

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



جامعة بجاية
Tasdawit n'Bgayet
Université de Béjaïa



Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique

Laboratoire d'Hydraulique appliquée et environnement

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

ZOUAOUI YOUSRA
HASSANI SID ALI

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

Option : Ouvrages et aménagements hydrauliques

INTITULE :

**ETUDE DE FAISABILITE DU BARRAGE DE CHEBABTA (WILAYA
DE OUM EL BOUAGHI).**

Soutenu le 25 / 06 /2024 à 11h devant le jury composé de :

Président : Mr. A CHENAFI

Promoteur : Mr. A BRAKENI

Co -Promoteur : Mr. A BOUCHAIR (Ingénieur ANBT)

Examineur : Mr. A SEGHIR

Année universitaire :2023/2024

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à Dieu, sans qui rien n'aurait été possible.

Un immense merci à mon promoteur BRAKENI Abderezzak et à mon Co- promoteur Bouchair Azzedine pour leur guidance précieuse, leur soutien indéfectible et leur patience tout au long de ce projet.

Leur expertise et leur dévouement ont été essentiels à la réalisation de ce travail.

Je souhaite également remercier les membres du jury Mr Chenafi Azzedine et Sghir Abd el Ghani pour leur temps et leur rigueur dans l'évaluation de notre travail.

Leurs commentaires et suggestions ont été très enrichissants et ont grandement contribué à l'amélioration de ce projet.

Enfin, je suis reconnaissant envers tous les ingénieurs et le personnel d'ANBT pour leur aide précieuse durant mon stage.

Leur ouverture et leur disponibilité ont grandement facilité mon apprentissage et enrichi mon expérience pratique.

Merci à tous pour avoir rendu ce parcours non seulement possible, mais aussi une véritable aventure enrichissante.

Dédicace

Je dédie cet humble travail :

À mon père.

À ma mère.

SID ALI

Dédicace

Avant tout, je souhaite exprimer ma gratitude envers Dieu Tout-Puissant, dont les bénédictions et la guidance m'ont permis d'accomplir ce travail.

Je tiens à remercier profondément mes parents, pour leur amour, leur soutien inconditionnel et leurs encouragements constants tout au long de mon parcours académique. Papa, Maman, ce mémoire est le fruit de vos sacrifices et de votre dévouement.

À mon promoteur, Monsieur Berkani Abd Erazak, je suis infiniment reconnaissant pour votre encadrement, votre expertise et vos précieux conseils.

Votre soutien a été indispensable à la réalisation de ce mémoire.

Un merci tout particulier à mon frère, Mohammed Ali, pour sa présence constante et son soutien moral inestimable.

À mes sœurs, Soumia et Noussaiba, merci pour votre amour et votre compréhension. Votre soutien m'a été d'une grande aide.

Je souhaite également exprimer ma gratitude à mes amis(es), pour leur soutien indéfectible et leur amitié précieuse : Hanane, Hafsa, Nadia, Rihab, Chabha, Aicha, Meriem, Manel, Hadir, Abdellah, Amin, Salim, et Bilal. Chacun de vous a contribué à rendre ce parcours plus agréable et moins solitaire.

Enfin, je tiens à remercier chaleureusement mon binôme, Hassani Sid Ali, pour sa collaboration et son soutien durant toutes les étapes de ce mémoire. Notre travail d'équipe a été une expérience enrichissante et gratifiante.

À tous, je vous dis merci du fond du cœur. Que Dieu vous bénisse et vous protège.

Yousra

Sommaire

Remerciements

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des symboles

Liste des Abréviations

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Etude géologique et géotechnique

I.1. Introduction..... 7

I.2. Évaluation du Site du Barrage 7

I.2.1. Situation géographique de site 7

I.3. Géologie régionale 9

I.4. Étude des Formations Géologiques du Barrage de Chebabta à Meskiana..... 11

I.5. Stratigraphie et assemblages lithologiques 13

I.6. Sismicité..... 13

I.7 Hydrogéologie..... 14

I.8 Géologie de la cuvette..... 16

I.9 Topographie 18

I.10 Conclusion 18

Chapitre II : Etude hydrologique

II.1 Introduction 20

II.2. Bassin versant 20

II.2.1 Caractéristiques Géomorphologiques d'un bassin versant..... 20

II.2.2 Courbe hypsométrique..... 25

II.3 Caractéristiques climatiques du bassin versant du barrage de Chebabta..... 27

II.3.1 Température de l'air 27

II.3.2 les vents 28

Sommaire

II.3.3 Humidité de l'air.....	29
II.3.4 Evapotranspiration.....	30
II.3.5 Etude des précipitations.....	31
II.4. Ajustement des pluies maximales journalières.....	36
II.4.1. Série pluviométrique de Meskiana	36
II.4.2 L'ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel [3].....	39
II.4.3. L'ajustement de la série pluviométrique à la loi de Log normal [4]	43
II.5. Conclusion	45

Chapitre III : Partie d'Aménagement Hydraulique

III.1 Introduction	46
III.2. Description de l'ouvrage	46
III.2.1. Barrage en BCR et ailes en remblais.....	46
III.2.2. Dérivation provisoire.....	50
III.2.3 Ouvrage de prise d'eau	50
III.2.4 Evacuateur de crues.....	50
III.3. Description Détaillée de l'aménagement	51
III.3.1. Implantation du barrage	51
III.3.2. Principales fonctions et performances de l'aménagement.....	52
III.3.3. Fonction de l'ouvrage	53
III.3.4. Capacité d'évacuation.....	53
III.4. Principes constructifs du barrage poids en BCR.....	53
III.4.1. Niveau de fondation	54
III.4.2. La vidange de fond.....	54
III.4.3. Ouvrage de prise d'eau	56
III.4.4. Evacuateur de crues.....	60
III.4.5. Murs de soutènement	63
III.4.6. Ailes en remblais	65
III.5. Conclusion.....	68

Chapitre IV : Etude de stabilité

IV.1. Introduction	69
IV.2. Matériaux et Fuseaux Granulométriques	69
IV.2.1. Le pseudo-noyau (N)	69
IV.2.2. Le filtre (F).....	69
IV.2.3. La recharge amont/aval (R).....	70
IV.2.4. Le rip-rap de protection amont (E1) et le rip-rap de protection aval (E2)	70
IV.2.5. La transition amont (T)	70
IV.3. Évaluation et Classification des Matériaux de Remblai	71
IV.4. Distribution Granulométrique du Pseudo-noyau (N).....	72
IV.5. La recharge amont/aval (R).....	73
IV.6. Dimensionnement des filtres et des drains.....	74
IV.6.1. Caractérisation de la Granulométrie du Filtre	75
IV.6.2 Débit d'évacuation du filtre (F)	76
IV.6.3. Classification Granulométrique du Drain	77
IV.7. Rip-rap amont	78
IV.7.1. Dimensionnement des blocs d'enrochement CIGB.....	78
IV.7.2. Spécifications selon la norme EN-13383	80
IV.8. Rip-rap aval (e2) et transition amont (T)	81
IV.9. Résumé.....	82
IV.10. Stabilité des Talus de Remblai.....	84
IV.10.1. Analyse Technique de l'Aménagement du Barrage de Chebabta	84
IV.10.2. Méthode de calcul	84
IV.10.3. Forces Appliquées sur Chaque Tranche.....	86
IV.10.4. Calcul de la Stabilité Globale.....	87
IV.10.5. Résultats	90
IV.10.6. Cartographie des Risques de Glissement pour la Stabilité du Barrage.....	91
IV.11. Conclusion	94

Sommaire

Conclusion générale	95
---------------------------	----

Liste des Figures

Figure 1 : Localisation du site du Barrage de Chebabta (A.N.B.T)	8
Figure 2 :Site de Chebabta à partir de la citation carte Algérie au 1 :50 000 Meskiana	9
Figure 3 :localisation de la région étudiée (liens entre l'Atlas Tellien, le Sahara, les hauts plateaux)	10
Figure 4 :Carte géologique régionale, délimitant la zone du projet par un cadre rouge	11
Figure 5 :Cartographie Stratigraphique de Meskiana avec Détail des Secteurs de Projet en Rouge, Adapté de GOUAIDIA LAYACHI 2008.	12
Figure 6 :Schéma lithologique standard utilisé dans les études d'ingénierie du site.....	13
Figure 7 : Schéma hydrogéologique du bassin versant de Meskiana, avec le site marqué par un cercle noir (LAYACHI, 2008)	Error! Bookmark not defined.
Figure 8 :Impact de la future retenue sur la géologie régionale.....	16
Figure 9 : Position géographique de la carrière Mesloula / site	17
Figure 10 :Coupe schématique de la cuvette.....	18
Figure 11 : Hypsométrie du bassin versant de l'oued Meskiana.....	26
Figure 12 :Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Meskiana.....	27
Figure 13 :Répartition des Températures sous Forme d'Histogramme	28
Figure 14 : Variations Mensuelles de la Vitesse du Vent (m/s).....	29
Figure 15 : Humidité mensuelle (%)	30
Figure 16 : Evolution mensuelle de l'évaporation sur plan d'eau –Barrage Chebabta.....	31
Figure 17 : Pluie annuelle moyenne BV Meskiana–Méthode des Isohyètes Carte ANRH 1993	33
Figure 18 : Analyse chronologique des précipitations annuelles à Meskiana.....	35
Figure 19 : Répartition mensuelle des pluies	36
Figure 20 : Graphe de précipitation de la station de Meskian.....	38
Figure 21 : Graphe d'ajustement à loi de Gumbel	42
Figure 22 : Graphe d'ajustement à loi de Log normal	45
Figure 23 : Barrage de Chebabta.....	52
Figure 24 :Vidange du fond	55
Figure 25 :Prise d'eau	58
Figure 26 : Evacuateur de cures	61
Figure 27 :Mur de soutènement	64
Figure 28 : Ailes en remblais rive gauche.....	66
Figure 29 : Ailes en remblais rive droite.....	67
Figure 30 : Coupe-type des ailes en remblai avec zonage détaillé.....	70

Liste des figures

Figure 31: Classification Lithologique des Alluvions	71
Figure 32: Courbes granulométriques issues des investigations de l'APD – Alluvions A1, A2, A3 (courbes moyennes) (A.N.B.T)	72
Figure 33: Comparaison des courbes de granulométries des alluvions A1 (APD) et du pseudo-noyau (N) (A.N.B.T)	73
Figure 34: Profils granulométriques contrastés : Alluvions A2/A3 (APD) (A.N.B.T).....	74
Figure 35: Fuseau granulométrique du filtre F (A.N.B.T)	76
Figure 36: Fuseaux granulométriques	83
Figure 37: Présentation de l'interface du logiciel.	85
Figure 38: Géométrie modélisée	88
Figure 39: Niveau d'eau amont.....	90
Figure 40: Résultat pour le cas de Fin de construction	92
Figure 41: Résultat pour le cas de Régime permanent (RN)	92
Figure 42: Résultat pour le cas de Régime permanent à plus haute eau	93
Figure 43: Résultat pour le cas de Vidange rapide depuis RN.....	93
Figure 44: Résultat pour le cas de séisme de base d'exploitation (SBE).....	94

Liste des tableaux

Tableau 1: différentes variables de la Sismicité	14
Tableau 2: Niveau de la nappe (A.N.B.T)	15
Tableau 3 : classification du relief (l’O.R.S.T.O.M)	22
Tableau 4: Paramétrés Géomorphologiques : du Bassin Versant oued Meskiana.....	24
Tableau 5: Evolution des températures dans la région du projet	28
Tableau 6: Mesure du Vent Moyen (m/s)	29
Tableau 7 : Mesure de l’humidité Relative de l’air à la Station de Tébessa	30
Tableau 8: Répartition mensuelle de l’évaporation au niveau du plan d’eau de Foum El Gueiss	30
Tableau 9: Coordonnées et codes des stations pluviométriques (ANRH)	32
Tableau 10: Calcul de la pluie par la méthode isohyète	34
Tableau 11: Caractéristiques de la station pluviométrique de Meskiana	35
Tableau 12: Répartition mensuelle des pluies	36
Tableau 13: Série pluviométrique de la station de Meskiana	37
Tableau 14: Caractéristiques la série pluviométrique	38
Tableau 15: les résultats d’ajustement avec loi Gumbel.	41
Tableau 16: les résultats d’ajustement avec loi Log normal	44
Tableau17: Critères de Sélection des Filtres en Fonction des Caractéristiques Granulométriques du Sol.....	75
Tableau 18: les Coefficients en Fonction des Vents et des Niveaux de Dégâts	79
Tableau 19: Résultats des Dimensions de Rip-rap en Fonction de la Vitesse du Vent et de la Hauteur des Vagues.....	80
Tableau 20: Coefficients pour la spécification ou la déclaration d’encrochements non- standard conformément à la norme EN-13383	80
Tableau 21: les caractéristiques d’un type de bloc artificiel	81
Tableau 22: Caractéristiques Granulométriques.	82
Tableau 23: Caractéristiques mécaniques retenues	89
Tableau 25: Analyse des Coefficients de Sécurité pour Divers Scénarios de Charge.....	91

Liste des symboles

L_p : Longueur de cours d'eau principale (km)

A : la superficie (km²)

B : la largeur moyenne du bassin versant (km)

L_e : Longueur du rectangle équivalent (km)

K_c : Indice de compacité de Gravelius (sans dimension)

P : le périmètre stylisé du bassin étudié (km)

I_g : Indice de pente global (sans dimension)

D : La dénivelée utile (m)

H_{95%} : Altitude H_{95%} (m)

H_{5%} : Altitude H_{5%} (m)

D_d : La densité de drainage

L_x : la longueur totale (Km)

C_t : Coefficient de torrentialité (sans dimension)

D_d : La densité de drainage (km/km²)

F₁ : la fréquence des drains (sans dimension)

T_c : Temps de concentration (h)

H_{moy} : Altitude moyenne (m)

H_{min} : Altitude minimal (m)

I_{BV} : Pente moyenne du bassin versant (m/km)

H_{max} : Altitude maximum (m)

C_a : Coefficient d'allongement (sans dimension)

V_r : Vitesse de Ruissellement (km/h)

D_s : dénivelée spécifique (m)

Liste des symboles

V : vitesse du vent (m/s)

P: pluie moyenne tombée sur bassin versant (mm)

P_i: précipitation moyenne entre les isohyètes successives (mm)

S_i: surface comprise entre deux isohyètes successives (km²)

S: surface totale du bassin versant (km²)

Y : la variable réduite de Gumbel (sans dimension)

C_v : coefficient de corrélation (sans dimension)

σ_x et **σ_y** : les écarts-types (m)

Z_a : la variable réduite de Gauss correspondant à la fréquence au non-dépassement (sans dimension)

K_i : la variable réduite de Gumbel correspondant à la fréquence au non-dépassement (sans dimension)

n: nombre des échantillons (sans dimension)

r: le rang (sans dimension)

σ: Écart type de la série transformée en logarithme (m)

D₆₀ : pourcentage des grains de diamètres < 60 mm (mm)

D₁₀ : pourcentage des grains de diamètres < 10 mm (mm)

q : capacité de débit du filtre par mètre linéaire (m³/s/ml)

K_F : perméabilité du matériau (m/s)

W : largeur du filtre (m)

q_{fuite} : débit de fuite à l'aval du noyau (m³/s/m)

K_N : perméabilité du noyau (m/s)

H : charge hydraulique (m)

L_p : longueur de percolation à travers le pseudo-noyau (m)

W₅₀ : masse caractéristique des blocs d'enrochement (kg)

γ_r : Masse volumique d'un élément de roche (kg/m³)

Liste des symboles

G : masse volumique des blocs d'enrochement (kg/m^3)

Φ : angle du talus (degré)

H : hauteur de la vague de projet (m)

K_D : coefficient de dégâts déterminé expérimentalement (sans dimension)

W_X : masse caractéristique des blocs d'enrochement nécessaire (kg)

D_X : Le diamètre nominal d'un bloc d'enrochement (mm)

γ : Masse volumique (kg/m^3)

td : L'épaisseur de la couche de rip- rap (m)

W : Poids de la Tranche (kg)

N: Force Normale (N)

α : l'angle du plan de glissement par rapport à l'horizontale (degré)

T : Force Tangentielle (N)

c: la cohésion (pa)

u : la pression interstitielle (pa)

U: Force de Poussée Interstitielle (N)

S : Résistance au Cisaillement (pa)

Liste des Abréviations

SBE : Séisme de Base d'Exploitation

SMD : Séisme Maximale de Dimensionnement

SMP : Séisme Maximum Probable

UTM : Universal Transverse Mercator

NGF : Niveau Générale de la France

A.N.B.T : Agence Nationale des Barrages et Transfert

A.N.R.H : Agence Nationale des Ressource Hydraulique

CTN : Cote de terrain naturel

mNGA : Mètre Niveau Géographique Algérie

NNR : Niveau Normal de la Retenue

N : Nord

NE : Nord Est

SE : Sud Est

S : Sud

SO : Sud-Ouest

E : Est

O : Ouest

NO : Nord-Ouest

NPHE : Niveau des Plus Hautes Eaux

Introduction générale

L'eau est un élément indispensable pour la vie, essentielle non seulement pour les besoins quotidiens des populations, mais également pour le développement agricole et industriel. La gestion des ressources en eau revêt donc une importance stratégique cruciale, particulièrement dans des régions où ces ressources sont limitées. En Algérie, la rareté de l'eau pose des défis significatifs, et la maîtrise de cette ressource est un facteur déterminant dans la planification et le développement du pays.

Au cours des dernières décennies, l'Algérie a mis en œuvre de nombreuses initiatives pour gérer efficacement ses ressources hydriques. Parmi ces initiatives, la construction de barrages est une solution largement adoptée pour répondre aux déficits en eau. Actuellement, le pays compte 75 barrages opérationnels avec une capacité totale de stockage estimée à 7 milliards de mètres cubes. Cette capacité est en constante augmentation grâce à la mise en service de nouveaux barrages en cours de construction dans diverses régions.

Le projet du barrage de Chebabta, situé dans la wilaya d'Oum El Bouaghi, s'inscrit dans cette dynamique. Destiné à réguler les crues de l'oued Meskiana, fournir de l'eau potable et industrielle, et soutenir l'irrigation agricole, ce barrage est un exemple typique des efforts déployés pour garantir la sécurité et la durabilité des ressources en eau. Le projet prévoit d'accroître les capacités de stockage du pays, avec une ambition d'atteindre une capacité de rétention totale de près de 12 milliards de mètres cubes une fois toutes les infrastructures achevées.

L'étude de faisabilité technique du barrage de Chebabta comprend plusieurs volets. Tout d'abord, une analyse géologique et géotechnique approfondie du site et des zones d'emprunt est indispensable pour évaluer les conditions de stabilité mécanique et d'étanchéité des fondations. Ensuite, une étude hydrologique détaillée permet de comprendre les caractéristiques géomorphologiques, hydrographiques et climatiques du bassin versant, ainsi que d'estimer les débits de crue et le transport solide.

Ce travail est structuré en chapitres successifs pour assurer une présentation cohérente et exhaustive de l'étude. Le premier chapitre est dédié à l'analyse des conditions géologiques et géotechniques du site. Le deuxième chapitre se concentre sur les caractéristiques géomorphologiques, hydrographiques et climatiques du bassin versant, avec une attention

Introduction générale

particulière aux données pluviométriques pour le calcul de l'hydrogrammes de crue. Le troisième chapitre aborde la régularisation des apports et le laminage des crues, permettant de déterminer les dimensions optimales des ouvrages de stockage et de déversement. Enfin, le quatrième chapitre examine les options techniques et économiques pour la réalisation du barrage, aboutissant à la sélection de la meilleure variante.

Fiche technique

I. LOCALISATION		
Cours d'eau :	Meskiana	
Commune :	Oum el Bouaghi	
Wilaya :	Oum el Bouaghi	
Région :	sud de la ville d'Oum El Bouaghi	
Les coordonnées du site en système UTM	X= 386126,128m Y= 3951798,53m Z=764 m	
DESIGNATION	UNITE	CARACTÉRISTIQUES
II. CARACTÉRISTIQUES HYDROLOGIQUES		
Type de barrage	-	Barrage à noyau béton et enrochements (CFRD)
Bassin versant Meskiana	Km ²	1325
Précipitations annuelles Meskiana	mm	272.33
Longueur de cours d'eau principale	km	94.40
Vitesse de Ruissellement	Km/h	4.72
Temps de concentration	h	20
AltitudeH5%	m	1342

Fiche technique

AltitudeH95%	m	963
Longueur du rectangle équivalent	km	70
Largeur du rectangle équivalent	Km	17
la pluie moyenne annuelle	mm	325
Latitude	m	1583
Hauteur	m	40

III. OUVRAGES ANNEXES

Ouvrages d'évacuation d'eau		
Type	-	Seuil déversant libre de type Creager
Longueur	m	466,5
Débit maximale	m ³ /s	4 565
Coursier	-	marches d'escalier sur le parement aval
Tapis de réception	-	béton armé pour dissipation des débits
Ouvrages de prise d'eau		

Fiche technique

Type	-	Une conduite forcée de 1,50 m de diamètre, à la cote 781,75 m NGA
Emplacement		A l'intérieure de la prise d'eau ensuite dans le radier du tunnel
Nombre de prises	-	03
Niveaux des prises d'eau	m NGA	790, 792, 794
Vannes	-	vanne de sectionnement DN 1500 mm de type papillon
Débit nominale pour l'AEP	m ³ /s	3,5
Vidange de fond		
Niveau de la vidange du fond	m NGA	782
Nombres de conduites	-	deux conduites métalliques de 400 mm de diamètre
Débit maximale	m ³ /s	90

Chapitre I
Etude géologique et
géotechnique

I.1. Introduction

L'analyse géologique et géotechnique est cruciale pour la conception de tout barrage, comme illustré par le projet du barrage de Chebabta d'Oued Meskiana. Cette étude approfondie est indispensable pour déterminer la stabilité mécanique, garantir l'étanchéité des appuis et des fondations, ainsi que pour assurer l'intégrité de la cuvette de retenue. En outre, ces évaluations jouent un rôle clé dans l'analyse de la stabilité des versants avoisinants, la sélection des matériaux de construction appropriés, et l'évaluation de la durabilité de la retenue. Elles permettent également de surveiller la qualité de l'eau accumulée en tenant compte des sédiments, des propriétés hydriques et des risques potentiels d'eutrophisation. Ces informations sont essentielles pour la planification et la construction réussies du barrage, assurant sa fonctionnalité et sa sécurité à long terme.

I.2. Évaluation du Site du Barrage

I.2.1. Situation géographique de site

Le site prévu pour le projet d'aménagement se trouve dans la wilaya d'Oum El Bouaghi, situé à environ 90 km au sud de la ville d'Oum El Bouaghi, à une distance d'environ 10 km au nord-est de la ville de Meskiana, et à un peu plus de 200 km de la côte méditerranéenne.

Les coordonnées du site en système UTM (Universal Transverse Mercator), fuseau 31N sont:

X= 386126,128m

Y= 3951798,53m

Z=764 m

La délimitation géographique du bassin de Meskiana est décrite de la manière suivante :

- ✚ Au nord, le bassin est bordé par Djebel Mesloul, Argoub El Mnachir et Djebel Khannaga.
- ✚ À l'ouest-nord-ouest, il est encadré par Djebel Chettaya, Djebel Bou Thokhma et Djebel Ahmar.
- ✚ Au nord-est, se trouve Djebel Belkif.
- ✚ Au sud-est, le bassin est limité par Djebel Gouriguer, Djebel Es Stih et Djebel Khemalal.
- ✚ Au sud-ouest, les frontières sont constituées de Djebel Boutoukhma et de Chott Esbikha.

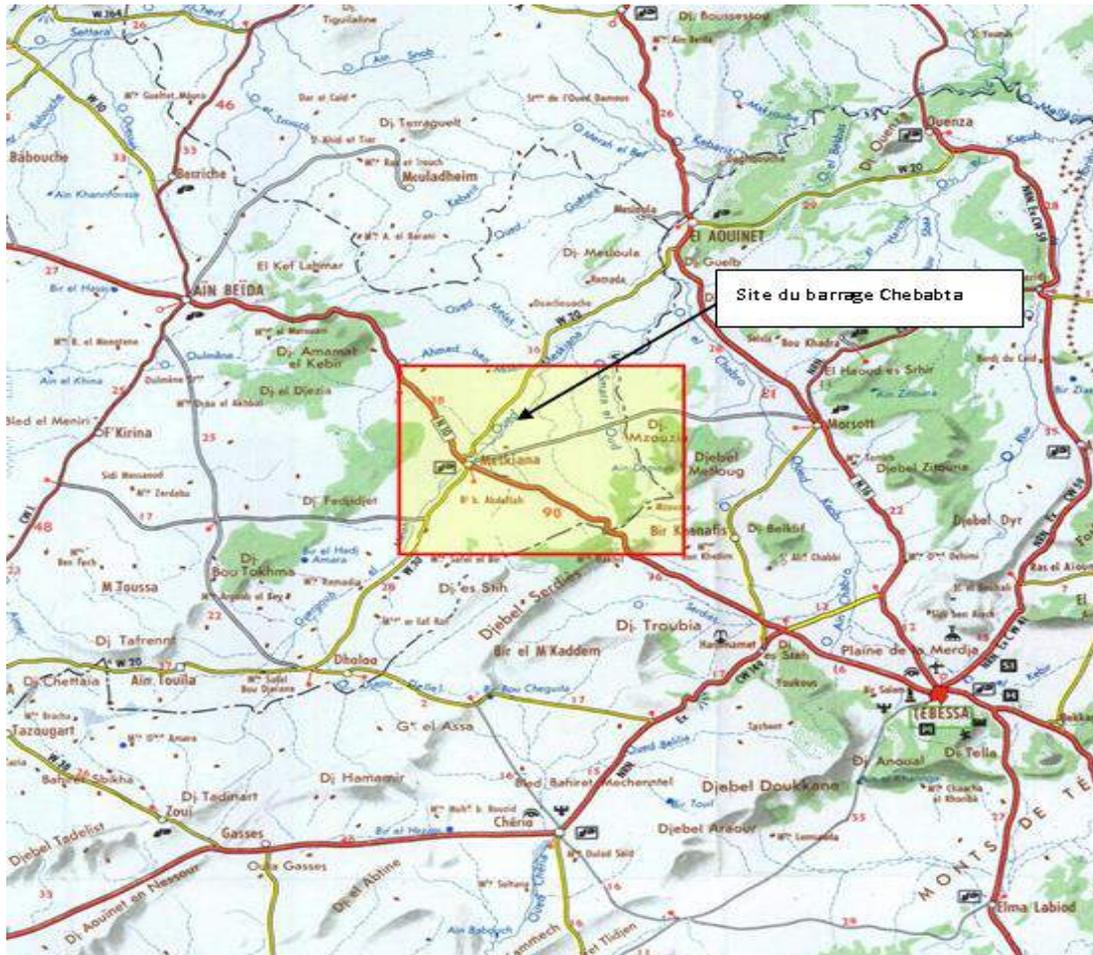


Figure 1 : Localisation du site du Barrage de Chebabta (A.N.B.T)

Le site du barrage se caractérise par un terrain relativement plat et prend la forme d'un barrage mixte avec un barrage en béton dans la partie centrale. La longueur du barrage proposé est d'environ 2 à 3 kilomètres et sa hauteur est d'environ 40 mètres. La figure suivante représente la carte de terrain de l'Institut Algérien, qui identifie le site d'étude.

