

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université A MIRA-BEJAIA



Faculté des Sciences et Technologies

Département d'Hydraulique

Mémoire de fin de Cycle

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option : Ouvrages et Aménagements Hydrauliques

Thème :

Étude de faisabilité du barrage koudiat ben aïda

Réalisé par :

 M^{elle} AITMOUHOUB NADJET

 M^{elle} MEZIANI SARA

Soutenu le () Devant le jury composé de :

Président:

Promoteur : Mr. HAMMOUCHE

Mr. brekssi

Examineur : Mr.

Promotion : 2022-2023

Remerciements

Avant tout, je remercie DIEU qui a illuminé mon chemin et qui m'a armé de courage pour achever mes études.

Je remercie fortement mon promoteur : MR HAMMOUCHE. Abdérahmane et MR BREKSSI ALI de m'avoir orienté par ses conseils judicieux dans le but de mener à bien ce travail et à tous mes amis.

Je tiens à remercier aussi :

- 📖 Les membres de jury pour avoir accepté d'évaluer mon travail*
- 📖 Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin dans l'élaboration de mon mémoire*

Dédicace

Je dédie ce travail :

Avant tout à mes chers parents, ZAHIA et , ACHOUR qui m'ont soutenue durant toutes ces années de formation, que dieu puisse leur accorder longue vie afin qu'ils puissent trouver en moi toute gratitude et l'attention voulue.

A Mes Frères, YAZID , LAMINE , AHMED ,SA Sans oublier mon cher

Une spéciale dédicace à mes chères sœurs SAMRA, TIZIRI, ET SIHAM.

A tous mes amis Mohammed , amira tasnim yasmine

tassadit, Mohammed et toute ma famille .



- NADJET -

Dédicace

Je dédie ce travail :

Avant tout à mes chers parents, NOUARA et MOKHTARE, qui m'ont soutenue durant toutes ces années de formation, que dieu puisse leur accorder longue vie afin qu'ils puissent trouver en moi toute gratitude et l'attention voulue.

A l'hommage de mon Grand-Père de qui je tiens ma fierté et ma persévérance.

A Mes Frères, Nacim, Mohamed, Walid et Youcef, Sans oublier mon cher cousin et frère Razik et sa petite famille.

Une spéciale dédicace à mes chères sœur Mahdia et Hanane.

A tous mes amis et toute ma famille de l'E.N.S.H. Et a toute la promotion 2015/2016 de l'hydraulique



- Sara -

Sommaire

Sommaire

Remerciements

Dédicace

Dédicace

Sommaire

Liste d'abréviation

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction Générale 1

Chapitre I

Étude géologique et géotechnique du site

Introduction.....	3
I.1. Localisation de la zone d'étude et accès.....	3
I.2. La géologie du site	4
I.2.1. Géomorphologie et géologie régionale	4
I.2.2. Géologie des sites des bassins versants	6
I.3. Géotechnique	9
I.3.1. Reconnaissance géotechnique	9
I.3.2. Essai de laboratoire	10
I.3.2.1. Essais d'identification	10
I.3.2.2. Essais minéralogiques	11
I.4. Perméabilité et traitement de fondation.....	12
I.5. Topographie	12
I.6. Caractéristiques générales du projet.....	13
I.7. Sismicité	13
Conclusion	14

Sommaire

Chapitre II

Caractéristiques du bassin versant

Introduction.....	17
II.1. Description du bassin versant	17
II.1.1. Définition du bassin versant.....	17
II.2. Caractéristiques du bassin versant oued el 'HEM	19
II.2.1. Caractéristiques géométriques	19
II.2.2. Paramètres de formes.....	19
II.2.3. Caractéristiques du relief	22
II.2.3.1. Courbe hypsométrique	22
II.2.3.2. Altitudes caractéristiques	24
II.2.4. Caractéristiques hydrographiques du bassin versant	29
II.2.5. Le temps de concentration	31
II.2.6. Vitesse du ruissellement	33
Conclusion	34

Chapitre III

Etude hydrologique

Introduction.....	37
III.1. Etude de la pluviométrie.....	37
III.1.1. Pluies maximales journalières	37
III.1.1.1. Hypothèse de l'analyse fréquentielle	37
III.1.1.2. Choix de la loi d'ajustement des données de la série pluviométrique.....	38
III.1.2. Pluie de courte durée.....	42
III.1.3. L'intensité des pluies	42
III.2. Étude des apports	46
III.2.1. Caractéristiques de l'écoulement moyen	49
III.2.2. Apport solides et estimation du volume mort	52
III.2.2.1. Formule de Tixeront	52
III.2.2.2. Volume mort	52
III.3. Débit de crue - Relations régionales	53

Sommaire

III.3.1. Détermination de l'hydrogramme de crues probables par la méthode régionale	54
III.3.2. Choix de la crue de projet	58
Conclusion	58

Chapitre IV

Régularisation et laminage des crues

IV.1. Régularisation de l'écoulement.....	61
IV.2. Courbe caractéristique de la retenue	61
IV.3. Détermination de la garantie de restitution.....	64
IV.4. Laminage des crues	67
IV.4.1. Laminage des crues avec la méthode de KOTCHERINE	68
IV.4.2. Estimation du débit de crue laminée	69
IV.4.3. Estimation de la charge sur le déversoir	69
Conclusion	71

Chapitre V

Dimensionnement d'un barrage

Introduction.....	73
V.1. Terminologie.....	73
V.1.1. Crête	73
V.1.2. Écran d'injection	73
V.1.3. Drains	73
V.1.4. Noyau	73
V.1.5. Recharge	73
V.1.6. Revanche.....	74
V.1.7. Tapis étanche	74
V.2. Dimensionnement de la digue.....	74
V.2.1. Hauteur du barrage	75
V.2.1.1. Niveau normale de la retenue (NNR).....	75
V.2.1.2. Niveau des plus hautes eaux (N.P.H.E).....	75
V.2.1.3. La revanche.....	75
V.2.2. Le tassement.....	77
V.2.3. La largeur en crête.....	78

Sommaire

V.2.4. Pente des talus	78
V.2.5. La base de la digue	79
V.2.6. Bermes	80
V.3. Dimensionnement du noyau	80
V.3.1. La hauteur a la crête	80
V.3.2. Largeur en crête du noyau	80
V.3.3. La base du noyau.....	80
Conclusion	81
Conclusion Générale	82
Liste bibliographie	83
Annexes.....	86

Liste d'abréviation

Liste d'abréviation

Amoy :	Apport moyen interannuel (hm^3)
B :	Base de la digue (m)
b_{cr} :	Largeur en crête (m)
b :	Exposant climatique
C :	Coefficient de ruissellement en fonction de la probabilité donnée
CB_{am} :	Cote de la berme amont (m)
CB_{av} :	Cote de la berme aval (m)
Ce :	Coefficient de l'écoulement
Cf :	Cote du fond
C_s :	Coefficient d'asymétrie
Cv :	Coefficient de variation
Vd :	Déficit de l'écoulement (mm)
Ds :	Dénivelé spécifique (m)
E_v :	Lame d'eau évaporée (m)
F_t :	Fetch (m)
g :	Accélération de pesanteur (m^2/s)
H :	Profondeur (m)
H_0 :	Charge sur le déversoir.
p :	Perte d'eau (mm)
H_b :	Hauteur de la digue (m)
H_{max} :	Altitude max des courbes de niveaux (m)
$H_{\text{méd}}$:	Altitude médiane des courbes de niveaux (m)
H_{min} :	Altitude min des courbes de niveaux (m)
H_{moy} :	Altitude moyenne des courbes de niveaux (m)
NNR :	Niveau normal de la retenue (m)
H_s :	Hauteur de sécurité (m)
H_v :	Hauteur des vagues (m)
Ic :	Pente moyenne du cours d'eau principal (%)
Ig :	Indice de pente global (%)
Im :	Indice de pente moyenne (%)
It :	Intensité des pluies (mm/h)
$I_{t\%}$:	Intensité des pluies pour une fréquence donnée (mm/h)

Liste d'abréviation

K :	Perméabilité (m/s)
K _G :	Indice de compacité de Gravillius
L _p :	Longueur du talweg (km)
L _c :	Longueur en crête (m)
L _e :	Lame d'eau écoulée (mm)
L _n :	Base du noyau (m)
l _n :	Largeur du noyau en crête (m)
L _r :	Longueur du rectangle équivalent (km)
l _r :	Largeur du rectangle équivalent (km)
m :	Coefficient de débit
M ₀ :	Module de l'écoulement relatif (l/s)
M _e :	Module de l'écoulement (l/s)
NNR :	Cote au niveau normal de la retenue (m)
NVM :	Cote au niveau du volume mort (m)
P :	Périmètre du bassin versant (km)
P _j :	Pluie max journalier (mm)
P _j :	Pluie maximale journalière pour la même fréquence (mm)
P _{moy} :	Pluie moyenne annuelle (mm)
P _t :	Pluie d'une durée (t) pour une fréquence voulue (mm)
P _{t%} :	Précipitation de probabilité P% correspondant à un temps T _c (mm)
q :	Débit laminé m ³ /s
Q :	Débit (cm ³ /s)
q(t) :	Débit déversé par l'évacuateur de crue (m ³ /s)
Q _c (t) :	Débit de crue entrant à l'instant t (m ³ /s)
Q _d :	Débit instantané de la décrue (m ³ /s)
Q _{max%} :	Débit maximum pour une fréquence donnée (m ³ /s)
Q _s :	Débit solide (t/an)
q :	Fréquence
R :	Revanche (m)
S :	Surface de plan d'eau de la cuvette à l'instant t
S :	Superficie du bassin versant (km ²)
S _i :	Surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau H _i (m ²)

Liste d'abréviation

S_{i+1} :	Surface du plan d'eau correspond à la courbe de niveau H_{i+1} (m^2)
t :	Durée de la pluie (heures)
T :	Période de retour (année)
T_a :	Coefficient de tassement des barrages (m)
T_c :	Temps de concentration (heures)
T_d :	Temps de la décrue (heures)
T_m :	Temps de monté (heures)
U :	Valeur de la variable centrée réduite de gauss
μ :	Coefficient d'ajustement
V :	Vitesse des vagues (m/s)
V_{an} :	Volume annuel saisonnier (Mm^3)
V_c :	Volume de la crue correspondant au Q (m^3)
V_e :	Volume évaporé (hm^3)
V_F :	Volume de charge sur le déversoir déduit par la courbe capacité hauteur (m^3)
V_{inf} :	Volume infiltré
V_m :	Volume mort
V_{NNR} :	Volume normal de la retenue (m^3)
V_r :	Vitesse de ruissellement (km/h)
$V_{u\ int}$:	Volume utile interannuel (Mm^3)
V_u :	Volume utile (Mm^3)
ΔV_i :	Volume élémentaire compris entre deux courbes de niveau successives (m^3)
\bar{y}	Volume moyenne (Mm^3)
W_0 :	Apport moyen interannuel (Mm^3)
XT :	Pluie journalière de chaque période de retour (mm)

Liste des tableaux

Liste des tableaux

<i>Tableau I-1: Analyse des résultats des essais d'identification.</i>	10
<i>Tableau I-2: Résultats des essais de compression triaxial avec le critère de rupture de $\sigma'_1\sigma'_3\max$</i>	11
<i>Tableau II-1: Les caractéristiques géométriques du bassin versant Oued el 'hem.</i>	19
<i>Tableau II-2: Récapitulatif des paramètres de formes du sous bassin versant Oued el 'HEM.</i>	22
<i>Tableau II-3: Répartition des surfaces en fonction des altitudes</i>	23
<i>Tableau II-4: Résultats du calcul de l'altitude moyenne.</i>	25
<i>Tableau II-5: Classification du relief d'après O.R.S.T.O.M. (selon Ig).....</i>	27
<i>Tableau II-6: Détermination de l'indice de pente de roche</i>	28
<i>Tableau II-7: Classification O.R.S.T.O.M (type de relief).....</i>	29
<i>Tableau II-8: Comparaison des résultats des formules.</i>	33
<i>Tableau II-9: Caractéristiques hydro-morphologiques du bassin versant d'Oued el 'HEM.....</i>	33
<i>Tableau III-1: Résultat des tests d'hypothèses.</i>	37
<i>Tableau III-2: Résultats de l'ajustement à la loi Normale</i>	39
<i>Tableau III-3: Résultats de l'ajustement à la loi de Gumbel</i>	40
<i>Tableau III-4: Comparaison entre les caractéristiques de la loi GUMBEL et de l'échantillon.....</i>	41
<i>Tableau III-5: Intensité et pluie de courte durée.....</i>	43
<i>Tableau III-6: Répartition mensuelle de l'apport moyen de la station.....</i>	47
<i>Tableau III-7: Répartition mensuelle de l'apport moyen du site.....</i>	48

Liste des tableaux

Tableau III-8: Résultats du calcul des caractéristiques d'écoulement	50
Tableau III-9: Répartition mensuelle de l'apport moyen annuel de fréquence 80%	51
Tableau III-10: Débits de pointe estimés par la méthode régionale	53
Tableau III-11: Coefficients de forme de l'hydrogramme de crue δ	55
Tableau III-12: Hydrogramme de crues (cas de la montée) et (cas de la descente).....	55
Tableau IV-1: Courbes topographiques et volumétrique.....	62
Tableau IV-2: Répartition mensuelle de la demande en eau	64
Tableau IV-3: La répartition mensuelle de W80%.....	65
Tableau IV-4: La répartition mensuelle de W80%.....	66
Tableau IV-5: Les données initiales.....	70
Tableau IV-6: Les données de départ pour la méthode de KOTCHERINE	70
Tableau IV-7: Débits déversés pour différentes largeurs du déversoir	70
Tableau V-1: Récapitulatif des résultats de calcul de la revanche.....	77
Tableau V-2: Récapitulatif des valeurs de largeur en crête	78
Tableau V-3: Les pentes des talus selon les hauteurs des barrages	79

Liste des figures

Liste des figures

<i>Figure I-1 : Situation géographique de barrage koudiat</i>	4
<i>Figure I-2 : Limon argileux du Quaternaire sur les berges de l'oued El Ham</i>	7
<i>Figure I-3 : Alternance argilo-graveleuse du Pliocène</i>	7
<i>Figure I-4 : Marnes du Miocène</i>	8
<i>Figure I-5 : Les principes de la méthode LIDAR.....</i>	13
<i>Figure I-6 : Carte de zonage sismique d'Algérie</i>	14
<i>Figure II-1 : Localisation des bassins versants de l'oued El Ham, dominées par les sites analysés pour l'implantation du barrage de Koudiat Ben Aida , Échelle 1/100000(ARNH).....</i>	18
<i>Figure II-2 : Courbe hypsométrique.</i>	23
<i>Figure III-1 : Ajustement à la loi Normale de la série de la pluie maximale journalière ..</i>	39
<i>Figure III-2 : Ajustement à la loi de Gumbel de la série de la pluie maximale journalière</i>	42
<i>Figure III-3 : Pluie de courte durée</i>	45
<i>Figure III-4 : Intensité de pluie</i>	45
<i>Figure III-5 : Carte de situation de la station et du site</i>	47
<i>Figure III-6 : Répartition mensuelle de l'apport moyenne</i>	48
<i>Figure III-7 : Répartition mensuelle des apports 80%.....</i>	51
<i>Figure III-8 : Hydrogramme des crues pour déférentes périodes de retour</i>	57
<i>Figure IV-1 : Capacité surface-Hauteur.....</i>	63
<i>Figure IV-2 : Courbe capacité-Hauteur</i>	63
<i>Figure IV-3 : Courbe capacité-Volume surface</i>	63

Liste des figures

<i>Figure IV-4 : Débits déversés pour différentes charges et largeurs du déverso</i>	71
<i>Figure IV-5 : Volume de la crue pour différentes largeurs du déversoir.</i>	71
<i>Figure V-1 : Coupe schématique d'un barrage en remblai.</i>	74
<i>Figure V-2 : Profil d'une digue</i>	74
<i>Figure V-3 : Définition des côtes RN et PHE</i>	77

Introducción General

Introduction Générale

L'eau est un élément essentiel pour répondre aux besoins de la vie. Elle joue un rôle crucial dans la satisfaction des besoins en eau potable de la population, de l'industrie et de l'irrigation. Cependant, le manque d'eau constitue un problème majeur à l'échelle mondiale. Ce manque est attribué à la croissance démographique qui entraîne une demande croissante en eau potable, à une gestion insuffisante des ressources disponibles, ainsi qu'au réchauffement climatique et aux changements environnementaux.

Parmi les solutions envisagées pour lutter contre ces problèmes et répondre aux besoins de l'ensemble des êtres vivants, en particulier les êtres humains, la construction de barrages joue un rôle clé. Les barrages sont des ouvrages d'art construits sur les cours d'eau principaux dans le but de retenir l'eau et créer un réservoir artificiel. Il existe différents types de barrages, tels que les barrages poids, les barrages en remblai, les barrages voûtes, les barrages à contrefort ou multi-voûtes, et bien d'autres. Ces barrages permettent de stocker l'eau et de la mettre à disposition pour différents usages, contribuant ainsi à la gestion durable des ressources en eau.

Dans la wilaya de M'sila, plusieurs barrages sont actuellement en phase d'étude de faisabilité. Parmi ces barrages, on peut citer le barrage de Koudiat Ben Aida situé sur l'oued de l'Hem.

Notre travail consiste à contribuer au dimensionnement hydrologique du barrage koudiat ben aida à partir des données récoltées au niveau de l'ANBT. Ce travail est constitué de cinq chapitres : on effectuera une présentation de l'étude géologique, géotechnique, hydrogéologique, et de sismicité dans le premier chapitre, puis une présentation physique du bassin versant et une collecte de données dans le deuxième chapitre. L'étude hydrologique constitue le troisième chapitre, Le quatrième chapitre se concentre sur régularisation et laminage des crues. Et on termine enfin avec un chapitre sur Une conclusion générale clôture notre travail.

Chapitre I

Étude géologique et géotechnique du site

Introduction

L'étude géologique et géotechnique repose sur des travaux de reconnaissance sur le site, ainsi que sur des analyses des matériaux nécessaires à la construction de la digue. Des essais géotechniques en laboratoire sont également réalisés pour répondre aux questions suivantes :

- La stabilité mécanique et l'étanchéité des appuis et des fondations des ouvrages.
- L'étanchéité de la cuvette de la retenue et la stabilité de ses versants. L'identification des zones instables et des éventuelles fuites d'eau lors de la mise en eau de la retenue.
- La présence et les caractéristiques géotechniques des matériaux nécessaires pour choisir et construire le type de barrage le mieux adapté au site.
- L'assurance de la durabilité de la retenue dans le temps.

L'objectif de cette étude est de vérifier les données fournies par l'Agence nationale des barrages et de transferts (ANBT) et le bureau d'étude COBA, qui sont nécessaires pour l'étape de l'avant-projet. Ces données concernent la géologie et la topographie du site, afin de confirmer sa capacité à accueillir l'implantation d'un barrage et à déterminer la position optimale pour les différentes variantes et les ouvrages annexes. De plus, cette étude vise à préciser le type de matériaux présents sur le site, afin de mieux sélectionner les zones d'emprunt.

Le barrage de Koudiat Ben Aida sera construit pour créer une retenue d'eau d'une capacité de stockage significative. Cette retenue permettra la régulation des apports des oueds El Ham et Sbisseb sur plusieurs années. Le débit régularisé ainsi obtenu sera utilisé pour l'irrigation de la vallée en aval

I.1. Localisation de la zone d'étude et accès

Le site du Barrage de Koudiat Ben Aida se trouve sur l'oued El Ham, à une distance de 64 km au sud-ouest de la wilaya de M'sila en Algérie. Il est situé environ à 3 km à l'ouest de la route N8 et à 4 km au nord-ouest de la route N40.

