

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed khider –Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie civil et d'Hydraulique  
Référence : ...../2020



جامعة محمد خيضر بسكرة  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
قسم الهندسة المدنية و الري  
المرجع ...../2020

## Mémoire de Master

Filière : Hydraulique

Spécialité : Ouvrages hydraulique

Thème

**ETUDE DU FAISABILITE D'UNE RETENUE  
COLLINAIRE DESTINEE A L'IRRIGATION  
COMMUNE D'ELKANTARA WILAYA DE –BISKRA-**

Nom et Prénom de l'étudiant :  
DJABARI Ismail

Encadreur : LOUGHRAICHI Yazid

Année universitaire : 2019 - 2020

# *Remerciement*

*Tout d'abord, nous remercions le bon Dieu, notre créateur de nous avoir donné la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail modeste.*

*Nous adressons le grand remerciement à nos parents et à notre encadreur **Mr LOUGHRAICHI Yazid** pour ses conseils et dirigés du début à la fin de ce travail.*

*Nous tenons également à remercier les membres de jury pour l'honneur qui nous ont fait en acceptant de siéger à notre soutenance.*

*Enfin, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos familles qui nous ont toujours soutenues, à nos proches, nos collègues, nos amis et à tous ceux qui ont participé à la réalisation de ce mémoire.*

*Ainsi que l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation.*

## *Dédicace*

*Merci Allah de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve.*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A l'homme de ma vie, mon chère papa ;*

*Pour ton amour, pour tes sacrifices, pour ton soutien tout au long de mes études j'espère être la source de ta fierté .que ce travail soit un modeste témoignage de mon éternelle reconnaissance. Que dieu te garde pour nous mon source de joie et de bonheur.*

*A ma très chère maman ;*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour moi instruction et mon bien-être .je vous remercie pour tous le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours Puisse Dieu, le très haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie.je t'aime MAMA.*

*A tous mes amies, mes proches et mes collègues.*

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce travail soit possible, je vous dis merci beaucoup.*

## ملخص

تجربة الجزائر في مجال تعبئة الموارد السطحية واسعة جدا . ولكن سلبيات الدراسة حول جدوى الخزان لم تعتبر ذات أهمية ولم تأخذ في عين الاعتبار حيث أن هذه الأخيرة تدخل التنمية لقطاع الزراعة مساحات ومحيط الري في إهمال حيث العديد من المناطق تطالب بكميات كبيرة من المياه لتلبية احتياجاتها. إن مشروع نهاية الدراسة تجري حول دراسة جدوى حاجز مائي على وادي مسعود بلدية القنطرة ولاية بسكرة

## Abstract

Algeria's experience in mobilizing surface resources is very extensive. However, the negatives of the study on the feasibility of the reservoir were not considered important and were not taken into account, as the latter is entering the development of the agricultural sector, areas and the perimeter of irrigation, in neglect, as many areas demand large quantities of water to meet their needs.

The end of the study project is about a feasibility study of a water barrier on Oued Masoud, the municipality of Kantara, the wilaya of Biskra

# Sommaire

## INTRODUCTION GENERALE

### Chapitre I : Présentation de la région d'étude et le traitement cartographique

I.1. Introduction.....	3
I.2. Présentation de la région d'étude.....	3
I.2.1. Accessibilité au site de la retenue.....	3
I.2.2. SITUATION DE LA RETENUE COLLINAIRE.....	4
I.2.3. CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DE SITE :.....	4
I.3. DONNEES HYDROLOGIQUES DISPONIBLES de la region :.....	5
I.3.1. Données pluviométriques.....	5
I.3.2. Données hydrométriques.....	5
I.3.3. Apports solides.....	5
I.4. SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	6
I.5. RELIEF ET PENTE.....	7
I.6. VEGETATION.....	7
I.7. CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DU BASSIN VERSANT.....	8
I.7.1. Formules morphométriques.....	8
I.8. DONNEES CLIMATOLOGIQUES.....	13
I.8.1. TEMPERATURES.....	13
I.8.2. EVAPORATION.....	14
I.8.3. HUMIDITE.....	15
I.9. Conclusion.....	16

### Chapitre II : Calculs de la régularisation de l'écoulement de l'oued

II.1. Introduction.....	17
II.2.1. Détermination des caractéristiques topographiques de la cuvette.....	17
II.2.2. Construction des courbes bathygraphiques.....	17
II.3. Le calcul de la régularisation.....	19
II.3.1. Le bilan hydrologique.....	20
II.3.2. Définir les paramètres du bilan hydrique.....	20
II.3.2.1. Volume initial.....	20
II.3.2.2. Ecoulement.....	22
II.3.2.3. Perte par infiltration.....	22
II.3.2.4. Perte par évaporation.....	22
II.3.2.5. La demande en eau d'irrigation.....	22
II.4.1. Répartition mensuelle des besoins en eau pour l'irrigation (en %).....	22
II.4.2. Répartition de l'évaporation (en %).....	23
II.5.1. Calcul de la régularisation saisonnière.....	25
II.5.2. Présentation du logiciel et les étapes du calcul.....	25
II.5.3.1. Fonction principales du G-W Basic.....	25
II.5.3.2. L'algorithme du logiciel.....	25
II.6. Conclusion.....	28

### Chapitre III: Estimation des débits maxima des crues et laminage des crues

III.1. Introduction.....	29
III.2. ETUDE DES CRUES.....	29
III.2.1. Temps de concentration :.....	29
III.2.2. Etude des pluies journalières de différentes fréquences.....	30
III.3. Pluies de courte durée.....	37
III.3.1. Débits maximums.....	37
III.4. VOLUMES ET HYDROGRAMMES DE CRUE.....	40

III.5. ETUDE DES APPORTS SOLIDES.....	42
III.6.ETUDE DE LAMINAGE DES CRUES.....	44
III.7Paramètres utilisés dans le calcul de laminage .....	44
III.7.1 Courbe surface capacité.....	44
III.7.2 Type de déversoir.....	44
III.8 RESULTATS ET CONCLUSIONS DU LAMINAGE.....	45
III.9. Conclusion.....	53

## CHAPITRE IV :Conception de la digue

IV.1. Introduction.....	54
IV.2. Critères du choix du site de la retenue.....	54
IV.3. Choix du matériau de construction.....	55
IV.4. Calcul des dimensions principales de la retenue collinaires.....	56
IV.4.1Calcul du niveau de la crête de la digue en prenant en considération les contraintes dues au séisme .....	59
IV.4.2.Largeur en crête de la digue.....	60
IV.5. Pente des talus amont et aval de la digue.....	61
IV.5.1.Pentes des talus amont et aval de la digue .....	61
IV.5.2. Calcul de la largeur de la base de la retenue.....	62
IV.5.3. Protection de talus amont .....	63
IV.5.4.Protection du talus aval .....	64
IV.6. Étude des infiltrations.....	65
IV.7.ETUDE DES INFILTRATIONSTARAGE DE LA LIGNE PHREATIQUE.....	66
IV.7.1Equation de la ligne phréatique .....	66
IV.7.2.Equation de la ligne phréatique simplifiée .....	67
IV.7.3.vérification de la résistance d'infiltration.....	67
VI.7.3.1Corps de la digue.....	67
IV.8.Etude de la stabilité .....	68
IV.8.1. Pression interstitielle sur le corps de la digue .....	68
IV.8.2 Détermination du coefficient de sécurité.....	68
IV.9. conclusion .....	70

## CHAPITRE V : Ouvrage annexe

V.1. Introduction.....	71
V.2. Evacuateur de crue.....	71
V.2.1. Généralité sur les évacuateurs de crue.....	71
V.2.2. canal d'entré.....	71
V.2.3. Vitesse d'approche.....	72
V.3.Calcul hydraulique du Seuil.....	72
V.3.1Débit de déversement du seuil.....	72
V.3.2.Dimensionnement de seuil déversoir .....	72
V.3.3.Calcul hydraulique de Coursier.....	74
V.4. Convergent.....	74
V.5.Détermination de la hauteur normale hn, hc et Ic de coursier.....	74
V.5.1.La pente critique .....	75
V.5.2Calcul hydraulique de bassin d'amortissement.....	76
V.5.3Dimensionnement de bassin d'amortissement .....	77
V.5.4.Canal de fuite.....	78
V.6.CALCUL HYDRAULIQUE DE LA PRISE D'EAU ET VIDANGE DE FOND.....	79
V.6.1.Calcul de la grille principale du puisard d'entrée .....	79
V.6.2.Calcul du temps de vidange de la retenue .....	80
V.7. Conclusion .....	82

Conclusion générale

Références bibliographiques

## Liste des tableaux

Tableau(01) : coordonnées de site.....	4
Tableau(02) : Répartition de la surface du BV.....	8
Tableau(03) : Caractéristiques Morphométriques.....	9
Tableau(04) : Températures moyennes mensuelles (1978-2007).....	10
Tableau(05) : Evaporation station barrage de fontaine de guezelle,.....	11
Tableau(06) : Répartition mensuelle de taux d'humidité (bilan ANRH 1990-2000).....	12
Tableau(07) : COURBE/ HAUTEUR/SURFACE RETENUE COLLINAIRE OUED MASSAOUD.....	18
Tableau(08) : La répartition en pour-cent des besoins en eau pour l'irrigation.....	21
Tableau(09) : Evaporation station barrage de fontaine de gazelle.....	21
Tableau(10) : REGULARISATION pour des besoins de $7000\text{m}^3/\text{ha}$ .....	23
Tableau(11) : RECAPITULATIF de régularisations.....	24
Tableau(12) : Valeurs des pluies maximales journalières annuelles.....	31
Tableau(13) : Ajustement pluies journalières max.....	31
Tableau(14) : Pjmax fréquentielle.....	32
Tableau(15) : Ajustement pluies journalières max.....	33
Tableau(16) : pluies journalières max fréquentielle.....	33
Tableau(17) : Pluies de courte durée.....	34
Tableau(18) : Débit Max.....	36
Tableau(19) : Volume de crue.....	37
Tableau(20) : récapitulatif pour la fréquence 10%.....	40
Tableau(21) : récapitulatif pour la fréquence 1%.....	40
Tableau(22) : récapitulatif pour la fréquence 0.1%.....	40
Tableau(23) : laminage de la crue décanale $b=10\text{m}$ .....	41
Tableau(24) : laminage de la crue décanale $b=12\text{m}$ .....	42
Tableau(25) : laminage de la crue décanale $b=14\text{m}$ .....	43
Tableau(26) : laminage de la crue centennale $b=10\text{m}$ .....	44
Tableau(27) : laminage de la crue centennale $b=12\text{m}$ .....	45

Tableau(28) : laminage de la crue centennale $b=14m$ .....	46
Tableau(29) : laminage de la crue Mellennale $b=10m$ .....	47
Tableau(30) : laminage de la crue Mellennale $b=12m$ .....	48
Tableau(31) : laminage de la crue Mellennale $b=14m$ .....	49
Tableau(32) : valeurs des crues et les niveaux normaux.....	55
Tableau(33) : la revanche sont simplifiés.....	57
Tableau(34) : différentes formules de calcul largeur en crête de la digue.....	59
Tableau(35) : pentes des talus de la retenue collinaire.....	59
Tableau(36) : épaisseur minimum de la couche de l'enrochement.....	61
Tableau(37) : classe du barrage.....	63
Tableau(38) : Coefficient de sécurité admissible.....	64
Tableau(39) : Calcul de vitesse de déversement.....	72
Tableau(40) : Calcul hydraulique Seuil.....	73
Tableau(41) : Calcul hydraulique de coursier.....	74
Tableau(42) : calcul hydraulique de canal de fuite.....	77

## LISTE DES FIGURES

FIGURE(01) : Accessibilité au site de la retenue collinaire.....	3
FIGURE(02) : l'endroit de l'axe proposé.....	4
FIGURE(03) : Zone d'étude.....	5
FIGURE(04) : Bassin versant OUED MASSAOUD .....	6
FIGURE(05) : Réseau hydrométrique du BV de la RC Oued Massaoud.....	9
FIGURE(06) : Courbe hypsométrique.....	10
FIGURE(07) : Diagramme répartition mensuelle des températures Mena.....	11
FIGURE(08) : Diagramme répartition mensuelle d'Evaporations.....	12
FIGURE(09) : courbe de remplissage de la retenue collinaire el kantra.....	18
FIGURE(10) : Ajustement log normal El Outaya.....	32
FIGURE(11) : Gumbel station pluviométrique El Outaya.....	33
FIGURE(12) : Hydrogramme de crue.....	37
FIGURE(13) : laminage de la crue décanale b=10m .....	41
FIGURE(14) : laminage de la crue décanale b=12m .....	42
FIGURE(15) : laminage de la crue décanale b=14m .....	43
FIGURE(16) : laminage de la crue centennale b=10m .....	44
FIGURE(17) : laminage de la crue centennale b=12m.....	45
FIGURE(18) : laminage de la crue centennale b=14m .....	46
FIGURE(19) : laminage de la crue Mellennale b=10m.....	47
FIGURE(20) : laminage de la crue Mellennale b=12m.....	48
FIGURE(21) : laminage de la crue Mellennale b=14m.....	49
FIGURE(22) : Représente les pressions interstitielles dans la digue.....	64
FIGURE(23) : Présentation du cercle critique.....	65

## INTRODUCTION GENERALE

L'accès durable aux ressources en eau est une préoccupation majeure qui concerne le monde particulièrement les pays du bassin méditerranéen. Le changement climatique et la croissance urbaine attendue dans la région risquent d'aggraver la situation du manque hydrique qui frappe la plus part des pays de la méditerranée. Le territoire algérien est divisé en deux grandes parties. La partie nord est caractériser par son climat méditerranéen, car, elle dispose des ressources en eau renouvelable (les eaux de surface et les eaux souterraines). La deuxième partie qui représente 87 % est un désert où les précipitations sont quasi nulles, Mais, elle dispose d'importantes ressources souterraines très profondes. Les 90% des eaux de surface sont situé sur un territoire de 13 %. L'utilisation de ces eaux est très divers ; comme l'alimentation en potable et l'irrigation. L'Algérie du nord a une capacité de mobilisation de 12 milliards de m<sup>3</sup> /an par des barrages et des retenues collinaires, [24]. Dans notre pays, il existe 215 000 ha de superficie grands périmètre irriguée (GPI) dont, 150 000 ha sont estimé irrigable par les eaux, mobilisés par des grands barrages. Les superficies irriguées en petit et moyenne hydraulique (PMH) sont évalué en 2007, près de 907 000 ha qui sont mobilisé par des forages, des puits, sources et des retenues collinaires. Aussi sur 900 retenues collinaires, la plus part ont été réalisé dans le cadre de PMH, mais ces investissements ont malheureusement souvent été mal réalisés sur la base des études sommaires, ce qui a fait perdre 50 % de ces petits ouvrages. Ceci est dû à la négligence et le mauvais maintien de ces ouvrages, [27]. L'Algérie du Nord, est constituée de 5 principaux grands bassins hydrographiques caractérisés par une topographie montagneuse, avec une couverture végétale moyennement intense et une lithologie tendre et fragile, [24]. Le climat est caractérisé par une pluviométrie mal répartie et des pluies rares et inattendues souvent agressives. Mais, en contre évènement, la sécheresse intense observé durant les 30 dernières années qui se caractérise par un déficit de 30 % des précipitations, où le cas le plus rare qui est induit durant l'année 2001 - 2002 d'un déficit de 50 %, celui-ci avait un impact négatif sur l'écoulement des cours d'eau. L'érosion hydrique qui est à l'origine la dégradation des sols et au recule de la superficie agricole. Ceci oblige, la prise en charge à ce problème, par la mobilisation optimale des ressources en eau superficielle par des barrages et des retenues collinaires. Pour Stocker les excès en eaux de surface pendant la saison pluvieuse et couvrir le déficit durant la période sèche. Il est très important de bien entretenir les barrages et surtout les retenues collinaires qui sont excessivement négliger. Le bon dimensionnement des retenues collinaires dépend de plusieurs facteurs ; la

topographie du bassin versant, sa géologie, son climat, etc.... La présente étude a pour objectif l'étude de faisabilité d'une retenue collinaire à oued massaoud commune El kantra wilaya de Biskra, qui se situe dans le bassin versant de la Chott Melghir. Cellelà va s'accentuer sur les points suivants :

## INTRODUCTION GENERALE

Premier chapitre : a pour objet la présentation sommaire de la région, sa géologie régionale et sa séismicité. A l'aide du logiciel ARCGIS, un traitement cartographique approprié pourrait déterminer tous les caractéristiques morphologique et morphométrique du bassin versant.

Deuxième chapitre : Calcul de régularisation saisonnière de l'écoulement de l'oued et déterminer le niveau normale de la retenue collinaire.

Troisième chapitre : Estimer le débit maximum des crues pour les différents périodes de retour, et réaliser l'hydrogramme de crue correspondant. Estimer le débit de crue laminé à évacuer par le déversoir et ressortir l'hydrogramme de laminage de crue.

Quatrième chapitre : Faire une conception générale de la digue et calculer ces déférents paramétrés et vérifier la stabilité de l'ouvrage.

Cinquième: Dimensionnement des différents ouvrages annexes de la retenue collinaire, tel que, l'évacuateur de crue, prise d'eau et vidange du fond.

---

# **CHAPITRE I**

## **Présentation de la région d'étude**

## I.1. Introduction

Dans ce chapitre, on présentera la région d'étude où se situe l'emplacement de la retenue collinaire. La délimitation géographique du bassin versant est faite à l'aide du logiciel ARCGIS. L'objectif du traitement cartographique de la région d'étude est de déterminer les paramètres caractérisant le bassin versant : la végétation, l'altimétrie, le réseau hydrographique, la surface, la longueur du cours d'eau principale, le profil en long et l'hypsométrie caractérisent. Egalement, on traitera la géologie de la région d'implantation du site de la retenue.

## I.2. Présentation de la région d'étude

### I.2.1. Accessibilité au site de la retenue

Le projet de réalisation de la retenue collinaire est programmé dans la région de el kantra de la wilaya de Biskra, c'est une oasis située dans le sud-ouest des Aurès, a 52 km au nord- de Biskra

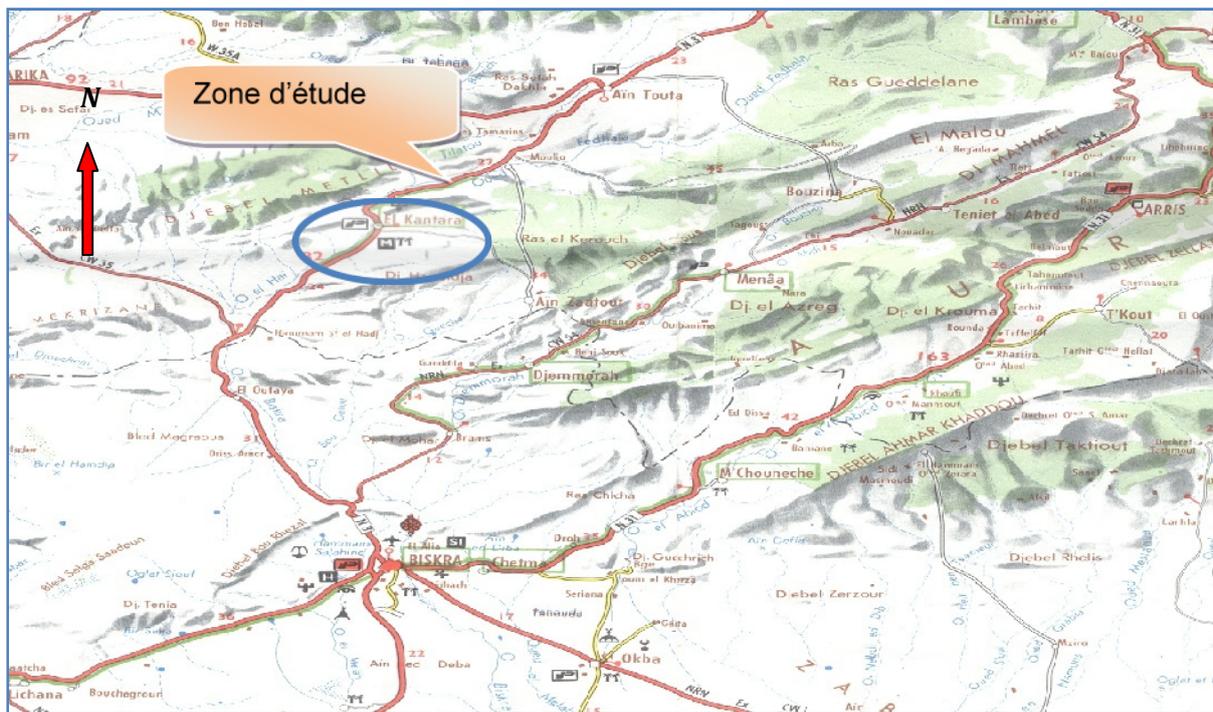


Figure N°01: Accessibilité au site de la retenue collinaire

### I.2.2 SITUATION DE LA RETENUE COLLINAIRE:

Le site proposé de la future retenue collinaire commune d'*EL KANTRA* se trouve à 03 km environ à vol d'oiseau au Sud Ouest de la commune d'*EL KANTRA*.

