

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Supérieure Polytechnique
Département d'Hydraulique



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN HYDRAULIQUE

Thème :

**Etude de faisabilité d'une digue sur oued Laadhira.
wilaya de Ghardaïa**

Réalisé par :

M^{elle}. SAOUCHA Lamia

Dirigé par :

M^r. Y. MOULOUDI

M^r. D. BOUTOUTAOU

Promotion: Octobre 2009.

Résumé :

La commune de Ghardaïa présente un cas particulier au moment où il s'agit de climat, car elle connaît des pluies fréquentielles importantes et des crues exceptionnelles réputées d'être graves.

Elle est connue aussi par ses divers grands oueds si importants. Cela mène à la réflexion de construire des barrages de protection contre ces crues.

L'objectif de ce travail est d'étudier la faisabilité d'une digue sur l'un des importants affluents de l'oued M'Zab appelé Laadhira pour lutter contre les inondations en étudiant l'hydrologie, la géologie et la géotechnique.

Mots clés : Laadhira, Ghardaïa, digue, crue.

ملخص :

تصبح بلدية غرداية حالة فريدة من نوعها لحظة التطرق إلى المناخ، بحيث تعرف أمطار غزيرة هامة و فيضانات استثنائية بمنتهى الخطورة.

كما أنها مشهورة بوديانها العظيمة، ذلك جر إلى التفكير في بناء سدود للحماية ضد هذه الفيضانات.

الهدف من هذا المشروع، هو دراسة إمكانية إنشاء سد على احد اكبر الوديان الفرعية لواد ميزاب المسمى لعديرة ضد الفيضانات من خلال التطرق إلى دراسة الهيدرولوجيا، الجيولوجيا و الجيوتقنية.

الكلمات المفتاحية : لعديرة، غرداية، سد، فيضان.

Abstract:

The Ghardaïa's community seems to be a particular case in the moment of speaking about climatic, so it knows important rains and exceptional dangerous floods.

It is known by its different great rivers so important. That leads to the reflection of building protecting dams from these floods.

The aim of this project is to study the possibility of constructing a dam on one of the most important river's M'Zab which calls Laadhira in order to fight floods through studying hydrology, geology and geotechnic.

Key words: Laadhira, Ghardaïa, dam, flood.

Remerciement

*Mes plus grands remerciements sont destinées au **Dieu tout puissant** ; que je tolère insuffisantes, de m'avoir donné la force, le courage, la patience et la bonne volonté de parcourir le chemin de mes études.*

*Merci à ma très chère promotrice **Melle Benmamar Saâdia**, qui m'a donné une chance de découvrir beaucoup de choses à travers ce travail, ainsi que pour sa précieuse assistance.*

*Merci à mon professeur et promoteur **Mr Mouloudi Yahia**, pour le savoir qu'il m'a transmis, l'intérêt qu'il m'a accordé, les conseils qu'il m'a donné , et surtout pour tout le temps qu'il m'a consacré pour élaborer au mieux ce modeste travail.*

*Je remercie vivement **Mr Boutoutaou Djamel** ; hydrologue à l'université de Ouargla, pour sa gentillesse et sa précieuse coopération.*

Je tiens à remercier les membres et président de jury d'avoir accepté d'analyser mon travail.

Je remercie très chaleureusement mes camarades de la promotion hydraulique, surtout mes copines pour tous les bons moments qu'on a passés ensemble.

Je remercie toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

*Je dédie ce modeste
travail à mes très chers
parents, mes frères et
sœurs et toute ma famille.*

*A mes copines et
copains : Imene, Thanina,
Mimi, Amina, hakima,
Anissa, Neila, Fethi, Yanis,
Djamel, Samir et Dris.*

Table des matières

Introduction générale.....	1
Présentation de la zone d'étude.....	3
I. Présentation de la vallée du M'Zab.....	3
II. Situation géographique.....	4

Chapitre I :

L'ETUDE HYDROLOGIQUE

Partie I : Hydrologie

I. Introduction	5
II. Définition du bassin versant.....	5
II.1. Présentation du bassin versant.....	5
II.2. Caractéristiques géométriques du bassin versant.....	7
II.2.1. Superficie.....	7
II.2.2. Périmètre.....	7
II.2.3. Longueur du thalweg principal.....	7
II.2.4. Indice de compacité.....	8
II.2.5. Rectangle équivalent.....	8
II.2.6. Coefficient d'allongement.....	8
III. Caractéristiques hydrographiques.....	9
III.1. Relief.....	9
III.2. Courbe hypsométrique.....	9
III.3. Indice de pente global.....	10
III.4. Indice de pente moyenne.....	11
III.5. Profil en long du cours d'eau.....	12
III.6. Temps de concentration.....	12
III.7. Vitesse de ruissellement.....	12
III.8. Densité de drainage.....	13

Table des matières

III.9. Coefficient de torrentialité.....	13
IV. Caractéristiques climatiques.....	13
IV.1. La température.....	14
IV.2. Les vents.....	14
IV.3. L'humidité.....	14
IV.4. L'évaporation.	15
Partie II : Etude pluviométrique	
I. Introduction.....	17
II. Pluies moyennes annuelles.....	17
III. Pluies journalières maximales.....	18
a) Ajustement à la loi de Gumbel.....	20
b) Ajustement à la loi Log – Normal.....	21
IV. Pluies de courtes durées	22
V. Intensités maximales de courte durée.....	23
VI. Construction des courbes IDF.....	25
Partie III : Etude des apports	
I. Apport moyen interannuel.....	27
II. Caractéristiques de l'écoulement.....	27
1. Module de l'écoulement M_e	27
2. Module de l'écoulement relatif M_r	28
3. Lamme d'eau écoulée.....	28
4. Coefficient de l'écoulement.....	28
5. Coefficient de variation.....	28
a) Formule de Sokolovski.....	28
b) Formule de Padoun.....	28
c) Formule d'Antonov.....	29
d) Formule d'Ourkguiprovdkhoz.....	29
III. Apport fréquentiel.....	29
IV. Répartition mensuelle de l'apport moyen annuel.....	30
Partie IV : Etude des crues	
I. Introduction	31
II. Evaluation des débits de crues.....	31
a) Méthode de Sokolovski.....	31
b) Méthode rationnelle.....	33

Table des matières

c) Formule de Turraza.....	34
d) Méthode de Boutoutaou.....	35
e) formule de Samie.....	38
III. Estimation de la crue de 2008.....	39
1. Relevé de laisses de crue.....	39
2. Conditions d'application de la formule de Manning – Strickler	40
3. La formule de Manning Strickler.....	40
Partie V : Hydrogramme de crue.....	42
Partie VI : Estimation de la crue de projet.....	45
Partie VII : Etude du transport solide	
I. Introduction.....	47
II. Calcul du transport solide.....	47
1. Formule de Tixeront.....	47
2. Formule de Fourier	48
3. Formule de Graviilovic.....	48
4. Analogie.....	49
Partie VIII : Régularisation des débits.....	51
Partie IX : Laminage des crues.....	54
Chapitre II : L'ETUDE GEOLOGIQUE	
I. Introduction.....	56
II. Le bassin sédimentaire.....	57
III. Type de relief.....	57
IV. Affleurement et âge des formations.....	59
V. La géologie du site du barrage.....	61
1. Tectonique.....	61
2. Altération.....	62
3. Karstification.....	62
4. Géologie de la cuvette.....	62
4.1. Stabilité.....	62
4.2. Etanchéité.....	62
4.3. Hydrogéologie.....	62
5. Sismicité.....	63
VI. Conclusion.....	65
L'ETUDE TOPOGRAPHIQUE.....	66

Table des matières

I. Introduction.....	66
II. choix du site du barrage.....	67
<hr/>	
Chapitre III :	L'ETUDE GEOTECHNIQUE
I. Introduction.....	68
II. Reconnaissances effectuées et moyens mis en œuvre.....	68
III. Condition de réalisation.....	68
IV. Essais Lugeons dans le rocher.....	68
V. Programme d'essais réalisés au laboratoire.....	70
V. 1. L'analyse granulométrique.....	70
V. 2. Essai limites d'Atterberg.....	71
V. 3. Equivalent de sable.....	72
V. 4. Essai Proctor normal.....	72
V. 5. Essai de perméabilité.....	73
V. 6. Teneur en matières organiques.....	73
V. 7. Los Angeles et Micro Deval.....	73
VI. Résultats des essais.....	74
VI. 1. Essais sur les calcaires.....	74
VI. 2. Essais sur les argiles.....	74
VI. 3. Essais sur les alluvions grossières.....	74
VI. 4. Essais sur les sables.....	75
VI. 5. Analyse des eaux.....	75
VII. Conclusion.....	75
<hr/>	
Chapitre IV :	ETUDE DES VARIANTES
I. Introduction.....	76
II. Le choix du site du barrage.....	76

Table des matières

III. Le choix du type de barrage.....	76
➤ La topographie du site.....	76
➤ La morphologie de la vallée.....	77
➤ Les conditions géologiques et géotechniques.....	77
➤ Les matériaux de construction.....	77
IV. Les variantes à choisir.....	77
❖ Barrage en terre homogène.....	77
❖ Barrage zoné.....	78
❖ Barrage en terre à masque.....	78
V. Fixation du choix définitif du type de barrage.....	78

Chapitre V :	CONCEPTION DE LA DIGUE
--------------	-------------------------------

I. Dimensionnement de la digue.....	80
1. Calcul des différents niveaux d'eau.....	80
1.1. Niveau mort de la retenue (NMR).....	80
1.2 Niveau normale de la retenue (NNR).....	80
1.3 Niveau des plus hautes eaux (N.P.H.E).....	80
1.4 La revanche.....	80
1.4.1. Formule de STEVENSON GAILLARD	81
1.4.2. Formule de MALLET et PAQUANT	81
1.4.3. Formule Simplifiée.....	81
1.5 La hauteur du barrage H_b	81
2. La crête	82
2. 1 Largeur en crête	82
2.2.1 Formule de KNAPPEN.....	82
2.2.2 Formule de –PREECE.....	82
2.2.3 Formule Anonyme (simplifiée).....	82
2.2. Protection de la crête	82

Table des matières

3. Choix des pentes des talus.....	83
4. les bermes.....	83
5. Calcul de stabilité.....	84
5.1. Choix des pentes des talus et calcul de stabilité.....	84
5.2. Choix des pentes des talus de la digue.....	84
❖ Méthodologie du choix des pentes d'une digue de retenue.....	84
❖ Présentation du calcul de stabilité répondant au cercle critique.....	85
6. Protection des talus.....	86
7. Organes de drainage	86
8. Etanchéité de la digue et de la fondation.....	86
Ouvrages Annexes	
I. Vidange de fond.....	88
II. Prise d'eau.....	88
III. Dérivation provisoire.....	88
IV. Evacuateur de crue.....	89
Conclusion générale.....	90
Bibliographie	

Liste des photos

Photos II-1 : formation sénonienne.....	61
Photos II-2 : la fondation du barrage.....	63
Photos II-3 : la fondation du barrage.....	64
Photos II-4 : oued Laadhira.....	64
Photo IV-1 : zone d'emprunt.....	79

Liste des figures

Figure I-1 : Plan de situation du bassin versant.....	6
Figure I-2 : Délimitation du bassin versant d'oued Laadhira.....	6
Figure I-3 : Réseau hydrographique à l'échelle 1/200.000.....	7
Figure II-1 : Coupe géologique et schématique de la vallée du M'Zab.....	56
Figure II-2 : Carte géologique du M'Zab.....	58
Figure II-3 : Classification des formations	60
Figure III- 1 : Appareil granulométrique.....	70
Figure III- 2 : Appareil de Casagrande.....	71
Figure III- 3 : Appareillage Equivalent de sable.....	72
Figure III- 4 : Moule et appareillage Proctor.....	73

Liste des graphes

Graphe I-1 : Courbe hypsométrique de l'oued Laadhira.....	10
Graphe I-2 : Profil en long du cours d'eau.....	12
Graphe I-3 : La répartition mensuelle de l'évaporation sur une période d'observation (1964/2005).....	16
Graphe I-4 : La répartition des pluies annuelles moyennes de 1964/2005.....	17
Graphe I-5 : La répartition de la moyenne des pluies mensuelles de 1964/2005.....	18
Graphe I-6 : Ajustement à la loi de Gumbel.....	21
Graphe I-7 : Ajustement à la loi Log – Normal.....	21
Graphe I-8 : Courbe IDF « Intensité – Durée – Fréquence ».....	26
Graphe I-9 : L'hydrogramme de crues.....	44
Graphe I-10 : Courbe « Capacité – Hauteur ».....	52
Graphe I-11 : Courbe « Hauteur – Surface ».....	53

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Répartition des surfaces en fonction des côtes.....	9
Tableau I-2 : Classes de relief avec leurs descriptions.....	11
Tableau I-3 : Température moyenne mensuelle sur une période d'observation (1964/2005)..	14
Tableau I-4 : Vitesse moyenne mensuelle sur une période d'observation (1964/2005).....	14
Tableau I-5 : Humidité moyenne mensuelle sur une période d'observation (1964/2005).....	15
Tableau I-6 : Evaporation moyenne mensuelle sur une période d'observation (1964/2005)...	16
Tableau I-7 : Caractéristiques de la station pluviométrique de Ghardaïa.....	18
Tableau I-8 : Pluies journalières maximales observées à Ghardaïa.....	19
Tableau I-9 : Pluies journalières maximales fréquentielles.....	20
Tableau I-10 : Pluies de courtes durées pour différentes périodes de retour.....	22
Tableau I-11 : Intensité maximale de durée t(h) et de période de retour T (ans).	24
Tableau I-12 : Répartition mensuelle de la précipitation et de l'apport.....	30
Tableau I-13 : Valeur de ϕ en fonction des caractéristiques des bassins versants.....	31
Tableau I-14 : Résultats des débits de crues par la méthode de Sokolovski.....	33
Tableau I-15 : Résultats des débits de crues par la méthode rationnelle.....	34
Tableau I-16 : Résultats des débits de crues par la méthode de Turraza.....	35
Tableau I-17 : Résultats des débits de crues par la méthode de Boutoutaou.....	38
Tableau I-18 : Résultats des débits de crues par la méthode de Samie.....	38
Tableau I-19 : Récapitulation des résultats des débits de crues pour différentes périodes de retours.....	39
Tableau I-20 : Evaluation du débit de crue de l'année 2008.....	40
Tableau I-21 : Caractéristiques de l'hydrogramme de crue.....	43
Tableau I-22 : Récapitulation pour le choix de la crue de projet.....	46
Tableau I-23 : Récapitulation des résultats du transport solide.....	49
Tableau I-24 : Régularisation des débits.....	51
Tableau I-25 : Calcul de Q/2 et V/2 en fonction de la hauteur.....	54
Tableau I-26 : Calcul de la hauteur et du débit déversé.....	55

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Les zones désertiques peuvent être définies comme étant celles où l'écoulement fluvial n'est qu'occasionnel, ou l'état normal dans les talwegs est l'absence d'écoulement : lorsqu'il y a de l'eau dans le lit autrement qu'en flaques, c'est que le cours d'eau est en crue, c'est-à-dire hors de son état habituel. Au surplus, cet écoulement, même lors des crues, est loin d'intéresser toute la contrée lorsqu'il s'agit d'un ultra-désert comme le Sahara.

Il faut noter que le désert représente un cas extrême, comme aussi les déserts littoraux du Pérou et du Namib, et le Roub al Khali d'Arabie ; dans le Kalahari, en Australie, en Asie centrale, et en général dans les deux Amériques, les conditions pluviométriques sont beaucoup moins sévères.

Les crues des oueds des régions désertiques ont la réputation d'être très graves. Elles sont très graves par rapport au néant habituel ; l'arrivée des eaux peut être brutale et provoque des dégâts matériels et humains parce que les gens construisent et circulent sur les lits des cours d'eau. Mais il n'y a pas de véritables cloudbursts (pluies) dans un désert comme le Sahara, car s'il pouvait y tomber 200 ou 300 mm en 24 heures ou moins, ce ne serait pas le Sahara. À côté des averses importantes sur lesquelles on va revenir, le Sahara et ses congénères connaissent une immense majorité de petites pluies. Dans l'ensemble du Sahara, moins de 10% des pluies donnent plus de 10 mm ; or, pour qu'on puisse commencer à parler de pluie « torrentielle » (mais pas encore de cloudbursts), il faut qu'il tombe au moins 30 mm en 24 heures. Les maxima absolus enregistrés en 24 heures dans le Sahara algérien, pour des séries de 8 à 25 ans allant jusqu'en 1950, sont de 8 à 80 mm selon les stations.

Il n'en reste pas moins qu'il y a des crues dans les déserts, même dans un désert comme le Sahara, ou leur nombre est, au total, assez grand. La difficulté est de les chiffrer, car on devine qu'il n'y a pas, en principe, de stations hydrométriques, sur des cours d'eau généralement à sec. Quelques évaluations numériques existent pourtant, d'une part au Nord dans les bassins de la Saoura, du Rheris et du Zig qui sont parmi les plus vivants, et d'autre part au Sud, dans de petits bassins de Mauritanie et de la République du Tchad.

On peut en conclure que les crues des bordures nord et sud du Sahara sont susceptibles d'être réellement volumineuses de temps en temps, sans pouvoir, par la force des choses, prétendre approcher les records mondiaux, même de loin.

Mais le point le plus original est la turbidité spécifique extrêmement élevée de toutes les zones climatiques et hydrologiques du monde. La turbidité spécifique, définie comme étant le poids des sédiments secs en suspension par m³. Elle est naturellement variable de rivière à

rivière ; les valeurs moyennes sont d'une variété extraordinaire, atteignant les dizaines ou centaines de kilogrammes par m³. C'est un des phénomènes zonaux les plus remarquables de l'hydrologie fluviale.

Pour les raisons mentionnées ci-dessus, nous avons projeté la conception d'un petit barrage luttant contre ces crues tout en maintenant le système hydraulique ancestral de la région fonctionnel.

Pour ce faire, la démarche suivie a consisté en une étude hydrologique détaillée du bassin versant d'El Haïmer dans le chapitre I, suivi d'une étude géologique et géotechnique dans le chapitre II et III pour déterminer la nature du sol et ses caractéristiques physique et mécanique, puis on entamera la conception de la digue pour déterminer ses différentes dimensions.

Pour clôturer ce travail, une conclusion générale viendra faire une synthèse des travaux effectués avec les recommandations qui s'y rapportent.

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Présentation de la zone d'étude

I. Présentation de la vallée du M'Zab

La vallée du M'Zab, fondée au XI^{ème} siècle, est un véritable musée à ciel ouvert situé en plein désert et couvrant une superficie de 50 km² (20 x 2.5 km). Elle est classée comme patrimoine national en 1971 et patrimoine de l'humanité par l'UNESCO depuis 1982.

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 acquis depuis la fondation du premier état Algérien à Tihert au VII^{ème} siècle.

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 religieuses. 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 M'Zab 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 rares ressources hydriques.
- de créations 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 M'Zab, sur des pitons rocheux, que s'est érigée la pentapole ou les cinq cités : Ghardaïa (Taghardayt en berbère), Mélika (At-Mlishet) Bounoura (At-Bunur), al-Atteuf (Tadjnint) et Beni-Isguen (At-Isdjen ou At-Isguen). Chacune de ces cinq cités est entourée par des collines ravines par l'érosion pluviale. Deux autres cités, Berriane (At-Ibergane) et Guerrara (Iguerraren) 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.

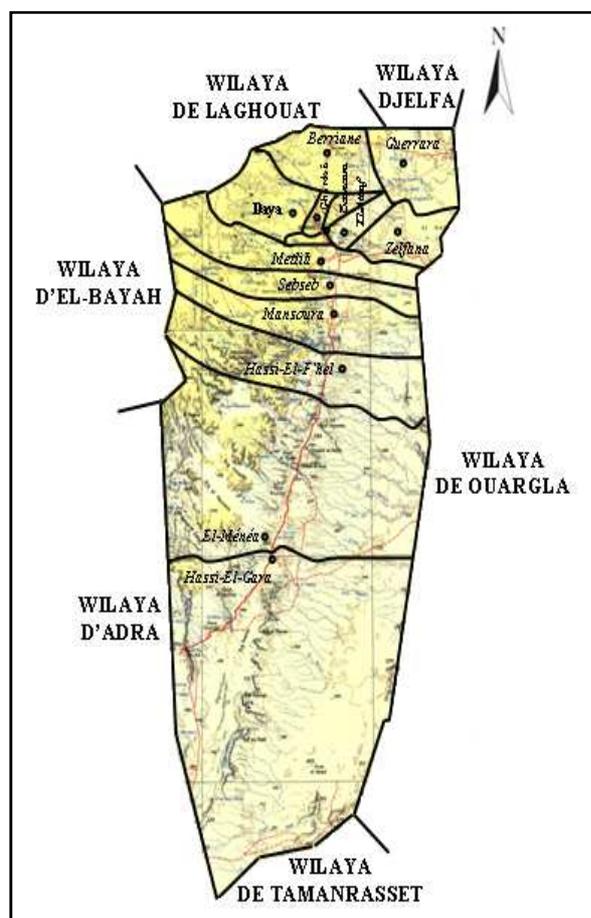
L'exploitation de l'eau dans la vallée du M'Zab s'était opéré par le creusement progressif de quelques milliers de puits traditionnels atteignant la nappe phréatique et par un système ingénieux qui assure la retenue la canalisation et le partage des eaux de crues. Actuellement, l'alimentation en eau s'effectue par des forages, d'une profondeur variant de 350 à 500 mètres, puisant l'eau fossile de la nappe albienne (continental intercalaire), dont les réserves sont estimées à 1500 milliards de m³.

II. Situation géographique

La vallée du M'Zab est située dans la wilaya de Ghardaïa, en république Algérienne démocratique et populaire. 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 Chébka (filet) du M'Zab. 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 M'Zab (rivière ou torrent coulant à intervalles très irréguliers).