La wilaya de M'sila est située au nord-est de l'Algérie. Elle s'étend sur une superficie

de 18 175 km² et compte une population d'environ 960 000 habitants. Elle est bordée par les wilayas de Bouira et de BordjBou Arreridj au nord, de Batna et de Sétif à l'est, de Médéa et de Djelfa à l'ouest, et de Biskra au sud. L'agriculture occupe 20% de la surface totale de la wilaya

Les coordonnées UTM sont :

X=575,74 Y=395,61 Z=548,00

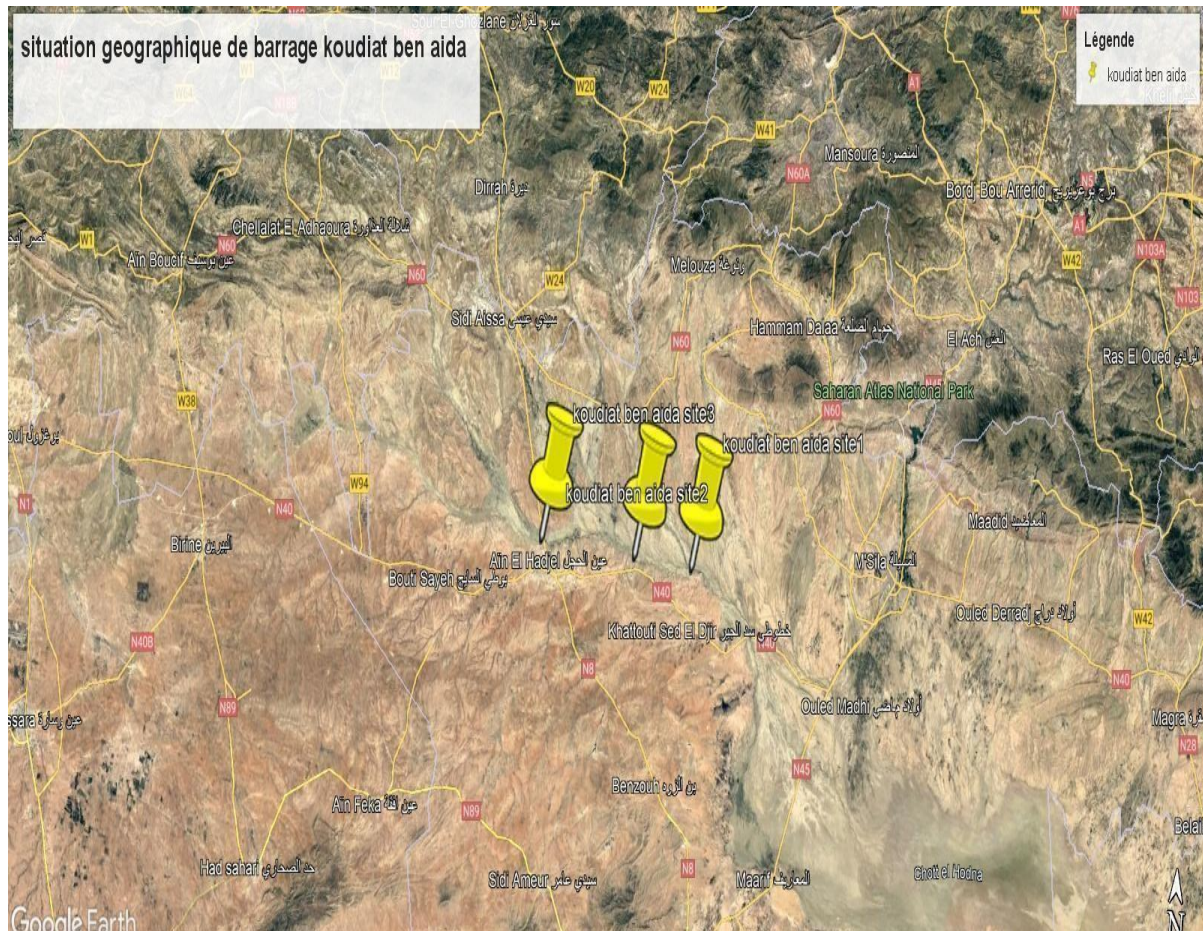


Figure I-1 : Situation géographique de barrage koudiat

I.2. La géologie du site

I.2.1. Géomorphologie et géologie régionale

Les bassins versants des sites présentent une différenciation topographique. Au nord, on observe un relief prononcé formé par les djebels Dira (1810 m), Bou Sedjar (1389 m), Choukchat (1832 m) et Chaadia (1292 m). Au sud, le relief est moins marqué, regroupant

les djebels Zitira (1041 m), Kef BouMaaded (1102 m) et Meketsi (1072 m). Entre ces deux reliefs, généralement composés de terrains rocheux, se trouve une vaste dépression constituée de formations meubles, avec une altitude moyenne d'environ 400-500 m.

Le réseau hydrographique des bassins versants est peu dense. Les cours d'eau principaux tels que le Shiseb, l'El Ham, le Djenane et le Terga, ont creusé leurs lits profondément dans les terrains meubles d'âge quaternaire et ont formé des méandres.

- Au nord du site (dans la région montagneuse du bassin versant), on trouve une formation géologique appelée Trias, qui est composée de dépôts haloïdales. Ces dépôts comprennent des marnes, des dolomies, des gypses, et d'autres types de roches. Ces formations géologiques sont responsables de la salinité des eaux de ruissellement dans la région.

- Les chaînes montagneuses qui entourent la cuvette du Hodna présentent de larges affleurements de roches du Crétacé. Les faciès de ces formations sont souvent monotones et comprennent des marnes gréseuses, des argiles gréseuses, des marno-calcaires, des calcaires ou des dolomies. Ces différentes couches se succèdent sur de fortes épaisseurs, avec des formations carbonatées moins importantes en termes de volume.

- Le terrain de fond du site et de sa retenue est constitué du Miocène, une formation géologique comprenant principalement des marnes et des argiles marneuses. Ces marnes peuvent varier en couleur, allant du vert au gris, et sont souvent associées à des marnes argileuses.

- Le Pliocène, une autre formation géologique présente dans la région, se caractérise par la présence de poudingues. Ces poudingues sont composés de cailloux, de galets, de graviers et de sables, avec une faible proportion d'argiles. Ils ont une forme arrondie et sont principalement composés de matériaux silico-calcaires, avec une matrice siliceuse ou argileuse. Par endroits, ces poudingues peuvent être intercalés avec des couches d'argiles rouges et de calcaires blancs-roses d'origine lacustre. Cette formation géologique forme une muraille le long du flanc droit de la retenue.

Les fonds des vallées et des lits d'oueds sont recouverts d'alluvions récentes et

anciennes, datant du Quaternaire. Ces alluvions se composent principalement de graviers et de sables, avec une faible proportion d'argiles. En dessous de ces alluvions, on trouve des dépôts d'alluvions de terrasses composés d'argiles et d'argiles sableuses, caractérisées par la présence de particules fines.

I.2.2. Géologie des sites des bassins versants

La région étudiée se trouve dans les hauts plateaux algérois, qui sont une zone de transition entre l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien, se rencontrant à Batna.

Les hauts plateaux se caractérisent par des plaines semi-désertiques, où une vaste dépression endoréique appelée le Chott El Hodna prédomine. Cette dépression s'incline vers l'est et a une altitude moyenne de 420 mètres. Le Chott El Hodna accumule l'eau de plusieurs affluents, mais il n'est alimenté que pendant l'hiver et le printemps, et en été, il est complètement asséché, laissant derrière lui une couche de sel. Les sites de barrage étudiés se situent le long d'une plaine bordée par un ravin assez important du côté droit et creusée par les principaux oueds. Ces sites se caractérisent par une rive droite escarpée composée de poudingues du Pliocène et de marnes du Miocène, et une rive gauche plus douce. Il n'y a pas de seuil évident pour ces sites de barrage.

Les formations géologiques présentes sur le site comprennent principalement des marnes du Miocène sous les conglomérats du Pliocène. Au niveau de la plaine, on trouve des limons sableux et des alluvions quaternaires par endroits.

Les formations du Quaternaire continental se composent de limons de couleur grise contenant des cristaux de gypse, principalement dans les zones les plus basses. Dans les zones plus élevées en amont, on trouve des sables fins, des argiles et du gypse. On observe également des niveaux alluvionnaires, des conglomérats avec de gros blocs, ainsi que des horizons de galets et des couches calcaires.



Figure I-2 : Limon argileux du Quaternaire sur les berges de l'oued El Ham (Source : ANBT)



Figure I-3 : Alternance argilo-graveleuse du Pliocène (Source : ANBT)

Les formations du Pliocène continental (Pc) se composent d'une série conglomératique cimentée par du calcaire, alternant avec des grès, des marnes sableuses et gypseuses. Ces formations reposent discordantes sur le Miocène (voir Figure I.3)

Les formations du Miocène inférieur marin (mi) présentes sur le site se composent principalement de marnes verdâtres (voir Figure I.3) et jaunâtres, avec des intercalations de bancs calcaires de taille décimétrique.



Figure I-4 : Marnes du Miocène (Source : ANBT)

D'un point de vue géologique, on observe que les marnes du Miocène se trouvent sous les conglomérats du Pliocène. Sur les reliefs situés au sud de la confluence, les conglomérats sont peu épais, d'environ 2 mètres, tandis que les marnes miocènes s'élèvent à environ 8 mètres au-dessus des plaines.

Les formations présentes sur les terrains plats correspondent à des limons sableux et alluviaux du Quaternaire. Il est important de noter que la présence de formations triasiques dans le bassin versant a entraîné une forte salinité des eaux, en particulier celles provenant de l'oued Terga, avec des apports significatifs.

La base topographique de l'étude de faisabilité préliminaire pour la campagne de reconnaissance géologique et géotechnique, aussi que pour l'étude de solutions pour le barrage et les structures hydrauliques a été réalisée à l'échelle 1/5000 pour la cuvette, 1/1000 pour le site du barrage et 1/1000 pour l'emplacement du déversoir.

On propose donc la réalisation dans la première phase d'un prélèvement utilisant la technologie LIDAR, bien adaptée aux objectifs prétendus.

La télédétection par laser ou LIDAR, acronyme de l'expression en langue anglaise « light detection and ranging », est une technologie de télédétection ou de mesure optique basée sur l'analyse des propriétés d'une lumière laser renvoyée vers son émetteur.

I.3. Géotechnique

I.3.1. Reconnaissance géotechnique

Afin d'évaluer les caractéristiques du terrain, un total de 26 puits de reconnaissance ont été excavés lors des études préliminaires. Ces puits avaient une profondeur maximale variant entre 2,4 et 4,3 mètres. Des échantillons de sol ont été prélevés dans le but de réaliser des essais en laboratoire. Il convient de noter que les terrains concernés n'étaient pas rocheux. Les travaux de creusement des puits ont été répartis en fonction des zones potentielles d'emprunt, situées en amont du site du barrage. Ces zones incluaient la rive gauche ainsi que le fond de la vallée. Grâce à l'excavation des puits, nous avons pu déterminer l'épaisseur de la couche superficielle et observer directement la nature des terrains présents.

Afin de mieux comprendre les conditions d'excavation et d'exploitation des matériaux, 15 profils sismiques de réfraction ont été réalisés. Chaque profil avait une longueur de 65 mètres, et la distance maximale entre les géophones était de 5 mètres. L'objectif de ces profils était d'obtenir des informations précises sur les caractéristiques des couches de terrain. Ces travaux ont été répartis en fonction des zones potentielles d'emprunt, localisées en amont du site du barrage. Les zones concernées comprenaient à la fois la rive gauche et la rive droite du site. Grâce aux profils sismiques de réfraction, nous avons pu obtenir des données essentielles pour éclaircir les conditions d'excavation et d'exploitation des matériaux dans ces zones spécifiques.

Dans le but d'observer visuellement les dépôts de terrasses quaternaires et anciennes encroûtées, ainsi que d'évaluer leur épaisseur, deux sondages carottés ont été réalisés au niveau de la rive droite. L'objectif principal de ces sondages était également de collecter quelques échantillons/éprouvettes en vue de les soumettre à des essais en laboratoire. Ces essais avaient pour but d'évaluer le potentiel de réutilisation des matériaux disponibles dans cette zone. Les sondages carottés ont permis une observation directe des dépôts de terrasses quaternaires et anciennes encroûtées, et ont fourni des informations sur leur épaisseur. De plus, les échantillons prélevés ont été utilisés pour réaliser des essais en laboratoire, visant à évaluer la faisabilité de réutiliser les matériaux disponibles dans cette zone pour d'autres usages.

I.3.2. Essai de laboratoire

Afin de caractériser complètement les zones potentielles d'emprunt situées à une distance appropriée pour l'exploitation, des échantillons représentatifs des différentes formations présentes ont été collectés. Ces échantillons ont ensuite été soumis à des essais de laboratoire visant à déterminer leurs propriétés géotechniques.

L'objectif de ces essais de laboratoire était d'obtenir des informations précises sur les propriétés des formations géologiques présentes dans les zones d'emprunt. Ces essais ont permis d'évaluer des paramètres tels que la composition du sol, la résistance mécanique, la perméabilité, la compressibilité et d'autres caractéristiques géotechniques importantes.

En collectant des échantillons représentatifs et en effectuant des essais de laboratoire, une meilleure compréhension des propriétés géotechniques des formations a été obtenue. Cela a contribué à une évaluation plus précise de la faisabilité et de la viabilité de l'exploitation des matériaux dans ces zones spécifiques.

I.3.2.1. Essais d'identification

Un total de 31 échantillons remaniés, prélevés dans les puits en amont du site du barrage, ont été sélectionnés pour être soumis à des essais d'identification. Ces essais comprenaient notamment l'analyse granulométrique, la détermination des limites d'Atterberg, la densité des particules, le poids spécifique, la teneur en eau et la teneur en matière organique. Les résultats clés de ces essais sont présentés dans le Tableau I.1

Tableau I-1: Analyse des résultats des essais d'identification.

Matériaux	Analyse granulométrique (%)		Limites d'Atterberg (%)		Teneur en eau W (%)	Poids spécifique (g/cm ³)	Teneur en matière organique (%)
	<2µm	<80µm	WL	IP			
Qt1	10	95-99	58	17	11,2-14,9	2,736	1,1-3,5
P2	0	17	30-34	13	8,1	2,66	1,7-3,5
P3	0	19	30-40	8-19	3,4-10,4	2,663	2,98
M	47	92	62	29	18,5	2,725	-

Tableau I-2: Résultats des essais de compression triaxial avec le critère de rupture de

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_3} \text{max}$$

Zone d'emprunt	Puits	Profondeur (m)	Essai Triaxial	
			c' (kPa)	φ' (°)
ZEA (Recharges)	P113	1,3-4,2	Essai impossible à réaliser (échantillon trop graveleux et sableux (non cohésif), avec des pourcentages des matériaux fins très faibles)	
	P125	0,5-1,8	Échantillon insuffisant	
ZEB (Noyau)	P102	0,2-3,0	66	14
	P107	0,4-3,0	55	18

Remarque

c' : cohésion effective ;

φ' : angle de frottement effectif.

I.3.2.2. Essais minéralogiques

Afin d'évaluer le potentiel d'utilisation des dépôts de terrasse quaternaire et pliocène en tant que matériaux d'emprunt pour les remblais du barrage, des analyses minéralogiques ont été préconisées. Les résultats de ces analyses révèlent une présence significative de quartz, de calcite et de dolomite (représentant entre 57 et 95% des minéraux présents), ainsi qu'une présence considérable de minéraux argileux tels que la kaolinite, l'illite, le chlorite, et la montmorillonite (composant entre 5 et 30% des minéraux). Toutefois, ces valeurs n'impliquent généralement aucune limitation quant à leur réutilisation en tant que matériau de construction.

De l'analyse des résultats de ces essais, on peut conclure que :

Les résultats de l'essai Los Angeles (LA = 23 à 38%) indiquent que le matériau rocheux présente une résistance moyenne à l'abrasion et à l'érosion.

En ce qui concerne les essais Micro-Deval et la réactivité du type alcali-silice, il est observé que les résultats sont très variables. Cela signifie que les performances des échantillons testés peuvent différer considérablement les uns des autres dans ces tests. La

variabilité peut être due à plusieurs facteurs, tels que la composition minéralogique des échantillons, les conditions de l'essai et d'autres caractéristiques spécifiques des matériaux testés. Il est donc important de prendre en compte cette variabilité lors de l'interprétation des résultats de ces essais.

I.4. Perméabilité et traitement de fondation

Sa perméabilité à l'aide d'un perméamètre. Deux types de perméamètres sont utilisés : le perméamètre à charge constante pour les sols à grande perméabilité ($k > 10^{-5}$ m/s) et le perméamètre à charge variable pour les sols à faible perméabilité.

Le massif de fondation du barrage est composé d'une couverture perméable, qui est constituée de sols alluvionnaires, de dépôts de terrasse et de colluvions. Cette couverture repose sur un massif marneux ayant une faible à imperméabilité. Il est important de noter la présence d'une couche très perméable, composée de graviers et de galets avec une matrice sablo-limoneuse à argilo-sableuse, d'une épaisseur de 1 à 5 mètres. Cette couche se trouve dans la partie supérieure du massif marneux.

L'analyse des résultats des essais Lefranc et Lugeon révèle que le terrain présente une perméabilité allant de perméable à très perméable, avec des valeurs de K (coefficient de perméabilité) de l'ordre de 10^{-6} à 10^{-3} m/s et des valeurs de Lugeon de 12 à 13. Cette perméabilité est observée jusqu'à une profondeur de 5 à 10 mètres au niveau des rives droite et gauche, et de 10 à 15 mètres au niveau du fond de la vallée. Au-delà de ces profondeurs, les valeurs de perméabilité sont généralement inférieures à 3 U.L.

I.5. Topographie

La méthode la plus répandue pour déterminer la distance à un objet est basée sur le laser à impulsions. À la différence du radar basé sur un principe similaire, le lidar utilise de la lumière visible ou infrarouge au lieu d'ondes radio. La distance à un objet ou à une surface est donnée par la mesure du délai entre l'impulsion et la détection du signal réfléchi. Le lidar présente l'avantage de permettre la couverture d'une superficie importante en peu de temps.

Dans la figure 1.1 on indique les principes de la méthode LIDAR.

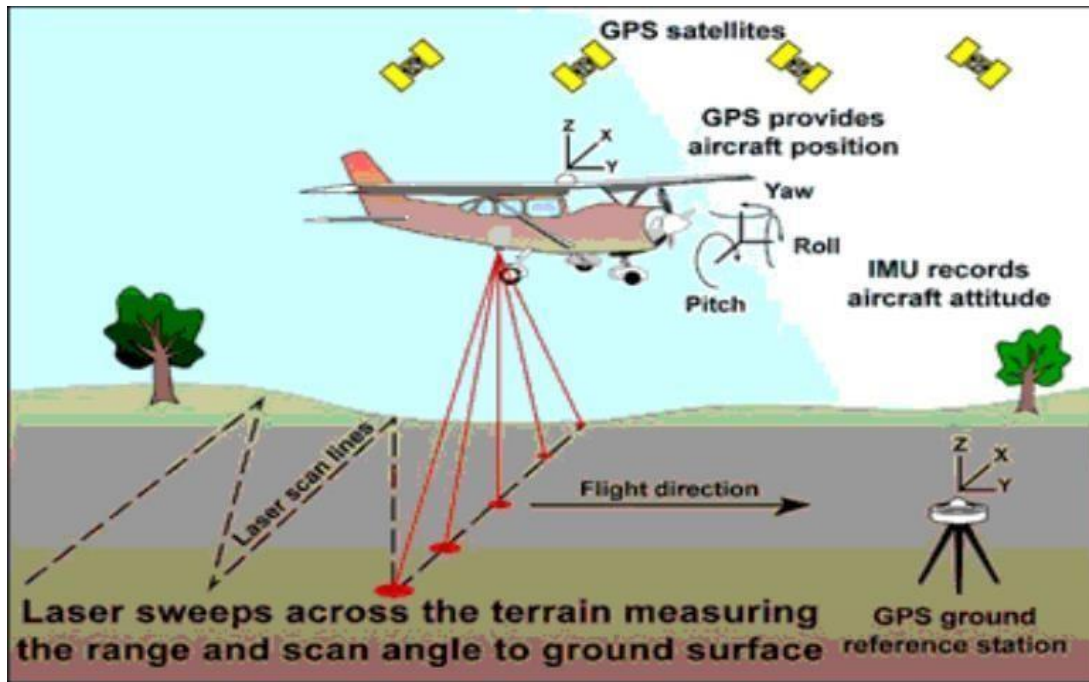


Figure I-5 : Les principes de la méthode LIDAR.