L'axe proposé de la présente étude de retenue collinaire est défini sur les cartes d'Etat Major *D'EL KANTARA* Feuille n° 259 à l'échelle 1/50.000 par les coordonnées LAMBERT suivant :

Tableau n°01 : coordonnées de site

Coordonnées	X (km)	Y (km)	Z(m)
<i>Oued Messaoud</i>	770 633	215 443	483

### I.2.3.CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DE SITE :

La zone d'étude de la retenue collinaire présente un relief très plat, l'emplacement du site est caractérisé par une vaste cuvette, la pente du relief est très faible, la gorge choisie pour l'emplacement de l'axe de la retenue collinaire est fermée.



Figure N°02: l'endroit de l'axe proposé

### I.3 DONNEES HYDROLOGIQUES DISPONIBLES DE LA REGION :

#### I.3.1 Données pluviométriques

Le bassin versant étudié appartient au bassin versant chott Melhrir (06) et sous bassin oued El Hai (06-12). Le bassin versant d'étude ne possède pas des stations pluviométriques situées à l'intérieur. Toutes les stations existant sont situées aux alentours du bassin comme la station d'el kantara (061206) en arrêt. Ain Touta (121203) et station el outaya (06 12 05) série (1968-2010) avec des lacunes. Après analyser la viabilité des données nous utilisons la station d'El outaya.

#### I.3.2 Données hydrométriques

Pour les besoins de l'étude des apports liquides nous utilisons les relations empiriques.

#### I.3.3. Apports solides

En l'absence des données sur les apports solides, notamment les particules en suspension, la formule de **TIXERONT** est utilisée pour le calcul du taux de dégradation spécifique.

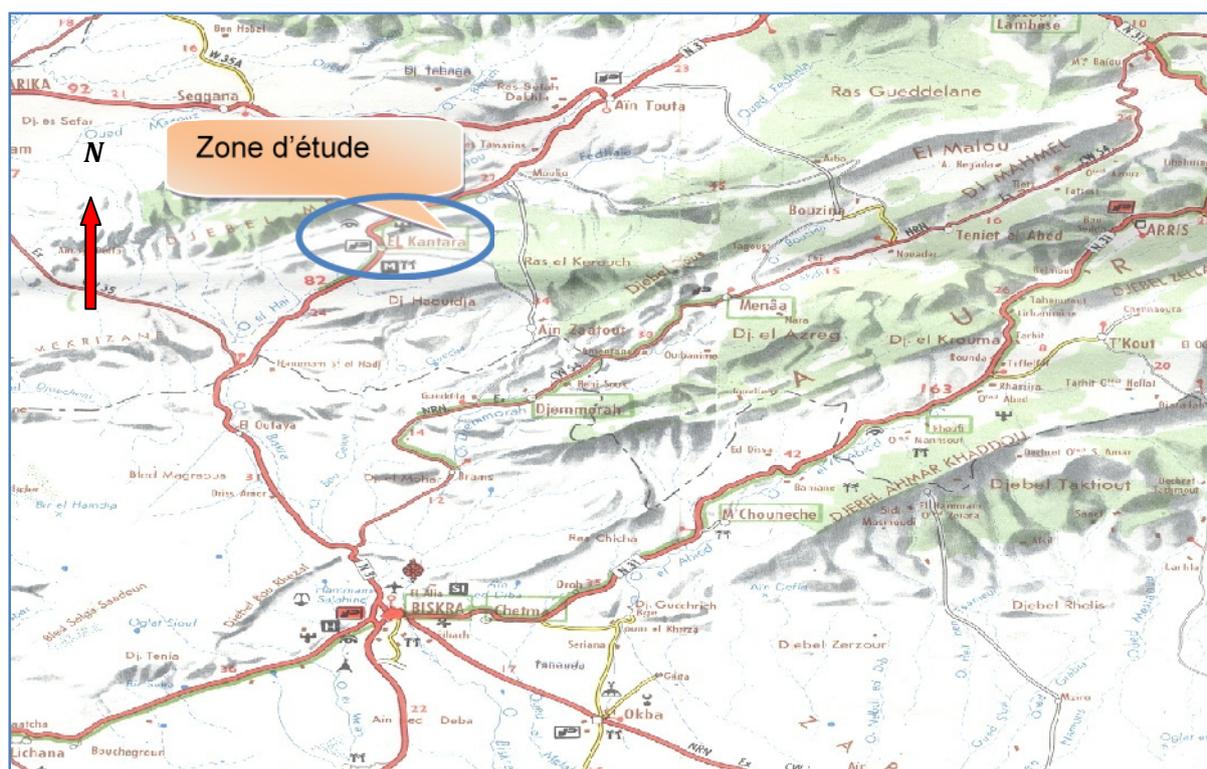


Figure N°03 : Zone d'étude

### I.4. SITUATION GEOGRAPHIQUE

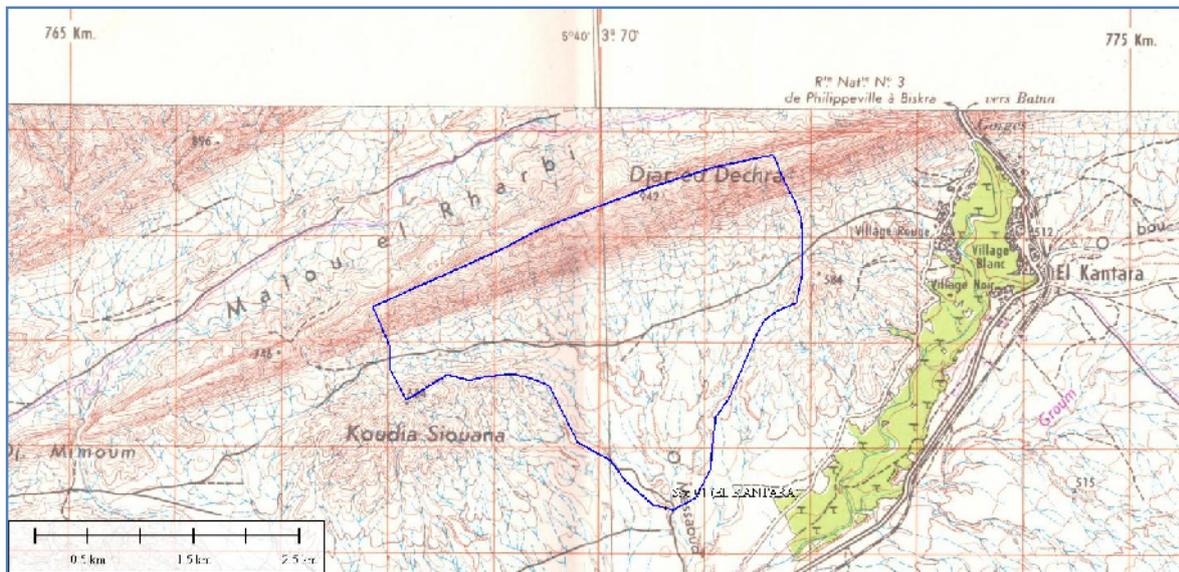
Le site de la future retenue collinaire sur oued massaoud se trouve à 04 km environ à vol d'oiseau au Sud-ouest de la commune d'El kantra, **Figure N°04**.

L'axe proposé de la présente étude de retenue collinaire est défini sur la carte d'Etat Major **EL Kantara** Feuille n° **259** à l'échelle 1/50.000 par les coordonnées LAMBERT suivant :

$$X = 770.633\text{Km.}$$

$$Y = 215.443\text{Km.}$$

$$Z = 471\text{m.}$$



**Figure N°04:** Bassin versant OUED MASSAoud (cartes d'Etat Major **EL KANTARA** Feuille n° **259** -l'échelle 1/50.000-)

### **I.5. RELIEF ET PENTE**

Le relief est relativement fort entre la cote **972m** et la cote **471 m**, ce qui signifie une pente forte, par voie de conséquence la propagation des crues sera relativement importante.

### **I.6 VEGETATION**

Le bassin versant présente un couvert végétal très clairsemé. Cette situation a engendré un taux d'abrasion considérable d'où une durée de vie de la retenue collinaire inévitablement plus courte.

## I.7 CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DU BASSIN VERSANT

Le bassin versant de la retenue collinaire sur **oued massaoud** est délimité à partir de la carte topographique. Cette même carte a servi comme base à la détermination des différents paramètres morphologiques ainsi qu'à l'élaboration de la courbe hypsométrique et carte hydrographique du bassin versant.

### I.7.1 Formules morphométriques

#### - Indice de compacité $K_c$

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

P : périmètre du B.V (km).

A : surface du B.V (km<sup>2</sup>).

#### - Longueur du Rectangle équivalent L(km).

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

$K_c$  : indice de compacité.

A : surface du B.V (km<sup>2</sup>).

#### - Largeur du Rectangle équivalent I (km).

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

$K_c$  : indice de compacité.

A : surface du B.V (km<sup>2</sup>).

#### - Indice de pente ROCHE (IPR).

$$IPR = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum \sqrt{a_i * d_i}$$

L : Rectangle équivalent (m).

$a_i$  : surface parcelle/surface total

$d_i$  : dénivelée (m).

- **Indice de pente globale  $I_g$  (m/km).**

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

D : Dénivelée simple H95% - H5% .

L : Long du rectangle équivalent (km).

- **Vitesse de propagation de la crue (km/heure).**

$$V_e = \frac{L_p}{T_c}$$

$L_p$  : long du thalweg (km).

$T_c$  : temps de concentration (h)

- **Pente moyenne**

$$P_{moy} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$$

$P_{moy}$  : pente moyenne du cours d'eau [m/km] ;

$\Delta H = (h_{max} - h_{min})$ : dénivellation maximale de la rivière [m] (différence d'altitude entre le point le plus éloigné et l'émissaire) ;

L : longueur du cours d'eau principal [km].

$P_{moy} = 136,46$  m/km

**Tableau N° 2 Répartition de la surface du BV**

Tranche	Surface	S cuml	Surface	di	ai	RAC(di*ai)	Hi	s*hi
d'altitude	Km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	%	dénivelée			Km	
942-900	0,23	0,23	3,21	42	0,032	1,16	0,92	0,21
900-850	0,32	0,55	7,68	50	0,045	1,49	0,875	0,28
850-800	0,36	0,91	12,71	50	0,050	1,59	0,825	0,30
800-750	0,32	1,23	17,18	50	0,045	1,49	0,775	0,25
750-700	0,25	1,48	20,67	50	0,035	1,32	0,725	0,18
700-650	0,35	1,83	25,56	50	0,049	1,56	0,675	0,24
650-600	0,42	2,25	31,42	50	0,059	1,71	0,625	0,26
600-550	2,3	4,55	63,55	50	0,321	4,01	0,575	1,32
550-500	2,25	6,80	94,97	50	0,314	3,96	0,525	1,18
500-467	0,36	7,16	100,00	67	0,050	1,89	0,4855	0,17
Somme					1,00	20,20		4,40

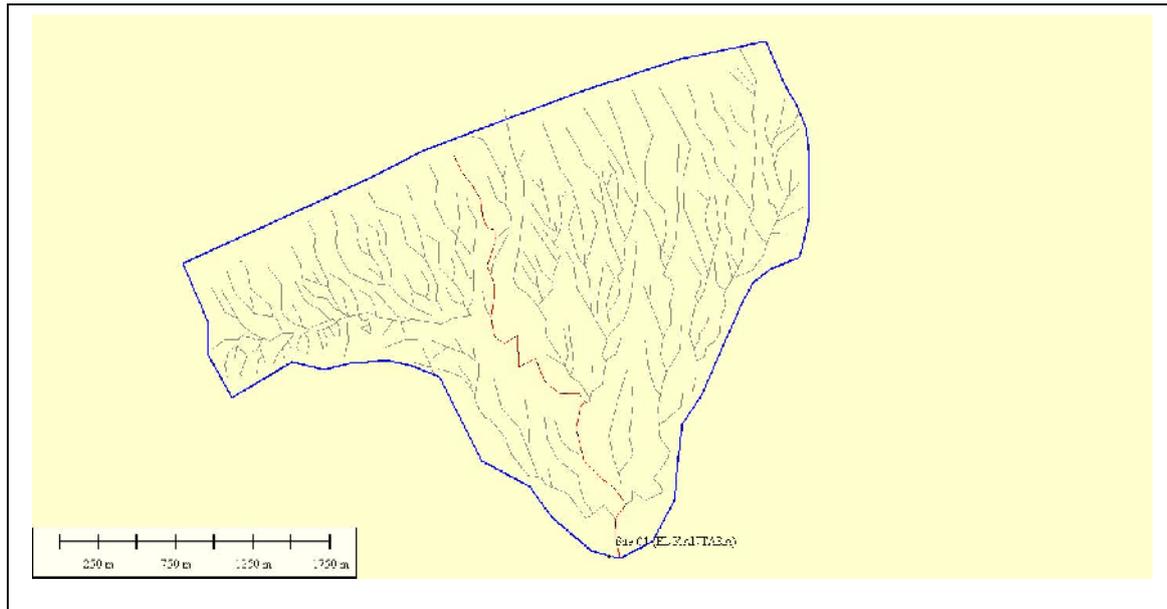


Figure N°05: Réseau hydrométrique du BV de la RC Oued Massaoud

Tableau N°3 : Caractéristiques Morphométriques

N°	DESIGNATIONS	UNITES	VALEURS
1	Coordonnées du site		
	X	Km	770.633
	Y	Km	215.443
	Z	m	471.00
2	Superficie du bassin «S»	Km <sup>2</sup>	7.16
3	Périmètre du bassin versant « P»	Km	12.08
4	Kc		1.27
5	L( longueur équivalent)	Km	4.49
6	I(largeur équivalent)	Km	1.60
7	IPR		0.30
8	Ig	m/Km	84.45
9	Altitudes caractéristiques		
	Hmax	m	942,00
	Hmoy	m	614.00
	Hmin	m	471.00
10	Dénivelée brute « h »	m	471.00
11	Dénivelée utile (H5%-H95%)	m	379.00
12	Longueur du thalweg principal Lp	Km	3.48
13	Temps de concentration Tc	H	1.64
14	Vitesse moyenne de propagation de la crue	Km/h	2.12

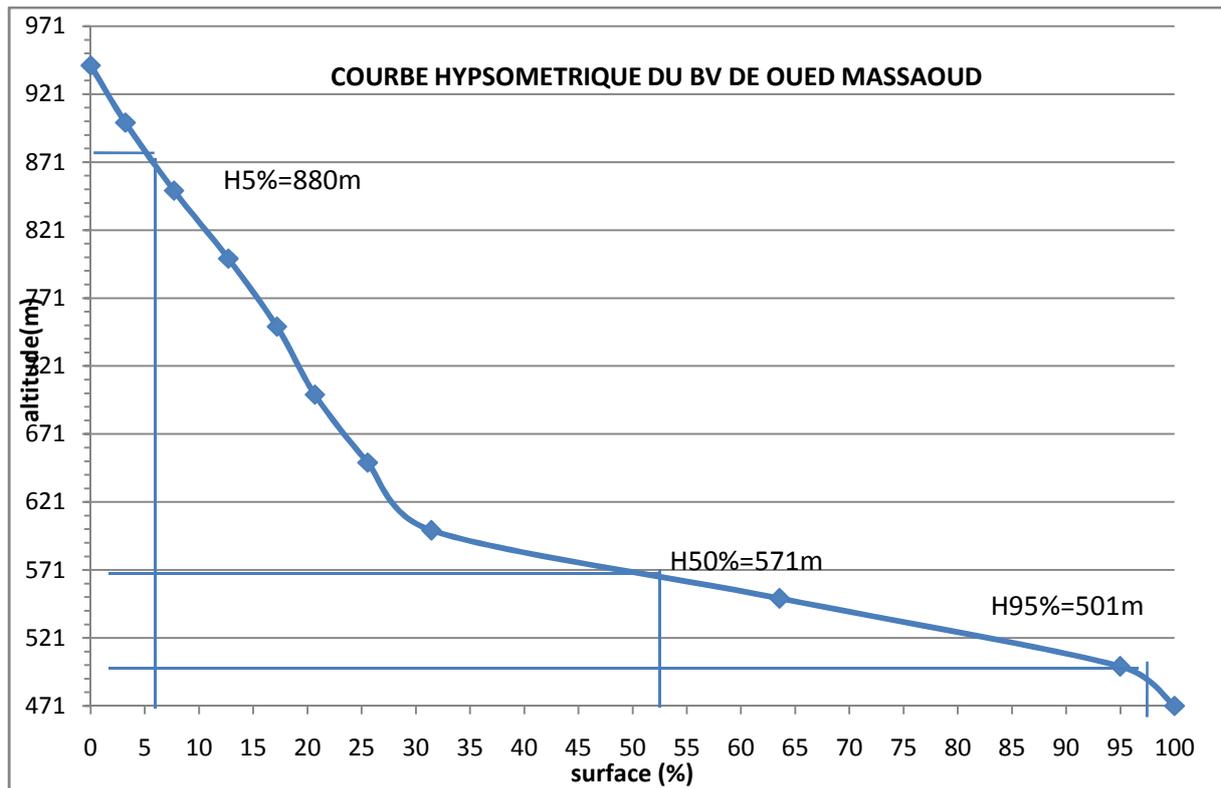


Figure N°06: Courbe hypsométrique

## I.8 .DONNEES CLIMATOLOGIQUES

### I.8.1 TEMPERATURES

Ce paramètre joue un rôle essentiel dans l'évaluation du déficit d'écoulement, nous utilisons la station de Menaâ sur une période de 10ans (1986-1996) [BNEDER.1998] figure dans le tableau ci-dessous.

$T_{0c\ min}$  = Températures moyennes mensuelles et annuelles des minima ;

$T_{0c\ moy}$  = Températures moyennes mensuelles et annuelles ;

$T_{0c\ max}$  = Températures moyennes mensuelles et annuelles des maxima

Tableau n°4: Températures moyennes mensuelles (1978-2007):

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	année
$T^{\circ}moy_{ma}$	10.9	12.6	16.57	19.49	25.77	31.08	33.46	35.3	29.13	22.42	14.91	10.58	-
$T^{\circ}moy_{mi}$	0.82	2.29	5.63	8.11	13.43	17.92	19.94	21.5	16.27	10.58	4.21	0.54	-
$T^{\circ}moy$	5.868	7.46	11.1	13.8	19.6	24.5	26.7	28.4	22.7	16.5	9.56	5.56	15.97

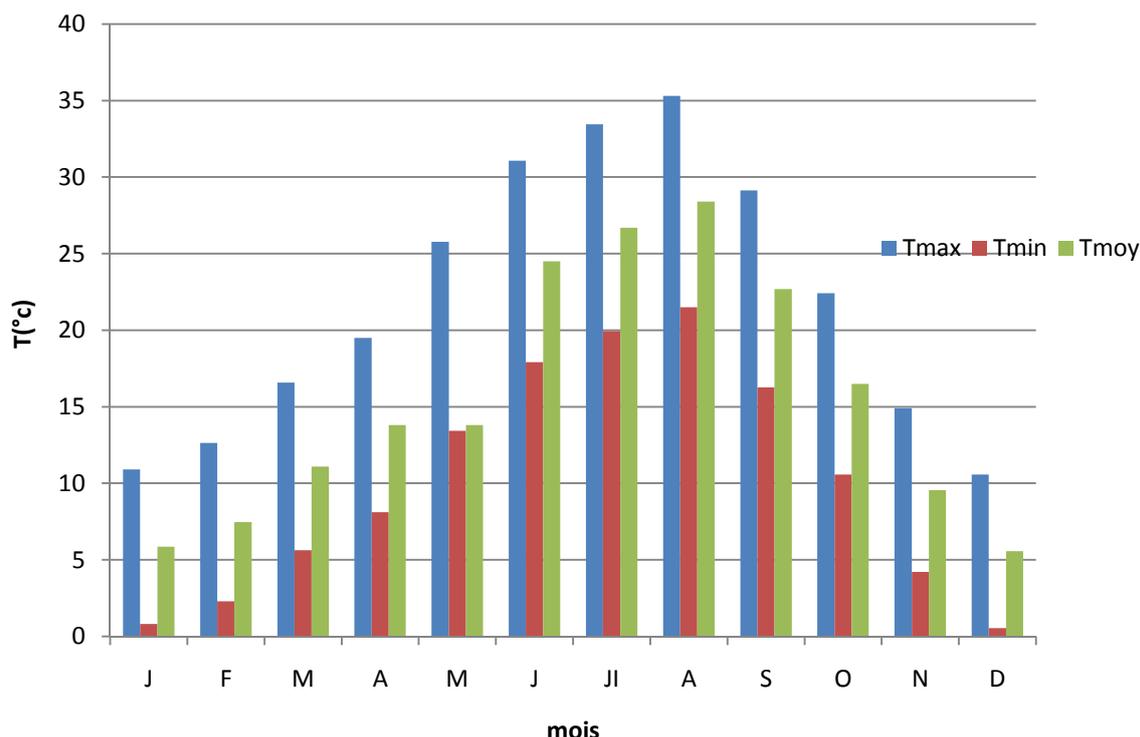


Figure N°07 : Diagramme répartition mensuelle des températures Mena

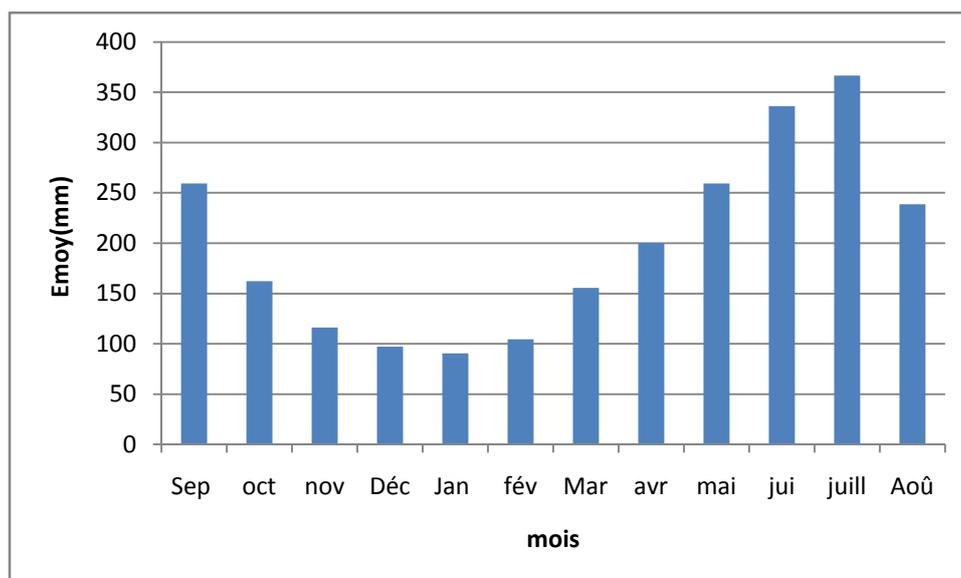
### I.8.2. EVAPORATION

L'estimation de ce paramètre a été faite en utilisant les données disponibles pour la station barrage de fontaine de gazelle, où elle est mesurée par le bac Colorado. Le tableau N° 05 donne les valeurs sur une période de 17 ans.

