



جامعة بجاية
Tasdawit n' Bgayet
Université de Béjaïa



Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

Melle. MOULOUDJ Ounissa

Melle. SOUDED Milila

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

Option : **Ouvrages et Aménagements Hydrauliques**

INTITULE:

**ETUDE DE FAISABILITE DU BARRAGE REKHOUCHE SUR
REKHOUCHE (W.KHENCHELA)**

Soutenu le **30/09 /2021** Devant le jury composé de :

- Président : Mr. **BENDADOUCHE.H**

- Promoteur : Mr. **SAKHRAOUL.F**

- Examineur: Mr. **BRAKENI.A**

REMIRCIMENT

Grâce à Dieu Tout Puissant pour sa bénédiction tout au long de nos études et l'accomplissement de ce mémoire de fin d'études.

Nos premiers remerciements à toute l'équipe de l'A.N.B.T, particulièrement Mr OURARI FAYCEL pour la qualité de son encadrement, sa disponibilité, son intérêt porté à notre travail, son encouragements et son soutien, et enfin pour la quantité d'informations qui il nous a donné et nous a permis d'aller jusqu'au bout

Nous voudrions témoigner notre reconnaissance et gratitude extrême à notre enseignant-promoteur Mr FOUAD SAKHRAOUI pour toute l'aide et la sollicitude qu'il a éprouvé à notre égard tout au long de l'élaboration de notre mémoire.

Nos respects aux membres de jury Mr BENDADOUCHE.HET Mr BRAKENI.A qui nous feront l'honneur d'apprécier notre travail.

Mes remerciements vont également à nos enseignants et tout le personnel du département d'hydraulique.

DÉDICACES

Grace à dieu le tout puissant, je dédie ce modeste travail à :

- Ceux qui sont plus chers que mon âme, la lumière de mon chemin, au deux personnes les plus chers à mon cœur mes très chers parents que je ne serais pas ici aujourd'hui sans leurs soutiens et leur attention, que dieu vous bénisse et vous garde encore longtemps à nos côtés.
- Aux source d'inspiration et d'encouragement, mes deux frères et sœurs qui ont su me porter secours dans les moments les plus difficiles dans mon parcours, merci infiniment.
- A celle qui a collaboré avec moi dans ce travail, ma collègue et amie MOULOUDJ OUNISSA.
- A mes chers (es) amis (es) qui m'ont soutenu pendant mon cursus universitaire sans exception, et surtout la classe de master 2 option ouvrages et Aménagements Hydrauliques promotion 2016, que ce diplôme nous ouvre les meilleurs débouchés dans le monde de l'emploi.
- Et en fin à tous ceux qui m'ont aidé et œuvrer de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

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

SOUDED MILILA

DEDICACE

Merci à dieu, à qui je dois tout, d'avoir guidé mes pas et de m'avoir donné la volonté pour accomplir ce travail.

J'ai le plaisir dédie ce modeste travail a :

A mes parents, aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

A ma très chère sœur : NADIA

A mes très chers frères : MAKHLOUF, OURAMDHENE, AMEZIANE

A mes chères belles sœurs : DJAMILA, NAIMA.

A toutes la famille MOULOUDJ

*A celle qui a collaboré avec moi dans ce travail, ma collègue, et amie SOUDED
MELILA*

A tous mes amis (es) .et à toute la promotion Master2 spécialement pour la spécialité ouvrage et aménagement hydraulique.

Mouloudj Ounissa

Table des matières

REMERCIEMENT

DEDICACE

LISTE DES SYMBOLES

LISTES DES FIGURES

LISTES DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE..... 1

Chapitre I :Etude topographique,geologique et geothechnique

I.1.Introduction	2
I.2.choix du site du barrage	2
I.3.Localisation de l'ouvrage	2
I.4.Topographie	2
I.4.1. La topographie du site :.....	2
I.5.Etude géologique.....	3
I.5.1. Généralité sur la région étudiée	3
I.5.2. la séismicité du site :	6
I.5.3. Géologie régionale et stratigraphie	7
I.6.Reconnaitssances réalisées	7
I.6.1. Essais in situ :.....	7
I.7.Matériaux de constructions	9
I.7.1. Agrégats naturels pour béton (graviers et sables).....	9
I.7.2. Les roches	9
I.7.3.Matériaux fins (argile et calcaire)	9
I.7.4. Matériaux pour la réalisation du noyau argileux du barrage	10
I.8.Etude géotechnique	11
I.8.1 Reconnaitssances réalisées.....	11
Sont les suivants :	11
I.9.Conclusions et recommandations.....	12

Chapitres II :caractéristique morphologique du bassin versant.

II.1 Introduction.....	13
II.2 Caractéristiques morphologiques du bassin versant de l'Oued Rekhouché	13
II.2.1 Paramètres géométriques de bassin versant.....	13
II.2.2 Paramètres de forme	13

II.2.3 Paramètres du relief	14
II.2.4 Caractéristiques des écoulements dans le bassin versant	21
II.3 Caractéristiques climatiques de bassin versant	24
II.3.1 Température :	25
II.3.2 Humidité de l'air	25
II.3.3 Le vent	26
II.3.4 Evaporation	27
II.3.5 La Pluviométrie	27
II.4 Conclusion	29

Chapire III :Etude hydrologique

III.1 Introduction	30
III.2 Etude de la pluviométrie	30
III.2.1 Etude de la précipitation maximale journalière	30
III.2.2 Caractéristique Statiques	31
III.2.3Ajustement statique	32
III.2.3Choix de loi adéquate	36
III.2.4 Pluies de courte durée I.D.F (courbes : Intensité_Durée_Frequence).....	37
III.3 Etude des apports	39
III.3.1 Apports liquides	39
III.3.2. Apport solides et estimation du volume mort	42
III.4 Etude des crues	44
III.4.1 Détermination des débits maximums fréquentiels	44
III.4.2 Hydrogrammes de crues	48
III.4.3 Choix de la crue de projet	51
III.4.4 Choix de la crue de chantier	52
III.5. Conclusion	52

Chapitre IV :Régularisation et laminage des crues

IV.1 Introduction	53
IV.2 Répartition mensuelle des besoins	53
IV.3 Répartition des apports fréquentiels	53
IV.4 Courbes « Hauteurs-Capacités-Surface »	53
IV.5 Calcul du volume utile	56
IV.5.1 Détermination de la période de bonne hydraulicité :	56
IV.5.2 Calcul de la régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes [9,10] :	57
IV.5.3 Régularisation saisonnière en tenant compte des pertes	58

IV.6Laminage des crues	62
IV.6.1Principe de la méthode de Muskingum.....	62
IV.6.2Application de la méthode de Muskingum pour largeur de déversoir b= 60 m.....	63
IV.7Conclusion.....	66

Chapitre V :Etudes des variantes.

V.1 Introduction.....	67
V.2 Types des barrages en remblai à envisager :	67
V.2.1 Barrage homogène.....	67
V.2.2 Barrage à noyau :.....	67
V.2.3 Barrage à masque :	68
V.3 Etude des quatre variantes :	69
V.3.1 Première variante : barrage en terre avec le noyau argileux central et les recharges en matériaux provenant des excavations :.....	69
V.3.2 Deuxième variante : barrage en terre avec le noyau central et les recharges en enrochement :	69
V.3.3 Troisième variante : barrage en terre en enrochement avec un masque amont en béton :..	70
V.3.4 Quatrième variante : barrage poids en BCR :.....	70
V.4 Conclusions :	71

ChapitresVI : Dimensionnement de l'ouvrage

VI.1 Introduction	73
VI.2 Les différentes composantes du barrage	73
VI.3 Dimensionnement de la digue	74
VI.4 La revanche	75
VI.4.1 Formule de STEVENSON:.....	75
VI.4.2 Formule de Mallet-paquant.....	75
la vitesse des vagues est donnée par la formule suivante.....	75
VI.4.3 Formule de l'U.S.B. R	75
Remarque : Il existe une formule simplifiée qui nous donne la revanche en fonction du Fetch, les résultats dans le tableau (VI.1).....	76
VI.5 Le tassement :.....	76
VI.6 La largeur en crête :.....	76
VI.6.1 Formule de T.Knappen (Ministère de l'agriculture française, 1977)	76
VI.6.2 Formule de E.F.Preece (Poste & Londe , 1953)	76
VI.6.3Formule simplifiée de Rolley (Ministère de l'agriculture française, 1977)	76
VI.6.4 Formule pratique	77

VI.7 pente des talus	77
VI.8 la base de la digue	77
VI.9 Bermes.....	77
VI.10 Dimensionnement du noyau	78
VI.10.1 La Hauteur à la crête	78
VI.10.2 Largeur en crête du noyau.....	78
VI.10.3 La base du noyau :	78
VI.11 Conclusion.....	78

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

Listes des figures

Figure I.1: Emplacement du barrage et du réservoir (la partie d'une carte topographique vue en plan 1/200 000).....	3
Figure I.2: carte interprétative géologique de la région (1/200 000).	5
Figure I.3: Carte de zonage sismique du territoire national (RPA 99 / Version 2003).....	6
Figure I.4: Situation de la zone d'emprunt A5 avec la position des travaux de reconnaissance prévus.	10
Figure I 5: Plan de situation de la zone d'emprunt d'argile A6 avec la position des travaux de reconnaissance.....	11
Figure II.1: Carte hypsométrique du bassin versant du barrage Rekhouché (W.Khenchela).....	15
Figure II.2: Paramètre hypsométrique du bassin versant.....	16
Figure II 3: Carte des pentes du bassin versant du barrage Rekhouché (W.Khenchla).....	20
Figure II.4: Carte du réseau hydrographique.	22
Figure II 5: Distribution mensuelle des températures moyenne, minimales et maximales.	25
Figure II.6: Distribution mensuelle de l'humidité moyenne.	26
Figure II.7: Distribution mensuelle de vent à Biskra.....	27
Figure II.8: Distribution mensuelle de l'évaporation.	27
Figure II.9: Répartition mensuelle de la précipitation.	28
Figure III.1: variabilité chronologique des maximales journaliers.	31
Figure III.2: Représentation graphique de l'ajustement à loi GEV	33
Figure III.3: Représentation graphique de l'ajustement à loi Log Normal.	34
Figure III 4: représentation graphique de l'ajustement à la loi Gumbel.	35
Figure III 5 : Pluies de courtes durées de différentes périodes de retours.....	39
Figure III.6: Intensités des pluies de courte durée de différentes périodes de retours.	39
Figure III 7: Hydrogramme d'entrée des différentes périodes de retour.	50
Figure III 8 : Hydrogramme de la crue de projet.	52
Figure IV 1: Capacité surface-Hauteur	55
Figure IV 2: Courbe capacité-Hauteur.....	55
Figure IV 3: Courbe capacité-Surface.	55
Figure IV 4: Représentation graphique de hydrogramme d'entrée et de sortie (Balaz,et al.,2010).	62
Figure IV 5: Courbe caractéristique de la cuvette.	65
Figure IV.6: Hydrogramme d'entrée et de sortie.....	65
Figure V.1: Barrage homogène.....	67
Figure V.2: barrage à noyau.....	68
Figure V.3: Barrage à masque.....	69
Figure VI.1: coupe schématique d'un barrage en remblai (Millogo Founémé A. ,2009)	74

LISTES DES TABLEAUX

Tableau I.1: Valeurs des accélérations sismiques obtenues par l'approche probabiliste.....	6
Tableau I 2: Les puits de reconnaissances réalisés avec leur emplacement et la profondeur.	8
Tableau I 3: Les sondages réalisés.....	9
Tableau I 4: Les piézomètres installés.....	12
Tableau II.1 : résultats des paramètres morphométries	14
Tableau II.2: paramètres du bassin versant	16
Tableau II. 3: les différentes altitudes caractéristiques du bassin versant.....	17
Tableau II. 4: Tableau classification du relief(O.R.S.T.O.M).....	18
Tableau II.5: Calcul de la pente de Roche.....	18
Tableau II.6: Longueurs correspondantes à chaque courbe de niveau	19
Tableau II.7: Les types de reliefs en fonction de Dénivelée spécifique	20
Tableau II.8 : Les différents indices de pentes	20
Tableau II.9 : Longueur des cours d'eau.....	22
Tableau II.10: Le temps de concentration calcule par les différentes formules	23
Tableau II.11: Les différents paramètres du réseau hydrographique	24
Tableau II.12: Récapitulatif des caractéristiques hydro-morphologiques du bassin versant d'Oued Rekhoucha	24
Tableau II.13: Températures moyennes mensuelles en °C.....	25
Tableau II.14: Humidité relative moyenne à Khenchela.....	26
Tableau II 15: Vitesse moyennes du vent en m/s	26
Tableau II.16: Evaporation station Khenchela	27
Tableau II.17: Station pluviométrique.....	28
Tableau II.18: Répartition mensuelle moyenne de la précipitation.....	28
Tableau III.1: Série des pluies maximales journalières de la station de BOUHMAMA	30
Tableau III.2: Caractéristiques statiques de la série Pjmax.....	32
Tableau III.3 : Les paramètres de la loi GEV	32
Tableau III.4: Quantiles théoriques de GEV	33
Tableau III.5 : Les paramètres de la loi de log normal	34
Tableau III.6: Quantiles théoriques de log normal.....	34
Tableau III.7 : Les paramètres de la loi de Gumbel	35
Tableau III.8 : Quantiles théoriques de Gumbel	36
Tableau III 9: Valeurs critique pour le test d'Anderson-Darling.....	36
Tableau III.10: Méthode de calcul du p-value pour le test d'Anderson-Darling.....	37
Tableau III.11: Résultats du test d'Anderson-Darling.....	37
Tableau III.12 : Pluies de courte durée et intensités de pluie pour différentes fréquences	38
Tableau III.13: Résultats du calcul de l'apport moyen annuel par les différentes méthodes	40
Tableau III.14: Résultats du calcul des caractéristiques d'écoulement	41
Tableau III.15: différentes valeurs de α	43
Tableau III.16: Résultats de calcul de volume mort.....	43
Tableau III.17: Résultats de calcul des débits par la méthode GRADEX.....	47
Tableau III.18: Récapitulatif du calcul du débit (m^3/s) par les différentes méthodes.....	48

Tableau III 19: Coefficients de forme de l'hydrogramme de crue δ	49
Tableau III.20: Hydrogramme des crues de différente période de retours	49
Tableau III.21: Crue de projet recommandée.....	51
Tableau IV 1: Répartition mensuelle des besoins en eau (Mm ³).....	53
Tableau IV 2: Répartition des apports fréquents	53
Tableau IV.3: Courbes topographiques et volumétrique.....	54
Tableau IV 4: Résultats de calcul de la période de bonne hydraulité.....	56
Tableau IV.5: Régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes	57
Tableau IV 6: Calcul des pertes	58
Tableau IV 7: Régularisation saisonnière en tenant compte des pertes.....	59
Tableau IV 8: Calcul des pertes, première itération	60
Tableau IV 9: Régularisation saisonnière en tenant compte des pertes	60
Tableau IV 10: <i>Calcul de la courbe caractéristique du barrage</i>	64
Tableau IV 11: Tableau récapitulatif des résultats de la méthode de Muskingum.....	66
Tableau V.1: Aperçu des investissements nécessaires et les prix économiques de l'eau livrée au pied du barrage pour les types des barrages analysés et leurs ouvrages annexes	71
Tableau VI.1: Tableau récapitulatif des résultats de calcul de la revanche.....	76
Tableau VI.2: Récapitulatif des valeurs de la largeur en crête	77
Tableau VI.3: les pentes des talus selon les hauteurs des barrages.	77

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'eau joue un rôle essentiel et indispensable dans la subsistance de tous les organismes vivants, animaux et végétaux de la biosphère. Elle représente enjeu économique et écologique des plus importants. Elle est d'autant plus difficile à gérer, elle constitue à la fois un élément essentiel et un facteur stratégique à l'aménagement du territoire. Sa disponibilité conditionne de manière déterminante la répartition de la population, de l'urbanisme et des activités économiques.

L'Algérie, situé Nord-Ouest du continent Africain est caractérisé par l'importance de l'altitude de ses montagnes, par son climat qui varie d'un climat méditerranéen au nord à saharien au sud. Cela se traduit par une décroissance des précipitations en allant du Nord au Sud.

Ce climat met l'Algérie dans un défi d'assurer sa sécurité d'alimentation en eau. Pour cela, l'Agence National des Barrages et Transferts –A.N.B.T a lancé plusieurs projets de construction de barrages et retenues. L'un de ces projets est le barrage de Rekkouche construit sur l'oued portant le même nom, à un site qui se trouve à environ 8 km à l'Est de la localité de Chechar et à environ 50 km au Sud de la ville de Khenchela. La destination de la future retenue est d'assurer les besoins en eau potable de la population locale, ainsi que les quantités d'eau nécessaires pour l'alimentation en eau potable de la population et les quantités d'eau suffisantes pour l'irrigation des périmètres de Kheirane et Chechar, situés à l'aval du barrage.

Le présent travail a pour but l'étude de faisabilité du barrage Rekkouche. Il comprendra cinq chapitres.

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

Dans le deuxième chapitre, on va définir les caractéristiques géomorphologiques, hydrographiques et climatiques du bassin versant.

Ensuite, dans le troisième chapitre on traitera en détail les données pluviométriques en vue du calcul de l'hydrogramme de crue, de l'estimation et le choix de la crue de projet et du transport solide.

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

CHAPITRE I

Etude topographique, géologique et géotechnique

I.1.Introduction

L'objectif principale dans l'étude de faisabilité était initialement l'analyse des possibilités de projection d'un barrage sur l'Oued Rekhouché, pour mobiliser les ressources naturelles dans la wilaya de Khenchela ; cette étude est élaborée en 2016 par les soins d'ENERGOPROJEKT-HIDROINZENJERING, société anonyme pour études, conseils et ingénierie des ouvrages et aménagements hydro-énergétiques, dans le cadre de l'étude d'avant-projetsommaire du barrage, dont l'objectif est le stockage des eaux s'écoulant dans l'Oued, afin d'assurer l'alimentation en eau potable de la région et l'irrigation des terres agricoles avoisinantes.

I.2.choix du site du barrage

La phase relative au choix du site du barrage est basée essentiellement sur des connaissances et des conditions topographiques, géologiques, géotechniques et hydrauliques du site.

Parmi les critères déterminants le choix du site du barrage, on distingue les éléments suivants :

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

I.3.Localisation de l'ouvrage

Le site du barrage de Rekhouché se situe à 45 km au Sud du chef-lieu de la Wilaya Khenchela. La ville la plus proche est Chechar (ex Taberdga) qui est éloigné de 8 km à l'Ouest. Les coordonnées approximatives du site du barrage dans le système de Coordonnées d'Algérie, de la zone UTM 32 sont : [1]

$$X = 326\,690,00 \text{ m}$$

$$Y = 3\,878\,790,00 \text{ m}$$

$$Z = 1030,00 \text{ m}$$

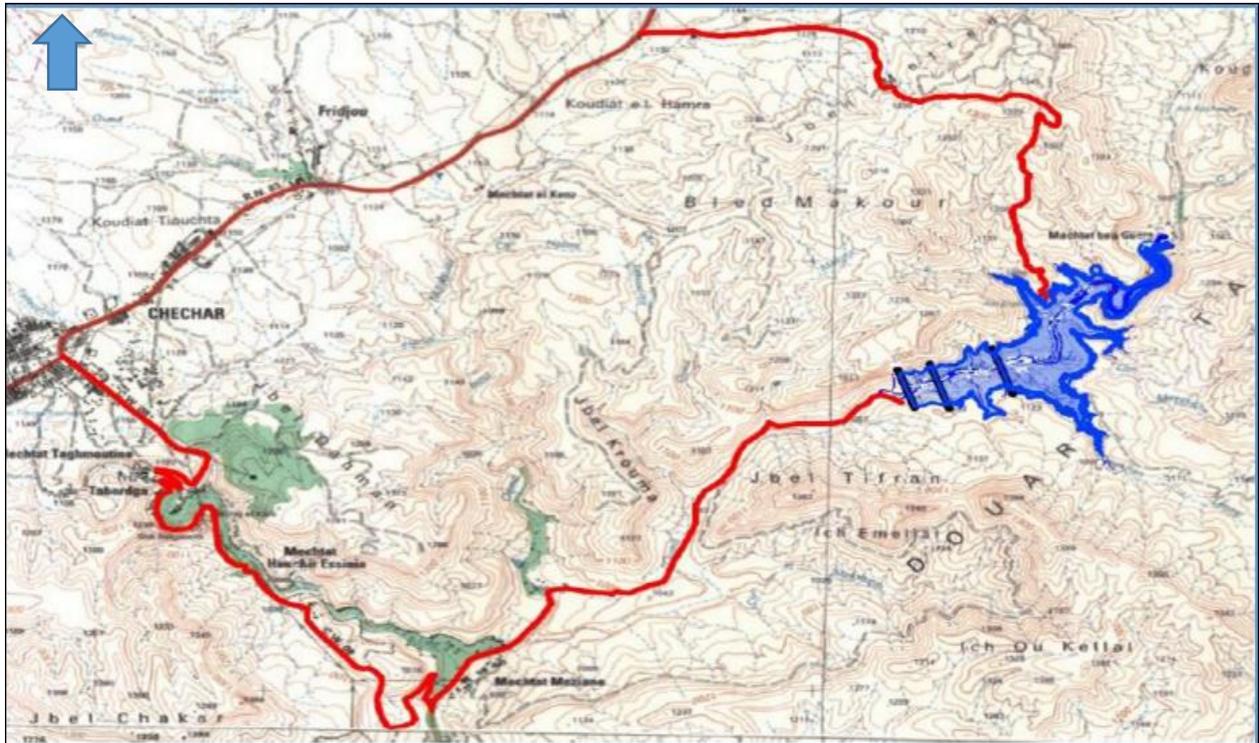
I.4.Topographie

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

I.4.1. La topographie du site :

Le site du barrage de Rekhouché est prévu sur l'oued de Rekhouché, l'affluent de l'oued Bidjer qui alimente en eau Chott Melrhir. L'oued Rekhouché court en parallèle avec l'oued Hariba qui alimente le réservoir du barrage de Babar (Nord-Ouest).

Jusqu'à l'emplacement du site du barrage on accède le long de la route nationale RN°38 de Khenchela dans la direction de Babar et on continue vers Chechar. Avant d'arriver à l'agglomération de Chechar, à 6 km à peu près, il faut tourner à gauche sur une piste en macadam. Par cette piste en macadam, dans une longueur de 8 km, par la charnière de la ligne de crête du bassin versant de Rekhouché, on arrive au site du barrage. [2]



Source (A.N.B.T)

Figure I.1: Emplacement du barrage et du réservoir (la partie d'une carte topographique vue en plan 1/200 000).

I.5. Etude géologique

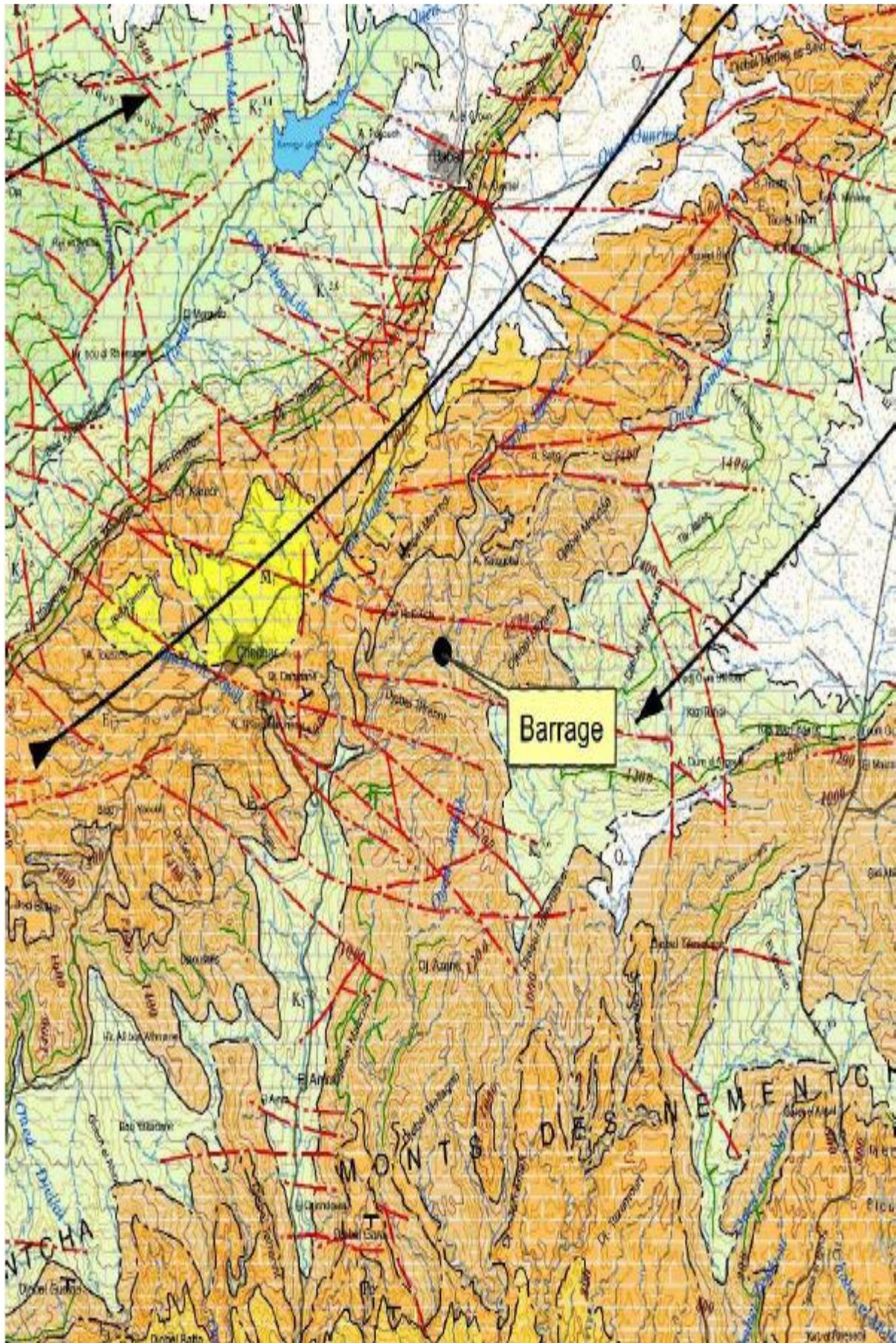
L'objectif principal de cette étude est de réduire au minimum les risques naturels (glissement de terrain, séismicité, déstabilisation de la digue) par des procédures appropriées à chaque problème, et le dernier mot lui revient en matière de choix et de sa faisabilité, une fois que les paramètres hydrauliques sont établis.

I.5.1. Généralité sur la région étudiée

Le site du barrage Rekhouché se situe dans la partie méridionale de la wilaya de Khenchela au niveau du passage vers la chaîne de montagnes de Namentcha dont la limite se trouve au sud (vers le Sahara). Y sont distinguées deux structures de plis : [3]

- Synclinal de Chechar à l'ouest où il y a des sédiments de l'âge miocène ;
- Anticlinal d'El Outagourt à l'est où il a des sédiments de l'âge du crétacé.

Les caractéristiques régionales géologiques du terrain ont été prises de la Carte géologique interprétative du Nord de l'Algérie à l'échelle 1/200 000. Le segment de la Carte géologique interprétative, réalisée dans le cadre de cette étude est présenté ci-après :



Légende des formations litho-stratigraphiques

	A Quaternaire (Holocène):Alluvions actuelles - sables, graviers, limons et argiles
	Q _a Quaternaire (Holocène):Alluvions actuelles et récentes par endroit éboulis des pentes et accumulation de piemont (sables, graviers et argiles) et mollasses
	Q _c Quaternaire:Crôte calcaire - dépôts quaternaires anciens avec surface encroûtée
	kPI,Q Plio-Quaternaire:Cailloutis (grès et conglomérats) et marnes
	M,PI Mio-Pliocène:Argiles et conglomérats, calcaires lacustres
	M _{2,3} Miocène moyen (Halvatien):Argiles, marnes et grès
	M ₁ ¹ Miocène inférieur (Aquitainien):Cailloutis, argiles sableuses rougeâtres et conglomérats
	M ₁ Miocène inférieur:Grès, marnes et bancs de calcaires
	E ₂ ¹ Eocène moyen (Lutétien supérieur):Marnes, argiles et localement conglomérats
	E _{1,2} Eocène inférieur et moyen (Ypresien et Lutétien inférieur):Calcaires à silex et marno-calcaires, parfois à gypse
	Pc Paléocène-Maastrichtien.Marnes et marno-calcaires
	K ₂ ^{5,0} Crétacé supérieur (Campanien et Maastrichtien):Ensemble marneux à la base et calcaires variés (oolitic, zoogen, à silex) au sommet
	K ₂ ^{3,4} Crétacé supérieur (Coniacien et Santonien):Calcaires
	K ₂ ² Crétacé supérieur (Turonien):Calcaires et marnes
	K ₂ ¹ Crétacé supérieur (Cénomaniens):Calcaires jaunes, marnes et gypse et dolomies
	K ₁ ⁶ Crétacé inférieur (Albien):Grès, calcaires ocre et argiles
	K ₁ ⁵ Crétacé inférieur (Aptien):Calcaires et grès

Légende des éléments linéaires - Télédétection

Légende des signes conventionnels

	Limite déterminée		Limite géologique - déterminée
	Limite supposée		Limite géologique - supposée
	Chevauchement déterminé		Chevauchement ou contact anormale - déterminé
	Chevauchement supposée		Chevauchement ou contact anormale - supposé
	Faille déterminée		Faille déterminée
	Faille supposée		Faille supposée
	Trace de stratification		Trace de stratification
	Pendage de la couche		Pendage de la couche
			Anticlinale
			Synclinale

Figure I.2: carte interprétative géologique de la région (1/200 000).

I.5.2. la sismicité du site :

Sur la base de la carte des intensités maximales enregistrées, le site du barrage de Rakhouche est situé dans la zone du degré V de l'échelle MCS, à proximité des zones du degré VI du MCS.

-La structure sismogénique la plus proche, confirmée pour le barrage de Rakhouche, est la faille Chlot el Hammam. La faille étant la plus proche de l'emplacement du barrage est Sigus, situé à 99,5 m au nord du site du barrage. Son mécanisme de failles correspondrait au décrochement et la longueur de la fracture à la surface du terrain est de 59,5 km. La littérature définit cette faille comme potentiellement active. [4]

-Dans l'analyse de l'aléa sismique, la limite supérieure de la magnitude est déterminée sur la base de la quantité de l'énergie de contrainte relâchée et elle est adoptée comme $M_{max} = 7.1$.

Les valeurs des accélérations sismiques se figure dans le tableau I.1 ci-après :

Tableau I.1: Valeurs des accélérations sismiques obtenues par l'approche probabiliste

R	Tr(années)	a (cm/s ²)	
0.50	144	103.50	SBE
0.37	218	128.73	NE
0.10	1000	233.40	SMD
0.03	3283	315.02	SES
0.01	10000	382.92	SMC

Source (A.N.B.T)

Le territoire national est divisé en cinq (5) zones de sismicité croissante, définies sur la carte des zones de sismicité (Figure I.3) associé qui précise cette répartition par wilaya et par commune, soit :

Zone O sismicité négligeable

Zone I sismicité faible

Zones IIa et IIb sismicité moyenne

Zone III sismicité élevée.

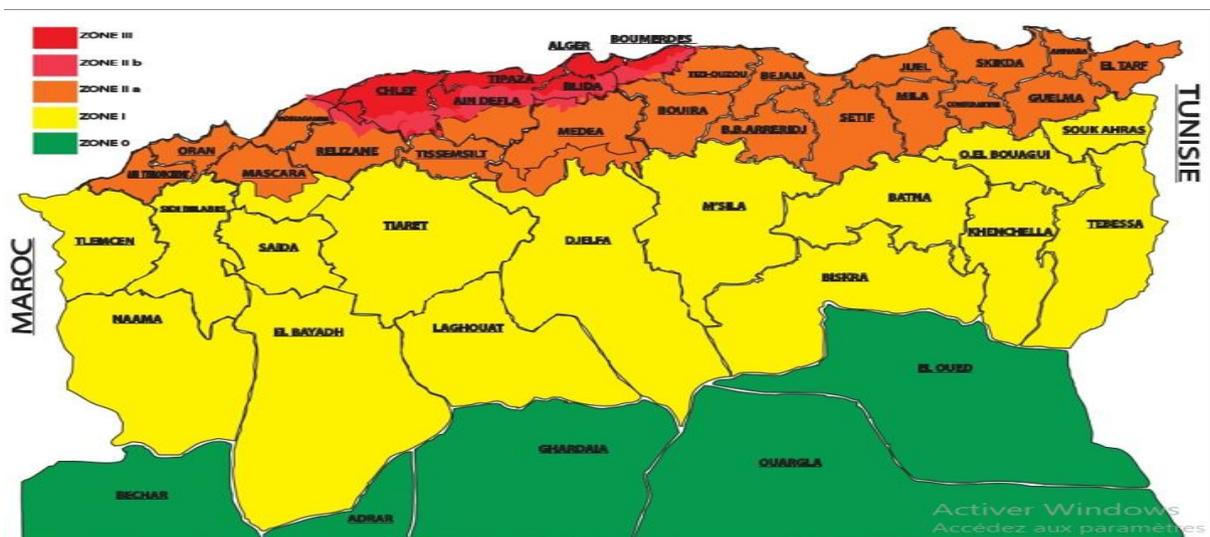


Figure I.3: Carte de zonage sismique du territoire national (RPA 99 / Version 2003).

