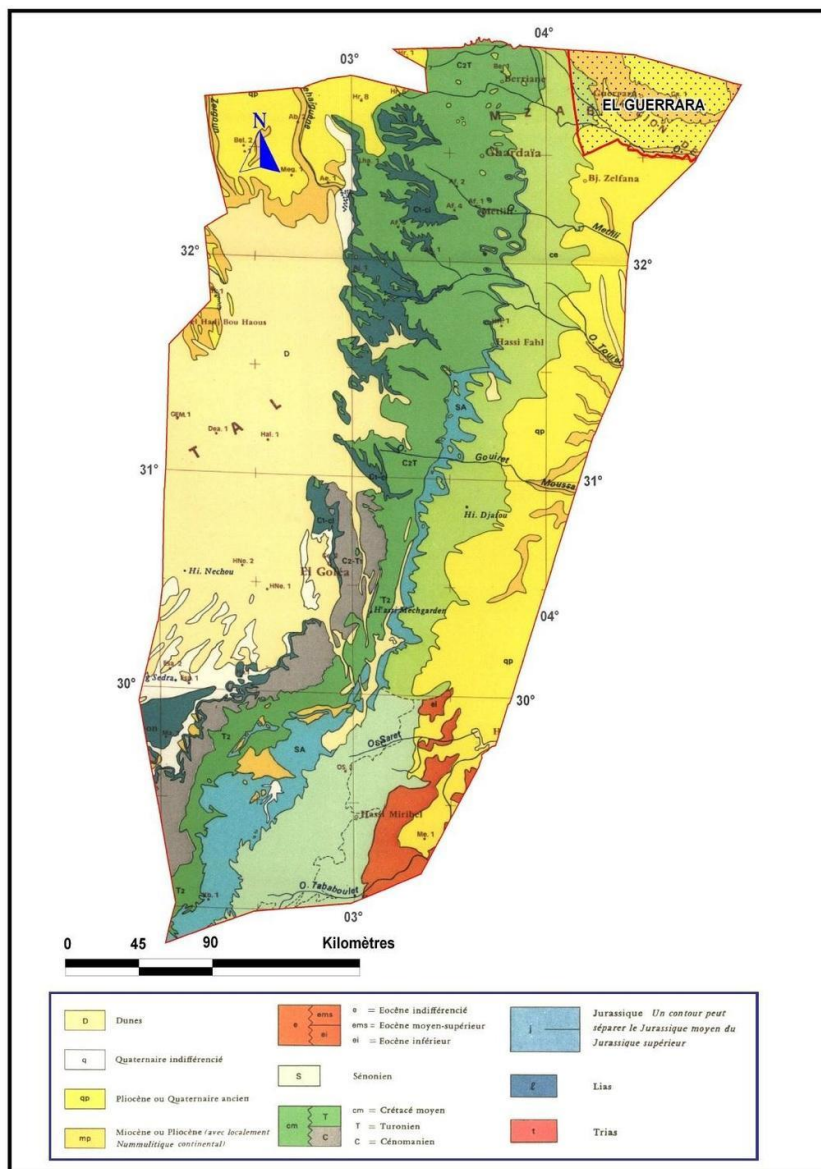


Figure I.5. Carte géologique de la wilaya de Ghardaïa (OULED.S.A.T, 2016)

I.12. Ressources en eau de la vallée du Mزاب

I.12.1. Eaux de surface-*****

Les eaux de surface sont rares, comme dans toutes les régions sahariennes. L'écoulement de l'Oued Mزاب est intermittent, il se manifeste à la suite d'averses orageuses.

Pour la gestion des crues de faible ampleur, un système hydraulique de gestion de l'eau de crue formé d'une série de petits barrages et des galeries souterraines (des canaux en surface, des seuils de déversement) a été conçu et implanté pour l'alimentation de la nappe phréatique et à l'irrigation de palmeraies.

I.12.2. Eaux souterraines

Les eaux souterraines constituent une provision d'eau potable inestimable pour la population en tant que ressource naturelle vitale et plus ou moins renouvelable.

Les eaux souterraines de la vallée du Mزاب proviennent de deux aquifères :

- L'aquifère des alluvions ;
- L'aquifère du Continental intercalaire.

I.12.2.a L'aquifère des alluvions

L'aquifère des alluvions renferme la nappe phréatique qui alimentait autrefois l'Oasis. D'après J. Flandrin (1952), le niveau de la nappe est situé entre 6 et 70 m de profondeur. L'alimentation de cette nappe est étroitement liée à la pluviométrie. Dès 1938, des forages au Continental Intercalaire ont peu à peu supplanté les puits de la nappe phréatique qui tendent à être abandonnés.

Cette nappe présente un intérêt très important dans le domaine agricole pour l'irrigation de la palmeraie de la vallée. Elle sert également pour l'alimentation en eau potable à l'amont, surtout dans la zone de Dayet Ben Dahoua : elle est exploitée par des puits traditionnels. Elle est alimentée essentiellement par les eaux de pluies torrentielles et par les eaux de la nappe profonde (albien) de certains forages destinés pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable : soit indirectement, par le drainage du surplus d'eau d'irrigation dans les périmètres agricoles alimentés par l'Albien ou alors accidentellement, par des fuites importantes et surtout quasi permanentes dans les réseaux de distribution.

I.12.2.b L'aquifère du Continental intercalaire

La nappe du Continental Intercalaire draine, d'une façon générale, les formations gréseuses et grés-argileuses du Barrémien et de l'Albien. Elle est exploitée, selon la région, à une profondeur allant de 250 à 1000m. Localement, l'écoulement des eaux se fait d'Ouest en Est.

I.13. Conclusion

La palmeraie de Ghardaïa a été fréquemment inondée d'une manière irrégulière et exceptionnelle aux écoulements d'importance variable. Ces inondations peuvent se produire en toutes saisons.

Des crues ont été signalées dans la région de Ghardaïa qui sont quelques fois très importantes, mais leurs apports et leurs fréquences restent encore inconnues. Les crues plus ou moins importantes se produisent donc à peu près chaque année, soit au cours d'un seul mois, soit à plusieurs reprises au cours d'une même année.

Ce ruissellement superficiel au Sahara qui est resté peu étudié jusqu'à ce jour peut se produire dans des oueds secs d'une manière accidentelle et résultant d'une crue violente en une courte durée parfois surprenante que nous ne pouvons pas négliger tant de point de vue fréquence ou en terme de quantité (DJOUDI et RAFA 2009).

Chapitre II Etude hydrologique

II.1. Introduction

L'étude hydrologique des oueds de Labiod de Laadhira vise à comprendre les différents régimes hydrologiques de ces deux oueds. Il est intéressant de savoir que ces deux oueds constituent les principaux affluents de l'oued Mzab.

Ces oueds sont souvent secs. Ils rentrent en crue suite à l'avènement d'averses orageuses plus ou moins intenses dans leurs bassins versants. La superficie totale des deux bassins versants est de 1315 km² avec environ 905 km² pour Labiod et 410 km² pour Laadhira.

Les précipitations sont intermittentes et très irrégulières avec une moyenne annuelle de 69 mm sur la station de Ghardaïa en aval du bassin. Il existe une station qui se trouve au Nord-ouest du bassin de Laadhira : la station de l'aéroport de Hassi Rmel. Cependant, les données pour cette dernière sont relativement récentes.

En outre, il est intéressant de noter qu'aucune donnée hydrométrique (débit, volume) de crue n'a été mesurée sur l'oued Mzab et ses affluents. Cependant, il existe quelques études qui ont estimé des débits de crue pour l'inondation de 1994 et de 2008.

Pour notre cas d'étude, on veut générer des hydrogrammes de crue de l'oued Mzab pour des périodes de retour relativement faible (entre 1 an et 50 ans) pour servir comme entrées aux simulations du fonctionnement du système ancestral de gestion de l'eau de la vallée du Mzab. Dans cette étude, on n'est pas intéressé aux crues à périodes de retour importantes. En effet, le but du système ancestrale de gestion de l'eau de crue est destiné principalement à tirer bénéfice des crues de l'oued Mzab dans l'irrigation et la recharge de l'aquifère, et non pas à la protection contre les inondations.

II.2. Etude pluviométrique

L'étude des averses est important dans les études hydrologique non seulement dans le dimensionnement des ouvrages hydrauliques mais aussi dans l'étude des crues et la construction des hydrogrammes.

Due aux précipitations aléatoires et orageuses provoquant la plupart du temps des crues très importantes qui connaît la région, la connaissance de la pluie maximale probable est indispensable, voir obligatoire pour la détermination du ruissellement.

Mais les bassins versants de l'oued Laadhira et de Labiod ne disposent d'aucune station hydrométrique. A cet égard, les données pluviométriques utilisées sont celle de la station de Ghardaïa : l'unique station de la région, située près de l'aéroport de la ville. À son actif, elle compte 34 années d'observations pour les pluies maximales journalières et 42 années d'observations pour les pluies annuelles. (SAOUCHIA Lamia, 2009)

II.2.1. La collecte des données des précipitations maximales journalières

Nom	Ghardaïa
Organisme (source)	Office Nationale de Météorologie
Cordonnées	32°24N 03°48 E
Altitude (m)	468
Période d'observation	1975 – 2008
Nombre d'années observées	34
Observation	Station en fonctionnement

Tableau II.1. Caractéristiques de la station pluviométrique de Ghardaïa.

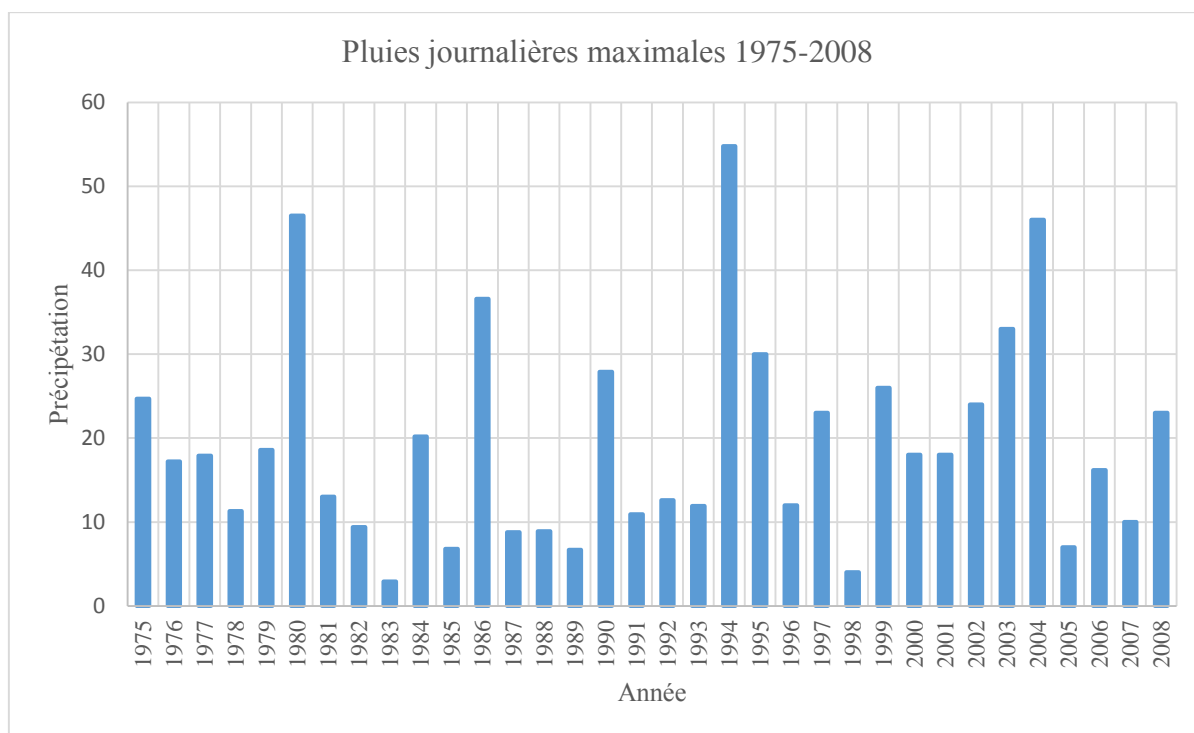


Figure II.1. Pluies journalières maximales.

Année	Pluies journalières maximales	Année	Pluies journalières maximales
1975	24.7	1994	54.8
1976	17.2	1995	30.0
1977	17.9	1996	12.0
1978	11.3	1997	23.0
1979	18.6	1998	4.0
1980	46.5	1999	26.0
1981	13.0	2000	18.0
1982	9.4	2001	18.0
1983	2.9	2002	24.0
1984	20.2	2003	33.0
1985	6.8	2004	46.0
1986	36.6	2005	7.0
1987	8.8	2006	16.2
1988	8.9	2007	10.0
1989	6.7	2008	23.0
1990	27.9		
1991	10.9		
1992	12.6		
1993	11.9		

. **Tableau II.2.** Pluies journalières maximales observées à Ghardaïa (1975-2008).

N	34
P_{jmoy}	19.3
σ	12.6
C_v	0.65

Tableau II.3. Statistique de la série.

N : Taille de la série ;

Pj_{moy}: Pluie journalière maximale moyenne ;

σ : Écart type ; Cv: Coefficient de variation.

II.2.2. Le traitement statistique des précipitations journalières

II.2.2.a Tests d'homogénéité (Test de Wilcoxon)

Les échantillons sont dits homogènes, s'ils sont caractérisés par une même loi de probabilité et par les mêmes paramètres, les données recueillies sont alors considérées comme extraites d'une même population.

Il existe plusieurs tests pour vérifier l'homogénéité des séries de données, nous allons utiliser dans ce cas celui de Wilcoxon.

Il permet de tester si les éléments qui constituent la série proviennent de la même population. Cela veut dire que les conditions qui ont prévalu lors de la collecte des données n'ont pas changé, pendant toute la durée de la collecte, ou qu'il n'y a pas eu un phénomène extraordinaire qui aurait pu modifier les données hydrologiques considérées.

Nous classons les valeurs par ordre croissant de 1 à 34 et nous notons les rangs R (x_i) des éléments du premier sous-ensemble N1 (de 1975 à 1992) et R(y_i) des éléments du second sous-ensemble N2 (de 1993 à 2008) dans l'échantillon original.

année	1983	1998	1989	1985	2005	1987	1988	1982	2007	1991	1978	1993	1996	1992	1981	2006	1976
pj _{max}	2.9	4	6.7	6.8	7	8.8	8.9	9.4	10	10.9	11.3	11.9	12	12.6	13	16.2	17.2
rang	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
année	1977	2000	2001	1979	1984	1997	2008	2002	1975	1999	1990	1995	2003	1986	2004	1980	1994
pj _{max}	17.9	18	18	18.6	20.2	23	23	24	24.7	26	27.9	30	33	36.6	46	46.5	54.8
rang	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34

La statistique W_x de Wilcoxon est la somme des rangs du premier échantillon. On a donc :

W_x = 261,

La statistique W_y de Wilcoxon est la somme des rangs du second échantillon. On a donc :

W_y = 334

$$W_{critique} = \frac{N_1(N_1 + N_2 + 1)}{2} + 1,64 \sqrt{\frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12}} \approx 345.1142 \quad (II.1)$$

N₁=N₂=17

N₁ : la taille de premier sous-ensemble (de 1975 à 1991),

N2 : la taille second sous-ensemble (de 1992 à 2008).

La valeur critique est égale à 345.1142

Et comme W_x et $W_y < W_{critique}$ donc les échantillons sont homogènes.

II.2.2.b Test d'indépendance (Test de Wald-Wolfowitz)

A la suite des travaux d'Anderson, Wald et Wolfowitz ([Wald 1943]) ont développé un test non paramétrique du coefficient d'autocorrélation, celui-ci est basé sur le critère qu'aucune observation appartenant à l'échantillon ne devrait influencer l'observation suivante.

La statistique du test est calculée comme suit :

$$R = \sum_{i=1}^{N-1} x_i x_{i+1} + x_N x_1 \tag{II.2}$$

R : la statistique du test de Wald-Wolfowitz,

x_i est la pluie journalière maximale de l'ordre i,

x_{i+1} est la pluie journalière maximale de l'ordre i+1,

N est la taille de l'échantillon.

Pour N «suffisamment grand», cette statistique suit une distribution normale de moyenne :

$$E[R] = \frac{(S_1^2 - S_2)}{N - 1} \tag{II.3}$$

Et de variance :

$$Var[R] = \frac{(S_2^2 - S_4)}{N - 1} + \frac{(S_1^4 - 4S_1^2 S_2 + 4S_1 S_3 + S_2^2 - 2S_4)}{(N - 1)(N - 2)} - \{E[R]\}^2 \tag{II.4}$$

Avec :

$$S_k = \sum_{i=1}^N x_i^k \tag{II.5}$$

S_k : Moment d'ordre k de l'échantillon.

La valeur statistique T :

$$T = \frac{R - \bar{R}}{\sqrt{Var(R)}} \tag{II.6}$$

Si $-U_{1-\alpha} < T < U_{1-\alpha}$ l'hypothèse d'indépendance est vérifiée, celle-ci est rejetée dans le cas contraire.

T est la valeur statistique ; $U_{1-\alpha}$ est la valeur normale centrée réduite qui est égale à 1.96 pour $\alpha = 0.05$.

S1	S2	S3	S4	E[R]	Var[R]
657.8	17958.46	622961.6	25205069	12567.95	467550.1

Donc **T = - 0.05255**, l'hypothèse d'indépendance est vérifiée

La série mise à notre disposition est homogène et indépendante d'après le test d'homogénéité et d'indépendance.

II.2.3. Présentation du logiciel EasyFit

II.2.3.a Logiciel d'ajustage de distributions

EasyFit est un logiciel qui est développé par MathWave Technologies. Il permet d'ajuster automatiquement les distributions aux données échantillon et de sélectionner le meilleur modèle en secondes. Il est conçu de façon à rendre l'analyse des données aussi facile que possible, laissant en coulisse les détails techniques compliqués et permet ainsi de se concentrer sur les principaux objectifs à atteindre. (Math Wave Technologies)

II.2.3.b Avantages d'EasyFit:

- gain de temps: réduit votre temps d'analyses de 70-95% par rapport aux méthodes manuelles
- fait gagner de l'argent: empêche les erreurs d'analyses et vous aide à prendre de meilleures décisions
- assure la haute qualité de vos projets
- facile à apprendre et utiliser: ne demande que des connaissances de base de la statistique.

Et à partir du logiciel « EasyFit » on fait les différents tests statistiques Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling, et Khi-Carré

II.2.3.a Ajustement à la loi de Log-Normale

Définition :

La fonction de densité de probabilité s'écrit alors :

$$\begin{cases} f(x) = \frac{1}{x\sigma_n\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\frac{(\text{Ln}x-\mu_n)^2}{\sigma_n^2}} ; & x > 0 \\ f(x) = 0 & x \leq 0 \end{cases}$$

II.7)

Avec :

$$\begin{cases} \mu_n = \frac{1}{N} \sum_1^N \text{Ln}x_i \\ \sigma_n^2 = \frac{1}{N} \sum_1^N (\text{Ln}x_i - \mu_n)^2 \end{cases} \quad \text{II.8)}$$

Où μ est la moyenne de la variable étudiée (sans logarithme), σ_n est l'écart type, Nombre d'échantillon et x est la variable étudié (Pjmax dans notre cas)

On ajuste maintenant la loi log-normale à l'échantillon des pluies maximales à Ghardaïa.

- 1) On classe les valeurs des pluies par ordre croissant, ensuite on calcule leur fréquence expérimentale ainsi que les logarithmes népériens correspondants,

$$F_i(x) = \frac{(n_i - 0,5)}{N} \quad \text{II.9)}$$

- 2) Les caractéristiques de l'échantillon des logarithmes népériens sont :

$$\text{Moyenne} = \overline{\text{Ln}P} = \sum_1^N \frac{\text{Ln}P}{N} = 2,75$$

$$\text{Ecart - type} = s_{\text{Ln}P} = \sqrt{\frac{\sum (\text{Ln}P_i)^2 - N\overline{\text{Ln}P}^2}{N-1}} = 0,68$$

3) On trace la droite de Henri :

$$LnP_i = \overline{LnP} + z_i s_{LnP} \quad (II.10)$$

Pour une première analyse de l'ajustement de l'échantillon à la loi, L'examen visuel, de nature subjective, montre que la droite théorique de Henri s'adapte assez bien aux points expérimentaux. On consolide l'examen visuel par les tests d'adéquation du Khi-deux et de Kolmogorov-Smirnov qui permettent de quantifier l'analyse et donnent des conclusions quantitatives et objectives.

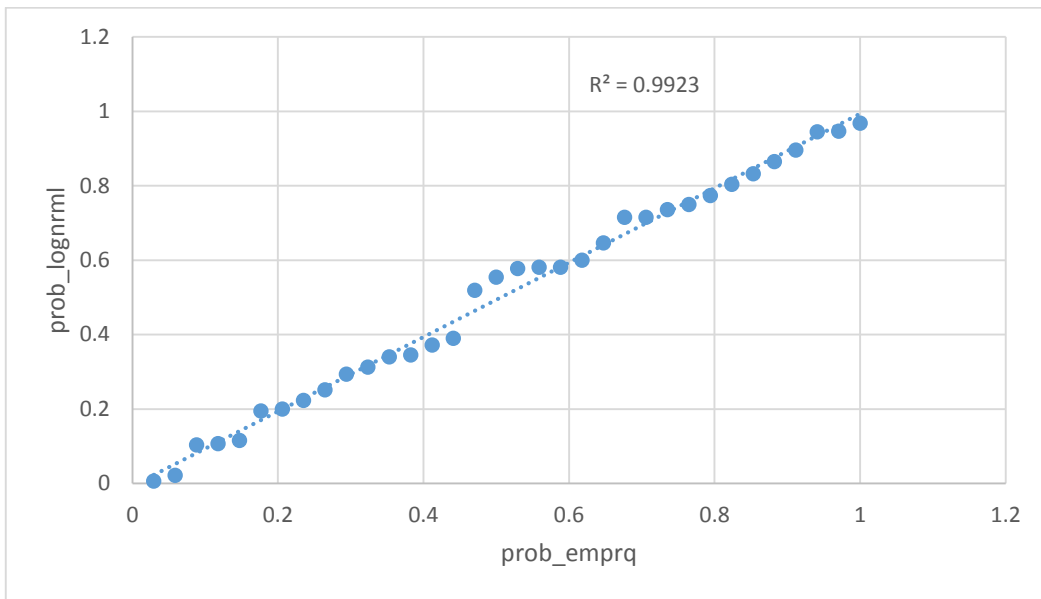


Figure II.2. Ajustement à la loi de Log Normal

Tableau II.4. Les différents tests statistiques de la loi de Log Normal à partir du logiciel "EasyFit".