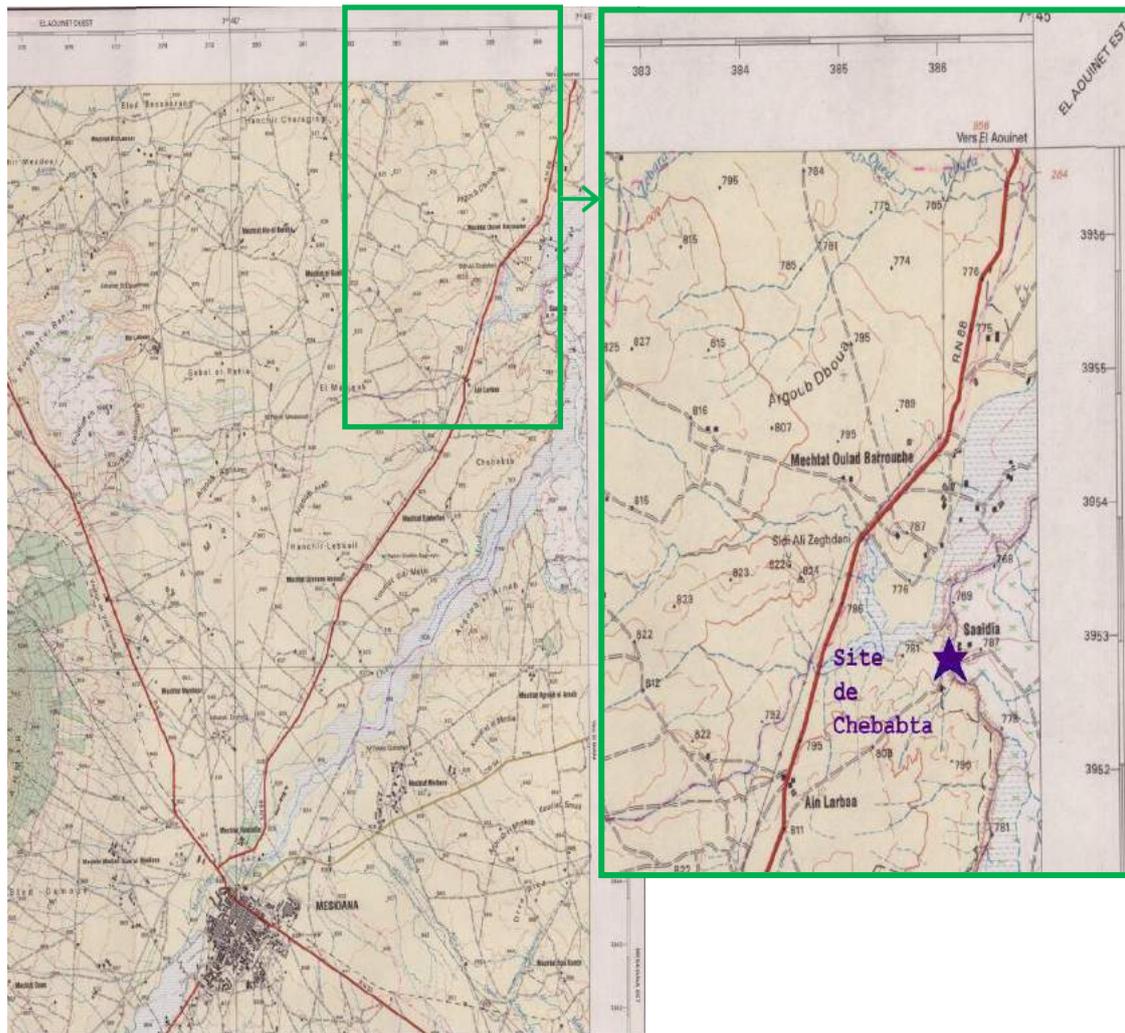


Figure 2: Site de Chebabta à partir de la citation carte Algérie au 1 :50 000 Meskiana (ANBT)

I.3. Géologie régionale

Le projet de Chebabta est implanté dans la partie nord de l'Algérie, dans une région montagneuse qui se trouve entre le bassin méditerranéen et la flexure sud-atlasique, la séparant ainsi de la zone saharienne. Cette région, appelée Maghrébines, se caractérise par une structure géologique composée de chevauchements et de nappes plaques, s'étendant sur plus de 2000 km depuis Gibraltar (Rif) jusqu'à la Sicile, en passant par le territoire algérien, notamment le Tell Algérois et le Constantinois, ainsi que la zone frontalière entre l'Algérie et la Tunisie.

La carte générale ci-dessous illustre la position du projet au sein de cette région montagneuse, à la périphérie sud de l'ensemble des Maghrébines.

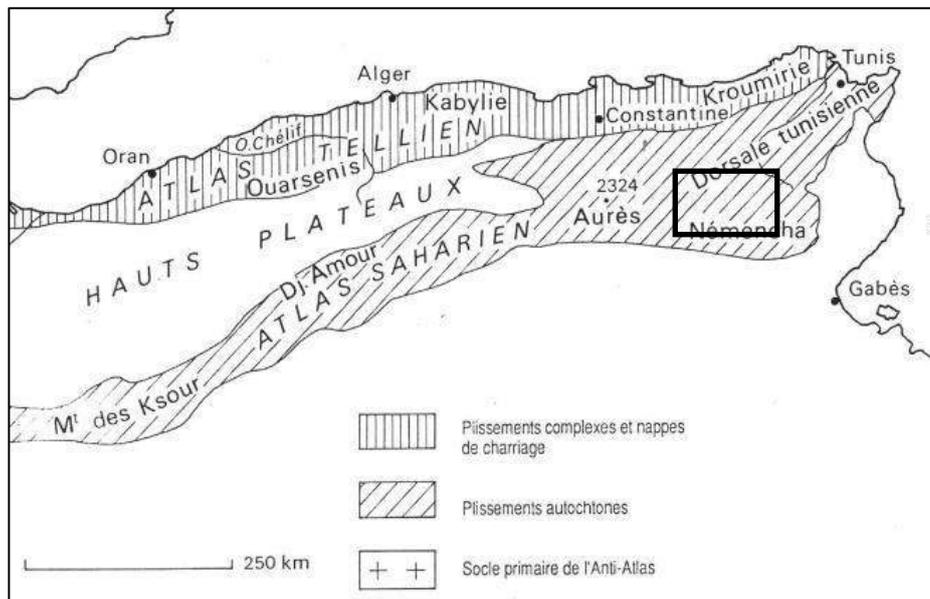


Figure 3 : localisation de la région étudiée (liens entre l'Atlas Tellien, le Sahara, les hauts plateaux) (source : ANBT)

L'évolution géologique passée, combinée à des facteurs externes comme l'altération et l'érosion, a modelé la configuration géologique et géographique de la région environnante du projet. Les structures observées résultent de deux phases tectoniques successives : la première a formé des anticlinaux et des synclinaux orientés NE-SW, avec des phénomènes de diapirisme et des failles associées. Ensuite, des structures en forme de fossés d'effondrement ont émergé dans une direction NW-SE, sans impacter la zone du projet. Les caractéristiques géologiques sont influencées par les propriétés mécaniques variées des différentes formations géologiques, telles que les évaporites du Trias, les marnes du Crétacé, les calcaires turoniens et éocènes, qui réagissent de manière ductile, pliante ou cassante. La zone du projet est principalement affectée par des plissements, comme illustré dans le schéma structural régional.

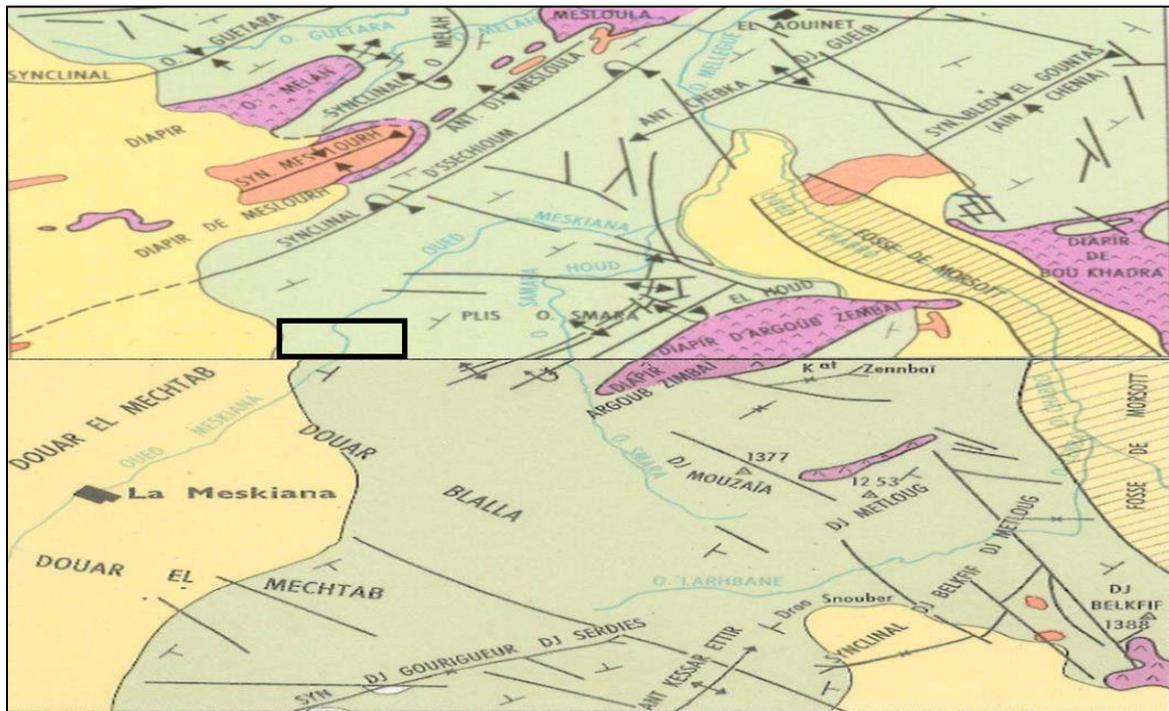


Figure 4: Carte géologique régionale, délimitant la zone du projet par un cadre rouge (source : ANBT)

I.4. Étude des Formations Géologiques du Barrage de Chebabta à Meskiana

Dans la région de Meskiana, la séquence de terrains sédimentaires pour le projet du barrage est discontinue, souvent due à des lacunes de sédimentation ou à des mouvements tectoniques qui ont juxtaposé des strates hétérogènes. Cette séquence inclut principalement trois grandes périodes :

- ✚ Le Trias, le Crétacé-Tertiaire et le Plio-Quaternaire, avec des absences notables du Jurassique, de certaines parties du Crétacé inférieur, de l'Éocène, de l'Oligocène et du Miocène.
- ✚ Les descriptions détaillées montrent une variété de formations allant des argiles et gypses du Trias aux calcaires et marnes du Cénomaniens, caractérisés par une faune fossile riche, jusqu'aux formations plus récentes du Turonien et du Coniacien-Santonien, marquées par des marnes et calcaires alternés.

Les strates sédimentaires observées varient considérablement en épaisseur, reflétant une histoire géologique complexe marquée par des événements tectoniques et sédimentaires divers.

Ce cadre stratigraphique fournit un contexte crucial pour la planification et la réalisation du barrage, soulignant l'importance de comprendre ces variations pour garantir la stabilité et l'efficacité du projet.

	Etage	Epaisseur (m)	Lithostratigraphie	Lithologie	
QUATERNAIRE	Quaternaire	?		Limons gris et des graviers ; Croûtes rosâtres feuilletées ; Croûtes calcaires blanches .	
NEOGENE	Tortonien- Langhien	60		Grès blancs grossiers a quartz	
PALEOCEN	Thanétien-Yeprésien	200		Alternance de micrite décimétrique gris-blanchâtre et biomicrite décimétriques ou métriques blanchâtre.	
	Montien	70		Marnes grises verdâtres	
CRETACE	Maestrichtien sup	150		Calcaires noduleux ocre avec quelques nodules de silex de couleur blanchâtre.	
	Maestrichtien inf	50		Marnes gris-beiges.	
	Campanien	230			Marnes noires
					Marnes et micrites
	Santonien	100		Marnes grises ou beiges à rares intercalations marno-calcaires.	
Coniacien	150		Mame grises et alternance de mame beige et calcaire gris.		
Turonien moy et sup	150		Alternance de mame grise à beige et calcaire zoogène noduleux		
Turonien inf	200		Mame grise ou noire avec une intercalation de mamo-calcaire blanchâtre.		
Cénomaniens sup et moy	800		Mame argileuse à plaquette de calcite et rare intercalation de mame, de mamo-calcaire et de calcaire.		
	Albien et Cénomaniens inf	55		Calcaires et mames argileuses noires	
	Aptien	10		Marnes grises, biomicrite et dolomie.	
TRIAS	Trias	?		Cargneule jaunâtre, dolomie noire, grès, gypse mameux et gypse fibreux.	

Figure 5: Cartographie Stratigraphique de Meskiana avec Détail des Secteurs de Projet en Rouge, Adapté de GOUAIDIA LAYACHI 2008.

I.5. Stratigraphie et assemblages lithologiques

La chronologie stratigraphique tirée des études précédentes offre un bon point de départ pour l'analyse du site. Toutefois, les méthodes utilisées pour déterminer certaines limites stratigraphiques, telles que la paléontologie et la géochimie, sont peu pratiques pour les projets de génie civil. De plus, bien que certaines distinctions soient clairement visibles, elles influencent la géotechnique du projet mais ne sont pas reflétées dans la stratigraphie existante.

Il est donc essentiel de convertir la colonne stratigraphique en un journal lithologique pratique pour le projet, en définissant des ensembles lithologiques basés sur la composition des roches plutôt que sur leur âge.

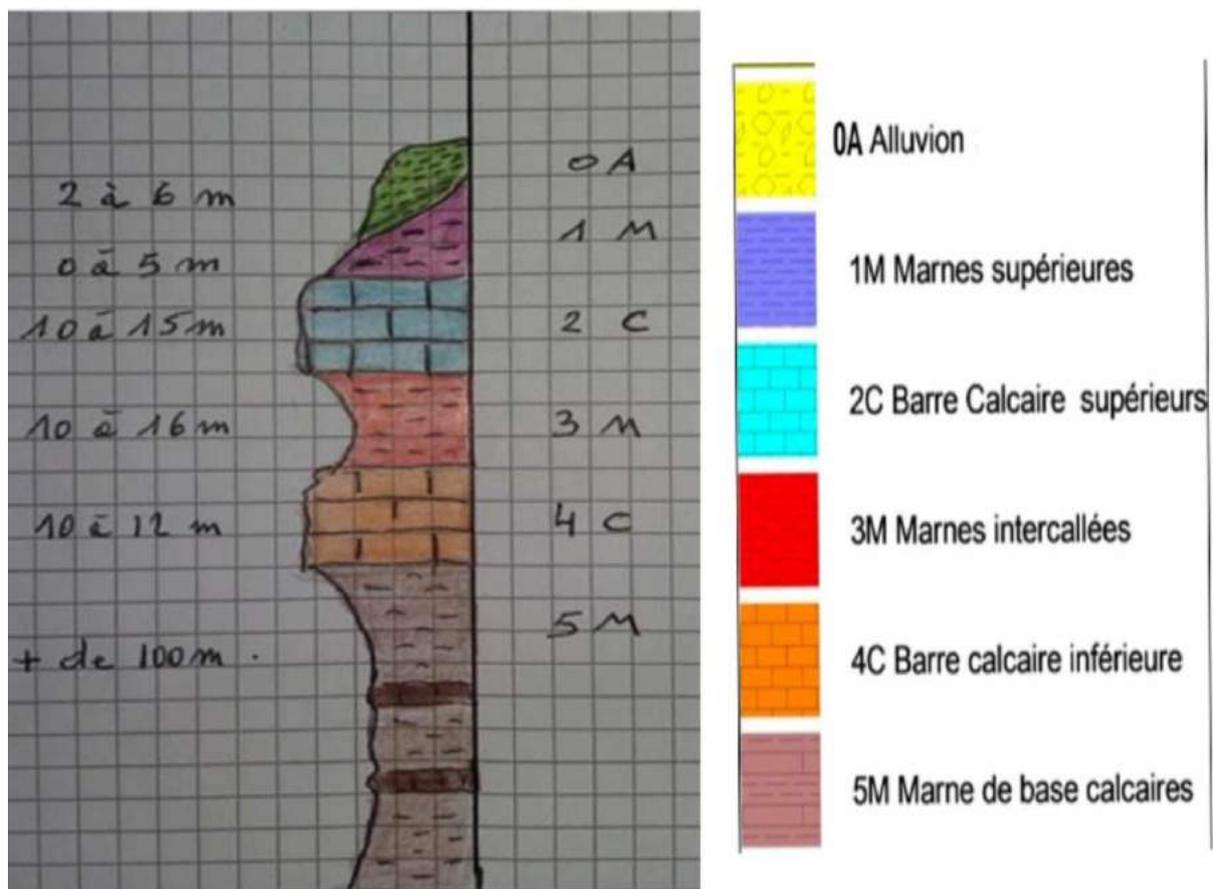


Figure 6: Schéma lithologique standard utilisé dans les études d'ingénierie du site

I.6. Sismicité

Une analyse sismique a été menée en juin 2017 dans le cadre du projet à Chebabta, dont les détails sont disponibles dans le rapport référencé P009423.0001 RP3.02C. Les conclusions pratiques de ce rapport révèlent que l'analyse de la sismicité historique autour du site de

Chebabta (Oum EL Bouaghi), dans un périmètre de 100 km, a conduit à la création d'un catalogue de 157 séismes historiques avec des intensités maximales allant de VI à IX, affectant l'est de l'Algérie. Ce catalogue indique que Chebabta se trouve dans une zone d'intensités maximales $I_0 \leq VI$ EMS. Conformément au règlement parasismique algérien, Chebabta est située dans la zone I, une zone de sismicité faible (selon la Carte RPA99 version 2003, CGS), avec une accélération du pic du sol (PGA) prévue à 0.15 pour les structures stratégiques. De plus, une carte des failles actives, basée sur des recherches récentes par plusieurs chercheurs (Harbi et al, 1999 ; Harbi et al, 2003 ; Harbi et Maouche 2009, Meghraoui 1988 ; Meghraoui et al, 1996), montre que ces failles présentent des signes d'activité récente et sont donc potentiellement actives.

Pour le projet, les paramètres sismiques retenus sont :

- ✚ Séisme de Base d'Exploitation (SBE) : Probabilité d'occurrence de 50% en 100 ans, soit $Tr \sim 145$ ans
- ✚ Séisme Maximal de Dimensionnement (SMD) : Probabilité d'occurrence de 10% en 100 ans, soit $Tr \sim 950$ ans
- ✚ Séisme Maximum Probable (SMP) : L'événement sismique le plus fort envisageable le long d'une faille proche du site.

Tableau 1: différentes variables de la Sismicité (source : ANBT)

Site Chebabta	SBE	SMD	SMP
Accélération maximales horizontales (PGA)	0,17 g	0,30 g	0,25 g
Magnitude	5,6	6,8	6,6

I.7 Hydrogéologie

La région du site ne dispose pas de réserves substantielles d'eau souterraine. Les marnes, qui sont majoritairement imperméables, contiennent uniquement un aquifère très limité. Bien que les calcaires très fracturés soient susceptibles de retenir de l'eau, les mesures piézométriques indiquent que le niveau statique est faiblement puissant, probablement en raison de l'épaisseur réduite des couches calcaires. La majorité des ressources en eau pour les résidents provient de citernes. De plus, l'eau provenant des puits est généralement inadaptée à la consommation due à une forte concentration en sels minéraux

Le tableau ci-après présente les niveaux de la nappe mesurés dans les sondages équipés de piézomètres. Ces relevés ont été effectués lors de missions sur le site de Chebabta en décembre 2016, mars-mai-juillet 2017 et février 2018.

Tableau 2: Niveau de la nappe (A.N.B.T)

Piézomètre	Cote TN (NGA)	Niveau de la nappe (m NGA)					Niveau moyen (mNGA)
		Décembre 2016	mars 2017	Mai 2017	28 juillet 2017	25 février 2018	
SC01	774,3	-	-	765,3	766,4	766,5	766,1
SC05	775,1	-	764,1	764,2	764,6	764,7	764,4
SC11	793,0	-	772,5	769,5	769,8	769,7	770,3
SC13	813,7	-	-	805,8	805,7	805,9	805,8
SC14	778,5	-	-	766,8	766,3	obstrué	766,6
SC15	789,0	-	-	779,5	779,5	779,3	779,4
SC17	806,9	-	786,4	784,9	783,8	782,9	784,5
SC18	805,7	-	-	789,2	789,2	789,2	789,2
SC19	801,2	-	-	795,0	795,1	794,0	794,7
SC20	810,8	-	-	799,3	798,8	798,5	798,9
S01	785,5	-	-	766,0	-	-	766,0
S02	774,5	-	-	767,0	-	-	767,0
S08	806,9	771,9	-	-	-	782,4	777,2
S07	797,3	787,3	-	-	788,3	788,2	787,9
S04	772,5	766,5	-	-	-	obstrué	766,5

Les mesures effectuées montrent que :

- ✚ En rive gauche, la nappe se situe dans les marnes altérées, avec un niveau suivant le pendage général vers l'oued. Les variations de niveau sont très faibles (moins de 3 m).
- ✚ En rive droite, la nappe se trouve généralement au-dessus du toit des marnes de base, dans les formations plus altérées, sauf au niveau d'un sondage situé en dehors de l'emprise. Là aussi, le niveau suit le pendage vers l'oued avec de faibles variations.
- ✚ Au niveau de l'ouvrage central, la nappe est comprise entre les cotes 766 et 767 m, soit au

niveau de l'oued.

Ces observations confirment que la nappe est drainée par l'oued et corroborent le caractère étanche général du site et de la cuvette.

I.8 Géologie de la cuvette

La géologie des cuvettes implique l'étude de la formation et des caractéristiques des bassins d'eau dans différents contextes géologiques. [6]

La future retenue s'étendra sur environ 5 km en amont du barrage, se limitant à la vallée principale de l'oued Meskiana sur une largeur d'environ 2 km, comme indiqué dans la carte montrant son impact sur le fond géologique régional. Les travaux d'investigation menés par l'APD ont inclus 3 sondages carottés (SC21 à SC23) avec des tests d'eau dans la cuvette pour analyser les caractéristiques des formations et leur perméabilité. En outre, 266 puits ont été excavés mécaniquement sur 220 hectares pour explorer la zone d'emprunt identifiée dans la cuvette, complétant ainsi la campagne d'investigations. [7]

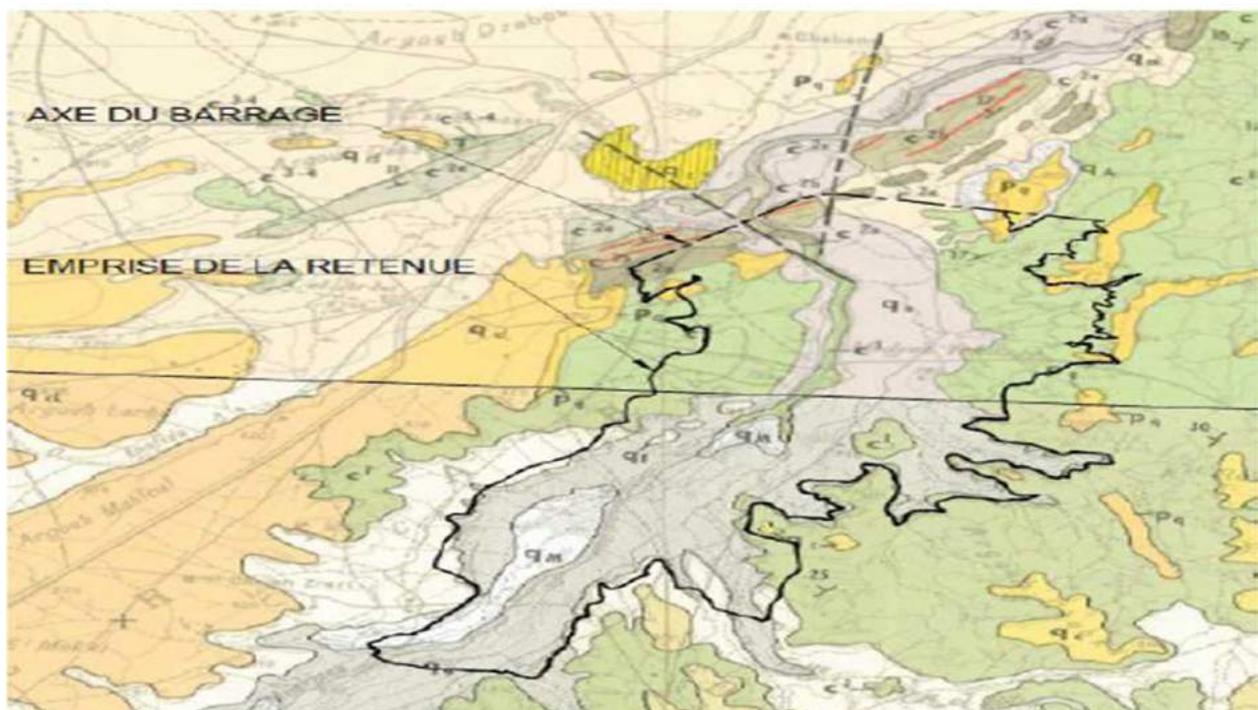


Figure 7: Impact de la future retenue sur la géologie régionale

Le projet est impacté par la distance entre la carrière et les installations actuelles, mais il semble que la qualité du gisement de calcaire ne puisse être trouvée à une distance plus courte.

La figure ci-dessous présente la configuration de la carrière, avec les installations actuelles situées au nord, le relief calcaire et les forages effectués au sud.

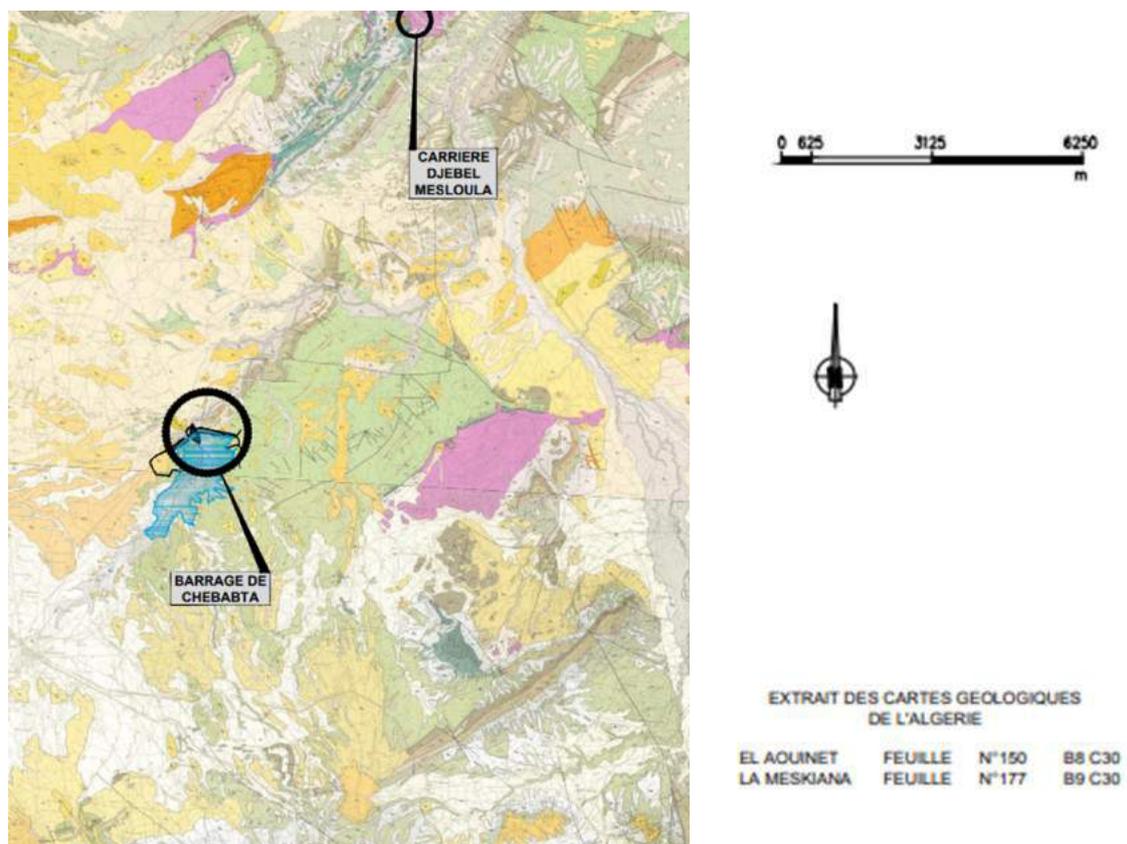


Figure 8: Position géographique de la carrière Mesloula / site

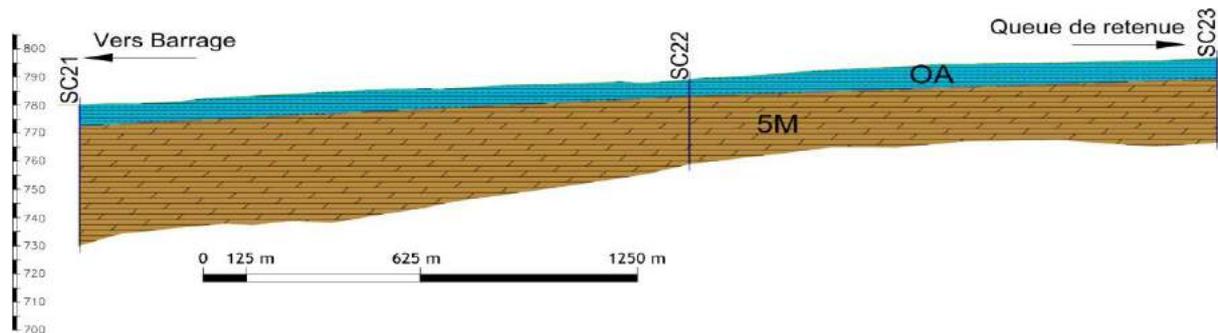


Figure 9: Coupe schématique de la cuvette

I.9 Topographie

Dans le cadre des études de viabilité, le site du barrage et la zone de stockage de l'eau ont été soumis à des relevés topographiques à l'échelle de 1/1000 et 1/5000 respectivement.