I.5.3. Géologie régionale et stratigraphie

Y sont distinguées deux structures de plis : synclinal de Chechar à l'ouest où il y a des sédiments de l'âge miocène ; anticlinal d'El Outagourt à l'est où il a des sédiments de l'âge du crétacé.[3]

I.5.3.1. Stratigraphie

Le site de barrage se situe sur l'aile orientale de l'anticlinal où le terrain est composé de marnes et marno-calcaires de l'âge Paléocène (Pc). L'âge géologique des couches du Paléocène (Pc) n'est pas confirmé avec certitude, parce que les analyses paléontologiques n'ont pas été faites sur ces sédiments.[3]

Au niveau du synclinal de Cherchar, à l'ouest le terrain est constitué d'argiles et de marnes, dans le cadre desquelles il y a des couches de calcaires, grès et conglomérats de l'âge miocène (M1).

I.5.3.2. La tectonique du barrage Rekhouché

D'après la Carte interprétative géologique du Nord de l'Algérie, les directions tectoniques de failles sont orientées vers ONO-ESE et elles sont très prononcées dans le relief, et l'oued Rekhouché coule dans la zone d'étude dans toutes les directions, en coupant le terrain composé de sédiments susmentionnés de Paléocène (Pc). L'oued Rekhouché coule du nord vers le sud. Dans cette partie du terrain, à une longueur de 7 km environ jusqu'à Mezayene Chechar, il change sa direction et coule vers le sud-ouest. Après Mezayene Chechar l'oued Rekhouché continue vers le sud. On suppose que l'oued Rekhouché a changé sa direction dans cette partie du terrain, juste à cause de la tectonique, à savoir à cause de la formation des failles.

I.6. Reconnaissances réalisées**I.6.1. Essais in situ :**

Sur le site du barrage sur l'oued Rekhouché et dans la zone de la retenue, il a été achevé une campagne de reconnaissances géologiques dans le cadre de l'Etude de faisabilité. Les travaux réalisés au cours de la prospection géologique et géotechnique sont :[4]

I.6.1.2 Puits de reconnaissance

De 3 mètres de profondeur au droit de la fondation du barrage. A partir des puits de reconnaissance, on a prélevé des échantillons remaniés pour les essais de laboratoire. Au total, il a été réalisé 24 puits de reconnaissance, parmi lesquels 4 puits de reconnaissance au droit du site de barrage, et 20 puits de reconnaissance qui ont été réalisés au niveau des zones d'emprunt des argiles, les résultats sont résumés dans le tableau I.2 au-dessous :

I.6.1.3 Sondage

La réalisation de sept (7) sondages de reconnaissance avec le carottage continu, dont la profondeur varie entre 40.00 m et 60.00 m. La profondeur totale pour tous les sondages de reconnaissance réalisés avec le carottage est de 320,00 m.

La réalisation de quatre (4) sondages sans carottage pour les besoins de réalisation des essais pressiométriques. La profondeur des sondages va de 20 à 30 mètres. La profondeur totale des sondages sans carottage pour les essais pressiométriques est de 100 mètres, le tableau I.3 ci-après regroupe les sondages réalisés.

Tableau I 2: Les puits de reconnaissances réalisés avec leur emplacement et la profondeur.

Puits	Coordonnées			Profondeur (m)
	X	Y	Z	
Zone du barrage				
P-1	326701.44	3878724.55	1040	3
P-2	326542.6	3878672.9	1040	3
P-3	326324.39	3878607.01	1038	2.8
P-4	326176.71	3878567.65	1036	2.8
Zone d'argile A5 :				
P-6	321976.74	3881356.52	1103	3
P-7	322020.69	3881404.16	1103	3
P-8	322126.89	3881445.01	1111	3
P-9	322223.91	3881453.20	1110	3
P-10	322282.44	3881397.33	1110	-
P-11	322272.78	388130.79	1106.5	2
P-12	322290.19	3881198.45	1100	2.5
P-13	322291.91	3881130.99	1098	1
P-14	322012.55	3881242.91	1102	1.4
P-15	322179.61	3881291.67	1106	0.6
P-16	322109.74	3881354.65	1108	3
Zone d'argile A6 :				
P-16 bis	323251.86	3882376.17	1124	2
P-17	323326.62	3882423	1126	1.7
P-18	323358.08	3882480.1	1129	3
P-19	323214.32	3882527.07	1130	3
P-20	323463.66	3882598.28	1129	3
P-21	323535.42	3882564.12	1129	2
P-22	323476.24	3882505.54	1127	2.2
P-23	323427.08	3882449.86	1128	3
P-24	323767.25	3882595.21	1134	2.2
P-25	323737.13	3882542.22	1133	1.3

Source (A.N.B.T)

Tableau I 3: Les sondages réalisés

N° du sondage	Position	Coordonnées UTM		Elévation Z	Inclinaison (degré)	Profondeur totale (m)
		X	Y			
PF2	Profil 1 : sur le flanc gauche	326726.85	3878708.83	1039.86	90	60.00
PF'2	Sondage pressiométrique	326726.85	3878708.83	1039.86	90	30.00
PF3	Profil 1 : sur le lit de l'oued	326693.11	3878789.22	1030.49	90	40.00
PF'3	Sondage pressiométrique	326693.11	3878789.22	1030.49	90	20.00
PF6	Profil 1-2 : sur le flanc gauche	326145.09	3878541.06	1040.22	90	60.00
PF'6	Sondage pressiométrique	326145.09	3878541.06	1040.22	90	30.00
PF9	Profil 2 : sur le lit de l'oued	325765.67	3878418.24	1016.35	90	40.00
PF'9	Sondage pressiométrique	325765.67	3878418.24	1016.35	90	20.00
F11	Carrière N°1	326831.35	3878760.5	1034.36	90	40.00
F12	Carrière N°2	323628	3876416	1004	90	40.00
F13	Carrière N°3	323593	3876354	1007	90	40.00
Totale						420.00

Source (A.N.B.T)

I.7. Matériaux de constructions

I.7.1. Agrégats naturels pour béton (graviers et sables)

Par la reconnaissance du terrain au niveau de la zone étroite du barrage et de la retenue, l'on n'a pas constaté de quantités importantes de dépôts de graviers, d'alluvions et de matériaux sableux qui conviendraient à l'exécution des remblais (du corps du barrage). De même manière, l'épaisseur des dépôts colluviaux est faible et la quantité de matériaux en zone du barrage et de la retenue est insuffisante pour pouvoir en réaliser le corps du barrage.[4]

I.7.2. Les roches

Dans la zone étroite du barrage, les roches marneuses sont dominantes avec de rares intercalations de calcaires et de grès. L'exploitabilité de ces matériaux pour la réalisation des remblais du barrage n'a pas été traitée dans la présente étude.[4]

I.7.3. Matériaux fins (argile et calcaire)

En plus des reconnaissances et des essais pour les besoins de la fondation du barrage, les reconnaissances des zones d'emprunt d'argiles ont été également effectuées pour la réalisation du noyau étanche argileux du barrage. Les reconnaissances préliminaires de la zone d'emprunt d'argile A5 ont fait ressortir les résultats satisfaisants en matière de la qualité de l'argile, et les travaux supplémentaires seront également nécessaires au stade de l'élaboration de l'APD afin de définir les quantités de matériaux et les limites des zones d'emprunts.

A environ 4 km en aval du barrage, il a été constaté une zone de calcaire dont l'épaisseur des couches est supérieure à 30 mètres, la zone qualifiée favorable pour l'exploitation. Les travaux de reconnaissances ont été exécutés au niveau de la zone potentielle de la carrière et les résultats préliminaires sont satisfaisants.[4]

I.7.4. Matériaux pour la réalisation du noyau argileux du barrage

Pour le noyau argileux du barrage, les essais sur matériaux ont été réalisés au niveau de 2 zones d'emprunt d'argile. Les essais du sol au niveau du forage F-13 ont également été réalisés.

-zone d'emprunt d'argile A5- Sur la base des résultats, il est peut être conclu que le matériau argileux pouvant être utilisé pour la mise en place dans le noyau argileux du barrage est présent dans la couche 1. La couche 2 – argile avec carbone, de couleur brunâtre, avec traces d'oxydation et de cristaux de gypse et la couche 3, constituée du sable limoneux ne peuvent pas être utilisées pour la mise en place dans le noyau central argileux.

Le volume total de matière argileuse pouvant être exploitée dans la zone d'emprunt A5 est de

$$83783 \times 1.8 = 150\,800 \text{ m}^3$$

-zone d'emprunt d'argile A6- Sur la base des résultats, il peut être conclu que le matériau argileux pouvant être utilisé dans le noyau argileux du barrage se trouve au niveau de la couche 1. L'épaisseur moyenne de la couche 1 confirmée par les puits de reconnaissance est de 1,7 m. Au niveau de la zone d'emprunt A6 est confirmé et s'élève à $90\,000 \text{ m}^2 \times 1,7 \text{ m} = 153\,000 \text{ m}^3$. [4]

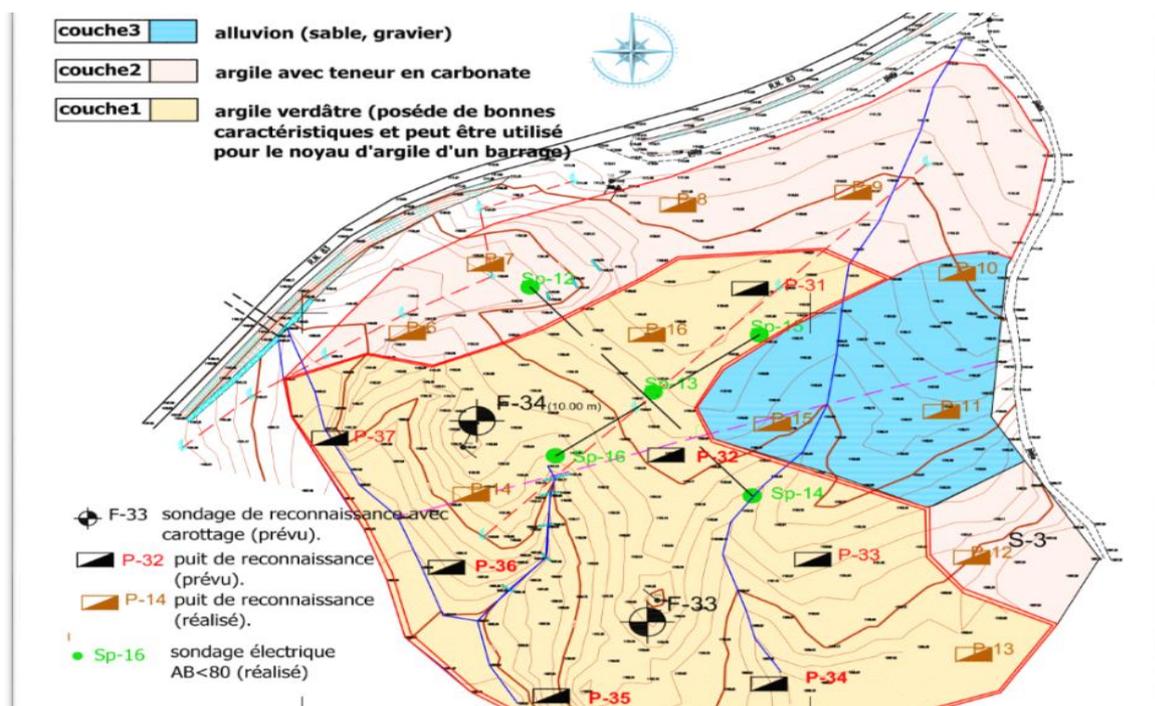


Figure I.4: Situation de la zone d'emprunt A5 avec la position des travaux de reconnaissance prévus.

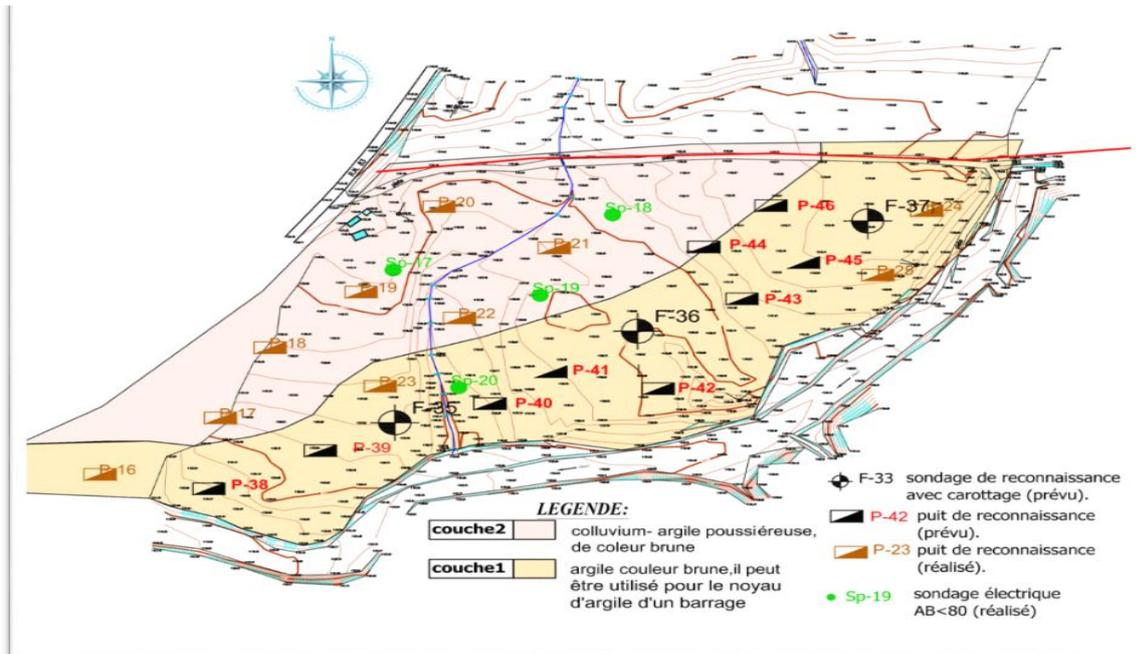


Figure I 5: Plan de situation de la zone d'emprunt d'argile A6 avec la position des travaux de reconnaissance.

I.8. Etude géotechnique

L'étude géologique bien qu'elle soit nécessaire demeure insuffisante, elle ne permet pas à l'ingénieur en général d'avoir une bonne définition des caractéristiques géométriques, géomécaniques et hydrodynamique. Cette étude porte sur les matériaux terreaux enrochement et fondation, selon la nature des matériaux à étudier, ces études se divisent en :

- étude géotechniques des matériaux de construction d'un barrage.
- étude géotechnique des fondations.

Une étude géotechnique a été établie sur le site du barrage Rekhouché pour déterminer les différents matériaux à utiliser, des essais ont été effectués in site et dans laboratoire qui nous permet de préciser la nature, les caractéristiques et la configuration des terrains et de confirmer le volume disponible des matériaux.

I.8.1 Reconnaissances réalisées

Sont les suivants : [5]

I.8.1.1 Les essais de laboratoire

Le programme des essais de laboratoire a pour but de déterminer les propriétés des matériaux des sondages réalisés dans l'emprise du barrage, pour déterminer la portance, la perméabilité de la roche, etc. Il a été prélevé 8 échantillons des sondages : PF2, PF3, PF6 et PF9. Au niveau de la zone d'emprunt A5, on a prélevé et soumis aux essais 10 grands échantillons remaniés et 6 qui sont petits. A partir de la zone d'emprunt A6, il a été prélevé 11 grands échantillons remaniés et 6 petits échantillons. Deux échantillons du sondage F13 (4.15-4.30 et 8.9-9.1), et un échantillon du sondage PF3, ont été soumis aux essais pour les besoins de réalisation du noyau argileux du barrage. Trois échantillons prélevés des sondages F-11, F-12 et F-13 ont été soumis à l'essai. Les résultats dans (Annexe I.1), (Annexe I.2), (Annexe I.3).

I.8.1.2 Essais de perméabilité :

L'essai de perméabilité a été réalisé dans les sondages au niveau du site de barrage par la méthode d'injection de l'eau dans le sondage (essai Lefranc) et par la méthode d'injection de l'eau dans le sondage sous pression (essai Lugeons).

- **Essais Lefranc** : L'essai Lefranc a eu pour but l'examen de la perméabilité des zones de surface au niveau de 3 sondages au total (PF3, PF6 et PF9). Il a été examiné 6 tranches de 0.5 m de longueur chacune. Les essais ont été réalisés en conformité avec : NF P 94-132. (AnnexeI.4).

- **Essais Lugeons** : Les essais Lugeons ont été réalisés en vue de déterminer la perméabilité de la roche au niveau des sondages de reconnaissance réalisés au niveau du site de barrage. Les essais devraient fournir les données sur la base desquelles il faut dimensionner le voile d'injection au-dessous du barrage. Les essais ont été réalisés en conformité avec la norme : NF P 94-131.

- Au total, il a été réalisé 29 essais dans 4 sondages de reconnaissance. Les résultats dans (AnnexeI.5).122

I.8.1.3 Essais SPT

Parallèlement avec la foration, au niveau de 4 sondages il a été réalisé 12 essais de pénétration standard. Les essais SPT ont été réalisés dans les sondages PF2, PF3, PF6 et PF9.

Voir (Annexe I.6).

I.8.1.4 Essais Préssiométrique

Quatre (4) sondages destructifs ont été réalisés (PF'2, PF'3, PF'6 et PF'9) à côté des sondages de reconnaissance portant le même nom, déjà réalisés. Quatorze (14) essais pressiométriques a été réalisés. Voir (Annexe I.7).

I.8.1.5 Installation des piézomètres

Dans les sondages réalisés au niveau du site de barrage, les piézomètres ont été installés pour les besoins des mesures des niveaux des eaux souterraines. Au total, il a été installé 200 mètres de piézomètres.

Tableau I 4: Les piézomètres installés.

Référence sondage carotté	Quantité de pose piézométrique « ml »
PF-02	60
PF-03	40
PF-06	60
PF-09	40

I.9. Conclusions et recommandations

La carte géologique et les coupes géologiques du terrain font apparaitre des levés lithologique et structurale des trois zones potentiels du barrage.

-En plus de la couverture quaternaire, la roche au niveau du site du barrage est en principe de type de marne, de calcaire, et de grès ainsi que l'alternance de marnes et de calcaires. L'orientation, à

savoir, le pendage de ces couches est vers le nord-ouest, mais cela ne devrait pas poser de problème pour les pertes d'eau sous la fondation du barrage. Le problème peut apparaître au niveau de la tectonique, c'est-à-dire les discontinuités et les failles qui sont en principe orientées nord-ouest / sud-est.

-La masse rocheuse est imperméable ou relativement imperméable. Il existe certaines conditions géologiques, telles que la fissuration dans les couches de calcaires et de grès, mais cette perméabilité peut être réduite en réalisant le voile d'injection imperméable. Une attention particulière doit être portée à l'apparition des failles et discontinuités, car ils peuvent être un indicateur majeur des directions de perte d'eau depuis la retenue.

-Deux zones d'emprunt d'argile potentielles ont été examinées et des échantillons ont été prélevés dans les puits de reconnaissance F-13 et PF3. Au niveau des zones d'emprunt A5 et A6, la couche de surface est constituée de matériaux à grains fins avec désignation (couche 1), qui sont évalués comme bons pour la réalisation du noyau argileux du barrage. Les reconnaissances ont directement confirmé la quantité suffisante des matériaux pour la réalisation du noyau argileux du barrage.

-Le granulats à béton et le sable pour le filtre peuvent être exploités dans la carrière de calcaire située en aval du barrage. Les essais supplémentaires de ces matériaux doivent être effectués afin d'obtenir une évaluation de leur utilisabilité en tant que granulats de béton.

-Selon les reconnaissances et les essais effectués jusqu'à présent, il n'y a pas de données négatives ni de problème majeur aux niveaux des sites qui pourront gêner la construction du barrage. Sur la base des caractéristiques physiques et mécaniques des masses rocheuses de la vallée de l'oued de Rekhouch, du point de vue géologique, des profils plus favorables pour les fondations des ouvrages sont les profils 1-2 et 2.

-les résultats des reconnaissances sont suffisants pour ce niveau de projet (étude de faisabilité) et ont permis de réaliser une étude géologique-géotechnique fiable qui permettra la réalisation des variantes des barrages

CHAPITRE II

Caractéristiques morphologiques du bassin versant

II.1 Introduction

Le bassin versant représente, en principe, l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ses effets.

Plus précisément, le bassin versant qui peut être considéré comme un " système " est une surface élémentaire hydrologiquement close, c'est-à-dire qu'aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et que tous les excédents de précipitations s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire.

II.2 Caractéristiques morphologiques du bassin versant de l'Oued Rekhouché

Les caractéristiques morpho-métriques et hydrographiques d'un bassin versant influencent fortement sur la réponse hydrologique et notamment le régime d'écoulement, en période de crue, ils interviennent également dans le calcul des formules empiriques [6].

Les caractéristiques physico-géographiques du sous bassin versant ont été déterminées à l'aide du logiciel Arc-Gis 10.5.

II.2.1 Paramètres géométriques de bassin versant

- **Superficie :**

La surface topographique est le paramètre le plus important, il permet de contrôler l'intensité de plusieurs phénomènes hydrologiques. Elle était obtenue après avoir déterminé les limites du bassin versant.

$$S = 313\text{km}^2$$

- **Périmètre :**

Le périmètre correspond à la limite extérieure du bassin, il est obtenu par la ligne des crêtes formant le contour du bassin.

$$P = 98,07 \text{ km}$$

II.2.2 Paramètres de forme

II.2.2.1 Indice de compacité de Gravillius K_c

La forme du bassin joue un rôle important sur la forme de l'hydrogramme résultant d'une averse donnée à l'exutoire du bassin.

Il est égal au rapport du périmètre du bassin versant considéré à celui d'un cercle qui aurait la même surface.

Plus ce coefficient s'approche de 1, plus la forme de bassin versant sera ramassée et plus le temps de concentration des eaux sera court. Elle sera allongée dans le cas contraire.

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}} \quad (\text{II.1})$$

Si :

- $K_c < 1,12$ bassin versant est ramassé.
- $K_c = 1,12$ bassin versant carrée.
- $K_c > 1,12$ le bassin versant est allongé.

II.2.2.2 Coefficient d'allongement

Ce coefficient est obtenu par la relation :

$$K_p = L_{cp}^2 / S \quad (II.2).$$

Avec :

- : Coefficient d'allongement ;
- : La longueur du talweg principal (km) ;

Plus la valeur de ce coefficient est grande, plus le bassin versant est allongé, plus le temps de concentration (le temps mis pour une goutte d'eau tombée sur le point le plus éloigné en amont du bassin versant pour arriver à l'exutoire) est grand et donc la crue est moins violente.

II.2.2.3 Rectangle équivalent

La notion de rectangle équivalent a été introduite dans l'étude géomorphologique des bassins et elle permet la comparaison des bassins entre eux de point de vue de l'influence de la forme sur l'écoulement, en possédant la même superficie et le même périmètre que le bassin considéré et par conséquent le même indice de compacité.

Les grandeurs L et l sont données par les formules suivantes :

$$L = \frac{K_c \sqrt{S}}{1,12} \left[1 + \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2 \right] \quad (II.3)$$

$$l = \frac{K_c \sqrt{S}}{1,12} \left[1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2 \right] \quad (II.4)$$

Avec :

- L : Longueur du rectangle équivalent (km) ;
- l : Largeur du rectangle équivalent (km).

Tableau II.1 : résultats des paramètres morphométriques

Paramètres	Superficie (km ²)	Périmètre (km)	K _c	K _p	Longueur (km)	Largeur (km)
Résultats	313	98.07	1.55	5	41.41	7.55

Interprétation :

Dans notre cas, nous avons K_c = 1.55 donc K_c > 1.28 et K_p = 5 ce qui veut dire qu'on a un bassin versant de **forme allongé**.

II.2.3 Paramètres du relief

Le relief est défini comme étant la variation des altitudes ; ces variations influent sur des facteurs comme l'écoulement, précipitation, végétation etc.

Il est caractérisé par :

- La courbe hypsométrique.
- L'indice de pente globale.
- L'indice de pente moyenne.

II.2.3.1 Courbe hypsométrique :

Pour estimer ces paramètres on doit présenter la répartition hypsométrique après planimétrage des aires partielles comprises entre les courbes de niveau maîtresses et les différentes cotes. La répartition des surfaces du bassin versant de l'Oued REKHOUCHE a été déterminée à l'aide du logiciel ARCGIS10.5, elle apparait dans la figure (II.1). Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau (II.1), et la courbe hypsométrique est donnée par la figure (II.1).

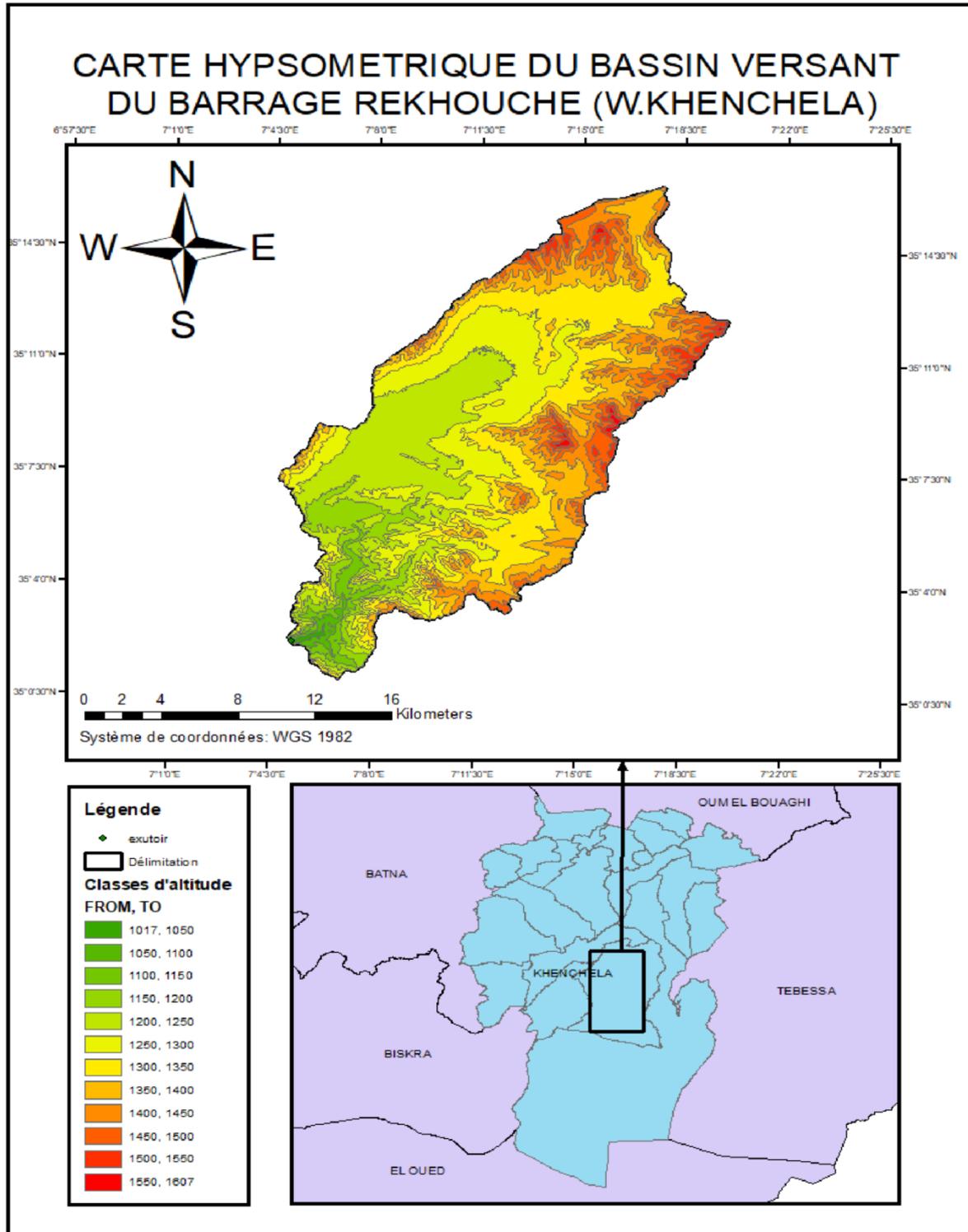


Figure II.1: Carte hypsométrique du bassin versant du barrage Rekhoucha (W.Khenchela).

Tableau II.2: paramètres du bassin versant

N° d'ordre	De (m) à (m)	H _i (m)	Surface partielle (km ²)	Surface partielle (%)	Surface cumulées (km ²)	Surface cumulées (%)	H _i * S _i (m.km ²)
1	1550-1607	1578.5	0.966	0.309	0.966	0.309	1524.651
2	1500-1550	1525	6.013	1.921	6.979	2.230	9169.558
3	1450-1500	1475	17.991	5.748	24.969	7.978	26536.324
4	1400-1450	1425	34.663	11.075	59.632	19.052	49394.620
5	1350-1400	1375	48.460	15.483	108.092	34.535	66632.668
6	1300-1350	1325	61.554	19.666	169.647	54.202	81559.527
7	1250-1300	1275	57.708	18.437	227.355	72.639	73577.380
8	1200-1250	1225	59.139	18.895	286.493	91.534	72445.090
9	1150-1200	1175	17.160	5.483	303.654	97.017	20163.524
10	1100-1150	1125	6.515	2.081	310.169	99.098	7329.013
11	1050-1100	1075	2.351	0.751	312.519	99.849	2526.789
12	1017-1050	1033.5	0.382	0.151	312.992	100.000	488.446

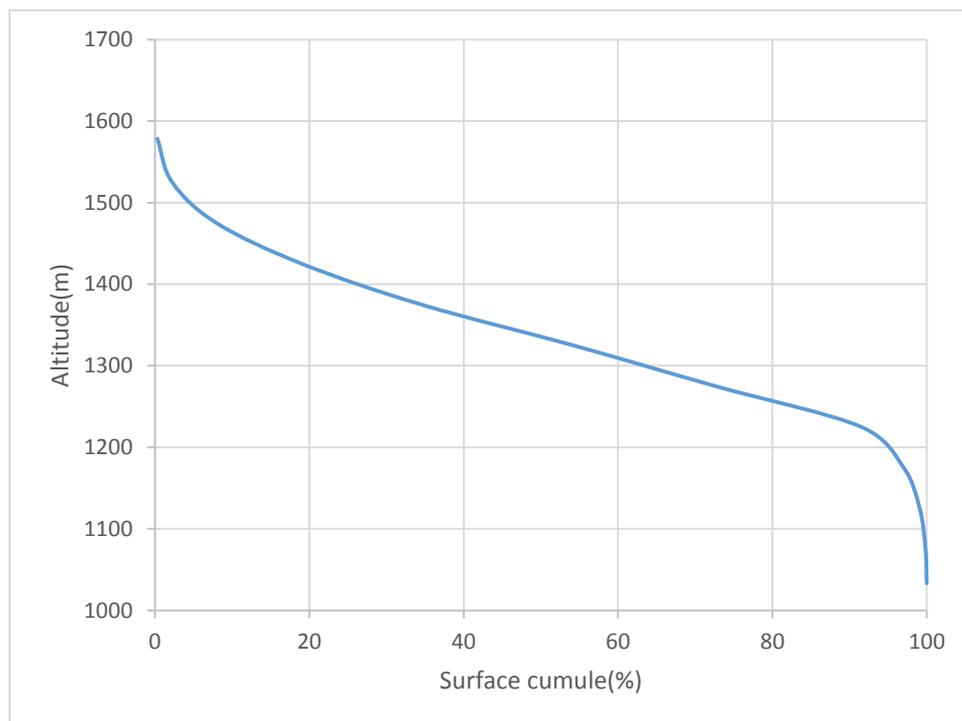


Figure II.2: Paramètre hypsométrique du bassin versant.