Lognormal					
Kolmogorov-Smirnov					
Taille de l'échantillon	34				
Statistique de Kolmogorov-Smirnov	0.08324				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valeur critique	0.17909	0.20472	0.22743	0.25429	0.27279
Rejeter?	Non	Non	Non	Non	Non

Anderson-Darling					
Taille de l'échantillon Statistique de Anderson-Darling	34 0.18384				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valeur critique	1.3749	1.9286	2.5018	3.2892	3.9074
Rejeter?	Non	Non	Non	Non	Non
Khi-Carré					
Degrés de liberté Statistique de Khi-Carré	4 0.23004				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valeur critique	5.9886	7.7794	9.4877	11.668	13.277
Rejeter?	Non	Non	Non	Non	Non

Les valeurs critiques se trouvent dans les tables de Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling et Khi-Carré,

α : niveau de signification.

D'après les tests d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling et du Khi-deux l'échantillon, nous acceptons la loi de Log Normal de représenter les pluies journalières maximales.

II.2.3.b Ajustement à la loi de Gumbel

Définition :

La fonction de répartition de la loi de Gumbel est :

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad \text{II.11)}$$

Où $F(x)$ = fréquence au non dépassement =FND =F, et α, β = coefficients d'ajustement,

Par un changement de variable $y = \alpha (x-\beta)$, la loi de Gumbel est :

$$F(x) = F(y) = e^{-e^{-y}} \quad \text{II.12)}$$

Où y est la variable réduite de Gumbel, liée à la probabilité attachée à la valeur x , et $F(y)$ est la fréquence au non dépassement de la variable réduite y .

L'équation $y = \alpha (x - \beta)$ présentée sous forme :

$$x = \frac{1}{\alpha} y + \beta \quad \text{II.13)}$$

L'estimation des paramètres α et β par la méthode des moments donne :

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = \frac{\pi}{\sigma \sqrt{6}} \\ \text{et} \\ \beta = \mu - \frac{0,5772}{\alpha} \end{array} \right. \quad \text{II.14)}$$

Où μ et σ sont respectivement la moyenne et l'écart-type de la série étudiée

Une fois les paramètres de la droite de Gumbel déterminés, on trace la droite en calculant trois valeurs de x à partir de la valeur de y en utilisant l'équation de la variable réduite de Gumbel.

L'estimation de la valeur que prendrait la variable étudiée pour une probabilité donnée en la calculant grace à la formule :

$$x_T = \frac{1}{\alpha} y + \beta \quad \text{II.15)}$$

Avec :

$$y = -Ln(-Ln(F(x))) \quad \text{II.16)}$$

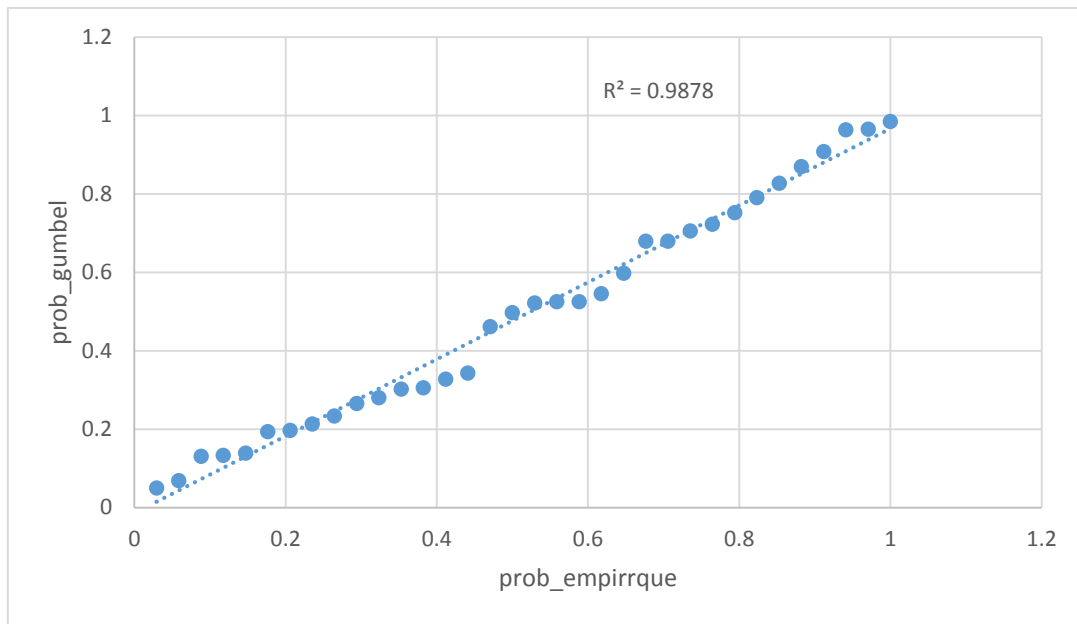


Figure II.3. Ajustement à la loi de Gumbel.

Pour une première analyse de l’ajustement de l’échantillon à la loi, L’examen visuel, de nature subjective, montre que la droite Gumble s’adapte assez bien aux points expérimentaux. On consolide l’examen visuel par les tests d’adéquation du Khi-deux et de Kolmogorov-Smirnov qui permettent de quantifier l’analyse et donnent des conclusions quantitatives et objectives.

Tableau II.5. Les différents tests statistiques de la loi de Gumbel à partir du logiciel "EasyFit".

Gumbel Max					
Kolmogorov-Smirnov					
Taille de l'échantillon	34				
Statistique de Kolmogorov-Smirnov	0.09877				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valeur critique	0.17909	0.20472	0.22743	0.25429	0.27279
Rejeter?	Non	Non	Non	Non	Non
Anderson-Darling					

Taille de l'échantillon Statistique de Anderson-Darling	34 0.28508				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valeur critique	1.3749	1.9286	2.5018	3.2892	3.9074
Rejeter?	Non	Non	Non	Non	Non
Khi-Carré					
Degrés de liberté Statistique de Khi- Carré	4 3.2576				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valeur critique	5.9886	7.7794	9.4877	11.668	13.277
Rejeter?	Non	Non	Non	Non	Non

Les valeurs critiques se trouvent dans les tables de Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling et Khi-Carré,

α : niveau de signification.

D'après les tests d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling et du Khi-deux l'échantillon, nous acceptons la loi de Gumbel de représenter les pluies journalières maximales.

L'échantillon des pluies journalières maximales s'ajuste bien avec les lois de Gumbel et la loi Log Normal. La loi Log Normal est adoptée puisque le R^2 est élevé (R^2 pour la loi de Gumbel est égale à 0.9878 et 0.9923 pour celle de Log Normal) et la statistique de (Kolmogorov-Smirnov et Anderson-Darling) est plus petite que la loi de Gumbel.

Le coefficient de détermination R^2 (soit le carré du coefficient de corrélation linéaire r) est un indicateur qui permet de juger la qualité d'une régression linéaire simple. Il mesure l'adéquation entre le modèle et les données observées ou encore à quel point l'équation de régression est adaptée pour décrire la distribution des points. (PATENAUDE et MATHIEU 2009)

II.2.4. Pluie journalière maximale fréquentielle

D'après les fréquences au non dépassement ou bien la probabilité d'apparition on détermine les précipitations pour chaque période de retour par la loi Log Normal

Tableau II.6. Pluies journalières maximales fréquentielles

Période de retour T (an)	Précipitation (mm)
1	5.54
2	15.61
5	28.93
10	39.01
20	49.08
50	62.40
100	72.47

II.3. Caractéristiques du bassin versant

L'évaluation des débits de crue dans le bassin versant se fait par l'étude de relation pluie-débit. Ainsi, les débits de crue sont étroitement liés au bassin versant et à ces caractéristiques hydromorphologiques.

Dans ce qui suit, la surface du bassin versant, le périmètre, le volume, la longueur du cours d'eau, et la pente, sont calculés et utilisés dans l'estimation des débits nécessaires à cette étude. .

Pour la détermination des caractéristiques des bassins versants de Laadhira et Labiod, nous allons utiliser le logiciel « ArcGIS, ArcMap 10.4 ». Après le téléchargement (à partir du site américain <https://earthexplorer.usgs.gov/>) du modèle numérique du terrain de notre région d'étude (MNT en anglais : Digital Elevation Model ou DEM) qui est une représentation en 2,5D de la surface d'un terrain, créée à partir des données d'altitude du terrain sous une forme adaptée à son utilisation par un calculateur numérique (ordinateur).

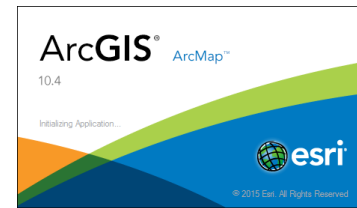


Figure II.4. Modèle numérique du terrain de Ghardaïa.

II.3.1. Délimitation des bassins versants

Les étapes à suivre pour délimiter un bassin versant

- Ajouter le MNT,
- Supprimer les imperfections dans le MNT par la fonction « Fill »
- Flow direction,
- Flow accumulation,
- Détermination le point de l'exutoire,
- Snap pour point,
- Délimiter le bassin versant par « Watershed ».
- Extraire juste le bassin versant à étudier par la fonction « extract by mask »

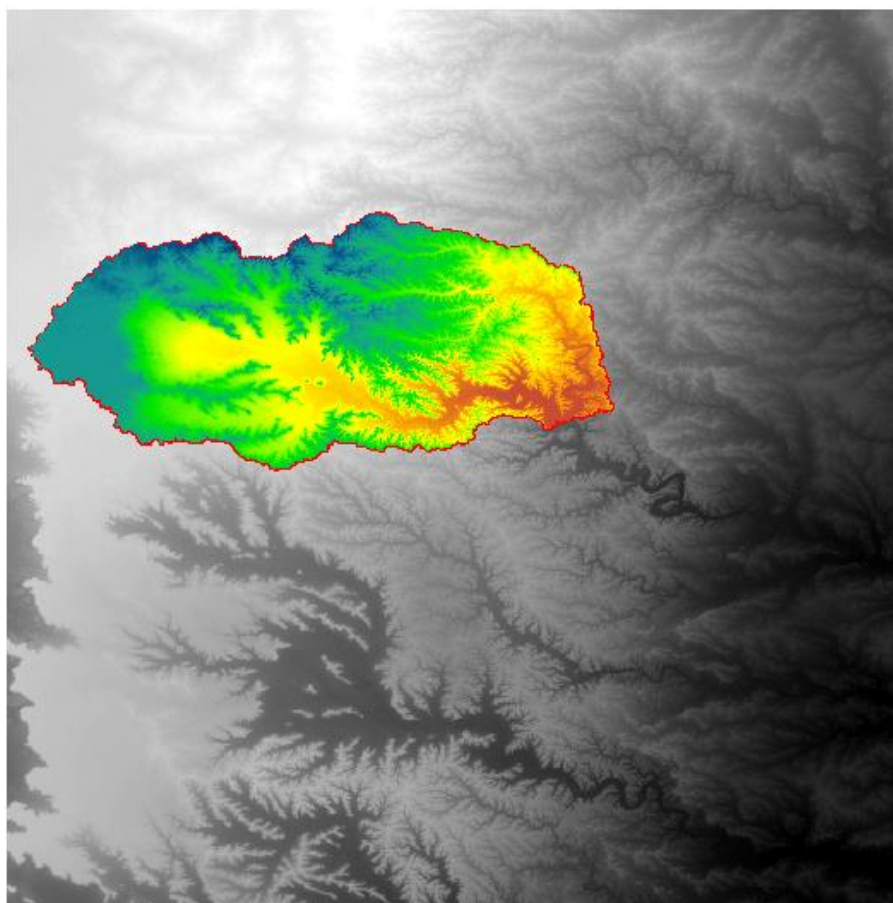


Figure II.5. Bassin versant du Mzab.

II.3.2. Longueur du cours d'eau principale

D'après la fonction « Stream Order» dans le logiciel ArcGIS, on obtient tous les affluents dans un tableau avec le 'grid code' qui est le rang de chaque affluent du cours d'eau, après, on les ordonne par ordre décroissant,

Puis, on choisit les rangs les plus grands en les sélectionnant pour les afficher dans la fenêtre principale pour que l'on puisse choisir le cours le cours d'eau le plus grand,

OBJECTID	Shape	arcid	grid_code	from node	to node	Shape Length
42	Polyline	42	4	45	50	0.034297
49	Polyline	49	4	50	55	0.052247
51	Polyline	51	4	55	59	0.013498
56	Polyline	56	4	59	63	0.013482
58	Polyline	58	4	64	62	0.048325
60	Polyline	60	4	62	66	0.022893
61	Polyline	61	4	63	65	0.034411
63	Polyline	63	4	67	64	0.028447
66	Polyline	66	4	65	72	0.041267
68	Polyline	68	4	66	74	0.036624
73	Polyline	73	4	74	78	0.020543
76	Polyline	76	4	72	81	0.017217
80	Polyline	80	4	81	67	0.087039
9	Polyline	9	3	13	16	0.032805
14	Polyline	14	3	16	20	0.02885
18	Polyline	18	3	20	24	0.013662
38	Polyline	38	3	41	45	0.01511
39	Polyline	39	3	26	45	0.059062
72	Polyline	72	3	24	77	0.222703
4	Polyline	4	2	4	3	0.077928
6	Polyline	6	2	3	10	0.080876
7	Polyline	7	2	10	13	0.05611
10	Polyline	10	2	18	13	0.019797
20	Polyline	20	2	25	18	0.038098
21	Polyline	21	2	21	26	0.01947
22	Polyline	22	2	19	26	0.044891
29	Polyline	29	2	35	37	0.006169
33	Polyline	33	2	37	39	0.027971
34	Polyline	34	2	39	40	0.063709
35	Polyline	35	2	40	41	0.010508
36	Polyline	36	2	38	41	0.016737
45	Polyline	45	2	47	52	0.039172
48	Polyline	48	2	33	55	0.063757
55	Polyline	55	2	61	62	0.003961

Figure II.6. Tableau des longueurs de tous les affluents

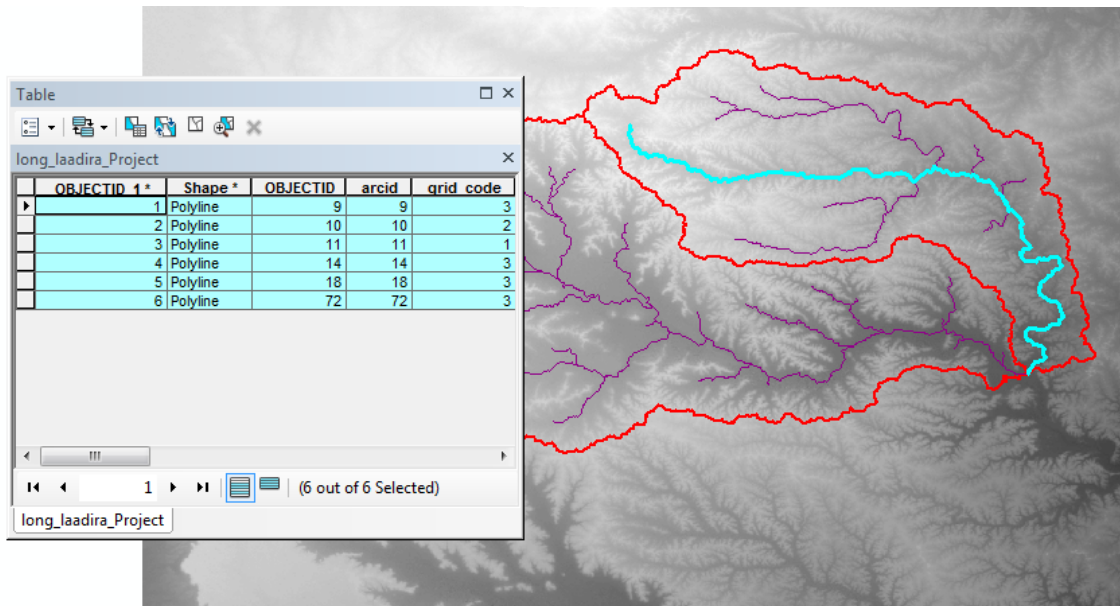


Figure II.7. Cours d'eau principale du BV de Laadhira et le tableau des longueurs.

Par la fonction « statistic » dans le tableau, on peut avoir la somme des longueurs des affluents qui est la longueur de notre cours d'eau principal.

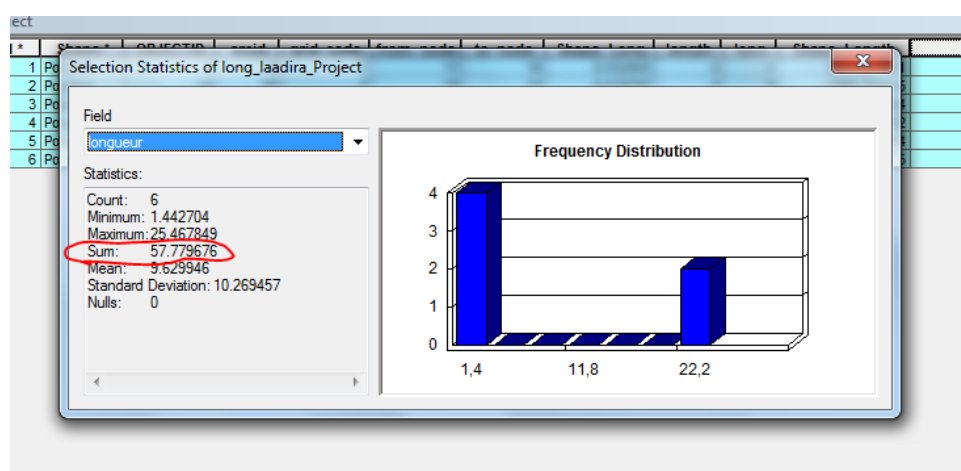


Figure II.8. Somme des longueurs

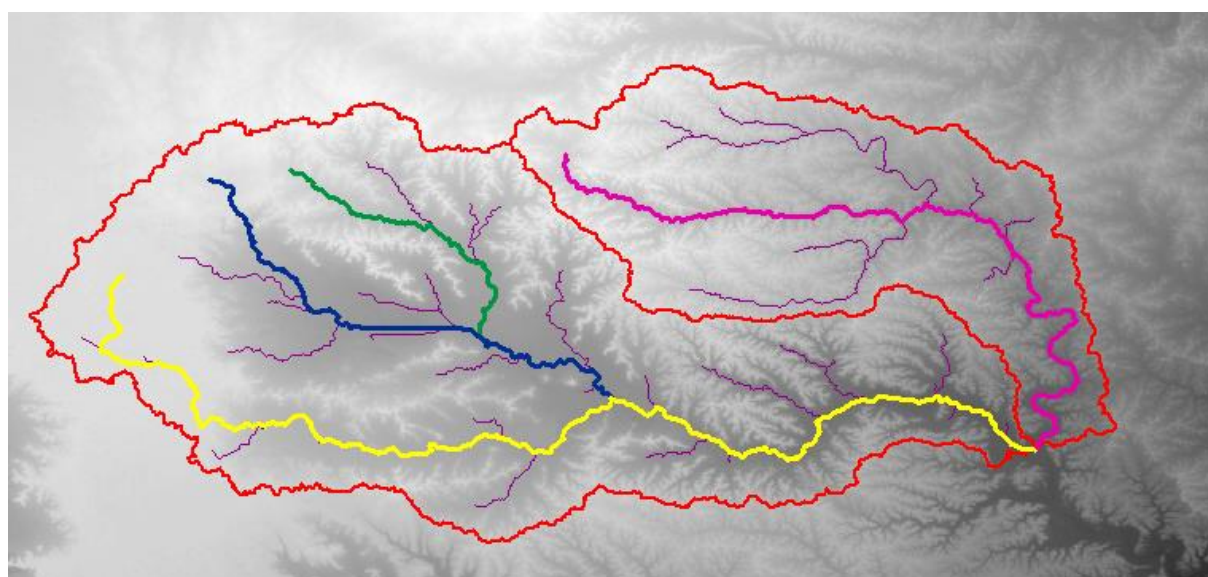


Figure II.9. Cours d'eau principal de Laadhira et de Labiod avec leurs affluents.

Les longueurs des oueds de Laadhira et de Labiod sont représentée dans le tableau suivant :

Tableau II.7. Longueurs des oueds de Laadhira et de Labiod.

	L(Km)
Oued de Laadhira	58
Oued de Labiod	81

II.3.3. Surface et périmètre

Par une simple conversion de modèle Raster de bassin versant vers un Polygone par la fonction « Raster to polygone » qui est un modèle vecteur, en projetant toujours notre modèle vers le système de projection des coordonnées "WGS_1984_UTM_Zone_31N" par la fonction "project", après l'ouverture de la table des attribuées on choisit "calculate geometry" et on calcule le périmètre et la surface.

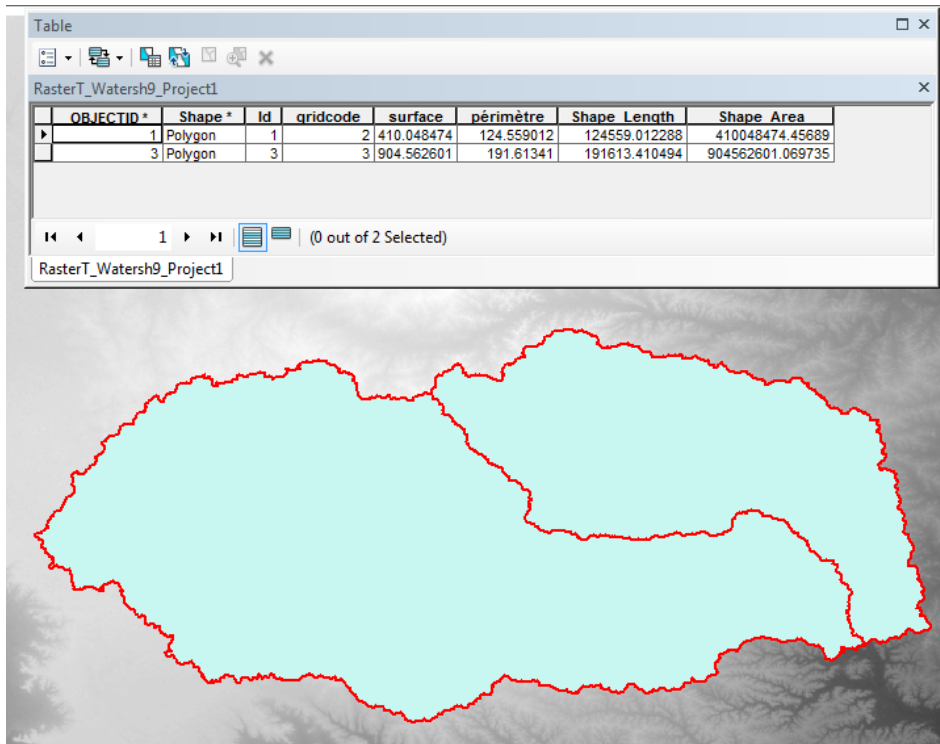


Figure II.10. Calcul de la surface et le périmètre dans ArcGIS.