L'évaporation moyenne annuelle retenue est donc de 2483.60 mm / an, comme on le remarque dans le tableau N° 4 ci-après. Elle est minimale durant les mois d'hiver décembre, janvier et février), alors qu'elle est maximale pour les mois d'été (juin, juillet et août) (Fig N°8).

Tableau N°5 : Evaporation station barrage de fontaine de gazelle,

Mois	Sep	oct	nov	Déc	Jan	fév	Mar	avr	mai	jui	juill	Août	Som
Min (mm)	164.03	118.80	88.69	52.42	67.39	63.57	93.05	122.46	165.91	198.35	245.93	68.427	1619.28
Max (mm)	312.31	210.99	151.48	189.46	190.40	131.20	207.40	306.77	363.40	518.47	453.10	44.335	3462.42
E Moy (mm)	259.27	162.24	116.30	97.11	90.40	104.36	155.69	200.23	259.51	336.34	366.52	238.63	2483.60



**Figure N°08 : Diagramme répartition mensuelle d'Evaporations**

### I.8.3. HUMIDITE

La commune de EL KANTARA est considérée comme une zone semi aride, qui est caractérisé par un climat sec et chaud, il est cependant constater des pourcentages d'humidité moins importants, mais une légère augmentation est remarquable ces dernières années et ça est du au site du barrage des fontaine des gazelle dont l'influence est directe sur le taux d'humidité de la région.

D'après la série de données des 10 dernière années d'observation on constate que :

- La moyenne minimale annuelle est de 29.09%
- La moyenne maximale annuelle est de 58.18%

**Tableau 6 : Répartition mensuelle de taux d'humidité (bilan ANRH 1990-2000)**

mois	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
moy(%)	58,182	48,818	43,45	37,55	32,54	28,82	26,55	29,09	38,45	45,45	52,36	57,18

## I.9 Conclusion

Le site de la retenue collinaire est situé à l'amont de la région D'ELKANTARA qui est localisé sur la carte d'état majeur d'ELKANTARA feuille 259. On a constaté aussi une formation géologique imperméable d'après une analyse faite de la carte géologique de la région. Le traitement cartographique par le logiciel ARCGIS nous a permis de soulever les principaux caractéristique morphométrique du bassin versant tel que la superficie, la longueur du cours d'eau principale, le profil en long du cours d'eau et l'hypsométrie, ets....

# **Chapitre II**

## **Calculs de la régularisation de l'écoulement de l'oued**

## II.1. Introduction

L'objectif de ce chapitre est de maîtriser les calculs de régularisation de l'écoulement, en se basant sur l'équation du bilan de l'eau dans la retenue, et prendre en compte des pertes générées par l'infiltration des eaux dans le sous-sol et le taux d'évaporation du plan d'eau de la cuvette. Pour la demande en eau d'irrigation, il est bien exigent de prendre en compte tous les paramètres qui influent sur le bilan hydrique pour mieux gérer la retenue collinaire.

### II.2.1. Détermination des caractéristiques topographiques de la cuvette

Le site de la retenue est localisé sur la carte d'état majeur d'oued Massaoud à l'échelle de 1/25000<sup>ème</sup>. Aux coordonnées suivantes :

**X = 770.633Km.**

**Y = 215.443Km.**

**Z = 471m.**

### II.2.2. Construction des courbes hypsométriques :

En utilisant les données topographiques du site, les courbes hypsométriques surface et volume sont construites en fonction des hauteurs, pour une équidistance d'un mètre. La surface du plan d'eau est déterminée par une planimétrie numérique pour chaque équidistance, les volumes partiels correspondant au niveau d'eau est déterminés par la relation :

$$\Delta V_i = \frac{S_i + S_{i+1}}{2} \times \Delta h$$

Où :

Si : Superficie partielle entre deux courbes de niveau, en km<sup>2</sup>.

$\Delta h$  : Equidistance, en m.

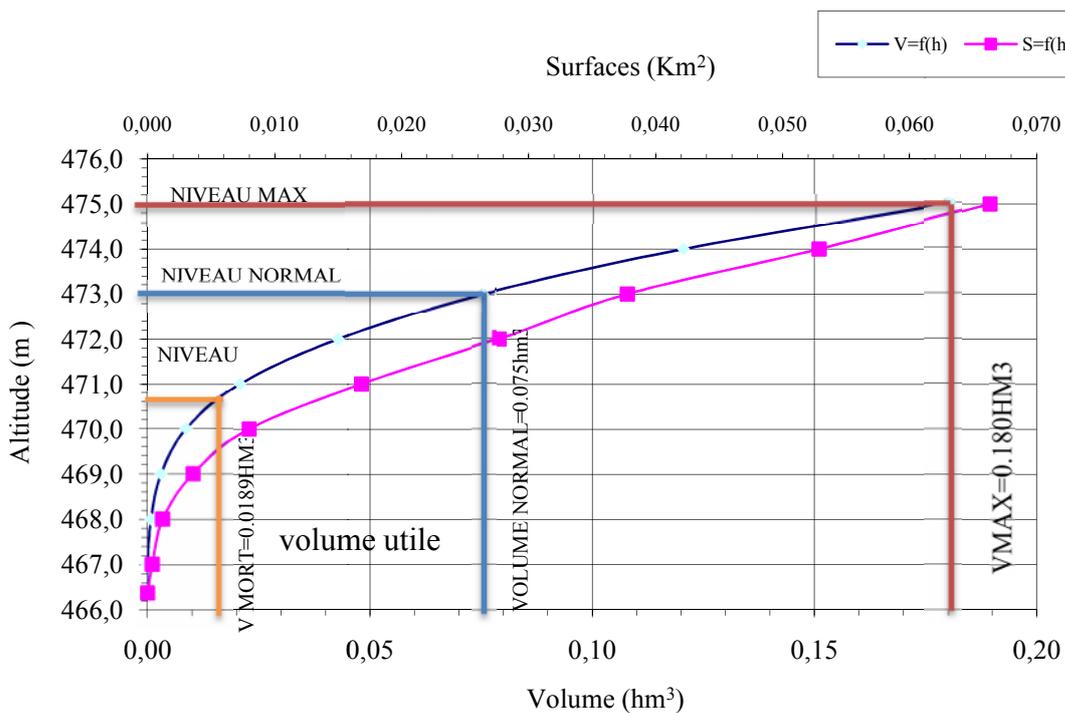
Les données traitées nécessaires pour la construction des courbes hypsométriques se trouvent dans le tableau (07):

On constate que les superficies et les volumes partiels augmentent rapidement avec la hauteur ce qui signifie que la surface de la cuvette s'élargie de plus en plus, les données du tableau et les figures au-dessous illustrent ceci.

**Tableau N° 07: COURBE/ HAUTEUR/SURFACE  
RETENUE COLLINAIRE OUED MASSAOU**

Altitude	Dh	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Volume Partiel (hm <sup>3</sup> )	Volume Cumulé (hm <sup>3</sup> )
466,63				
	0,37		0,000049	0,000049
467		0,00039427		
	1		0,000763649	0,000812
468		0,00120687		
	1		0,00228582	<b>0,003098</b>
469		0,00357379		
	1		0,005630292	0,008728
470		0,00797759		
	<b>1</b>		<b>0,012128607</b>	<b>0,020857</b>
<b>471</b>		<b>0,01682334</b>		
	1		0,022020386	0,042877
472		0,02766448		
	1		0,032598693	0,075476
473		0,03779583		
	1		0,045133254	0,120609
474		0,05289247		
	1		0,059483848	0,180093
475		0,0663284		

**Fig N°09: COURBE DE REMPLISSAGE DE LA  
RETENUE COLLINAIRE EL KANTARA**



### II.3. Le calcul de la régularisation

La régularisation de l'écoulement peut être définie comme le processus au moyen duquel on transforme le régime l'écoulement naturel en adaptant aux nécessités du consommateur.

D'une manière qu'on puisse analyser le bilan apport-besoin.

La régularisation de l'écoulement consiste à l'accumulation de l'eau durant la période d'excès pour son utilisation dans la période de déficit. [6]

Le but de la régularisation saisonnière est de déterminer le volume de la retenue qui doit satisfaire les demandes d'irrigation en eau dans un temps régulier pour compenser les déficits de la demande durant la saison sèche qui suit. L'écoulement fréquentiel donné doit couvrir les besoins en eau durant toute l'année.

#### II.3.1. Le bilan hydrologique

On considère un barrage d'eau ou une retenue collinaire comme système dynamique, dont les composants de base varient sans interruption dans le temps. L'ouvrage a un volume d'eau  $V_i$  à qui s'ajoute à l'écoulement  $E_i$  et les précipitations  $P_i$  pendant le mois. Mais en même temps, l'eau qu'on doit fournir pour d'irrigation sous forme de restitution  $R_s$ , une partie de l'eau stockée dans l'ouvrage est évaporée directement du plan d'eau  $P_{ev}$  et l'autre partie s'infiltré dans le sous-sol  $P_{fil}$ . Le bilan hydrologique est donc établi de sorte que l'équilibre apport-demande est satisfait. Et exprimer comme suite, [19] :

$$V_{i+1} = V_i + E_{i+1} - R_{s,i+1} - P_{ev,i+1} - P_{fil,i+1} \quad \text{III.3}$$

Ou :

$V_{i+1}$  : Volume de l'eau à la fin du mois, en  $m^3$ .

$V_i$  : Volume de l'eau au début du mois, en  $m^3$ .

$E_{i+1}$  : L'écoulement d'eau pendant le mois, en  $m^3$ .

$R_{s,i+1}$  : Restitution, pendant le mois  $i+1$ , en  $m^3$ .

$P_{ev,i+1}$  : Quantité d'eau évaporée pendant le mois  $i+1$ , en  $m^3$ .

$P_{fil,i+1}$  : Volume de l'eau filtré pendant le mois  $i+1$ , en  $m^3$ .

#### II.3.2. Définir les paramètres du bilan hydrique

##### II.3.2.1. Volume initial

Le volume initial correspond au volume mort qui est le volume à la fin du mois de septembre, c'est le mois où la retenue est considérée vide. Le volume initial des autres mois est le volume estimé à la fin du mois précédent.

### - Estimation du volume mort

D'après (Rimini, 2005) qui a développé un modèle de prévision du degré de l'envasement en se basant sur les données de près de 90 barrages de différentes tailles en Algérie. Il a estimé que le taux d'envasement est compris entre 0,5 et 3% par an. Sur le site d'étude le taux d'envasement est  $T < 0,5\%$ , [1].

Le taux d'abrasion ou le l'érosion hydrique est quantifié par :

- La mesure directe du transport solide au niveau de la station de mesure.
- Des formules expérimentales.

Parmi les formules expérimentales utilisées en Algérie pour la quantification du taux d'abrasion est la formule de Tixeront (1960). Cette formule est basée sur les données recueillies dans 32 bassins algériens et 9 bassins tunisiens sur une durée comprise entre 2 et 22 ans, [1] :

- $A_{ss} = 354 E_0^{0,15}$  : Pour les bassins tunisiens.
- $A_{ss} = 92 E_0^{0,21}$  : Pour la région Est Algérienne.
- $A_{ss} = 200 E_0$  : Pour la région centre de l'Algérienne.

où :

$A_{ss}$  : Apport solide spécifique, en  $t/km^2/An$ .

$E_0$  : Ecoulement moyenne interannuelle, en  $mm$ .

Le volume mort déterminé par la formule suivante, en comptant le délai de service de la retenue qui est de 10 ans, [28]

$$V_m = \frac{A_{ss} \cdot S}{\omega} \cdot 10$$

Où :

$V_m$  : Volume mort, en  $m^3$ .

$A_{ss}$  : Taux d'abrasion calculé par la formule de Tixeront, pour la région Est algérienne.

$\omega$  : Poids spécifique de la vase, en  $t/m^3$ ,  $\omega = 1,6 t / m^3$ .

$S$  : Superficie du bassin versant, en  $m^2$ .

Le volume mort de la retenue collinaire est  $V_m = 18980 m^3$ .

### II.3.2.2. Ecoulement

C'est les volumes mensuels entrant dans la retenue collinaire. Qui correspond au volume final calculé et représenté dans le tableau (07).

### II.3.2.3. Perte par infiltration

Le volume infiltré dans le sous-sol est estimé à base des connaissances acquise sur la géologique de la cuvette. Tandis que, le sol est constituer que des argiles, une constitution pratiquement imperméable, on peut considérer que le volume infiltré est égale à 2% du volume moyen mensuel.

### II.3.2.4. Perte par évaporation

L'évaporation mensuelle est la lame d'eau perdue durant le mois sous l'effet de la température et le vent. Le tableau (04) dans le chapitre I, illustre la répartition mensuelle de l'évaporation.

### II .3.2.5. La demande en eau d'irrigation

Cette demande est proportionnelle à l'évapotranspiration mensuelle, [16]. C'est la quantité d'eau que la plante aura besoin pour satisfaire les bonnes conditions de son développement. La répartition mensuelle de l'évapotranspiration est représentée dans le tableau (05) dans le chapitre I.

Sachant que la plante n'aura pas besoin d'être irriguée dans la période pluvieuse (du mois d'octobre jusqu'au mois de mars). Donc, la répartition mensuelle de la demande en eau d'irrigation est représenté dans le tableau suivant :

### II.4.1. Répartition mensuelle des besoins en eau pour l'irrigation (en %).

La répartition en pour-cent des besoins est comme suit:

**Tableau N° 8** : La répartition en pour-cent des besoins en eau pour l'irrigation

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Année
Bi%	6,10	1,39	0	0	0	0	0	4,74	12,94	21,07	29,73	23,72	100%

### II.4.2. Répartition de l'évaporation (en %)

**Tableau N°09**: Evaporation station barrage de fontaine de gazelle

Mois	Sep	oct	nov	Déc	Jan	fév	Mar	avr	mai	jui	juill	Aoû	Som
E Moy (mm)	259.27	162. 24	116.30	97. 11	90.40	104. 36	155.69	200. 23	259.51	336. 34	366. 52	238.63	2483.60

## II.5 Principe de calcul

La méthode du bilan hydrique basée sur la formule suivante:

$$Cr = V_{\text{initial}} + A_1 - \Sigma \text{pertes}$$

Où:

**Cr**: Capacité de la retenue.

**V<sub>initial</sub>**: Volume au début du mois.

**A<sub>1</sub>**: apport mensuel.

**B<sub>i</sub>**: besoin mensuel.

$$\Sigma \text{pertes} = V_{\text{eva}} + V_{\text{inf}} + B_i$$

$$V_{\text{eva}} = \text{Eva} * s$$

Où:

**Eva**: évaporation en (mm).

**S**: surface du plan d'eau qui correspond au volume initial en m<sup>2</sup>.

$$V_t = V_u + V_{\text{mort}}$$

$$V_u = 56495,55 \text{ m}^3$$

Où:

**V<sub>t</sub>**: Volume total (75 476,00 m<sup>3</sup>).

**V<sub>u</sub>**: Volume utile en m<sup>3</sup>

**V<sub>mort</sub>**: volume mort (18980m<sup>3</sup>).

Besoins = 7000m<sup>3</sup>

$$S_{\text{irrigué}} = \frac{V_u}{\text{Besoin}} * 100$$

$$S_{\text{irrigué}} \approx 9.0 \text{ ha.}$$

### II.5.1 Calcul de la régularisation saisonnière

Pour l'application du bilan hydrique dans les calculs de régularisation, on a élaborée un programme software appelle « régular » par le langage G-WBasic, qui permet de calculer le volume de la retenue par voie itérative pour un pas de temps mensuel. Ce programme facilite les calculs où il suffit d'insérer les données et le calcul s'effectuent automatiquement.

### II.5.2. Présentation du logiciel et les étapes du calcul

Les étapes de calcul par le G-W Basic est basé sur la l'équation du bilan. C'est pourquoi, il est nécessaire de connaitre quelque fonction de ce programme et la compréhension de l'algorithme saisie.

### II.5.3.1. Fonction principales du G-W Basic.

- Fonction "List", touche F1 : Afficher le contenu du fichier "régular".
- Fonction "Run", touche F2 : Commencer à introduire les données, une fois terminé, le logiciel affiche les résultats automatiquement.
- Fonction "Load", touche F3 : Après l'ouverture du logiciel, cette fonction sert à ouvrir le fichier dont l'extension est BAS. On fait appel au fichier de cette manière « Load" regular ».
- Fonction "Save", touche F4 : si on apporte des modifications sur l'algorithme, on doit créer un nouveau fichier qui soit enregistré à l'aide de cette fonction. La saisie se fait de cette façon « Save" regular1 ».
- Fonction "Cont" touche F5 : Indique la possibilité de continuer l'opération en cas d'erreur.

### II.5.3.2. L'algorithme du logiciel

Comme on l'a indiqué déjà, la fonction "List" affiche l'algorithme à exécuter le travail, on observant la figure ci-dessous on va avoir une petite idée du fonctionnement du logiciel.

**Tableau N 10** : régularisation pour des besoins de 7000m<sup>3</sup>/ha

mois	En début de mois		Evaporation			Infiltration		Besoin		sortie		en fin de mois		déficit
	Capacité Report de la col, 14 du mois Précédent m <sup>3</sup>	Surface du plan d'eau m <sup>2</sup>	en% de E An, %	E mens m	E mens 3*5 m <sup>3</sup>	Volume %	Volume m <sup>3</sup>	en% des B.an %	volume m <sup>3</sup>	total (6+8+10) m <sup>3</sup>	Apport A %	Volume m <sup>3</sup>	capacité de la retenue (2+13-11) m <sup>3</sup>	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Sep	75476	37795	10,44	0,26	9675,52	0,5	377,38	6,10	3416,00	13468,90	15,77	4079,7	66087	
oct	66087	34500	6,53	0,16	5589	0,5	330,43	1,39	778,40	6697,83	12,00	3104,4	62493	
nov	62493	32400	4,68	0,12	3758,4	0,5	312,47	0,00	0,00	4070,87	11,43	2956,9	61379	
dec	61379	32300	3,91	0,10	3133,1	0,5	306,90	0,00	0,00	3440,00	7,18	1857,5	59797	
jan	59797	32100	3,63	0,09	2889	0,5	298,98	0,00	0,00	3187,98	9,53	2465,4	59074	
fév	59074	32050	4,2	0,10	3333,2	0,5	295,37	0,00	0,00	3628,57	6,64	1717,8	57164	
Mars	57164	31800	6,26	0,16	4950,942	0,5	285,82	0,00	0,00	5236,76	9,65	2496,5	54423	
Avr	54423	30200	8,06	0,20	6040	0,5	272,12	4,74	2654,40	8966,52	12,87	3329,5	48786	
Mai	48786	30000	10,45	0,26	7770	0,5	243,93	12,94	7246,40	15260,33	9,18	2374,9	35901	
jun	35901	29000	13,54	0,34	9744	0,5	179,50	21,07	11799,20	21722,70	3,52	910,6	18980	3891
jul	18980	14000	14,76	0,37	5124	0,5	94,90	29,73	0,00	5218,90	0,80	207,0	18980	6842
Aut	18980	14000	9,6	0,24	3340,4	0,5	94,90	23,72	0,00	3435,30	1,43	369,9	15915	3065

Les résultats obtenus sont récapitulés dans les tableaux (N° 11).

Pour l'étude de la régularisation nous avons considéré la cote du niveau de retenue normale et le volume correspondant suivants:

Niveau normal de retenue: **473m**

Volume niveau normal : **0,075 hm<sup>3</sup>**

Volume mort : **18980 m<sup>3</sup>.**

Ainsi, La retenue sera dimensionnée pour un apport de fréquence 80% ; c'est -à -dire huit année sur dix .