II.2.3.2 Les altitudes caractéristiques

- L'altitude maximale et minimale

Elles sont obtenues directement à partir de la carte topographique. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale est le point le plus bas, généralement à l'exutoire.

- **L'altitude médiane 50%, 5%, 95% :**

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. De même pour les altitudes 5% et 95%.

- **L'altitude moyenne :**

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de lecture d'une carte topographique. On peut la définir comme suit :

$$H_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i H_i}{S} \quad (II.5).$$

Tel que :

$$H_i = \frac{H_{n+1} + H_n}{2} \quad (II.6).$$

Avec :

- : Altitude moyenne entre 02 courbes de niveaux consécutives (m) ;
- : surface partielle comprise entre 2 courbes de niveaux consécutives (km^2) ;
- S : surface totale du sous bassin (km^2).

Tableau II. 3: les différentes altitudes caractéristiques du bassin versant

Altitudes (m)	<i>Hmax</i>	<i>Hmin</i>	<i>H</i> _{5%}	<i>H</i> _{50%}	<i>H</i> _{95%}	<i>H</i> _{moy}
	1607	1017	1493	1340	1205	1314.24

II.2.3.3 Les pentes du bassin versant :

Le but de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin versant et de permettre, ainsi des comparaisons et des classifications. Les indices de pente se déterminent à partir de la connaissance de la répartition hypsométrique sur le bassin [6].

b) Indice de la pente global I_g

L'indice de pente global (I_g) est utilisé pour déterminer la dénivelée spécifique du bassin. Il permet de caractériser et de classer le relief du bassin versant. Dans une région de géomorphologie homogène, la pente diminue de l'amont vers l'aval, par conséquent, I_g décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente. Toutefois, la longueur du rectangle équivalent étant généralement proche de celle du plus long cours d'eau, I_g reste voisin de la pente longitudinale [7].

$$I_g = \frac{D}{L} \quad (II.7)$$

Avec :

- D : Dénivelée entre $H_{95\%}$ et $H_{5\%}$ (m) ;
- L : Longueur du rectangle équivalent (m).

Tableau II. 4: Tableau classification du relief(O.R.S.T.O.M)

R1	Relief très faible	$I_g \leq 0.002$
R2	Relief faible	$0.002 < I_g \leq 0.05$
R3	Relief assez faible	$0.005 < I_g \leq 0.01$
R4	Relief modéré	$0.01 < I_g \leq 0.02$
R5	Relief assez fort	$0.02 < I_g \leq 0.05$
R6	Relief fort	$0.05 < I_g \leq 0.1$
R7	Relief très fort	$0.1 < I_g$

L'indice de pente de Roche **Ip** caractérise la pente moyenne du bassin versant et se calcule à partir du rectangle équivalent. Il est égal à la somme des racines carrées des pentes moyennes de chaque élément partiel compris entre deux courbes de niveau, pondéré par la surface partielle qui lui est associée. Il s'exprime par :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_i^n \sqrt{S_{i(H_i-H_{i-1})}} \quad (II.8)$$

Avec :

L : Longueur du rectangle équivalent (*km*) ;

Si: Surface partielle (%) comprise entre 2 courbes de niveau consécutives (*km*²).

Tableau II.5: Calcul de la pente de Roche

H_{i-1}	H_i	Surface partielle(km²)	Surface partielle(%)	S_i(H_i-H_{i-1})	$\sqrt{S_{i(H_i-H_{i-1})}}$
1550	1607	0,996	0,309	55,056	7,42
1500	1550	6,013	1,921	300,641	17,42
1450	1500	17,991	5,748	899,536	29,992
1400	1450	34,663	11,075	1733,145	41,631
1350	1400	48,46	15,483	2423,006	49,224
1300	1350	61,554	19,666	3077,718	55,477
1250	1300	57,708	18,437	2885,387	54,378
1200	1250	59,139	18,895	2956,942	29,292
1150	1200	17,160	5,483	858,022	18,048
1100	1150	6,515	2,081	325,734	10,841
1050	1100	2,351	0,751	117,525	3,074
1017	1050	0,382	0,151	9,452	3,074
				somme	370,433

c) Indice de pente moyenne

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle est considérée comme une variable indépendante. Elle donne une bonne indication sur le temps de concentration T_c et influe directement sur le débit de pointe lors d'une averse.

$$I_m = \frac{\Delta H(0.5l_1 + l_2 + \dots + l_{n-1} + 0.5l_n)}{S} \quad (\text{II.9})$$

Avec :

I_m : la pente moyenne (%) ;

ΔH : Equidistance entre de courbes deux courbes de niveau (km) ;

l_i : la longueur totale de courbes niveau (km) ;

Tableau II.6: Longueurs correspondantes à chaque courbe de niveau

Cote de la courbe de niveau (m)	Longueur (km)
1050	5.05
1100	16.27
1150	37.35
1200	79.13
1250	133.15
1300	123.19
1350	150.40
1400	164.20
1450	110.35
1500	50.54
1550	13.06
1600	0.63

d) Dénivelé spécifique D_s

Elle sert à comparer les indices de pentes du bassin de superficie différentes, d'après la deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M appliquée à tout bassin quelle que soit sa surface.

Elle est donnée par la formule suivante :

$$D_s = I_g \sqrt{S} \quad (\text{II.10})$$

Tableau II.7: Les types de reliefs en fonction de Dénivelée spécifique

Relief très faible	$D_s < 10m$
Relief faible	$10 m < D_s < 25 m$
Relief assez faible	$25 m < D_s < 50 m$
Relief modéré	$50 m < D_s < 100 m$
Relief assez fort	$100 m < D_s < 250 m$
Relief fort	$250 m < D_s < 500 m$
Relief très fort	$500 m < D_s$

Les résultats de calcul des différents indices de pente du bassin versant sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau II.8 : Les différents indices de pentes

Indices	(m/km)	I_p	$I_m(\%)$	D_s (m)
	6.95	57.56	14	123.04

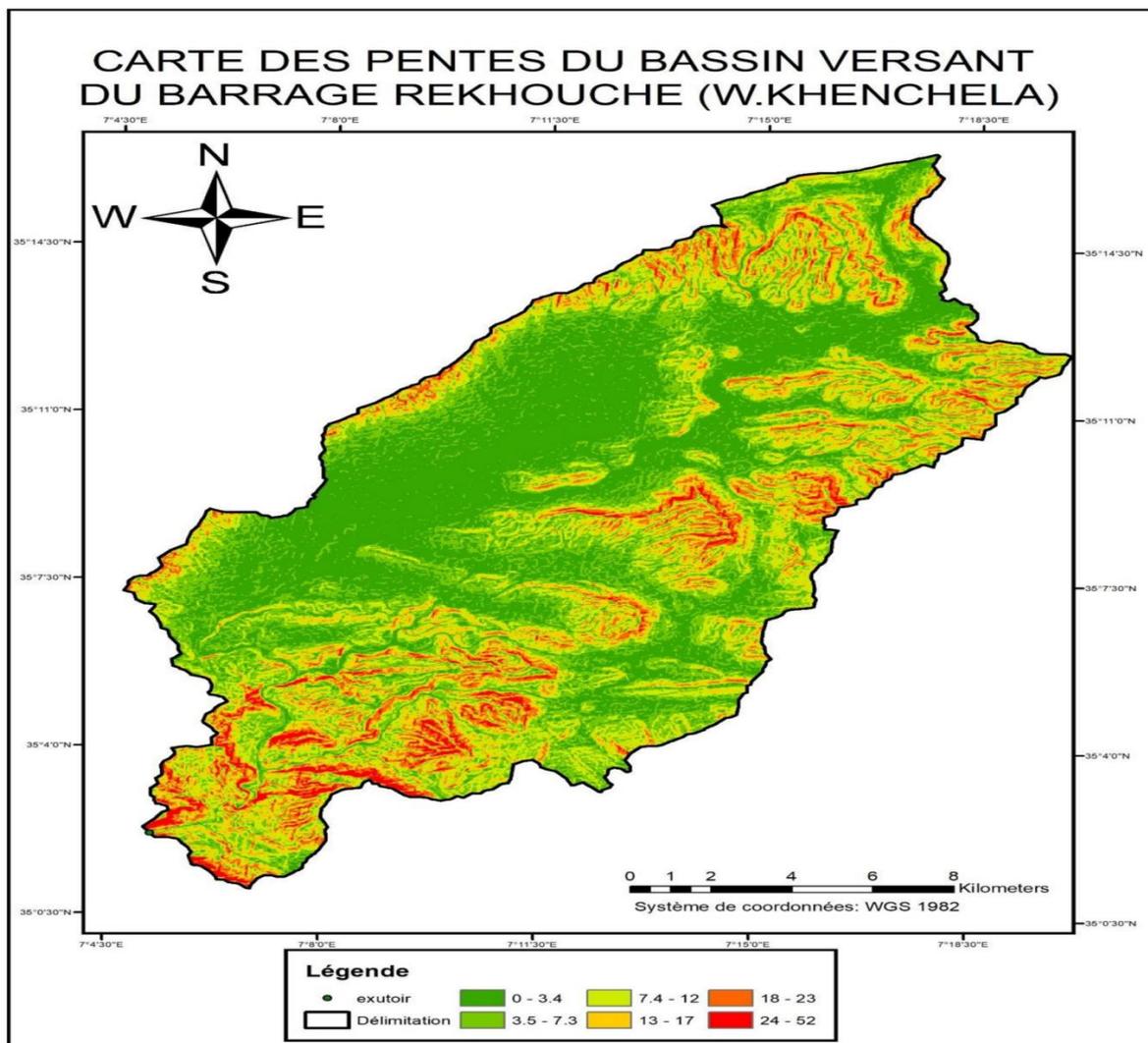


Figure II 3: Carte des pentes du bassin versant du barrage Rekhouche (W.Khenchla).

II.2.4 Caractéristiques des écoulements dans le bassin versant

II.2.4.1 Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Le réseau hydrographique est sans doute une des caractéristiques les plus importantes du bassin. Le réseau hydrographique peut prendre une multitude de formes. La différenciation du réseau hydrographique d'un bassin versant est dû à quatre facteurs principaux :

- **La géologie** : par sa plus ou moins grande sensibilité à l'érosion.
- **Le climat** : le réseau hydrographique est dense dans les régions montagneuses très humides et en tend à disparaître dans les régions désertiques.
- **La pente du terrain** : détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire.
- **La présence humaine.**

Le drainage des terres agricoles, la construction de barrages, l'endiguement, la protection des berges et la correction des cours d'eau modifient continuellement le tracé originel du réseau hydrographique.

Le travail consiste à classer les cours d'eau suivant la classification de Schumm, dont le principe est résumé à la manière suivante :

- Tout cours d'eau n'ayant pas d'affluent est dit d'ordre 1.
- Un cours d'eau recevant un effluent d'ordre inférieur garde son ordre.

Au confluent de deux cours d'eau de même ordre n , le cours d'eau résultant est d'ordre $n+1$.

II.2.3.2 La longueur du cours d'eau principal

C'est la distance curviligne depuis l'exutoire jusqu'à la ligne de partage des eaux, en suivant le segment d'ordre le plus élevé lorsqu'il y a un embranchement et par extension du dernier jusqu'à la limite topographique du bassin versant.

$$L_{cp} = 39.5 \text{ km}$$

II.2.4.3 La pente moyenne du cours d'eau principal

La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin donc le temps de concentration. Cette variable influe sur le débit maximal observé, Une pente abrupte favorise et accélère l'écoulement superficiel, tandis qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie, dans le sol.

$$I_C = \frac{\Delta H}{L_{cp}} \quad (\text{II.11})$$

Avec :

- : Pente moyenne du cours d'eau principal (%) ;
- ΔH : Dénivellation maximale de la rivière (km) ;
- : Longueur du cours d'eau principale (km).

II.2.4.4 La densité du drainage

La densité du drainage est définie comme étant la longueur totale de tous les talwegs d'ordre i à n "Li", du bassin versant, rapportée à la surface totale " S " du bassin. Elle est donnée par l'expression 2.7 et est exprimée en Km/Km².

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S} \quad (II.12)$$

Avec :

: densité de drainage (km²/km) ;

: longueur du cours d'eau (km) ;

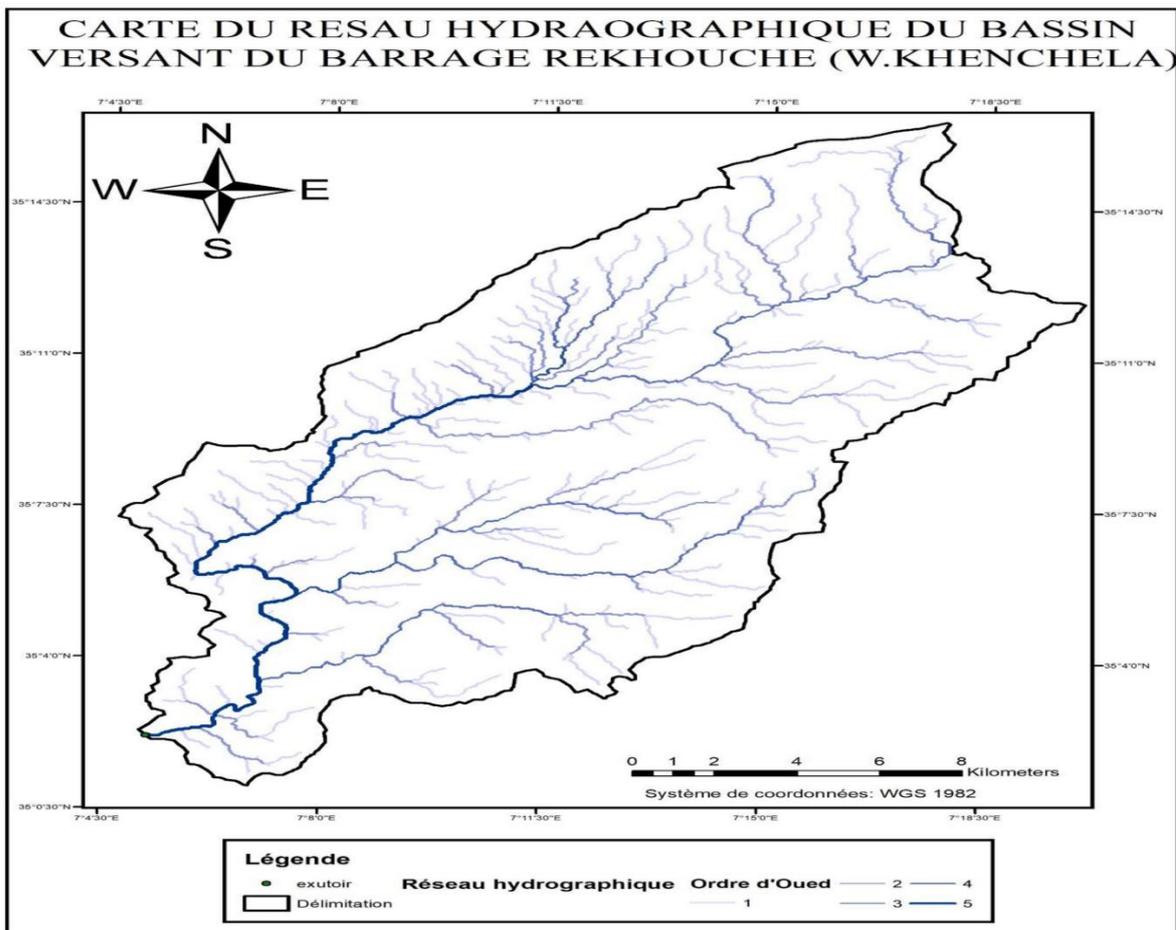


Figure II.4: Carte du réseau hydrographique.

Tableau II.9 : Longueur des cours d'eau

Ordre du cours d'eau	Longueur (km)
1	403.36
2	181.77
3	90.74
4	12.49
5	39.51

II.2.4.5 Temps de concentration

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

Pour son calcul on utilise plusieurs formules [6] :

- **Formule de GIANDOTTI :**

Cette formule a été éprouvée en Afrique du Nord et parait fournir une bonne valeur du temps de concentration pour les bassins versant avec superficies de 170 à 70.000 km².

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L_T}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad (\text{II.13})$$

Avec :

- : Temps de concentration (h) ;
- : Longueur du talweg principal (km) ;
- S : Surface du bassin versant (km^2) ;
- H : Altitude moyenne du bassin versant (m) ;
- H : Altitude minimale du bassin versant (m).

- **Formule de Temez (Espagnole) (TEMEZ, 1978) :**

$$t_c = 0,3 * \left(\frac{L_{cp}}{I^{0,25}} \right)^{0,76} \quad (\text{II.14})$$

Avec :

- I : Pente moyenne du cours d'eau principal (m/m).

Tableau II.10:Le temps de concentration calcule par les différentes formules

Formules	Giondotti	Tamez
Temps de concentration(h)	9.42	7.12

Interprétation

Nous optons pour le résultat le plus petit $t_c = 7.12 h$ par réserve de sécurité.

II.2.4.6 Vitesse de ruissellement

On entend par ruissellement, l'écoulement par gravité à la surface du sol, suivant la pente du terrain et dans le micro-réseau hydrographique, des eaux météorologiques qui ont échappé à l'infiltration, à l'évaporation et au stockage superficiel. C'est, tout simplement, le rapport entre la longueur parcourue par le temps de concentration :

$$V_r = \frac{L_{cp}}{t_c} \quad (\text{II.15})$$

Tableau II.11: Les différents paramètres du réseau hydrographique

Paramètres	L_{cp} (km)	I_c (%)	D_d (km/km ²)	t_c (h)	V_r (km/h)
Valeurs	39.5	1.49	2.32	7.12	5.55

Tableau II.12: Récapitulatif des caractéristiques hydro-morphologiques du bassin versant d'Oued Rekhouché

Caractéristiques		Symboles	Unités	Valeurs
Morphométrie				
Superficie		S	Km ²	313
Périmètre		P	Km	98.07
Coefficient de compacité de Gravelius		K_c	-	1.55
Coefficient d'allongement		K_p	-	5
Rectangle équivalent	Longueur	L	Km	41.41
	Largeur	l	Km	7.55
Relief				
Altitudes	Maximale	H_{max}	m	1607
	Moyenne	H_{moy}	m	1314.24
	Minimale	H_{min}	m	1017
	Altitude de fréquence 5%	$H_{5\%}$	m	1493
	Altitude de fréquence 50%	$H_{50\%}$	m	1340
	Altitude de fréquence 95%	$H_{95\%}$	m	1205
Indice de pente globale		I_g	m/km	6.95
Indice de pente de Roche		I_p	%	57.56
Indice de pente moyenne		I_m	%	14
Dénivelée spécifique		D_s	m	123.04
Réseau hydrographique				
Longueur du cours d'eau principal		L_{cp}	Km	39.5
Pente moyenne du cours d'eau principal		I_c	%	1.49
Densité de drainage		D_d	Km/km ²	2.32
Temps de concentration		t_c	h	7.12
Vitesse de ruissèlement		V_r	Km/h	5.55

II.3 Caractéristiques climatiques de bassin versant

L'objectif de l'étude climatologique est de fournir des données concernant le climat, les données nécessaires pour la conception du barrage et de ces ouvrages annexes. Les conditions

climatiques du bassin jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau. Les facteurs qui déterminent le climat sont [2] :

- La précipitation avec sa distribution dans le temps et dans l'espace,
- l'humidité,
- la température, le vent qui a une influence sur l'évaporation et la transpiration.

II.3.1 Température :

Le fait marquant en Algérie est le sirocco, vent chaud et sec en provenance du Sahara : les maxima absolus de températures (plus de 45°C) sont dus à ce phénomène particulier. On dénombre une vingtaine de jour de sirocco en Algérie du Nord (27 à Bejaia). Il neige et il gèle tous les hivers en montagne et sur les plateaux.

Le tableau suivant montre les températures moyennes, maximales et minimales relevées à la station de Babar pour une période d'observation allant de 1980 à 2005 :

Tableau II.13: Températures moyennes mensuelles en °C

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Année
Max	29.1	21.8	15.5	11.1	11.0	12.1	17.1	23.1	30.0	34.1	35.1	35.1	22.9
Moy	21.2	13.9	9.6	6.1	6.0	7.1	10.2	13.7	19.5	24.2	26.1	24.1	15.1
Min	13.1	5.9	2.5	1.0	1.0	1.8	3.3	5.4	9.0	14.1	17.0	15.1	7.4

(SourceONM)

Les températures les plus élevées sont observé de juin à septembre, et les plus basses de décembre à mars. On remarque que la température maximale est enregistrée au mois de juillet (35.1°) et la température minimale au mois de janvier (1°). La température annuelle moyenne est de (15,12).

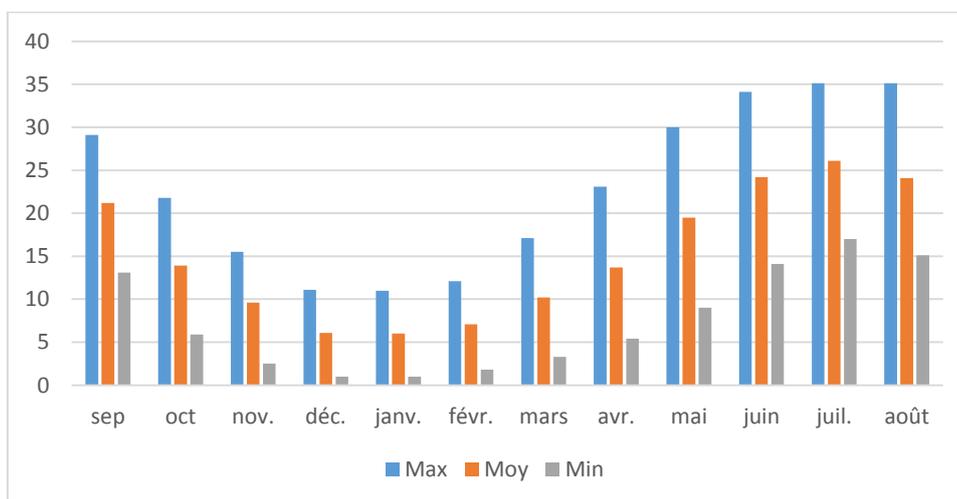


Figure II 5: Distribution mensuelle des températures moyenne, minimales et maximales.

II.3.2 Humidité de l'air

L'humidité relative interannuelle est égale à 60%, la valeur moyenne mensuelle maximale est enregistrée durant le mois de décembre 74%.

Tableau II.14: Humidité relative moyenne à Khenchela

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	moy
Humidité (%)	57	64	70	74	73	68	65	61	55	47	41	46	60.08

(Source ONM)

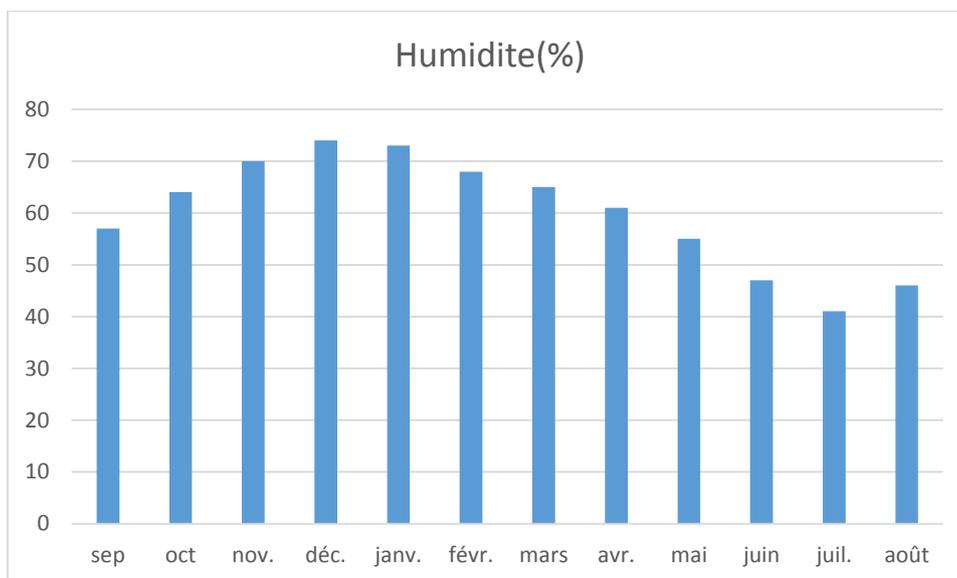


Figure II.6: Distribution mensuelle de l'humidité moyenne.

II.3.3 Le vent

Les vents dominants sont de secteur nord (de NE à NO). Leur vitesse moyenne mensuelle à deux mètres du sol est 3.8m/s, sans grande variation d'un mois sur l'autre.

Tableau II 15: Vitesse moyennes du vent en m/s

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	moy
V (m/s)	3.4	3.3	3.6	3.7	3.4	4.1	4.2	4.4	4.1	3.8	3.7	3.6	3.8

(Source ONM)

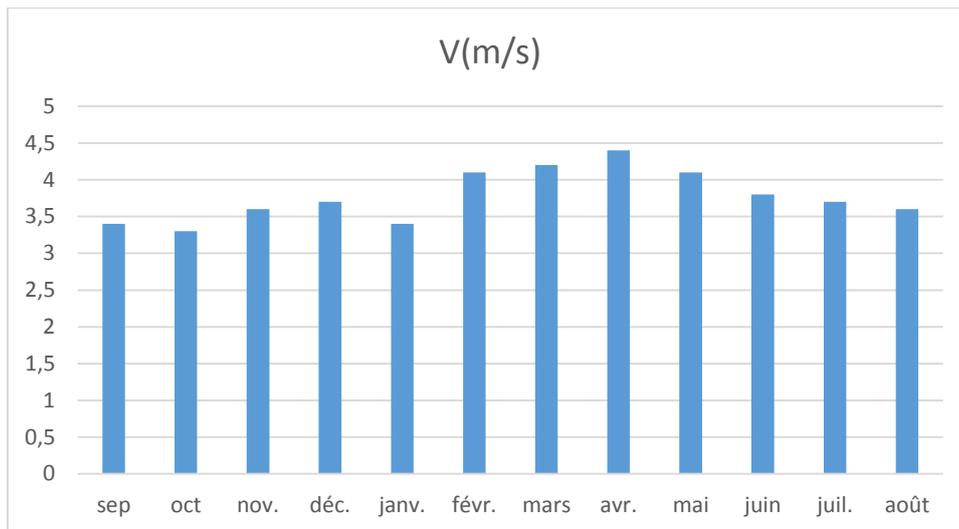


Figure II.7: Distribution mensuelle de vent a Biskra

II.3.4 Evaporation

L'estimation de ce paramètre a été faite en utilisant les données disponibles au niveau de la station de Khenchela. L'évaporation moyenne annuelle retenue est de 1530mm/an, comme on le remarque dans le Tableau II.16 ci-après, elle est minimale durant les mois d'hivers (décembre, janvier et février), tandis qu'elle est maximale pour les mois (juin, juillet et août).

Tableau II.16: Evaporation station Khenchela

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	total
Ev(mm)	133	99	46	24	25	43	81	133	185	241	278	242	1530
Ev(%)	8.69	6.47	3.01	1.57	1.63	2.81	5.29	8.69	12.09	15.75	18.17	15.82	100

(Source ONM)

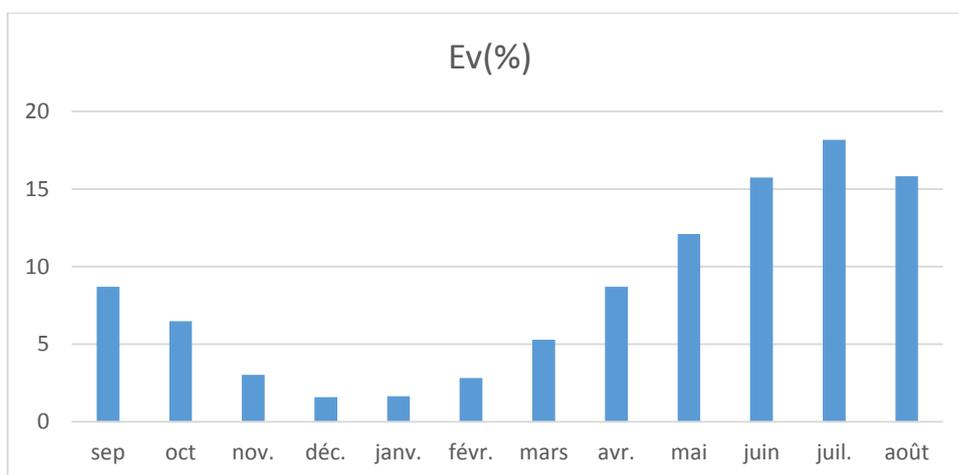


Figure II.8: Distribution mensuelle de l'évaporation.

II.3.5 La Pluviométrie

La pluviométrie qui prévaut au bassin versant de l'oued Rekhouché a été établie en utilisant l'information disponible de la région d'étude.

➤ *Stations pluviométriques :*

Une station représentative du régime pluviométrique du bassin est celle de BOUHMAMA (061803), dispose d'une série pluviométrique de 42 ans qui s'étale de 1968 à 2009, les observations faites à la station sont données dans le tableau (II.17).

Tableau II.17: Station pluviométrique

Station	Code	Source	Coordonnée			Année de service	N (ans)
			X (km)	Y (km)	Z (m)		
BOUHMAMA	061803	A.N.R.H	867	228.5	1140	1968-2009	42

➤ *Pluie moyenne mensuelle*

Le tableau ci-dessous présente les données des précipitations mensuelles (mm) de la station de BOUHMAMA :

Tableau II.18: Répartition mensuelle moyenne de la précipitation

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Total
P_{moy} (mm)	43.4	32.5	35.8	35.8	15.3	32.0	41.1	35.1	40.5	23.0	15.0	23.7	373.2
P_{moy} (%)	9,22	8,71	9,60	9,59	4,09	8,57	11,01	9,41	10,85	6,16	4,02	6,35	100

(Source A.N.H)

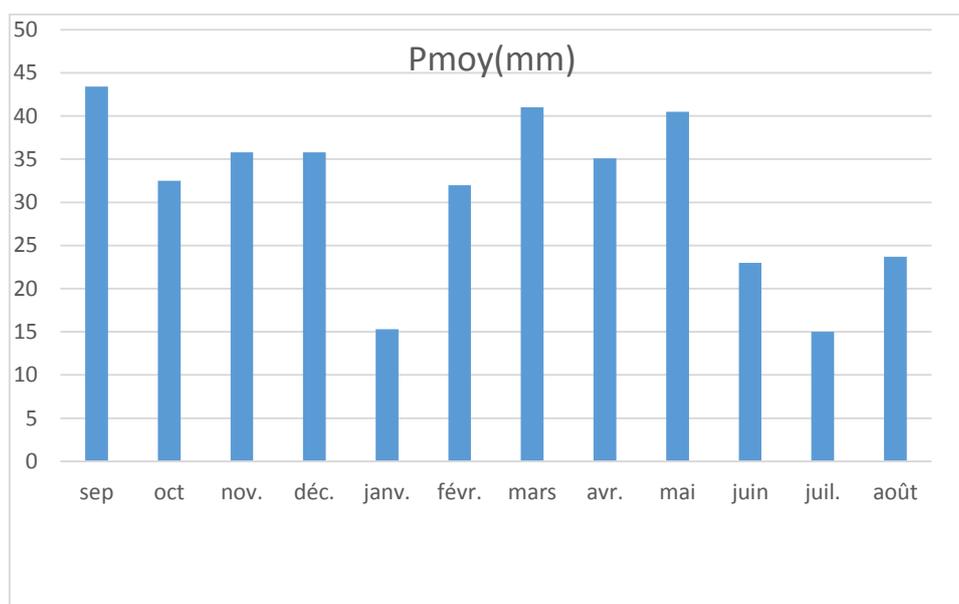


Figure II.9: Répartition mensuelle de la précipitation.

II.4 Conclusion

D'après les résultats de l'étude des caractéristiques morphologiques (forme, relief), réseau hydrographique et conditions climatiques du bassin versant de Rekhoucha, on trouve que :

- Le coefficient de Gravillius a montré que le bassin versant est de forme allongé ;
- L'indice de pente moyenne est très fort, donc on assistera à un écoulement rapide avec un temps de concentration $t_c = 7,12$ heures, et une vitesse de ruissellement $V_r = 5,55$ km/h;
- La température moyenne annuelle est de $15,1$ C° ;
- La température minimale est de 1 C° ;
- La température maximale est de $35,5$ C° ;
- L'humidité de l'air est de $60,8\%$;
- La vitesse du vent est de $3,8$ m/s ;
- L'évaporation du plan d'eau est de 1530 mm/an ;
- La pluie moyenne annuelle est de $373,2$ mm.