Elle est issue du découpage administratif du territoire de 1984, elle dépendait de la wilaya de Laghouat, elle est composée de 09 Daïras et 13 communes.



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 de 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 ;

Elle couvre une superficie de 86560 km².

CHAPITRE I
ETUDE
HYDROLOGIQUE

Partie I : Etude hydrologique

I. Introduction

Actuellement, l'hydrologie est devenue une science importante de l'art de l'ingénieur intéressé à l'exploitation et au contrôle des eaux naturelles. Des études hydrologiques plus au moins poussées sont indispensables pour toute mise en œuvre de projet hydroélectriques, de distribution d'eau, de protection contre les crues, d'assainissement, de drainage, d'irrigation, de barrage et de navigation fluviale.

Le dimensionnement, la sécurité et la bonne exploitation des ouvrages hydrauliques sont toujours liés à une évaluation saine non seulement des débits disponibles en moyenne mais surtout des débits extrêmes des crues.

II. Définition d'un bassin versant

Surface d'alimentation d'un cours d'eau ou d'un lac. Le bassin versant se définit comme l'aire de collecte limitée par le contour à l'intérieur duquel se rassemblent les eaux précipitées qui s'écoulent en surface et en souterrain vers une sortie. Aussi dans un bassin versant, il y a continuité - longitudinale, de l'amont vers l'aval (dans l'ordre ruisseaux, rivières, fleuves) - latérale, des crêtes vers le fond de la vallée - verticale, des eaux superficielles vers des eaux souterraines et vice versa. Les limites sont la ligne de partage des eaux superficielles.

II.1. Présentation du bassin

Les écoulements dans la vallée du M'Zab proviennent essentiellement des deux grands oueds Laadhira et El Abiode de l'Est, se rejoignant dans l'endroit nommé « Amlaga **أملاقا** » qui désigne en langue arabe « Moultaqa **ملتقى** » à la commune de Daya Ben Dahoua pour donner naissance à oued M'Zab (cf. figure II-1 et II-2).

Notre étude se portera sur le bassin versant d'oued Laadhira. Ce bassin se situe au nord-est de Gharđaia, c'est à dire à l'amont de celle-ci, entre Ballouh de l'Est et El Abiode de l'Ouest.

C'est un bassin de plaines, pratiquement plat, à faibles végétations, caractérisé par des écoulements sporadiques qui se manifestent suite à des averses orageuses.

La difficulté du dénombrement des affluents que réunit cet oued est à l'origine de la dénomination qui lui attribuée ; à savoir Laadhira, car ils existent près de 300 cours, parmi lesquels on cite le plus connu : Djaref. Ainsi cet oued prend naissance à Hassi R'mel.

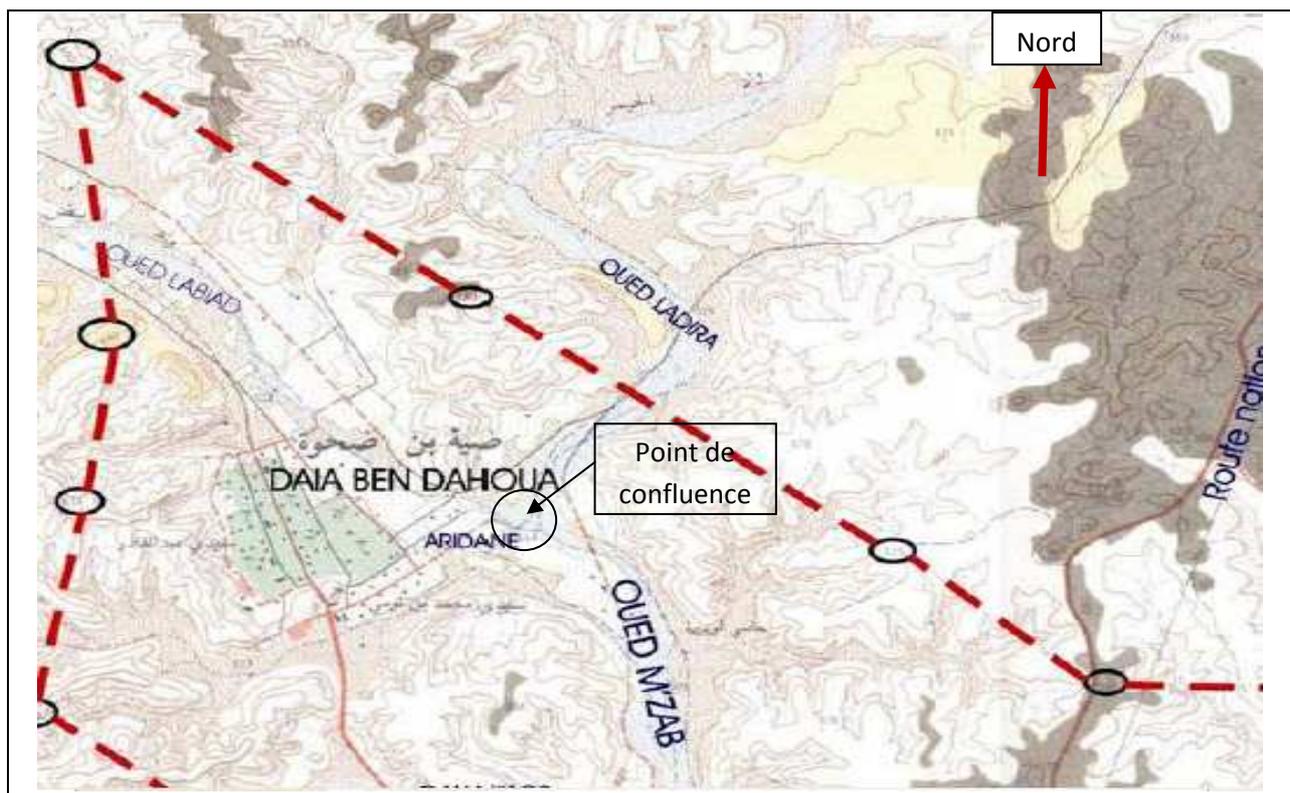


Figure I-1 : Plan de situation du bassin versant.

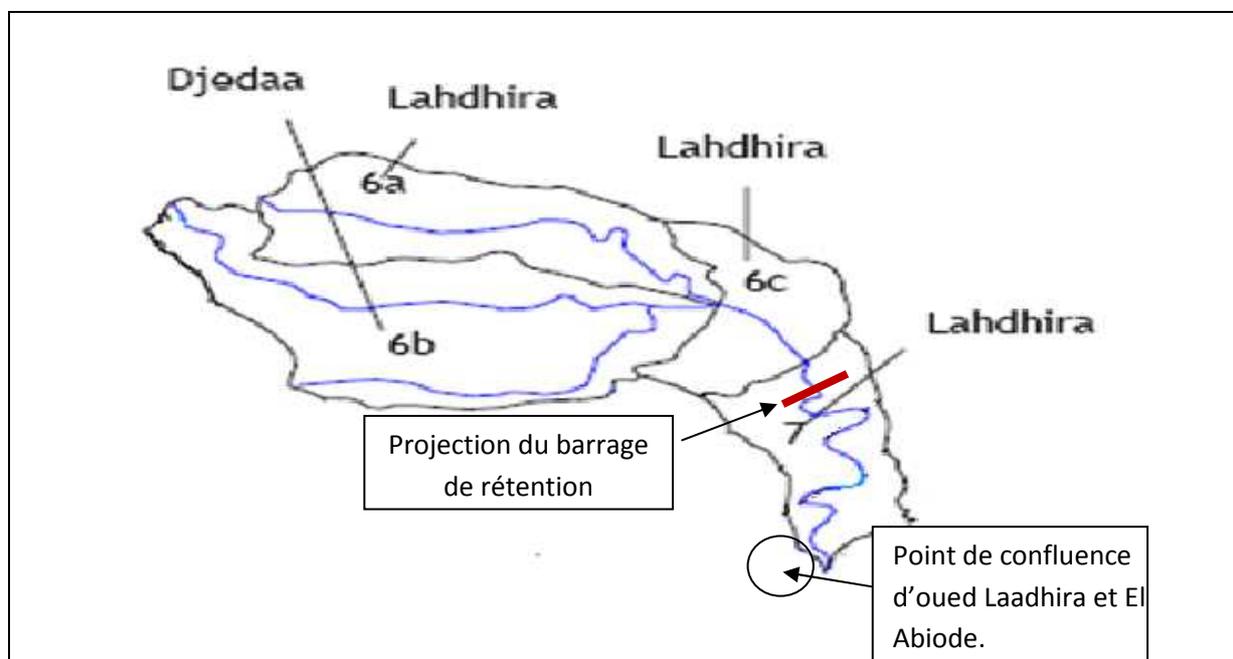


Figure I-2 : Délimitation du bassin versant d'oued Laadhira.(B.G)

II.2.4. Indice de compacité

L'indice de compacité de Gravelius, détermine la forme du bassin versant. Il est le rapport entre le périmètre du bassin et la circonférence du cercle ayant la même superficie que le bassin versant. Son expression est comme suit :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Où,

P et A : sont respectivement le périmètre et la superficie du bassin ;

D'où : $K_G = 1,4$

II.2.5. Rectangle équivalent

Cette notion a été introduite pour pouvoir comparer des bassins entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques géométriques sur l'écoulement.

L'expression suivante n'est applicable que si $K_G \geq 1,12$:

$$(L, l) = \frac{K_G \sqrt{A}}{1,12} \left[1 \pm \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right]$$

Où,

L et l : sont respectivement la longueur et la largeur du rectangle ;

D'où : $\begin{cases} L = 39 \text{ Km} \\ l = 9,8 \text{ Km} \end{cases}$

II.2.6. Coefficient d'allongement

Ce coefficient est obtenu par la relation :

$$Ca = L^2 / S$$

Ou,

L : est la longueur du talweg principal ; L = 48 Km ;

S : est la superficie du bassin versant ; S = 385 Km² ;

Ca = 6

Conclusion : cela signifie que le bassin versant a une forme allongée.

III. Caractéristiques hydrographiques

III.1. Relief

Le relief et les caractéristiques physiques d'un bassin versant ont une forte influence sur l'hydrogramme de crue. Car une forte pente occasionne un écoulement aussi rapide en un temps de concentration très court et donc une montée plus rapide.

Le relief se détermine au moyen d'indices ou de caractéristiques tels que : la courbe hypsométrique, l'indice de pente moyenne, et l'indice de pente globale.

III.2. La courbe hypsométrique

Elle fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin en fonction de l'altitude.

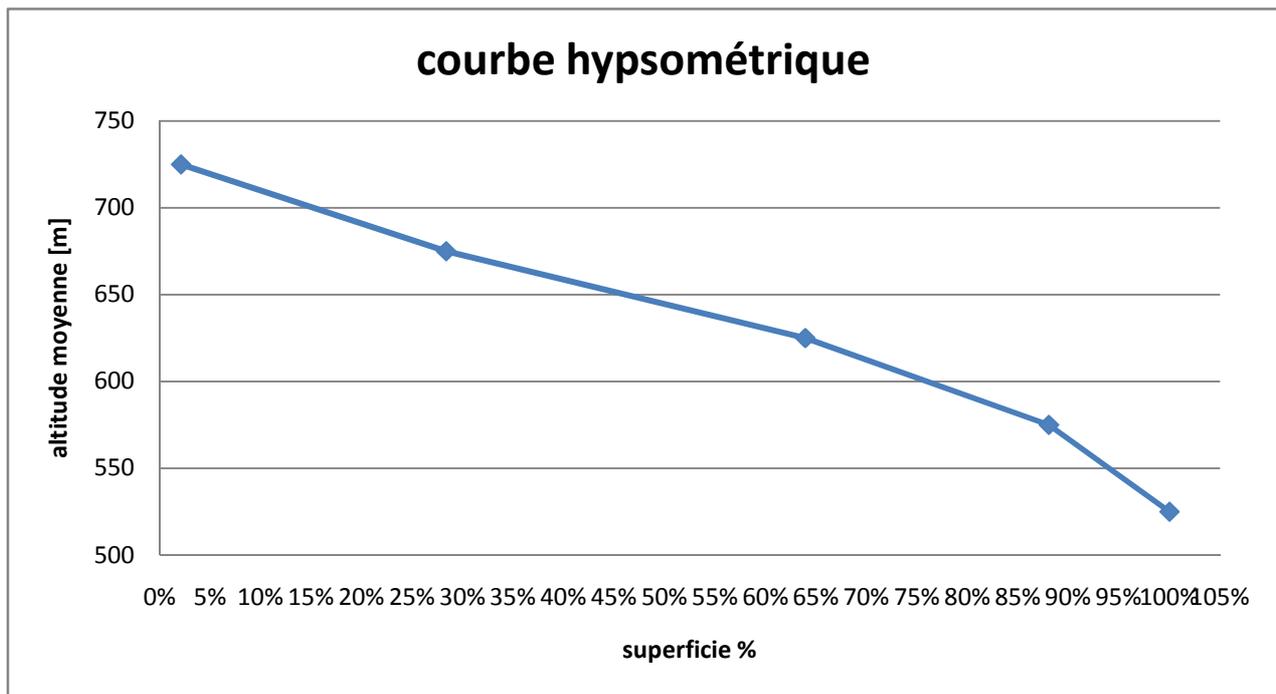
Les courbes hypsométriques demeurent un outil pratique pour comparer plusieurs bassins entre eux ou les diverses sections d'un seul bassin. Elles peuvent en outre servir à la détermination de la pluie moyenne sur un bassin et donnent des indications quant au comportement hydrologique et hydraulique du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

Tableau I-1 : Répartition des surfaces en fonction des côtes. (Bonnard & Gardel)

Altitude de la courbe de niveau	Superficie cumulée [km ²]	Altitude moyenne H _i [m]	Surface en %
773-700	8,44	725	2
700-650	114	675	28
650-600	257	625	64
600-550	354	575	88
550-543	385	525	100

Avec,

$$H_{\max} = 773 \text{ m et } H_{\min} = 543 \text{ m ;}$$



Graph I-1 : Courbe hypsométrique de l'oued Laadhira.

De la courbe hypsométrique :

L'altitude $H_{5\%} = 719,2$ m ;

L'altitude $H_{95\%} = 546$ m ;

L'altitude médiane $H_{50\%} = 644,4$ m ;

L'altitude moyenne $H_{\text{moy}} = \frac{\sum S_i \cdot H_i}{S_{bv}} \Rightarrow H_{\text{moy}} = 643,4$ m ;

III.3. Indice de pente global

L'indice global de pente évalue le relief. De la courbe hypsométrique, on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5% de la superficie du bassin. On en déduit les altitudes $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$ entre lesquelles s'inscrit 90% de l'aire du bassin. Il est égal à :

$$I_g = \frac{D}{L}$$

Où,

L : est la longueur du rectangle équivalent ;

D : est la dénivelé ; $D = H_{5\%} - H_{95\%}$;

D'où : $I_g \approx 4 \text{ m/Km}$

D'après le résultat obtenu et le tableau ci-dessous, on peut en conclure la caractéristique de la pente du bassin versant.

Tableau I-2 : Classes de relief avec leurs descriptions.

Classes de relief	Descriptions	Pentes en m/km
Pf	Pente faible	$2 < I_g < 5$
Pm	Pente modérée	$5 < I_g < 10$
Paf	Pente assez forte	Pente longitudinale : $20 < I_g < 50$ Pente transversale : $80 < I_g < 200$
Ptf	Pente très forte	Pente longitudinale : $I_g > 50$ Pente transversale : $I_g > 200$

III.4. Indice de pente moyenne

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle est considérée comme une variable indépendante. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct, donc sur le temps de concentration, et influence directement le débit de point lors d'une averse.

$$I_m = \frac{\Delta H(0,5l_1 + l_2 + l_3 + 0,5l_4)}{S}$$

Avec,

ΔH : dénivelé entre deux courbes de niveau ;

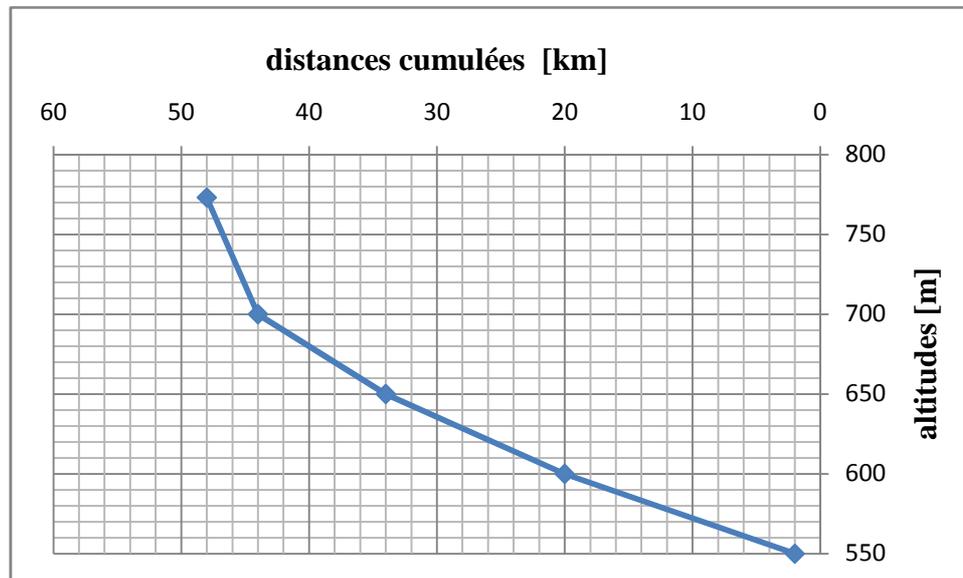
l_i : longueurs des courbes de niveau ;

S : surface du bassin versant ;

Donc : $I_m = 30 \text{ m/km}$

Conclusion : le bassin versant d'oued Laadhira a une faible pente.

III.5. Profil en long du cours d'eau



Graph I-2 : Profil en long du cours d'eau.

III.6. Temps de concentration

Le temps de concentration t_c des eaux sur un bassin versant se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier.

Il s'évalue au moyen de la formule de Témez :

$$t_c = 0,3 \left(\frac{L}{I_m^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Ou,

t_c : est le temps de concentration en heures ;

L : est la longueur du thalweg principal en km ;

I_m : est la pente moyenne du cours d'eau ;

$$t_c = 3 \text{ heures}$$

III.7. Vitesse de ruissellement

$$V_r = \frac{L}{t_c} \Rightarrow V_r = 16 \text{ km/h} \Rightarrow V_r \approx 4 \text{ m/s}$$

Avec ;

L : est la longueur du talweg principal ; L = 48 km ;

t_c : temps de concentration de l'écoulement ; $t_c = 3$ heures ;

III.8. Densité de drainage

$$D_r = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S} \Rightarrow \boxed{D_r = 0,95 \text{ km/km}^2}$$

Avec,

L_i : longueur de tous les cours d'eau d'ordre i ; $\sum L = 360$ km;

S : la surface du bassin versant ; S = 385 km² ;

Il faut signaler que la reproduction du chevelu hydrographique est d'autant plus fidèle que l'échelle de la carte est grande.

III.9. Coefficient de torrentialité

Ce coefficient C_t se calcule par l'expression suivante :

$$C_t = D_r \cdot F_1 \quad \text{Et} \quad F_1 = \frac{N_1}{S}$$

Avec,

D_r : est la densité de drainage ;

N_1 : est le nombre des talwegs d'ordre 1 ;

S : est la surface du bassin versant ;

D'où : $C_t = 0,25$

IV. Caractéristiques climatiques

Le climat de la région de Ghardaïa est typiquement Saharien, se caractérise par deux saisons: Une saison chaude et sèche (d'avril à septembre) et une autre tempérée (d'octobre à mars) et une grande différence entre les températures de l'été et de l'hiver.

On enregistre une moyenne annuelle de 25°C, avec une évaporation de l'ordre de 3000 mm par an et une faible hauteur de pluies avec une moyenne de précipitations de 70 mm/an.

IV.1. La température (O.N.M)

L'analyse d'une série d'observations statistiques enregistrée au niveau de la Wilaya de Ghardaïa, sur une période d'observations de 42 ans, a fait ressortir que la température moyenne mensuelle enregistrée, est de 22°C, Comme il est indiqué dans le tableau (I-3) ci-dessous :

Tableau I-3 : Température moyenne mensuelle sur une période d'observation (1964/2005).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
température moyenne mensuelle (°C)	10,9	13,2	16	19,8	24,9	30,2	33,2	32,9	28,2	22,1	15,6	11,7

IV.2. Les vents (O.N.M)

Les vents dominants d'été soufflent du Nord-est et sont forts et chauds tandis que ceux d'hiver soufflent du Nord-ouest et sont froids et humides. Les vents de sable sont très fréquents dans la région de Ghardaïa surtout pendant le printemps, ils soufflent du Sud-est ; environ 20 jours par an, en mois d'avril, mai et juin.

Pour ce qui est du Sirocco dans la zone de GHARDAIA, on note une moyenne annuelle de 11 jours/an pendant la période qui s'étend du mois de mai à septembre, comme le montre le tableau (I-4).

Tableau I-4 : Vitesse moyenne mensuelle sur une période d'observation (1964/2005).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Vitesse de vents moyenne mensuelle (m/s)	3,7	4	4,4	4,8	4,5	4,4	3,7	3,4	3,5	3,2	3,1	3,5

IV.3. L'humidité (O.N.M)

Les données de la station météorologique de Ghardaïa montrent qu'il y a une période de sécheresse de mois de juin au mois de juillet et il y a une période humide qui est en automne et en hiver, (tableau I-5).

Tableau I-5: Humidité moyenne mensuelle sur une période d'observation (1964/2005).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Humidité moyenne mensuelle (%)	57	49	44	37	32	28	24	26	37	46	55	59

IV.4. Evaporation

La quantité d'eau évaporée dans la région de Ghardaïa est influencée par le degré de température et les vents et les précipitations, elle augmente quand ceux-ci augmentent et vice versa (tableau I-6).

