



Faculté de Technologie  
Département d'Hydraulique  
*Laboratoire de Recherche en Hydraulique Appliquée et Environnement (LRHAE)*

## MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

**LATRECHE Nasreddine**

**LASTI Rachid**

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER en Hydraulique**

Option : **Ouvrages et Aménagements Hydrauliques**

### INTITULE :

## **ETUDE DE FAISABILITE DE BARRAGE DE CHARTIOUA (W. BOURDJ BOU-ARRIRIGE)**

Soutenu le .../ .../ 2016, devant le jury composé de :

- Président : **Mr.A/CHENAFI**
- Promoteurs : **Mr. M/ LADJEL**
- Examineur : **Mr.A/ALOUECH**

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à :*

*-Ceux qui sont plus chers que mon âme et mon sang, la lumière de mon chemin, les*

*formateurs de ma conduite, à mes parents que dieu les garde.*

*-Aux sources de l'espoir dans ma vie, mes frères et sœurs*

*-A celui qui a collaboré avec moi dans ce travail mon collègue et ami L. Rachid*

*- A mes chers amis : Naim, Sobhi, Moumen, Yassine, Rabah, Abdou, Oussama, Bilal,*

*-A Hicham, Cherif en particulier, et aux étudiants du département d'hydraulique, et*

*surtout la classe de master 2, option ouvrages et aménagement hydrauliques promotion 2016.*

*-Et en fin à tous qui m'ont aidé et œuvrer de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

*Toute ma gratitude pour ceux que je n'ai pas pu porter leurs noms.*

*Mr : LATRECHE Nasreddine*

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à :*

*- je tiens à dédier ce travail à deux personnes les plus chères à mon cœur mes très chers parents qui m'ont soutenu et inculqué tout ce que je sais tout au long de ces années. Dieu les garde.*

*- Aux sources d'inspiration et qui sont mon très cher frère et mes deux sœurs en particulier, et tous mes proches.*

*- À celui qui a collaboré avec moi dans ce travail mon collègue et amie L. Nasreddine.*

*- À mes chers amis qui m'ont soutenu pendant mon cursus universitaire en.*

*- En particulier à Yassine, Abdou, Rabah, Midoune et aux étudiants du département d'hydraulique, et surtout la classe de master 2, option ouvrages et aménagement hydrauliques promotion 2016.*

*- Et en fin à tous qui m'ont aidé et œuvré de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

*Toute ma gratitude pour ceux que je n'ai pas pu porter leurs noms.*

*Mr : LASTI RACHID*

# Remerciement

*Au terme de cette modeste étude, on tient à exprimer nos profondes Gratitudes et nos vifs remerciements à toutes les personnes qui nous ont aidés tout au long de notre mémoire.*

*Notre reconnaissance va plus particulièrement à notre promoteurs : M. M/LADJEL Pour avoir contribué à l'élaboration de ce travaille et à notre formation durant les années de spécialités.*

*On remercie le président et les membres du jury qui nous feront l'honneur de Juger notre travail.*

*Enfin, a tous ceux qui nous ont soutenu de près ou de loin on leurs dis merci.*

## Liste des Symboles

- $\alpha$  : Coefficient de l'écoulement (sans dimension)
- $\beta_s$ : Composante saisonnière du volume utile (sans dimension)
- $\beta_{\text{plur}}$ : Composante pluriannuelle du volume utile (sans dimension)
- $\Delta H$  : Différence d'altitude entre deux courbes de niveau successives (m)
- $\bar{E}_0$  : Moyenne des écoulements annuels ( $\text{m}^3$ )
- $\vartheta$  : Coefficient d'infiltration, dépend du type de sol (sans dimension)
- $\bar{P}$  : Précipitation moyenne interannuelle (mm)
- $\bar{s}$  : Surface moyenne qui correspond à  $\bar{V}$  ( $\text{m}^2$ )
- $\bar{V}$ : Volume moyen ( $\text{Mm}^3$ )
- $\bar{V}_c$  : Vitesse moyenne d'écoulement dans le coursier entre deux sections ( $i+1$ ) et ( $i$ ) (m/s)
- $a$  : Hauteur libre de sécurité (m)
- $b$  : Exposant climatique
- $b_{\text{ncr}}$  : Largeur en crête du noyau (m)
- $B_{\text{bn}}$ : Largeur en base du noyau (m)
- $B_{\text{cr}}$ : Largeur en crête de la digue (m)
- $C_{\text{cn}}$ : Côte de la crête du noyau (m.NGA)
- $C_{\text{cr}}$  : Côte de la crête de la digue (m.NGA)
- $C_e$  : Coefficient d'écoulement (sans dimensions)
- $C_s$  : Coefficient d'asymétrie (sans dimension)
- $C_v$  : Coefficient de variation (sans dimension)
- $E$  : Evaporation (mm)
- $E_b$  : Evaporation brute (mm)
- $E_F$ : Ecoulement fréquentiel ( $\text{Mm}^3$ )
- $E_m$  : Ecoulement pendant la période d'étiage ( $\text{m}^3$ )
- $E_n$  : Evaporation nette (mm)
- $E_0$  : Ecoulement moyen interannuel ( $\text{Mm}^3$ )
- $\bar{E}_0$  : Moyenne des écoulements annuels ( $\text{m}^3$ )
- $F$ : Fetch (Km)
- $g$  : Accélération de pesanteur [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]
- $H_b$  : hauteur de la digue
- $H_{\text{max}}$  : Altitude Maximale de bassin versant (m.NGA)
- $H_{\text{min}}$  : Altitude minimale (m.NGA)
- $H_{\text{moy}}$  : Altitude moyenne de bassin versant (m.NGA)
- $H_n$  : Hauteur totale du noyau (m)
- $H_{\text{NNR}}$  : hauteur de la digue au niveau normal de la retenu(m),
- $H_v$  : Hauteur des vagues (m).
- $H_0$  : Echantillon provient d'une loi normale.
- $H_1$  : Echantillon ne provient pas d'une loi normale. (m)
- $I_c$  : Pente moyenne du cours d'eau principale (%)
- $I_{\text{pm}}$  : Indice de pente moyenne (%)

$K_C$  : Indice de compacité (sans dimensions)  
 $L$  : Longueur moyenne en crête (m)  
 $L_e$  : Lane d'eau écoulée (mm)  
 $L_r$  : Longueur de Rectangle équivalent (Km)  
 $L_t$  : longueur de talweg principale (Km)  
 $m$  : Volume relatif pendant la période d'étéage  
 $m_1$  : Fruit de talus amont de la digue (sans dimension)  
 $m_2$  : Fruit de talus aval de la digue (sans dimension)  
 $M_e$  : Module de l'écoulement (l/s)  
 $M_0$  : Module de l'écoulement relatif (l/s.Km<sup>2</sup>)  
 $N$  : Nombres d'observation  
 $P$  : Précipitations (mm)  
 $P_{bv}$  : Périmètre du bassin versant (Km)  
 $P_j$  : Précipitation journalière d'une période de retour  $T$  donné (mm)  
 $P_{max,j}$  : Pluies maximales journalières (mm)  
 $P_t$  : Pluie de courte durée (mm)  
 $P_t$  : Pluie de durée  $t$ , de même période de retour  $T$  (mm)  
 $q$  : Débit laminé (m<sup>3</sup>/s).  
 $Q$  : Débit de projet (m<sup>3</sup>/s)  
 $Q_{max}$  : Débit maximale probable (m<sup>3</sup>/s)  
 $R$  : Coefficient d'auto-corrélation (sans dimension)  
 $R_{t,nat}$  : Résistance à la traction à l'état naturel du matériau (bar)  
 $R_v$  : Revanche (m)  
 $S_{bv}$  : Superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>)  
 $t_b$  : Temps de base de l'hydrogramme de crues (h)  
 $t_c$  : Temps de concentration (h)  
 $t_m$  : temps de monté  
 $t_d$  : Temps de décrû  
 $T$  : Période de retour (Ans)  
 $T_a$  : Erosion spécifique (T/(Km<sup>2</sup>.an))  
 $T_s$  : Temps d'une année (seconde)  
 $u_f$  : Variable réduite de gauss (sans dimension)

$V_C$  : Volume de la crue de projet  
 $V_é$  : Volume évaporé (m<sup>3</sup>)  
 $V_{inf}$  : Volume d'eau infiltré (m<sup>3</sup>)  
 $V_{int}$  : Volume interannuel (m<sup>3</sup>)  
 $V_m$  : Volume mort (Mm<sup>3</sup>)  
 $V_n$  : Volume d'eau correspondant à la courbe de niveau  $H_n$  (m<sup>3</sup>)  
 $V_r$  : Vitesse de ruissellement (Km/h)  
 $V_s$  : Volume annuel qui correspond à  $\beta_s$  calculé (Mm<sup>3</sup>)  
 $V_u$  : Volume utile (Mm<sup>3</sup>)  
 $V_{ub}$  : Vie utile de barrage (ans)

# TABLE DES MATIERS

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

## Chapitre I : Synthèse de l'étude géologique et géotechnique

I.1 INTRODUCTION .....	2
I.2 Description du site de barrage.....	2
I.2.1 Situation géographique de site .....	2
I.1.2.1 Axe du barrage.....	2
I.3 Etude géologique et géotechnique .....	3
I.3.1 Géologie régional.....	3
I.3.2.Tectonique.....	5
I.3.3. Géologie de surface du site du barrage .....	6
I.4.Hydrogéologie.....	8
I.5.Séismicité.....	8
I.6.Conclusion .....	10

## Chapitre II : Etude hydrologique

INTRODUCTION.....	11
II.1 Bassin versant .....	11
II.1.1 Caractéristiques morpho métriques et hydrographiquesdu bassin versant .....	11
II.1.2 Courbe hypsométrique et profil de talweg principal .....	12
II.1.2.1 Profil au long du cours d'eau principal du bassin versant de barrage de Chertioua.....	12
II.2 Caractéristiques climatiques du bassin versant de barrage de Chertioua .....	13
II.2.1 Température de l'air .....	13
II.2.2 Les Vents .....	14
II.2.3 Humidité de l'air.....	14
II.2.4 Evapotranspiration.....	14
II.2.5 Etude des précipitations.....	16
II.2.5.1 Homogénéisation des données pluviométriques.....	16
II.2.5.2 Homogénéisation des pluies journalières maximales .....	16
II.2.5.3 Pluies annuelles moyennes .....	16
II.2.5.4 Pluie mensuelle.....	17
II.2.5.5 Ajustement des pluies maximales journalières.....	18
II.3 Etude des écoulements.....	22
II.3.1 Caractéristiques de l'écoulement moyen .....	24
II.3.2 Etude des écoulements fréquentiels.....	24
II.3.2.1 Loi de Galton .....	25
II.3.2.2 Répartition mensuelle de l'écoulement fréquentiel .....	26
II.3.3 Analyse fréquentiel.....	26
II.3.3.1 Construction de la courbe empirique des fréquences .....	28
II.3.3.2 Estimation des paramètres statistiques .....	28
II.4 Ecoulement Solide .....	29

II.4.1 Erosion spécifique .....	29
II.4.2 Volume mort.....	29
II.5 Etude des crues .....	29
II.5.1 Temps de concentration.....	29
II.5.2 Pluies de courtes durées.....	31
II.5.2.1 Estimation des caractéristiques pluviométrique .....	31
II.5.2.2 Etude pluviométrique générale de K. Body.....	32
II.5.2.3 Estimation des lames ruisselées.....	32
II.5.3 Estimation du temps de base de la crue.....	33
II.5.4 Estimation des débits maximums des crues pluviales .....	34
II.5.5 Projection des hydrogrammes des crues.....	35
II.6 Conclusion .....	37

### **CHAPITRE III : Etude de régularisation et aménagement des crues**

III.1 INTRODUCTION.....	38
III.2 Etude de régularisation de l'écoulement .....	38
III.2.1 Courbes caractéristique de la retenue.....	38
III.2.2 Choix de type de la régularisation.....	40
III.2.3 Régularisation interannuel.....	41
III.2.3.2 Calcul du volume utile de barrage en tenant compte des pertes .....	43
III.3 Laminage des crues .....	44
III.3.1 Choix de la crue de projet .....	44
III.3.2 Estimation du débit maximum laminé, .....	44
III.3.3 Choix de la largeur du déversoir .....	45
III.3.4 Détermination des caractéristiques de l'hydrogramme de la crue laminée.....	47
III.3.5 Détermination du Plan des Hautes Eaux (PHE).....	48
III.4 Conclusion.....	48

### **CHAPITRE IV : Dimensionnement du barrage**

IV.1 INTRODUCTION .....	49
IV.2 Le choix du type de barrage.....	49
IV.3 Définition du profil général du barrage.....	49
IV.3.1 Hauteur du barrage.....	49
IV.3.1.1 Calcul de la hauteur de la digue .....	49
IV.3.1.2 Calcul de la hauteur de montée de la vague (revanche).....	49
IV.3.2 La largeur en crête de la digue .....	51
IV.3.3 La longueur en crête.....	52
IV.3.4 Pente des talus.....	52
IV.3.5 La base de la digue.....	52
VI.3.6 Bermes .....	52
IV.4 Conclusion .....	55

CONCLUSION GENERALE .....	56
---------------------------	----

## Liste des tableaux

Tableau (I.1) :Caractéristiques géologiques-géotechniques des sondages mécaniques.....	7
Tableau (I.2) : Coefficients des accélérations du séisme selon la zone d'étude .....	9
Tableau (I.3) :Failles associées aux séismes de plus grande magnitude enregistrée .....	10
Tableau(II.1) :Tableau récapitulatif des caractéristiques morphométriques de bassin versant.....	11
Tableau (II.2) : Répartition en pourcentage de la surface élémentaire.....	12
Tableau (II.3) : Evolution des températures dans la région du projet.....	13
Tableau (II.4) : Répartition mensuelle de l'évaporation au niveau du plan d'eau de Chertioua.....	13
Tableau (II.4) : Répartition mensuelle de l'évaporation au niveau du plan d'eau de Chertioua .....	15
Tableau (II.5) : Caractéristiques de la station pluviométrique de Zemmoura.....	17
Tableau(II.6) : Répartition mensuelle des pluies.....	18
Tableau(II.7) : Pluies maximales journalières fréquentielle estimée à l'aide de la fonction distribution Gamma.....	20
Tableau(II.8) : Pluies maximales journalières fréquentielle estimée à l'aide de la fonction distribution Log-Normal.....	21
Tableau(II.9) : Pluie maximale journalière fréquentielle ajustée à la loi Gumbel.....	23
Tableau(II.10) : Ecoulement moyen interannuel par les différentes formules.....	25
Tableau (II.11) : Répartition mensuelle de l'écoulement fréquentiel.....	27
Tableau(II.12) : Récapitulatif de calcul.....	28
Tableau(II.13) : Récapitulatif des résultats.....	29
Tableau(II.14) : Récapitulatif des résultats.....	32
Tableau(II.15) : Les caractéristiques pluviométriques de la région de l'étude.....	32
Tableau(II.16) : Estimation des pluies de courte durée pour différentes fréquences.....	33
Tableau(II.17) : Coefficients climatique de ruissellement.....	34
Tableau(II.18) : Coefficients de ruissellement et lames ruisselées.....	34
Tableau(II.19) : Valeur du temps de concentration et du temps de base.....	34
Tableau (II.20) : Débits maximums de crues estimés pour différentes fréquences.....	36
Tableau (III.1) : Hauteur, surface, et volume du réservoir.....	39

Tableau (III.3) : Volume de laminage .....	46
Tableau (III.2) : Besoins en eau à satisfaire .....	41
Tableau (III.4) :Caractéristiques des hydrogrammes laminés.....	48
Tableau (IV.1) : Récapitulatif des résultats de calcul de la revanche .....	51
Tableau (IV.2) : Récapitulatif des résultats du calcul de la largeur en crête.....	52
Tableau (IV.3) : Valeurs indicatives des types des pentes des talus .....	52

## Liste des figures

Figure (I.1) : Localisation du site du Barrage de Chartioua(Source : A.N.B.T) .....	2
Figure (I.2) : Vue d'ensemble du site du barrage(Source A.N.B.T) .....	3
Figure (I.3) : Unités géologique d'Algérie (d'après sonatrach) source (A.N.B.T) .....	4
Figure (I.4) :Schéma structural simplifié de la région(Source A.N.B.T).....	5
Figure (I.5) : Carte de zonage sismique (RPA99-version 2003).....	9
Figure(II.1):Courbe hypsométrique du bassin versant de Chertioua.....	12
Figure(II.2) : Profil en long du thalweg principal.....	13
Figure (II.3) : Histogramme des températures.....	14
Figure (II.4) : Humidité mensuelle (%).....	15
Figure (II.5) : Evapotranspiration sur le bassin versant du barrage (Carte des évapotranspirations potentielles moyennes annuelles sur l'Algérie du Nord).....	15
Figure (II.6) : Evaporation mensuelle (mm).....	16
Figure (II.7) : Corrélation simple entre les précipitations maximales journalières Zemmoura-Sidi- Mbarek.....	17
Figure (II.8) : Correction des valeurs de la série pluviométrique Zemmoura-Sidi-Mbarek.....	17
Figure (II.9) : Répartition mensuelle des pluies.....	18
Figure (II.10) : Ajustement à la loi de Gamma (Maximum de vraisemblance).....	19
Figure (II.11) : Ajustement à la loi de Log-Normale (Maximum de vraisemblance).....	21
Figure (II.12) : Ajustement à la loi de Gumbel.....	22
Figure (II.13) : La fonction $\alpha = F(Kp)$ .....	27
Figure (II.14) : Courbe empirique des fréquences de l'écoulement annuel .....	29
Figure (II.15) : Hydrogramme de la crue pour déférentes périodes de retour.....	38
Figure (III.1) : Courbe capacité- hauteur.....	40
Figure (III.2) : Courbe capacité- superficie.....	40
Figure (III.3) : Largeur optimum du déversoir.....	47
Figure (III.4) :Hydrogramme de la crue laminée de fréquence P=1% .....	48
Figure (IV.1) : Le profile général du barrage .....	54

## **INTRODUCTION GENERALE**

L'eau est un élément indispensable pour la vie, aussi nécessaire pour tout développement que ce soit agricole ou industriel.

Cependant, le développement de notre pays suppose la maîtrise des ressources en eau, un facteur primordial dans la planification des budgets de l'état. Depuis la dernière décennie, L'édification des barrages présente une solution très largement utilisée pour combler les déficits en eau que plusieurs régions de l'Algérie le souffre.

Dans cette optique la wilaya de Bordj Bou-Argeridj a bénéficié d'un important projet de réalisation d'un aménagement hydraulique, c'est celui du barrage de «Chertioua». Qui est destiné à l'irrigation de cette région.

Le présent travail a pour l'étude de faisabilité du barrage Chertioua. Il comprendra quatre chapitres.

Le premier chapitre sera consacré pour l'analyse des conditions géologiques et géotechnique du site et des zones d'emprunts.

Dans le deuxième chapitre, on va définir les caractéristique géomorphologiques, hydrographique et climatiques du bassin versant, et on traitera en détail les données pluviométriques en vue de calcul de l'hydrogramme de crue, de l'estimation et le choix de la crue de projet et du transport solide.

Ensuite, le troisième chapitre va contenir l'étude de la régularisation des apports en fonction de la destination de l'aménagement hydraulique et l'étude de laminage des crues afin de déterminer le débit laminé, la hauteur des plus hautes eaux et la largeur du déversoir. Le profil général du barrage de Chertioua fera l'objet du quatrième chapitre.

Enfin, on terminera par une conclusion générale.

**Chapitre I :**  
**Synthèse de l'étude**  
**géologique et géotechnique**

## I.1 INTRODUCTION

Dans les projets de grandes envergures tel que la construction des Barrage des études géologiques et géotechniques sont nécessaires, basée sur les travaux de reconnaissances au niveau du site et les essais géotechniques de laboratoire, afin de prévenir des éventuelles risques d'infiltrations et d'instabilité de digue, l'infection quantitative et qualitative et/ou l'infiltration souterraine des eaux d'une retenue menace la stabilité de la digue, de ce fait pour y remédier la reconnaissance et l'étude géologique et géotechnique (amont, aval et au niveau de la digue) s'impose d'elles même.

L'objectif de cette dernière et de réduire au minimum les risques précédemment cités par des procédures approprié à chaque problèmes.

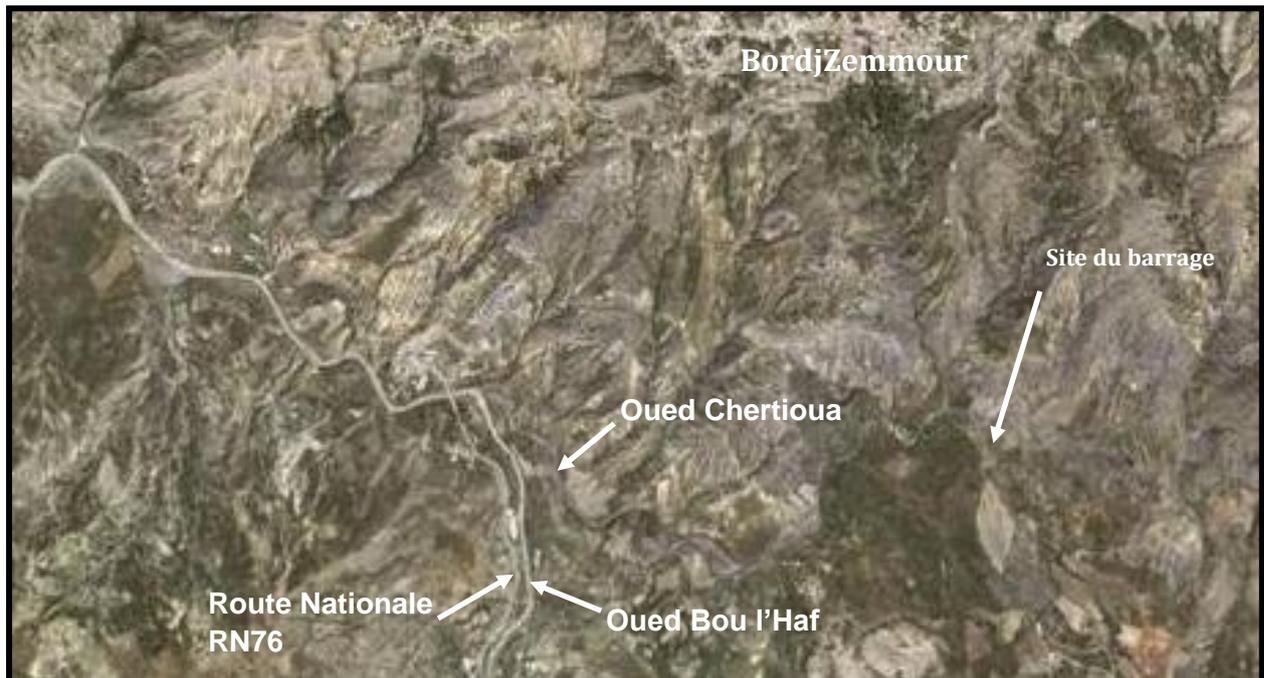
## I.2 Description du site de barrage

### I.2.1 Situation géographique de site

Le site du Barrage de notre étude c'est à dire Chartioua se situe sur L'oued du même nom, affluent de l'oued Mahadjar et Bousselam dans la Wilaya de Bordj Bou Arreridj, se situe à 2 km de la commune de Bordj Zemmoura et a 35 km au nord de Bordj Bou Arreridj, route nationale N<sup>o</sup> 76(RN76).