Le levé par LIDAR permettra l'obtention entre autres des données suivantes :

- Photos aériennes actuelles avec une résolution de 23cm par pixel ;
- Un model numérique exacte du terrain (MNT) pour les études topographiques à l'échelle 1/5000 ème.

I.6. Caractéristiques générales du projet

Selon l'étude, il est suggéré que le type de barrage le mieux adapté aux conditions locales serait soit un barrage en terre à profil homogène, avec un écran d'étanchéité en PVC positionné sur le talus amont, soit un barrage en terre avec un noyau plus imperméable. La proposition comprend une digue d'une longueur considérable, dépassant les 4 kilomètres, avec une hauteur moyenne de 11 mètres et atteignant un maximum de 20 mètres au niveau du lit de l'oued.

I.7. Sismicité

Du point de vue sismique, le site envisagé par la construction du barrage Koudiat Ben Aïda appartient à une zone de sismicité faible.

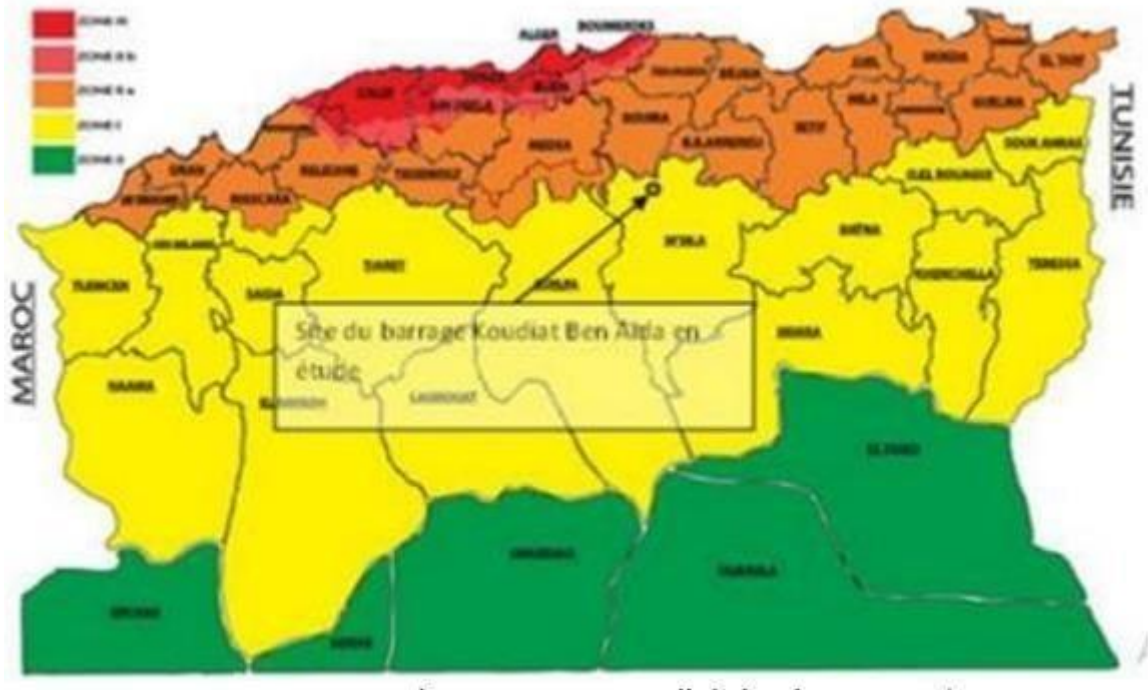


Figure I-6 : Carte de zonage sismique d'Algérie (RPOA 2008)

Ce local est classé par zone I par les règles parasismiques Algériennes de 1983, établi par contrôle technique de construction (C.T.C.) du ministère de l'habitat et de la construction.

Conclusion

En tenant compte des résultats géologiques, les formations observées sur les terrains plats sont principalement des limons sableux et alluviaux du Quaternaire. Il est important de souligner que la présence de formations triasiques dans le bassin versant a entraîné une salinité élevée des eaux, en particulier celles provenant de l'oued Terga, avec des apports importants. Par ailleurs, le terrain du site du barrage présente des pentes douces et des rives éloignées.

Concernant les zones d'emprunt, on a identifié la présence de deux sites, ainsi qu'un troisième site potentiel situé à quelques kilomètres du site du barrage. Dans l'ensemble, il semble réalisable d'envisager la construction d'un barrage en remblai (de nature homogène) d'un point de vue géotechnique et géologique.

Géologiques et géotechniques du site, ainsi que les risques potentiels liés aux phénomènes naturels et aux sollicitations hydrauliques, afin d'assurer la fiabilité et la

durabilité de l'ouvrage.

Sur le chapitre suivant ; une étude hydrologique sera basée sur plusieurs paramètres à suivre ; après avoir fait une enquête sur les points sur cités et rassemble toutes les données naturelles liées aux précipitations et aux reliefs.

Chapitre II

Caractéristiques du bassin versant

Introduction

En hydrologie, le bassin versant constitue généralement l'unité géographique de base pour l'analyse du cycle hydrologique et de ses impacts. Plus spécifiquement, le bassin versant peut-être envisager comme un "système" individuel, caractérisé par une surface hydrologiquement close. En d'autres termes, aucun écoulement externe n'y pénètre, et tous les excédents de précipitations sont évaporés ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire du bassin.

Dans notre cas, nous allons diviser l'étude en trois zones distinctes. Cependant, avant d'aborder ces zones spécifiques, il est important de comprendre la définition du bassin versant. Le bassin versant est le secteur géographique qui recueille les eaux d'un plan d'eau ou d'un cours d'eau, que ce soit par écoulement de surface (ruissellement) ou par écoulement souterrain (infiltration, percolation et résurgence de la nappe phréatique). Il est délimité par une ligne de crête, également appelée ligne de partage des eaux, au-delà de laquelle les eaux sont drainées vers d'autres milieux aquatiques (Pourriot & Meybeck, 1995).

Dans notre étude, nous allons considérer trois zones spécifiques pour analyser le bassin versant :

II.1. Description du bassin versant

II.1.1. Définition du bassin versant

- Site 1 : emplacement de l'étude de faisabilité préliminaire : eau provenant des oueds l'El Ham, Terga, Djenane, Sbisseb et le Bel Aroug.
- Site 2 : emplacement en amont de Sidi Hadjeres : eau provenant des oueds l'El Ham, Djenane, Sbisseb et Bel Aroug.
- Site 3 : emplacement en amont de la Zone 2 : eau provenant des fleuves El Ham et Sbisseb.

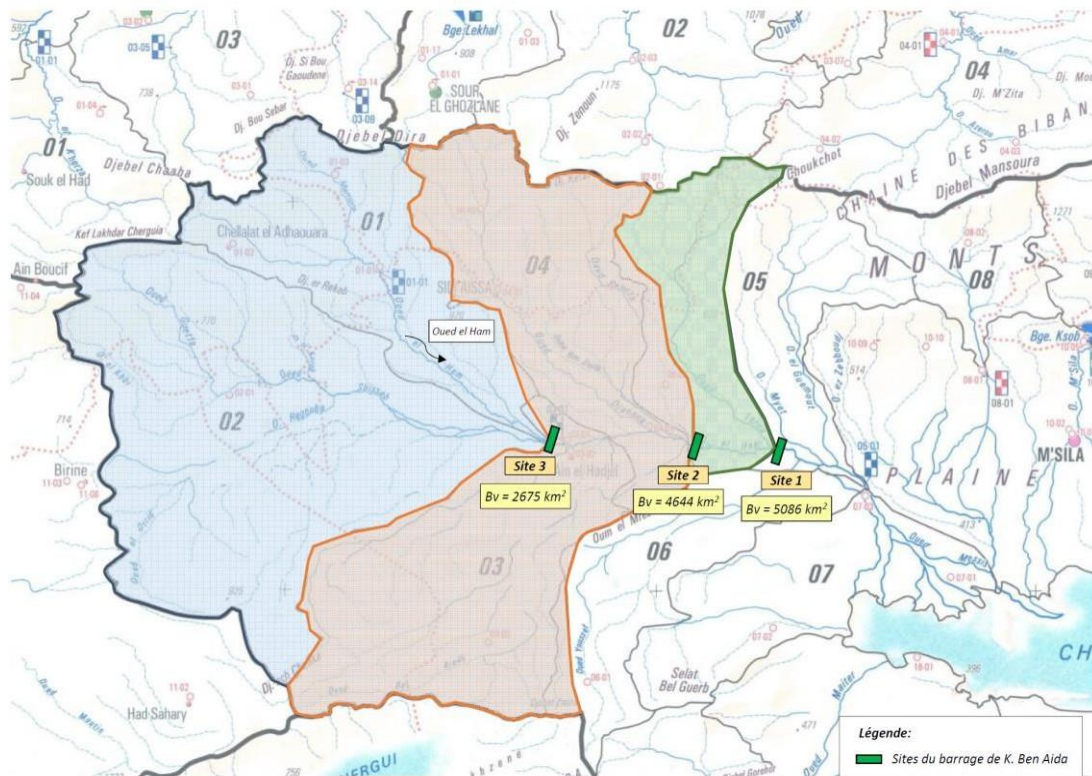


Figure II-1 : Localisation des bassins versants de l'oued El Ham, dominées par les sites analysés pour l'implantation du barrage de Koudiat Ben Aida , Échelle 1/100000(ARNH)

Les trois sites potentiels d'implantation du barrage, ainsi que les stations hydrométriques et pluviométriques utilisées pour le calcul hydrologique qui sera détaillé dans ce chapitre, sont présentés ci-dessous.

Les bassins versants analysés, qui sont dominés par les trois sites possibles de barrage, drainent le versant sud de la chaîne du Hodna et déversent leurs eaux dans le Chott El Hodna. Les bassins sont limitrophes du bassin du Chott Melrhir et du bassin du Zahrez au sud et au sud-ouest, tandis qu'au nord, ils sont adjacents au bassin des oueds Isser et Soummam.

Les bassins versants de l'oued El Ham sont délimités au nord par les djebels Chaaba, Bou Sebar, Dira, Ketaf, Choukchot et la chaîne des Bibans. À l'est, ils sont bordés par les djebels Chebka, Zemra, Achour, Ouzina, Bou Kahil et Er Zerga. Les bassins prennent leur source au nord à des altitudes supérieures à 1800 mètres et suivent des parcours de 106, 94 et 74 km respectivement pour les sites 1, 2 et 3, jusqu'à atteindre les altitudes de 464, 490 et 533 mètres.

L'oued El Ham est formé par la confluence des oueds Sbisseb, Bel Aroug, Djenane et Terga. Les bassins versants des différentes alternatives de barrage analysées drainent des superficies totales de 5086, 4644 et 2675 km² respectivement pour la variante 1, 2 et 3.

Après une analyse comparative des trois sites, il a été conclu que le site 3 est plus favorable. Tout d'abord, cela s'explique par la création d'une retenue avec une superficie inondée moindre, tout en conservant la même capacité de stockage, ce qui réduit les pertes par évaporation. De plus, en raison d'une moindre quantité de sédiments apportés, la durée de vie de la retenue sera prolongée, avec une diminution moins marquée de sa productivité au fil du temps. En revanche, les retenues aval des sites 1 et 2 recevraient les eaux de l'oued Tergat, qui ont une teneur en sel assez élevée et pourraient entraîner une contamination.

Dans notre étude, nous avons retenu le site de la zone 3 comme étant le plus favorable.

II.2. Caractéristiques du bassin versant oued el 'HEM

II.2.1. Caractéristiques géométriques

Nous avons utilisé des logiciel arc gis pour effectuer l'ensemble de notre travail. Les résultats obtenus sont synthétisés dans le tableau.

Tableau II-1: Les caractéristiques géométriques du bassin versant Oued el 'hem.

Surface (Km ²)	Périmètre (Km)	Altitude maximale (m)	Altitude minimale (m)	Dénivelée (m)
2839	316	1803,00	532,00	1217,00

II.2.2. Paramètres de formes

a. Indice de compacité de Graviilius

Le coefficient de compacité de Graviilius, également connu sous le nom d'indice de forme, est utilisé pour évaluer la forme d'un bassin versant. Il est établi en comparant le périmètre du bassin versant à celui d'un cercle ayant la même surface. Le coefficient de Graviilius, noté " k_c ", est défini comme le rapport entre ces deux grandeurs. Ce paramètre fournit des informations sur la forme du bassin versant et, par conséquent, a une influence significative sur les débits de crue.

Si nous désignons la surface du bassin versant par "S" en kilomètres carrés (km²) et son périmètre par "P" en kilomètres (km), nous pouvons exprimer le coefficient de Gravelius de la manière suivante :

$$k_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

$$K_c = 1,66$$

- Si : $1.5 < K_c < 1.80$: le bassin est de forme allongée ;
- Si : $1.0 < K_c < 1.15$: le bassin a une forme ramassée.

Pour notre bassin versant : $K_c = 1.66$ il est compris entre 1.5 et 1.8, donc le bassin est allongé.

Un bassin très allongé ne réagira pas de la même manière qu'un bassin de forme très ramassée ; Plus la forme du bassin versant est allongée et plus le temps de concentration augmente.

b. Rectangle équivalent

La méthode utilisée est une transformation géométrique pure qui consiste à modéliser le bassin versant sous la forme d'un rectangle. Il permet de comparer les bassins versants entre eux de points de vue de l'écoulement. Les courbes de niveau sont des droites parallèles aux petits côtés du rectangle et l'exutoire est l'un de ces petits cotés. Les dimensions du rectangle équivalent (L et l) sont définies par les formules suivantes :

$$L = \frac{k_c \sqrt{S}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right)$$

$$l = \frac{k_c \sqrt{S}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right)$$

L : longueur du rectangle équivalent en (km) ;

l : largeur du rectangle équivalent en (km) ;

s : surface de bassin versant en (km²) ;

K_c : indice de compacité de gravilius .

Soit :

$$L = 137,26 \text{ km ;}$$

$$l = 20,68 \text{ km ;}$$

c. Coefficient d'allongement

Le coefficient d'allongement détermine la réponse du bassin versant aux précipitations. Cette notion est explicitement utilisée dans la méthode de Caquot sous la forme d'un coefficient de correction de débit, donné par la formule

$$E = \frac{L}{\sqrt{S}}$$

E : coefficient d'allongement ;

s : surface de bassin versant en (km^2) ;

L : longueur du rectangle équivalent en (km) .

$$E = 0,048$$

d. Indice de forme de Horton

Il est utilisé pour prédire l'intensité de l'écoulement à l'exutoire d'un bassin versant, un facteur de forme élevé (> 0.5) indique un bassin versant de forme plutôt circulaire, et un débit de pointe élevé d'une durée relativement courte, il exprime le rapport de la surface du bassin versant à la longueur du cours d'eau (talweg) principal (Horton, 1932).

$$K_h = \frac{S}{L_p^2}$$

K_H : Indice de forme de Horton adimensionnel ;

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

L_p de cours d'eau (talweg) principal en (km).

Si $KH < 1$: Bassin de forme allongée ;

Si $KH > 1$: Bassin de forme ramassée.

$KH=0,52$

Pour notre cas $K_H= 0,52$ donc c'est un bassin versant de forme allongée.

Tableau II-2: Récapitulatif des paramètres de formes du sous bassin versant Oued el 'HEM

Paramètres de forme	Superficie (Km ²)	Périmètre (Km)	Indice de compacité de Gravillius kc	L (km)	l (km)	E	KH	Forme du BV
Sous bassin versant d'Oued el 'HEM	2839	316	166	137,5	20,68	0,048	0.52	Allongée

II.2.3. Caractéristiques du relief

Le relief est défini par les courbes de niveau et caractérisé par la courbe hypsométrique ; il possède une influence directe sur les facteurs climatiques, et une influence indirecte sur la formation des écoulements en surface, il détermine l'aptitude au ruissèlement, à l'infiltration, à l'évaporation et au régime d'écoulement. Donc il caractérise le comportement hydraulique du bassin versant ; Une pente plus forte provoque un écoulement rapide donc un temps de concentration court.

II.2.3.1. Courbe hypsométrique

En se basant sur les mesures de répartition altitudinale du bassin versant et des surfaces partielles, la courbe hypsométrique est établie pour fournir une représentation synthétique de la pente et du relief du bassin. L'utilisation du logiciel Arc GIS a permis de déterminer la répartition des surfaces dans le bassin versant de l'Oued EL'HEM.). Les résultats obtenus sont récapitulés dans le Tableau (II.3), et la courbe hypsométrique correspondante est présentée dans la Figure (II.2).

Tableau II-3: Répartition des surfaces en fonction des altitudes

Classe altitude (m)	Altitude moyenne (m) (Alt + ALTi-1)/2	Surface élémentaire Si (Km ²)	Surface élémentaire SI en (%)	Surface cumulée (Km ²) ΣSi	Surface cumulée ΣSi (%)
532-623	577,5	328,1900	11,56	2829,4800	100
623-680	651,5	564,2100	19,87	2501,2900	88,44
680-740	710	715,3700	25,19	1937,0800	68,57
740-804	772	375,7800	23,13	1221,7100	43,38
804-874	839	285,2000	10,40	845,9300	30,15
874-954	914	214,7100	7,56	560,7300	19,75
954—1044	999	160,0200	5,64	346,0200	12,19
1044-1149	1096,5	116,9100	4,12	186,0000	6,55
1149-1324	1236,5	58,6200	2,06	69,0900	2,43
1324-1803	1563,5	10,4700	0,37	10,4700	0,37

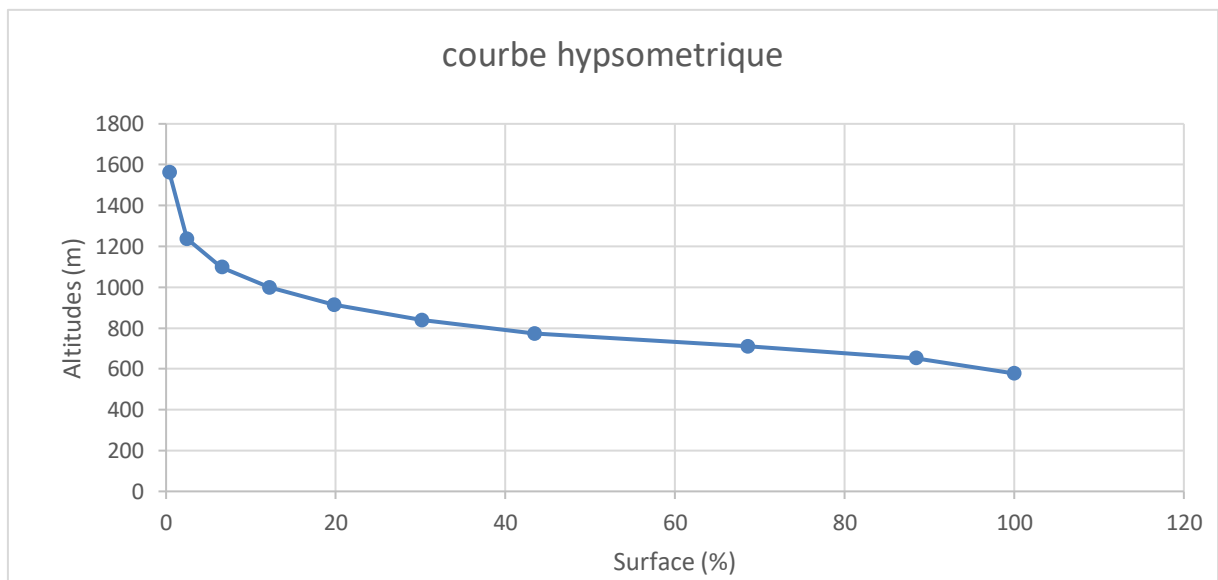


Figure II-2 : Courbe hypsométrique.