Des relevés topographiques supplémentaires ont été effectués lors des études de Pré-Projet Détaillé, comprenant des relevés de la zone de stockage à l'échelle de 1/5000 et 1/2000, ainsi que des relevés complémentaires du site à l'échelle de 1/500.

Au niveau de l'emplacement du barrage, les principales caractéristiques morphologiques sont les suivantes : le lit de la rivière est à une altitude de 767 m selon le système de référence NGA, des bancs calcaires sont présents sur la rive droite et la rive gauche, créant un rétrécissement naturel de la vallée le long de l'axe retenu, et un col topographique est observé sur la rive droite à une altitude de 804 m selon le système de référence NGA.

I.10 Conclusion

L'étude géologique et géotechnique pour le barrage de Chebabta a permis de caractériser de manière approfondie les formations géologiques du site d'Oued Meskiana. Elle a identifié les risques géotechniques potentiels et proposé des mesures d'adaptation pour garantir la stabilité et la durabilité de l'ouvrage. Grâce aux relevés topographiques et aux analyses géotechniques réalisées, des informations cruciales ont été obtenues pour la conception et la construction du

barrage, en prenant en compte les contraintes naturelles du site. Cette étude contribue ainsi de manière significative à assurer la sécurité et la performance du barrage de Chebabta à long terme.

Chapitre II:

Etude hydrologique

II.1 Introduction

Le but principal de cette étude Hydrologique sur l'oued Meskiana est de collecter des informations essentielles pour concevoir efficacement notre projet. L'analyse portera sur les caractéristiques géographiques, la taille, les cours d'eau et le climat de la région. L'utilisation de statistiques pour comprendre les quantités maximales de pluie par jour est cruciale pour estimer la gestion optimale de l'eau dans notre projet. L'étude englobera également la quantité annuelle de pluie pour évaluer les moyennes, les événements fréquents et le débit solide, tout en considérant leur distribution temporelle. Cette approche holistique vise à mieux planifier l'utilisation de la ressource hydrique disponible afin de répondre efficacement aux besoins de la région.

II.2. Bassin versant

L'Oued Meskiana est une section du fleuve Mellegue, appartenant au vaste bassin hydrologique numéro 12 de Mellegue-Medjerda, qui se jette en Tunisie et est de type exoréique. Le sous bassin de Meskiana, localisé à Chebabta, couvre une superficie totale de 1325 km². Le flux d'eau prédominant va du Sud-ouest vers le Nord-Est dans cette région

II.2.1 Caractéristiques Géomorphologiques d'un bassin versant

L'analyse des caractéristiques géomorphologiques d'un bassin versant est essentielle pour :

- ✚ Comprendre le cycle de l'eau dans le bassin versant
- ✚ Évaluer les risques d'érosion et de sédimentation
- ✚ Gérer les ressources en eau du bassin versant
- ✚ Protéger l'environnement du bassin versant

a) *Les formules de calcul* [1]

- Longueur de cours d'eau principale (L_p)

$$L_p = \frac{A}{B} \quad (\text{II.1})$$

A : la superficie (km²)

B : la largeur moyenne du bassin versant (km)

- Longueur du rectangle équivalent (L_e)

$$L_e = \frac{K_c \times \sqrt{A}}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - (1.128/K_c)^2} \right] \quad (\text{II.2})$$

K_c : Indice de compacité de Gravelius

A : la superficie

- Largeur du rectangle équivalent (

$$l = \frac{K_c \times \sqrt{A}}{1.128} \left[1 - \sqrt{1 - (1.128/K_c)^2} \right] \quad (\text{II.3})$$

K_c : Indice de compacité de Gravelius

A : la superficie

- Indice de compacité de Gravelius (K_c)

$$K_c = \frac{0.28 \times P}{\sqrt{A}} \quad (\text{II.4})$$

P : le périmètre stylisé du bassin étudié (km)

A : la superficie (km²)

- ✚ Le bassin de Meskiana présente un indice de compacité de Gravelius de 1,46, indiquant une forme peu allongée du bassin versant.

- Dénivelée spécifique (D_s)

$$D_s = I_g \times \sqrt{A} \quad (\text{II.5})$$

I_g : Indice de pente global

A : la superficie

- Vitesse de Ruissellement (V_r)

$$V_r = \frac{L_p}{T_c} \quad (\text{II.6})$$

L_p : Longueur de cours d'eau principale

T_c : Temps de concentration

Tableau 3 : classification du relief (l'O.R.S.T.O.M)

Classe	Type de Relief	D_s (m)
1	Relief très faible	$D_s < 10$
2	Relief faible	$10 < D_s < 25$
3	Relief assez faible	$25 < D_s < 50$
4	Relief modéré	$50 < D_s < 100$
5	Relief assez fort	$100 < D_s < 250$
6	Relief fort	$250 < D_s < 500$
7	Relief très fort	$D_s > 500$

✚ L'analyse du relief du bassin de Meskiana, réalisée par l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-mer (l'O.R.S.T.O.M), classe sa dénivelée spécifique de 177m dans la catégorie 5, indiquant un relief qualifié d'assez fort.

➤ Indice de pente global (I_g)

$$I_g = \frac{D}{L_e} = \frac{|H_{95\%} - H_{5\%}|}{L_e} \quad (\text{II.7})$$

D : La dénivelée utile

L_e : Longueur du rectangle équivalent

$H_{95\%}$: Altitude $H_{95\%}$

$H_{5\%}$: Altitude $H_{5\%}$

✚ La dénivelée utile (D) est estimée, à partir de la courbe hypsométrique, par la différence des altitudes correspondant à 5 et 95% de la superficie totale du bassin versant.

- La densité de drainage (D_d)

$$D_d = \sum_{x=1}^A L_x \quad (\text{II.8})$$

L_x : la longueur totale (Km)

A : la superficie

- Coefficient de torrentialité (C_t)

$$C_t = F_1 \times D_d \quad (\text{II.9})$$

D_d : La densité de drainage

F_1 : la fréquence des drains d'ordre 1

- ✚ La fréquence des drains d'ordre 1 (F_1) c'est le rapport du nombre des drains d'ordre 1 à la superficie du bassin versant.

- Temps de concentration (T_c)

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 \times L_p}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad (\text{II.10})$$

H_{moy} : Altitude moyenne (m)

H_{min} : Altitude minimal (m)

A : la superficie

L_p : Longueur de cours d'eau principale

- Pente moyenne du bassin versant (I_{BV})

$$I_{BV} = \frac{H_{max} - H_{min}}{\sqrt{A}} \approx \frac{H_{max} - H_{min}}{L_e} \approx \frac{H_{max} - H_{min}}{L_p} \quad (\text{II.11})$$

H_{max} : Altitude maximum

H_{min} : Altitude minimal (m)

A : la superficie

L_p : Longueur de cours d'eau principale

L_e : Longueur du rectangle équivalent

➤ Coefficient d'allongement (C_a)

$$C_a = \frac{L_p^2}{A} \quad (\text{II.12})$$

L_p : Longueur de cours d'eau principale

A : la superficie

b) *Les résultats de calcul*

Tableau 4: Paramètres Géomorphologiques : du Bassin Versant oued Meskiana

Paramètres	Symbol	Unités	Valeurs
Superficie	S	km ²	1325
Périmètre	P	Km	190
Longueur de cours d'eau principale (talweg)	L_p	Km	94.40
Altitude maximal	Hmax	m	1583
Altitude moyenne	Hmoy	m	1092
Altitude minimal	Hmin	m	764
AltitudeH _{5%}	H5%	m	1342
AltitudeH _{95%}	H95%	m	963
Longueur du rectangle equivalent	L_e	Km	70
Largeur du rectangle equivalent	l	Km	17
Dénivelée spécifique	Ds	m	177
Indice de pente global	I_g	m/m	0.0049
Densité de drainage	D_d	km/km ²	0.74

Coefficient de torrencialité	C_t	/	0.36
Pente moyenne du bassin versant	I_{BV}	m/km	22.49
Indice de compacité de Gravelius	K_c	/	1.46
Temps de concentration	T_c	h	20
Coefficient d'allongement	C_a	/	6.72
Vitesse de Ruissellement	V_r	Km/h	4.72

II.2.2 Courbe hypsométrique

L'hypsométrie du bassin versant est l'étude de la répartition des altitudes. Par conséquent, l'hydrographie est fortement conditionnée par l'hypsométrie du bassin versant.

Les courbes hypsométriques représentent la répartition des altitudes en fonction du cumul de leurs surfaces topographiques amont. Ces courbes donnent une vue synthétique sur la pente du bassin versant. Elles permettent de comparer les sous-bassins versants entre eux, de préciser l'âge et le degré d'évolution de l'érosion hydrique et détermine l'état du bassin vis-à-vis son potentiel érosif. Par conséquent, elles reflètent l'état d'équilibre dynamique potentiel du bassin versant.

L'altitude au niveau du bassin versant de l'Oued Meskiana varie entre 764 m et 1583 m avec une moyenne d'environ 1092 m

Les éléments principaux du bassin versant ont été extraits de la carte topographique à une échelle de 1/200 000.

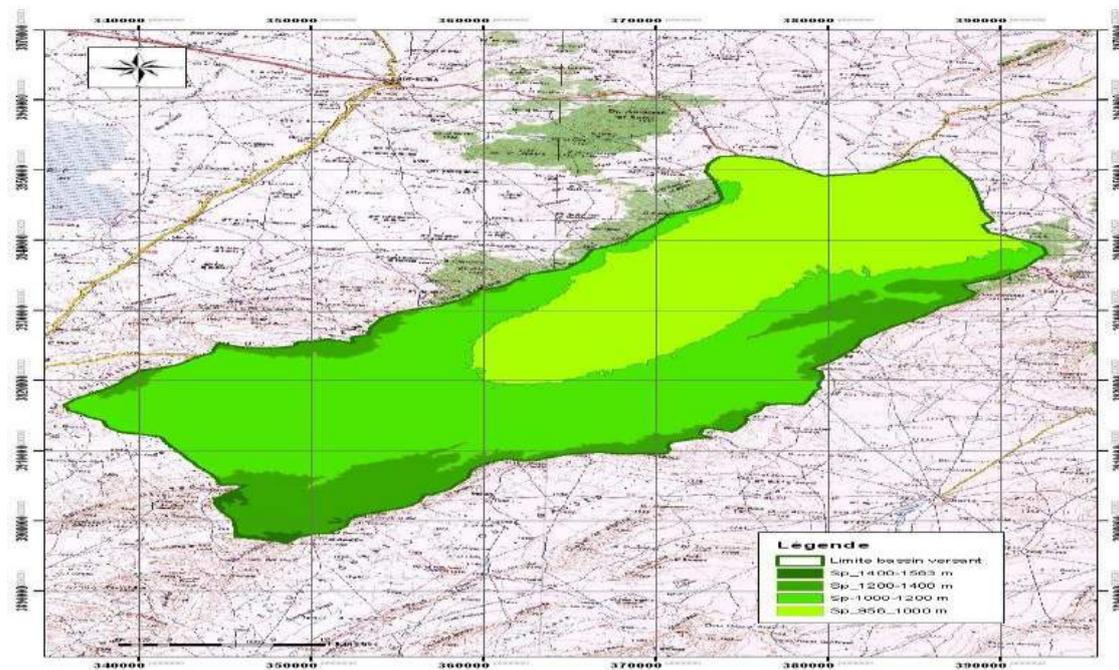


Figure 10: Hypsométrie du bassin versant de l'oued Meskiana

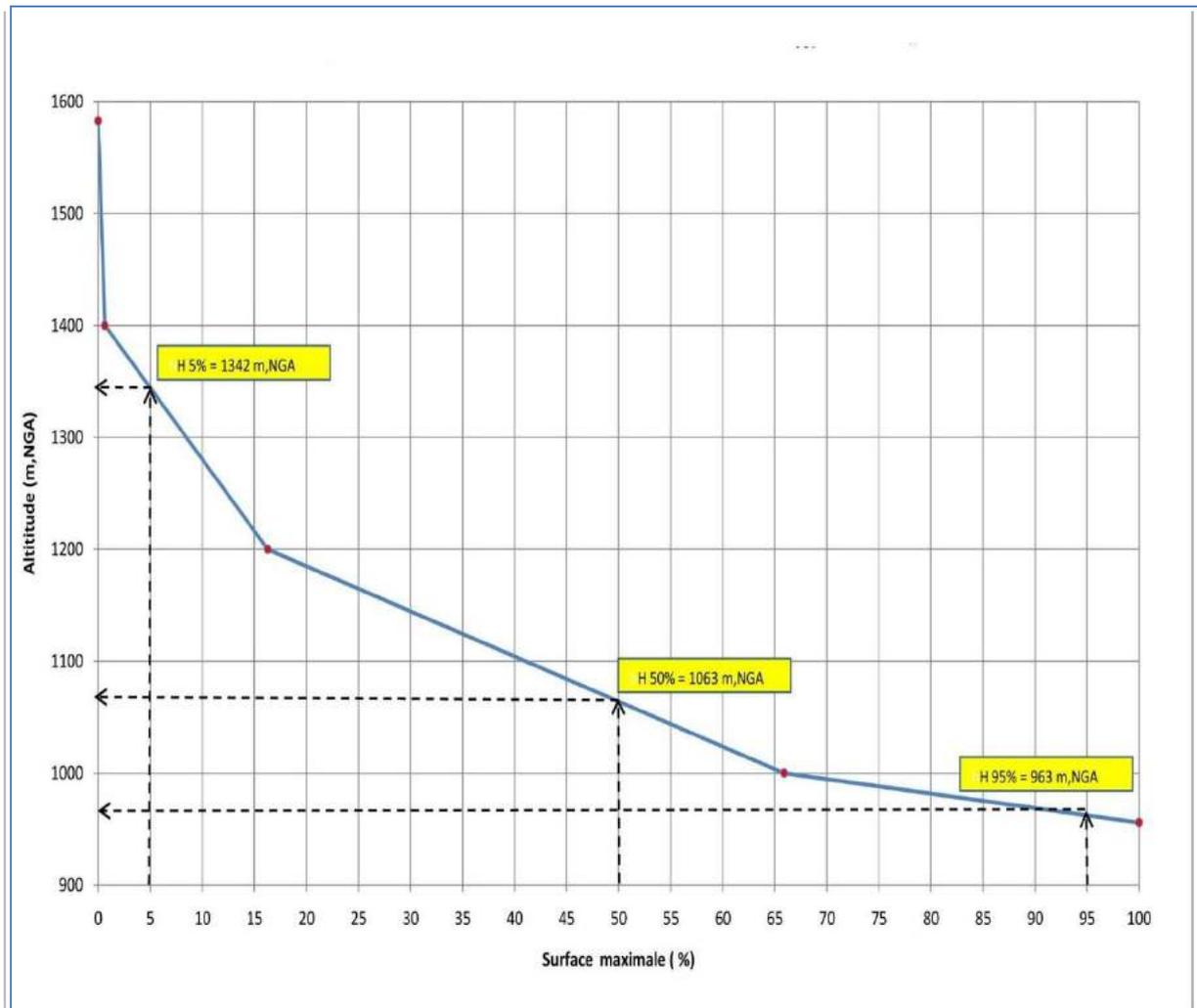


Figure 11: Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Meskiana

II.3 Caractéristiques climatiques du bassin versant du barrage de Chebatta

L'étude climatologique vise à collecter des données sur la température de l'air, l'évaporation du plan d'eau, la vitesse du vent et la répartition de la pluie mensuelle dans le site d'étude. Ces informations sont essentielles pour réaliser une étude hydrologique fiable, en permettant d'analyser la variabilité climatique et son impact sur les régimes hydrologiques du bassin versant.

II.3.1 Température de l'air

La compréhension des températures s'avère indispensable afin d'explorer le climat du Oued Meskiana. Dans cette étude, nous présentons un tableau détaillant les températures minimales, maximales et moyennes tout au long de l'année. Il est essentiel de noter que cette région se distingue par un climat continental, marqué par des hivers rigoureux et des étés chauds et arides.

- La moyenne annuelle de la température s'établit à environ 15,52 °C.

Tableau 5: Evolution des températures dans la région du projet

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Anné
Tmax	23,7	27	27,4	32,3	40,6	40,4	41,3	40,5	37,6	32,8	27	23,7	32,86
Tmoy	6,07	7,86	9,85	12,91	17,87	23,06	26,17	25,72	21,2	16,56	11,1	7,57	15,52
Tmin	-8,4	5,5	-4,7	-3,8	-0,5	5,4	8,6	8,4	5,2	-1	-3,4	-1,2	0,84

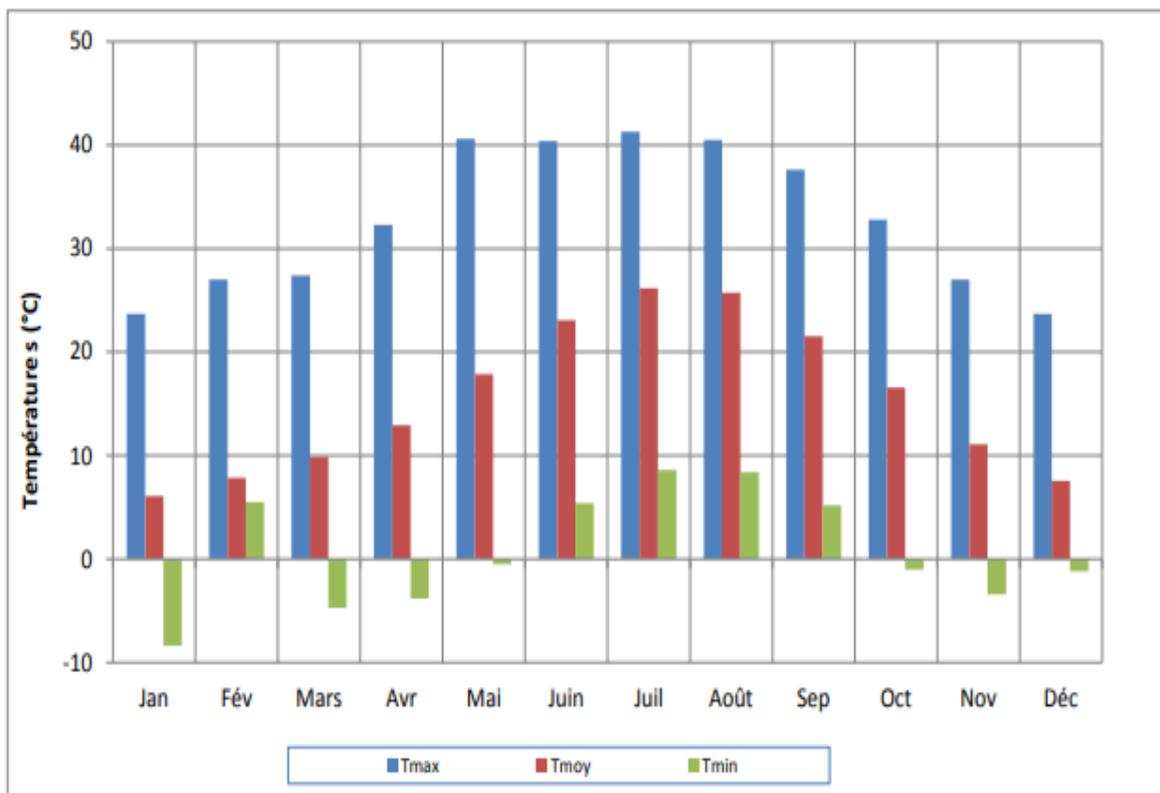


Figure 12: Répartition des Températures sous Forme d'Histogramme

II.3.2 les vents

En analysant les relevés de la station météorologique, il est observé que la vitesse du vent dans la région présente une variation allant de faible à modérée, avec une moyenne annuelle d'environ 2,4 m/s. Par ailleurs, on note la présence du Sirocco, un vent chaud soufflant du sud vers le nord, particulièrement pendant les mois de juillet et août. Les informations recueillies mettent en évidence la diversité des conditions venteuses dans la région, caractérisée par des niveaux variables de vents et l'influence saisonnière du Sirocco.

Tableau 6: Mesure du Vent Moyen (m/s)

Mois	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Jui l	Aoû t	Sept	Oc t	Nov	Dec	Année
V (km/h)	2	2	2,1	2,4	2,6	2,5	2,7	2,7	2,4	2,5	2,5	2,3	2,4

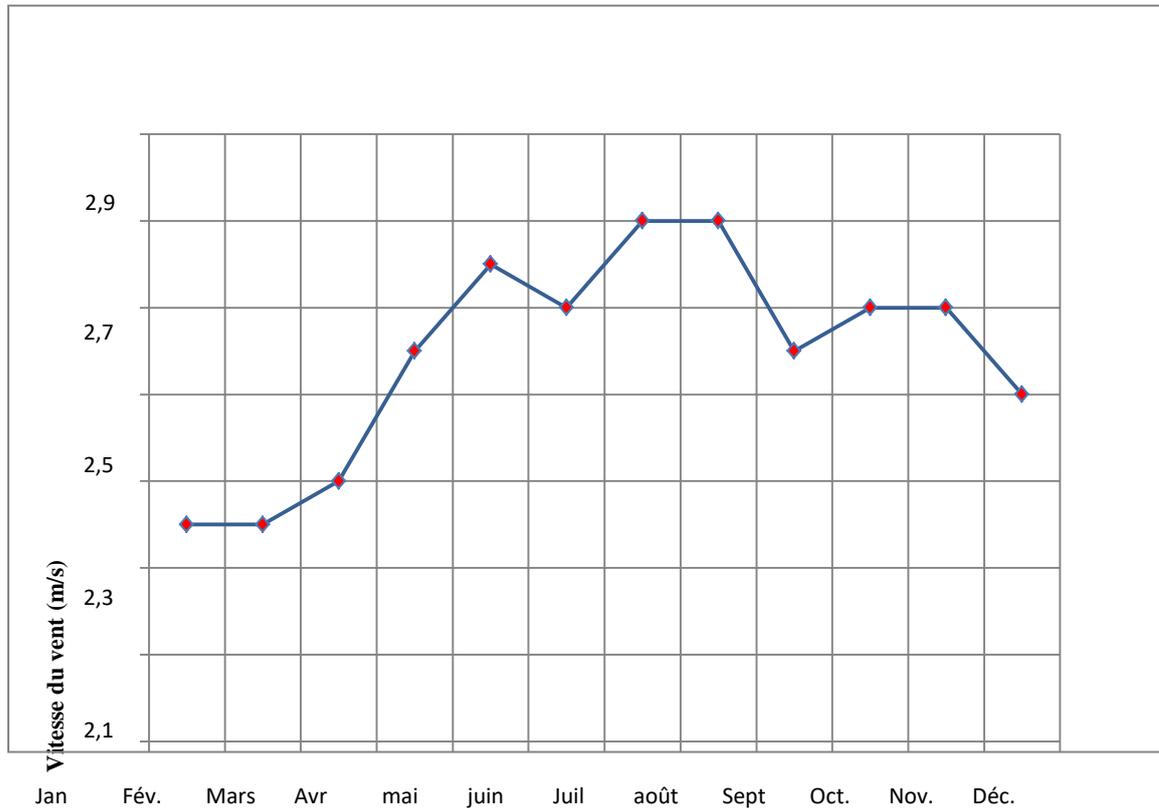


Figure 13: Variations Mensuelles de la Vitesse du Vent (m/s)

II.3.3 Humidité de l'air

À la station météorologique de Tébesa, on enregistre et compile les niveaux d'humidité relative pour trois moments distincts de la journée. Il convient de souligner que l'humidité reste relativement stable d'un mois à l'autre. Les taux d'humidité varient en moyenne, atteignant 86 % pour le maximum, 34 % pour le minimum et 59 % pour la moyenne annuelle. Il est à noter que pendant les mois de juin à août, l'humidité descend en dessous de 50 %.

