

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane MIRA de Bejaia



Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

Melle. KAOUACHE Amani

Melle. NAIT AMARA Hayet

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

Option : **Ouvrages et Aménagements Hydrauliques**

INTITULE :

**Etude Hydrologique Détaillée du Barrage de Ramdane Djamel
wilaya de Skikda**

Soutenu le : **25/06/2023** devant le jury composé de :

- Président : Mr. A. CHENAFI
- Promoteur : Mr. F. SAKHRAOUI
- Examineur : Mr. A. BRAKENI

Année Universitaire 2022/2023

REMIRCIMENT

Nous exprimons notre profonde gratitude à Dieu Tout-Puissant pour sa bénédiction tout au long de nos études et pour nous permettre de terminer ce mémoire de fin d'études.

Nous tenons à remercier chaleureusement toute l'équipe de l'A.N.B.T, en particulier M. BOUCHAIRE AZZEDINE, pour la qualité de son encadrement, sa disponibilité, son intérêt pour notre travail, ses encouragements et son soutien. Nous lui sommes également reconnaissants pour les précieuses informations qu'il nous a fournies, qui nous ont permis d'aller jusqu'au bout de notre projet.

Nous souhaitons exprimer notre reconnaissance et notre gratitude extrême envers notre enseignant et promoteur, Mr. FOUAD SAKHRAOUI, pour toute l'aide et l'attention qu'il nous a accordées tout au long de l'élaboration de notre mémoire.

Nous adressons nos respects aux membres du jury, Mr CHENNAFI.A, et Mr BRAKENI.A, qui auront l'honneur d'évaluer notre travail.

Nous tenons également à remercier nos enseignants et l'ensemble du personnel du département d'hydraulique pour leur soutien continu.

DEDICACES

A la famille

A l'amitié

H. NAÏF AMARA

A. KAOUACHE

TABLE DES MATIÈRES	
REMERCIEMENT	
DEDICACE	
LISTES DES FIGURES	
LISTES DES TABLEAUX	
INTRODUCTION GENERALE	
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	
	Page
I.1 Introduction	1
I.2 Choix du site du barrage	1
I.3 Localisation de l'ouvrage	1
I.4 Topographie	2
I.5 Morphologie	2
I.6 Géologie	4
I.7 Conclusion	9
CHAPITRE II: CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DU BASSIN VERSANT	
II.1 Introduction	10
II.2 Caractéristiques morphologiques du bassin versant de l'Oued Saf-Saf	10
II.2.1 Paramètres géométriques de bassin versant	10
II.2.2 Paramètres de forme	11
II.2.3 Paramètres du relief	12
II.3 Caractéristiques des écoulements dans le bassin versant	21

II.3.1 Réseau hydrographique	21
II.3.2 La pente moyenne du cours d'eau principal	21
II.3.3 La densité du drainage	22
II.3.4 Temps de concentration	23
II.3.5 Vitesse de ruissellement	24
II.4 Caractéristiques climatiques de bassin versant	26
II.4.1 Température	26
II.4.2 Evaporation	27
II.4.3 Le vent	28
II.5 Conclusion	28
CHAPITRE III : ETUDE HYDROLOGIQUE	
III.1 Introduction	29
III.2 Analyse des données pluviométriques	29
III.2.1 Etude de la précipitation maximale	29
III.2.2 Caractéristique Statiques	31
III.2.3 Ajustement statique	32
III.2.3.1 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL	32
III.2.3.2 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON (log-normale)	34
III.3 Etude des pluies de courtes durées et leurs intensités	36
III.4 Etude des apports	39
III.4.1 Apports liquides	39
III.4.1.1 Estimation de l'apport moyen annuel A0	39

III.4.1.2 Caractéristiques de l'écoulement	41
III.4.1.3. Les apports fréquents	43
III.4.2. Le transport solide et estimation du volume mort	43
III.5 Etude des crues	44
III.6 Hydrogramme de crues	46
III.7 Choix de la crue de projet	49
III.8 Choix de la crue de chantier	51
III.9 Conclusion	51
CHAPITRE IV: REGULARISATION ET LAMINAGE DES CRUES	
IV.1 Introduction	52
IV.2 Courbes caractéristiques de la retenue	52
IV.3 La répartition mensuelle la demande en eau AEP et Irrigation	55
IV.4 La répartition mensuelle de l'apport A80%	55
IV.5 Calcul de volume utile sans tenir compte les pertes	55
IV.6 Régularisation saisonnière en tenant compte les pertes	58
IV.6.1 Pertes par évaporation	58
IV.6.2 Pertes par infiltration	58
IV.7 Laminage des crues	60
IV.7.1 Laminage des crues avec la méthode de KOTCHERINE	61
IV.7.1.1 Estimation du débit de crue laminée	61
IV.7.1.2 Estimation de la charge sur le déversoir	61
IV.8 Conclusion	64

CHAPITRE V : PRE-DIMENSIONNEMENT DU BARRAGE	
V.1 Introduction	65
V.2 Divers types de barrages	65
V.2.1 Les barrages en remblai	65
V.2.2 Les Barrages en béton	65
V.3 Le type du barrage Ramdane Djamel	65
V.3.1 La hauteur du barrage HB	65
V.3.2 Niveau des plus hautes eaux (N.P.H.E)	66
V.3.3 Calcul de la hauteur de montée de la vague (Revanche)	66
V.3.4 La largeur en crête	68
V.3.5 pente des talus	69
V.3.6 la base de la digue	69
V.3.7 Bermes	70
V.3.8 Dimensionnement du noyau	70
V.4 Conclusion	71
CONCLUSION GENERALE	
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	

LISE DES FIGURES

Figure	Désignation	Page
Figure I.1	Localisation de la zone d'étude	2
Figure I.2	Morphologie générale	4
Figure I.3	Géologie du site du barrage associé à la géomorphologie	5
Figure I.4	Carte d'occupation des sols	6
Figure II.1	Carte hypsométrique du bassin versant du barrage Ramdane Djamel (W.Skikda	13
Figure II.2	Paramètre hypsométrique du bassin versant	14
Figure II.3	Carte des pentes du bassin versant du barrage Ramdane Djamel	20
Figure II.4	Carte du réseau hydrographique	22
Figure II.5	Distribution mensuelle des températures moyenne	27
Figure II.6	Distribution mensuelle de vent a station de Skikda	28
Figure III.1	Variabilité chronologique des maximales journaliers	31
Figure III.2	Ajustement de la série par la loi de Gumbel	34
Figure III.3	Ajustement de la série par la loi de Log Normal (Galton)	35
Figure III.4	Critères de comparaison des lois d'ajustement	36
Figure III.5	Intensités des pluies de courte durée de différentes périodes de retours	38
Figure III.6	Pluies de courtes durées de différentes périodes de retours	39
Figure III.7	Hydrogramme de crue pour différentes périodes de retour	49
Figure III.8	Hydrogramme de la crue de projet	50
Figure IV.1	Courbe Hauteur-capacité	54
Figure IV.2	Courbe Hauteur-Surface	54
Figure IV.3	Débit déversés pour différents charges et largeurs du déversoir	63
Figure IV.4	Volume de la crue pour différentes largeurs du déversoir	64
Figure V.1	Coupe schématique d'un barrage en remblai (Millogo Founémé A. ,2009).	71

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Désignation	Page
Tableau I.1	Les spectres des séismes SBE (BRGM), SMD et SES dans différentes périodes de retour	8
Tableau II.1	Paramètres géométriques et de forme du bassin versant de oued Saf-Saf	12
Tableau II.2	Paramètres du bassin versant	14
Tableau II.3	Altitudes du bassin versant Saf-Saf	15
Tableau II.4	Calcul de la pente de Roche	17
Tableau II.5	Longueurs correspondantes à chaque courbe de niveau	18
Tableau II.6	Les types de reliefs en fonction de Dénivelée spécifique	19
Tableau II.7	Les différents indices de pentes	19
Tableau II.8	Longueur des cours d'eau	23
Tableau II.9	Le temps de concentration pour différentes formules	24
Tableau II.10	Les différents paramètres du réseau hydrographique	24
Tableau II.11	Récapitulatif des caractéristiques hydro-morphologiques du bassin versant d'Oued Saf Saf	25
Tableau II.12	Températures moyennes mensuelles en °C	26
Tableau II.13	Evolution mensuelle de l'évaporation au droit de la retenue de Ramdane Djamel	27
Tableau III.1	Série des pluies maximales journalières de la station	30
Tableau III.2	Caractéristiques statiques de la série Pjmax	31
Tableau III.3	Résultats de l'ajustement à la loi de Gumbel	33
Tableau III.4	Comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon	33
Tableau III.5	Résultats de l'ajustement à la loi de GALTON (log normal)	35
Tableau III.6	Comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon	35
Tableau III.7	Pluies de courte durée et intensités de pluie pour différentes fréquences	37
Tableau III.8	Récapitulatif des résultats des apports et les lame d'eau écoulées	41
Tableau III.9	Résultats du calcul des caractéristiques d'écoulement	43
Tableau III.10	Débits des crues (Mallet-Gauthier)	45
Tableau III.11	Valeur de δ en fonction de bassin versant	46
Tableau III.12	Débits des crues (SOKOLOVSKY)	46
Tableau III.13	Résultats du calcul de l'apport moyen annuel par les différentes méthodes	47
Tableau III.14	Coefficients de forme de l'hydrogramme de crue δ	48
Tableau III.15	Crue de projet recommandée	50
Tableau IV.1	Les coordonnées des courbes Hauteur-Surface-Capacité	53
Tableau IV.2	Répartition mensuelle de la demande en eau AEP+IRR	55

Tableau IV.3	Répartition mensuelle de l'apport $A_{80\%}$	55
Tableau IV.4	Volume excédentaire et déficitaire	56
Tableau IV.5	Régularisation saisonnière suivant la 1 ^{ère} consigne	57
Tableau IV.6	Valeurs de α en fonction des conditions hydrogéologique	59
Tableau IV.7	Volumes des pertes dans le barrage	59
Tableau IV.8	Régularisation saisonnière suivant la 1 ^{ère} consigne	60
Tableau IV.9	Les données initiales	62
Tableau IV.10	Les données de départ pour la méthode de KOTVHERINE	62
Tableau IV.11	Débits déversés pour différent largeurs du déversoir	63
Tableau V.1	Résumé des valeurs	66
Tableau V.2	Récapitulatif des résultats de calcul de la revanche	67
Tableau V.3	Récapitulatif des valeurs de la largeur en crête	69
Tableau V.4	Les pentes des talus selon les hauteurs des barrages	69

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est une ressource dont l'Homme ne peut se passer. Elle est indispensable à la vie et aux activités humaines.

Le manque d'eau affecte à la fois les populations humaines et les écosystèmes. Or, la population mondiale augmente et consomme de plus en plus d'eau. Le changement climatique impacte aussi directement les ressources en eau, avec des conséquences diverses : inondations, sécheresses et parfois les deux.

L'Algérie est un pays caractérisé par l'importance de l'altitude de ses montagnes et par la variation de son climat (un climat méditerranéen au nord à saharien au sud). Cela produit 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 construit plusieurs barrages et retenues. L'un de ces projets est le barrage de Ramdane Djamel, qui se situe dans le nord-est de l'Algérie à environ, à vol d'oiseau, 34km au sud de Skikda.

Le but de réaliser cette retenue est d'assurer les quantités d'eau nécessaires pour l'alimentation en eau potable(AEP) de la population et les quantités d'eau suffisantes pour l'irrigation (AEI) des périmètres situés à l'aval du barrage.

Ce travail a pour but l'étude hydrologique du barrage Ramdane Djamel, qui comprendra cinq chapitres :

- Premier chapitre va avoir une présentation pour la zone du barrage Ramdane Djamel.
- 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.
- Enfin le cinquième chapitre contiendra les calculs pour le pré-dimensionnement du barrage Ramdane Djamel.

CHAPITRE I

Présentation de la zone d'étude

I.1 Introduction

L'objectif principale dans l'étude de projection d'un barrage est de : mobiliser les ressources naturelles, assurer l'alimentation en eau potable de la zone d'étude et l'irrigation des terres agricoles.

Le présent chapitre porte essentiellement sur la présentation de notre zone d'étude et la connaissance des caractéristiques : topographiques, morphologiques et géologiques du barrage Ramdane Djamel wilaya de Skikda.

I.2 Choix du site du barrage

Le choix de l'emplacement du barrage repose principalement sur des connaissances et des conditions topographiques, géologiques, géotechniques et hydrauliques du site. Les critères décisifs pour choisir l'emplacement du barrage incluent :

- La morphologie de la vallée ;
- La garantie de la quantité d'eau piégée dans la retenue ;
- La réduction des courbes de niveau ;
- Une bonne géologie pour le placement du barrage et de la retenue ;
- Un resserrement de la gorge reliant les deux rives pour minimiser le volume du barrage ;
- Le choix d'un emplacement proche des zones d'accès existantes pour faciliter l'accès des engins et de la main-d'œuvre ;
- Un site convenable pour les ouvrages annexes.

I.3 Localisation de l'ouvrage :

Le site du barrage de Ramdane Djamel est situé dans le nord-est de l'Algérie, à environ 34 km au sud de la wilaya de Skikda et 37 km au nord-est de la wilaya de Constantine (**Figure I.1**). La zone de projet est située dans le bassin supérieur de la vallée du Saf-Saf au centre de la wilaya de Skikda, dans la partie orientale de l'Algérie.

Les coordonnées approximatives du site du barrage sont dans le système GPS WGS84 : [1]

) Longitude : 6°55'45.23"E
) Latitude : 36°33'20.69"N



Figure I.1 - Localisation de la zone d'étude

Source (ANBT)

I.4 Topographie

L'axe du barrage se situe sur l'oued Saf-Saf à quelques centaines de mètres en aval de la confluence de l'oued Beni Brahim et de l'oued Khemakhem. La morphologie du site est donc assez particulière.

Les deux oueds coulent entre deux dépressions topographiques d'orientation Est-Ouest et prennent un virage à 90° au niveau de leur confluence pour couler vers le Nord et s'insérer dans une « large gorge » créée dans la dépression topographique aval.

Localement, on peut voir que l'oued Bou Adjeb change de direction vers le nord 1 km environ avant sa confluence avec l'oued Khemakhem. A l'aval du site étudié, l'oued Saf-Saf semble buter contre le relief et prend une direction S-E/N-O (axe de la retenue du barrage de Zardezas). Au niveau de l'axe choisi du barrage, l'oued Saf-Saf réalise un méandre. [2]

I.5 Morphologie

L'axe du barrage se situe sur l'oued Saf-Saf. Celui-ci prend son nom au niveau de la confluence de deux oueds importants, à 6 km en amont du barrage de Zardezas, confluence qui se retrouvera à seulement quelques centaines de mètres du pied du barrage de Ramdane Djamel. Ces deux Oueds principaux sont:

-] L'oued Béni Brahim, (puis Bou Adjeb), coulant de l'ouest vers l'est (**Figure I.2**) ;
-] L'oued Khemakhem, coulant de l'est vers l'ouest (**Figure I.2**).

A l'emplacement du barrage, les principales caractéristiques morphologiques de l'axe sont les suivantes :

-] Lit de l'oued à la cote 201 m NGA environ ;
-] Les pentes des deux rives présentent deux pendages différents :
 1. Pendage de la rive droite : $14^{\circ}/H$ environ. (jusqu'à 22°)
 2. Pendage de la rive gauche : $28^{\circ}/H$ environ. (jusqu'à 35°)
-] Fond alluvial à la cote 205 m NGA d'une largeur d'environ 150 m ;
-] Largeur de la vallée d'environ 560 m à la cote 275 m NGA ;
-] La largeur de la vallée de l'Oued Saf-Saf dans l'axe du batardeau amont est de 100 m environ.

Les principales caractéristiques morphologiques de la vallée donnent, à la cote 275 m NGA, un élargissement de 7,46 ce qui en fait une vallée de type « large ».

La RN 33 passe au long de la rive droite, interceptant l'axe du barrage à la cote 230 m NGA environ.

Le lit de l'oued actuel constitué d'alluvions récentes, de quelque 25 m de largeur, est adjacent à la rive gauche de la vallée. Sur la rive droite, toujours dans le fond alluvial, la vallée est représentée par une terrasse inférieure de 100 m de large environ et sur la rive gauche, une terrasse inférieure de 25 m également est présente. Les terrasses limoneuses sont situées à 1 m à 2 m d'altitude par rapport au lit de l'oued.

La rive gauche est recouverte par des éboulis de pente à composition de blocs gréseux qui recouvrent le flysch. Le replat très marqué de la rive droite est recouverte par des colluvions avec un mélange de terre fertile. On retrouve le même type de terrasse en aval du site sur le pied rive gauche.

Le haut de la rive droite plus raide présente quelques affleurements des formations gréseuses à grains fins de couleur ocre clair avec intercalations de bancs fins de marnes schistosités et laminées. Le versant gauche, avec des fortes pentes, est bien boisé, le versant droit est quant à lui entièrement cultivé par des arbres fruitiers ou des cultures céréalières.[1]

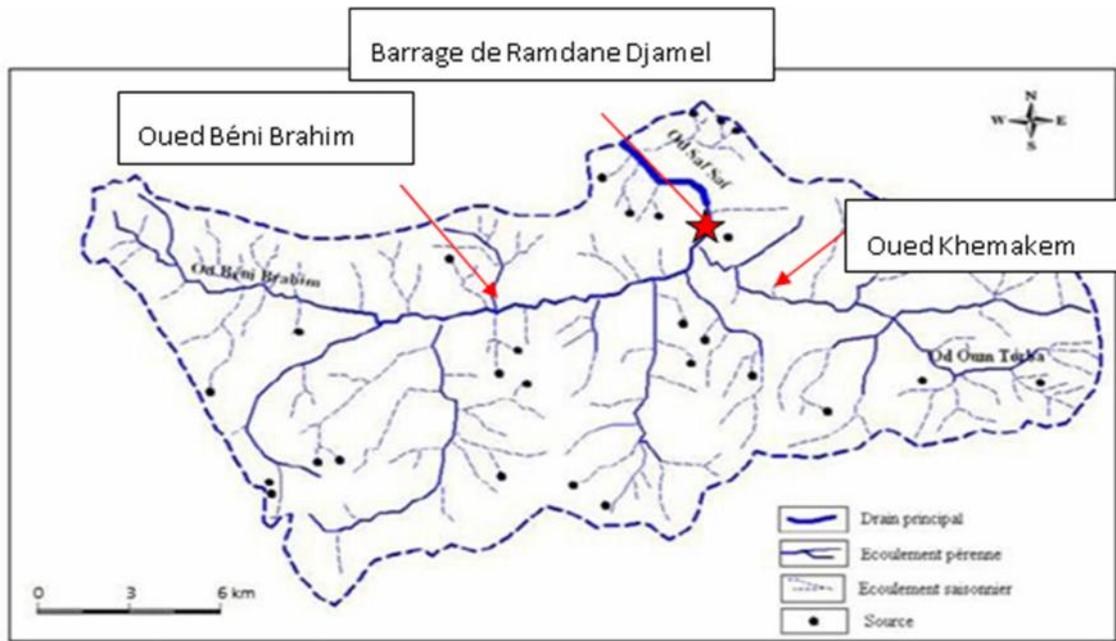


Figure I.2 - Morphologie générale

Source (ANBT)

I.6 Géologie

La zone géologique générale concernée par le projet du barrage de Ramdane Djamel appartient à l'unité géographique de la petite Kabylie, secteur Est de l'Algérie. Cette région présente une morphologie assez montagneuse dans sa partie Sud avec quelques vallées très encaissées comme le Saf-Saf par exemple. Elle a été le siège d'amples mouvements tectoniques au cours de son histoire ce qui a façonné et modelé la morphologie vallonnée du paysage.[1]

a) Géologie du site

Les deux catégories des formations rencontrées sur le site sont les suivantes :

- Les formations meubles qui correspondent aux dépôts récents meubles formés par les alluvions, les colluvions et les éboulis de pentes. Ces dernières formations couvrent la majeure partie du site. Les colluvions masquent en grande partie les formations du substratum rocheux sur le site et dans la cuvette.