Les coordonnées (Nord Sahara 1959 UTM zone 31 N) de site sont :

$$X= 666\ 393\ m \quad ; \quad Y= 4\ 013\ 407\ m \quad ; \quad Z=688\ NGA$$



**Figure (I.1) :** Localisation du site du Barrage de Chartioua(Source : A.N.B.T)

#### I.1.2.1 Axe du barrage

Sur la base des résultats géologiques et géotechniques il se trouve que l'axe le plus économique et le plus stable a comme coordonnées **UTM** :

$$X=666\ 393\ m \quad ; \quad Y=4\ 013\ 407\ m \quad ; \quad Z=688\ NGA$$



*Figure (I.2) : Vue d'ensemble du site du barrage(Source A.N.B.T)*

## **I.3 Etude géologique et géotechnique**

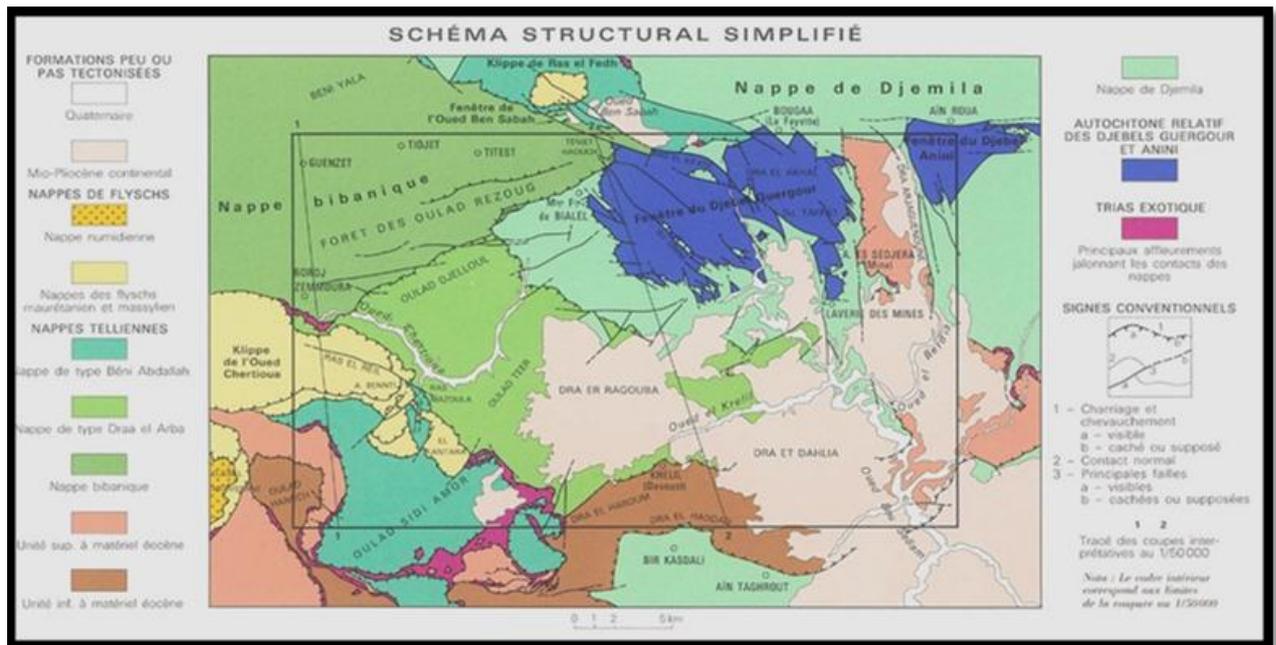
### **I.3.1 Géologie régional**

La zone d'étude se situe au Nord de l'Algérie, dans le domaine morphologique de l'Atlas Tellien (ou le Tell) et dans l'unité tectonique majeure alpine, séparée de la plate-forme saharienne, relativement stable, où la tectonique est moins prononcée, par la faille sud-atlasique.

Dans l'unité tectonique du Nord de l'Algérie on distingue plusieurs sous-secteurs, limités par des structures tectoniques (charriages et chevauchements) et différenciés par des raisons structurelles et par l'évolution géomorphologique :

- Au Sud, l'Atlas saharien, une chaîne de montagnes d'origine alpine ;
- Au centre, des plates-formes comme la Meseta oranaise à l'Ouest et le môle d'Ain Regada à l'Est ;
- Dans la partie septentrionale, l'Atlas tellien constitué de nappes mises en place au
- Miocène inférieur ; des bassins néogènes tardifs comme le Chélif et le Hodna se sont installés sur ces nappes.





**Figure (I.4): Schéma structural simplifié de la région (Source A.N.B.T)**

### I.3.2 Tectonique

Le Nord de l'Algérie fait partie de l'orogénie alpine d'Afrique du Nord. Elle est comprise entre le bassin océanique de la Méditerranée occidentale, créé à l'Oligocène et la flexure sud-atlasique qui la sépare de la Plate-forme Saharienne.

La structure de cette région est caractérisée par des reliefs jeunes et par une sismicité active. On voit, en plusieurs endroits du Tell à la lisière du Sahara, des terrains pliocènes et quaternaires redressés à la verticale. Le système orographique est guidé par deux longues chaînes situées au Sud et au Nord du 35<sup>ème</sup> parallèle et culminent vers 2 000 m. L'une, correspondant à l'Atlas Saharien, allongée NE-SO, l'autre, au Tell, de direction E-O.

Outre les frontières structurales que l'on vient de définir, l'édifice orogénique est marqué aussi par l'existence de plusieurs familles d'accidents d'importance régionale et de direction parallèle aux chaînes, ou franchement transverse à celles-ci.

L'accident sud-atlasique sépare le domaine alpin de la Plate-forme Saharienne. Mais, on peut se référer à deux autres conditionnant la sismicité régionale :

- L'accident sud-mésétien, véritable frontière entre le sillon subsidient de l'Atlas Saharien et la Méséta Oranaise, formant une plate-forme rigide durant le Mésozoïque ;
- L'accident nord-atlasique qui divise la Chaîne Atlasique en deux parties égales.

L'accident nord atlasique est la limite où s'arrête la dalle carbonatée du Lias-Dogger des hauts plateaux. Cet accident est considéré comme l'axe tectonique de la chaîne, de part et d'autre duquel les structures sont à vergence opposée. Il a joué un rôle paléogéographique dès le Trias, séparant des zones différentes par leur sédimentation et leur comportement géodynamique (subsidence).

La structure tectonique alpine actuelle de la région de la retenue comprend les événements paroxysmaux Eocène supérieur-Miocène et les phases préliminaires et tardives qui les encadrent.

La monotonie de faciès de la nappe du type Draa el Arba où dominant les marnes à micrites, rend conjecturale toute tentative de déchiffrement de sa structure interne. Les intercalations calcaires qui marquent le Maestrichtien près des OuladDjelloul indiquent toutes une structure tranquille et assez lourde. Aucune charnière n'est visible. Le contact de base n'est jalonné par du Trias qu'au Sud de Bordj Zemmoura.

La nappe bibanique est disposée comme un vaste anticlinal plissée isoclinale couchée vers le Sud, avec des nombreux replis isoclinaux à vergence Sud qui compliquent cette structure. Au niveau du site du barrage, où dominant les marnes grises écaillées, la structure semble être monotone.

### I.3.3 Géologie de surface du site du barrage

Le site du barrage et des ouvrages annexes correspond à une zone de rétrécissement de la vallée, avec les rives asymétriques et le fond de la vallée pratiquement plat sur une largeur de l'ordre de 40 m.

L'oued Chertioua constitue un cours d'eau permanent, tandis que ses affluents sont temporairement actifs de régime torrentiel, et il s'expose avec des lits encaissés dans les terrains de couverture, mais le substratum n'étant que faiblement entaillé. En effet, l'érosion se traduit par une succession de phénomènes d'affouillement et d'éboulement des rives, en résultant que les talus du lit mineur de l'oued se présentent, en générale, abrupts.

Dans l'axe, la rive droite est globalement plus inclinée et exhibe deux tronçons avec des pentes distinctes, liées à la lithologie affleurant. Le premier tronçon s'étend du fond de la vallée jusqu'à la côte (720 NGA), avec une inclinaison générale de l'ordre de 9°, recouvert de sols alluvionnaires et d'éboulis de pente. Le deuxième, apparaît avec une inclinaison générale de l'ordre de 20°, avec le substratum rocheux pratiquement affleurant sur toute la surface, de morphologie douce.

La rive gauche est globalement moins inclinée que la rive opposée et elle présente trois sections distinctes, à savoir :

- Un premier tronçon qui s'étend depuis le fond de la vallée jusqu'à la côte (694 NGA), où les talus de sols alluvionnaires du lit mineur se présentent abrupts ;
- Un deuxième tronçon, entre les côtes (694 NGA) et (715 NGA), avec une inclinaison de 16°, où les sols colluvionnaires prédominent ;
- Un troisième tronçon aux côtes plus élevées, avec une inclinaison de l'ordre de 9°, où les mêmes sols prédominent aussi.

Les résultats des sondages réalisés au niveau de la phase des études de faisabilité sont résumés dans le Tableau ci-après.

**Tableau (I.1) : Caractéristiques géologiques-géotechniques des sondages mécaniques**

Sondage	Profondeur (m)	Description
S1	0,0-8,8	Colluvions
	8,8-20,0	Massif marneux identifié par la présence d'une argile carbonatée noirâtre noduleuse, indurée localement tendre altérée, récupérée en débris avec des fissures obliques remplies de calcite
S2	0,0-8,8	Terrasses avec une alternance fin-grossière
	8,8-16,0	Massif marneux fortement altéré
	16,0-31,5	Massif marneux altéré
S3	0,0-4,0	Alluvions à galets
	4,0-40,0	Massif marneux altéré
S4	0,0-8,0	Dépôts de terrasse limono-sableuses
	8,0-40,0	Massif marneux avec fissures remplis de calcite
S5	0,0-2,0	Massif marneux fortement altéré à altéré
	2,0-20,0	Massif marneux altéré

Les sondages réalisés montrent un substratum marneux avec des caractéristiques géotechniques compétentes au niveau de la fracturation et de l'altération.

En-dessous de l'horizon des sols de couverture et indépendamment du versant considéré, les zones de qualité géotechnique plus défavorable (sols très compacts et/ou un massif altéré à très altéré et avec des fractures d'espacement très étroit ne dépassent pas, en général, des épaisseurs supérieures à 5,0 m). Par ailleurs, ce qui est plus fréquent s'est d'observer dans la fondation un massif moyennement altéré à altéré entre 5 et 20 m, avec des caractéristiques mécaniques aptes à servir d'assise aux ouvrages prévus, malgré la fracturation intense en profondeur. Au-delà des 20 m de profondeur le massif est de bonne qualité géotechnique, montrant une altération faible à moyenne

### I.3.4 Géologie de la cuvette

Le levé géologique-géotechnique de surface effectué le long de la future cuvette a permis d'apporter des précisions tels que, la cuvette couvre un bassin allongé que s'étend sur environ 2,5 km de longueur, avec des formes globalement douces et des versants de faibles pentes longitudinales et peu boisées; Avec un substratum marneux à micrites et marno-calcaire d'âge Crétacé, juxtaposées par contact anormal au fond de la vallée, surmonté par des alluvions actuelles et récentes au fond de la vallée et par des terres arables (colluvions et terrasses), la cuvette se présente avec une relative monotonie lithologique.

Proche du site du barrage, le substratum marneux à micrites et marno-calcaire devient tendre et altéré, ce qui a permis le développement de versants doux et des zones relativement plates aux basses cotes de la vallée, où les matériaux d'emprunt pourront être exploités.

Les versants marneux se trouvent couverts par des terres arables colluvion-aires normalement épaisses et des terrasses, de constitution limono-argileux et caillouteuse et avec des gros blocs dans la base, assis sur le massif marneux de bonne qualité géotechnique.

Le fond de la vallée apparaît peu large, et il se trouve alluvionné sporadiquement par des dépôts gravelot-sablo-caillouteuses peu épais.

#### **I.4 Hydrogéologie**

La prédominance au niveau du site de l'aménagement hydraulique de formations de nature marneuse et le morcellement des bancs de micrites et de calcaires, empêchent le développement d'aquifères importants.

De la même manière, l'épaisseur réduite des alluvions et le caractère pratiquement imperméable des dépôts colluvion aires disposés le long des versants ne facilitent pas le développement de réserves d'eau importantes. Ces conditions réduisent fortement l'aptitude hydrogéologique de la nappe du type Draa el Arba, la rendant très débile.

Aux alentours de la région de la retenue, se connaissent quelques sources notables comme à Bordj Zemmoura, alimentées par les banques calcaires replissés mais continus. Les dépôts mio-pliocènes qui masquent dans le secteur Est la nappe du type Draa el Arba, contiennent eux, une nappe superficielle fragile qui est déjà surexploité.

#### **I.5 Séismicité**

D'après la Carte de Zonage Sismique du Territoire National Algérien, on constate que la région de Bourdj Bou Arréridj se situe dans la zone IIa, c'est-à-dire, dans une zone de risque sismique modéré (0,10 à 0,25 g d'accélération de pointé du sol).

Sur la carte suivante est défini 04 zones sismiques classées comme suite:

1. Zone I: sismicité négligeable;
2. Zone IIa: sismicité faible;
3. Zone IIb: sismicité moyenne;
4. Zone III: sismicité élevée.

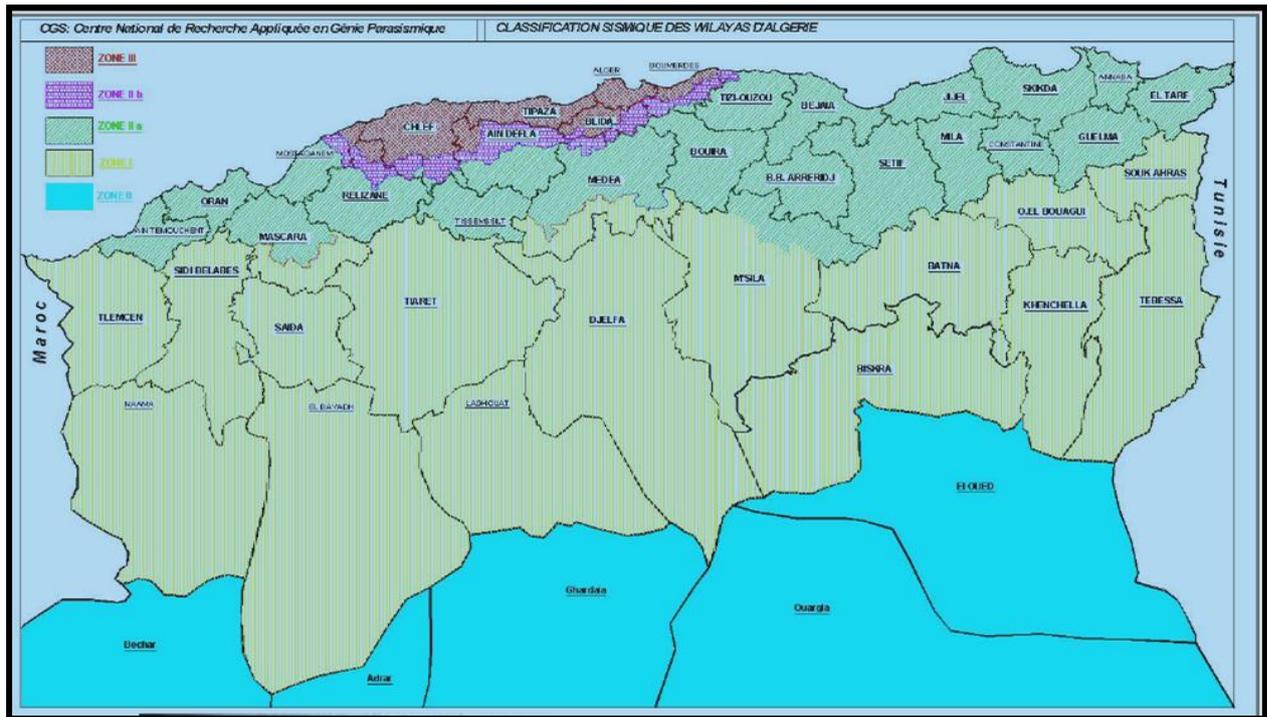


Figure (I.5) : Carte de zonage sismique (RPA99-version 2003)

Tableau (I.2) : Coefficients des accélérations du séisme selon la zone d'étude

Zone I	Zone IIa	Zone IIb	Zone III	Classification des ouvrages selon leur importance
0,15	0,25	0,30	0,40	Ouvrages d'importance vitale
0,12	0,20	0,25	0,30	Ouvrages de grande importance
0,10	0,15	0,20	0,25	Ouvrage courant
0,07	0,10	0,14	0,18	Ouvrage de faible importance

En tenant compte des caractéristiques de la néotectonique et morphostructurelles de la région de l'aménagement, de la distribution spatiale et des caractéristiques des séismes, le site de l'aménagement entre dans le domaine maritime et l'Atlas Tellien (le Tell) qui est caractérisées par la manifestation de la plus grande partie de l'activités sismique de l'Algérie du nord, Elle constitue la région la plus exposée aux séismes violents et dévastateurs, puisque la majorité de la population algérienne y réside, celle-ci constitue celle qui affecte le site de Chertioua de manière déterminante et qui participe le plus pour la caractérisation de l'aléa sismique du site.

Dans le tableau ci-après, on présente les failles principales au niveau du Tell et qui peuvent affecter la région de l'aménagement, et les séismes associés à ces failles.

**Tableau (I.3) : Failles associées aux séismes de plus grande magnitude enregistrée**

<i>Faille</i>	<i>L<sub>failles</sub> (km)</i>	<i>Séisme associé</i>	
		<i>Date</i>	<i>M<sub>enregistré</sub></i>
Faille Soummam	140	3 Déc. 1885	5,7
Faille d'IsserBouira	138	24 Jun 1910	6,6
Faille du séisme de M'sila	93	1 Jan 1965	5,5
Faille du séisme de Tizi-Ouzou	47	9 fév. 1850	6,5
Faille Batna	125	16 Mar. 1924	5,6
Faille Ain Smara	120	27 Oct. 1985	6,0
Faille de Thenia	74	4 Sep 1963	6,3
Faille Zemmouri	65	21 Mai 2003	6,8
Faille Sud-Atlastique secteur Biskra-Negrine	194	16 Nov. 1869	6,5
Faille Sahel	67	3 Fév. 1716	7,5
Faille de La Mitidja	48	2 Mar 1942	5,2

En ce qui concerne l'aléa sismique du site du barrage, l'étude a été réalisée en utilisant les méthodes expérimentale et déterministe. Ces deux voies d'analyse ont possibilité établir par convergence les accélérations de pointe au sol pour des différents niveaux de risque du projet :

- Séisme SMD (associé à une période de retour de 1 000 ans) - APS = 230 cm/s<sup>2</sup>;
- Séisme SBE (associé à une période de retour de 150 ans) - APS = 120 cm/s<sup>2</sup>.

Pour le séisme SMP, auquel on associe une longue période de retour, l'APS a été évaluée à 348 cm/s<sup>2</sup>.

## I.6 Conclusion

La synthèse de l'étude géologique et géotechnique effectuée dans ce chapitre nous a permis de constater que :

- La fondation du barrage est marneuse comme globalement imperméable;
- La géologie du site du barrage présente un substratum marneux à micrites et écaillée d'âge Crétacé, surmonté par des alluvions actuelles et récentes au fond de la vallée et par des terres arables (colluvions et terrasses) limono-argileuses épaisses le long des versants, âgées du Quaternaire.
- Le fond de la vallée pratiquement plat sur une largeur de l'ordre de 40 m.
- L'évacuateur des crues sera implanté en rive droite où l'ensemble des conditions topographiques, géologiques et géotechniques est favorable ;
- Quatre zones d'emprunt en été identifiées sur le site de barrage.
- Une carrière de calcaire située à 4 km à vol d'oiseau de l'axe du barrage et à 1,4 km NE du village de Bordj Zemmoura, sa géologie est constituée par alternances de calcaires marneux noirs et de marnes grises formant corniches.

**Chapitre II :**  
**Etude hydrologique**

## INTRODUCTION

L'étude hydrologique a pour objectif d'estimer les différentes caractéristiques morphométriques, hydrographiques et climatologiques du bassin versant, d'étudier statistiquement les précipitations maximales journalières afin d'estimer le débit maximale probable de projet et de chantier et les précipitations total annuel afin d'estimer les écoulements moyen interannuel, les écoulements fréquentiel interannuel et l'écoulement solide ainsi leur répartitions temporaires.

### II.1 Bassin versant

Le bassin versant de l'oued de Chertioua, au site du barrage, couvre une superficie de 110 km<sup>2</sup>, un périmètre de 49 Km, et un cours d'eau principal (talweg) de 27 Km. dont l'altitude moyenne est de 998 m. Il est situé dans la partie amont du bassin de l'oued El Main, affluent important de l'oued Bousselam.

La surface, le périmètre, la longueur du bassin versant ont été calculés à l'aide d'une projection sur la carte d'état-major d'Algérie Bordj Bou-Arredj 1/25 000 par le Logiciel Map-Info

#### II.1.1 Caractéristiques morpho métriques et hydrographiques du bassin versant

Les caractéristiques morpho métriques et hydrographiques du bassin versant de Chertioua sont récapitulées dans le tableau (II.1).