II.2.3.2. Altitudes caractéristiques**a. Altitude maximale et minimale**

Elles se lisent directement sur la carte topographique, l'élévation maximale correspondant au point le plus haut du bassin versant amont, tandis que l'élévation la plus basse est en aval du bassin versant, correspondant au point le plus bas à l'exutoire.

Altitude maximale : $H_{\max} = 1803 \text{ m}$;

Altitude minimale : $H_{\min} = 532 \text{ m}$;

Dénivelée totale : $\Delta H = 1217 \text{ m}$.

b. Altitude moyenne

C'est l'ordonnée de la courbe hypsométrique correspondant à la surface 50%. Elle peut également être calculée en utilisant la formule suivante.

$$H_{moy} = \frac{\sum S_i \cdot H_i}{S}$$

Avec :

H_{moy} : altitude moyenne du bassin versant (m).

S_i : surface comprise entre deux courbes de niveaux (km²).

H_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveaux (m)

Tableau II-4: Résultats du calcul de l'altitude moyenne.

N°	Altitude(m)	Hi(m)	Surface élémentaire Si (Km ²)	Si. Hi (m. Km ²)
1	532-623	577,5	328,19	189529,73
2	623-680	651,5	564,21	367582,82
3	680-740	710	715,37	507912,7
4	740-804	772	375,78	290102,16
5	804-874	839	285,2	239282,8
6	874-954	914	214,71	196244,94
7	954-1044	999	160,02	159859,98
8	1044-1149	1096,5	116,91	128191,82
9	1149-1324	1236,5	58,62	72483,63
10	1324-1803	1563,5	10,47	16369,845
			Σ2829,48	Σ2167560,4

$$H_{moy} = 763,49 \text{ m}$$

c. Altitude médiane

L'altitude médiane est déterminée en prenant la lecture altimétrique au point d'abscisse correspondant à 50 % de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. Cette mesure est basée sur l'hypothèse que la répartition altitudinale à travers le bassin est relativement uniforme. Ainsi, si la courbe hypsométrique présente une pente constante, l'altitude médiane offre une estimation raisonnable de l'altitude moyenne du bassin.

$$H_{50\%} = 573,88 \text{ m.}$$

d. Altitudes H95% et H5%

Les altitudes H95% et H5% sont obtenues depuis la courbe hypsométrique.

H5% : représente l'altitude correspondant à la surface de 5% du bassin versant.

H95% : H95% représente l'altitude correspondant à la surface de 95% du bassin

versant.

$$H_{5\%} = 828,54 ;$$

$$H_{95\%} = 644,95 \text{ m.}$$

La dénivelée "d" est la différence d'altitudes entre deux points de la surface terrestre, donc c'est la différence entre H5% et H95%.

$$d = H_{5\%} - H_{95\%}$$

$$d = 828,54 - 644,95 = 183,59 \text{ m.}$$

e. Indice de pente moyenne

$$I_{\text{moy}} = \frac{\Delta H}{L}$$

$$\Delta H = H_{\text{max}} - H_{\text{min}}$$

I_{moy} : Indice de pente moyenne en (m/km)

ΔH : dénivelée total en (m)

L : longueur du rectangle équivalent en (km)

$$I_{\text{moy}} = 9,26 \text{ m/km ;}$$

f. Indice de pente globale I_g (P. Dubreuil, 1974)

L'indice de Roche étant cependant trop long à évaluer pour des études rapides, on a proposé un indice encore plus simple ; c'est l'indice de pente globale à partir de la courbe hypsométrique, nous déduisant les altitudes H5% et H95%.

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

I_g : indice de pente globale en (m/km)

D : dénivelée entre les altitudes en (m), elle est déterminée à partir de la courbe hypsométrique ; tel que : $d = H_{5\%} - H_{95\%}$;

L : longueur du rectangle équivalent en (km).

$$I_g = 1,34 \text{ m/km.}$$

Tableau II-5: Classification du relief d'après O.R.S.T.O.M. (selon I_g)

Classe de relief	Type de relief	I_g (m/km)
R1	Très faible	<2
R2	Faible	2-5
R3	Assez faible	5-10
R4	Modéré	10-20
R5	Assez fort	20-50
R6	Fort	50-100
R7	Très fort	>100

Selon la classification de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (O.R.S.T.O.M), le relief du bassin versant de l'Oued el 'Hem est considéré comme très faible.

g. 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.

Indice de pente de roche I_p , il est calculé par la formule suivante :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L_r}} \sum \sqrt{S_i} (H_i - H_{i-1})$$

Tableau II-6: Détermination de l'indice de pente de roche

H_{i-1}	H_i	Surface partielle(%)	$S_i(H_i - H_{i-1})$	$\sqrt{S_i}(H_i - H_{i-1})$
532	623	11,56	1051,96	32,4339328
623	680	19,87	1132,59	33,6539745
680	740	25,19	1511,4	38,8767283
740	804	23,13	1480,32	38,4749269
804	874	10,4	728	26,9814751
874	954	7,56	604,8	24,5926818
954	1044	5,64	507,6	22,52998
1044	1149	4,12	432,6	20,7990384
1149	1324	2,06	360,5	18,9868375
1324	1803	0,37	177,23	13,3127758
			somme	270,642351

$$I_p = 23,1 \text{ km/m}$$

h. Dénivelé spécifique

Elle sert à comparer les indices de pentes du bassin de superficie différentes, la deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M appliquée à tout bassin, quelle que soit sa surface, apparait dans le tableau (II.4). Elle est donnée par la formule suivante :

$$D_s = I_g \sqrt{S}$$

D_s : Dénivelée spécifique (m)

I_g : Indice de pente globale (m/km)

S : surface du bassin versant ((Km²))

$$D_s = 71$$

Tableau II-7: Classification O.R.S.T.O.M (type de relief)

R_1	Très faible	<10
R_2	Faible	10-25
R_3	Assez faible	25-50
R_4	Modéré	50-100
R_5	Assez fort	100-250
R_6	Fort	250-500
R_7	Très fort	>500

On déduit d'après le tableau (II.6) que le relief de la zone d'étude est modéré.

II.2.4. Caractéristiques hydrographiques du bassin versant

Le réseau hydrographique se compose de tous les cours d'eau, naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui collectent les eaux d'un bassin versant et les dirigent vers le point de sortie. Pour décrire un réseau hydrographique, plusieurs paramètres doivent être déterminés. La division et la classification d'un cours d'eau sont réalisées en attribuant un système de numérotation à chaque section du cours d'eau en fonction de son importance. À l'aide du logiciel arc gis, le réseau hydrographique du bassin versant Oued el 'HEM a été identifié et cartographié. figures(II.4)

a. Longueur de cours d'eau principal (talweg)

La représentation du temps de concentration est basée sur la distance curviligne depuis l'exutoire jusqu'à la ligne de partage des eaux du bassin versant. On suit généralement le segment d'ordre le plus élevé lorsqu'il y a un embranchement, en prolongeant ensuite le calcul jusqu'à la limite topographique du bassin versant. Si les deux segments à l'embranchement sont de même ordre, on privilégie celui qui draine la plus grande surface. Ainsi, cette approche permet de déterminer le chemin parcouru par l'eau de pluie depuis l'exutoire jusqu'à la zone de collecte la plus éloignée du bassin versant

La longueur totale de cours d'eau principal (talweg) " L_p " est obtenue à l'aide du logiciel arc gis $L_p = 73,5$ km

b. Indice de pente moyenne du talweg principale

La pente moyenne du cours d'eau, également appelé talweg, joue un rôle crucial dans la détermination de la vitesse à laquelle l'eau s'écoule vers l'exutoire du bassin, et donc dans le calcul du temps de concentration. Cette variable a également une influence sur le débit maximal observé. Une pente abrupte favorise un écoulement superficiel rapide, tandis qu'une pente douce ou nulle ne permet à l'eau de s'infiltrer, en tout ou en partie, dans le sol. Pour calculer les pentes moyennes et partielles des cours d'eau, on se base sur le profil longitudinal du cours d'eau principal et de ses affluents. La méthode la plus couramment utilisée consiste à diviser la différence d'altitude entre les points extrêmes du profil par la longueur totale du cours d'eau, ce qui permet d'obtenir la pente longitudinale

$$I = \frac{H_{max} - H_{min}}{L_p}$$

I: Indice de pente moyenne en (m/km)

H_{max} : Altitude maximale [m] ;

H_{min} : Altitude minimale [m] ;

L_p : Longueur de cours d'eau principal (talweg) (km) ;

$I = 17,29$ m/km

c. Densité de drainage D_d

La densité du drainage (D_d) est définie comme le rapport entre la longueur totale des cours d'eau permanents et temporaires (somme des L_i) et la surface du bassin versant (S). Ce paramètre reflète la dynamique du bassin, la stabilité du réseau hydrographique et le type de ruissellement en surface. La densité du drainage est influencée par des facteurs tels que la géologie, les caractéristiques topographiques du bassin, les conditions climatiques et les activités humaines.

La valeur de la densité du drainage peut varier entre 3 et 4 dans des régions peu développées, tandis qu'elle peut dépasser 1000 dans des zones où l'écoulement est fortement ramifié avec une infiltration limitée. Cette relation peut être exprimée par l'équation suivante:

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S}$$

Avec :

D_d : Densité de drainage (km/km^2) ;

L_i : Longueur du cours d'eau i (km) ;

S : Surface du bassin versant en [km^2] ;

$D_d = 0,59 km/km^2$

II.2.5. Le temps de concentration

Le temps de concentration est une mesure utilisée pour évaluer la réponse hydrologique d'un bassin versant à un événement pluvieux. Il représente le temps requis pour qu'une goutte d'eau de pluie parcoure la distance depuis le point le plus éloigné de l'exutoire du bassin jusqu'à atteindre cet exutoire.

Plusieurs formules sont utilisées pour calculer le temps de concentration, parmi lesquelles on trouve :

➤ **La formule de GIANDOTTI (1937)**

$$T_c = \frac{a\sqrt{s} + b \cdot L_p}{c \cdot \sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

T_c : Temps de concentration [h] ;

S : Surface du bassin versant [km^2] ;

L_p : Longueur de cours d'eau (talweg) principal [km] ;

H_{moy} : Altitude moyenne du bassin versant [m] ;

H_{min} : Altitude minimale du bassin versant [m] ;

$a = 4$; $b = 1.5$; $c = 0.8$ (pour les grands et moyens bassins d'Afrique du Nord) ;

$T_c = 26,57 h$.

➤ **Formule de SOGREAH**

Est a été développée par SOGREAH à la demande de l'ANRH en 1986/1989. Elle est recommandée pour les petits bassins versants algériens. Elle est exprimée par la formule

$$T_c = 3. \left(\frac{S. L_p}{10. I^2} \right)^{\frac{3}{4}}$$

T_c : Temps de concentration [h] ;

S : Surface du bassin versant [km²] ;

L_p : Longueur de cours d'eau (talweg) principal [km] ;

I : Pente moyenne de cours d'eau (talweg) principal [%] ;

$T_c=21,7h$

➤ **Formule de BEFFANI A.N**

Exprimée par la relation :

$$T_c = \frac{L_p}{0,75. S^{1/5}. I^{1/3}}$$

T_c : Temps de concentration [h] ;

L_p : Longueur de cours d'eau (talweg) principal [km] ;

S : Surface du bassin versant [km²] ;

I : Pente moyenne de cours d'eau (talweg) principal [m/km] ;

$T_c = 7,73h$.

Le comparatif des résultats de différentes formules est inséré dans le tableau suivant :

Tableau II-8: Comparaison des résultats des formules.

Formule	Temps de concentration T_c (h)
Formule de BEFFANI A.N	7,73
Formule de SOGREAH	21,7
La formule de GIANDOTTI	26,57

Sur la base de ces résultats nous proposons d’adopter la valeur $T_c = 26,57h$. Obtenue par la formule de GIANDOTTI qui est d’emploi fréquent en Algérie et parce que la formule de GIANDOTTI tient compte de tous les paramètres géométriques du bassin.

II.2.6. Vitesse du ruissellement

La vitesse du ruissellement "Vr" s’exprime par la formule :

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

L_p : Longueur du cours d’eau (talweg) principal [Km] ;

T_c : Temps de concentration [h] ;

$V_r = 2,76$ km/h ou (0,76m/s

Tableau II-9: Caractéristiques hydro-morphologiques du bassin versant d'Oued el 'HEM

Caractéristique	Symboles	Unités	Values
Superficies	S	km ²	2839
Périmètre	P	Km	316
Longueur du Talweg principal	L_p	Km	73,5
Indice de compacité	KC	/	1.66
	Longueur	L_r	137,5

Rectangle équivalent	Largeur	l_r	km	20,68
Coefficient d'allongement		E	/	0,048
Altitudes	Maximale	Hmax	M	1803
	Moyenne	(H_{moy})	M	763,49
	Minimale	Hmin	M	532
	Médiane 50 %	H50%	M	573,88
	Altitude 95 %	H95%	M	644,95
	Altitude 5 %	H5%	M	828,54
Indice de pente moyenne de pente moyenne		I_{moy}	m/km	9,26
Indice de pente globale		I_g	m/km	1,34
Dénivelée spécifique		D_s	M	71,14
Densité du drainage		D_d	km/km ²	0,59
Pente moyenne du cours d'eau (talweg) principal		I	m/m	17,29
Temps de concentration		T_c	H	26,57
Vitesse du ruissellement		V_r	km/h	2.76

Conclusion

Le but de ce chapitre était de mettre en évidence les caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued el 'HEM à l'aide de données provenant notamment de la télédétection et des SIG. Ces caractéristiques sont essentielles pour prévoir les risques hydrologiques, en particulier dans le contexte actuel marqué par les changements climatiques. Après avoir recueilli les données nécessaires, nous avons entrepris une étude cartographique afin de déterminer les caractéristiques morphologiques de notre bassin versant. Versant résultats montrent que le bassin versant étudié présente une forme allongée,

couvrant une superficie de 2839km^2 , Les hauteurs environnantes varient entre 532 m et 1803 m, et la longueur de cours d'eau principale rivière est de 73,5 km.

L'analyse de ces données a cependant confirmé la faisabilité de la construction d'un barrage dans cette région.

.

.

Chapitre III
Etude hydrologique

Introduction

L'objectif de cette étude hydrologique est d'établir les paramètres hydrologiques nécessaires à la conception des ouvrages annexes tels que la capacité de stockage et les caractéristiques des ouvrages d'évacuation de crues. Pour atteindre cet objectif, plusieurs éléments doivent être considérés, notamment :

La détermination de l'apport moyen interannuel, qui permet de connaître les potentialités du bassin versant en termes de production d'écoulements.

La détermination des apports fréquentiels, qui évalue la récurrence des événements hydrologiques tels que les crues.

L'estimation des volumes de l'apport solide, qui permet d'évaluer l'impact de la sédimentation sur la capacité de stockage de la retenue.

L'estimation du volume mort, qui permet de déterminer la capacité maximale de la retenue.

Une analyse de crues, qui permet d'estimer le débit maximal et le volume de la crue pour évaluer les risques potentiels et concevoir des ouvrages d'évacuation de crues adaptés.

III.1. Etude de la pluviométrie

III.1.1. Pluies maximales journalières

III.1.1.1. Hypothèse de l'analyse fréquentielle

Plusieurs tests d'hypothèses ont été appliqués aux pluies journalières maximales de la station pluviométrique de Pluies journalières maximales observées à la station Sour El Ghozlane - 15.01.01 (mm) (test d'indépendance de Wald-Wolfowitz, test d'homogénéité de Wilcoxon et test de stationnarité de Kendall). Le tableau ci-après montre les résultats d'application de ces différents tests d'hypothèses.

Tableau III-1: Résultat des tests d'hypothèses.

Test d'indépendance de wald-wolfowitz		Test de stationnarité de kendall		Test d'homogénéité de wilcoxon	
u	p	k	p	w	p
0,294	0,769	0,745	0,456	0,796	0,796

Ces résultats montrent que la série pluviométrique des pluies journalières maximales de la station Sour El Ghozlane - 15.01.01 (mm) de vérifie les conditions d'application de l'analyse fréquentielle.

III.1.1.2. Choix de la loi d'ajustement des données de la série pluviométrique

L'ajustement des pluies maximales journalières sera fait à l'aide du logiciel HYFRAN. On a effectué l'ajustement de la série des pluies maximales journalières en utilisant les lois suivantes :

- Loi de Gumbel ;
- Loi Normale.

a. Ajustement a loi de GUMBEL

➤ *Test d'adéquation : test de Pearson X²*

Hypothèse

H₀ : L'échantillon provient d'une loi normale

H₁ : L'échantillon ne provient pas d'une loi normale

Résultats

Résultats de la statistique : $X^2 = 6.46$ X5% = (0.26400)

Degrés de liberté : 5

Nombre de classes : 8

Conclusion

Nous pouvons accepter H₀ au niveau de signification de

➤ *Résultats de l'ajustement*

Paramètres : Mu : 42.4865

Sigma : 17.8222

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

$T=1/ (1-q)$ (période de retour)

Les résultats de l’ajustement à la loi Normale sont donnés par le tableau

Tableau III-2: Résultats de l’ajustement à la loi Normale

Période de retour (T)	Fréquence(F)	PJ max	Écart type	L’intervalle de confiance
5	0,8	57,5	3,42	50,8-64,2
10	0,9	65,3	3,98	57,5-73,1
20	0,95	71,8	4,53	62,9-80,7
50	0,98	79,1	5,22	68,9-89,3
100	0,99	84	5,7	72,8-95,1
200	0,995	88,4	6,15	76,3-100
1000	0,999	97,6	7,12	83,6-112
2000	0,9995	101	7,51	86,4-116
10000	0,9999	109	8,34	92,4-125

La distribution de la série pluviométrique de la station de Sour El Ghozlane - 15.01.01 (mm) selon la loi normale apparait (III.2).