- Les formations rocheuses calcaréo-marno gréseuse représentées par deux unités stratigraphiques à savoir : les séries des Flysch d'âge Sénonien et les grès et marnes des formations du Mio-Pliocène en discordance stratigraphique sur le substratum flysch.

La structure des flyschs observée est plissée avec un fort pendage sub-verticale prédominant. Des pendages variés entre 65 et 80° vers l'Est ou l'Ouest surtout au niveau de la confluence des 2 oueds ont été observés. Les pendages mesurés dans les sondages confirment ces valeurs.

Des pendages plus faibles en aval avec des valeurs de 15-20° avec des orientations assez régulières qui pointent vers l'Est ont également été observés (**Figure I.3**).

La lithologie des flyschs se base sur 4 séquences :

-) La séquence des Grès ;
-) La séquence des Marnes ;
-) La séquence des bancs calcaires ;
-) La séquence des micro-brèches.

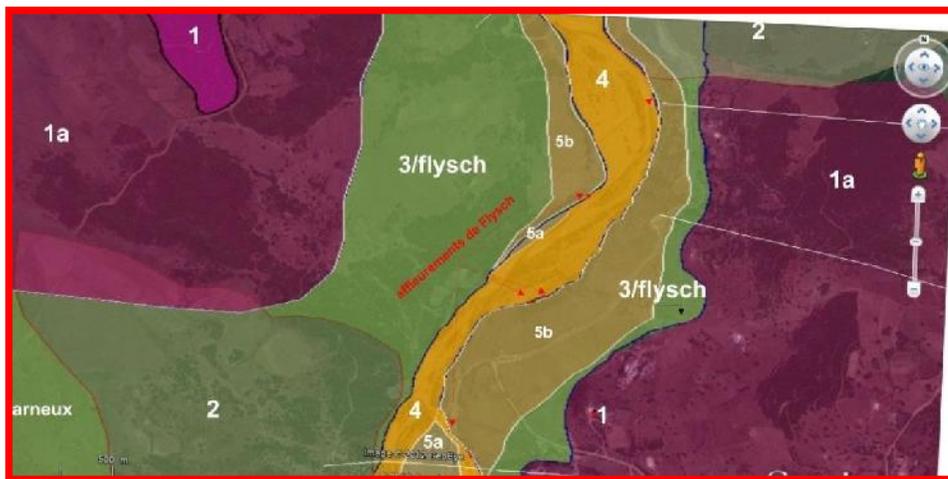


Figure I.3 - Géologie du site du barrage associée à la géomorphologie Source (ANBT)

b) Occupation des sols [2]

L'analyse générale d'occupation des sols dans le bassin versant est menée de manière précise dans le cadre de l'étude de son traitement. Les informations principales pédologiques issues de la littérature, des visites de site et des cartes géologiques au 1/50 000 sont les suivantes :

) La chaîne numidique, au nord, sépare la dépression de Ramdane Djamel de la dépression de Zighoud Youcef. Cette chaîne est principalement formée de sols gréseux, calcaire et conglomératique, voire marno-calcaire vers l'est. Des traces de sols à dominance schisteuse sont rapportées vers l'est.

) Au sud de la chaîne numidique, la dépression de Zighoud Youcef forme les vallées des oueds Bou Adjeb (à l'ouest), Khemakhem (à l'est) et Khorfan (vers le sud). Son sol est fortement argileux et argilo-gypseux.

) Des larges zones à dominantes conglomératique sont rapportées dans le sud du bassin versant.

) Des sols récents, alluvions et limons sont observés aux alentours des oueds Bou Adjeb et Khemakhem. Enfin, des sols marno-calcaires sont présents dans la vallée de l'oued Khorfan.

) Au sud du bassin versant se dresse le massif du Djebel Ouach. Celui-ci est principalement formé de massifs gréseux, avec quelques zones argileuses et marno-calcaires dans la vallée de l'oued Khorfan.

) Les sols les plus tendres sont les sols argileux, argilo-gypseux et calcaires. Ces sols sont principalement présents dans la dépression de Zighoud Youcef. La chaîne numidique et le massif du Djebel Ouach présentent des sols a priori plus résistants à l'érosion.

) Les sols tendres (argileux, argilo-gypseux, marno-calcaires et alluvions) représentent 58% de la superficie du bassin versant, ce qui montre sa sensibilité à l'érosion.

Il en ressort que plus de 50 % de la superficie du bassin versant est couverte de parcours ou steppe (**Figure I.4**), qui offrent peu de résistance à l'écoulement. En y ajoutant le sol nu, également particulièrement sensible à l'érosion, environ 62 % du bassin versant est peu protégé contre l'érosion par le type d'occupation du sol.

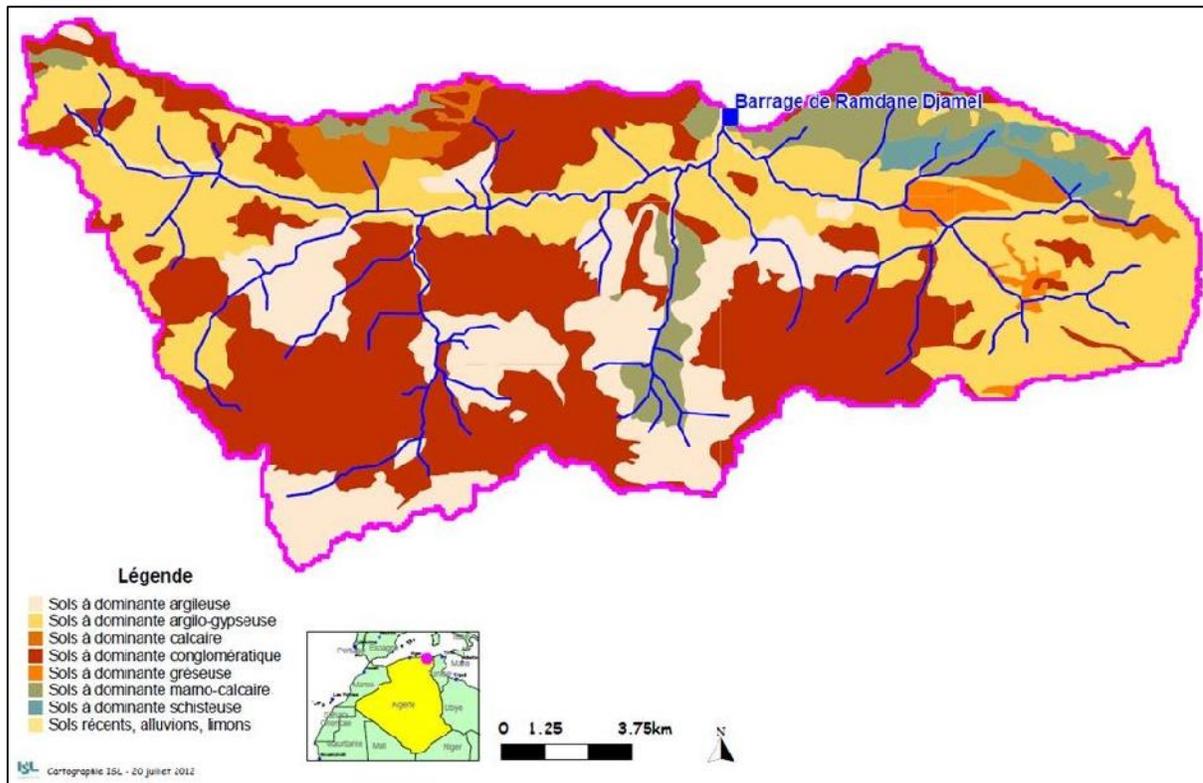


Figure I.4 - Carte d'occupation des sols.

Source (ANBT)

c) La sismicité du site [1]

Le barrage de Ramdane Djamel sera érigé dans la partie nord du massif de Constantine, qui fait partie de la chaîne Tellienne en Algérie. Il sera situé entre la région de Babor à l'ouest et le massif de la Medjerda à l'est, sur le socle kabyle composé de séries métamorphiques et d'olistostromes oligo-miocènes, avec des klippes et des écaillés des nappes numidiennes et des flyschs kabyles formant les reliefs environnants dont l'altitude ne dépasse pas 800 m. Au sud du barrage, une vallée encaissée de direction Est-Ouest matérialise une zone de faille, de même direction, à compartiment sud affaissé. Les principales structures tectoniques dans la région sont des plis et des failles, dont les axes et les plans sont de direction Est-Ouest à Est Nord Est-Ouest Sud Ouest, Bien que l'absence de dépôts quaternaires ne permette pas de confirmer l'activité récente des structures néotectoniques, Bouhadad *et al.* (2003) suggèrent que les principales failles Est-Ouest et Nord-est Sud-ouest dans la région sont potentiellement actives.

Les failles à prendre en compte en termes de potentiel sismogénique pour le barrage sont la zone de faille Est-Ouest qui borde le site au sud à 2,5 km et la faille Nord-est Sud-ouest qui passe à environ 21 km au Nord-Ouest du site, avec la première ayant la plus grande extension géographique et étant la plus proche du site d'implantation. Cette dernière sera donc considérée comme la structure la plus susceptible de générer les plus fortes secousses au niveau du barrage de Ramdane Djamel.

L'ensemble de la région étant considéré comme homogène sur le plan sismotectonique, le SMHV (séismes maximum historiquement vraisemblables) en source lointaine sera pris égale au séisme de Jijel du 22 août 1856 (au nord de Constantine, le long de la côte méditerranéenne), dont les caractéristiques sont les suivantes :

-) Date : 22 août 1856
-) Localisation de l'épicentre : Jijel (105 km du futur site du barrage)
-) Intensité épiscopentrale I_0 (MSK) : IX-X
-) $M_w = 6.5-7.5$

Le Séisme de Base Exploitation provenant de l'étude de sismologie BRGM a été considéré égale au SMHV. Il a été noté par la suite : SBE-BRGM. La conclusion du BRGM est la suivante :

« Compte tenu de l'activité sismique relativement importante du nord de l'Algérie, il sera considéré, de manière raisonnablement conservatrice, que le SMHV est proche du SBE ».

Le séisme SBE (BRGM) a été introduit un SBE (ICOLD/BRGM) plus proche des périodes de retour associées à ce cas de charge.

Le SMS (Séisme Majoré de Sécurité) a été considéré être un séisme identique au SMHV mais dont l'intensité et la magnitude seront arbitrairement majorées de 1 et 0.5 respectivement. Le SMS a été considéré être proche du SMD. De plus, SMP a été considéré sur la faille la plus sismogénique et a été considéré de façon conservative, comme une rupture sur un segment d'un seul tenant entre deux ramifications de la zone de faille.

Les accélérations horizontales au rocher associées aux séismes de référence, sur le site du futur barrage de Ramdane Djamel (SBE, SMD et SMDm) ont ensuite été estimées par le biais de lois d'atténuation les plus appropriées. [1]

Les caractéristiques retenues sont mentionnées dans le tableau I.1 :

Tableau I.1 - Les spectres des séismes SBE (BRGM), SMD et SES dans différentes périodes de retour concernant le site du barrage Ramdane Djamel.

Site du barrage de Ramdane Djamel	Période de retour	Séisme
SBE (CFBR-ICOLD) (Accélération maximale horizontale) Séisme de Base d'exploitation	350 ans environ	0.14 g
SBE (BRGM) (Accélération maximale horizontale) Séisme de Base d'exploitation	<5 000 ans environ	0.31 g
SMD (Accélération maximale horizontale) Séisme Maximal de Dimensionnement	<10 000 ans environ	0.40 g
SMDm = SMP (Accélération maximale horizontale) Séisme Maximal Possible SES (Dimensionnement de l'ouvrage) Séisme d'Evaluation de Sécurité	<20 000 ans environ	0.51 g

(Source : ANBT)

I.7 Conclusion

D'après les résultats de cette partie, on peut conclure que la zone du barrage Ramdane Djamel a : une morphologie assez particulière (vallonnée) ; une vallée de type large avec un élancement =7,46 à la cote 275 m NGA ; un type d'occupation du sol : > 50 % de la superficie du bassin versant est couverte de parcours ou steppe et environ 62 % du bassin versant est peu protégé contre l'érosion.

Donc, on peut dire que la projection du barrage Ramdane Djamel est possible sur cette zone.

Chapitre II

Caractéristiques morphologiques du bassin versant

II.1 Introduction

Le bassin versant constitue l'unité géographique fondamentale pour l'étude du cycle hydrologique et de ses conséquences. Plus précisément, le bassin versant peut être perçu comme un "système" qui représente une surface élémentaire hydrologiquement isolée, signifiant qu'aucun écoulement ne 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 Saf-Saf

Les propriétés morpho-métriques et hydrographiques d'un bassin versant ont un impact significatif sur la réponse hydrologique, en particulier sur le régime d'écoulement pendant les périodes de crue, et elles sont également utilisées dans le calcul des formules empiriques.[5]

Les caractéristiques physiques et géographiques du sous-bassin versant ont été évaluées à l'aide du logiciel ArcGIS 10.4.

II.2.1 Paramètres géométriques de bassin versant

• Superficie

La surface est le paramètre clé qui influence l'intensité de nombreux phénomènes hydrologiques. Elle a été déterminée en définissant les limites du bassin versant, ce qui permet de contrôler ces phénomènes de manière efficace.

$$S = 318.44 \text{ Km}^2.$$

• Périmètre

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

$$P = 105.31 \text{ Km}.$$

• Longueur du thalweg 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.

$$L_{cp} = 22.97 \text{ Km}.$$

II.2.2 Paramètres de forme

• 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 ramassé et plus le temps de concentration des eaux sera court. Elle sera allongée dans le cas contraire.

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} \quad (\text{II.1})$$

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.

• Coefficient d'allongement

Ce coefficient est obtenu par la relation :

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

Avec :

- K_P : Coefficient d'allongement ;
- L_{cp} : La longueur du talweg principal (Km) ;
- S : Superficie (Km²).

Lorsque la valeur de ce coefficient augmente, cela signifie que le bassin versant est plus étendu. En conséquence, le temps de concentration, c'est-à-dire le temps nécessaire à une goutte d'eau tombée au point le plus éloigné en amont du bassin versant pour atteindre l'exutoire, est plus long. Par conséquent, les crues sont moins violentes.

• 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 :

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

$$I = \frac{K_c}{1.1} \bar{S} \left[1 - \left(\frac{1.1}{K_c} \right)^2 \right] \quad (II.4)$$

Avec :

L : Longueur du rectangle équivalent (km) ;

l : Largeur du rectangle équivalent (km) .

Les résultats de calcul des paramètres géométriques et de forme sont présentés dans le tableau (II.1)

Tableau II.1 - Paramètres géométriques et de forme du bassin versant de l'Oued Saf-Saf.

Paramètres	S (Km ²)	P (Km)	L _{cp} (Km)	K _c	K _p	L (Km)	l (Km)
Valeur	318.44	108.3	22.97	1.71	1.65	38.93	14.17

D'après les résultats obtenus : le $K_c = 1.66 > 1.28$ Notre bassin versant est de **forme allongée**.

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 et l'indice de pente moyenne.

• Courbe hypsométrique

Pour estimer ces paramètres on doit présenter la répartition hypsométrique après planimétrie des aires partielles comprises entre les courbes de niveau maîtresses et les différentes cotes. La répartition des surfaces du bassin versant de l'Oued Saf-Saf ont été déterminée à l'aide du logiciel ARCGIS10.4 (Figure II.1). Les résultats obtenus sont récapitulés dans le Tableau (II.1), et la courbe hypsométrique est donnée par la Figure (II.2).

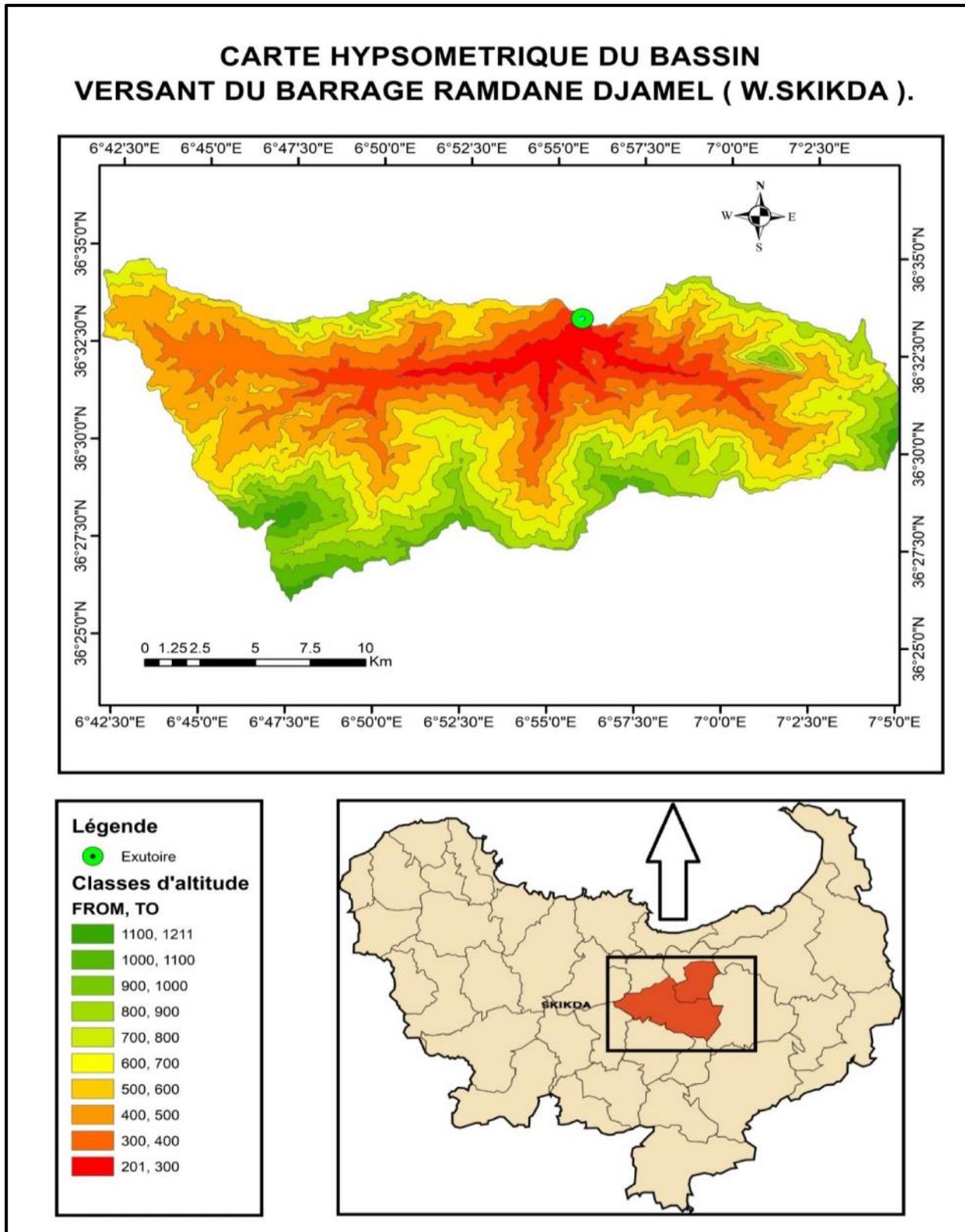


Figure II.1 - Carte Hypsométrique du Bassin Versant du Barrage Ramdane Djamel (W.SKIKDA)