*Tableau (II.1) : Tableau récapitulatif des caractéristiques morphométriques de bassin versant*

Paramètres	Symbole	Unités	Valeurs
Superficie	S	km <sup>2</sup>	110
Périmètre	P	Km	49
Longueur de cours d'eau principale (talweg)	L	Km	27
Altitude maximale	H <sub>max</sub>	M	1494
Altitude moyenne	H <sub>moy</sub>	M	998
Altitude minimale	H <sub>min</sub>	M	696
Altitude H 5%	H <sub>5%</sub>	M	1446
Altitude H 95%	H <sub>95%</sub>	M	846
Longueur du rectangle équivalent	L <sub>r</sub>	Km	18.36
Largeur du rectangle équivalent	l <sub>r</sub>	Km	5.96
Indice de compacité	K <sub>c</sub>	/	1.31
Indice de pente global	I <sub>g</sub>	m/km	32.66
Indice de pente moyenne	I <sub>m</sub>	m/km	40.82
Indice de pente moyenne du talweg	I	%	0.36

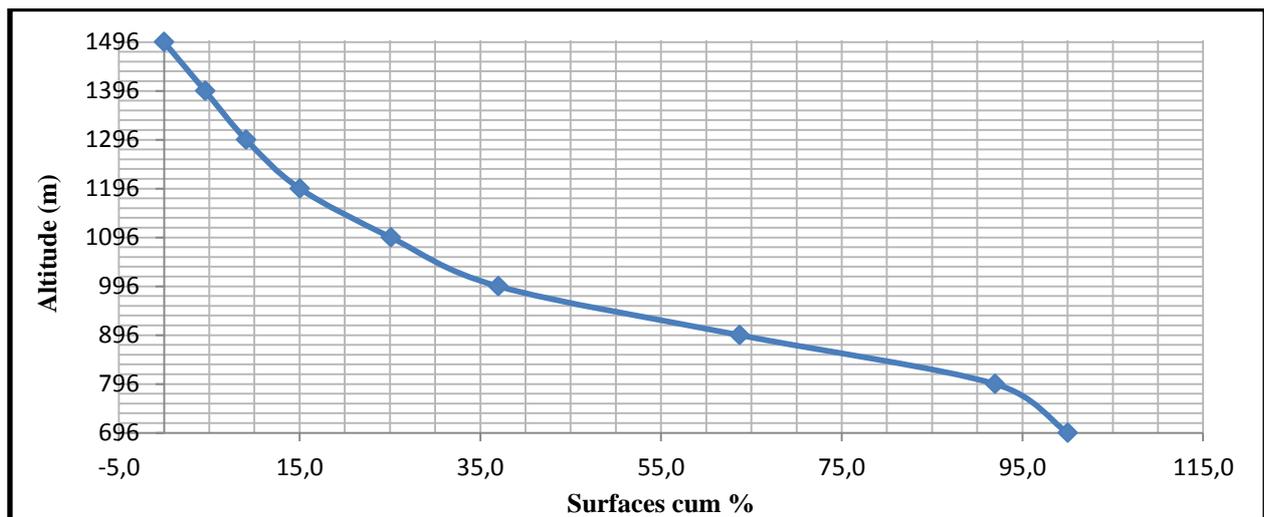
### II.1.2 Courbe hypsométrique et profil de talweg principal

La répartition des surfaces élémentaires et leurs cumule en fonction des altitudes ont été obtenus par projection de la carte d'état-major Algérie Bordj Bou-Arredj 1/25000 sur Map-info. Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau (II.2) : Répartition en pourcentage de la surface élémentaire**

Elévation (m)	$H_{\text{moy}}$	$S_i(\text{km}^2)$	$S_{i\text{cum}}$	$S_i(\%)$	$S_{i\text{cum}}(\%)$
1400 -1496	1447	0	0	0	0
1300 – 1400	1350	5	5	4,5	4,5
1200 – 1300	1250	5	10	4,5	9,1
1100 – 1200	1150	6,53	16,53	5,9	15
1000 – 1100	1050	11,08	27,61	10,1	25,1
900 – 1000	950	13,08	40,69	11,9	37
800 – 900	850	29,38	70,07	26,7	63,7
700 – 800	750	31,08	101,15	28,3	92
696 – 700	698	8,85	110	8	100

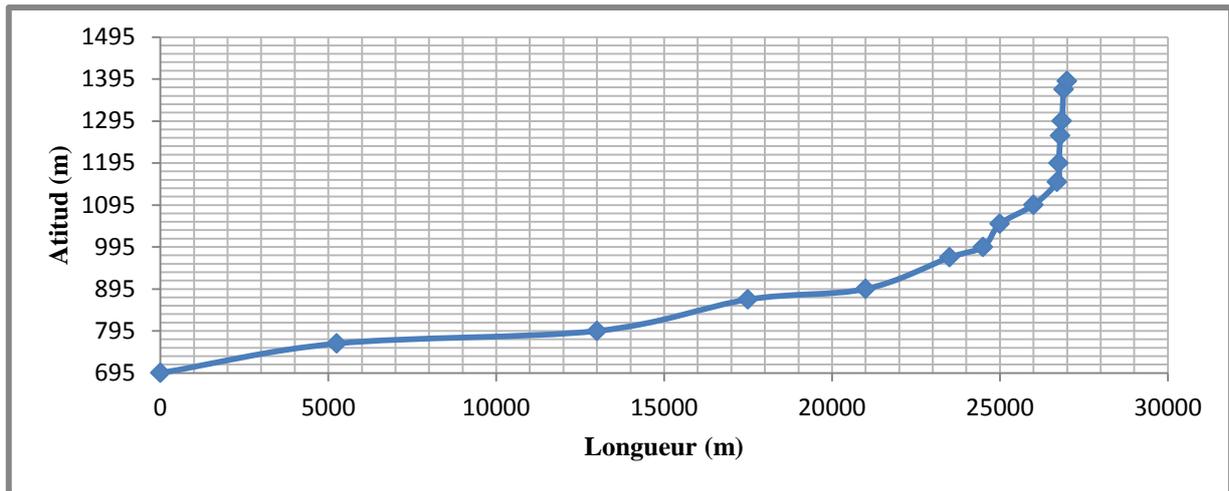
Les résultats du tableau sont représentés sous la forme de la courbe suivante :



**Figure(II.1):** Courbe hypsométrique du bassin versant de Chertioua

#### II.1.2.1 Profil au long du cours d'eau principal du bassin versant de barrage de Chertioua

La longueur du talweg principal  $L_{c,e}$  est de l'ordre de 27 km. Le profil au long de l'oued de Chertioua est illustré sur la figure suivante :



Figure(II.2) : Profil en long du thalweg principal

## II.2 Caractéristiques climatiques du bassin versant de barrage de Chertioua

L'étude climatologique a pour objectif de fournir des données concernant la température de l'air, l'évaporation du plan d'eau, la vitesse du vent et la répartition de la pluie mensuelle dans le site d'étude. Ces données sont nécessaires pour effectuer une étude hydrologique fiable.

### II.2.1 Température de l'air

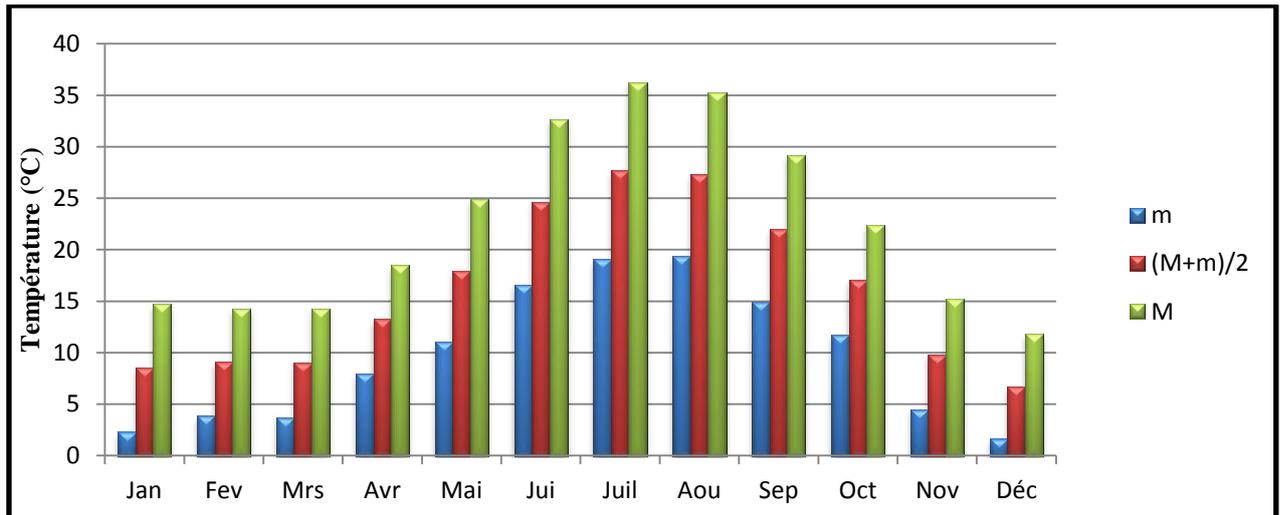
Nous disposant des données climatiques de la station de Zemmoura, les valeurs de températures sont désignées par « m » pour les minimales et par « M » pour les maximales, la valeur moyenne est calculée par :

$$\text{moyenne} = \frac{m + M}{2}$$

La température inter annuelle moyenne se situe autour de 16,1 °C.

Tableau (II.3) : Evolution des températures dans la région du projet

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Aou	Sep	Oct.	Nov.	Déc	Année
m	2,3	3,9	3,7	8,0	11	16,6	19,1	19,4	14,9	11,7	4,5	1,7	9,7
(M+m)/2	8,5	9,1	9,1	13,2	17,9	24,6	27,7	27,3	22,0	17,0	9,85	6,75	16,1
M	14,7	14,3	14,3	18,5	24,9	32,7	36,3	35,3	29,2	22,4	15,2	11,8	22,5



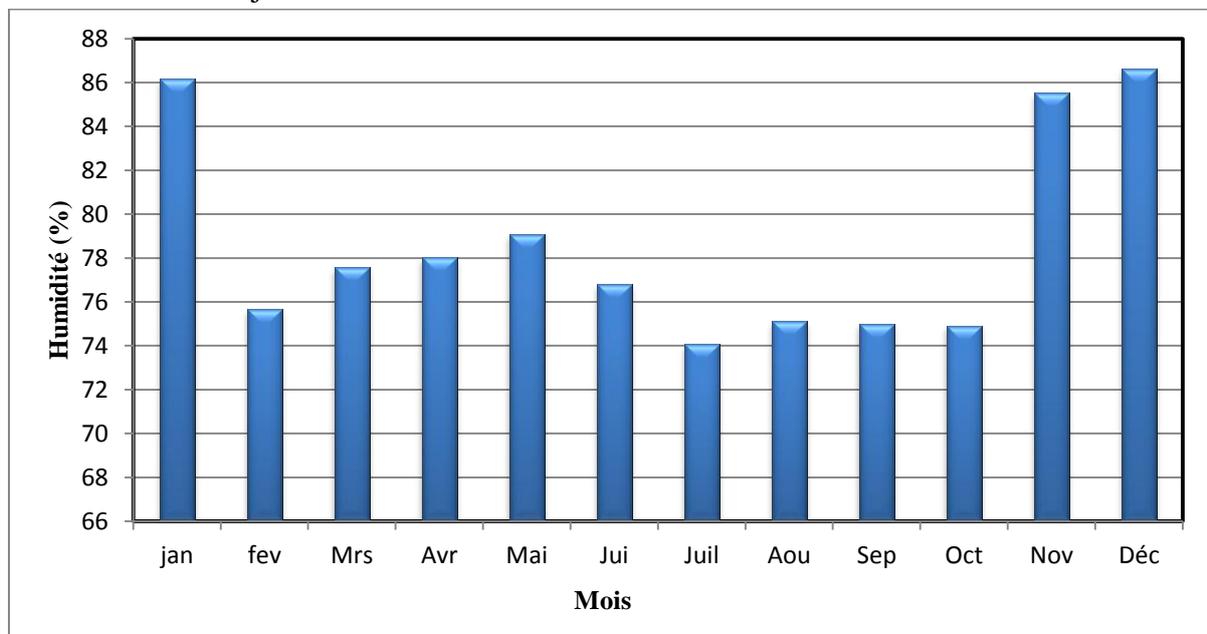
*Figure (II.3) : Histogramme des températures*

### II.2.2 Les Vents

A l'instar de la région de Bordj Bou Arreridj, la commune de Bordj Zemmoura est généralement traversée par des vents de direction Nord-Ouest et de Sud-est pendant la grande partie de l'année, tandis que les vents venant du Sud (Sirocco) sont fréquents en été.

### II.2.3 Humidité de l'air

L'humidité relative moyenne dans la région de Bordj Zemmoura est de 77,2%. Ce taux d'humidité anormalement élevé pour une région située loin de la mer (près de 50 km à vol d'oiseau), est essentiellement dû à l'altitude de la région évoluant entre 990 et 1200 m, ainsi qu'à la situation du barrage d'Ain Zada à 29 km au sud-est de la région, soit dans les axes des vents dominants de Bordj Zemmoura.



*Figure (II.4) : Humidité mensuelle (%)*



## II.2.5 Etude des précipitations

L'étude des précipitations consiste à déterminer les valeurs moyenne et maximale, aussi dans le cas où il y a des manques dans la série de données ou des valeurs erronées, il faut faire une analyse pour y remédier.

### II.2.5.1 Homogénéisation des données pluviométriques

La détection des lacunes qui se présentent dans les séries pluviométriques de différentes stations se fait par la méthode des doubles masses.

### II.2.5.2 Homogénéisation des pluies journalières maximales

La correction des valeurs de la série pluviométrique de Zemoura-Sidi Mbarek est illustrée sur la figure ci-dessous.

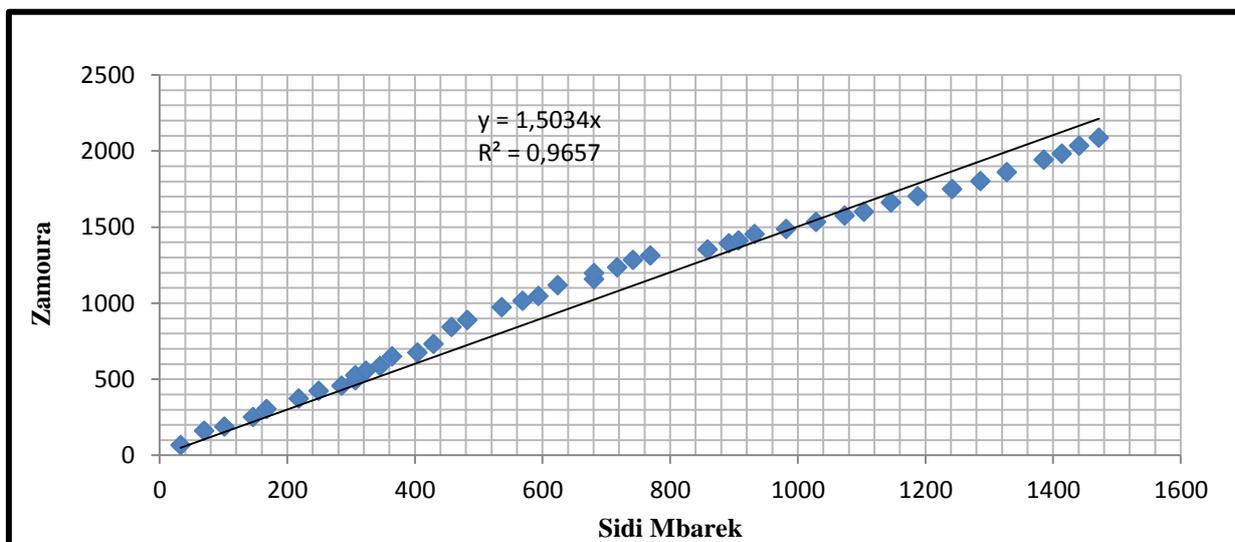


Figure (II.7) : Corrélation simple entre les précipitations maximales journalières Zemmoura-Sidi-Mbarek

### II.2.5.3 Pluies annuelles moyennes

La correction des valeurs de la série pluviométrique de Dar Zemmoura - Sidi-Mbarek est illustrée sur la figure ci-dessous

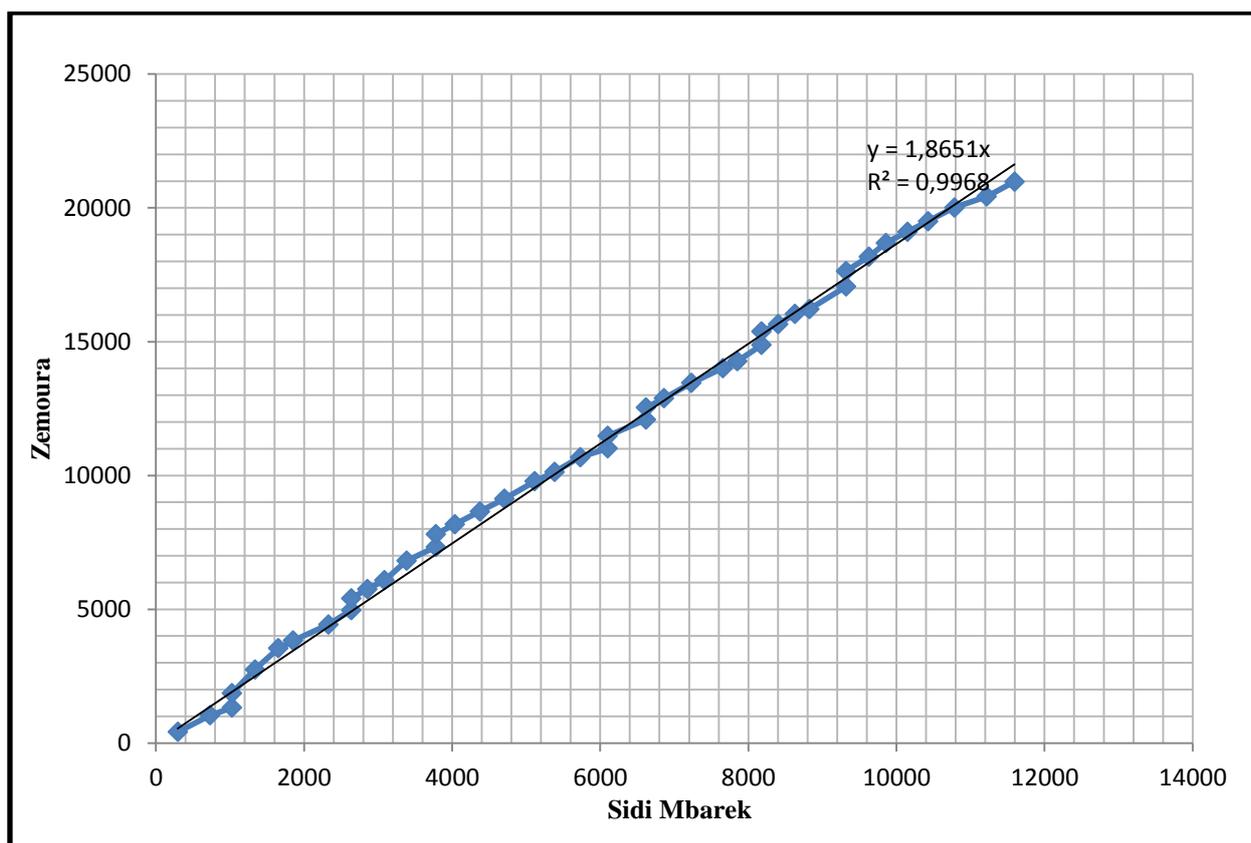


Figure (II.8) : Correction des valeurs de la série pluviométrique Zemmoura-Sidi-Mbarek.

#### II.2.5.4 Pluie mensuelle

Les données sur la pluie moyenne mensuelle sont tirées de la station de Zemmourasur la période 1968-2011.

Tableau (II.5) : Caractéristiques de la station pluviométrique de Zemmoura

Station	Longitude	Latitude (Nord)	Altitude (m)
Zemmoura	4°46'E	36°4'	917

La pluie moyenne annuelle au site du barrage de Chertioua est estimée à 488mm. La répartition mensuelle est consignée dans le tableau (II.6).

Tableau (II.6) : Répartition mensuelle des pluies

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mrs	Avr	Mai	Jun	Jul	Aout	Année
P(%)	5,9	6,8	9,1	17,4	13,8	12,1	12,1	10,7	7,7	2,1	3,1	1,1	100
P (mm)	28,5	32,9	45,1	84,5	67,8	58,7	58,7	53,1	37,5	10,1	6,2	5,2	488

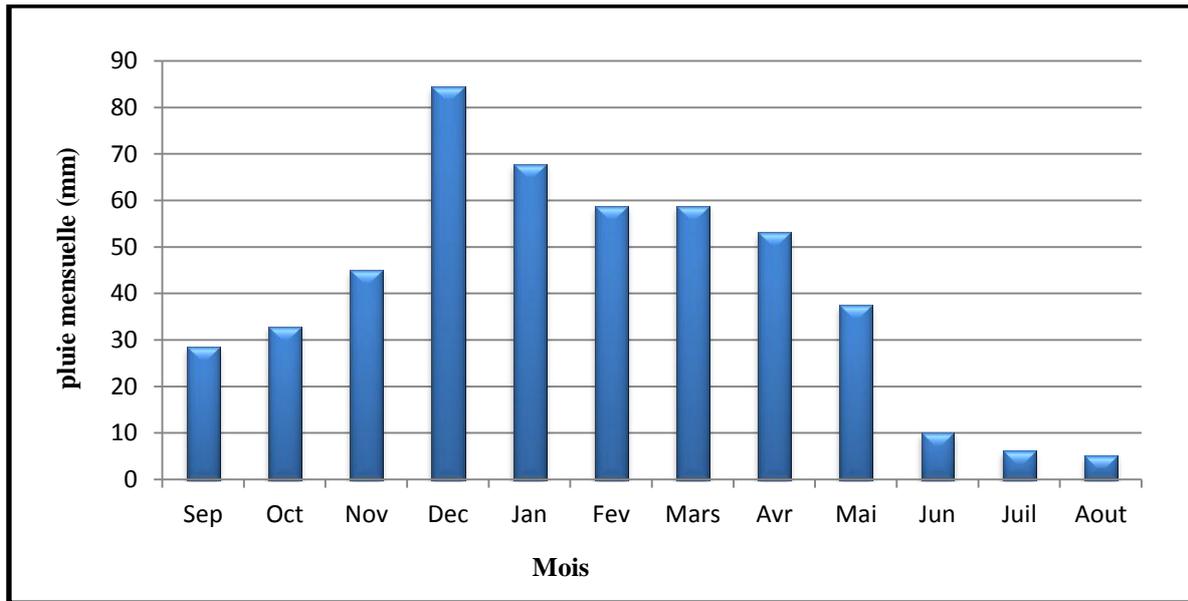


Figure (II 9) : Répartition mensuelle des pluies

### II.2.5.5 Ajustement des pluies maximales journalières

L'ajustement de la série des pluies maximales journalières est effectué à l'aide du logiciel HYFRAN, les résultats de l'ajustement sont les suivants :

#### II.2.5.5.1 Ajustement loi Gamma

L'ajustement à la loi Gamma de la série des pluies maximales journalières est illustré sur la figure ci-dessous :

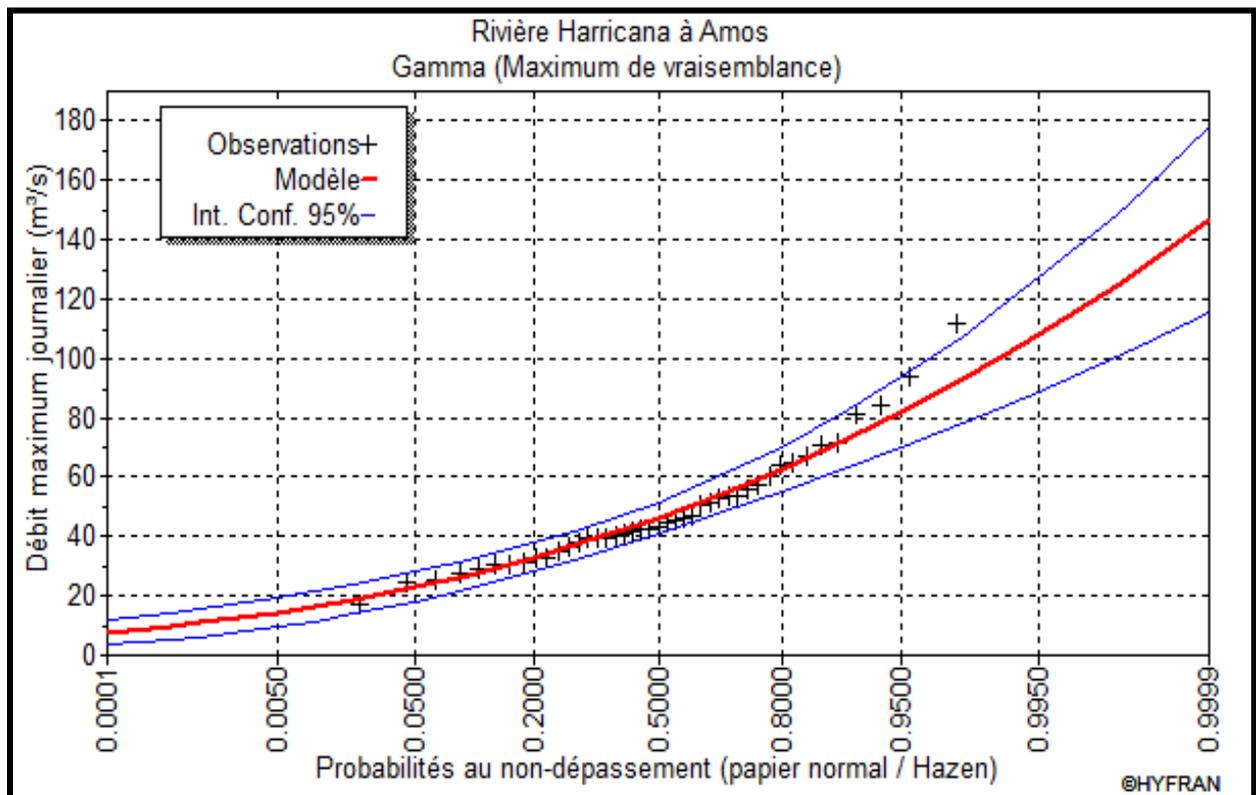


Figure (II.10) : Ajustement à la loi de Gamma (Maximum de vraisemblance).