CHAPITRE III

Etude hydrologique

III.1 Introduction

L'étude hydrologique est une discipline primordiale pour la réalisation d'un ouvrage Hydraulique. Le but est de mettre en évidence les paramètres hydrologique de l'oued tels que débits des crues, les apports du bassin versant (apports liquides et solides) qui constituent la base de dimensionnement des ouvrages constituant l'aménagement

Les paramètres essentiels à l'étude hydrologique sont[2] :

- La détermination de l'apport moyen interannuel
- La détermination des apports fréquentielles
- L'estimation des volumes de l'apport solide
- L'estimation du volume mort pour déterminer la capacité de la retenue
- Une analyse de crues : l'estimation du débit maximal et le volume de la crue.

III.2 Etude de la pluviométrie

III.2.1 Etude de la précipitation maximale journalière

L'étude consiste à faire un ajustement pour la série de données des précipitations maximales journalières à l'aide d'une loi théorique afin de déterminer l'intensité de pluie pour une période de retour. Cette étude passera par les étapes suivantes :

- Détermination des paramètres statiques de la série ;
- Ajustement statique ;
- Choix de la loi adéquate ;
- Calcul des pluies et intensités de courte durée.

Le calcul des paramètres de la série, l'ajustement à des lois, le calcul des quantiles et l'adéquation sont tous fait par l'utilisation du Package nsRFA (Viglione, et al., 2020) mis en œuvre sous le logiciel de programmation R.

La série des pluies maximales journalières de la station de BOUHMAMA données dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.1: Série des pluies maximales journalières de la station de BOUHMAMA

Année	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Ferv	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
1968	31	3	5	5.7	12.2	13.3	11.3	15.3	6.3	0	5.8	11.5	31
1969	19.5	29.5	4.5	27.4	16.8	10.8	5	30.8	35.2	9.5	22.6	0	35.2
1970	39	33.5	0	5.2	47.7	47.4	33.5	0	16.5	0	32	0	47.7
1971	18.3	10	19.8	18.2	20	9.2	12.7	29.2	17.5	20.4	0	12.8	29.2
1972	40.4	35.9	23.9	16.5	13.1	9.7	22	13.9	1.6	8.3	1.2	7.5	40.4
1973	7.5	7.5	11.3	87.6	5.5	11.5	12.1	10.3	11.4	22.2	2	0	87.6
1974	7.5	47.6	18.9	0	20.9	56	20.8	8.2	13.5	0	0	12	56
1975	0	2.5	24	5.2	18.5	15.7	28	12	8.8	26	7	0	28
1976	37	13	63.3	13	10.4	0	15	13	8	18.5	0	7.8	63.3
1977	0	0	22.4	0	0	15	0	21.2	4.3	0	0	82	82
1978	0	21.6	0	0	0	9	4.5	14	0	10.5	0	18	21.6
1979	26	7	6.4	3.4	17	13	22	12	16.5	0	1	0	26
1980	12	6	16	30	20	21.4	6	6	4.4	8.2	0	0.7	30
1981	18.7	7.4	1	12.6	21.9	15.1	10.7	21.2	25.7	4.2	7.9	6.3	25.7

1982	7.4	26.3	29.1	9.4	0	9.1	21.3	0	14.9	9.5	0	0	29.1
1984	0	54.1	5.4	24.5	15.3	60.2	19.3	14.2	0	0	0	0	60.2
1984	10.1	15	6	71.5	16.3	12.2	13	24.5	26	12	5.9	2.8	71.5
1985	12.7	5.1	6.5	2.6	12.5	5.7	57.5	23.2	15	10	0	7.9	57.5
1986	14.5	8.7	16.7	6	5.5	14.2	12	6	8.7	8.3	18.5	0	18.5
1987	0	15.1	37.2	3.8	9	3.3	4.2	3.2	20.5	35.9	0	11.5	37.2
1988	13.8	17.7	20.5	15.9	4.8	30.8	13.1	10.4	14.5	42.8	33.2	22.6	42.8
1989	35.9	6.5	6.9	6	72	0	37.5	23.6	18.1	8.1	29.9	22.5	72
1990	4.3	6.6	31.5	14.2	3.6	6.4	32.2	10.8	11	16.1	3.3	12.3	32.2
1991	21.4	22.7	19.4	12.9	8.7	24	32.3	13	22.7	4	23	32.1	32.3
1992	3.2	6.2	31.7	22.5	10.3	19.6	37.3	9.4	10.8	16.8	7.8	3.3	37.3
1993	6.7	17.3	10.5	67.7	21	11.9	24.6	6.8	15.7	1.4	13.2	6.7	67.7
1994	18.7	17.6	29.5	7.2	31.3	0	9.5	4.5	6.3	14.2	33.8	9.3	33.8
1995	17.7	17.9	4.1	15.2	74.9	26.4	56	17	16	5.2	7.5	13.4	74.9
1996	8.1	0	3.9	11.3	7.3	4.3	12.9	23.7	16.2	17	7.2	38.1	38.1
1997	75	15.7	53	23	3.5	22.5	21.5	26.7	12	24	0	12.3	75
1998	8.6	13	32.5	6	42.8	4.7	11.5	6.5	35.5	21.5	5.5	11.5	42.8
1999	1.5	14	42	41.5	0	8	0.5	2	15	19.5	5.5	5.5	42
2000	11	17	5.5	18	7.5	6.5	6.5	2	11.5	0	3	7	18
2001	24.5	32	17	2.5	5.5	7.5	7	8	14	0.9	18.5	28.5	32
2002	3.9	18.2	32	6.7	29.8	27.3	14	61.4	16.7	22	9.5	7.5	61.4
2003	16.6	14.5	14.2	60	12.9	13	40.2	45.5	32.7	43.5	6	5	45.5
2004	5.5	32.2	42.2	40	13.8	43.8	11.8	18.4	6	14.7	2.5	4	43.8
2005	29.5	11.4	9.3	15	24.3	39.6	8	20.5	74.5	28.5	25.5	5.8	74.5
2006	26.8	7.3	21	24.3	4.5	9	29.2	12.5	14	17	12	14	29.2
2007	27	16.7	6	49.7	9.8	6	14	23	82.3	4	21	50.5	82.3
2008	56.7	26.4	12	25	39.5	9.5	21.5	35.5	54.5	2.7	9	44.5	56.7
2009	19	11	0	9.5	40.5	17.7	17.5	25.3	34.6	24	7	20	40.5

(Source ANRH)

La variabilité chronologique des pluies maximales journalières durant 42 ans D'enregistrement des la figure ci-dessous :

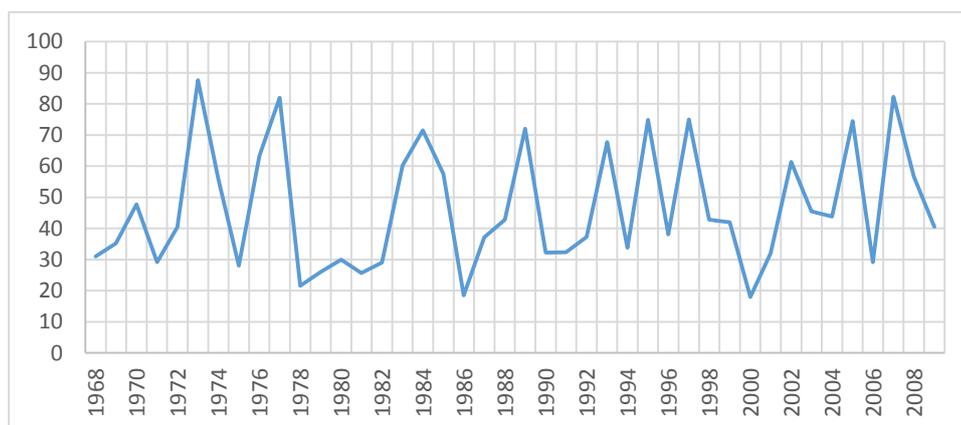


Figure III.1: variabilité chronologique des maximales journaliers.

III.2.2 Caractéristique Statiques

Les paramètres empiriques de la série des pluies maximales journalières sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III.2: Caractéristiques statiques de la série Pjmax

Caractéristique	Valeur	Caractéristique	Valeur
Nombre de données	42	Médiane	41.3
Minimum	18	Coeff de variation Cv	0.418
Maximum	87.6	Coeff d'asymétrie Cs	0.562
Moyenne	46.5	Coeff d'aplatissement Ck	2.00
Ecart-type	19.4		

III.2.3Ajustement statique

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les évènements passés, les caractéristiques d'un processus donné (hydrologique ou autre), afin d'en définir les probabilités d'apparition future. Cette prédiction repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel, qui est une description mathématique du comportement d'une variable aléatoire.

Comme il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométrique, l'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de la loi de probabilité, de la taille de l'échantillon et de certaines caractéristiques de l'échantillon. Toutefois, de nombreuses études comparatives, autant empiriques que théoriques, ont été menées afin de déterminer dans quelles circonstances une méthode d'estimation est la plus efficace pour une loi donnée. L'ajustement a été effectué à l'aide du logiciel "RStudio" en utilisant la fonction Bayesian MCMC. On utilise la méthode de maximum de vraisemblance.

Dans notre étude on va utiliser les trois lois suivantes :

➤ **Ajustement à la loi des extrêmes généralisée(GEV)(JENKINSON,1955)**

$$F(x) = e^{-\left[1 - \frac{K(x-x_0)^{1/k}}{\alpha}\right]} \quad (III.1)$$

Avec :

- k: Paramètre de forme ;
- x₀: Paramètre de position ;
- α: Paramètre de d'échelle

Les résultats de calcul de la loi GEV sont présentés dans le graphique et tableaux ci-dessous

Tableau III.3 : Les paramètres de la loi GEV

Paramètre	Valeur
k	-0.056507
x ₀	37.01530
α	14.76194

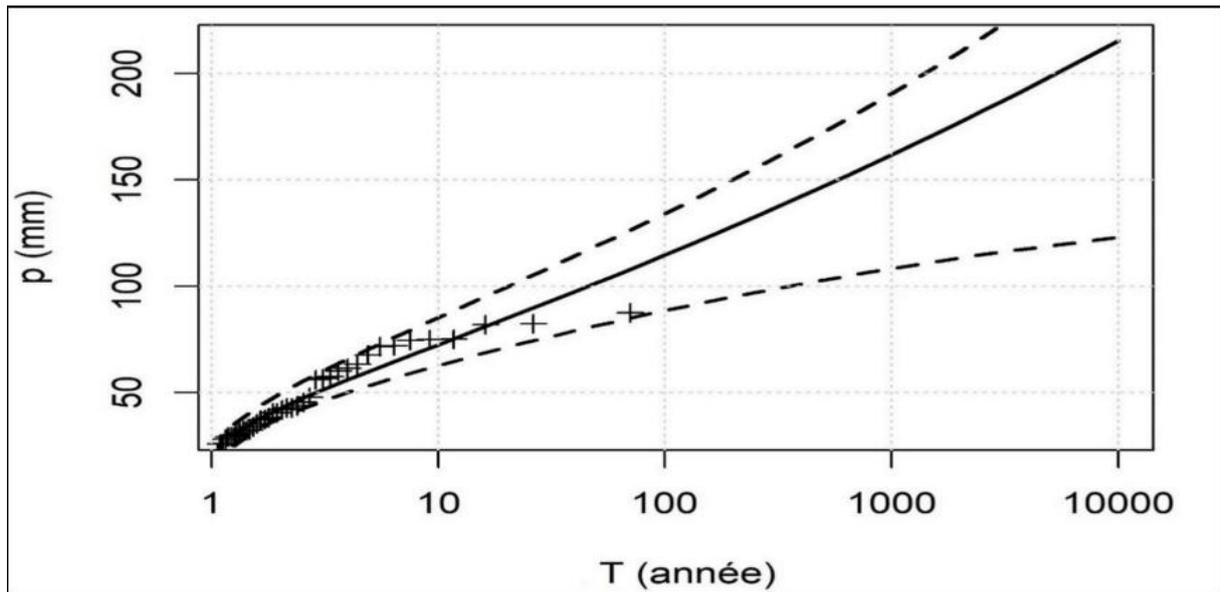


Figure III.2: Représentation graphique de l'ajustement a loi GEV

Tableau III.4: Quantiles théoriques de GEV

Période de retour (ans)	Probabilité de fréquence q	Pluie maximale journalière (mm)	Intervalle de confiance
1000	0.9990	161.74	108.24-190.50
200	0.9950	128.10	94.95-150.04
100	0.9900	114.57	88.50-133.99
50	0.9800	101.50	81.42-118.92
20	0.9500	84.72	71.14-99.40
10	0.9000	72.44	62.66-85.19
5	0.8000	60.17	53.30-70.74

➤ **Ajustement à la loi log-normal (loi de Galton)**

La loi de Galton s'appelle également loi log-normale ou loi de Gibrat-Gauss. La fonction de répartition est donnée par la représentation suivante :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du \quad (II.2)$$

La variable réduite est de la forme :_

$$F(x) = \frac{\ln x - \overline{\ln x}}{\sigma \ln x} \quad (II.3)$$

Avec :

u : La variable réduite de Galton ;

$\overline{\ln x}$: La moyenne de la série \ln ;

σ_{\ln} : Ecart-type de la série $\ln x_i$.

Donc l'équation de la droite présentée sur le papier Gausso-logarithmique sera :

$$\ln x = \overline{\ln x} + \sigma_{\ln x} \quad (II.4)$$

Les résultats de calcul de la loi log normal sont présentés dans le graphique et tableaux ci-dessous :

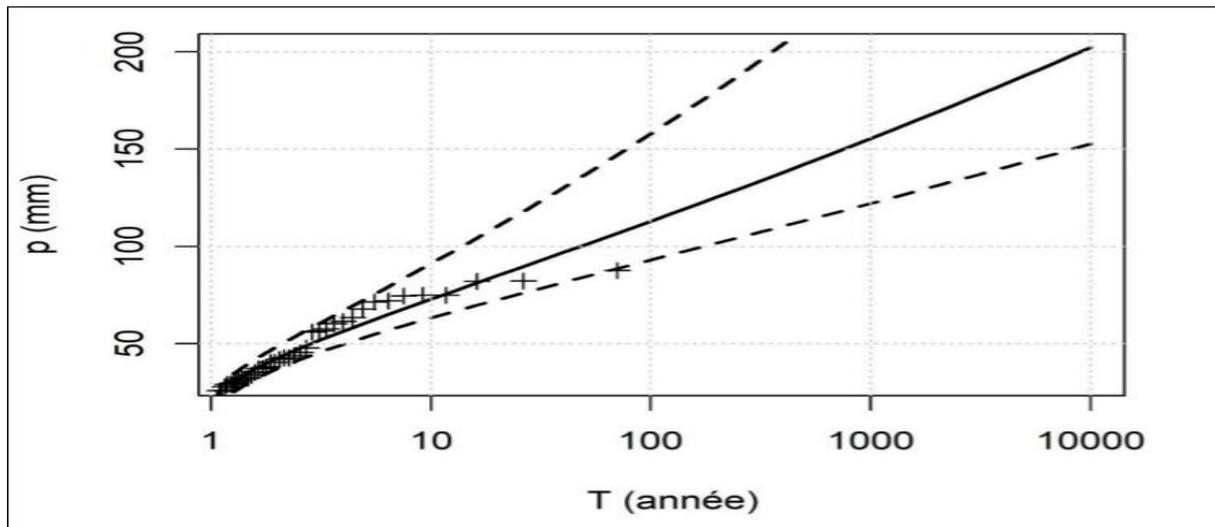


Figure III.3: Représentation graphique de l'ajustement à loi Log Normal.

Tableau III.5 : Les paramètres de la loi de log normal

Paramètre	Valeurs
$\overline{\ln x}$	3.7531109
$\sigma_{\ln x}$	0.4184828

Tableau III.6: Quantiles théoriques de log normal

Période de retour (ans)	Probabilité de fréquence q	Pluie maximale journalière (mm)	Intervalle de confiance
1000	0.9990	155.45	122.07-236.86
200	0.9950	125.30	101.60-180.12
100	0.9900	112.91	92.96-157.77
50	0.9800	100.78	84.30-136.82
20	0.9500	84.86	72.45-110.07
10	0.9000	72.92	63.26-91.19
5	0.8000	60.70	53.30-72.89

➤ **Ajustement à la loi de Gumbel (Gumbel, 1958) :**

Elle est dite aussi loi doublement exponentielle ou loi des valeurs extrêmes. La fonction de répartition de la loi s'exprime de la manière suivante :

$$F(x) = e^{-e^{-u}} \quad (\text{II.4})$$

$$u = \frac{x-x_0}{\alpha} \quad (\text{II.5})$$

Avec :

- u : Variable réduite de Gumbel ;
- x : Précipitation maximale journalière (mm) ;
- x_0 : Paramètre de position (ordonnée à l'origine) ;
- α : Paramètre d'échelle

L'équation de la droite de Gumbel sera :

$$x = \alpha u + x_0 \quad (\text{II.6})$$

Les résultats de calcul de la loi de Gumbel sont présentés dans le graphique et tableaux ci-dessous :

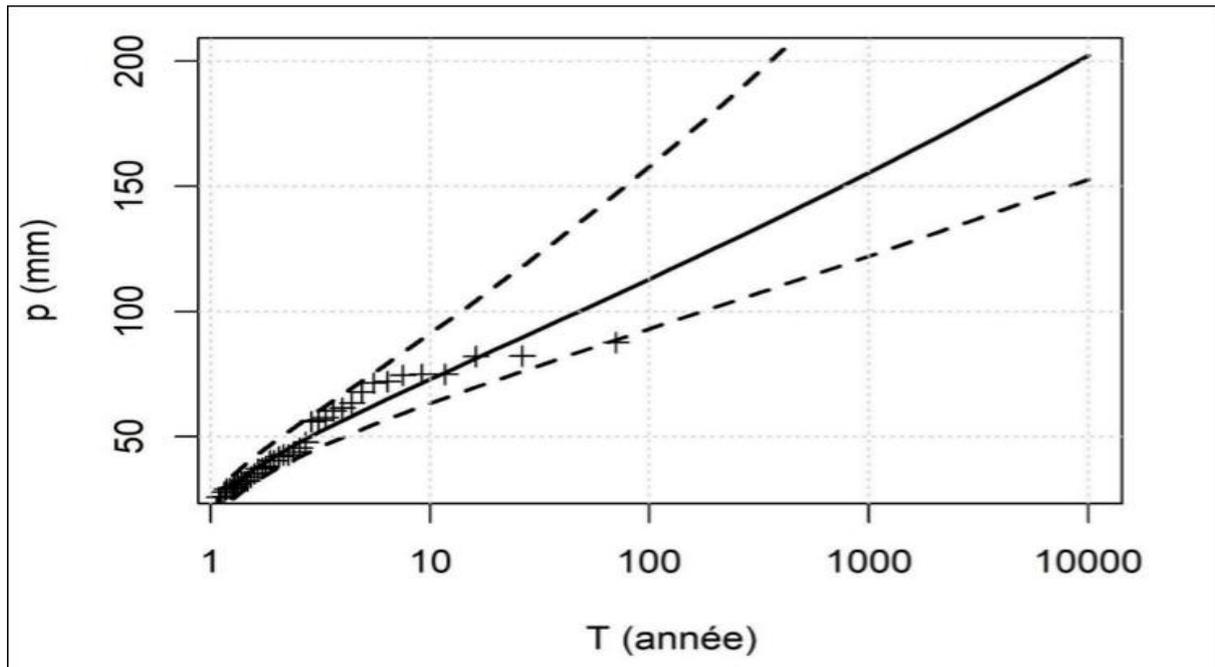


Figure III 4: représentation graphique de l'ajustement à la loi Gumbel.

Tableau III.7 : Les paramètres de la loi de Gumbel

paramètre	Valeurs
x_0	37.46856
α	15.14001

Tableau III.8 : Quantiles théoriques de Gumbel

Période de retour (ans)	Probabilité de fréquence q	Pluie maximale journalière (mm)	Intervalle de confiance
1000	0.9990	142.04	120.18-179.54
200	0.9950	117.61	100.29-146.93
100	0.9900	107.11	91.73-132.97
50	0.9800	96.58	83.15-118.98
20	0.9500	82.40	71.57-100.11
10	0.9000	71.54	62.61-85.77
5	0.8000	60.22	53.11-71.09

III.2.3 Choix de loi adéquate

➤ Test d'adéquation d'Anderson-Darling

Le test de Anderson-Darling est une autre variante du test de Kolmogorov-Smirnov, à la différence qu'elle donne plus d'importance aux queues de distribution. De ce point de vue, elle est plus indiquée dans la phase d'évaluation des données précédant la mise en œuvre d'un test paramétrique (comparaison de moyenne, de variances, etc.) que le test de Lilliefors.

Autre particularité, ses valeurs critiques sont tabulées différemment selon la loi théorique de référence, un coefficient multiplicatif correctif dépendant de la taille d'échantillon n peut être aussi introduit.

Concernant l'adéquation à la loi normale, la statistique du test s'écrit :

$$A = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i - 1) [\ln F_i + \ln(1 - F_{n-i+1})] \quad (\text{II.7})$$

Où F_i est la fréquence théorique de la loi de répartition normale centrée et réduite associée à la valeur standardisée $z_{(i)} = \frac{x_{(i)} - \bar{x}}{s}$

Une correction est recommandée pour les petits effectifs, cette statistique corrigée est également utilisée pour calculer la p-value :

$$A_m = A \left(1 + \frac{0.75}{n} + \frac{2.25}{n^2} \right) \quad (\text{II.8})$$

Les valeurs critiques A_{crit} pour différents niveaux de risques sont résumées dans le tableau suivant, ils ont été produits par simulation et ne dépendent pas de l'effectif de l'échantillon :

Tableau III 9: Valeurs critique pour le test d'Anderson-Darling

α	A_{crit}
0.10	0.631
0.05	0.752
0.01	1.035

Pour notre étude, le seuil significatif est de 95%, $\alpha = 5\%$.

L'hypothèse de normalité est rejetée lorsque la statistique A prend des valeurs trop élevées :

$$A_m > A_{crit} \quad (III.9)$$

La p-value est calculée à partir de la statistique A_m par interpolation à partir d'une table décrite dans (Stephens, 1986)

Tableau III.10: Méthode de calcul du p-value pour le test d'Anderson-Darling

A_m	$p - value$
$A_m < 0.2$	$1 - e^{-13.436+101.14*A_m-223.73*A_m^2}$
$0.2 \leq A_m \leq 0.34$	$1 - e^{-8.318+42.796*A_m-59.938*A_m^2}$
$0.34 \leq A_m \leq 0.66$	$e^{0.9177-4.279*A_m-1.38*A_m^2}$
$0.66 \leq A_m$	$e^{1.2937-5.709*A_m+0.0186*A_m^2}$

Les résultats du test pour les différentes méthodes citées ci-dessus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.11: Résultats du test d'Anderson-Darling

Méthode	A	A_m	$p - value$
GEV	0.551508	0.562059	0.146123
Log Normal	0.576478	0.587507	0.125862
Gumbel	0.629221	0.641259	0.091289

➤ **Conclusion sur le choix de la loi d'ajustement :**

Selon les résultats du test d'Anderson-Darling, les trois lois s'ajustent. On opte pour la loi de Gumbel car elle a l'incertitude la plus faible (écart de l'intervalle de confiance).

III.2.4 Pluies de courte durée I.D.F (courbes : Intensité_Durée_Fréquence)

La pluie d'une durée t pour une telle fréquence est donnée par la formule de MONTANA[7]:

$$P_{ct} = P_{j.max} \left(\frac{t}{24} \right)^b \quad (III.10)$$

Avec:

: Pluie de courte durée (mm) de fréquence égale à celle $P_{j.max}$;

P_j : Pluie journalière maximale fréquentielle (mm) ;

t : Temps (h) ;

b : Exposant climatique régional ($b = 0.33$).

Les intensités maximales de période t (h) et période de retour T (ans) sont calculées par la relation suivante[7] :

$$I_t = \frac{P_{ct}}{t} \quad (III.11)$$

La pluie et l'intensité de pluie d'un pas de temps voulu pour une fréquence voulue sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.12 : Pluies de courte durée et intensités de pluie pour différentes fréquences

Période de retour	1000		100		50		20		10	
Fréquence %	0.999		0.99		0.98		0.95		0.9	
Pj.max	142.04		107.11		96.58		82.4		71.54	
T(h)	P _{ct} (mm)	I _t (mm/h)								
0.5	39.59	79.18	29.86	59.71	26.92	53.84	22.97	45.94	19.94	39.88
1	49.77	49.77	37.53	37.53	33.84	33.84	28.87	28.87	25.07	25.07
2	62.56	31.28	47.17	23.59	42.54	21.27	36.29	18.15	31.51	15.75
3	71.51	23.84	53.93	17.98	48.63	16.21	41.49	13.83	36.02	12.01
4	78.64	19.66	59.30	14.82	53.47	13.37	45.62	11.40	39.61	9.90
5	84.64	16.93	63.83	12.77	57.55	11.51	49.10	9.82	42.63	8.53
6	89.89	14.98	67.79	11.30	61.12	10.19	52.15	8.69	45.28	7.55
7	94.59	13.51	71.33	10.19	64.31	9.19	54.87	7.84	47.64	6.81
7.12	95.12	13.36	71.73	10.07	64.67	9.08	55.18	7.75	47.91	6.73
8	98.85	12.36	74.54	9.32	67.21	8.40	57.34	7.17	49.79	6.22
9	102.76	11.42	77.49	8.61	69.87	7.76	59.62	6.62	51.76	5.75
10	106.40	10.64	80.23	8.02	72.35	7.23	61.72	6.17	53.59	5.36
11	109.80	9.98	82.80	7.53	74.66	6.79	63.70	5.79	55.30	5.03
12	113.00	9.42	85.21	7.10	76.83	6.40	65.55	5.46	56.91	4.74
13	116.02	8.92	87.49	6.73	78.89	6.07	67.31	5.18	58.44	4.50
14	118.89	8.49	89.66	6.40	80.84	5.77	68.97	4.93	59.88	4.28
15	121.63	8.11	91.72	6.11	82.70	5.51	70.56	4.70	61.26	4.08
16	124.25	7.77	93.70	5.86	84.48	5.28	72.08	4.51	62.58	3.91
17	126.76	7.46	95.59	5.62	86.19	5.07	73.54	4.33	63.85	3.76
18	129.18	7.18	97.41	5.41	87.83	4.88	74.94	4.16	65.06	3.61
19	131.50	6.92	99.16	5.22	89.41	4.71	76.29	4.02	66.23	3.49
20	133.75	6.69	100.86	5.04	90.94	4.55	77.59	3.88	67.36	3.37
21	135.92	6.47	102.49	4.88	92.42	4.40	78.85	3.75	68.46	3.26
22	138.02	6.27	104.08	4.73	93.85	4.27	80.07	3.64	69.52	3.16
23	140.06	6.09	105.62	4.59	95.23	4.14	81.25	3.53	70.54	3.07
24	142.04	5.92	107.11	4.46	96.58	4.02	82.40	3.43	71.54	2.98

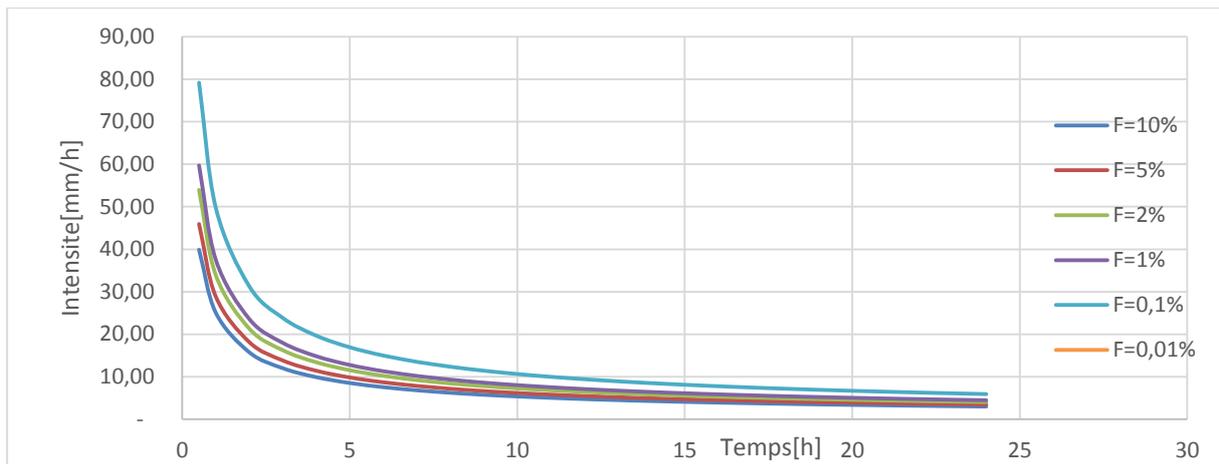


Figure III 5 : Pluies de courtes durées de différentes périodes de retours

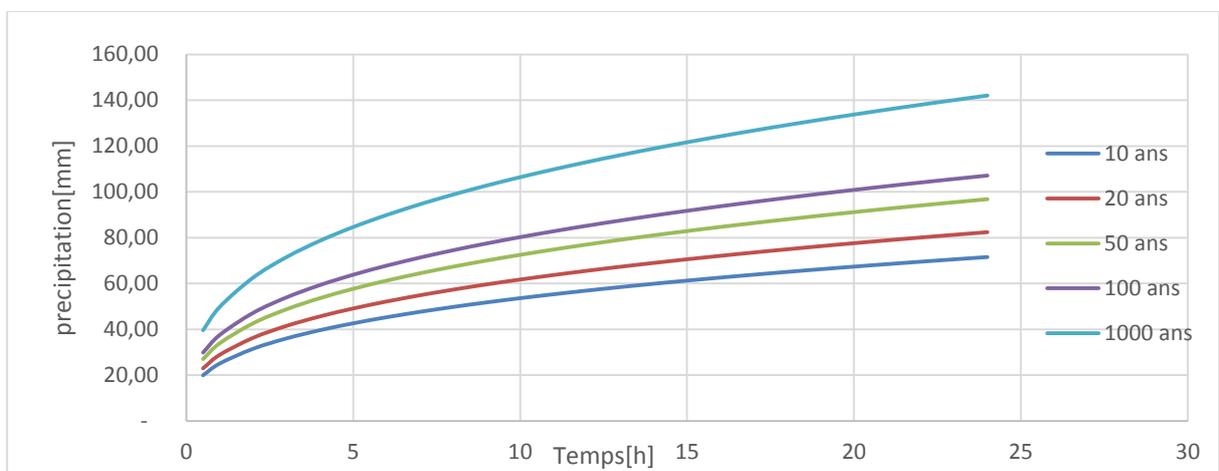


Figure III.6: Intensités des pluies de courte durée de différentes périodes de retours.

III.3 Etude des apports

III.3.1 Apports liquides

La détermination des apports est orientée de préférence vers les observations hydrométriques, lorsqu'elles existent sur le bassin versant propre du site à étudier, ou par analogie avec un bassin voisin. À défaut de ces dernières, des modèles et des formules empiriques basées sur la pluviométrie et les caractéristiques du bassin versant peuvent être utilisés. Ces modèles dépendent de la précipitation et du déficit.

III.3.1.1 Estimation de l'apport moyen annuel A_0

Dans l'absence des données des apports des sous bassins voisins, l'estimation sera faite à l'aide des formules empiriques.

➤ Les formules empiriques

On utilise les formules empiriques les plus utilisées en Algérie pour estimer l'apport moyen, et qui donnent d'assez bons résultats :

• **Formule de SAMIE**

$$A_0 = L_e * S \quad (III.12)$$

Tel que :

$$L_e = P_{moy}^2 (293 - 2,2\sqrt{S}) \quad (III.13)$$

Avec :

L_e :Lame d'eau écoule (mm) ;
 P_{moy} :pluies moyenne annuelle(m).

• **Formule dite (Algérienne)**

$$A_0 = P_{moy} (1 - 10 - k P_{moy}^2) * 10^3 \quad (III.14)$$

Tel que :

$$K = 0,18 - 0,01 * \log_{10} S \quad (III.15)$$

• **Formule de ANRH(Sogreath 1986/89)**

$$A_0 = L_e * S \quad (III.16)$$

Tel que :

$$L_e = 720 * \left(\frac{P_{moy} - 150}{1000} \right)^{1,85} \quad (III.17)$$

Tableau III.13: Résultats du calcul de l'apport moyen annuel par les différentes méthodes

Méthode		$A_0 (Mm^3)$
Formule empirique	Samie	10.66
	Algérienne	17.12
	ANRH	14.06

Interprétation :

La moyenne des apports données par les différentes formules est proche de la valeur donnée par la formule de l'ANRH, nous prenons $A_0 = 14.06 Mm^3$.