L'évaporation des plans d'eau à ciel ouvert (E) peut être déterminée par la formule de BOUTOUTAOU D. (1995), appropriée aux conditions climatiques du sud de l'Algérie (zones arides et semi-arides) et exprimée par la relation suivante :

$$E = 0.403 n D^{0.73} [1 + 0.39V]$$

- E : évaporation des surfaces libres d'eau, mm;
- n : nombre de jours (n = 30 pour les calculs mensuels et n = 1 pour les calculs journaliers de l'évapotranspiration E) ;
- V : vitesse du vent, (moyenne mensuelle) m/s ;
- D : déficit de saturation de l'air, mb (millibars), donné par la relation suivante

$$D = 0.0632 (H - 100) e^{0.0632 (t)}$$

- H : moyenne mensuelle d'humidité de l'air, % ;
- t : moyenne mensuelle de la température de l'air °C

Le résultat de calcul des valeurs de l'évaporation est donné dans le tableau ci-après :

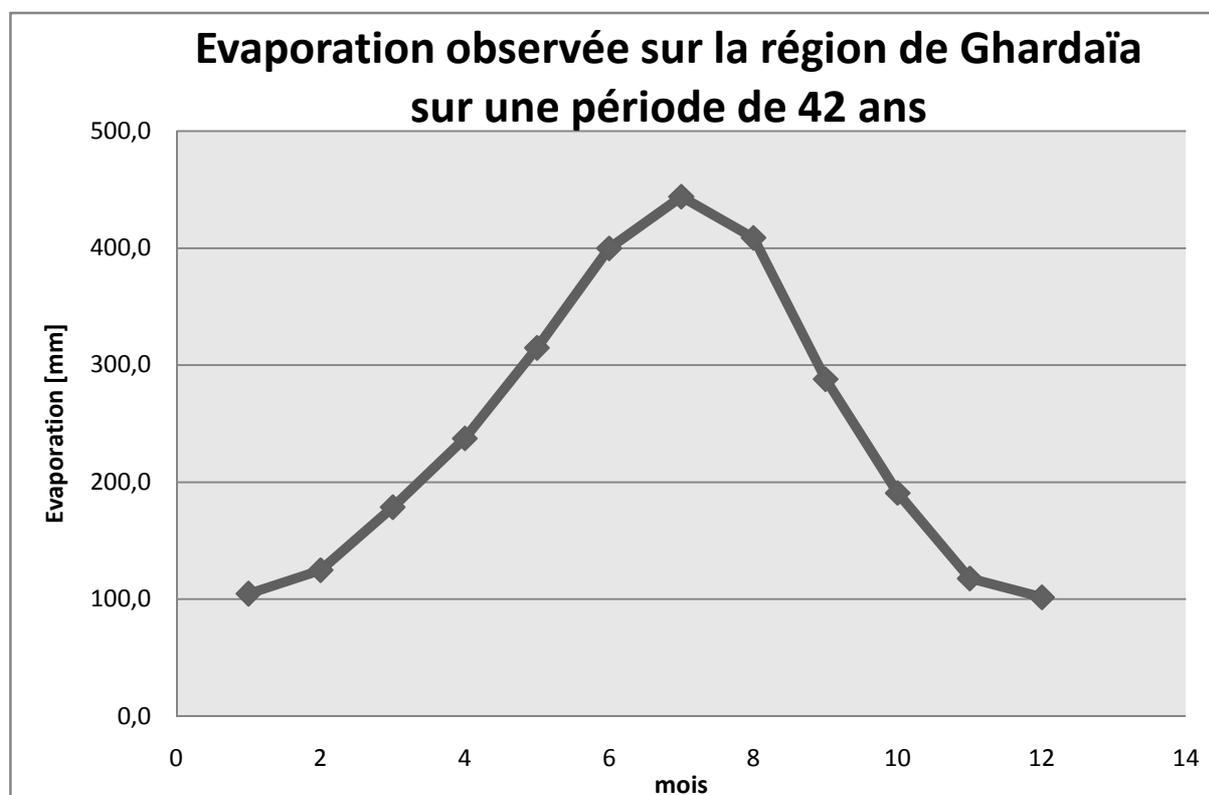
Tableau I-6 : Evaporation moyenne mensuelle sur une période d’observation (1964/2005)

Caractéristique	jan	fev	Mar	avr	mai	juin	juil	aout	sep	oct	nov	dec	année
Nombre de jours du mois	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	*
température, t, °C (t)	10,9	13,2	16	19,8	24,9	30,2	33,2	32,9	28,2	22,1	15,6	11,7	*
Humidité, H,%	57	49	44	37	32	28	24	26	37	46	55	59	*
Déficit de saturation, D, mb	5,4	7,4	9,7	13,9	20,7	30,7	39,2	37,4	23,7	13,8	7,6	5,4	*
Vitesse du vent, V, m/s	3,7	4	4,4	4,8	4,5	4,4	3,7	3,4	3,5	3,2	3,1	3,5	*
Evaporation, E, mm	104,7	124,8	178,6	237,3	314,7	399,8	443,9	408,8	288,0	190,7	117,6	101,6	2910,7

La valeur annuelle de l’évaporation est représentée par la somme des évaporations mensuelles :

$$E = 3000\text{mm / an}$$

La répartition mensuelle de l’évaporation est présentée dans le graphe II-3 :



Graphe I-3 : La répartition mensuelle de l’évaporation sur une période d’observation (1964/2005).

Partie II : Etude pluviométrique

I. Introduction

L'étude des averses revêt une importance capitale en hydrologie non seulement dans le dimensionnement des ouvrages en assainissement urbain et rural mais aussi dans l'étude des crues et la construction des hydrogrammes probables. La connaissance de la pluie maximale probable est indispensable voir obligatoire pour la détermination du ruissellement.

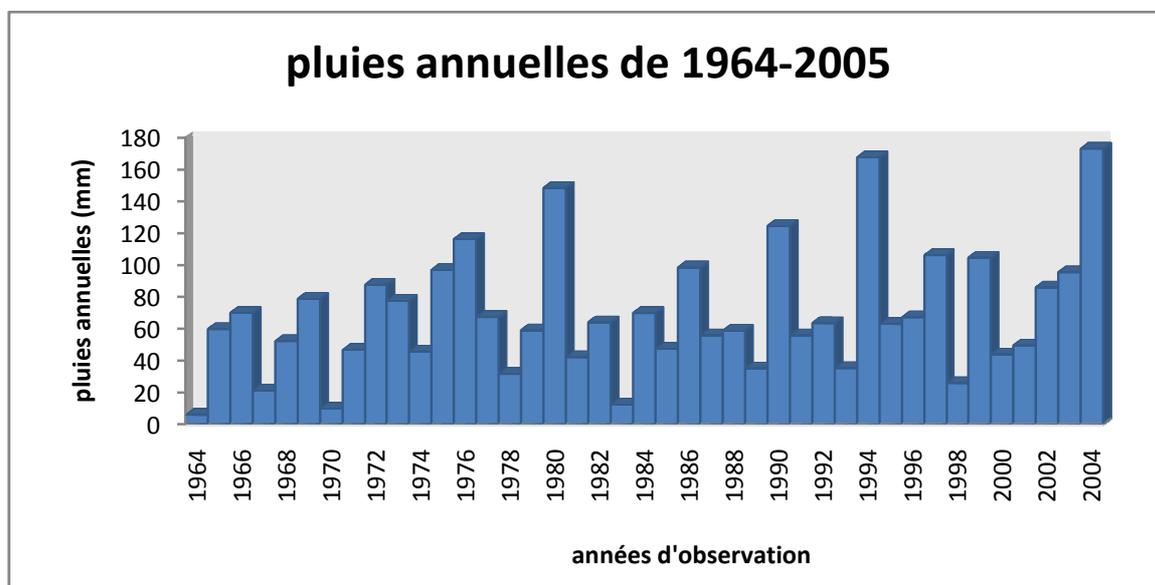
Mais le bassin versant de l'oued Laadhira ne dispose d'aucune station hydrométrique. A cet égard, les données pluviométriques utilisées sont celle de la station de Ghardaïa ; l'unique station de la région, qui a son actif 34 années d'observations pour les pluies maximales journalières et 42 années d'observations pour les pluies annuelles.

La région connaît des précipitations aléatoires et orageuses provoquant la plupart du temps des crues très importantes.

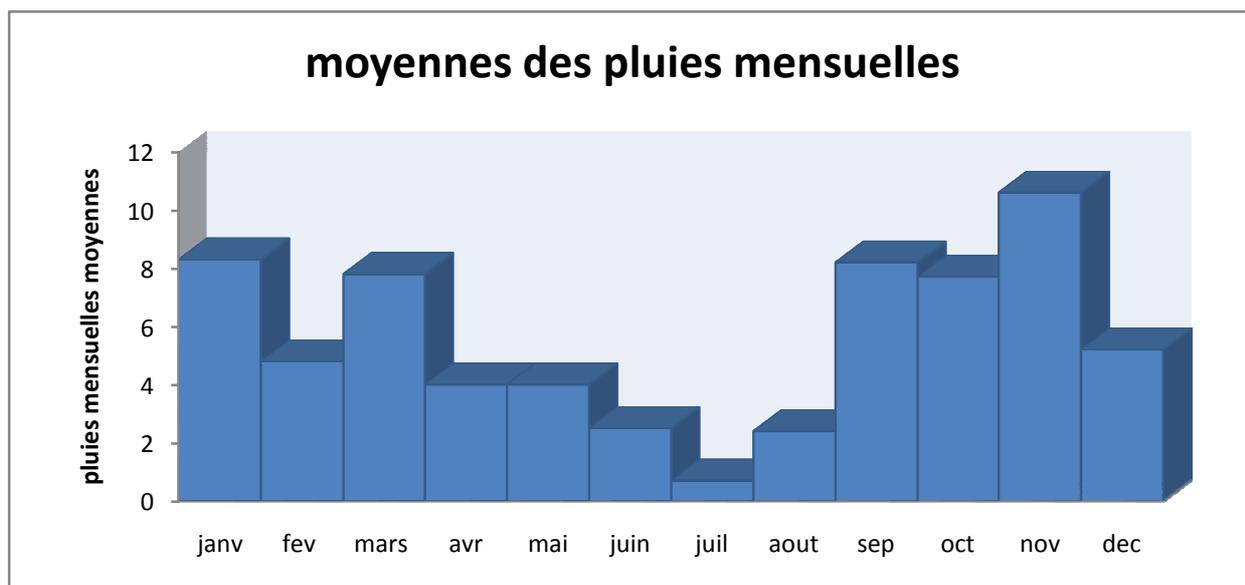
Les séries mises à notre disposition sont homogènes et indépendantes d'après le test d'homogénéité et de l'indépendance.

II. Pluies moyennes annuelles (O.N.M)

La pluie moyenne annuelle est estimée à 70 mm.



Graph I-4 : La répartition des pluies annuelles moyennes de 1964 à 2005.



Graph I-5 : La répartition de la moyenne des pluies mensuelles de 1964 / 2005.

III. Pluies journalières maximales (O.N.M)

Tableau I-7 : Caractéristiques de la station pluviométrique de Ghardaïa.

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

Tableau I-8 : Pluies journalières maximales observées à Ghardaïa (1975-2008).

Année	Pluie journalière maximale	Année	Pluie journalière maximale
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	N	34
1991	10,9	\bar{P}_j	19,3
1992	12,6	σ	12,6
1993	11,9	C_v	0,65

N : Taille de la série ;

\bar{P}_j : Pluie journalière maximale moyenne ;

σ : Écart type ;

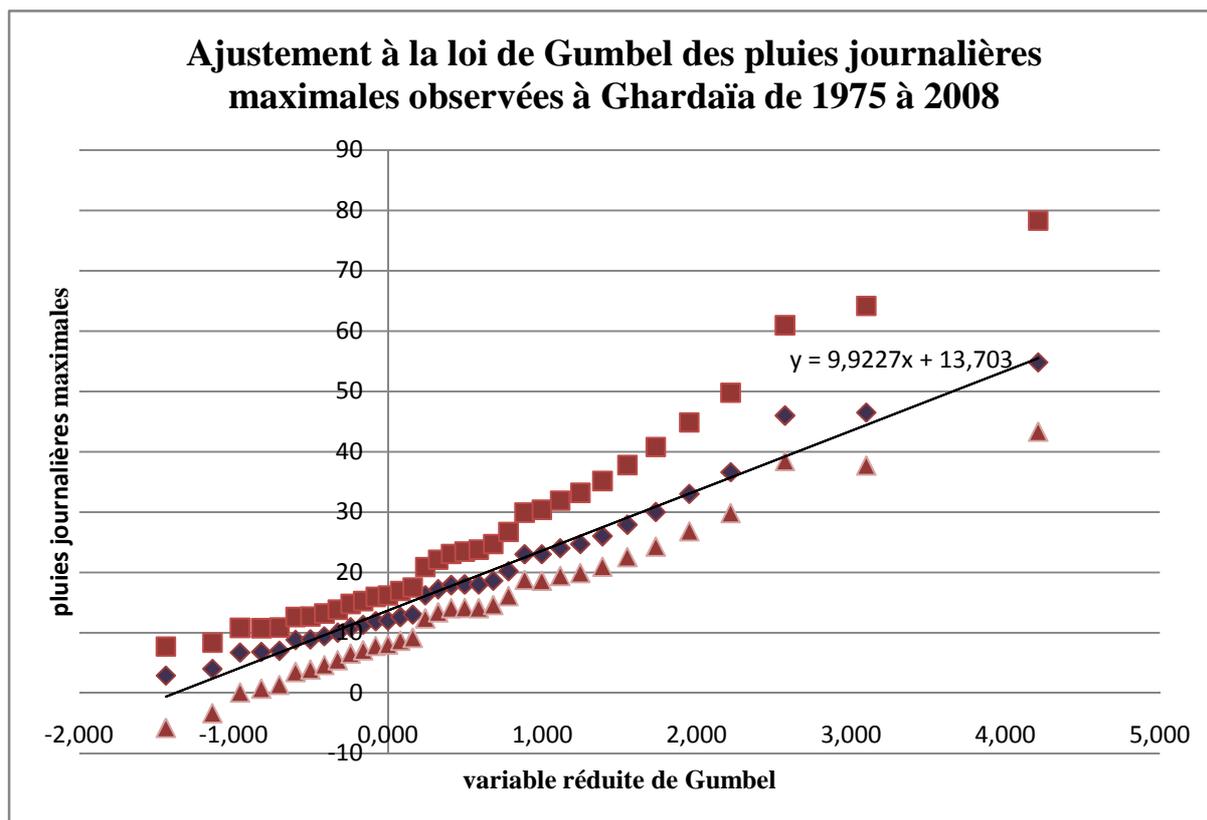
C_v : Coefficient de variation ;

$P_j\%$: Pluie journalière de fréquence donnée ;

a. **Ajustement à la loi de Gumbel**

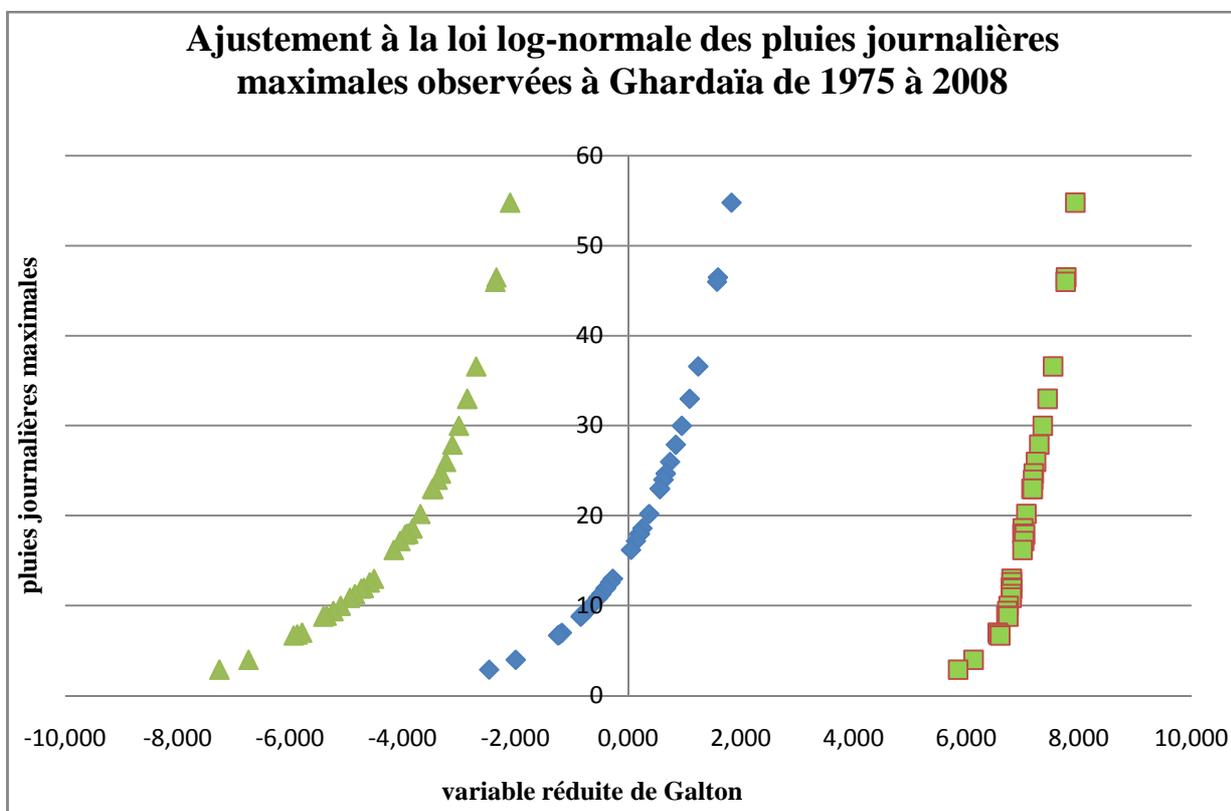
Tableau I-9 : Pluies journalières maximales fréquentielles.

Temps de retour an	Fréquence au non dépassement %	Variable réduite de Gumbel (y)	Pluie journalière maximale fréquentielle mm
2	0,5	0,37	17,3
5	0,8	1,50	28,4
10	0,9	2,25	35,8
20	0,95	2,97	42,9
50	0,98	3,90	52,0
100	0,99	4,60	58,9
1000	0,999	6,90	81,43
10000	0,9999	9,21	104,12



Graphe I-6 : Ajustement à la loi de Gumbel.

b. Ajustement à la loi Log-Normale



Graphe I-7 : Ajustement à la loi Log – Normal.

Conclusion : la loi de Gumbel et la loi Log-Normal ajustent bien notre échantillon.

IV. Pluies de courtes durées

Les pluies de courtes durées sont calculées par la relation « type Montana » établie par Body à l'ANRH :

$$P_{\%}(t) = P_{j\%} \left[\frac{t}{24} \right]^b$$

$P_{\%}(t)$: Pluie fréquentielle de durée t ;

$P_{j\%}$: Pluie journalière fréquentielle ;

t : durée de l'averse ;

b : Exposant climatique $\rightarrow b = 0,15$ pour la station de Ghardaïa ;

Les calculs ont donné les résultats suivants:

Tableau I-10: Pluies de courtes durées pour différentes périodes de retour.

Durée de l'averse (heure)	Période de retour (an)			
	2	5	10	20
0,25	8,72	14,32	18,05	21,63
0,50	9,68	15,89	20,03	24,00
0,75	10,29	16,89	21,29	25,51
1	10,74	17,63	22,23	26,63
2	11,92	19,56	24,66	29,55
4	13,22	21,71	27,36	32,79
6	14,05	23,07	29,08	34,85
12	15,59	25,60	32,26	38,66
24	17,30	28,40	35,80	42,90

Durée de l'averse (heure)	Période de retour (an)			
	50	100	1000	10000
0,25	26,22	29,70	41,06	52,50
0,50	29,09	32,96	45,56	58,26
0,75	30,92	35,02	48,42	61,91
1	32,28	36,57	50,55	64,64
2	35,82	40,57	56,09	71,72
4	39,74	45,02	62,24	79,58
6	42,24	47,84	66,14	84,57
12	46,87	53,08	73,39	93,84
24	52,00	58,90	81,43	104,12

V. Intensités maximales de courte durée

Une averse est définie comme un épisode pluvieux continu, pouvant avoir plusieurs pointes d'intensité. L'intensité moyenne d'une averse s'exprime par le rapport entre la hauteur de pluie observée et la durée t de l'averse :

$$I_{moy} = \frac{H}{t}$$

Où, I_{moy} : est l'intensité moyenne de la pluie (mm/h)

Au cours d'une même averse, l'intensité des précipitations varie à chaque instant suivant les caractéristiques météorologiques de celle-ci. Plutôt que de considérer l'averse entière et son intensité moyenne, on peut s'intéresser aux intensités observées sur des intervalles de temps au cours desquels on aura enregistré la plus grande hauteur de Pluie. On parle alors d'intensité maximale.

$$I_{max} = \frac{H_{max}}{t}$$

Où, I_{max} : est l'intensité maximale de la pluie (mm/h) ;

Cette notion d'averse est très importante en milieu urbain pour la détermination des débits des eaux pluviales et des petits bassins versants pour l'évaluation des débits de crues.

Le temps de retour est fonction du type d'ouvrage à dimensionner ou à protéger et la durée est fonction du type de problème étudié.

Les calculs ont donné les résultats présentés ci après pour les périodes de retour (2 ans, 5ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans, 100 ans, 1000 ans et 10000 ans) et pour des durées d'averse de 15 min jusqu'à 1 jour.