Les résultats sont exprimés en terme de :

- Besoins régularisables : Les volumes qui représentent les besoins initiaux.
- Besoins régularisés ou volume régularisé net.
- Taux de satisfaction : c'est le rapport entre le volume régularisé et le volume régularisable.
- Nombre de mois déficients : c'est la période où le barrage est déficient entre volume régularisé et l'apport liquide.
- Nombre de mois rejet : c'est la période où le barrage est évacué ou déversé les eaux des crues.
- Efficience du barrage : c'est le rapport entre volume régularisé et la capacité.

**Tableau N°11 : récapitulatifs de régularisations**

<b>B régularisable</b>	<b>B régularisé</b>	<b>Tsat</b>	<b>N Déf mois</b>	<b>EffB</b>	<b>Eff hydro</b>
55826,4	25894,40	46.38	3	22.11	65.11
13956,6	10635,80	76.20	1	18.00	41.11
9437.54	7664.54	<b>81.21</b>	<b>1</b>	<b>10.1</b>	<b>29.62</b>
6978,30	6978,30	100	0	9.24	26.97

## II.6. Conclusion

Le calcul de la régularisation sont fondé sur l'établissement de relation entre les principales caractéristiques morphométriques ;  $S H()$ ,  $V H()$  et  $S V()$  . Ces calculs sont fondés sur l'équation du bilan hydrique dans la retenue. Les valeurs de la restitution sont estimées proportionnellement aux valeurs de l'ETP. Les calculs sont réalisés pour un pas de temps mensuels. Via un processus informatique qui nous a permis de gagner beaucoup de temps et déterminer des résultats fiables. Ces dernières sont données sous formes analogiques et graphiques.

## **CHAPITRE III**

### **Estimation des débits maximum des crues et laminage des crues**

### III.1. Introduction

La prévision d'une crue est une question importante pour le dimensionnement de l'évacuateur de crue. En estimant les caractéristiques de l'hydrogramme de crue et le débit maximum, on peut projeter l'hydrogramme de crue. Ensuite, on détermine le débit laminé et la largeur optimale de l'évacuateur de crue. Pour assurer la sécurité et la durabilité de l'ouvrage, et la protection des zones avale contre les inondations causées par les hautes crues

### III.2. ETUDE DES CRUES

L'étude des crues nécessite la détermination des paramètres conditionnant le comportement hydrologique du bassin versant tels que :

- Le temps de concentration
- La pluie maximale journalière de différente fréquence.
- La pluie de courte durée de même fréquence.

#### III.2.1 Temps de concentration : $T_c$

Le temps de concentration est la durée que met la phase maximale d'une crue pour couvrir une distance donnée dans un cours d'eau. L'estimation du temps de concentration est faite par les différentes formules suivantes :

Le temps de concentration est calculé selon la formule de **GIANDOTTI**:

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

$$T_c = 1,64 \text{ heure}$$

**S** : surface du bassin versant, **Km<sup>2</sup>**

**L** : longueur du thalweg principal, **Km**

**H<sub>moy</sub>** : altitude moyenne, **m**

**H<sub>min</sub>** : altitude à l'exutoire, **m**

### III.2.2 Etude des pluies journalières de différentes fréquences

Pour l'étude des pluies journalières maximales, les données relevées à la station d'el outaya est prise en compte. Un traitement statistique a été appliqué à la série des Pjmax et plusieurs lois sont utilisées afin de tester l'ajustement et de choisir celle qui est la plus représentative pour l'estimation des valeurs fréquentielle.

#### La loi de Galton ( loi Log-normale)

- Classer l'échantillon Par ordre croissant ou décroissant, l'ordre de classement, la fréquence expérimentale calculée par la formule :

$$\hat{F}(x_i) = \frac{i - 0.5}{n} \quad (\text{i rang de classement, n taille de l'échantillon})$$

Les valeurs de la variable sont toujours portées en ordonnées et les fréquences au non dépassement en abscisses, selon les échelles adaptées à la loi.

La loi théorique est matérialisée par une droite en trait fort. La plus part du temps vous verrez également deux courbes en trait fin limitant un intervalle de confiance à 80% ( intervalle que vous pourrez modifier).

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du \quad \text{avec} \quad u = \frac{\log(x - x_0) - a}{b} ; \text{ici nous considérerons que c'est la variable}$$

$\log(x-x_0)$  qui suit une loi de Gauss à deux paramètres :

- a : la moyenne des  $\log(x-x_0)$  ;
- b : l'écart-type des  $\log(x-x_0)$  .

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n \log(x_i - x_0)}{n} \quad b = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \log^2(x_i - x_0) - n a^2}{n - 1}}$$

**Tableau 12** : Valeurs des pluies maximales journalières annuelles  
Station (code 061205)

N°	Pjmax	N°	Pjmax
1	28,9	16	34
2	14,9	17	6,3
3	80,3	18	20
4	15,6	19	17,6
5	19,4	20	37
6	20	21	16
7	21,6	22	16
8	8,2	23	10,5
9	18,3	24	8,5
10	48,6	25	12,5
11	70	26	64
12	70	27	12,5
13	19	28	23
14	22	29	30
15	15,5	30	18

- **Ajustement pluies journalières max**

Lognormale (Maximum de vraisemblance)

Nombre d'observations: 30

Paramètres

mu 3.04562

sigma 0.660492

Quantiles

q = F(X) (probabilité au non-dépassement)

T = 1/(1-q)

**Tableau N° 13** : **Ajustement pluies journalières max**

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (80%)
1000.0	0.9990	160	48	69 - 260
200.0	0.9950	120	29	58 - 170
100.0	0.9900	98	23	53 - 140
50.0	0.9800	82	18	47 - 120
20.0	0.9500	62	12	39 - 85
10.0	0.9000	49	8.0	33 - 65

Tableau 14: Pjmax fréquentielle

<b>PERIODE DE RETOUR (années)</b>	<b>1000</b>	<b>200</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>10</b>
<b>FREQUENCE (%)</b>	0,1	0.5	1	2	10
Pjmax	160	120	98	82	49

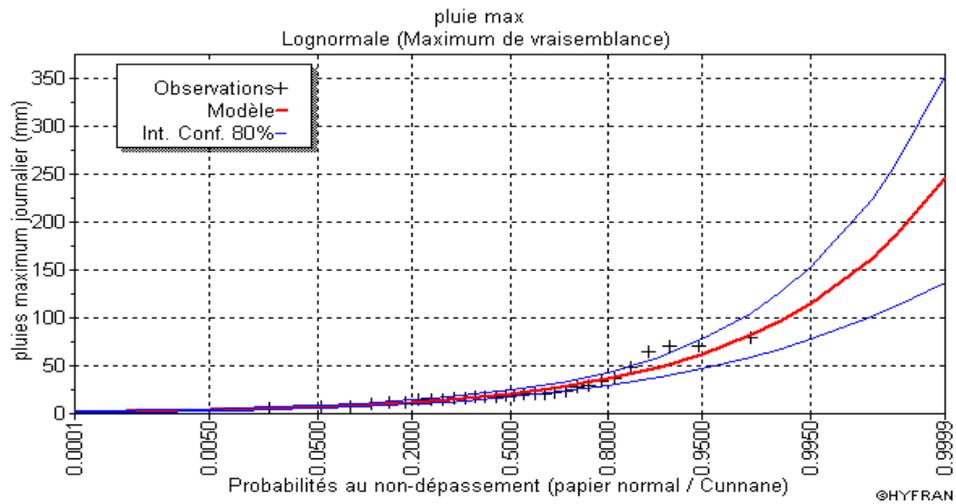


Figure N°10: Ajustement log normal El Outaya

**Ajustement Gumbel**

Résultats de l'ajustement

Gumbel (Maximum de vraisemblance)

Nombre d'observations: 43

Paramètres

u 34.640764

alpha 12.829637

Quantiles

q = F(X) (probabilité au non-dépassement)

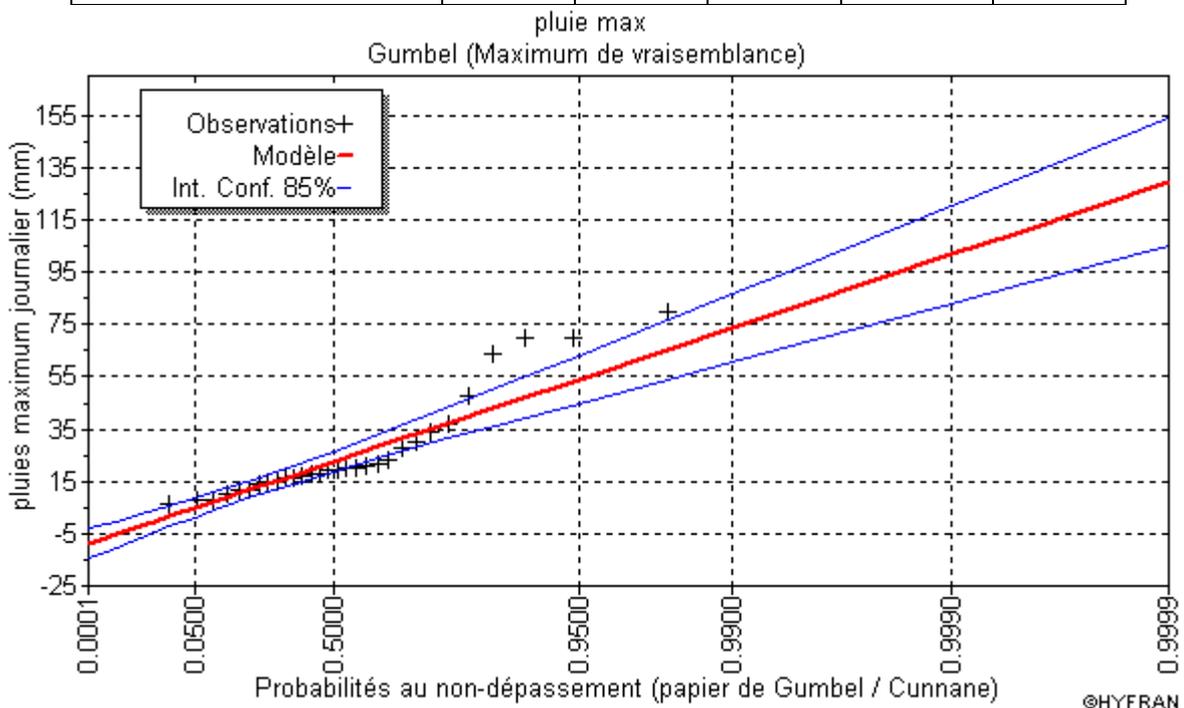
T = 1/(1-q)

**Tableau N° 15 : Ajustement pluies journalières max**

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (80%)
1000.0	0.9990	100	13	83 - 120
200.0	0.9950	82	10	67 - 97
100.0	0.9900	74	9.1	61 - 87
50.0	0.9800	65	7.9	54 - 77
20.0	0.9500	54	6.3	45 - 63
10.0	0.9000	45	5.2	38 - 53

**Tableau 16: pluies journalières max fréquentielle**

PERIODE DE RETOUR (années)	1000	200	100	50	10
FREQUENCE (%)	0,1	0.5	1	2	10
Pjmax	100	82	74	65	45



**Figure N°11: Ajustement Gumbel station pluviométrique El Outaya**

**Conclusion:**

D'après les résultats obtenus on remarque qu'à partir les deux méthodes (Gumbel et Galton, on trouve que la série de pluies maximale journalière de la station de el outaya suit la loi de Galton par ce que presque tous les points sont à l'intérieure de l'intervalle

**III.3. Pluies de courte durée**

A partir des pluies journalières maximales nous calculons les pluies de courte durée de même fréquence en utilisant la relation suivante:

$$P_{tc} = P_{j\max} \left[ \frac{T_c}{24} \right]^B$$

Où:

**P<sub>tc</sub>** : pluie de courte durée de fréquence donnée, mm

**P<sub>j max.</sub>**: pluie max. journalière de même fréquence, mm

**T<sub>c</sub>** : temps de concentration, heure

**B** : coefficient climatique 0.25

**Tableau N<sup>o</sup>17:** Pluies de courte durée

<b>PERIODE RETOUR (années)</b>	<b>DE 1000</b>	<b>200</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>10</b>
<b>FREQUENCE (%)</b>	0,1	0.5	1	2	10
<b>Pluies de courte durée (mm)</b>	81,82	61,36	50,12	41,93	25,06

**III.3.1. Débits maximums**

La détermination des crues de projet a nécessité l'utilisation des formules de **Turazza** et de **Giandotti** qui donnent des résultats acceptables concernant les débits estimés de l'Oued de la retenue collinaire.

**-FORMULE DE TURAZZA**

La formule de TURAZZA tient compte des pluies maximales de courte durée, de l'intensité des pluies, de la superficie et du temps de concentration.

$$Q_{\max} = \frac{C * P_{tc} * S}{3,6 * T_c} = \frac{1}{3,6} S * I_t * C$$

Où

**P<sub>tc</sub>** : pluie de courte durée pour un temps  $t = T_c$

**S**: superficie du bassin versant, Km<sup>2</sup>

**T<sub>c</sub>** : temps de concentration, heure

**I<sub>t</sub>**: intensité de la pluie, mm/h

**C**: coefficient de ruissellement (0.8-0.3).

**- FORMULE DE GIANDOTTI**

La formule de Giandotti représente le rapport entre le débit instantané et le débit moyen journalier.

$$\frac{Q_{\text{inst}}}{Q_T} = \frac{P_{tc}}{P_{j\max}} * \frac{24}{T_c}$$

Avec **Q<sub>T</sub>** : débit moyen journalier de temps de retour T

**Q<sub>T</sub>**: est calculé par la formule de SAMIE:

$$Q_T = \frac{C_r * P_T * S}{108}$$

**C<sub>r</sub>** : coefficient de ruissellement en grande crue **C<sub>r</sub>=0,90**

**S** : surface du BV 7.16 km<sup>2</sup>.

**- FORMULE DE SOKOLOVSKY**

Elle est donnée sous la forme suivante :

$$Q_{\max} = (0.28 * P_{tc} * C * S * F) / T_c$$

**P<sub>tc</sub>** pluie de courte durée pour un temps.

**C**: coefficient de ruissellement (0,8-0,6).

**S**: superficie du bassin versant 7.16 Km<sup>2</sup>

**T<sub>c</sub>** : temps de montée de la crue  $T_m = T_c = 1.64$  heure.

**F** : Coefficient de la formule de l'hydrogramme. **1,2**.

Les résultats obtenus par les trois formules citées ci-dessus sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau N° 18: Débit Max**

<b>PERIODE DE RETOUR (années)</b>	<b>1000</b>	<b>200</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>10</b>
<b>Formule de TURAZZA</b>	79.39	52.10	42.55	25.43	15.20
<b>Formule de GIANTOTTI</b>	36.54	27.40	22.38	18.73	11.19
<b>FORMULE DE SOKOLOVSKY</b>	72.02	54.01	44.11	36.91	22.05
<b>Débit proposé (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>72.02</b>	<b>54.01</b>	<b>44.11</b>	<b>36.91</b>	<b>22.05</b>

### III. 4. VOLUMES ET HYDROGRAMMES DE CRUE

La forme de l'hydrogramme de crue est déterminée selon la méthode de **SOKOLOVSKY** qui assimile l'hydrogramme à deux équations paraboliques, l'une traduisant la montée de la crue et qui s'écrit:

$$Q(t) = Q_{\max} \left[ \frac{T}{T_m} \right]^2$$

Et l'équation de décrue:

$$Q(t) = Q_{\max} \left[ \frac{T_d - T}{T_d} \right]^2$$

Où:

**T<sub>m</sub>** : temps de montée de la crue

**T<sub>d</sub>** : temps de décrue

Avec **T<sub>d</sub> = δ T<sub>m</sub>** et **δ=2.5**

Les volumes de crue pour différentes fréquences calculés d'après l'équation et les hydrogrammes sont dans le tableau ci-après:

$$VT = (1,8 * Qt * Tb) / 1000$$

$$Tb = 2 * Tc$$

VT : volume de crue hm<sup>3</sup>.

Qt : débit maximal m<sup>3</sup>

Tc : temps de concentration heure.

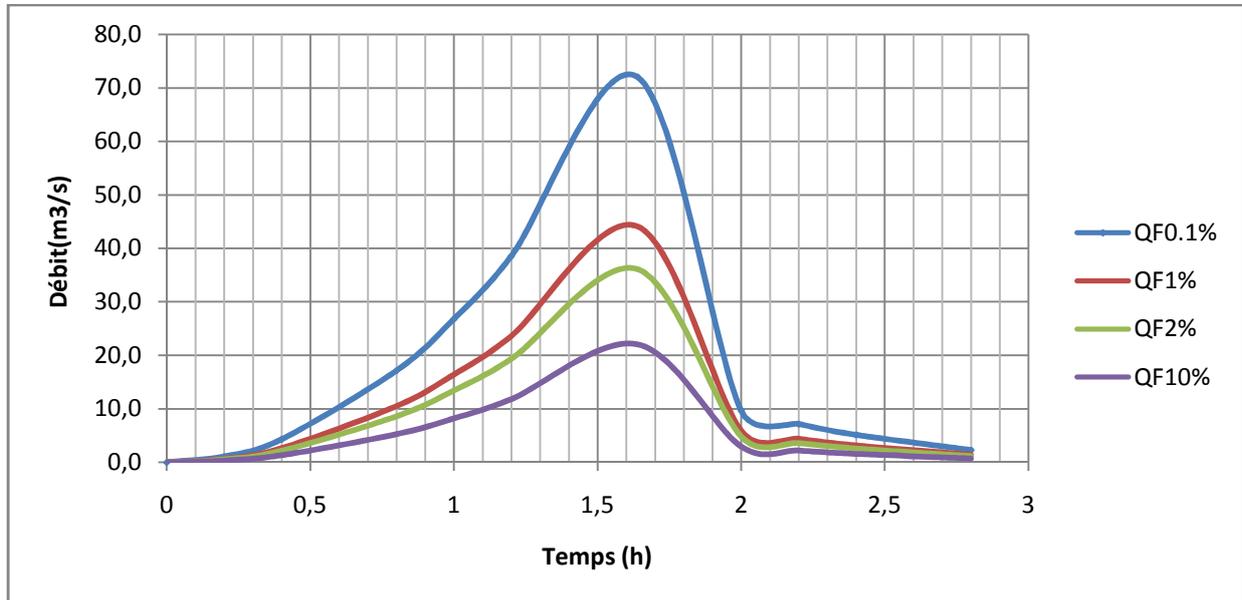


Figure N°12: Hydrogramme de crue

Tableau N°19: Volume de crue

PERIODE DE RETOUR (années)	1000	500	100	50	10
VOLUME DE CRUE (Hm <sup>3</sup> )	0.425	0.319	0.26	0.218	0.13

**III.5. ETUDE DES APPORTS SOLIDES**

L'estimation du volume d'envasement du barrage a été faite en utilisant la relation de :

**SOGREAH -TIXERONT (1969):**

$$Ta = 350 R^{0,15}$$

Où

**R:** lame d'eau écoulee, mm (**R =Le = 3.61mm**)

**Ta:** taux d'abrasion, T/Km<sup>2</sup>/an

On trouve un taux d'abrasion égal à: **Ta = 90.88 T/Km<sup>2</sup>/an**

En considérant un poids spécifique de  $1,6T/m^3$ , le volume mort ou garde d'envasement se calcule comme suit:

$$V_s = \frac{S \cdot T_a \cdot t}{1,6}$$

Où:

t: est la durée de vie du barrage en années (Dans notre cas on prendra  $t = 10$ années)

$$V_{\text{mort}} = 18\,980\text{m}^3$$

### III.6. ETUDE DE LAMINAGE DES CRUES

Après l'identification des crues et la définition de leurs paramètres représentatifs, nous décrivons à présent les conditions hydrologiques de l'amortissement des crues et en particulier l'effet de laminage engendré par la retenue qui réduit le volume et la pointe des débits instantanés déversés par l'évacuateur.

La définition de la longueur définitive de l'évacuateur de crue est un problème en relation avec le projet. De ce fait, l'étude du laminage de crue a été réalisée pour des valeurs variables de longueurs du déversoir.

### III.7 Paramètres utilisés dans le calcul de laminage

#### III.7.1 Courbe surface capacité

$$H_b(T) = V * K + A$$

Relation qui rend compte d'une droite linéaire. Cette dernière relation a été prise en considération dans le calcul du laminage des crues, car au delà de la cote 473m devient approximativement linéaire.

#### III.7.2 Type de déversoir

Le déversoir considéré est du type droit avec un coefficient de débit égal à 0,49. L'expression du débit sortant est montrée par la relation suivante:

$$Q(T) = M_d * \sqrt{2g} * B * [H(T) - H_{crit}]^{3/2}$$

Avec,

**B** : longueur du déversoir, m

**H<sub>crit</sub>** : cote du seuil du déversoir, m

**H(T)**: variation de la lame d'eau au-dessus du seuil du déversoir, m

**Q(t)** : variation du débit laminé, m<sup>3</sup>/s.

### III.8 RESULTATS ET CONCLUSIONS DU LAMINAGE

Le laminage de crues est effectué en considérant la cote du niveau normal de retenue soit **NNR = 473 m**, et un volume correspondant de **V.NNR 0,075 Hm<sup>3</sup>** Tableau N°19

Par ailleurs, la hauteur maximale des hautes eaux prise en compte est de **475m** (cote correspondant à la crête de la retenue) à laquelle correspond le volume maximal de **0,180 Hm<sup>3</sup>**.