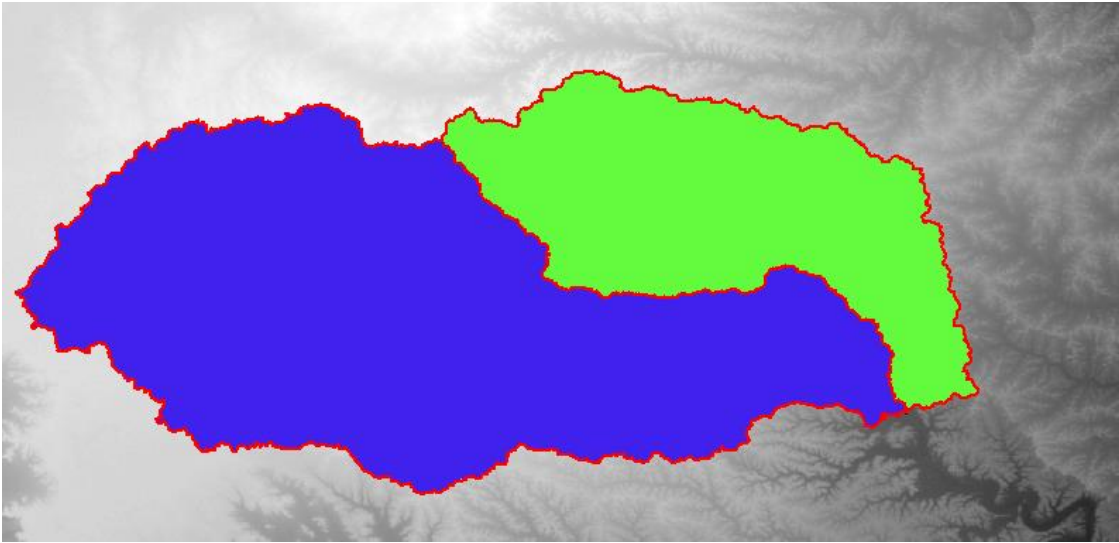


Figure II.11. Bassin versant de Laadhira et Labiod en modèle polygone.

II.3.4. Résultats

Les résultats de calcul de surface et de périmètre des bassins versants de Laadhira et de Labiod d'après le logiciel d'ArcGIS sont représentées dans le tableau suivant

Tableau II.8. Surface et périmètre des BV de Laadhira et de Labiod.

	S(Km ²)	P(Km)
BV de Laadhira	410.0485	124.559
BV de Labiod	904.5626	191.6134

II.4. Débits de crues

II.4.1. Introduction

Les stations hydrométriques de mesure des débits ne sont pas disponibles dans notre région d'étude. Les débits de crues sont donc estimés par des formules empiriques.

Nous pouvons calculer les crues fréquentielles par la méthode qui a été élaborée pour les régions géographiques de l'Algérie (dans notre cas les zones arides) par Boutoutaou et Zeggane (2014).

II.4.2. Matériels et méthodes

Boutoutaou et Zeggane (2014) ont élaboré leur étude des débits de pointe des crues en se basant sur les données pluviométriques (pluies maximales journalières) de plus de 400

postes pluviométriques et les données hydrométriques (débits de pointe) de 53 stations hydrométriques.

En se basant sur les données d'observations enregistrées à environ 40 stations hydrométriques et pluviométriques pour une période d'observation entre 20 - 5 ans pour des débit de pointe de période de retour de 3 à 10 ans, et d'après Les hyétogrammes et les hydrogrammes collectés nous permettre de déterminer toutes les averses unitaires, ayant des hauteurs suffisantes pour avoir provoqué des crues généralisées et des répartitions spatiales assez homogènes pour ne pas engendrer des hydrogrammes déformés. (BOUTOUTOUA, et ZEGGANE, 2014)

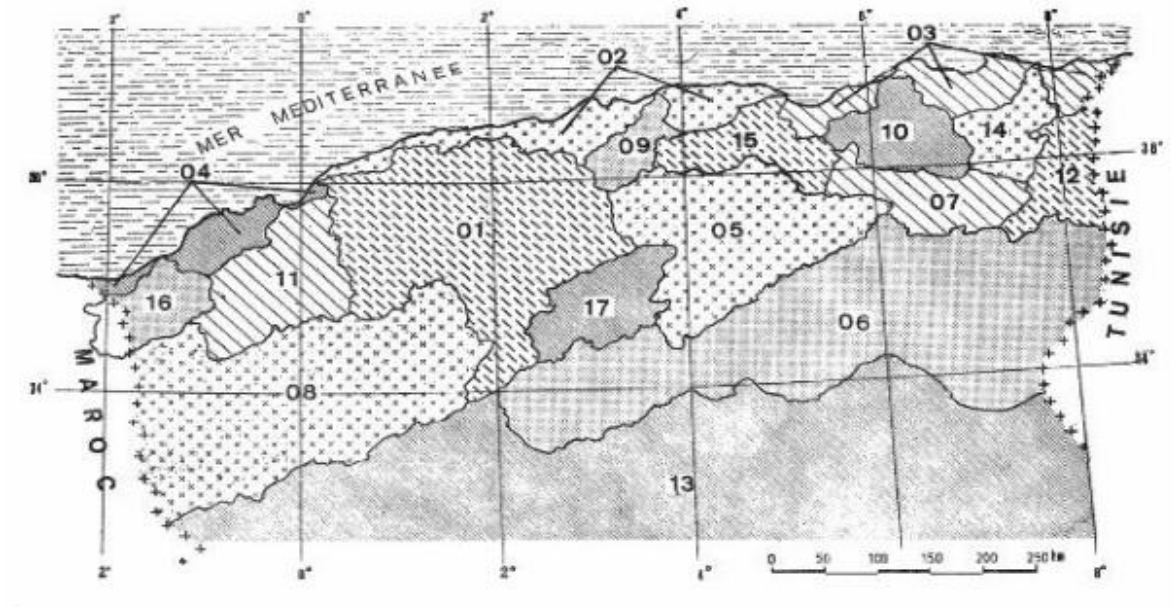


Figure II.12. Carte de localisation des bassins hydrographiques de l'Algérie (ANRH).

Il est bien connu selon la méthode des isochrones, qui peut être considérée comme une extension de la méthode rationnelle (Salaviova, 1969) que le débit de pointe (Q_p) est donné par la relation:

$$Q_p = \gamma \bar{i}_t \alpha S_A \quad (\text{II.17})$$

Q_p Débit de pointe,

γ Coefficient de conversion des unités,

\bar{i}_t Intensité pluviale maximale correspondant à la durée de pluie, appelée durée de référence de formation du débit de pointe,

α Coefficient du ruissellement,

S_A Surface active du bassin versant (surface contribuant à la formation de la crue).

Pour calculer le débit de pointe Q_p pour chaque période de retour il faut d'abord calculer l'intensité pluviale qui est un paramètre principale dans l'équation (1), et elle est reliée au temps de pluie et au temps de retour T (BOUTOUTAOU D. 2011)

$$i_{tT} = \frac{F_T}{(t+1)^n} = \frac{A+B \log(T)}{(t+1)^n} \quad (\text{II.18})$$

F_T : intensité de pluie limite de période de retour T quand t tend vers zéro,

n: coefficient de réduction de la pluie en fonction de croissance de sa durée,

A, B: paramètres géographiques caractérisant l'intensité maximale pluviale annuelle A et sa variation interannuelle B,

T: période de retour,

t : temps en min.

Tableau II.9. Valeurs des coefficients A, B et n.

Zone aride	coefficients	$\bar{P} \leq 150 \text{ mm}$	$\bar{P} = 150 - 400 \text{ mm}$	$\bar{P} \geq 400 \text{ mm}$
	A	-	3.00	3.50
06	B	-	5.36	2.70
	n	-	0.77	0.67
	A	1.00	3.50	-
13	B	12.38	6.62	-
	n	0.73	0.75	-

Dans notre cas la région de Ghardaïa est située dans la zone 13 et la pluie moyenne annuelles $\bar{P} \leq 150 \text{ mm}$ donc A = 1, B = 12.38 et n = 0.73.

Pour les conditions physiographiques des bassins versants de l'Algérie, la formule du temps de concentration proposée est la suivante:

$$t_c = 1.7 \left(\frac{SL}{\sqrt{I}} \right)^n \quad (\text{II.19})$$

t_c : temps de concentration en heure,

S: surface en Km²,

L : longueur du cours d'eau en Km et

I : pente du cours d'eau en %,

En considérant que la durée de pluie est égale au temps de concentration, on peut le déterminer par l'équation (II.19).

$$\alpha_t = 1 - \exp\left(-\frac{P_{\max jT}}{P_0}\right) \quad \text{II.20)}$$

α_t : Le coefficient du ruissellement

$P_{\max jT}$: pluie maximale journalière en mm de période de retour T,

P_0 : pertes maximales possibles en mm (infiltration, rétention dans les dépressions et évaporation) qui est égale à 7.5 mm dans notre cas.

En remplaçant la relation (II.20) dans (II.17) et avec $t = t_c$ on obtient la relation :

$$Q_{PT} = \frac{16.7(A+B \log(T))S\alpha_T}{(t_c+1)^n} \quad \text{(II.21)}$$

Les caractéristiques des bassins versants de Laadhira et Labiod nécessaires à la simulation de l'écoulement selon le modèle de Boutoutaou et Zeggane (2014) sont présentées dans le tableau (II.10)

Tableau II.10. Caractéristique des bassins versants de Laadhira et se Labiod.

	S(Km ²)	L(Km)	I(%)	tc(h)
BV de Laadhira	410.0485	58	0.331034	19.84
BV de Labiod	904.5626	81	0.259259	25.15

Le tableau suivant présente le détail des calculs des valeurs des débits de pointe par l'équation (II.21) :

Tableau II.11. Résultats des débits de pointe de BV de Laadhira.

T (an)	$P_{\max jT}$ (mm)	F_T	tc (min)	It (mm/min)	a	Qp (m^3/s)
1	5.595	1	1190.43	0.005682	0.5222	20.32
2	15.614	4.727	1190.43	0.026856	0.8753	160.97
5	28.931	9.653	1190.43	0.054846	0.9799	367.64
10	39.005	13.38	1190.43	0.07602	0.9945	517.70
20	49.079	17.107	1190.43	0.097194	0.9986	664.61
50	62.397	22.033	1190.43	0.125184	0.9997	857.03

Tableau II.12. Résultats des débits de pointe de BV de Labiod.

T (an)	$P_{\max jT}$ (mm)	F_T	Tc (min)	It (mm/min)	a	Qp (m^3/s)
1	5.539	1	1508.797	0.00478	0.5222	37.70
2	15.614	4.727	1508.797	0.022592	0.8753	298.71
5	28.931	9.653	1508.797	0.046138	0.9789	682.25
10	39.005	13.38	1508.797	0.063951	0.9945	960.72
20	49.079	17.107	1508.797	0.081763	0.9986	1233.35
50	62.396	22.033	1508.797	0.10531	0.99976	1590.44

F_T : intensité de pluie limite de période de retour T quand t tend vers zéro,

α : Coefficient du ruissellement,

I_T : Intensité pluviale maximale correspondant à la durée de pluie, appelée durée de référence de formation du débit de pointe,

Q_p : Débit de pointe,

II.4.3. Hydrogramme de crue

La distribution de la loi Galton adoptée comme une représentation analytique pour dériver un hydrogramme unitaire et après vérification montre les deux inconvénients suivants :

La pointe de la crue est atteinte bien avant l'instant $t = t_p$ (t_p : temps de montée de la crue);

Le paramètre de forme $\sigma = 0.4$ est fixé. Pour d'autres valeurs de σ , les hydrogrammes n'auront pas le sens d'un hydrogramme adimensionnel normé. Pour dépasser ces inconvénients, c'est à dire fixer la pointe à l'endroit souhaitable et permettre à

l'hydrogramme d'épouser plusieurs formes sans déformation. On a introduit une légère modification de la formulation de la loi Galton et proposer l'expression (6) que l'on appellera «hydrogramme synthétique type Galton»: (BOUTOUTAOU et ZEGGANE, 2014)

$$Q(t) = \begin{cases} 0 & \text{pour } t = 0 \\ Q_p \left(\frac{t}{t_p}\right)^{-0.1} \text{Exp}\left(-0.5\left(\frac{\ln\left(\frac{t}{t_p}\right)}{k}\right)^2\right) & \text{pour } t > 0 \end{cases} \quad (\text{II.22})$$

Les paramètres définissant l'hydrogramme synthétique type Galton (II.23) sont donc le débit de pointe Q_p , le temps de montée t_p et le paramètre de forme k .

Il est possible de faire l'hypothèse que t_p correspond au temps de concentration du bassin t_c .

$$t_p \approx t_c$$

Coefficient de forme k de l'hydrogramme de crue

Le paramètre de forme k de tous les Oueds étudiés varie essentiellement entre 0,2 et 0,6. Il est égal au rapport du débit moyen ruisselé de l'hydrogramme au débit de pointe ruisselé:

$$k = \frac{Q_{moy}}{Q_p} \quad (\text{II.23})$$

Pour une évaluation grossière du paramètre de forme k en absence de données de mesure, nous proposons la relation (8) établie sur la base de 36 hydrogrammes moyens de crues:

$$k = 0.0102(S + 1)^{0.4} + 0.2 \quad (\text{II.24})$$

La meilleure solution de choisir le paramètre de forme k nous allons adopter une limite inférieure (k_{min}) pour les projets de faible et moyenne importance et une limite supérieure (k_{max}) pour les projets de grande importance. Les valeurs extrêmes de k en fonction de la superficie sont données dans le tableau suivant : (BOUTOUTOUA et ZEGGANE, 2014)

Tableau II.13. Valeurs extrêmes de k en fonction de la superficie.

Surface du bassin versant S (Km)	Paramètre Kmin – Kmax
Inférieur à 600	0.20 – 0.35
600 – 3000	0.35 – 0.45
3000 – 6000	0.45 – 0.55
Supérieur à 6000	0.55 – 0.65

Pour le bassin versant de Laadhira, K varie entre 0.2 et 0.35 Pour le bassin versant de Labiod, qui sa surface est entre 600 et 3000 donc le coefficient de forme k varie entre 0.35 et 0.45.

Par une régression linéaire, on obtient la valeur de k :

Tableau II.14. Valeurs de K pour le BV de Laadhira et Labiod.

K de BV de Laadhira	K de BV de Labiod
0.309415	0.361183

A partir de la relation (II.23) on détermine les débits à chaque instant t et on obtient l'hydrogramme de crue par la représentation graphique de débit Q_t en fonction de temps t :

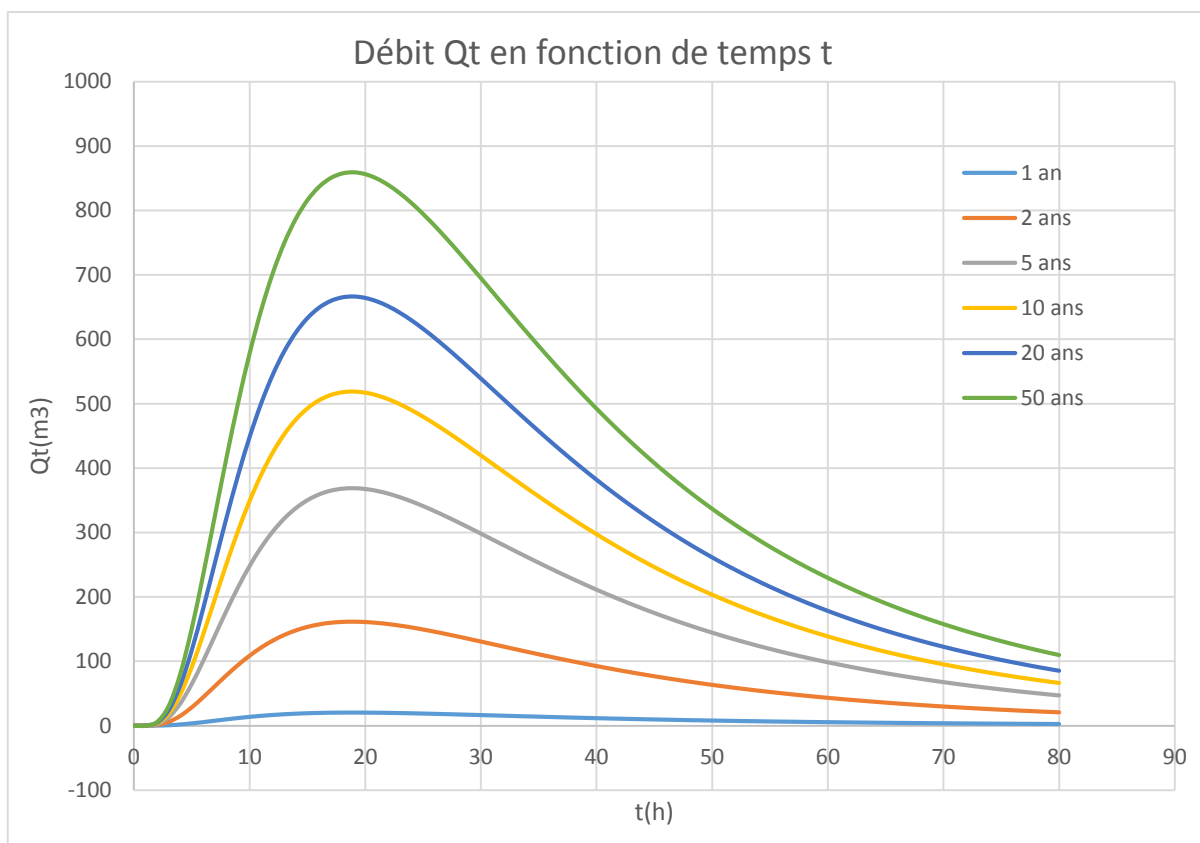


Figure II.13. Hydrogrammes de crue du bassin versant de Laadhira.

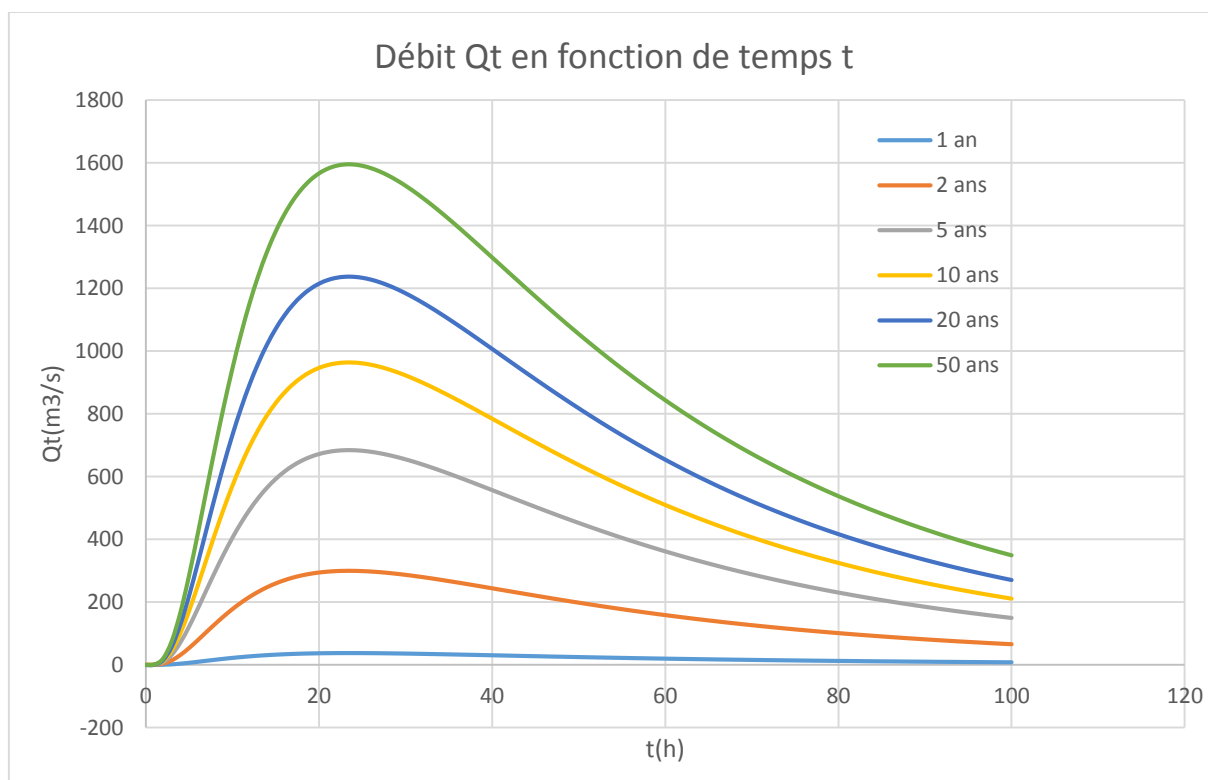


Figure II.14. Hydrogrammes de crue du bassin versant de Labiod.

II.5. Conclusion

A partir des caractéristiques physiographiques, nous avons pu construire des hydrgrammes de crue pour les bassins versant de Laadhira et Labiod dans l'absence des stations hydrométriques.

L'évaluation des débits de crue des bassins non jaugés constitue l'un des défis majeurs pour les hydrologues. Les bassins versants de Laboid de Laadhira qui sont les principales sources d'écoulement de l'oued Mzab souffrent d'un manque total de données hydrométriques mesurées. L'utilisation de la méthode développée par Boutoutaou et Zeggane (2014) pour le calcul des débits des oueds en Algérie a permis d'évaluer la production des deux bassins versants et d'analyser la relation entre la pluviométrie et les débits générées par ces deux bassins.