**A) Test d'adéquation : Test de Pearson III ou du  $\chi^2$** **A.1) Hypothèses**

- $H_0$  : L'échantillon provient d'une loi Gamma;
- $H_1$  : L'échantillon ne provient pas d'une loi Gamma.

**A.2) Résultats**

Résultats de la statistique :  $\chi^2 (4.09) < \chi^2_{25\%} (12.59)$ , donc l'ajustement n'est pas satisfaisant.

- Degrés de liberté : 6 ;
- Nombre de classes : 9.

**A.3) Conclusion**

Nous pouvons accepter  $H_0$  au niveau de signification  $\alpha = 5\%$ .

**B) Résultats de l'ajustement**

- Nombre d'observations :  $N = 43$  ;
- Paramètres :  $u = 7.12895$ ;  $\alpha = 0.146756$
- Quantiles :  $P = F(X)$  (probabilité au non dépassement) ;
- $T = 1/(1-P)$  (période de retour).

Les pluies maximales journalières fréquentielle estimée à l'aide de la fonction distribution Gamma sont présentées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau (II.7) : Pluies maximales journalières fréquentielle estimée à l'aide de la fonction distribution Gamma**

T	P	Pjmax	Intervalle de confiance (95%)
10000	0.9999	147	115 – 178
2000	0.9995	131	105 – 158
1000	0.999	124	100 – 149
200	0.995	108	88.9 – 127
100	0.99	101	83.6 – 117
50	0.98	92.8	78.1 – 108
20	0.95	81.9	70.0 - 93.7
10	0.9	72.9	63.2 - 82.5
5	0.8	62.9	55.3 - 70.4

**II.2.5.5.2 Ajustement à la loi log- normal**

L'ajustement de la série des pluies maximales journalières sera effectué à l'aide du logiciel «HYFRAN ».

**A) Test d'adéquation : Test de Pearson III ou du  $\chi^2$** **A.1) Hypothèses**

- $H_0$  : L'échantillon provient d'une loi log-normal ;
- $H_1$  : L'échantillon ne provient pas d'une loi log-normal.

### A.2) Résultats

Résultats de la statistique :  $\chi^2(4.09) < \chi^2\alpha 5 \%(12.59)$ , donc l'ajustement est satisfaisant.

- Degrés de liberté : 6 ;
- Nombre de classes : 9.

### A.3) Conclusion

Nous pouvons accepter  $H_0$  au niveau de signification  $\alpha = 5 \%$ .

L'ajustement à la loi Log-Normal de la série des pluies maximales journalières est illustré sur la figure ci-dessous.

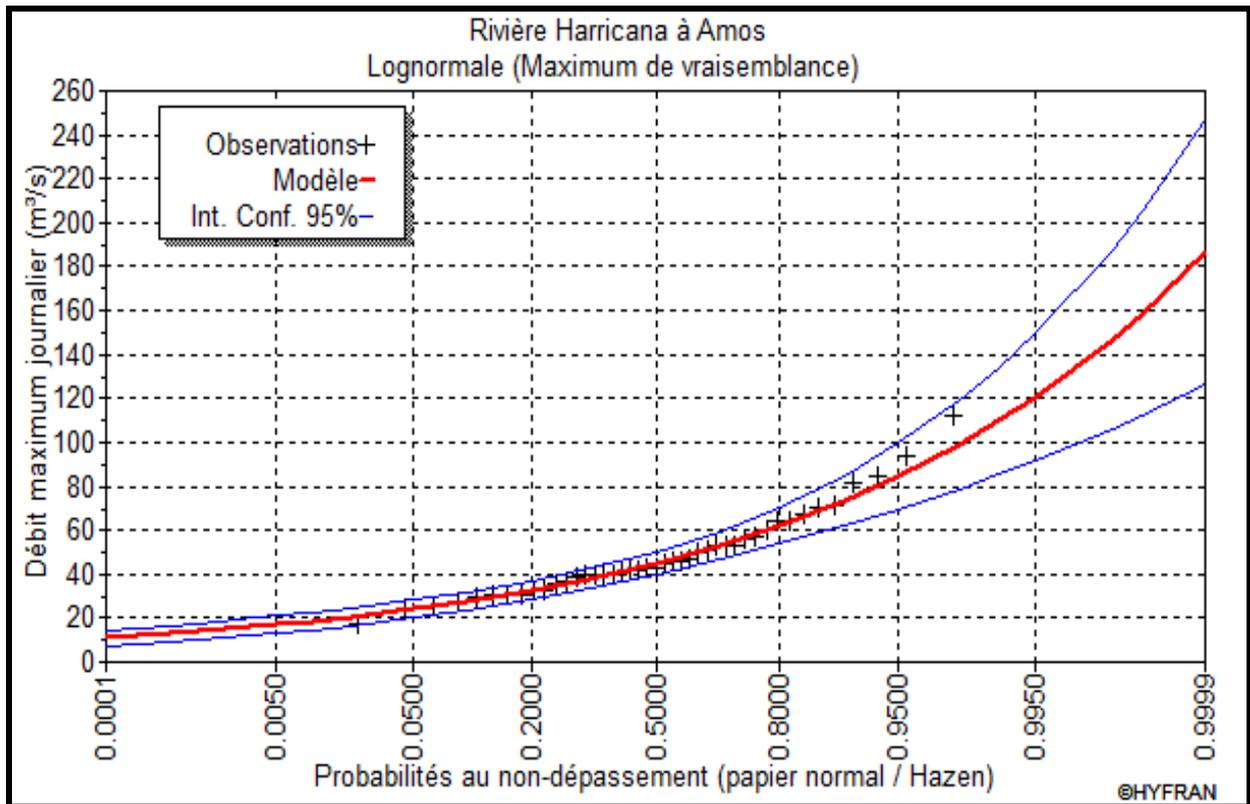


Figure (II.11) : Ajustement à la loi de Log-Normale (Maximum de vraisemblance).

### B) Résultats de l'ajustement

- Nombre d'observations :  $N = 43$  ;
- Paramètres :  $\mu = 3.81137$ ;  $\alpha = 0.38117$
- Quantiles :  $P = F(X)$  (probabilité au non dépassement) ;
- $T = 1/(1-P)$  (période de retour).

Les pluies maximales journalières fréquentielle estimée à l'aide de la fonction distribution Log-Normal sont présentées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau (II.8) : Pluies maximales journalières fréquentielle estimée à l'aide de la fonction distribution Log-Normal**

T (ans)	Probabilité (P)	Pmax,j (mm)	Intervalle de confiance (95%)
10000	0.9999	187	126 – 247
2000	0.9995	158	112 – 205
1000	0.999	147	106 – 187
200	0.995	121	91.9 – 150
100	0.99	110	85.5 – 134
50	0.98	98.9	78.9 – 119
20	0.95	84.6	69.7 - 99.5
10	0.9	73.7	62.3 - 85.1
5	0.8	62.3	54.0 - 70.6

### II.2.5.5.3 Ajustement à la loi Gumbel

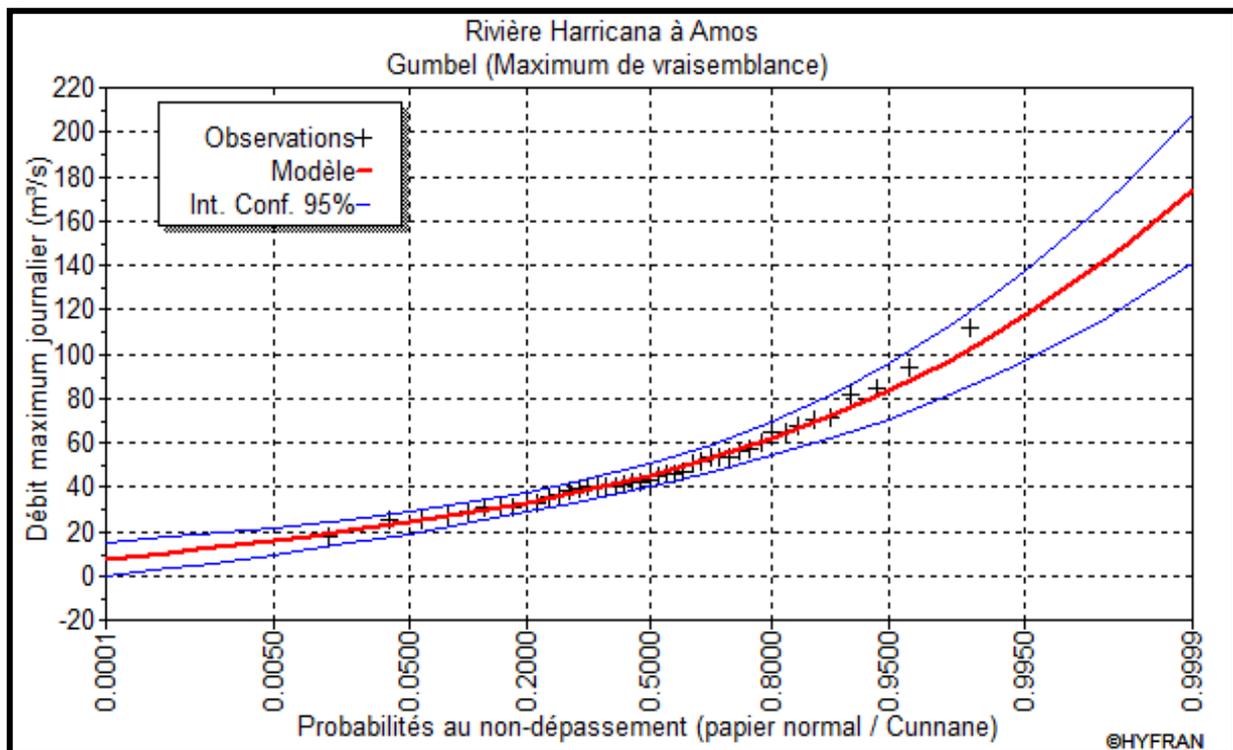
L'ajustement de la série des pluies maximales journalières sera effectué à l'aide du logiciel « HYFRAN »

A) **Test d'adéquation** : Test de Pearson III ou du :  $\chi^2$

#### A.1) Hypothèses

- $H_0$  : L'échantillon provient d'une loi de Gumbel ;
- $H_1$  : L'échantillon ne provient pas d'une loi de Gumbel.

L'ajustement à la loi Gumbel de la série des pluies maximales journalières est illustré sur la figure ci-dessous.



**Figure (II.12) : Ajustement à la loi de Gumbel.**

**A.2) Résultats**

Résultats de la statistique :  $\chi^2 (4.09) < \chi^2 5 \% (12.59)$ , donc l'ajustement est satisfaisant.

- Degrés de liberté : 6 ;
- Nombre de classes : 9.

**A.3) Conclusion**

Nous pouvons accepter  $H_0$  au niveau de signification de 5 %

**B) Résultats de l'ajustement**

- Nombre d'observations :  $N = 43$  ;
- Paramètres :  $u = 39.94$ ;  $\alpha = 14.5776$
- Quantiles :  $P = F(X)$  (probabilité au non dépassement) ;
- $T = 1/(1-P)$  (période de retour).

Les pluies maximales journalières fréquentielle estimée à l'aide de la fonction distribution Gumbel sont présentées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau (II.9) : Pluie maximale journalière fréquentielle ajustée à la loi Gumbel.**

T (ans)	Probabilité(P)	Pmax,j (mm)	Intervalle de confiance (95%)
10000	0.9999	187	126 – 247
2000	0.9995	158	112 -205
1000	0.999	147	106 – 187
200	0.995	121	91.9 – 150
100	0.99	110	85.5 – 134
50	0.98	98.9	78.9 – 119
20	0.95	84.6	69.7 – 99.5
10	0.9	73.7	62.3 – 85.1
5	0.8	62.3	54.0 -70.6

La loi la plus adéquate pour l'ajustement de la série pluviométrique des pluies maximales journalières de Zemoura est celle de Gumbel.

**II.3 Etude des écoulements**

Le manque des longues séries d'observations hydrologiques suffisamment longue ( $n > 30$ ) au niveau des bassins limitrophes nous conduit à utiliser certaines méthodes et formules empiriques pour l'estimation de l'Écoulement Moyen Interannuel.

**- Formule de Samie**

$$E_0 = P_a^2 (293 - 2.20\sqrt{S})$$

Où :

- $E_0$  – Écoulement moyen interannuel, en mm ;
- $P_a$  – Pluie moyenne interannuelle, en m ;
- $S$  – Surface du bassin versant, en  $\text{km}^2$ .

**-Formule de Maillet et Gauthie**

$$E_0 = 0.6 P_a \left(1 - 10^{-0.36 P_a^2}\right) 10^3$$

Où :

- $E_0$  – Écoulement moyen interannuel, en mm ;
- $P_a$  – pluie moyenne interannuelle, en m.

**-Formule dite ‘Algérienne’**

$$E_0 = P_a \left(1 - 10^{-k P_a^2}\right) 10^3$$

Où :

- $E_0$  – Écoulement moyen interannuel, en mm
- $P_a$  – Pluie moyenne interannuelle, en m ;
- $k=0.18-0.01 \log S$

**- Formule de TURC**

$$E_0 = P_o - \frac{P_o}{\sqrt{0.9 + \frac{P_o^2}{L^2}}}$$

Où:

- $L = 300 + 25T_o + 0.05T_o^3$  ;
- $T_a$  – Température moyenne annuelle, en °C.

**- Formule de l'ARNH (Sogreah)**

$$E_0 = 720 \left( \frac{P_a - 150}{1000} \right)^{1.85}$$

Où :

- $E_0$  – Écoulement moyen interannuel, en mm ;
- $P_a$  – Pluie moyenne interannuelle, en mm.

**-Formule de Ladjel**

Cette formule est développée sur la base de toutes les données hydro-pluviométriques de tous les bassins versants de la partie Nord de l'Algérie [1]:

$$E_0 = \alpha_o \cdot P_o$$

$$\alpha = C_\alpha \frac{P_o^{3/2} H^{1/10}}{S^{1/6}}$$

Où :

- $C_\alpha$  – Coefficient climatique de l'écoulement.

**- Formule de Coutagne**

$$E_o = P_o - D_o$$

$$D_o = P_o - m P_o$$

Où :

–  $P_a$  – Pluie moyenne interannuelle, en m.

–  $D_o$  – Déficit d'écoulement, en mm.

$$m = \frac{1}{0.8 + 0.6 t^o}$$

–  $t^o$  – Température moyenne interannuelle, en °C.

**Tableau(II.10) : Ecoulement moyen interannuel par les différentes formules**

Formule	Samie	M. et G.	Algérienne	ANRH(Sogreah)	Turc	Ladjel	Coutagne
$E_0$ (mm)	64.27	52.4	34.4	30.6	96.8	93	477

Certaines formules ne tiennent pas compte de la variabilité climatique des facteurs générateurs de l'écoulement. Alors que l'approche méthodique de Ladjel est vérifiée sur la base des données hydro-pluviométriques disponibles de la partie Nord de l'Algérie. C'est la raison pour laquelle on adopte la valeur 93 mm.

### II.3.1 Caractéristiques de l'écoulement moyen

#### A) Module de l'écoulement

$$Me = \frac{E_0}{T_a}$$

Me : Module de l'écoulement (l/s) ;

$E_0$ : Ecoulement moyen interannuel (Mm<sup>3</sup>);

Ta : Le temps d'une année en seconde.

Le module de l'écoulement est de l'ordre de 324.39 (l/s)

#### B) Module de l'écoulement relatif

Le module de l'écoulement relatif est estimé par la formule suivante :

$$M_0 = \frac{M_e}{S}$$

–  $M_0$ : Module de l'écoulement relatif (l/s.Km<sup>2</sup>)

– Me : Module de l'écoulement, (l/s)

– S : Superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>)

Le module de l'écoulement relatif est de l'ordre de 2.94 l/s.km<sup>2</sup>.

### II.3.2 Etude des écoulements fréquents

L'estimation fréquentielle des écoulements peut être envisagée par l'application d'une loi Log-Normale (loi de Galton) recommandée par l'Agence Nationale des Barrages et Transferts et

l'ajustement fréquentiel de la série hydrométrique reconstitué par les formules empiriques précédentes.

### II.3.2.1 Loi de Galton

La loi de Galton (Log-Normal) pour l'estimation de l'écoulement fréquentiel se présente sous la forme suivante :

$$E_{p\%} = \frac{E_0}{\sqrt{C_v^2 + 1}} e^{U_{p\%} \sqrt{\ln(C_v^2 + 1)}}$$

Avec :

- $E_F$ : Ecoulement fréquentiel ; (mm)
- $E_0$ : Ecoulement moyen interannuel (mm);
- $U_F$ : Variable réduite de Gauss ;
- $C_v$ : Coefficient de variation de l'écoulement moyen.

#### A) Coefficient de variation moyen de l'écoulement

Pour la détermination du coefficient de variation moyen des écoulements annuels du cours d'eau de Chertioua, on utilise les formules empiriques suivantes :

##### - Formule de Sokolovski-Chevliev

La formule de Sokolovsky-Chevliev pour l'estimation du coefficient de variation moyen des écoulements annuels est la suivante

$$C_v = 0,78 - 0,29 \cdot \log(M_0) - 0,063 \cdot \log(S + 1)$$

Avec :

- $C_v$ : Coefficient de variation moyen de l'écoulement annuel ;
- $M_0$ : Module spécifique de l'écoulement annuel (l/s.km<sup>2</sup>) ;
- $S$  : Superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>)

Le coefficient de variation de l'écoulement moyen est de l'ordre de : 0.77.

##### - Formule de l'ANRH

La formule de l'ANRH pour l'estimation du coefficient de variation moyen des écoulements annuels est la suivante

$$C_v = \frac{0.70}{M_0^{0.125}}$$

- $C_v$ : Coefficient de variation moyen de l'écoulement annuel ;
- $M_0$ : Module spécifique de l'écoulement annuel (l/s.km<sup>2</sup>).

Le coefficient de variation de l'écoulement moyen est de l'ordre de : 0.63.

On opte pour une valeur moyenne des résultats précédentes, alors le coefficient de variation moyen de l'écoulement annuel est de l'ordre de :  $C_v = 0.70$ . Alors, l'écoulement fréquentiel se présente sous la forme suivante :

- $E_{80\%} = 45.9$  mm

Le volume d'écoulement fréquentiel est de l'ordre de :

$$VE_{80\%} = 5.05 \text{ Mm}^3$$

### II.3.2.2 Répartition mensuelle de l'écoulement fréquentiel

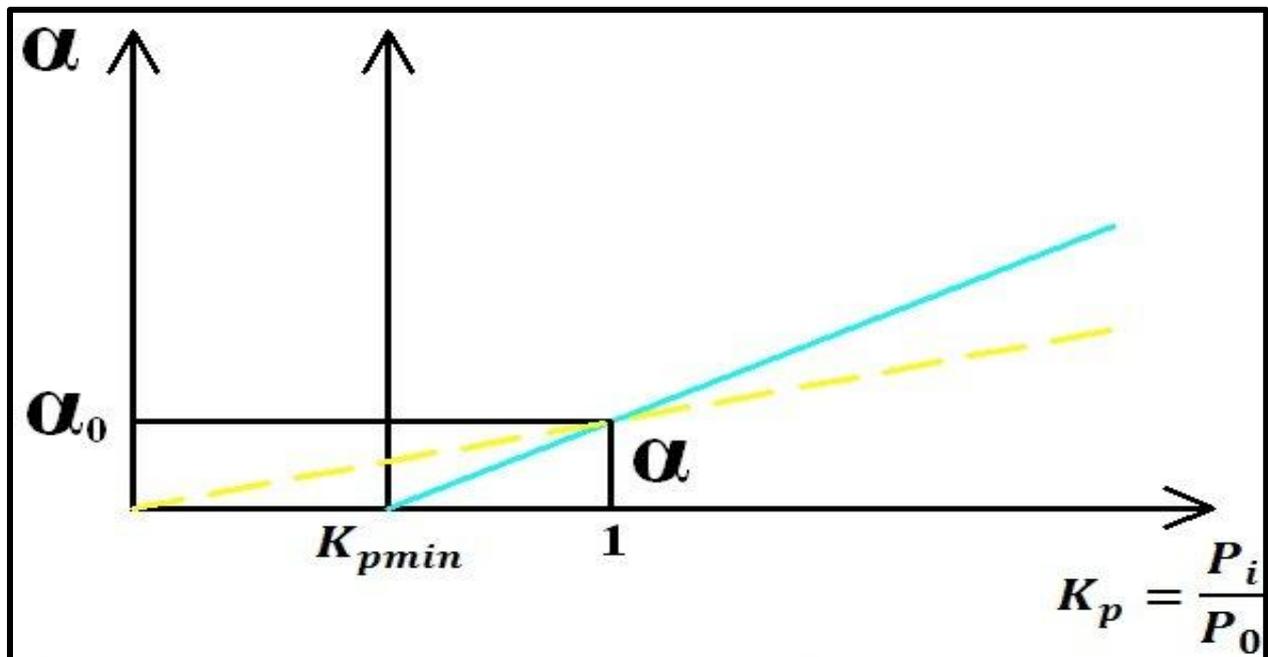
La répartition mensuelle de l'écoulement moyen annuel et de l'écoulement fréquentiel annuel suivent la même répartition mensuelle des précipitations. La distribution mensuelle de l'écoulement moyen annuel et des écoulements fréquents sont présentées et illustrées sur le tableau suivant :

**Tableau (II.11) : Répartition mensuelle de l'écoulement fréquentiel**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jun	Jul	Aout	Année
$E_{80\%}(\%)$	1,7	1,3	2,0	7,1	19,1	23,8	20,3	12,6	5,9	2,9	1,9	1,3	100
$E_{80\%}(\text{Mm}^3)$	0,08	0,06	0,1	0,35	0,96	1,2	1,02	0,63	0,29			0,06	5,05

### II.3.3 Analyse fréquentiel

Sachant que nous ne disposons pas d'une série d'écoulement, à l'aide de la méthode de Ladjel, on a pu reconstituer une série hydrométrique de l'oued de Chertioua ainsi la transformation des pluies en écoulements



**Figure (II.13) : La fonction  $\alpha = F(Kp)$**

La seule donnée sur l'écoulement est la moyenne interannuelle  $E_0$ . La moyenne de la pluie est calculée par  $P_0 = \frac{\sum P_i}{n}$ , ceci permet de déterminer le coefficient de l'écoulement  $\alpha_0 = \frac{E_0}{P_0}$ .

Dans un système d'axe  $(\alpha, 0, K_p)$  où  $K_p$  exprime le rapport  $(\frac{P_i}{P_0})$ . On distingue le point  $(1, \alpha_0)$  et le point  $(K_{pmin}, 0)$ , avec  $K_{pmin} = \frac{P_{min}}{P_0}$ ,  $P_{min}$  est la quantité annuelle qui n'engendre pas l'écoulement.