Les calculs proprement dits ont été réalisés sur ordinateur et les résultats de laminage de crue pour des longueurs de déversoir considérées sont présentés dans les tableaux du N°20 jusqu'au N°22.

L'étude du laminage fait apparaître un effet de laminage moyen. En effet, si nous prenons une longueur de déversoir  $B = 12$  m la crue centennale ( $Q = 44.11 \text{ m}^3/\text{s}$ ) est réduite par effet de laminage à un débit de  $34.16 \text{ m}^3/\text{s}$  soit une (réduction) efficacité de laminage de **22.53%** ,

Il en est de même pour la crue millénaire, ( $Q = 72.02 \text{ m}^3/\text{s}$ ) qui est réduite par effet de laminage à la crue de  $Q_{\text{lam}} = 58.34 \text{ m}^3/\text{s}$  soit une efficacité de 18.99%. A l'issue de cette étude de laminage, nous constatons que les ouvrages d'évacuation seront importants par rapport à la retenue elle-même.

Les résultats de laminage des crues pour des longueurs  $b$  (14,16,18) sont montrés par les figures 13 jusqu'à 18.

**Tableau N°20 : récapitulatif pour la fréquence 10%**

$B$ (m)	$Vb$ ( $\text{hm}^3$ )	$Hb$ (m)	$T$ (Mn)	$Q0$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$Hb_{\text{max}}-Hc$
10	0.12	473.78	2.12	15.06	0.78
<b>12</b>	<b>0.12</b>	<b>473.72</b>	<b>2.07</b>	<b>15.80</b>	<b>0.72</b>
14	0.11	473.66	2.02	16.39	0.66

**Tableau N°21 : récapitulatif pour la fréquence 1%**

$B$ (m)	$Vb$ ( $\text{hm}^3$ )	$Hb$ (M)	$T$ (Mn)	$Q0$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$Hb_{\text{max}}-Hc$
10	0.15	474.32	2.02	32.87	1.32
<b>12</b>	<b>0.14</b>	<b>474.20</b>	<b>1.97</b>	<b>34.16</b>	<b>1.20</b>
14	0.14	474.10	1.93	35.18	1.10

**Tableau N°22 : récapitulatif pour la fréquence 0.1%**

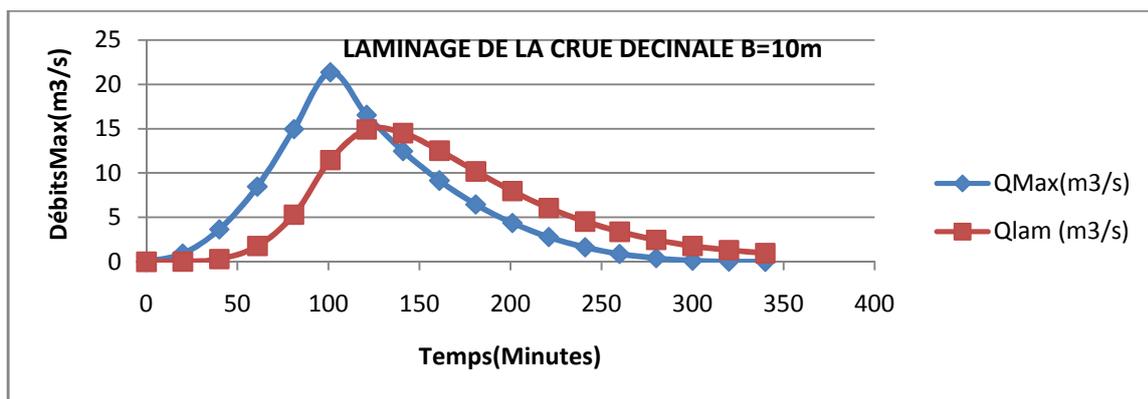
$B$ (m)	$Vb$ ( $\text{hm}^3$ )	$Hb$ (m)	$T$ (Mn)	$Q0$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$Hb_{\text{max}}-Hc$
10	0.17	474.89	1.95	56.47	1.89
<b>12</b>	<b>0.17</b>	<b>474.71</b>	<b>1.92</b>	<b>58.34</b>	<b>1.71</b>
14	0.16	474.57	1.88	59.79	1.57

**Tableau N°23 : laminage de la crue décanale b=10m**

Type du Deversoir : DROIT  
 Courbe : LINEAIRE  
 Temps de Concentration : 1.64 Heure (s)  
 Gamma : 2.50  
 Hauteur Max : 475.00 M,NGA  
 Volume Correspondant : 0.18 Hm3  
 B=10m  
 F10%

T (Min)	Q (M3/s)	Qo (M3/s)	Vb (Hm3)	Hb (M, NGA)
0.00	0.00	0.00	0.08	473.00
20.00	0.91	0.01	0.08	473.01
40.00	3.64	0.30	0.08	473.06
61.00	8.47	1.77	0.09	473.19
81.00	14.94	5.31	0.10	473.39
101.00	21.36	11.46	0.11	473.65
121.00	16.51	14.91	0.12	473.78
141.00	12.46	14.50	0.12	473.76
161.00	9.14	12.52	0.11	473.69
181.00	6.46	10.18	0.11	473.60
201.00	4.37	7.97	0.11	473.51
221.00	2.78	6.07	0.10	473.43
241.00	1.64	4.53	0.10	473.35
260.00	0.89	3.38	0.09	473.29
280.00	0.40	2.46	0.09	473.23
300.00	0.13	1.78	0.09	473.19
320.00	0.02	1.30	0.09	473.15
340.00	0.00	0.97	0.09	473.13

Temps Max : 127.00 Min  
 Qo Max : 15.06 M3/s  
 Vb Max : 0.12 Hm3  
 Hb Max : 473.78 M,NGA



**Figure N°13 : laminage de la crue décanale b=10m**

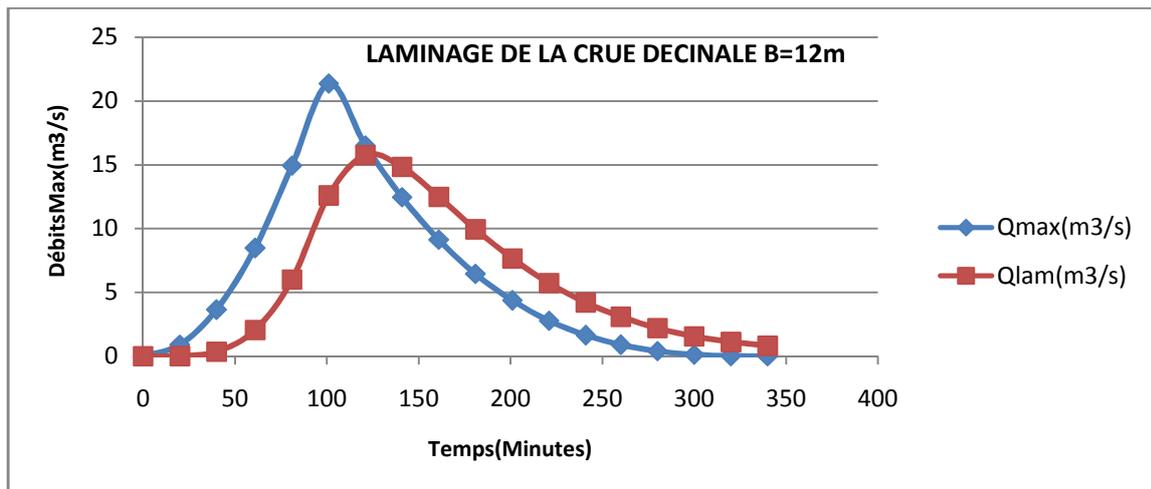
**Tableau N°24 : laminage de la crue décanale b=12m**

Type du Deversoir : DROIT  
 Courbe : LINEAIRE  
 Temps de Concentration : 1.64 Heure(s)  
 Gamma : 2.50  
 Hauteur Max : 475.00 M,NGA  
 Volume Correspondant : 0.18 Hm3  
 B=12m  
 F10%

T (Min)	Q (M3/s)	Qo (M3/s)	Vb (Hm3)	Hb (M, NGA)
0.00	0.00	0.00	0.08	473.00
20.00	0.91	0.02	0.08	473.01
40.00	3.64	0.36	0.08	473.06
61.00	8.47	2.05	0.09	473.18
81.00	14.94	6.00	0.10	473.38
101.00	21.36	12.60	0.11	473.62
121.00	16.51	15.77	0.11	473.72
141.00	12.46	14.83	0.11	473.69
161.00	9.14	12.48	0.11	473.61
181.00	6.46	9.95	0.11	473.53
201.00	4.37	7.65	0.10	473.44
221.00	2.78	5.74	0.10	473.36
241.00	1.64	4.21	0.09	473.30
260.00	0.89	3.09	0.09	473.24
280.00	0.40	2.20	0.09	473.19
300.00	0.13	1.56	0.09	473.15
320.00	0.02	1.12	0.09	473.12
340.00	0.00	0.82	0.08	473.10

Temps Max : 124.00 Min  
 Qo Max : 15.80 M3/s  
 Vb Max : 0.12 Hm3  
 Hb Max : 473.72 M,NGA

f



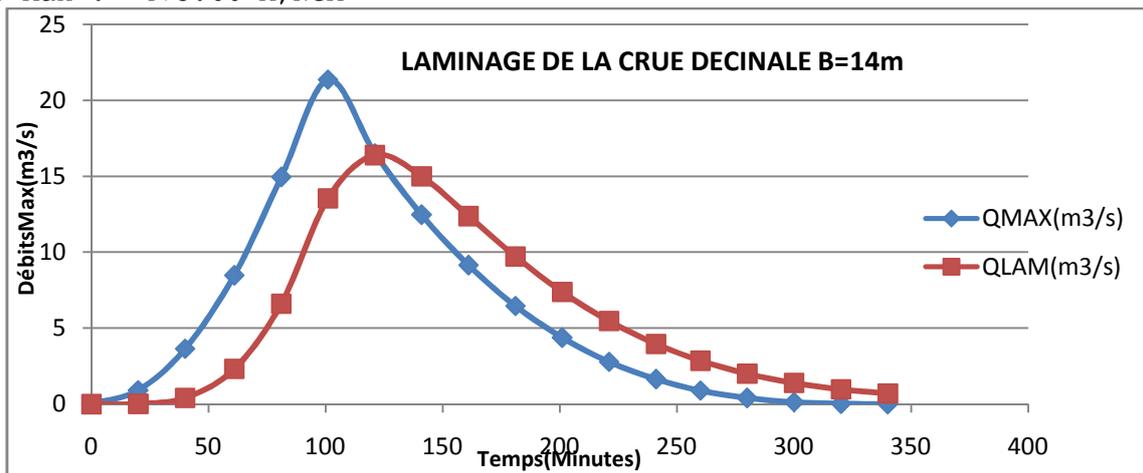
**Figure N°14: laminage de la crue décanale b=12m**

**Tableau N°25 : laminage de la crue décanale b=14m**

Type du Deversoir : DROIT  
 Courbe : LINEAIRE  
 Temps de Concentration : 1.64 Heure(s)  
 Gamma : 2.50  
 Hauteur Max : 475.00 M,NGA  
 Volume Correspondant : 0.18 Hm3  
 B=14m  
 F10%

T (Min)	Q (M3/s)	Qo (M3/s)	Vb (Hm3)	Hb (M, NGA)
0.00	0.00	0.00	0.08	473.00
20.00	0.91	0.02	0.08	473.01
40.00	3.64	0.41	0.08	473.06
61.00	8.47	2.32	0.09	473.18
81.00	14.94	6.61	0.10	473.36
101.00	21.36	13.54	0.11	473.58
121.00	16.51	16.39	0.11	473.66
141.00	12.46	14.99	0.11	473.62
161.00	9.14	12.38	0.11	473.55
181.00	6.46	9.72	0.10	473.47
201.00	4.37	7.38	0.10	473.39
221.00	2.78	5.47	0.10	473.32
241.00	1.64	3.96	0.09	473.26
260.00	0.89	2.86	0.09	473.21
280.00	0.40	2.00	0.09	473.16
300.00	0.13	1.40	0.09	473.13
320.00	0.02	0.98	0.09	473.10
340.00	0.00	0.70	0.08	473.08

Temps Max : 121.00 Min  
 Qo Max : 16.39 M3/s  
 Vb Max : 0.11 Hm3  
 Hb Max : 473.66 M,NGA



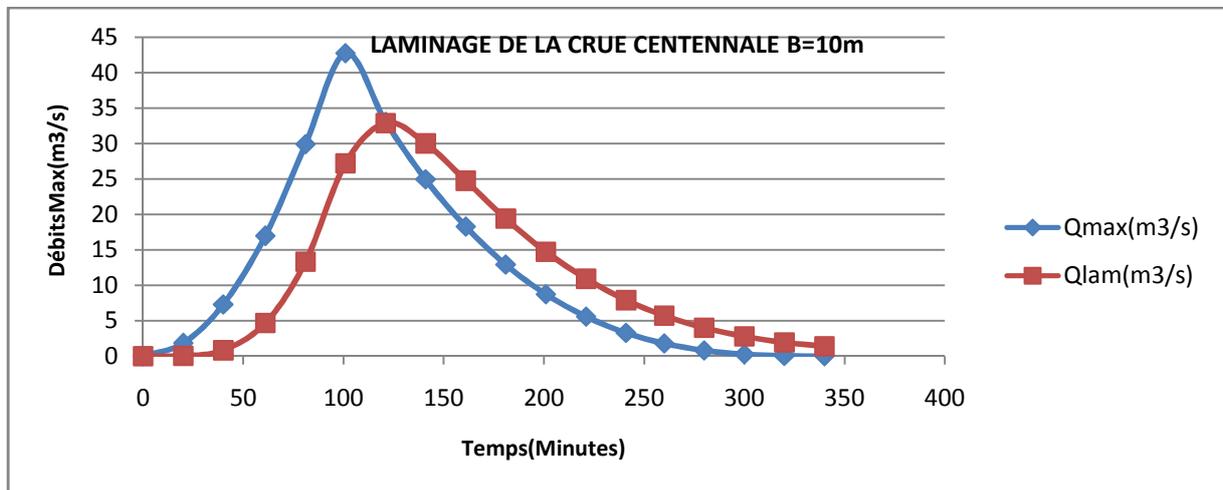
**Figure N°15: laminage de la crue décanale b=14m**

**Tableau N°26:** laminage de la crue centennale b=10m

Type du Deversoir : DROIT  
 Courbe : LINEAIRE  
 Temps de Concentration : 1.64 Heure(s)  
 Gamma : 2.50  
 Hauteur Max : 475.00 M,NGA  
 Volume Correspondant : 0.18 Hm3  
 B=10m  
 F1%

T (Min)	Q (M3/s)	Qo (M3/s)	Vb (Hm3)	Hb (M, NGA)
0.00	0.00	0.00	0.08	473.00
20.00	1.82	0.04	0.08	473.02
40.00	7.29	0.83	0.09	473.11
61.00	16.95	4.67	0.10	473.36
81.00	29.89	13.31	0.12	473.72
101.00	42.73	27.20	0.14	474.16
121.00	33.04	32.87	0.14	474.32
141.00	24.93	30.01	0.14	474.24
161.00	18.28	24.74	0.13	474.09
181.00	12.93	19.40	0.13	473.93
201.00	8.74	14.73	0.12	473.77
221.00	5.57	10.91	0.11	473.63
241.00	3.28	7.89	0.10	473.51
260.00	1.78	5.70	0.10	473.41
280.00	0.79	3.99	0.10	473.32
300.00	0.26	2.77	0.09	473.25
320.00	0.04	1.94	0.09	473.20
340.00	0.00	1.40	0.09	473.16

Temps Max : 121.00 Min  
 Qo Max : 32.87 M3/s  
 Vb Max : 0.15 Hm3  
 Hb Max : 474.32 M,NGA



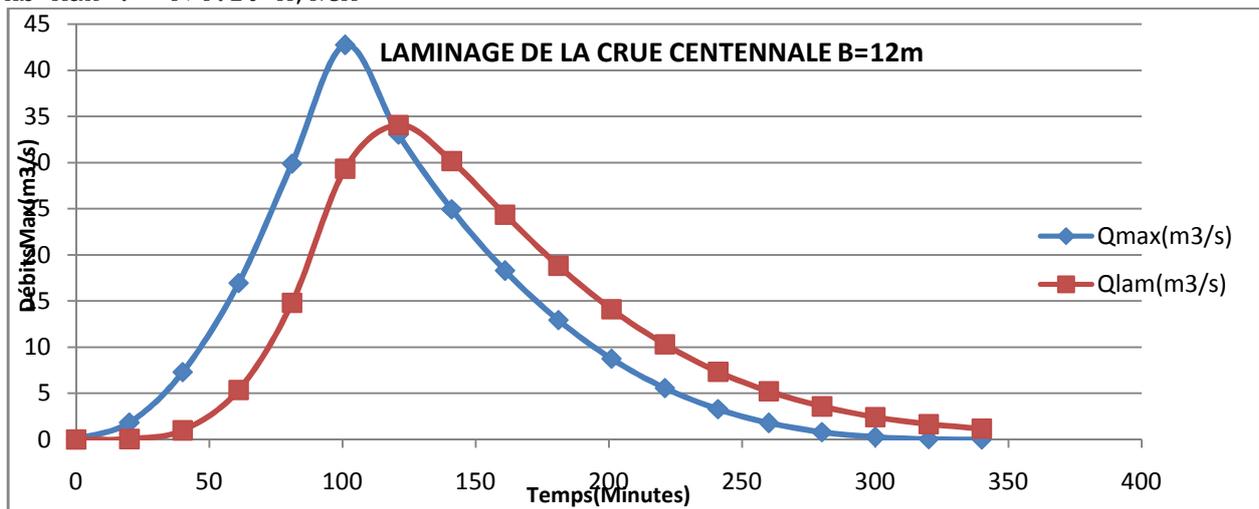
**Figure N°16:** laminage de la crue centennale b=10m

**Tableau N°27:** laminage de la crue centennale b=12m

Type du Deversoir : DROIT  
 Courbe : LINEAIRE  
 Temps de Concentration : 1.64 Heure(s)  
 Gamma : 2.50  
 Hauteur Max : 475.00 M,NGA  
 Volume Correspondant : 0.18 Hm3  
 B=12m  
 F1%

T (Min)	Q (M3/s)	Qo (M3/s)	Vb (Hm3)	Hb (M, NGA)
0.00	0.00	0.00	0.08	473.00
20.00	1.82	0.05	0.08	473.02
40.00	7.29	0.98	0.09	473.11
61.00	16.95	5.36	0.10	473.35
81.00	29.89	14.80	0.11	473.69
101.00	42.73	29.33	0.13	474.08
121.00	33.04	34.06	0.14	474.20
141.00	24.93	30.16	0.13	474.10
161.00	18.28	24.35	0.13	473.96
181.00	12.93	18.81	0.12	473.81
201.00	8.74	14.10	0.11	473.66
221.00	5.57	10.30	0.11	473.54
241.00	3.28	7.34	0.10	473.43
260.00	1.78	5.22	0.10	473.34
280.00	0.79	3.58	0.09	473.27
300.00	0.26	2.43	0.09	473.21
320.00	0.04	1.66	0.09	473.16
340.00	0.00	1.17	0.09	473.13

Temps Max : 118.00 Min  
 Qo Max : 34.16 M3/s  
 Vb Max : 0.14 Hm3  
 Hb Max : 474.20 M,NGA



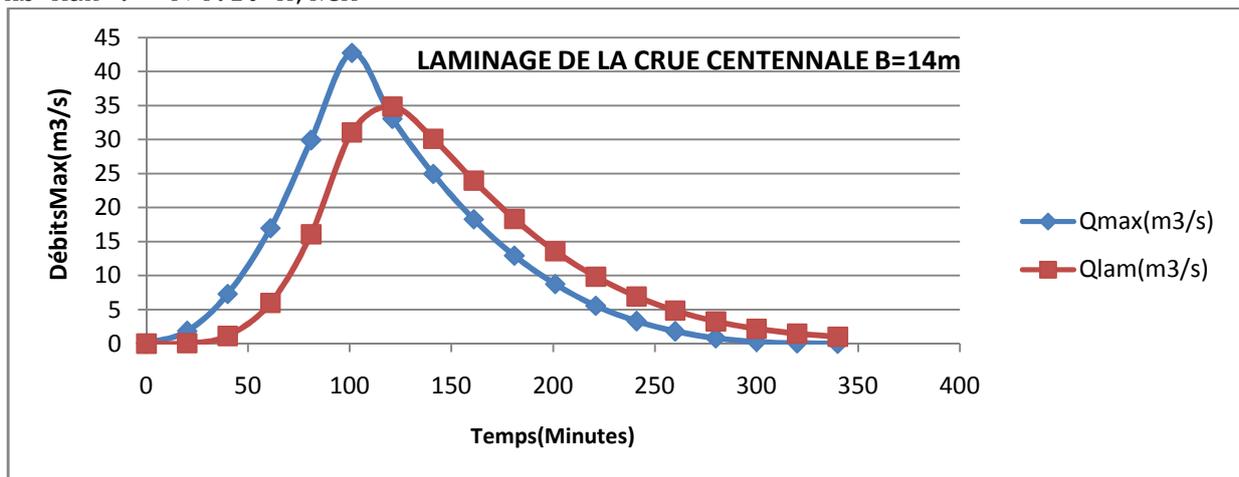
**Figure N°17:** laminage de la crue centennale b=12m