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	1100-1211	1155.5	11.769	3.7	11.769	3.7	13599.08
2	1000-1100	1050	26.356	8.28	38.125	11.98	27673.8
3	900-1000	950	50.016	15.71	88.141	27.69	47515.2
4	800-900	850	67.27	21.13	155.411	48.82	57179.5
5	700-800	750	53.233	16.72	208.644	65.54	39924.75
6	600-700	650	43.239	13.58	251.883	79.12	28105.35
7	500-600	550	33.749	10.6	285.632	89.72	18561.95
8	400-500	450	20.202	6.34	305.834	96.06	9090.9
9	300-400	350	10.3	3.23	316.134	99.29	3605
10	201-300	250.5	2.268	0.71	318.402	100	568.134

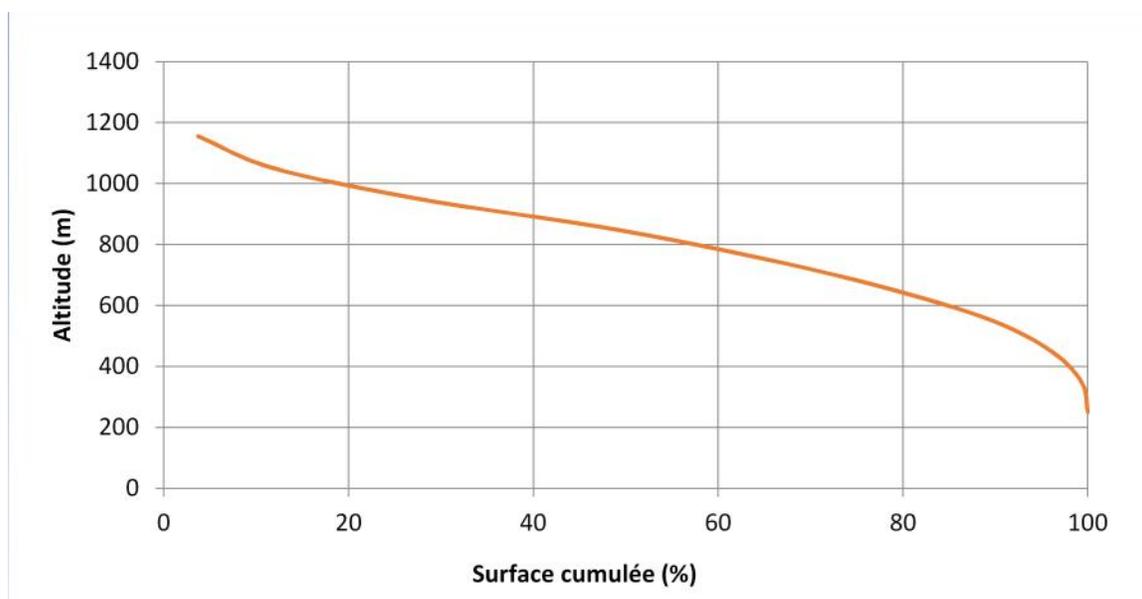


Figure II.2 - Paramètres hypsométriques du bassin versant.

Les différentes altitudes qui caractérisent le bassin versant sont :

1. 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.

2. Altitudes à 5%, 95% et médiane (50%)

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%.

3. 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 :

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

Tel que :

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

Avec :

- H_i : Altitude moyenne entre 02 courbes de niveaux consécutives (m) ;
- S_i : surface partielle comprise entre 2 courbes de niveaux consécutives (Km²) ;
- S : surface totale du sous bassin (Km²).

Les différentes altitudes qui caractérisent le bassin versant sont présentées dans le Tableau II.3:

Tableau II.3 - Altitudes du bassin versant Saf-Saf.

Altitudes (m)	H	H	$H_{5\%}$	H %	H %	H
	1211	201	1138	843	417	772

• 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.[5]

a) 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 (FAO, 1996).

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

Avec :

D : Dénivelée entre $H_{95\%}$ et $H_{5\%}$ (m) ;

L : Longueur du rectangle équivalent (m).

b) Indice de pente de Roche I_p :

L'indice de pente de Roche (I_p) 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 :

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

Avec :

L : Longueur du rectangle équivalent (k) ;

S_i : Surface partielle (%) comprise entre 2 courbes de niveau consécutives (k^2).

Les résultats du calcul de la pente de Roche sont présentés dans le Tableau II.4

Tableau II.4 - Calcul de la pente de Roche.

H_{i-1}	H_i	Surface partielle (km ²)	Surface partielle(%)	$S_i (H_i-H_{i-1})$	$\sqrt{S_i(H_i-H_{i-1})}$
1100	1211	11.769	3.7	410.7	20.265
1000	1100	26.356	8.28	828	28.774
900	1000	50.016	15.71	1571	39.635
800	900	67.27	21.13	2113	45.967
700	800	53.233	16.72	1672	40.890
600	700	43.239	13.58	1358	36.851
500	600	33.749	10.6	1060	32.557
400	500	20.202	6.34	634	25.179
300	400	10.3	3.23	323	17.972
201	300	2.268	0.71	71	8.4261
				Somme	296.520

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.

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

Avec :

- I_m : la pente moyenne (%) ;
- H : Equidistance entre de courbes deux courbes de niveau (km) ;
- l_i : la longueur totale de courbe niveau (km).

Les résultats du calcul des longueurs correspondantes à chaque courbe de niveau sont présentés dans le Tableau II.5 :

Tableau II.5 - Longueurs correspondantes à chaque courbe de niveau.

Cote de la courbe de niveau (m)	Longueur (km)
300	44.81
400	81.55
500	146.11
600	148.64
700	119.54
800	98.17
900	63.17
1000	36.61
1100	9.92
1200	0.32

c) 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 (Tableau II.6).

Elle est donnée par la formule suivante :

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

Tableau II.6 - Les types de reliefs en fonction de Dénivelée spécifique.

Relief très faible	$D < 1 \text{ m}$
Relief faible	$10 \text{ m} < D < 25 \text{ m}$
Relief assez faible	$25 \text{ m} < D_s < 50 \text{ m}$
Relief modéré	$50 \text{ m} < D < 100 \text{ m}$
Relief assez fort	$100 \text{ m} < D < 250 \text{ m}$
Relief fort	$250 \text{ m} < D < 500 \text{ m}$
Relief très fort	$500 \text{ m} < D$

Les résultats de calcul des différents indices de pente du bassin versant sont présentés dans le Tableau II.7 et Figure II.3 :

Tableau II.7 - Les différents indices de pentes.

Indices	I_g (%)	I_p	I_m (%)	D_s (m)
Valeur	0.0017	47.85	7.15	30.8

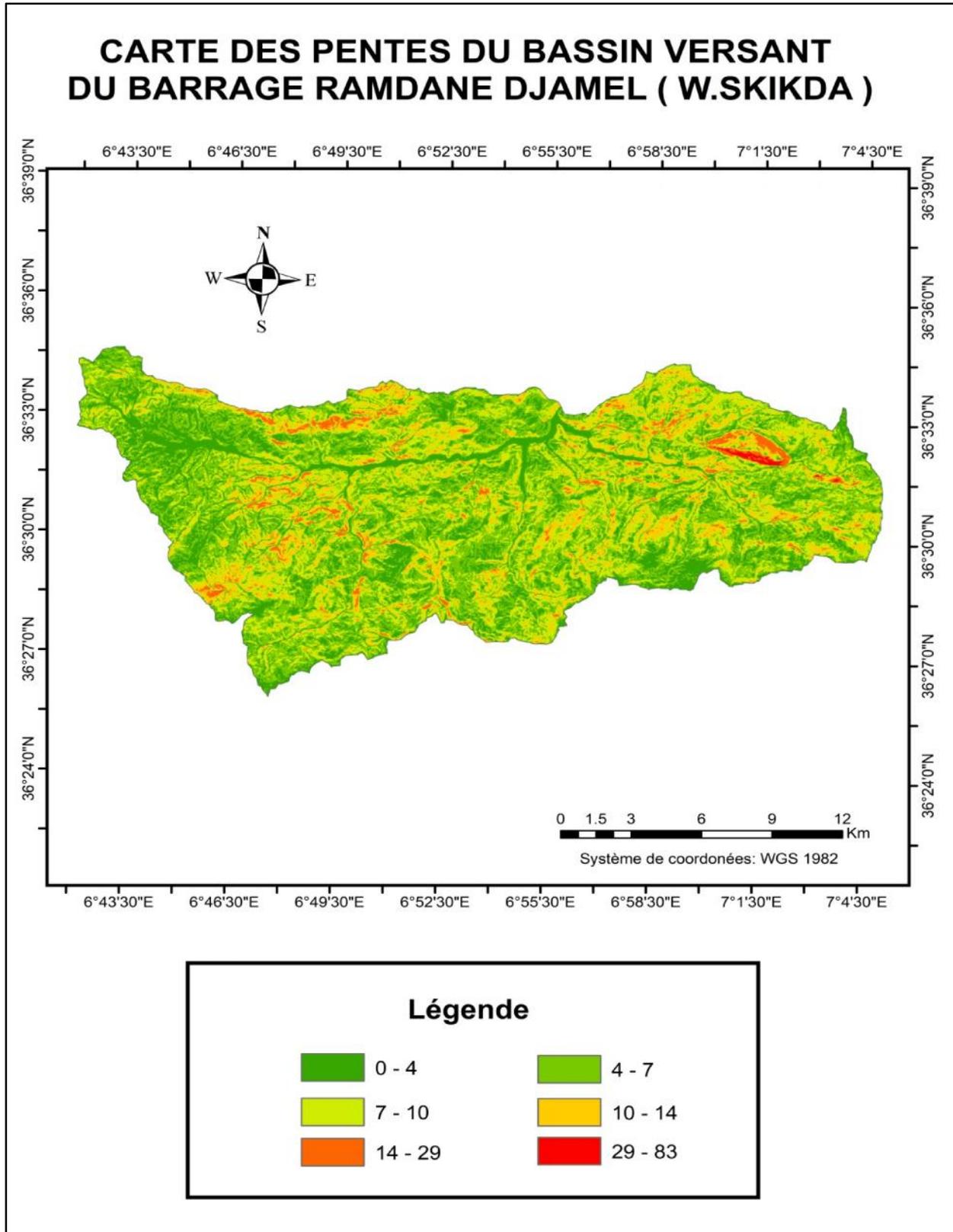


Figure II.3 - Carte des pentes du bassin versant du barrage Ramdane Djamel (W.Skikda).

II.3 Caractéristiques des écoulements dans le bassin versant

II.3.1 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. [6]

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.3.2 La pente moyenne du cours d'eau principal

La pente moyenne du cours d'eau joue un rôle crucial dans la vitesse à laquelle l'eau atteint l'exutoire du bassin, ce qui influence le temps de concentration. Cette caractéristique a un impact direct sur le débit maximal observé. Une pente abrupte favorise et accélère l'écoulement de surface, tandis qu'une pente douce ou nulle permet à l'eau de s'infiltrer, en totalité ou en partie, dans le sol, lui donnant ainsi plus de temps pour le faire.

$$I_c = \frac{H}{L_c} \quad (\text{II.11})$$

Avec :

- I_c : Pente moyenne du cours d'eau principal (%) ;
- H : Dénivellation maximale de la rivière (k) ;
- L_c : Longueur du cours d'eau principale (k) .

La longueur des thalwegs des différents ordres est :

$$L_i = 165.476 \text{ km.}$$

II.3.3 La densité du drainage

La densité du drainage est définie comme étant la longueur totale de tous les talwegs d'ordre i à n " L_i ", du bassin versant, rapportée à la surface totale " S " du bassin. Elle est donnée par l'expression 2.7 et est exprimée en Km/Km^2 .

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

Avec :

- D_d : densité de drainage (km^2/km) ;
- L_i : longueur du cours d'eau (km) ;

Le réseau hydrographique du bassin versant du barrage Ramdane Djamel est présenté dans la Figure (II.4) et Tableau (II.8) :

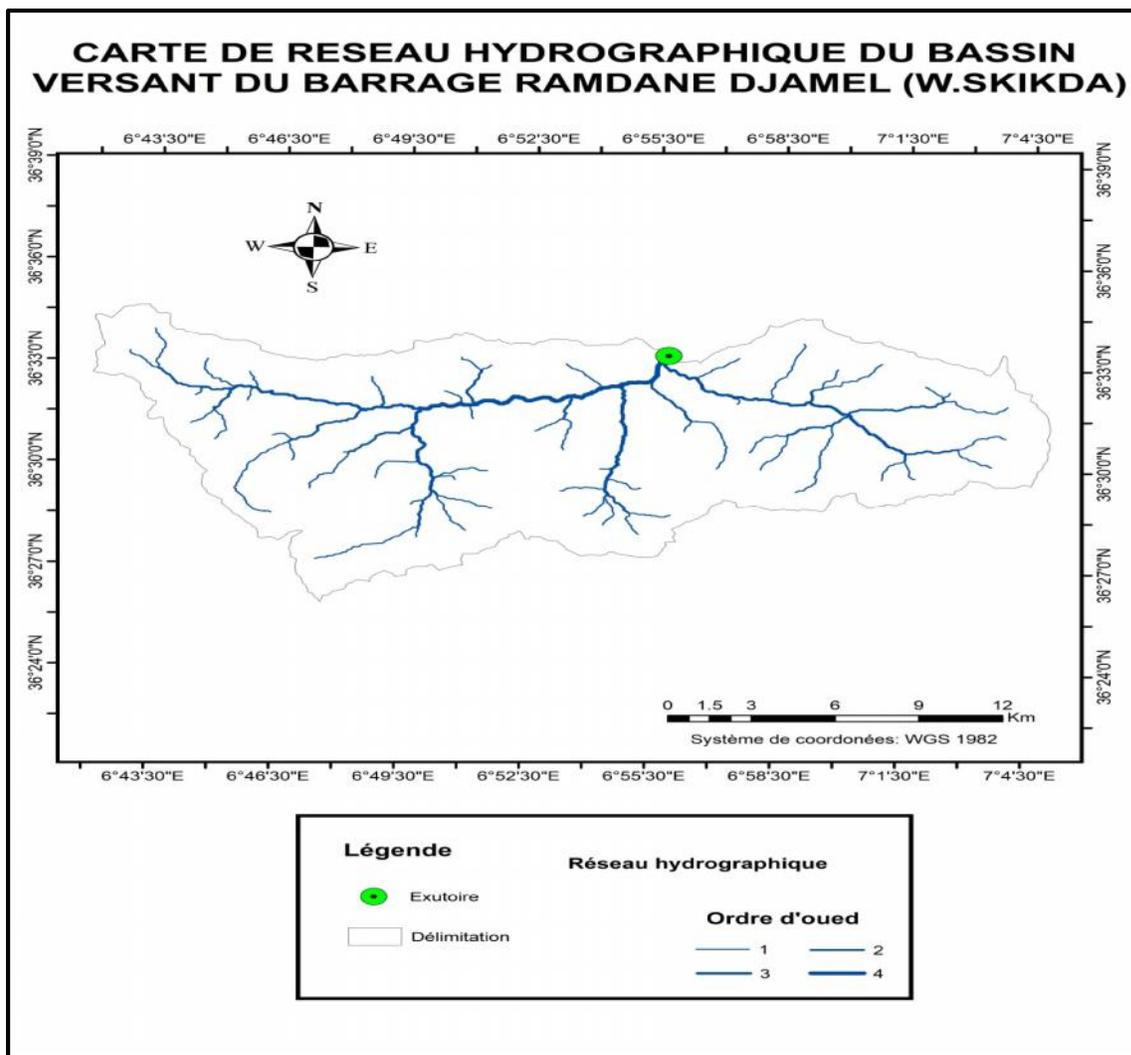


Figure II.4 - Carte du réseau hydrographique.

Tableau II.8 - Longueur des cours d'eau.

Ordre du cours d'eau	Longueur (km)
1	89.523
2	33.020
3	31.754
4	11.178

II.3.4 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 (Tableau II.9) :

Ñ Formule de GIANDOTTI

$$t_c = \frac{4 \bar{S} + 1.5L_T}{0.8\sqrt{H_m} - H_m} \quad (\text{II.13})$$

Avec :

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

Ñ Formule de Temez (Espagnole) (TEMEZ, 1978)

$$t_c = 0,3 \left(\frac{L_c}{I_m^{0,2}} \right)^{0,7} \quad (\text{II.14})$$

Avec :

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

Tableau II.9 - Temps de concentration pour différentes formules.

Formules	Giondotti	Tamez
Temps de concentration(h)	5.54	3.46

Nous optons pour le résultat le plus petit $t_c = 3.46 h$ par réserve de sécurité.

II.3.5 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 :

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

Les différents paramètres du réseau hydrographique sont récapitulés dans le Tableau II.10 et les caractéristiques hydro-morphologiques du bassin versant d'Oued Saf-Saf sont récapitulés dans le Tableau II.11.

Tableau II.10 - Les différents paramètres du réseau hydrographique.

Paramètres	L_c (km)	I_c (%)	D_a (km/km ²)	t_c (h)	V_r (km/h)
Valeurs	22.97	0.17	0.51	3.46	6.63

Tableau II.11 - Récapitulatif des caractéristiques hydro-morphologiques du bassin versant d'Oued Saf Saf.

Caractéristiques		Symboles		Unités	Valeurs
Morphométrie					
Superficie		S		Km ²	318.44
Périmètre		P		Km	105.31
Coefficient de compacité de Gravelius		K_c		-	1.66
Coefficient d'allongement		K_p		-	1.65
Rectangle équivalent	Longueur	L		Km	38.40
	Largeur	l		Km	14.17
Relief					
Altitudes	Maximale	H		m	1211
	Moyenne	H		m	772
	Minimale	H		m	201
	Altitude de fréquence 5%	$H_{5\%}$		m	843
	Altitude de fréquence 50%	$H_{50\%}$		m	1138
	Altitude de fréquence 95%	$H_{95\%}$		m	482
Indice de pente globale		I_g		m/km	16.95
Indice de pente de Roche		I_p		%	47.85
Indice de pente moyenne		I_m		%	7.15
Dénivelée spécifique		D_s		m	302.47
Réseau hydrographique					
Longueur du cours d'eau principal		L_c		Km	22.97

Pente moyenne du cours d'eau principal	I_c		%	0.17
Densité de drainage	D_d		Km/km ²	0.51
Temps de concentration	t_c		h	3.46
Vitesse de ruissèlement	V_r		Km/h	6.63

II.4 Caractéristiques climatiques de bassin versant

L'objectif de l'étude climatologique est de recueillir des informations sur les conditions climatiques, des données essentielles pour la conception du barrage et de ces ouvrages annexes.

Les facteurs qui déterminent le climat sont :

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

II.4.1 Température

Les températures mensuelles moyennes sont résumées dans le Tableau II.12 ci-dessous. Elles ont été calculées en utilisant une interpolation (moyenne non pondérée) entre les valeurs des températures de Skikda mesurées dans l'Atlas des températures du Nord de 2002 publié par l'ANRH, ainsi que les données de deux autres stations climatiques situées à environ 100 km de distance, le long de la même latitude et entourant la station de Skikda.