Tableau I-11 : Intensités maximales de durée t (h) et de période de retour T (an)

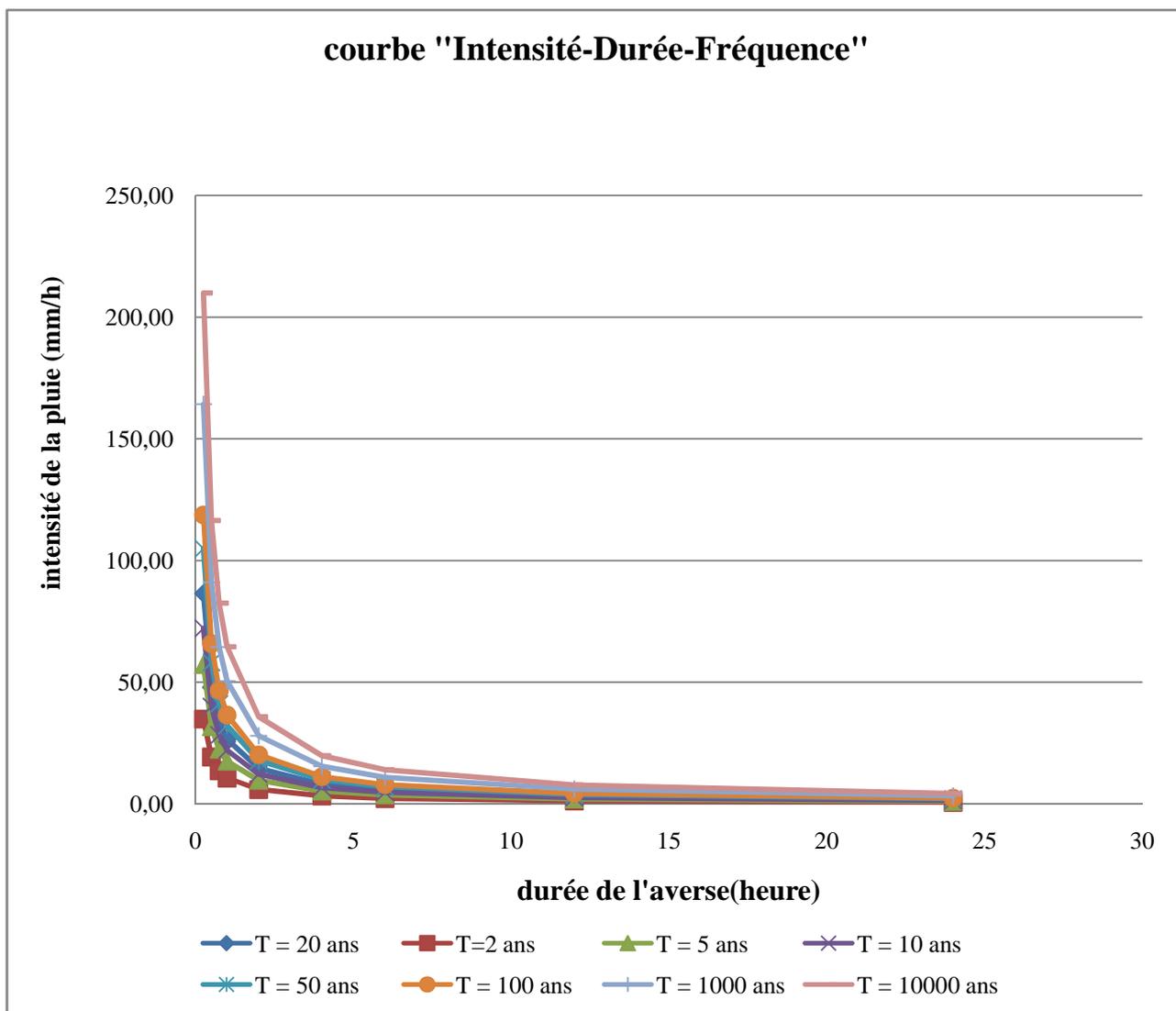
Durée de l'averse (heure)	Période de retour (an)			
	2	5	10	20
0,25	34,90	57,28	72,21	86,53
0,50	19,36	31,78	40,06	48,01
0,75	13,72	22,52	28,38	34,01
1	10,74	17,63	22,23	26,63
2	5,96	9,78	12,33	14,78
4	3,31	5,43	6,84	8,20
6	2,34	3,84	4,85	5,81
12	1,30	2,13	2,69	3,22
24	0,72	1,18	1,49	1,79

Durée de l'averse (heure)	Période de retour (an)			
	50	100	1000	10000
0,25	104,89	118,80	164,25	210,02
0,50	58,19	65,91	91,12	116,51
0,75	41,23	46,70	64,56	82,55
1	32,28	36,57	50,55	64,64
2	17,91	20,29	28,05	35,86
4	9,94	11,25	15,56	19,90
6	7,04	7,97	11,02	14,10
12	3,91	4,42	6,12	7,82
24	2,17	2,45	3,39	4,34

VI. Construction des courbes IDF

Les courbes Intensité – Durée - Fréquence IDF sont construites dans le but de permettre, de synthétiser l'information pluviométrique au droit de la station représentative de la zone d'étude et, d'autre part de calculer succinctement les débits de projet et d'estimer les débits de crue et des eaux pluviales tout en définissant la pluie de projet de type uniforme caractérisée par une intensité constante pour toute sa durée.

A partir des résultats obtenus au tableau précédent, il est alors possible de les représenter graphiquement dans le but de tracer les courbes IDF pour les temps de retour 2, 5, 10, 20, 50, 100, 1000, et 10000 ans (cf. figure suivante).



Graphe I-8 : Courbe IDF « Intensité – Durée – Fréquence ».

Partie III : Etude des apports

I. Apport moyen interannuel

Les potentialités en eau du bassin seront évaluées à partir de l'apport moyen interannuel. Pour l'évaluation préliminaire de ce paramètre, on recommande l'emploi du modèle rationnel, dont la formule est la suivante :

$$A_0 = C_e P_0 A$$

Où,

A_0 : apport moyen interannuel en m^3 ;

P_0 : pluie moyenne interannuelle, en mètre ; elle est déterminée à partir d'une carte pluviométrique ou par des séries d'observations représentatives ;

A : surface du bassin versant, en m^2 ;

C_e : coefficient d'écoulement sans dimension.

Observation

Etant donné que pratiquement toutes les pluies qui tombent sont des pluies qui tombent sous formes d'averse donc orageuse et étant donné aussi que le sol est d'une manière générale marno-calcaire et que la pente de l'oued est prononcée, le coefficient d'infiltration serait pris égale à 0.32.

D'où:

$$A_0 \approx 8,624 \text{ hm}^3$$

$$Q_0 = \frac{A_0}{31,54} 10^3 = 274 \text{ l/s.}$$

II. Caractéristiques de l'écoulement

1. Module de l'écoulement M_e

$$M_e = \frac{A_0}{t}$$

Avec,

A_0 : est l'apport moyen interannuel en litre ;

T : est la période d'une année en seconde ;

D'où : $M_e = 274 \text{ l/s}$

2. Module de l'écoulement relatif M_r

$$M_r = \frac{Me}{S}$$

Avec,

S : est la superficie du bassin versant ;

D'où : $M_r = 0,71 \text{ l/s.km}^2$

3. Lame d'eau écoulée

$$L_e = \frac{A_0}{S} \Rightarrow L_e = 22,4 \text{ mm}$$

4. Coefficient de l'écoulement

$$C_e = \frac{L_e}{P_{moy}} \Rightarrow C_e = 0,32$$

5. Coefficient de variation C_v

La variabilité de l'apport annuel est caractérisée par le coefficient de variation C_v estimé dans notre cas ; à défaut d'information hydrométriques par des formules empiriques.

a) Formule de Sokolovski

$$C_v = 0,78 - 0,291 \log (M_r) - 0,063 \log (S+1)$$

D'ou: $C_v = 0.76$

b) Formule de Padoun

$$C_v = k \frac{0,93}{M_r^{0,29}}$$

Avec : k = coefficient de réduction variant entre 0,25 et 1 d'où k = 0,5 ;

Alors : $C_v = 0.65$

c) Formule d'Antonov

$$C_v = \frac{0,78}{(A+1000)^{0,037}}$$

D'où : $C_v = 0,6$

d) Formule d'Ourkguiprovodkhoz

$$C_v = \frac{0,7}{Mr^{0,127}}$$

D'où : $C_v = 0,8$

Conclusion :

La valeur du coefficient de variation C_v sera la moyenne des valeurs obtenues par les différentes formules :

$$\boxed{C_v = 0.7}$$

III. Apport fréquentiel

$$A_F = \frac{A_0}{\sqrt{(C_v^2 + 1)}} e^{-u_f \sqrt{\ln(C_v^2 + 1)}}$$

A_F : apport fréquentiel, en hm^3 ;

u_f : variable réduite de Gauss qui est fonction de F ; cette variable a différentes valeurs pour différentes fréquences d'emploi habituel en accord avec l'utilisation de l'eau.

Cependant l'utilisation de l'eau est destinée à l'irrigation, donc $u_f = 0,841$ correspondant à $F = 80\%$.

D'où : $\boxed{A_F = 4,154 \text{ hm}^3}$

IV. Répartition mensuelle de l'apport moyen annuel**Tableau I-12:** Répartition mensuelle de la précipitation et de l'apport.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Jui	Août	Total
P (mm)	8,2	8,5	10,6	6,2	9,3	5,8	7,8	4	4	2,5	0,7	2,4	70
A (Hm ³)	1,01	1,047	1,3	0,76	1,15	0,7	0,96	0	0	0	0	0	7

Observation :

Des observations sur terrain dans les zones arides (sahariennes) ont montré que les précipitations de hauteur inférieure à 5 mm ne provoquent pas d'écoulement.

Partie IV : Etude des crues

I. Introduction

Les crues sont des écoulements variables dans lesquelles les débits atteignent des valeurs importantes. Mais leur étude en Algérie reste un domaine inconnu pour les régions arides et sahariennes, seules quelques indications très ponctuelles sont données dans les annuaires hydrologiques algériens. Les crues représentent un des traits fondamentaux du régime d'un cours d'eau, malheureusement nous ne possédons pas de séries de crues pour pouvoir tirer des conclusions globales.

La crue dépend essentiellement de l'abondance et de l'intensité de la pluie : son évolution obéit principalement à la puissance et l'intensité de l'averse. Sa vitesse est largement influencée par le couvert végétal, la lithologie, par des paramètres morphométriques du bassin (indice de compacité, densité de drainage, rapports des confluences et des longueurs etc....), par la pente des thalwegs et la forme du lit.

De plus les diverses branches du chevelu hydrographique interviennent bien qu'à un degré moindre dans l'évolution ou la perturbation d'une crue. Dans la plus part des cas, ce sont les averses généralisées qui provoquent la plus grande crue.

L'estimation des crues révèle une grande importance pour la sécurité de l'ouvrage à implanter.

Les paramètres définissant une crue sont :

- 1- Le débit maximum de la crue (débit de pointe).
- 2- Le volume de la crue.
- 3- La forme de la crue (Hydrogramme de crues).
- 4- Le temps de concentration.
- 5- Le temps de base.

II. Evaluation des débits de crues

a) Méthode de SOKOLOVSKY

Selon cet auteur, la crue est considérée comme un débit maximal généré par une averse de courte durée correspondant au temps de concentration. Le temps de montée de la crue est donc pris égal au temps de concentration.

$$Q_{f\%} = \frac{0.28 \cdot P_{tcf\%} \cdot \alpha_T \cdot K \cdot S}{t_c}$$

Où,

- $Q_{f\%}$: débit de pointe d'une fréquence « f » en m^3/s ;
- $P_{t_c f\%}$: pluie de courte durée correspondant au temps de concentration « t_c » et à une fréquence « f » en mm ;

$$P_{f\% t_c} = P_{j f\%} \left(\frac{t_c}{24} \right)^{0.15}$$

- k : coefficient de forme de l'Hydrogramme de crue. Il est égal à :
 $k = 12 / (4 + 3\phi)$;

Où, les valeurs de ϕ sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau I-13 : valeurs de ϕ en fonction des caractéristiques des bassins versants.

Bassin versant	Valeurs de ϕ
petits bassins versant $S \leq 50 \text{ km}^2$	2
bassins versants non boisés et peu perméables	2 – 3
bassins versants boisés et perméables	3 – 4

Comme le bassin est non boisé et peu perméable, alors $\phi = 3$.

D'où :

$$k = \frac{12}{4+3\phi} = \frac{12}{4+3*3} = 0.92$$

- S : surface du bassin versant en km^2 ; $S = 385 \text{ km}^2$;
- t_c : temps de concentration en heures. $t_c = 3$ heures ;
- α_T : coefficient de ruissellement de la crue fonction du période de retour (T).

Observation :

Pendant la période des fortes averses (orages), dont le phénomène provoque de problèmes d'inondation pratiquement toute la pluie qui tombe ruisselle sur le sol, l'évaporation est négligeable et l'infiltration est pratiquement nulle.

Les coefficients de ruissellement atteignent en période de fortes averses les valeurs de 0.95 jusqu'à 0.99 en fonction de la fréquence des orages.

Le détail de calcul est récapitulé dans le tableau ci-dessous :

Tableau I-14 : Résultats des débits de crues par la méthode de Sokolovski.

Fréquence au non dépassement « f » en %	90	95	98	99	99.9
Période de retour T en années	10	20	50	100	1000
Pluie journalière fréquentielle $P_{j f\%}$ mm	35.8	42.9	52	58.9	81.43
Pluie fréquentielle de courte durée $P_{f\% tc}$ mm	33.58	40.25	48.79	55.26	76.40
Coefficient de ruissellement α_T	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99
Débit de pointe $Q_{f\%}$ m ³ /sec	1055	1280	1565	1800	2500

b) Méthode rationnelle

Cette méthode est basée sur une formule qui est fonction de trois paramètres importants et couramment cités dans la littérature : Superficie du bassin versant, coefficient de ruissellement et intensité maximale de l'averse. Ce dernier paramètre qui présente une grande importance pour l'estimation des crues a été déterminé à partir des pluies journalières maximales observées à la station de Ghardaïa.

Connaissant l'intensité maximale de la zone d'étude à une fréquence donnée, nous pouvons calculer le débit maximum pour la même fréquence par l'utilisation de la formule rationnelle la plus ancienne et la plus utilisée.

$$Q = \frac{1}{3,60} C * I * A$$

Ou,

- Q : Débit de crue (m³/s) ;
- I: Intensité maximale (mm/h) ;
- C : Coefficient de ruissellement ;
- S : Surface du bassin versant (km²) ;

L'absence de mesures sur les écoulements au niveau des stations hydrométriques, induit à la rareté et le manque des données pluviométriques dans la zone d'étude et son voisinage. Il est en effet, pratiquement impossible d'évaluer avec une honnête précision la quantité de pluie susceptible de ruisseler dans le bassin versant.

Au Sahara, nous sommes encore très loin du stade de mesures des débits des oueds. Tout ce que l'on peut faire c'est d'estimer ces débits d'une manière assez grossière mais réfléchie.

Les valeurs des débits de crue sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau I-15 : Résultats des débits de crues par la méthode rationnelle.

Période de retour (ans)	10	20	50	100	1000
Pluie journalière maximale (mm)	35,8	42,9	52,0	58,9	81,43
Pluie de durée $t_{\text{concentration}}$ (mm)	26,2	31,4	38	43,11	59,6
Intensité maximale (mm/heures)	8,7	10,5	12	14,4	19,9
Coefficient de ruissellement	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
Débit m^3/s	884	1078	1250	1510	2110

Les coefficients de ruissellement atteignent les valeurs de 0.95 jusqu'à 0.99 en fonction de la fréquence des orages.

c) **Formule de Turraza**

$$Q_{\max} = \frac{P_{j\max} \cdot A \cdot C}{3.6 \cdot t_c}$$

Avec,

- t_c : temps de concentration ; $t_c = 3$ heures ;
- C : coefficient de ruissellement pour une période de retour donnée ;
- S : aire du bassin ; $A = 385 \text{ km}^2$;
- $P_{j\max}$: pluie journalière maximale [mm] ;

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau I-16 : Résultats des débits de crues par la méthode de Turraza.

période de retour T (ans)	10	20	50	100	1000
pluie journalière maximale (mm)	35,8	42,9	52	58,9	81,43
coefficient de ruissellement	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
Qmax [m ³ /s]	1212	1470	1800	2060	2880

d) Méthode de BOUTOUTAOU (ENHYD-STYKY)

Méthode établie sur la base de données de mesures des débits de pointe de plusieurs cours d'eau dans différentes zones géographiques et climatiques de l'Algérie :

$$Q_T = Q_o [1 + k (\log T)^{3/2}]$$

Ou,

- Q_o : débit de pointe moyen annuel, calculé par la relation suivante ;

$$Q_o = [P_{\max j} * e^{-(P_o / P_{\max j})}] * \sqrt{S}$$

- $P_{j \text{ moy}}$: moyenne des pluies maximales journalières en mm ($P_{j \text{ moy}} = 19.3$ mm) ;
- S : surface du bassin versant en Km² ; **S = 385 Km²** ;
- P_o : Pertes maximales possibles (interception, infiltration, stockage dans les dépressions et évaporation) pour un état de saturation donnée du sol. P_o est tabulée en fonction de la situation géographique du bassin versant et de la pluie annuelle reçue par ce dernier.

- **Détermination de la valeur de (P_o)**

N°	Zone géographique (code du bassin versant)	(P₀) Mm	Pluie annuelle (P_{an}), mm
1	03-10-12-14-15	120	Pour toute pluie
2	02-09	100	Pour toute pluie
3	01-04-08-11	115 80	Pan > 400 mm Pan ≤ 400 mm
4	16	115	Pour toute pluie
5	05-06-07-17	100 75	Pan > 400 mm Pan ≤ 400 mm
6	13	60	Pan ≥ 150 mm

Malheureusement les mesures des débits de pointe pour les cours d'eau des zones arides ne sont pas effectuées et il est très difficile de connaître le paramètre (P_0).

Comme le montre le tableau ci-dessus, (P_0) varie de 120 à 60 mm en fonction des régions géographiques et de la pluviométrie moyenne annuelle reçue par le bassin versant.

Selon cette distribution il est clair que (P_0) qui ne figure pas dans le tableau, il serait inférieur à 60 mm pour les cours d'eau des zones arides. Ce paramètre passe de 120 – 100 mm des zones humides et subhumides à 75 – 60 mm des zones semi-arides.

Le rapport de passage d'une zone à une autre est de l'ordre de 2.

En suivant le même raisonnement, la valeur de (P_0) la plus probable de passage des zones semi-arides aux zones arides est de 30 mm.

Nous retenons la valeur $P_0 = 30$ mm pour le cours d'eau d'El Haimer ;

- K – coefficient, permettant le passage des débits de pointe moyens annuels aux débits de pointe fréquents, tabulé en fonction de la situation géographique du bassin versant et la pluie annuelle reçu par ce dernier.

- Determination de la valeur de (k)

N°	Zone géographique (code du bassin versant)	(K)	Pluie annuelle (Pan), mm
1	03-10-12-14-15	0.9	Pan ≥ 900 mm
		1.4	400 mm < Pan < 900 mm
		2.6	Pan ≤ 400 mm
2	02-09	0.8	Pan ≥ 600 mm
		2.6	Pan < 600 mm
3	01-04-08-11	1.5	Pan > 400 mm
		1.4	Pan ≤ 400 mm
4	16	2.3	Pan ≥ 600 mm
		3.5	Pan < 600 mm
5	05-06-07-17	2	Pan > 400 mm
		3	Pan ≤ 400 mm
6	13	1.4	Pan ≥ 150 mm

Pour notre cas nous retenons **K = 1.4** (bassins versant du Sahara).

1. Pour $P_{maxj} = 19.3$ mm ; $P_0 = 30$ mm et $S = 385$ Km²

$$Q_0 = [P_{maxj} * e^{-(P_0 / P_{maxj})}] * \sqrt{S} = [19.3 * e^{-(30/19.3)}] \sqrt{385} = 80 \text{ m}^3/\text{sec}$$

2. Pour $K = 1.4$, on a :

$$Q_T = Q_0 [1 + k (\log T)^{3/2}] = 80 [1 + 1.4 (\log T)^{1.5}]$$

Le résultat de calcul est donné dans le tableau ci-dessous :

Tableau I-17 : Résultats des débits de crues par la méthode de Boutoutaou.

Fréquence au non dépassement « f » en %	90	95	97	98	99
Période de retour T en années	10	20	50	100	1000
Débit de pointe Q_T m ³ /sec	192	246	328	396	662

e) **Formule de Samie**

$$Q_{\max} = \frac{P_{j\max} \cdot A \cdot C \cdot K \cdot 10^3}{3600 \cdot 24}$$

Avec,

- $P_{j\max}$: pluie maximale journalière [mm] ;
- A : aire du bassin ; $A = 385 \text{ km}^2$;
- K : coefficient d'amortissement de la crue ; $K = 1$;
- C : coefficient de ruissellement correspondant à la période de retour.

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau I-18 : Résultats des débits de crues par la méthode de Samie.

période de retour (ans)	10	20	50	100	1000
pluie journalière maximale (mm)	35,8	42,9	52	58,9	81,43
coefficient de ruissellement	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
Q_{\max}	152	184	225	260	360

Tableau I-19 : Récapitulation des résultats des débits de crues par les différentes méthodes.

Période de retour	10	20	50	100	1000
Sokolovski	1055	1280	1565	1800	2500
Méthode rationnelle	884	1078	1250	1510	2110
Turraza	1212	1470	1800	2060	2880
Boutoutaou	192	246	328	396	662
Samie	152	184	225	260	360

Observation :

La fiabilité du paramètre de dimensionnement dépend en grand parti, de l'information, de la qualité de l'information et de la puissance de la méthode utilisée pour sa détermination. La détermination des débits de crue fréquentielle a été le sujet crucial, pris avec une détermination exceptionnelle en fonction de l'information existante, des méthodes et des formules qui lui sont adaptables, pour arriver à avoir des résultats fiables, proches et reflétant de la réalité.