Certes, les résultats de la méthode utilisée manquent de précision et de validation par des mesures réelles, mais, faute de mesure, elles fournissent des valeurs représentatives pour les conditions physiographiques et climatiques des bassins versants de Laadhira et Labiod.

Après avoir obtenu les hydrogrammes de crues des bassins versants de Laadhira et Labiod, nous passons à la description du système de partage des eaux afin de le modéliser et y introduire ces hydrogrammes comme données d'entrée.

Chapitre III Description et fonctionnement du système hydraulique de partage des eaux de la palmeraie**III.1. Introduction**

Le paysage de la vallée du Mzab, créé au Xe siècle par les mozabites autour de cinq *Ighraman* (ksours), ou villages fortifiés, semble être resté intact. Simple, fonctionnelle et parfaitement adaptée à l'environnement, l'architecture du Mzab a été conçue pour la vie en communauté, tout en respectant les structures familiales. C'est une source d'inspiration pour les urbanistes d'aujourd'hui (CNRA, 2017). La vallée du Mzab atteint, à hauteur de Ghardaïa, une altitude de 500 mètres. La partie amont du bassin versant est drainée par les importants Oueds Laadhira et Labiod dont la longueur est de 58 et 81 kilomètres, et leur confluence donne naissance à l'Oued Mzab.

L'Oued Mzab reçoit ensuite successivement les apports des principaux cours d'eau suivants en rive droite les Oueds Ariden et Touzouz, Chaâbet Ben Lahtem et Chaâbat Belghanem et celles de Bensmara et Azouil sur la rive gauche.

III.2. Présentation générale de la palmeraie de Ghardaïa

Le premier soin des habitants de la wilaya de Ghardaïa fut de séduire, chercher et capter l'eau par tous les moyens possibles, puisque nulle part elle n'affleurait naturellement, contrairement à certaines Dayas du Sahara où se sont fixés les principaux établissements humains; les Oasis du Mzab sont les seules oasis artificielles du Sahara. (NACER ,2011)

Pendant dix siècles, les mozabites ont mis en place un système hydraulique constitué d'ouvrages à but multiples qui assure le captage, le stockage, l'irrigation et la répartition de l'eau de pluie (bien que très rare) vers la palmeraie de Ghardaïa.

III.3. Situation géographique de la palmeraie de Ghardaïa

La palmeraie de Ghardaïa occupe le fond de la vallée du Mzab à une distance de 5 Km au Nord-Ouest de la commune de Ghardaïa. D'autre part la palmeraie est située dans le lit de l'Oued Mzab, entre « Amlaga », (le point de confluence de Laadhira, El-Abiod) et « Ahabas Ajdid », (le barrage qui limite la palmeraie du côté Sud).

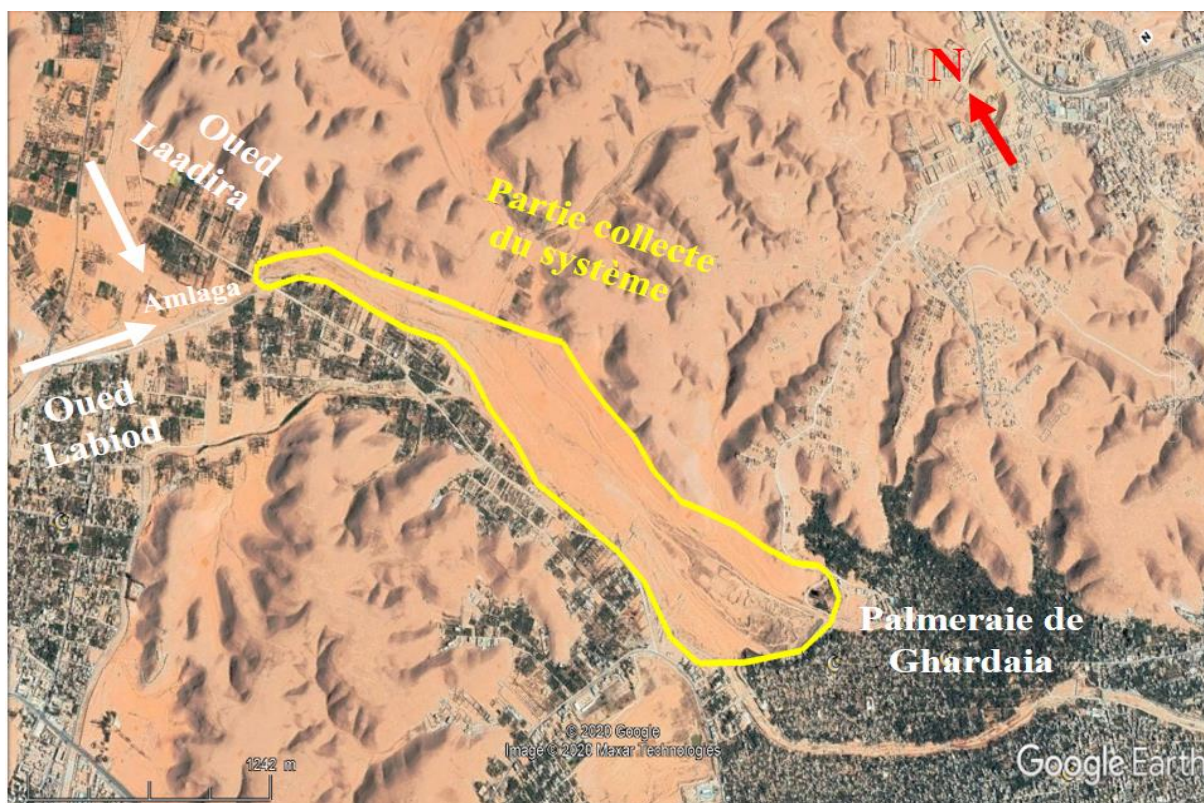


Figure III.1. Photo satellitaire de la partie collecte du système (Google Earth 2020).

III.4. Description et fonctionnement du système hydraulique de la partie collecte des eaux d'oued Mزاب

III.4.1. Introduction

Le système consiste à détourner, à la partie amont de la palmeraie, les eaux des crues dans des canaux, qui vont par la suite les acheminer vers l'ouvrage de partage, pour l'irrigation des jardins et le remplissage de la nappe phréatique. Ainsi, nous pouvons subdiviser ce système en deux :

- Une partie qui collecte et canalise les eaux de pluies orageuses vers le partage (c'est la partie qui nous intéresse dans notre étude) ;
- Et une partie qui partage les eaux collectées au niveau de la palmeraie.

III.4.2. Description (Figure)

- Deux canaux parallèles de collecte (canal Bouchemdjén, canal Bouchen) ;
- Des ouvrages de régulation appelé "Tissambad de régulation" ;
- Des déversoirs à côté de chaque "Tissambad de régulation" ;
- Une digue appelée (Digue Inerez); et
- Un barrage collinaire (barrage de Bouchen).

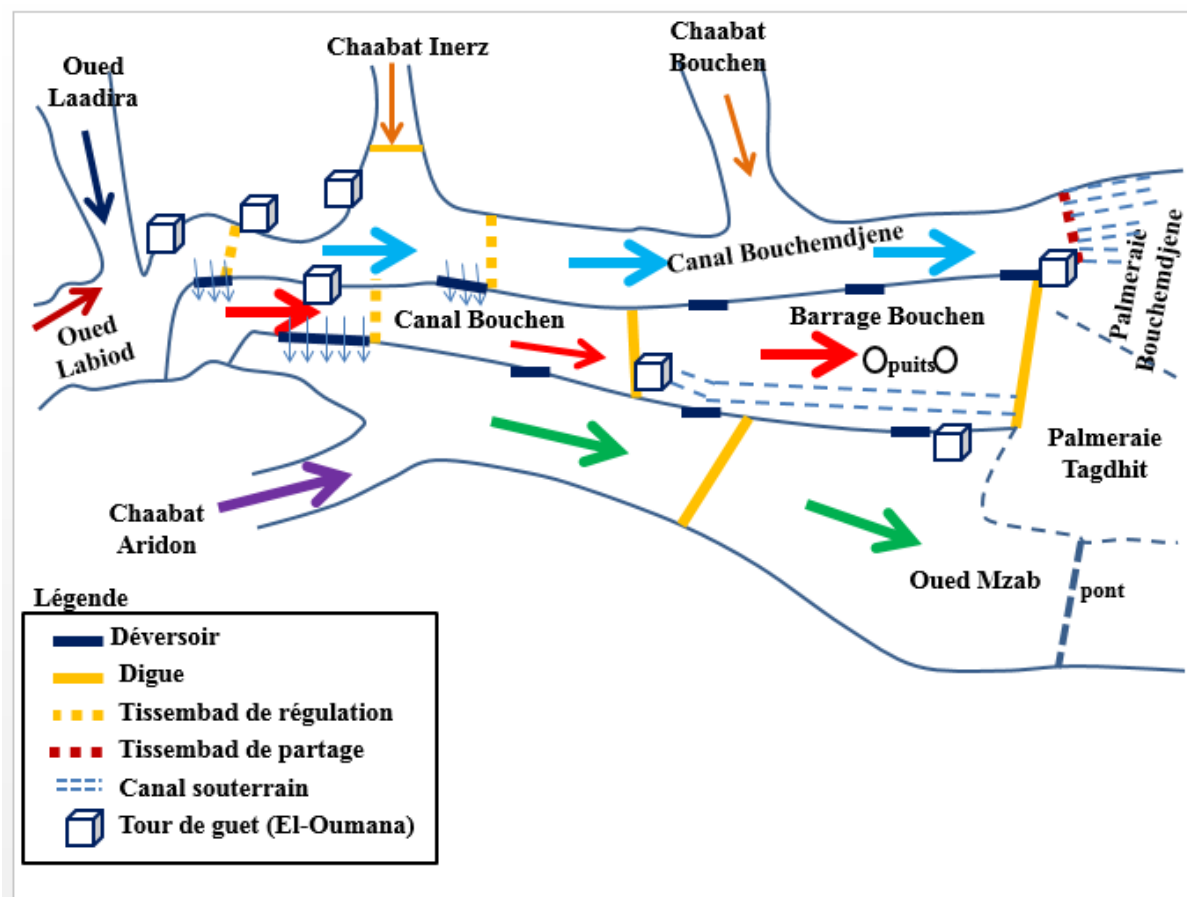


Figure III.2. Figure schématique de la partie collecte des eaux.

a. Canaux de la collecte des eaux

Les canaux de collecte des eaux de Bouchemdjene et Bouchen sont des cours d'eau artificiels, dont leurs parois sont conçues en pierres.

b. Ouvrages de régularisation « Tissambad »

L'ouvrage de régularisation est constitué de plusieurs orifices appelés « Tissambad » qui se trouvent en série, comme montre la figure suivante. Ces orifices permettent la régulation du niveau d'eau aval dans le canal à l'aide de vannes métalliques.



Figure III.3. Ouvertures de régularisation de canal de Bouchemdjén (DJOUDI et RAFA, 2009)

b. Vanne

Une vanne est un organe mobile, permettant de modifier localement la section d'écoulement de la fermeture à l'ouverture complète. Un tel organe permet de régler la hauteur d'eau niveau désiré, (Sinniger et Hager, 1988).



Figure III.4. Vannes métalliques de régularisation de débit (DJOUDI et RAFA, 2009).

c. Déversoirs

Un déversoir est un orifice superficiel ouvert à sa partie supérieure et pratiqué dans une paroi généralement verticale (Carlier, 1980).

Pour éviter la surverse au-dessus des ouvrages de régulation (et leurs rupture quasi certaine) lors des crues, les Mozabites ont aménagé deux types de déversoirs.

- Des déversoirs qui permettent, à partir d'un certain niveau, d'évacuer le surplus du canal



Figure III.5. Déversoir de canal de Bouchemdjén vers le canal de Bouchen (DJOUDI et RAFA, 2009).

- Et un déversoir qui permet, à partir d'un certain niveau, d'évacuer le surplus de l'ouvrage Tissambads de partage vers le barrage de Bouchen.



Figure III.6. Déversoir de canal de Bouchemdjén vers le barrage de Bouchen (DJOUDI et RAFA, 2009).

d. Digue d'Inerez

La digue se situe à l'exutoire de l'un des affluents de l'Oued Mzab qui est « Inerez ». Elle est conçue pour réguler le débit pendant les crues. Cet ouvrage est donc toujours vide, elle fonctionne que pendant les crues.

Le déversoir de cette digue est subdivisé par des piliers de différentes formes et tailles. Ces piliers servent à imposer à l'écoulement une direction déterminée, pour que le débit soit distribué uniformément tout au long du déversoir (Sinniger et Hager, 1988).

Les huit pertuis sont placés au point bas de la digue et sont équipés par des vannes métalliques. Lors des crues, ces vannes sont manœuvrées par les Oumanas.

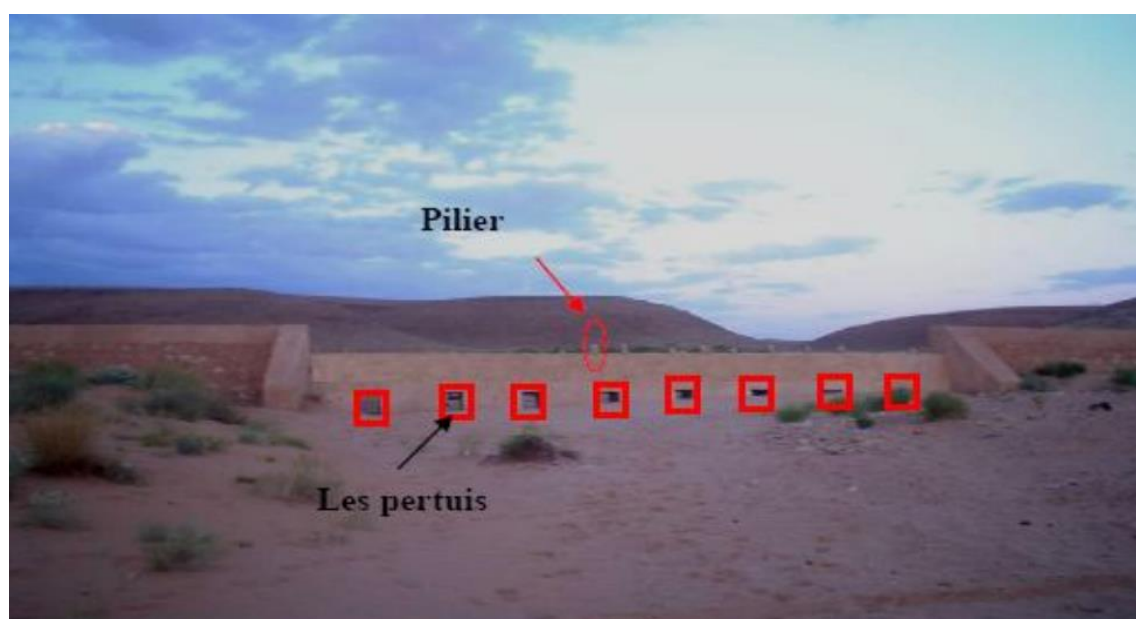


Figure III.7. Digue d'Inerez (DJOUDI et RAFA, 2009).

e. Barrage de Bouchen

Le barrage de Bouchen est constitué d'une digue en terre consolidée de pierre et d'un déversoir latéral.

Il permet le stockage des eaux de crue dans un lac momentané, pour faciliter leurs infiltrations vers la nappe phréatique. Il reçoit l'eau excédentaire du canal de Bouchemdjen.



Figure III.8. Retenue de barrage Bouchen (Projet DELTA, 2004).

Des puits capteurs de diamètre de 2 mètre sont également forés dans la retenue de barrage, permettant aussi l'alimentation de la nappe.



Figure III.9. Puits capteur dans la retenue de barrage Bouchen (DJOUDI et RAFA, 2009).

III.4.3. Fonctionnement

Le principe général de fonctionnement est le suivant :

Le canal principal de Bouchemdjen, est alimenté par la confluence de Labiod et Laadhirah, ainsi que par Inerez. A l'entrée du canal, un système composé des Tissambads de régulation et un déversoir latéral chargé de réguler les arrivées d'eau en évacuant les surplus vers le canal Bouchen.

Au niveau d'Inerez, un système semblable est mis en place.

Enfin, à l'aval de ce canal, l'ouvrage Tissembads de partage accompagné d'un déversoir permet de réguler les eaux vers les jardins, et évacuer le surplus vers le barrage de Bouchen. Le canal Bouchen permet d'alimenter le canal souterrain de Tagdhit et le barrage de Bouchen, par les eaux de surplus du canal Bouchemdjen.

Ce canal achemine les eaux jusqu'au système de transfert de ces eaux vers le canal souterrain de Tagdhit.

A l'amont de ce système deux déversoirs de trop pleins sont situés respectivement : juste à l'aval du premier déversoir de canal de Bouchemdjén et au niveau de la confluence d'Inerez et canal Bouchemdjén. Ces déversoirs évacuent les surplus vers Oued Mzab.

Ces eaux acheminées par le canal Bouchen vont permettre, d'une part de réalimenter la nappe phréatique par infiltration au niveau du barrage de Bouchen, et d'autre part d'alimenter en eau les jardins de Tagdhit.

Ce système complexe de captage permet, grâce aux deux canaux principaux (Bouchemdjén et Bouchen) d'optimiser les volumes d'eaux recueillis.

III.5. Description et fonctionnement de la partie partage des eaux collectées

III.5.1. Le partage des eaux au niveau de l'Ouvrage « Tissambads de partage »

L'eau de crue qui arrive du canal de Bouchemdjén vers « Tissambads de partage de Bouchemdjén » est drainé par des canaux souterrains, dont les ouvertures maçonnées en pierre plates « Madun » sont soumises à de minutieux calculs, afin de permettre une répartition équitable. Ces canaux souterrains s'étendent sur des centaines de mètres, ils sont percés par des puits d'aération pour ne pas avoir de refoulement vers les « Tissambads ».

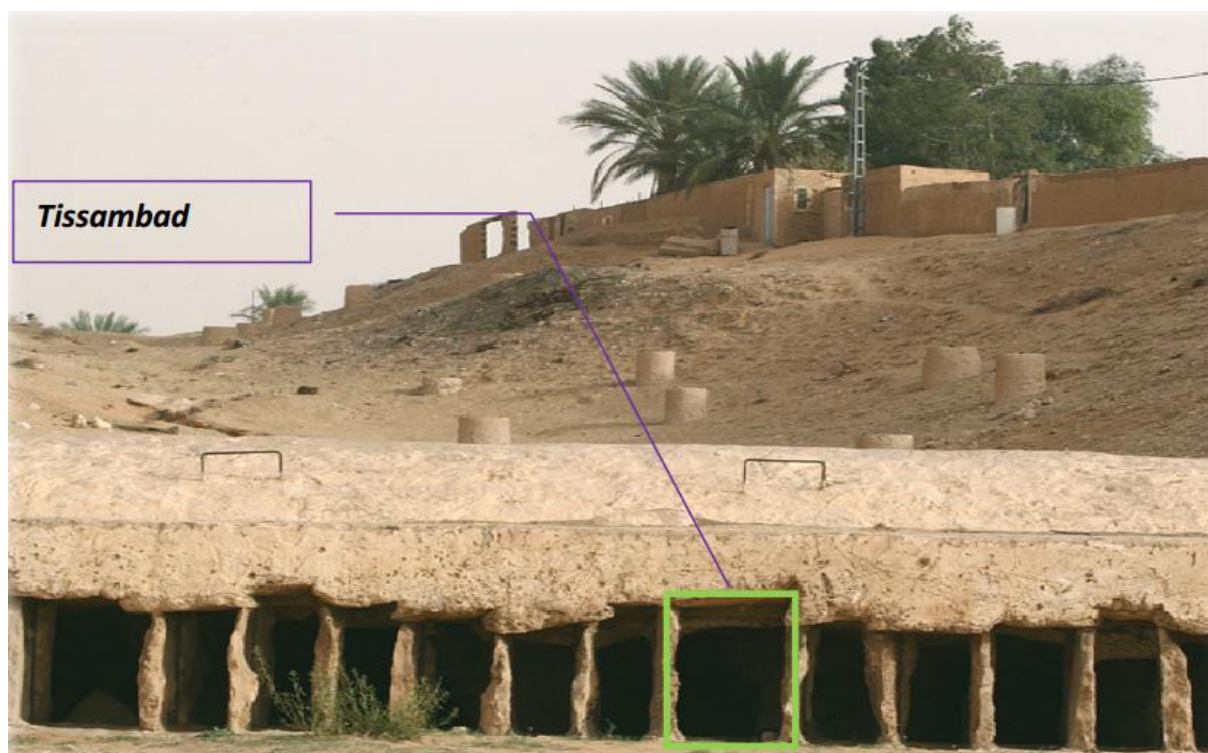


Figure III.10. Tissambads de partage de Bouchemdjén vers les jardins de la palmeraie (NACER, 2011).



Figure III.11. Puits d'aération. (DJOUDI et RAFA, 2009).



Figure III.12. Puits d'aération (DJOUDI et RAFA, 2009).

Chaque nombre de « Tissambad » alimente un canal souterrain, la répartition des Tissambad est donnée en fonction des canaux souterrains.

Certain de ces canaux souterrains présentent des embranchements secondaires.