Tableau 7 : Mesure de l'humidité Relative de l'air à la Station de Tébessa

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Max	91	89	90	87	84	77	97	71	83	86	90	90	86
Min	47	41	38	34	29	22	18	20	28	35	44	49	34
Moy	72	67	66	61	55	48	38	43	56	63	69	72	59

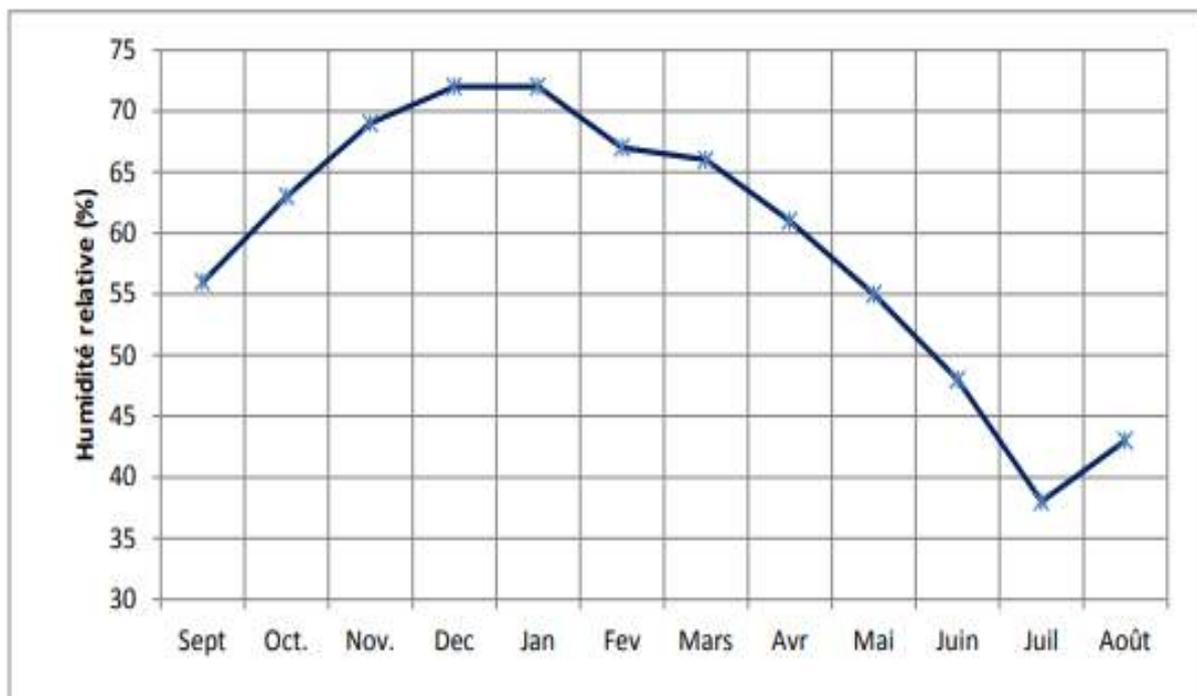


Figure 14: Humidité mensuelle (%)

II.3.4 Evapotranspiration

L'analyse des données d'évaporation du barrage de Foum El Ghiss fournit une indication précieuse pour estimer les pertes dues à l'évaporation dans le barrage de Chebabta. Des études plus approfondies et des mesures locales sont nécessaires pour obtenir une estimation plus précis

Tableau 8: Répartition mensuelle de l'évaporation au niveau du plan d'eau de Foum El Guéiss

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Année
Ev (Bac Colorado)	194	116	56	48	45	48	79	108	191	265	365	316	1821
Ev -Plan d'eau	151	90	44	37	35	37	62	84	141	207	285	246	1420

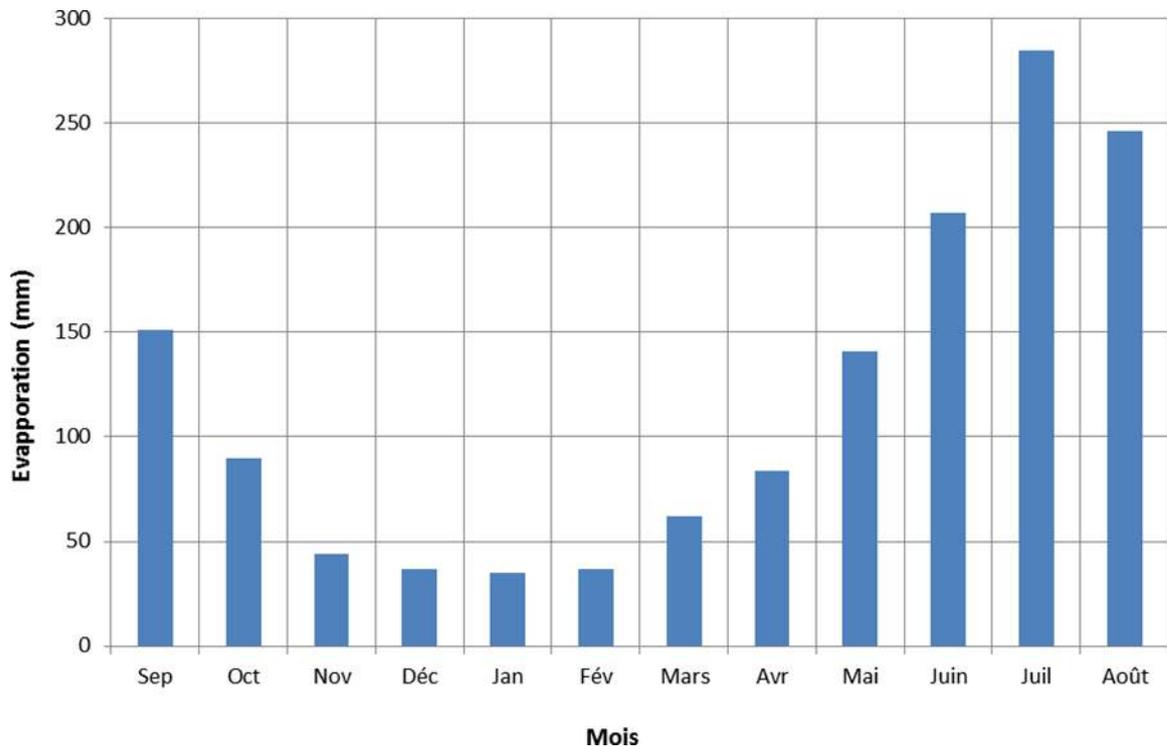


Figure 15: Evolution mensuelle de l'évaporation sur plan d'eau –Barrage Chebabta

II.3.5 Etude des précipitations

La recherche sur les précipitations est un domaine d'investigation important qui contribue à la compréhension du climat, à la gestion des ressources en eau et à la réduction des risques hydrologiques. L'amélioration des techniques de mesure, d'analyse et de modélisation des précipitations est essentielle pour faire face aux défis croissants liés à l'eau et au changement climatique.

II.3.5.1 Homogénéisation des données pluviométriques

La méthode des doubles masses est utilisée pour détecter et combler les lacunes présentes dans les séries pluviométriques de différentes stations. Cette approche est cruciale pour assurer l'homogénéité des données et corriger les variations qui pourraient fausser l'analyse climatique. En se basant sur des analyses statistiques, cette méthode permet de reconstruire des bases de données pluviométriques fiables, essentielles pour étudier l'évolution des précipitations dans une région donnée.

II.3.5.2 Pluies annuelles moyennes

II.3.5.2.1 Données disponibles

Les données pluviométriques de cette recherche ont été mises à jour jusqu'en 2012, en fonction de leur disponibilité. Les stations de Meskiana et Boukhadra, respectivement à l'intérieur et à l'aval du bassin versant, ont été actualisées. De plus, les données de la station de Delaa, en amont du bassin versant, ont été complétées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). Cependant, des lacunes dans ces données compromettent leur utilisation pour calculer les moyennes annuelles des précipitations. Seules les données des années précises seront considérées pour estimer les précipitations maximales journalières annuelles (P_{jmax}).

Tableau 9: Coordonnées et codes des stations pluviométriques (ANRH)

Stations	Code	Coordonnées Lambert		Cote	Période d'observation	Pluies Moyene annuele
		X	Y	(m,NGA)		(mm)
Meskiana	12-02-01	739,55	353,738	650	1969--2013	271,44
Ain Sedjra	12-02-03	735,03	354,58	1020	1971--1994	338,65
El Aouinet	12-04-02	967,80	297.40650	650	1974--2011	287,75
AinDelaa	12-02-02	940,85	250,40	980	1984--2011	

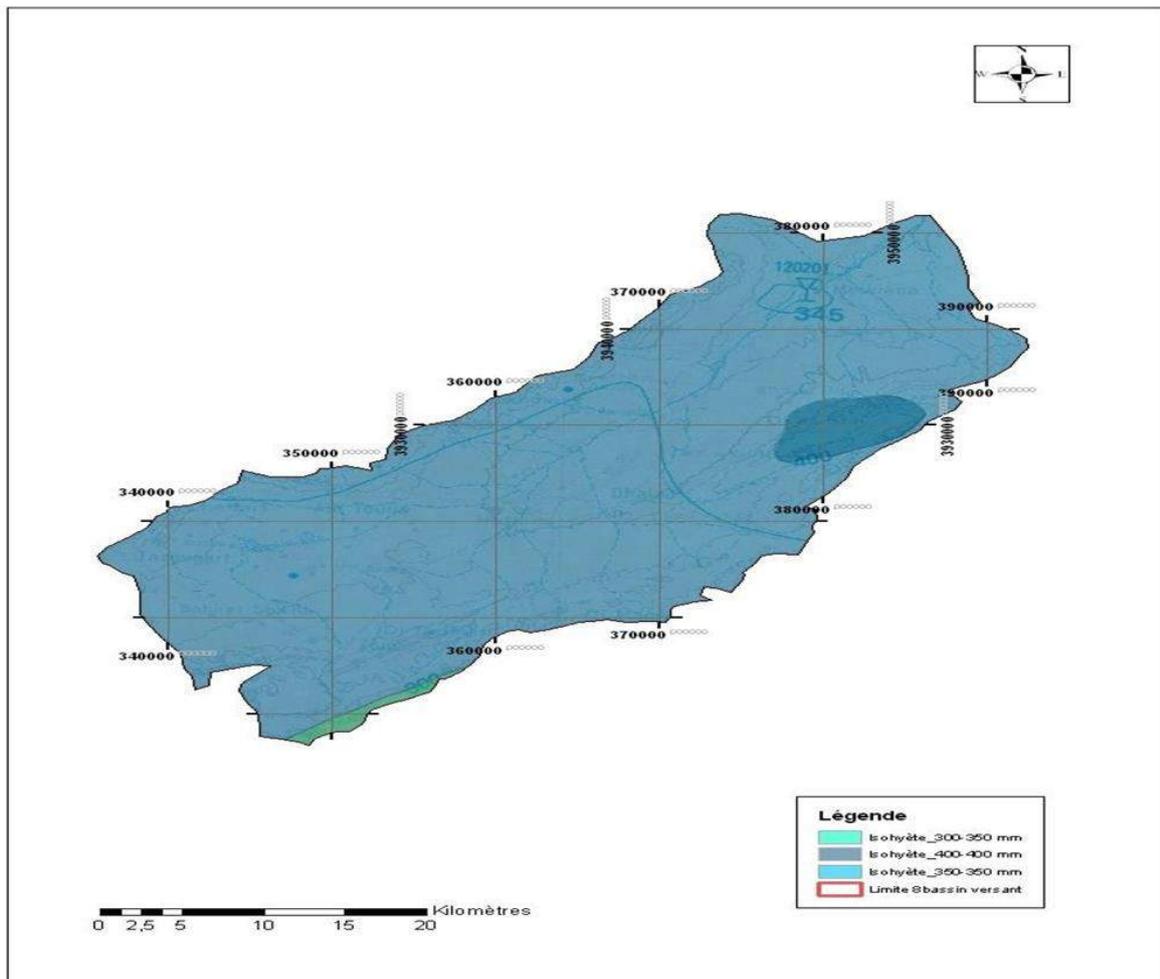


Figure 16 : Pluie annuelle moyenne BV Meskiana–Méthode des Isohyètes Carte ANRH 1993

II.3.5.2.2 Détermination de la pluie moyenne annuelle par la méthode des isohyètes

La carte de précipitations de l'ANRH de 1993 montre que le bassin d'étude se trouve dans la plage de précipitations comprise entre 300 mm et 400 mm, selon les isohyètes.

Pour déterminer la pluviométrie moyenne sur la totalité de la zone, on effectue la planimétrie de chaque surface délimitée par les isohyètes P_i et P_{i+1} , comme indiqué dans le "Tableau II.8". Cette démarche permet de calculer la moyenne des précipitations sur chaque zone délimitée par les isohyètes consécutives.

$$Pa = \frac{\sum S_i + P_i}{S} \quad (\text{II.13})$$

Avec :

P : pluie moyenne tombée sur bassin versant.

P_i : précipitation moyenne entre les isohyètes successives (mm)

S_i : surface comprise entre deux isohyètes successives (km²).

S : surface totale du bassin versant (km²).

Tableau 10: Calcul de la pluie par la méthode isohyète

Isohyète (mm)	Surface (Km ²)	(P _i +P _{i+1})/2	S*(P _i +P _{i+1})/2
300-350	1272	325	413400
350	42,6	300	12780
400	11,32	400	4528

$$S=1325,92\text{Km}^2$$

$$P_a=325$$

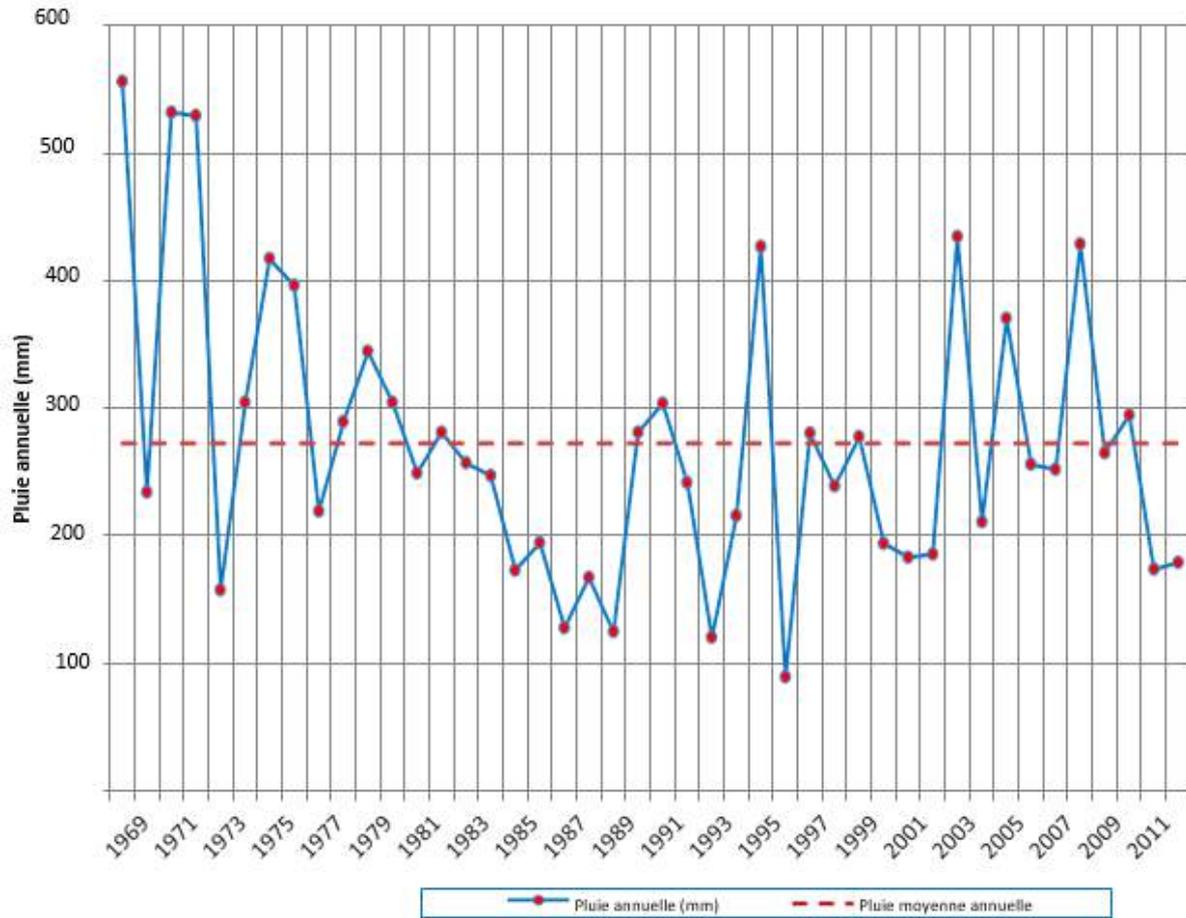


Figure 17: Analyse chronologique des précipitations annuelles à Meskiana

II.3.5.3 Pluie mensuelle

- Les données sur la pluie moyenne mensuelle sont tirées de la station de Meskiana sur la période 1969--2013.

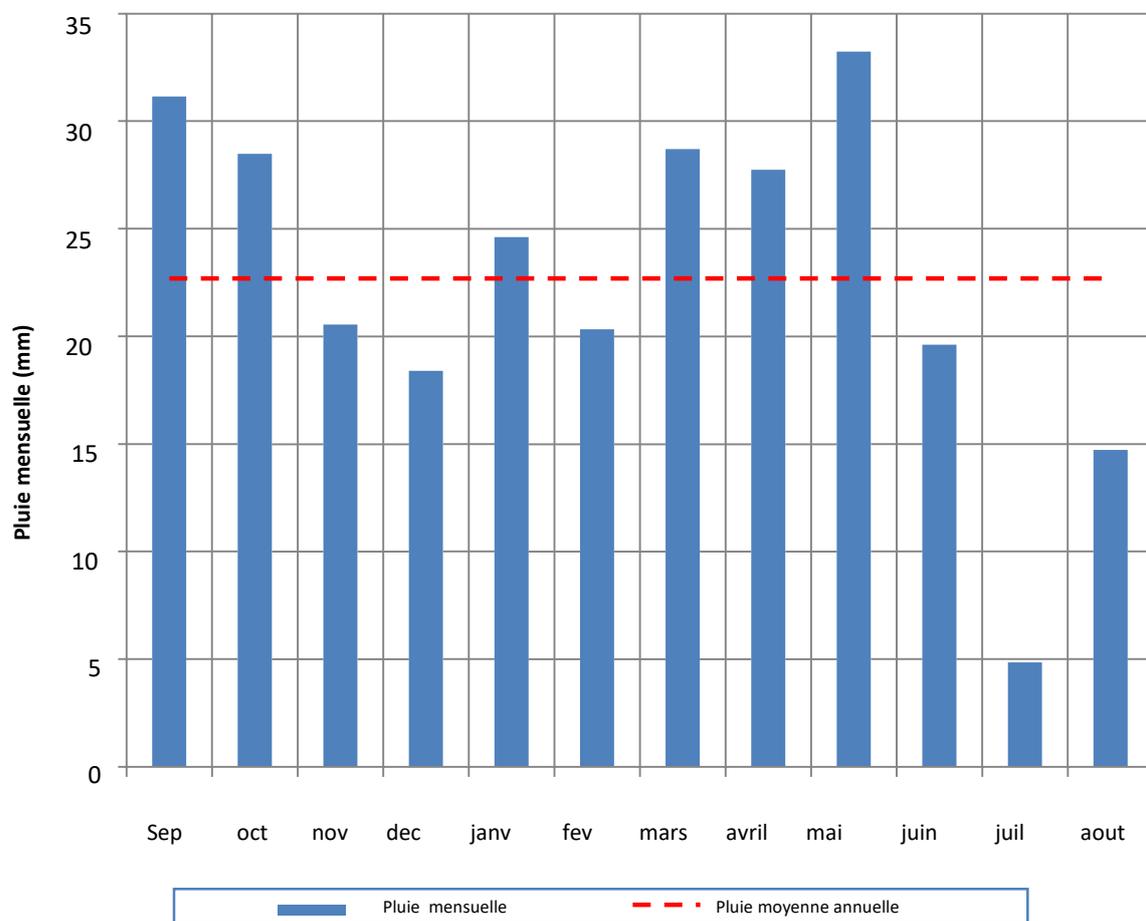
Tableau 11:Caractéristiques de la station pluviométrique de Meskiana

Station	Longitude	Latitude	Altitude(m)
Meskiana	739,55	353,738	650

- La pluie moyenne annuelle au site du barrage de Chebabta est estimée à 272.33 mm. La répartition mensuelle est consignée dans le tableau (12).

Tableau 12:Répartition mensuelle des pluies

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mrs	Avr	Mai	Jun	Jul	Aout	Année
P (%)	11.4	10.5	7.5	6.8	9	7.5	10.5	10.2	12.2	7.2	1.8	5.4	100
P (mm)	31,14	28,49	20,54	18,4	24,6	20,33	28,69	27,74	33,23	19,6	4,84	14,72	272,33

**Figure 18:** Répartition mensuelle des pluies

II.4. Ajustement des pluies maximales journalières

II.4.1. Série pluviométrique de Meskiana

Pour mener une étude climatique ou hydrologique, il est essentiel de s'appuyer sur des séries de données collectées sur des périodes variables, continues ou discontinues. L'analyse

statistique de ces séries requiert une homogénéité de leurs composantes. Ainsi, il est primordial de contrôler la qualité des variables pluviométriques en utilisant des outils statistiques et graphiques afin de minimiser les erreurs systématiques qui pourraient les altérer. [2]

A l'échelle du bassin versant de l'Oued Meskiana, la station de référence (Meskiana), a été choisie (Une série de 44 ans : 1969 – 2012) pour la raison de sa continuité .

Tableau 13:Série pluviométrique de la station de Meskiana

Année	Pjmax (mm)	Année	Pjmax (mm)
1969	173.8	1989	44
1970	60.5	1990	56.9
1971	100.5	1991	69.8
1972	108.9	1992	64
1973	40	1993	24.5
1974	68.2	1994	74.9
1975	62.22	1995	98.7
1976	66.81	1996	33.5
1977	45.74	1997	65.7
1978	85.51	1998	88
1979	72.1	1999	97.1
1980	56.6	2000	49
1981	83	2001	87.2
1982	53.3	2002	52.9
1983	96.6	2003	92.6
1984	69.6	2004	80.3
1985	75.4	2005	120.6
1986	62.6	2006	61.8
1987	40.2	2007	66.3
1988	49.9	2008	86.5

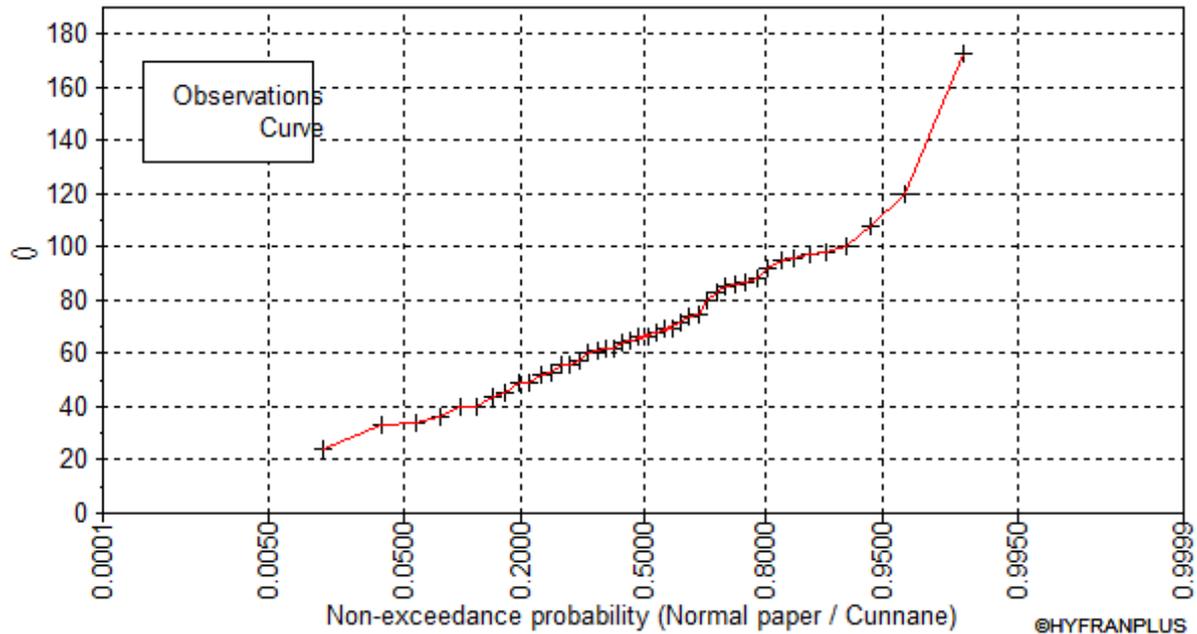


Figure 19: Graphe de précipitation de la station de Meskian

Tableau 14:Caractéristiques la série pluviométrique

Caractéristiques de la série	Valeurs
Nombre d'observation	44
Minimum	24
Maximum	173
Moyenne	70,2
Ecart-type	27,1
Médian	66
Coefficient de variation [Cv]	0,4
Coefficient d'asymétrie [Cs]	1,25
Coefficient d'aplatissement [Ck]	5,7

II.4.1.1 Le choix de la loi d'ajustement

Le choix de la loi d'ajustement pour un barrage dépend de divers facteurs, tels que la nature des données hydrologiques disponibles, les caractéristiques du site du barrage, et les objectifs de l'analyse. Ont utilisé respectivement l'ajustement de la loi Lognormal et de la loi Gumbel pour modéliser les apports en eau et les précipitations [5]. La loi Lognormal est souvent utilisée pour modéliser des données qui résultent de la multiplication de facteurs indépendants, tandis que la loi Gumbel est couramment employée pour modéliser les extrêmes, comme les crues ou les précipitations maximales. Le choix de la loi d'ajustement dépendra donc de la nature des

données observées et des phénomènes hydrologiques étudiés pour garantir une modélisation précise et adaptée aux caractéristiques du barrage en question.

II.4.2 L'ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel [3]

La fonction de répartition de cette loi est à double exponentielle et peut être exprimée par la formule suivante :

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \quad (\text{II.14})$$

(x) : Fréquence au non-dépassement de la valeur de x ;

y : Est la variable réduite de Gumbel, elle est exprimée par la formule suivante :

$$y = a(x - x_0) \quad (\text{II.15})$$

Les coefficients d'ajustement de cette loi sont représentés par "a" et "x0".

Le paramètre "x0" correspond au mode, qui est un paramètre de position, tandis que le paramètre "a" correspond à l'échelle et est différent de zéro et positif.

Le processus d'ajustement implique plusieurs étapes, notamment :

- ✚ Classer les valeurs par ordre croissant et leur attribuer un numéro d'ordre (ou rang)
- ✚ Calculer les caractéristiques empiriques de la série
- ✚ Pour chaque valeur observée, on calcule la variable de Gumbel selon la formule suivante:

$$y = -\ln(-\ln(F(x))) \quad (\text{II.16})$$

Dans le cadre de l'ajustement des pluies maximales journalières, il est nécessaire de Calculer le coefficient de corrélation entre ces valeurs et la variable de Gumbel. Pour cela, on peut utiliser la formule suivante :

$$r(X, Y) = \frac{\sum_1^n (X_i - X_{moy})(Y_i - Y_{moy})}{\sum_1^n \sqrt{(X_i - X_{moy})^2 (Y_i - Y_{moy})^2}} \quad (\text{II.17})$$

Avec :

$$X_{moy} = \frac{\sum_1^n (X_i)}{n} \quad (\text{II.18})$$

$$Y_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i)}{n} \quad (\text{II.19})$$

Le coefficient de corrélation est calculé en utilisant la formule suivante

$$C_V = \frac{\sigma_Y}{Y_{moy}} \quad (\text{II.20})$$

Les formules suivantes sont utilisées pour calculer les écarts-types, σ_X et σ_Y .

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (X_i - X_{moy})^2}{n-1}} \quad (\text{II.21})$$

$$\sigma_Y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (Y_i - Y_{moy})^2}{n-1}} \quad (\text{II.22})$$

La formule suivant correspond à l'équation de la droite de Gumbel qui doit être tracée:

$$X = \frac{1}{a} Y + X_0 \quad (\text{II.23})$$

Avec :

$$\frac{1}{a} = \sqrt{6\pi} \times \sigma_x \quad (\text{II.24})$$

$$X_0 = X_{moy} - 1 \times a \times Y_{moy} \quad (\text{II.25})$$

Il est essentiel de calculer les bornes X_1 et X_2 de l'intervalle de confiance à un niveau de confiance de $\alpha\%$. Cela garantit que la probabilité $P(X_1) \leq P(u) \leq P(X_2)$ soit égale à α . Les équations suivantes permettent d'exprimer $P(X_1)$ et $P(X_2)$.

$$P(X_1) = P(u) - h_1 \sigma \quad (\text{II.26})$$

$$P(X_2) = P(u) - h_2 \sigma \quad (\text{II.27})$$

$P(u)$: valeur théorique calculée par Gumbel

$P(X_1)$, $P(X_2)$: Borne inférieure et borne supérieure de l'intervalle de confiance

h_1 et h_2 : sont des paramètres dépendant de la taille de la série "n", de la fréquence et de la valeur de α , ils sont donnés par les formules (II.28) et (II.29) développée par CTGREF 1978 (Centre Technique de Génie Rural des Eaux et des Forêts)

$$h1 = \frac{\frac{Z_a}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + 1,396 \times K_i \times 1,1 \times Z_a^2} + \frac{Z_a^2}{n} \times 1,1 \times K_i + Y_{moy}}{1 - \frac{1,1 \times Z_a^2}{n}} \quad (\text{II.28})$$

$$h2 = \frac{\frac{Z_a}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + 1,396 \times K_i \times 1,1 \times K_i^2} - \frac{Z_a^2}{n} \times 1,1 \times K_i + Y_{moy}}{1 - \frac{1,1 \times Z_a^2}{n}} \quad (\text{II.29})$$

Za : la variable réduite de Gauss correspondant à la fréquence au non-dépassement

ki : la variable réduite de Gumbel correspondant à la fréquence au non-dépassement

a) Paramètres d'ajustement de la loi de Gumbel

Le tableau suivant présente les valeurs des paramètres obtenus par l'ajustement des données à la loi de Gumbel en utilisant la méthode des moments.

Tableau 15: les résultats d'ajustement avec loi Gumbel.