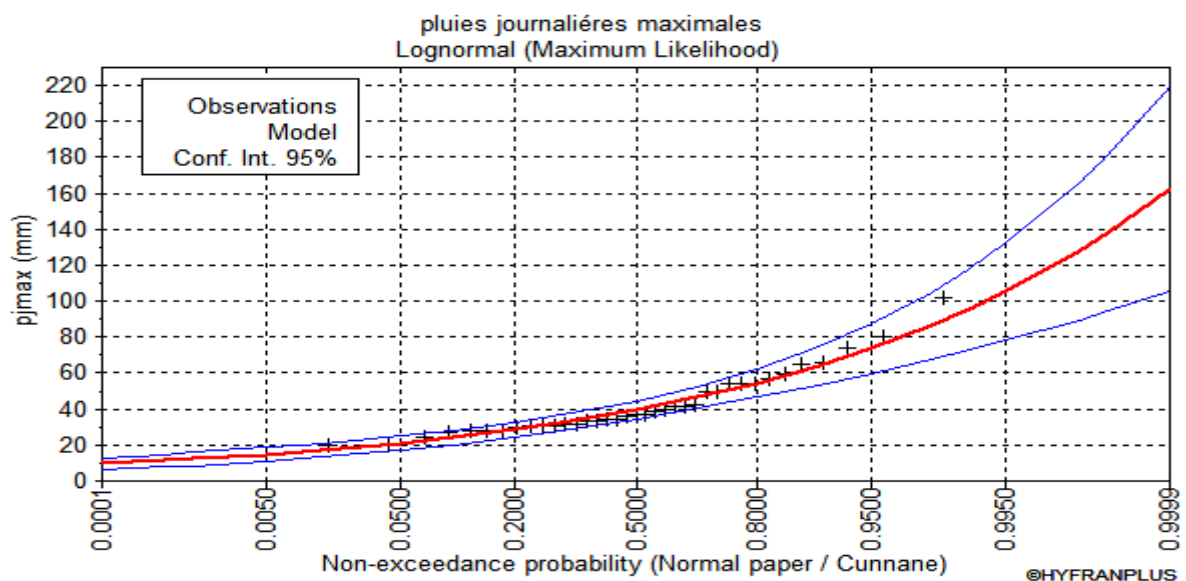


Figure III-1 : Ajustement à la loi Normale de la série de la pluie maximale journalière

b. Ajustement a loi de GUMBEL➤ **Test d'adéquation : test de Pearson X****Hypothèse**

H_0 : L'échantillon provient d'une loi Gumbel

H_+ : L'échantillon ne provient pas d'une loi Gumbel

Résultats

Résultats de la statistique : $X^2 = 6.46 < X_{5\%}^2 (0.2640)$

Degrés de liberté : 5

Nombre de classes : 8

Conclusion

Nous pouvons accepter H_0 au niveau de signification de

➤ **Résultats de l'ajustement**

Paramètres : $u = 34.4656$

Alpha=13.8959

Quantiles : $q = F(X)$ (probabilité au non dépassement) ; $T=1/ (1-q)$ (période de retour).

Les résultats de l'ajustement à la loi de Gumbel sont donnés par le tableau (III.3)

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

Période de retour (T)	Fréquence(F)	PJ max	Écart type	L'intervalle de confiance
5	0,8	55,3	4,53	46.4 - 64.2
10	0,9	65,7	6,12	53.7 - 77.7
20	0,95	75,7	7,73	60.6 - 90.9

50	0,98	88,7	9,87	69.3 - 108
100	0,99	98,4	11,5	75.8 - 121
200	0,995	108	13,1	82.3 - 134
1000	0,999	130	16,9	97.2 - 164
2000	0,9995	140	18,6	104 - 177
10000	0,9999	162	22,4	119 - 206

La comparaison entre les caractéristiques de la loi de Gumbel et celles de l'échantillon figure dans le tableau (III.4).

Tableau III-4: Comparaison entre les caractéristiques de la loi GUMBEL et de l'échantillon

Paramètres	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Nombre d'observation		37
Minimum	/	19,6
Maximum	/	102
Moyenne	42,5	42,5
Ecart type	17,5	17,8
Médiane	39,6	37
Coefficient de variation	0,149	0,419
Coefficient d'asymétrie	1,41	1,41
Coefficient d'aplatissement	2,4	4,53

La distribution de la série pluviométrique station Sour El Ghozlane - 15.01.01 (mm) selon la loi de Gumbel apparait dans la figure (III.2)

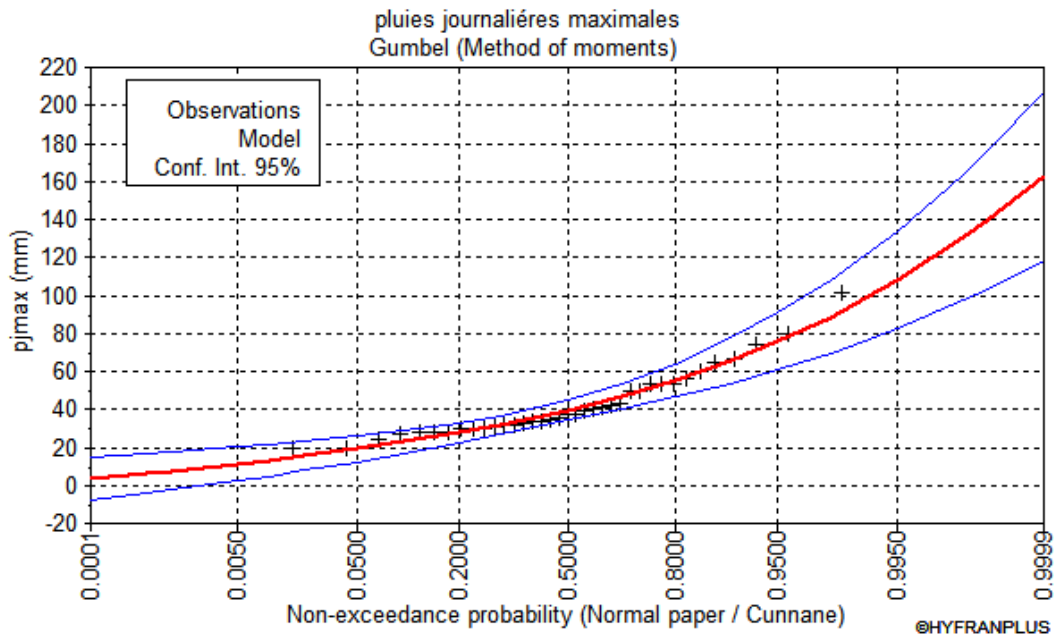


Figure III-2 : Ajustement à la loi de Gumbel de la série de la pluie maximale journalière

III.1.2. Pluie de courte durée

La pluie d’une courte durée t , pour une telle fréquence est donnée par la formule de MONTANA :

$$P_{(t)}\% = P_j\% \times \left(\frac{t}{24}\right)^b$$

Avec

P_t : Pluie d’une durée (t) pour une fréquence voulue (mm)

P_j : Pluie maximale journalière pour la même fréquence (mm)

t : durée de la pluie (heures)

b : Exposant climatique, $b= 0.30$

III.1.3. L’intensité des pluies

L’intensité des pluies est donnée par la formule suivante :

$$I_t = \frac{P_t}{t}$$

Les résultats de calcul sont donnés par le tableau (III.6).

Tableau III-5: Intensité et pluie de courte durée

Période	5,00		10,00		20,00		50,00		100,00		200,00		1000,00		2000,00		10000,00	
b	0,30																	
PJ max	57,50		65,30		71,80		79,10		84,00		88,40		97,60		101,00		109,00	
t(h)	pt	It	pt	It	pt	It	pt	It	pt	It	pt	It	pt	It	pt	It	pt	it
1	22,16	22,16	25,17	25,17	27,67	27,67	30,49	30,49	32,38	32,38	34,07	34,07	37,62	37,62	38,93	38,93	42,01	42,01
2	27,28	13,64	30,99	15,49	34,07	17,03	37,53	18,77	39,86	19,93	41,95	20,97	46,31	23,16	47,93	23,96	51,72	25,86
3	30,81	10,27	34,99	11,66	38,48	12,83	42,39	14,13	45,01	15,00	47,37	15,79	52,30	17,43	54,12	18,04	58,41	19,47
4	33,59	8,40	38,15	9,54	41,94	10,49	46,21	11,55	49,07	12,27	51,64	12,91	57,02	14,25	59,00	14,75	63,68	15,92
5	35,92	7,18	40,79	8,16	44,85	8,97	49,41	9,88	52,47	10,49	55,22	11,04	60,96	12,19	63,09	12,62	68,09	13,62
6	37,94	6,32	43,08	7,18	47,37	7,90	52,19	8,70	55,42	9,24	58,32	9,72	64,39	10,73	66,64	11,11	71,91	11,99
7	39,73	5,68	45,12	6,45	49,61	7,09	54,66	7,81	58,04	8,29	61,08	8,73	67,44	9,63	69,79	9,97	75,32	10,76
8	41,36	5,17	46,97	5,87	51,64	6,46	56,89	7,11	60,41	7,55	63,58	7,95	70,20	8,77	72,64	9,08	78,40	9,80
9	42,84	4,76	48,65	5,41	53,50	5,94	58,94	6,55	62,59	6,95	65,87	7,32	72,72	8,08	75,25	8,36	81,21	9,02
10	44,22	4,42	50,22	5,02	55,22	5,52	60,83	6,08	64,60	6,46	67,98	6,80	75,06	7,51	77,67	7,77	83,82	8,38
12	46,70	3,89	53,04	4,42	58,32	4,86	64,25	5,35	68,23	5,69	71,80	5,98	79,28	6,61	82,04	6,84	88,54	7,38
13	47,84	3,68	54,33	4,18	59,74	4,60	65,81	5,06	69,89	5,38	73,55	5,66	81,20	6,25	84,03	6,46	90,69	6,98
14	48,92	3,49	55,55	3,97	61,08	4,36	67,29	4,81	71,46	5,10	75,20	5,37	83,03	5,93	85,92	6,14	92,73	6,62
15	49,94	3,33	56,71	3,78	62,36	4,16	68,70	4,58	72,95	4,86	76,77	5,12	84,76	5,65	87,72	5,85	94,67	6,31

16	50,91	3,18	57,82	3,61	63,58	3,97	70,04	4,38	74,38	4,65	78,28	4,89	86,42	5,40	89,43	5,59	96,52	6,03
17	51,85	3,05	58,88	3,46	64,74	3,81	71,33	4,20	75,74	4,46	79,71	4,69	88,01	5,18	91,07	5,36	98,29	5,78
18	52,75	2,93	59,90	3,33	65,86	3,66	72,56	4,03	77,05	4,28	81,09	4,51	89,53	4,97	92,65	5,15	99,99	5,55
19	53,61	2,82	60,88	3,20	66,94	3,52	73,75	3,88	78,31	4,12	82,42	4,34	90,99	4,79	94,16	4,96	101,62	5,35
20	54,44	2,72	61,82	3,09	67,98	3,40	74,89	3,74	79,53	3,98	83,69	4,18	92,40	4,62	95,62	4,78	103,20	5,16
21	55,24	2,63	62,74	2,99	68,98	3,28	75,99	3,62	80,70	3,84	84,93	4,04	93,77	4,47	97,03	4,62	104,72	4,99
22	56,02	2,55	63,62	2,89	69,95	3,18	77,06	3,50	81,84	3,72	86,12	3,91	95,09	4,32	98,40	4,47	106,19	4,83
23	56,77	2,47	64,47	2,80	70,89	3,08	78,10	3,40	82,93	3,61	87,28	3,79	96,36	4,19	99,72	4,34	107,62	4,68
24	57,50	2,40	65,30	2,72	71,80	2,99	79,10	3,30	84,00	3,50	88,40	3,68	97,60	4,07	101,00	4,21	109,00	4,54
25	58,21	2,33	66,10	2,64	72,68	2,91	80,07	3,20	85,04	3,40	89,49	3,58	98,80	3,95	102,24	4,09	110,34	4,41
26	58,90	2,27	66,97	2,58	73,54	2,83	81,02	3,12	86,04	3,31	90,55	3,48	99,97	3,85	103,45	3,98	111,65	4,29

La pluie de plusieurs périodes de retour apparait dans la figure (III.3).

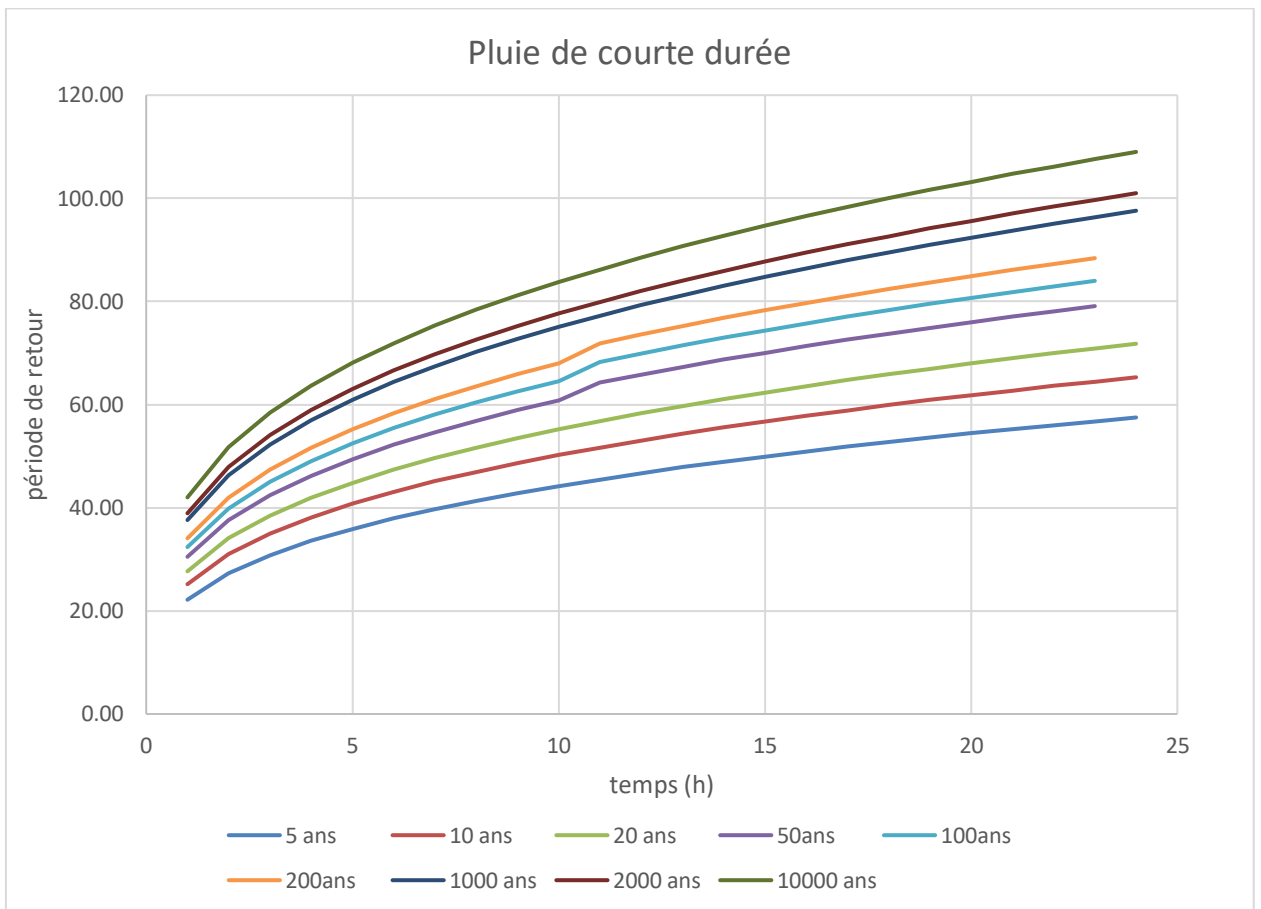


Figure III-3 : Pluie de courte durée

L'intensité de pluie de plusieurs périodes de retour apparait dans la figure (III.4)

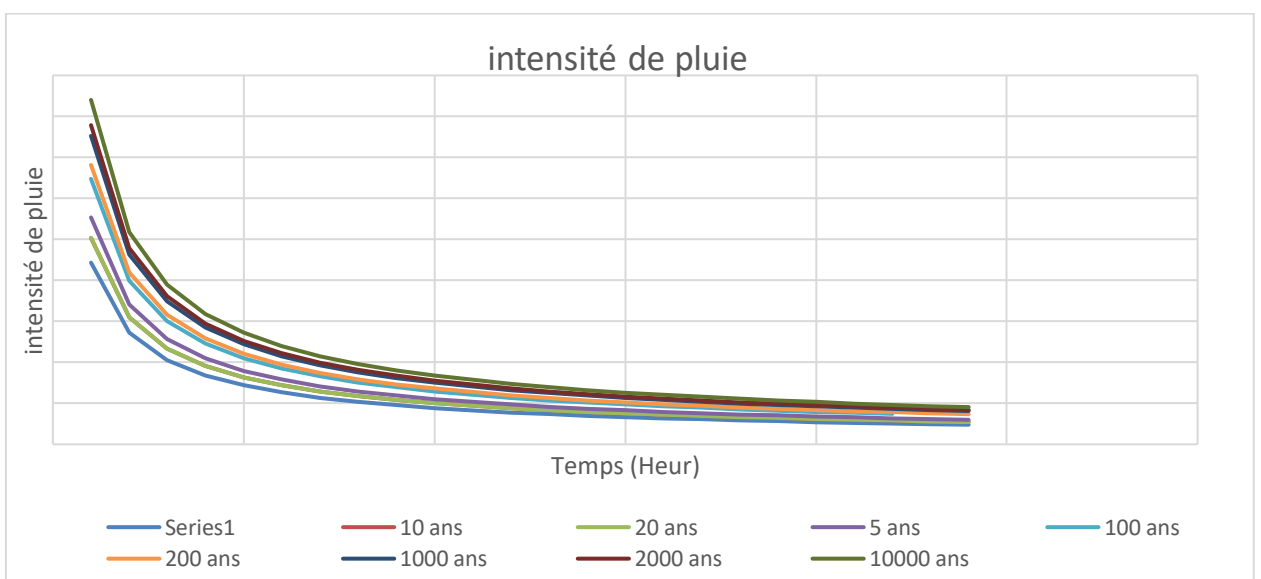


Figure III-4 : Intensité de pluie

L'intensité de pluie de plusieurs périodes de retour apparait dans la figure (III.4).

III.2. Étude des apports

L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) dispose de trois stations hydrométriques sur l'oued El Ham, situées respectivement aux coordonnées 05.05.01, 05.03.01 et 05.01.01. Ces stations sont localisées à des distances approximatives de 25, 62 et 87 kilomètres à l'ouest de M'Sila, en Algérie. Elles sont également relativement proches du site du barrage.

Ces stations hydrométriques sont utilisées pour mesurer et surveiller les paramètres hydrométriques tels que le débit de l'oued El Ham, le niveau d'eau et d'autres données liées à la gestion des ressources en eau. Les mesures collectées par ces stations aident à évaluer les conditions hydrologiques de la région et à prendre des décisions éclairées concernant la gestion des ressources hydriques, notamment en ce qui concerne le barrage situé à proximité.

Il convient de noter que les informations fournies ici sont basées sur les données disponibles jusqu'en septembre 2021, et il est toujours préférable de consulter les sources officielles ou l'ANRH pour obtenir les informations les plus récentes et précises sur les stations hydrométriques de l'oued El Ham.

Tenant compte que la station 05.05.01 possède une série d'enregistrements significativement plus longue que la série de la station 05.0101 et 05.03.01 et qu'elle domine un bassin versant avec des caractéristiques plus semblables au bassin versant du site en étude (caractéristiques morphométriques et climatologiques, au niveau des écoulements, etc.), on a décidé de poursuivre les études en ayant pour base seulement la station 05.05.01.

Les mesures de débit disponibles comprennent trente-six années qui couvrent une période totale de trente-neuf années hydrologiques, 1955/56 à 1993/94, dont trois années (1961/62, 1962/63 et 1963/64) ne disposant pas d'observations.