La droite qui passe par les deux points A et B peut être exprimé par :

$$\alpha_i - \alpha_0 = \frac{\alpha_0}{1 - K_{pmin}} (K_{p_i} - 1)$$

$$\alpha_i = \frac{\alpha_0}{1 - K_{p_i}} - \frac{\alpha_0}{1 - K_{pmin}} + \alpha_0$$

Après quelques transformations, on aura :

$$\alpha_i = \frac{\alpha_0}{1 - K_{P_{min}}} (K_{P_i} - K_{P_{min}}).$$

Alors on peut transformer les pluies  $P_i$  en écoulement :

$$E_i = \alpha_i \cdot P_i.$$

- $P_0$  : La pluie moyenne interannuelle
- $P_i$  : La pluie moyenne annuelle
- $P_{min}$  : La pluie minimale
- $\alpha_0$  : Coefficient de l'écoulement moyen interannuel ;

✓ **Formule de SVAMIDZE pour déterminer  $P_{min}$  [2]:**

$$\frac{P_{min}}{P_0} = e^{(-4,5.C_V)}$$

$$P_{min} = P_0 \cdot e^{(-4,5.C_V)}$$

Donc :  $P_{min} = 119$  mm

**Tableau(II.12) : Tableau récapitulatif de calcul**

Année	Pluie	$K_{P_{min}}$	$K_P$	A	$\alpha_i$	$E_i$
1968	417,7	0,24	0,86	0,31	0,19	80,1
1969	621	0,24	1,27	0,25	0,31	190,1
1970	282,9	0,24	0,58	0,40	0,07	18,9
1971	544,1	0,24	1,11	0,09	0,25	134,5
1972	885,2	0,24	1,81	0,33	0,50	445,3
1973	795,5	0,24	1,63	0,67	0,66	522,0
1974	284	0,24	0,58	0,87	0,13	35,7
1975	600,8	0,24	1,23	0,17	0,20	119,3
1976	535,8	0,24	1,10	0,26	0,26	140,8
1977	441,25	0,24	0,90	0,35	0,20	89,9
1978	346,7	0,24	0,71	0,27	0,16	55,1
1979	330	0,24	0,68	0,21	0,17	55,7
1980	725,5	0,24	1,49	0,22	0,35	250,8
1981	519,8	0,24	1,07	0,46	0,27	138,7
1982	479,1	0,24	0,98	0,35	0,23	110,5
1983	368	0,24	0,75	0,30	0,16	59,6
1984	480	0,24	0,98	0,21	0,23	112,1
1985	474	0,24	0,97	0,31	0,23	108,1
1986	653,9	0,24	1,34	0,30	0,34	222,0
1987	353	0,24	0,72	0,45	0,11	39,8
1988	549,4	0,24	1,13	0,15	0,26	140,5
1989	326,6	0,24	0,67	0,34	0,13	40,9
1990	467,7	0,24	0,97	0,17	0,23	107,6
1991	608,8	0,24	1,25	0,30	0,31	190,1
1992	449,7	0,24	0,92	0,41	0,20	92,0

1993	346,5	0,24	0,71	0,27	0,16	54,9
1994	572,8	0,24	1,17	0,21	0,27	156,6
1995	55,6	0,24	1,14	0,36	0,29	159,5
1996	255	0,24	0,52	0,38	0,06	14,2
1997	609,7	0,24	1,25	0,07	0,26	155,7
1998	503,5	0,24	1,03	0,34	0,25	124,7
1999	275,9	0,24	0,57	0,33	0,09	26,1
2000	378,1	0,24	0,77	0,13	0,21	79,0
2001	177,7	0,24	0,36	0,28	0,06	10,9
2002	847,1	0,24	1,74	0,08	0,30	251,4
2003	579,5	0,24	1,19	0,39	0,31	180,0
2004	534,1	0,24	1,09	0,41	0,28	147,3
2005	515,2	0,24	1,06	0,36	0,26	132,6
2006	418	0,24	0,86	0,34	0,19	78,7
2007	395	0,24	0,81	0,25	0,19	74,9
2008	511	0,24	1,05	0,25	0,25	127,1
2009	413,9	0,24	0,85	0,33	0,19	77,4
2010	552,4	0,24	1,13	0,25	0,27	149,0

### II.5.3.1 Construction de la courbe empirique des fréquences

La série est exprimée sous forme de lame d'écoulement annuel. En admettant que cet échantillon est représentatif, on construit alors la courbe des fréquences empiriques à l'aide de logiciel (Origine).

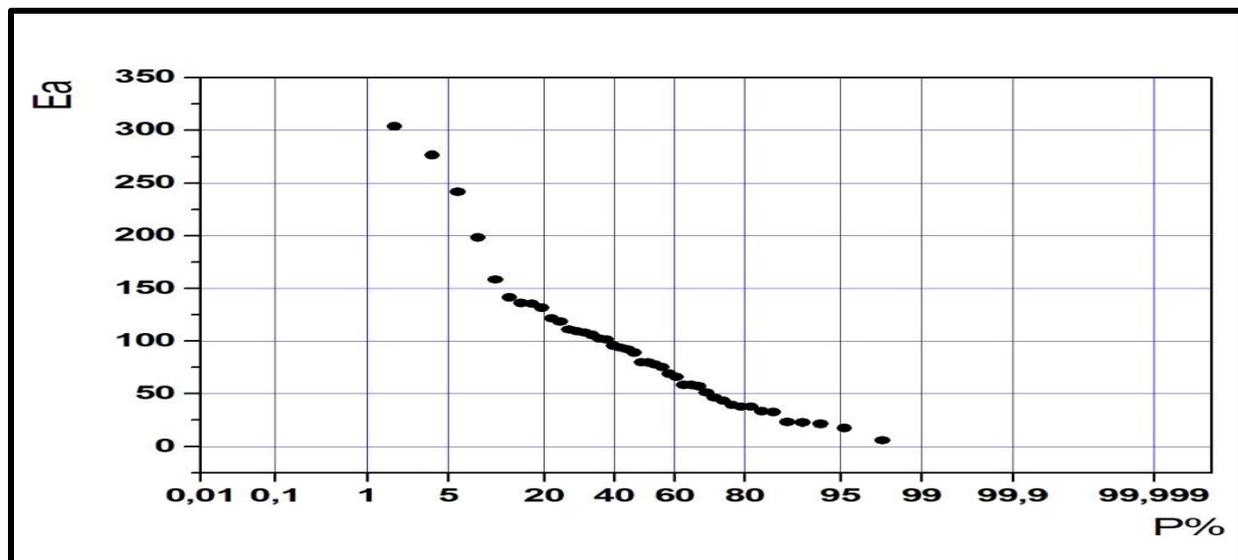


Figure (II.14) : Courbe empirique des fréquences de l'écoulement annuel

### II.5.3.2 Estimation des paramètres statistiques

A l'aide du logiciel de Stokstat, on a trouvé les valeurs suivantes :

**Tableau(II.13) : Récapitulatif des résultats**

Paramètre	Écoulement	Pluie
N	43	43
Moyenne	93	488
$C_V$	0,70	0.401
$C_S$	1,82	0.56
R	0,012	0

## II.4 Écoulement Solide

L'écoulement solide est estimé par la méthode de l'érosion spécifique à l'aide des formules empiriques.

### II.4.1 Erosion spécifique

L'érosion spécifique est calculée par la formule de TIXERON :

#### A) Formule de Tixeron-Sogreah

La formule de Tixeron-Sogreah pour l'estimation de l'érosion spécifique est exprimée comme suit[3]:

$$T_a = 92 E_o^{0.21} = 238 T/\text{km}^2/\text{an}$$

Où:

- $T_a$  – Taux d'abrasion, T/km<sup>2</sup>/an ;
- $E_o$  – Écoulement liquide moyen interannuel, mm.

En tenant compte du poids spécifiques moyen des sédiments  $\gamma = 1.4 \text{ T/m}^3$ . Le volume annuel est exprimé comme suit:

$$V_s = \frac{T_a \cdot S}{\gamma} = 18700 \text{ m}^3/\text{an}$$

### II.4.2 Volume mort

$$V_m = V_s \cdot V_u$$

Avec :

- $V_u$  : Vie utile de l'ouvrage, [ $V_u = 50$  ans]

Le volume mort est de l'ordre de  $936276 \text{ m}^3 \approx 1 \text{ Mm}^3$

## II.5 Etude des crues

Le but de cette partie est de déterminer les hydrogrammes des crues fréquents sur le bassin versant et de définir les débits maxima probables correspondants.

### II.5.1 Temps de concentration

- *Formule de Befani A. N.*

Le temps de concentration est exprimé par :

$$t_c = L / v_c$$

Où :

- $L$  - la longueur du cours d'eau principal exprimée en km ;
- $v_c$  - la vitesse de concentration de la phase maximale de la crue, en km/h.

La vitesse de concentration, par Befani A.N., pour les petits bassins versants, est exprimée comme suit :

$$v_c = 0.75 S^{1/5} I^{1/3}$$

Où:

- $v_c$  - La vitesse de concentration, en km/h ;
- $S$  - La superficie du bassin versant, en km<sup>2</sup> ;
- $I$  - La pente moyenne du talweg principal, en %.

#### - Formule de Sogreah (1986/89)

Une formule a été développée par Sogreah sur demande de l'ANRH, elle est vérifiée et recommandée pour les petits bassins versants de l'Algérie, s'écrit :

$$t_c = 3 \left( \frac{S l_{c.e}}{(10.i)^{3/2}} \right)^{1/4}$$

où:

- $t_c$  - Temps de concentration, en h,
- $S$  - Superficie du bassin versant, en km<sup>2</sup> ;
- $l_{c.e}$  - Longueur du talweg principal, en km ;
- $i$  - Pente du talweg principal, en %.

#### - Formule de Giandotti

Développée en Italie, elle est exprimée comme suit :

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5 l_{c.e}}{0.8\sqrt{H_{moyen} - H_{min}}}$$

Où:

- $S$  - Superficie du bassin versant, en km<sup>2</sup> ;
- $l_{c.e}$  - Longueur du thalweg principal, en km.
- $H_{moyen}$  - Altitude moyenne, en m .
- $H_{min}$  - Altitude minimale, en m.

#### - Formule d'Ivanenko

La formule d'Ivanenko est développée pour estimer la vitesse de propagation des débits maximums des crues pluviales dans les conditions montagneuses des Karpats en Ukraine:

$$V_c = AS^{0,32} I^{0,5}$$

où:

- $A = \varphi(S)$  - coefficient qui dépend de la superficie du bassin versant.

- $S$  - superficie du bassin versant, en km<sup>2</sup>.

$$I = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{l_{c.e}} \text{‰} - \text{pente brute.}$$

### - Formule de Ladjel

Formule de calcul du temps de concentration fluviale est développée pour les régions semi-aride [4] :

$$t_c = \frac{l_{ce}}{a S^b I^{0,34}} \text{ en heur}$$

Avec :

- $l_{ce}$  - longueur du cours d'eau, en km ;
- $S$  - superficie du bassin versant, en km<sup>2</sup> ;
- $I$  - pente moyenne du cours d'eau, ‰

Les paramètres  $a$  et  $b$  dépendent de la fréquence  $P$  :

$$b = 0,17 P^{0,08} \quad a = \frac{1,08}{P^{0,14}}$$

**Tableau (II.14) : Tableau récapitulatif des résultats**

Befani	4.809 h
Giandotti	5.93 h
Sogreah	2.79 h
Ladjel	5.36 h
Goptchenko	5.93 h

## II.5.2 Pluies de courtes durées

Pour la détermination des données pluviométriques des pluies de courte durée (averses), on a fait appel à deux méthodes générales homologuées par l'ANRH.

### II.5.2.1 Estimation des caractéristiques pluviométrique

Pour la détermination des caractéristiques pluviographiques, on prend en considération les stations pluviométriques de la région les plus proches ou faire une analyse concernant leur répartition dans l'espace.

Les valeurs des caractéristiques adoptées sont dans le tableau :

**Tableau(II.15) : Les caractéristiques pluviométriques de la région de l'étude**

N°	Désignation	Symbole	Valeur
1	Pluie moyenne interannuelle	$P_a$	488 mm
2	Pluie maximale journalière moyenne	$P_{\max,j}$	54 mm
3	Coefficient de variation	$C_v$	0.401
4	Coefficient climatique	$B$	0.375

### II.5.2.2 Etude pluviométrique générale de K. Body

Cette méthode équivaut les courbes I.D.F. La détermination des principaux paramètres pluviographiques (pluie moyenne annuelle  $P_a$ , pluie moyenne journalière maximum annuelle  $\bar{P}_{\max,j}$ , exposant climatique  $b$  et coefficient de variation  $C_v$ ) par station possédant de longues séries d'observations. Cette étude a été complétée par une généralisation spatiale de ces caractéristiques pluviométriques en tenant compte des coordonnées géographiques.

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

$$P_{j,P\%} = \frac{P_{\max,j}}{\sqrt{C_v^2 + 1}} e^{u_{P\%} \sqrt{\ln(C_v^2 + 1)}}$$

Où:

- $P_{t,P\%}$  - lame de pluie durant le temps  $t_c$  de fréquence P%.
- $P_{j,P\%}$  - lame de pluie journalière de fréquence P%.
- $t$  - Durée, heure.
- $b$  - Paramètre climatique.
- $P_{\max,j}$  - lame de pluie journalière maximale moyenne.
- $C_v$  - Coefficient de variation de la pluie maximale.
- $u_{P\%}$  - Constante de Gauss.

Les pluies de courte durée de différentes fréquences sont présentées dans le tableau

**Tableau (II.16) : Estimation des pluies de courte durée pour différentes fréquences**

	$P_{tc,1\%}$	$P_{tc,2\%}$	$P_{tc,5\%}$	$P_{tc,10\%}$
$P_{j,P\%}$ , mm	123.24	110.61	94.39	82.14
Body 1982	69.94	62.77	53.88	46.62

### II.5.2.3 Estimation des lames ruisselées

La lame de pluie, tombée sur un bassin versant, est partagée en plusieurs composantes : l'imbibition du sol, la rétention dans les micros dépressions et dans le sol, la rétention par la couverture végétale, l'infiltration dans le sol et le ruissellement superficiel. Les quatre premières composantes constituent les pertes totales des eaux pluviales. Alors que la cinquième composante « ruissellement superficiel » engendre le débit maximum. La lame ruisselée est exprimée à travers la multiplication de la lame de pluie par un coefficient moyen de ruissellement. Selon Ladjel, le coefficient de ruissellement  $\alpha_{tc,p\%}$  est exprimé comme suit[5] :

$$\alpha_{tc,p\%} = 1 - \left( P_{tc,p\%} - P_o \right)^{n-1}$$

Où:

$$n = 1 - \frac{C_{p\%}}{\ln(P_{tc,p\%} - P_o)}$$

- $P_{t_c, P\%}$  - lame de pluie durant le temps  $t_c$  et de fréquence  $P\%$ .
- $t_c$  - Temps de concentration des eaux pluviales, heures.
- $\alpha_{P\%, t_c}$  - Coefficient de ruissellement.
- $P_o$  - Seuil de ruissellement, mm.

Le coefficient climatique de ruissellement  $C_{p\%}$  est estimé sur la base d'une étude régionale et il est exprimé par :

$$C_{p\%} = C_{50\%} \cdot e^{a \cdot u_{p\%}}$$

Où:

- $C_{50\%}$  - Coefficient climatique moyen de ruissellement;
- $a$  - Paramètre climatique;
- $u_{p\%}$  - Nombre de Gauss correspondant à la fréquence  $P\%$ .

Les valeurs adoptées du coefficient climatiques du ruissellement se trouvent dans le tableau suivant :

**Tableau (II.17) : Coefficients climatique de ruissellement**

P%	1	2	5	10
$C_{P\%}$	0.427	0.392	0.346	0.31

Les coefficients de ruissellement  $\alpha_{p\%}$  et les lames ruisselées correspondants  $L_{r, p\%}$  calculés sont contenus dans le tableau (II 18)

**Tableau (II.18) : Coefficients de ruissellement et lames ruisselées**

P %	1%	2%	5%	10%
$\alpha_{p\%}$	0,373	0,325	0,301	0,26
$L_{r, p\%}$ mm	26,19	20,48	16,19	12,17

### II.5.3 Estimation du temps de base de la crue.

D'après Sokolovski, le temps de base de la crue  $T$  est exprimé en fonction du temps de montée  $t_m$ , et il est exprimé comme suit :

$$T = (\gamma + 1)t_m$$

Où :

$\gamma$  - paramètre de Sokolovski.

Le paramètre  $\gamma$  dépend de la superficie du bassin versant  $S$  en tant que facteur intégrant l'influence des facteurs géomorphologiques et intra zonaux :

$$\gamma = \sqrt{S + 1}$$

La valeur calculée de  $\gamma = 10,53$

**Tableau (II.19) : Valeur du temps de concentration et du temps de base**

$\gamma$	$t_m$	$T$
10,53	5,08	61,13

### II.5.4 Estimation des débits maximums des crues pluviales

Actuellement, la plupart des formules de calcul sont fondées sur l'utilisation de l'intensité moyenne maximale de l'averse durant le temps de concentration et sur un coefficient de ruissellement moyen, pris constant pour toutes les périodes de retour.

#### - Formule de Ladjel

Cette formule est obtenue par voie d'idéalisation de l'hydrogramme de la crue en tant que triangle parabolique. Son utilisation nécessite un calcul itératif[6].

$$q_{\max} = 0.28 \frac{\beta}{1 - e^{-\beta}} \frac{L_r}{T}$$

Où:

0.28 – coefficient de conversion des unités, quand  $q_{\max}$  est exprimé en  $m^3 / s.km^2$ , le temps de base  $T$  en heures, la lame ruisselée  $L_r$  en mm et la superficie du bassin versant  $S_{BV}$  en  $km^2$ .

$$\beta = \ln\left(\frac{q_{\max}}{q_T}\right)$$

Où:

$q_T$  - débit caractéristique résidu.

Le débit caractéristique résiduel s'exprime comme suit :

$$q_T = 0.28 k' \frac{L_r}{T}$$

#### - Formule Bejaïa'2000.

Le débit maximum de crue est exprimé par : [7].

$$Q_{\max} = 0.28 (m+1) \frac{L_r}{T} S, \quad m^3 / s$$

Où:

- 0,28 : coefficient de conversion des unités, quand  $Q_{\max}$  est exprimé en  $m^3 / s$ , le temps de base de la crue  $T$  en heure, la lame ruisselée  $L_r$  en mm et la superficie du bassin versant  $S$  en  $Km^2$ .
- $m$  : coefficient de forme de la crue.

Le coefficient de forme  $m$  est lié avec la lame ruisselée et le temps de base comme suit :

$$m = 3.984 - 1.174 \ln\left(\frac{R_{p\%}}{T}\right)$$

#### - Formule Befani A :

$$Q_{\max} = \left(\frac{1}{3.6}\right) \cdot k \cdot \left(\frac{Ep\%}{t_c}\right) \cdot L_c \quad m^3 / s$$

Où:  $Q_{\max}$  : débit maximum de crue,  $Ep\%$  : lame ruisselée,  $t_c$  : temps de concentration,  $L_c$  : longueur de cour d'eau principale.

**Tableau (II.20) : Débits maximums de crues estimés pour différentes fréquences**

	Q (0.1%)	Q(1%)	Q(2%)	Q(5%)	Q(10%)
Ladjel	478	180	142	102	77
Bejaia 2000	490	351	305	247	204
Befani.A.	379	235	195	147	115

### II.5.5 Projection des hydrogrammes des crues

L'image graphique d'une crue pluviale peut être représentée par son hydrogramme. L'hydrogramme de la crue exceptionnelle est généralement caractérisé par la forme d'un triangle parabolique avec un seul pic, un temps de montée comparativement court par rapport au temps de décrue. Parmi les modèles connus, on cite celui de Sokolovski qui considère l'hydrogramme comme un triangle parabolique formé par deux branches.

La branche de la phase montée est exprimée l'expression suivante

$$Q(t) = Q_{\max} \left( \frac{t}{t_m} \right)^m$$

Et la branche de la phase décrue est exprimée par l'expression :

$$Q(t) = Q_{\max} \left( \frac{t_d - t}{t_d} \right)^n$$

Où:

- $Q(t)$  – Débit courant,  $m^3 / s$ .
- $Q_{\max}$  – Ordonnée maximale de l'hydrogramme,
- $t$  – Temps courant,.
- $t_m$  – Temps de montée,
- $t_d$  – Temps de décrue,

Seulement, l'application des ces deux relations avec les puissances respectives pour la phase de montée  $m=2$  et pour la phase de décrue  $n=3$ , correspond à une lame de ruissellement donnée différente absolument de la vraie valeur du ruissellement propre à la crue de projet.

En tenant compte ces difficultés dans l'application de la méthode de Sokolovski à savoir le choix des puissances  $m$  et  $n$ , Ladjel propose une méthode, fondée sur la considération suivante: l'hydrogramme est transformé par rapport à son maximum et décrit analytiquement par l'expression suivante [8].

$$Q_t = Q_{\max} \left( 1 - \frac{t}{T} \right)^m$$

Où:

- $m = k - 1$  Coefficient de forme dans la formule Bejaïa'2000.

En divisant les débits  $Q_t$  par la valeur maximale  $Q_{\max}$ , on obtient:

$$\eta = \frac{Q_t}{Q_{\max}} = \left(1 - \frac{t}{T}\right)^m$$

Où:

- $\eta$  - Débit relatif dont la valeur qui varie de 0 à 1.

D'où l'on tire le temps de base  $\frac{t}{T}$  relatif correspondant au débit relatif:

$$\frac{t}{T} = 1 - \eta^{\frac{1}{m}}$$

Alors, le temps de base  $T_\eta$  correspondant à un débit relatif  $\eta$  est déterminé par:

$$T_\eta = \left(1 - \eta^{\frac{1}{m}}\right) T$$

Les temps de montée et de décrue correspondant à un débit relatif sont déterminés respectivement par:

$$t_{m,\eta} = \frac{1}{\gamma + 1} T_\eta \text{ Pour le temps de montée,}$$

$$\text{Et } t_{d,\eta} = \frac{\gamma}{\gamma + 1} T_\eta \text{ pour le temps de décrue.}$$

Pour la construction de l'hydrogramme de crue, à chaque débit  $Q_\eta = \eta Q_{\max}$  correspond un temps courant de la phase montée  $t'_m = t_m - t_{m,\eta}$  et un temps courant de la phase décrue

$$t'_d = t_m + t_{d,\eta}.$$

La figure (II.15) et présentent l'hydrogramme pour les fréquences 0.1% et 1% , 2%, 5%, 10%

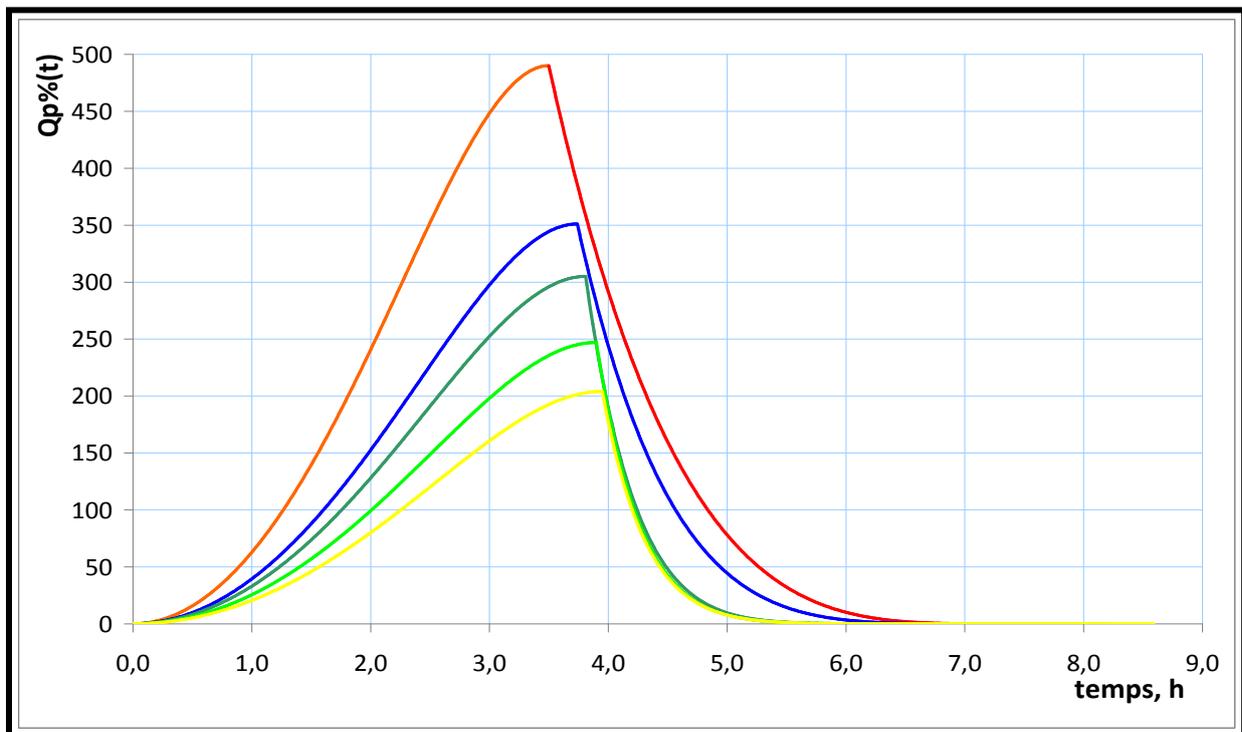


Figure (II.15) : Hydrogramme de la crue pour différentes périodes de retour

**II.6 Conclusion :**

D'après l'étude hydrologique et l'analyse des résultats obtenus, on constate que :

- Les apports mensuelles reflètent les particularités du régime des apports et son irrégularité, ce qui est confirmé par le coefficient de variation  $C_V = 0,76$  ;
- L'écoulement moyen interannuel est de 93 mm
- L'écoulement moyen fréquentiel est 45.9 mm
- Le volume mort est de 936276 m<sup>3</sup>

**Chapitre III :**  
**Etude de régularisation et**  
**Laminage des crues**

### III.1 INTRODUCTION

La régularisation de l'écoulement a pour objectif la détermination de la capacité optimum de la retenue ainsi que le niveau correspondant qui permettent de rendre réguliers les débits de l'oued de Chertioua, afin de satisfaire les besoins d'irrigation avec le moindre risque de défaillance possible. Par contre l'étude de laminage consiste à déterminer la côte maximale atteinte par le plan d'eau, ainsi que le dimensionnement optimum de l'évacuateur de crue en fonction des hauteurs laminées sans affecter la sécurité globale du barrage.