Tableau II.12 - Températures moyennes mensuelles en °C.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	aout
T_{moy} °C	24.1	19.9	15	12.4	10	10.7	12.8	14.6	18.2	21.8	25.3	26.5

(Source : ANBT)

La température moyenne interannuelle est de **17,6° C**.

On estime que les températures maximales près du barrage Ramdane Djamel peuvent atteindre 40°C pendant 2 à 3 jours par mois, généralement en juillet et août. Quant aux températures minimales, elles sont susceptibles de chuter en dessous de 0°C, ce qui peut occasionner quelques jours de neige chaque année.

La distribution mensuelle des températures moyennes sont présentées dans la Figure II.5.

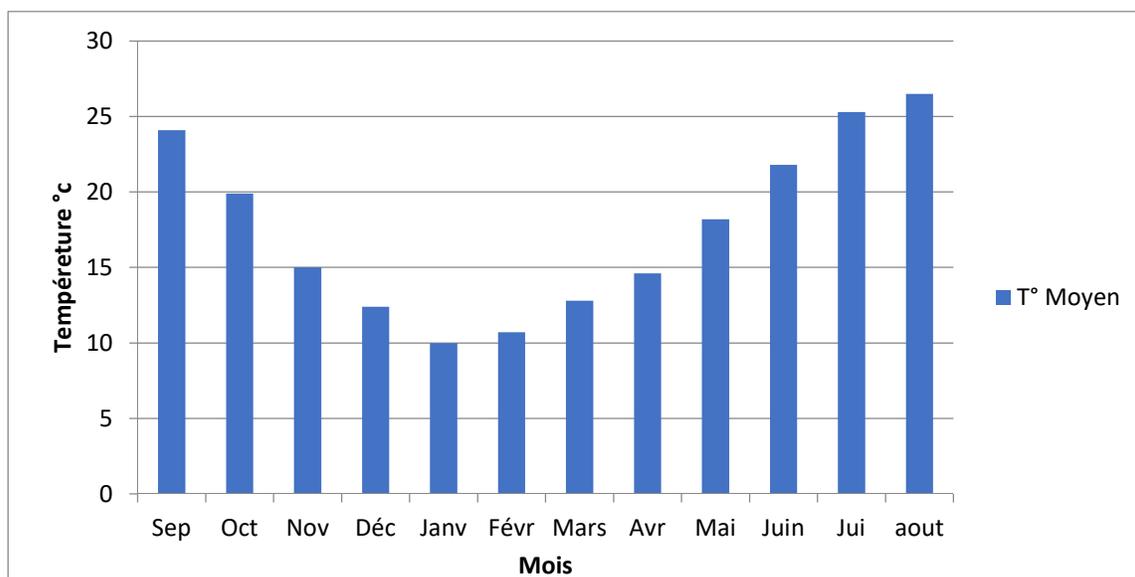


Figure II 5- Distribution mensuelle de la température moyenne.

II.4.2 Evaporation

L'évaporation sur le site est calculée en observant l'évaporation au niveau du réservoir Colorado du barrage de Zardezas, pour la période de 1979 à 2011, et en appliquant un coefficient de correction de 0.78 pour prendre en compte la différence entre les mesures effectuées sur un bac et les valeurs correspondantes sur un lac.

L'évaporation totale annuelle au droit de la retenue de Ramdane Djamel sera donc considérée égale à 1 101 mm (Tableau II.13), comme indiqué dans le Tableau II.16 ci-dessous. On observe une diminution pendant les mois d'hiver (décembre, janvier et février), tandis qu'elle atteint son maximum pendant les mois d'été (juin, juillet et août).

Tableau II.13 - Evolution mensuelle de l'évaporation au droit de la retenue de Ramdane Djamel.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	juil	aout	Total
Ev(mm)	121	74	47	32	32	35	63	76	110	152	185	174	1101
Ev(%)	10.99	6.72	4.27	2.91	2.91	3.19	5.72	6.90	9.99	13.81	16.80	15.80	100

(Source : ANBT)

II.4.3 Le vent

D'après les relevés effectués à la station de Skikda entre 1976 et 1995, les vents dominants à Skikda proviennent principalement du secteur nord, avec une proportion de 22% pour le nord-est (NE), 12% pour le nord (N) et 27% pour le nord-ouest (NO).

Le phénomène du Sirocco se manifeste de manière sporadique, mais plus particulièrement pendant les mois de juillet et août. En ce qui concerne la vitesse moyenne annuelle du vent maximum à 10 mètres du sol, elle est estimée à 11 m/s à l'emplacement du barrage de Ramdane Djamel

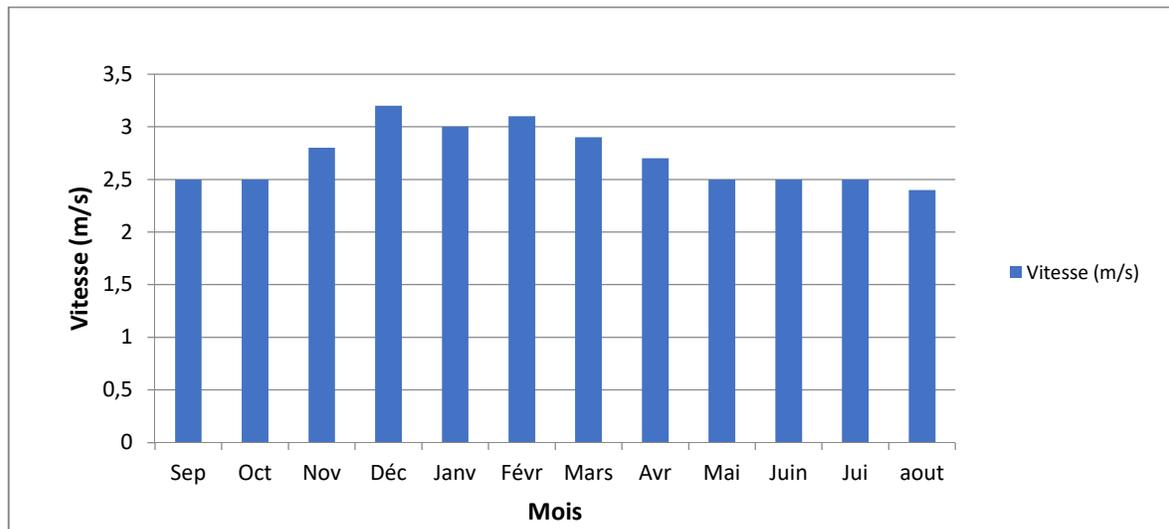


Figure II.6 - Distribution mensuelle de vent a station de Skikda.

II.5 Conclusion

Selon les résultats de l'étude portant sur les caractéristiques morphologiques (forme, relief), le réseau hydrographique et les conditions climatiques du bassin versant de de l'Oued Saf Saf, les observations suivantes ont été relevées :

- Le coefficient de Gravillius indique que le bassin versant présente une forme allongée.
- L'indice de pente moyenne est très élevé, ce qui implique un écoulement rapide avec un temps de concentration de 3.46 heures et une vitesse de ruissellement de 6.63 km/h.
- La température moyenne interannuelle est de 17,6° C.
- La température minimale enregistrée est de 0°C.
- La température maximale atteint 40°C.
- La vitesse du vent est de 2.7 m/s.
- L'évaporation à partir de la surface de l'eau est estimée à 1 101 mm/an.

Chapitre III

Etude Hydrologique

III.1 Introduction

L'étude hydrologique revêt une importance capitale dans la réalisation d'un ouvrage hydraulique. Son objectif est de mettre en évidence les paramètres hydrologiques d'une rivière, tels que les débits de crue et les apports provenant du bassin versant (sous forme liquide et solide), qui constituent la base du dimensionnement des infrastructures de l'aménagement.

Plusieurs paramètres clés sont pris en compte lors d'une étude hydrologique :

- 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.

En somme, l'étude hydrologique constitue une étape fondamentale dans la réalisation d'un ouvrage hydraulique. Elle permet de caractériser les paramètres hydrologiques essentiels tels que les débits de crue et les apports du bassin versant, qui serviront de base pour le dimensionnement adéquat des structures hydrauliques. Ces données sont indispensables pour garantir la sécurité, l'efficacité et la durabilité de l'aménagement tout au long de sa vie utile.

III.2 Analyse des données pluviométriques

III.2.1 Etude de la précipitation maximale

Plusieurs stations pluviométriques situées à l'intérieur et à proximité du bassin versant du barrage de Ramdane Djamel sont disponibles : [1]

- Deux stations à l'intérieur du bassin versant, dans sa partie Est, 03-09-04 et 03-09-05, situées en altitude,
- Une station quasiment au droit du barrage de Zardezas sur le versant rive gauche de l'oued Saf-Saf, 03-09-03,
- Trois stations sur le bassin versant de l'oued Saf-Saf à l'aval du barrage, 03-09-06, 03-09-08 et 03-09-09, situées entre 12 et 20 km à l'aval du barrage projeté,
- Deux stations sur le bassin versant de l'oued Guebli, à l'ouest, 03-07-05 et 03-07-06, situées 12 à 18 km au Nord-ouest de la limite du bassin versant du barrage.

La série des pluies maximales journalières de la station de 03-09-05 données dans le tableau ci-dessous :

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

Année/mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Max
1968	57.1	7.5	22.5	6.8	8	2.5	1.7	18.8	1.1	0	8.4	17.5	57.1
1969	26	16	23	43	5	0	18	0	80	48	10	54	80
1970	38.8	15	12	10	30	0	0	0	0	51	7	0	51
1971	19.8	8	10	14	10	8.5	0	9	10.2	21	174	11.5	174
1972	92.5	25.9	42	14	2	38	0	8.9	2.5	26.1	8	35.2	92.5
1973	6	29.7	48	16.7	0	1.3	8	0.4	37	33.4	19.4	25	48
1974	17.8	70.4	20.2	41.2	31	0.8	0	14.6	29	18.9	20.8	13.7	70.4
1975	22	28.6	23.7	20.2	16.2	7.6	10	34	10.2	2.8	42.6	18.7	42.6
1976	20.4	12	21.2	33.2	58.6	22	0.6	8.3	25.4	47	69.2	8.7	69.2
1977	19.4	24	35.4	9.4	16.4	13.6	0	18	0.8	11.4	25.8	8.1	35.4
1978	23	24.2	25	40	9	10	6.2	0.5	1.7	17.5	18.8	16	40
1979	30.5	29.5	25.5	31	32.6	3.4	0.7	4	20.5	12	21.1	22.8	32.6
1980	19.5	8.8	23	14	8	14	0	13.5	19.5	9.5	17	42.7	42.7
1981	27.2	33.6	26	16	14.4	2	0.8	3.2	4.5	15	20.9	23.8	33.6
1982	3.2	9.2	20	6.8	11.5	18.2	1	2.5	22.6	63.4	47	28.9	63.4
1983	24.5	43.4	15	9.9	9	7	0	6	11.4	20.2	34.2	10	43.4
1984	26.7	18	31.5	9	20.5	0	0	0	12	24	4	75.6	75.6
1985	7	6	15.6	9	8.5	8	0	2.5	23	15.7	19	7.5	23
1986	21.3	35.6	9.5	7.8	18.7	0	0.6	2	12	17	44	25.3	44
1987	15.2	28.7	14	22	16.3	17.6	3	0	2.5	11.7	36.2	11.2	36.2
1988	25.7	14.5	27.2	16.5	2.5	4.7	3	5.5	20.4	2.6	10.6	43.2	43.2
1989	43.3	0	27	7.2	9	6.2	5.5	13.6	12.3	47	17	18.5	47
1990	20	15.3	30.2	24.1	19	4.5	0	6.3	1	3.3	51.7	42	51.7
1991	28.5	24.4	33.5	42	99	7	4.8	0	15.6	35	19.5	5.5	99
1992	60	9.5	6	13	27.8	5.1	0	2	4	8.3	72.4	86	86
1993	11	20.3	8	18	2.1	0	6.3	6.2	12	11	8	109	109
1994	28.1	11.2	42.4	12.6	2.8	8.5	3.3	0	5.6	28.5	17.6	29.6	42.4
1995	52.5	33	20.5	33.5	76	3.5	0	6	15.7	21	31.3	1.5	76
1996	11	15	16	18	3	14	1.1	5.5	6	22.5	6.5	20.5	22.5
1997	8	27.5	20	34	26.5	1	15	0	127	39.5	40.3	56	127
1998	18.5	17.5	20.5	21.5	22	9	2.5	1.5	18.5	21	51	12.5	51
1999	12.5	7.5	15	13	90	6.5	0.5	8	10.5	10	14	37	90
2000	34.5	25	24.3	22.4	21	1.5	0	3.5	5	33	20	10	34.5
2001	11	25	12.5	24.5	8	6.2	16	15	11	2.5	18.5	9.5	25
2002	49.5	23	19	80	22	1	0.5	0	8.5	14	32.5	28.5	80
2003	27	10.7	21	11	32.5	49	0	2	23	26	8	55	55
2004	49	22	13.5	41.5	8	6	3.5	2.5	18.5	21	120.7	37	120.7
2005	36	45.5	11.5	12.5	15.5	2.5	6.5	6.2	8.5	4.5	12.3	61	61
2006	8.5	15.7	107	20	5	17.5	2.5	3.5	15.2	19.5	35.5	47	107
2007	7	17.2	39	42.5	20.5	4	8.5	5.5	26	16.5	28	29.6	42.5
2008	60.5	13.5	25	39	25	0	8.5	10	10.5	8	37	15.2	60.5
2009	64	8	22	22.5	22	25.5	2	6.5	56	22	18.5	33.5	64

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

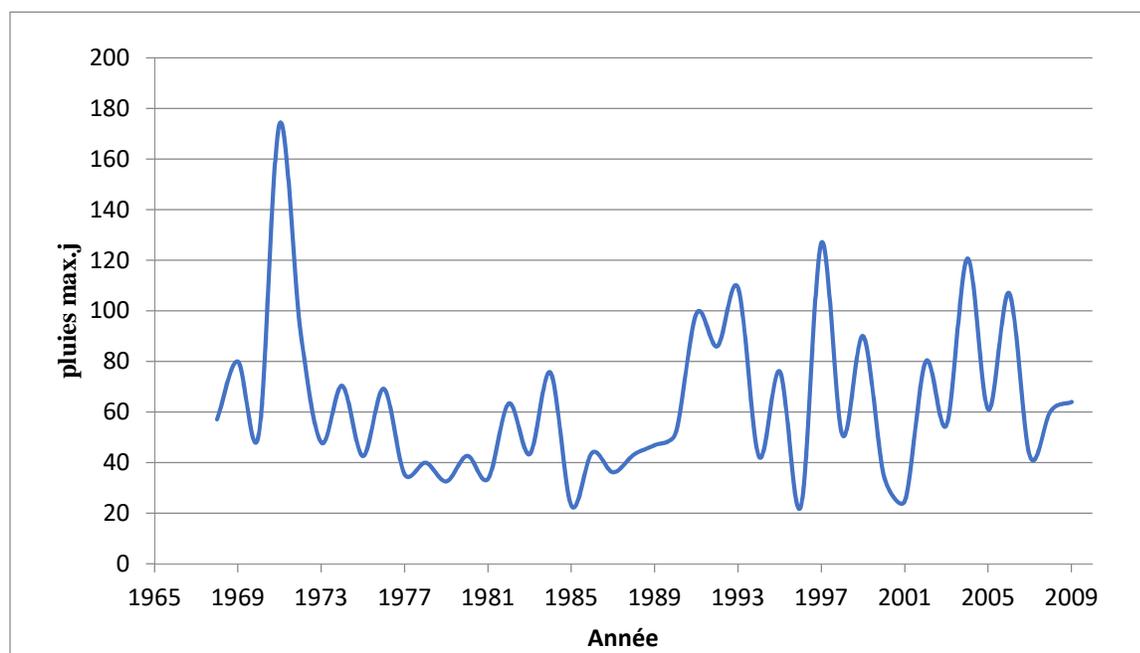


Figure III.1 - Variabilité chronologique des maximales journaliers.

III.2.2 Caractéristique Statiques

Tableau III.2 - Caractéristiques statiques de la série P.j. max.

Caractéristique	Valeur	Caractéristique	Valeur
Nombre de données	42	Médiane	53
Minimum	22	Coeff de variation Cv	0.506
Maximum	174	Coeff d'asymétrie Cs	1.38
Moyenne	62.9	Coeff d'aplatissement Ck	4.75
Ecart-type	31.8	-	-

III.2.3 Ajustement statique

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

- *Paramètres du logiciel:*

T : Période de retour.

Q : Fréquence.

XT : Pluie maximale correspondante à la période de retour donnée.

III.2.3.1 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL

La répartition de la loi de Gumbel s'écrit :

$$F(x_i) = e^{-e^{-a(x-x_0)}} \quad (\text{III.1})$$

f(x): Fréquence au non dépassement.

, x_0 : des coefficients d'ajustement.

Si on pose : $Y = (x-x_0)$

Avec :

Y : variable réduite de Gumbel

On trouve que $X = 1/y + x_0$

Avec :

X est la précipitation maximal journalière.

$$Y_i = -[\ln(-\ln F(x_i))] \quad (\text{III.2})$$

) *Résultats de l'ajustement :*

Nombre d'observations: 42

Paramètres : $u = 48.99$ $= 22.53$

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

$$T = 1/(1-q) \quad (\text{III.3})$$

Tableau III.3 - Résultats de l'ajustement à la loi de Gumbel.

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
1000	0.9990	205	20.5	164	245
200	0.9950	168	16.1	137	200
100	0.9900	153	14.2	125	181
50	0.9800	137	12.4	113	181
20	0.9500	116	9.94	96.4	135
10	0.9000	99.7	8.10	83.8	135

) **Comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon :**

Tableau III.4 - Comparaison des caractéristiques de la loi de Gumbel et de l'échantillon.

Paramètres	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum	Aucun	22.0
Maximum	Aucun	174
Moyenne	62	62.9
Ecart-type	28.9	31.8
Médiane	57.3	53
Coefficient de variation (Cv)	0.466	0.506
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1.14	1.38
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2.40	4.75

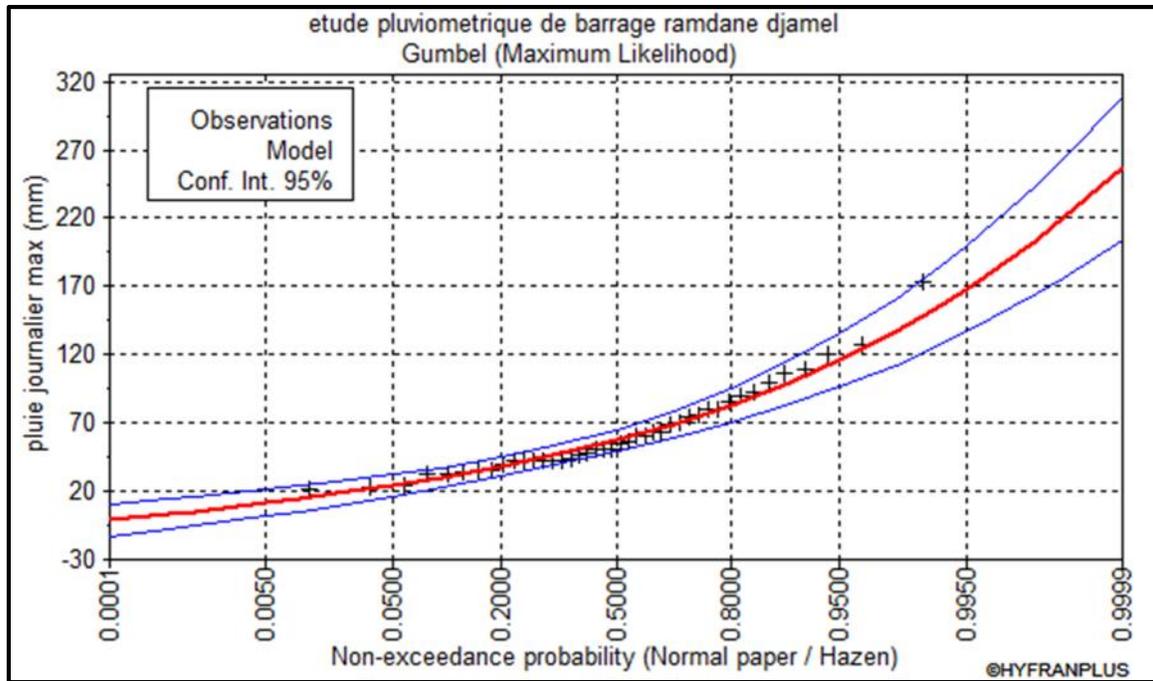


Figure III.2 - Ajustement de la série par la loi de Gumbel.