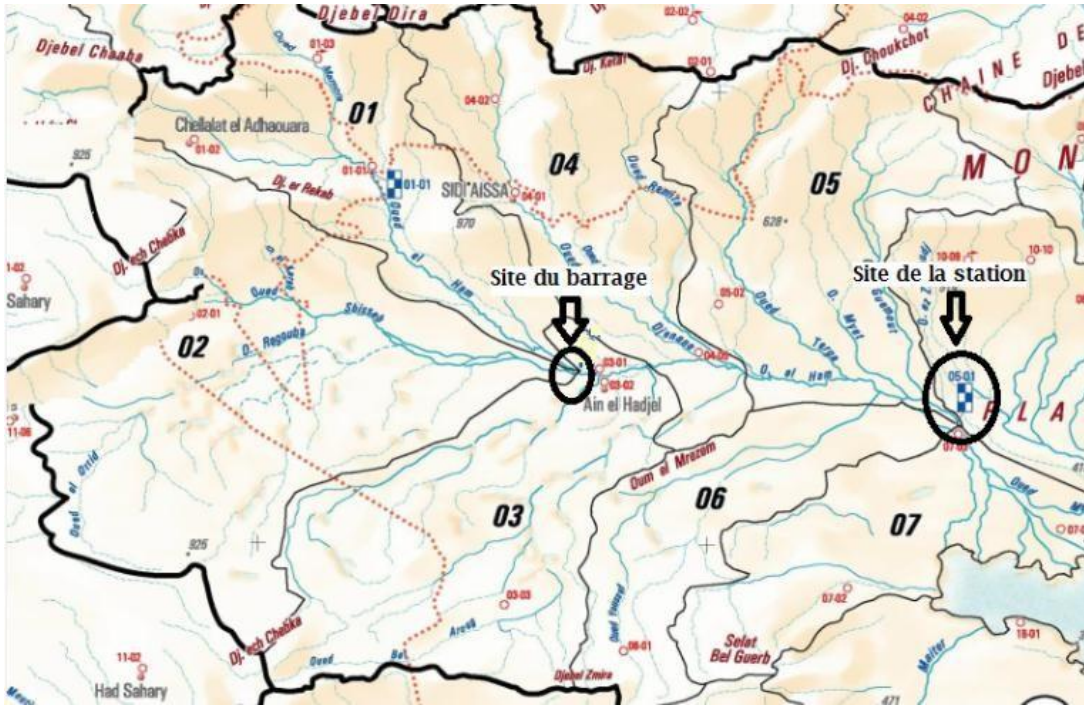


Figure III-5 : Carte de situation de la station et du site

L'apport moyenne annuelle de la station est de : **41,6 Mm3**.

Tableau III-6: Répartition mensuelle de l'apport moyen de la station

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Août	Annuel
A(Mm3)	3,3	6,08	6,5	4,04	7,29	2,27	3,62	1,47	1,86	2,32	0,44	2,4	41,6
Apport (%)	7,88	14,62	15,62	9,71	17,53	5,46	8,7	3,54	4,47	5,59	1,07	5,78	100,0

L'apport moyen annuel du site est calculé par la formule suivante :

$$A_{site} = A_{st} \left[\frac{S_{B7}^{site}}{S_{B7}} \right]$$

Avec :

A_{site} : Apport moyen annuel estimé du site.

A_{st} : Apport moyenne annuelle de la station (050501).

S_{site} : Surface du bassin versant du site est de 2675 Km².

S_{BV} : Surface du bassin versant où se trouve la station (050501) est de 5670 Km².

Tableau III-7: Répartition mensuelle de l'apport moyen du site

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Août	Annuel
A(Mm3)	1,55	2,87	3,07	1,91	3,44	1,07	1,71	0,69	0,88	1,1	0,21	1,13	20
Apport (%)	7,88	14,63	15,63	9,71	17,53	5,46	8,7	3,54	4,47	5,59	1,06	5,78	100,0

A_{site} = 20 Mm³

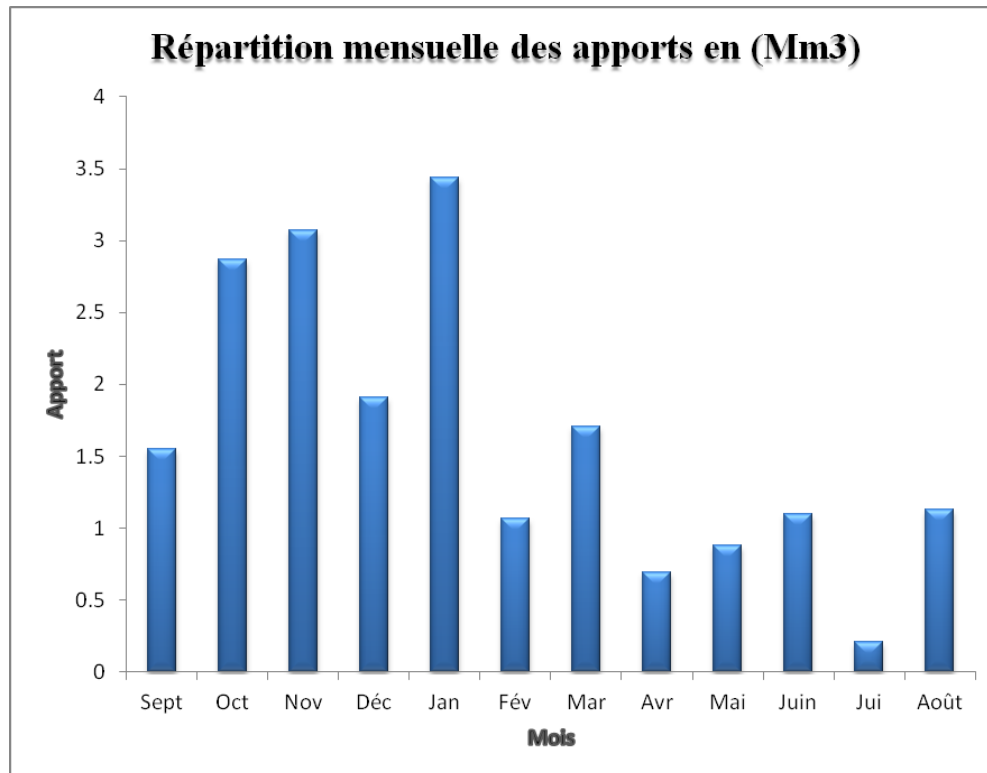


Figure III-6 : Répartition mensuelle de l'apport moyenne

➤ **Interprétation**

On prend La moyenne des apports donnés par les différentes formules est : $A_0 = 12,26(Mm^3)$

III.2.1. Caractéristiques de l'écoulement moyen

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

A. Module de l'écoulement

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

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

M_e : Module de l'écoulement (l/s) ;

A_0 : apport moyen interannuel (Mm³);

T : Le temps d'une année en seconde ; $T = 31536000$ s.

B. Module de l'écoulement relatif

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

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

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

M_e : Module de l'écoulement, (l/s)

S : Superficie du bassin versant (km²)

➤ **Lame d'eau écoulée**

$$L_e = \frac{A_0}{S}$$

➤ **Coefficient de l'écoulement**

$$C_e = \frac{L_e}{p_{moy}}$$

➤ **Coefficient de variation**

Pour le calcul du coefficient de variation Cv , en absence d'une série d'observation, on doit utiliser les formules empiriques

Formule de SOKOLOVSKY

$$C_V = \alpha - 0,063 \log_{10} (S + 1)$$

Tel que :

$$\alpha = 0,78 - 0,29 * \log_{10}(M_0)$$

Formule de KRISTLY MENKEL

$$C_V = 0,83 / (S^{0,06} \cdot M_0^{0,27})$$

Formule Algérienne de PADOUM

$$C_V = 0,93 \cdot \frac{K}{M_0^{0,23}}$$

Avec :

K : Coefficient de réduction, $k = 0,25 - 1,00$ on prend $K = 0,65$;

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

Tableau III-8: Résultats du calcul des caractéristiques d'écoulement

Caractéristique		Unité	Valeurs
Module d'écoulement Me		l/s	388,76
Module d'écoulement relatif M_0		$l/s/km^2$	1,40
Lame d'eau écoulée Le		mm	43,18
Coefficient d'écoulement Ce		-	0,12
Coefficient de variation	SOKOLOVSKY	-	0,520
	KRISTLY MENKEL	-	0,468
	PADOUM	-	0,557

Répartition de l'apport moyen annuel estimé à une probabilité de 80%

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

$$A_{P\%} = \frac{A_0}{\sqrt{C_V^2 + 1}} e^{u\sqrt{\ln(C_V+1)}}$$

Avec :

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

A_0 : Apport moyen annuel (Mm^3) ;

C_V : Coefficient de variation ;

μ : Variable réduite de Gauss. Pour notre étude nous calculons l'apport fréquentiel de 80%, avec $\mu = 0.84$;

La répartition mensuelle de l'apport moyen annuel suit la même répartition mensuelle des précipitations ; on a : $A_{80\% \text{ sit}} = 16,26 Mm^3$

Tableau III-9: Répartition mensuelle de l'apport moyen annuel de fréquence 80%

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
A80%	1,5	3,03	1,63	1,51	2,14	1,08	1,74	0,88	0,94	0,70	0,24	0,84	16,26
A80%(%)	9,17	18,65	10,04	9,32	13,17	6,67	10,73	5,45	5,80	4,32	1,51	5,15	100

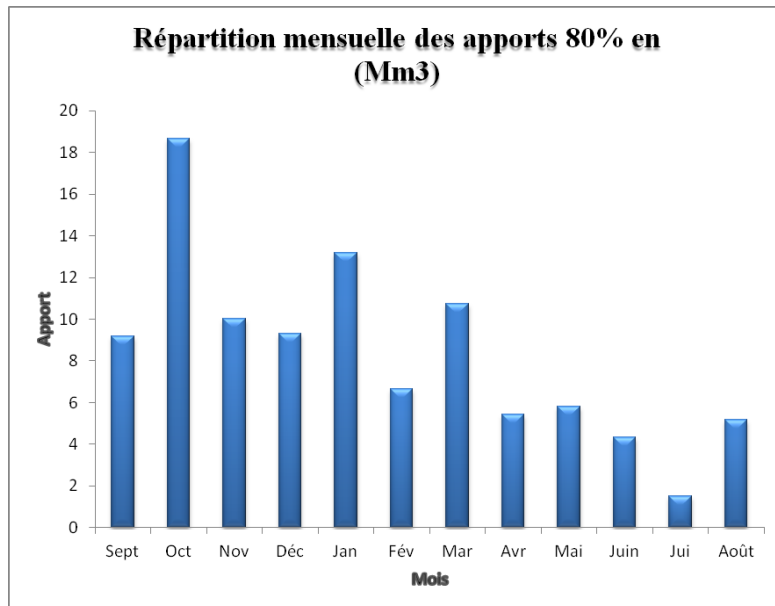


Figure III-7 : Répartition mensuelle des apports 80%

III.2.2. Apport solides et estimation du volume mort

L'estimation des apports solides revêt une importance primordiale, car elle joue un rôle crucial dans le dimensionnement des ouvrages hydrotechniques.

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

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

III.2.2.1. Formule de Tixeront

Elle est donnée par :

$$A = \alpha \cdot A_0^{0,15}$$

A : apport solide (m^3)

A_0 : L'apport moyen interannuel (Mm^3) ;

α : Paramètre caractérisant la perméabilité du bassin versant .

$$A = 16,26 (m^3)$$

III.2.2.2. Volume mort

C'est la quantité de la vase stockée dans la retenue durant les 40 ans d'exploitation.

Il est donné par la relation :

$$V_m = A_s \times N$$

V_m : volume mort en (m^3) ;

A_s : L'apport solide en (m^3) /an ;

N : nombre d'années d'exploitation.

$$V_m = 650 (m^3)$$

III.3. Débit de crue - Relations régionales

Une étude récente a analysée les débits de crue dans les régions semi arides de l’Algérie, comprenant les bassins versants des zones semi-aride et aride du Sud Est de l’Algérie

Selon les résultats de cette étude, dans la région analysée, le débit de crue spécifique peut être estimé par l’expression suivante :

$$q_{max} = 25,92/(S + 1)^{0,78}$$

Ou q_{max} est la moyenne annuelle des débits spécifiques maximaux instantanés en $m^3/s.km^2$ Et S est la surface du bassin versant en km^2 .

Le coefficient de variation du débit peut être estimé par l’expression suivante :

$$C_v = 0,0104 . q_{max} . e^{2,15Ln(s+1)}$$

Par la suite on peut obtenir le débit de pointe pour n’importe quelle période de retour (Q_T) en utilisant l’expression suivante :

$$Q_T = q_{max} . s / ((c_v)^2 + 1)^{0,5} . expo (u (ln(c_v^2 + 1)^{0,5}))$$

Ou Q_T est le débit de crue (m^3/s) pour la période de retour T (années) et u c’est la variable réduite de Gauss pour la période de retour T. En utilisant les expressions indiquées on obtient les valeurs de débit indiquées dans le tableau

Tableau III-10: Débits de pointe estimés par la méthode régionale

			T(Anne)	10	50	100	500	1000
			u Gauss (-)	1.28	2.05	2.33	2.85	3.09
S	Q	Cv	Débit de crue (m^3/s)					
km^2	$m^3/s/km^2$							
2839	0.052	0.907	294,79	392,66	535,32	665,01	1198,27	

III.3.1. Détermination de l'hydrogramme de crues probables par la méthode régionale

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

$$Q_t = Q_{max\%} \left(\frac{t}{t_m} \right)^n$$

Et l'autre pour la décrue exprimée par :

$$Q_t = Q_{max\%} \left(\frac{t_b - 1}{t_d} \right)^m$$

Avec :

$Q_{max\%}$: Débit maximum de fréquence donnée ;

Q_t : Débit instantané au moment (t) ;

t_m, t_d : temps de montée et de décrue en (h) ;

m : Exposant de la parabole, pour les crues pluviales $m = 2$;

n : Exposant de la parabole, pour les crues pluviales $n = 3$;

$t_d = \delta \cdot t_m$, avec : Coefficient dépendant des caractéristiques du bassin versant ,
[$\delta = 4$] ;

t_b : Temps de base en (h).

Pour le temps de décrue :

$$t_d = \delta \cdot t_m$$

Avec :

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

Tableau III-11: Coefficients de forme de l'hydrogramme de crue δ

Conditions	γ
Surface du bassin versant entre 1 et 50 km ²	$\gamma = 2$
Pour un bassin boisé avec un sol peu perméable	$2 < \gamma < 3$
Pour un bassin boisé	$3 < \gamma < 4$
Pour les grands bassins	$4 < \gamma < 7$

On a $t_m = t_c$; $t_d = \gamma t_m$ et $t_b = t_m + t_d$;

Les débits de crues pour les différentes périodes de retour sont donnés dans le tableau suivant :

Les résultats obtenus pour les différentes fréquences sont présentés dans les tableaux

Tableau III-12: Hydrogramme de crues (cas de la montée) et (cas de la descente)

Temps (h)	Période de retour T				
	10	20	50	100	1000
2,5	2,61	3,48	4,74	5,89	10,61
5	10,44	13,91	18,96	23,55	42,43
7,5	23,49	31,29	42,65	52,99	95,48
10	41,76	55,62	75,83	94,20	169,74
12,5	65,25	86,91	118,48	147,18	265,21
15	93,95	125,15	170,61	211,95	381,90
17,5	127,88	170,34	232,22	288,48	519,81
20	167,03	222,48	303,31	376,79	678,94
22,5	211,40	281,58	383,88	476,88	859,28
25	260,98	347,63	473,92	588,74	1060,84
26,57	294,79	392,66	535,32	665,01	1198,27
29,07	287,86	383,42	522,72	649,36	1170,08

31,57	280,92	374,19	510,13	633,72	1141,90
34,07	273,99	364,95	497,54	618,08	1113,71
36,57	267,06	355,71	484,95	602,44	1085,52
39,07	260,12	346,48	472,36	586,79	1057,34
41,57	253,19	337,24	459,76	571,15	1029,15
44,07	246,25	328,00	447,17	555,51	1000,96
46,57	239,32	318,77	434,58	539,86	972,78
49,07	232,38	309,53	421,99	524,22	944,59
51,57	225,45	300,30	409,40	508,58	916,40
54,07	218,52	291,06	396,80	492,94	888,22
56,57	211,58	281,82	384,21	477,29	860,03
59,07	204,65	272,59	371,62	461,65	831,84
61,57	197,71	263,35	359,03	446,01	803,66
64,07	190,78	254,11	346,43	430,37	775,47
66,57	183,84	244,88	333,84	414,72	747,28
69,07	176,91	235,64	321,25	399,08	719,10
71,57	169,97	226,40	308,66	383,44	690,91
74,07	163,04	217,17	296,07	367,79	662,72
76,57	156,11	207,93	283,47	352,15	634,54
79,07	149,17	198,69	270,88	336,51	606,35
81,57	142,24	189,46	258,29	320,87	578,16
84,07	135,30	180,22	245,70	305,22	549,98
86,57	128,37	170,99	233,11	289,58	521,79
89,07	121,43	161,75	220,51	273,94	493,60
91,57	114,50	152,51	207,92	258,29	465,42
94,07	107,57	143,28	195,33	242,65	437,23
96,57	100,63	134,04	182,74	227,01	409,04
99,07	93,70	124,80	170,14	211,37	380,86
101,57	86,76	115,57	157,55	195,72	352,67
104,07	79,83	106,33	144,96	180,08	324,48
106,57	72,89	97,09	132,37	164,44	296,30
109,07	65,96	87,86	119,78	148,79	268,11
111,57	59,03	78,62	107,18	133,15	239,92

114,07	52,09	69,38	94,59	117,51	211,74
116,57	45,16	60,15	82,00	101,87	183,55
119,07	38,22	50,91	69,41	86,22	155,36
121,57	31,29	41,67	56,82	70,58	127,18
124,07	24,35	32,44	44,22	54,94	98,99
126,57	17,42	23,20	31,63	39,29	70,80
129,07	10,48	13,97	19,04	23,65	42,62
131,57	3,55	4,73	6,45	8,01	14,43
132,07	2,16	2,88	3,93	4,88	8,79
132,57	0,78	1,03	1,41	1,75	3,16
132,67	0,50	0,67	0,91	1,13	2,03
132,77	0,22	0,30	0,40	0,50	0,90
132,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

L'hydrogramme de crue obtenue pour différentes périodes de retour est donné par la figure

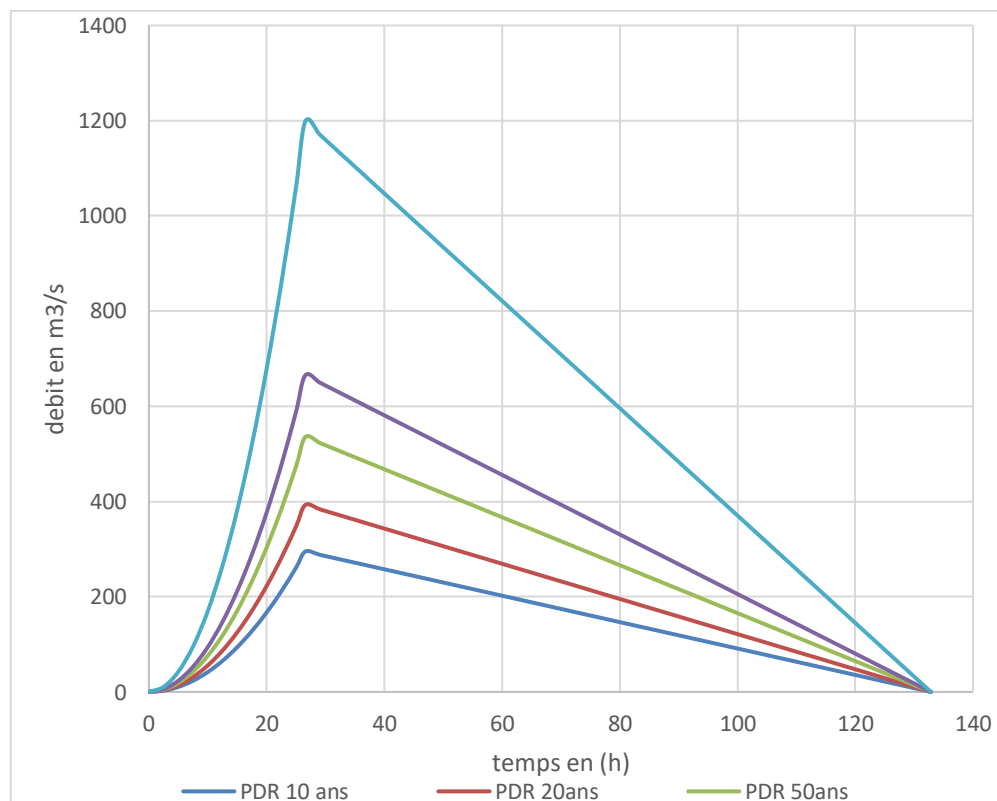


Figure III-8 : Hydrogramme des crues pour différentes périodes de retour

III.3.2. Choix de la crue de projet

Dans le choix de la crue de projet, la fiabilité des données et la durée de la série jouent un rôle crucial. Voici comment ces paramètres peuvent influencer le choix :

Fiabilité des données : Pour déterminer la crue de projet, il est essentiel de disposer de données fiables sur les crues passées. Cela peut inclure des mesures de débits, des enregistrements de crues antérieures, des données pluviométriques, etc. Plus les données ne sont fiables et représentatives de la région où du bassin versant concerner, plus le choix de la crue de projet sera précis et réaliste.