### III.2 Etude de régularisation de l'écoulement

Dans la présente étude, les paramètres indispensables au calcul de régularisation sont :

- La répartition mensuelle de l'apport ( $A80\%Hm^3$ ) ;
- La répartition mensuelle de besoins en eau d'irrigation ;
- La répartition mensuelle des pertes par évaporations et infiltrations ;
- Les courbes caractéristiques de la retenue.

#### III.2.1 Courbes caractéristique de la retenue

Les caractéristiques (hauteur-surface-volume) du réservoir ont été estimées pour différentes altitudes à partir du levé topographie de la cuvette à l'échelle 1/25000, Si on suppose que la cuvette est comprise entre une côte minimale de 687,9 m et une côte maximale de 770 m, l'approximation des volumes a été faite selon l'expression des bassins versant accidentés

$$\Delta V_i = \frac{\Delta h_i}{3} (S_i + S_{i+1} + \sqrt{S_i + S_{i+1}})$$

Avec :

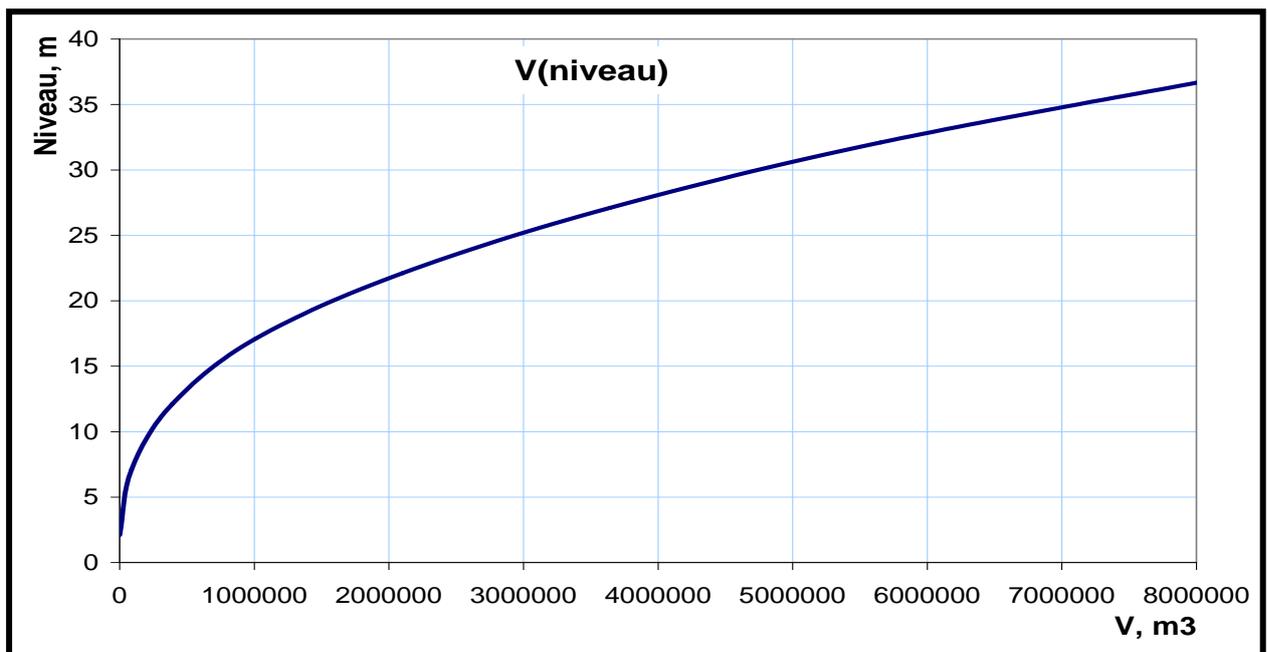
- $S_i$  : Surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau  $H_i$  en  $m^2$
- $S_{i+1}$  : Surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau  $H_{i+1}$  en  $m^2$
- $\Delta h_i$  : Différence d'altitude entre les deux courbes de niveau successives,
- $\Delta V_i$  : Volume élémentaire compris entre deux courbes de niveau successives  $m^3$

Les caractéristiques topographiques et volumétriques de la retenue sont données dans le tableau (III.1).

La courbe de surface et de capacité de la retenue est donnée dans les figures (III.1) et (III.2) respectivement.

**Tableau (III.1) : Hauteur, surface, et volume du réservoir**

Côte	Niveau	Surface	Volume
687,9	0	0,0	0,000
690,0	2,11	0,4	0,002
695,0	7,1	3,4	0,088
700,0	12,1	8,9	0,390
705,0	17,1	16,3	1,012
710,0	22,1	26,2	2,101
715,0	27,1	35,3	3,645
720,0	32,1	45,2	5,654
725,0	37,1	58,1	8,244
726,0	38,1	61,2	8,842
727,0	39,1	63,8	9,466
728,0	40,1	66,5	1,01183
729,0	41,1	69,4	10,797
730,0	42,1	72,6	11,507
735,0	47,1	87,8	15,524
740,0	52,1	103,3	20,295
745,0	57,1	123,0	25,958
750,0	62,1	137,2	32,491
755,0	67,1	144,2	39,539
760,0	72,1	146,5	46,815
765,0	77,1	147,4	54,168
770,0	82,1	147,9	61,551

**Figure (III.1) : Courbe capacité- hauteur**

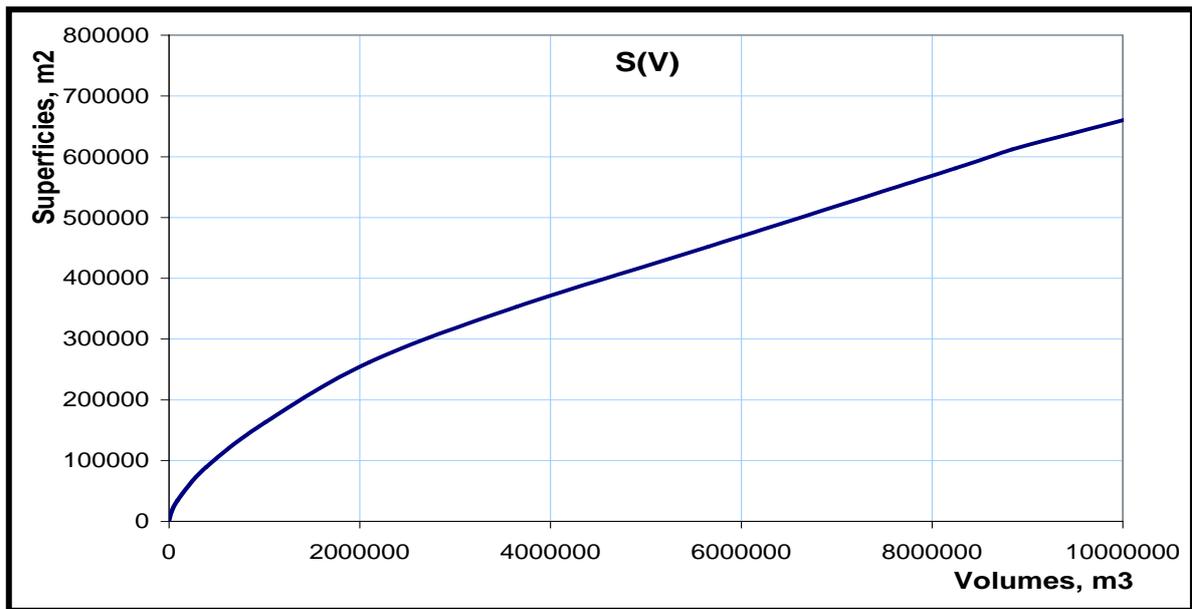


Figure (III.2) : Courbe capacité- superficie

### III.2.2 Choix de type de la régularisation

Le choix de type de la régularisation dépend des besoins en eau à satisfaire et de l'écoulement fréquentiel interannuel, les besoins en eau à satisfaire sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau (III.2) : Besoins en eau à satisfaire

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Out
Irrigation (hm <sup>3</sup> )	0,9	0	0	0	0	0	0	0,3	0,9	1,19	1,51	1,2
Total (hm <sup>3</sup> ) U : 6												

$\sum_{i=1}^{12} U > E_{80\%}$ , donc on doit faire une régularisation interannuelle.

### III.2.3 Régularisation interannuel

La régularisation interannuelle a pour but de satisfaire la consommation durant plusieurs années.

#### III.2.3.1 Calcul du volume utile de barrage sans tenir compte des pertes

##### a) Méthode graphique

Pour effectuer ce calcul, on applique la première méthode de Kritsky-Menkel. La formule de Kritsky-Menkel, s'écrit comme suit [9] :

$$V_u = (\beta_s + \beta_{plur}) \cdot E_0$$

Avec :

- $\beta_S$  : Composante saisonnière du volume utile ;
- $\beta_{plur}$  : Composante pluriannuelle du volume utile ;
- $E_0$  : Ecoulement moyen interannuel.

✓ **La composante saisonnière  $\beta_S$  est égale :**

La composante saisonnière est déterminée à partir de l'abaque de Kritsky-Menkel (Annexe 04), qui est une fonction de coefficient de régularisation «  $\alpha$  » et le volume relatif «  $m$  » de l'écoulement pendant l'étiage au cours de l'année.

✓ **Estimation du coefficient de régularisation  $\alpha$**

$$\alpha = \frac{U_{p\%}}{E_0}$$

Avec :

- $U_{p\%}$  : Demande en eau à satisfaire pour une garantie de P% ;
- $E_0$  : Ecoulement moyen interannuel.

Le coefficient de régularisation de l'écoulement est de l'ordre de : 0,586

✓ **Estimation du volume relatif de l'écoulement pendant l'étiage  $m$**

$$m = \frac{\sum_1^{N_{int}} E_m}{E_0}$$

$\sum_1^{N_{int}} E_m$  : Ecoulement pendant la période d'étiage,

Le volume relatif de l'écoulement pendant l'étiage est de l'ordre de 0,2.

A partir de l'abaque de Kritsky-Menkel, on constate que la valeur de  $\beta_S$ , est :  $\beta_S = 0,365$

Le volume saisonnier qui correspond à  $\beta_S$  calculé, est de l'ordre de :  $V_S = 3733950 \text{ m}^3$ .

• **La composante pluriannuelle**

La composante interannuelle est déterminée par la méthode graphique, en utilisant l'abaque de Pléchkov.Ia.F (Annexe 05) et l'abaque de Miloslavsky.N.M (annexe 06), qui est une fonction de coefficient de variation  $C_v$ , coefficient d'asymétrie  $C_s$ , coefficient de régularisation  $\alpha$ , la garantie P (%) et le coefficient de l'auto-corrélation  $r$  entre les écoulements des années voisines.

Le calcul de  $C_v$ ,  $C_s$  et  $r$  est fait à l'aide de logiciel Stok-Stat. Les résultats de calcul sont comme suit [10] :

- Coefficient de l'auto-corrélation  $r = 0$
- Calcul de coefficient de variation  $C_v = 0,7$
- Calcul de coefficient d'asymétrie  $C_s = 1,82$
- La garantie P(%) est de l'ordre de 80%,
- A partir de l'abaque Pléchkov.Ia.F, la valeur de la composante pluriannuelle est :  $\beta_{plu} = 0,28$ , s

Soit :  $V_{int} = 2864400 \text{ m}^3$ . Donc le volume utile interannuel est de l'ordre de :

$$V_{U_{int}} = 6598350 \text{ m}^3$$

- A partir de l'abaque Miloslavsky.N.M, la valeur de la composante pluriannuelle est égal  $\beta_{plu} = 0.21$ , Soit :  $V_{int} = 2148300 \text{ m}^3$ . Donc le volume utile interannuel est de l'ordre de :  $V_{U_{int}} = 5882250 \text{ m}^3$

### **b) Modélisation Statistique**

L'objectif de la modélisation et de trouver le nombre des années déficitaire qui peuvent se produisent dans le bassin versant de barrage de Chertioua, Pour cela le calcul se fait comme suit :

- a) Détermination de coefficient de variation ainsi le coefficient d'asymétrie de l'échantillon des années déficitaire

A l'aide du logiciel Stokstat on a trouvé les valeurs suivantes :

$$Cv = 0,575$$

$$Cs = 2,16$$

- A l'aide de table de Rébkin-Foster, la variable réduite qui correspond à une probabilité de l'ordre de  $P = 20 \%$ , et un coefficient d'asymétrie de l'ordre de  $Cs = 2,16$  est de l'ordre de :  $F_{P(20\%)} = 0,58$

- ✓ **Détermination de coefficient de l'hydraulicité d'une année déficitaire ( $K_{P(20\%)}$ )**

$$K_{P(20\%)} = C_V \cdot F_{P(20\%)} + 1$$

Donc, le coefficient de l'hydraulicité pour l'année est de l'ordre de :  $K_{P(20\%)} = 1,33$

- ✓ **Détermination de la moyenne de la série des années déficitaire**

$$\bar{n} = 1.5$$

- ✓ **Détermination de nombre des années déficitaires successives  $n_{(20\%)}$**

$$dn_{(20\%)} = K_{P(20\%)} \cdot \bar{n}$$

Donc, le nombre des années déficitaires successives est de l'ordre de :

$$dn_{(20\%)} = 2 \text{ ans}$$

- b) Détermination de coefficient de variation ainsi le coefficient d'asymétrie de l'échantillon des volumes déficitaires spécifique (D/n)

A l'aide du logiciel stokstat on a trouvé les valeurs suivantes :

$$Cv = 0,501$$

$$Cs = 0$$

- A l'aide de table de Rébkin-Foster, la variable réduite qui correspond à une probabilité de l'ordre de  $P = 20 \%$ , et un coefficient d'asymétrie de l'ordre de  $Cs = 0$  est de l'ordre de  $F_{P(20\%)} = 0,84$

- ✓ **Détermination de coefficient de l'hydraulicité**

$$K_{P(20\%)} = C_V \cdot F_{P(20\%)} + 1$$

Donc, le coefficient de l'hydraulicité pour l'année est de l'ordre de :  $K_{P(20\%)} = 1,42$

- ✓ **Détermination de la moyenne de la série des volumes déficitaires spécifique**

$$\bar{N} = 16.61$$

- ✓ **Détermination de volume déficitaire d'une année  $V_d$**

$$V_d = K_{P(20\%)} \cdot \bar{N}$$

Le volume déficitaire d'une année est de l'ordre de :

$$V_d = 23,60$$

✓ **Calcul du volume interannuel**

$$V_{int} = V_d \cdot dn_{(20\%)}$$

Le volume interannuel est de l'ordre de :

$$V_{int} = 5192683 \text{ m}^3$$

Alors le volume utile sans tenir compte des pertes est de l'ordre de :

$$V_U = 6192683 \text{ m}^3$$

**Remarque :** Les résultats obtenus des volumes qui régularisent l'écoulement de la retenue en utilisant la modélisation statistique sont plus satisfaisant, que les résultats obtenus par la méthode graphique, parce que la modélisation statistique tient compte des combinaisons d'années, non favorable (des cycles à gros débit et des cycles à faibles débit) quand obligatoirement les eaux débordent, ou bien ne sont pas suffisantes. Donc, les résultats obtenus par la modélisation statistique sont admis comme résultats représentatifs

### III.2.3.2 Calcul du volume utile de barrage en tenant compte des pertes

Les pertes en eau à prendre en considération dans le calcul du volume utile de barrage, sont celles des infiltrations et d'évaporation.

**a) Calcul de volume évaporé**

Le volume évaporé est estimé par la formule suivante[11]

$$V_e = Ev \cdot \bar{S}$$

$$Ev = 1,6 \cdot ETP$$

$$Ev = 2080 \text{ mm}$$

Ou :  $\bar{S}$  = Surface moyenne qui correspond à  $\bar{V}$  ( $\text{m}^2$ )

$$\bar{V} = \frac{V_{Uint}}{2} + V_m$$

Avec :

- $\bar{V}$  : volume moyen  $\bar{V} = 4096341 \text{ m}^3$
- $V_m$  : volume mort ;
- $V_{Uint}$  : volume utile interannuel.

A partir des courbe (Altitude-Capacité-Surface), la valeur de est de  $\bar{S}$  l'ordre de :

$$\bar{S} = 380000 \text{ m}^2$$

Le Volume évaporé est de l'ordre de :

$$V_e = 790400 \text{ m}^3$$

**b) Calcul de volume infiltré :**

Le volume d'eau infiltré est estimé par la formule suivante :

$$V_{inf} = 0,03\bar{V}$$

Donc, le volume infiltré est de l'ordre de :

$$V_{inf} = 122890 \text{ m}^3$$

Alors le volume utile de barrage de Chertioua est de l'ordre de :  $V_u = 7105973 \text{ m}^3$

- Le volume normal de la retenue est de l'ordre de :  $V_{NNR} = 8105973 \text{ m}^3$
- La côte au niveau normal de la retenue est de l'ordre de  $NNR = 724,8 \text{ m, NGA}$
- La côte au niveau du volume mort est de l'ordre de  $NVM = 704,9 \text{ m, NGA}$

### III.3 Laminage des crues

Les calculs du laminage des crues pluviales représentent est l'outil d'analyse indispensable pour le dimensionnement de l'évacuateur des hautes eaux des crues, Le volume de laminage est la capacité située au-dessus du niveau normal (NN) qui permet de stocker une partie du volume de la crue.

#### III.3.1 Choix de la crue de projet

Le choix au préalable de l'hydrogramme de la crue du projet dépend avant tout de la garantie accordée à l'exploitation optimum du barrage qui dépend de la durée de vie de la retenue (durée de l'envasement total du barrage par les sédiments), Les calculs de l'envasement ont montré ce volume sera envasé après 50 ans, Ceci n'empêche pas l'apparition de la crue centennale pendant cet intervalle de temps, Les calculs de laminage sont réalisés pour la fréquence :

$$P=1\% \text{ (période de retour=100ans)}$$

$$Q_{1\%} = 351 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### III.3.2 Estimation du débit maximum laminé,

Le laminage de la crue s'effectue par la capacité supérieure du barrage conçue spécialement pour amortir l'intense afflux des eaux de la crue et réduire le débit maximum, jusqu'à une valeur admissible qui ne cause pas d'inondation en zone avale, Par conséquent, il faut au préalable déterminer le volume de cette capacité réservé pour le laminage et choisir la largeur du déversoir permettant le passage du débit déversé pour une charge raisonnable (niveau d'eau) sur le seuil du déversoir.

Lors du laminage les caractéristiques de l'hydrogramme de la crue subissent une transformation quantitative qui s'exprime par une diminution du débit maximum  $Q_{\max}$  et par une augmentation des temps de montée  $t_m$  et de base  $T$

Le débit maximum laminé  $Q_{\max,l}$  et le débit maximum de la crue  $Q_{\max}$  sont analytiquement liés par:

$$Q_{l,\max} = r \cdot Q_{\max}$$

Où:

$r$ - le degré du laminage, il dépend du volume de la crue  $V_c$ , du volume de laminage  $V_l$  et du coefficient de forme de l'hydrogramme de la crue  $k$ ,

Le degré du laminage est exprimé par:

$$r = \frac{k_{\min}}{k \left( \frac{V_c}{V_c - V_l} \right) - (k - k_{\min})}$$

Où:

- $k_{\min}$  - valeur minimale du coefficient de la forme ;
- $V_c$  - volume de la crue, en  $m^3$  ;
- $V_l$  - volume de laminage, en  $m^3$  ;
- $k$  - coefficient de forme de l'hydrogramme de la crue.

### III.3.3 Choix de la largeur du déversoir

La formule hydraulique du débit d'eau à travers un déversoir est exprimé comme suit :

$$Q = \varepsilon.m.b.\sqrt{2g}.H^{3/2}$$

Où:

- $Q$  - Débit d'eau, en  $m^3/s$ ,
- $\varepsilon$  - Coefficient de contraction,,
- $m$  - Coefficient de débit,
- $b$  - Largeur du déversoir, en mètre,
- $g$  - Accélération de la gravitation,  $m/s^2$ ,
- $H$  - Niveau d'eau sur le seuil du déversoir, en mètre.

Connaissant la charge d'eau  $H$  et le débit  $Q$ , on peut calculer la valeur de la largeur du déversoir  $b$ ,

$$b = \frac{Q}{\varepsilon.m.\sqrt{2g}.H^{3/2}}$$

En considérant différentes valeurs de la capacité de sécurité pour lesquelles on calcule les coefficients de réduction  $r_i$ , les charges d'eau  $H_i$ , les débits d'eau évacués  $Q_i$  et les largeurs de déversoir correspondants  $b_i$ , tel que récapitulé dans le tableau suivant :

**Tableau (III.3) : Volume de laminage**

Volume de laminage	R	H	Q <sub>i</sub>	B
534370	0,493	0,93	26,49	15,88
534370	0,491	0,94	26,37	15,55
540055	0,489	0,95	26,24	15,24
545740	0,486	0,96	26,12	14,93
551425	0,484	0,97	26,00	14,63
557109	0,482	0,98	25,88	14,34
562794	0,480	0,99	25,76	14,05
568479	0,477	1,00	25,63	13,78
574164	0,475	1,01	25,51	13,51
579849	0,473	1,02	25,39	13,25
585533	0,471	1,03	25,27	13,00

L'établissement de la relation, entre les largeurs  $b$  et les charges,  $H$  permet au projeteur de faire un choix optimum de la largeur du déversoir en fonction de la charge d'eau maximale admise sur le déversoir (figure III.3).