**Tableau N°28:** laminage de la crue centennale b=14m

Type du Deversoir : DROIT  
 Courbe : LINEAIRE  
 Temps de Concentration : 1.64 Heure(s)  
 Gamma : 2.50  
 Hauteur Max : 475.00 M,NGA  
 Volume Correspondant : 0.18 Hm3  
 B=14m  
 F1%

T (Min)	Q (M3/s)	Qo (M3/s)	Vb (Hm3)	Hb (M, NGA)
0.00	0.00	0.00	0.08	473.00
20.00	1.82	0.06	0.08	473.02
40.00	7.29	1.13	0.09	473.11
61.00	16.95	5.98	0.10	473.34
81.00	29.89	16.06	0.11	473.65
101.00	42.73	31.03	0.13	474.01
121.00	33.04	34.84	0.13	474.10
141.00	24.93	30.11	0.13	473.99
161.00	18.28	23.95	0.12	473.85
181.00	12.93	18.31	0.11	473.71
201.00	8.74	13.59	0.11	473.58
221.00	5.57	9.83	0.10	473.47
241.00	3.28	6.93	0.10	473.37
260.00	1.78	4.85	0.09	473.29
280.00	0.79	3.27	0.09	473.23
300.00	0.26	2.18	0.09	473.17
320.00	0.04	1.46	0.09	473.13
340.00	0.00	1.00	0.09	473.10

Temps Max : 116.00 Min  
 Qo Max : 35.18 M3/s  
 Vb Max : 0.14 Hm3  
 Hb Max : 474.10 M,NGA



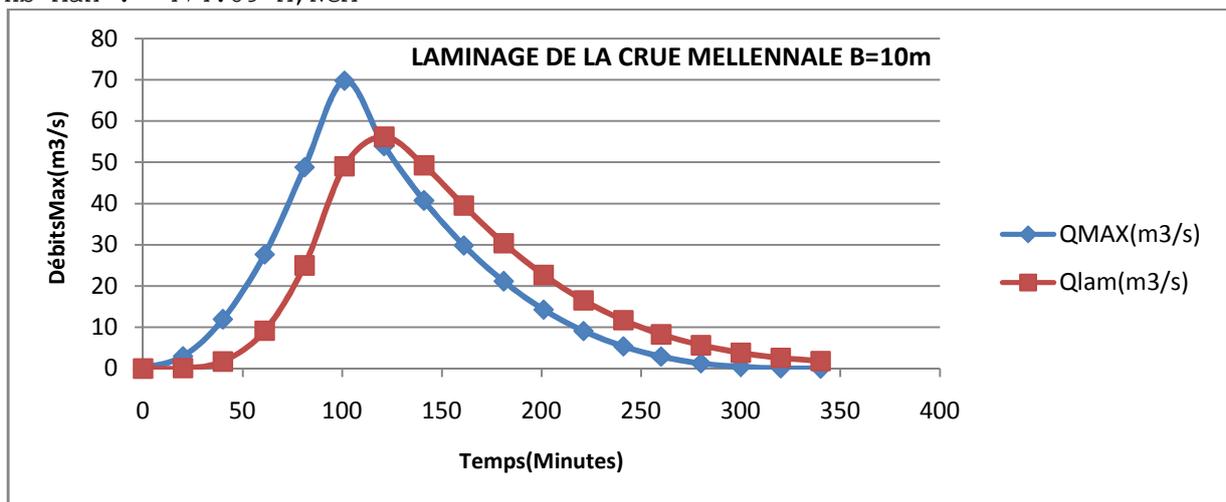
**Figure N°18 :** laminage de la crue centennale b=14m

**Tableau N°29 : laminage de la crue Mellennale b=10m**

Type du Deversoir : DROIT  
 Courbe : LINEAIRE  
 Temps de Concentration : 1.64 Heure(s)  
 Gamma : 2.50  
 Hauteur Max : 475.00 M,NGA  
 Volume Correspondant : 0.18 Hm3  
 B=10m  
 F0.1%

T (Min)	Q (M3/s)	Qo (M3/s)	Vb (Hm3)	Hb (M, NGA)
0.00	0.00	0.00	0.08	473.00
20.00	2.98	0.09	0.08	473.03
40.00	11.90	1.70	0.09	473.18
61.00	27.68	9.15	0.11	473.56
81.00	48.80	25.00	0.13	474.10
101.00	69.76	49.04	0.16	474.72
121.00	53.94	56.18	0.17	474.89
141.00	40.71	49.24	0.16	474.73
161.00	29.84	39.50	0.15	474.49
181.00	21.11	30.38	0.14	474.25
201.00	14.27	22.68	0.13	474.03
221.00	9.09	16.50	0.12	473.83
241.00	5.35	11.71	0.11	473.66
260.00	2.91	8.27	0.11	473.53
280.00	1.29	5.63	0.10	473.41
300.00	0.42	3.80	0.10	473.31
320.00	0.07	2.58	0.09	473.24
340.00	0.00	1.79	0.09	473.19

Temps Max : 117.00 Min  
 Qo Max : 56.47 M3/s  
 Vb Max : 0.17 Hm3  
 Hb Max : 474.89 M,NGA



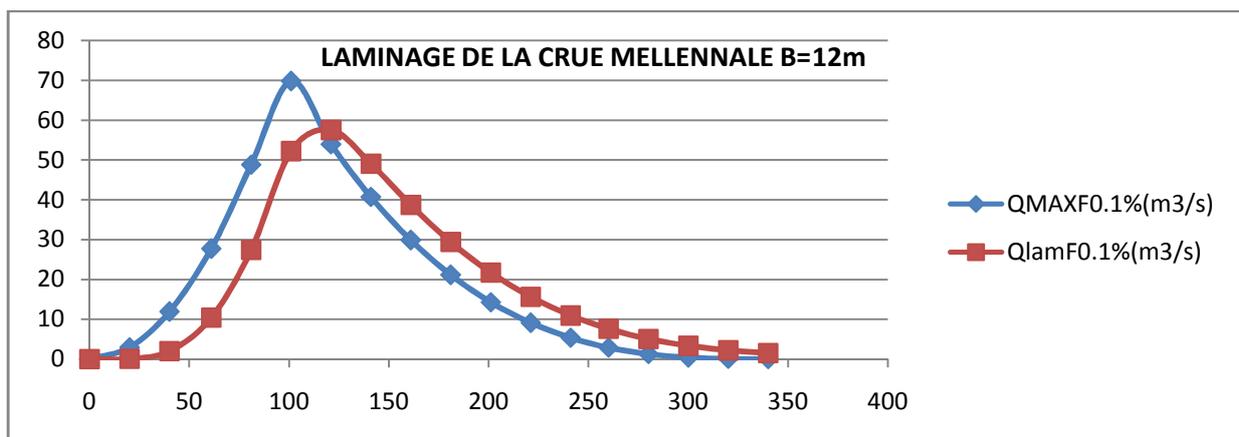
**Figure N°19: laminage de la crue Mellennale b=10m**

**Tableau N°30 : laminage de la crue Mellennale b=12m**

Type du Deversoir : DROIT  
 Courbe : LINEAIRE  
 Temps de Concentration : 1.64 Heure(s)  
 Gamma : 2.50  
 Hauteur Max : 475.00 M,NGA  
 Volume Correspondant : 0.18 Hm3  
 B=12m  
 F0.1%

T (Min)	Q (M3/s)	Qo (M3/s)	Vb (Hm3)	Hb (M, NGA)
0.00	0.00	0.00	0.08	473.00
20.00	2.98	0.10	0.08	473.03
40.00	11.90	2.00	0.09	473.18
61.00	27.68	10.40	0.11	473.54
81.00	48.80	27.43	0.13	474.04
101.00	69.76	52.20	0.16	474.59
121.00	53.94	57.49	0.16	474.70
141.00	40.71	49.03	0.15	474.52
161.00	29.84	38.70	0.14	474.30
181.00	21.11	29.41	0.13	474.08
201.00	14.27	21.73	0.12	473.89
221.00	9.09	15.63	0.11	473.71
241.00	5.35	10.94	0.11	473.56
260.00	2.91	7.60	0.10	473.44
280.00	1.29	5.07	0.10	473.34
300.00	0.42	3.34	0.09	473.25
320.00	0.07	2.21	0.09	473.19
340.00	0.00	1.50	0.09	473.15

Temps Max : 115.00 Min  
 Qo Max : 58.34 M3/s  
 Vb Max : 0.17 Hm3  
 Hb Max : 474.71 M,NGA



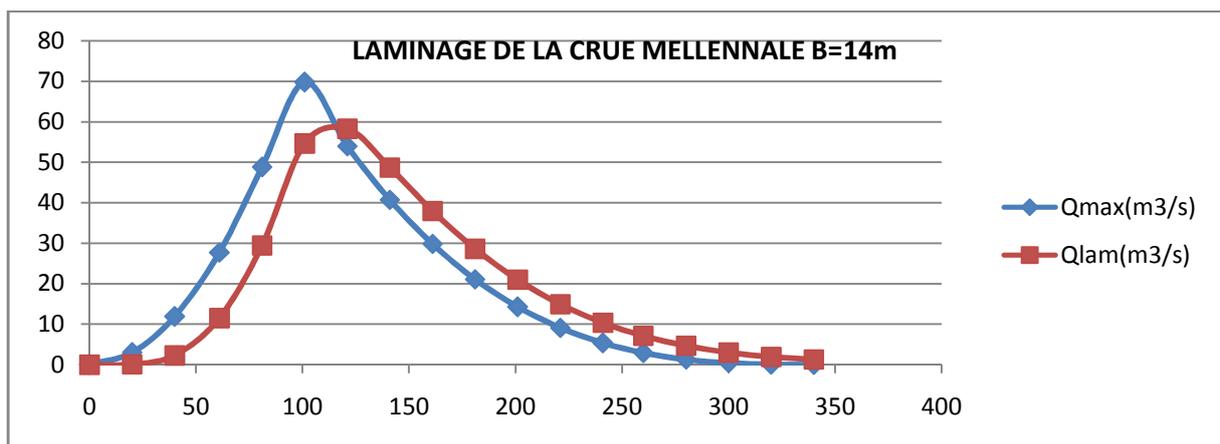
**Figure N°20: laminage de la crue Mellennale b=12m**

**Tableau N°31 : laminage de la crue Mellennale b=14m**

Type du Deversoir : DROIT  
 Courbe : LINEAIRE  
 Temps de Concentration : 1.64 Heure (s)  
 Gamma : 2.50  
 Hauteur Max : 475.00 M,NGA  
 Volume Correspondant : 0.18 Hm3  
 B=14m  
 F0.1%

T (Min)	Q (M3/s)	Qo (M3/s)	Vb (Hm3)	Hb (M, NGA)
0.00	0.00	0.00	0.08	473.00
20.00	2.98	0.12	0.08	473.03
40.00	11.90	2.28	0.09	473.18
61.00	27.68	11.51	0.11	473.52
81.00	48.80	29.44	0.13	473.98
101.00	69.76	54.64	0.15	474.48
121.00	53.94	58.26	0.15	474.54
141.00	40.71	48.68	0.15	474.37
161.00	29.84	37.97	0.14	474.16
181.00	21.11	28.62	0.13	473.96
201.00	14.27	20.98	0.12	473.78
221.00	9.09	14.96	0.11	473.62
241.00	5.35	10.36	0.10	473.49
260.00	2.91	7.11	0.10	473.38
280.00	1.29	4.66	0.09	473.29
300.00	0.42	3.00	0.09	473.21
320.00	0.07	1.94	0.09	473.16
340.00	0.00	1.29	0.09	473.12

Temps Max : 113.00 Min  
 Qo Max : 59.79 M3/s  
 Vb Max : 0.16 Hm3  
 Hb Max : 474.57 M,NGA



**Figure N°21: laminage de la crue Mellennale b=14m**

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons analysé pratiquement tous les paramètres hydrologiques régissant la réalisation de la retenue collinaire, à savoir les données pluviométriques, les débits et le laminage de crue effectué.

# **CHAPITRE IV**

## **Conception de la digue**

### IV.1. Introduction

Les retenues collinaires sont généralement constituer de matériaux de construction en terre. La conception générale de la digue est effectué : on calculant les principales dimensions, protection des talus amont et aval, faire une étude des infiltrations à travers la digue pour le dimensionnement des drains et les filtres enfin vérifier la stabilité de la retenue en utilisant le logiciel Geoslop.i

### IV.2. Critères du choix du site de la retenue

Le choix du type de la retenue satisfait plusieurs paramètre comme :

- La demande en eau d'irrigation L'activité agricole intense et les grandes surfaces agricoles demandent des quantités considérables en eau, la réalisation d'une retenue sur le site est indispensable pour satisfaire la demande en eau d'irrigation.

- Condition hydrogéologique et géologique Il est très utile de connaître la nature des roches de la région et du site de la retenue collinaire. Les conditions hydrogéologique seront modifier suite à la réalisation de l'ouvrage notamment le tassement du cours d'eau. La localisation sur la carte géologique les différents sols à utiliser pour la construction de la digue en terre.

- Condition géotechnique On s'intéresse à la stabilité de la digue. Ainsi, on est amené à tenir compte de coefficient de sécurité et la résistance des matériaux aux différents efforts.

- Conditions hydrologiques : L'étude hydrologique permet d'estimer les apports en eau naturelle (pluie, ruissellement,... etc.), ainsi on peut tracer l'Hydrogramme de crue et d'étudier l'aptitude en eau de la retenue à satisfaire la demande en eau et, également partir des conditions hydrologiques on pourra dimensionner la digue de la retenue.

- conditions topographiques Le choix du site de la retenue s'effectue d'abord sur des cartes topographiques sur les quelles, on localise les axes de digue sur les endroits les plus appropriés représentés, généralement par des courbes de niveau resserrées sur la carte topographique, qui correspond à la section la plus étroite du cours d'eau.

- conditions économiques Elles sont traduites aux frais relatifs aux coûts des matériaux, de main d'œuvre, transport et engins de travaux plus les différents équipements de la digue, ainsi que d'éventuels frais relatifs à l'indemnisation suite à la réalisation de la retenue.

### IV.3. Choix du matériau de construction

En vue de la capacité de stockage de la retenue qui correspond au niveau normal de la retenue, on a opté pour une digue en terre homogène. Le matériau de construction sera de l'argile compacté. Car :

- sont abondance dans la région. - L'imperméabilité de ce matériau.
- Plus économique.

Dans l'étude de l'écrêtement des crues, nous avons considéré trois cas de fréquences des crues :

- La crue de fréquence 1%, période de retour 100 ans est considérée pour la vérification contre la submersion de la digue.

Les valeurs numériques des crues et les niveaux normaux considérés sont résumées dans le tableau suivant :

- Débit Centennale naturelle  $Q_{1\%} = 44.11 \text{ m}^3/\text{s}$
- Débit Millénaire naturelle  $Q_{0.1\%} = 72.02 \text{ m}^3/\text{s}$
- Largeur du seuil déversant (droit)  $b = 12.0 \text{ m}$ .

**Tableau N° 32 : valeurs des crues et les niveaux normaux**

Désignations	Variante Retenue
Niveau normal de la retenue <b>NNR -m-</b>	473.00
Volume correspondant <b>V<sub>N.N.R</sub> -hm<sup>3</sup>-</b>	0.075
Crue Centennale laminée <b>Q<sub>i1%</sub> -m<sup>3</sup>/s -</b>	44.11
Crue Millénaire laminée <b>Q<sub>L0.1%</sub> - m<sup>3</sup>-</b>	72.02
Niveau des plus hautes eaux <b>PHE 1% -m-</b>	474.20
Volume correspondant <b>V<sub>PHE 1%</sub> -hm<sup>3</sup>-</b>	0.132
Niveau des plus hautes eaux <b>PHE 0.1% -m-</b>	474.71
Volume correspondant <b>V<sub>PHE 0.1%</sub> -hm<sup>3</sup>-</b>	0.162

#### IV.4. Calcul des dimensions principales de la retenue collinaires

##### Niveau en crête de la digue

Pour la détermination du niveau de la crête de la digue, on peut utiliser la relation suivante:

$$\text{Côte}_{\text{crête}} = \text{PHE} + \mathbf{R} + \mathbf{a} \quad \text{Sans séisme.}$$

*PHE* - niveau de plus hautes eaux pour la probabilité de conception.

$R_v$  - hauteur de montée de la vague ou revanche.

*a* - hauteur libre de sécurité (réserve constructive); dans le cas des petits

Barrages entre 0,40 et 0,60 m.

Calcul de la hauteur de montée de la vague (revanche)

Selon l'étude effectuée, pour cela on utilise plusieurs formules. Les plus employées sont :

##### a. Formule de STEVENSON :

Pour  $F$  (fetch) < 0,605 km

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

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

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

Où :

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

$F$  = longueur maximale de la surface d'eau du lac en suivant la direction du vent (km). On l'appelle "fetch".

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

$V$  = vitesse de propagation de la vague (m / s).

$g$  = accélération de la gravité (9.81 m / s<sup>2</sup>).

##### b. Formule de MALLET et de PAQUANT :

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

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

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

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

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

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

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

F est la longueur du FETCH. En (Km) = 0,605Km

où :

R : Revanche où la réserve de sécurité, en m.

H v : Hauteur des vagues, en m.

VV : Vitesse des vagues, en m/s.

g : Accélération de la pesanteur, m/s<sup>2</sup> .

F : Longueur maximal de la surface d'eau du lac en suivant la direction du vent. On l'appelle " Fetch ", en km. Avec F km = 0,605 .

**Tableau N°33: calcul de la revanche**

Formule utilisé	PHE <b>1%</b>	Hauteur des vagues <b>Hv</b>	Vitesse (m/s) <b>Vv</b>	Revanche (m) <b>Rv</b>	Crête (m) <b>Cr</b>	PHE <b>0.1%</b>	$\nabla$ crête définitif
<b>STEVENSON</b>	474.20	0.77	2.08	0.80	475.37	474.71	<b>475.00</b>
<b>MALLET ET PAQUANT</b>	474.20	0.73	1.98	0.93	475.47	474.71	
<b>L'U.S.B.R</b>	474.20	0.77	3.04	1.05	475.61	474.71	

**IV.4.1 Calcul du niveau de la crête de la digue en prenant en considération les contraintes dues au séisme**

$$Côte_{crête} = NNR + R_s + a \quad \text{Avec séisme.}$$

Quand l'ouvrage est situé dans une zone d'activité sismique significative, on a alors :

$$R_s = h_1 + h_2$$

Où :

$R_s$  = Hauteur de montée de la vague en tenant compte un séisme.

$h_1$  = 5% de la hauteur du barrage (due au tassement)=0.05x8.37=0.42m.

$$h_2 = 0,75 \left( K_s H^2 \right)^{1/3}$$

Où :  $h_2 = 0.68$

$H$  = hauteur du barrage jusqu'au niveau normale de la retenue = 6m.

$$K_s = \frac{a}{g} \quad K_s = 0.020 \quad a = (0.20).$$

Le coefficient sismique noté  $K$  définissant la fraction de l'accélération de la pesanteur utilisée dans le calcul de stabilité des digues de barrages ou retenues collinaires peut être déterminé en fonction de l'accélération maximale horizontale ( $A$ ) dépendant de la zone sismique et du degré d'usage de la structure. Il est donné par la formule empirique  $K = 2/3.A$ , laquelle est basée sur les observations faites sur le comportement de nombreux digues de barrages en terre et en enrochement.

Donc, notre site de la retenue collinaire EL KANTRA, situé dans la zone sismique II et appartient au groupe d'usage n°1B. Ces deux paramètres permettent de calculer le coefficient sismique  $K = 2/3.A$

$$K = 2/3 * 0.20 = 0.13$$

$g$  = accélération de la gravité (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$$R_s = h_1 + h_2 = 0.42 + 0.68 = 1.10 \text{ m}$$

$$Côte_{crête} = NNR + R_s + a = 474.50 \text{ m}$$

#### IV.4.2. Largeur en crête de la digue

La largeur en crête de la digue, doit assurer une sécurité suffisante contre tous risque de submersion par les vagues aussi, elle doit assurer une circulation facile le long de la crête du retenue collinaire.

$$b_c = 1.65\sqrt{H}$$

**T.T KNAPPEN**

$$b_c = 1.1\sqrt{H} + 1$$

**E.F PREECE**

$$b_c = 1/3Hb$$

**FORMULE ITALIENNE**

$$b_c = 3.6\sqrt[3]{H-3}$$

**FORMULE SIMPLIFIE**

$$b_c = 5/3\sqrt{H}$$

**FORMULE PRATIQUE**

$H$ : hauteur de la retenue collinaire

**Tableau N° 34:** différentes formules de calcul largeur en crête de la digue

<b>FORMULE UTILISE</b>	<b>LARGEUR EN CRETE DU BARRAGE "m"</b>
Formule de KNEPEN	4.77
Formule de E.F FREECE	4.18
Formule ITALIENE	2.79
Formule SIMPLIFIE	4.30
Formule PRATIQUE	4.82

Suivant les caractéristiques techniques de la Retenue Collinaire, nous avons adopté une largeur = 5,0 m, Pour faciliter une bonne circulation sur la crête de la digue.