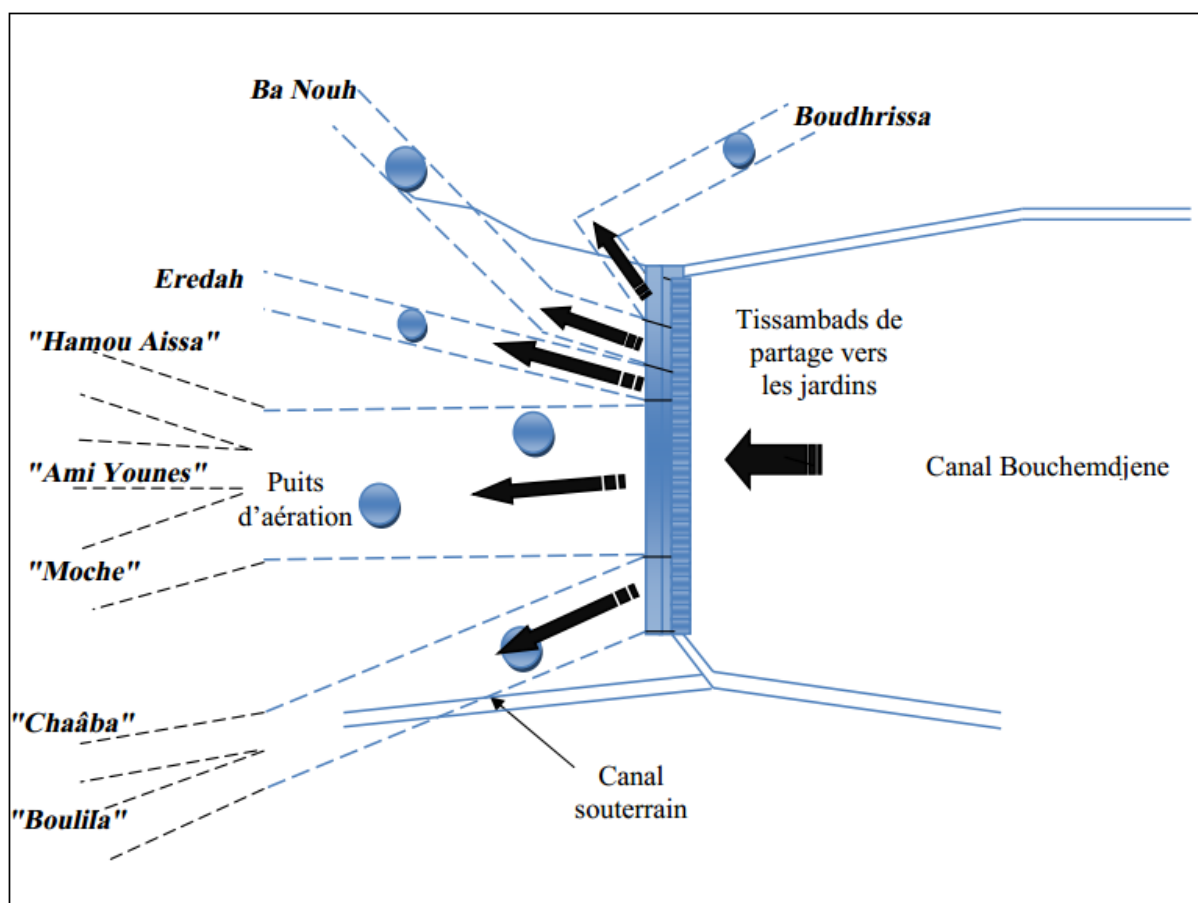


Figure III.13. Canaux souterrains (DJOUDI et RAFA 2009).

III.6. Conclusion

Depuis près de 10 siècles, les mozabites ont réussi une prouesse architecturale, celle de créer des oasis artificiels, ainsi que la mise en place d'un système hydraulique des plus ingénieux, constitué d'ouvrages à but multiples qui assure la collecte, le partage, la recharge des nappes, l'irrigation et la protection de ces oasis.

Chapitre IV Etude d'impact des barrages

IV.1. Introduction

Depuis l'origine de la civilisation les hommes ont tenté de contrôler les écoulements des rivières et les cours d'eau par des seuils et des barrages. On trouve aujourd'hui en Algérie au moins 100 ouvrages barrant les cours d'eau.

Ces ouvrages ont été construits à différentes époques et pour répondre à des objectifs divers :

- Contrôler les débits (laminage des crues et soutien des étiages),
- constituer des réserves en eau,
- Produire de l'énergie, etc.

Et parmi ces ouvrages répertoriés, certains n'ont cependant aujourd'hui aucun usage identifié.

Les barrages perturbent de différentes manières le fonctionnement des rivières et des cours d'eau : Ils modifient leur régime hydrologique, perturbent les conditions écologiques à l'amont comme à l'aval de la retenue, diminuent les capacités d'autoépuration, modifient les processus d'érosion et de transport solide, stockent les sédiments et les polluants, fragmentent l'habitat des espèces aquatiques et font obstacle aux déplacements des grands migrateurs. Enfin, ils constituent un danger en cas de rupture et peuvent aggraver les risques d'inondation en amont. (Chocat B. et al, 2014).

IV.2. Etude d'impact

Une étude d'impact est une étude technique qui vise à apprécier les conséquences de toutes natures, notamment environnementales, d'un projet d'aménagement pour tenter d'en limiter, atténuer ou compenser les effets négatifs.

L'étude d'impact constitue l'outil privilégié de l'évaluation environnementale des travaux et projets d'aménagement.

- Une étude d'impact bien faite doit montrer comment chaque projet répond à : des besoins économiques et sociaux,
- Une préoccupation de la politique de protection de l'environnement (maintien de la diversité biologique, préservation des grands équilibres) qui conditionnent l'utilisation, la préservation et la transmission de ce patrimoine collectif.

L'étude d'impact constitue l'outil privilégié de l'évaluation environnementale des travaux et projets d'aménagement.

L'étude d'impact sur l'environnement analyse les effets positifs et négatifs des projets de travaux et d'aménagement sur l'environnement et le cadre de vie.

IV.3. L'évaluation environnementale

L'évaluation environnementale désigne l'ensemble de la démarche destinée à :

- analyser les effets sur l'environnement
 - d'un projet d'aménagement,
 - d'un programme de développement,
 - d'une action stratégique,
- mesurer leur acceptabilité environnementale,
- éclairer les décideurs.

Elle vise à :

- améliorer la décision par une prise en compte explicite et sélective des considérations environnementales,
- fournir une base solide pour la gestion des conséquences sur l'environnement des actions d'aménagement,
- permettre aux citoyens de s'exprimer sur les modifications prévisibles de leur cadre de vie,
- favoriser l'intégration des objectifs fondamentaux que sont la protection de l'environnement et le développement durable (Chocat B. et al, 2014).

IV.3.1. Qu'est-ce qu'un barrage ?

Un barrage est un ouvrage artificiel construit en travers d'un cours d'eau, que celui-ci soit permanent ou non, ou d'un thalweg, et capable de retenir l'eau.

Quand le barrage n'obstrue que le lit mineur de la rivière et qu'il ne crée pas de retenue dans la vallée, on parle de seuil (S'il n'obstrue qu'une partie du lit mineur, on parle d'épi). Les ouvrages de ce type sont généralement au moins en partie submersibles, c'est-à-dire que l'eau peut passer au-dessus d'eux en situation normale, et leur hauteur est le plus souvent inférieure à 5 mètres. Ils peuvent être fixes ou mobiles (Chocat B. et al, 2014).

Le terme barrage est souvent utilisé exclusivement pour les ouvrages qui barrent plus que le lit mineur du cours d'eau.

IV.3.2. Impact des barrages sur les cours d'eau

L'ensemble de ces ouvrages constituent des obstacles à l'écoulement dans la mesure où ils perturbent le libre écoulement des eaux, mais également le transport des sédiments ou la circulation des espèces aquatiques (Chocat B. et al, 2014).

IV.3.3. Utilité des barrages

Les barrages sont construits pour répondre à des objectifs divers : contrôler les débits (contrôle des crues et soutien des étiages), constituer des réserves en eau, produire de

l'énergie, élever des poissons, faciliter la navigation, plus récemment créer des espaces de loisirs, etc. Nous allons analyser leur utilité réelle concernant trois grands domaines :

- Une meilleure mobilisation des ressources en eau ;
- Le contrôle des crues ;
- La production d'électricité.

IV.3.4. Intérêt des barrages dans la mobilisation de l'eau

Les précipitations sont irrégulièrement réparties dans le temps et c'est bien sûr pendant les périodes chaudes et sèches que les besoins en eau sont les plus importants. Stocker l'eau en excédent pendant les périodes humides pour pouvoir l'utiliser pendant les périodes sèches semble donc une idée logique. Ceci est d'autant plus vrai que lors des crues une partie importante des précipitations ruisselle très vite et rejoint la mer ou l'océan en quelques jours sans avoir pu contribuer à reconstituer les réserves naturelles que constituent les nappes d'eau souterraines. Interceptor ces volumes permet donc en théorie d'augmenter les ressources mobilisables sur le bassin versant.

Beaucoup de retenues d'eau (Les seuils, même s'ils ne barrent que le lit mineur de la rivière et ne permettent pas de stockage dans la vallée, contribuent à remonter la nappe d'eau souterraine à l'amont et augmentent ainsi le stockage dans le sol.) ont donc été construites dans le but d'alimenter en eau potable des agglomérations importantes ou de développer des cultures dans des zones où ce serait impossible sans irrigation.

La multiplication de ces étendues d'eau n'est pas sans effet sur le bilan hydrique. Exposée au soleil et au vent, l'eau des retenues s'évapore. Les retenues sont donc également des consommatrices d'eau !

Les seuils et les barrages permettent indéniablement de mobiliser l'eau sur de plus longues périodes, mais ils n'augmentent donc pas nécessairement les ressources. Si l'on raisonne en termes de bilan annuel, ils peuvent même être des consommateurs d'eau (Chocat B. et al, 2014).

IV.3.5. La limitation des risques d'inondation par les barrages en aval

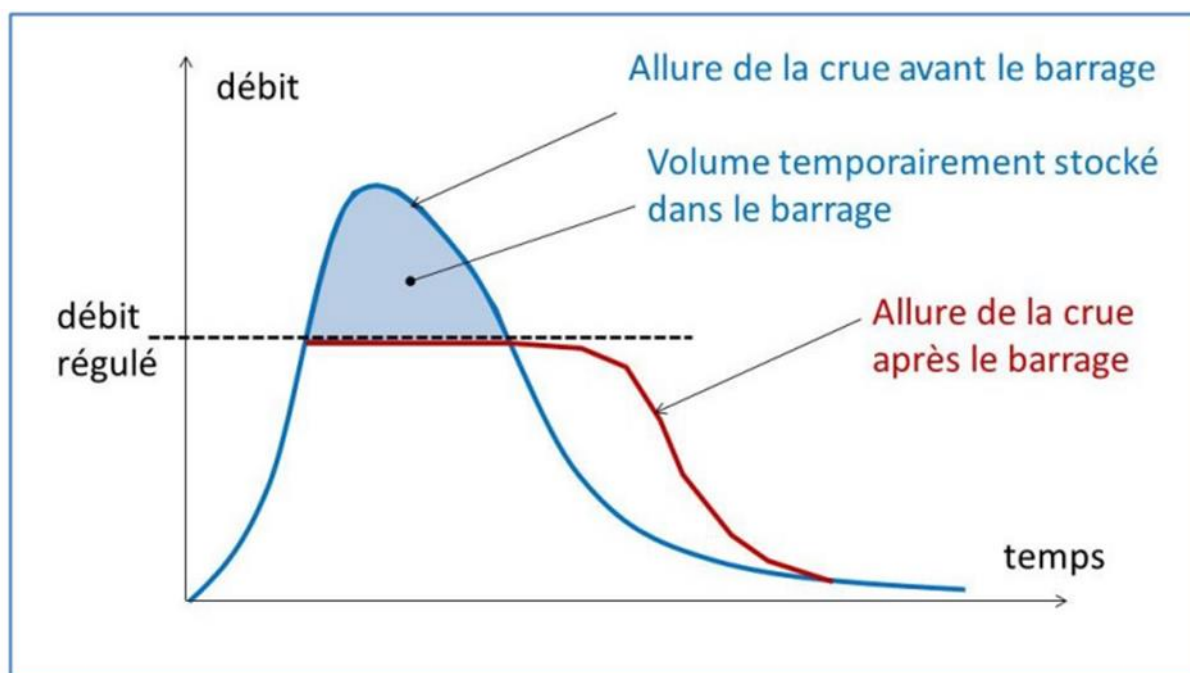


Figure IV.1. Allure de la crue avant et après le barrage.

Un barrage permet de stocker un certain volume d'eau. Si ce volume est celui qui s'écoule pendant la période où le débit dans la rivière est le plus fort, le barrage peut donc écrêter la pointe de la crue et limiter ainsi la sévérité des inondations à l'aval.

Beaucoup de barrages ont ainsi été construits avec pour objectif principal ou secondaire la protection des agglomérations contre les risques d'inondation.

IV.3.6. L'efficacité des barrages

En pratique, cette fonction de limitation des pointes de crue ne peut être remplie que si la capacité de stockage disponible dans la retenue au moment où la crue arrive est supérieure au volume de la crue à retenir.

En effet, pour des raisons de sécurité, le niveau de l'eau dans la retenue ne doit jamais dépasser une valeur maximum, dite cote des plus hautes eaux (PHE). Si cette valeur était dépassée, le barrage risquerait de se rompre avec des conséquences catastrophiques. Lorsque la retenue est pleine, on actionne donc des vannes, appelées déversoirs de crue, qui évitent de dépasser cette cote de sécurité.

Dans le meilleur des cas, on est capable d'anticiper parfaitement la crue et donc de choisir la valeur de débit régulé de façon à utiliser au mieux le volume disponible pour stocker le volume d'eau correspondant aux débits les plus forts. Dans ce cas, et selon l'importance de la crue, le débit, même régulé, peut cependant entraîner des inondations, mais moins importantes que celles qui auraient été observées sans le barrage (Chocat B. et al, 2014).

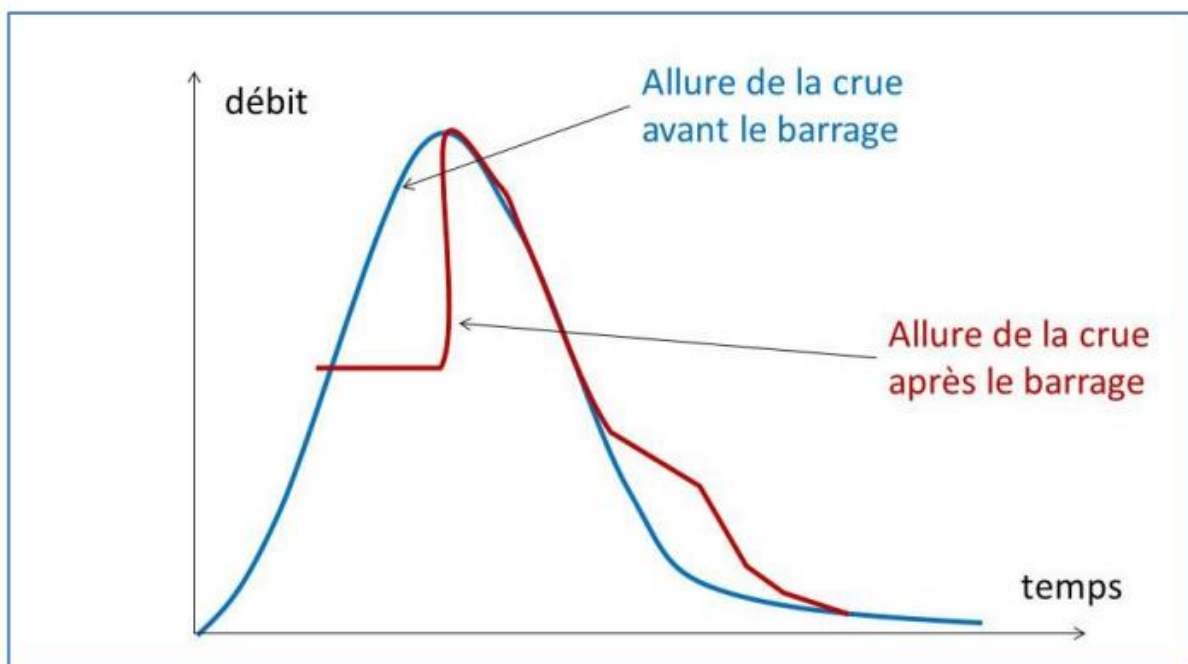


Figure IV.2. Allure de la crue avant et après le barrage.

Mais si l'on a mal anticipé la crue et que l'on a commencé à stocker l'eau trop tôt, le barrage peut être plein avant que la pointe de débit ne soit atteinte. Dans ce cas, on est alors obligé d'ouvrir les vannes et de laisser passer l'eau au moment où le débit est le plus fort. Le barrage ne joue alors plus aucun rôle pour limiter le débit de pointe de la crue. Il peut même en aggraver les conséquences car la montée en débit est plus rapide.

Pour des raisons à la fois techniques et économiques, le volume de stockage disponible est obligatoirement limité. Les barrages sont donc extrêmement efficaces pour contrôler les petites crues, mais leur utilité diminue, voire disparaît complètement, lorsque les crues deviennent plus fortes.

En conclusion les barrages permettent de limiter l'impact des crues moyennes mais ne constituent pas une méthode réellement efficace pour se protéger contre les crues les plus violentes.

IV.3.7. Le risque de rupture des barrages

Ce type de catastrophe peut-il se reproduire ? La réponse est oui, même si la probabilité de rupture est extrêmement faible. Le rapport indique que, au cours du dernier siècle, près de 1% des grands barrages se sont rompus ! La probabilité de rupture est sans doute encore plus forte pour les petits barrages (Chocat B. et al, 2014).

Les risques naturels sont beaucoup moins contrôlables. Nous ne développerons pas ici les risques sismiques qui sont relativement faibles en Ghardaïa presque nul et pour lesquels on peut donc se prémunir en mal conception les ouvrages et insisterons davantage sur les risques hydrologiques.

IV.3.8. La résistance des barrages devant les crues

Le dimensionnement hydrologique des barrages repose sur deux critères : le choix d'une période de retour (La période de retour est l'intervalle de temps moyen séparant deux événements au moins aussi fort que celui pris comme référence. Elle permet de calculer la probabilité qu'un tel événement survienne au cours d'une année particulière. Par exemple dire qu'un événement a une période de retour de 1 000 ans signifie que l'on a théoriquement une chance sur 1 000 qu'un événement au moins aussi fort se produise au cours de l'année à venir.) Pour la crue de projet, qui fixe la cote des plus hautes eaux (PHE), et l'application d'une sécurité au-dessus de cette cote des plus hautes eaux (que l'on appelle la « revanche »), pour tenir compte du risque de formation d'une vague dans la retenue (Chocat B. et al, 2014).

Les périodes de retour prises en compte pour la crue de projet sont généralement de 1 000 ans pour les barrages en béton et de 10 000 ans pour les barrages en remblais. Cette valeur peut paraître élevée (Chocat B. et al, 2014). En pratique, elle signifie que chaque année, la probabilité d'avoir une crue plus forte que la crue de projet est comprise entre 1/1000 et 1/10 000.

Si on considère une durée d'un siècle, normalement inférieure à la durée de vie d'un barrage, les probabilités deviennent respectivement d'une chance sur 10 ou d'une chance sur 100, ce qui est loin d'être négligeable.

Quoi qu'il en soit, il est impossible de se protéger contre toutes les situations et il est toujours possible que la rivière connaisse une crue plus forte que celle prise en compte pour dimensionner le barrage, et donc que la stabilité de l'ouvrage soit mise en danger.

IV.3.9. Les différentes perturbations provoquées par les barrages

• Modification des processus d'érosion à l'amont et à l'aval

La retenue crée un point dur et diminue les processus d'érosion latérale à l'amont avec pour conséquence une plus grande stabilité des milieux naturels. Le contrôle des crues modifie également les processus d'érosion à l'aval de la retenue.

• Modification des processus de transport solide

Le piégeage des sédiments grossiers (galets, graviers et sables) dans la retenue réduit la recharge alluviale à l'aval ce qui a pour conséquence une érosion du lit mineur de la rivière (Le manque d'alluvions grossières à l'aval pénalise le fonctionnement écologique car ce type d'alluvions constitue un habitat important pour de nombreuses espèces. Le déficit de matériaux sédimentaires peut également entraîner un abaissement du fond du lit de la rivière (la rivière creuse son lit), préjudiciable aux milieux aquatiques (déconnection entre le lit mineur et les espaces naturels alluviaux,) et aux usages (risque de déstabilisation d'ouvrages en berges ou de pont, baisse du niveau de la nappe d'eau souterraine, etc.). Ce phénomène entraîne par ailleurs un comblement de la retenue.

• Piégeage des sédiments fins dans la retenue

L'accumulation des sédiments fins dans la retenue se traduit généralement par un changement radical des espèces occupant le milieu. Dans le cas des barrages importants, pour éviter le comblement de la retenue et la diminution associée de la réserve d'eau, il est nécessaire d'effectuer régulièrement des chasses (on parle parfois de purges) en ouvrant les vannes de fond du barrage pour évacuer les sédiments. On envoie alors vers l'aval des flux très importants de particules fines, souvent polluées, qui peuvent avoir des effets très négatifs sur la rivière et ses usages (Chocat B. et al, 2014).

IV.4. Présentation des digues de Laadhira et Labiod

Introduction

Les barrages de Laadhira et de Labiod sont construits dans le but de protéger les villes de la vallée du Mzab, en aval, contre les crues par la technique d'écrêtement des crues. Ils sont de type barrage en remblai.

Le tableau suivant représente les différentes caractéristiques hydrologiques, de la retenue, et des différents ouvrages : barrage, vidange de fond et évacuateur de crue.

Tableau IV.1. Différentes caractéristiques des barrages de Laadhira et de Labiod

Caractéristiques	Barrage de Labiod	Barrage de Laadhira
Caractéristiques hydrologique		
• Aire du bassin versant naturel	769 km ²	381 km ²
Caractéristiques principales de la retenue		
• Cote de la retenue normale	565,15 NGA	555,8 NGA
• Aire de la retenue au niveau normal	447 ha	200 ha
• Capacité à retenue normale	12,1 Mio m ³	7,2 Mio m ³
Caractéristiques principales des ouvrages		
• Type du barrage	Digue alluvions	Digue alluvions
• Hauteur maximale sur TN	16 m	16 m
• Longueur en crête	1100 m	420 m
• Capacité maximale sous RN	20 m ³ /s.	20 m ³ /s.

IV.5. Conclusion

Les barrages perturbent de différentes manières le fonctionnement des cours d'eau : Ils modifient leur régime hydrologique, perturbent les conditions écologiques à l'amont comme à l'aval de la retenue, modifient les processus d'érosion et de transport solide, stockent les sédiments et les polluants. Enfin, ils constituent un danger en cas de rupture et peuvent aggraver les risques d'inondation en amont.

Chapitre V Modélisation du système de partage des eaux de Mزاب

V.1. Introduction

Comme nous l'avons déjà mentionné dans le chapitre précédent, la palmeraie reçoit les eaux de pluies orageuses via un système hydraulique, que nous pouvons subdiviser en deux parties :

- Une partie qui collecte et canalise les eaux de pluies orageuses vers le système de partage ;
- Et une partie qui partage les eaux collectées au niveau de la palmeraie.

Dans ce chapitre, nous avons essayé de quantifier les débits pour les différents points de régulation de la partie collecte des eaux pour la palmeraie.