III.2.3.2 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON (log-normale)

$$\text{Log } \overline{P_{m \cdot j}} = \frac{\sum (1 - P_{m \cdot j} - \overline{1 - P_{m \cdot j}})^2}{N} \quad \text{(III.4)}$$

$$\text{Log } P_{m \cdot j} = \overline{\text{Log } P_{m \cdot j}} + \sigma_{1\epsilon} u_{p\%} \quad \text{(Equation de la droite d'ajustement)}$$

$u_{p\%}$: Variable du Gauss pour différentes fréquences.

) Résultats de l'ajustement :

Nombre d'observations: 42

Paramètres : $\mu=4.02891$ $\sigma= 0.474875$

Quantiles :

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

$T = 1 / (1-q)$

Tableau III.5 - Résultats de l'ajustement à la loi de GALTON (Log Normal).

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
1000	0.9990	244	43.4	159	329
200	0.9950	191	29.4	133	249
100	0.9900	170	24.1	122	217
50	0.9800	149	19.4	111	187
20	0.9500	123	13.9	95.5	150
10	0.9000	103	10.3	83.2	123

) **Comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon :**

Tableau III.6 - Comparaison des caractéristiques de la loi de GALTON et de l'échantillon.

Paramètres	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum	Aucun	22.0
Maximum	Aucun	174
Moyenne	62.9	62.9
Ecart-type	31.6	31.8
Médiane	56.2	53
Coefficient de variation (Cv)	0.503	0.506
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1.64	1.38
Coefficient d'aplatissement (Ck)	8.11	4.75

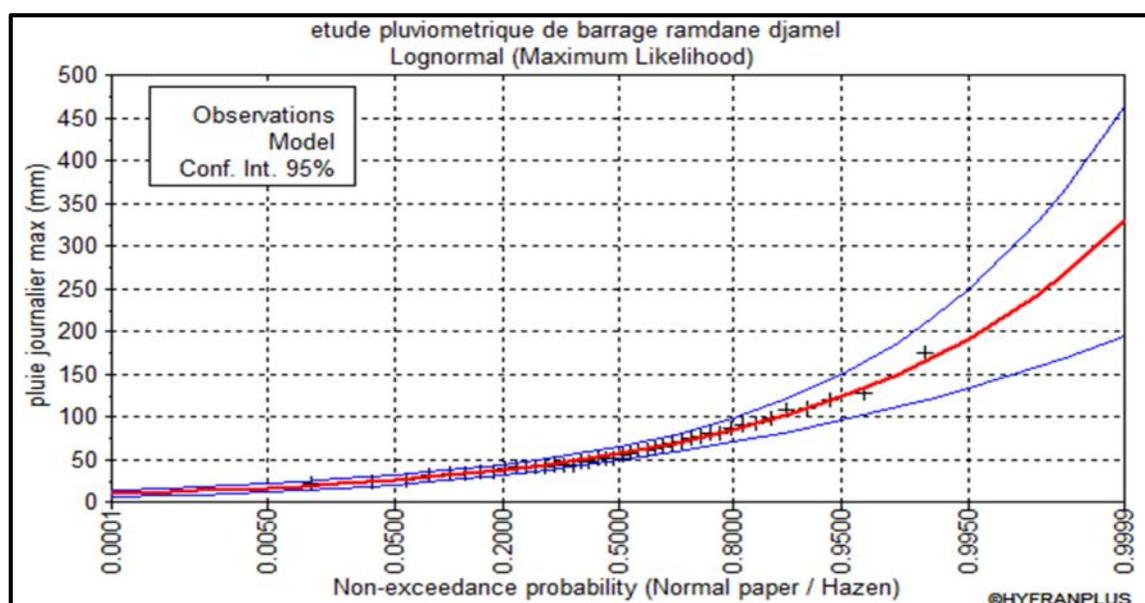


Figure III.3 - Ajustement de la série par la loi de Log normale (Galton).

➤ **Comparaison entre les deux ajustements :**

-) Le tableau ci-après montre les valeurs des critères d'information BIC et AIC, ces critères permettent de comparer le degré d'ajustement.
-) Les meilleurs ajustements correspondent aux plus faibles valeurs de ces statistiques.

Model	Nb param.	XT	P(Mi)	P(Mi x)	BIC	AIC
Lognormal (Maximum Likelihood)	2	169.668	50.00	71.79	401.540	398.064
Gumbel (Maximum Likelihood)	2	152.649	50.00	28.21	403.408	399.933

P(Mi) : A priori probability P(Mi | x) : A posteriori probability (Method of Schwarz) BIC : Bayesian information criterion AIC : Akaike information criterion

Ponderated mean by A posteriori probability of quantiles :

Figure III.4 - Critères de comparaison des lois d'ajustement.

Nous avons remarqué que le meilleur résultat d'ajustement est trouvé pour la loi Log Normal,

III.3 Etude des pluies de courtes durées et leurs intensités

Pour des temps inférieurs au temps de concentration, on peut estimer les pluies de courtes durées pour différentes fréquences, par la formule de Body préconisé par l'ANRH :

$$P_c = P_{j,m} \left(\frac{t}{2} \right)^b \quad (III.5)$$

Avec:

- P_c : Pluie de courte durée (m) de fréquence égale à celle $P_{j,m}$;
- $P_{j,m}$: Pluie journalière maximale fréquentielle (m) ;
- t : Temps (h) ;
- b : Exposant climatique régional.

$$b = \frac{\ln \left[\frac{P_{j,m}}{2} \right] - \ln(2)}{\ln(2) - \ln(2)} + 1 \quad (III.6)$$

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

$$I_t = \frac{P_c}{t} \quad (\text{III.7})$$

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.7 - Pluies de courte durée et intensités de pluie pour différentes fréquences.

Période de retour	1000		200		100		50		20		10	
Fréquence %	0.9990		0.9950		0.9900		0.9800		0.9500		0.9000	
Pj.max	244		191		170		149		123		103	
T(h)	P _{ct} (mm)	I _t (mm/h)										
0.5	12.87	25.74	12.71	25.42	12.71	25.41	13.00	26.00	12.53	25.06	12.73	25.47
1	21.80	21.80	20.65	20.65	20.22	20.22	20.12	20.12	18.86	18.86	18.51	18.51
2	36.92	18.46	33.54	16.77	32.17	16.08	31.14	15.57	28.39	14.20	26.92	13.46
3	50.24	16.75	44.55	14.85	42.21	14.07	40.20	13.40	36.06	12.02	33.51	11.17
3.46	55.99	16.18	49.23	14.23	46.44	13.42	43.98	12.71	39.23	11.34	36.19	10.46
4	62.52	15.63	54.49	13.62	51.18	12.79	48.19	12.05	42.74	10.68	39.14	9.79
5	74.07	14.81	63.70	12.74	59.43	11.89	55.46	11.09	48.75	9.75	44.15	8.83
6	85.08	14.18	72.38	12.06	67.15	11.19	62.21	10.37	54.29	9.05	48.72	8.12
7	95.65	13.66	80.62	11.52	74.46	10.64	68.56	9.79	59.45	8.49	52.95	7.56
8	105.87	13.23	88.52	11.07	81.43	10.18	74.58	9.32	64.33	8.04	56.91	7.11
9	113.98	12.66	96.13	10.68	88.12	9.79	80.32	8.92	68.96	7.66	60.65	6.74
10	125.44	12.54	103.49	10.35	94.56	9.46	85.83	8.58	73.38	7.34	64.20	6.42
11	134.86	12.26	110.63	10.06	100.80	9.16	91.14	8.29	77.63	7.06	67.59	6.14

12	144.08	12.01	117.57	9.80	106.85	8.90	96.28	8.02	81.71	6.81	70.84	5.90
13	153.12	11.78	124.35	9.57	112.73	8.67	101.26	7.79	85.67	6.59	73.97	5.69
14	161.99	11.57	130.97	9.36	118.47	8.46	106.10	7.58	89.49	6.39	76.99	5.50
15	170.71	11.38	137.45	9.16	124.08	8.27	110.81	7.39	93.21	6.21	79.91	5.33
16	179.29	11.21	143.80	8.99	129.56	8.10	115.41	7.21	96.83	6.05	82.75	5.17
17	187.75	11.04	150.04	8.83	134.93	7.94	119.90	7.05	100.36	5.90	85.50	5.03
18	196.08	10.89	156.16	8.68	140.20	7.79	124.30	6.91	103.80	5.77	88.18	4.90
19	204.31	10.75	162.19	8.54	145.37	7.65	128.61	6.77	107.16	5.64	90.79	4.78
20	212.43	10.62	168.12	8.41	150.45	7.52	132.83	6.64	110.46	5.52	93.34	4.67
21	220.45	10.50	173.96	8.28	155.45	7.40	136.98	6.52	113.68	5.41	95.83	4.56
22	228.39	10.38	179.71	8.17	160.37	7.29	141.05	6.41	116.84	5.31	98.27	4.47
23	236.23	10.27	185.39	8.06	165.22	7.18	145.06	6.31	119.95	5.22	100.66	4.38
24	244.00	10.17	191.00	7.96	170.00	7.08	149.00	6.21	123.00	5.13	103.00	4.29

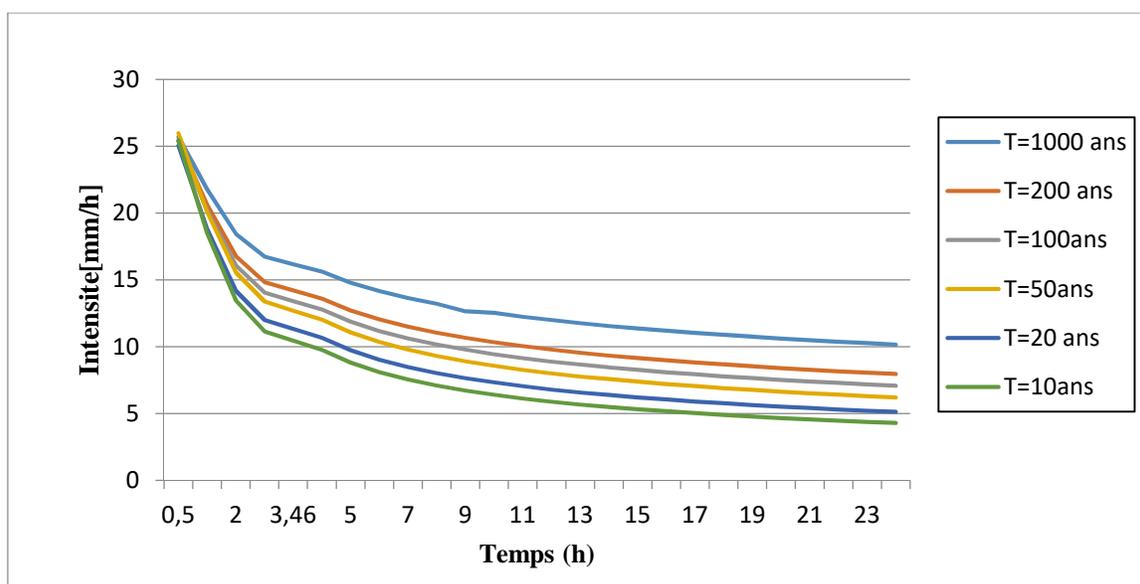


Figure III.5 - Intensités des pluies de courte durée de différentes périodes de retours.

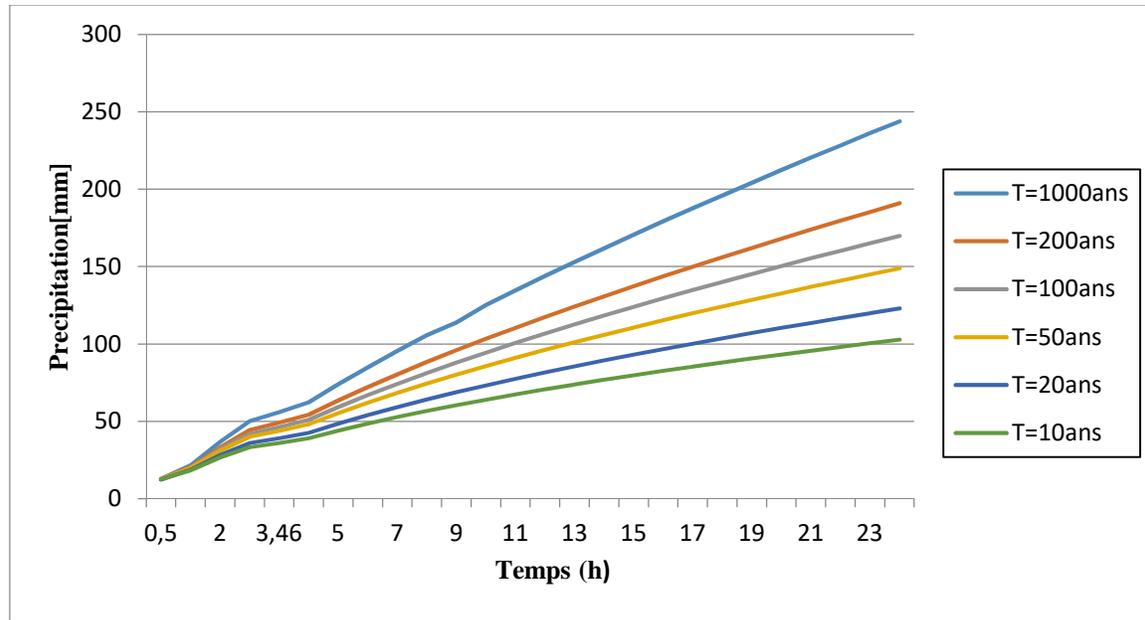


Figure III.6 - Pluies de courtes durées de différentes périodes de retours.

III.4 Etude des apports

III.4.1 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.4.1.1 Estimation de l'apport moyen annuel A_0

L'apport moyen annuel est estimé par l'utilisation des plusieurs méthodes et formules empiriques, celles les plus usitées:

➤ 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 :

a) Formule ANRH :

$$A_0 = 0.9 * P_m^{2.6} * S^{0.8} \quad (III.8)$$

Avec :

- A_0 : apport moyen annuel (Hm^3) ;
- P_m : Pluie moyenne annuelle (m) ;
- S : Superficie du bassin (Km^2) ;
- L_e : Lamme d'eau écoulée (mm).

$$L_e = \frac{A_0}{S} \quad (\text{III.9})$$

b) Formule dite (Algérienne) :

$$L_e = P_{\text{moy}} (1 - (1 - k m^{-2})) \quad (\text{III.10})$$

Tel que :

$$K = 0.18 - 0.01 * \log(S) \quad (\text{III.11})$$

$$A_0 = L_e * S * 10^{-3} \quad (\text{III.12})$$

Avec :

- L_e : Lamme d'eau écoulée (mm) ;
- P_m : Pluie moyenne annuelle (m) ;
- A_0 : Apport moyen annuel (Hm^3) ;
- K : coefficient dépend de la surface du bassin versant ;
- S : superficie du bassin versant (Km^2).

c) Formule de SAMIE :

$$A_0 = L_e * S \quad (\text{III.13})$$

$$L_e = P_m^{-2} (2 - 2.2\sqrt{S}) \quad (\text{III.14})$$

- P_m : Pluie moyenne annuelle (m) ;
- S : Superficie du bassin (Km^2) ;
- L_e : Lamme d'eau écoulée (mm) ;
- A_0 : Apport moyen en (Hm^3).

Après les calculs le tableau suivant représente les résultats :

Tableau III.8 - Récapitulatif des résultats des apports et les lames d'eau écoulées.

Formule	Lame d'eau écoulée L_e (mm)	Apport moyen annuel (Hm^3)
ANRH	7.53	2.40
ALGERIENNE	4.43	1.41
SAMIE	14	4.46

Interprétation :

La moyenne des apports données par les différentes formules est proche de la valeur donnée par la formule de l'ANRH, nous prenons $A_0 = 2.40 Hm^3$.

III.4.1.2 Caractéristiques de l'écoulement

Le calcul des différentes caractéristiques d'écoulements sont présentées comme suit:[5]

a) Le module d'écoulement M_e

$$M_e = \frac{A_0}{T} \quad (\text{III.15})$$

Avec :

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

b) Module de l'écoulement relatif ou spécifique (M_0)

$$M_0 = \frac{M_e}{S} \quad (\text{III.16})$$

- M_0 : Module de l'écoulement (l/s) ;
- S : Superficie du bassin (Km^2).

c) Coefficient de l'écoulement C_e

Il est donné par :

$$C_e = \frac{L_e}{P_m} \quad (\text{III.17})$$

Avec :

- P_m : Pluie moyenne annuelle (mm) ;
- L_e : Lame d'eau écoulée (mm).

d) Coefficient de variation

Pour calculer le coefficient de variation C_v , on utilise les formules empiriques suivantes : [5]

1- Formule de Sokolovsky

On a :

$$C_v = a - 0.01 \cdot (s + 1) \quad (\text{III.18})$$

Avec :

$$a = 0.78 - 0.29 \cdot \log(M_0) \quad (\text{III.19})$$

- M_0 : Module de l'écoulement relatif (l/s/Km²).

2- Formule de L'Antonov

$$C_v = \frac{0.7}{(s+1)^{0.05}} \quad (\text{III.20})$$

- S : Superficie du bassin en (Km²).

3- Formule de Kristekly Menkel

$$C_v = \frac{0.8}{s^{0.05} M_0^{0.2}} \quad (\text{III.21})$$

- M_0 : Moudule de l'écoulement relatif (l/s/Km²) ;
- S : Superficie du bassin en (Km²).

Tableau III.9 - Résultats du calcul des caractéristiques d'écoulement.

Caractéristique	Unité	Valeurs
Module d'écoulement M_0	l/s	76.10
Module d'écoulement relatif M_0	l/s/Km ²	0.24
Lame d'eau écoulée L_e	mm	7.54
Coefficient d'écoulement C_e	-	0.032
Coefficient de SOKOLOVSKY	-	0.80

Interprétation

D'après les résultats des calculs pour le coefficient de variation on prend le résultat le plus proche de la moyenne des trois formules empiriques ; celui de SOKOLOVSKY : $C_V = 0.80$.

III.4.1.3. Les apports fréquentiels

Les barrages sont dimensionnés généralement pour une fréquence de 80%.