III.3.1.2 Caractéristiques de l'écoulement

Les différentes caractéristiques de l'écoulement sont calculées ci-dessous :

➤ **Module d'écoulement**

$$M_e = \frac{A_0}{T} \quad (III.18)$$

Avec :

A_0 : Apport moyen annuel (l);
 T : Temps d'une année en secondes, $T = 31536000$ s.

Module d'écoulement relatif

$$M_0 = \frac{M_e}{S} \quad (\text{III.19})$$

Lame d'eau écoulée

$$L_e = \frac{A_0}{S} \quad (\text{III.20})$$

Coefficient de l'écoulement

$$C_e = \frac{L_e}{P_{\text{moy}}} \quad (\text{III.21})$$

➤ **Coefficient de variation**

Pour le calcul du coefficient de variation C_v , en absence d'une série d'observation, on doit utiliser les formules empiriques [6] :

- **Formule de SOKOLOVSKY**

$$C_v = \alpha - 0,063 \log_{10}(S + 1) \quad (\text{III.22})$$

Tel que :

$$\alpha = 0.78 - 0.29 * \log_{10}(M_0)$$

- **Formule de KRISTLY MENKEL**

$$C_v = 0,83 / (S^{0,06} * M_0^{0,27}) \quad (\text{III.23})$$

- **Formule Algérienne de PADOUM**

$$C_v = 0,93 * \frac{K}{M_0^{0,23}} \quad (\text{III.24})$$

Avec :

K : Coefficient de réduction, $k = 0.25-1.00$ on prend $K = 0.65$;

M_0 : Module d'écoulement relatif ($l/s/km^2$).

Tableau III.14: Résultats du calcul des caractéristiques d'écoulement

Caractéristique		Unité	Valeurs
Module d'écoulement M_e		l/s	445.81
Module d'écoulement relatif M_0		$l/s/km^2$	1.42
Lame d'eau écoulée L_e		mm	44.92
Coefficient d'écoulement C_e		-	0.12
Coefficient de variation	SOKOLOVSKY	-	0.578
	KRISTLY MENKEL	-	0.534
	PADOUM	-	0.557

Interprétation

Puisque toutes les valeurs du coefficient de variation sont proches entre elles, on prend la valeur $Cv = 0.557$.

III.3.1.3. Les apports fréquentiels

L'estimation fréquentielle des apports peut être envisagée par l'application d'une loi Log Normale (Loi de Galton) qui est donnée comme suit :

$$A_{P\%} = \frac{A_0}{\sqrt{Cv^2+1}} e^{\mu\sqrt{\ln(Cv+1)}} \quad (\text{III.25})$$

Avec :

$A_{P\%}$: Apport de fréquence donnée (Mm^3) ;

A_0 : Apport moyen annuel (Mm^3) ;

Cv : Coefficient de variation ;

μ : Variable réduite de Gauss.

Pour notre étude nous calculons l'apport fréquentiel de 80% , avec $\mu = 0.84145$;

$$A_{80\%} = 21.5 Mm^3$$

III.3.2. Apport solides et estimation du volume mort

L'estimation des apports solides est primordiale puisqu'elle intervient dans le dimensionnement des ouvrages hydrotechnique.

L'absence des données de mesure de transports solides, nous impose à passer aux méthodes empiriques, ces méthodes nous permettent d'avoir l'ordre de grandeur de l'apport solide dans la retenue.

Ces apports solides dépendent en premier lieu de l'agressivité climatique (pluies intenses), de l'étendue du relief du bassin, de la résistance à l'érosion de sol, liée elle-même à la végétation par la présence de racines et à la nature géologique des roches et au régime des pluies et températures[2].

- **Formule de Tixeront :**

$$V_m = (1,05 \div 1,10) * \frac{Q_s - T}{\gamma_s} \quad (\text{III.26})$$

Tel que :

$$Q_s = \alpha * L_e^{0,15} * S \quad (\text{III.27})$$

Avec :

V_m : Volume mort (m^3) ;

Q_s : Débit solide (t/an) ;

α : Paramètre caractérisant la perméabilité du bassin versant ;

L_e : Lamme d'eau écoulé (mm) ;

Tableau III.15: différentes valeurs de α

Variable de perméabilité	α
Elevé	8,5
Moyenne	75
Faible à moyenne	350
Faible	1400
imperméable	3200

• **Formule de Gravrillovic**

$$V_m = \frac{T_0 * T * S}{\gamma_s} \quad (III.28)$$

Tel que :

$$T_0 = T_{sp} * G_{rm} \quad (III.29)$$

Et :

$$T_{sp} = T * P_{moy} * \pi \sqrt{Z^3} \quad (III.30)$$

Et :

$$T = \sqrt{\frac{t}{10}} + 1 \quad (III.31)$$

Et :

$$G_{rm} = \frac{\sqrt{P} + H_{moy}}{0,2(L_{cp} + 10)} \quad (III.32)$$

Avec :

T_0 : taux d'abrasion ($t/km^2/an$) ;

T_{sp} : le taux de la production annuel des matériaux ($m^3/km^2/an$) ;

G_{rp} : taux de rétention des sédiments produits par le bassin ;

T : Coefficient thermique ;

Z : coefficient d'érosion relative en fonction de la description du B.V $Z = 0.4$;

P_{moy} : Pluie moyenne annuelle (mm);

t : température moyenne annuelle [$^{\circ}C$] ;

Tableau III.16: Résultats de calcul de volume mort

Formules	Tixeront	Gravrillovic
Volume mort (Mm³)	3.7	4.1

Interprétation :

La formule de Tixeront est plus utilisée en nord d'Algérie, on retient la valeur donné par cette formule.

III.4 Etude des crues

Les crues sont des écoulements variables dans lesquelles les atteignent des valeurs importantes. Leur étude a pour but de déterminer les Hydrogrammes des crues fréquentielles sur bassin versant et de définir les débits maximums probables correspondants

L'estimation des crue relève une grande importance pour la sécurité de l'ouvrage a construire. Les paramètres définissant une crue sont :

- Le débit maximum (débit de pointe)
- Le volume
- Le temps
- La forme (hydrogramme de crues)

Pour la détermination du débit de pointe probable de la crue des différentes période de retour, différents formules empiriques ont été sélectionnées pour le calcul, par manque d'observations.

III.4.1 Détermination des débits maximums fréquents

La détermination du débit max a été effectuée par les formules suivantes [6] :

III.4.1.1 Formule de Mallet-Gauthier :

$$Q_{max,p\%} = \frac{2 * K * \log_{10}(1 + A * P_{moy}) * S * \sqrt{(1 + 4 * \log(T) - \log_{10}(S))}}{\sqrt{L}} \quad (III.33)$$

Avec :

$Q_{max,p\%}$: Débit maximum pour une fréquence donnée (m^3/s);

K : constante dépendant des caractéristiques géographiques et climatiques du bassin

$$1 < K < 3 ;$$

A : Paramètre du bassin varie entre 20 et 30 ;

P_{moy} : Pluie moyenne interannuelle (m) ;

S : Surface du bassin versant (km^2) ;

T : Période de retour (an) ;

L : Longueur du talweg principal (km).

III.4.1.2 Formule de SOKOLOVSKY :

$$Q_{max,p\%} = 0,28 * \frac{(x_{p\%} t_c - H_0) * \alpha_{p\%} * S * f}{t_c} \quad (III.34)$$

Tel que :

$$\alpha_{p\%} = \frac{\sqrt{x_{p\%,tc}} - \sqrt{H_0}}{\sqrt{x_{p\%,tc}} + \sqrt{H_0}} \quad (\text{III.35})$$

Tel que :

$$f = \frac{12}{4+3+\gamma} \quad (\text{III.36})$$

Et :

- Pour $S < 50 \text{ Km}^2$ on a $\gamma = 2$;
- Pour un bassin boisé avec un sol peu perméable : $2 \leq \gamma \leq 2.5$;
- Pour un bassin boisé : $3 \leq \gamma \leq 4$;

Avec :

- $Q_{max,\%}$: Débit maximum pour une fréquence donnée (m^3/s) ;
- $x_{p\%,}$: précipitation en mm, de probabilité $p\%$ correspondant à un temps t_c ;
- H_0 : pertes initiales en mm, Au nord de l'Algérie, $H_0 = 7-14 \text{ mm}$;
- $\alpha_{p\%}$: Coefficient de ruissellement de la crue pour une période donnée :

III.1.2.3 Méthode de GRADEX

La méthode du GRADEX est une approche hydro pluviométrique probabiliste du calcul des débits de crues extrêmes d'une rivière pour des périodes de retour allant de 100 à 10000 ans, elle est **développée par** (Guillot & Duband, 1967). **Publié par** : (CIGB, 1994), (Meddi & Hallouz, 2010)[10]

Elle s'applique à des bassins versants de quelques dizaines à plusieurs milliers de km^2 (jusqu'à 5000 km^2), recevant des pluies relativement homogènes du point de vue spatial.

La méthode est basée sur le processus physique global :

Pluies brutes → Pluies efficaces → Fonction de transfert → Débit, débit de pointe.

- **Hypothèses de la méthode**

Cette méthode s'appuie sur les hypothèses suivantes :

Les débits maximums recherchés sont provoqués uniquement par des pluies maximales, uniformément réparties sur le bassin. Il n'y a donc pas diverses origines de formation des crues ; Les pluies maximales et les débits correspondants suivent une même loi de distribution statistique, dite des extrême en raison de la nature du phénomène étudié (crues rares). Ceci exprime surtout le fait que le comportement asymptotique des lois de distribution des pluies et des débits est identique. La loi de Gumbel (Gumbel, 1958) est souvent utilisée dans ce but et dans ce cas uniquement, le caractère exponentiel de cette distribution est décrit par la pente de la droite d'ajustement des pluies observées, mesurées sur un diagramme de probabilité adéquat. La pente de cette droite est le gradient de cette distribution exponentielle ;

On admet que la rétention moyenne du bassin versant atteint sa valeur maximale pour une crue décennale $Q_{10\text{ans}}$.

- **Remarque**

Ces trois hypothèses sont vérifiées ;

Si on n'a pas d'enregistrements des crues dans le bassin étudié, on estime par analogie avec d'autre bassin voisins et de même grandeur le temps de base et le débit décennal.

- **Etapas de la méthode**

-Choisir le pas de temps n heures (généralement égale à la moyenne des temps de base des hydrogrammes de crues disponibles, Pour la commodité des calculs on retiendra une valeur très arrondie, par exemple 2, 4, 6 ... 48 heures.).

Le résultat final, débits de pointe, dépendent peu de h : il suffit de ne pas commettre d'erreur d'ordre de grandeur sur h)

-Ajuster par la loi de Gumbel des pluies maximales journalières. Calculer le gradex des précipitations a (pente de la droite de Gumbel).

$$(mm) = a * \mu + b \quad (\text{III.37})$$

-Ajuster de la série des débits observés à la loi de Gumbel et déterminer débit décennal (point pivot de l'extrapolation des débits).

Exprimer le débit décennal en lame d'eau équivalente par la formule :

$$R(mm) = Q * 3.6 * N/S \quad (\text{III.38})$$

-Extrapoler de la distribution des débits au-delà de 0.9 ($T=10$ ans) par une droite de pente égale au gradex de la pluie.

$$R(mm) = a * \mu + b' \quad (\text{III.39})$$

Avec :

a : Le gradex de pluie ;

μ : Variable réduite de Gumbel, $\mu = -\ln(-\ln(F))$;

$b' = R_{10ans} - a * \mu (T = 10)$.

Exprimer ces R en m/s par la formule (III.38).

-Calcul des débits de pointe : Calculer sur les hydrogrammes des crues observées le rapport P égal au rapport débit de pointe sur débit moyen :

$$Q_p = Q * P \quad (\text{III.40})$$

- **Données et application**

-Ajustement de la série pluviométrique (P_{jmax}) de la station de BOU HAMAMA 061803 à la loi de Gumbel : En utilisant le logiciel RStudio, fonction Bayesian MCMC.

Les résultats sont mentionnés dans les tableaux III.7 et Tableau III.8 ;

-Détermination du Gradex : d'après le RStudio, l'équation de la droite de Gumbel est :

$$P = 15.14 * \mu + 37.468 \quad (\text{III.41})$$

Le Gradex est donc :

$$A = 15.14$$

-Choix du pas de temps :

D'après les enregistrements des crues de la station de BOUHAMAMA (061803), on a estimé le temps de base par :

$$N=24h$$

- $Q_{10 \text{ ans}}(\text{Mellagou})=198\text{m}^3/\text{s}$
- $Q_{10 \text{ ans}}(\text{Rekhouché})=Q_{10 \text{ ans}}(\text{Mellagou}) * \frac{S_{\text{Rekhouché}}}{S_{\text{Mellagou}}}$, tel que : $S_{\text{Mellagou}}=506 \text{ km}^2$
- $Q_{10 \text{ ans}}(\text{Rekhouché})=122,48\text{m}^3/\text{s}$.
- $R_{10 \text{ ans}}(\text{mm})=Q_{10} * 3,6 * N / S_{\text{Rekhouché}}$
- $R_{10 \text{ ans}}=33,81 \text{ mm}$
- On fait l'extrapolation des débits au-delà du débit décennal :

On a le gradex : $A = 15.14$

$$\text{Et : } T=10 \text{ ans} \rightarrow F = 1 - \frac{1}{T} \rightarrow \mu = -\ln(-\ln(F))$$

$$\mu = 2.25$$

En remplaçant dans (II.58) on obtient :

$$b' = -0.256$$

$$R(\text{mm}) = 15.14 * \mu - 0.256 \quad (\text{III.42})$$

- On calcule $R(\text{mm})$ pour les différentes période de retour, on les transforme en débit par la formule (III.38), les résultats sont présentés dans le **Tableau III.17** ;
- On calcule les débits de pointes par la formule (III.40), les résultats sont présentés dans le **Tableau II.17** ;

Tableau III.17: Résultats de calcul des débits par la méthode GRADEX

T (ans)	F	U	R(mm)	Q (m ³ /s)	Qp (m ³ /s)
10	0.9000	2.25	33.81	122.48	367.43
20	0.9500	2.97	44.71	161.97	485.91
50	0.9800	3.90	58.79	212.98	638.93
100	0.9900	4.60	69.39	251.37	754.11
1000	0.9990	6.91	104.36	378.07	1134.20

Tableau III.18: Récapitulatif du calcul du débit (m^3/s) par les différentes méthodes

T (ans)	Mallet Gauthier	SOKOLOVSKY	GRADEX
10	428.44	270.04	367.43
20	521.36	337.85	485.91
50	623.28	430.13	638.93
100	690.46	500.90	754.11
1000	877.44	746.08	1134.20

Interprétation

On retient les valeurs données par GRADEX vue qu'elle est plus précise.

III.4.2 Hydrogrammes de crues

L'hydrogramme de crue est une identité de la crue, il détermine les caractéristiques principales de la crue qui sont :

- Le volume ;
- La durée ;
- Le débit maximum (débit de pointe)

Pour tracé l'hydrogramme de crue, nous sommes tenus de suivre la méthode de Sokolovsky qui le divise en deux parties non symétriques, calculé à partir des temps de montée et de la décrue.

Cette méthode assimile l'Hydrogramme de crue à deux équations paraboliques l'une pour la montée de la crue et l'autre pour la décrue [6] :

- **Temps de montée**

$$Q_m = Q_{max,p\%} * \left(\frac{t}{t_m}\right)^2 \quad (III.43)$$

Avec :

- : Débit instantané de montée (m^3/s) ;
- : Temps de montée de la crue égale au temps de concentration (h).

- **Temps de décrue**

$$Q_d = Q_{max,p\%} * \left(\frac{t_d-t}{t_d}\right)^3 \quad (III.44)$$

Avec :

- : Débit instantané de montée (m^3/s) ;
- : Temps de montée de la crue (h).
- : Débit instantané de décrue (m^3/s) ;
- : Temps de décrue de la crue (h) ;

$Q_{max,\%}$: Débit maximum de la crue de fréquence considérée en (m^3/s).

Pour les crues d'averses, c'est à dire les crues engendrées par la pluie, cette méthode prend:

$t_m = t_c$, avec t_c qui est le temps de concentration du bassin versant (heures).

Pour le temps de décrue :

$$t_d = \delta * t_c \quad (III.45)$$

Avec :

δ : coefficient de forme de l'hydrogramme de crue.

Tableau III 19: Coefficients de forme de l'hydrogramme de crue δ

Description du cours d'eau	δ
Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants dénudés et faiblement perméables.	2.0 – 2.5
Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants brisés ou perméables, moyens cours d'eau avec terrasses de lit majeur normales.	3.0 – 4.0
Grands et moyens cours d'eau avec des terrasses de débordements étendues.	4.0 – 7.0

(Touaibia, 2004)

On prend $\delta = 3$, ce qui veut dire que $t_d = 21,36 h$.

Le temps de base, c'est le temps total de la crue :

$$t_b = t_m + t_d \quad (III.46)$$

On trouve : $t_b = 28.5 h$

Tableau III.20: Hydrogramme des crues de différente période de retours

Temps (h)	Q max				
	10	20	50	100	1 000
	367,43	485,91	638,93	754,11	1 334,20
0,0	00	00	00	00	00
1,00	7,25	9,59	12,60	14,88	26,32
1,50	16,31	21,57	28,36	33,47	59,22
2,00	28,99	38,34	50,41	59,50	105,27
3,00	65,23	86,27	113,43	133,88	236,87
4,00	115,97	153,36	201,66	238,01	421,10
5,00	181,20	239,63	315,09	371,89	657,96
6,00	260,93	345,06	453,73	535,52	947,47

7,00	355,15	469,67	617,57	728,90	1 289,61
7,12	367,43	485,91	638,93	754,11	1 334,20
8,00	324,33	428,91	563,98	665,65	1 177,68
9,00	279,60	369,76	486,20	573,84	1 015,27
10,00	239,18	316,31	415,92	490,90	868,51
11,00	202,86	268,28	352,76	416,36	736,63
12,00	170,42	225,37	296,35	349,77	618,83
13,00	141,64	187,31	246,29	290,69	514,30
14,00	116,29	153,79	202,22	238,67	422,26
15,00	94,16	124,53	163,74	193,26	341,92
16,00	75,04	99,23	130,48	154,00	272,47
17,00	58,69	77,62	102,06	120,46	213,13
18,00	44,92	59,40	78,10	92,18	163,10
19,00	33,48	44,28	58,22	68,72	121,58
20,00	24,17	31,97	42,04	49,62	87,78
21,00	16,78	22,18	29,17	34,43	60,91
22,00	11,06	14,63	19,24	22,71	40,18
23,00	6,82	9,02	11,87	14,00	24,78
24,00	3,83	5,07	6,67	7,87	13,92
25,00	1,88	2,48	3,26	3,85	6,82
26,00	0,73	0,97	1,28	1,51	2,66
27,00	0,19	0,25	0,32	0,38	0,67
28,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,05
28,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

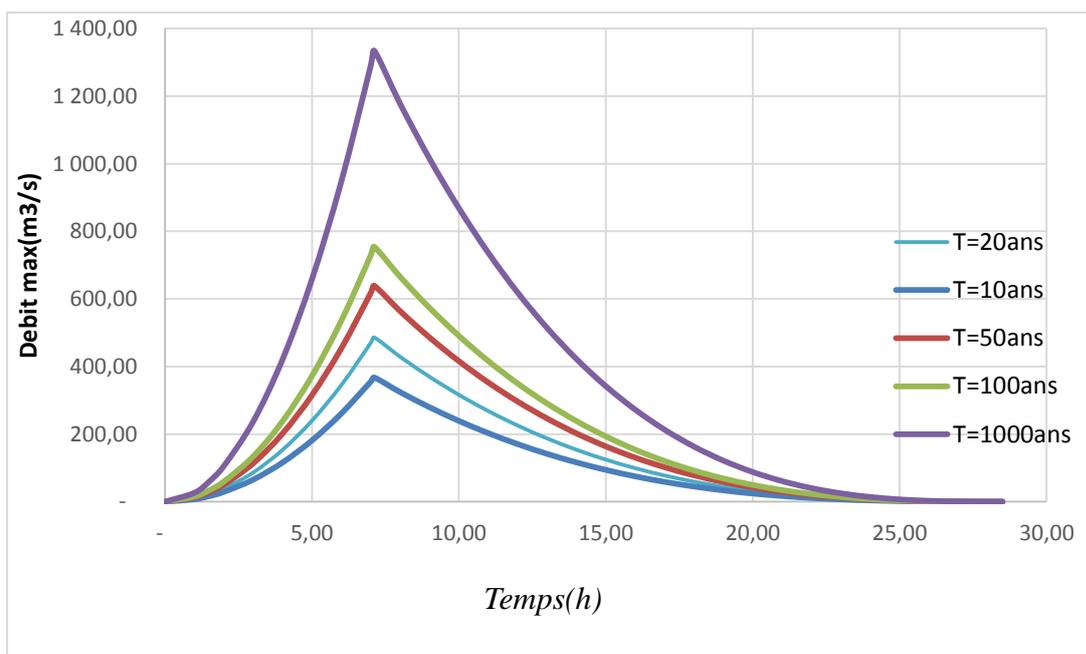


Figure III 7: Hydrogramme d'entrée des différentes périodes de retour.

III.4.3 Choix de la crue de projet

La crue de projet est définie comme étant la crue maximale que l'ouvrage doit être l'évacuer sans dommages graves à l'aval.

Pour cela il faut déterminer cette crue en prenant en compte l'effet de laminage par la retenue, elle est calculée sur la base d'un débit de pointe évalué à partir de l'étude du régime des crues.

Dans ce contexte on est amené à faire un choix car il est évident qu'on ne pourra jamais protéger un ouvrage contre tous les crues pouvant survenir, on choisit donc une période de retour de crue, ce qui revient à accepter un certain risque qui devra être en rapport avec l'intérêt économique de l'ouvrage et les impératifs de sécurité.

Le choix de la crue de projet dépend des paramètres suivants :

- La fiabilité des données et la durée de la série ;
- Le risque à l'aval ;
- L'analyse économique ;
- Nature du barrage ;
- Types d'évacuateur.

Autrement dit, il s'agit de chercher un compromis optimum entre l'aspect économique de la construction et les risques des crues à l'aval. Alors, pour son estimation, nous nous reportons aux recommandations du Comité Australien des Grands Barrages[7].

Tableau III.21: Crue de projet recommandée

Catégories des dommages	Crue de projet recommandé
Elevés : Perte de vie, dommage considérable.	1/100 000 à 1/10 000
Importants : Pas de perte de vie, dommages importants.	1/10 000 à 1/1 000
Faible : Pas de perte de vie, dommages légers	1/1 000 à 1/100

Pour notre cas, nous pouvons considérer que les difficultés géologiques et géotechniques sont importantes, les connaissances hydrologiques paraissent incertaines en vue du manque d'une station hydrométrique, le risque en aval élevé et les dommages sont aussi considérables, par conséquent le risque est élevé pour cela on dimensionne avec la crue 1 000 ans, pour un débit de : $Q = 1134.2 \text{ m}^3/\text{s}$, et on vérifie que la crue de 10 000 ans ne causera pas la submersion du barrage.

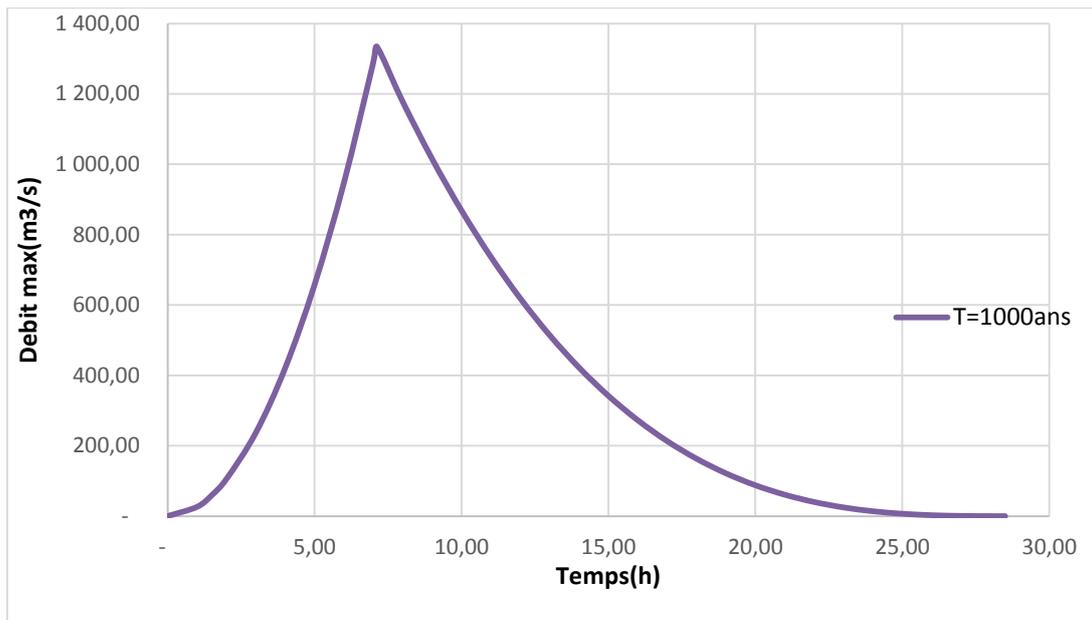


Figure III 8 : Hydrogramme de la crue de projet.

III.4.4 Choix de la crue de chantier

La crue présente l'une des phases du régime d'un cours d'eau, elle se caractérise par des débits et des niveaux des eaux élevés, les crues résultant de la fonte des neiges et à partir d'averses des pluies intenses.

Pour dimensionner l'ouvrage de dérivation, il va falloir faire un choix du niveau de protection que l'on veut accorder au chantier contre les crues. A ce titre, le choix de la crue dépend du degré de risque admis.

Donc, en prenant en compte toutes ces exigences, le choix de la crue (20 ans) serait le plus adapté pour la conception des ouvrages de dérivation et prises d'eau, pour un débit de $Q = 485.91 \text{ m}^3/\text{s}$

III.5. Conclusion

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

- Les apports mensuels reflètent les particularités du régime des apports et son irrégularité, ce qui est confirmé par le coefficient de variation $C_v = 0,557$;
- L'apport moyen annuel est de $14,06 \text{ Mm}^3/\text{an}$;
- L'apport moyen fréquentiel est de $21,5 \text{ Mm}^3/\text{an}$;
- Le volume mort est de $3,7 \text{ Mm}^3/\text{an}$;

Le débit de la crue maximal qui sera pris en compte pour l'étude de laminage est la crue de 1000 ans, $Q_{0.01\%} = 1143,01 \text{ m}^3/\text{s}$, déterminée à partir de l'hydrogramme des crues.

CHAPITRE IV

Régularisation et laminage des crues.

IV.1 Introduction

L'étude de régularisation a pour objectif de déterminer la meilleure façon de restituer les eaux stockées dans le but de satisfaire la demande en aval, que ce soit en eau potable ou en irrigation.

Il existe deux types de régularisation sont utilisés

- La régularisation saisonnière ;
- La régularisation interannuelle.

Les paramètres générant le calcul de la régularisation sont [8] :

- L'apport (A80% en Mm^3) ;
- La consommation totale (Mm^3) ;
- Les infiltrations et l'évaporation ;
- Les courbes caractéristiques de la retenue.

Par contre l'étude du laminage consiste, à déterminer la cote maximale atteinte par le plan d'eau, ainsi que le dimensionnement optimum de l'évacuateur de crue en fonction des hauteurs laminées sans affecter la sécurité globale du barrage

IV.2 Répartition mensuelle des besoins

La répartition mensuelle des besoins en eau est donnée dans le tableau suivant :

Tableau IV 1: Répartition mensuelle des besoins en eau (Mm^3)

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	total
AEP	0.93	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	9.26
IRRIG	0.51	0.16	0.23	0.30	0.26	0.28	0.33	0.80	1.56	1.98	1.77	1.58	9.76
U	1.44	0.71	0.77	0.85	0.81	0.82	1.26	1.73	2.49	2.90	2.7	2.51	19.02

IV.3 Répartition des apports fréquentiels

Tableau IV 2: Répartition des apports fréquentiels

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	total
W	2.69	2.31	2.59	2.36	1.90	1.99	2.37	2.13	1.08	0.52	0.70	0.92	21.5

IV.4 Courbes « Hauteurs-Capacités-Surface »

C'est un paramètre très important dans l'étude d'un barrage car elle permet par une simple lecture de la courbe de connaître la valeur du volume d'eau en fonction de l'altitude et la surface inondée aussi.

L'approximation des volumes a été faite selon l'expression suivante :

$$V_i = V_{i-1} + \Delta V_i \quad (IV.1)$$

Tel que :

$$\Delta V_i = \frac{(S_i + S_{i+1})}{2} * \Delta H \quad (IV.2)$$

Avec :

Δ : Volume élémentaire compris entre deux courbes de niveaux successives (Mm^3);

Chapitre IV :Etude hydrologique

: Surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau $H_i(km^2)$;

S_{i+1} : Surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau $H_{i+1}(km^2)$;

ΔH : Différence d'altitude entre les deux courbes de niveaux successives (m).

Et :

$$V_1 = \frac{2}{3} * S_1 * \Delta H_1 \quad (IV.3)$$

Tableau IV.3: Courbes topographiques et volumétrie

Cote (m)	ΔH	S_i	ΔV	V
1017	0	0	0.03295	0
1020	5	0.016475	0.16045	0.03295
1025	5	0.047705	0.36874	0.1934
1030	5	0.099791	0.68548	0.56214
1035	5	0.174401	1.0218525	1.24762
1040	5	0.23434	1.36503	2.2694725
1045	5	0.311672	1.70901	3.7345025
1050	5	0.371932	1.9793	5.4435125
1055	5	0.419788	2.22159	7.4228125
1060	5	0.468848	2.59932	9.6444025
1065	5	0.57088	3.42476	12.243723
1070	5	0.799024	4.60172	15.668483
1075	5	1.041664		20.270203

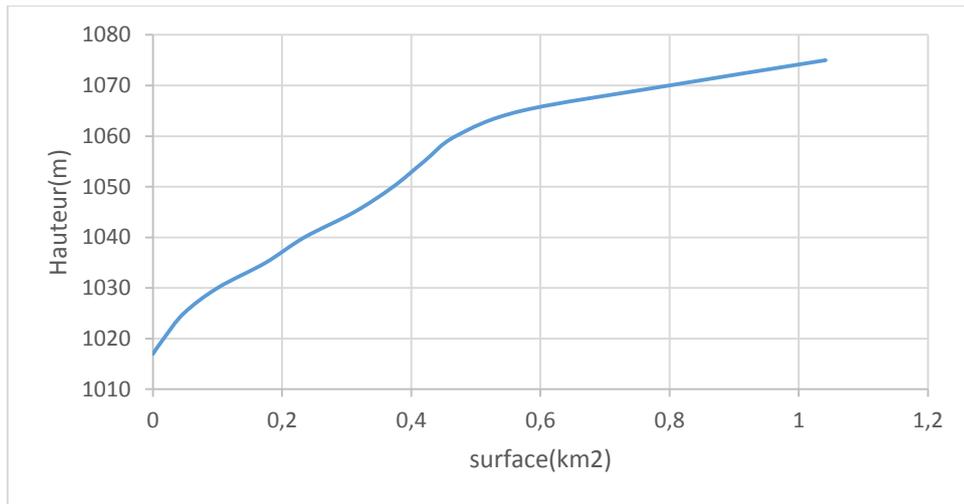


Figure IV 1: Capacité surface-Hauteur

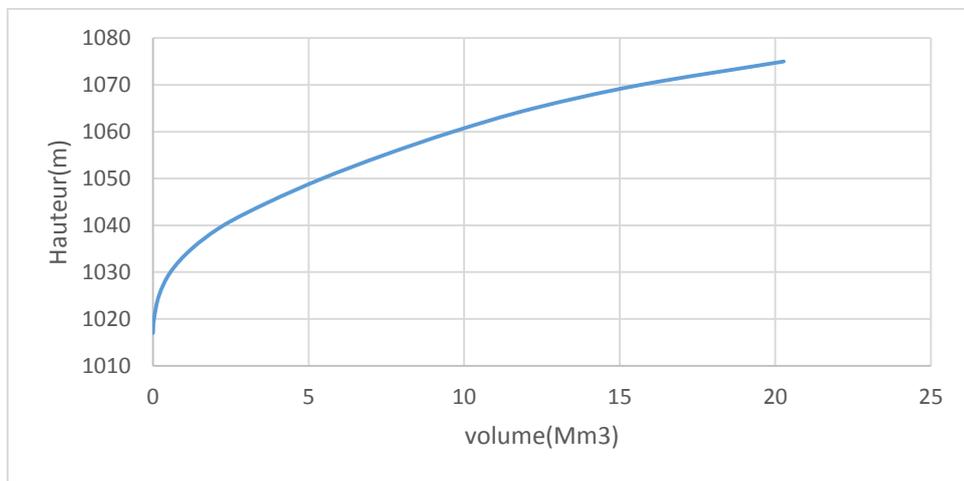


Figure IV 2: Courbe capacité-Hauteur

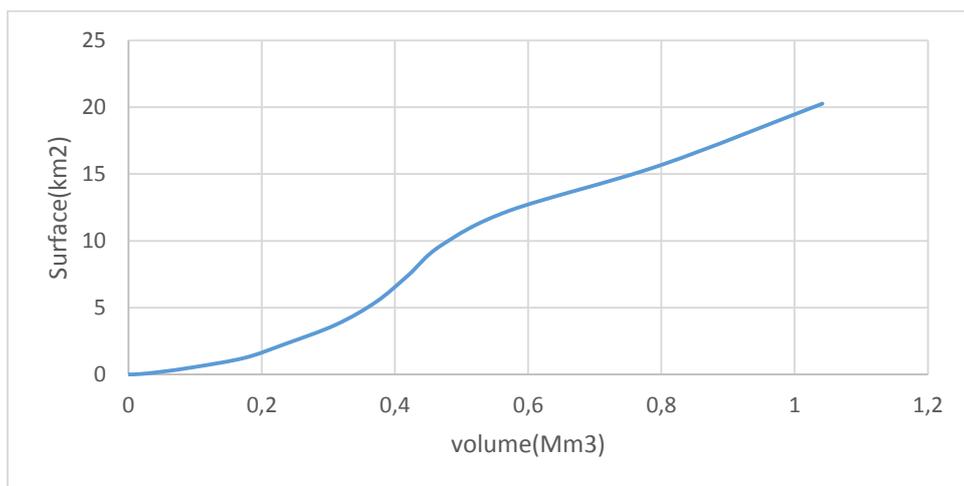


Figure IV 3: Courbe capacité-Surface.