Ces débits seront utilisés par la suite dans la modélisation de l'écoulement dans le système.

D'autre part, l'objectif de ce chapitre est de calculer le débit maximum que peut supporter chaque système de régulation :

- Le système de régulation du canal de Bouchemdjén.
- Le système de régulation du canal de Bouchen.

Les calculs suivants se basent sur les études de DJOUDI et RAFA (2009) et NACER (2011).

V.2. Calculs des débits du système de régulation du canal de Bouchemdjén

V.2.1. Calcul du débit passant par les ouvertures de régulation « Tissambad » du canal de Bouchemdjén

Cet ouvrage est constitué de plusieurs ouvertures (orifices), qui sont en série. Lors de la crue, les Oumanas peuvent changer les sections de ces ouvertures à l'aide des portes métalliques rectangulaires sous forme de vannes qui se manœuvrent manuellement.



Figure V.1. Tissambad du premier point de régulation du canal de Bouchemdjen (NACER, 2011).

Tissambads du premier point de régulation du canal de Bouchemdjen

Les orifices de chaque système, ont tous les mêmes dimensions.

Dans la figure suivante nous citons les paramètres ou les caractéristiques d'un orifice vanné (Carlier, 1980).

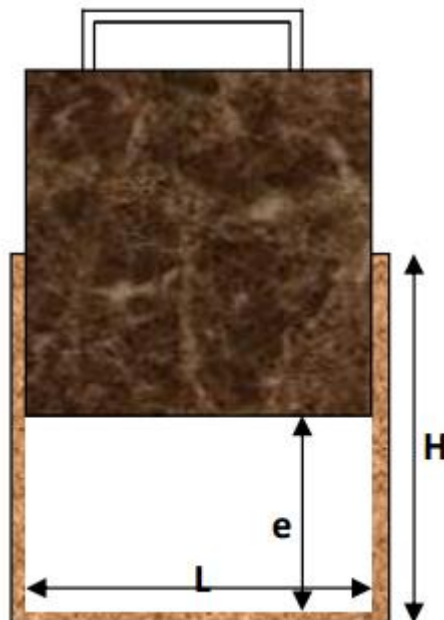


Figure V.2. Orifice vanné (Carlier, 1980).

Dans le cas d'un orifice vanné, le débit est donné par la formule :

$$Q = mL e \sqrt{\frac{2gH}{1+\frac{m}{e}}} \quad \text{V.1)}$$

Avec,

Q : débit (en m³/s) ;

m : coefficient de débit égal à 0,61 pour une vanne verticale ;

e : levée de la vanne (en m) ;

L : largeur de l'ouverture de la vanne (égale à la largeur de l'orifice) (en m) ;

H : hauteur de l'orifice (en m)

g : l'accélération de la pesanteur égale à 9.81 m/s²

Bien entendu, cette formule n'est valable que pour un écoulement non noyé ou dénoyé (Carlier, 1980).

Dans le cas où la vanne est complètement ouverte, la formule (8) devient :

$$Q = mL e H \sqrt{\frac{2gH}{1+m}} \quad \text{V.2)}$$

Ce point de régulation se compose de 28 orifices « Tissamabads » dont les dimensions sont : Ho= 0,6m et Lo= 0,5m.

De l'équation (9), nous déterminons le débit pour chaque Tissambad : $Q = 0.49m^3/s$

Donc le débit max qui peut supporter le canal de Bouchemdjen est de 13.832 m³/s

V.2.2. Calcul du débit passant par les ouvertures de régulation « Tissambad » du canal de Bouchen

Tissambads du premier point de régulation du canal de Bouchen :

Il est composé de 19 orifices. Les dimensions des différents orifices sont : Ho= 0,9m et Lo= 1m.

Nous introduisons ces dernières dans l'équation (9), et nous obtenons : $Q = 1.81 m^3/s$

Donc le débit max qui peut supporter le cana de Bouchen est de 34.39 m³/s.

V.2.3. Calcul de la capacité du barrage de Bouchene

A partir du logiciel ArcGIS nous avons pu calculer approximativement la capacité du barrage du Bouchen en suivant ces étapes :

1. délimiter la surface du plan d'eau,
2. entrer l'élévation max de plan d'eau,
3. convertir le polygone (la surface délimité) vers le modèle TIN,
4. puis appeler la fonction Volume-Surface.



Figure V.3. Délimitation à main levée du bassin de barrage de Bouchen par ArcGIS.

Résultats de calcul

Tableau V.1.Caractéristiques du barrage de Bouchen.

surface (Km ²)	périmètre (Km)	Capacité du barrage de Bouchen (m ³)
0.333602	3.906214	1509244.772

V.3. Schéma de modélisation du fonctionnement du système de collecte sans/avec digues

V.3.1. Considérations de modélisation du système

Le système de gestion des eaux de crue de la palmeraie de Tagherdaït se constitue d'une panoplie d'ouvrages hydrauliques pour permettre une gestion minutieuse des rares crues que reçoit la zone d'étude. La modélisation du fonctionnement du système nécessite la représentation du fonctionnement de chaque élément du système et de sa relation avec le fonctionnement des autres éléments. Ainsi, il est intéressant d'élaborer un algorithme mathématique qui permet de traduire ce fonctionnement de l'état descriptif à une représentation quantitative.

Cependant, il faut noter que le système présente une complexité fonctionnelle qui oblige chaque tentative de modélisation à émettre des hypothèses simplificatrices qui permettent d'atteindre un état de fonctionnement qui représente une stabilité acceptable. En réalité, cette stabilité de fonctionnement n'est pas nécessairement atteinte à cause de :

- L'instabilité du fonctionnement du système au cours du temps, à cause de la dégradation continue du système par les éléments naturels (crues, ensablement) et anthropiques.
- L'intervention des *Oumana* (Responsables de la gestion du système) dans la gestion des crues par la manipulation des portes métalliques des Tissambad. Ces manipulations reposent sur le suivi de l'évolution de la crue en amont et d'autres critères d'équité d'accès à l'eau.

Pendant cette dernière décennie, deux barrages d'écrêtement (Labioud et Laadhira) ont été construits sur les cours d'eau de ces deux principaux affluents de l'oued Mzab. Le fonctionnement de ces deux ouvrages représente moins de complexité de fonctionnement, et plus de stabilité au cours du temps avec un fonctionnement ne nécessitant aucune intervention humaine.

Dans ce qui suit, les hypothèses de modélisation et les algorithmes de fonctionnement du système sont présentés.

La modélisation consiste à une comparaison du fonctionnement du système de gestion des eaux de crue avant et après la construction des barrages sur les cours d'eau de Labioud et Laadhira. Les barrages de Labioud et Laadhira sont suffisamment éloignés du système de gestion traditionnel et ne présente aucune altération sur le fonctionnement technique du système à part la modification des hydrogrammes de crue atteignant le système. Ainsi, l'algorithme de modélisation de l'étude est subdivisé en deux parties : algorithme de fonctionnement de la partie amont du système et algorithme de fonctionnement des barrages de laminage de crue.

V.3.2. Scénarios de simulation du système

L'objectif de cette modélisation est l'étude hydrologique et quantitative de l'impact de la construction des deux barrages de Labiod et Laadhira sur le fonctionnement du système et de la manière de l'évolution des débits et volumes atteignant le système, ainsi que sur l'efficacité du système dans la récupération des eaux de crue.

Avant la construction des deux barrages (Cas 1), le système de collecte reçoit toutes les eaux de crue de Laadhira et de Labiod sans que le régime de la crue soit modifié par d'autres ouvrages en amont du système. L'hydrogramme de crue atteignant le système est le résultat direct de l'écoulement des deux oueds. Pour ce cas, trois cas peuvent se présenter :

- i) écoulement de l'oued de Laadhira seulement (Cas 1-A)
- ii) écoulement de l'oued de Labiod seulement (Cas 1-B)
- iii) écoulement des oueds de Laadhira et Labiod à la fois (Cas 1-C)

Après la construction des deux barrages, le régime d'écoulement qui entre au système de gestion des eaux de crue est altéré par l'intervention des deux barrages en amont (Cas 2). Ainsi, l'étude envisage d'analyser les trois cas antérieurement cités (i, ii, iii) avec la présence des deux barrages. Par conséquent, on obtient trois autres scénarios de simulation :

- i) écoulement de l'oued de l'oued de Laadhira seulement (Cas 2-A)
- ii) écoulement de l'oued de Labiod seulement (Cas 2-B)
- iii) écoulement des oueds de Laadhira et Labiod à la fois (Cas 2-C)

En fait, on peut envisager une infinitude de scénarios de fonctionnement en variant les paramètres de début de crue dans chaque bassin. Cependant, on se contente d'une simulation hypothétique d'une crue des deux oueds à la fois qui commence au même moment.

Tableau V.2. Différents scénarios de la simulation

Etat en amont	Une seule crue		Deux crues à la fois
	(A)	(B)	(C)
Sans digues amont (Cas 1)	BV Laadhira	BV Labiod	BV total
Avec digues amont (Cas 2)	BV Laadhira	BV Labiod	BV total

Les paramètres suivants sont utilisés pour suivre l'évolution du fonctionnement du système et comparer les résultats des différents scénarios de simulation :

- Débits de pointe ;

- Volumes d'eau apportés et gérés par le système ;
- Taux de remplissage du réservoir de Bouchen et taux de déversement dans l'oued Mzab ;
- Taux de récupération de la crue par le système.
- Evolution du débit et du volume d'eau dans le temps.

V.3.3. Algorithme de la partie collecte du système de gestion de l'eau de l'oued Mzab

Dans cette partie nous allons établir un algorithme qui représente le système en donnant les conditions limites de chaque Tissambad (le débit qui peut supporter chaque canal, la capacité du barrage de Bouchen, la capacité maximale de l'évacuateur de crue et la capacité de chaque barrage), après nous allons introduire les débits de crue de chaque instant t de différents périodes de retour pour simuler tous les cas possibles de crue en allant de 1 an jusqu'à 50 ans comme période de retour.

L'algorithme de la partie collecte du système est une modélisation du fonctionnement du système sous forme de formule mathématiques et de conditions logiques. Le modèle sert à imiter le fonctionnement de chaque ouvrage en émettant des hypothèses simplificatrices, des conditions initiales et aux limites sous un ordre logiques.

Les hypothèses simplificatrices aident à diminuer la complexité du système et à couvrir les zones de manque ou d'insuffisance d'information sur le fonctionnement. Elles sont :

1. Le système comporte deux canaux d'orientation des eaux de crue. L'étude suppose que le canal ne subit aucun débordement au cours de son fonctionnement normal, et que tout excédent d'eau est orienté en aval par les déversoirs considérées.
2. Le système ne reçoit pas d'apports d'eaux autres que celles des cours d'eau de Labiod et Laadhira.
3. L'infiltration de l'eau pendant l'écoulement est négligée.

Afin d'avoir les résultats sous forme de tableaux, nous avons choisi le tableur Excel (facilite le traitement des tableaux).

Description de l'algorithme

Si le débit de la crue entrant dans le système est inférieur au débit max du canal de Bouchemdjen, les Tissembad du premier point de régulation du canal de Bouchemdjen transportent tout le débit, sinon le reste est évacué dans le canal de Bouchen

Et si le débit évacué dans le canal de Bouchen est inférieur au débit max du canal, les Tissembad du premier point de régulation du canal de Bouchen transportent tout le débit entrant, tant que le barrage de Bouchen n'atteint pas sa capacité maximale, sinon le reste sera évacué dans l'oued Mzab.

Si $Q_t \leq Q_{1-max}$

$$Q_1 = Q_t.$$

Sinon

$$Q_1 = Q_{1-max}$$

Fin.

Si $V_{2_cum} < V_{max_barrage_Bouchene}$

Si $Q_2 \leq Q_{2-max}$

$$Q_2 = Q_t - Q_{1-max} ;$$

$$Q_3 = Q_t - Q_{1-max} - Q_{2-max} \text{ Pour } Q_3 \geq 0$$

$$Q_3 = 0 \text{ Pour } Q_3 < 0$$

Sinon

$$Q_2 = 0 \text{ m}^3/\text{s} ;$$

$$Q_3 = Q_t - Q_{1-max}.$$

Fin.

Fin.

Avec

Q_t : Débit à l'instant t

Q_1 : Débit passant dans le canal de Bouchemdjen,

Q_2 : Débit passant dans le canal de Bouchen,

Q_{1-max} : Débit maximal dans le canal de Bouchemdjen. Il est égal à 13.832 m³/s,

Q_{2-max} : Débit maximal dans le canal de Bouchen. Il est égal à 34.39 m³/s,

Q_3 : Débit passant dans l'oued de Mzab.

V.3.4. Algorithme du barrage de Labiod et Laadhira

Pour la simulation du fonctionnement du système après la construction des barrages sur les cours d'eau de Labiod et Laadhira, un autre algorithme a été développé pour tenir compte des paramètres représentatifs de l'influence des barrages sur l'écoulement d'eau dans les deux cours d'eau. En outre, il faut noter l'application d'hypothèses simplificatrices sur le fonctionnement des barrages. Elles sont :

1. Les portes d'écrêtement des barrages sont au niveau du terrain naturel de la cuvette du barrage, et aucun volume d'eau n'est stocké dans le réservoir du barrage après la fin de la crue.
2. Toute l'eau évacuée par le barrage atteint la partie collecte du système de gestion de l'eau du Mزاب, et aucune perte par infiltration, évaporation, accumulation d'eau dans les dépressions n'est envisagée dans le modèle.

L'algorithme du barrage est une série de conditions aux limites pour :

Le débit évacué par le barrage de Laadhira ou Labiod,

Et la capacité du barrage de Laadhira ou Labiod.

Description

Si le débit de la crue entrant dans le barrage de Laadhira ou Labiod est inférieur au débit max de l'évacuateur de crue, implique le débit sortant du barrage est égale au débit de la crue, sinon le débit évacué par le barrage vaut $20 \text{ m}^3/\text{s}$ tant que le volume cumulé dans la retenue est inférieur au capacité maximale de barrage de Laadhira ou Labiod, sinon le débit sortant du barrage va être le débit entrant, c'est à dire la vidange du fond et l'évacuateur de crue fonctionnent en même temps.

Si $V_{cum_barrage} < V_{max_barrage}$

Si $Q_t \leq Q_{max-évacué}$

$$Q_{évac} = Q_t.$$

Sinon

$$Q_{évac} = Q_{max-évacué}.$$

Fin.

Sinon

$$Q_{évac} = Q_t ;$$

Fin.

Q_t : Débit à l'instant t

$Q_{max-évacué}$: Débit maximum à évacuer par le barrage de Laadhira ou Labiod. Il est égale à $20 \text{ m}^3/\text{s}$,

$Q_{évac}$: Débit évacué par le barrage de Laadhira ou Labiod,

$V_{cum_barrage}$: Volume cumulé dans le barrage de Laadhira ou Labiod,

$V_{max_barrage}$: La capacité du barrage de Laadhira ou Labiod.

Dans notre simulation et lors de la construction des hydrogrammes des crues nous choisissons un pas de temps qui est égale à une heure qui est de l'ordre de 1/20 de temps de monté et il

semble valable comme pas de temps pour un tel temps de concentration (19 à 25 heures) afin d'obtenir des résultats plus ou moins précis.

Chapitre VI Résultats et discussion

VI.1.1. Résultats de simulation

Après avoir introduit les données (inputs) qui sont les débits de la crue en fonction du temps pour les différentes périodes de retour, tout en variant l'état en amont du système sans/avec les digues de Laadhira et de Labiod, nous obtenons les résultats suivants :

Tableau VI.1. Débits de pointe de chaque période de retour.

	BV Laadhira	BV Labiod
Période de retour T (an)	Débit de pointe Q_{p1} (m³)	Débit de pointe Q_{p2} (m³)
1	20.31	37.70
2	160.97	298.72
5	367.64	682.26
10	517.70	960.73
20	664.61	1233.35
50	857.03	1590.44

Dans ce qui suit, on présente les résultats de simulation des différents scénarios de fonctionnement du système avant et après la construction des deux barrages en amont sur les cours d'eau d'oued Laadhira et Labiod comme illustrés dans le tableau V.2

Les résultats sont présentés dans des graphes qui permettent de comparer l'évolution de la crue avant et après la construction des barrages.

Ce qui suit les formules qui sont utilisé pour évaluer le volume récupéré par le canal de Bouchemdjen, le taux de recharge de barrage de Bouchen, le volume total de la crue et le taux de récupération de la crue par le système de collecte

$$V_{\text{récup_Bouchemdjen}} = \sum_{i=1h}^{i=80h} \frac{Q_j + Q_{j+1}}{2} * 3600$$

Tel que Q_j : le débit entrant dans le canal de Bouchemdjen de chaque instant t (avec pas du temps = 1 heure),

-T : période de retour en an

- $V_{\text{récup_Bouchemdjen}}$: le volume récupéré par le canal de Bouchemdjen ou bien le volume cumulé entrant dans les tissembads de partage vers la palmeraie de Ghardaïa,

$$\text{Taux_recharge_Bouchen} = \frac{\text{volume cumulé dans le barrage}}{\text{la capacité maximale du barrage}} * 100$$

-Taux_recharge_Bouchen : le taux de recharge de barrage de Bouchen en pourcentage,

$$V_{\text{tot}} = \sum_{i=1h}^{i=80h} \frac{Q_i + Q_{i+1}}{2} * 3600$$

- Q_i : le débit de la crue de chaque instant t (avec pas du temps = 1 heure),

- V_{tot} : le volume total de la crue,

$$\text{Taux de récup} = \frac{\text{volume récupéré par le système}}{\text{volume total de la crue}} * 100$$

- Taux de récup : le taux de récupération de la crue par le système de collecte,

- **Comparaison du Cas 1-B et Cas 2-B**

Ce cas présente le fonctionnement du système de gestion d'eau de crue du Mzab par la crue de oued Labiod avant et après la construction du barrage de Labiod pour les périodes de retour de 1, 2, 5, 10, 20 et 50 ans.

- Une seule crue de BV de Labiod et l'état en amont : sans/avec digue (le cas B-1 et 2).

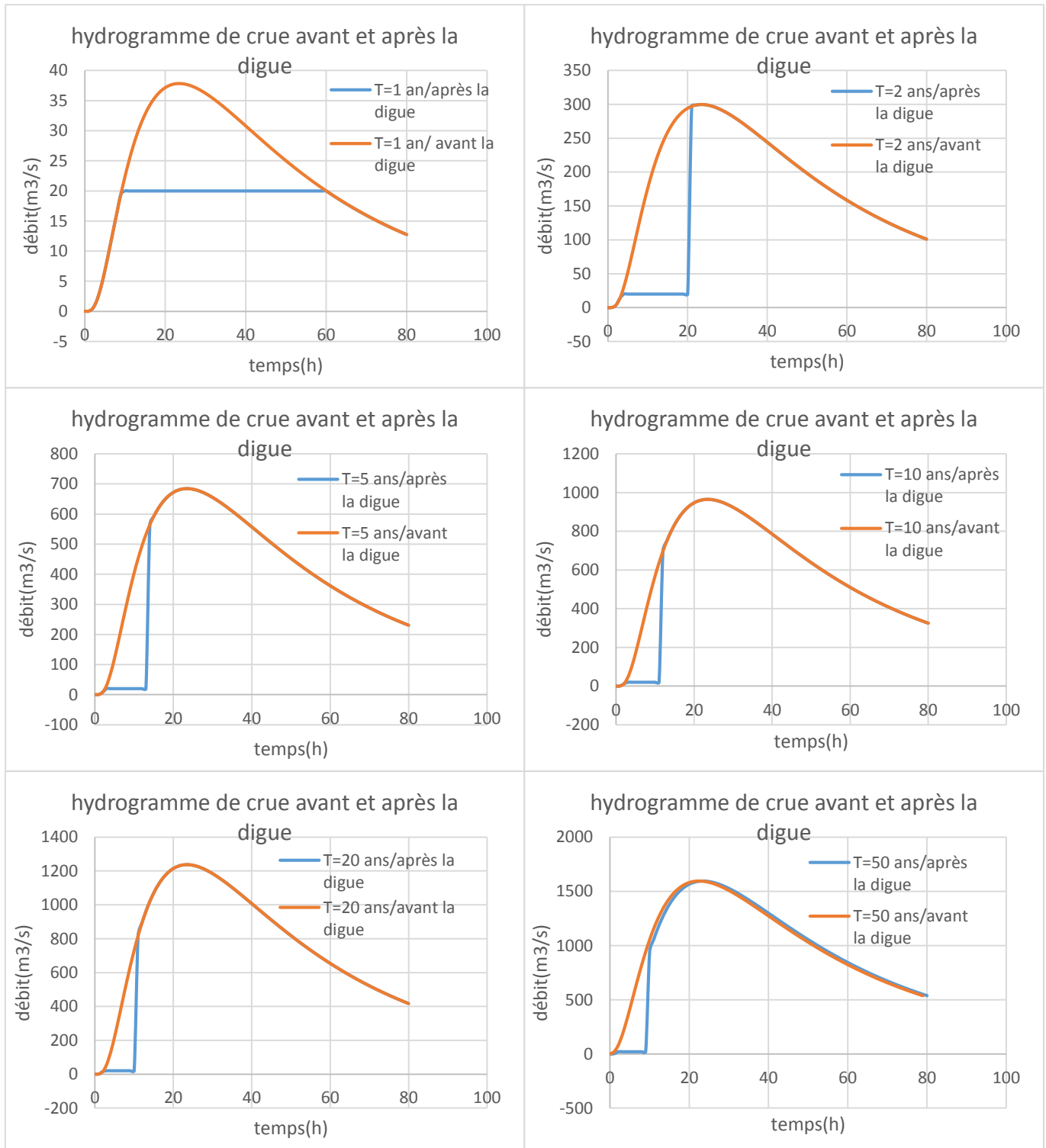


Figure VI.1. Hydrogramme de crues de différentes périodes de retour avant et après le barrage de Labiod (le cas B-1 et 2).