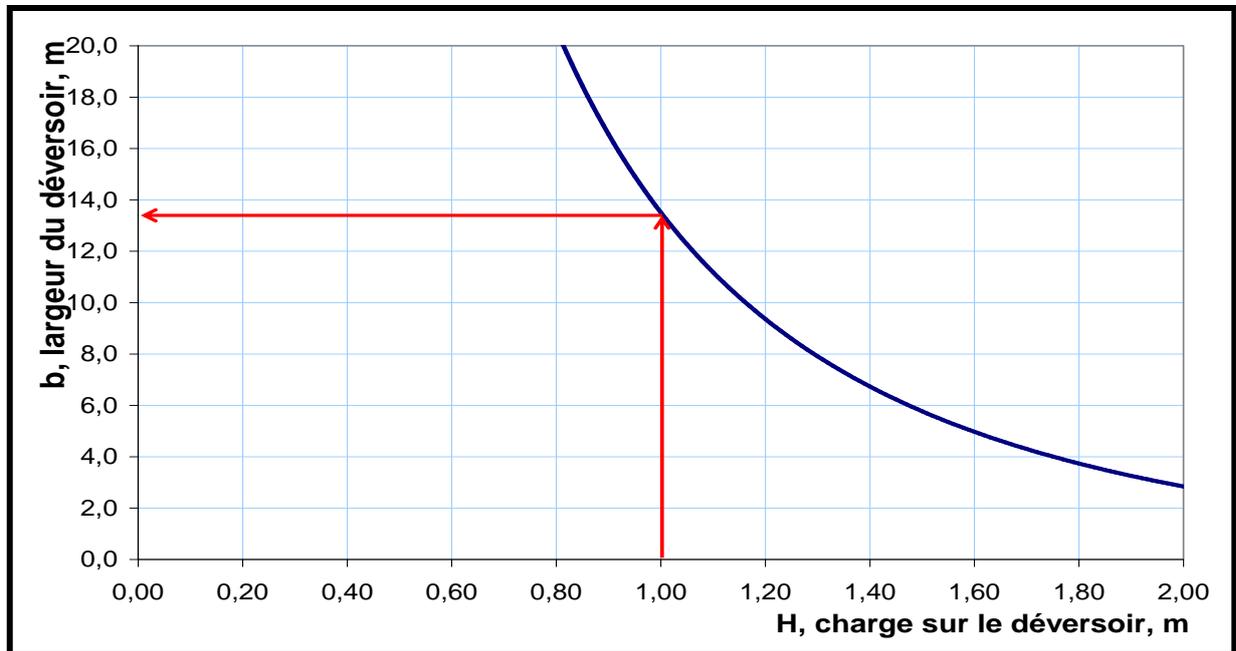


Figure (III.3) : Largeur optimum du déversoir

Le choix a été arrêté pour un volume de laminage égal à 53% de celui de la crue, Ceci implique une largeur du déversoir égale à  $b=14,00$  m et une charge sur le déversoir  $H=1$  m,

### III.3.4 Détermination des caractéristiques de l'hydrogramme de la crue laminée

Le temps de base de la crue laminée est exprimé par :

$$T' = (\gamma' + 1)t'_m$$

Où :

$\gamma'$  – Coefficient exprimant le rapport du temps de la décrue de l'hydrogramme laminé au temps de montée,

$t'_m$  – Temps de montée de l'hydrogramme laminé,

A son tour, le temps de montée de l'hydrogramme laminé est exprimé par :

$$t'_m = t_m \left[ 1 + \gamma \left( 1 - r^{\frac{1}{m}} \right) \right]$$

Et le coefficient  $\gamma'$  est exprimé par :

$$\gamma' = \frac{\gamma + 1}{r \left[ 1 + \gamma \left( 1 - r^{\frac{1}{m}} \right) \right]} - 1$$

Où :

- $r$  – Degré de laminage,
- $\gamma$  – Coefficient de Sokolovsky de la crue de projet,
- $m$  – Coefficient de forme de la crue de projet,

**Tableau (III.4) :**Caractéristiques des hydrogrammes laminés

$P\%$	$Q_{\max,lam}$	$r$	$t'_m$	$\gamma'$	$T'$
1%	167	0,477	4,55	18,40	88,35

Si on désigne le débit relatif laminé par l'expression suivante:

$$\eta' = \frac{Q_l(t)}{Q_{l,\max}}$$

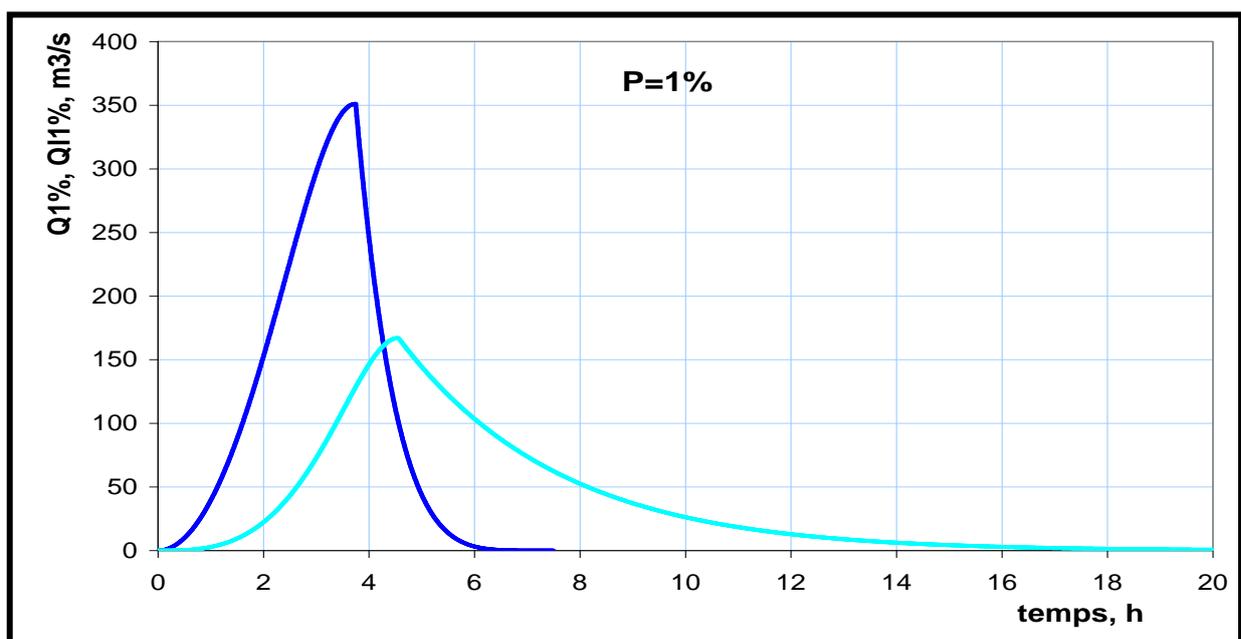
Pour la construction de l'hydrogramme de la crue laminée, à chaque débit  $Q_\eta = \eta Q_{\max}$  correspond un temps courant de la phase montée :

$$t'_{\eta'} = t'_m - \frac{1}{\gamma'+1} \left( 1 - \eta'^{\frac{1}{m'}} \right) T'$$

Et un temps courant de la phase décrue :

$$t'_{\eta'} = t'_m + \frac{\gamma'}{\gamma'+1} \left( 1 - \eta'^{\frac{1}{m'}} \right) T'$$

Avec ces formules, on construit l'hydrogramme des crues laminées pour la fréquence de calcul 1%



**Figure (III.4) :**Hydrogramme de la crue laminée de fréquence  $P=1\%$

### III.3.5 Détermination du Plan des Hautes Eaux (NPHE)

Le niveau du plan des Hautes Eaux (PHE) sur le seuil de déversoir est au Niveau Normal plus la charge sur le déversoir  $H$  :

$$PHE = NN + H$$

Donc :  $PHE = 36,5$  m

### III.4 Conclusion

Finalement on recommande à choisir les paramètres suivants :

- La capacité totale du barrage :  $VNNR = 8105973$  m<sup>3</sup>
- La cote au niveau normale de la retenue est  $NNR = 723,4$  m .NGA
- LA cote au niveau du volume mort :  $NVM = 704,9$  m .NGA
- La cote des plus hautes eaux :  $NPHE = 725,8$  m .NGA

**Chapitre IV :**  
**Dimensionnement de**  
**barrage**

## IV.1 INTRODUCTION

Les barrages en terre peuvent être constitués de 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 du 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 site du barrage.

## IV.2 Le choix du type de barrage

Pour le choix du type de barrage, on a pris en considération les conditions géologiques de la fondation du barrage et la disponibilité des matériaux pour remblai du corps du barrage, et on a opté pour un barrage en terre hétérogène noyau imperméable. C'est un barrage composé de différents matériaux, dans la plus part des cas composé de deux matériaux, l'un imperméable et l'autre résistant et perméable.

## IV.3 Définition du profil général du barrage

### IV.3.1 Hauteur du barrage

Pour déterminer la hauteur du barrage on va suivre les étapes suivantes :

#### IV.3.1.1 Calcul de la hauteur de la digue

$$H_b = \text{HNR} + H_d + R + H_s + T_a$$

Avec :

- $H_b$  : Hauteur de la digue
- HNR : Niveau normal de la retenue
- $H_d$  : Charge sur l'évacuateur de crues ;
- R : Revanche
- $H_s$  : Hauteur de sécurité,  $H_s = 0.5$  ;
- $T_a$  : coefficient de tassement des barrages ;

#### IV.3.1.2 Calcul de la hauteur de montée de la vague (revanche)

Elle est prévue au-dessus du niveau des plus hautes eaux et consiste en une hauteur de sécurité pour protéger l'ouvrage contre les élévations du niveau d'eau qui pourrait causer des risques de submersion.

Nous la calculons avec quatre formules empiriques :

a. **Formule de Stevenson** Pour F (fetch) < 18 km

$$R_v = 0,75h_v + \frac{V_v^2}{2g}$$

$$V_v = 1,5 + 0,66h_v^{1/2}$$

$$h_v = 0,75 + 0,34F^{1/2} - 0,26F^{1/4}$$

où:

$R_v$  = hauteur de montée de la vague (m),

F = longueur maximale de la surface d'eau du lac en suivant la direction vent (l'fetch),

$h_v$  = hauteur de la vague (m),

$V_v$  = vitesse de propagation de la vague (m / s),

g = accélération de la gravité.

b. **Formule de Mallet et Paquant**

$$R_v = h_v + \frac{V_v^2}{2g}$$

$$V_v = \frac{3}{2} + \frac{2}{3}h_v$$

$$h_v = \frac{1}{2} + \frac{1}{3}F^{1/2}$$

c. **Formule de l'U.S.B.R.**

$$R_v = 0,75h_v + \frac{V_v^2}{2g}$$

$$V_v = 1,5 + 2h_v$$

$$h_v = 0,75 + 0,34F^{1/2} - 0,26F^{1/4}$$

d. **Formule simplifiée**

$$R_v = 1 + 0,3\sqrt{F} = 1,24 \text{ m}$$

Les résultats de calcul de la revanche sont donnés dans le tableau (IV.1).

**Tableau (IV.1) : Récapitulatif des résultats de calcul de la revanche**

Formule	Fetch F, (km)	$h_v$ (m)	$V_v$ (m/s)	$R_v$ (m)
Stevenson	0,50	0,99	2,15	0,97
USBR	0,50	0,99	3,48	1,35
Mallet et Paquant	0,50	0,97	2,14	1,20
Simplifiée	0,50	-	-	1,43

Nous adoptons une valeur moyenne, soit  $R_v = 1,23 \text{ m}$

Le niveau normal de la retenue (NNR) et la charge maximum sur le déversoir  $H_d$  ont été calculés dans le chapitre III

$$\text{NNR} = 33.08 \text{ m}$$

$$H_d = 1 \text{ m}$$

$$H_b = 36,9 + 1 + 0,5 + 1,23 = 39,63 \text{ m}$$

- **Calcul du tassement de la digue en terre**

Pour les barrages dont la hauteur ne dépasse pas 40 m on peut préalablement prendre le tassement égal à 1 % de la hauteur du barrage.

Pour les petits barrages on calcule le tassement  $d'$  après la formule :

$$T_a = 0,01 \cdot H_b$$

La hauteur totale du barrage est :  $H_b = 39,63 \text{ m}$

Donc le tassement est de l'ordre de :

$$T_a = 0.39 \text{ m}$$

### IV.3.2 La largeur en crête de la digue

Pour les digues dont les hauteurs sont inférieures à 10 m, la largeur de la crête ne doit pas être inférieure à 3 m. Pour les digues de hauteur supérieure à 10 m, la largeur de la crête sera égale à 1/3 de la hauteur de la digue.

Pour cela on utilise des formules empiriques; les plus utilisées parmi elles sont :

#### 1- Formule de T.T. KNAPPEN

$$b = 1,65\sqrt{H_b}$$

#### 2- Formule de E. F. PREECE

$$b = 1,10\sqrt{H_b} + 1$$

#### 3- Formule selon Rolley.

$$b = 3,60\sqrt[3]{H_b} - 3$$

ou:

$H_b$  : la hauteur du barrage.

Les largeurs de la crête calculées sont regroupées dans le tableau (IV.2) ci-dessous.

**Tableau (IV.2) : Récapitulatif des résultats du calcul de la largeur en crête**

Formule	Largeur de la crête <b>b</b>
T.T. Knappen	10,38 m
Preece	7,92 m
Rolley, R	9,27 m

On opte pour une largeur de crête égale à : 10 m

### IV.3.3 La longueur en crête

La longueur en crête est tirée à partir de la carte topographique de la région. Elle est égale à :

$$L_c = 65 \text{ m}$$

### IV.3.4 Pente des talus

Dans le tableau (IV.3) on va choisir les pentes des talus suivant la hauteur du barrage

**Tableau (IV.3) : Valeurs indicatives des types des pentes des talus**

Hauteur du barrage	Fruit des talus	
	Amont $m_1$	Aval $m_2$
< 5	2 ÷ 2,5	1,5 ÷ 1,75
5 < H < 10	2,25 ÷ 2,75	1,75 ÷ 2,25
10 < H < 15	2,5 ÷ 3	2,0 ÷ 2,5
15 < H < 50	3 ÷ 4	2,5 ÷ 4
>50	4 ÷ 5	4 ÷ 4,5

Pour les calculs préliminaires, nous adoptant les valeurs suivantes :

- Talus amont :  $m_1 = 3$
- Talus aval :  $m_2 = 3$

### IV.3.5 La base de la digue

La base de la digue est calculée par la formule suivante :

$$B = b_{cr} + 2mH_b$$

D'ou

$$B = 225.98 \text{ m}$$

### VI.3.6 Bermes

Sur le talus amont on peut prévoir une berme pour permettre d'effectuer des contrôles sur la digue de procéder à l'éventuelle réparation sur le talus et d'augmenter la stabilité du parement, aussi pour protéger le talus aval contre l'érosion due au ruissellement des eaux pluviales.

Les bermes sont exécutées pour des hauteurs de 10 à 15 m, leur largeur varie de 2 à 9 m, avec une pente de l'ordre de 3%

Les cotes des bermes amont et aval sont :

- ✓  $CB_{am} = 702,9 \text{ m}$
- ✓  $CB_{av} = 702,9 \text{ m}$
- ✓ La largeur des bermes amont et aval sont de 5 m
- ✓ La berme aval doit avoir une pente de 1% dans le sens du talus amont dont il est conçu un collecteur des eaux de ruissellement.

### IV.3.7 Dimensionnement du noyau

Pour dimensionner le noyau on doit suivre les étapes suivant

**a) Hauteur à la crête**

$$H = H_b = 39,63 \text{ m}$$

**b) Largeur en crête**

Elle est donnée en fonction de la hauteur de la retenue, elle ne doit pas être inférieure à 2 m. pour calculer la largeur du noyau on a la formule suivante :

$$l_n = \frac{1}{6} H_b$$

Avec :

–  $l_n$  : Largeur du noyau en crête ;

D'où :

$$l_n = 6,60 \text{ m}$$

**c) La base du noyau**

Pour calculer la base du noyau on a la formule suivante :

$$L_N = 6 + c \cdot H_b$$

Avec :

–  $L_N$  : La base du noyau ;

$c$  : coefficient  $0,30 \leq c \leq 0,75$  on prend  $c = 0,7$

Donc :

$$L_N = 33,74$$

**d) Pente des talus**

La pente des talus du noyau à la fondation :

$$m_f = 1 \div 1,5$$

**e) Profondeur de fondation**

La profondeur de fondation est :

$H_f = 1,5 \div 6,5 \text{ m}$ , on prend  $H_f = 3 \text{ m}$

Le profile général du barrage est montré par la figure (IV.1)

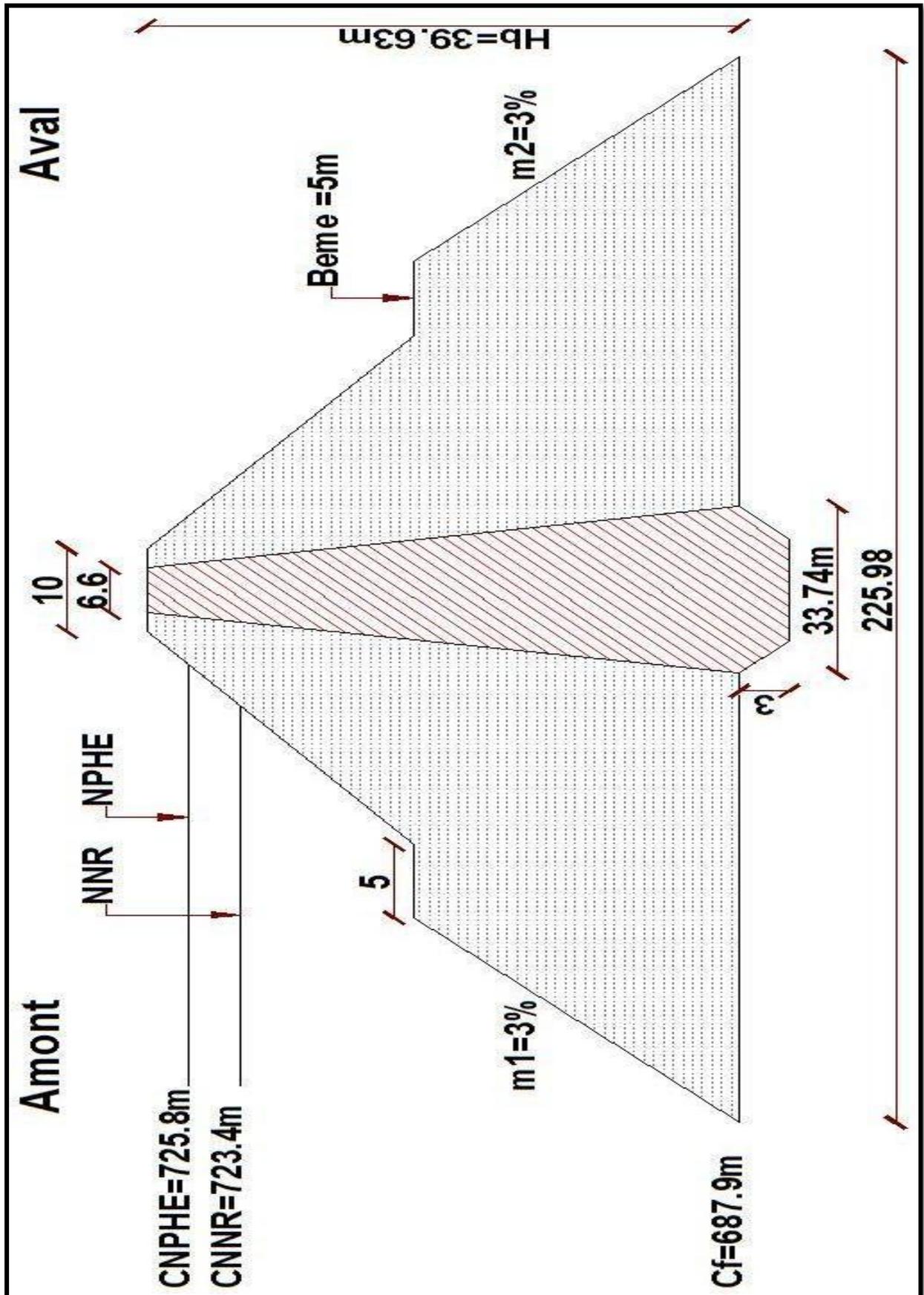


Figure (IV.1) : Le profile général du barrage

#### IV.4 Conclusion

D'après les résultats du dimensionnement, on a trouvé que :

- La hauteur total du barrage  $H_b = 39.63$  m
- La largeur en crête  $b = 10$  m
- La longueur en crête  $L = 65$  m
- La pente des talus  $m_1 = m_2 = 3$
- La base de la digue  $B = 225,98$  m
- La hauteur de la crête du noyau
- La base du noyau  $L_N = 33,74$  m
- La largeur en crête  $l_n = 6,60$  m

## CONCLUSION GENERALE

L'étude de faisabilité d'un aménagement hydraulique important dans la wilaya de Bordj Bou-Argerdj est le principal objectif du présent mémoire de fin d'études. Cet ouvrage d'envergure n'est autre que le barrage de Chertioua, destiné essentiellement à l'irrigation de la région en question. On signale que la dite région est à vocation agricole.