C'est le volume d'eau qu'on pourra assurer huit (08) années sur dix (10), on le calcule à partir de la loi d'ajustement statistique de GALTON. En supposant une distribution d'une loi log-Normale des apports. [4]

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

$$A_{P\%} = \frac{A_0}{\sqrt{C_v^2 + 1}} e^{\mu \sqrt{\ln(C_v^2 + 1)}} \quad (\text{III.22})$$

Avec :

- $A_{P\%}$: Apport de fréquence donnée (M^3) ;
- A_0 : Apport moyen annuel (M^3) ;
- C : Coefficient de variation ;
- μ : Variable réduite de Gauss.

Pour notre étude nous calculons l'apport fréquentiel de 80%, avec $\mu = 0.2357$;

$$A_{80\%} = 151,66 \cdot 10^4 \text{ m}^3.$$

III.4.2. Le transport solide et estimation du volume mort

Le transport solide dans un cours d'eau représente la deuxième phase de l'érosion. La manière dont les matériaux sont arrachés du sol et transportés par l'écoulement dépend principalement de la vitesse de l'écoulement et de la taille des particules. L'eau puise l'énergie nécessaire à ce transport en perdant de sa charge. La distribution des vitesses d'écoulement varie le long du profil du cours d'eau, de l'amont à l'aval de l'oued.

Les Formules empiriques

) Formule de SOGREAH

Pour l'est d'Algérie, la formule s'exprime par :

$$T_s = 9 \cdot L_e^{0.2} \quad (\text{III.23})$$

Avec :

- T_s : Le transport solide en (t/Km² /an) ;
- L_e : La lame écoulée en (mm).

Donc :

$$T_s = 140.61 \text{ (t/Km}^2 \text{ /an)}$$

Calcul du volume mort :

Le volume mort est un volume constant qui ne participe pas à la régularisation des débits.

Le volume est donné par la formule suivante : (Méthode liée à l'érosion spécifique) :

$$V_m = \frac{T_s \cdot T \cdot S}{\gamma_s} \quad (\text{III.24})$$

AVEC :

- T : Durée de vie du barrage (50 ans) ;
- γ_s : Poids spécifique des sédiments (1,6 t/m³) ;
- S : Surface du bassin versant 318.44 Km².

D'où :

$$V_m = 1.40 \text{ Hm}^3.$$

III.5 Etude des crues

Les paramètres définissant une crue sont :

- Le débit maximum de la crue (Débit de pointe).
- Le volume de la crue.

- La forme de la crue (Hydrogramme de crues).
- Le temps de base.
- **Calcul du débit des crues :**

Pour la détermination du débit de pointe probable de la crue des différentes périodes de retour, différentes formules empiriques ont été sélectionnées pour le calcul.

) **Formule de Mallet-Gauthier**

$$Q_M = 2 k_t \log (1+A_t P_m) \frac{S}{L} \sqrt{1 + 4 g T - l u S} \quad (III.25)$$

Où :

- Q_M : Débit maximum pour une fréquence donnée (m^3/s) ;
- T : période de retour en années ;
- P_m : Pluie moyenne annuelle(m) ;
- L : Longueur du cours d'eau principal(Km) ;
- K_t : constante dépendant des caractéristiques géographiques et climatiques du bassin

$$1 < K < 3 ;$$

- A_t : Paramètre du bassin varie entre 20 et 30.

Tableau III.10 - Débits des crues (Mallet-Gauthier).

T (ans)	10	20	50	100	200	1000
Q_m (m3)	439.46	535.03	639.82	708.87	771.77	901.04

) **Formule de SOKOLOVSKY**

$$Q_{m \ p\%} = \frac{0.2 (P - H_0) \alpha F S}{T_m} \quad (III.26)$$

Avec :

- H_0 : C'est la perte d'eau initiale. Au nord de l'Algérie $H_0 = 14$ mm ;
- P_{tc} : Précipitation de probabilité P% correspondant à un temps t_c (mm) ;
- $T_m = T_c$ temps de concentration (3.46h) ;
- F : Coefficient de forme de la crue : $F = 12 / (4+3.)$;
- S : Superficie du bassin(Km) ;
- α : Coefficient de ruissellement de la crue pour une période donnée.

$$\alpha_{p\%} = \frac{P_{\%_H}}{P_{\%+H}} \quad (\text{III.27})$$

Tableau III.11 - Valeur de α en fonction de bassin versant.

Condition	
Surface du B.V compris entre 1 et 50 km ²	= 2
Pour un bassin boisé avec un sol peut perméable	2 2.5
Pour un bassin boisé	3 4
Pour les grands bassins	4 7

On prend : $\gamma = 2.25$. D'où : $F = 1,11$.

Les résultats de calcul sont donnés dans le tableau (III.11).

Tableau III.12 - Débits des crues (SOKOLOVSKY).

T (ans)	10	20	50	100	200	1000
α	0.23	0.25	0.27	0.29	0.30	0.33
Q_m	40.55	50.11	64.31	74.74	83.97	110.10

Étant donné que le débit maximal obtenu avec la formule de MALLET- GAUTHIER, est le plus grand, nous opterons pour ces valeurs pour nos prochains calculs.

III.6 Hydrogramme 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.[5]

a) Pour le temps de montée

$$Q_{m \text{ ée}} = Q_m \left(\frac{T}{T_m}\right)^2 \quad \text{(III.28)}$$

$T_m = T_c$: Temps de montée en heures .

b) Pour la décrue :

$$Q_{\text{déc}} = Q_m \left(\frac{T_b - T}{T_d}\right)^3 \quad \text{(III.29)}$$

- Q_m : débit maximum d'une fréquence donnée (x) ;
- T_m : Temps de montée de la crue ($T_m = T_c = 1.68$ heures) ;
- T_d : Temps de la décrue en heures ;
- T_b : Temps de base en heures ;
- δ : Coefficient qui dépend des caractéristiques du bassin versant (3.5).
- $T_d = \delta \cdot T_m = 3.5 \times 3.46 = 12.11$ h. Et $T_b = 15.57$

Tableau III 13 - 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

- δ est égale 3.5.

Tableau III.14 - Hydrogramme de crue de différente période de retour.

T (ans)	10	20	50	100	200	1000
Q_m (m³)	439.46	535.03	639.82	708.87	771.77	901.04
Temps	Q (m³/s)					
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	9.18	11.17	13.36	14.80	16.12	18.82
1	36.71	44.69	53.44	59.21	64.47	75.26
1.5	82.59	100.56	120.25	133.23	145.05	169.35
2	146.83	178.77	213.78	236.85	257.87	301.06
2.5	229.43	279.32	334.03	370.08	402.92	470.40
3	330.38	402.22	481.00	532.91	580.20	677.38
3.46	439.46	535.03	639.82	708.87	771.77	901.04
3.5	432.15	529.74	633.50	701.86	764.15	892.14
4	380.63	466.60	557.98	618.20	673.06	785.80
4.5	333.40	408.68	488.73	541.47	589.51	688.26
5	290.22	355.77	425.45	471.36	513.20	599.15
5.5	250.95	307.63	367.88	407.60	443.75	518.08
6	215.40	264.04	315.76	349.84	380.88	444.68
6.5	183.37	224.78	268.81	297.82	324.25	378.56
7	154.68	189.62	226.76	251.23	273.52	319.34
7.5	129.16	158.33	189.34	209.77	228.40	266.64
8	107.34	130.68	156.28	173.15	188.51	220.10
8.5	87.44	106.46	127.31	141.05	153.57	179.30
9	70.17	85.43	102.17	113.20	123.24	143.88
9.5	55.34	67.37	80.57	89.27	97.20	113.47
10	42.76	52.06	62.25	68.97	75.10	87.67
10.5	32.24	39.26	46.95	52.02	56.63	66.12
11	23.61	28.75	34.38	38.10	41.47	48.42
11.5	16.68	20.31	24.30	26.91	29.30	34.20
12	11.26	13.70	16.40	18.16	19.77	23.08
12.5	7.16	8.71	10.42	11.54	12.57	14.68
13	4.20	5.11	6.11	6.77	7.37	8.61
13.5	2.20	2.67	3.20	3.54	3.85	4.50
14	0.95	1.16	1.40	1.54	1.68	1.96
14.5	0.30	0.36	0.44	0.48	0.53	0.62
15	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08	0.09
15.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15.57	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00

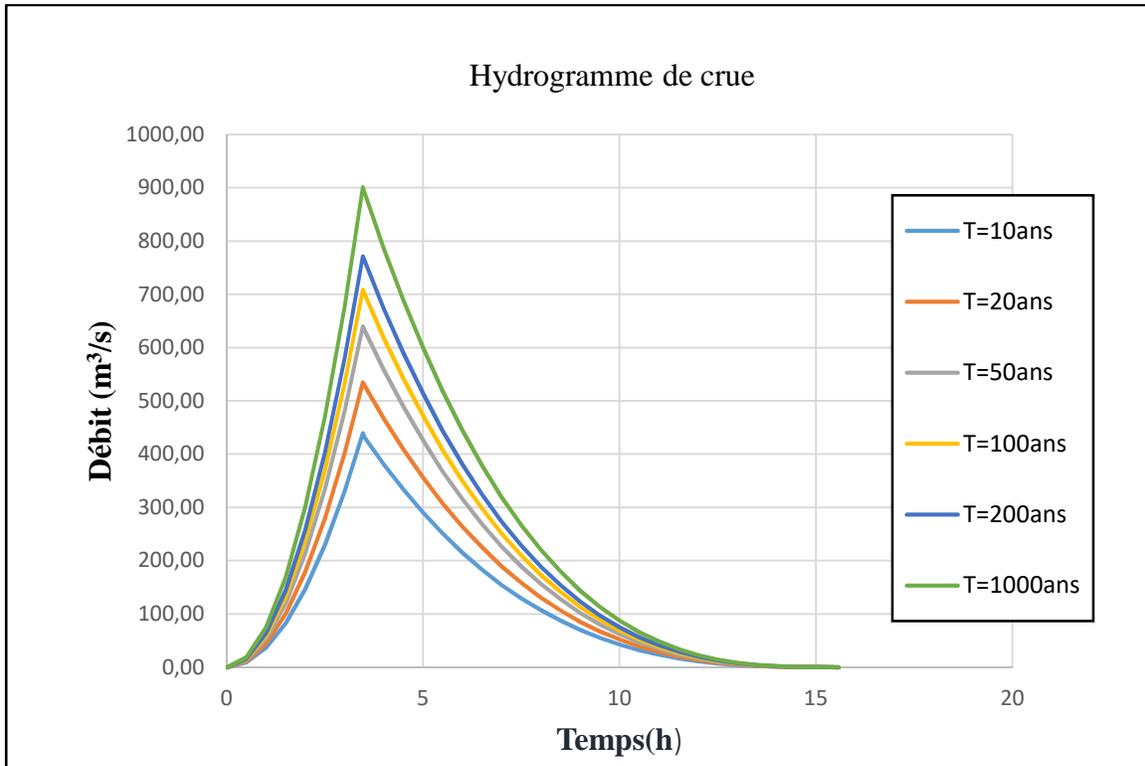


Figure III.7 - Hydrogramme de crue pour différente période de retour.

III.7 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.15 - 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 le site est un peu éloigné des zones urbaines et le volume d'emmagasinement est relativement important, alors on opte pour une crue de projet de période de retour de 1000 ans. $Q_m = 901.04 \text{ m}^3/\text{s}$.

L'hydrogramme de la crue de projet et illustré sur la figure suivante :

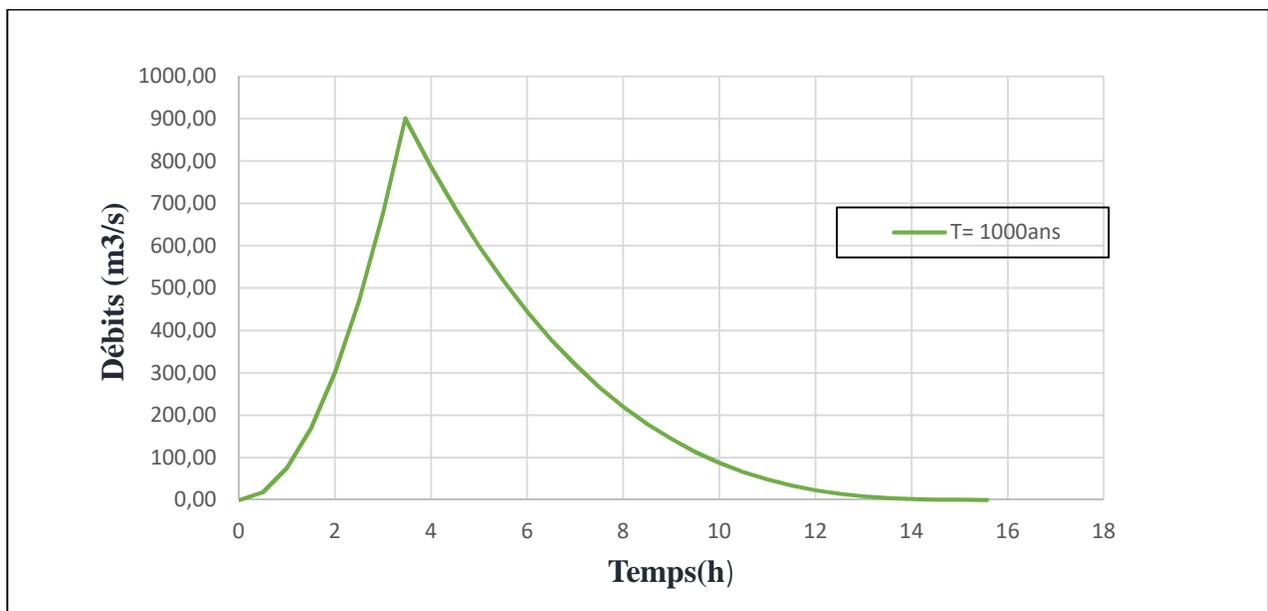


Figure III.8 - Hydrogramme de la crue de projet.

III.8 Choix de la crue de chantier

La crue constitue l'une des phases du régime d'un cours d'eau, se caractérisant par des débits et des niveaux d'eau élevés. Elle est généralement causée par la fonte des neiges ou des pluies intenses. Dans le cadre du dimensionnement de l'ouvrage de dérivation, il est crucial de choisir le niveau de protection souhaité contre les crues.

Ce choix dépend du degré de risque acceptable. Ainsi, en prenant en compte ces différentes exigences, la crue de période de retour de 20 ans est considérée comme la plus appropriée pour la conception des ouvrages de dérivation et les prises d'eau, avec un débit de $Q = 535.03 \text{ m}^3/\text{s}$.

III.9 Conclusion

Suite à l'étude hydrologique et à l'analyse des résultats, les conclusions suivantes peuvent être tirées :

-) La précipitation moyenne annuelle : 235 mm.
-) Les apports mensuels reflètent les caractéristiques du régime des apports et leur irrégularité, comme en témoigne le coefficient de variation $C_v = 0.80$.
-) L'apport moyen annuel est de 2.40 Hm^3 .
-) L'apport moyen fréquentiel est de $151,66.10^4 \text{ m}^3$.
-) Le volume mort est de 1.4 Hm^3 .
-) Le débit de crue maximal pris en compte pour l'étude de laminage est la crue avec une période de retour de 1000 ans, soit $Q_{0.01\%} = 901.04 \text{ m}^3/\text{s}$, déterminée à partir de l'hydrogramme des crues.

Chapitre IV

Régularisation et laminage des crues

IV.1 Introduction

L'objectif de l'étude de régularisation est de trouver la meilleure méthode pour gérer les eaux stockées afin de répondre à la demande en aval, que ce soit pour la consommation d'eau potable ou l'irrigation. Il existe deux types de régularisation utilisés :

-) la régularisation saisonnière
-) la régularisation interannuelle.

Les paramètres pris en compte dans le calcul de la régularisation sont les suivants : [3]

-) L'apport en eau (exprimé à 80%),
-) La consommation totale d'eau,
-) Les infiltrations et l'évaporation,
-) Les courbes caractéristiques du réservoir.

En revanche, l'étude du laminage consiste à déterminer la hauteur maximale atteinte par le plan d'eau, ainsi que la taille optimale du dispositif d'évacuation des crues en fonction des hauteurs de laminage, sans compromettre la sécurité globale du barrage.

IV.2 Courbes caractéristiques de la retenue

Les caractéristiques (hauteur-surface-volume) du réservoir ont été estimées pour différentes altitudes à partir du levé topographique de la cuvette. La côte minimale de la cuvette est 871 m et une côte maximale de 910 m.

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

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

- S_i : Surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau H_i en km^2 ;
- S_{i+1} : Surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau H_{i+1} en km^2 ;
- ΔH : Différence d'altitude entre les deux courbes de niveau successives ;
- ΔV_i : Volume élémentaire compris entre deux courbes de niveau successives (Hm^3).

Tableau IV.1 – Les coordonnées des courbes Hauteur- Surface- Capacité.

Cote (m)	Surface (Km ²)	Surface moyenne (Km ²)	H (m)	Volume partiel (hm ³)	Volume cumulé (hm ³)
200	0	0	0	0	0
201	0.085	0.1155	4	0.085	0.085
205	0.146		5	0.462	0.462
210	0.253	0.1995	5	0.9975	1.4595
215	0.55	0.4015	5	2.0075	3.467
220	0.87	0.71	5	3.55	7.017
225	1.28	1.075	5	5.35	12.367
230	1.55	1.415	5	7.075	19.442
235	1.98	1.765	5	8.825	28.267
240	2.52	2.25	5	11.25	39.517
245	2.985	2.7525	5	13.7625	53.2795
250	3.65	3.3175	5	16.58	69.859
255	4.14	3.895	5	19.475	89.334
260	4.905	4.5225	5	22.61	111.944
265	5.55	5.2275	5	26.137	138.081
270	6.25	5.9	5	29.5	167.581

Les courbes « Hauteur- capacité » et « Hauteur- surface » sont présentés respectivement par la figure (IV.1) et la figure (IV.2) ci-dessous :

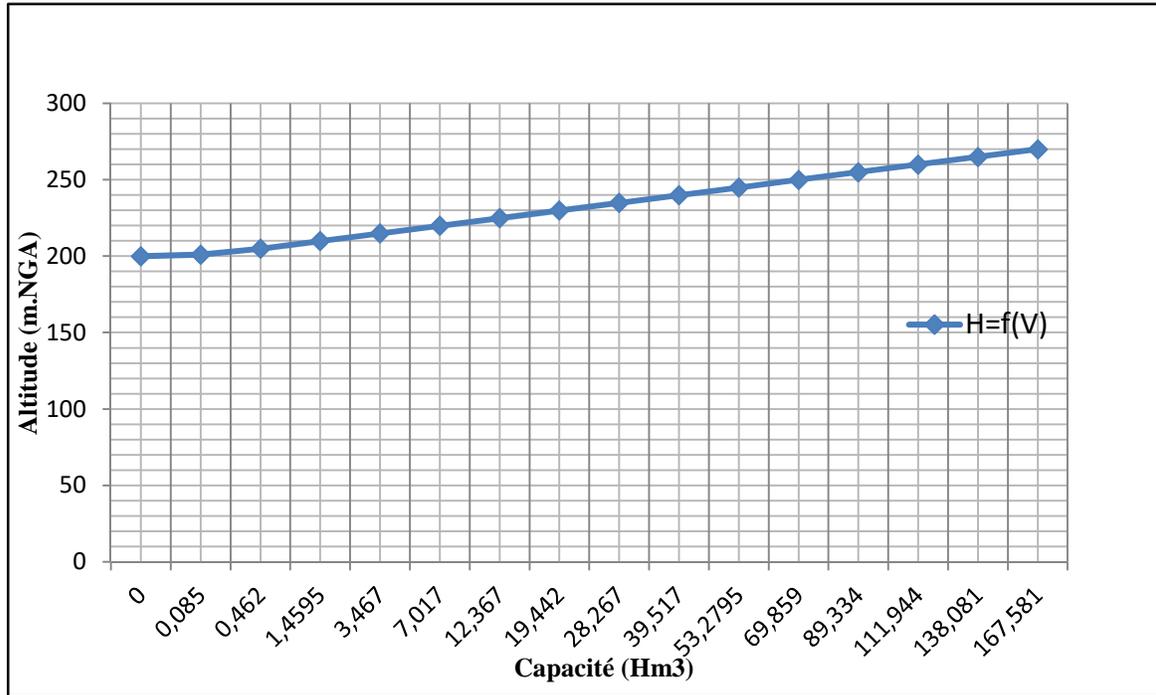


Figure IV.1 - courbe « Hauteur- Capacité » $H=f(V)$.