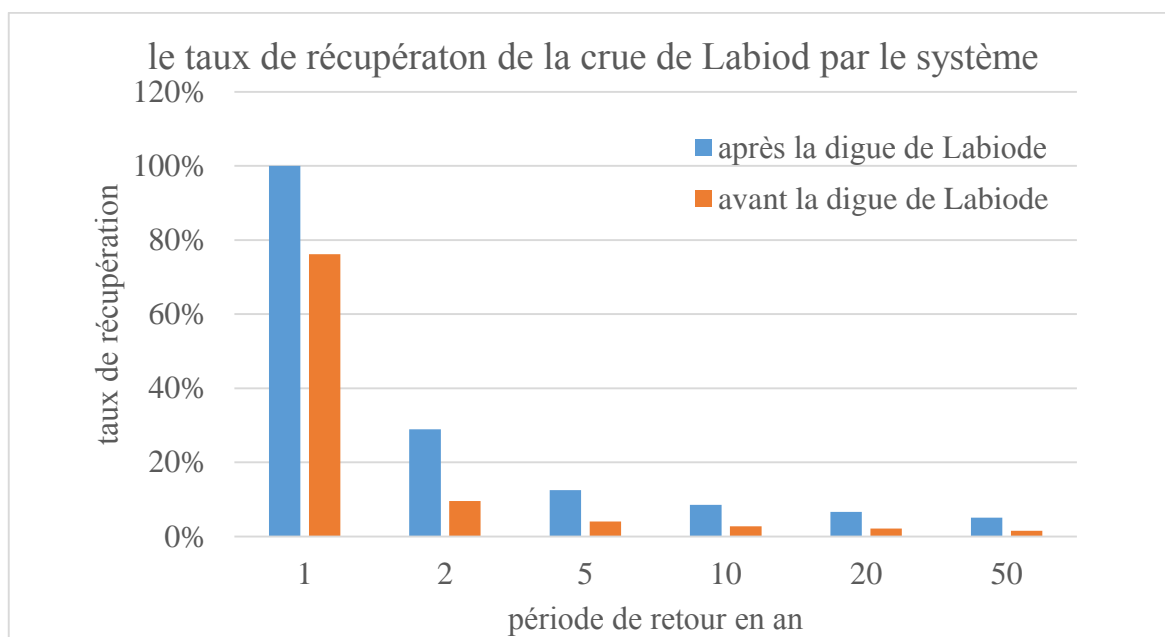


Figure VI.2. Diagramme de taux de récupération de la crue de Labiod par le système de partage (cas B 1-2).

Tableau VI.2. La réponse du système à la crue venant du BV de Labiod (cas B-1 et 2).

une seule crue venant du BV de Labiod (après la digue) les volumes en (m ³)					
T(an)	V_récup_Bouchemdjen	Taux_recharge_Bouchen	taux de récup	Vtot	V_récupéré
1	3732207.973	87.54%	100%	6966904.244	6966904.244
2	3873405.955	100.00%	28.96%	55195908.35	15984963.61
5	3891737.927	100.00%	12.49%	126063885.1	15739182.48
10	3905048.096	100.00%	8.53%	177518512.2	15141037.04
20	3912254.799	100.00%	6.66%	227892750	15183808.09
50	3913219.387	100.00%	5.05%	293873872.1	14830786.72
une seule crue venant du BV de Labiod (avant la digue) les volumes en (m ³)					
T(an)	V_récup_Bouchemdjen	Taux_recharge_Bouchen	taux de récup	Vtot	V_récupéré
1	3732207.973	100.00%	76.20%	6966904.244	5308602.115
2	3873405.955	100.00%	9.54%	55195908.35	5265426.488
5	3891737.927	100.00%	4.01%	126063885.1	5052809.638
10	3905048.096	100.00%	2.78%	177518512.2	4943802.023
20	3912254.799	100.00%	2.11%	227892750	4801496.8
50	3913219.387	100.00%	1.57%	293873872.1	4601149.621

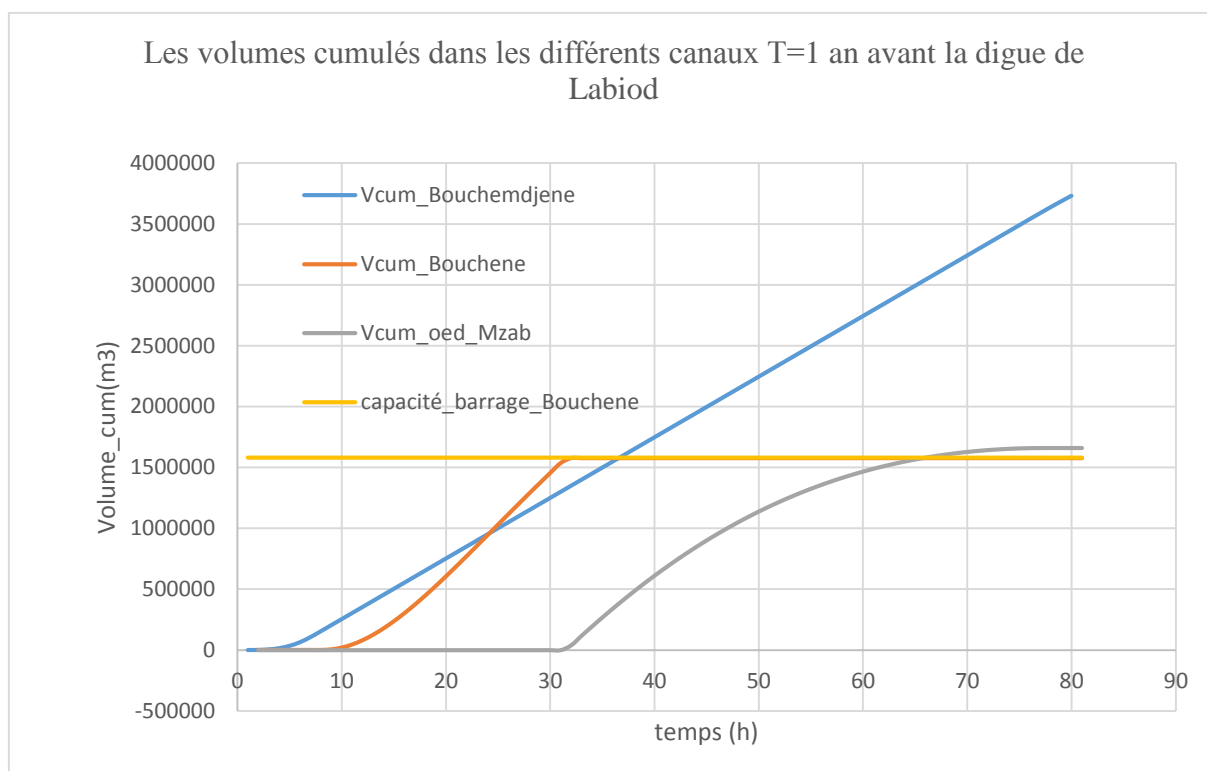


Figure VI.3. Volumes cumulés dans les différents canaux T=1 an avant la digue de Labiod (cas B-1)

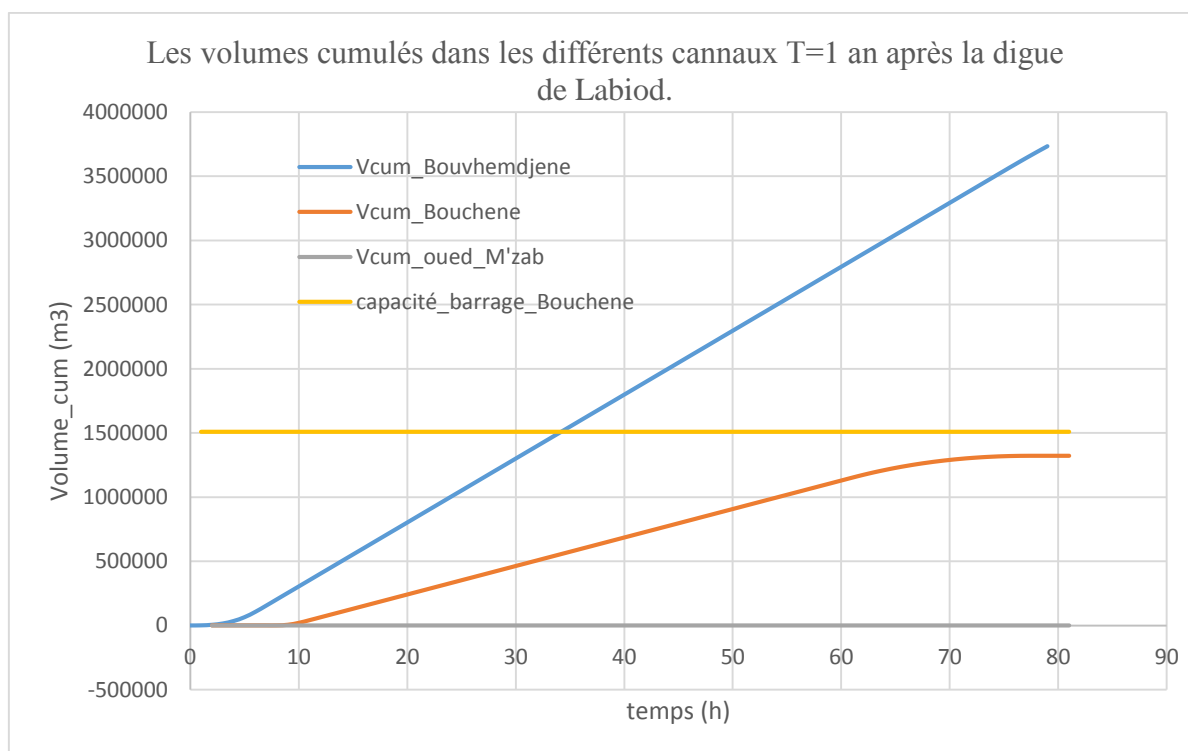


Figure VI.4. Volumes cumulés dans les différents canaux T=1 an après la digue de Labiod (cas B-2)

Dans les graphes précédents, nous remarquons des pics au niveau de chaque hydrogramme de crue une augmentation brusque dans le débit et une courte durée de laminage de la crue (sauf pour $T = 1$ an) après la construction de barrage de Labiod.

Pour les graphes (figure VI.1) correspondant aux temps de retour de 2 à 50 ans, les hydrogrammes de crue entrant au système après la construction du barrage de Labiod montrent l'apparence d'un pic de débits après 21, 17, 15, 14 et 13 heures pour les période de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans. Cette augmentation abrupte et soudaine du débit est apparue comme conséquence au remplissage du barrage et l'évacuation du débit de la crue par l'évacuateur de crue. Cette augmentation considérable du débit pourrait constituer un risque important sur le fonctionnement du système et sur son état.

La capacité de la vidange du fond est de $20 \text{ m}^3/\text{s}$, donc pour les débits supérieurs à ce dernier les $13.823 \text{ m}^3/\text{s}$ pour le canal de Bouchemdjen et il reste juste $6.168 \text{ m}^3/\text{s}$ pour le canal de Bouchen ce qui est un débit vraiment faible pour le remplissage du barrage de Bouchen et nul pour la part de oued Mzab.

Pour une période de retour $T = 1$ an le barrage de Bouchen a se remplit 100% de sa capacité dans le cas où le système est sans digue de Labiod (le système avant), mais il récupère juste 87.54%, où nous remarquons une différence dans le taux de remplissage du barrage de Bouchen due à la limitation des débits provoquée par le barrage pour une capacité maximale du vidange du fond de $20 \text{ m}^3/\text{s}$. (figure VI.3 et VI.4)

- **Comparaison du Cas 1-A et Cas 2-A**

Ce cas présente le fonctionnement du système de gestion d'eau de crue du Mzab par la crue de oued Laadhira avant et après la construction du barrage de Laadhira pour les périodes de retour de 1, 2, 5, 10, 20 et 50 ans.

- Une seule crue de BV de Laadira et l'état en amont : sans/avec digue (le cas A-1 et 2).

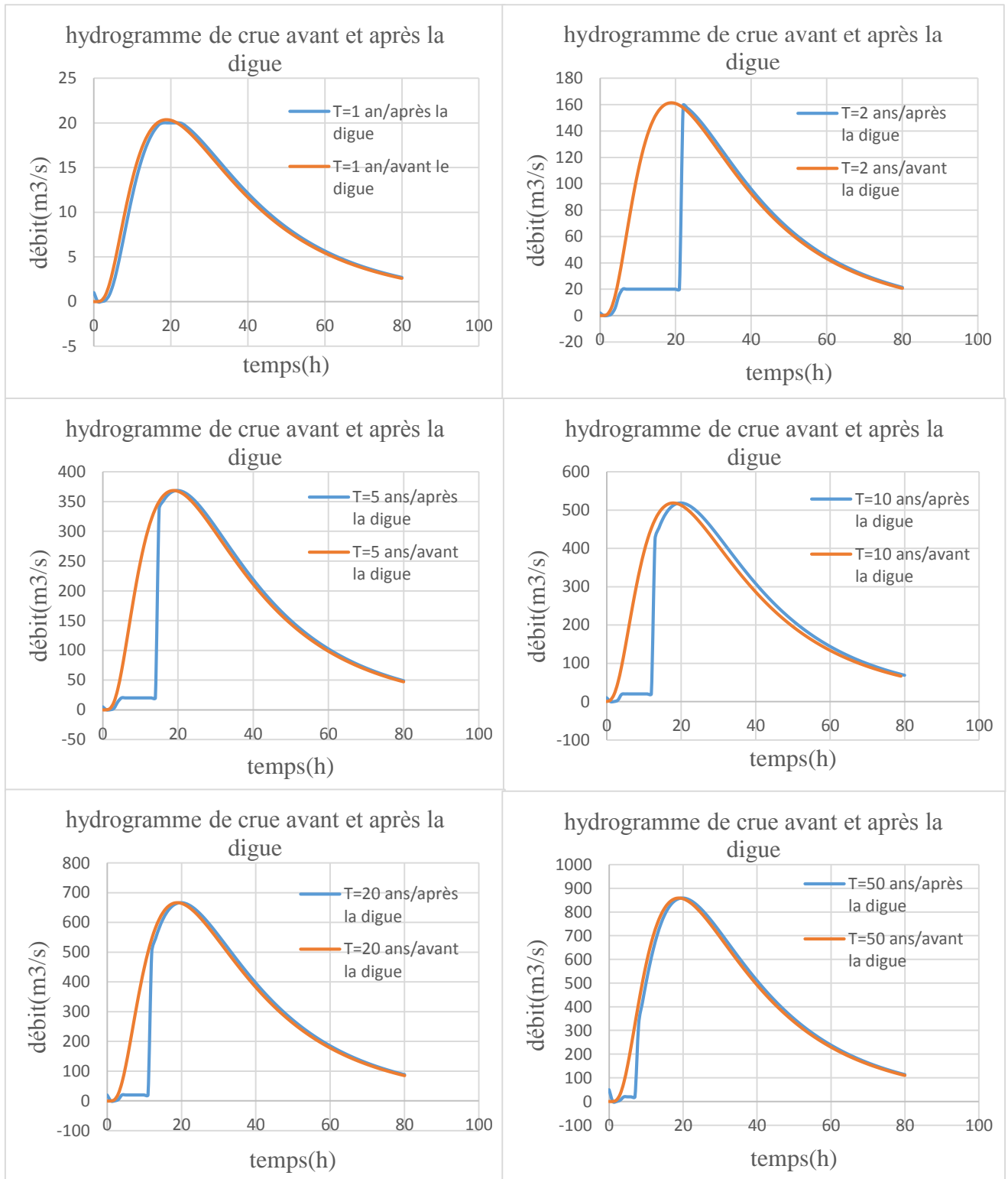


Figure VI.5. Hydrogrammes de crues de différentes périodes de retour avant et après le barrage de Labadira (le cas A-1 et 2).

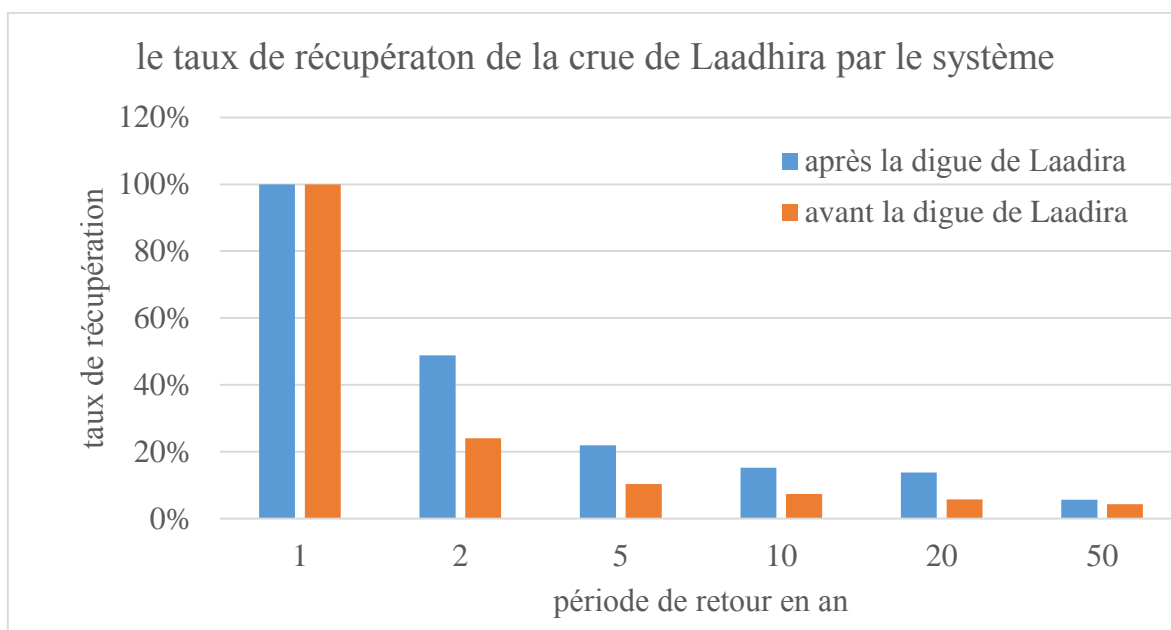


Figure VI.6. Diagramme de taux de récupération de la crue de Laadhira par le système de partage (cas A-1 et 2).

Tableau VI.3. La réponse du système à la crue venant du BV de Laadhira (A-1 et 2).

la réponse du système à la crue venant du BV de Laadhira (après la digue) les volumes en (m ³)					
T(an)	V_récup_Bouchemdjen	Taux_recharge_Bouchem	taux de récup	Vtot	V_récupéré
1	2513739.847	24.19%	100%	2883521.345	2883521.345
2	3834343.135	100.00%	48.78%	22844950.11	11144592.6
5	3866454.789	100.00%	21.94%	52176388.66	11446262.64
10	3872620.272	100.00%	15.16%	73472865.58	11142079.04
20	3876448.959	100.00%	13.72%	94322181.87	12942413.05
50	3881463.846	100.00%	5.58%	121631007.6	6790445.555
la réponse du système à la crue venant du BV de Laadhira (avant la digue) les volumes en (m ³)					
T(an)	V_récup_Bouchemdjen	Taux_recharge_Bouchem	taux de récup	Vtot	V_récupéré
1	2513739.847	24.50%	100%	2883521.345	2883521.345
2	3834343.135	100.00%	23.96%	22844950.11	5474755.18
5	3866454.789	100.00%	10.29%	52176388.66	5366601.059
10	3872620.272	100.00%	7.36%	73472865.58	5404689.011
20	3876448.959	100.00%	5.72%	94322181.87	5393623.899
50	3881463.846	100.00%	4.32%	121631007.6	5255326.607

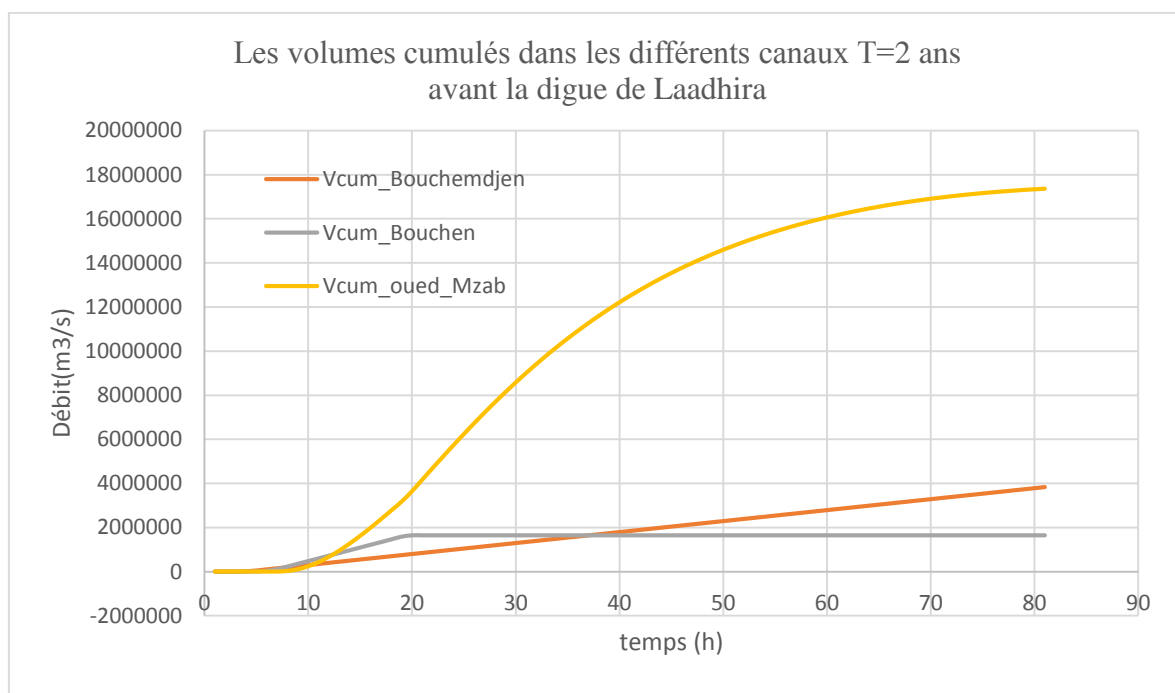


Figure VI.7. Volumes cumulés dans les différents canaux T=2 ans avant la digue de Laadhira (cas A-1)

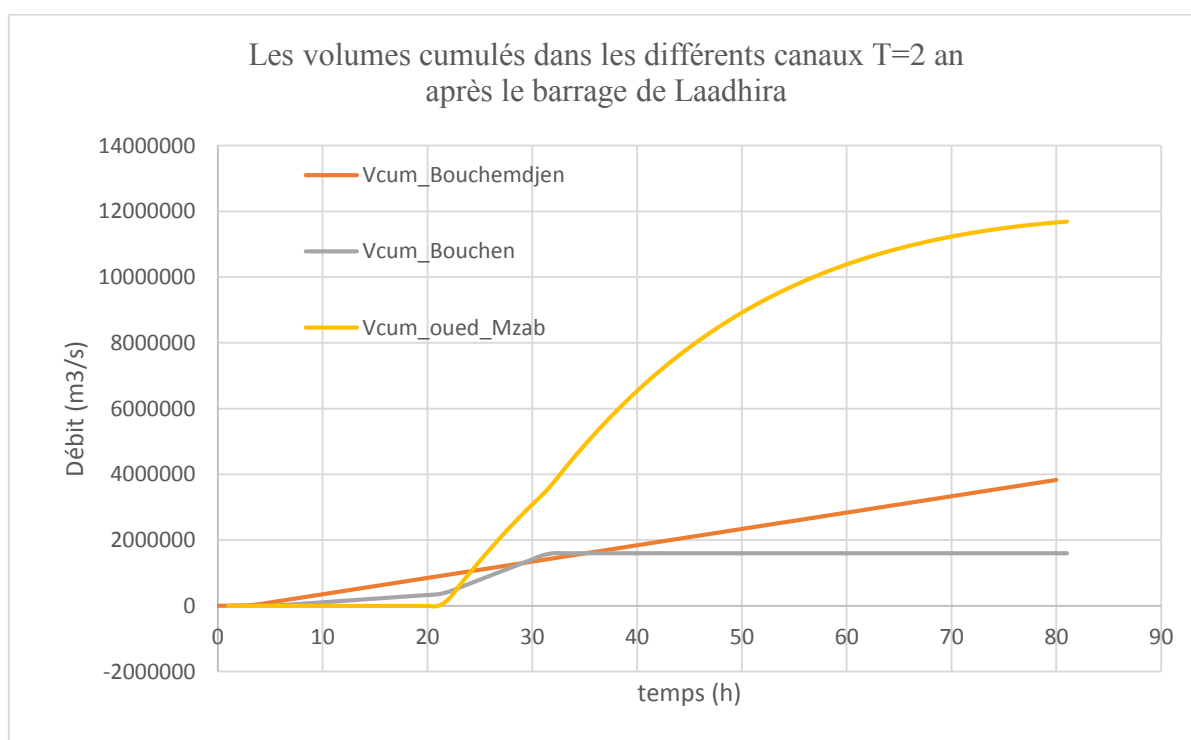


Figure VI.8. Volumes cumulés dans les différents canaux T=2 an après la digue de Laadhira (cas A-2).