Conclusion :

Les valeurs à prendre en considération dans l'étude en question sont celle de SOKOLOVSKY.

III. Estimation de la crue de 2008

Pour la détermination du débit de crue de l'année 2008, nous avons procédé au relevé de laisses de cette crue qui s'est déclenchée principalement de notre oued.

1. Relevé de laisses de crue

Le relevé de laisses de crue consiste à identifier sur le terrain les traces physiques laissées par les eaux après la crue.

Les levés servent par la suite à délimiter les zones inondées.

Cette évaluation est bien sûr peu précise mais permet d'obtenir rapidement un ordre de grandeur.

Dans la mesure du possible, il est relevé un repère de crue sur chaque rive de manière à recouper l'information.

Sur terrain, nous avons effectué le relevé de trois sections transversales pour pouvoir comparer les résultats obtenus à partir de chaque section.

2. Conditions d'application de la formule de Manning – Strickler :

L'utilisation de la formule du type Manning – Strickler nécessite :

- Une section transversale régulière ;
- Des alignements droits ;
- Des zones où le lit du cours d'eau est unique ;
- L'absence d'un confluent ;

Pour éviter que le débit calculé soit modifié.

3. La formule de Manning – Strickler :

$$Q = \frac{1}{n} R_h^{2/3} I^{1/2} S$$

Où :

$\frac{1}{n}$: Coefficient de Manning – Strickler qui dépend de la nature du lit du cours d'eau ;

Puisque on est dans le cas d'une rivière de plaine, large, à végétation peu dense, ce coefficient est égal à 30.

R_h : rayon hydraulique en mètre; $R_h = \frac{S}{P}$;

S : surface mouillée en mètre carré;

P : périmètre mouillé en mètre;

I : pente du fond du lit ;

Les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau I-20 : Evaluation du débit de crue de l'année 2008.

Sections	Section I	Section II	Section III
S	1400	1400	1450
P	500		
R_h	2,8	2,8	2,8
I	0.0009		
Q_{\max} [m ³ /s]	2500	2500	2650

Donc le débit transitant est : $Q_{\max} = 2600 \text{ m}^3/\text{s}$

Observation :

On remarque que les hypothèses de la formule de Manning – Strickler sont grossièrement et difficilement vérifiées sur le terrain et que réellement l'écoulement hydraulique dans un oued est considéré comme un écoulement bidimensionnel d'un côté et de l'autre côté que les traces de l'eau laissées sur les rives par le passage des crues sont difficilement identifiables avec précisions, ce qui nous poussent à se retrouver dans une situation peu enviable où les résultats calculés nous semblent risqués et moins sécurisant.

Partie V : Hydrogramme de crues

L'Hydrogramme de crue est une identité de la crue, il nous donne les caractéristiques principales de la crues tel que:

- ✚ La forme de la crue.
- ✚ Le volume de la crue.
- ✚ La durée de la crue.
- ✚ Le débit maximum de la crue (débit de pointe).

Pour le tracé de l'Hydrogramme de crue on doit suivre la méthode de SOKOLOVSKI qui divise l'Hydrogramme en deux branches de courbe non symétriques, une pour le temps de montée et l'autre pour la décrue.

Pour le temps de montée:

$$Q_{\text{montée}} = Q_{\text{max}} \left(\frac{T}{T_m} \right)^2$$

Ou, T_m : Temps de montée qui est égale au temps de concentration.

Pour la décrue:

$$Q_{\text{décrue}} = Q_{\text{max}} \left(\frac{T_d - T}{T_d} \right)^3$$

Avec: $T_d = \delta T_m$ (Sokolovski)

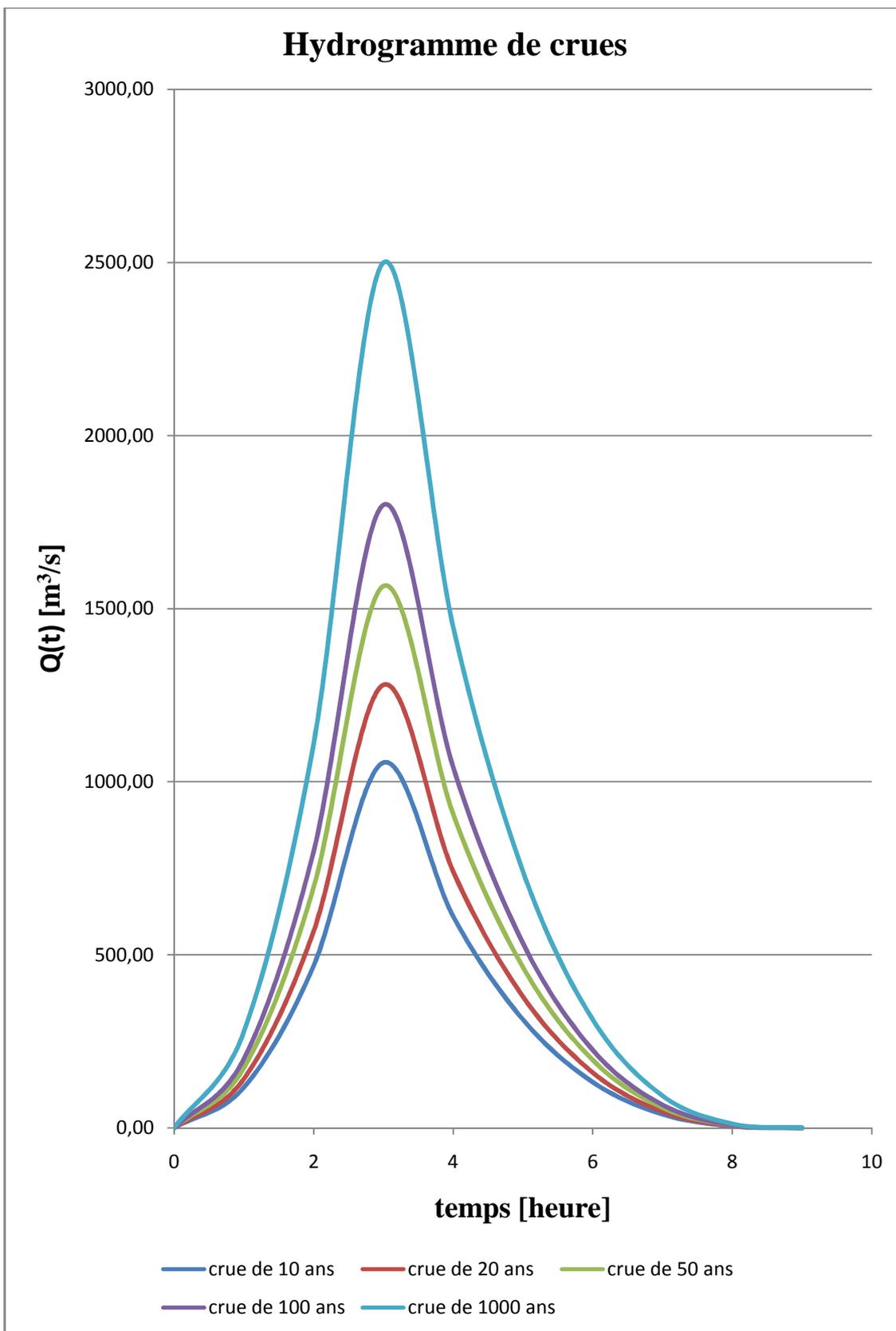
δ : Coefficient dépendant des caractéristiques du bassin versant ,il est pris en général compris entre (2 — 4) , en fonction de la forme du bassin versant, du régime hydraulique du cours d'eau , de la perméabilité globale du relief , du boisement ou de la végétation du bassin ainsi que de la pente global de ce dernier.

Observation :

En fonctionnement du régime hydraulique et des caractéristiques du bassin versant, ce coefficient est pris égal à 2.

Tableau I-21 : Caractéristiques de l'hydrogramme de crue.

Période de retour	10	20	50	100	1000
Q_{\max}	1055	1280	1565	1800	2500
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	117,22	142,22	173,89	200	277,78
2	468,89	568,89	695,56	800	1111,11
3	1055,00	1280	1565	1800	2500
4	610,53	740,74	905,67	1041,67	1446,76
5	312,59	379,26	463,70	533,33	740,74
6	131,88	160,00	195,63	225,00	312,50
7	39,07	47,41	57,96	66,67	92,59
8	4,88	5,93	7,25	8,33	11,57
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



Graphe I-9 : L'hydrogramme de crues.

Partie VI : Estimation de la crue de projet

La crue de projet est la crue de plus faible fréquence entrant dans la retenue. Elle est prise en compte pour déterminer le niveau des plus hautes eaux (PHE), donc la hauteur du barrage, et pour le dimensionnement de l'évacuateur de crues, en intégrant les possibilités du laminage.

Souvent la crue de projet considérée est la crue du débit de pointe maximal, mais il n'est pas toujours certain que cette crue soit la plus défavorable pour le calcul de l'évacuateur de crues ; une crue moins pointue, mais plus étalée pourrait être plus défavorable. La période de retour minimale préconisée pour cette crue est 100 ans.

Le choix de la période de retour dépend du risque induit par la rupture de la digue. Cependant le risque global est lié aussi à la vulnérabilité de la vallée en aval (occupation de la zone susceptible d'être inondée en cas de rupture). Lorsque le barrage intéresse la sécurité publique, la période de retour ne devra en aucun cas être inférieure à 1000 ans pour les barrages d'accumulation et de transfert et 100 ans pour les retenues collinaires et les petits barrages.

✚ Pour la détermination de la crue de projet on doit tenir compte des caractéristiques géologiques et hydrologiques du bassin versant (précipitations, superficie, perméabilité...)

✚ On doit calculer l'indice global "I_g" qui est lié à tous ces paramètres tel que :

$$I_g = I_a \times I_d \times I_r .$$

I_a : représente la somme des indices mineurs (intensité des crues et les difficultés topographiques).

I_d : représente la somme des indices des difficultés géologiques et géotechniques.

I_r : représente les risques.

✚ **SI :**

1/ Le risque est faible (I_g = 1), on dimensionne l'évacuateur de crues pour une crue centennale.

2/ Si Le risque est moyen (I_g =2), on dimensionne pour la crue centennale avec vérification avec la crue cinq centennale et parfois même millénaire.

3/ Si Le risque est élevé, la plus petite crue de dimensionnement ne doit en aucun cas être inférieure à la crue millénaire.

Tableau I-22 : Récapitulation pour le choix de la crue de projet.

Le risque	Risque faible	Risque moyen (modéré)	Risque important
Hydrologie	Bonne connaissance	Connaissance moyennes	Incertitude
Géologie et géotechnique	Peu ou pas de difficulté	Quelques difficultés	Difficiles
Risque ou non de rupture	Faible	Moyen	Important
La crue de projet	$Q_{\max}(1\%) + \text{revanche}$	$Q_{\max}(1\%) + \text{revanche majorée}$ avec vérification pour $Q_{\max}(0.1\%)$ et $Q_{\max}(0.2\%)$	$Q_{\max}(0.1\%)$

$$Q_{\text{projet}} = 1800 \text{ m}^3/\text{s}$$

Partie VII : Etude du transport solide

I. Introduction

Le transport solide dépend de l'étendue, du relief du bassin versant, de la nature géologique et géotechnique des sols et de leur résistances à l'érosion, liée elle même à la couverture végétale, au types, aux régimes et à l'intensité des pluies et des températures.

Le transport solide permet la détermination du volume mort.

Le volume mort est un volume qui ne participe pas à la régularisation des débits, il doit répondre à certaines conditions:

- ✚ Accumulation des matériaux solides dans la retenue pendant une certaine période d'exploitation du barrage.
- ✚ Garantir le fonctionnement normal de l'éventuel prise d'eau ou de station de pompes située à l'aval de l'ouvrage hydraulique.

Pour le calcul du volume mort de la retenue à défaut de l'existence d'une station hydrométrique au niveau de l'affluent principal, on utiliserait les formules empiriques.

II. Calcul du transport solide

1. Formule de Tixeront

$$T_a = k.L_r^{0,15}$$

Ou,

T_a : volume total solide, en t/km² ;

L_r : lame écoulée, en mm ;

K : paramètre caractéristique de la perméabilité du bassin, il varie de 8,5 à 3200, et est d'autant plus important que la perméabilité est faible. Sa valeur est donnée dans le tableau ci-dessous :

Perméabilité	Elevée	Moyenne à élevée	Faible à moyenne	Faible	Nulle
α	8,5	75	350	1400	3200

Etant donné que le bassin a une faible perméabilité, alors $K = 1400$.

D'où : $T_a = 2232$ t/km²

2. Formule de Fournier

Elle tient compte de la pluviométrie et de la topographie du bassin.

$$T_{as} = \frac{1}{36} \left(\frac{P_{a \max}^2}{\bar{P}} \right)^{2,65} \left(\frac{\Delta H^2}{S} \right)^{0,46}$$

Avec,

$P_{a \max}$: pluie moyenne mensuelle du mois le plus pluvieux (mm) ;

\bar{P} : pluie moyenne annuelle (mm) ;

ΔH = 45% de la différence des altitudes maximales et minimales du bassin (m) ;

S = aire du bassin (km²) ;

$$45\% \Delta H = \frac{45}{100} (773 - 543) = 103,5 \text{ m.}$$

$$P_{a \max} = 60 \text{ mm}$$

$$\bar{P} = 70 \text{ mm}$$

D'où : $T_{as} = 4400 \text{ t/km}^2.\text{an}$

3. Formule de Gravellovic

$$Q_s = q_{sp} C_{rm} \quad [\text{m}^3/\text{Km}^2/\text{an}]$$

$$q_{sp} = T \bar{P}_{an} \pi \sqrt{Z^3}$$

Où,

\bar{P}_{an} : pluie moyenne interannuelle ; $\bar{P}_{an} = 70 \text{ mm}$;

T : coefficient thermique ;

$$T = \sqrt{\frac{t_0}{10}} + 1$$

Avec,

t_0 : température moyenne annuelle en C° ; $t_0 = 25^\circ\text{C}$, $T = 2,58$;

Z : coefficient dépendant de l'érosion du sol ; $Z = 0,85$ à cause de la forte érosion ;

D'où : $q_{sp} = 444,4 \text{ m}^3/\text{Km}^2/\text{an}$.

C_{rm} : Coefficient de rétention ;

$$C_{rm} = \frac{\sqrt{P \cdot H_{moy}}}{0.25(L + 10)}$$

Avec,

P : Périmètre en Km du bassin versant ; P=98 Km ;

H_{moy} : Altitude moyenne en Km $H_{moy}=0,664$ Km ;

L : Longueur du talweg principal en Km L=48 Km ;

Donc : $C_{rm}=0,556$

D'où :

$$Q_s = 250 \text{ m}^3/\text{km}^2.\text{an.}$$

$$Tas = Q_s * \gamma_s$$

Alors : Tas = 420 t/km².an

Tableau I-23 : Récapitulation des résultats du transport solide.

Formules utilisées	Transport solide Tas (t/km ² .an)
Tixeront	2232
Fournier	4400
Gravillovic	420

Observation :

L'emploi de ces formules empiriques est inadéquat en raison de la particularité de leurs domaines d'applications.

En conséquence, le volume mort sera important voir controuvé.

A cet égard, nous procédons à l'analogie de d'autres bassins arides ou semi arides.

4. Analogie

L'évaluation du transport solide s'est élaborée à partir de mesures faites sur d'autres bassins versants arides ou semi arides dans d'autres régions en appréciant les différences possibles avec Ghardaïa au niveau de l'érodabilité du bassin.

Cette étude a proposé une concentration moyenne de 5 g/l de matières en suspension et à un charriage de fond équivalent en poids au transport en suspension.

L'évaluation des apports liquides a été faite en ne considérant que les pluies dont l'intensité est suffisante pour provoquer un écoulement et en leurs appliquant un coefficient de ruissellement inférieur à 1.

Selon des observations faites sur les précipitations, seules les pluies journalières supérieures à 5 mm, qui représentent 50 % des précipitations totales (70 mm/an), soit environ 35 mm/an, déclenchent un écoulement ; au niveau des intensités, ce sont les pluies d'intensité moyenne supérieure à 2 mm/h, et de hauteur supérieure à 5 mm, soit environ 30 mm/an, qui sont susceptibles de déclencher un écoulement. Le coefficient de ruissellement pour une pluie centennale et une superficie de 100 km² est de 50 % environ. Ce coefficient diminue pour des événements pluvieux plus fréquents et pour des superficies de bassin versant plus grandes. (Bonnard & Gardel (B.G))

Pour un calcul prudent de ces apports solides, on a finalement retenu une hauteur de précipitation annuelle conduisant à un écoulement de 35 mm et un coefficient de ruissellement de 50 %. Ces valeurs définissent un apport de matières en suspension pendant une durée de 50 années de :

$$T_{as} = 50\% \cdot 5 \text{ g/l} \cdot 35 \text{ mm} \cdot S \cdot 50 \text{ ans}$$

$$T_{as} = 3.368.750 \text{ tonne}$$

$$V_{\text{mort}} = T_{as} / \gamma_s$$

$$\text{Avec, } \gamma_s = 1,62$$

$$\text{D'où : } V_{\text{mort}} = 2.105.470 \text{ m}^3$$

Toutefois, par mesure de sécurité, un volume supplémentaire viendra se rajouter à l'initial.

$$\text{Alors : } \boxed{V_{\text{mort}} = 3 \text{ hm}^3}.$$

Partie VIII : Régularisation du débit

La régularisation des débits permet de déterminer la meilleure façon de restitution des eaux stockées et la détermination du volume utile de la retenue.

Une des solutions techniques efficace pour la lutte contre les inondations est d'amortir ou d'anéantir tout débit susceptible de provoquer un écoulement torrentiel, capable d'éroder et de faire sortir l'eau du lit de l'oued. L'idée est de stocker partiellement ou totalement tout l'apport de l'oued ainsi que le volume apporté par la crue.

Tableau I-24 : Régularisation des débits.

Mois	Apport hm ³	Evaporation mm	Surface inondée m ²	coefficient de répartition	Volume des besoins m ³	Volume infiltré m ³	volume évaporé m ³	Volume restant m ³
Septembre	4,01	15	760000	0,08	0	40100	11400	3958500
Octobre	1,047	12	1360000	0,08	0	10470	16320	3931711
Novembre	1,3	12	1400000	0,08	0	13000	16800	3901912
Décembre	0,76	10	1200000	0,08	0	7600	12000	3882313
Janvier	1,15	13	1400000	0,04	0	11500	18200	3852614
Février	0,7	18	1200000	0,04	0	7000	21600	3824015
Mars	0,96	20	1200000	0,04	0	9600	24000	3790416
Avril	0	24	1000000	0,12	0	9600	24000	3756816
Mai	0	25	1000000	0,12	0	9600	25000	3722216
Juin	0	25	960000	0,12	0	9600	24000	3688616
Juillet	0	28	960000	0,08	0	9600	26880	3652136
Août	0	28	960000	0,08	0	9600	26880	3615656

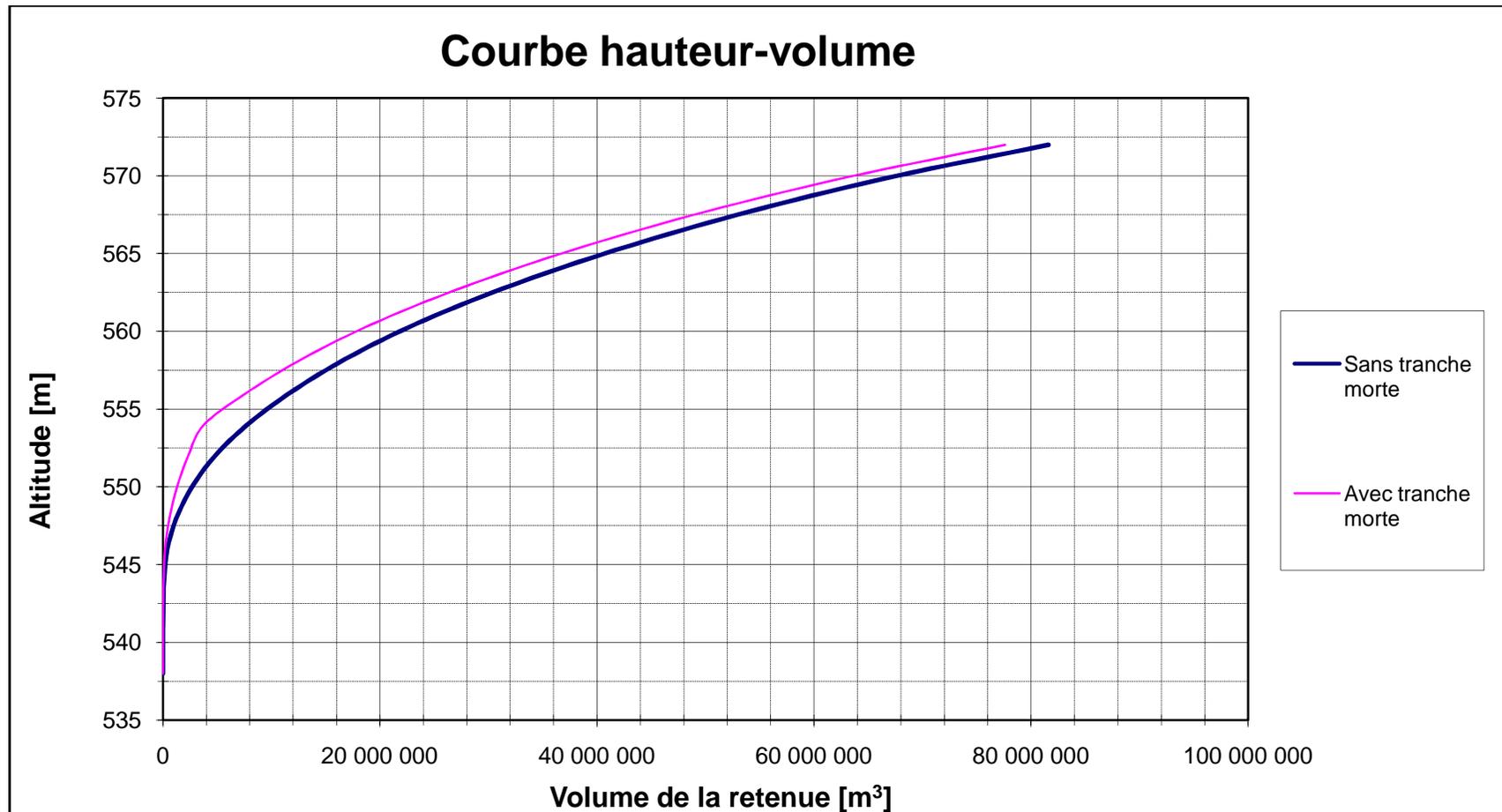
Le calcul du volume utile se détermine en prenant en considération la plus grande valeur du volume restant diminué de volume mort.