Période de retour	Fréquence	Valeurs théoriques	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
10000.0	0.9999	253	31.3	192 - 314
2000.0	0.9995	219	25.9	168 - 270
1000.0	0.9990	204	23.6	158 - 250
200.0	0.9950	170	18.3	134 - 206
100.0	0.9900	155	16.1	124 - 187
50.0	0.9800	141	13.8	114 - 168
20.0	0.9500	121	10.8	99.7 - 142
10.0	0.9000	106	8.54	88.9 - 122
5.0	0.8000	89.7	6.32	77.3 - 102
3.0	0.6667	77.1	4.77	67.7 - 86.4
2.0	0.5000	65.7	3.75	58.4 - 73.1
1.4286	0.3000	54.1	3.45	47.3 - 60.8
1.2500	0.2000	47.9	3.67	40.7 - 55.1
1.1111	0.1000	40.3	4.25	32.0 - 48.7
1.0526	0.0500	34.8	4.82	25.3 - 44.2

1.0204	0.0200	29.1	5.48	18.4 - 39.9
1.0101	0.0100	25.7	5.92	14.1 - 37.3
1.0050	0.0050	22.7	6.30	10.4 - 35.1
1.0010	0.0010	17.1	7.06	3.26 - 31.0
1.0005	0.0005	15.1	7.35	0.681 - 29.5
1.0001	0.0001	11.0	7.92	-4.51 - 26.5

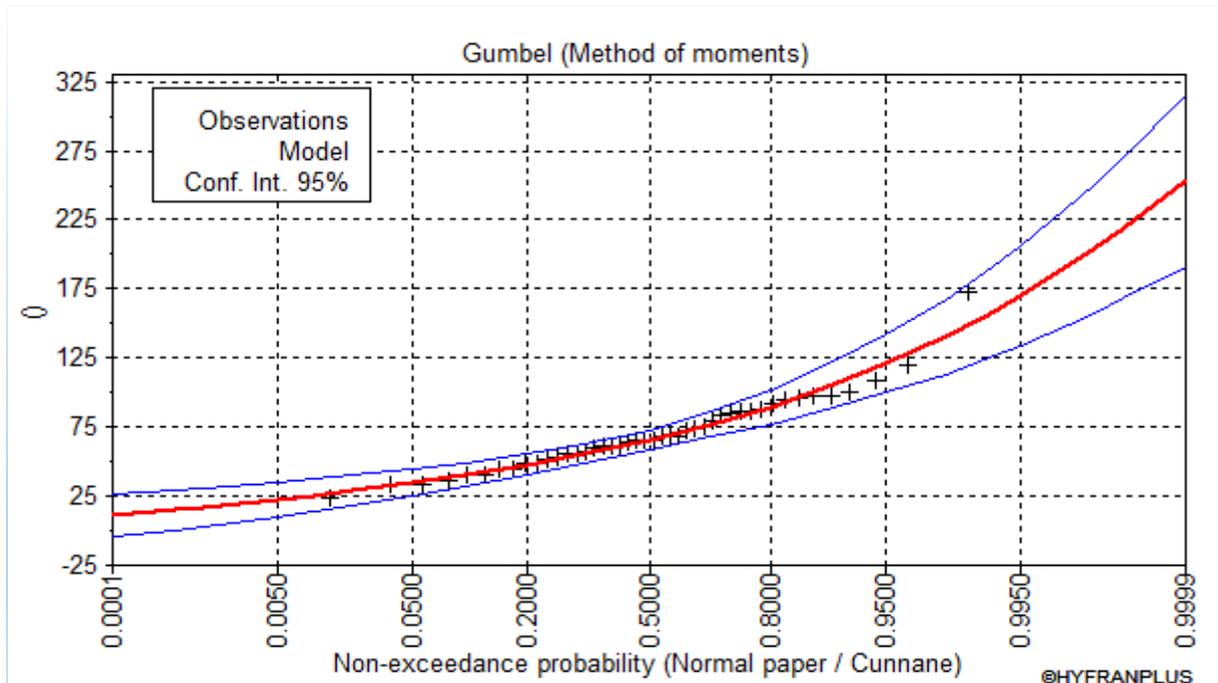


Figure 20: Graphe d’ajustement à loi de Gumbel

➤ **Test d’homogénéité**

Test d’adéquation : Loi Gumbel (méthode des moments)

➤ Hypothèse :

H0 : l’échantillon provient d’une Loi Gumbel

H1 : l’échantillon ne provient pas d’une Loi Gumbel

➤ Résultats :

Résultats de statistique : $\text{Khi}^2 = 3.86$

P-value : $p = 0.6951$

Degré de liberté : 6

Nombre de classes : 9

➤ **Conclusion :**

Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5%.

II.4.3. L'ajustement de la série pluviométrique à la loi de Log normal [4]

L'ajustement de GAUSS se faisant sur les valeurs moyennes, nous l'avons utilisé pour la détermination des pluies annuelles moyennes de période de retour 5, 10, 20, 50 et 100 ans. Les données sont d'abord classées par ordre croissant et les rangs attribués par la suite.

➤ La fréquence expérimentale de Hazen est celle utilisée et est exprimée par :

$$f(x) = \frac{r}{n} \quad (II.30)$$

n : nombre des échantillons

r : le rang

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{1}{2}u^2} du \quad (II.31)$$

➤ La variable "u" est donné par la formule

$$U = \frac{\ln(x) - \ln(\bar{x})}{\sigma \times \ln(x)} \quad (II.32)$$

$\ln(x)$: Moyenne arithmétique de la série des valeurs initiales transformées en logarithme

σ : Écart type de la série transformée en logarithme

❖ Paramètres d'ajustement de la loi de Log normal

Le tableau suivant présente les valeurs des paramètres obtenus par l'ajustement des données à la loi de Log normal

Tableau 16: les résultats d'ajustement avec loi Log normal

Période de retour	Fréquence	Valeurs théoriques	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
10000.0	0.9999	272	44.7	185 - 360
2000.0	0.9995	231	34.1	164 - 298
1000.0	0.9990	214	30.0	155 - 273
200.0	0.9950	176	21.3	134 - 217
100.0	0.9900	160	17.9	125 - 195
50.0	0.9800	144	14.8	115 - 173
20.0	0.9500	123	11.0	101 - 144
10.0	0.9000	107	8.39	90.5 - 123
5.0	0.8000	90.4	6.09	78.4 - 102
3.0	0.6667	77.2	4.67	68.0 - 86.3
2.0	0.5000	65.5	3.78	58.0 - 72.9
1.4286	0.3000	53.5	3.30	47.1 - 60.0
1.2500	0.2000	47.4	3.20	41.1 - 53.7
1.1111	0.1000	40.0	3.14	33.9 - 46.2
1.0526	0.0500	34.8	3.11	28.7 - 40.9
1.0204	0.0200	29.8	3.06	23.8 - 35.8
1.0101	0.0100	26.8	3.01	20.9 - 32.7
1.0050	0.0050	24.4	2.95	18.6 - 30.2
1.0010	0.0010	20.0	2.81	14.5 - 25.5
1.0005	0.0005	18.5	2.74	13.2 - 23.9
1.0001	0.0001	15.7	2.58	10.7 - 20.8

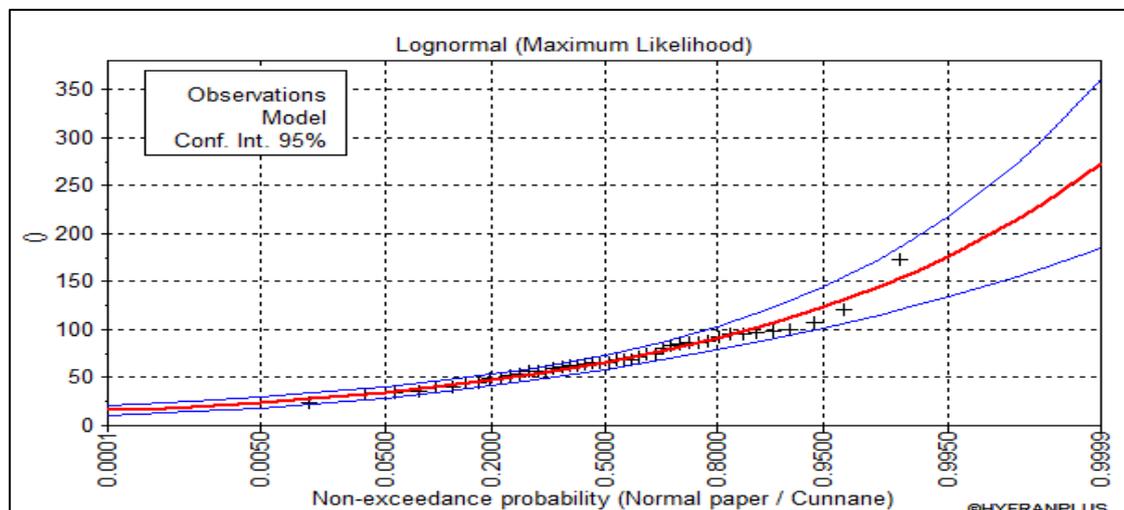


Figure 21: Graphe d'ajustement à loi de Log normal**❖ Test d'homogénéité**

Test d'adéquation : Loi Gumbel (méthode des moments)

➤ Hypothèse :

H0: l'échantillon provient d'une Loi Gumbel

H1: l'échantillon ne provient pas d'une Loi Gumbel

➤ Résultats :

Résultats de statistique : $\text{Khi}^2 = 2.62$

p-value: $p = 0.144$

➤ Conclusion :

Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5%.

II.5. Conclusion

L'étude hydrologique de l'oued Meskiana a permis de déterminer les caractéristiques principales et les dynamiques du bassin versant.

- ✚ Nous avons identifié un indice de compacité de Gravelius qui suggère une forme relativement compacte du bassin, ce qui influence directement le comportement hydrologique, notamment les temps de réponse à des événements pluvieux.
- ✚ La dénivelée spécifique observée indique également un relief assez fort, relevant des défis pour la gestion des eaux de surface et la prévention de l'érosion.
- ✚ Sur le plan climatique, nos analyses montrent une forte variabilité saisonnière avec des hivers rigoureux et des étés chauds et secs, soulignant la nécessité d'une gestion adaptative des ressources en eau pour faire face aux fluctuations extrêmes.
- ✚ Les résultats obtenus de l'ajustement des données pluviométriques montrent une variabilité significative des précipitations, qui doit être intégrée dans la planification des infrastructures hydrauliques pour prévenir les risques d'inondations et de sécheresses.

Chapitre III
Partie d'Aménagement
Hydraulique

III.1 Introduction

Le barrage de Chebabta est un barrage à noyau béton et enrochements (CFRD) situé dans le nord-est de l'Algérie, sur la rivière Meskiana. Le barrage fait partie d'un projet de gestion de l'eau plus vaste qui vise à réguler le débit de la rivière, à fournir de l'eau potable et d'irrigation et à produire de l'hydroélectricité.

Le barrage mesure 40,5 mètres de haut et 500 mètres de long, avec un volume total de béton d'environ 370 000 mètres cubes. Il possède deux ailes en terre battue, une de chaque côté du barrage principal, qui s'étendent sur un total de 2 190 mètres. Le réservoir créé par le barrage a une capacité de 66,61 millions de mètres cubes.

La construction du barrage a débuté en 2014 et devrait s'achever en 2025. Le projet est financé par le gouvernement algérien et la Banque européenne d'investissement.

III.2. Description de l'ouvrage

III.2.1. Barrage en BCR et ailes en remblais

L'oued Meskiana, affluent de l'oued Mellegue qui se jette à son tour dans l'oued Medjerda en Tunisie, traverse une vaste plaine alluviale située entre 760 et 900 mètres d'altitude.

La topographie plate de la région, avec ses pentes douces, a contraint le choix du site de construction du barrage.

Le seul resserrement notable de la vallée se trouve au niveau de bancs calcaires sur les deux rives, créant un verrou d'environ 3,5 km de large.

Un col culminant à 804 mètres d'altitude sur la rive droite définit la hauteur maximale économiquement viable du barrage.

L'ouvrage principal est un barrage en béton compact au rouleau (BCR) de 40,5 mètres de hauteur sur fondation et de 500 mètres de longueur.

Un déversoir occupe presque toute la longueur du barrage (466,5 mètres).

Le barrage sera fondé sur un substratum sain et peu fracturé constitué d'une alternance de marnes et de calcaires.

Les fouilles atteindront une profondeur de 5 à 15 mètres. Des injections de consolidation systématiques seront réalisées sous le barrage jusqu'à une profondeur de 6 mètres, complétées par un voile d'injection descendant sur un linéaire de 30 mètres de profondeur maximale.

Les ailes en remblais du barrage, situées en rive droite et en rive gauche, ont pour fonction d'étendre l'ouvrage principal en béton compact au rouleau (BCR).

Elles sont constituées d'un remblai homogène ou pseudo-zone, composé d'alluvions limoneux-argileuses abondantes dans la cuvette du barrage.

Ce type de construction ne nécessite pas de filtres de séparation entre les matériaux, mais répartit les granulométries et les taux d'humidité en fonction de leur position dans le remblai. Les matériaux les plus fins sont prioritairement placés dans le pseudo-noyau, tandis que les matériaux plus granulaires sont utilisés pour les recharges.

L'aile en remblai de rive gauche s'étend sur une longueur d'environ 560 mètres et atteint une hauteur maximale de 31 mètres sur fondation.

Celle de rive droite est plus longue (environ 1 630 mètres) et plus haute (jusqu'à 37 mètres sur fondation).

La liaison entre les ailes en remblais et le barrage en BCR est assurée par des murs bajoyers triangulaires. Ces murs présentent une pente de 0,6H/1V côté remblai afin de faciliter l'encastrement du pseudo-noyau argileux.

Avant la construction des ailes en remblais, le substratum sain et peu fracturé, constitué d'une alternance de marnes et de calcaires, a été excavé sur une profondeur de 5 à 15 mètres.

Des injections de consolidation systématiques ont été réalisées sous l'emprise du barrage jusqu'à une profondeur de 6 mètres, complétées par un voile d'injection descendant sur une profondeur maximale de 30 mètres.

Les ailes en remblais, situées en rive gauche et en rive droite du barrage, prolongent l'ouvrage principal en béton compact au rouleau (BCR).

Elles sont constituées d'un remblai homogène ou pseudo-zone, composé d'alluvions limoneux-argileuses abondantes dans la cuvette du barrage.

Ce type de construction ne nécessite pas de filtres de séparation entre les matériaux, mais répartit les granulométries et les taux d'humidité en fonction de leur position dans le remblai. Les matériaux les plus fins sont prioritairement placés dans le pseudo-noyau, tandis que les matériaux plus granulaires sont utilisés pour les recharges.

L'aile en remblai de rive gauche s'étend sur une longueur d'environ 560 mètres et atteint une hauteur maximale de 31 mètres sur fondation.

Celle de rive droite est plus longue (environ 1 630 mètres) et plus haute (jusqu'à 37 mètres sur fondation).

La liaison entre les ailes en remblais et le barrage en BCR est assurée par des murs bajoyers triangulaires.

Ces murs présentent une pente de 0,6H/1V côté remblai afin de faciliter l'encastrement du pseudo-noyau argileux.

L'ensemble des ouvrages de fermeture, comprenant le barrage en BCR et les ailes en remblais, permet la création d'un réservoir d'une capacité de 66,61 millions de mètres cubes sous la cote 802 NGA de retenue normale (RN).

Le volume global de béton du barrage est estimé à environ 450 000 m³. Le volume global des ailes en remblais est de l'ordre de 3 301 000 m³, dont 2 888 800 m³ de remblais alluvionnaires.

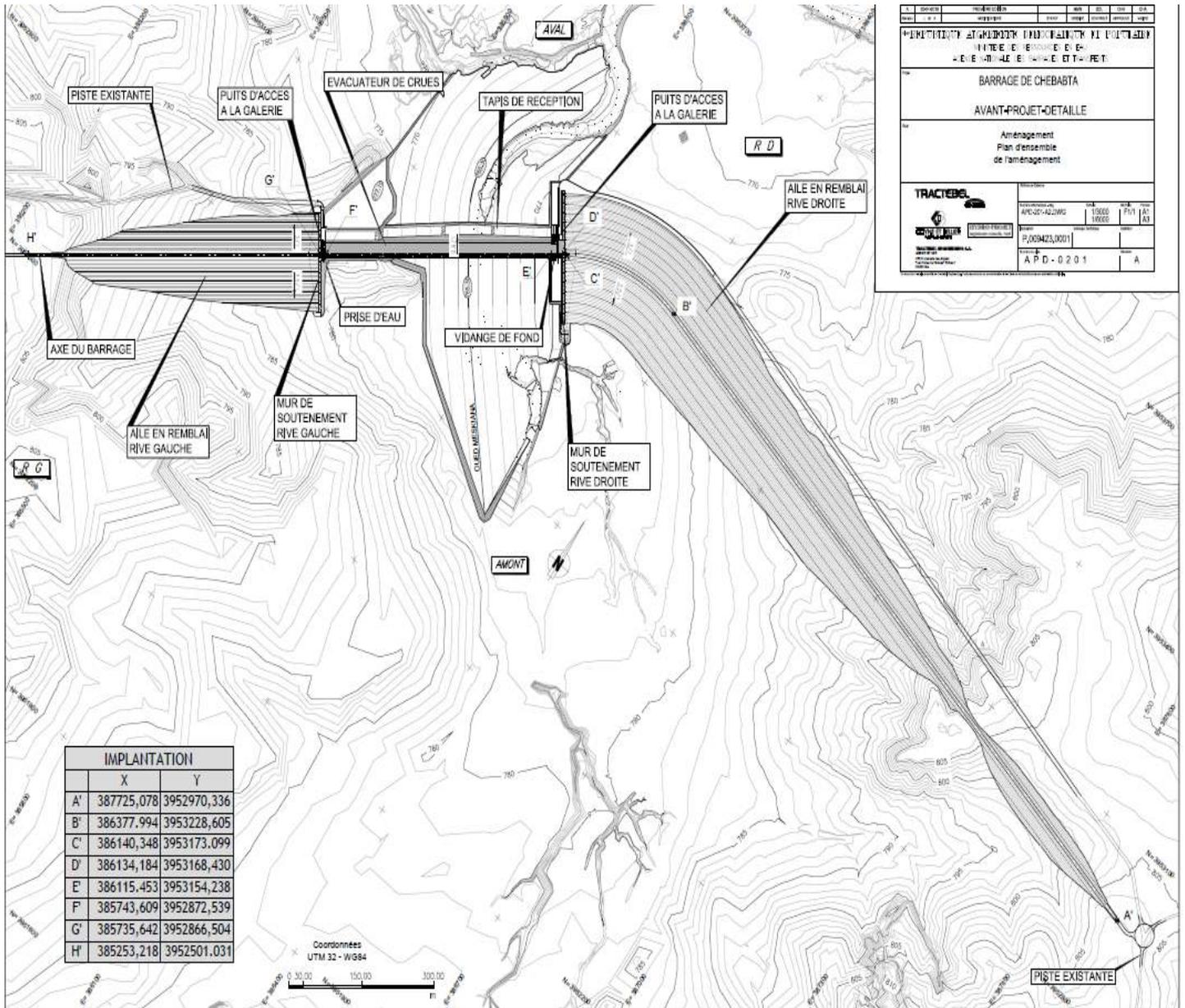


Figure 22: Implontation du barrage

III.2.2. Dérivation provisoire

Les études hydrologiques ont révélé des débits de pointe importants pendant la phase de construction du barrage. Pour faire face à ces crues, il a été décidé de laisser l'oued Meskiana suivre son cours naturel dans la première phase des travaux.

Deux pertuis de dérivation provisoires seront aménagés au pied de la rive droite, protégés par des batardeaux. Ces pertuis permettront de dévier les eaux de l'oued pendant la seconde phase des travaux, afin de réaliser les fouilles et la mise en place du barrage en béton compact au rouleau (BCR) dans la partie centrale de la vallée et en rive gauche.

En phase finale, l'un des pertuis provisoires sera bouché et l'autre sera équipé d'une vidange de fond. Cette vidange permettra de réguler le débit de l'oued en cas de crue, avec un débit maximal de 90 m³/s pour un plan d'eau amont à la cote de Retenue Normale.

III.2.3 Ouvrage de prise d'eau

L'ouvrage de prise d'eau étagée est constitué de l'amont vers l'aval d'une tour de prise verticale aménagée sur le parement amont du barrage. En rive gauche, et équipée de trois prises étagées aux cotes 790, 792 et 794 NGA, d'une conduite unique 1500 mm traversant le corps du barrage, dont l'axe est situé à la cote 781,75 m NGA.

Le débit d'équipement de la prise d'eau est de 3,5 m³/s permettant de fournir durant les mois de juillet les volumes nécessaires

III.2.4 Evacuateur de crues

Dans le cadre spécifique du barrage de Chebabta, la décision a été prise de consacrer la plus grande longueur disponible du barrage central en BCR à l'installation de l'évacuateur de crues. Cette disposition s'explique par l'agencement des ouvrages annexes aux extrémités du barrage, ce qui laisse une longueur déversant disponible de 466,5 mètres linéaires.

Au niveau du parement aval du barrage, un coursier en marches d'escalier a été aménagé directement. De plus, pour assurer une restitution correcte des débits dans le lit naturel de l'oued, un ouvrage de dissipation a été mis en place au pied aval de la digue. Cette structure est constituée d'une dalle généralisée en béton armé, ancrée au substratum rocheux, et mesure 1,80 m d'épaisseur sur 20 m de longueur.

III.3. Description Détaillée de l'aménagement

III.3.1. Implantation du barrage

Le site de Chebabta : un lieu stratégique dans le nord-est de l'Algérie Niché dans la wilaya d'Oum El Bouaghi, dans le nord-est de l'Algérie, le site de Chebabta se situe à une dizaine de kilomètres au nord de la ville de Meskiana.

Son emplacement stratégique en fait un lieu d'intérêt particulier pour les projets d'aménagement hydraulique.

Pour s'y rendre, il suffit de suivre la route CW10 reliant Meskiana à El Aouinet depuis Meskiana. Au niveau du lieu-dit Ain Araba, une piste carrossable sur la droite mène directement au site.

Les coordonnées géographiques précises du site, exprimées en fuseau UTM 32S, sont les suivantes :

- $X = 385\,943,5$ m
- $Y = 3953\,061,9$ m
- $Z = 776,08$ m

La topographie du site est marquée par la présence de bancs calcaires du Turonien sur les deux rives de l'oued, créant un verrou naturel. Ce resserrement notable de la vallée constitue un atout majeur pour la construction d'un barrage.

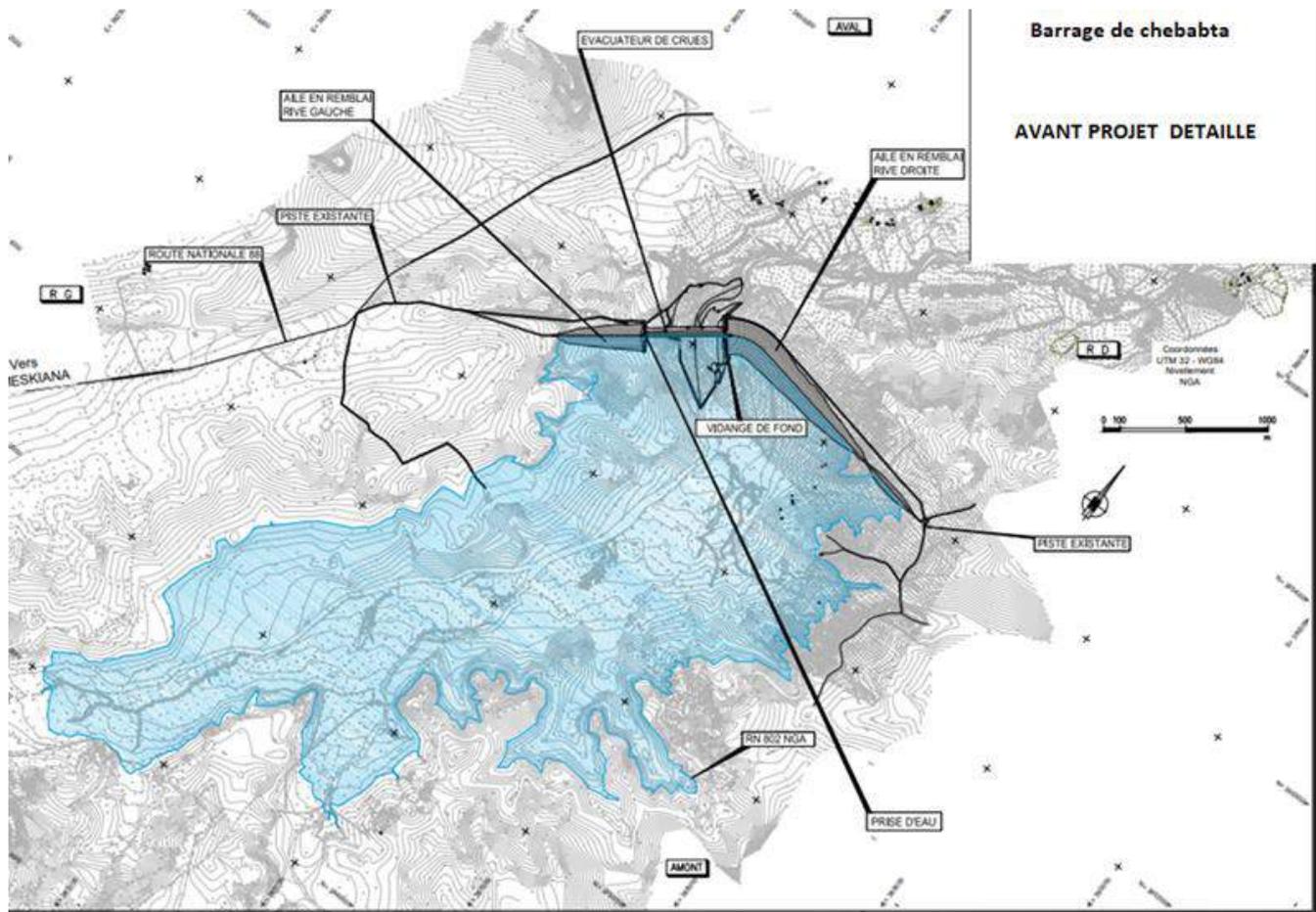


Figure 23: Barrage de Chebabta

III.3.2. Principales fonctions et performances de l'aménagement

III.3.2.1 Principales fonctions et performances de l'aménagement

Un barrage en béton compacté au rouleau (BCR) constitue l'ouvrage de fermeture principal. Il culmine à 40,5 mètres de haut au-dessus de ses fondations, tandis que la crête des sections non déversantes du barrage atteint la cote 807 mètres NGA.

De part et d'autre du barrage, des remblais homogènes s'étendent pour former des ailes. L'aile de rive droite, d'une longueur d'environ 1 630 mètres, s'élève jusqu'à 37 mètres au-dessus de ses fondations. Quant à l'aile de rive gauche, elle s'allonge sur 560 mètres environ et atteint une hauteur maximale de 31 mètres au-dessus de ses fondations.

Des murs bajoyers en BCR, de forme triangulaire, assurent la liaison entre les ailes en remblais et le barrage principal. Leur pente côté remblai est de $0,6H/1V$, garantissant un support adéquat au pseudo-noyau argileux.

L'ensemble de ces ouvrages de fermeture permet la création d'un réservoir amont d'une capacité de 66,61 millions de mètres cubes, avec une retenue normale (RN) fixée à la cote 802 mètres NGF.

III.3.3. Fonction de l'ouvrage

L'aménagement de Chebabta vise principalement à réguler une partie des crues de l'oued Meskiana. Cette régulation permettra de fournir de l'eau pour les besoins domestiques et industriels, ainsi que pour l'irrigation agricole.

Les différents ouvrages du barrage doivent remplir les fonctions essentielles suivantes :

- ✚ Stocker et régulariser les apports annuels de l'oued Meskiana grâce à la création d'une retenue d'eau.
- ✚ Permettre le captage de l'eau stockée en fonction des besoins en eau.
- ✚ Assurer le passage de la crue de projet (estimée à un débit de pointe de 4 565 m³/s pour une période de retour de 10 000 ans).

III.3.4. Capacité d'évacuation

L'évacuateur de crues du barrage, conçu pour gérer les crues extrêmes et assurer la sécurité structurelle, présente plusieurs caractéristiques clés :

- ✚ Il est implanté sur le corps du barrage en béton compacté au rouleau (BCR).
- ✚ Il prend la forme d'un déversoir à seuil libre classique de type Creager
- ✚ La longueur déversant est de 466,5 m.
- ✚ La crue de projet, avec une période de retour de 10 000 ans, est évacuée sous la cote 804,71 m NGA, soit une surélévation du plan d'eau de 2,71 m.
 - ✚ Le débit de pointe restitué à l'aval sous cette cote par l'évacuateur de crues est de 4 565 m³/s.
 - ✚ La crête du barrage (plots non déversantes du BCR), des murs bajoyers et des ailes en remblais est calée à la cote 807 m NGA..
 - ✚ Elle garantit une revanche suffisante en cas de vagues.