IV.5 Calcul du volume utile

Pour calculer le volume utile de la retenue on a besoin de [8] :

- L'apport annuel A80% ;
- La consommation totale ;
- Le volume mort de la retenue.

Le calcul de la régularisation est effectué en utilisant " la méthode du bilan d'eau".

- Détermination de la période à bonne hydraulicité ;
- Détermination des périodes excédentaires et déficitaires sur un cycle hydrologique ;
- Calcul des volumes excédentaires et déficitaires "Vs" et "Vd" ;
- Détermination du type de fonctionnement de la retenue et calcul du volume utile.

Les calculs se font comme suit :

$$V_{rf} = V_{ri} + (W - U) \quad (\text{IV.4})$$

Avec :

- : Volume de remplissage final (Mm^3) ;
- : Volume de remplissage initial (Mm^3) ;
- W : Apport (Mm^3) ;
- U : Consommation (Mm^3).

La capacité utile détermine le niveau de remplissage possible de la retenue dans les conditions normales d'exploitation. C'est-à-dire à la côte du niveau normal de la retenue NNR.

L'alternance de la période de remplissage ou de restitution, s'appelle temps de fonctionnement. A ce dernier s'ajoutent les consignes d'exploitation qui sont au nombre de deux :

- **Première consigne d'exploitation** : Elle consiste à remplir le barrage, lors des crues, jusqu'au niveau normal de la retenue (NNR). Ensuite restituer l'excédent d'eau qui est déversée par l'évacuateur de surface.

Le niveau de remplissage initial est fixé au remplissage final qui est déterminé pour chaque mois, en tenant compte du NNR et du niveau du volume mort NVM que l'on ne doit pas dépasser.

- **Deuxième Consigne d'exploitation** : Cette consigne consiste à faire évacuer les eaux excédentaires à travers l'évacuateur de surface.

Remarque : Du moment que nos apports sont supérieurs aux besoins, on opte pour une Régularisation saisonnière.

IV.5.1 Détermination de la période de bonne hydraulicité :

Tableau IV 4: Résultats de calcul de la période de bonne hydraulicité

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout
------	------	-----	-----	-----	-----	-----	------	-----	-----	-----	------	------

Chapitre IV :Etude hydrologique

W	2.69	2.31	2.59	2.36	1.90	1.99	2.37	2.13	1.08	0.52	0.70	0.92
U	1.44	0.71	0.77	0.85	0.81	0.82	1.26	1.73	2.49	2.90	2.7	2.51
W-U	1.25	1.6	1.82	1.51	1.09	1.17	1.11	0.400	-1.41	-2.38	-2.00	-1.59
Σ	9.935								-7.589			

D'après ce tableau la période à bonne hydraulicité est celle du mois de Septembre jusqu'au mois d'Avril.

IV.5.2 Calcul de la régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes [9] :

Tableau IV.5: Régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes

Mois	W	U	W-U		1ère consigne			2ème consigne			
					Vrf	Vri	S	Vrf	Vri	S	
					/	3.700	/	2.454	3.700	1.246	
Sep	2.690	1.443	1.246	9.935	4.946	4.946	0.000	2.600	3.700	1.100	
Oct	2.306	0.709	1.597		6.544	6.544	0.000	4.197	4.197	0.000	
Nov	2.594	0.776	1.818		8.361	8.361	0.000	6.015	6.015	0.000	
Dec	2.360	0.852	1.508		9.869	9.869	0.000	7.523	7.523	0.000	
Jan	1.904	0.807	1.097		10.966	10.966	0.000	8.619	8.619	0.000	
Fev	1.993	0.827	1.166		12.132	12.132	0.843	9.785	9.785	0.000	
Mars	2.367	1.264	1.104		12.392	12.392	1.104	10.889	10.889	0.000	
Avr	2.134	1.734	0.399		11.688	11.688	0.399	11.289	11.289	0.000	
Mai	1.078	2.694	-1.616		7.589	9.672	9.672	0.000	9.672	9.672	0.000
Jui	0.521	2.905	-2.385			7.288	7.288	0.000	7.288	7.288	0.000
Juil	0.704	2.697	-1.993	5.295		5.295	0.000	5.295	5.295	0.000	
Aout	0.916	2.512	-1.595	3.700		3.700	0.000	3.700	3.700	0.000	

Le volume mort est de 3.7 Mm^3 ;

D'après le tableau, on a :

$$V_s = 9.935 \text{ Mm}^3 \text{ et } V_d = 7.589 \text{ Mm}^3$$

Le barrage fonctionne à un seul temps, en remarque aussi que l'excédent d'eau est plus grand que le déficit donc :

$$V_s > V_d \Rightarrow V_u = V_d = 7.589 \text{ Mm}^3$$

Le volume de la retenue normale sera :

$$V_{nr} = V_m + V_u = 11.289 \text{ Mm}^3$$

IV.5.3 Régularisation saisonnière en tenant compte des pertes

a) Estimation des pertes π

Deux types de pertes caractérisent la retenue :

- **Perte par évaporation**

$$V_e = S_{moy} * E_s \quad (IV.5)$$

Avec :

V_e : volume perdu à cause de l'évaporation (Mm^3) ;

E_s : Evaporation mensuelle (m) ;

S : Surface du plan d'eau correspondant au volume moyen (km^2)

$$V_{moy} = \frac{V_{rf,i} + V_{rf,i+1}}{2} \quad (IV.6)$$

$V_{rf,i}$ + $V_{rf,i+1}$: Volumes de la retenue de deux mois successif (Mm^3).

- **Perte par infiltration**

$$V_{inf} = \frac{\delta * V_{moy}}{100} \quad (IV.7)$$

Avec :

V_{inf} : Volume perdu à cause de l'infiltration (Mm^3);

δ : Coefficient qui dépend des conditions hydrogéologiques de la cuvette (perméabilité).

Dans notre cas, on a un sol à faible perméabilité) alors on opte pour un coefficient δ égale à 0.5 .

Tableau IV 6: Calcule des pertes

Mois	V_{moy}	S_{moy}	E_s	V_{ep}	V_{inf}	π
Sep	4.323	0.475	133	0.063	0.022	0.085
Oct	5.745	0.667	99	0.066	0.029	0.095

Chapitre IV : Etude hydrologique

Nov	7.452	0.968	46	0.045	0.037	0.082
Dec	9.115	1.362	24	0.033	0.046	0.078
Jan	10.417	1.756	25	0.044	0.052	0.096
Fev	11.549	2.171	43	0.093	0.058	0.151
Mars	12.262	2.470	81	0.200	0.061	0.261
Avr	12.040	2.374	133	0.316	0.060	0.376
Mai	10.680	1.846	185	0.342	0.053	0.395
Juin	8.480	1.198	241	0.289	0.042	0.331
Jui	6.292	0.754	278	0.210	0.031	0.241
Aout	4.498	0.497	242	0.120	0.022	0.143

Tableau IV 7: Régularisation saisonnière en tenant compte des pertes

Mo is	W	U	π	W-(U + · π)	1ère consigne			2ème consigne		
					Vrf	Vri	S	Vrf	Vri	S
					/	3.700	/	3.488	3.700	0.212
Sep	2.690	1.443	0.085	1.162	4.862	4.862	0.000	4.649	4.649	0.000
Oct	2.306	0.709	0.095	1.502	6.364	6.364	0.000	6.152	6.152	0.000
Nov	2.594	0.776	0.082	1.736	8.100	8.100	0.000	7.887	7.887	0.000
Dec	2.360	0.852	0.078	1.429	9.529	9.529	0.000	9.317	9.317	0.000
Jan	1.904	0.807	0.096	1.001	10.530	10.530	0.000	10.318	10.318	0.000
Fev	1.993	0.827	0.151	1.015	11.545	11.545	0.000	11.332	11.332	0.000
Mar	2.367	1.264	0.261	0.842	12.387	12.198	0.189	12.175	12.175	0.000
Avr	2.134	1.734	0.376	0.023	12.222	12.198	0.023	12.198	12.198	0.000
Mai	1.078	2.694	0.395	-1.811	10.387	10.387	0.000	10.387	10.387	0.000
Jui	0.521	2.905	0.331	-2.716	7.672	7.672	0.000	7.672	7.672	0.000
Juil	0.704	2.697	0.241	-2.234	5.438	5.438	0.000	5.438	5.438	0.000
Aou	0.916	2.512	0.143	-1.738	3.700	3.700	0.000	3.700	3.700	0.000

Le volume mort est de : **3.7 Mm³**;

D'après le tableau, on a :

$$V_s = 8.711 \text{ Mm}^3 \text{ et } V_d = 8.498 \text{ Mm}^3$$

Chapitre IV : Etude hydrologique

Le barrage fonctionne à un seul temps, en remarque aussi que l'excédent d'eau est plus grand que le déficit donc :

$$V_s > V_d \Rightarrow V_u = V_d = 8.498 \text{ Mm}^3$$

On vérifie l'erreur, l'erreur ne doit pas dépasser 2% :

$$\varepsilon = \frac{V'_u - V_u}{V_u} \quad (\text{IV.8})$$

Avec : V'_u : Volume utile avec pertes (Mm^3) ;

V_u : Volume utile sans pertes (Mm^3) ;

$$\varepsilon = 11.99\%$$

Alors on refait l'estimation des pertes par la même méthode en se basant dans le calcul du volume moyen sur les résultats de la régularisation avec pertes.

Tableau IV 8: Calcul des pertes, première itération

Mois	V_{moy}	S_{moy}	E_s	V_{ep}	V_{inf}	π
Sep	4.281	0.470	133	0.063	0.021	0.084
Oct	5.613	0.647	99	0.064	0.028	0.092
Nov	7.232	0.924	46	0.043	0.036	0.079
Dec	8.815	1.282	24	0.031	0.044	0.075
Jan	10.030	1.630	25	0.041	0.050	0.091
Fev	11.037	1.975	43	0.085	0.055	0.140
Mars	11.966	2.342	81	0.190	0.060	0.250
Avr	12.305	2.489	133	0.331	0.062	0.393
Mai	11.305	2.075	185	0.384	0.057	0.440
Juin	9.029	1.339	241	0.323	0.045	0.368
Jui	6.555	0.799	278	0.222	0.033	0.255
Aout	4.569	0.505	242	0.122	0.023	0.145

Tableau IV 9: Régularisation saisonnière en tenant comtes des pertes

Mo is	W	U	π	$ W - (U + \pi) $	1ère consigne			2ème consigne		
					Vrf	Vri	S	Vrf	Vri	S
					/	3.700	/	3.565	3.700	0.135

Chapitre IV : Etude hydrologique

Sep	2.690	1.443	0.084	1.162	8.7 32	4.862	4.862	0.000	4.727	4.727	0.000
Oct	2.306	0.709	0.092	1.505		6.367	6.367	0.000	6.232	6.232	0.000
Nov	2.594	0.776	0.079	1.739		8.107	8.107	0.000	7.971	7.971	0.000
Dec	2.360	0.852	0.075	1.433		9.539	9.539	0.000	9.404	9.404	0.000
Jan	1.904	0.807	0.091	1.006		10.545	10.545	0.000	10.410	10.410	0.000
Fev	1.993	0.827	0.140	1.026		11.571	11.571	0.000	11.436	11.436	0.000
Mar	2.367	1.264	0.250	0.854		12.425	12.297	0.129	12.290	12.290	0.000
Avr	2.134	1.734	0.393	0.007		12.304	12.297	0.007	12.297	12.297	0.000
Mai	1.078	2.694	0.440	-1.857		10.440	10.440	0.000	10.440	10.440	0.000
Jui	0.521	2.905	0.368	-2.752		7.688	7.688	0.000	7.688	7.688	0.000
Juil	0.704	2.697	0.255	-2.248		5.440	5.440	0.000	5.440	5.440	0.000
Aou	0.916	2.512	0.145	-1.740		3.700	3.700	0.000	3.700	3.700	0.000

D'après le tableau, on a :

$$V_s = 8.732 \text{ Mm}^3 \text{ et } V_d = 8.597 \text{ Mm}^3$$

Le barrage fonctionne à un seul temps, en remarque aussi que l'excédent d'eau est plus grand que le déficit donc :

$$V_s > V_d \Rightarrow V_u = V_d = 8.597 \text{ Mm}^3$$

$\varepsilon = 1.23\%$ Donc la condition est vérifiée.

Le volume de la retenue normale sera :

$$V_{nr} = V_m + V_u = 12.297 \text{ Mm}^3$$

Ce volume correspond au niveau normal de la retenue, par projection sur la courbe Hauteur-Volume on obtient :

$$N_{nr} = 1065.60 \text{ m NGA}$$

IV.6Laminage des crues

Le calcul du laminage des crues permet de réduire les dimensions et le coût de l'ouvrage d'évacuation sans affecter la sécurité globale de l'aménagement, ce type de calcul optimise la capacité de stockage temporaire de la retenue et le débit progressif de déversement en fonction de l'apport entrant de la crue, cette relation peut être formulée comme suit :

$$Q \cdot dt = q \cdot dt + S \cdot dh \quad (\text{IV.9})$$

Avec :

Q : Débit entrant de la crue (m^3/s) ;

q : le débit déverse par l'évacuateur de crue (débit laminé) (m^3/s) ;

S : Surface du plan d'eau de la cuvette (m^2).

$$Q - q = s * \frac{dh}{dt} \quad (\text{IV.10})$$

Tel que :

dt/dh : La vitesse de remplissage ou de montée de la retenue.

Il existe plusieurs procédés de calcul, on cite :

- Méthode de Muskingum ;
- Méthode Step by step ;
- Méthode de Kotecherin .

Nous retenons la méthode de Muskingum.

IV.6.1Principe de la méthode de Muskingum

Le laminage à travers un réservoir est dû à la restriction qui limite le débit de sortie lorsque l'évacuation s'opère par le fond, à travers une vanne ou un orifice. Dans le cas d'un barrage déversoir de grande surface, le débit d'entrée ne produit qu'une faible variation de la hauteur d'eau. C'est justement cette hauteur dans le réservoir qui gouverne le débit de sortie qui se voit ainsi laminé. Lorsque le déversoir est muni d'une contraction latérale, le laminage est encore plus prononcé[11].

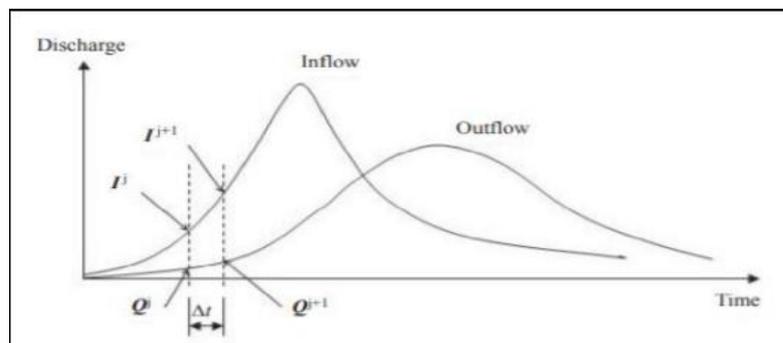


Figure IV 4: Représentation graphique de hydrogramme d'entrée et de sortie (Balaz,et al.,2010).

Chapitre IV : Etude hydrologique

Le bilan d'eau est traduit en utilisant l'équation suivante :

$$2 \frac{S_2}{\Delta t} + O_2 = I_1 + I_2 + 2 \frac{S_1}{\Delta t} + O_1 - 2O_1 \quad (\text{IV.11})$$

Il est possible de construire pour chaque réservoir sa propre courbe caractéristique donnée par la formule suivante :

$$f(O) = 2 \frac{S}{\Delta t} + O \quad (\text{IV.12})$$

Cette courbe est indépendante de l'hydrogramme d'entrée du réservoir. Elle ne dépend que des propriétés géométriques du réservoir et de sa structure d'évacuation.

Comme il sera démontré dans les deux prochains paragraphes, le stockage S et le débit de sortie dépendent de la profondeur h dans le réservoir. On se donne arbitrairement un certain nombre de valeurs de h pour couvrir adéquatement les plages de variation en période de crue et on construit le tableau suivant :

h_1	S_1	O_1	$2 \frac{S_1}{\Delta t} + O_1$
h_2	S_2	O_2	$2 \frac{S_2}{\Delta t} + O_2$
h_3	S_3	O_3	$2 \frac{S_3}{\Delta t} + O_3$
...
h_n	S_n	O_n	$2 \frac{S_n}{\Delta t} + O_n$

Les deux dernières colonnes du tableau permettent de tracer la fonction cherchée :

$$f(O) = 2 \frac{S}{\Delta t} + O$$

IV.6.2 Application de la méthode de Muskingum pour largeur de déversoir $b = 60 \text{ m}$

La courbe Surface-Hauteur peut être modélisée par l'équation suivante :

$$S = 0.9856 - 0.3881 * \cos(0.07821 * C) - 0.1307 * \sin(0.07821 * C) \quad (\text{IV.13})$$

Avec :

S : Surface du plan d'eau (km^2) ;

C : Cote du plan d'eau (m).

La première étape consiste à tracer la courbe caractéristique du barrage : $f(O) = 2 * \frac{S}{\Delta t} + O$

Le débit de sortie est calculé par la formule :

$$O = m * b * \sqrt{2 * g} * H^{2/3} \quad (\text{IV.14})$$

Initialement le débit de sortie $O = 0 \text{ m}^3/\text{s}$ et la hauteur $H = 0 \text{ m}$, le volume stocké $S = 0 \text{ m}^3$.

La valeur maximale de débit d'entrée $I = 1134.2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ceci correspondant -selon la formule (IV.14) à un $H_{max} = 4.23 \text{ m}$.

Les résultats obtenus pour des différentes valeurs de $H = 0 \div H_{max}$ sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau IV 10: Calcul de la courbe caractéristique du barrage

H (m)	COTE (m)	A(Km²)	S(Hm³)	O(m³/s)	2S/T+O
0.1366	1068.3366	0.7770	0.1061	6.5712	124.4631
0.2731	1068.4731	0.7814	0.2134	18.5863	255.7010
0.4097	1068.6097	0.7858	0.3219	34.1451	391.8128
0.5462	1068.7462	0.7902	0.4316	52.5699	532.1195
0.6828	1068.8828	0.7945	0.5425	73.4687	676.2281
0.8193	1069.0193	0.7989	0.6546	96.5771	823.8728
0.9559	1069.1559	0.8033	0.7678	121.7010	974.8578
1.0924	1069.2924	0.8077	0.8823	148.6901	1129.0310
1.2290	1069.4290	0.8120	0.9980	177.4234	1286.2693
1.3655	1069.5655	0.8164	1.1148	207.8007	1446.4705
1.5021	1069.7021	0.8207	1.2328	239.7376	1609.5475
1.6386	1069.8386	0.8251	1.3520	273.1612	1775.4250
1.7752	1069.9752	0.8294	1.4724	308.0081	1944.0367
1.9117	1070.1117	0.8338	1.5940	344.2224	2115.3238
2.0483	1070.2483	0.8381	1.7167	381.7543	2289.2332
2.1848	1070.3848	0.8425	1.8406	420.5591	2465.7166
2.3214	1070.5214	0.8468	1.9657	460.5963	2644.7301
2.4579	1070.6579	0.8511	2.0920	501.8291	2826.2329
2.5945	1070.7945	0.8554	2.2194	544.2238	3010.1873
2.7311	1070.9311	0.8597	2.3479	587.7493	3196.5579
2.8676	1071.0676	0.8640	2.4776	632.3770	3385.3117
3.0042	1071.2042	0.8683	2.6085	678.0803	3576.4173
3.1407	1071.3407	0.8726	2.7405	724.8345	3769.8451
3.2773	1071.4773	0.8768	2.8737	772.6165	3965.5669
3.4138	1071.6138	0.8811	3.0079	821.4046	4163.5557
3.5504	1071.7504	0.8854	3.1433	871.1785	4363.7854
3.6869	1071.8869	0.8896	3.2799	921.9190	4566.2313
3.8235	1072.0235	0.8938	3.4175	973.6080	4770.8693
3.9600	1072.1600	0.8981	3.5563	1026.2286	4977.6759
4.0966	1072.2966	0.9023	3.6962	1079.7643	5186.6286
4.2331	1072.4331	0.9065	3.8372	1134.2000	5397.7052

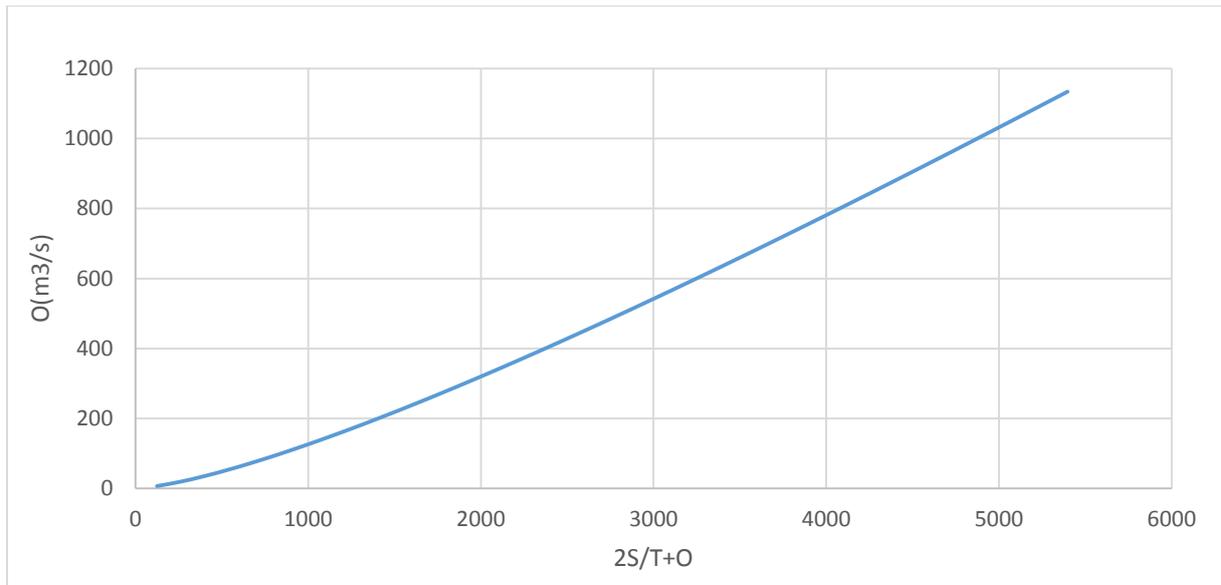


Figure IV.5: Courbe caractéristique de la cuvette.

En utilisant la courbe caractéristique de la cuvette ainsi que l'équation (IV.11) :

$$2 \frac{S_2}{\Delta t} + O_2 = I_1 + I_2 + 2 \frac{S_1}{\Delta t} + O_1 - 2O_1$$

On détermine l'hydrogramme laminé. Le résultat du calcul de l'hydrogramme laminé est donné dans l'annexe (IV.1)

Le calcul de l'hydrogramme laminé pour les différentes largeurs b, est donné dans l'annexe (IV.2).

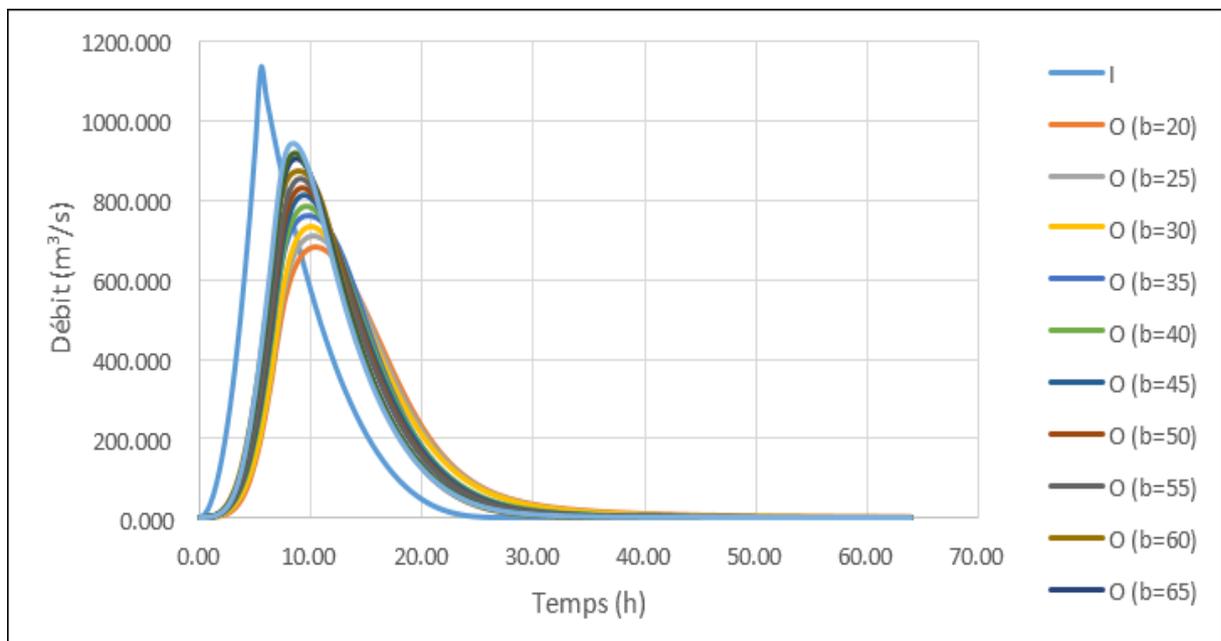


Figure IV.6: Hydrogramme d'entrée et de sortie

Chapitre IV :Etude hydrologique

Les caractéristiques de chaque largeur du déversoir proposé comme le débit évacuer, le volume forcé et la lame déversée sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV 11: Tableau récapitulatif des résultats de la méthode de Muskingum

B (m)	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
O (m³/s)	683.08	706.06	734.59	758.36	783.60	809.36	828.46	851.60	874.16	901.32	918.13	942.30
H (m)	6.28	5.53	5.03	4.64	4.34	4.10	3.88	3.71	3.56	3.44	3.32	3.22
NPHE (m)	1071.9	1071.1	1070.6	1070.2	1069.9	1069.7	1069.5	1069.3	1069.2	1069.0	1068.9	1068.8
V_{forcé} (m³)	4.770	3.954	3.410	2.987	2.667	2.414	2.186	2.009	1.857	1.739	1.611	1.516
Facteur d'amortissement	60.22	62.25	64.76	66.86	69.08	71.36	73.04	75.08	77.07	79.47	80.95	83.08

IV.7Conclusion

Finalemment on recommande à choisir les paramètres suivants :

- La capacité totale du barrage : $V_{NNR} = 12.297 \text{ Mm}^3$
- La cote au niveau normal de la retenue est $NNR = 1065.6 \text{ m NGA}$
- La cote des plus hautes eaux : $NPHE = 1069.15 \text{ m NGA}$

CHAPITRE V
Etude des variantes

V.1 Introduction

Les barrages en terre sont des barrages en matériaux naturels composés généralement d'un noyau étanche, de recharge amont et aval maintenant le noyau et assurant la stabilité d'ensemble de système de drainage et d'étanchéité complémentaires et d'une protection en enrochement appelée rip-rap.[14]

Tous les barrages en terre peuvent être considérés comme des barrages poids, c'est-à-dire qu'ils résistent à la pression de l'eau par leurs propres poids. C'est ce qui explique leur section de forme trapézoïdale. On en trouve de trois types :

- Homogène ;
- À noyau ;
- À masque ;

V.2 Types des barrages en remblai à envisager : [15]

V.2.1 Barrage homogène

Un barrage en terre est dit homogène lorsqu'il est constitué d'un même matériau à dominante argileuse, relativement imperméable. Selon les ouvrages, la pente des talus sera plus ou moins forte, en fonction notamment des caractéristiques du matériau employé. Ils sont caractérisés par les caractéristiques suivantes :

- Disponibilité des matériaux fins en quantité suffisante ;
- Barrage le plus facile à réaliser ;
- Stabilité et étanchéité assurée par toute la digue ;
- Organe de drainage permettant de rabattre les pressions des eaux infiltrées ;
- Protection contre le battillage au parement amont ;

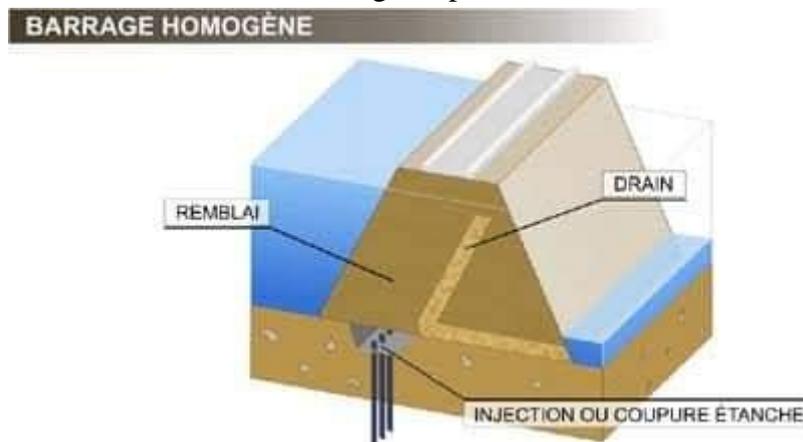


Figure V.1: Barrage homogène.

V.2.2 Barrage à noyau :

Dans un barrage à noyau les fonctions de résistance et d'étanchéité sont en quelque sorte séparées. La résistance est assurée par les recharges placées sur les flancs de l'ouvrage, et l'imperméabilité par le noyau central.