$$D'où : V_{\text{utile}} = 958.500 \text{ m}^3$$

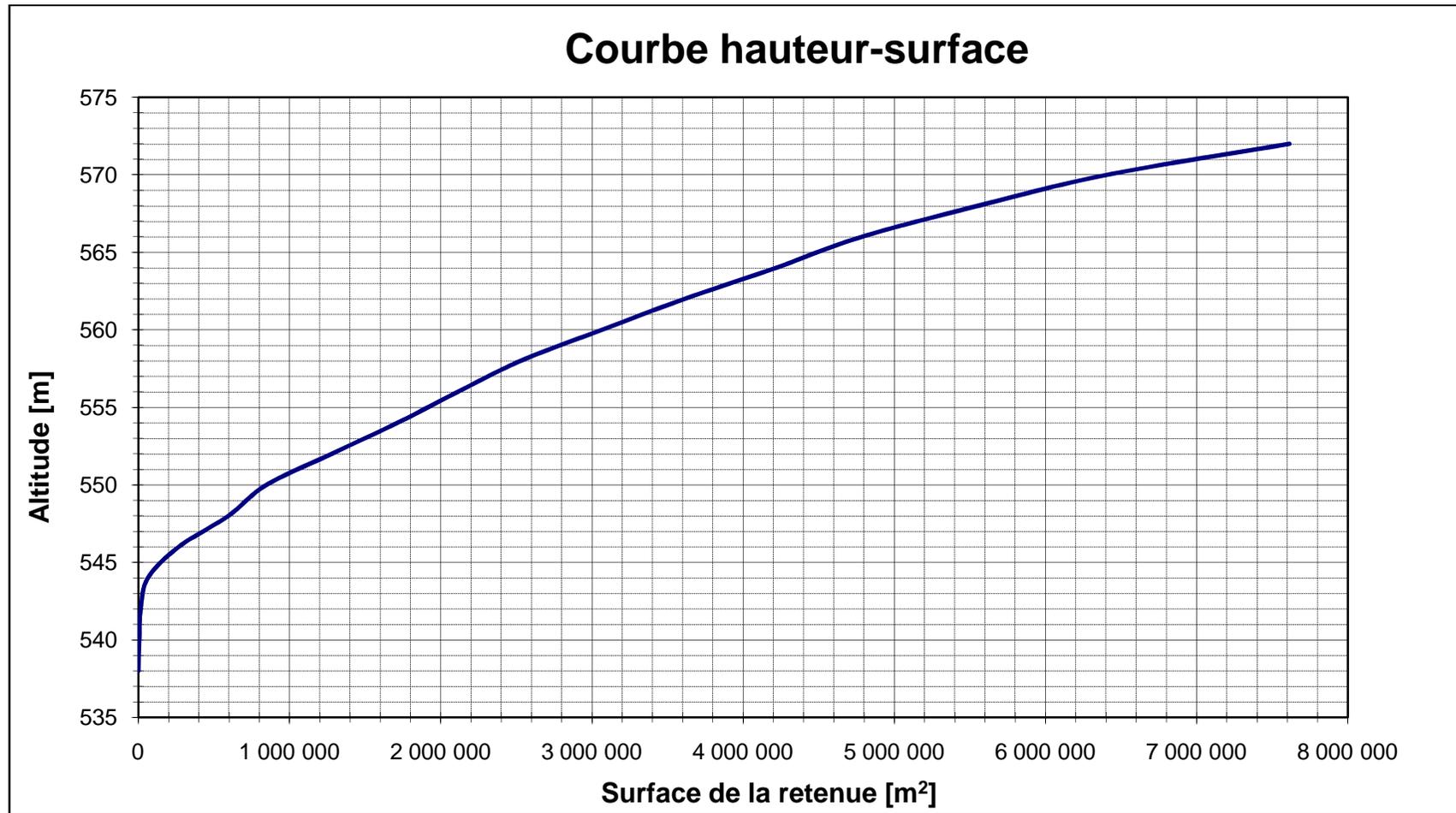
La hauteur du volume utile est déterminée par la courbe « capacité-hauteur » en prenant en compte le volume utile.

$$H_{\text{mort}} = 7 \text{ m}$$

$$H_{\text{utile}} = 8,5 \text{ m}$$



Graphe I-10 : Courbe « Capacité – Hauteur ».



Graphe I-11 : Courbe « Hauteur – Surface ».

Partie IX : Laminage des crues

Le phénomène de submersion représente le plus grand danger surtout pour les barrages en matériaux locaux .La submersion cause la rupture rapide du barrage. Celle-ci est due aux crues qui dépassent la capacité d'évacuation de l'évacuateur de crues.

Le débit d'évacuation est calculé d'après la formule :

$$Q = mb\sqrt{2g}H^{3/2}$$

m : coefficient de débit dépend de la forme du déversoir;

b : largeur du déversoir en m ;

H : charge d'eau sur le déversoir dépend de la vitesse d'approche d'eau ;

Observation :

Le déversoir pratique est d'emploi fréquent vu les avantages qu'il présente, ce qui mène à prendre la valeur de m égale à 0,49.

Tableau I-25 : Calcul de Q/2 et V/2 en fonction de la hauteur.

b=100 m			
hauteur	Q	Q/2	V/2 (m ³)
1	217,043	108,521	390677,2
2	613,890	306,945	1105002,0
3	1127,788	563,894	2030018,4
4	1736,343	868,172	3125417,7
5	2426,613	1213,307	4367904,1

Tableau I-26 : Calcul de la hauteur et du débit déversé.

Temps	Q	Qmoy	Vmoy	hd	Qd
0-1	0,00	100,00	360000	0,33	48
1-2	200,00	500,00	1800000	1,167	300
2-3	800,00	1300,00	4680000	2,67	942
3-4	1800,00	1420,83	5115000	3,67	1524
4-5	1041,67	787,50	2835000	3	1127,8
5-6	533,33	379,17	1365000	2	613,9
6-7	225,00	145,83	525000	1,67	486
7-8	66,67	37,50	135000	1,33	336
8-9	8,33	4,17	15000	1	217

D'où : $h_d = 3,7 \text{ m}$

Conclusion :

L'objectif principal est de gérer et d'approvisionner les crues, de telle sorte à éviter toutes éventuelles inondations susceptibles de mettre en péril l'aval de la retenue.

La réalisation de la retenue au site Laadhira (El Haïmer) va amortir d'une manière substantielle la gestion des crues fréquentielles. Néanmoins, pour la vigilance et la sécurité, l'évacuation nous impose à bien gérer le volume exceptionnel.

Pour cela, l'évacuation du volume exceptionnel se fera de deux manières différentes, mais simultanément à savoir une partie du volume de la crue serait évacué par un écoulement à surface libre par l'intermédiaire d'un évacuateur de crue de 100 m de largeur sous une hauteur de 1.4 m.

Et l'autre partie, par la vidange de fond qui devrait évacuer un débit substantiel. Le fonctionnement en parallèle de ces deux ouvrages nous permet de fixer la hauteur à 1,4 m.

Le calcul de laminage de crue se fait en fonction de l'évacuation du volume exceptionnel à partir de ses deux ouvrages simultanément.

CHAPITRE II

ETUDE GEOLOGIQUE

Étude géologique

I. Introduction

Du point de vue géologique, la wilaya de Ghardaïa est située aux bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Sahara, sur un grand plateau subhorizontal de massifs calcaires d'âge Turonien appelé couramment "la dorsale du M'Zab". Sous les calcaires turoniens on recoupe une couche imperméable formée d'argile verte et de marne riche en gypse et en anhydrite; elle est attribuée au Cénomaniens. 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.

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

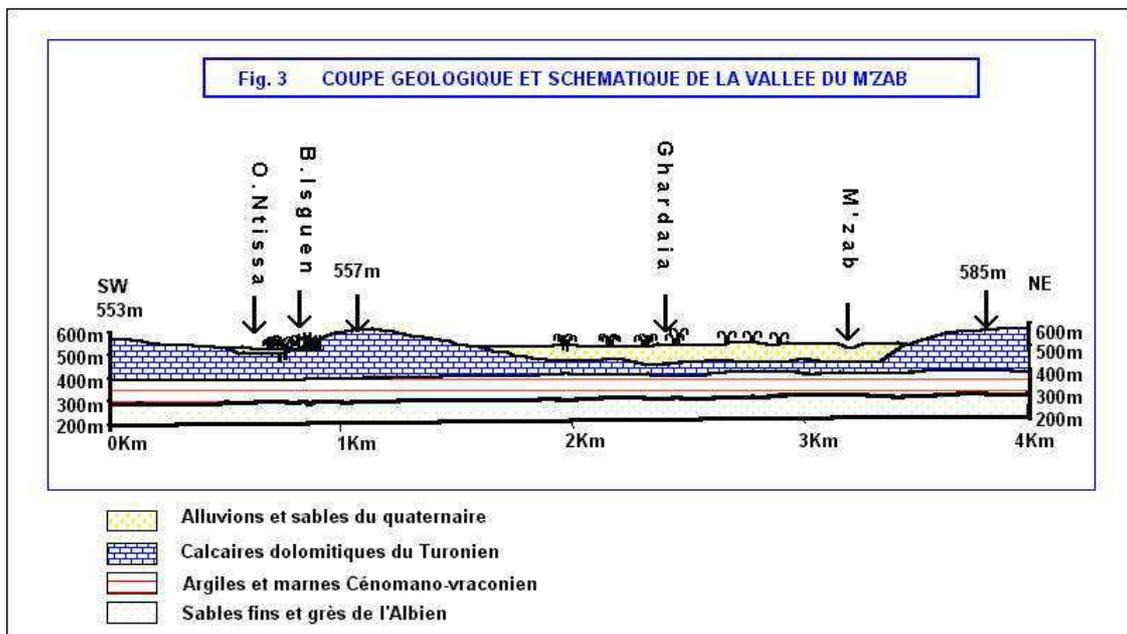


Figure II-1 : coupe géologique et schématique de la vallée du M'Zab.

II. Le bassin sédimentaire :

Le M'Zab fait partie du bassin mésozoïque saharien, ce bassin connu aussi sous le nom de « province triasique saharienne », est conventionnellement limité vers le nord par la flexure saharienne, vers le nord-est par les accidents de Djefara maritime et interrompu vers le sud et vers l'ouest par des limites d'érosion.

Au sein de ce bassin, le M'Zab occupe une position de bordure et se situe sur un prolongement du craton du grand Erg occidental, lequel s'étend vers le nord-est parallèlement au sillon subside d'oued Mya.

Durant tout le mésozoïque, le M'Zab a joué le rôle d'un glacis, le môle résistant de Hassi R'mel situé au nord-ouest de la région de Ghardaïa inflige une légère flexure à ce glacis : la flexure du M'Zab.

III. Type de relief

Le plateau du M'Zab forme un relief monoclinal orienté vers le Nord.Nord-est, et plongeant faiblement vers l'Est.Sud-Est. Ce plateau est composé par deux terrasses calcaires étagées couronnant deux séries d'escarpement marneux ; ces deux étages ou gradins superposés comptent : une falaise inférieure et son plateau, une deuxième falaise supérieure et son plateau.

A la limite occidentale du premier plateau, la falaise montre, à la base, un talus marneux de plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, et une cuesta calcaire au sommet d'une vingtaine de mètres de haut formant le plateau. En suivant le long d'un val, le contact marne-calcaire sur plusieurs kilomètres de distances, l'épaisseur de la corniche calcaire augmente dans la direction du Sud-Est au même temps que le talus des marnes sous-jacents diminue. Loin en aval, la limite lithologique disparaît sous le sol, et les berges moins hautes du val sont entièrement calcaires.

Ainsi, le plongement des couches, bien qu'il soit en général très faible et imperceptible localement à l'œil, reste supérieur à la pente des oueds, de telle sorte que « la profondeur des vallées devrait augmenter considérablement vers l'amont, si l'épaisseur des calcaires ne diminue pas notablement, par suite de la dénudation, dans cette direction, en approchant de la limite du plateau ».

Le plongement des couches peut être suivi, exactement de la même manière, depuis le bord occidental du deuxième plateau et en allant vers l'est.

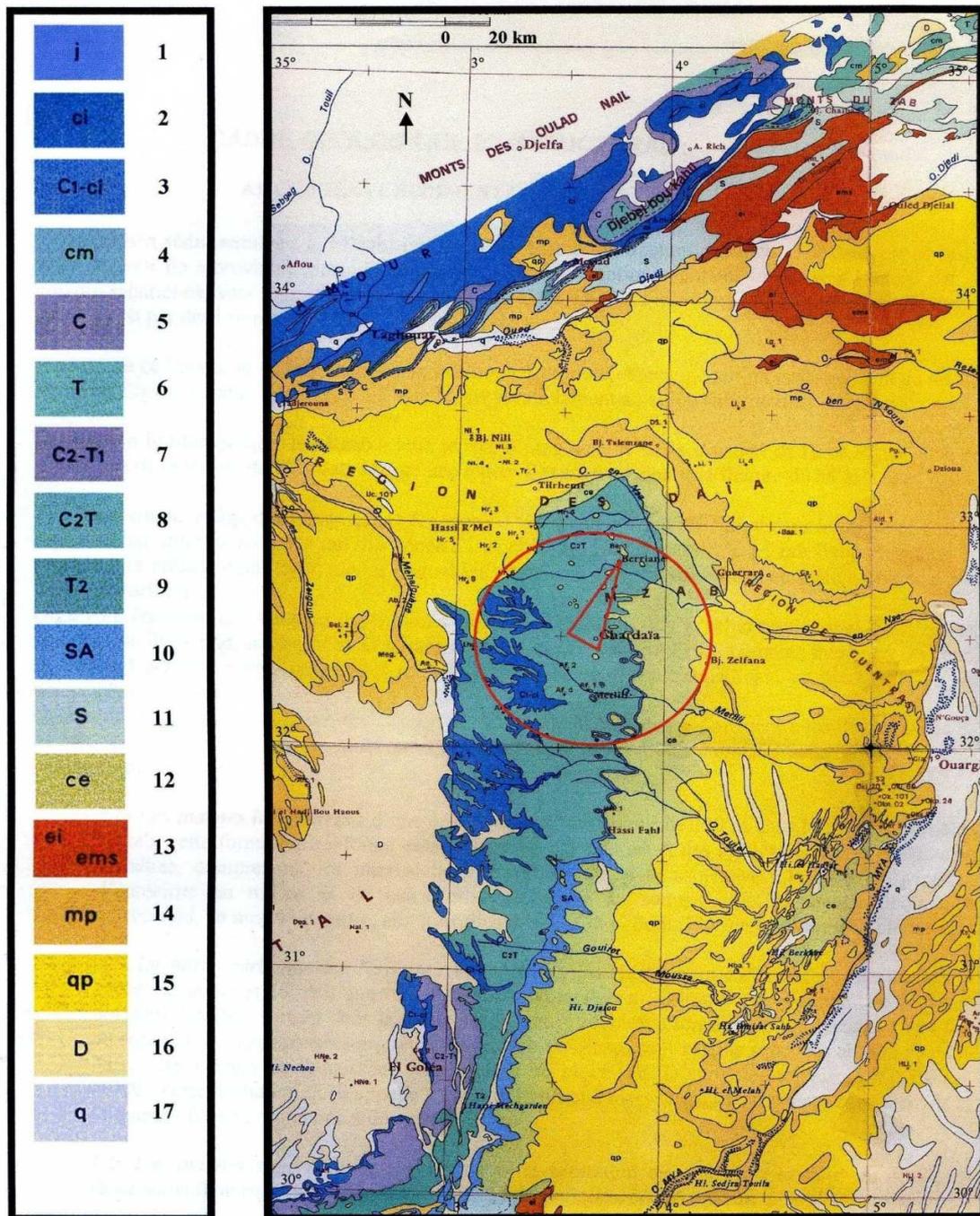


Figure 05 : carte géologique du M'zab (extrait modifié de la carte géologique au 1/2000000 du bassin mésozoïque du Sahara algéro-tunisien et de ses abords, de G. Busson 1967)

Le cercle rouge représente la région de Ghardaïa, le triangle rouge montre avec ses trois pointes les trois secteurs étudiés. Ages des terrains : 1- Jurassique (j) ; 2- Crétacé inférieur (ci) ; 3- Crétacé inférieur puis Cénomaniens argileux (C1-ci) ; 4- Crétacé moyen (cm) ; 5- Cénomaniens (C) ; 6- Turonien (T) ; 7- Cénomaniens supérieurs et Turonien inférieur (C2-T1) ; 8- Cénomaniens supérieurs calcaires et Turonien (C2-T) ; 9- Turonien (T2) ; 10- Sénomaniens argilo-gypseux y compris du Maastrichtien (SA) ; 11- Sénomaniens (S) ; 12- Sénomaniens et Eocène indistinguables (ce) ; 13- Eocène inférieur (ei) et Eocène moyen-supérieur (ems) ; 14- Miocène ou Pliocène avec localement Nummulitique continental (mp) ; 15- Pliocène ou Quaternaire ancien (qp) ; 16- Dunes (D) ; 17- Quaternaire indifférencié (q).

Figure II-2 : carte géologique du M'Zab.

IV. Affleurement et âge des formations :

Les terrains sédimentaires qui affleurent dans le centre du Sahara septentrionale algérien sont des terrains secondaires et tertiaires. Le massif du M'Zab figure une sorte de promontoire crétacé émergeant, autour duquel les atterrissements mio-pliocène et quaternaire couvrent de vastes surfaces.

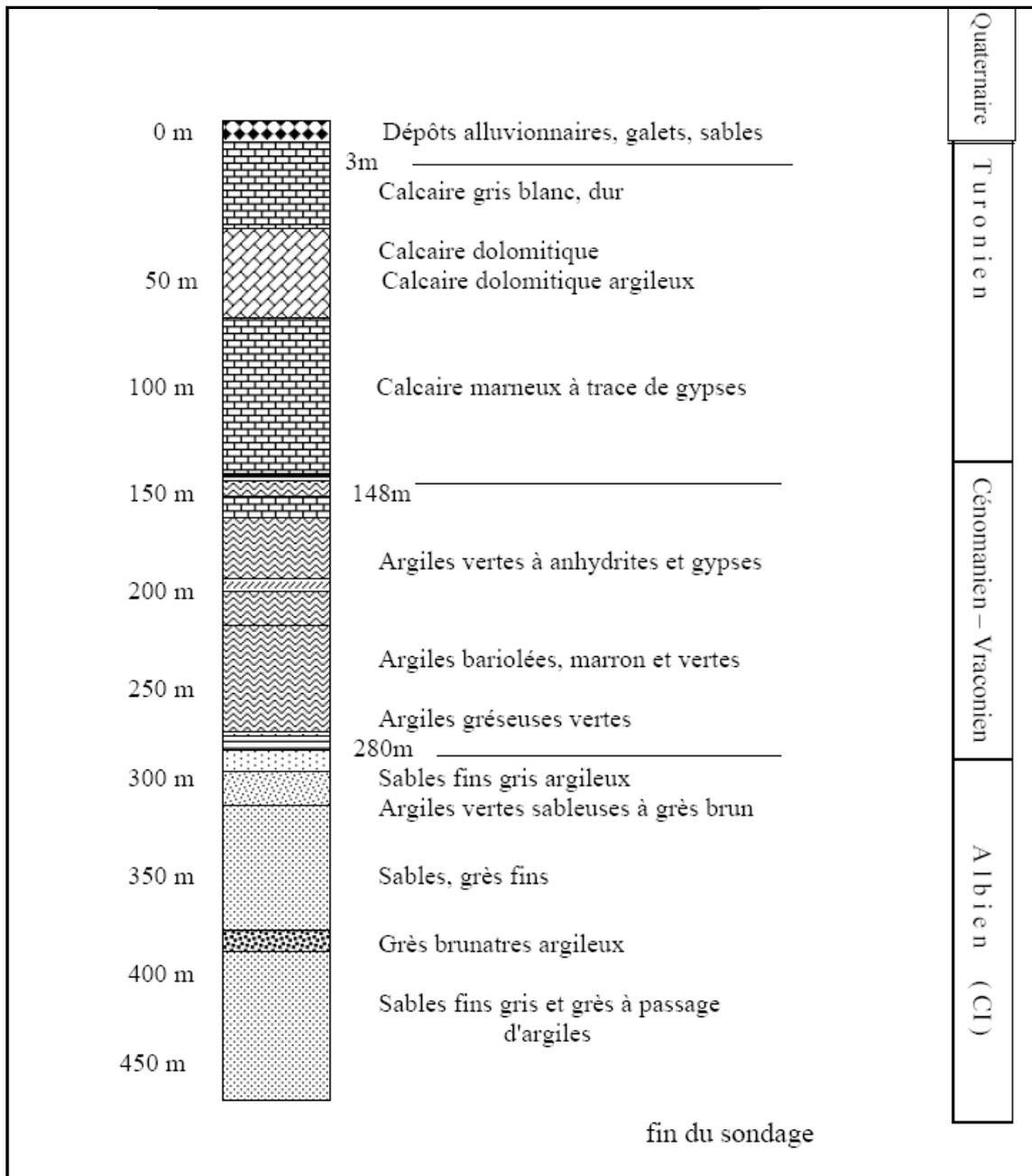


Figure II-3 : classification des formations.