III.4. Principes constructifs du barrage poids en BCR

Le barrage principal, de type poids, est constitué par un massif en Béton Compacté au Rouleau (BCR). Il a une hauteur maximale sur fondation de 40,5 m et une longueur en crête de 500 m,

avec un volume total de BCR d'environ 370 000 m³. De la rive gauche vers la rive droite, il se compose des parties principales suivantes : un plot non déversant de 10 m de longueur renfermant les ouvrages de prise d'eau, une partie déversant centrale de 466,5 m équipée d'un déversoir à seuil libre de type Creager, et un plot non déversant de 23,5 m correspondant aux pertuis de dérivation provisoire, dont l'un est équipé en vidange de fond en phase définitive et l'autre permet l'accès à la galerie de pied amont.

III.4.1. Niveau de fondation

Les ouvrages en Béton Compacté au Rouleau (BCR) présentent des caractéristiques spécifiques en termes de fondation et d'excavation :

- ✚ Les ouvrages reposent sur un substrat rocheux sain, composé principalement de calcaires et de marnes en fond de vallée, ainsi que de bancs calcaires sur les rives.
- ✚ Tous les matériaux alluvionnaires sont retirés dans l'emprise du barrage.
- ✚ La limite du rocher sain massif, estimée lors des études géologiques et présentée sur les plans de l'APD, correspond à des vitesses sismiques supérieures ou égales à 2 500 m/s.
- ✚ Le niveau minimal des fouilles en fond de vallée est à la cote 761,55 NGA.
- ✚ La profondeur des excavations du barrage principal en BCR varie entre 5 et 15 m.
- ✚ Au fond des fouilles, une couche de béton de propreté de 30 cm d'épaisseur est prévue.

III.4.2. La vidange de fond

Le pertuis situé sur la rive gauche de l'ouvrage de dérivation est équipé d'une vidange de fond pour sa phase définitive. Ces travaux doivent être effectués durant la dernière saison sèche du chantier, lorsque les débits naturels de l'oued peuvent être contrôlés par le pertuis restant. Pour réaliser ces travaux spécifiques, des rainures ont été aménagées en amont et en aval de l'ouvrage, permettant ainsi de mettre le pertuis hors d'eau.

Cette configuration garantit que les interventions nécessaires peuvent être effectuées sans interférence avec le flux naturel de l'eau. La vidange de fond joue un rôle crucial dans le maintien de la fonctionnalité du pertuis, et le timing de ces travaux est stratégique pour minimiser les impacts sur l'écosystème environnant et sur le déroulement global du projet. La maîtrise des débits de l'oued à travers le pertuis restant est essentielle pour assurer la sécurité et l'efficacité des travaux. L'ouvrage de dérivation, avec ses dispositifs de contrôle et ses aménagements spécifiques, est ainsi conçu pour gérer les conditions variables du site et permettre une intervention précise et contrôlée lors des périodes critiques de construction

III.4.2.1. Description de l'ouvrage

- ✚ Pertuis blindé : Le pertuis blindé forme l'élément principal de la vidange de fond, mesurant 3,50 m de haut et 2,00 m de large en partie courante. En partie aval, près de la vanne de réglage, sa hauteur est réduite à 3,00 m pour garantir une pression hydraulique minimale et éviter la cavitation.
- ✚ Vannes : À l'aval du pertuis, une vanne secteur de réglage et une vanne de garde sous carter, manœuvrée depuis la plate-forme aval, assurent le contrôle du débit. La vanne secteur de réglage est actionnée par un vérin hydraulique situé à la cote 782 m NGA, au-dessus du niveau des plus hautes eaux aval.
- ✚ Batardeau amont : Un batardeau amont équipé de deux clapets de mise en charge complète le dispositif de fermeture de la vidange de fond, assurant l'étanchéité nécessaire pour les interventions.
- ✚ Système de dévasement : Pour compléter le dispositif, deux conduites métalliques de 400 mm de diamètre sont intégrées dans le béton de seconde phase, permettant de court-circuiter la vanne secteur de réglage et facilitant ainsi le dévasement.

III.4.3. Ouvrage de prise d'eau

L'aménagement de Chebabta a pour objectif principal de régulariser une partie des apports de l'oued afin de répondre aux besoins en eau domestiques et industriels (alimentation en eau potable) ainsi qu'aux besoins agricoles (irrigation).

Les travaux réalisés dans le cadre du barrage incluent les ouvrages de prise en amont et le tronçon de conduite métallique traversant le corps du BCR. Cette conduite est équipée en aval d'une vanne de sectionnement DN 1500 mm de type papillon, permettant un contrôle efficace du débit.

L'extrémité aval de la conduite est obturée par un fond plein équipé d'un robinet de purge, ce qui facilite l'entretien et la maintenance du système.

L'ensemble de ces dispositions permet non seulement la gestion optimale de l'eau pour les différents usages, mais aussi la réalisation ultérieure des ouvrages en aval nécessaires à la distribution de l'eau aux consommateurs.

En assurant une régularisation efficace des apports de l'oued, cet aménagement contribue à la stabilité et à la sécurité de l'approvisionnement en eau, tout en soutenant le développement agricole et industriel de la région

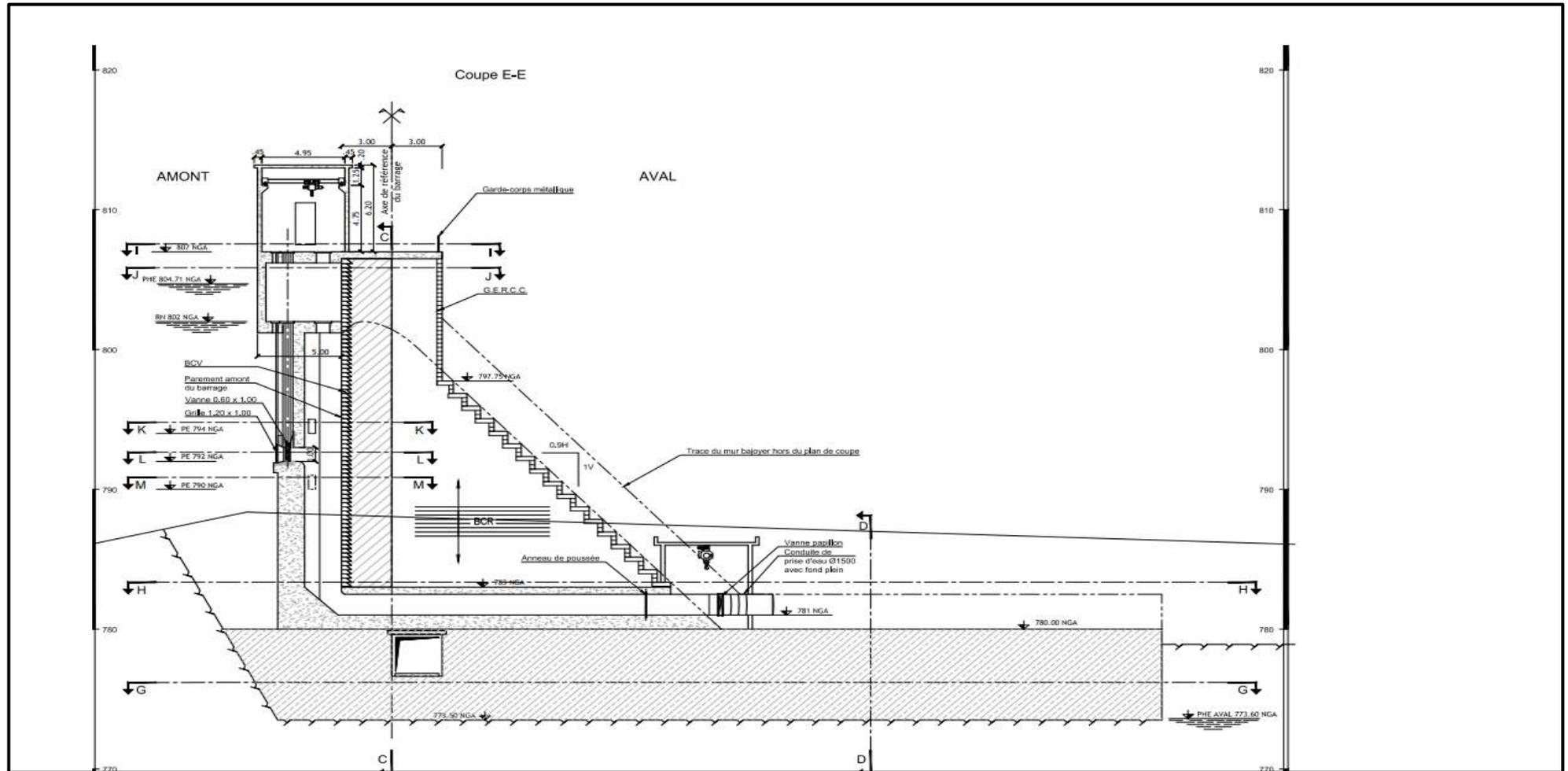


Figure 25:Prise d'eau

III.4.3.1 Description de l'ouvrage

La tour de prise d'eau est installée sur la rive gauche du barrage. Elle se compose principalement d'une structure de génie civil adossée au parement amont du barrage, ce qui assure sa stabilité et son intégration avec l'ouvrage principal.

Trois prises d'eau sont aménagées dans la tour amont, situées respectivement aux cotes 790, 792, et 794 mètres au-dessus du niveau général d'aménagement (NGA). Chaque prise est équipée d'une grille de protection et d'une vanne de régulation, permettant un contrôle précis du débit d'eau.

Ces vannes sont manœuvrables depuis une chambre supérieure située en crête du barrage à la cote 807 m NGA, offrant ainsi un accès facile pour les opérations de maintenance et de régulation.

Le débit nominal de la prise d'eau est de 3,5 mètres cubes par seconde, une capacité suffisante pour répondre aux besoins en eau durant les mois de juillet, période de forte demande. Ce débit permet de fournir environ 30 % de la capacité totale de 18,468 hectomètres cubes, en opérant pendant environ 14 heures par jour.

Cette configuration assure une distribution efficace et continue de l'eau, répondant aux exigences domestiques, industrielles et agricoles, tout en optimisant les ressources disponibles et en garantissant la durabilité du système de prise d'eau.

Les trois prises d'eau, identiques en termes de dimensions et d'équipement, comprennent :

- ✚ Un entonnement amont de section rectangulaire (1,20 m x 1,00 m), supportant une grille métallique amovible de même section, manœuvrable depuis la crête par un système de palonnier.
- ✚ Une vanne batardeau en acier (1,00 m x 0,60 m), permettant de couper les débits transités, également manœuvrable depuis la chambre en crête du barrage à l'aide du palonnier.
- ✚ Un débouché dans un puits vertical de grande dimension, avec une section d'environ 8 m². Des plans inclinés au niveau du radier limitent la décantation au fond du puits.
- ✚ Une conduite forcée de 1,50 m de diamètre, à la cote 781,75 m NGA, traversant le corps du barrage en BCR. Cette conduite, enrobée de béton, permet la restitution en aval des débits prélevés dans le réservoir. La méthode de l'enrobage en béton simplifie le phasage des travaux lors de l'élévation du BCR et évite tout entretien ultérieur de la conduite.

III.4.4. Evacuateur de crues

L'évacuateur de crues, implanté sur le corps principal du barrage en béton compacté au rouleau (BCR), s'étend sur une longueur de 466,5 m. Ce dispositif est constitué d'un seuil déversant libre de type Creager. Le coursier en marche d'escalier est aménagé directement sur le parement aval du barrage, permettant une transition efficace des eaux. Au pied aval de la digue, un ouvrage de dissipation, formé par une dalle généralisée en béton armé de 1,80 m d'épaisseur et 20 m de longueur, assure la restitution correcte des débits dans le lit naturel de l'oued, limitant ainsi les risques d'érosion et de perturbation écologique. Le système est conçu pour évacuer la crue de projet, caractérisée par une période de retour de 10 000 ans, sous la cote 804,71 m NGA, ce qui représente une surélévation du plan d'eau de 2,71 m. Sous cette cote, l'évacuateur de crues est capable de restituer un débit de pointe de 4 565 m³/s en aval, garantissant ainsi la sécurité hydraulique du barrage et des zones environnantes .

III.4.4.1. Description de l'ouvrage

III.4.4.1.1. Seuil déversant

Le seuil déversant du barrage présente des caractéristiques spécifiques qui assurent son efficacité et sa robustesse :

- ✚ Implantation : Le seuil déversant est situé au-dessus du niveau 799,5 m NGA, marquant la limite de l'installation du béton compacté au rouleau (BCR) dans la zone de l'évacuateur.
- ✚ Type : Il s'agit d'un seuil de type Creager, reconnu pour son efficacité hydraulique.
- ✚ Calage : Ce seuil est calé à la cote de retenue normale, soit 802 m NGA, garantissant une gestion optimale des niveaux d'eau.
- ✚ Longueur : La longueur du seuil déversant est de 466,5 m, ce qui permet une large dispersion des flux d'eau.
- ✚ Conception : La forme du seuil a été déterminée à partir des formules et des abaques fournis par le dessin de l'USBR (United States Bureau of Réclamation), assurant une précision et une fiabilité maximales dans sa construction.

III.4.4.1.2. Coursier

Le coursier, conçu pour garantir la résistance et l'efficacité hydraulique du barrage, possède des caractéristiques spécifiques :

- ✚ Implantation : Situé directement sur le talus aval du barrage, le coursier est constitué de marches d'escalier de 90 cm de hauteur, correspondant à l'épaisseur de trois couches de béton compacté au rouleau (BCR).
- ✚ Construction des marches : Pour résister aux impacts hydrauliques, les marches du coursier sont réalisées en béton conventionnel vibré (BCV), légèrement armé.
- ✚ Réalisation simultanée : Les marches en BCV sont construites en parallèle aux travaux de BCR afin d'assurer le monolithisme complet de la structure et d'éviter la présence de joints près du parement.
- ✚ Ferrailage des marches : Le ferrailage est effectué avec des cages d'armatures préfabriquées pour faciliter les travaux de préparation du bétonnage et ne pas ralentir les cadences de mise en place du BCR.

- ✚ Étanchéité : Au niveau des joints entre les plots du barrage, un water stop est implanté dans le béton conventionnel du coursier pour assurer l'étanchéité entre les blocs.
- ✚ Murs latéraux : Deux murs bajoyers, de 2,50 m de hauteur en section courante, délimitent latéralement le coursier et permettent de contenir les débits transités à l'intérieur de l'ouvrage.

III.4.5. Murs de soutènement

Aux extrémités du barrage en BCR, deux ouvrages poids font office de murs de soutènement des ailes en remblais permettant la fermeture de la retenue en rives. Ces murs de soutènement sont fondés au toit du rocher sain, à la même altitude que les plots en BCR adjacents.

- ✚ Ces murs de soutènement assurent les appuis des ailes en remblais sur chacune des rives. Leur profil amont-aval suit le profil des ailes en remblais au contact, avec un parement extérieur vertical (côté fond de vallée) et intérieur à 0.6H/1V (côté rive).
- ✚ Les murs de soutènement seront réalisés en BCR. Les parements verticaux situés à l'amont et à l'aval du barrage, constituant des surfaces d'ouvrage visibles, seront réalisés en BCR enrichi en coulis. De même, la surface de ces murs en contact avec le pseudo-noyau sera réalisée en BCR enrichi en coulis sur 50 centimètres d'épaisseur.
- ✚ Une zone de 50 cm d'épaisseur de GERCC sera réalisée dans le sens rive à rive dans chaque couche de BCR. Cette disposition vise à garantir la continuité de l'étanchéité des ouvrages entre le parement vertical amont du massif BCR et le parement constituant la surface de contact avec le pseudo-noyau des digues.
- ✚ La montée de ces murs de soutènement suivra celle du barrage central en BCR. La galerie de pied amont du barrage poids BCR sera prolongée dans le corps des murs de soutènement afin de permettre l'exécution des travaux d'injection et de drainage dans l'emprise de ces ouvrages.

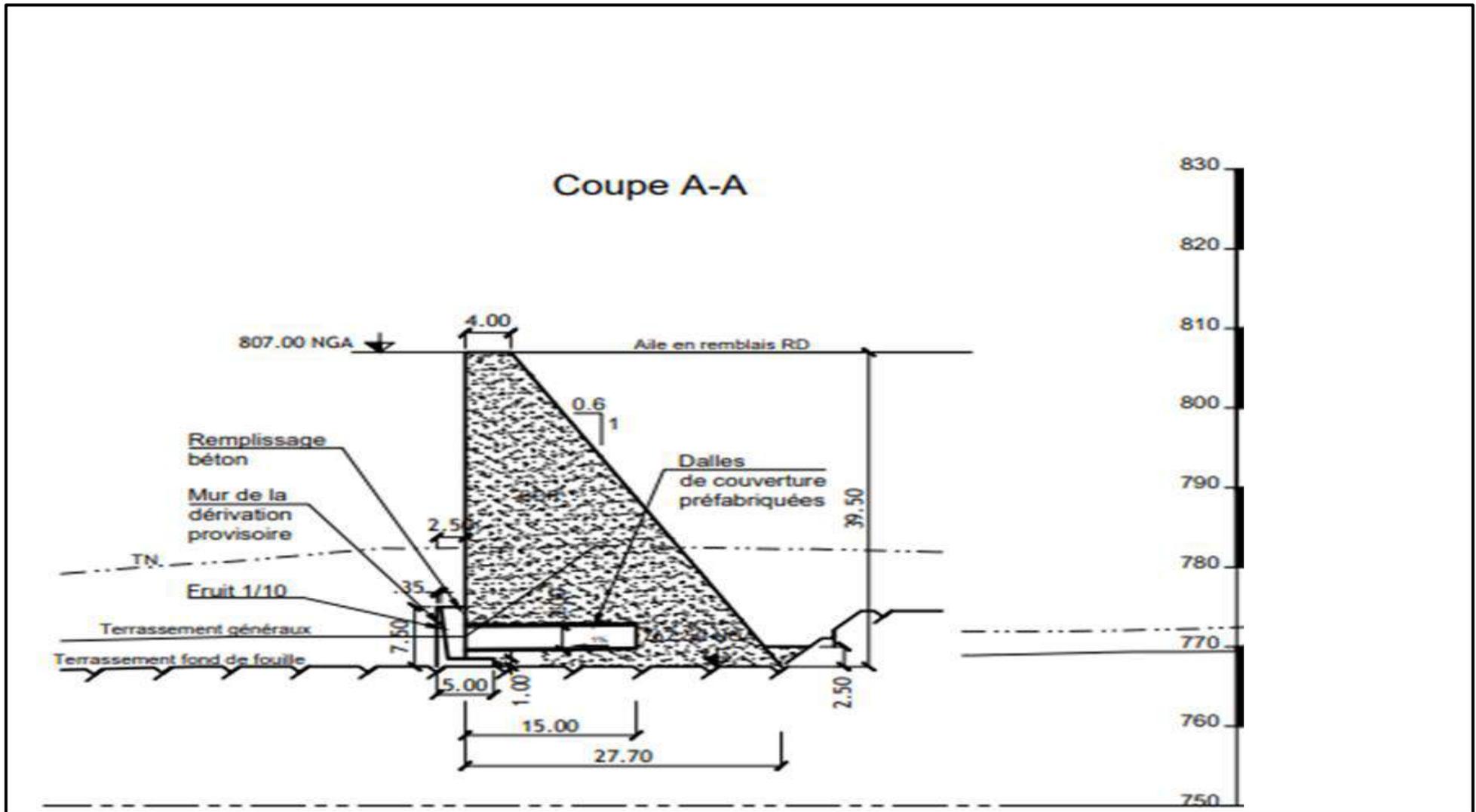


Figure 27: Mur de soutènement

III.4.6. Ailes en remblais

La fermeture de la vallée est assurée par des ailes en remblais qui se raccordent de chaque côté de l'ouvrage central en BCR sur les murs de soutènement en BCR. La coupe type de ces murs présente un profil incliné avec une pente de 0,6H/1V, garantissant la stabilité de l'ouvrage en toutes circonstances.

Les ailes en remblais, qui ferment la vallée, sont fondées sur le terrain naturel décapé de 0,5m.

Les pentes des rives, étant douces, conduisent à des longueurs d'ouvrages importantes : environ 1 630 m en rive droite et 560 m en rive gauche en crête.

Au contact des murs de soutènement, la hauteur maximale des ailes en remblais atteint 31 m pour l'aile rive gauche et 37 m pour l'aile rive droite

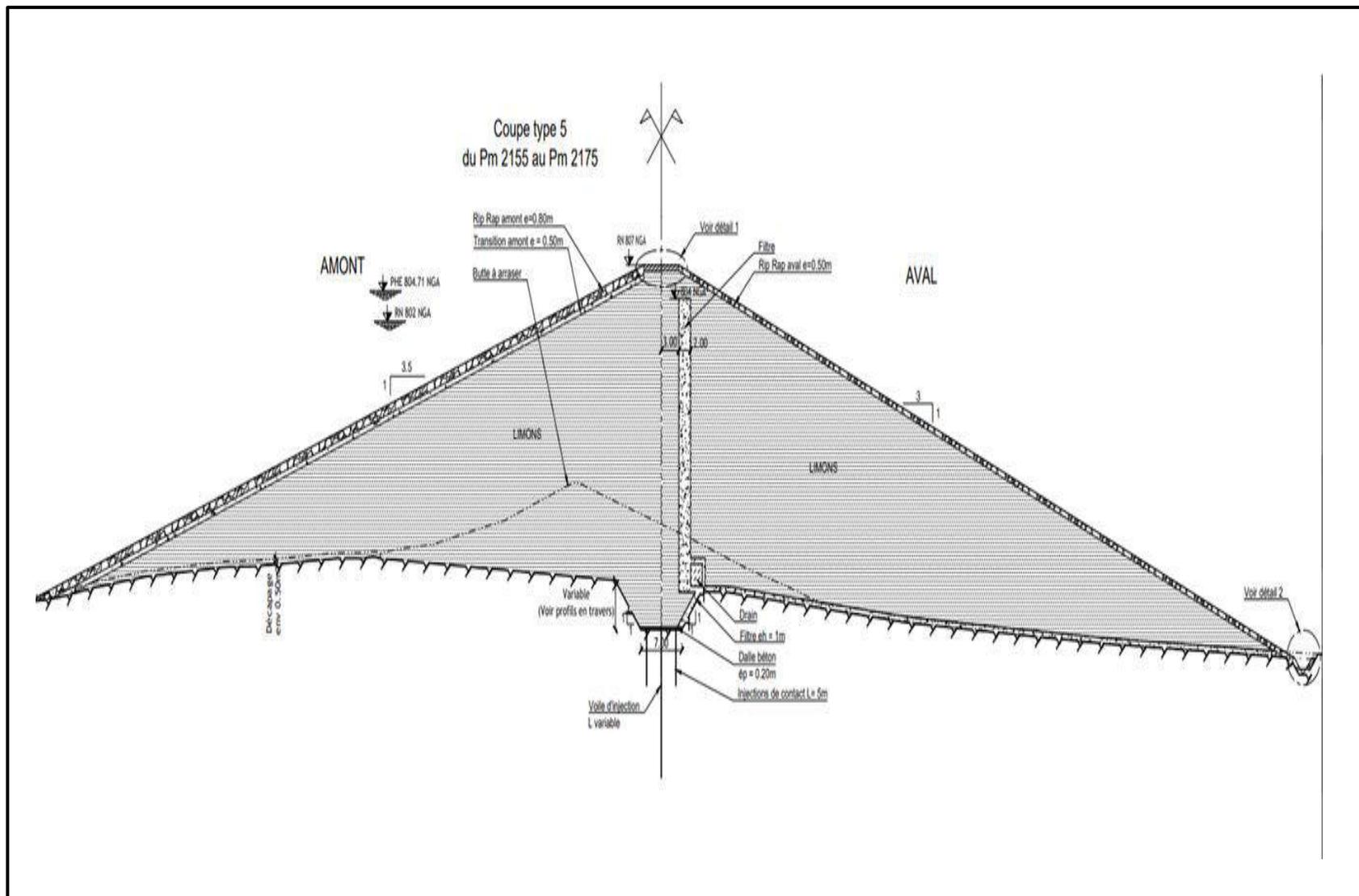


Figure 28: Ailes en remblais rive gauche

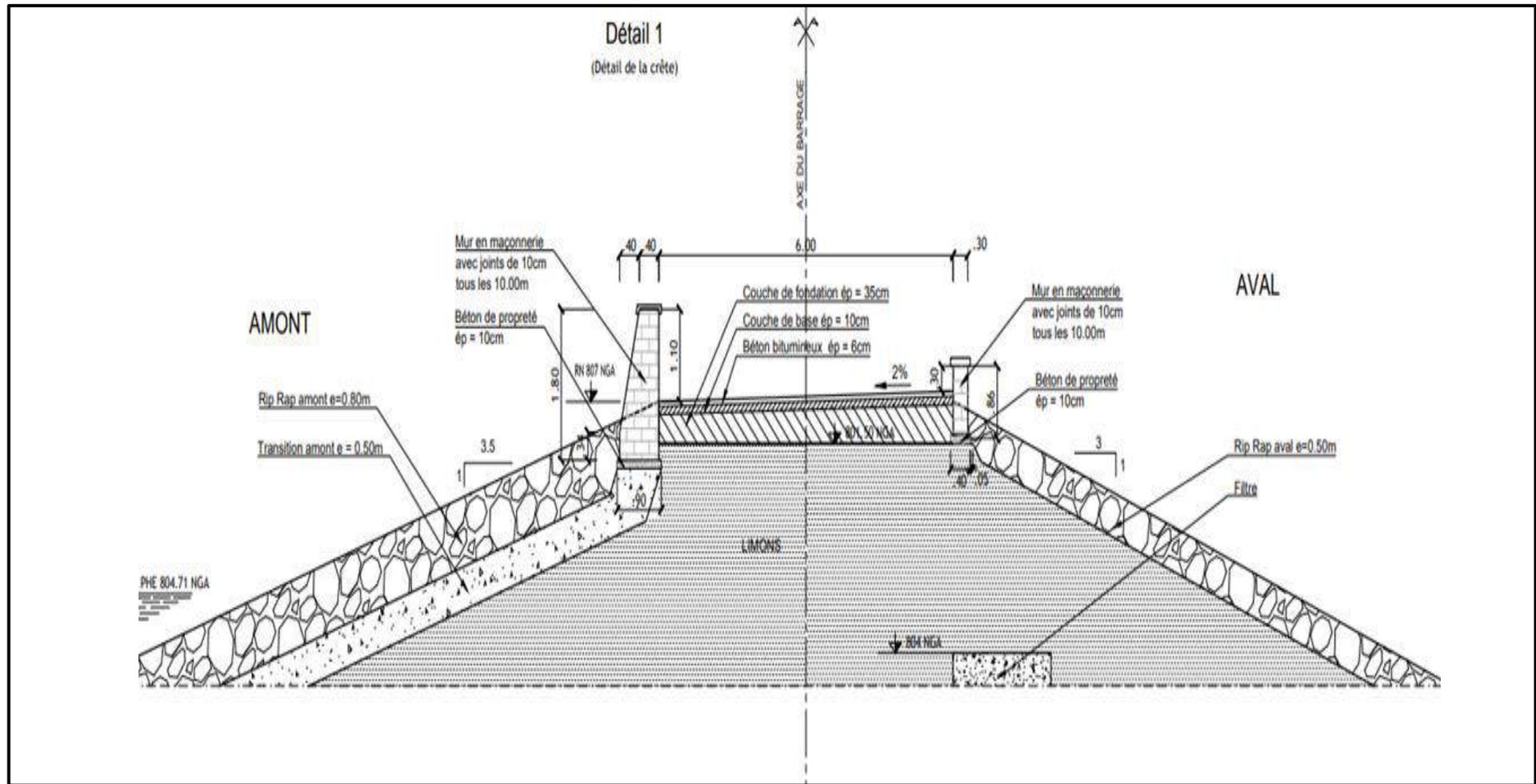


Figure 29: Ailes en remblais rive droite

III.4.6.1. Coupe-type

En raison de la présence en grande quantité de matériaux limoneux dans la cuvette, la solution des ailes en remblai homogène ou pseudo-zoné s'avère la plus économique :

- ✚ Le barrage pseudo-zoné est une sous-variante du barrage homogène qui consiste à répartir les matériaux dans le corps du barrage en fonction de leur granulométrie et de leur humidité, sans nécessiter de filtres de séparation.
- ✚ Il ne s'agit donc pas de zones délimitées avec précision.
- ✚ Les matériaux les plus fins seront prioritairement mis en œuvre dans le pseudo-noyau du barrage en remblai.
- ✚ Les matériaux plus granulaires seront utilisés pour les recharges du barrage.