#### IV.5. Pente des talus amont et aval de la digue

##### IV.5.1.Pentes des talus amont et aval de la digue

Les pentes des talus de la retenue collinaire en terre sont fixées par les conditions de stabilité mécanique du massif et de ces fondations.

**Tableau N° 35 :** pentes des talus de la retenue collinaire

<b>Hauteur de la digue</b>	<b>Type du retenue collinaire</b>	<b>Pente des Talus</b>	
		<b>Amont</b>	<b>Aval</b>
<b>3&lt;H&lt;5</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Homogène à fort</li> <li>• Zoné</li> </ul>	1/2.5	1/2
		1/2	1/2
<b>5&lt;H&lt;10</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Homogène Granulométrique étendue</li> <li>• Homogène à fort pourcentage d'argile</li> <li>• Zoné</li> </ul>	1/2	1/2
		1/2.5	1/2.5
		1/2	1/2.5
<b>10&lt;H&lt;20</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Homogène Granulométrique étendue</li> <li>• Homogène à fort pourcentage d'argile</li> <li>• Zoné</li> </ul>	1/2.5	1/2.5
		1/3	1/2.5
		1/2	1/3

Les pentes proposées sont suivants :

- Pente de talus amont : 1/2.5
- Pente de talus aval : 1/2.5

### IV.5.2. Calcul de la largeur de la base de la retenue

La largeur de la base du barrage est donnée par la relation suivante :

$$B_b = B_c + m_1 \cdot H_R + m_2 \cdot H_R$$

où :

B<sub>b</sub> : Largeur de la base de la retenue collinaire, en m.

H<sub>R</sub> : Hauteur de la retenue collinaire, en m.

B<sub>c</sub> : Largeur de la crête, en m.

m<sub>1</sub> : Pente du talus amont = 2.5

m<sub>2</sub> : Pente du talus aval = 2,5.

#### Protection des talus

Revêtement des talus des barrages en terre est utilisé pour éviter l'érosion par l'action des vagues et les pluies. Le type de revêtement est conditionnée par des facteurs influe sur son choix, on distingue :

- Hauteur de la monté subit.
- Fluctuation du niveau du barrage.
- Matériaux des barrages.
- Condition climatique.
- Importance de l'ouvrage. Pour le cas des petits barrages où retenue collinaire, les

revêtements utilisés pour la protection des talus sont :

- Enrochement sur les couches de filtre.
- Couche de terre végétale.

Le type de revêtement doit être défini à partir d'une évaluation technico-économique, le caractère du sol, le corps de la digue, l'agressivité de l'eau et la durabilité de revêtement.

### IV.5.3. Protection de talus amont

La protection par un revêtement rocheux de la partie amont de la digue s'étend depuis la crête jusqu'au la profondeur minimal qui correspond à la cote du terrain naturel. L'utilisation de l'enrochement est adéquate pour une bonne protection du parement amont de la digue. Pour choisir l'épaisseur de la roche, on utilise les méthodes suivantes :

- Première méthode (utiliser par U.S Army), [36] :

L'épaisseur minimale de la couche de l'enrochement ainsi que les dimensions des blocks sont donnée sous forme d'un tableau, en fonction de la hauteur des vagues.

**Tableau N° 36 : épaisseur minimum de la couche de l'encrochement**

<b>Hauteur des vagues H<sub>v</sub> (m)</b>	<b>Épaisseur minimale de couche D'encrochement : min (m)</b>	<b>Dimensions minimales des blocs D50 min (m)</b>
0,0-0,3	0,30	0,20
0,30-0,60	0,40	0,25
0,60-1,20	0,45	0,30
1,20-1,40	0,55	0,40
1,80-2,40	0,70	0,45
2,40-3,00	0,80	0,55

D'après L'U.S.B.R on déduit  $h_v$  0.74m par conséquent a partir du tableau ci-dessus

on a :  $e_{min}=0.45m$   $D50_{min}=0.30 m$ .

Les valeurs adoptées sont :

- Épaisseur de la couche encrochement (RIP-RAP) D50= (20-25) cm, ép.=30cm
- Gravier (15/25) cm, ép.=20cm.
- Poids volumique des pierres  $s=2.65$

#### **IV.5.4. Protection du talus aval :**

Le talus aval sera protégé par deux couches :

- Transition T1 (ballast) (25-40) cm ép.=20cm
- Transition T2 (gravier-8/15) ép.=20cm.

### IV.6. Étude des infiltrations

Aussi soit elle l'imperméabilité du corps de la digue, l'infiltration des eaux entre les particules d'argile est éminente, par conséquent, une étude des infiltrations doit être établit a cause ce que ces eaux peuvent causer sur la retenue comme compromettre sa stabilité sous l'effet de Renard, processus d'érosion régressive souterraine, apparition des cheminements à travers la digue sous l'effet de la pression et sans oublier la réduction du volume stocker dans la retenue.

Donc, cette étude permettre de déterminer les éléments suivant :

- La ligne de saturation massive de la retenue.
- Le débit de fuite.
- Dimensionnement des drains et les filtres.

L'équation de la ligne phréatique.

$$y^2 = \frac{Q}{K} \left( 2x + \frac{Q}{K} \right)$$

Q : débit d'infiltration,       $Q = K \cdot a$

K : coefficient de perméabilité

$$K = 1.29 \times 10^{-12} \text{ m/s}$$

$$R = \sqrt{H^2 + d^2} = 12.66$$

$$a = \sqrt{H^2 + d^2} - d = 1.26$$

N.B : Pour le calcul voir Tableau de Calcul ci-joint.

#### Débit unitaire d'infiltration

$$q = k \times a \quad \text{m}^3/\text{s/ml}$$

$$q = 1.29 \times 10^{-12} \times 1.26 = 1.63 \times 10^{-12} \text{ l/s/ml}$$

Le débit total d'infiltration :       $Q = q \times L$

L : longueur du tapis filtrant qui est égale à 32.00m.

$$Q = 1.63 \times 10^{-12} \times 9 = 1.46 \times 10^{-11} \text{ l/s.}$$

**IV.7.ETUDE DES INFILTRATIONSTARAGE DE LA LIGNE PHREATIQUE**

**IV.7.1Equation de la ligne phrétique :**

$$y^2 = \frac{Q}{K} \left( 2x + \frac{Q}{K} \right)$$

X m	Y m
0	0.20
2	0.25
4	0.30
6	0.34
8	0.37
10	0.40

**K** = Coefficient de perméabilité des sols

**K** =  $1.2910^{-12}$

**q** = **K x a**

**q** = Débit d'infiltration unitaire

$$a = \sqrt{H^2 + d^2} - d$$

**IV.7.2.Equation de la ligne phrétique simplifiée :**

<b>K<sub>s</sub></b>	<b>H</b>	<b>b</b>	<b>0,7b</b>	<b>0,3b</b>	<b>d</b>
<b>m/s</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>m</b>
<b>1.2910<sup>-12</sup></b>	<b>5.5</b>	<b>14.00</b>	<b>9.80</b>	<b>4.20</b>	<b>11.40</b>

**IV.7.3.vérification de la résistance d'infiltration**

**VI.7.3.1Corps de la digue**

La vérification de la résistance d'infiltration générale est effectuée d'après la condition:

**Tc < lc adm .**

l<sub>cadm</sub>: gradient admissible de l'écoulement d'infiltration déterminé d'après le tableau :

**Tableau N° 37 : calasse du barrage**

Terre du corps	CALASSE DU BARRAGE			
	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>
Argile compactée	1.5	1.6	1.8	1.95

l<sub>cadm</sub> = 1.5 pour l'argile compactée,

$$Ic = tg\alpha = \frac{h}{L}$$

h=3.0m, L=32 m

$$Ic = \frac{3.0}{32} = 0.09$$

**Ic = 0.09x1.5**

La condition étant largement vérifié, donc il n'ya pas risque de déformation par infiltration.

## IV.8. Etude de la stabilité

Une fois la géométrie des talus de la digue et les conditions du sol ont été déterminé, la stabilité des talus peut être déterminée et évaluer les risque de rupture à travers le calcul des facteurs de sécurité. La stabilité des talus est évaluée par des méthodes d'équilibre limite (équilibrant la résistance maximum du sol aux efforts existant sur le plan de rupture). Le plan de rupture des talus peut être causé par les contraintes de cisaillement. L'un des effets qui peut faire varier la résistance au cisaillement par sa diminution est les pressions interstitielles.

### IV.8.1. Pression interstitielle sur le corps de la digue

Les pressions interstitielles dans la retenue collinaire sont déterminées à travers une simulation avec le logiciel Géoslop, la figure suivante montre les charges de pression qui peut être disposé dans le corps de la digue lors du fonctionnement normale, c'est charge sont en mètre colonne d'eau.

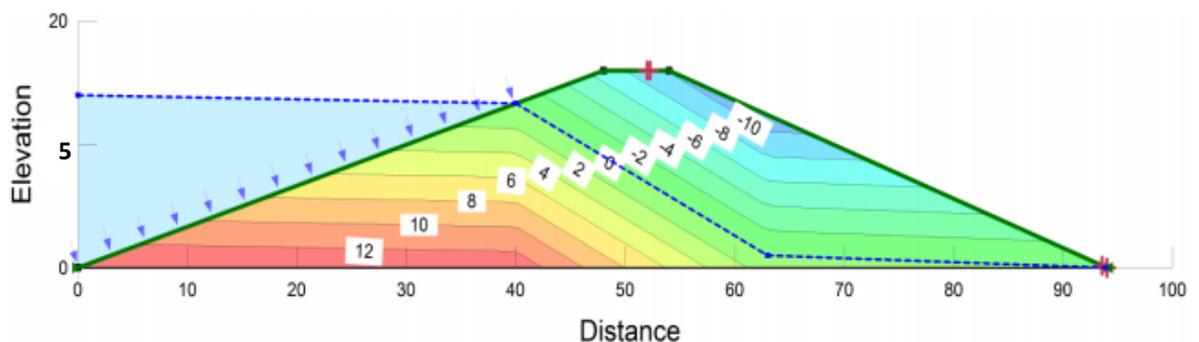


Figure (22) : Représente les pressions interstitielles dans la digue

### IV.8.2 Détermination du coefficient de sécurité

La vérification du coefficient de stabilité doit être faite en comparant le résultat par le coefficient de stabilité admissible du talus, il est donné sur le tableau suivant, [28].

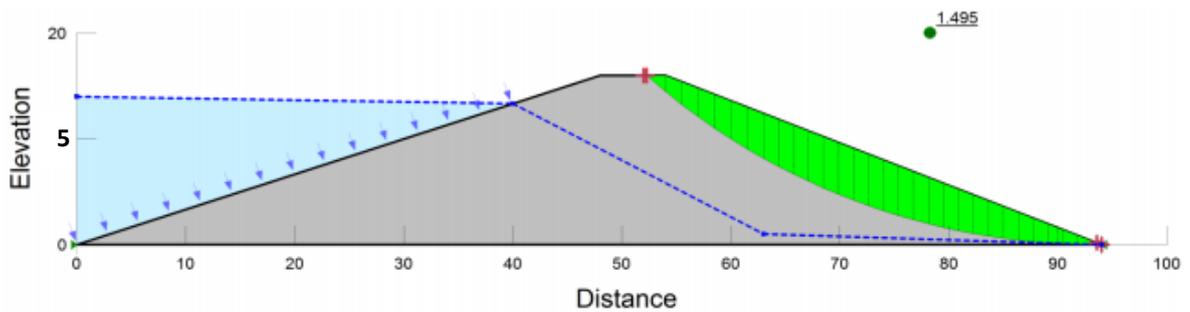
Tableau (38) : Coefficient de sécurité admissible.

Combinaison des charges	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>
Coefficient de sécurité admissible	1,2 – 1,3	1,15 – 1,2	1,1 – 1,15	1,05 – 1,10

Pour une exploitation normal (talus aval) la détermination du coefficient de sécurité est fait en aillons recours au logiciel Géoslop, ce logiciel peut calculer le coefficient de sécurité avec plusieurs méthodes soit linéaire ou non linéaire, circulaire ou non circulaire. La méthode de Morgenstern Price est une méthode de tranche d'équilibre statique qui s'applique en divisant la masse du sol en plusieurs surfaces verticale. Il suppose que la direction des forces entre elle, est définit par une fonction mathématique arbitraire, [25], le

coefficient de sécurité est donnée par une série d'équilibre des moments et des forces. C'est la meilleure méthode, mais elle demande beaucoup de travail pour trouver le cercle critique adéquat. L'utilisation de Géoslop peut nous faire gagner du temps.

Pour utiliser le Géoslop on aura besoin des caractéristiques suivantes : poids volumique de l'argile 23 kN/m<sup>3</sup>, coefficient de cohésion 1,5 et angle de frottement 28°. Le résultat du coefficient de sécurité affiché par Géoslop est présenté sur la figure suivante.



**Figure (23) :** Présentation du cercle critique

Le résultat trouvé avec la méthode de Morgenstern-Price du coefficient de sécurité est  $K_{ss} = 1,495$ , dont  $K_{ss} > k_{adm}$ . Donc la stabilité de la digue lors du fonctionnement normale est assurée.

#### IV.9. conclusion

Le choix du site de la retenue dépend de plusieurs facteurs, ainsi que le matériau de recharge de la digue. Le calcul des dimensions principales de la digue permet de tracer le profil général de cette dernière. La vérification à la résistance aux infiltrations à travers la digue et sa stabilité de la digue nous assure que les dimensions calculées peuvent résister aux différents efforts interne et externe.

**CHAPITRE V :**  
**Ouvrage annexe**

## V.1. Introduction

Pour compléter la conception de la retenue, on a envisagé d'installer quelques ouvrages qui permettront le bon fonctionnement de la retenue collinaire, ces ouvrages annexes sont ; évacuateur de crue, prise d'eau et vidange du fond. Chaque ouvrage sera dimensionné d'une manière à ce que la sécurité et la durabilité du service de la retenue collinaire est vérifiée.

## V.2. Evacuateur de crue

### V.2.1. Généralité sur les évacuateurs de crue.

L'évacuateur de crue a pour objectif d'évacuer le débit de crue dans le lit de l'oued. Pour sa conception, l'installation de l'ouvrage soit sur la rive droite de l'oued. L'évacuateur de crue de surface latérale est constitué de :

- Canal d'approche.
- Déversoir.
- Chenal d'écoulement.
- Convergent.
- Dissipateur d'énergie.
- Canal de sortie.

### V.2.2. canal d'entrée.

Le canal amont latéral est dimensionné de telle sorte réduire au minimum les pertes de charge et guider calmement l'écoulement vers le seuil déversant d'une section prismatique. Sachant que ;

- La hauteur déversant ou la lame d'eau laminée:  $H_m = 1.20\text{m}$ .
- Le débit déversant où (laminé):  $Q = 34.16\text{m}^3/\text{s}$
- Largeur du déversoir : 12,00 m.

La hauteur du canal est estimée à  $P/H = 0.83$ , avec  $P$  est la hauteur du canal appelé aussi "Pelle", en m. donc, on calcule  $P_m = 1$ .

### V.2.2.3. Vitesse d'approche

La vitesse d'approche au niveau du canal est :

$$H_n = P + H$$

$$H - \text{Hauteur de la lame d'eau près du seuil} = PHE - NNR = (474.20 - 473.00) = 1.20\text{m}$$

$$P - \text{Hauteur de pelle} = 1,0\text{ m}$$

$$H_n = 0.5 + 1.20 = 1.70\text{m}$$

$$V_o = 34.16 / 12 \times 1.70 = 1.67\text{m/s}$$

$$V_o \approx 1.7 \text{ m/s}$$

### V.3.Calcul hydraulique du Seuil

#### V.3.1 Débit de déversement du seuil

Le seuil du déversoir projeté se développe linéairement avec un profil Trapézoïdale. Il débite directement dans un canal dont l'axe est perpendiculaire à celui-ci. La capacité d'évacuation du seuil est exprimée selon l'équation suivante :

$$Q = m \times B \times \sqrt{2g} \times H_0^{3/2}$$

Donc le débit de déversement est :

$$Q = 0,49 \cdot B \cdot \sqrt{19,62} \times H_0^{3/2}$$

$$Q = 0,49 \times 12,00 \cdot \sqrt{19,62} \times H_0^{3/2}$$

$$Q = 26.05 (H_0)^{3/2}$$

La vitesse de déversement est :

$$V = Q \text{ déversé} / S = Q \text{ déversé} / (b \cdot H)$$

**Tableau N°39 : Calcul de vitesse de déversement**

H(m)	0.2	0.35	0.5	0.65	0.8	0.85	0.908	0.95	1.05	1.198
Q (m3/s)	2.33	5.39	9.21	13.65	18.64	20.41	22.54	24.12	28.03	34.16
V (m/s)	0.97	1.28	1.54	1.75	1.94	2.00	2.07	2.12	2.22	2.38

#### V.3.2. Dimensionnement de seuil déversoir

Pour le dimensionner le seuil du déversoir on utilise la formule du débit :

$$\text{Débit de déversoir : } Q = CLH^{3/2}$$

**L** : longueur déversant.

**H** : la charge sur le déversoir.

$$C = u \cdot \sqrt{2xg} \text{ ou } g = 9.81 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$C = 4.43u$$

**U** : coefficient de débit  $U = 0.5$

$$C = 2.22$$

$$Q = 34.16 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 1.20$$

$$Q=CLH$$

$$L=Q / (CxH^{3/2})$$

$$L=(34.16/(2.22x(1.20^{1.5}))=11.70m \text{ (alors la longueur de Chenal est de 12m)}$$

**Tableau N°40 : Calcul hydraulique Seuil**

Données					Résultats							
Géom	largeur	Rugosité	Pente	débit m <sup>3</sup> /s	h normal	Géométriques				Hydrauliques		
type	<i>b</i>	K	I	Q	<i>hn</i>	Lm	Pm	Sm	Rh	V	Fr	<i>Yc</i>
<b>Rec</b>	<b>12</b>	71.42	0.05	34.16	0.36	12	12.72	4.36	0.34	7.82	4.14	1.40

Suivant les valeurs ci-dessus on constate que  $h_n < h_c$  Alors le régime d'écoulement est torrentiel.

### V.3.3. Calcul hydraulique de Coursier

Le coursier fiat suite du chenal il est le plus souvent construit en béton et il est fortement conseillé de lui donner une section rectangulaire ce qui assure un écoulement régulier.

En général le coursier commence par un convergent amenant à la section de contrôle (section ou atteinte la hauteur critique) à partir de laquelle la pente augmente.

### V.4. Convergent

#### La longueur « L » du convergent

$$L_{con}=2.5 \times (b_1-b_2)$$

$b_1$  : largeur au plafond du bief amont.

$b_2$  : largeur au plafond de la section de contrôle (largeur de coursier).

$$b_1=12m ; b_2=10m$$

$$L_{con}= 2.5x (12-8)=10m.$$

### V.5. Détermination de la hauteur normale $h_n$ , $h_c$ et $I_c$ de coursier

On applique la formule de « CHEZY » on aura

$$Q=CS\sqrt{RI}$$

S : surface en m<sup>2</sup>

$$C=\frac{1}{n} R^{1/6} \text{ coefficient de CHEZY.}$$

$$Q=34.16m^3/s$$

$$n=0.014 \text{ (revêtement en béton).}$$

**Tableau N°41:** Calcul hydraulique de coursier

Données					Résultats								
Géom		Rugosité	Pente	Débit m3/s	Géométriques					Hydrauliques			
type	<i>b</i>	K	I	Q	<i>hn</i>	Lm	Pm	Sm	Rh	V	Fr	Hsc	<i>hc</i>
<i>Rec</i>	12	71.42	0.05	34.16	0.36	12	12.72	4.36	0.34	7.82	4.14	1.40	0.93

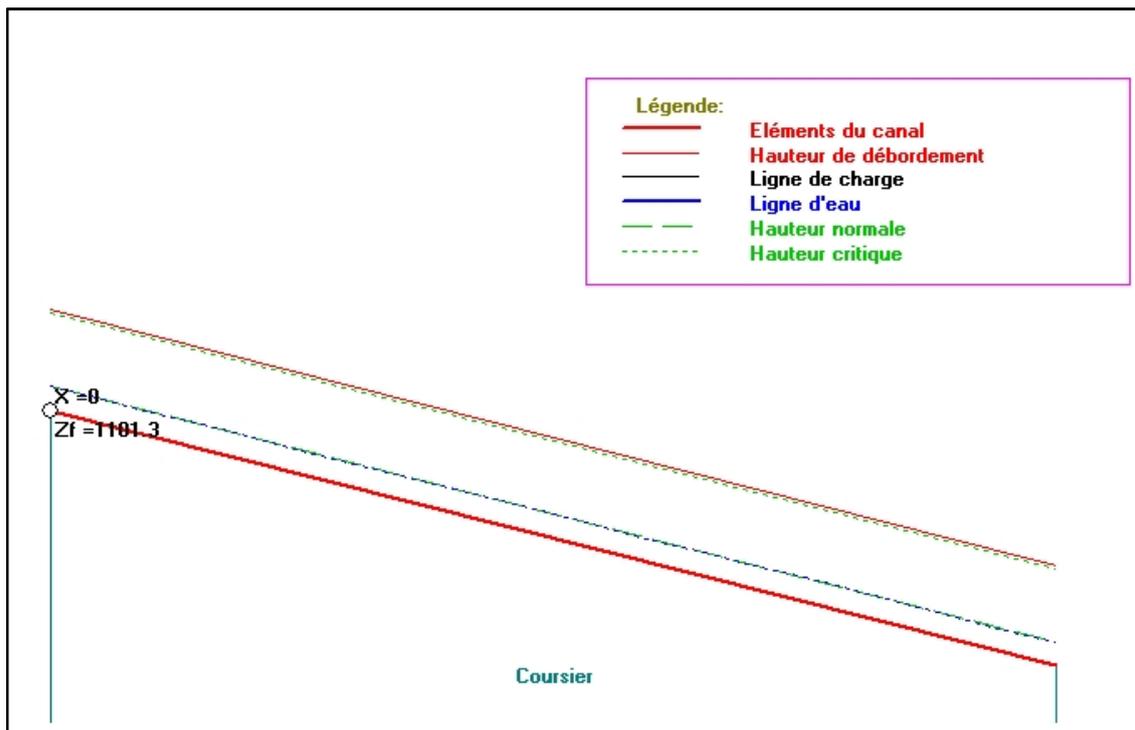
Suivant les valeurs ci-dessus on constate que  $I > I_c$  et  $h_n < h_c$

Alors le régime d'écoulement est torrentiel.