Dans les graphes précédents nous remarquons des pics au niveau de chaque hydrogramme de crue une augmentation brusque dans le débit et une courte durée de laminage de la crue (sauf pour $T = 1$ an) après la construction de barrage de Laadhira.

Pour les graphes (figure VI.5) correspondant aux temps de retour de 2 à 50 ans, les hydrogrammes de crue entrant au système après la construction du barrage de Laadhira montrent l'apparence d'un pic de débits après 24, 17, 15, 14 et 10 heures pour les période de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans. Cette augmentation abrupte et soudaine du débit est apparue comme conséquence au remplissage du barrage et l'évacuation du débit de la crue par l'évacuateur de crue. Cette augmentation considérable du débit pourrait constituer un risque important sur le fonctionnement du système et de son état.

La capacité de la vidange du fond est de $20 \text{ m}^3/\text{s}$, donc pour les débits supérieur à ce dernier les $13.823 \text{ m}^3/\text{s}$ pour le canal de Bouchemdjen et il reste juste $6.168 \text{ m}^3/\text{s}$ pour le canal de Bouchen ce qui est un débit vraiment faible pour le remplissage du barrage de Bouchen et nul pour la part de oued Mzab.

Pour une période de retour $T = 1$ an le barrage de Bouchen a se remplit 24.5% et de sa capacité dans le cas où le système est sans digue de Laadhira (le système avant), mais il récupère juste 24.19%, où nous remarquons une différence dans le taux de remplissage du barrage de Bouchen due à la limitation des débits provoquée par le barrage pour une capacité maximale du vidange du fond de $20 \text{ m}^3/\text{s}$ (figure VI.7 et VI.8)

- **Comparaison du Cas 1-C et Cas 2-C**

Ce cas présente le fonctionnement du système de gestion d'eau de crue du Mzab par la crue de oued Labiod et Laadhira en même temps avant et après la construction des deux barrages pour les périodes de retour de 1, 2, 5, 10, 20 et 50 ans.

- Deux crues à la foi de BV total et l'état en amont : sans/avec digues (le cas C-1 et 2

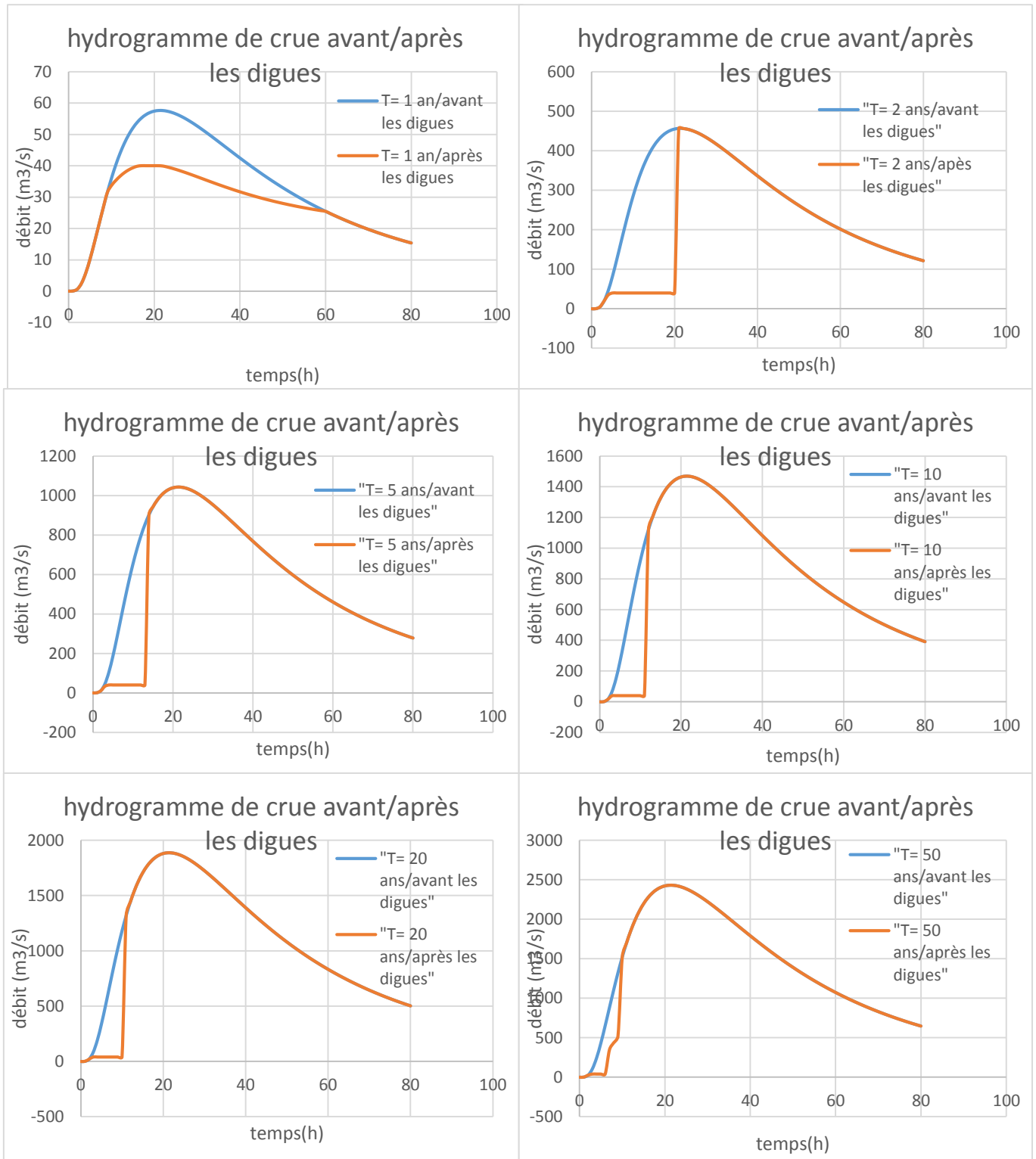


Figure VI.9. Hydrogrammes de crues de différentes périodes de retour avant et après les deux barrages (le cas C-1 et 2).

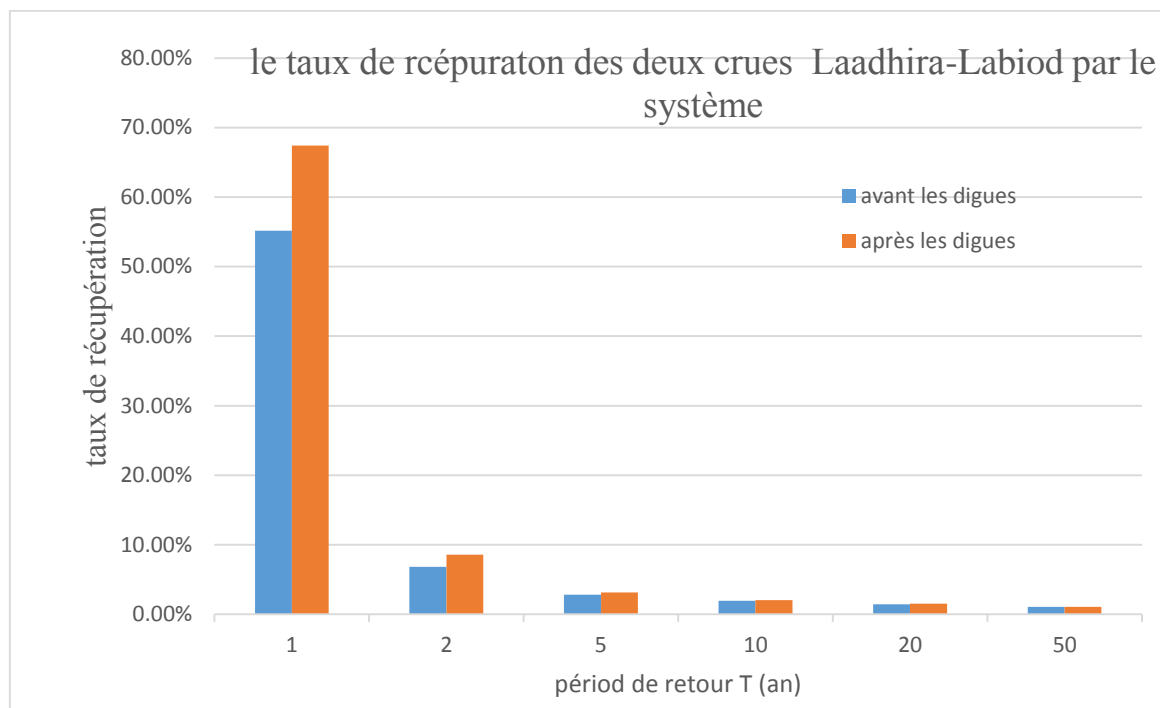


Figure VI.10. Diagramme de taux de récupération des deux crues Laadhira-Labioud par le système de partage (cas C-1 et 2).

Tableau VI.4. La réponse du système à la crue venant du BV total (cas C-1 et 2).

la réponse du système après les digues à la crue du BV totale les volumes en (m ³)					
T(an)	V_récup_Bouchemdjen	Taux_recharge_Bouchene	taux de récup	Vtot	V_récupéré
1	3779248.404	100.00%	73.75%	9850425.589	7264723.331
2	3877601.113	100.00%	27.76%	78040858.46	21665764.21
5	3901319.396	100.00%	12.20%	178240273.8	21744498.72
10	3911899.771	100.00%	8.31%	250991377.8	20866383.28
20	3912744.429	100.00%	6.53%	322214931.9	21031711.88
50	3913850.778	100.00%	3.88%	415504879.6	16136517.07
la réponse du système avant les digues à la crue du BV totale les volumes en (m ³)					
T(an)	V_récup_Bouchemdjen	Taux_recharge_Bouchene	taux de récup	Vtot	V_récupéré
1	3779248.404	100.00%	55.16%	9850425.589	5433632.246
2	3877601.113	100.00%	6.80%	78040858.46	5307685.941
5	3901319.396	100.00%	2.82%	178240273.8	5025118.678
10	3911899.771	100.00%	1.93%	250991377.8	4848516.545
20	3912744.429	100.00%	1.45%	322214931.9	4665496.638
50	3913850.778	100.00%	1.07%	415504879.6	4425773.729

Dans les graphes précédents nous remarquons des pics au niveau de chaque hydrogramme de crue et une courte durée de laminage de la crue (sauf pour $T = 1$ an) après la construction des barrages.

Pour les graphes (figure VI.9) correspondant aux temps de retour de 2 à 50 ans, les hydrogrammes de crue entrant au système après la construction du barrage de Laadhira montrent l'apparence d'un pic de débits après 24, 17, 15, 14 et 14 heures pour les période de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans. Cette augmentation abrupte et soudaine du débit est apparue comme conséquence au remplissage du barrage et l'évacuation du débit de la crue par l'évacuateur de crue. Cette augmentation considérable du débit pourrait constituer un risque important sur le fonctionnement du système et de son état.

A cause de l'augmentation brusque des débits de pointe que nous avons remarquée dans les hydrogrammes de crue après les barrages de Laadhira et Labiod, ces derniers ne fonctionnent pas comme écrêtement de crue (qui est le but principal de ces barrages) dans la majorité du temps.

On remarque qu'après le remplissage du barrage de Laadhira ou de Labiod, le débit entrant le système de gestion de la crue enregistre une augmentation brusque de débit d'un débit de laminage d'une valeur faible ($20 \text{ m}^3/\text{s}$ dans notre cas) à une valeur qui dépasse les 1000-1500 m^3/s . Non seulement il y a le problème d'érosion dans la partie aval du barrage mais le grand problème est le risque de la rupture du barrage.

Les barrages de Laadhira et de Labiod aident mieux à récupérer une partie des eaux de la crue grâce à la retenue de barrage qui joue le rôle d'un réservoir temporaire qui stocke les volumes importants provoqués par les grands débits dépassants les $20 \text{ m}^3/\text{s}$ (pour notre cas). Mais le système a déjà atteint sa limite de saturation, le barrage de Bouchen est plein et la palmeraie est saturée (figure VI.10)

D'après les résultats que nous avons obtenue après la simulation nous remarquons que :

Le système hydraulique de collecte et de canalisation des eaux pour la palmeraie supporte un débit maximum bien évalué égale à $55,68 \text{ m}^3/\text{s}$, donc pour les débits compris entre 20 à $55,68 \text{ m}^3/\text{s}$ le barrage va perturber le fonctionnement du système de collecte.

Les barrages de Laadhira et de Labiod augmentent la récupération d'une partie des eaux de la crue grâce à la retenue de barrage qui joue le rôle d'un réservoir temporaire. On enregistre par exemple :

- Une augmentation de 23.8%, 19.42%, 8.48%, 5.74%, 4.56% et 3.48% pour la crue de bassin versant de Labiod de période de retour de 1, 2, 5, 10, 20 et 50 ans respectivement.

- Une augmentation de 25.82%, 11.65%, 7.81%, 8% et 1.26% pour la crue de bassin versant de Labiod de période de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans respectivement.

- Une augmentation de 18.59%, 20.96%, 9.38%, 6.38%, 5.08% et 2.82% pour deux des bassin versant de Labiod et Laadhira crues à la foi, de période de retour de 1, 2, 5, 10, 20 et 50 ans respectivement.

Si l'on a mal anticipé la crue et que l'on a commencé à stocker l'eau trop tôt, le barrage peut être plein avant que la pointe du débit ne soit atteinte. Dans ce cas, le débit est le plus fort. Le barrage ne joue alors plus aucun rôle pour limiter le débit de pointe de la crue. Il peut même en aggraver les conséquences car la montée en débit est plus rapide.

Ce qui donne une sous-estimation des débits de pointe (de chaque période de retour) utilisé pour le dimensionnement de ces ouvrages comme notre cas des débits qui dépasse la capacité maximale de l'évacuateur de crue $Q_{\text{max_évacué}} = 473 \text{ m}^3/\text{s}$.

Les principales perturbations des barrages de Ladhira et Labiod sont les suivantes :

- Augmentation brusque des débits de crue,
- Perturbation du fonctionnement de système de collecte des eaux,
- Modification des processus d'érosion à l'amont et à l'aval,
- Modification des processus de transport solide,
- Piégeage des sédiments fins dans la retenue,

Et enfin, il existe le risque de rupture.

Conclusion générale

Les mozabites ont mis tout leur génie et leur savoir-faire pour mettre en place un système hydraulique des plus ingénieux, constitué d'ouvrages à but multiples qui assure l'irrigation, la recharge de la nappe et la protection de l'oasis contre les crues.

L'évaluation de l'influence de la construction des barrages sur le fonctionnement du système mozabite de gestion des eaux de crue passe obligatoirement par l'estimation des débits entrants le système pour les différentes périodes de retour. Suite à l'indisponibilité de données hydrométriques sur les cours d'eau étudiés, l'estimation des hydrogrammes de crue pour les différentes périodes de retour a été effectuée par la méthode de «l'hydrogramme synthétique de Galton» ou la formule de Galton modifiée. On a estimé les différents paramètres du bassin versant à partir de logiciel ArcGIS.

En considérant les hypothèses émises pour la réalisation de l'étude qui supposent un stockage nul dans les retenues des barrages de Laadhira et Labiod et la négligence des infiltration de l'eau pendant la crue l'étude montre que la construction des barrages de Laadhira et Labiod augmente les taux de récupération du système de gestion des eaux d'oued Mzab.

Le risque d'une augmentation brusque du débit lors du remplissage des retenues des barrages de laadhira et Labiod est une menace à l'infrastructure du système de gestion des crues et pourrait créer des inondations éclair d'une dangerosité élevée.

La modification du régime d'écoulement par les barrages devrait apporter des modifications sur les processus de transport solide et d'érosion à l'amont et à l'aval, avec un piégeage des sédiments fins dans la retenue.

Sur la lumière de cette étude, nous recommandons de :

- faire un diagnostic de la partie collecte du système,
- restaurer et reconstruire les ouvrages endommagés en utilisant les matériaux locaux et en gardant l'architecture traditionnelle.
- maintenir de façon régulière le système,
- envisager d'augmenter le débit évacué par les barrages en construisant un ouvrage permettant de contrôler la capacité de la vidange du fond.
- réaménager le cours d'eau en aval des barrages pour augmenter la capacité de la retenue ou bien un système assurant l'écrêtement des crues importants et prendre en considération le système de partage en amont pour ne pas perturber ou modifier le fonctionnement du système.

Dans tous les cas la décision de construction, d'aménagement ou de suppression d'un ouvrage hydraulique doit résulter d'une réflexion comparant, sur la durée, les avantages et les inconvénients des différents scénarios envisageables. Elle doit être prise dans le cadre d'une réflexion globale sur le cours d'eau (en amont et en aval du projet) et son bassin versant.

Bibliographie

- BENAOUDJ Abderraouf, TOUAIBIA Bénina et HUBERT Pierre, (2014).** « Les inondations dans la vallée du Mزاب: genèse et prédiction », 15p.
- BOUAROUA Noureddine, (2015).** « Le système traditionnel de partage des eaux des crues » (en arabe), OPVM, 28p.
- BOUTOUTAOU Djamel, BELAGOUNE Fares et Sofiane SAGGAÏ, (2011).** « Etude des crues des bassins versants arides et semi-arides de l'Algérie. Bassins, d'El Honda, de Chott Melghir et des Hauts plateaux (Bassins : 05-06-07) », 8p.
- BOUTOUTAOU Djamel, ZEGGANE Houari (2014).** « Méthode de calcul des crues des oueds de l'Algérie », 14p.
- Deroo, L. (2010).** « Crues, évacuateurs et probabilité de défaillance », 11p. Téléchargeable sur http://www.isl.fr/sites/default/files/deroo_shf_crues_vacuateurs_2_.pdf.
- DJOUDI Hakima & RAFA Amina, (2009).** « Fonctionnement du système hydraulique de partage de la palmeraie Est Ghardaïa », Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat hydraulique. Alger : Ecole Nationale Polytechnique, 86p.
- Kert C. (2008).** « L'amélioration de la sécurité des barrages et ouvrages hydrauliques », Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 4p. Téléchargeable sur : <http://www.senat.fr/rap/r07-454/r07-454-syn.pdf>
- NACER Bakir, (2011).** « Simulation de l'écoulement dans la palmeraie de Ghardaïa cas de la crue d'octobre 2008 », Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat hydraulique. Alger : Ecole Nationale Polytechnique, 136p.
- Oraison F., Souchon Y., Van Looy K. (2011).** « Restaurer l'hydromorphologie des cours d'eau et mieux maîtriser les nutriments : une voie commune - Synthèse bibliographique - Version finale », rapport ONEMA / Cemagref, 42p.
- OULED SIDI AMOR Tayeb, (2016).** « Vulnérabilité a la pollution des eaux de la nappe superficielle de la vallée du Mزاب », Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de master en géologie. Ouargla : université Kasdi Merbah, 71p.
- SAOUCHIA Lamia, (2009).** « Etude de faisabilité d'une digue sur l'oued de Laadhira », Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat hydraulique. Alger : Ecole Nationale Polytechnique, 114p
- Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer (2009). « Plan de restauration de la continuité écologique des cours d'eau », 5p. Téléchargeable sur :

Bibliographie

http://www.developpementdurable.gouv.fr/IMG/pdf/DGALN_Plan_de_restoration_des_cours_d_eau.pdf

ONEMA (2010). « Pourquoi rétablir la continuité écologique des cours d'eau ? », 23p.

Téléchargeable sur : http://www.onema.fr/IMG/pdf/continuite_cours-deau.pdf.

Webographie

<http://cnra.dz/atlas/vallee-du-mzab/>

<http://www.mathwave.com/>

<http://www.barrages-cfbr.eu/>

<http://www.lesagencesdeleau.fr/>

<https://agrimetsoft.com/distributions-calculator/>

www.sthda.com/french/rsthda/rsthda.php

<https://search.earthdata.nasa.gov/search/>

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

<https://www.minitab.com/fr-fr/Published-Articles/>

<https://www.socscistatistics.com/tests/>

https://www.graie.org/eaumelimelo/IMG/pdf/barrages_et_continuite_def_cle41d152.pdf

https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/eia/documents/EIAGuides/france_EIA_complete.pdf