III.5. Conclusion

Le barrage de Chebabta est un ouvrage hydraulique complexe et ambitieux, conçu pour réguler les crues de l'oued Meskiana et répondre aux besoins en eau domestiques, industriels et agricoles de la région. Sa construction s'appuie sur des techniques de pointe et des matériaux de haute qualité, garantissant la sécurité et la durabilité de l'ouvrage.

Les principaux éléments du barrage comprennent :

Un barrage en béton compacté au rouleau (BCR) de 40,5 mètres de hauteur et 500 mètres de longueur, qui constitue l'ouvrage principal de fermeture.

Des ailes en remblais homogènes ou pseudo-zonées, situées en rive gauche et en rive droite du barrage en BCR, qui prolongent l'ouvrage principal et assurent la fermeture de la vallée.

Un déversoir à seuil libre de type Creager d'une longueur de 466,5 mètres, permettant d'évacuer les crues extrêmes.

Une prise d'eau étagée composée de trois prises situées aux cotes 790, 792 et 794 mètres NGA, permettant de prélever l'eau du réservoir pour les différents usages.

Des ouvrages de dérivation provisoires, situés au pied de la rive droite, qui permettent de dévier le cours de l'oued pendant les phases de construction du barrage principal.

Une vidange de fond située sur le pertuis de dérivation de la rive gauche, permettant de réguler le débit de l'oued et de vidanger le réservoir en cas de nécessité.

Chapitre IV

Etude de stabilité

IV.1. Introduction

L'étude de la stabilité des pentes et des talus est un aspect crucial en géotechnique. Ce chapitre explore les différentes méthodes et approches pour garantir la sécurité et la durabilité des structures géotechniques, en se focalisant notamment sur le barrage de Chebabta. L'analyse repose principalement sur l'utilisation du logiciel Géostudio, un outil avancé de calcul géotechnique qui permet de traiter divers problèmes liés au sol, tels que le glissement de terrain, le tassement, la consolidation et les infiltrations.

L'objectif principal est de calculer les coefficients de sécurité des pentes en utilisant SLOPE/W, qui applique la méthode d'équilibre limite de Morgenstern et Price. Ce logiciel, avec son interface graphique conviviale, est compatible avec plusieurs versions de Microsoft Windows, y compris Windows XP.

En outre, l'étude couvre les matériaux utilisés dans les constructions géotechniques, en particulier ceux impliqués dans les remblais du barrage de Chebabta. Elle inclut la définition des fuseaux granulométriques, l'évaluation de la stabilité des talus sous différents scénarios de charge, et l'analyse des résultats pour assurer la conformité aux normes internationales de sécurité.

IV.2. Matériaux et Fuseaux Granulométriques

Le barrage de Chebabta est constitué d'un corps central en béton compacté au rouleau (BCR), prolongé sur les rives par des ailes en remblais. Cette note de calcul a pour objectif de définir et de justifier les fuseaux granulométriques choisis pour les différents matériaux utilisés dans les ailes en remblais de Chebabta. Les matériaux décrits dans cette note comprennent :

IV.2.1. Le pseudo-noyau (N)

Constitue le cœur de la structure, La perméabilité du noyau d'un barrage est précisément déterminable seulement après le remplissage, en étudiant les débits de percolation. Les essais en laboratoire et sur le terrain, réalisés pendant les travaux, peuvent différer considérablement de la réalité en raison de leur représentativité limitée et de leur précision. [8]

IV.2.2. Le filtre (F)

Les infiltrations à travers le barrage peuvent entraîner une perte d'eau et menacer sa stabilité. L'étude de la stabilité se concentre sur la longévité de l'ouvrage en examinant les ruptures

potentielles des talus amont et aval, nécessitant une analyse complexe tenant compte de facteurs géologiques non toujours quantifiables.

IV.2.3. La recharge amont/aval (R)

La recharge amont/aval (R) d'un barrage désigne le processus d'approvisionnement en eau des parties amont ou aval de la structure, visant à renforcer sa stabilité ou à compenser les pertes d'eau éventuelles.

IV.2.4. Le rip-rap de protection amont (E1) et le rip-rap de protection aval (E2)

Le rip-rap de protection amont (E1) et le rip-rap de protection aval (E2) sont deux types de structures de protection utilisées dans la construction de barrages. Ces structures sont essentielles pour assurer la sécurité et la durabilité des barrages en prévenant les effets de l'érosion et des crues. [9]

IV.2.5. La transition amont (T)

La transition amont (T) est la zone située entre le filtre et la recharge du barrage. Elle est essentielle pour assurer l'étanchéité et la stabilité du barrage. Cette zone est généralement composée de matériaux durs, tels que des roches ou des bétons, qui sont placés sur le parement amont du barrage

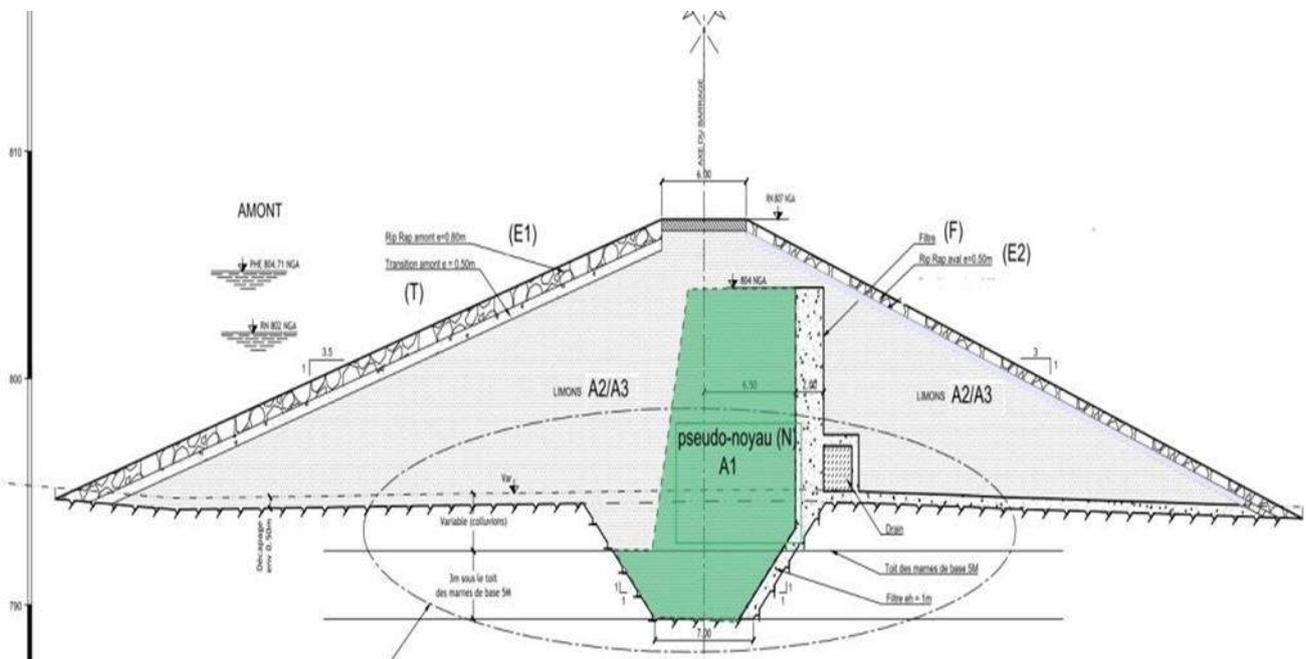


Figure 30: Coupe-type des ailes en remblai avec zonage détaillé

IV.3. Évaluation et Classification des Matériaux de Remblai

Les études réalisées au stade APD ont confirmé que la zone d'emprunt examinée était capable de fournir en quantité et en qualité les matériaux nécessaires pour le remblai. Ces matériaux sont des alluvions limoneux-argileuses. Lors de l'examen du site, plusieurs couches distinctes ont été identifiées. Les couches superficielles sont composées de particules plus fines, tandis que les couches plus profondes contiennent des particules plus grossières. Les analyses granulométriques effectuées sur ces matériaux ont permis de valider les observations de terrain. En se basant sur ces analyses, trois ensembles distincts de matériaux ont été identifiés. Dans la suite de l'étude, ces ensembles sont désignés sous les noms d'alluvions A1, A2 et A3. Ces dénominations permettent une classification précise des matériaux en fonction de leur composition granulométrique et facilitent ainsi leur utilisation appropriée dans les travaux de remblaiement.

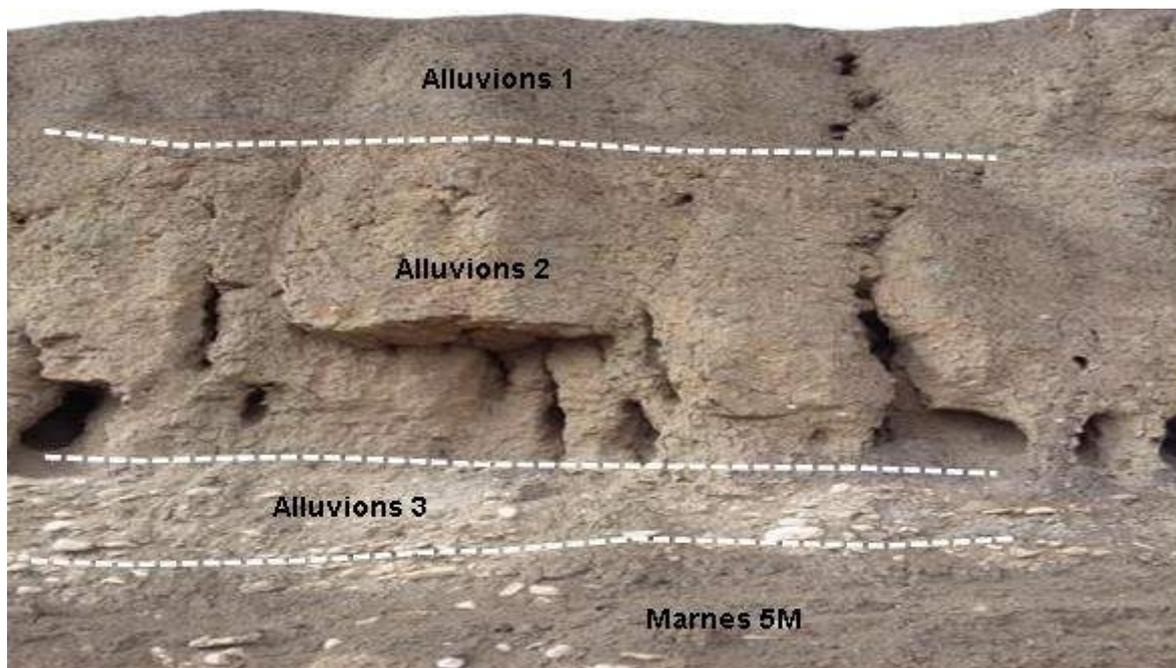


Figure 31:Classification Lithologique des Alluvions

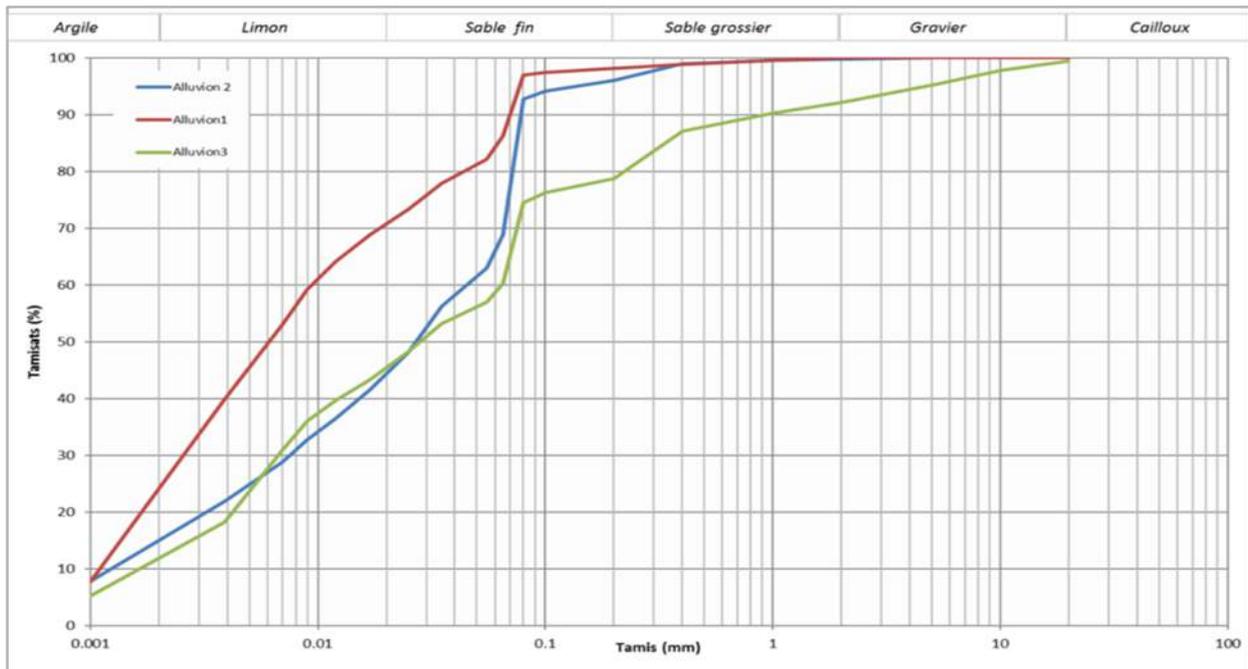


Figure 32: Courbes granulométriques issues des investigations de l'APD – Alluvions A1, A2, A3 (courbes moyennes) (A.N.B.T)

- Les alluvions affichent une teneur très élevée en fines, dépassant en moyenne 90% pour A1 et A2, et atteignant environ 75% pour A3.
- Cette composition garantit une étanchéité efficace du corps de la digue.
- Cependant, elle engendre des difficultés importantes pour la construction du filtre, qui doit être constitué de matériaux très fins.

IV.4. Distribution Granulométrique du Pseudo-noyau (N)

Le fuseau granulométrique du noyau est soigneusement défini pour correspondre aux matériaux disponibles dans les environs du site, en particulier ceux provenant de la zone d'emprunt examinée lors de la phase APD.

Les alluvions A1, prélevées dans cette zone, présentent en moyenne près de 90% de fines (éléments inférieurs à $80\ \mu\text{m}$). Malgré ce haut pourcentage de fines, le fuseau granulométrique du noyau a été élargi pour inclure une gamme de fines allant de 50 à 100%. Cette décision découle de deux considérations principales : premièrement, un matériau comportant 50% de fines est suffisant pour garantir l'étanchéité du noyau. Deuxièmement, l'élargissement du fuseau granulométrique vise à éviter des contraintes excessives qui pourraient potentiellement impacter les coûts et les délais du chantier. Ainsi, cette approche offre une marge de flexibilité

tout en assurant la qualité et la faisabilité du projet. Le fuseau granulométrique retenu pour le pseudo-noyau est présenté dans les spécifications suivantes.

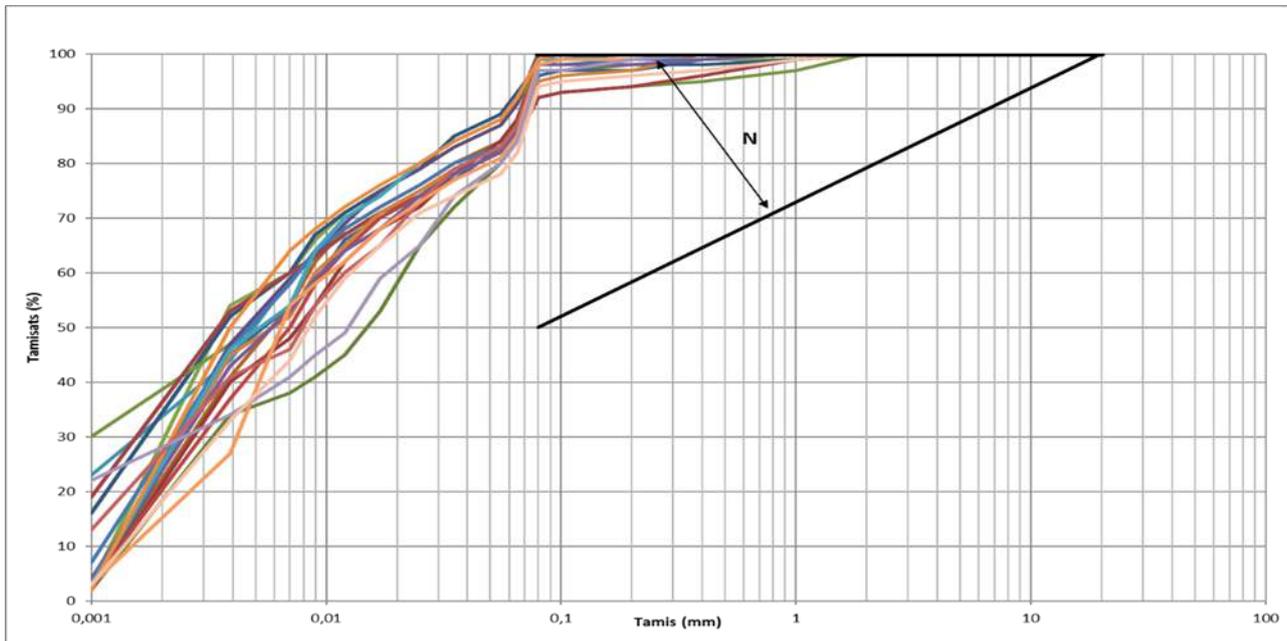


Figure 33: Comparaison des courbes de granulométries des alluvions A1 (APD) et du pseudo-noyau (N) (A.N.B.T)

IV.5. La recharge amont/aval (R)

Le matériau de remblai est constitué des alluvions A2 et A3 identifiées dans la zone d'emprunt étudiée lors de la phase APD. Il s'agit de limons sablo-argileux.

Les alluvions A3 présentent des caractéristiques granulométriques relativement différentes de celles d'A1 et A2, avec une fraction fine légèrement plus faible (en moyenne 75 %) et une fraction graveleuse plus développée.

Les courbes granulométriques de ces alluvions sont présentées ci-dessous :

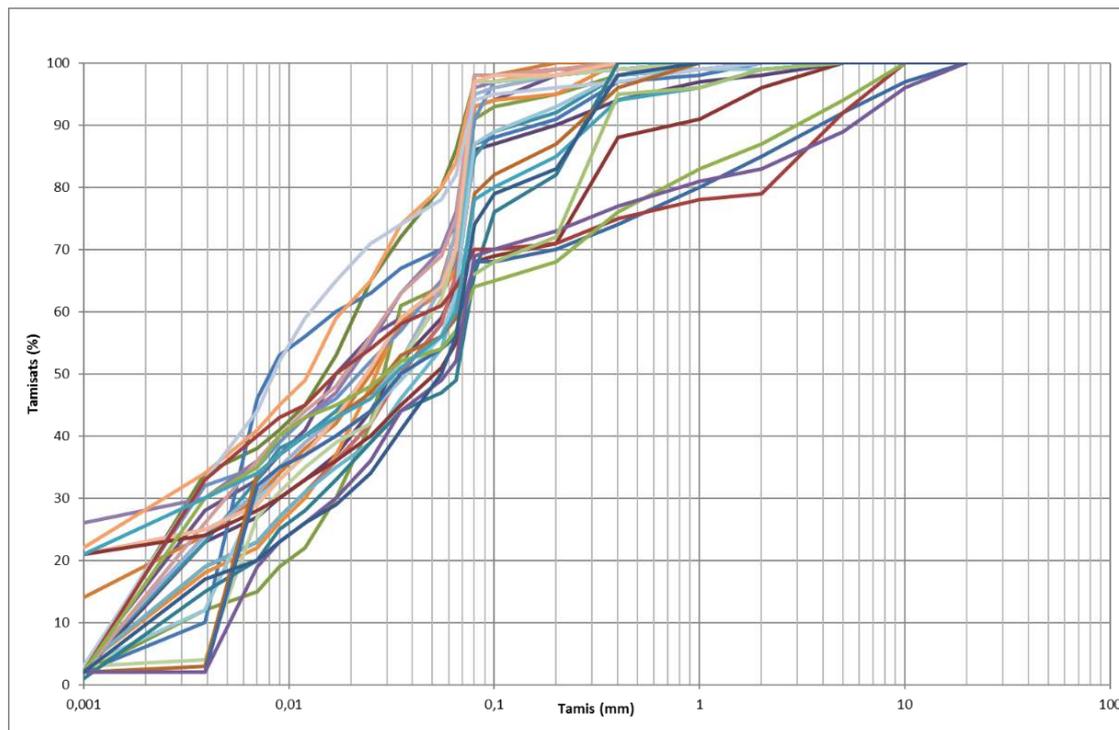


Figure 34: Profils granulométriques contrastés : Alluvions A2/A3 (APD) (A.N.B.T)

IV.6. Dimensionnement des filtres et des drains

a) *Ecoulement et Filtration*

- L'eau s'écoule au travers du pseudo-noyau vers les recharges, ce qui peut entraîner la migration des particules fines du noyau vers les matériaux plus grossiers de la recharge aval.
- Un filtre constitué d'un matériau de granulométrie intermédiaire empêche ce phénomène en retenant les particules fines, garantissant ainsi la stabilité du noyau et prévenant l'érosion interne.

b) *Fonction de Drainage*

- Les drains et les filtres, en complément de leur fonction de rétention, assurent également le drainage des eaux d'infiltration pour éviter leur accumulation dans la recharge aval.
- Ce drainage permet de contrôler et de réduire les pressions interstitielles, contribuant ainsi à la stabilité globale du barrage.

c) *Configuration du Barrage de Chebabta*

- Étant donné la différence de perméabilité adéquate entre le matériau de base et le matériau de filtre, le barrage de Chebabta nécessite uniquement un filtre, contrairement à d'autres cas qui requièrent une configuration filtre-drain.

IV.6.1. Caractérisation de la Granulométrie du Filtre

Un filtre efficace dans un ouvrage hydraulique doit être non cohésif, non ségrégeable et protéger le matériau de base contre la migration des particules fines. En respectant ces critères, le filtre assure une filtration efficace et prévient les risques d'érosion interne dans la structure de l'ouvrage hydraulique.

Tableau 17: Critères de Sélection des Filtres en Fonction des Caractéristiques Granulométriques du Sol

Catégorie	Sol à protéger pourcentage de fines ($< 80\mu\text{m}$)	Critère de rétention
1	Silts fins et argiles $> 85\%$ de fines	$D_{15} < 9. d_{85}$ (Minimum 0,2 mm)
2	sables, silts, argiles et sables silteux 40 à 80% de fines	$D_{15} \leq 0,7 \text{ mm}$
3	sables et graviers silteux et argileux 15 à 39% de fines	Interpolation entre cat. 2 et 4
4	sables et graviers $< 15\%$ de fines	$D_{15} \leq 4. d_{85}$

Fonction de rétention : le D_{15} du filtre doit respecter le critère de rétention défini dans le tableau en fonction de la catégorie de sol à protéger

Quantité de particules fines inférieure ou égale à 5% (diamètre inférieur à $80 \mu\text{m}$)

Critère de non-ségrégation : $D_{max} \leq 20 \text{ mm}$

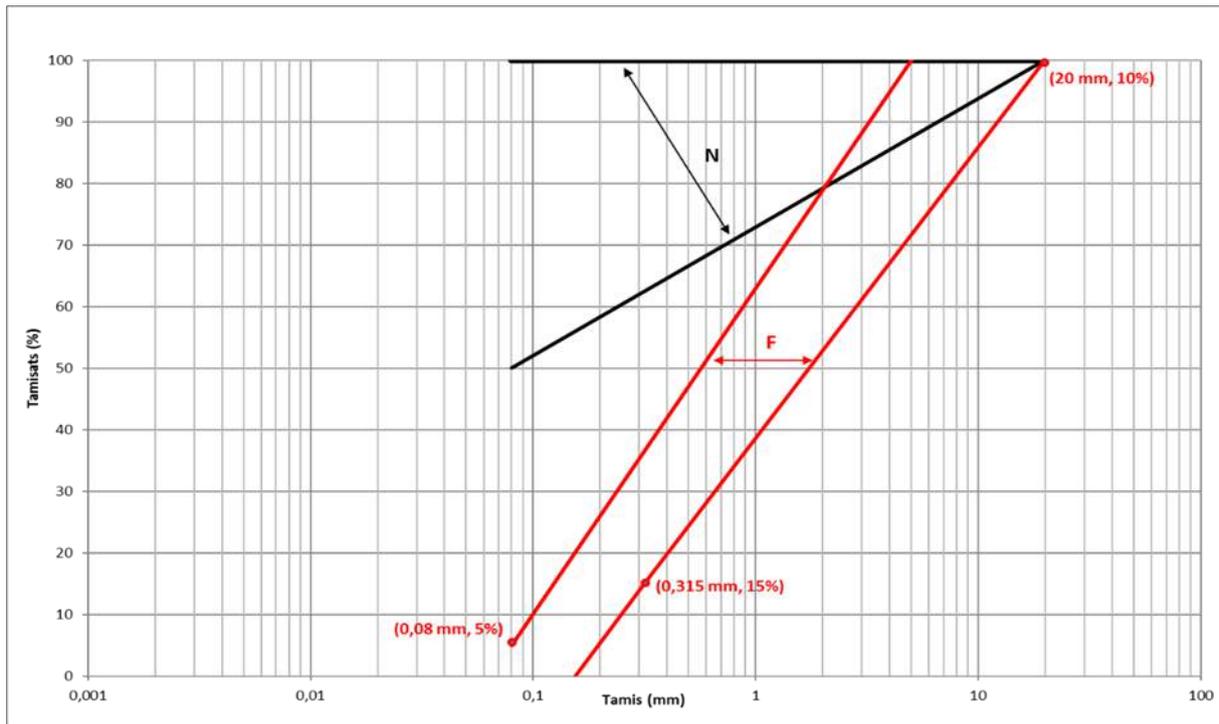


Figure 35: Fuseau granulométrique du filtre F (A.N.B.T)

Les alluvions A1, composant le pseudo-noyau, présentent un pourcentage de fines supérieur à 80%, les classant dans la catégorie 1. Cela implique que la taille de 15% des particules (D_{15}) est inférieure ou égale à 9 fois la taille de 85% des particules (d_{85}), soit 0,315 mm.

$$D_{15} \leq 9.d_{85} = 0,315 \text{ mm}$$

Dans le but d'éviter l'encrassement et la dégradation du filtre, il est judicieux d'utiliser des sables

Avec un coefficient d'uniformité inférieure à 2 :

$$\frac{D_{60}}{D_{10}} < 2 \tag{IV.1}$$

D_{60} : pourcentage des grains de diamètres < 60 mm

D_{10} : pourcentage des grains de diamètres < 10 mm

La capacité d'évacuation du filtre vertical peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

IV.6.2 Débit d'évacuation du filtre (F)

$$q = K_F \times W \tag{IV.2}$$

q : capacité de débit du filtre par mètre linéaire (m³/s/ml)

K_F : perméabilité du matériau (m/s)

W : largeur du filtre (m)

La perméabilité du filtre (k_F) peut être obtenue par la formule de Hazen

$$K_F = (d_{10})^2 \quad (\text{IV.3})$$

d_{10} : diamètre passant à 10% en cm, soit au minimum 0,01 cm d'après le fuseau du filtre

On a :

La perméabilité du matériau $K_F=10^{-4}$ m/s

La largeur de filtre $W=2$ m

Après l'application numérique on trouve la capacité d'évacuation du filtre vertical

$$q=2.10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

La formule suivante permet d'estimer approximativement le débit de fuite en aval du pseudo-noyau :

$$q_{fuite} = \frac{K_N \times H^2}{2 \times L_p} \quad (\text{IV.4})$$

q_{fuite} : débit de fuite à l'aval du noyau ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$),

K_N : perméabilité du noyau (m/s), prise égale à 10^{-8} m/s

H : charge hydraulique en m, prise égale à 32 m au droit du profil de plus grande hauteur

L_p : longueur de percolation à travers le pseudo-noyau, égale à 10 m environ

On en déduit que le débit de fuite à l'aval est de l'ordre de $5.10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$.