Le noyau au centre de l'ouvrage va être constitué de la terre la plus imperméable possible. Il sera tenu de part et d'autre par des recharges composées, selon les cas, de terre plus perméable, d'alluvions ou d'enrochements. Ils ont les caractéristiques suivantes :

- Les matériaux ne suffisent pas pour constituer toute la digue ;
- Etanchéité assurée par un noyau constitué de matériaux argileux ;
- Avantage : peu sensible aux agressions extérieures et longue durée de vie ;
- Inconvénient : difficilement réparable en cas de fuite ;
- Stabilité mécanique assurée par les recharges amont et aval ;
- Drain et filtre : pour rabattre les pressions d'infiltration et éviter l'entraînement des fines ;

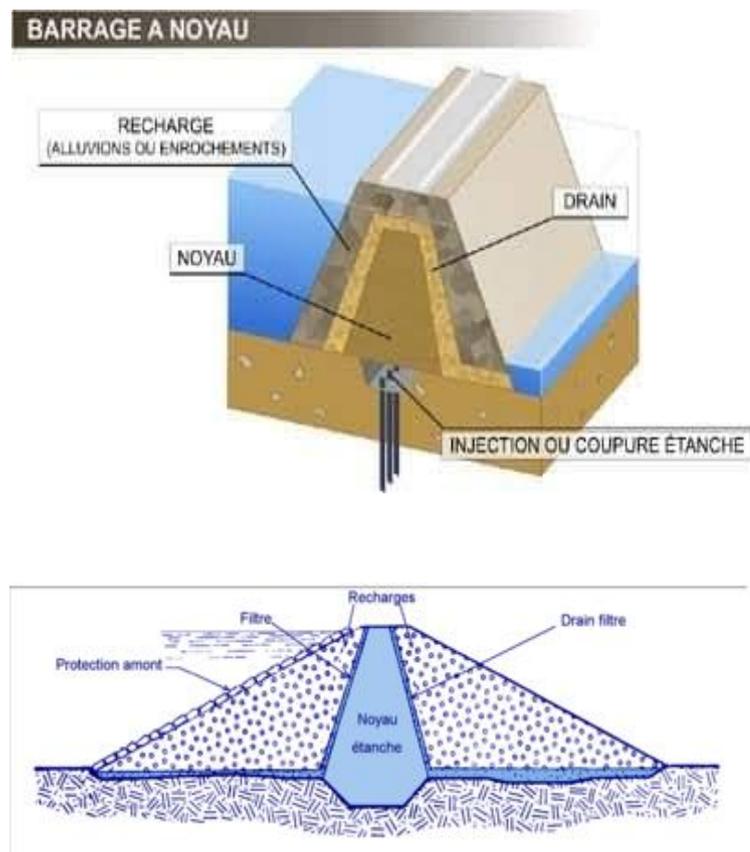


Figure V.2: barrage à noyau

V.2.3 Barrage à masque :

Il peut aussi exister des sites où aucune terre n'est disponible, mais seulement des enrochements. Ceux-ci sont alors employés pour réaliser le corps du barrage, tandis que l'étanchéité est assurée par un masque de béton, ciment ou béton bitumineux posé sur l'ouvrage lui-même, coté amont. Caractérisés par :

- Matériaux fins non disponibles ou difficulté de réalisation du noyau,
- Stabilité : corps de la digue,
- Etanchéité : masque amont plaqué sur le parement amont :

En béton de ciment ou bitumineux, chape préfabriquées, membranes souples :

Avantage : réalisation après montée des remblais, facilité de la réparation.

Inconvénient : exposé aux agressions extérieures.

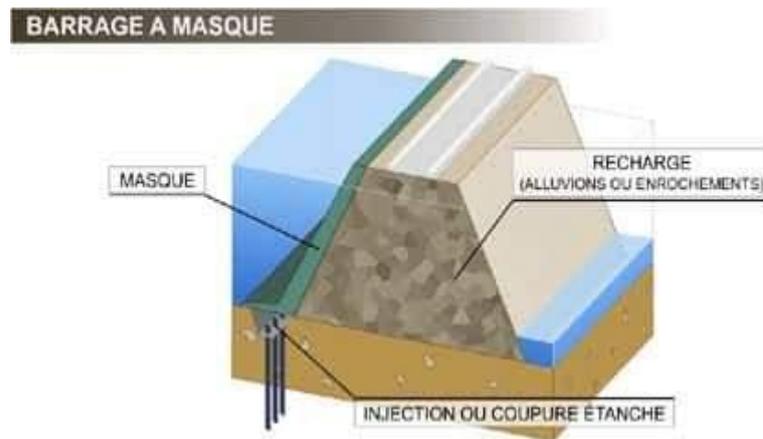


Figure V.3: Barrage a masque.

V.3 Etude des quatre variantes :[12]

V.3.1 Première variante : barrage en terre avec le noyau argileux central et les recharges en matériaux provenant des excavations :

Ce concept de variante comprend la réalisation du barrage en terre avec un noyau argileux et les recharges en matériau de tout-venant alluvionnaire. La crête du noyau adoptée est celle calée à la cote 1080.00 NGA. La largeur minimale du noyau au niveau de la crête présente 3,0m. La largeur de la crête du barrage prévue est de 8,0 m.

Il est prévu que l'étanchéité du barrage soit assurée par la réalisation du noyau argileux avec les fruits de 1 : 0,2. En tant que protection du noyau en filtres, des filtres de sable et de gravier d'épaisseur de 2.0 sont prévus. La stabilité du barrage est assurée par la recharge en matériau alluvionnaire. Le parement amont du barrage présente un fruit de 1 : 2. Le long du parement amont est prévue la réalisation d'un revêtement en rip-rap. Dans la recharge amont, approximativement à la moitié de la hauteur du barrage est prévu un drain d'une épaisseur de 2,0 m qui sera réalisé en matériau filtre graveleux. La fonction de ce drain est d'assurer, en cas des fluctuations plus importantes du plan d'eau dans le réservoir, un drainage efficace de la recharge amont. Du côté aval, le fruit supposé est de 1 : 1,8 avec un revêtement en gravier grossier.

Dans la partie amont, dans le cadre du barrage, la réalisation d'un batardeau est prévue avec un fruit du parement amont de 1 : 2,5.

La fondation de la recharge du barrage sera calée dans le matériau alluvionnaire qui s'étend par-dessus d'un faciès rocheux. Cependant, afin d'assurer la stabilité de filtration du matériau alluvionnaire du sous-sol et de réduire la fuite d'eau du réservoir, il est prévu de fonder le noyau argileux dans la roche de base au minimum jusqu'à la profondeur de 1.5 m.

V.3.2 Deuxième variante : barrage en terre avec le noyau central et les recharges en enrochement :

Ce concept comprend la réalisation d'un barrage en terre avec un noyau argileux central et les recharges en enrochement.

La différence de base entre les variantes A et B du barrage en terre réside sur le matériau constituant les recharges amont et aval. Dans la variante B, la stabilité du barrage est assurée par les recharges en enrochement.

La réalisation des recharges amont et aval en enrochement permet la réalisation des parements amont et aval en fruits plus abrupts par rapport à la variante A. Le fruit prévu du parement amont présente 1 : 1,65. Par-dessus du parement amont est prévue la mise en place du revêtement en rip-rap. Du côté aval, le fruit adopté est celui de 1 : 1,65 avec un revêtement en pierre de taille grossière.

Sur la partie amont, dans le cadre du barrage, la réalisation du batardeau est prévue avec un fruit du parement amont de 1 : 2.

Ainsi qu'en variante A, c'est le matériau alluvionnaire qui s'étend par-dessus du faciès rocheux qui est censé recevoir les fondations des recharges du barrage. Néanmoins, en vue d'assurer la stabilité de filtration de ce matériau alluvionnaire dans l'assiette du barrage et la réduction de fuite d'eau du réservoir, il est prévu que la roche de base reçoive les fondations du noyau argileux dans une profondeur minimale de 1.5 m.

V.3.3 Troisième variante : barrage en terre en enrochement avec un masque amont en béton :

Ce concept de variante prévoit que l'étanchéité du barrage soit assurée par un masque en béton d'épaisseur de 0.3 à 0.6 m étendu sur le parement amont tandis que la recharge du barrage serait érigée en matériau d'enrochement. Le fruit adopté du parement amont est $V : H = 1 : 1,5$. Il est prévu que la zone intermédiaire entre le masque en béton et la recharge en enrochement fassent 2 couches d'épaisseurs respectives de 4 m de la pierre cassée et en granulation appropriée.

Le fruit adopté du parement aval est de 1 : 1,5 avec une risberme de largeur de 3.0 m approximativement à la moitié de la hauteur du barrage.

Par ce concept, il est prévu que les fondations du barrage reposent dans les alluvions naturelles sauf celles du masque en béton et des zones de transition qui seront calées dans la roche de base dans une profondeur de 3,0 m. Les fondations du masque en béton seront réalisées par une structure spéciale en béton (plinthe).

Pour assurer la stabilité de la filtration du barrage, dans la zone de la plinthe, deux mesures sont envisagées : - Au-dessus de la plinthe, une couche de sol de granulation fine sera remblayée et ensuite une couche de matériau rapporté d'excavations - Dans l'extrados de la plinthe, une zone spéciale de filtre est prévue en matériau gravelot sableux.

Dans l'extrados de la plinthe, dans une longueur d'environ 15 m qui correspond à 1/3 de la hauteur du barrage, il est prévu de réaliser des filtres horizontaux constitués en matériaux des zones transitoires. Le rôle de ces filtres horizontaux est d'assurer la stabilité de la filtration de la roche de base dans l'assiette du barrage.

V.3.4 Quatrième variante : barrage poids en BCR :

La coupe type pour cette variante a les caractéristiques suivantes :

- Le parement vertical amont en béton armé d'une épaisseur minimale de 1,3 m.
- Le parement aval à redents d'un fruit de $1V/0,9H$ entre la cote de la crête de l'évacuateur de crue et le pied aval du barrage.
- Une crête de largeur suffisante de 8 m qui assure une bonne mise en place du BCR ainsi qu'un accès à la crête du côté droit.

- Les fondations du barrage en BCR doivent reposer dans la roche saine de base, et ce n'est qu'après le décapage des matériaux non cohérents (éboulis de pente et dépôts alluviaux).
- La cuillère de l'évacuateur de crue serait réalisée en béton armé avec la mise en place nécessaire des boulons d'ancrage au niveau du radier de la cuillère.
 - La galerie/tunnel de dérivation provisoire, ainsi que la vidange de fond font partie intégrante dans la partie du barrage qui ne comprend pas d'évacuateur de crue réalisé en béton armé dont la cuillère de la galerie de dérivation, c'est-à-dire celle de la vidange de fond, serait aussi réalisée.
 - Les galeries d'injection et de drainage dans la zone amont du barrage pour la réalisation du voile d'étanchéité qui assure l'étanchéité du profil ainsi que le drainage des eaux de percolation.

V.4 Conclusions :

L'analyse du type de barrage et de ses ouvrages annexes a été effectuée pour le site de barrage, qui s'est avéré optimal. Au droit de ce site, quatre types d'ouvrages de retenue ont été analysés afin de choisir le type optimal :

- Variante A – Barrage en remblai à noyau central argileux et recharges en matériaux d'excavations ;
- Variante B – Barrage en remblai à noyau central argileux et recharges en enrochement ;
- Variante C – Barrage en remblai en enrochement à masque amont en béton ;
- Variante D – Barrage poids en BCR.

Le tableau V.I ci-dessous présente un aperçu des investissements nécessaires pour la construction de quatre variantes analysées du barrage et des ouvrages annexes, ainsi que les coûts économiques moyens de 1 m³ d'eau régularisée et fournie au pied du barrage.

Tableau V.1:Aperçu des investissements nécessaires et les prix économiques de l'eau livrée au pied du barrage pour les types des barrages analysés et leurs ouvrages annexes

	Investissements (DA)	Prix économiques de l'eau livrée au pied du barrage (taux d'actualisation de 4%) (DA/m³)
Variante A	13.700.088.454	316.00
Variante B	13.395.597.304	310.00
Variante C	13.602.456.859	308.00
Variante D	13.974.534.926	740.19

Source (A.N.B.T)

On constate que les investissements nécessaires à la construction d'un barrage en béton compacté au rouleau (variante D) sont nettement supérieurs à ceux des autres variantes.

Les autres variantes étant comparables, les avantages et les inconvénients des types de barrages analysés sont prises en compte plus en détail ci-dessous pour déterminer la variante optimale. L'analyse a compris :

- Impact de l'effet sismique sur le choix du type de barrage en remblai ;
- Disponibilité, quantité et qualité des matériaux destinés à la construction du barrage en remblai ;
- Conditions de construction du barrage et dynamique des travaux du barrage ;
- Réparations d'éventuels endommagements causés au cours de l'exploitation de l'ouvrage ;
- Valeur d'investissement de la construction du barrage ;

Dans les analyses des facteurs ci-dessus mentionnées importants pour le choix du type de barrage, la variante B - barrage en remblai au noyau central argileux et des recharges en enrochements compactés a été mise en évidence. Concernant la variante B : à proximité immédiate du profil de barrage, des quantités suffisantes de matériau à mettre en place dans le corps du barrage ont été potentiellement confirmées. Pour la variante A (barrages en remblai au noyau central argileux et recharges en terre), des quantités suffisantes de matériau pour les corps n'ont pas été confirmées, ce qui exclut immédiatement la variante A de toute autre considération.

La variante B est plus appropriée que la variante C - le barrage en remblai avec masque en béton en amont en termes de facteurs suivant :

- Résistance sismique,
- Possibilité de réparer tout dommage pouvant survenir pendant la durée d'exploitation du barrage,
- Disponibilité et traitement nécessaire des matériaux destinés à être mis en place dans le corps du barrage.
- Une recharge amont en matériau plus grossier et drainant assurant la stabilité amont même après une vidange rapide ;
- Une recharge aval stabilisatrice en matériau peu déformable ;

Au vu de ce qui précède, il se distingue le barrage en remblai au noyau central argileux et aux recharges en enrochements compactés - variante B, et cette variante est adoptée comme solution de conception optimale.

CHAPITRE VI

Dimensionnement de l'ouvrage

VI.1 Introduction

Après avoir choisi le type du barrage, on opte pour l'étape de dimensionnement qui consiste à définir le profil général du barrage.

VI.2 Les différentes composantes du barrage

La figure (VI.1) suivante donne la coupe schématique d'un barrage en remblai, sont aussi mentionnés les principaux termes utilisés pour caractériser les composantes de ce type de barrage, on notera surtout :

VI.2.1 La crête

Elle facilite la circulation sur le barrage une fois terminée. Le niveau de la crête définit la hauteur maximale qu'atteint le barrage.

VI.2.2 Berme

Elle permet la réalisation de la réparation des revêtements de talus, contribue à la stabilité des digues, réduit la vitesse des eaux de ruissèlement sur les surfaces des talus aval.

VI.2.3 Ecran d'injection

C'est généralement un coulis de ciment ou de résine injecté dans la base du barrage pour diminuer les fuites à travers le sol de fondation en colmatant les pores et les fissures.

VI.2.4 Drains

Ce sont des organes de barrage réalisés en matériaux pulvérulent et drainants. Ils servent à contrôler et à orienter les infiltrations dans le corps du barrage. Ils peuvent être horizontaux, verticaux ou de pied.

VI.2.5 Filtres

Ce sont des dispositifs incorporés avec les drains. Ils sont réalisés en matériaux drainant et permettant d'éviter le colmatage des drains et l'érosion interne du massif.

VI.2.6 Noyau

C'est un organe réalisé en matériau fin imperméable, il permet l'étanchéité des barrages zonés.

VI.2.7 Recharge

Elle est réalisée en matériau grossier et placée de part et d'autres du noyau, elle est indispensable pour la fonction de stabilité du barrage.

VI.2.8 Parement de protection :

C'est une couche mince placée sur les parements pour lutter contre l'action des vagues et la pluie.

VI.2.9 Revanche

La revanche R est la différence de cote entre les plus hautes eaux (PHE) correspondant à la crue de projet et la crête pour éviter la submersion du remblai par les vagues.

VI.2.10 Tapis étanche

Quand le fond du réservoir n'est pas très étanche, il est recommandé de le tapisser par un matériau imperméable permettant la diminution des fuites.

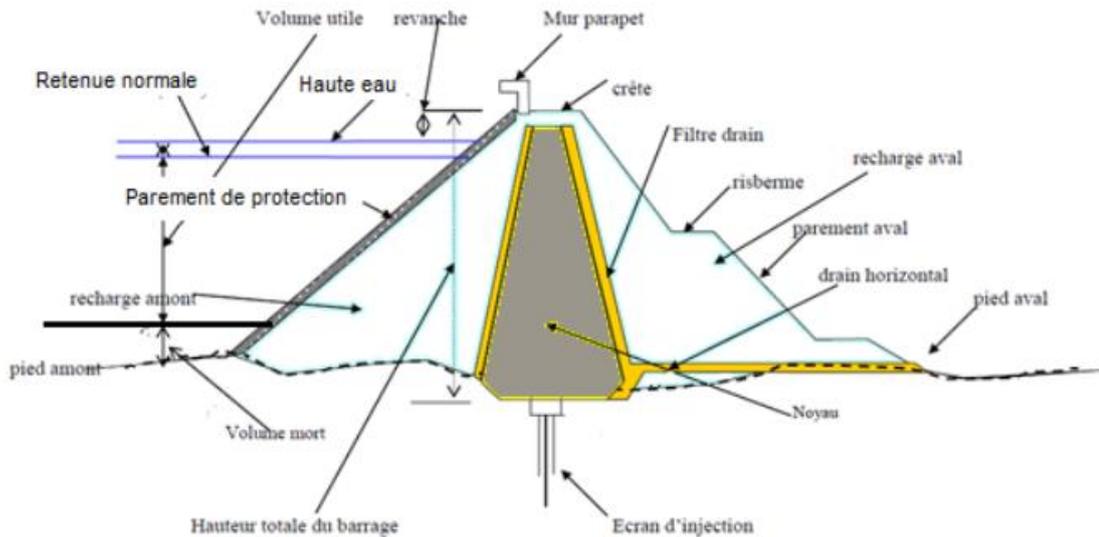


Figure VI.1: coupe schématique d'un barrage en remblai (Millogo Founémé A. ,2009)

VI.3 Dimensionnement de la digue

VI.3.1 Calcul du différent niveau d'eau

VI.3.1.1 Volume mort de la retenue (VMR)

Ce volume est repéré par la tranche d'eau située entre le niveau du lit de la retenue (NLR) et le niveau mort (NVM), généralement, c'est à ce niveau (NVM) que l'on place l'évacuateur du fond pour évacuer les dépôts de vase, il sert également à la vidange de la retenue.[16]

donnée par la formule de TIXERENT

$$V_m = (1.05 \div 1.10) * \frac{Qs * T}{\gamma_s} \dots \text{(VI.1)}$$

$$V_m = 3.7 \text{ Mm}^3.$$

VI.3.1.2 Niveau normale de la retenue (NNR)

C'est l'altitude de la ligne d'eau d'un plan d'eau artificiel dans les conditions normales d'utilisation de l'ouvrage qui génère et régule ce plan d'eau (généralement un barrage). Elle est donnée par la projection sur la courbe hauteur-volume on obtient :[17]

$$\text{NNR} = 1065.60 \text{ m NGA}$$

VI.3.1.3 Niveau des plus hautes eaux (N.P.H.E)

C'est le niveau maximum prévisible atteint par les eaux dans un cours d'eau ou dans une retenue.[18]

Avec :

$$\text{NPHE} = \text{NNR} + H_0 \text{ (VI.3).}$$

On aura :

$$NPHE=52.15 \text{ m NGA}$$

H_0 : la charge au-dessus du déversoir, définie en fonction de laminage des crues.

VI.4 La revanche

Distance entre le niveau des plus hautes eaux et la partie supérieur' d'un batardeau, d'une digue, d'un barrage, ou l'intrados d'un tablier de pont. Elle est en fonction de la hauteur H_v et la vitesse V des vagues que le vent peut former dans la retenue.[19]

- La revanche R est donnée par la relation suivante :

VI.4.1 Formule de STEVENSON:

Pour (fetch) $< 18km$ on a :

$$R_v = 0.75H_v \frac{v_v^2}{2g} \quad (\text{VI.4})$$

$$Vv = 1.5 + 0.66H_v^{1/2} \quad (\text{VI.5})$$

$$H_v = 0.75 + 0.34\sqrt{F} - 0.26\sqrt[4]{F} \quad (\text{VI.6})$$

Avec :

H_v : la hauteur des vagues

Vv : vitesse de propagation de la vague (m/s)

g : accélération de la gravite

F : longueur de la surface d'eau du lac en suivant le vent en km ($F= 3.15 \text{ km}$).

R_v : hauteur de monte de la vague (m).

VI.4.2 Formule de Mallet-paquant

$$R_v = h_v + \frac{v_v^2}{2g} \dots \quad (\text{VI.7})$$

la vitesse des vagues est donnée par la formule suivante

$$v_v = \frac{2}{3} + \frac{2}{3}h_v \dots \quad (\text{VI.8})$$

$$h_v = \frac{1}{2} + \frac{1}{3}\sqrt{F} \dots \quad (\text{VI.9})$$

VI.4.3 Formule de l'U.S.B. R

$$R = 0.75h_v + \frac{v_v^2}{2g} \dots \quad (\text{VI.10})$$

$$Vv = 1.5 + 2h_v \dots \quad (\text{VI.11})$$

$$Hv = 0.75 + 0.34\sqrt{F} - 0.26\sqrt[4]{F} \dots \quad (\text{VI.12})$$

Remarque : Il existe une formule simplifiée qui nous donne la revanche en fonction du Fetch, les résultats dans le tableau (VI.1)

$$Rv = 1 + 0.3\sqrt{F} \quad (\text{VI.13})$$

Tableau VI.1: Tableau récapitulatif des résultats de calcul de la revanche

Formule	Hv(m)	V(m/s)	R(m)
F.Stevenson Gaillard	1.01	3.51	1.38
F.Mallet paquent	1.09	3.67	1.50
F.Simplifiée	-	-	1.53
Moyenne	-	-	1.47

Interprétation :

Pour notre cas, on prend la valeur la plus proche de la moyenne, donc : $R=1.5 \text{ m}$

VI.5 Le tassement :

La valeur du tassement est calculée par la formule suivante :

$$T = 0.015 * H_b \quad (\text{VI.13})$$

$$H_b = NNR - Cf + H_d + R + T \quad (\text{VI.14})$$

Avec :

H_b : Hauteur du barrage (m).

NNR : Niveau normal de la retenue (m) ;

Cf : Cote du fond (m) ;

h_d : Hauteur de la lame déversant (m) ;

$$H_b = 54 \text{ m}$$

Donc le tassement est de l'ordre :

$$T = 0.81 \text{ m}$$

VI.6 La largeur en crête :

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

VI.6.1 Formule de T.Knappen (Ministère de l'agriculture française, 1977)

$$b_{cr} = 1.65\sqrt{H_b} \quad (\text{VI.15})$$

VI.6.2 Formule de E.F.Preece (Poste & Londe , 1953)

$$b_{cr} = 1.1\sqrt{H_b} + 1 \quad (\text{VI.16})$$

VI.6.3 Formule simplifiée de Rolley (Ministère de l'agriculture française, 1977)

$$b_{cr} = 3.6 * H_b^{\frac{1}{3}} - 3 \quad (\text{VI.17})$$

VI.6.4 Formule pratique

$$b_{cr} = \frac{5}{3} * \sqrt{H_b} \text{ (VI.18)}$$

Tableau VI.2:Récapitulatif des valeurs de la largeur en crête

Formule	Largeur en crête
T.T.KNAPPEN	12.12 (m)
PREECE	9.07 (m)
ROLLEY	10.60 (m)
F.PRATIQUE	12.23 (m)

Interprétation

Pour notre cas, on prend la valeur la plus proche de la moyenne, est donc =11m

VI.7 pente des talus

L'inclinaison des talus est exprimée par les termes « pente » ou « fruit ». Dans le cas des barrages en remblai, le terme pente (inverse du fruit) est communément utilisé. La pente du talus qui est le rapport de la hauteur du talus sur sa projection horizontale est fixée par le calcul de sa stabilité.

Tableau VI.3:les pentes des talus selon les hauteurs des barrages.

Hauteur du barrage	Fruits des talus	
	Amont m_1	Aval m_2
<5	2÷2.5	1.5÷1.75
5 < H<10	2.25÷2.75	1.75÷2.25
10 < H<15	2.5÷3	2.0÷2.5
15 < H<50	3÷4	2.5÷4
>50	4÷5	4÷4.5

- Pour le calcul préliminaire, on adopte les valeurs suivantes :

Talus amont : $m_1 = 4.5$

Talus aval : $m_2 = 5$

VI.8 la base de la digue

Elle est donnée par la formule suivante :

$$B = b_{cr} + (m_1 + m_2)H_b \dots \text{ (VI.19)}$$

$$B = 524 \text{ m}$$

VI.9 Bermes

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

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

VI.10 Dimensionnement du noyau

Pour dimensionner le noyau on doit suivre les étapes suivantes :

VI.10.1 La Hauteur à la crête

$$H = H_b = 54 \text{ m}$$

VI.10.2 Largeur en crête du noyau

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

$$l_n = \frac{1}{6} H_b \text{ (VI.20)}$$

Avec :

L_n : largeur du noyau en crête ;

D'où :

$$L_n = 9 \text{ m}$$

VI.10.3 La base du noyau :

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

$$L_N = 6 + c \cdot H_b \dots \text{ (VI.21)}$$

Avec :

L_N : La base du noyau ;

C : coefficient $0.30 \leq c \leq 0.75$ on prend $c=0.5$

Donc :

$$L_N = 33 \text{ m.}$$

VI.11 Conclusion

Dans l'étude effectuée, on est arrivé à trouver les dimensions suivantes qui définissent le profil général du barrage Rekhouché :

- La hauteur total du barrage $H_b = 54 \text{ m}$;
- La revanche est de l'ordre $R = 1.5 \text{ m}$;
- Le tassement $T = 0.81$;
- La largeur en crête $b = 11 \text{ m}$;
- La pente du talus amont $m_1 = 4.5$;
- La pente du talus aval $m_2 = 5'$;
- La base de la digue $B = 524 \text{ m}$;
- La largeur en crête du noyau $l_n = 9 \text{ m}$;
- La base du noyau $L_N = 33 \text{ m}$.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

À l'aide de ce travail, nous avons réalisé une étude de faisabilité du barrage Rekhouché, située sur l'Oued portant le même nom dans la wilaya de Khenchela, destinée à l'irrigation de périmètre agricole ainsi que l'alimentation en eau potable des communes voisines permettant un développement socioéconomique de la région.

Les résultats des analyses et des investigations exécutées dans le cadre de l'étude de Faisabilité du barrage Rekhouché (Khenchela), permet de tirer les conclusions suivantes :

- ✓ selon les études topographiques, géologiques, géotechniques réalisées plus les résultats de reconnaissances et les essais effectués jusqu'à présent, il n'y a pas de données négatives ni de problèmes majeurs au niveau des sites qui pourront gêner la construction du barrage.
- ✓ Les résultats des reconnaissances sont suffisants pour ce niveau de projet (étude de faisabilité) et ont permis à réaliser une étude géologique- géotechnique fiable qui permettra la réalisation des variantes des barrages.
- ✓ Pour sauvegarder les habitats situés en aval, le débit maximal de la crue qui sera pris en compte pour l'étude de laminage est la crue de 1000 ans, $Q_{0.01\%} = 1143.01 \text{ m}^3/\text{s}$, par contre le débit laminé est de $874.16 \text{ m}^3/\text{s}$.
- ✓ On conclut que la cote NNRest égale à 1065.6m avec un volume utile qui est égale à 12.30 Mm^3 et un volume mort est de 3.7 Mm^3 .
- ✓ Après la détermination de la cote des plus hautes eaux, on a pu calculer la hauteur totale du barrage qui est de 54 m.

Annexe I.1: Résultats des essais de laboratoire de l'argile au niveau du sondage F13.

Sondages carottés		F 13	F 13
Profondeur (m)		4.15 – 4.30	8.90 – 9.10
Teneur eau	w [%]	22.56	18.90
Teneur eau saturée	w sat [%]	32.55	20.41
degrés de saturation	Sr [%]	69.30	92.56
densité sèche	γ_d [t/m ³]	1.44	1.74
densité humide	γ_h [t/m ³]	1.76	2.07
Granulométrie (Passants)	5.0mm [%]	94,02	97,13
	2.0mm [%]	91,9	96,04
	0,08 mm [%]	89,1	95,02
Limite d'Atterberg	WL [%]	58,34	48,42
	WP [%]	27,75	27,05
	IP [%]	30,59	21,37
Teneur en carbonates CaCO ₃	[%]	2.91	1.94
Teneur en matière organique MO	[%]	8.3	6.9

Annexe I.2: Résultats des essais de laboratoire au niveau du sondage PF3

Sondages carottés		PF 03
Profondeur (m)		0,20 à 4,10
Poids spécifique		2,48
Granulométrie (Passants)	5.0mm [%]	96,91
	2.0mm [%]	95,91
	0,08 mm [%]	76,16
Limite d'Atterberg	WL [%]	44,5
	WP [%]	21,96
	IP [%]	22,54
Teneur en carbonates CaCO ₃	[%]	36,84
Teneur en matière organique MO	[%]	5,36

Annexe I.3: Résultats des essais de laboratoire de la zone de la carrière

Sondages carottés		F 11	F 12	F 12	F13	F13
Profondeur (m)		23,00 à 28,00	5,20 à 10,30	10,30 à 15,20	15,50 à 20,60	20.60 à
densité humide	γ_h [t/m ³]	2,59	2,55	2,5	2.49	2.54
LOS ANGELES	LAS [%]	43,61	49,18	37,86	49.45	48.35
Essai Brésilien	Rt moy sec (MPa)	5.302	7.735	6.569	6.163	6.373
	Rt moy saturé (MPa)	4.452	5.761	4.876	3.176	4.372
Essai de résistance à résistance à la compression "RC"	RC sec (MPa)	38.733	63.639	47.293	53.445	62.142
	RC saturé (MPa)	33.134	51.888	38.591	43.918	43.698

Annexe I.4 : Résumé des résultats des essais Lugeons réalisés.

Forage	Profondeur (m)	Description - Type de roche, altération et discontinuité	Valeur Lugeon	Type d'écoulement	Observations
	10.0- 15,0	Marne gris foncé partiellement altérée et fissurée. Fissures avec traces de	151.53	Larges fissures ou cavités	Débit d'eau très élevé (177.3 l/min); Pression maximale atteinte de 3.3 bars.
	15,0- 20,0	Marne altérée et fissurée; zone tectonisée (faille) de 18,7 à 19,0 m	112.37	Larges fissures ou cavités	Débit d'eau très élevé (140.5 l/min); Pression maximale atteinte de 3.8 bars.
	20,0- 25,0	Calcaire dur et compact; et marne gris clair avec fissures subverticales	23.90	Larges fissures à travers lesquelles l'écoulement de l'eau est principalementt en régime luminaire	Forte perméabilité (85.4 l/min sous pression de 8 bars).

PF 2	25,0-30,0	Marne et calcaire. Intercalation de brèche sédimentaire poreuse de 25.8 à 26.0 m	72,91	Larges fissures ou cavités	Très forte perméabilité (102,7 l/min sous pression de 4.8 bars).
	30,0-35,0	Série de marne avec intercalation de calcaire	20.64	En principe, Régime laminaire	Forte perméabilité (89.8 l/min sous pression de 9.29 bars).
	35.0-40.0	Calcaire fort, compact et faiblement fissuré	4.82	Régime laminaire	Faible perméabilité
	40,0-45,0	Calcaire fort, compact et faiblement fissure	4.30	Augmentation du débit due au lessivage des fissures ; régime principalement turbulent	Faible perméabilité
	45,0-50,0	Série de marne et de calcaire. En zone de contact avec calcaire, marne est altérée	86,73	Larges fissures ou cavités	Très forte perméabilité (174,2 l/min sous pression de 6.8 bars).
	50,0-55,0	Série de marne et de calcaire. En zone de contact avec calcaire, marne est altérée	106.33	Larges fissures ou cavités	Très forte perméabilité (176,6 l/min sous pression de 6 bars).
	55,0-60,0	Série de marne et de calcaire. En zone de contact avec calcaire, marne est altérée	93,46	Larges fissures ou cavités	Très forte perméabilité (176,6 l/min sous pression de 6 bars).
PF 3	10,0-15,0	Marne gris foncé fortement altérée	4.26	Régime laminaire de l'écoulement d'eau	Faible perméabilité
	15,0-20,0	Marne gris foncé fortement altérée et calcaire faiblement fissure	1.37	En principe, le régime laminaire de l'écoulement d'eau	Roche imperméable à faiblement perméable
	20,0-25,0	Marne et calcaire faiblement fissures	1.71	régime laminaire de l'écoulement d'eau	Roche imperméable à faiblement perméable

	25,0-30,0	Série de marne gris foncé et calcaire	2,30	Régime turbulent	Roche imperméable à faiblement perméable
Forage	Profondeur (m)	Description - Type de roche, altération et discontinuité	Valeur Lugeon	Type d'écoulement	Observations
	30,0-35,0	Série de marne gris foncé et calcaire faiblement fissuré	2.09	Régime turbulent	Roche imperméable à faiblement perméable
	35.0-40.0	Calcaire faiblement fissure	2.80	Régime turbulent	Roche imperméable à faiblement perméable
PF 6	20,0-25,0	Série de marne gris foncé et calcaire. A 22.5 m, marne altérée avec fissures lisses sous un angle de 30 degrés.	79,69	Larges fissures ou cavités	Très forte perméabilité (123,3 l/min sous pression de 4.3 bars).
	25,0-30,0	Série de marne gris foncé et calcaire. En zone de contact avec calcaire, marne est altérée.	87,00	Larges fissures ou cavités	Très forte perméabilité (123,2 l/min sous pression de 4.8 bars).
	30.0-35,0	Marne gris foncé, dure et compacte, faiblement fissurée.	1.72	Régime turbulent	Roche imperméable à faible perméabilité
	40,0-45,0	Marne gris foncé, dure et compacte, faiblement fissurée.	3,85	Régime laminaire	Faible perméabilité
	45,0-50,0	Marne gris foncé, dure et compacte, faiblement fissurée.	3,53	Régime turbulent	Faible perméabilité
	50,0-55,0	Marne gris foncé, dure et compacte, faiblement fissurée.	2.12	Régime turbulent	Roche imperméable à faiblement perméable

PF 9	10,0-15,0	Calcaire dur, compact, faiblement fissuré.	2.15	Régime laminaire	Roche imperméable à faiblement perméable
	15,0-20,0	Calcaire dur, compact, faiblement fissuré.	1.11	Régime laminaire	Roche imperméable à faiblement perméable
	20,0-25,0	Alternance de marne et de calcaire ; calcaire est compact et faiblement fissuré, de résistance élevée.	1.01	Régime laminaire	Roche imperméable à faiblement perméable
	25,0-30,0	Marne, dure et compacte, faiblement altérée, par endroits fissurée le long des fissures des strates	3.73	Régime laminaire	Faible perméabilité
	30,0-35,0	Marne, dure et compacte, faiblement altérée, par endroits fissurée le long des fissures des strates	4.24	Régime turbulent, en augmentant de la pression, les fissures existantes s'élargissent	Faible perméabilité
	35,0-40,0	Marne et calcaire, durs, faiblement altérés, par endroits fissurés le long des fissures des strates	3.57	En principe, le régime d'écoulement laminaire	Faible perméabilité

Annexe 1.5: Résultats des essais de perméabilité par la méthode Lefranc.