Durée de la série : La durée de la série de données disponibles peut influencer le choix de la crue de projet. Une série de données plus longue permet une meilleure analyse statistique et une estimation plus précise des débits de pointe. Si la série de données est courte, cela peut introduire davantage d'incertitude et de risques dans le choix de la crue de projet.

Il est important de noter que le choix de la crue de projet ne peut pas être effectué de manière isolée. Il doit être fait en tenant compte d'autres facteurs, tels que les impératifs de sécurité, les ressources disponibles, les coûts associés à la protection contre les crues, l'importance de l'ouvrage, etc. Une analyse approfondie de tous ces éléments est nécessaire pour prendre une décision équilibrée et appropriée en matière de choix de la crue de projet.

Donc, en prenant en compte toutes ces exigences, le choix de la crue (1000ANS) serait le plus adapté est : 1198,27 m³/s

Conclusion

D'après les résultats de l'étude des caractéristiques morphologiques (forme, relief), réseaudydrographique et conditions climatiques du bassin versant de koudiat ben aida (w. m'sila) on trouve que :

Les apports mensuels reflètent les particularités du régime des apports et son irrégularité, ce qui est confirmé par le coefficient de variation $C_v = 0.907$;

L'apport moyen fréquentiel est de 18,73Mm³

La moyenne des apports est de 12,26(Mm³)

Le volume mort est de 650 (m^3)

Le débit de la crue maximal qui sera pris en compte pour l'étude de laminage est la crue de 1000 ans ; $Q_{0.01\%}=1198,27$ m^3/s déterminée à partir de l'hydrogramme des crues.

Chapitre IV
Régularisation et laminage
des crues

IV.1. Régularisation de l'écoulement

La régularisation de l'écoulement fluvial vise à répartir de manière régulière l'écoulement dans le temps afin de compenser les déficits de la demande en eau. On distingue la régularisation annuelle, qui permet de couvrir la demande en eau sur une année donnée, et la régularisation interannuelle, qui nécessite l'utilisation des volumes d'écoulement des années précédentes déjà stockés.

Les calculs de la régularisation annuelle sont basés sur le bilan hydrique du barrage, en prenant en compte des intervalles de temps mensuels et en évaluant différents scénarios pour déterminer la capacité optimale du barrage. Les données topographiques, géologiques, climatiques, hydrologiques ainsi que les restitutions garanties sont des éléments essentiels pour ces calculs. Le choix de la garantie de calcul dépend des écarts relatifs résultant des différents facteurs impactant le produit final en eau fourni par le barrage. Des valeurs probables de cette garantie sont recommandées pour chaque domaine d'activité.

La méthode du bilan d'eau est utilisée pour ce type de régularisation. Elle requiert la connaissance des données de base suivantes : les répartitions mensuelles des apports en eau, de l'évaporation sur la retenue et des pertes par infiltration ; la courbe de variation du plan d'eau en fonction de la capacité et de la surface, obtenue à partir de la carte topographique de la cuvette ; les besoins en eau des utilisateurs.

IV.2. Courbe caractéristique de la retenue

L'approximation des volumes a été réalisée en utilisant une expression qui permet de déterminer la valeur du volume d'eau en fonction de l'altitude et de la surface inondée. Cette approximation est un paramètre essentiel dans l'étude du barrage car elle permet une évaluation rapide et précise des volumes d'eau stockés à différentes altitudes et des surfaces couvertes par la retenue.

$$\Delta V_i = \frac{S_i + S_{i+1}}{2} \cdot \Delta H$$

Avec :

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 m^2 ΔH : Différence d'altitude entre les deux courbes de niveau successives

ΔV_i : Volume élémentaire compris entre deux courbes de niveau successives (m^3)

Tableau IV-1: Courbes topographiques et volumétrique

Cote (m)	Superficie (km^2)	$\Delta H(m)$	$s_i+s_{i+1}/2$	Volume (Mm^3)	Volume cumulé (Mm^3)
542	0	1	0	0	0
543	0,004	1	0,002	0,002	0,002
544	0,012	1	0,008	0,008	0,01
545	0,031	1	0,0215	0,0215	0,0315
546	0,1	1	0,0655	0,0655	0,097
547	0,214	1	0,157	0,157	0,254
548	0,399	1	0,3065	0,3065	0,5605
549	0,74	1	0,5695	0,5695	1,13
550	1,2	1	0,97	0,97	2,1
551	1,8	1	1,5	1,5	3,6
552	2,47	1	2,135	2,135	5,735
553	3,22	1	2,845	2,845	8,58
554	4,02	1	3,62	3,62	12,2
555	4,82	1	4,42	4,42	16,62
556	5,77	1	5,295	5,295	21,915
557	6,8	1	6,285	6,285	28,2
558	7,83	1	7,315	7,315	35,515
559	8,74	1	8,285	8,285	43,8
560	9,91	1	9,325	9,325	53,125
561	11,19	1	10,55	10,55	63,675
562	12,59	1	11,89	11,89	75,565
563	14,1	1	13,345	13,345	88,91
565	17,16	1	15,63	15,63	104,54

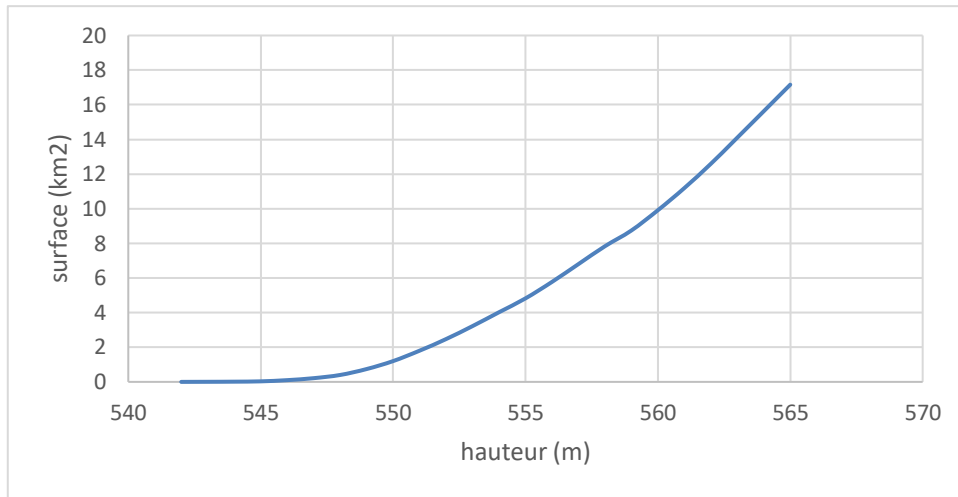


Figure IV-1 : Capacité surface-Hauteur

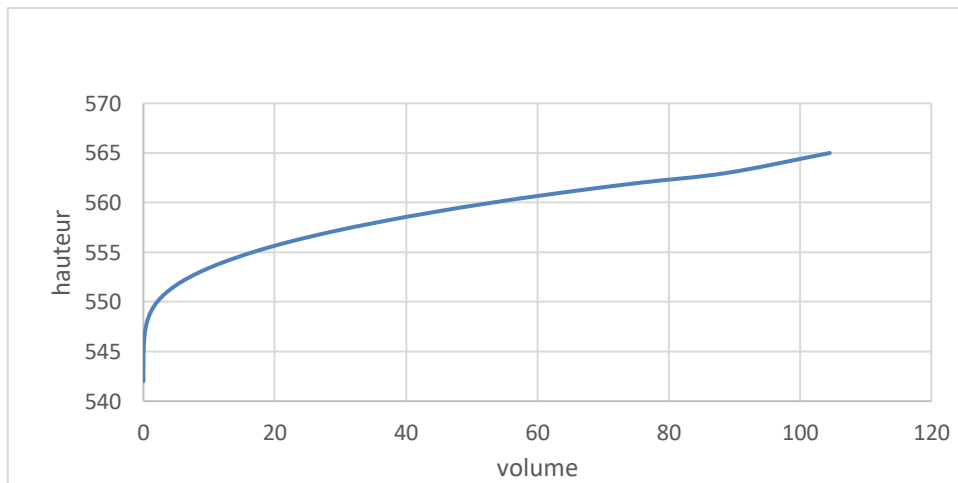


Figure IV-2 : Courbe capacité-Hauteur

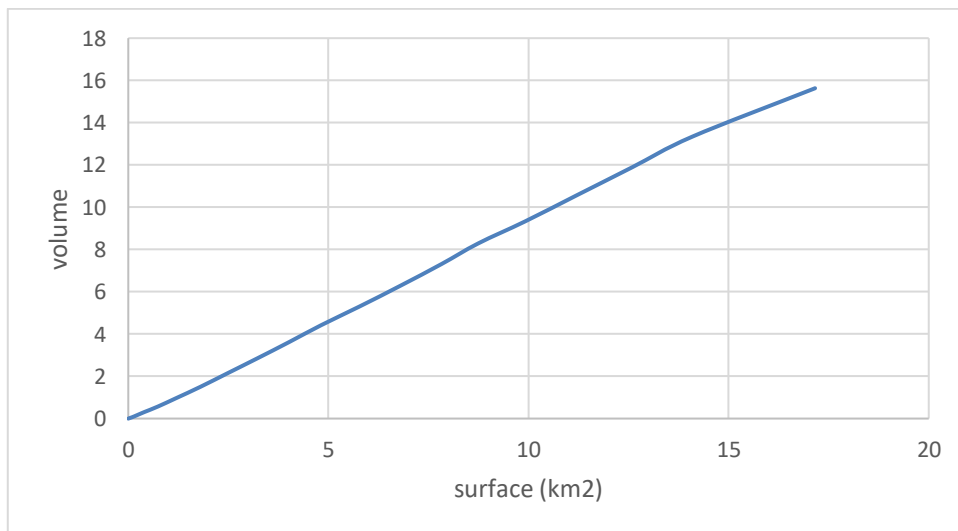


Figure IV-3 : Courbe capacité-Volume surface

IV.3. Détermination de la garantie de restitution

Dans le contexte des barrages destinés à l'irrigation, la garantie de restitution, généralement fixée à 80%, correspond à une marge de risques pondérés liés à plusieurs facteurs qui influent directement ou indirectement sur le développement optimal des cultures.

La restitution fait référence à la quantité d'eau qui doit être garantie pour répondre aux besoins en eau d'un secteur d'utilisation spécifique, en l'occurrence l'irrigation. L'objectif est de déterminer la quantité d'eau mise à disposition des utilisateurs pour satisfaire à la fois les besoins des plantes et les pertes d'eau qui se produisent dans la retenue.

La répartition de cette quantité d'eau se fait en fonction de la durée de la saison végétative. Elle peut être proportionnelle à l'évapotranspiration ou aux déficits d'écoulement mensuels des mois d'avril, mai, juin, juillet, août et septembre. Pendant ces mois, des quantités d'eau nécessaires sont prélevées dans la retenue collinaire pour l'irrigation. Le tableau II.1 présente les besoins mensuels en eau, exprimés en mètres cubes (m³), pour les surfaces irriguées.

Tableau IV-2: Répartition mensuelle de la demande en eau

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
U80 Hm3	0.269	0	0	0	0	0	0	0.573	0.747	1.548	1.637	1.667	6.441

➤ Calcul de volume utile

Pour calculer le volume utile de la retenue, nous avons besoin des éléments suivants :

- L'apport annuel A80% : il s'agit du débit d'eau entrant dans la retenue au cours de l'année, correspondant à un niveau de disponibilité de 80%.
- La consommation U80% : il s'agit de la quantité d'eau prévue à être utilisée à partir de la retenue, également à un niveau de disponibilité de 80%.
- Le volume mort de la retenue : cela fait référence au volume d'eau qui reste dans la retenue même lorsque celle-ci est presque vide.

Le calcul de la régularisation est réalisé en utilisant la méthode analytique du "bilan d'eau". Voici le processus de calcul :

- Détermination de la période présentant une bonne hydraulicité : cela implique d'identifier la période au cours de laquelle les conditions hydrauliques sont optimales, permettant une évaluation précise des apports et des besoins en eau.
- Identification des périodes excédentaires et déficitaires sur un cycle hydrologique : il s'agit de déterminer les périodes où les apports d'eau excèdent la demande (périodes excédentaires) et les périodes où la demande en eau dépasse les apports (périodes déficitaires).
- Calcul des volumes excédentaires (Vs) et déficitaires (Vd) : cela implique de quantifier les volumes d'eau excédentaires et déficitaires correspondants aux périodes identifiées.
- Détermination du type de fonctionnement de la retenue et calcul du volume utile : en fonction des caractéristiques du bassin versant et des besoins en eau, on détermine le mode de fonctionnement optimal de la retenue et on calcule le volume utile nécessaire pour assurer la régularisation.
- Détermination du volume à évacuer : enfin, on évalue le volume d'eau à évacuer de la retenue afin de maintenir un équilibre entre les apports et la demande en eau tout au long du cycle hydrologique.

Tableau IV-3: La répartition mensuelle de W80%

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
U80^u Hm3	0.269	0	0	0	0	0	0	0.573	0.747	1.548	1.637	1.667	6.441

➤ **Volume utile**

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

- L'apport annuel A80%.

- La consommation U80%.
- Le volume mort de la retenue.

➤ **Procédé de calcul**

Détermination de la période à bonne hydraulicité.

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

Tableau IV-4: La répartition mensuelle de W80%

Mois	W80% [Mm3]	U80% [Mm3]	W-U [m3]	V [Mm3]
Sep	2,2	0,269	1,931	17,0267
Oct	2	0	2	
Nov	1,9	0	1,9	
Dec	1,9	0	1,9	
Jan	2,2	0	2,2	
Fev	1,6	0	1,6	
Mar	2,1	0	2,1	
Avr	2,1	0,0573	2,0427	
Mai	2,1	0,747	1,353	
Jui	1,2	1,548	-0,348	
Juil	0,3	1,837	-1,537	
Auo	0,7	2,667	-1,967	

D'après les valeurs du tableau fournies, nous avons V_s (volume excédentaire) égal à 17,0267 Mm³ et V_d (volume déficitaire) égal à 4.272 Mm³. Comme V_s est supérieur à V_d ($V_s > V_d$), cela signifie que la retenue fonctionne à un seul temps, ce qui implique que le volume utile (V_u) est égal au volume déficitaire ($V_u = V_d$). Par conséquent, V_u est égal à 3,852Mm³.

Le volume normal de la retenue (VNNR) sera alors calculé en ajoutant le volume mort (V_m) à V_u . À partir des informations fournies, V_m est égal à 2,9 Mm³. Donc, VNNR est égal à $V_u + V_m$, ce qui donne $VNNR = 3,852 + 2,9 = 6,752$ Mm³.

Ainsi, le volume normal de la retenue est de 6,752 Mm³.

Dans ce chapitre, nous avons déterminé plusieurs paramètres hydrologiques importants liés à la retenue. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous :

NVM (m)	550,5 m
NNR (m)	552,5 m
Volume mort	2,9 Mm ³
Volume utile	3,852 Mm ³
Volume normal de la retenue	6,752 Mm ³

Les résultats obtenus sont d'une grande utilité pour déterminer la hauteur du barrage en prenant en compte la hauteur réservée pour le volume forcé et une marge de sécurité. De plus, ils permettent de calculer la ligne d'eau dans l'évacuateur de crues en utilisant la cote normale de la retenue, la largeur du seuil et la charge déversée, qui est déterminée par le calcul du laminage des crues. Le calcul du laminage des crues est réalisé après avoir choisi la crue de projet, c'est-à-dire la crue de référence utilisée pour évaluer les dimensions et les capacités du système hydraulique. Ces calculs sont essentiels pour assurer la sécurité et la performance du barrage, ainsi que pour optimiser son fonctionnement lors de la gestion des crues et du déversement de l'eau excédentaire

IV.4. Laminage des crues

L'étude de laminage est une étape essentielle pour déterminer la hauteur maximale du plan d'eau et dimensionner de manière optimale l'évacuateur de crue. Cependant, il est

important de noter que cette étude se concentre principalement sur les aspects hydrauliques et ne prend pas en compte la sécurité globale de l'aménagement dans son ensemble.

L'objectif de l'étude de laminage est de prévenir les inondations en contrôlant les niveaux d'eau pendant les périodes de crue. Elle implique l'analyse de données hydrologiques, des caractéristiques du bassin versant et des cours d'eau, ainsi que l'utilisation de modèles hydrauliques pour estimer les hauteurs maximales du plan d'eau en cas de crue.

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

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 (m^3/s) ;

$q(t)$: débit déversé par l'évacuateur de crue (laminé) en (m^3/s) ;

S : surface du plan d'eau à l'instant (t) en m^2 ;

IV.4.1. 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.4.2. Estimation du débit de crue laminée

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

$$q = Q \left(1 - \frac{V_f}{V_c} \right)$$

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 :

$$V_c = \frac{1}{2} Q \cdot T_b$$

Avec :

T_b : Temps globale de la crue en seconde (s) ;

IV.4.3. Estimation de la charge sur le déversoir

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

$$q = mb\sqrt{2g} H^{\frac{2}{3}}$$

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 KOTCERINE sont données au tableau suivant :

Tableau IV-5: Les données initiales

L'accélération de la gravité g (m/s)	9.81
Crue de projet (m ³ /s)	1198
Coefficient de débit m	0.51

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

Tableau IV-6: Les données de départ pour la méthode de KOTCHERINE

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

Tableau IV-7: Débits déversés pour différentes largeurs du déversoir

	q évacué (m ³ /s)				
Hd (m)	90	105	110	115	120
0,74	147	171	179	187	195
1,44	311	362	380	397	414
2,14	472	550	577	603	629
2,84	636	742	777	812	848
3,54	800	933	978	1022	1067
4,24	964	1125	1178	1232	1285
4,94	1125	1313	1375	1438	1500

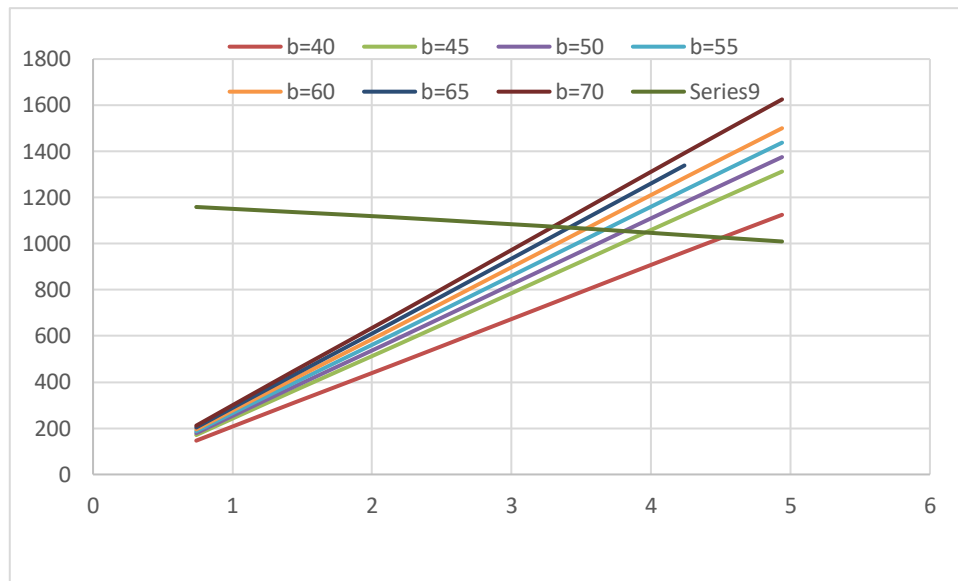


Figure IV-4 : Débits déversés pour différentes charges et largeurs du déversoi

Conclusion

Après avoir le volume mort au chapitre précédent qui égale V_m , le tracé de courbe « Hauteur – Capacité » ainsi que la courbe « Hauteur – Surface », nous a permet de déterminer leniveau de volume mort (NVM) est approximativement à 77.8 m.NGA.