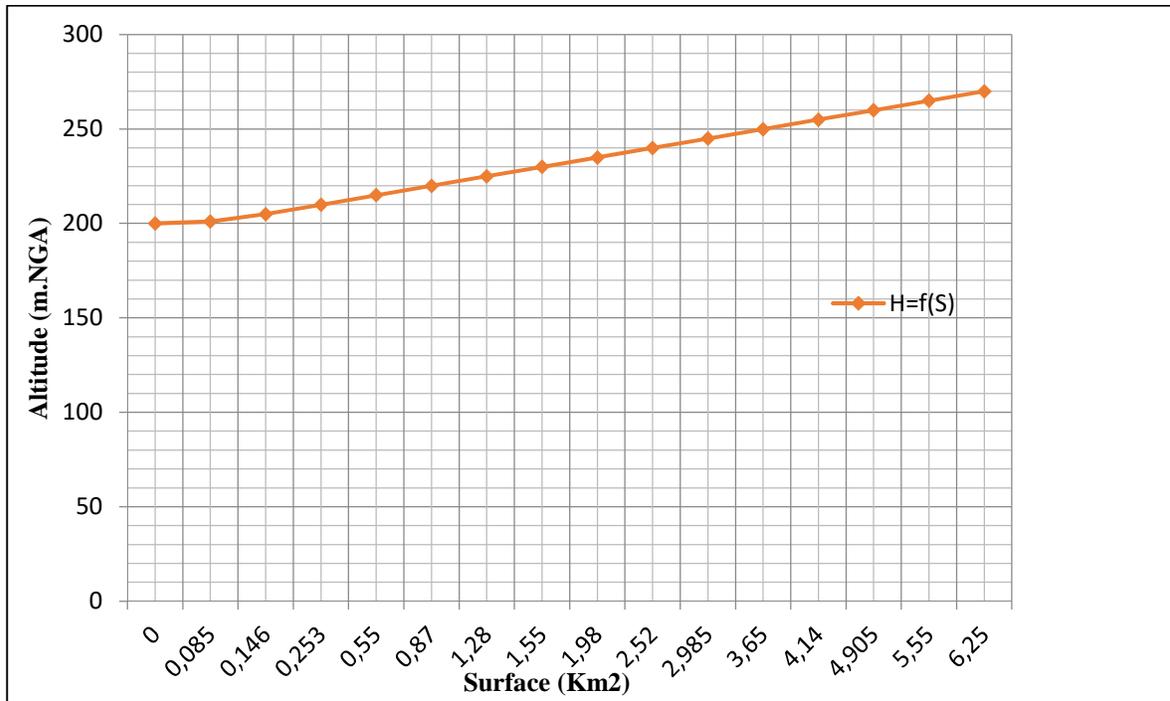


Figure IV.2 – Courbe « Hauteur- Surface» $H=f(S)$.

IV.3 La répartition mensuelle la demande en eau AEP et Irrigation

La demande en eau et sa répartition mensuelle est présenté au tableau (IV.2).

Tableau IV.2 - La répartition mensuelle de la demande en eau AEP+IRR.

Mois	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr
AEP+IRR	1.5	1.5	2.12	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	6.5	2.28	4.5

IV.4 La répartition mensuelle de l'apport A_{80%}

L'apport A_{80%} est calculé à partir de la série des apports mensuels, les résultats de calcul sont présentés au tableau (IV.3).

Tableau IV.3 – Répartition mensuelle de l'apport A_{80%}.

Mois	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr
A(Hm ³)	0.183	0.214	0.32	0.302	0.288	0.212	0.249	0.229	0.215	0.0869	0.0341	0.0621
A(%)	7.666	8.939	13.358	12.604	12	8.871	10.378	9.561	8.969	3.623	1.422	2.588
A _g %	3.924	13.556	20.258	19.115	18.199	13.453	15.739	14.5	13.6	5.494	2.156	3.924

IV.5 Calcule de volume utile sans tenir compte les pertes

Le calcul de la régularisation est effectué en utilisant « la méthode du bilan d'eau », [5].

Les procédées de calcule sont :

-) 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 du barrage et calcul du volume utile.
La période à bonne hydraulicité est celle de mois de décembre jusqu'au mois de mai.

Les périodes excédentaires et déficitaires et leurs volumes sont donnés au tableau (IV.4)

Tableau IV.4 – Volume excédentaire et déficitaire.

Mois	A _{80%}	U (hm ³)	A-U (hm ³)	V (hm ³)
Mai	3.924	1.5	10.126	V _s = 125.926
Juin	13.556	1.5	12.056	
Juillet	20.258	2.12	18.138	
Aout	19.115	1.5	17.615	
Sep	18.199	1.5	16.699	
Oct	13.453	1.5	11.953	
Nov	15.739	1.5	14.239	
Dec	14.5	1.5	13	
Jan	13.6	1.5	12.1	
Fev	5.494	6.5	-1.006	V _d = 1.706
Mars	2.156	2.28	-0.124	
Avr	3.924	4.5	-0.576	

A partir de tableau (IV.4) ci-dessus, on peut calculer le volume excédentaire ainsi que le volume déficitaire. On a :

$$V_d = 1.706 \text{ hm}^3 \text{ et } V_s = 125.926 \text{ hm}^3.$$

On remarque que le volume excédentaire est supérieur au volume déficitaire, donc le barrage fonctionne à un seul temps.

Donc, le volume utile sans tenir compte les pertes est égale :

$$V_u = V_d = 1.706 \text{ hm}^3$$

Le volume au niveau normal du barrage sera donc :

$$V_{NNR} = V_u + V_m \quad (\text{IV.2})$$

Le volume au niveau normal du barrage est :

$$V_{NNR} = 6.581 \text{ hm}^3 \Rightarrow NNR = 219.2 \text{ Mnga}$$

La régularisation saisonnière sans tenir compte les pertes, est présentée dans le tableau (IV.5).

Tableau IV.5 – Régularisation saisonnière suivant la 1ere consigne.

Mois	A _{80%} [hm ³]	U _{80%} [hm ³]	A-U [hm ³]	La 1 ^{ere} consigne d'exploitation		
				V _{ri}	V _{rf}	S [hm ³]
Mai	11.626	1.5	10.126	1.4	1.4	0
				1.4	11.526	0
Juin	13.556	1.5	12.056	23.582	23.582	0
				41.72	41.72	0
Juillet	20.258	2.12	18.138	59.335	50	9.845
				76.034	70	6.034
Aout	19.115	1.5	17.615	87.987	80	8.987
				102.226	100	2.226
Sep	18.199	1.5	16.699	115.226	115.226	0
				127.326	86.6	40.726
Oct	13.453	1.5	11.953	126.32	100	26.32
				126.196	96.114	30.082
Nov	15.739	1.5	14.239			S = 124.22
Dec	14.5	1.5	13			
Jan	13.6	1.5	12.1			
Fév	5.494	6.5	-1.006			
Mar	2.156	2.28	-0.124			
Avr	3.924	4.5	-0.576			

Les calculs font à l'aide de la formule suivante :

$$V_r = V_r + (A - U) \quad (IV.3)$$

Avec :

- V_r : volume de remplissage final en hm³ ;
- V_r : volume de remplissage initial en hm³ ;
- A : apport mensuel à 80%, A_{80%} en hm³ ;
- U : la demande en eau AEP+IRR en hm³.

IV.6 Régularisation saisonnière en tenant compte les pertes

Les pertes dans le barrage sont à deux sortes, [4] :

-) Pertes par évaporation
-) Pertes par infiltration

IV.6.1 Pertes par évaporation

Le volume évaporé est estimé par la formule suivante :

$$V_{\text{év}} = E_s \cdot S_m \quad (\text{IV.4})$$

Avec :

- $V_{\text{év}}$: volume évaporé en hm^3 ;
- E_s : lame d'eau évaporée en m ;
- S_m : surface moyenne en km^2 , qui correspond à V_m .

Le volume moyen (V_m) est :

$$V_m = \frac{V_{r,i} + V_{r,i+1}}{2} \quad (\text{IV.5})$$

Avec :

$V_{r,i}$ et $V_{r,i+1}$: Volume du barrage de deux mois successifs.

IV.6.2 Pertes par infiltration

Le volume mensuel des pertes par infiltration est donné par :

$$V_{i_i} = \frac{\sigma \cdot V_m}{1} \quad (\text{IV.6})$$

Avec :

V_{i_i} : Pertes par infiltration en hm^3 ;

σ : Coefficient qui dépendant des conditions hydrogéologiques de la cuvette déterminer à partir de tableau (IV.6).

Tableau IV.6 – Valeurs de σ en fonction des conditions hydrogéologique.

Nature	Hauteur d'infiltration pendant une année (cm)	σ	
		Année	Mois
Sol a faible perméabilité	0 à 50	5 à 10	0,5 à 1,0
Sol à perméabilité moyenne	50 à 100	10 à 20	1 à 1,5
Sol a forte perméabilité	>100 à 200	>20 à 40	>1,5 à 3,0

Dans notre cas, on a un sol à perméabilité moyenne alors on opte pour $\sigma = 1.5$. Le calcul des pertes est présenté dans le tableau (IV.7) suivant :

Tableau IV.7 – Volumes des pertes dans le barrage.

Mois	V_{moy} [hm ³]	S_{moy} [km ²]	E_s [mm]	V_{ep} [hm ³]	V_{inf} [hm ³]	Prtes [hm ³]	A-U-P [hm ³]	V [hm ³]
Mai	6.463	1.1	110	0.121	0.080788	0.201788	10.32779	$V_s = 135.0683$
Juin	17.554	1.74	152	0.26448	0.219425	0.483905	12.53991	
Juillet	32.651	2.325	185	0.430125	0.408138	0.838263	18.97626	
Aout	45.86	2.851	174	0.496074	0.57325	1.069324	18.68432	
Sep	60	3.0547	121	0.369619	0.75	1.119619	17.81862	
Oct	75	3.709	74	0.274466	0.9375	1.211966	13.16497	
Nov	90	4.329	47	0.203463	1.125	1.328463	15.56746	
Déc	107.613	4.568	32	0.146176	1.345163	1.491339	14.49134	
Jan	100.913	4.258	32	0.136256	1.261413	1.397669	13.49767	
Fév	93.46	4.199	35	0.146965	1.16825	1.315215	0.309215	
Mar	98.217	2.2725	63	0.143168	1.227713	1.37088	1.24688	
Avr	1.4	0.121	76	0.009196	0.0175	0.026696	-0.5493	$V_d = 0.5493$

A partir de tableau (IV.7) on a :

$$V_s = 135.0683 \text{ hm}^3 \text{ et } V_d = 0.5493 \text{ hm}^3$$

$$V_s > V_d \Rightarrow \text{le barrage fonctionne à un seul temps.}$$

Donc, le volume utile sans tenir compte les pertes est égale :

$V_u = V_d = 0.5493 \text{ hm}^3$ Le volume au niveau normal du barrage est :

$$V_{NNR} = 89.8 \text{ hm}^3 \Rightarrow NNR = 122 \text{ Mnga}$$

La régularisation de première consigne d’exploitation est montrée au tableau (IV.8).

Tableau IV.8 – Régularisation saisonnière suivant la 1^{ère} consigne.

Mois	A80% [hm ³]	U80% [hm ³]	A-U [hm ³]	La 1 ^{ère} consigne d’exploitation		
				V _{ri}	V _{rf}	S [hm ³]
Mai	11.626	1.5	9.92421	1.4	1.4	
Juin	13.556	1.5	11.5721	11.727	11.727	
Juillet	20.258	2.12	17.2997	24.266	24.266	
Aout	19.115	1.5	16.5457	43.242	43.242	
Sep	18.199	1.5	15.5794	61.926	61.926	
Oct	13.453	1.5	10.741	79.744	79.744	
Nov	15.739	1.5	12.9105	92.908	92.908	
Dec	14.5	1.5	11.5087	108.475	108.475	
Jan	13.6	1.5	10.7023	122.966	122.966	
Fév	5.494	6.5	-2.32122	136.463	1.944	134.519
Mar	2.156	2.28	-1.49488	132.771	132.771	
	3.924	4.5	-0.6027	129.906	129.906	
				129.276	129.276	
				1.4	1.4	S = 134.519

IV.7 Laminage des crues

L’étude de laminage va nous permettre de déterminer la cote maximale du plan d’eau, ainsi que le dimensionnement optimum de l’évacuateur de crue en fonction de hauteurs laminées sans effectuer la sécurité globale de l’aménagement [2].

Cette étude peut se faire par des méthodes purement hydraulique, basées sur la formule de déversoir telles que :

-) La méthode de BLACKMOR
-) La méthode de KOTCHERINE
-) La méthode graphoanalytique de HILDEN BLAT

L’étude de laminage est basée sur l’équation différentielle suivante :

$$Q(t) dt = q(t) dt + S(t) Dh$$

Avec:

- $Q(t)$: débit de crue entrant à l'instant (t) en (m³/s) ;
- $q(t)$: débit déversé par l'évacuateur de crue (laminé) en (m³/s) ;
- S : surface du plan d'eau à l'instant (t) en m².

IV.7.1 Laminage des crues avec la méthode de KOTCHERINE

La méthode de KOTCHERINE est un procédé grapho-analytique, qui se base sur les principes suivants :

- L'hydrogramme de crue est considéré comme un triangle ou un trapèze.
- Les débits transitant par évacuateur de crue se déversent selon une fonction linéaire.
- Laminage commence avec le remplissage de la cuvette au niveau NNR.
- Les pertes par l'évaporation et infiltration sont considérés nulles au moment de la crue.

IV.7.1.1 Estimation du débit de crue laminée

Le débit de crue laminée est estimé par la formule suivante :

$$q = Q \left(1 - \frac{V_F}{V_c}\right) \quad (\text{IV.7})$$

Avec :

- Q : débit de crue du projet (m³/s) ;
- V_F : volume de charge sur le déversoir déduit par la courbe « capacité – Hauteur » en (hm³) ;
- V_c : volume de la crue du projet (m³) estimée par :

$$V_c = \frac{1}{2} Q \cdot T_b \quad (\text{IV.8})$$

Avec :

- T_b : temps globale de la crue en seconde.

IV.7.1.2 Estimation de la charge sur le déversoir

Le débit d'évacuation est calculé par l'équation suivante :

$$q = m \sqrt{2g} H^{3/2} \quad (\text{IV.9})$$

Avec :

- m : coefficient de débit dépend de la forme de déversoir $m=0.51$.
- b : largeur du déversoir (en m).
- H : charge globale d'eau sur le déversoir.

Les données initiales pour la méthode de KOTCHERINE sont données au tableau (IV.9)

suivant :

Tableau IV.9 – Les données initiales.

L'accélération de la gravité g (m/s)	9.81
Crue de projet (m^3/s)	901.04
Volume de la crue de projet (hm^3)	11.22
Coefficient de débit m	0.5

Les débits laminés pour différentes charge sur le déversoir sont calculés à l'aide de la formule (IV.8), sont illustrés au tableau (IV.10)

Tableau IV.10 – Les données de départ pour la méthode de KOTCHERINE

H (m)	Q (m^3/s)	NPHE (m.NGA)	$V_f(hm^3)$	q (m^3/s)	b (m)
0.2	901.04	219.4	0.331	874.46	4413.88
0.4	901.04	219.6	0.383	870.28	1553.09
0.6	901.04	219.8	0.420	867.31	846.41
0.8	901.04	220	0.436	866.03	546.41
1	901.04	220.2	0.475	862.89	389.57
1.2	901.04	220.4	0.530	858.48	294.84
1.4	901.04	220.6	0.583	854.22	232.81
1.6	901.04	220.8	0.604	852.53	190.18
1.8	901.04	221	0.642	849.48	158.81
2	901.04	221.2	0.675	846.23	135.17
2.2	901.04	221.4	0.720	843.22	116.66
2.4	901.04	221.6	0.750	840.81	102.10
2.6	901.04	221.8	0.805	836.39	90.07
2.8	901.04	222	0.840	833.58	80.32
3	901.04	222.2	0.921	827.08	71.86

Les débits déversés pour différentes largeurs du déversoir sont calculés à l'aide de l'équation (III.10), sont donnés au tableau (IV.11) et illustrés au figure (IV.3)

Tableau IV.11 – Débits déversés pour différentes largeurs du déversoir.