**V.5.1. La pente critique :**

$$Q = \frac{1}{n} \frac{S^{5/3}}{P^{2/3}} \sqrt{I_c}$$

$$I_c = \frac{Q^2 n^2 P^{4/3}}{S^{10/3}} = \frac{(34.16)^2 (0.014)^2 (12 + 2 * 1.0)^{4/3}}{(12 * 1.0)^{10/3}} = 1.95\%$$



résultats										
abcisse =	0	m								
cote =	1101.3	m								
nombre de pas =	20									
débit =	109.2	m <sup>3</sup> /s								
choix topo =	amont									
aval =	nodef	m								
amont =	0.3568	m								
Descriptif de la ligne d'eau										
no	Elem	x	Zf	Y	V	J	H	Hs	F	reg.
		m	m	m	m/s	m/m	m	m		
0	coursier	0	1101.3	0.36	15.30	0.19	1113.59	12.29	8.18	tor
16		16	1098.26	0.36	15.30	0.19	1110.55	12.29	8.18	tor
17		17	1098.07	0.36	15.30	0.19	1110.36	12.29	8.18	tor
18		18	1097.88	0.36	15.30	0.19	1110.17	12.29	8.18	tor
19		19	1097.69	0.36	15.30	0.19	1109.98	12.29	8.18	tor
20		20	1097.5	0.36	15.30	0.19	1109.79	12.29	8.18	tor

### V.5.2 Calcul hydraulique de bassin d'amortissement

C'est un moyen très efficace pour réduire la vitesse de sortie à une valeur compatible avec la stabilité des berges à l'aval.

Les procédés de dissipation d'énergie les plus utilisées pour protéger le pied de l'ouvrage contre les affouillements sont les suivants :

- **Ressaut hydraulique :**

La production d'un ressaut au pied de la lame déversant permet de dissiper une grande partie de l'énergie de celle-ci.

- **Défecteurs en « saut de ski » :**

Le déflecteur en saut de ski est disposé à la partie inférieure du coursier avec :

- Une extrémité inférieure de coursier à concavité tournée vers le haut (en général en forme de parabole).
- Un déflecteur (cuillère) qui redresse vers le haut les lames liquides, la dissipation d'énergie est produite par :

- Frottement de l'eau sur l'air.
- Choc de la lame sur le matelas d'eau à l'aval de la retenue.

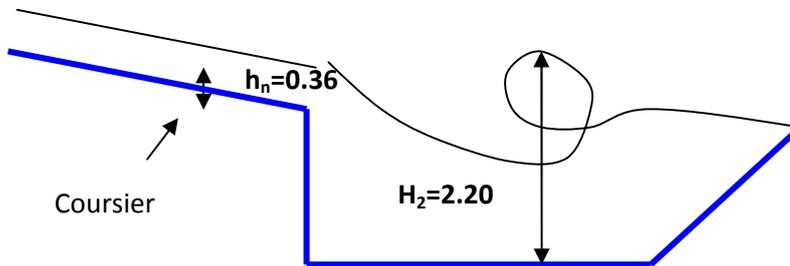


Figure (21) : *Déflecteurs en « saut de ski »*

### V.5.3 Dimensionnement de bassin d'amortissement

- **La longueur du bassin d'amortissement**

$$L_{BA} = (0.8-0.9) L_{\text{ressaut}}$$

$$L_{\text{ressaut}} = 6 (h_2 - h_n)$$

**Calcul  $h_2$  :**

$h_2$  le tirant d'eau après le ressaut

$$h_2 = \frac{h_n}{2} \left[ \sqrt{1 + 8 \left( \frac{hc}{h_n} \right)^3} - 1 \right]$$

$$hc = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} \quad q = \frac{Q}{b} : \text{Débit spécifique en m}^2/\text{s} \text{ et } \alpha = (1.0 - 1.1)$$

$$q = \frac{34.16}{12} = 2.85 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Donc : } hc = \sqrt[3]{\frac{1.1 * 2.85^2}{9.81}} = 0.96 \approx 1.0 \text{ m}$$

Alors :

$$h_2 = \frac{0.36}{2} \left[ \sqrt{1 + 8 \left( \frac{1.0}{0.36} \right)^3} - 1 \right] \approx 2.18 \approx 2.20 \text{ m}$$

$$L_{\text{ressaut}} = 6 (h_2 - h_n) = 6 (2.20 - 0.36) = 11.04 \text{ m}$$

$$L_{BA} = (0.8-0.9) L_{\text{ressaut}} = 0.9 * 11.04 = 9.94 \text{ m} \approx 10 \text{ m}$$

**V.5.4.Canal de fuite**

On applique la formule de « CHEZY » on aura

$$Q = CS\sqrt{RI}$$

S : surface en m<sup>2</sup> (forme trapézoïdale)

**b=20m, m=1**

$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$  coefficient de CHEZY.

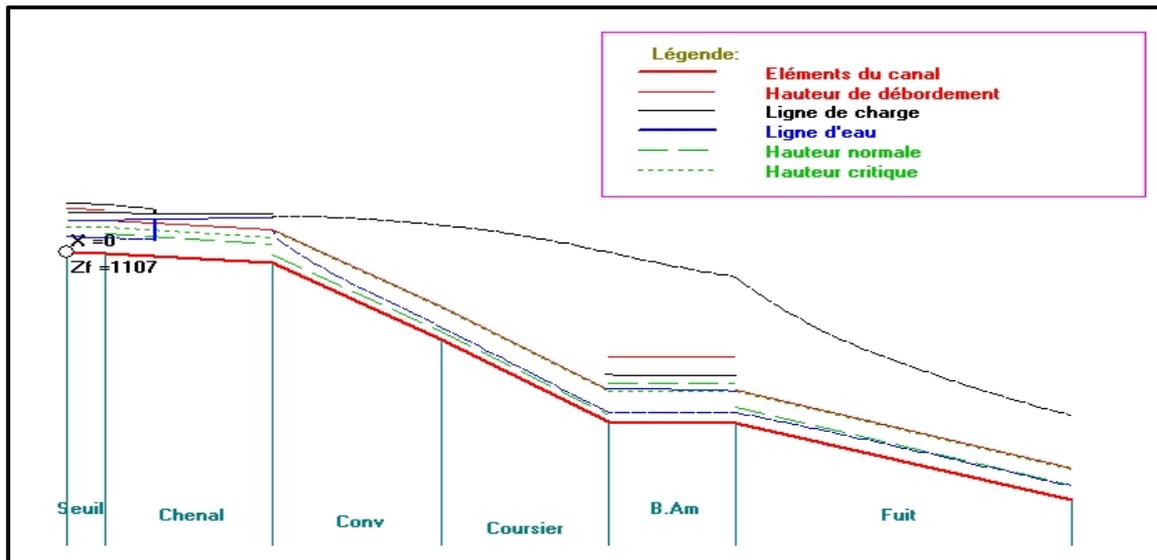
**Q=109.16m<sup>3</sup>/s**

**n=0.03.**

**Tableau N°42 : calcul hydraulique de canal de fuite**

Données						Résultats								
Géométrie			Rugosité	Pente	débit m <sup>3</sup> /s	h normal	Géométriques				Hydrauliques			
type	b	m	K	I	Q	hn	Lm	Pm	Sm	Rh	V	Fr	Hsc	hc
Tra	20	1	33	0.089	109.16	0.70	21.40	21.99	14.58	0.66	7.48	2.89	2.07	1.42

**CALCUL DE LA LIGNE D'EAU DE L'EVACUATEUR :**



## V.6.CALCUL HYDRAULIQUE DE LA PRISE D'EAU ET VIDANGE DE FOND

### V.6.1.Calcul de la grille principale du puisard d'entrée

La surface nette de la grille principale

$$S_{NGP} = \frac{Q_{max}}{V_{adm}}$$

$Q_{max}$  : Débit maximum de la vidange  $Q_{max} = 1,35 \text{ m}^3/\text{s}$ .

$V_{adm}$  : Vitesse admissible de l'écoulement de l'eau

$V_{adm}$  (0,5 - 1,0) m/s

On prend pour notre cas  $V_{adm} = 0,8 \text{ m/s}$

$$S_{NGP} = \frac{1.35}{0.8} = 1.69 \text{ m}^2$$

La surface brute de la grille principale

$$S_{bGP} = \frac{S_{NGP}}{K}$$

Où :

$$K = \frac{a}{a + t}$$

**a**: écartement des barreaux  $a = 5 \text{ cm}$ .

**t**: épaisseur des barreaux  $t = 3 \text{ cm}$ .

$$K = \frac{5}{5 + 3} = 0,625$$

$$S_{bGP} = \frac{1.69}{0.625} = 2.73 \text{ m}^2$$

### V.6.2.Calcul du temps de vidange de la retenue

Le débit évacué par la conduite est calculé par la formule :

$$Q_i = \mu \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

S: surface de la section de la conduite.

$$S(\text{m}^2) = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot d^2}{4}$$

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\frac{\lambda L}{D} + \sum \xi}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{0,02 * 80}{D} + 2,4}}$$

Le temps de vidange de la retenue :

$$t = \frac{H}{2g} \left( \frac{S_1}{H_1} + \frac{2S_2}{H_2} + \frac{3S_3}{H_3} + \dots + \frac{S_i}{H_i} \right)$$

Application pour la conduite D 500:

$$S(m^2) = \frac{\pi 0,5^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 0,19625 m^2$$

$$D = \frac{1}{\sqrt{\frac{0,02 \times 80}{0,5} + 2,4}} = 0,42$$

$$Q_i = 0,37 \sqrt{H}$$

**CALCUL DU TEMPS DE VIDANGE :**

Longueur de la Conduite (m) = 42  
 Côte Aval= 466,3

$\lambda$	$\phi$	$\zeta$	g	$\pi$	S	$\mu$
0,02	0,5	2,4	9,81	3,14	0,19625	0,50
<b>Niveau</b>	<b>Volume</b>	<b>Volume</b>	<b>Hauteur</b>	<b>Debit</b>	<b>Debit</b>	<b>Temps</b>
<b>d'eau dans</b>	<b>correspondant</b>	<b>evacué</b>	<b>d'eau</b>	<b>èvacué</b>	<b>moyen</b>	<b>de vidange</b>
<b>la retenue</b>		<b>Vi</b>			<b>Qmoy</b>	
<b>m NGA</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>m</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	<b>s</b>
473	75476,0		6,7	1,05835		
472	42877,0	32599,0	5,7	0,97617	1,01726	32045,90
471	20857,0	22020,0	4,7	0,88642	0,93130	23644,46
470	8728,0	12129	3,7	0,78649	0,83645	14500,53
469	3098,0	5630	2,7	0,67185	0,72917	7721,13
468	812,0	2286	1,7	0,53311	0,60248	3794,33
467	49,0	763	0,7	0,34209	0,43760	1743,61

$\Sigma t(s) = 83449,96$   
 $\Sigma t(j) = 0,97$

**V.7. Conclusion**

On a dimensionné les ouvrages annexes de sorte que l'ouvrage soit en sécurité pendant la mise en œuvre. L'évacuateur de crue pourra évacuer les quantités d'eau en excès durant la crue, le diamètre de la conduite de prise d'eau pourra véhiculer un débit d'eau sans interrompre la demande en eau d'irrigation, la conduite de vidange du fond a la capacité de vider la retenue sur une durée de 1 jour, et servira d'une prise d'eau en cas de dysfonctionnement de la prise d'eau initiale.

## CONCLUSION GENERALE

Sur la base de l'étude effectuée dans ce mémoire, l'étude de faisabilité d'une retenue collinaire sur Oued Masseaoud commune d'Elkantara le site est conditionnée par plusieurs paramètres :

- Les conditions topographiques permettent un emplacement adéquat sur le site de la retenue, d'où la superficie du bassin versant est petite évaluée à 7.16 km<sup>2</sup>, mais qui engendre plusieurs affluents sur le cours d'eau principal d'une longueur de 3.48 km.
- La géologie du site est adaptable, tant que l'hydrogéologie de la cuvette contient des sols pratiquement imperméables, ce qui minimise le taux d'infiltration.
- Les quantités d'eau ruisselées sur le bassin versant sont considérables, d'où la pluviométrie dans la région est estimée à 200 mm par an, d'où l'écoulement de l'eau est estimé à 0.025878 Hm<sup>3</sup> / an, d'où le remplissage de la cuvette est assez rapide.
- Sur le bassin versant et ces allons tours sont représentés par des superficies agricoles. Qui seront irriguées durant la période sèche. D'après le calcul de la régularisation saisonnière en utilisant le bilan hydrique, la cuvette peut générer 0,180093 hm<sup>3</sup> au maximum qui correspond à une hauteur au niveau de l'exutoire est de 8.37 m, est cette quantité d'eau doit être gérée selon la demande en eau d'irrigation, les pertes (par infiltration et évaporation) et les rejets, dans le but d'assurer la durabilité et la continuité de l'irrigation.

La réalisation d'une retenue collinaire sur le site n'implique aucune difficulté technique, de plus le choix du type de digue homogène en terre (Argile compactée) permet une utilisation du matériau de recharge disponible in situ.

La réalisation, préservation et la durabilité des retenues collinaires entre dans le développement durable du secteur d'agriculture, donc la faisabilité de la retenue collinaire à Oued Massaoud est un investissement primordial pour le développement dans le secteur d'agriculture.

## Référence bibliographie

- [1] **Ammari, A.**, " Vulnérabilité à l'Envasement des Barrages (Cas du bassin Hydrographique des Côtiers Algérois) " thèse de doctorat en science d'hydraulique, Université Mohamed Khider – Biskra, septembre 2012.
- [2] **Befani A. N.** " Fondements de la théorie de l'écoulement pluvial ". Travaux de l'OGMI, Tome XIV, 1958, 309 p. (en langue russe).
- [3] **Benmia, K.**, " Evaluation de la performance des barrages de protection contre les inondations cas de la ville de Ghazaouet ", mémoire de magister en hydraulique, université Aboubakr Belkaïd Tlemcen, 2012.
- [4] **Benidjer, N. et Mektout, K.**, « Etude de faisabilité d'une retenue collinaire sur Bethlou El-Kseur wilaya de Bejaia » mémoire de fin d'étude, Université de A-Mira de Bejaia, juin 2007.
- [5] **Bennis, S.**, " Hydraulique et Hydrologie ", 2<sup>ème</sup> édition revue et augmentée, 2009.
- [6] **Cesard. M et al.** " Hydrologie appliquée ", Procédures méthodologiques pour l'exécution d'études de retenues collinaires et petites barrages, Alger, avril 2004 version Française.
- [7] **Durand. J-M. et al.** " Technique des petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale ", Editions Cemagref.
- [8] **Fell. R et al.**, "Geotechnical engineering of dams", Balkema publishers, printed in great Britain, 2005.
- [9] **Gamboa. R.L.E et García. A.A.**, " Manuel de conception et projets typiques des évacuateurs des crues ", Procédures méthodologiques pour l'exécution d'études de retenues collinaires et petites barrages, Alger, avril 2004 version Française.
- [10] **Goptchenko E. D.** "A propos du calcul de la vitesse de propagation fluviale des rivières de montagne au nord-est de l'URSS ". Météorologie, climatologie et hydrologie, n° 5, 1969, 213-218 p. (en langue russe).
- [11] **Herizi. T.**, " Contribution à la méthode d'évaluation hydrologique des potentialités de stockage des barrages et des retenues collinaires ", mémoire de magistère, Université d'Oum El-Bouagui, juin 2014.
- [12] **Kritsky S. H, Menkel' M. F.**, " Les bases hydrologiques de la gestion des systèmes économiques d'eau", - M : la Science, 1982. – 271 s
- [13] **LADJEL. M.**, "Contribution à la méthode d'estimation du ruissellement des crues catastrophiques", Séminaire National sur l'Eau et l'Environnement SN2E- 12 et 13 octobre 2003, Bechar.

- [14] **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.
- [15] **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.
- [16] **LADJEL. M.**, " Exploitation optimale des petits barrages dans l'irrigation". Séminaire National sur l'Expérience Algérienne dans le Domaine de la Mobilisation des Ressources en eau Superficielles par les Barrages de Catégorie « II ».27 et 28 octobre 1999, Souk Ahras.
- [17] **LADJEL. M.**, "Justification des puissances de Sokolovsky relatives à la projection des hydrogrammes des crues." Colloque International sur l'Eau et l'Environnement, le 7 et 8 décembre 2004. Alger.
- [18] **Ladjel. M.**, " Méthode d'évaluation de la durée de ruissellement. (En russe) ". Conférence Internationale Scientifique et Technique- Problèmes actuels de la gestion de l'eau et de l'utilisation des ressources naturelles. 21 et 22 novembre 2007. Université de Rivne, Ukraine.
- [19] **Ladjel, M.**, " Method of optimal operation of small dam in irrigation " J Fundam Appl sci.2015 83-90.
- [20] **LADJEL. M.**, "Nouvelle voie d'évaluation des ressources hydriques superficielles "; Colloque méditerranéen eau-environnement, CMEE'200, le 2 et 3 octobre 2000, Alger.
- [21] **LADJEL. M.**, "Projection des hydrogrammes des crues pluviales des oueds d'Algérie "; (en langue russe). Journal hydrométéorologique de l'Ukraine, n° 5. Odessa, 2009.
- [22] **LADJEL. M.**, "Projection de l'hydrogramme de la crue de projet et de l'hydrogramme laminé." Premier Séminaire National sur les Sciences de la Terre au Service du Développement Durable, 26 et 27 avril 2004, Tebessa.
- [23] **LADJEL. M.**, "Method of evaluation of debits maxima of the flood rainfalls". International Workshop "River Runoff- Manima and Maxima", June 6-8, 2001, St Petersburg, Russia.
- [24] **Mozas. M et Ghosn. A.**, " État des lieux du secteur de l'eau en Algérie", Institut de Prospective Economique du Monde Méditerranéen (IPEMED), octobre 2013.
- [25] **Rahmani. N.**, " Méthode stochastique de calcul de stabilité des pentes ", mémoire de magister, université de Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Mars 2011.

- [26] **Rodriguez, et al.**, " Procédures méthodologique pour l'exécution des études des retenues collinaires et petits barrages ", manuel de conception et projets typique des digues en terre, Alger, avril 2004 version Française.
- [27] **Saradouni F.**, " contribution à l'étude de la vulnérabilité des retenues collinaires vis - à-vis aléas naturels, dans un système d'information géographique (SIG) ", mémoire de magister, université de Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 2013.
- [28] **Slahdji, N.**, « Etude de faisabilité d'un barrage de Bounachi sur Oued Rabta wilaya de Tizi-Ouzou » mémoire de fin d'étude d'ingénieur, Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique, Arbaoui Abdellah, octobre 2008.
- [29] **Sokolovsky D. L.** "Ecoulement fluvial ". Leningrad, Guidrométéoizdat, 1968, 538 p. (en langue russe).
- [30] **Taha B.M.J. O et al.**, " Synthèse des méthodes simples de régionalisation " Rapport préparé à l'attention de: Monsieur Marc Barbet, ing. M.Sc.A, Hydro-Québec Conception des aménagements de production, Hydraulique et Géotechnique, Novembre 2001.
- [31] **Touaïbia, B.**, « Manuel pratique d'hydrologie », presse Madani et frère Guerrouaou, Blida, mars 2004.
- [32] **Padoux. S.**, " Technique des barrages en aménagement rural ", Edition Eyrolles, Paris France, 1985.
- [33] **Pochat. R.**, " Evacuateur de crue", Bulletin technique de génie rural N° 125, C.T.G.R.E.F. [34] **Vajnov. A. N.**, " Hydrologie fluvial ", université de Moscou, 1976. [35] **Valdés. P.L et Pérez. A.**, " Manuel de conception et projet typiques de prises d'eau et vidanges de fond " Procédures méthodologiques pour l'exécution d'études de retenues collinaires et petites barrages, Alger, avril 2004 version Française.
- [36] **Bureau MATHE Moyens d'applications technique d'hydraulique et L'environnement Constantine**, " « Etude d'ouvrages de retenues pour la mobilisation d'eau superficielle à travers la wilaya de Biskra ». Retenues collinaires à El Kocha Commune d'El Kantara