Les résultats des analyses et investigations exécutées dans le cadre de l'étude de faisabilité du barrage Chertioua (B.B.A) , permet de tirer les conclusions suivantes :

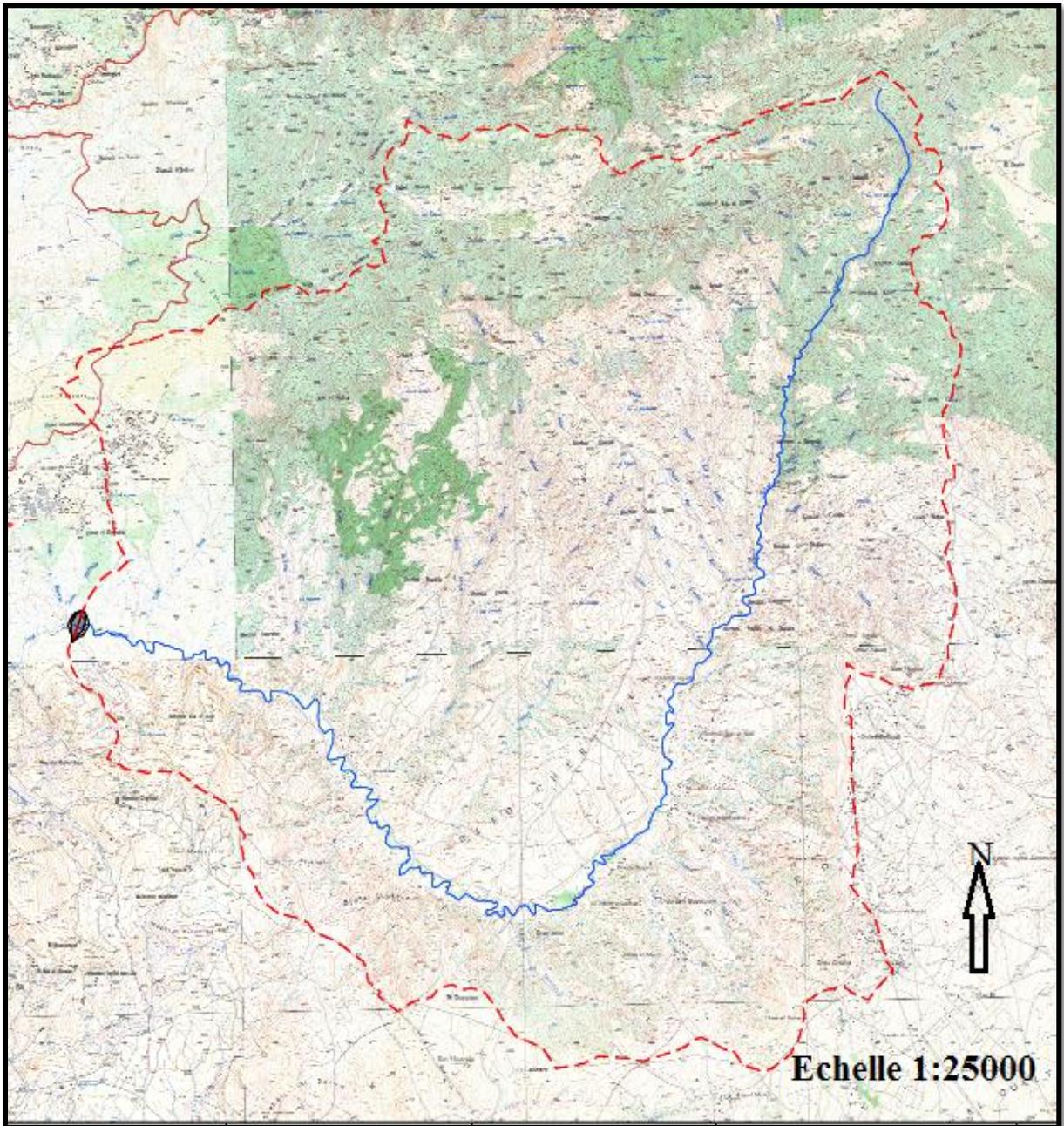
- Site favorable à la réalisation d'un barrage sur l'Oued Chertioua dans le but de mobiliser les eaux de surface et leur utilisation à des fins d'irrigation, d'écrêter les crues qui menacent les terres agricoles et d'alimenter les nappes alluvionnaires.
- La construction du barrage de Chertioua est réalisable et n'implique aucune difficulté technique particulière. De plus, le choix d'un barrage du type « en terre » comme digue principale permet l'utilisation exclusive de matériaux disponibles in situ.
- Grâce à la capacité de sa retenue qui est de  $8105973 \text{ m}^3$  , le barrage peut assurer la pérennité de l'irrigation, permettant ainsi le développement du secteur de l'agriculture avec la mise en valeur de nouvelles terres.
- Pour sauvegarder les habitats situés en aval, le débit maximal de la crue maximal qui sera pris en compte pour l'étude de laminage est la crue de 100 ans  $Q_{1\%} = 351 \text{ m}^3/\text{s}$  par contre le débit laminé est de  $165 \text{ m}^3/\text{s}$
- Après la détermination de la cote des plus hautes eaux, on a pu calculer la hauteur totale du barrage qui est de  $39.63 \text{ m}$

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] **LADJEL, M.**, "L'écoulement des crues pluvial. Algérie-EQUIPEMENT".  
Revue technique de l'Ecole Nationale des Travaux Publics. n° 19, mai/juin 1995.
- [2] **SVANIDZE, Gu.Gu.**, "La modélisation mathématique des séances limonologique",  
Fuidrome Teoizdat, 1977, Lemigvad.
- [3] **Touabia, B.**, Manuel Pratique d'Hydrologie , Presse Madani Frères Guerrouaou-  
Blida, Mars 2004
- [4] **LADJEL, M.**, "Contribution to the development of a method of estimate of the time  
of concentration of the maximum flows of the rain risings". Journal of Fundamental  
and Applied Sciences. ISSN 1112-9867, ICID: 1111580, 2014, 6(1), 56-65 p.
- [5] **LADJEL, M.**, " A propos du calcul de la durée de ruissellement superficiel  
durant les crues pluviales sur les oueds de l'Algérie (en langue russe) ". La revue  
« Météorologie, Climatologie et Hydrologie » n° 50, 2<sup>ème</sup> partie. Odessa, 2008.
- [6] **LADJEL, M.**, " Les debits maximums des crues des oueds de la partie Nord d'Algérie (en  
langue russe) ". Journal de l'Université Ecologique d'Etat d'Odessa, n° 4, 2007. Odessa.
- [7] **LADJEL, M.**, "Formule de calcul des débits maximums des crues pluviales  
« Béjaïa'2000 » ", Journées portes ouvertes sur la spécialité d'hydraulique, le 24, 25 et  
26 avril 2000, Université Abderrahmane Mira, Bejaia.
- [8] **LADJEL, M.**, "Projection des hydrogrammes des crues pluviales des oueds  
d'Algérie. Séminaire International- Les méthodes génétiques et probabilistes en  
Hydrologie". Université Ecologique d'Odessa. 26-28 mars 2009, Odessa (Ukraine).
- [9] **Kritsky, S.N., Menkel, M. F.**, "Apropos des approches de recherche des variation  
aléatoires de l'écoulement fluvial". Travaux de NIOU GOUGS ;n° 29, 1946
- [10] **Plechekov, Ia.F.**, "La régularisation de l'écoulement fluvia'l". Guidrométéozdat,  
Lingrad, 1975
- [11] **HERIZI, T.**, "Contribution à la méthode d'évaluation monologique de potentialités  
de stockage du barrage et retenues collinaires", mémoire de magister , le 09 juin 2014 ,  
université Larbi-Ben-M'hidi d'Oum Bouaghi
- [12] **Anton, J. Schleiss et Henri Pougatsch.**, "Les barrages volume 17 Du projet service",  
Edition Presses Plytechnique Et Universitaires Romandes, Ecole polytechnique  
Fédérale de Lausanne, Suisse, 714 pages, 2011.
- [13] **Bouchenafa.W.**, "Etude de faisabilité d'un petit barrage sur Oued Saf Saf Wilaya de  
Blida", pojet de fin d'étude, Ingénieur d'état en hydraulique, ENSH Blida, Algérie ,  
237 pages , septembre 2007.

# **ANNEXES**

*Annexes (01) : Délimitation du bassin versant*



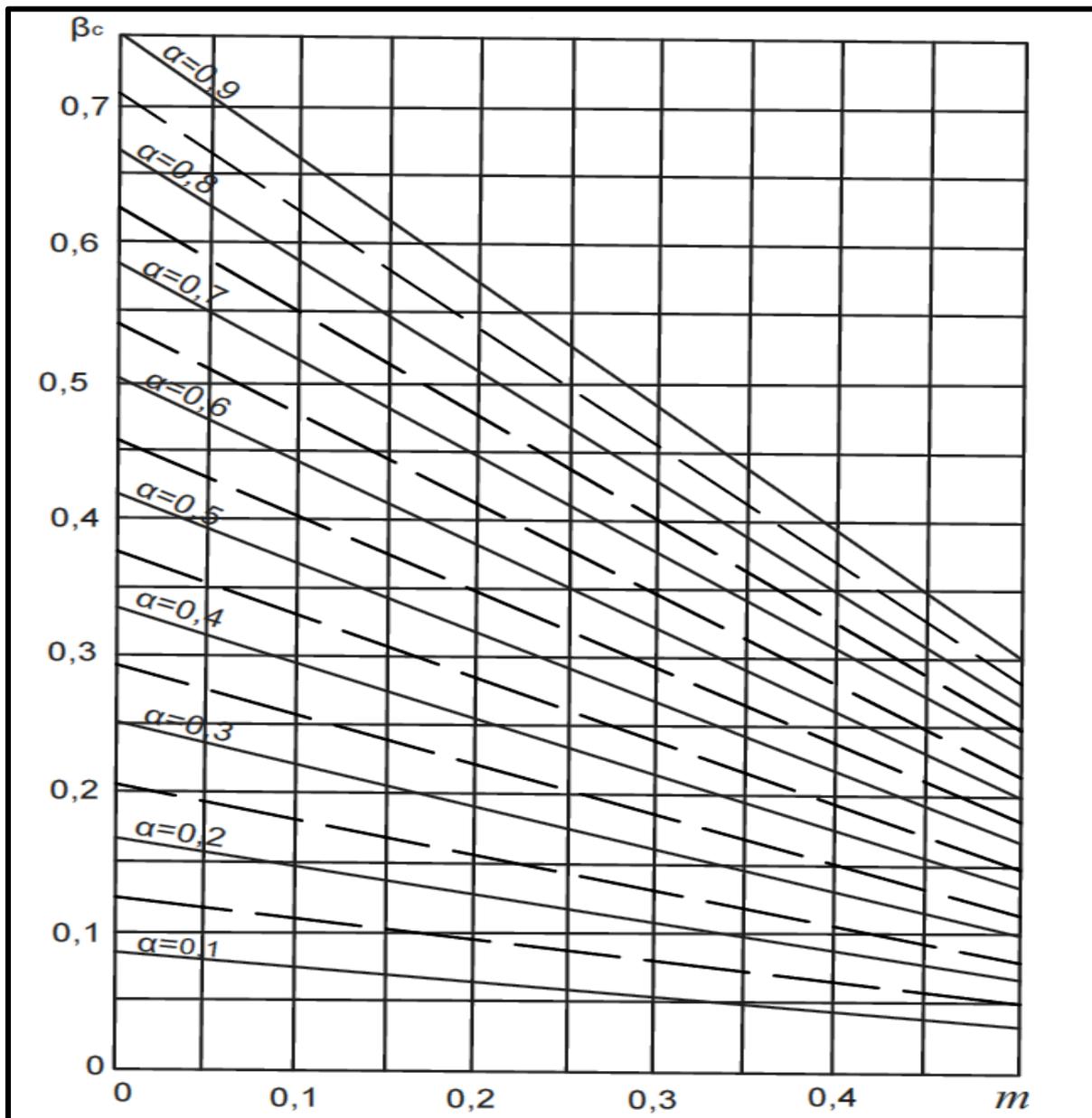
Annexe (02) : Table de distribution de  $\chi^2$  (Loi de K. Pearson).

		Probabilité au déplacement (P)								
		0,990	0,975	0,950	0,900	0,100	0,050	0,025	0,010	0,001
Degré de liberté (v)	1	0,0002	0,0010	0,0039	0,0158	2,71	3,84	5,02	6,63	10,83
	2	0,02	0,05	0,10	0,21	4,61	5,99	7,38	9,21	13,82
	3	0,12	0,22	0,35	0,58	6,25	7,81	9,35	11,34	16,27
	4	0,30	0,48	0,71	1,06	7,78	9,49	11,14	13,28	18,47
	5	0,55	0,83	1,15	1,61	9,24	11,07	12,83	15,09	20,52
	6	0,87	1,24	1,64	2,20	10,64	12,59	14,45	16,81	22,46
	7	1,24	1,69	2,17	2,83	12,02	14,07	16,01	18,47	24,32
	8	1,65	2,18	2,73	3,49	13,36	15,51	17,53	20,09	26,13
	9	2,09	2,70	3,33	4,17	14,68	16,92	19,02	21,67	27,88
	10	2,56	3,25	3,94	4,87	15,99	18,31	20,48	23,21	29,59
	11	3,05	3,82	4,57	5,58	17,27	19,67	21,92	24,72	31,26
	12	3,57	4,40	5,23	6,30	18,55	21,03	23,34	26,22	32,91
	13	4,11	5,01	5,89	7,04	19,81	22,36	24,74	27,69	34,53
	14	4,66	5,63	6,57	7,79	21,06	23,68	26,12	29,14	36,12
	15	5,23	6,26	7,26	8,55	22,31	25,00	27,49	30,58	37,70
	16	5,81	6,91	7,96	9,31	23,54	26,30	28,84	32,00	39,25
	17	6,41	7,56	8,67	10,08	24,77	27,59	30,19	33,41	40,79
	18	7,01	8,23	9,39	10,86	25,99	28,87	31,53	34,80	42,31
	19	7,63	8,91	10,12	11,65	27,20	30,14	32,85	36,19	43,82
	20	8,26	9,59	10,85	12,44	28,41	31,41	34,17	37,57	45,32
	21	8,90	10,28	11,59	13,24	29,61	32,67	35,48	38,93	46,80
	22	9,54	10,98	12,34	14,04	30,81	33,92	36,78	40,29	48,27
	23	10,20	11,69	13,09	14,85	32,01	35,17	38,08	41,64	49,73
	24	10,86	12,40	13,85	15,66	33,20	36,41	39,37	42,98	51,18
	25	11,52	13,12	14,61	16,47	34,38	37,65	40,65	44,31	52,62
	26	12,20	13,84	15,38	17,29	35,56	38,88	41,92	45,64	54,05
	27	12,88	14,57	16,15	18,11	36,74	40,11	43,19	46,96	55,48
	28	13,57	15,31	16,93	18,94	37,92	41,34	44,46	48,28	56,89
	29	14,26	16,05	17,71	19,77	39,09	42,56	45,72	49,59	58,30
	30	14,95	16,79	18,49	20,60	40,26	43,77	46,98	50,89	59,70

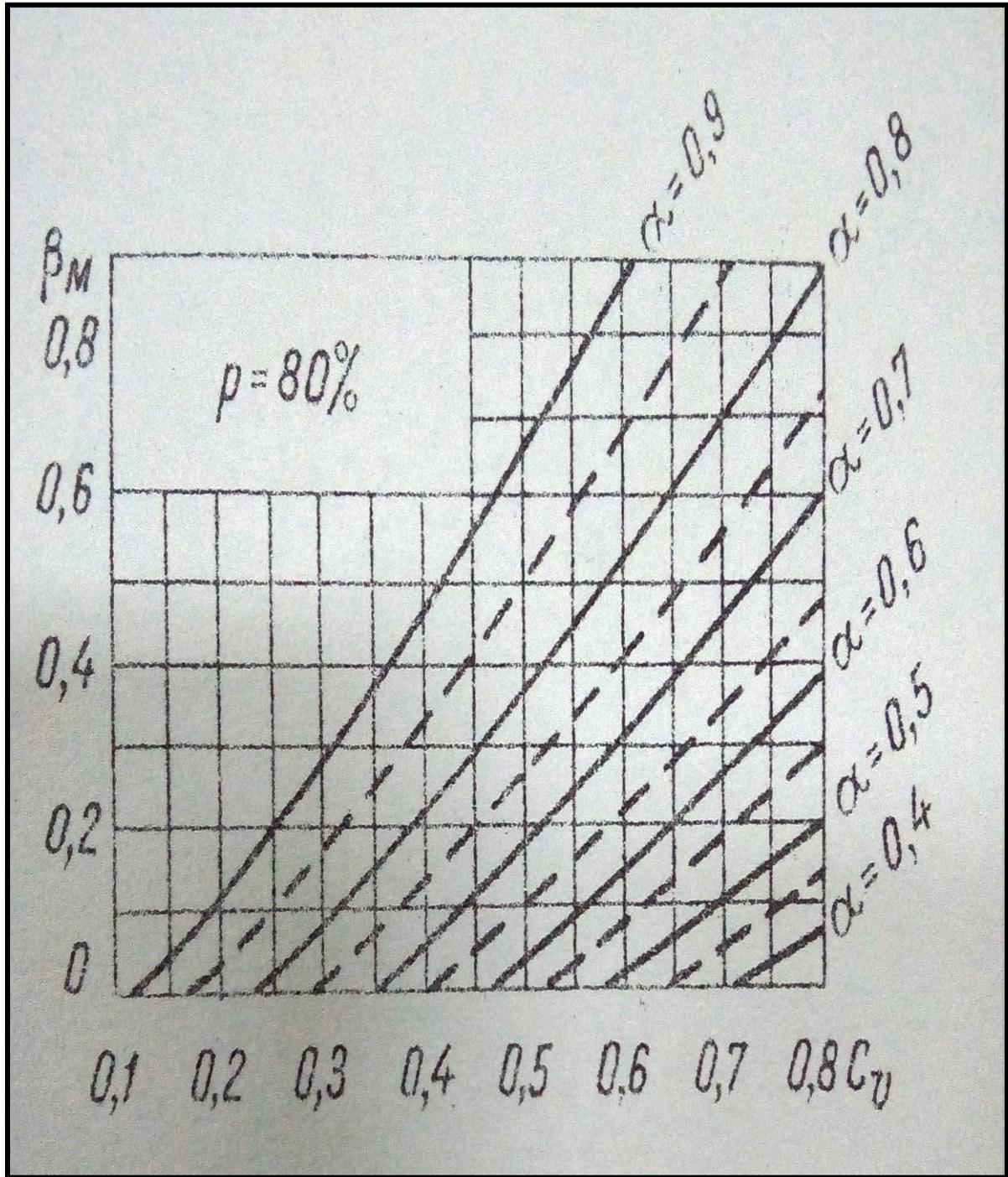
*Annexe (03) : Correction des pluies maximales journalières (Zemoura/Sidi mbarek)*

Années	Station Zemoura	Cumuls	Station sidi mbarek	Cumuls
1968	67,1	67,1	32,8	32,8
1969	93,7	160,8	37,1	69,9
1970	27,4	188,2	31,7	101,6
1971	64,5	252,7	44,5	146,1
1972	51,2	303,9	21,2	167,3
1973	70,5	374,4	50,6	217,9
1974	50,4	424,8	31,4	249,3
1975	32,8	457,6	35,5	284,8
1976	36,5	494,1	21,8	306,6
1977	32,8	526,9	0	306,6
1978	29,1	556	16,8	323,4
1979	31,0	587,03	22,1	345,5
1980	64,4	651,43	18,4	363,9
1981	24,8	676,23	39,9	403,8
1982	55,9	732,13	25,4	429,2
1983	111,7	843,83	28,4	457,6
1984	44,8	888,63	24,7	482,3
1985	84,3	972,93	53,5	535,8
1986	43,1	1016,03	32,8	568,6
1987	30,8	1046,83	25	593,6
1988	71,3	1118,13	30,3	623,9
1989	39,6	1157,73	56,9	680,8
1990	40,7	1198,43	0	680,8
1991	38,3	1236,73	36	716,8
1992	46,7	1283,43	25,1	741,9
1993	30,6	1314,03	27,2	769,1
1994	39,8	1353,83	89,5	858,6
1995	39,8	1393,63	33,3	891,9
1996	17,5	1411,13	15	906,9
1997	42,2	1453,33	25,3	932,2
1998	35,2	1488,53	49,5	981,7
1999	46,0	1534,53	46,8	1028,5
2000	41,6	1576,13	44,8	1073,3
2001	25,5	1601,63	30,3	1103,6
2002	60,1	1661,73	42,4	1146
2003	42,5	1704,23	41,85	1187,85
2004	45,7	1749,93	54	1241,85
2005	53,4	1803,33	44,5	1286,35
2006	57,6	1860,89	41	1327,35
2007	81,4	1942,32	58	1385,35
2008	40,0	1982,34	28,5	1413,85
2009	53,4	2035,74	27	1440,85
2010	53,1	2088,84	31	1471,85

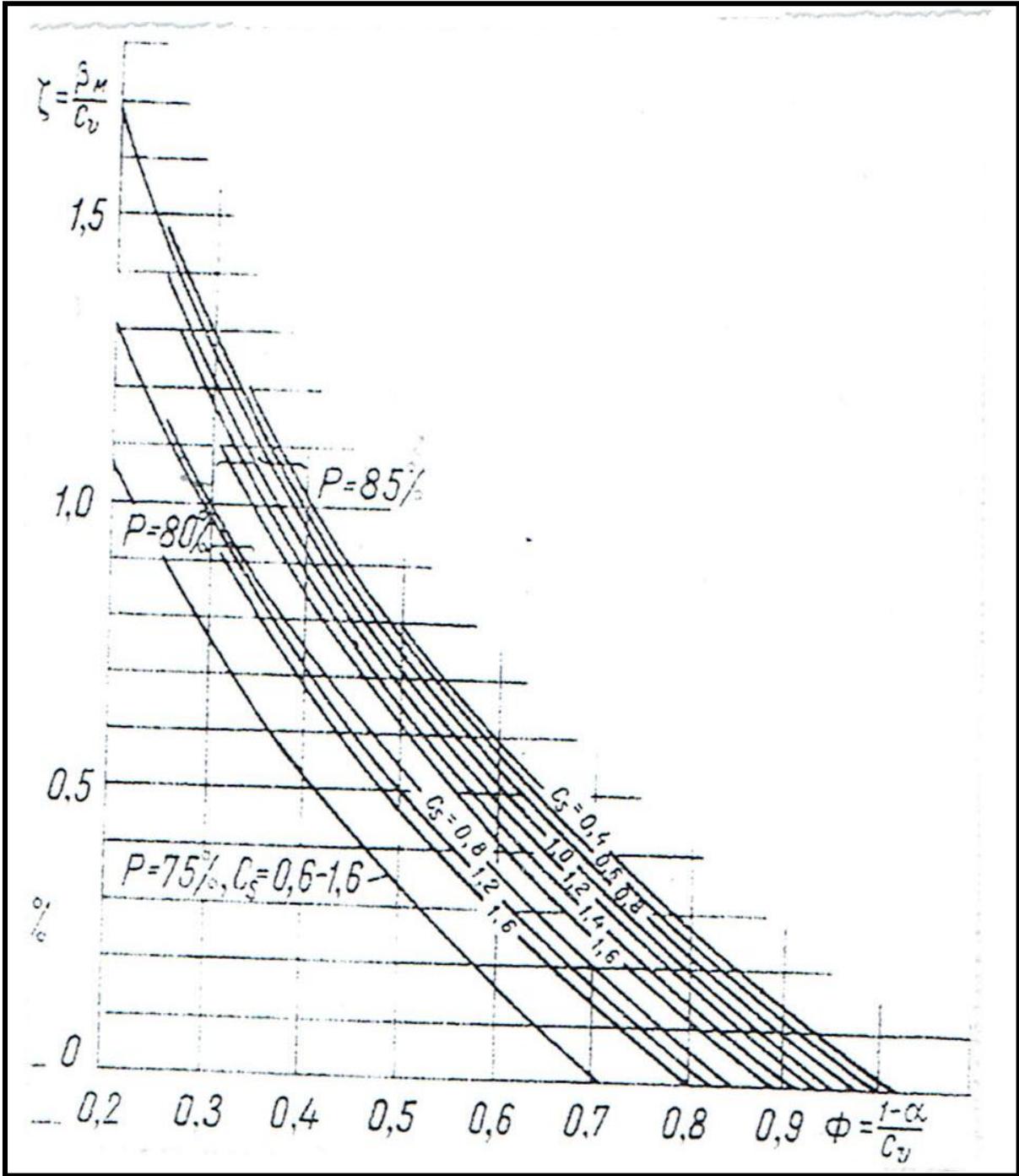
*Annexe (4) : Abaque de Kritsky-Menkel pour la détermination de volume saisonnier du barrage pour une régularisation complète annuelle et interannuelle.*



Annexe (05) : Abaque de Plechkov.Ia.F pour la détermination de la composante interannuelle du barrage pour :  $C_s = 2.C_v$ ;  $r = 0$  et  $P = 80\%$ .



**Annexe (06) :** Abaque de Miloslavsky, pour la détermination de la composante interannuelle du volume de barrage pour :  $C_s=2.C_v$ ;  $r = 0$  et  $P = 80\%$ .



### ملخص:

في إطار المحافظة على المياه وضعت الوكالة الوطنية للسدود و التحويلات برنامجا لإنشاء السدود بالمرّة الدراسة، اختيار و تصميم منشآت التخزين يكون بطريقة معمقة. الدراسة التي أجريناها في مذكرة التخرج هذه هي دراسة مشروع إنشاء سد في ولاية برج بوعريّيج تحديدا في واد شرتيوة هذا السد سيكون موجها الري.

### كلمات مفتاحية:

المياه, السدود, التخزين, الانشاء

### Résumé :

Dans le cadre de la conservation et la restitution des eaux, l'ANBT a mis tout un programme pour la réalisation des barrages et des retenues collinaires

Toutefois, l'étude, le choix et le dimensionnement des ouvrages de stockage méritent d'être approfondie. L'étude que nous avons menés dans ce MFE est une étude de faisabilité d'un barrage dans la wilaya de Bourdj Bou-Arririge et principalement sur l'Oued Chartioua, ce barrage sera destinée pour l'irrigation.

**Mots clés :** eaux, barrages, stockage, construction

### Abstract

As part of the conservation and restoration of waters, ANBT has a whole program for the realization of dams and small dams

However, the study, the choice and design of storage structures deserve to be thorough. The study that we conducted in the MFE is a feasibility study of the dam in the province of Bourdj Bou-Arririge and mainly on the Oued Chartioua, this dike will be destined for irrigation.

**Key words:** water, dams, storage, building.