H (m)	B (m)					$q \text{ (m}^3\text{/s) } b$
	60	65	70	75	80	
0.2	11.89	12.88	13.87	14.86	15.85	
0.4	33.62	36.42	39.22	42.03	44.83	
0.6	61.77	66.91	72.06	77.21	82.36	
0.8	95.10	103.02	110.94	118.87	126.79	
1	132.90	143.98	155.05	166.13	177.20	
1.2	174.70	189.26	203.82	218.38	232.94	
1.4	220.15	238.49	256.84	275.19	293.53	
1.6	268.97	291.38	313.80	336.21	358.63	
1.8	320.95	347.69	374.44	401.18	427.93	
2	375.90	407.22	438.55	469.87	501.20	
2.2	433.67	469.81	505.95	542.09	578.23	
2.4	494.13	535.31	576.49	617.66	658.84	
2.6	557.17	603.60	650.03	696.46	742.89	
2.8	622.68	674.57	726.46	778.34	830.23	
3	690.57	748.12	805.66	863.21	920.76	

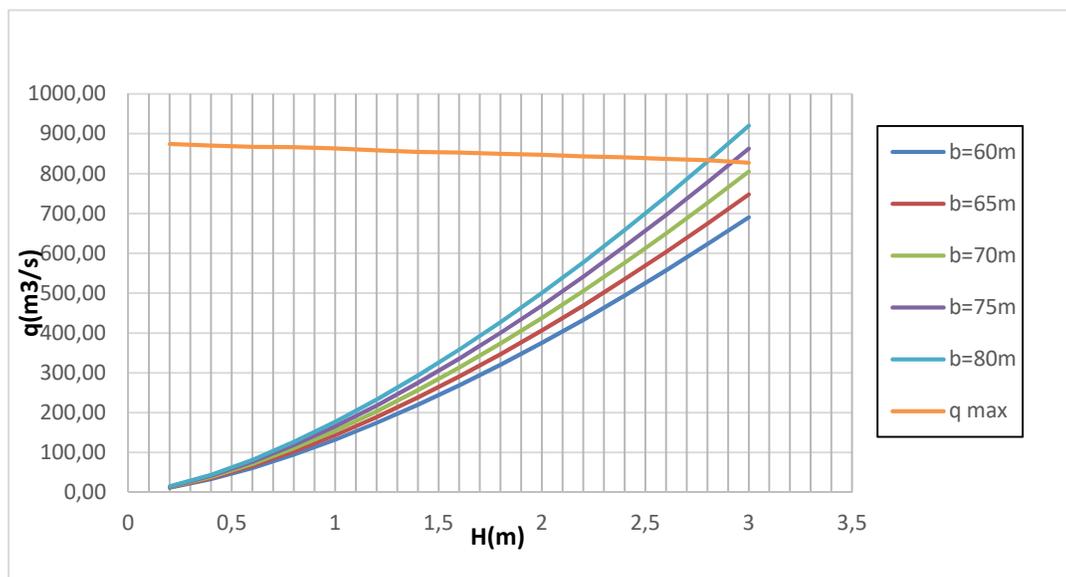
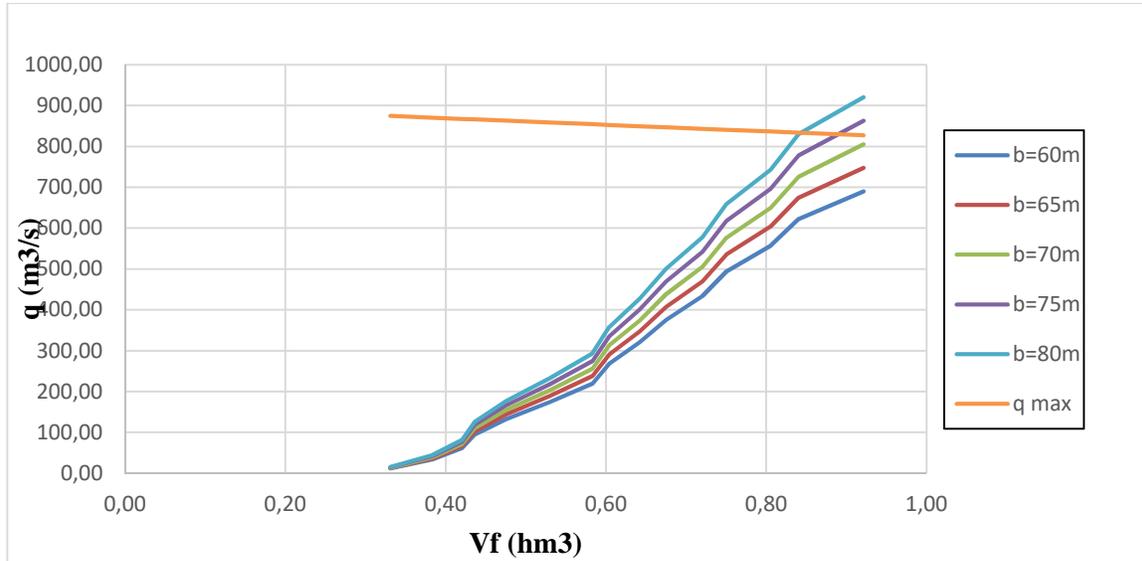


Figure IV.3 – Débits déversés pour différentes charges et largeurs du déversoir

Le volume de la crue laminée pour différentes largeurs du déversoir, est illustré à la figure (IV.4).

**Figure IV.4** – Volume de la crue pour différentes largeurs du déversoir.

A partir de la figure (IV.3) et la figure (IV.4), on opte pour une largeur de déversoir de $b = 75$ m, correspondant à un débit déversé $q = 827.08$ m^3/s , une charge de 2.9 m et un volume forcé de 0.87 hm^3 .

IV.8 Conclusion

Après avoir examiné le volume mort dans le précédent chapitre, qui est équivalent à $V_m = 1.4$ hm^3 , nous avons tracé les courbes « Hauteur – Capacité » et « Hauteur – Surface » pour déterminer approximativement le niveau de volume mort (NVM) à 208 m.NGA.

L'étude de la régularisation a révélé un volume utile de 5.18 hm^3 , correspondant au niveau normal du barrage Ramdane Djamel (NNR) à 218.9 m.NGA.

En analysant le processus de laminage, nous avons obtenu les dimensions du déversoir, qui mesure 75 m de largeur (b) et 2,9 m de hauteur. Cette hauteur correspond au niveau le plus élevé des eaux (NPHE) atteignant 222.1 m.NGA.

Chapitre V

Pré-dimensionnement du barrage

V.1 Introduction

Un barrage est un ouvrage d'art construit en travers d'un talweg ou d'un cours d'eau et destiné à réguler le cours de l'eau et/ou à stocker de l'eau en amont pour différents usages (irrigation, industrie, hydroélectricité, pisciculture, réserve d'eau potable...). Le barrage est destiné à contenir un volume d'eau (donc associé à une retenue, un étang, un canal,...) alors que la digue est destinée à soustraire une surface à l'inondation. Un barrage doit être classé si sa hauteur est supérieure ou égale à 2 mètres. [10]

V.2 Divers types de barrages

V.2.1 Les barrages en remblai

Les barrages en terre présentent notamment l'avantage de pouvoir reposer sur des fondations de médiocre qualité, c'est-à-dire compressibles. Tous les barrages en terre peuvent être considérés comme des Barrage-poids, c'est-à-dire qu'ils résistent à la pression de l'eau par leur propre poids. C'est ce qui explique leur section de forme trapézoïdale. On en trouve de trois types :

- homogène,
- à noyau,
- à masque.

V.2.2 Les Barrages en béton

Les barrages béton sont des ouvrages dont les principales fonctions sont la rétention d'eau et la création d'électricité. Les barrages font appel à des technologies diverses fonction de leur situation, et des nécessité en rétention et production d'électricité. [9]

Il en existe deux principaux types :

- les barrages poids,
- les barrages voûte.
- les barrages conterfort.

V.3 Le type du barrage Ramdane Djamel

Le barrage Ramdane Djamel est un barrage en remblai composé principalement d'une recharge amont en alluvions à noyau argileux.

V.3.1 La hauteur du barrage H_b

Elle est donnée par la relation :

$$H_b = h_{nr} + h_{dév} + R + t \cdot N_F \quad (V.1)$$

Avec :

- h_{nr} : Hauteur au niveau normal de la retenue (m) ;
- $h_{dév}$: Hauteur d'eau correspond au volume forcé en (m);

- R : Revanche du barrage en (m) ;
- t : tassement plus (+) le risque sismique, $t = 2.9 + 1 = 3.9$ m ;
- N_F : niveau de la fondation après l'excavation la couche des alluvions du lit d'oued, $N_F = 181$ m.NGA.

Tableau V.1 – Résumé des valeurs.

Paramètres	Les Valeurs (m)
h_{nr}	219.2
$h_{dév}$	2.9
t	3.9

V.3.2 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. [8]

Avec :

$$NPHE = NNR + H_0 \quad (V.2)$$

On aura :

$$NPHE = 222.1 \text{ m NGA}$$

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

V.3.3 Calcul de la hauteur de montée de la vague (Revanche)

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

Nous la calculons avec quatre formules empiriques :

➤ Formule de Stevenson

Pour f (fetch) < 18 km.

$$R_v = 0.75h_v + \frac{V_v^2}{2}. \quad (V.3)$$

$$V_v = 1.5 + 0.66h_v^{1/2}. \quad (V.4)$$

$$h_v = 0.75 + 0.34F^{1/2} - 0.26F^{1/4}. \quad (V.5)$$

Ou :

- h_v = hauteur de montée de la vague (m),
- F = longueur maximale de la surface d'eau du lac en suivant la direction vent (l'fetch=3.16km),
- V_v = vitesse de propagation de la vague (m / s),
- g = accélération de la gravité.

➤ **Formule de Mallet et Paquant**

$$R_v = 0.75h_v + \frac{V_v^2}{2}. \quad (\text{V.6})$$

$$V_v = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} h_v. \quad (\text{V.7})$$

$$h_v = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} F^{1/2}. \quad (\text{V.8})$$

➤ **Formule de l'U.S.B.R :**

$$R_v = 0.75h_v + \frac{V_v^2}{2}. \quad (\text{V.9})$$

$$V_v = 1.5 + 2h_v. \quad (\text{V.10})$$

$$h_v = 0.75 + 0.34F^{1/2} - 0.26F^{1/4}. \quad (\text{V.11})$$

➤ **Formule Simplifiée**

$$R_v = 1 + 0.3\sqrt{F}. \quad (\text{V.12})$$

Les résultats de calcul de la revanche sont donnés dans le tableau :

Tableau V.2 - Récapitulatif des résultats de calcul de la revanche.

Formule	Fetch F (Km)	h_v (m)	V_v (m)	R_v (m)
Stevenson	3.16	1.007	2.16	0.99
Mallet et Paquant	3.16	1.09	2.22	1.34
l'U.S.B.R	3.16	1.007	3.51	1.38
Simplifiée	3.16	-	-	1.53
Moyenne	-	-	-	1.31

Interprétation :

Pour notre cas, on prend la valeur la plus proche de la moyenne, donc : $R=1.34 \text{ m}$

Donc la hauteur du barrage H_b

$$H_b = 219.2 - 181 + 2.9 + 1.31 + 3.9$$

$$H_b = 46.31 \text{ m}$$

Avec :

- H_b : la hauteur totale du barrage en (m) ;
- NNR : niveau normale du barrage, NNR= 219.2 m.NGA.
- NF : niveau de la fondation après l'excavation la couche des alluvions du lit d'oued, NF = 181 m.NGA.
- R : la revanche, R = 1.34 m.
- hdev : hauteur du déversoir, hdev = 2.9 m.
- t : tassement plus (+) le risque sismique, t = 2.9 + 1=3.9 m.

V.3.4 La largeur en crête :

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

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

$$b_c = 1.6 \sqrt{H_b} \quad (\text{V.13})$$

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

$$b_c = 1.1\sqrt{H_b} + 1 \quad (\text{V.14})$$

) **Formule simplifiée de Rolley (Ministère de l'agriculture française, 1977)**

$$b_c = 3.6 * H_b^{\frac{1}{3}} - 3 \quad (\text{V.15})$$

) **Formule pratique**

$$b_c = \frac{5}{3} * \sqrt{H_b} \quad (\text{V.16})$$

Tableau V.3 - Récapitulatif des valeurs de la largeur en crête

Formule	Largeur en crête (m)
T.T.KNAPPEN	11.23
PREECE	8.48
ROLLEY	9.93
F.PRATIQUE	11.34

Interprétation

Pour notre cas, on prend la valeur la plus proche de la moyenne, est donc =9.93m.

V.3.5 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 V.4 – 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 : $m_1 = 3.5$

Talus aval : $m_2 = 4$

V.3.6 la base de la digue

Elle est donnée par la formule suivante :

$$B = b_c + (m_1 + m_2) H_b \quad (\text{V.17})$$

$$B = 357 \text{ m}$$

V.3.7 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%. [6]

V.3.8 Dimensionnement du noyau

Pour dimensionner le noyau on doit suivre les étapes suivantes :

) La Hauteur à la crête

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

) 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 :

$$l_n = \frac{1}{6} H_b \quad (\text{V.18})$$

Avec :

l_n : largeur du noyau en crête ;

D'où :

$$l_n = 7.72 \text{ m}$$

) La base du noyau

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

$$L_N = 6 + c \cdot H_b \quad (\text{V.19})$$

Avec :

- L_N : La base du noyau ;
- C : coefficient 0.30 $c = 0.75$ on prend $c=0.5$

Donc :

$$L_N = 29.15 \text{ m.}$$

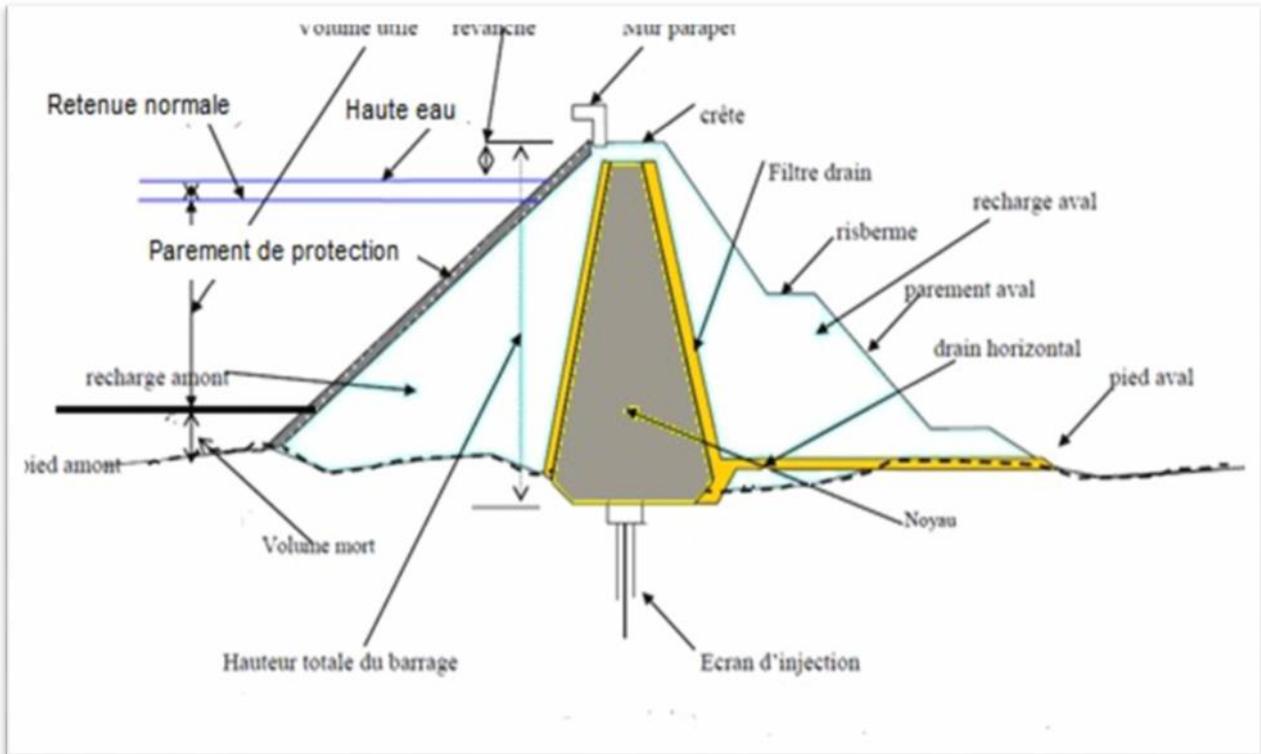


Figure V.1 - Coupe schématique d'un barrage en remblai (Millogo Founémé A. ,2009).

V.4 Conclusion :

L'étude effectuée dans ce chapitre nous a permis de constater que :

- La hauteur total du barrage $H_b = 46.31 \text{ m}$;
- La revanche est de l'ordre $R = 1.34 \text{ m}$;
- Le tassement $T = 3.9$;
- La largeur en crête $b = 9.93 \text{ m}$;
- La pente du talus amont $m_1 = 3.5$;
- La pente du talus aval $m_2 = 4$;
- La base de la digue $B = 357 \text{ m}$;
- La largeur en crête du noyau $l_n = 7.72 \text{ m}$;
- La base du noyau $L_N = 29.15 \text{ m}$.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Dans ce projet, nous avons effectué une étude hydrologique sur le barrage de Ramdane Djamel dans la wilaya de Skikda. Cette étude comprend l'analyse de la zone du barrage, ainsi que l'étude des apports et des crues, incluant la régularisation et le pré-dimensionnement du barrage. À travers cette étude hydrologique, nous avons identifié les caractéristiques suivantes :

- Le coefficient de Gravillius indique que le bassin versant présente une forme allongée, et le dénivelé spécifique révèle un relief relativement bas, ce qui entraînera un écoulement plutôt faible.

- ✓ La moyenne annuelle des précipitations est de 235mm, avec un écoulement moyen annuel d'environ 1.4Hm^3 et un volume mort de 1.4Hm^3 .
- ✓ La capacité totale du barrage, appelée V_{NNR} , est de 6.58Mm^3 .
- ✓ Le débit de crue du projet, calculé pour un intervalle de retour de 1000 ans, est de $901.04\text{ m}^3/\text{s}$.
- ✓ La largeur du déversoir, notée b , est de 75m, correspondant à un débit contrôlé q de $827.08\text{ m}^3/\text{s}$, une hauteur de charge de 2,90 m et un volume forcé de 0.87Hm^3 .
- ✓ Le barrage a une hauteur de 46.31m, une largeur de crête de 9.93 m et une largeur de fond de 357 m.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] **ANBT**, avant-projet détaillé relatif au projet de réalisation du barrage de Ramdane Djamel dans la wilaya de Skikda, Mémoire de synthèse, Novembre 2015, 155 pages.

[2] **Pochat, R.** " Evacuateur de crues, bulletin technique de génie rural N°125 " , Edité et imprimé par le C.T.G.R.E.F. Paris, Octobre 1980.

[3] **Namik,S.** " ETUDE DE FAISABILITE DU BARRAGE DE BOUNACHI SUR OUED RABTA (W. TIZI OUZOU) " , Projet de Fin d'Etudes, Ingéniorat Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique « Arbaoui Abdellah », Octobre 2008.

[4] **LADISLAV, V et VOJTECH, B.** " WATER MANAGEMENT IN RESERVOIRS " , ELSEVIER Amsterdam – Oxford – New York – Tokyo 1989.

[5] **B. TOUAIBIA**, Manuel pratique d'hydrologie. Edition ENSH Blida. 164 pages, Mars 2004.

[6] **O. MOULOUDJ, M.SOUDED**, étude de faisabilité du barrage REKHOUCHE SUR REKHOUCHE (W.KHENCHELA), Master en Hydraulique, Université de Bejaia Algerie, 78 pages, 2021.

[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] <http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr>, Consulté le date 14-05-2023.

[9] <https://structalis.fr> , Consulté le date 25-05-2023.

[10] <https://www.gers.gouv.fr> , Consulté le date 03-06-2023.

:

في إطار الاستراتيجية الوطنية التي تهدف إلى الحفاظ على الموارد المائية من أجل تخزين ملايين الأمتار المكعبة التي تتسرب إلى البحر. لذا ترى الوكالة الوطنية للسدود و التحويلات ضرورة إنشاء سدود و حواجز مائية بالمنطقة. و على اثر ذلك، يجب الاهتمام بهذه المنشآت من حيث تقدير الأبعاد الهندسية و الاختيار الأمثل لمواقعها و دراسة جميع ملحقاتها و متمماتها. و في إطار ذلك تأتي مذكرتنا هذه لتناول دراسة هيدرولوجية لسد مائي على مستوى واد صفصاف بولاية سكيكدة .

Résumé :

Dans le cadre de la stratégie nationale en matière de conservation des eaux et dans l'objectif de mobiliser les millions de mètre cube d'eau qui ont été gaspillés, l'ANBT (Agence Nationale des Barrages et Transferts) s'est vue réaliser des barrages et des retenues collinaires.

Cependant que l'étude, le choix et le dimensionnement des ouvrages de stockage méritent d'être plus profonds.

Ainsi, l'étude que nous avons menée dans ce MFE est une étude hydrologique d'un barrage dans la wilaya de Skikda et principalement sur Oued Saf-Saf.

Abstract:

In the sitting 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 we choice and the dimensionality of the storage works deserve to be deepend. Sow to survey we led in this thesis is a hydrological study of a dam in the Wilaya of Skikda province, on Oued Saf-Saf.