Photo II-1 : formation sénonienne.

V. La géologie du site du barrage

1. Tectonique

Les formations calcaires à structure tabulaires, au droit du site, ne sont affectées par aucun phénomène tectonique notable d'importance régionale. Les mêmes directions et pendages sont mesurés aussi bien en rive droite qu'en rive gauche. Aucune faille d'importance n'est relevée aux environs immédiats du site.

La fracturation est cependant intense. Elle est liée d'une part aux phénomènes tectoniques à petites échelles et d'autre part aux phénomènes de géodynamique externe, notamment les variations de température : les fissures qui résultent de ces effets géodynamiques sont superficiels et d'orientation aléatoire.

Les fissures profondes d'origine tectonique forment un réseau subvertical de direction N35° et de pendage 90° et N°100° pendage 90°. Elles sont légèrement ouvertes en surface, avec un remplissage sableux. Elles referment probablement en profondeur.

2. Altération :

Du fait de la fissuration intense des calcaires, l'altération s'est développée jusqu'à environ 2 - 4 mètres de profondeur.

3. Karstification :

Les phénomènes de Karstification dans ces calcaires sont relativement peu développés. Quelques lapiaz, ainsi que quelques vacuoles sont observées. Aucune manifestation importante du phénomène de Karstification n'est relevée en surface.

4. Géologie de la cuvette

La cuvette de ce barrage qui est extrêmement vaste se développe dans les mêmes termes et avec les mêmes faciès que ceux du site.

Les calcaires du Turonien, surmontés des alluvions grossières puis parfois les alluvions sablo - limoneuses se retrouvent sur toute l'étendue de la cuvette avec la même morphologie et la même structure. Ces formations sont parfois localement recouvertes par des sables dunaires sous de faibles épaisseurs 2-3 m

4.1. Stabilité

Aucune instabilité majeure n'est relevée aussi bien sur le site que dans la cuvette. Ceci trouve son explication dans la morphologie, la structure géologique ainsi que dans la nature des formations rencontrées.

4.2. Étanchéité

Les infiltrations seront importantes du fait de l'importance de la surface des calcaires en contact avec l'eau de la retenue et de la perméabilité attendue de l'épaisse couche alluviale. Le but de cet ouvrage n'est toutefois pas de constituer un réservoir étanche et ces eaux, de toute façon, reviendront dans le bassin, du fait de l'absence de vallée limitrophe susceptible de les drainer.

4.3. Hydrogéologie

Les alluvions grossières renferment une nappe phréatique importante.

Une dizaine de puits agricoles ont été foncés à l'aval et à l'amont de l'axe de la digue.

La tranche d'eau exploitée varie entre 2 à 6 mètres sans aucune certitude d'avoir touché le substratum. L'observation des déblais d'excavation qui restent autour des puits ne permet pas de conclure sur ce point.

Les débits extraits de cette nappe semblent importants. Ils permettent de subvenir aux besoins de toutes les petites exploitations agricoles existant dans la vallée. Les niveaux d'eau sont en moyenne à 20 m.

5. Sismicité

Les connaissances actuelles sur la sismicité algérienne basées principalement sur la sismicité historique permettent de fixer la limite méridionale de la partie sismique de l'Algérie au niveau de l'accident sud Atlasique. A l'exception de trois épacentres localisés au sud Est de Biskra, les régions situées au sud de la flexure saharienne sont totalement asismiques. La région du site peut cependant ressentir les séismes de la partie sud de l'Atlas (distance supérieure à 150km).

Quelques photos illustrant le site du barrage :



Photo II-2 : la fondation du barrage.



Photo II-3 : la fondation du barrage.



Photo II-4 : oued Laadhira.

VII. Conclusion :

Les sondages réalisés ont permis de tracer une coupe géologique en travers de la vallée relativement précise. On rencontre :

- **En rive gauche** : 35.5 m de calcaire à aspect dolomitique gris dur parfois vacuolaire qui recouvrent des argiles marneuses versicolores.
- **En rive droite** : 35.1 m de calcaire à aspect dolomitique gris dur parfois vacuolaire qui recouvrent des argiles marneuses versicolores avec des intercalations de marno-calcaires.
- **En fond de vallée** : Les sondages ont permis de définir la coupe ci- dessous :
 - Un premier horizon d'environ une quinzaine de mètres d'alluvions grossières à matrice sablo limoneuse à éléments calcaires parfois arrondis et d'autres fois légèrement émoussés comportant des niveaux fortement indurés recimentés.
 - Un deuxième niveau d'alluvions grossières fortement cimenté à aspect conglomératique de couleur blanchâtre à rosâtre. Ce niveau a une puissance moyenne d'environ une dizaine de mètres
 - Les argiles marneuses versicolores.

Etude topographique

I. Introduction :

Le but principal des études topographiques est d'établir les documents nécessaires pour les avants projets (plans, cartes et profils, documents) qui permettront aussi en premier lieu de se prononcer sur l'aptitude topographique du site et de positionner au mieux le barrage et ses ouvrages annexes.

II. Choix du site du barrage :

Le choix du site est basé essentiellement sur des connaissances et des conditions topographiques, géologiques, géotechniques et hydrauliques du site.

Parmi les critères déterminants du choix d'un site de barrage, on distingue les éléments suivants :

- Garantir la quantité d'eau qui sera piégée dans la retenue.
- Un rétrécissement des courbes des niveaux.
- Bonne géologie pour l'emplacement du barrage et de la retenue.
- Un resserrement de la gorge liant les deux rives, soit une vallée étroite, d'où le volume du barrage sera minimum.
- Choisir l'emplacement proche des zones d'accès existantes, facile afin d'éviter la création d'autres voies importantes pour les engins et la main d'œuvre.
- Un site convenable à l'emplacement des ouvrages annexes.

L'axe de la digue envisagé au stade des études préliminaires a été légèrement déplacé vers l'amont pour profiter du resserrement en rive droite.

Le point bas de l'oued se situe au pied de la rive gauche, à la cote 543.5 NGA. Le profil en travers reste assez plat jusqu'à la cote 545NGA, où la largeur est de 300 m environ. Les rives s'élèvent ensuite d'abord de manière assez douce jusqu'à la cote 548 NGA avec une pente de l'ordre de 10% puis de manière plus abrupte jusqu'à la cote 560NGA avec une pente de l'ordre de 100/3% en rive droite et 1V/2,5H en rive gauche.

Les coordonnées du site du barrage sont :

$$X = 561,138 \text{ UTM.}$$

$$Y = 3605,862 \text{ UTM.}$$

$$Z = 543 \text{ NGA.}$$

CHAPITRE III
ETUDE
GEOTECHNIQUE

Étude géotechnique

I. Introduction

L'étude géologique ne permet pas de définir les caractéristiques et les comportements mécaniques et hydrodynamiques des sols, ce qui veut dire leur aptitude à fournir les matériaux nécessaires à la construction de la digue ou à constituer des fondations suffisamment stables et imperméables.

Il importe de procéder à des essais de mécanique des sols sur des échantillons in situ et/ou au laboratoire.

II. Reconnaissances effectuées et moyens mis en œuvre :

La zone a été couverte par dix-neuf (19) puits de reconnaissance repartis sur une distance de 1500 m. Les puits ont été réalisés à la pelle mécanique (ENMTP 9110) sur la totalité du front de taille. Un brise roche monté sur une autre pelle mécanique a été parfois nécessaire pour pousser ces puits jusqu'à quatre mètres et essayer de traverser les zones d'alluvions compactes.

III. Conditions de réalisation :

Les alluvions de l'oued Laadhira ont nécessité des moyens importants pour les reconnaître (Pelle, brise roche et Bull).

Si les deux premiers horizons sont faciles à traverser, la dalle calcaire a nécessité l'emploi d'un brise roche pour pouvoir la percer sur en moyenne deux mètres. Le travail a été très laborieux et a nécessité deux à trois heures de travail pour chaque puits.

Ici, le brise roche a été utilisé uniquement pour ébranler les horizons indurés et percer la dalle calcaire dans quelques puits sur de faibles épaisseurs.

IV. Essais Lugeons dans le rocher :

On injecte de l'eau à pression et débits constants, dans des roches fissurées, peu perméables en utilisant un obturateur simple ou double ; cet essai a été mis au point pour les études d'étanchéité des assises de barrages et il mesure un paramètre spécifique, le Lugeon, qui prend compte de la perméabilité de la roche.

Dans le programme de reconnaissance, il avait été demandé d'effectuer de façon systématique des essais Lugeons dans le rocher.

Cinq sondages ont été réalisés le long de l'axe de la digue et un grand nombre d'essais a été effectué dont les résultats sont les suivants :

➤ **Au 1^{er} sondage :**

On note jusqu'à 20 m des pertes totales et des difficultés de fixer le Packer et au-delà on rencontre des zones peu perméables à imperméables.

➤ **Au 2^{ème} sondage :**

Deux pertes totales sont enregistrées ensuite vient une zone moyennement perméable et au-delà de 16.50 m le terrain est pratiquement imperméable.

➤ **Au 3^{ème} sondage :**

C'est pratiquement imperméable excepté le premier essai qui chevauche les alluvions non cimentés.

➤ **Au 4^{ème} sondage :**

Les valeurs de perméabilités sont moyennes dans les calcaires et très faibles dans les argiles quand on arrive à caler le Packer.

➤ **Au 5^{ème} sondage :**

Les perméabilités sont faibles à moyennes dans les calcaires avec quelques pertes totales de 18 à 28 m.

Les argiles sont totalement étanches.

On constate en générale que les calcaires et les alluvions cimentées à aspect conglomératiques sont peu perméables quand ils sont sains et fortement perméables dans les niveaux broyés et vacuolaires. Les marnes sont totalement étanches. Partout où le Packer a pu être calé les valeurs d'absorptions mesurées sont faibles à nulles.

V. Programme d'essais réalisés au laboratoire :**V.1. L'analyse granulométrique**

Le but de l'essai d'analyse granulométrique est d'étudier la taille des particules solide et leur distribution et de mesurer l'importance relative de chacune des fractions de sol grenu, qui nous permettant de classer les différents sols grenus étudiés.

L'analyse granulométrique est la recherche du pourcentage des grains ayant un diamètre inférieur ou égale au diamètre d du tamis, qui va nous permettre de tracer la courbe granulométrique.

L'essai consiste à peser un poids (P) de l'échantillon de sol à l'aide d'une balance, et on place la série de tamis de haut en bas par celui ayant la grande ouverture vers la plus petite.

On verse l'échantillon du sol dans le premier tamis (celui de grande ouverture), et on place la série de tamis dans la colonne de la tamiseuse, on laisse tamiser pendant dix minutes.

Après les dix minutes de tamisage, on pèsera le poids des refus de chaque tamis ainsi les passant du dernier tamis (celui de petite ouverture), les résultats sont représentés dans le tableau qui nous permet de tracer la courbe granulométrique.



Figure III-1: Appareil granulométrique.

Vingt-six (26) analyses granulométriques ont été réalisées au niveau de cette zone.

Interprétation des résultats :

- Sur la cuvette-rive droite, la granulométrie est étalée et bien graduée ce qui implique une bonne répartition continue.

- Sur la rive droite ainsi que sur la rive gauche, la granulométrie est serrée avec une bonne répartition continue.

On constate que les fractions grossières (sable grossier) sont fortement représentées, par contre les inférieures à 80μ sont faiblement représentées.

V.2. Essai Limites d'Atterberg

Le but de l'essai est la détermination des teneurs en eau d'un sol à éléments fins, tel que la présence d'eau dans les vides d'une masse sol peut affecter le comportement de celle-ci. Afin d'étalonner et de comparer les comportements d'une masse d'argile, on définit des valeurs de teneurs en eau limites.

Les limites d'Atterberg servent à la classification des sols, à leur identification, et à caractériser les propriétés mécaniques des sols.

L'essai s'effectue en deux phases :

- Recherche de la limite de liquidité à l'aide de l'appareil de Casagrande.
- Recherche de la limite de plasticité par formation de rouleaux de 3mm de diamètre.

L'appareil de Casagrande se compose d'une coupelle qu'on peut lever à l'aide d'une manivelle à une hauteur bien précise et réglable.

La limite de liquidité est la limite inférieure de l'écoulement visqueux, elle correspond à la teneur en eau qui donne une fermeture de la rainure à 13mm (1/2 inch) après 25 chute du la coupelle

La limite de plasticité est la limite inférieure de plasticité, elle correspond à la teneur en eau pour laquelle le bâton de sol soigneusement roulé s'effrite à un diamètre de 3mm dont les segments obtenus ont une longueur de 1 à 2cm.



Figure III-2 : Appareil de Casagrande.

La fraction fine de ces matériaux a été soumise à vingt et un (21) essais. Ceci révèle un sol de catégorie CL et ML correspondant à des argiles ou à des limons peu moyennement plastiques.

L'indice de consistance caractérise un sol à l'état dur ($I_c > 1$).

V.3. Équivalent de sable :

L'essai d'équivalent de sable utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons l'est aussi pour les sols.

Cet essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossier. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

L'équivalent de sable mesuré sur 10 échantillons révèle un matériau correspondant à des sables argileux.



Figure III-3 : Appareillage Equivalent de Sable.

V.4. Essai Proctor normal :

Cet essai a pour but d'établir la relation expérimentale entre la densité sèche d'un sol sensible à l'eau et sa teneur en eau pour différentes énergies de compactage. Il se pratique pour les sols entrant dans la constitution d'un remblai. L'aptitude d'un sol à se compacter peut être appréhendée par l'étude Proctor seule. A partir de cette dernière, sont déterminées les caractéristiques Proctor (densité sèche maximale et teneur en eau optimale) du sol considéré. Ces valeurs peuvent servir de référence pour caractériser la qualité de compactage réalisé sur le chantier. Mais, les caractéristiques Proctor constituent avant tout des critères d'identification d'un sol permettant de situer son état naturel par rapport à son état optimal de mise en œuvre.



Figure III-4 : Moule et appareillage Proctor CBR.

Dix (10) essais Proctor ont été réalisés au niveau de cette zone. Les densités maximales obtenues sont élevées à très élevées. Elles sont toujours supérieures à 2 g/cm^3 et atteignent parfois 2.19 g/cm^3 pour certains échantillons.

Les teneurs en eau optimales sont toujours très basses (en moyenne 7.68 %).

Les teneurs en eau naturelles de l'ensemble de ces échantillons sont en moyenne de l'ordre de 3.63 %. Elles sont toujours inférieures aux teneurs en eaux optimales de mise en place de ce matériau.

Généralement, les courbes des essais Proctor présentent une allure plane, pouvant s'étaler sur deux points de teneur en eau, ce qui laisse une certaine souplesse pour les consignes de mise en place.

V.5. Essai de perméabilité :

Les résultats de la perméabilité obtenus au perméamètre à charge variable indiquent des matériaux de perméabilité faible ($K_{\text{moy}} = 9,91 \cdot 10^{-6} \text{ cm/s}$)

V.6. Teneur en matière organique :

Les valeurs des teneurs en matière organique mesurées sur trois échantillons paraissent excessivement élevées et ne semblent pas refléter la réalité des observations sur le terrain.

V.7. Los Angeles et Micro Deval :

L'essai Los Angeles permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par choc et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat. Il consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite en soumettant le matériau à une série de chocs et de frottements dans la machine Los Angeles. A un coefficient Los Angeles faible correspond un excellent matériau. Dans la machine Los Angeles, introduire la prise d'essai $M = 5000 \text{ g}$ et la charge de boulets de la classe granulaire choisie. Après 500 rotations de la machine, à une vitesse régulière

comprise entre 30 et 33 tr/min, recueillir le granulat et le tamiser à 1,6 mm, peser le passant m.

L'essai Micro Deval permet de mesurer la résistance à l'usure par frottements entre les granulats et une charge abrasive. Il consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite dans un broyeur, dans des conditions bien définies, à sec ou en présence d'eau. Plus le coefficient Micro-Deval est faible, meilleur est le matériau.

Les matériaux retirés des puits ont été soumis à trois essais. Des échantillons prélevés sur le bord des rives ont été également testés (2 essais un pour chaque rive).

Les valeurs des LA et de MD_{sec} semblent bonnes tandis que les MD_{humide} enregistrent une chute très importante des valeurs en présence d'eau. Cependant cette chute semble moins importante pour les matériaux des rives.

Il convient à notre avis d'affiner ces résultats pour le choix des carrières d'agrégats. Les fractions supérieures à 40 mm qui sont très importante devraient donner de meilleurs résultats.

VI. Résultats des essais

VI.1. Essais sur les Calcaires :

Les densités sèches des matériaux sont moyennes, les résistances à la compression simple sont moyennes à faibles, tandis que les résistances à la traction à l'état naturel et après saturation sont moyennes à fortes.

La présence de vacuoles sur certaines parties d'échantillons fausse l'analyse des résultats.

L'effet de l'eau n'a pas toujours une incidence claire sur le comportement de la roche du fait de la présence de ces mêmes vacuoles.

VI.2. Essais sur les Argiles :

Les argiles sont très plastiques, à forte limite de liquidité, de catégorie CH correspondant à des sols inorganiques (Fortement plastique et compressibles). A l'état naturel elles sont à l'état dures ($I_c > 1$) leur densité est moyenne.

La résistance à la compression caractérise des argiles à l'état raides Avec un échantillon presque rocheux (Très dur).

VI.3. Essais sur les alluvions grossières :

Les matériaux prélevés ont une forte proportion d'éléments grossiers. Ils sont classés GA-GL (Grave Argileuse – Grave Limoneuse). Lors du prélèvement, ces matériaux ont été écrêtés : ils sont en réalité légèrement plus grossiers.

Au compactage, ils permettent d'obtenir des remblais de forte densité avec une faible teneur en eau. Le matériau en place étant généralement sec, il sera toujours nécessaire de les arroser pour atteindre la teneur optimale.

La résistance au cisaillement est élevée et devrait l'être encore plus en considérant la granulométrie non écrêtée.

VI.4. Essais sur les sables :

Les résultats de l'identification au laboratoire montrent un sable fin limoneux SL de densité Proctor moyenne et de forte résistance mécanique.

VI.5. Analyse des eaux :

Les eaux de crue de l'oued Laadhira ainsi que les eaux d'un puits existant ont été analysées. Celles-ci montrent une agressivité faible à nulle.

VII. Conclusion :

D'après les résultats obtenus à partir des sondages et des puits de reconnaissance réalisés au niveau du site, on peut dire qu'il s'agit d'un site représentant des caractéristiques géologiques et géotechniques favorables pour la fondation d'une digue .

De façon générale on peut dire que le site du barrage est faisable du point de vue topographique, géologique et géotechnique.

CHAPITRE IV

ETUDE DES

VARIANTES

Etude des variantes

I. Introduction :

Les barrages en terre peuvent être constitués par des matériaux de construction de caractéristiques très diverses, à la différence des barrages en béton ou même en enrochements dont les matériaux constitutifs restent contenus dans des fourchettes beaucoup plus étroites.

Le terme terre couvre toute une gamme de matériaux allant de l'argile pure très fine à des éléments très grossiers, dans certains cas même on utilise des roches altérées facilement compactables, tels que les latérites, des schistes et grès tendres.....etc.

Le choix du type de barrage se fait en fonction des caractéristiques locales, en particulier de la nature de sol de fondation et de la forme de la vallée, des problèmes de transport d'approvisionnement, de l'extraction des matériaux de construction de leurs zones d'emprunts ainsi que des conditions économiques.

L'étude géologique et géotechnique est la base fondamentale de cette étude, en effet c'est en fonction de la nature du sol de fondation et des matériaux de construction disponibles au voisinage du site du barrage que l'on peut proposer des variantes et en écarter d'autres.

II. Le choix du site du barrage :

L'axe du barrage est choisi sur la base de certaines conditions dictées par les critères économie, sécurité et facilité d'exécution de l'ouvrage.

En plus de la topographie, la géologie et l'hydrologie sont toujours prises en considération quant au choix de l'axe. En d'autres termes le choix de l'axe doit être conditionné par :

- La projection de l'axe doit être dans la mesure du possible perpendiculaire à la trajectoire du cours d'eau ;
- La projection de l'axe doit tenir compte de l'implantation des ouvrages annexes de l'aménagement ;
- L'axe choisi doit donner la longueur la plus courte possible ;

III. Le choix du type de barrage :

Les principaux paramètres à prendre en considération dans le choix du type de barrage sont :

➤ **La topographie du site:**

La topographie consiste en premier lieu à vérifier si l'axe choisi autorise le remplissage de la retenue en fonction des apports du bassin versant. En second lieu vérifier la possibilité d'implantation du barrage et de ces ouvrages annexes.

➤ **La morphologie de la vallée :**

La morphologie de la vallée joue un rôle important dans le choix du site et de type de barrage à implanter. Bien entendu, l'emplacement idéal et le plus économique est celui d'un site étroit précédé à l'amont par un élargissement de la vallée. Les vallées larges conviennent mieux à l'aménagement d'un barrage en remblai, un site étroit conviendra mieux à un barrage poids et un autre plus étroit conviendra à une voûte lorsque les fondations permettent.

➤ **Les conditions géologiques et géotechniques :**

La nature, la résistance, le pendage, la fracturation et la perméabilité des formations rencontrées dans le bassin versant, constituent un ensemble de facteurs permettant la détermination du site et du type de barrage à implanter.