Sondage	Tranche de l'essai (m)	Kf (m/s)	Description- Type de roche, altération et discontinuité
PF 3	3,0-3,5	1,58 E-06	Sédiments limoneux-vaseux-argileux (faciès de la crue)
PF 3	6,0-6,5	1,02 E-06	Gravier de différente granulation, à gros grains, avec une faible participation du composant argileux (faciès du lit de l'oued)

PF 6	3,0-3,5	4,51 E-07	Marne fortement altérée, de couleur jaune clair, avec intercalations de calcaires par endroits. Les propriétés physico-mécaniques des calcaires étant inférieures.
PF 6	6,0-6,5	5,13 E-07	
PF 9	3,0-3,5	6.93 E-07	Sable de couleur jaune rougeâtre, de taille moyenne, avec inclusions de graviers fins jusqu'à 3 mm.
PF 9	6,0-6,5	6.79 E-07	Gravier d'origine calcaire, de taille moyenne à grossière. Au début de l'intervalle, le gravier est de taille moyenne, ensuite grossière.

Annexe 1.6: Interprétation des résultats de l'essai de SPT

Couche	Profondeur du sondage	Po'(kN/m ²) ($\gamma \cdot d$)	N30(SPT)	N60	N1,60	Ic	qc(MPa)	Mv(MPa)
Marnes très altérées	PF6 (2,00m - 2,45 m)	(19.5 x 2.45) 47.775	29	17.4	23.54	1.14	4.71	14.13
	PF6 (3,50m - 3,95 m)	77.025	29	17.4	19.66	1.08	3.93	11.79
	PF6 (9,50 - 9,95 m)	194.025	36	21.6	10.96	0.88	2.19	6.57
	PF6 (11,50 -	232.05	34	20.4	12.29	0.92	2.46	7.38
	PF6 (13,60 - 14,05	273.975	37	22.2	11.88	0.90	2.38	7.14
EN MOYENNE :					15.67	0.984		9.402
Sable	PF9 (2,00- 2.45	(19.5 x 2.45) 47.775	28	16.8	22.68	1.13	9.07	22.67

	PF9 (4.00 - 4,45)	86.775	24	14.4	15.40	1.01	6.16	15.4
EN MOYENNE :					19.04	1.07		19.035
Limon argileux	PF3 (1,50m - 1,95)	(19.5 x2.45) 38.025	12	7.2	10.44	0.87	2.09	14.13

Annexe I.7: Résultats des essais pressiométriques.

Sondage	Profondeur de l'essai (m)	Description - Type de roche, altération et discontinuité	Pression de fluage pf-pression limite	Module pressiométrique
PF' 2	10	Marne gris foncé, partiellement altérée et fissure	>49,5	1605,1
	20	Calcaire de couleur gris clair, d'aspect bréchiq ue, dur et	>50,70	2721,8
	25	Marne gris clair, dure et compacte avec fissures	>51,1	2445,3
	30	Calcaire de couleur gris clair, d'aspect bréchiq ue, dur et	>51.7	3636,0
PF'3	10	Marne gris foncé très altérée	>49,5	1399,9
	15		>50,1	2477,7

Annexe IV.1 Hydrogramme laminé b=60 m

T	I	I1+I2	2S/T+O	(2S/T+O)-2O	O(m³/s)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	5.59	5.59	5.59	4.80	0.40
1.00	22.37	27.97	32.77	28.07	2.35
1.50	50.34	72.71	100.79	85.95	7.42
2.00	89.49	139.83	225.78	190.97	17.41
2.50	139.83	229.33	420.30	351.07	34.62
3.00	201.36	341.19	692.26	568.57	61.84
3.50	274.07	475.43	1044.00	839.99	102.01
4.00	357.97	632.05	1472.04	1157.35	157.34
4.50	453.06	811.03	1968.38	1511.09	228.65
5.00	559.33	1012.39	2523.48	1893.73	314.87
5.50	676.79	1236.12	3129.86	2303.09	413.38
6.00	805.44	1482.23	3785.32	2744.44	520.44
6.50	945.27	1750.71	4495.15	3232.55	631.30
7.12	1134.20	2079.47	5312.02	3823.64	744.19
7.50	1074.74	2208.94	6032.58	4386.06	823.26
8.00	999.71	2074.45	6460.51	4744.08	858.22
8.50	928.27	1927.98	6672.06	4928.78	871.64
9.00	860.31	1788.57	6717.35	4969.03	874.16
9.50	795.75	1656.05	6625.08	4887.29	868.89
10.00	734.50	1530.25	6417.54	4707.21	855.16
10.50	676.48	1410.98	6118.19	4456.11	831.04
11.00	621.60	1298.08	5754.19	4163.28	795.46
11.50	569.77	1191.37	5354.65	3855.69	749.48
12.00	520.90	1090.67	4946.36	3554.01	696.18
12.50	474.92	995.82	4549.83	3270.94	639.44
13.00	431.72	906.63	4177.57	3012.09	582.74
13.50	391.22	822.94	3835.02	2778.14	528.44
14.00	353.34	744.56	3522.70	2567.13	477.78
14.50	317.99	671.32	3238.46	2376.04	431.21
15.00	285.07	603.06	2979.10	2201.74	388.68
15.50	254.51	539.59	2741.33	2041.44	349.94
16.00	226.22	480.73	2522.18	1892.85	314.66
16.50	200.10	426.32	2319.17	1754.13	282.52
17.00	176.08	376.18	2130.31	1623.88	253.22
17.50	154.06	330.14	1954.02	1501.03	226.49
18.00	133.96	288.02	1789.05	1384.79	202.13
18.50	115.69	249.64	1634.44	1274.59	179.93
19.00	99.15	214.84	1489.42	1169.98	159.72

Annexe IV.1 Suite

T	I	I1+I2	2S/T+O	(2S/T+O)-2O	O(m³/s)
19.50	84.28	183.43	1353.41	1070.67	141.37
20.00	70.97	155.25	1225.92	976.46	124.73
20.50	59.14	130.11	1106.57	887.21	109.68
21.00	48.71	107.85	995.06	802.84	96.11
21.50	39.58	88.28	891.13	723.31	83.91
22.00	31.67	71.25	794.56	648.60	72.98
22.50	24.89	56.56	705.15	578.71	63.22
23.00	19.15	44.04	622.75	513.65	54.55
23.50	14.37	33.53	547.17	453.42	46.88
24.00	10.46	24.84	478.26	398.02	40.12
24.50	7.34	17.80	415.83	347.43	34.20
25.00	4.90	12.24	359.67	301.59	29.04
25.50	3.08	7.98	309.58	260.42	24.58
26.00	1.78	4.86	265.28	223.80	20.74
26.50	0.90	2.68	226.48	191.55	17.46
27.00	0.38	1.28	192.83	163.45	14.69
27.50	0.11	0.49	163.93	139.22	12.36
28.00	0.01	0.12	139.34	118.53	10.41
28.48	0.00	0.01	118.54	100.98	8.78
29.00	0.00	0.00	100.98	86.11	7.43
29.50	0.00	0.00	86.11	73.51	6.30
30.00	0.00	0.00	73.51	62.81	5.35
30.50	0.00	0.00	62.81	53.70	4.55
31.00	0.00	0.00	53.70	45.94	3.88
31.50	0.00	0.00	45.94	39.32	3.31
32.00	0.00	0.00	39.32	33.67	2.82
32.50	0.00	0.00	33.67	28.84	2.41
33.00	0.00	0.00	28.84	24.72	2.06
33.50	0.00	0.00	24.72	21.19	1.77
34.00	0.00	0.00	21.19	18.17	1.51
34.50	0.00	0.00	18.17	15.58	1.29
35.00	0.00	0.00	15.58	13.36	1.11
35.50	0.00	0.00	13.36	11.46	0.95
36.00	0.00	0.00	11.46	9.83	0.81
36.50	0.00	0.00	9.83	8.44	0.70
37.00	0.00	0.00	8.44	7.24	0.60
37.50	0.00	0.00	7.24	6.21	0.51
38.00	0.00	0.00	6.21	5.33	0.44
38.50	0.00	0.00	5.33	4.58	0.38
39.00	0.00	0.00	4.58	3.93	0.32
39.50	0.00	0.00	3.93	3.37	0.28

Annexe IV.1 Suite

40.00	0.00	0.00	3.37	2.89	0.24
40.50	0.00	0.00	2.89	2.48	0.20
41.00	0.00	0.00	2.48	2.13	0.18
41.50	0.00	0.00	2.13	1.83	0.15
42.00	0.00	0.00	1.83	1.57	0.13
42.50	0.00	0.00	1.57	1.35	0.11
43.00	0.00	0.00	1.35	1.16	0.10
43.50	0.00	0.00	1.16	0.99	0.08
44.00	0.00	0.00	0.99	0.85	0.07
44.50	0.00	0.00	0.85	0.73	0.06
45.00	0.00	0.00	0.73	0.63	0.05
45.50	0.00	0.00	0.63	0.54	0.04
46.00	0.00	0.00	0.54	0.46	0.04
46.50	0.00	0.00	0.46	0.40	0.03
47.00	0.00	0.00	0.40	0.34	0.03
47.50	0.00	0.00	0.34	0.29	0.02
48.00	0.00	0.00	0.29	0.25	0.02
48.50	0.00	0.00	0.25	0.22	0.02
49.00	0.00	0.00	0.22	0.19	0.02
49.50	0.00	0.00	0.19	0.16	0.01
50.00	0.00	0.00	0.16	0.14	0.01

Annexe IV.2 Hydrogramme laminé pour les différentes largeurs b

T	I	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.50	5.59	0.095	0.179	0.171	0.263	0.226	0.262	0.273	0.266	0.396	0.312	0.327	0.275
1.00	22.37	0.575	1.066	1.020	1.563	1.345	1.557	1.622	1.582	2.348	1.864	1.945	1.655
1.50	50.34	1.883	3.375	3.238	4.928	4.262	4.908	5.130	5.019	7.417	5.955	6.187	5.382
2.00	89.49	4.643	7.889	7.598	11.464	9.990	11.422	12.006	11.812	17.407	14.200	14.651	13.181
2.50	139.83	9.840	15.558	15.064	22.501	19.802	22.429	23.769	23.559	34.615	28.819	29.470	27.648
3.00	201.36	18.973	27.598	26.900	39.681	35.346	39.590	42.357	42.352	61.845	52.719	53.413	52.337
3.50	274.07	34.095	45.536	44.729	64.953	58.665	64.903	70.094	70.721	102.005	89.184	89.612	91.235
4.00	357.97	57.632	71.177	70.498	100.399	92.041	100.550	109.430	111.328	157.343	141.093	140.908	147.601
4.50	453.06	91.952	106.439	106.306	147.883	137.659	148.586	162.472	166.415	228.646	209.979	208.991	222.699
5.00	559.33	138.779	153.073	154.108	208.604	197.130	210.503	230.434	237.194	314.872	295.429	293.807	315.277
5.50	676.79	198.645	212.286	215.315	282.660	271.019	286.824	313.210	323.420	413.385	395.184	393.560	422.158
6.00	805.44	270.632	284.366	290.407	368.753	358.519	376.830	409.225	423.315	520.437	505.743	505.222	539.381
6.50	945.27	352.472	368.368	378.641	464.026	457.340	478.483	515.510	533.777	631.300	622.892	625.103	662.942
7.12	1134.20	443.377	464.569	480.808	567.096	567.163	592.216	631.849	654.979	744.193	746.908	754.686	794.967
7.50	1074.74	525.674	553.196	575.977	652.885	662.315	691.212	728.877	755.662	823.258	840.564	855.275	893.024
8.00	999.71	584.826	615.904	643.507	705.104	722.750	753.462	785.899	813.342	858.216	885.103	902.978	934.206
8.50	928.27	625.996	657.670	688.153	734.880	758.224	788.914	815.976	842.039	871.642	901.323	918.125	942.295
9.00	860.31	653.821	684.116	715.626	750.754	776.867	805.863	828.457	851.598	874.161	899.917	912.260	929.183
9.50	795.75	671.358	699.335	730.142	757.723	783.603	809.356	828.390	847.311	868.894	885.094	890.992	900.340
10.00	734.50	680.638	706.060	734.588	758.364	781.188	802.360	818.341	832.034	855.164	858.586	857.724	859.427
10.50	676.48	683.080	706.002	730.892	753.680	771.086	786.691	799.666	807.553	831.038	821.806	815.350	809.982
11.00	621.60	679.733	700.187	720.369	743.745	754.118	763.652	773.336	775.382	795.456	776.792	766.761	755.570
11.50	569.77	671.410	689.232	703.994	728.240	730.914	734.408	740.403	737.113	749.479	726.212	714.728	699.350
12.00	520.90	658.760	673.566	682.596	706.892	702.186	700.161	702.176	694.464	696.176	672.881	661.627	643.704

Annexe I.2 Suite

12.50	474.92	642.311	653.585	656.966	679.781	668.843	662.182	660.165	649.164	639.443	619.234	609.249	590.163
13.00	431.72	622.512	629.750	627.910	647.468	631.970	621.751	615.930	602.787	582.744	567.042	558.787	539.548
13.50	391.22	599.766	602.621	596.247	610.959	592.743	580.065	570.903	556.632	528.441	517.397	510.932	492.194
14.00	353.34	574.466	572.853	562.786	571.535	552.309	538.169	526.275	511.680	477.784	470.850	466.011	448.150
14.50	317.99	547.018	541.159	528.295	530.550	511.692	496.911	482.940	468.603	431.209	427.586	424.120	407.315
15.00	285.07	517.862	508.261	493.464	489.250	471.732	456.931	441.515	427.813	388.679	387.579	385.216	369.526
15.50	254.51	487.467	474.842	458.887	448.660	433.069	418.680	402.376	389.529	349.941	350.691	349.187	334.600
16.00	226.22	456.324	441.510	425.048	409.544	396.151	382.446	365.716	353.828	314.664	316.737	315.886	302.356
16.50	200.10	424.924	408.777	392.325	372.415	361.264	348.391	331.600	320.695	282.522	285.524	285.161	272.625
17.00	176.08	393.734	377.049	360.996	337.578	328.564	316.580	300.005	290.059	253.218	256.861	256.855	245.250
17.50	154.06	363.176	346.633	331.253	305.174	298.110	287.014	270.854	261.817	226.494	230.572	230.822	220.086
18.00	133.96	333.608	317.742	303.213	275.232	269.893	259.646	244.040	235.845	202.127	206.494	206.922	197.000
18.50	115.69	305.318	290.511	276.937	247.704	243.857	234.398	219.439	212.018	179.926	184.478	185.024	175.866
19.00	99.15	278.518	265.014	252.440	222.494	219.919	211.177	196.921	190.205	159.723	164.387	165.003	156.568
19.50	84.28	253.354	241.272	229.704	199.480	197.977	189.879	176.355	170.280	141.369	146.091	146.743	138.993
20.00	70.97	229.905	219.270	208.685	178.527	177.919	170.394	157.614	152.121	124.729	129.472	130.131	123.034
20.50	59.14	208.202	198.967	189.321	159.497	159.631	152.613	140.573	135.610	109.680	114.416	115.062	108.588
21.00	48.71	188.233	180.299	171.540	142.253	142.998	136.427	125.116	120.634	96.109	100.817	101.433	95.555
21.50	39.58	169.955	163.194	155.261	126.661	127.907	121.729	111.129	107.087	83.909	88.573	89.145	83.838
22.00	31.67	153.300	147.567	140.399	112.594	114.250	108.419	98.507	94.865	72.978	77.585	78.105	73.345
22.50	24.89	138.187	133.333	126.868	99.935	101.921	96.396	87.147	83.872	63.222	67.761	68.223	63.985
23.00	19.15	124.523	120.402	114.581	88.569	90.820	85.567	76.953	74.014	54.551	59.011	59.410	55.670
23.50	14.37	112.212	108.685	103.451	78.390	80.852	75.841	67.834	65.203	46.876	51.249	51.584	48.315
24.00	10.46	101.152	98.094	93.394	69.301	71.925	67.134	59.703	57.354	40.118	44.394	44.663	41.840
24.50	7.34	91.245	88.545	84.330	61.208	63.954	59.363	52.479	50.388	34.198	38.367	38.573	36.166
25.00	4.90	82.394	79.955	76.179	54.023	56.856	52.450	46.084	44.228	29.041	33.094	33.238	31.218

Annexe I.2 Suite

25.50	3.08	74.504	72.245	68.866	47.666	50.555	46.322	40.444	38.802	24.577	28.504	28.590	26.927
26.00	1.78	67.485	65.339	62.319	42.058	44.978	40.908	35.488	34.041	20.740	24.529	24.563	23.222
26.50	0.90	61.251	59.165	56.468	37.128	40.054	36.142	31.151	29.880	17.464	21.106	21.093	20.042
27.00	0.38	55.722	53.652	51.247	32.806	35.718	31.960	27.369	26.256	14.690	18.173	18.119	17.325
27.50	0.11	50.820	48.736	46.592	29.028	31.907	28.299	24.082	23.110	12.356	15.672	15.583	15.013
28.00	0.01	46.473	44.352	42.444	25.729	28.562	25.101	21.230	20.384	10.407	13.548	13.431	13.052
28.48	0.00	42.613	40.440	38.743	22.851	25.623	22.308	18.757	18.023	8.784	11.745	11.606	11.390
29.00	0.00	39.176	36.941	35.435	20.334	23.036	19.863	16.609	15.974	7.432	10.212	10.056	9.975
29.50	0.00	36.106	33.804	32.468	18.126	20.751	17.718	14.736	14.188	6.301	8.902	8.734	8.764
30.00	0.00	33.354	30.983	29.799	16.184	18.726	15.830	13.097	12.626	5.353	7.778	7.602	7.723
30.50	0.00	30.879	28.439	27.393	14.471	16.926	14.162	11.659	11.256	4.554	6.809	6.628	6.822
31.00	0.00	28.647	26.140	25.217	12.956	15.321	12.687	10.394	10.049	3.880	5.972	5.788	6.040
31.50	0.00	26.627	24.057	23.245	11.612	13.887	11.378	9.277	8.985	3.309	5.245	5.062	5.358
32.00	0.00	24.796	22.166	21.454	10.419	12.603	10.215	8.290	8.043	2.825	4.613	4.432	4.761
32.50	0.00	23.130	20.446	19.824	9.357	11.449	9.179	7.416	7.207	2.413	4.062	3.885	4.237
33.00	0.00	21.611	18.879	18.337	8.411	10.412	8.255	6.639	6.465	2.063	3.581	3.409	3.777
33.50	0.00	20.223	17.448	16.979	7.566	9.478	7.429	5.949	5.804	1.765	3.159	2.993	3.370
34.00	0.00	18.951	16.140	15.735	6.811	8.635	6.691	5.334	5.215	1.511	2.790	2.630	3.011
34.50	0.00	17.784	14.942	14.595	6.135	7.872	6.030	4.786	4.690	1.294	2.465	2.312	2.692
35.00	0.00	16.710	13.843	13.549	5.529	7.182	5.437	4.297	4.220	1.108	2.180	2.034	2.410
35.50	0.00	15.721	12.834	12.587	4.985	6.557	4.905	3.860	3.799	0.950	1.928	1.791	2.158
36.00	0.00	14.807	11.906	11.701	4.497	5.990	4.427	3.469	3.422	0.814	1.707	1.577	1.935
36.50	0.00	13.962	11.052	10.885	4.058	5.475	3.997	3.119	3.084	0.698	1.512	1.389	1.735
37.00	0.00	13.178	10.265	10.132	3.664	5.006	3.610	2.805	2.780	0.599	1.339	1.224	1.557
37.50	0.00	12.451	9.540	9.436	3.309	4.580	3.262	2.524	2.508	0.513	1.187	1.079	1.398
38.00	0.00	11.775	8.869	8.792	2.989	4.191	2.948	2.272	2.263	0.440	1.052	0.951	1.256

Annexe I.2 Suite

38.50	0.00	11.146	8.250	8.197	2.701	3.837	2.665	2.045	2.042	0.378	0.933	0.839	1.129
39.00	0.00	10.560	7.677	7.645	2.441	3.514	2.410	1.842	1.843	0.324	0.827	0.740	1.015
39.50	0.000	10.012	7.147	7.134	2.207	3.220	2.180	1.659	1.665	0.278	0.734	0.653	0.912
40.00	0.000	9.500	6.656	6.659	1.996	2.951	1.972	1.494	1.504	0.239	0.651	0.576	0.821
40.50	0.000	9.021	6.201	6.218	1.805	2.705	1.784	1.347	1.358	0.205	0.578	0.508	0.739
41.00	0.000	8.573	5.778	5.809	1.633	2.480	1.615	1.214	1.227	0.176	0.513	0.449	0.665
41.50	0.000	8.151	5.386	5.428	1.477	2.274	1.461	1.094	1.109	0.151	0.455	0.396	0.598
42.00	0.000	7.756	5.023	5.074	1.336	2.086	1.323	0.986	1.003	0.130	0.404	0.350	0.539
42.50	0.000	7.384	4.685	4.744	1.209	1.914	1.198	0.889	0.906	0.111	0.359	0.309	0.485
43.00	0.000	7.034	4.370	4.437	1.095	1.756	1.084	0.802	0.819	0.095	0.319	0.272	0.437
43.50	0.000	6.705	4.078	4.150	0.991	1.612	0.982	0.723	0.741	0.082	0.283	0.241	0.394
44.00	0.000	6.394	3.806	3.883	0.897	1.479	0.889	0.652	0.670	0.070	0.251	0.212	0.355
44.50	0.000	6.101	3.553	3.634	0.812	1.358	0.805	0.588	0.606	0.060	0.223	0.188	0.320
45.00	0.000	5.824	3.317	3.402	0.735	1.247	0.729	0.530	0.548	0.052	0.198	0.166	0.288
45.50	0.000	5.562	3.098	3.185	0.665	1.145	0.661	0.478	0.496	0.045	0.176	0.146	0.260
46.00	0.000	5.315	2.893	2.983	0.603	1.051	0.599	0.432	0.448	0.038	0.156	0.129	0.234
46.50	0.000	5.080	2.703	2.794	0.546	0.966	0.542	0.389	0.406	0.033	0.139	0.114	0.211
47.00	0.000	4.858	2.525	2.617	0.494	0.887	0.491	0.351	0.367	0.028	0.123	0.101	0.190
47.50	0.000	4.647	2.360	2.452	0.447	0.815	0.445	0.317	0.332	0.024	0.110	0.089	0.171
48.00	0.000	4.447	2.205	2.298	0.405	0.748	0.403	0.286	0.300	0.021	0.097	0.079	0.154
48.50	0.000	4.258	2.061	2.153	0.367	0.688	0.365	0.258	0.272	0.018	0.087	0.069	0.139
49.00	0.000	4.078	1.926	2.018	0.332	0.632	0.331	0.233	0.246	0.015	0.077	0.061	0.126
49.50	0.000	3.906	1.801	1.892	0.301	0.580	0.300	0.210	0.223	0.013	0.068	0.054	0.113
50.00	0.000	3.743	1.684	1.773	0.273	0.533	0.272	0.190	0.201	0.011	0.061	0.048	0.102
50.50	0.000	3.588	1.574	1.663	0.247	0.490	0.246	0.171	0.182	0.010	0.054	0.042	0.092
51.00	0.000	3.441	1.472	1.559	0.224	0.450	0.223	0.154	0.165	0.008	0.048	0.037	0.083

Annexe I.2 Suite

51.50	0.000	3.300	1.376	1.462	0.203	0.414	0.202	0.139	0.149	0.007	0.043	0.033	0.075
52.00	0.000	3.166	1.287	1.371	0.184	0.380	0.183	0.126	0.135	0.006	0.038	0.029	0.068
52.50	0.000	3.038	1.204	1.286	0.166	0.350	0.166	0.113	0.122	0.005	0.034	0.026	0.061
53.00	0.000	2.917	1.126	1.206	0.151	0.321	0.151	0.102	0.111	0.005	0.030	0.023	0.055
53.50	0.000	2.800	1.053	1.131	0.136	0.295	0.136	0.092	0.100	0.004	0.027	0.020	0.050
54.00	0.000	2.689	0.985	1.061	0.124	0.271	0.124	0.083	0.091	0.003	0.024	0.018	0.045
54.50	0.000	2.583	0.922	0.996	0.112	0.249	0.112	0.075	0.082	0.003	0.021	0.016	0.040
55.00	0.000	2.482	0.862	0.934	0.101	0.229	0.102	0.068	0.074	0.002	0.019	0.014	0.036
55.50	0.000	2.385	0.807	0.876	0.092	0.211	0.092	0.061	0.067	0.002	0.017	0.012	0.033
56.00	0.000	2.292	0.755	0.822	0.083	0.194	0.083	0.055	0.061	0.002	0.015	0.011	0.030
56.50	0.000	2.203	0.706	0.772	0.075	0.178	0.076	0.050	0.055	0.002	0.013	0.010	0.027
57.00	0.000	2.118	0.661	0.724	0.068	0.164	0.069	0.045	0.050	0.001	0.012	0.008	0.024
57.50	0.000	2.037	0.618	0.679	0.062	0.150	0.062	0.041	0.045	0.001	0.010	0.007	0.022
58.00	0.000	1.959	0.579	0.638	0.056	0.138	0.056	0.037	0.041	0.001	0.009	0.007	0.020
58.50	0.000	1.885	0.541	0.598	0.051	0.127	0.051	0.033	0.037	0.001	0.008	0.006	0.018
59.00	0.000	1.814	0.507	0.562	0.046	0.117	0.046	0.030	0.033	0.001	0.007	0.005	0.016
59.50	0.000	1.745	0.474	0.527	0.042	0.107	0.042	0.027	0.030	0.001	0.006	0.005	0.014
60.00	0.000	1.680	0.444	0.495	0.038	0.099	0.038	0.024	0.027	0.001	0.006	0.004	0.013
60.50	0.000	1.617	0.415	0.464	0.034	0.091	0.034	0.022	0.025	0.000	0.005	0.004	0.012
61.00	0.000	1.556	0.389	0.436	0.031	0.083	0.031	0.020	0.022	0.000	0.005	0.003	0.011
61.50	0.000	1.498	0.364	0.409	0.028	0.077	0.028	0.018	0.020	0.000	0.004	0.003	0.009
62.00	0.000	1.443	0.341	0.384	0.025	0.071	0.026	0.016	0.018	0.000	0.004	0.002	0.009
62.50	0.000	1.389	0.319	0.360	0.023	0.065	0.023	0.015	0.017	0.000	0.003	0.002	0.008
63.00	0.000	1.338	0.298	0.338	0.021	0.060	0.021	0.013	0.015	0.000	0.003	0.002	0.007
63.50	0.000	1.289	0.279	0.318	0.019	0.055	0.019	0.012	0.014	0.000	0.002	0.002	0.006
64.00	0.000	1.242	0.261	0.298	0.017	0.050	0.017	0.011	0.012	0.000	0.002	0.001	0.006

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] ANBT, étude d'avant-projet détaillé du barrage Rekhouché, rapport de synthèse géologique- géotechnique, MISSION N°03, Belgrade, novembre 2019, 89 pages
- [2] Données hydrologiques, Agence national des ressources hydriques (ANRH).
- [3] Données géologiques, Agence national des barrages et transfert (ANBT).
- [4] Données géologiques-géotechniques, Agence national des barrages et transfert (ANBT).
- [5] Données géotechnique, Agence national des barrages et transfert (ANBT).
- [6]B. TOUAIBIA, Manuel pratique d'hydrologie. Edition ENSH Blida. 164 pages, Mars 2004.
- [7] FAO, 1996. Crues et apports. Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage, 54, 244p.
- [8]Namik S.,2008, étude de faisabilité du barrage de Bounachi sur l'oued Rehta (tizi-ouzzou)mémoire fin d'études Ecole national supérieur en hydraulique ,Blida ,172 pages.
- [9] Règles parasismique Algérienne (RPA)., Manuel,2003,6 pages.
- [10]Guillot, P. &Duband, D., 1967. La Méthode du Gradex pour le calcul de la probabilité des crues à partir des pluies.
- [11] Moghrani.S étude comparative sur les techniques de laminage des crues ,application sur trois barrages Algériens ,diplôme de master en hydraulique, Ecole National supérieure d'hydraulique ARBAOUI Abdellah algérien,174 pages ,session 2016.
- [12] ANBT, étude d'avant-projet détaillé du barrage Rekhouché, définition des variantes à étudier, MISSION N°01, Belgrade, Avril 2015,11 pages
- [13] L.Nasreddine, L.Rachid, étude de faisabilité du barrage Chartioua (W. BOURDJ BOU-ARRIRIGE), Master en Hydraulique, université de Bejaïa Algerie,56 pages, 2016
- [14] <https://www.editions-eyrolles.com>
- [15] <http://www.planete-tp.com>
- [16] <https://d1n7iqsz60b2ad.cloudfront.net>
- [17] <http://www.glossaire-eau.fr>
- [18] <http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr>
- [19] <http://www.editions-eyrolles>

ملخص:

في إطار الاستراتيجية الوطنية التي تهدف إلى الحفاظ على الموارد المائية من أجل تخزين الملايين الأمتار المكعبة التي تتسرب، لذاتى وكالة الوطنية للسدود والتحويل لتضروور إنشاء سدود وحو اجز مائية بالمنطقة. و على اثر ذلك، يجب الا اهتمام بهذا المنشآت من حيث تقدير أبعاد الهندسية و الاختيار الأمثل مو اقعها و دراسة جميع ملحقاتها و متماتها و في إطار ذلك تأتى مذكر تناهذه لتناول دراسة مفصلة لسد مائى على مستوى ولاية خنشلة و بالتحديد على مستوى وادير خوش.

Résumé :

Dans le cadre de la stratégie nationale en matière de conservation des eaux et afin de mobiliser les millions de mètre cubes d'eau qui sont perdus. L'ANBT s'est vue réaliser des barrages et des retenues collinaires.

Toutefois l'étude, le choix et le dimensionnement des ouvrages de stockage méritent d'être approfondis. Ainsi, l'étude que nous avons menée dans ce MFE est une étude de faisabilité d'un barrage dans la wilaya de kenchela et principalement sur l'Oued Rekhouché.

Abstract:

In the setting of the national strategy concerning conservation of water, in order to mobilize an important quality of water that is lost. The ANBT saw itself achieving dams.

However the survey, the choice and the dimensionality of the storage works deserve to be deepened. So to survey we led in this thesis is a feasibility of a dam in the Wilaya of the area of Kenchela on Rekhouché.