L'étude de laminage nous a permet d'obtenir les dimensions du déversoir, qui a une largeur (b) de 126 m et une hauteur de 2,3 m. Cette hauteur correspond au niveau plus haut des eaux (NPHE) qui égale à 124.5 m.NGA

Chapitre V
Dimensionnement d'un
barrage

Introduction

Les barrages sont par définition des ouvrages hydrauliques construits en travers d'un cours d'eau et destinés à réguler le débit du cours d'eau et à en stocker pour différents usages. La plupart des références historiques cite le barrage de Saad El Kafara (Figure 1) construit en Egypte en 2600 av. JC, comme étant le premier "vrai barrage" de 14m de hauteur, 113m de longueur et créant une retenue d'environ 500000m³ (Le Delliou 2003). Sa structure était constituée d'une partie centrale en tout venant imperméable avec deux épaulements en enrochement. Il fût détruit au cours de sa construction par submersion à cause de l'absence d'un évacuateur de crue.

V.1. Terminologie

La figure suivante donne la coupe schématique d'un barrage en remblai (Figure 3). Sont aussi mentionnés les principaux termes utilisés pour caractériser les composantes de ce type de barrage. On notera surtout :

V.1.1. Crête

Elle facilite la circulation sur le barrage une fois terminée. Le niveau de la crête

V.1.2. Écran d'injection

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

V.1.3. Drains

Ce sont des organes de barrage réalisés en matériaux pulvérulent et drainants. Ils drainent et permettent d'éviter le colmatage des drains et l'érosion interne du massif.

V.1.4. Noyau

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

V.1.5. Recharge

Elle est réalisée en matériau grossier et placée de part et d'autre du noyau.

V.1.6. Revanche

La revanche R est la différence de côte entre les Plus Hautes Eaux (PHE) correspondant à la crue de projet et la crête pour éviter la submersion du remblai par les vagues.

V.1.7. Tapis étanche

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

Le profil général du barrage peut être représenté par la coupe type schématisée cidessous :

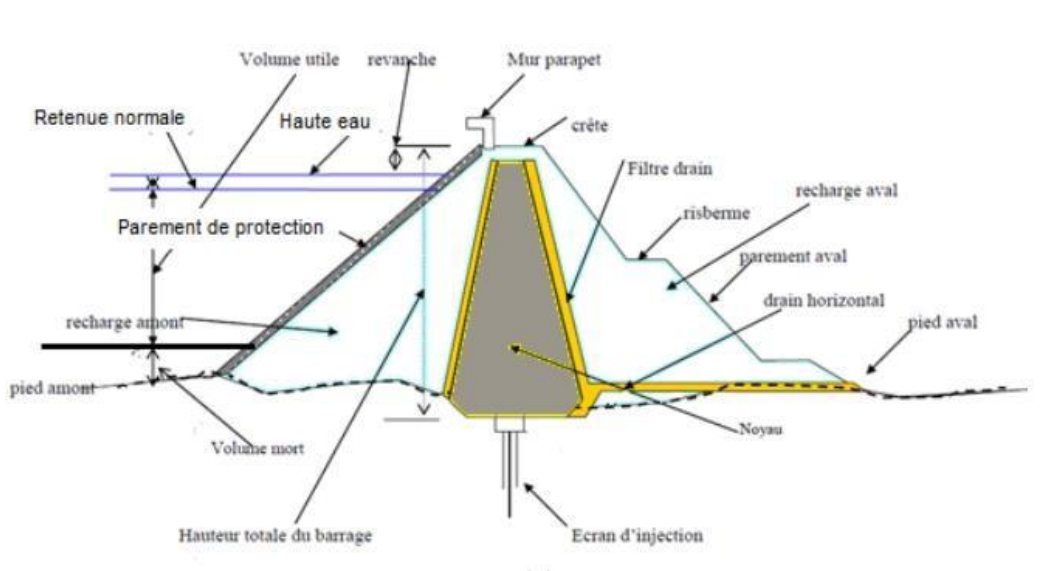


Figure V-1 : Coupe schématique d'un barrage en remblai (Millogo Founémé A. ,2009).

V.2. Dimensionnement de la digue

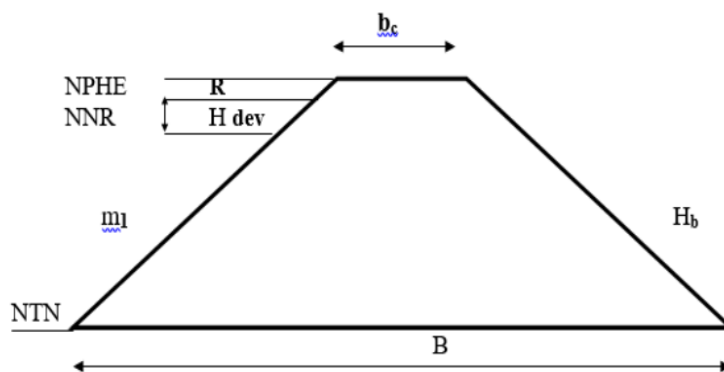


Figure V-2 : Profil d'une digue.

NPHE : niveau des plus hautes eaux.

Hb : hauteur du barrage.

R : la revanche ou la hauteur de sécurité.

Bcr : la largeur en crête.

B : la largeur a la base

m1, m2 : pente des talus a l'amont et a l'aval respectivement.

V.2.1. Hauteur du barrage

La hauteur totale du barrage est égale à la hauteur normale de retenue majorée par la charge maximale au-dessus du seuil déversoir et la revanche. Pour calculer cette hauteur il est donc nécessaire de connaître (figure 5.2)

V.2.1.1. Niveau normale de la retenue (NNR)

L'altitude de la ligne d'eau, également appelée niveau d'eau normal (NEN), est l'altitude à laquelle se situe la surface de l'eau dans un plan d'eau artificiel, tel qu'un barrage, dans des conditions d'utilisation normales de l'ouvrage. Cette altitude est déterminée en projetant la courbe hauteur-volume du plan d'eau.

V.2.1.2. Niveau des plus hautes eaux (N.P.H.E)

Le niveau maximum prévisible, également appelé niveau d'inondation ou niveau de crue, correspond au niveau le plus élevé que les eaux peuvent atteindre dans un cours d'eau ou dans une retenue lors d'un événement de crue important. C'est le niveau auquel les eaux peuvent déborder des rives normales du cours d'eau ou dépasser la capacité de stockage de la retenue.

$$NPHE = NNR + H_0$$

H0 : la charge au-dessus du déversoir, définie en fonction de laminage des crues.

$$NPHE = 163,5 \text{ m}$$

V.2.1.3. La revanche

La distance entre le niveau des plus hautes eaux et la partie supérieure d'un batardeau, d'une digue, d'un barrage ou l'intrados d'un tablier de pont dépend de plusieurs facteurs,

notamment la hauteur des vagues (H_v) et la vitesse des vagues (V) qui peuvent se former dans la retenue en raison du vent .la revanche R est donnee par la relation suivante :

➤ **Formule de STEVENSON**

Pour (fetch) < 18km on a :

$$R_v = 0.75H_v \frac{V_v^2}{2g}$$

$$V_v = 1.5 + 0.66H_v^{1/2}$$

$$H_v = 0.75 + 0.34\sqrt{F} - 0.26\sqrt[4]{F}$$

Avec

H_v : la hauteur des vagues

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

G : accélération de la gravite

F : longueur de la surface d'eau du lac en suivant le vent en km($f=$ km)

R_v : hauteur de monte de la vague(m)

➤ **Formule de Mallet-paquant**

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

La vitesse des vagues est donnée par la formule suivante :

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

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

$$H_v = 0.75 + 0.34\sqrt{F} - 0.26\sqrt[4]{F}$$

Tableau V-1: Récapitulatif des résultats de calcul de la revanche

Formule	H(m)	V (m/s)	R(m)
Stevenson	1.08	3.65	1.76
Mallet-paquant	1.18	3.86	1.94

Pour notre cas, on prend la valeur la plus proche de la moyenne, donc : $R=1.9\text{m}$.

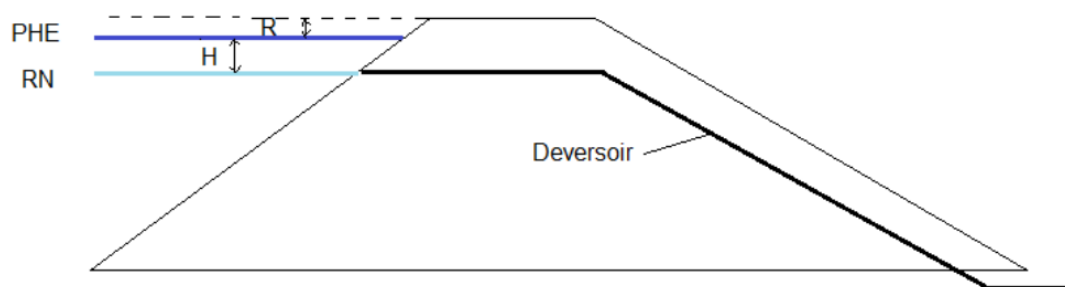


Figure V-3 : Définition des côtes RN et PHE

V.2.2. Le tassement

La valeur du tassement est calculée par la formule suivante :

$$T = 0.015 \cdot H_b$$

$$H_b = \text{NNR} - C_f + H_d + R$$

Avec :

H_b : hauteur du barrage (m)

H_d : hauteur de la lame déversant (m)

NNR : niveau normal de la retenue (m)

C_f : cote de fond du barrage ($C_f=542\text{m}$)

R : la revanche ($R= m$)

Donc le tassement est de l'ordre

$$T = 0,29 \text{ m}$$

V.2.3. 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)**

$$b_{cr} = 1.65\sqrt{H_b}$$

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

$$b_{cr} = 1,1\sqrt{H_b} + 1$$

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

$$b_{cr} = 3,6 * H_b^{1/3} - 3$$

- **Formule pratique**

$$b_{cr} = \frac{5}{3}\sqrt{H_b}$$

Tableau V-2: Récapitulatif des valeurs de largeur en crête

Largeur en crête du barrage bcr (m)				
F. KNAPEN	F. PREECE	F. simplifiée	F. pratique	La moyenne
7.43	5.95	6.81	7.51	6.92

Nous avons choisi de sélectionner la valeur la plus proche de la moyenne, ce qui correspond à une hauteur de 7m.

V.2.4. Pente des talus

L'inclinaison des talus d'un barrage en remblai est généralement exprimée en termes de pente ou de fruit. Dans ce contexte, la pente du talus est couramment utilisée, représentant le rapport entre la hauteur du talus et sa projection horizontale. La détermination de la pente du talus est basée sur le calcul de sa stabilité, afin de garantir sa résistance structurelle.

Tableau V-3: Les pentes des talus selon les hauteurs des barrages

Hauteur du barrage (m)	Type du barrage	Fruit des talus	
		Amont	Aval
H < 5	- Homogène	2,5	2
	- A zones	2	2
5 < H < 10	- Homogène granulométrie étendue	2	2
	- Homogène à fort % d'argile	2,5	2,5
	- A zones	2	2,5
10 < H < 20	- Homogène granulométrie étendue	2,5	2,5
	- Homogène à fort % d'argile	3	2,5
	- A zones	3	3
H ≥ 20	- Homogène granulométrie étendue	3	2,5
	- A zones	3	3

En se référant au tableau des fruits des talus, en prenant en considération la hauteur du barrage et son type, nous avons sélectionné les pentes suivantes :

- Pour un barrage homogène, la pente du parement amont (m1) est fixée à 3, tandis que la pente du parement aval (m2) est fixée à 2,5.
- Pour un barrage zoné, la pente du parement amont (m1) est également de 3, tandis que la pente du parement aval (m2) est de 3.

V.2.5. La base de la digue

Elle est donnée par la formule suivante :

$$B = b_{cr} + (m1 + m2)H_b$$

V.2.6. Bermes

Une berme peut être prévue sur le talus amont d'un barrage dans le but de faciliter les contrôles de la digue, d'effectuer d'éventuelles réparations sur le talus et d'améliorer la stabilité du parement. Elle joue également un rôle dans la protection du talus aval contre l'érosion causée par le ruissèlement des eaux pluviales.

Les bermes sont généralement construites pour des barrages d'une hauteur comprise entre 10 et 15 mètres. Leur largeur peut varier de 2 à 9 mètres, avec une pente d'environ 3%. Ces dimensions sont choisies en fonction des exigences spécifiques du barrage et de la sécurité de la structure.

V.3. Dimensionnement du noyau

Pour dimensionner le noyau on doit suivre les étapes suivantes :

V.3.1. La hauteur a la crête

$$H = H_b = 24,5 \text{ m}$$

V.3.2. Largeur en crête du noyau

La largeur de la berme est déterminée en fonction de la hauteur de la retenue et doit être d'au moins 2 mètres. Pour calculer la largeur du noyau, on utilise la formule suivante :

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

Avec

l_n : Largeur du noyau en crête

D'où :

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

V.3.3. La base du noyau

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

$$L_N = 6. c. H_b$$

Avec

L_N : la base du noyau

C : coefficient $0,3 \leq c \leq 0,75$ on prend $c=0,3$

Donc :

$$LN = 16,2 \text{ m}$$

Conclusion

Dans l'étude effectuée on est arrivé à trouver les dimensions suivantes qui définissent le profil général du barrage koudiat ben aida

- La hauteur totale du barrage $H_b = 24,5 \text{ m}$
- La revanche est de l'ordre $R = 1,9 \text{ M}$
- Le tassement : $t = 0,29 \text{ m}$
- La largeur en crête $b = \text{m}$
- La largeur en crête du noyau $l_n = 9 \text{ m}$
- La base du noyau $LN = 16,2 \text{ m}$

Conclusion Générale

Les résultats de l'analyse et des calculs réalisés dans le cadre de l'étude de faisabilité du Barrage de Koudiat Ben Aida ont conduit aux conclusions suivantes :

Le profil géologique du site présente des caractéristiques favorables à la construction du barrage, avec des matériaux disponibles à proximité.

Les données pluviométriques des différentes stations sur le bassin versant ont été analysées, permettant de déterminer les pluies moyennes annuelles et les pluies fréquentielles. La station pluviométrique de a été choisie comme la plus représentative pour calculer les pluies journalières maximales et les pluies de courtes durées pour différentes périodes de retour.

En utilisant des formules empiriques et les données de la station hydrométrique de l'Oued l'Hem , plusieurs paramètres ont été déterminés, tels que l'apport moyen annuel (13,7 Hm³), l'hydrogramme de crue avec une crue de projet millénaire ($Q=1198 \text{ m}^3/\text{s}$) et le volume mort de la retenue pour une durée de vie de 50 ans ($V_m=26,1 \text{ hm}^3$).

Au cours de ce travail, nous avons réalisé une étude d'exécution du barrage Koudiat Ben Aida, qui sera construit sur l'oued El Ham dans la Wilaya de M'sila. Ce barrage créera une retenue d'eau d'une capacité de stockage significative, ce qui permettra de régulariser les apports des oueds El Ham et Sbisseb d'une année à l'autre. Le débit régularisé ainsi obtenu sera utilisé pour l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation de la vallée en aval.

Après avoir effectué des études géologiques, géotechniques et recueilli des données hydrologiques à l'échelle du bassin versant, nous avons opté pour la construction d'une digue zonée en matériaux locaux d'une hauteur de 24,5 m, ce qui correspond à un volume de réservoir d'environ 40hm³.

Liste bibliographie

Liste bibliographie

- ANBT**, étude faisabilité du barrage koudiat ben aida, définition des variantes et programme de reconnaissances MISSION N°01, Coba, octobre 2013, 76 pages.
- ANBT**, étude faisabilité du barrage koudiat ben aida, étude hydrologique et de régularisation MISSION N°02, Coba, octobre 2013, 76 pages.
- TOUABIA.B. 2001.**Régularisation des débits.Blida.
- TOUAIBIA. B (2004)** manuel pratique d'hydrologie. Blida.
- Maalel, K. & Hafsia, Z. (2012)** Ouvrages hydrauliques. Département de Génie Civil de l'ENIT. Tunisie.
- MIHOUBI, M.K. (2013)** Ouvrages Hydrotechniques. ENSH. Blida.
- L.Nasreddine, L.Rachid**, étude de faisabilité du barrage Chartioua
(W. BOURDJ BOU-ARRIRIGE), Master en Hydraulique, université de Bejaïa Algérie, 56 pages,2016.
- M.Ounissa. S.Milila**, étude de faisabilité du barrage Rekhoucha
(W. kenchela), Master en Hydraulique, université de Bejaïa Algérie, 119 pages,2021.
- M.Rahim. A.Tinhinane**, contribution a l'étude d'aménagement d'oued tifrit, commune d'akbou (W. Bejaia), Master en Hydraulique, université de Bejaïa Algérie, 105 pages,2022.
- H.Ouamar. G Amar**, contribution a l'étude de dimensionnement hydrologique du barrage bounachi (W. tizi -ouzo), Master en Hydraulique, université de tizi ouzo Algérie, 134 pages,2021.
- B.Salma. A.Rima**, étude de faisabilité du barrage sur l'oued mestaoua
(W. Biskra), Master en Hydraulique, université de Bejaïa Algérie, 70 pages,2015.

Liste bibliographie

Annexes

Annexes

Annexe 01

Annexe 02

Annexe 03

Annexe 04

Résumé

En raison de l'évolution démographique en Algérie, la demande en eau, notamment pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation, ne cesse d'augmenter. La construction de barrages hydrauliques est considérée comme la solution principale pour une gestion efficace de cette ressource, en régulant le débit tout au long de l'année afin de pallier les déficits lors des périodes de faible débit. Dans le cadre de cette étude, nous nous concentrons sur le dimensionnement hydrologique du barrage de koudiat ben aida, situé sur l'oued l'Hem, dans la Wilaya de M'SILA. Cette étude implique la détermination des caractéristiques morphologiques et physiques du bassin versant, ainsi qu'une étude hydrologique visant à déterminer le débit de crue. Ensuite, une étude de régularisation et de laminage des crues est réalisée afin de déterminer les différents volumes et niveaux du barrage, et ainsi déduire sa hauteur totale.

Abstract

En raison de l'évolution démographique en Algérie, la demande en eau, notamment pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation, ne cesse d'augmenter. La construction de barrages hydrauliques est considérée comme la solution principale pour une gestion efficace de cette ressource, en régulant le débit tout au long de l'année afin de pallier les déficits lors des périodes de faible débit. Dans le cadre de cette étude, nous nous concentrons sur le dimensionnement hydrologique du barrage de koudiat ben aida, situé sur l'oued l'Hem, dans la Wilaya de M'SILA. Cette étude implique la détermination des caractéristiques morphologiques et physiques du bassin versant, ainsi qu'une étude hydrologique visant à déterminer le débit de crue. Ensuite, une étude de régularisation et de laminage des crues est réalisée afin de déterminer les différents volumes et niveaux du barrage, et ainsi déduire sa hauteur totale.