- Les fondations rocheuses se prêtent à l'édification de tous les types des barrages.
- Les fondations graveleuses conviennent en général pour les barrages en terre ou en enrochement, mais il faut toujours attribuer des dispositifs d'étanchéité et de drainage afin de contrôler les fuites et les percolations (Risque de Renard), et les tassements différentiels.
- Les fondations argileuses impliquent directement le choix des barrages en terre avec des pentes de talus compatibles avec les caractéristiques mécaniques des formations en place.

➤ **Les matériaux de construction :**

La disponibilité des matériaux de construction sur le site ou à proximité joue un rôle important (souvent économique) dans le choix du site et du type de barrage. Le site doit être choisi dans la mesure des autres exigences citées, le plus proche possible des zones d'emprunt.

En se basant sur ces exigences on peut déterminer la variante qui convient au site et le type de barrage à implanter.

IV. Les variantes à choisir :

Les conditions topographiques, géotechniques, et géologiques du site permettent d'envisager un barrage en matériaux locaux et on a trois variantes au choix :

❖ **Barrage en terre homogène :**

C'est le plus simple à réaliser, du fait que l'abondance des gisements d'argile latéritiques dont les propriétés « aptitude au compactage » s'avèrent généralement favorable à la confection des remblais étanches et stables. Mais il faut prévoir un drainage très efficace dans la partie aval de la digue, ainsi qu'une protection et une zone de transition en amont, pour la réalisation d'un tel barrage il faudrait disposer d'un volume très important de

matériaux argileux imperméable ayant des caractéristiques identiques dans tout le corps du barrage.

❖ **Barrage zoné :**

Souvent l'hétérogénéité des matériaux disponibles sur place, ou leurs caractéristiques géotechniques ne permettant pas d'envisager une digue homogène, un massif en plusieurs zones dont chacune est constituée d'un matériau différent, suivant le rôle que doit jouer chaque zone. La fonction d'étanchéité est assurée par un noyau qui s'intercale entre deux recharges (amont-aval) d'un matériau plus perméable et mécaniquement performant.

Ce noyau interne a l'avantage d'être peu sensible aux agressions extérieures, il présente l'inconvénient d'être difficilement réparable en cas de fuites.

❖ **Barrage en terre à masque :**

La réalisation d'un noyau étanche peut présenter des difficultés telles manque de matériaux convenables, difficulté de mise en œuvre,.....Dans ce cas la solution c'est le barrage à masque amont. La résistance mécanique est apportée par un remblai homogène à granulométrie élevée (enrochement en général) alors qu'un organe mince tel que une géomembrane ou un masque en béton armé ou bitumineux est placé plus couramment sur sa face amont pour assurer l'étanchéité.

On peut exécuter le masque après l'édification du remblai. Le masque est facilement réparé lorsqu'il y a des altérations extérieures mécaniques ou thermiques.....etc.

V. Fixation du choix définitif du type de barrage :

La variante d'une digue homogène s'impose pour les raisons de simplicité et de disponibilités de matériaux imperméables en quantité suffisante à proximité du site, car la zone des matériaux de construction est située à environ 500 - 600 m à l'amont de la digue en fond de vallée. L'accès à cette zone se fait par des pistes existantes à l'intérieur de la cuvette. La topographie de la zone est très plane. De part sa morphologie, elle ne pose aucun problème d'accès et aucune difficulté particulière pour son exploitation.

La superficie de cette zone couvre plusieurs centaines d'hectares.



Photo IV-1 : zone d'emprunt

CHAPITRE V

CONCEPTION DE LA DIGUE

Conception de la digue

I. Dimensionnement de la digue

1. Calcul des différents niveaux d'eau

1.1. Niveau mort de la retenue (NMR)

C'est le niveau correspondant à la tranche morte. Prévus pour emmagasiner les dépôts.

$$H_{V_{\text{mort}}} = 7 \text{ m}$$

1.2. Niveau normale de la retenue (NNR)

Selon un calcul de régularisation en détermine le niveau normal :

$$H_{\text{NNR}} = 8,5 \text{ m}$$

1.3. Niveau des plus hautes eaux (N.P.H.E)

Il est égal au niveau normal de la retenue majoré de la charge de d'eau sur le déversoir.

$$\text{NPHE} = \text{NNR} + H_d$$

Avec :

H_0 : la charge au-dessus du déversoir, définie en fonction de laminage des crues et une étude d'optimisation déterminée en fonction du fonctionnement en parallèle de la vidange de fond qui joue le rôle d'évacuateur de crue auxiliaire pendant la période des crues, qui est déterminée est évaluée à 1,4 m. $\rightarrow H = 10 \text{ m}$

1.4. La revanche

La revanche, mesurée au dessus de (P.H.E) correspondant à la crue maximum possible, est une fonction de la hauteur H_v et la vitesse V des vagues que le vent peut former dans la retenue.

- La revanche minimum R est donnée par la relation suivante :

$$R = 0.75H + \frac{V^2}{2g} \quad [\text{m}]$$

La détermination de la hauteur des vagues à l'aide des formules empiriques.

1.4.1. Formule de STEVENSON GAILLARD

$$H = 0.75 + 0.34 \sqrt{F} - 0.26^4 \sqrt{F}$$

Avec,

F : est la longueur rectiligne maximale de la retenue (Fetch) en Km ; F = 3 km ;

D'où : H = 1 m

V : est la vitesse de propagation des vagues (m/s) ;

$$V = 1.5 + 2H \quad \Rightarrow V = 3,5 \text{ m/s}$$

La revanche sera donc : R = 1,4 m

1.4.2. Formule de MALLET et PAQUANT

$$H = 0.5 + 0.33 \sqrt{F} .$$

D'où : H = 1,07 m

$$\text{Et, } V = 3,6 \text{ m/s}$$

D'où : R = 1.47 m

1.4.3. Formule Simplifiée

$$R = 1 + 0.3 \sqrt{F}$$

D'où R = 1,5 m

Conclusion : la valeur de la revanche est la moyenne des trois valeurs

$$\boxed{R = 1,45 \text{ m}}$$

1.5. La hauteur du barrage H_b

$$H_b = H_{V_{\text{mort}}} + H_{\text{utile}} + H_d + R + H_s$$

Avec,

H_s : est la hauteur de sécurité ; $H_s = 0,2$ m.

La hauteur de sécurité est une hauteur que l'en conçoit dans les ouvrages de retenue pour comparer les éventuelles erreurs qui peuvent provenir soit de l'information et de la qualité de l'information soit des méthodes de dimensionnement utilisées.

D'où : $H_b = 12$ m

2. La crête

La crête du barrage en tant qu'élément de la digue est nécessaire pour donner au profil en travers une forme trapézoïdale stable. Elle peut servir pour les passages de services.

2.1. Largeur en crête

Différentes formules sont utilisées pour le calcul de la largeur en crête :

2.2.1. Formule de KNAPPEN

$$b_{cr} = 1.65 \sqrt{H_b} \text{ (m)} \quad \rightarrow \quad b_{cr} = 5,7 \text{ m}$$

2.2.2. Formule de -PREECE

$$b_{cr} = 1.1 \sqrt{H_b} + 1 \quad \rightarrow \quad b_{cr} = 4,8 \text{ m}$$

2.2.3. Formule Anonyme (simplifiée)

$$b_{cr} = 3.60 \sqrt[3]{H_b} - 3 \quad \rightarrow \quad b_{cr} = 5,24 \text{ m}$$

D'où la largeur en crête : $b_{cr} = 6$ m

2.2. Protection de la crête

La crête du barrage en tant qu'élément de la digue est nécessaire pour donner au profil en travers une forme trapézoïdale stable. Elle peut servir pour les passages de service.

La crête doit être revêtue par un mélange de matériaux constitué de gros graviers bitumés, insensibles à l'eau, à la circulation des véhicules, et la couche de protection doit être bien compactée.

La crête est profilée soigneusement, afin d'empêcher toute stagnation des eaux (pour éviter les infiltrations dans le corps du barrage)

3. Choix des pentes des talus

Les pentes des talus amont et aval sont en fonction des matériaux de construction utilisés et leurs caractéristiques mécaniques ainsi que de la hauteur et de la classe du barrage.

Le tableau (IV-1) donne quelques valeurs indicatives des pentes des talus.

Tableau V-1 : Les fruits des talus en fonction du type du barrage.

Hauteur du barrage	Type de barrage	fruit	
		amont	aval
$0 < H < 5$	• Homogène.	2.5	2
	• A Zone.	2	2
$5 \leq H < 10$	• Homogène (granulométrie étendue).	2	2
	• Homogène à fort pourcentage d'argile.	2.5	2.5
	• A Zone.	2	2.5
$10 \leq H \leq 20$	• Homogène (granulométrie étendue).	2.5	2.5
	• Homogène à fort pourcentage d'argile.	3	2.5
	• A Zone.	2	3

Comme notre digue est une retenue homogène de 12 m de hauteur, les fruits des talus amont et aval appropriés sont 2,5 de part et d'autre.

Mais, c'est des valeurs qui seront corrigées lors du calcul de stabilité du barrage.

4. les bermes

Pour les barrages de grandes hauteurs on prévoit des bermes à chaque 10m de hauteur généralement. Celles-ci servent à augmenter la stabilité des talus, les protéger contre les affouillements et à faciliter les travaux au cours de construction et de réparation. (Faciliter l'accès à tout endroit de bief).

Les bermes sont exécutées pour des hauteurs de (10-15) m, leur largeurs varient de (2 -- 3) m avec des pentes de l'ordre de (1‰).

On disposera d'une seule berme sur le pied du talus aval à 1m de hauteur ayant 3 m de largeur, servant comme prisme de drainage.

Observation :

Les matériaux calcaires sont à éviter pour les organes de drainage.

5. Calcul de stabilité**5.1. Choix des pentes des talus et calcul de stabilité**

La fiabilité d'un ouvrage hydraulique dépend de:

- Sa conception;
- De l'information et de la qualité de l'information;
- Des méthodes de dimensionnement;

5.2. Choix des pentes des talus de la digue

La stabilité des pentes d'une digue en terre dépend :

- De la valeur des pentes des talus;
- De la hauteur de la digue;
- Des caractéristiques géotechniques des matériaux constituant la digue;
- Type de barrage

❖ Méthodologie du choix des pentes d'une digue de retenue :

On se donne des pentes arbitraires qui paraissent optimales, on fait un calcul de stabilité.

Le glissement des pentes d'un talus en terre ou d'une digue se fait suivant une surface circulaire de rayon R et de centre o .

On détermine les coefficients de sécurité en fonction de chaque cercle de glissement pour chaque cas de fonctionnement ou d'exploitation de la retenue.

Le talus serait stable si les différents coefficients de sécurité sont supérieurs aux coefficients de sécurité admissible pour chaque mode de fonctionnement ou d'exploitation.

Mode de fonctionnement	Talus concernés	Coefficient de sécurité admissible
Fin de construction sans séisme	Talus amont Talus aval	$K_s=1,50$
Fin de construction avec séisme	Talus amont Talus aval	$K_s=1,05$ $K_s=1,05$
-Exploitation normale sans séisme	Talus aval	$K_s=1,50$
-Exploitation normale sans séisme	Talus aval	$K_s=1,05$
Vidange rapide	Talus amont	$K_s=1,30$

On retient les coefficients de sécurité les plus bas, le cercle correspondant est appelé cercle critique.

Les pentes optimales sont celles qui correspondent aux cercles de glissement critiques, qui sont égales ou largement supérieures aux coefficients de sécurité admissibles.

L'ensemble des centres de cercles critiques appartiennent à une zone qu'on appelle zone de cercle critique.

❖ Présentation du calcul de stabilité répondant au cercle critique

Pentes proposées $\lambda_{\text{Amont}}=1/2,5$ $\lambda_{\text{Aval}}=1/2$

Rayon de cercle (m)	Mode de fonctionnement	Talus	Coefficient de sécurité	Coefficient de sécurité admissible
R=15	Fin de construction sans séisme	Talus amont	$K_s=1,75$	$K_s=1,50$
R=15	Fin de construction avec séisme	Talus amont	$K_s=1,40$	$K_s=1,05$
R=12	-Fin de construction sans séisme	Talus aval	$K_s=1,72$	$K_s=1,50$
	-Fin de construction avec séisme	Talus aval	$K_s=1,36$	$K_s=1,05$
R=16	-Exploitation normale sans séisme	Talus aval	$K_s=1,64$	$K_s=1,50$
	-Exploitation normale sans séisme	Talus aval	$K_s=1,15$	$K_s=1,05$
R=10	Vidange rapide	Talus amont	$K_s=1,36$	$K_s=1,30$

Observation :

On remarque que les différents coefficients de sécurité des talus amont et aval correspondant aux cercles critiques et aux différents modes d'exploitation sont supérieurs aux coefficients de sécurité admissible.

La méthode de stabilité utilisée est celle de Fellenius appelé "Méthode Suédoise".

Cette méthode néglige ou ne prend pas en considération les interactions entre les tranches.

Un calcul beaucoup plus raffiné pourrait se faire pour trouver des pentes beaucoup plus optimales répondant à des coefficients de sécurité calculés largement ou égales aux coefficients de sécurité admissibles.

Conclusion :

Les pentes optimales adoptées sont $\lambda_{\text{Amont}}=1/2,5$ $\lambda_{\text{Aval}}=1/2$ répondant aux critères fixés par les directeurs du C.I.G.B (comité international des grands barrages).

6. Protection des talus de la digue :

Le talus amont est protégé contre le batillage des vagues par une couche de rip-rap d'un mètre d'épaisseur et dans les dimensions et poids des pierres sont calculés par des formules empiriques.

Le talus aval est protégé contre le phénomène d'érosion par une couche de rip-rap d'un mètre d'épaisseur avec la présence d'une borne pour réceptionner ces eaux de ruissellement.

7. Organes de drainage

Pour contrôler les infiltrations à travers le remblai, il est nécessaire de mettre en place un dispositif drainant.

La retenue collinaire de type homogène est constituée par des alluvions de perméabilité comprise entre 10^{-6} et 10^{-8} .

Le réseau de drainage est constitué d'un filtre horizontal de 0,5 m d'épaisseur se trouvant par une prise de drainage de 1 m de hauteur et d'un drain incliné d'un mètre d'épaisseur servant à drainer et rabaisser la ligne de saturation.

8. Etanchéité de la digue et de la fondation

La digue est drainée par un réseau de drainage, qui est conçu de telle sorte à éviter le phénomène de renard sans demander une étanchéisation particulière et spéciale.

La fondation de la retenue est constituée par des calcaires durs et fissurés sur une faible épaisseur, qui ne serait pas étanchéisé et qui va permettre à la retenue d'alimenter les éventuelles nappes souterraines et d'avoir un impact positif sur l'environnement.

Ouvrages annexes

1. Vidange de fond

D'une manière générale, le rôle de vidange est d'abaisser la retenue pour la mise hors d'eau, soit des seuils de prise, soit de tout le parement amont de la digue, pour inspection en entretien de cette dernière et de ses ouvrages annexes.

Dans notre cas, la vidange de fond est utilisée comme évacuateur de crue auxiliaire pour évacuer une partie de débit de crue ou du volume exceptionnel pendant la période de crues.

La vidange de fond se dimensionnerait de telle sorte à évacuer un débit de 20m par seconde pendant la période de crue.

Le diamètre de la conduite de vidange est de 1m avec une vitesse d'écoulement comprise entre 10 à 12 m/s.

L'entrée de la vidange serait arasée à 20 m au dessus du niveau mort et serait protégée par des grilles pour éviter son obturation par des corps flottants.

2. Prise d'eau

La prise d'eau est l'ouvrage destiné à faire le prélèvement de l'eau de la retenue pour l'acheminer vers l'utilisateur.

Comme l'objectif de la retenue est d'amortir, d'anéantir ou de lutter contre les crues, comme c'est des apports qui proviennent des précipitations d'averses tombant pendant le période de Janvier à Mars, l'ouvrage de prise d'eau n'a pas été prévu.

L'eau de la retenue alimenterait pendant le période de crue la nappe à surface d'une manière directe à travers la fondation de la retenue et l'aval de la digue à travers la vidange de fond.

3. Dérivation provisoire et batardeau

Comme la digue est une retenue collinaire de dimensions modestes, elle pourrait se réaliser dans les délais requis pendant la période sèche, la conception d'une dérivation provisoire et batardeau ne sont pas nécessaires.

4. Évacuateur de crue

L'évacuateur de crues sert à l'évacuation des eaux de crues superflues, le plus économiquement et le plus sûrement possible, pour éviter la submersion du barrage.

Le débit de crues qui transite à travers cet évacuateur ne correspond pas exactement à la crue qui arrive à l'amont de la retenue en raison de l'effet de laminage dû à la montée du plan d'eau provoquée par l'étalement du volume de la crue à travers la surface du plan d'eau.

L'évacuateur de crue choisi est un évacuateur de crue de surface frontal de 100m de largeur sous une hauteur déversée de 1,4 m, réalisé et reposant sur la digue.

L'évacuateur de crue est constitué par un déversoir pratique du profil de Greger se terminant par un bassin de dissipation.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion Générale

Dans le cadre de la préparation du mémoire de fin d'étude, nous avons essayé de traiter et d'étudier la faisabilité d'un petit barrage sur l'oued Laadhira (El Haïmer) dans la wilaya de Ghardaïa qui est destiné à l'atténuation ou la rétention complète ou partielle des crues provoquant les inondations.

La fiabilité d'un ouvrage hydraulique dépend essentiellement de sa conception, de l'information et de la qualité de l'information ainsi que de la puissance des méthodes de dimensionnement des ouvrages en question.

On a procédé en premier lieu à l'élaboration d'une étude hydrologique, qui a posé un problème vu le manque d'informations hydrologiques, le manque de travaux sur l'hydrologie saharienne d'une manière générale et de la vallée du M'Zab en particulier qui rendent l'étude beaucoup plus complexe et délicate.

L'élaboration d'une étude géologique et géotechnique comprenant l'étude de la fondation du site, de la cuvette et de la disponibilité des matériaux de construction a été faite en ce sens.

En fonction des différents paramètres entrant dans la conception des ouvrages de retenue, plusieurs variantes ont été proposées et étudiées dont la variante de digue en matériaux locaux homogènes a été la plus probable vu les conditions de son établissement.

La conception de la digue a été faite suivant l'objectif du projet qui est la lutte contre les inondations tout en essayant de garder un impact positif de l'ouvrage sur l'environnement.

L'étude a été accompagnée par la faisabilité d'un ouvrage hydraulique répondant aux critères

technico-économique et d'optimisation pour assurer la fiabilité à l'exploitation de l'ouvrage et

la sécurité d'évacuation des débits fréquents.

L'ouvrage présenté dans le cadre de faisabilité d'une digue de retenue répond d'une manière respectable à un ouvrage de retenue en prenant en considération les différentes contraintes posées par la réalité tout en essayant l'objectif principal.

Finalement, il est utile de noter que l'élaboration d'une telle étude nécessite des connaissances bien approfondies dans tous les domaines qui touchent l'hydraulique. De plus la disponibilité de l'information aurait rendu l'étude beaucoup plus simple et les résultats obtenus bien plus fiables notamment l'étude hydrologique.

Toutefois, nous espérons que cette présente étude fruit de toute une formation soit un travail de base qui est sujet à réflexion et amélioration afin qu'il soit bénéfique.

A.N.R.H (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques), données pluviométriques de Ghardaïa, 1975, et estimation des crues de la région, 2008.

Ayad, H. & Mazrou, S., 1993, « Etude de faisabilité du barrage Takdempt sur l'oued Sebaou ». Mémoire de fin d'études, département hydraulique. Ecole Nationale Polytechnique Alger. 143 pages.

Banouh Nouh-Mefnoue, 2006, « Contribution à la stratigraphie de la barre carbonaté cénomano-turonienne de la plate forme saharienne : étude des affleurements de Ghardaïa (Dorsale du M'Zab) ». Mémoire de fin d'études, stratigraphie. Faculté des sciences de la terre, de la géologie et de l'aménagement du territoire, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. 136 pages.

Bénina, T., 2004, « Manuel pratique d'hydrologie ». 166 pages.

Bonnard & Gardel ingénieurs-conseils, 1996, "Etude hydrologique de l'oued M'Zab", 194 pages.

Bonnard & Gardel ingénieurs-conseils, 2000, "Etude d'assainissement et de protection contre les crues de l'oued M'Zab". 84 pages.

Bonnard & Gardel ingénieurs-conseils, 2001, "Etude d'assainissement et de protection contre les crues de l'oued M'Zab". 190 pages.

BOUCHEMAL, R., 2005, « Etude de faisabilité d'un petit barrage sur l'oued de Kolla W. Ain Temouchent ». Mémoire de fin d'études, option « conception des ouvrages hydrotechnique » E.N.S.H Blida.

Carlier, M., 1980, « Hydraulique générale et appliquée ». Edition Eyrolles. 567 pages.

D.H.W (Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Ghardaïa), 2009, données du bassin versant de Ghardaïa.

Dubief, J., 1953, « Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara ». Edition : service des études scientifiques, Alger.

Guilcher, A., 1979, « Précis d'Hydrologie Marine et Continentale ». Edition Masson, 2^{ème} édition.

O.N.M (office Nationale de Météorologie), 2005, données climatiques de Ghardaïa.

Ouznaoui, H., 1990, « Faisabilité du barrage Babar sur oued el Abiod wilaya de kenchela ». Mémoire de fin d'études. Institut de Génie Civil, Université des Sciences et de la Technologie Hourri Boumediene. 189 pages.

Références bibliographiques

Poroszlai, 1980, « Etude des crues sur plusieurs sites de l'oued Saoura ». Direction des études de milieu et de la recherche hydraulique, service hydrologie.

Projet DELTA, 2003, « Développement Des Systèmes Culturels Territoriaux », Plan d'action, cas de Ghardaïa.