IV.6.3. Classification Granulométrique du Drain

Des cordons drainants sont destinés à évacuer vers l'aval les eaux collectées par le filtre-cheminée aval et le tapis filtrant aval.

IV.6.3.1 Système de drainage

- Le système de drainage comporte un drain longitudinal à la base du filtre et des cordons drainants ressortant en aval dans un caniveau de pied.
- Ces cordons drainants sont espacés de 200 m.

IV.6.3.2. Critères de granulométrie du drain

Fonction de rétention

- $D_{15} \leq 5$
- $d_{85} = 5 \times 2,5 = 12,5 \text{ mm}$

Fonction de drainage

- Pourcentage de fines ($<80\mu\text{m}$) $\leq 3\%$
- $D_{15} > 5 d_{15 \text{ max}} = 1,58 \text{ mm}$

Critère de non-ségrégation

- $D_{\text{max}} \leq 80 \text{ mm}$

IV.7.Rip-rap amont**IV.7.1. Dimensionnement des blocs d'enrochement CIGB**

Intégralement située en amont, une couche de rip-rap joue un rôle crucial dans la protection des remblais contre les assauts des vagues et les effets d'érosion. Pour guider la détermination de la masse W_{50} des blocs d'enrochement requis afin de résister efficacement à l'action des vagues, le Bulletin 91 de la Commission Internationale des Grands Barrages (CIGB) préconise l'emploi de la formule de Hudson, détaillée ci-après.

$$W_{50} = \frac{\gamma_r \times H_s^a}{K_D (G_s - 1)^3 (\cot g\phi)^b} \quad (\text{IV.5})$$

W : masse caractéristique des blocs d'enrochement nécessaire pour résister à l'action des vagues (livres)

γ_r : Masse volumique d'un élément de roche (livres par pied cube)

G : masse volumique des blocs d'enrochement

Φ : angle du talus (mesuré à partir de l'horizontale)

H : hauteur de la vague de projet (pieds)

K_D : coefficient de dégâts déterminé expérimentalement

a, b : exposants déterminés expérimentalement

- Les coefficients K_D , a et b varient selon le niveau de dommage : ils sont définis pour des dégâts tolérables lorsque le rip-rap subit des déplacements sans rupture, et pour des dégâts nuls lorsqu'aucun déplacement n'est observé.
- L'équation des dégâts nuls s'applique dans la réserve utile, tandis que celle des dégâts tolérables s'applique ailleurs. Deux scénarios de vent sont envisagés selon les recommandations de la CIGB.

Tableau 18: les Coefficients en Fonction des Vents et des Niveaux de Dégâts

Les valeurs	Vent de 100 km/h Dégâts nul	Vent de 120 km/h Dégâts tolérables
A	3	3
B	2\3	1
KD	3.62	4.37

- Le diamètre nominal d'un bloc d'enrochement, D_x peut être approximé à partir de sa masse W_x avec une formule spécifique. L'épaisseur de la couche de rip-rap td doit correspondre à la taille maximale des blocs D_{50} .

On a :

- Le diamètre nominal d'un bloc d'enrochement D_x :

$$D_x = \left(\frac{7 \cdot W_x}{5 \cdot \gamma} \right)^{1/3} \quad (\text{IV.6})$$

γ : Masse volumique

W_x : masse caractéristique des blocs d'enrochement nécessaire

- L'épaisseur de la couche de rip-rap td :

$$td_{\min} = 1,5 \cdot D_{50} \quad (\text{IV.7})$$

Pour le barrage de Chebabta, la hauteur maximale des vagues est de 1,28 m ou 1,60 m selon les configurations, avec les résultats suivants :

Tableau 19: Résultats des Dimensions de Rip-rap en Fonction de la Vitesse du Vent et de la Hauteur des Vagues

Vitesse du vent	100 km/h	120 km/h
Hauteur significative des vagues (Hs)	1,28 m	1,60 m
W50	148 kg	158 kg
D50	0,43 m	0,44 m
td min	0,64 m	0,65 m

Ces valeurs sont basées sur une masse volumique des enrochements de 2650 kg/m³ et un talus amont de 3,5H/1V. Un D₅₀ de 440 mm et une masse nominale W₅₀ de 158 kg sont retenus.

IV.7.2. Spécifications selon la norme EN-13383

La norme EN-13383 classe les enrochements en trois catégories : gros (HM), moyens (LM), et petits (CP).

Pour le barrage de Chebabta, des enrochements moyens (LM A) sont utilisés, avec une masse nominale comprise entre 25 et 500 kg. Les coefficients définis permettent de calculer les limites nominales et extrêmes en fonction de W₅₀.

IV.7.2.1. Coefficients pour les enrochements non-standard

Tableau 20: Coefficients pour la spécification ou la déclaration d'enrochements non-standard conformément à la norme EN-13383

	<i>ELL</i> W2	<i>NLL</i> W10	<i>NUL</i> W70	<i>EUL</i> W97	<i>Wem</i> <i>inf</i>	<i>Wem</i> <i>sup</i>	<i>W15</i>	<i>W85</i>	<i>W50</i> <i>inf</i>	<i>W50</i> <i>sup</i>
<i>A</i>	0.027	0.156	2.52	5.16	0.449	1.06	0.16	3.34	0.663	1.515
<i>B</i>	1.32	1.16	0.92	0.88	1.08	0.99	1.171	0.918	1.041	0.959

Avec :

ELL : limite inférieure extrême

NLL : limite supérieure nominale

NUL : limite supérieure extrême

EUL : limite supérieure extrême

Wem inf : limite inférieure de la masse moyenne effective

Wem sup : limite supérieure de la masse moyenne effective

W50 inf : limite inférieure tolérée de la masse médiane

W50 sup : limite supérieure tolérée de la masse médiane

Les spécifications de masse sont ensuite converties en diamètres équivalents :

Tableau 21: les caractéristiques d'un type de bloc artificiel

D50	440 mm
D2 (ELL)	220 mm
D10 (NLL)	310 mm
D70 (NUL)	520 mm
D97 (EUL)	610 mm
D15	320 mm
D85	570 mm
D50 min	410 mm
D50 max	460 mm
Wem inf	110 kg
Wem sup	160 kg
Classe (en masse)	60-300 kg

IV.8. Rip-rap aval (e2) et transition amont (T)

Le rip-rap joue un rôle déterminant de protection des ouvrages maritimes et côtiers contre les vagues, les chutes de blocs et les effets de débâcles de glace. À l'aval des barrages en remblai, le rip-rap a pour fonction principale de protéger les remblais contre les apports météorologiques en limitant la rétention d'eau et l'érosion. Ces fonctions sont similaires à celles de la couche de

transition à l'amont, qui permet le drainage des eaux de ruissellement et évite le ravinement de la recharge. [10]

Le fuseau granulométrique proposé pour le rip-rap de protection aval (E2) et la couche de transition amont (T) est basé sur l'expérience acquise sur des ouvrages similaires. Une attention particulière doit être portée au risque de ségrégation entre ces deux couches

Tableau 22:Caractéristiques Granulométriques.

Module AFNOR	Ouvertures du tamis (mm)	Pourcentage poids minimum de passant	Pourcentage en poids maximum de passant
54	200	100	100
50	80	69	100
48	50	56	85
44	20	37	67
38	5	15	45
34	2	0	30
28	0.5	0	10
20	0.08	0	5

IV.9. Résumé

Les fuseaux granulométriques du pseudo-noyau et des recharges ont été adaptés en fonction de la disponibilité des matériaux dans les zones d'emprunt identifiées. Ils sont considérés comme des "fuseaux de référence ». Le dimensionnement des fuseaux granulométriques des autres matériaux des ailes en remblai de Chebabta est basé sur le fuseau du pseudo-noyau. Les critères suivants ont été retenus :

✚ Matériau filtrant (F) :

- Fonction de rétention : $D_{15} \leq 0,315 \text{ mm}$
- Pourcentage de fines ($<80\mu\text{m}$) $\leq 5\%$
- Critère de non-ségrégation : $D_{\text{max}} \leq 20 \text{ mm}$

✚ Drain (D) :

- Fonction de rétention : $D_{15} \leq 12,5 \text{ mm}$
- Fonction de drainage :
 - Pourcentage de fines ($<80\mu\text{m}$) $\leq 3\%$
 - $D_{15} > 5 d_{15 \text{ max}} = 1,58 \text{ mm}$
- Critère de non-ségrégation : $D_{\text{max}} \leq 80 \text{ mm}$

✚ Rip-rap amont (E1) :

- $D_{50} = 440 \text{ mm}$
- Classe en masse (EN 13383) : 60-300 kg

✚ Protection aval (E2) et transition (T) :

- Pourcentage de fines ($<80\mu\text{m}$) $\leq 5\%$
- $D_{\text{max}} \leq 200 \text{ mm}$

Les matériaux mis en œuvre devront s'inscrire dans ces fuseaux granulométriques définis sur la base de l'expérience acquise sur des ouvrages similaires.

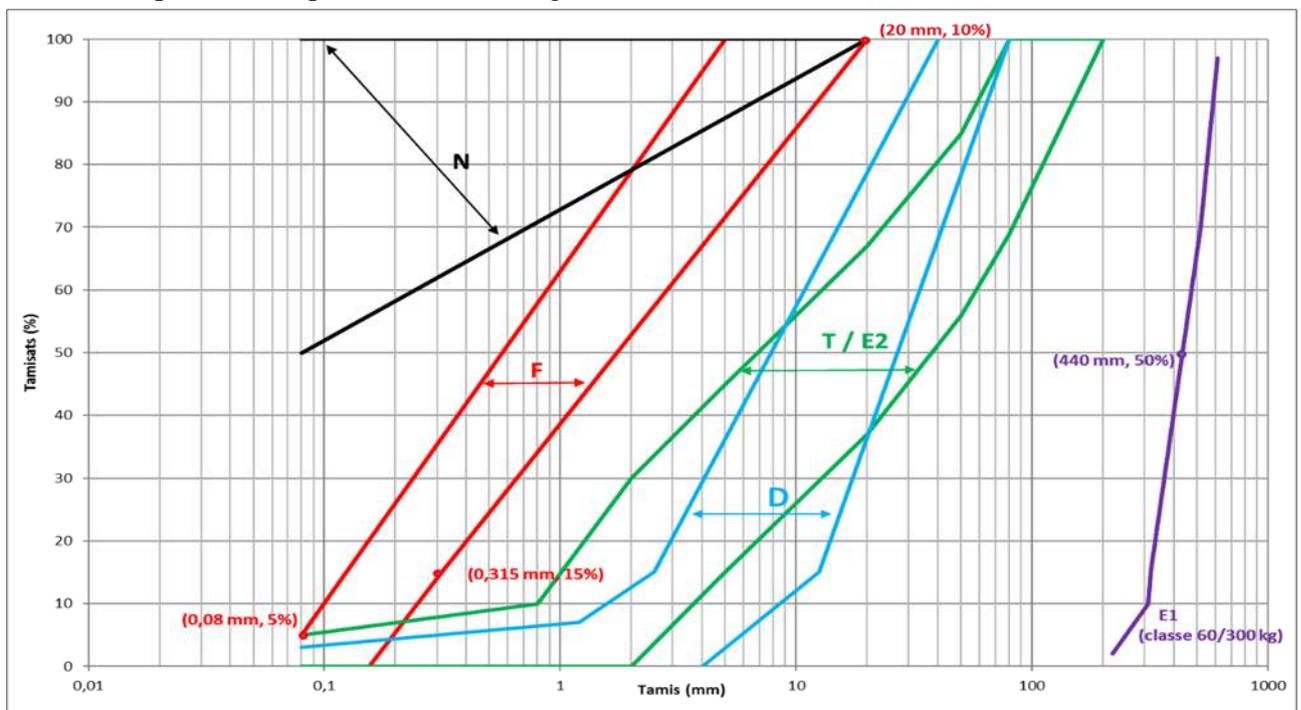


Figure 36: Fuseaux granulométriques (A.N.B.T)

IV.10. Stabilité des Talus de Remblai

IV.10.1. Analyse Technique de l'Aménagement du Barrage de Chebabta

L'aménagement de Chebabta consiste en un ouvrage mixte, comprenant un barrage en béton compacté au rouleau (BCR) de 500 mètres de long situé au centre de la vallée, et des ailes en remblais sur les rives. Cette note de calcul se concentre sur l'étude de la stabilité au glissement et au renversement du barrage en BCR.. Le processus d'analyse inclut la détermination des facteurs de sécurité du barrage projeté pour divers cas de charge de dimensionnement. L'objectif principal de cette étude est de démontrer que les facteurs de sécurité, calculés à partir de différentes simulations, sont supérieurs ou au moins égaux aux recommandations internationales et aux normes de pratique acceptées dans le domaine. Cette démonstration vise à garantir que le barrage respecte les exigences de sécurité les plus strictes, assurant ainsi sa fiabilité et sa durabilité. Les résultats de cette analyse fournissent des preuves solides que la conception du barrage répond aux critères de sécurité établis, confirmant ainsi la viabilité du projet selon les standards de l'ingénierie moderne.

IV.10.2. Méthode de calcul

Le calcul de stabilité du barrage sera réalisé à l'aide du logiciel Géostudio.

Géostudio est un logiciel spécialisé dans les calculs géotechniques, conçu pour résoudre divers problèmes liés au sol, tels que les glissements de terrain, les tassements, la consolidation et les infiltrations. Utilisant des méthodes d'équilibre limite, ce logiciel évalue le facteur de sécurité des surfaces de glissement potentielles et inclut plusieurs programmes intégrés :

- **SLOPE/W** : Permet de calculer le coefficient de sécurité d'un talus naturel ou artificiel à l'aide de méthodes d'analyse classiques.
- **SEEP/W** : Permet de modéliser les infiltrations d'eau dans les sols.
- **SIGMA/W** : Permet d'analyser les problèmes de contraintes et de déformation dans les sols.
- **QUAKE/W** : Permet d'étudier la réaction des sols en cas de séisme.
- **TEMPS/W** : Permet d'examiner les problèmes géotechniques temporels affectant les sols.

Pour atteindre notre objectif de calcul des coefficients de sécurité, nous utiliserons spécifiquement le programme SLOPE/W.

IV.10.2.1. Définition du programme

SLOPE/W est l'un des modules intégrés dans la suite Géostudio, conçu pour réaliser des calculs de stabilité des pentes en appliquant la méthode d'équilibre limite de Morgenstern et Price. Ce logiciel se distingue par son interface graphique conviviale et sa compatibilité avec les versions de Microsoft Windows XP.

• **Description de l'interface du logiciel SOPE/W:**

Les menus disponibles et leurs fonctions respectives sont les suivants :



Figure 37: Présentation de l'interface du logiciel.

Les menus disponibles et leurs fonctions respectives sont les suivants :

- **File (Fichier) :** Permet d'ouvrir et d'enregistrer des fichiers, d'importer des photos et d'imprimer le dessin.
- **Edit (Édition) :** Permet de copier le dessin dans le presse-papiers de Windows.
- **Set (Paramètres) :** Permet de définir les paramètres de la grille, le zoom et les axes de la page.
- **View (Affichage) :** Permet de contrôler l'affichage des contrôles, des informations sur les sols et les points, ainsi que d'afficher les forces interbranches sur un schéma corporel de chaque tranche.
- **Keyin (Saisie) :** Permet d'introduire automatiquement, à l'aide de tableaux, les paramètres géométriques de la pente (coordonnées et couches), les caractéristiques mécaniques des différentes couches constituant le talus, les conditions complémentaires nécessaires pour le calcul, le niveau de la nappe, la sélection des différentes méthodes de calcul, les surcharges, l'effort sismique et les confortements.
- **Draw (Dessin) :** Permet d'introduire manuellement les paramètres géométriques de la pente (coordonnées et couches), les conditions complémentaires nécessaires pour le calcul, le niveau de la nappe, les surcharges et les confortements.
- **Sketch (Croquis) :** Permet de définir des objets graphiques pour étiqueter, améliorer et clarifier les résultats du problème.

•**Modify (Modifier)** : Permet de déplacer, modifier ou supprimer des objets graphiques, des textes et des photos.

Les calculs ont été réalisés en utilisant à la fois la méthode de la sécurité est vérifiée pour les situations suivantes :

1. Stabilité à court terme, correspondant à la fin de la construction.
2. Stabilité à long terme, correspondant à une vidange rapide.
3. Stabilité à long terme, correspondant à un séisme avec la retenue pleine.

IV.10.3. Forces Appliquées sur Chaque Tranche

L'étude de la stabilité des talus vise à évaluer la sécurité des pentes naturelles ou artificielles en déterminant la possibilité de glissement. Voici un aperçu des forces appliquées sur chaque tranche dans un talus et les formules de calcul pertinentes utilisées dans le logiciel Géostudio.

a) Poids de la Tranche (W) :

$$W = \gamma \times A \quad (\text{IV.8})$$

γ : Le poids est déterminé en multipliant la densité du matériau

A : la surface horizontale de la section transversale

b) Force Normale (N):

$$N = W \cos \alpha \quad (\text{IV.9})$$

α : l'angle du plan de glissement par rapport à l'horizontale

W : Poids de la Tranche

c) Force Tangentielle (T) :

$$T = W \sin \alpha \quad (\text{IV.10})$$

α : l'angle du plan de glissement par rapport à l'horizontale

W : Poids de la Tranche

d) Force de Cohésion (C) :

$$C = c \times L \quad (\text{IV.11})$$

c : la cohésion

L : la longueur de la base de la tranche

e) Force de Poussée Interstitielle (U) :

$$U = u \times L \quad (\text{IV.12})$$

u : la pression interstitielle

L : la longueur de la base de la tranche

f) Résistance au Cisaillement (S) :

$$S = (c + (\sigma - u) \cdot \tan(\phi)) \cdot L \quad (\text{IV.13})$$

c : la cohésion

u : la pression interstitielle

L : la longueur de la base de la tranche

σ : la contrainte normale

ϕ : l'angle de friction interne du sol

IV.10.4. Calcul de la Stabilité Globale

La coupe-type analysée représente le profil le plus élevé des talus en remblai, situé à proximité du mur bajoyer rive droite. Voici un rappel des principales caractéristiques de cette coupe :

- ✚ Altitude de crête : 807 mètres au-dessus du niveau général d'altitude (NGA).
- ✚ Altitude de la ligne de terrain naturel (TN) : Environ 775 mètres NGA en amont et 772 mètres NGA en aval.
- ✚ Altitude du fond de fouille de la clé d'ancrage : 768 mètres NGA.
- ✚ Largeur en crête : 6 mètres.
- ✚ Pente du talus en amont : 3,5 unités de hauteur pour 1 unité de longueur horizontale (3,5H/1V).
- ✚ Pente du talus en aval : 3 unités de hauteur pour 1 unité de longueur horizontale (3H/1V).
- ✚ Le modèle de remblai comprend un zonage distinct avec des matériaux fins dans le pseudo-noyau et des matériaux granulaires dans les recharges. Sous celles-ci, une couche de dépôts superficiels d'environ 2 à 3 mètres d'épaisseur recouvre le substratum rocheux, avec une clé d'ancrage modélisée.

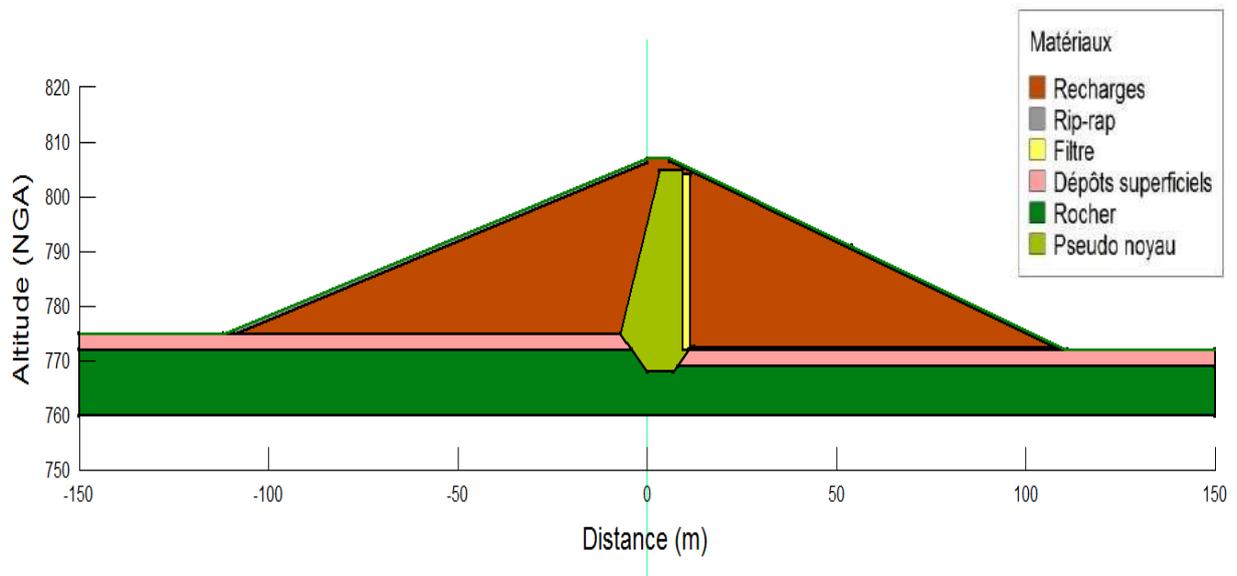


Figure 38: Géométrie modélisée

L'évaluation de la stabilité d'un talus implique de comparer la somme des forces résistantes à la somme des forces déstabilisantes. Le facteur de sécurité (FS) est calculé comme suit :

$$FS = \frac{\sum S}{\sum T} \quad (\text{IV.14})$$

S : force résistante

T : forces déstabilisantes

- Un facteur de sécurité supérieur à 1 indique que le talus est stable, tandis qu'un facteur inférieur à 1 indique une instabilité potentielle.

IV.10.4.1. Paramètres Géotechniques Sélectionnés

En plus des aspects géométriques précédemment définis, les informations nécessaires à l'étude de la stabilité statique comprennent les caractéristiques des matériaux de la fondation et de la digue, présentées dans le tableau suivant :

Tableau 23:Caractéristiques mécaniques retenues

		Matériaux					
		Recharges	Pseudo-Noyau	Dépôts superficiels	Rip-rap	Filtre	Rocher
Caractéristiques mécaniques retenues	Angle de frottement (ϕ)	20°	15°	15°	40°	35°	45°
	Cohésion (c)	49 kPa	25 kPa	30 kPa	0	0	0
	Poids volumique	20 kN/m ³	20 kN/m ³	20 kN/m ³	25 kN/m ³	20 kN/m ³	25 kN/m ³

IV.10.4.2. Conditions de Charge pour l'Étude de Stabilité

✚ Fin de la construction :

- À la fin de la construction, des pressions interstitielles se développent dans le remblai et la fondation du barrage, réduisant sa stabilité à court terme.
- Le coefficient de pression interstitielle R_u est estimé à 20% pour le remblai et les dépôts superficiels de la fondation.
- Ce cas de charge étudie la stabilité du barrage à l'état initial, sous le seul poids propre des matériaux.

✚ Régime permanent à retenue normale (RN) :

- Ce cas de charge correspond à l'établissement du régime hydraulique interne permanent pour un niveau de retenue égal à la cote de RN (802 m NGF).
- On suppose que la ligne de saturation soit horizontale jusqu'à la cheminée filtre, et que la recharge aval est à sec.

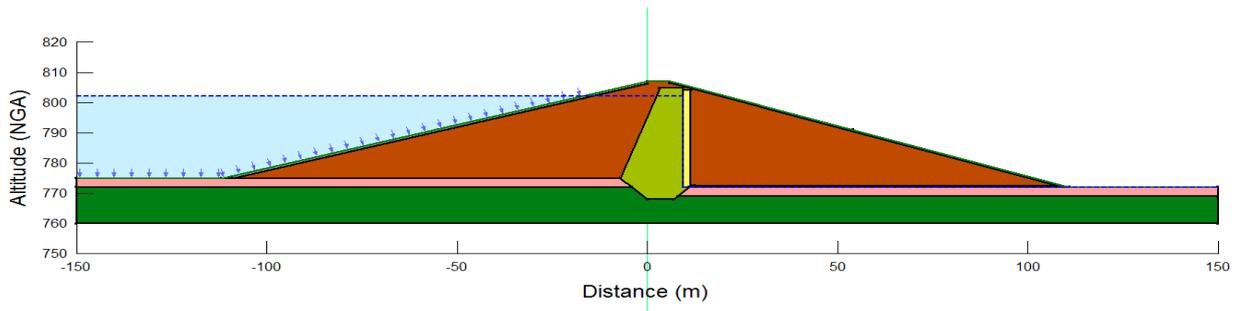


Figure 39: Niveau d'eau amont

✚ Régime permanent à plus haute eau (PHE) :

- Ce cas de charge correspond à l'établissement du régime hydraulique interne permanent pour un niveau de retenue égal à la cote de PHE (804,71 m NGF).
- Les hypothèses sont similaires au cas de retenue normale.

✚ Cas de la vidange rapide :

- Cette situation vise à vérifier la stabilité du talus amont en condition saturée, lorsque la poussée hydraulique est réduite de moitié en 8 jours maximum.
- Les pressions interstitielles n'ont pas le temps de se dissiper, réduisant les marges de sécurité.

✚ Séisme :

- Les mouvements horizontaux du séisme sont modélisés par la méthode d'analyse pseudo-statique, en appliquant un coefficient sismique.
- Pour le séisme de base d'exploitation (SBE), l'accélération horizontale à considérer est 0,11g.
- Pour le séisme maximum probable (SMP1), l'accélération horizontale est de 0,17g.

IV.10.5. Résultats

Ce tableau présente les valeurs minimales des facteurs de sécurité (FS) pour différentes situations de charge d'un projet particulier. Les FS sont des paramètres cruciaux pour garantir la sécurité structurelle en prenant en compte des scénarios de charge variés et en s'assurant que les composants peuvent supporter les contraintes attendues.

Le tableau distingue deux catégories principales de FS :

- **Facteur de sécurité amont** : Il s'applique aux phases de conception et de construction, où les incertitudes sur les charges et les propriétés des matériaux sont plus importantes. Des valeurs de FS amont plus élevées compensent ces incertitudes et assurent une marge de sécurité adéquate.
- **Facteur de sécurité aval** : Il s'applique aux conditions d'exploitation normales et accidentelles, une fois la construction terminée. Les valeurs de FS aval sont généralement plus faibles que les valeurs amont, reflétant une meilleure connaissance des charges réelles et des propriétés des matériaux.

Tableau 24: Analyse des Coefficients de Sécurité pour Divers Scénarios de Charge

Situation de projet n°	Définition du cas de charge	Facteur de sécurité	
		Amont	Aval
1	Fin de construction	1,61	1,45
2	Régime permanent, RN = 802 NGA	-	1,62
3	Régime permanent, PHE = 804,76 NGA	-	1,63
4	Vidange rapide de puis RN	1,29	-
5	Régime permanent +SBE	1,29	1,18
6	Régime permanent +SMP	1,02	1,04

IV.10.6. Cartographie des Risques de Glissement pour la Stabilité du Barrage

Les figures suivantes montrent les surfaces de glissement critiques, soulignant l'importance du remblai et les zones vulnérables près de la crête de la digue. Les contours délimitent les points faibles pour chaque charge, mettant en évidence l'influence des pressions interstitielles et des forces gravitationnelles. Les résultats ciblent les zones à risque élevé, fournissant des données cruciales pour renforcer la stabilité. Ces illustrations offrent une vue globale des menaces de glissement, permettant une évaluation précise de la stabilité du barrage.

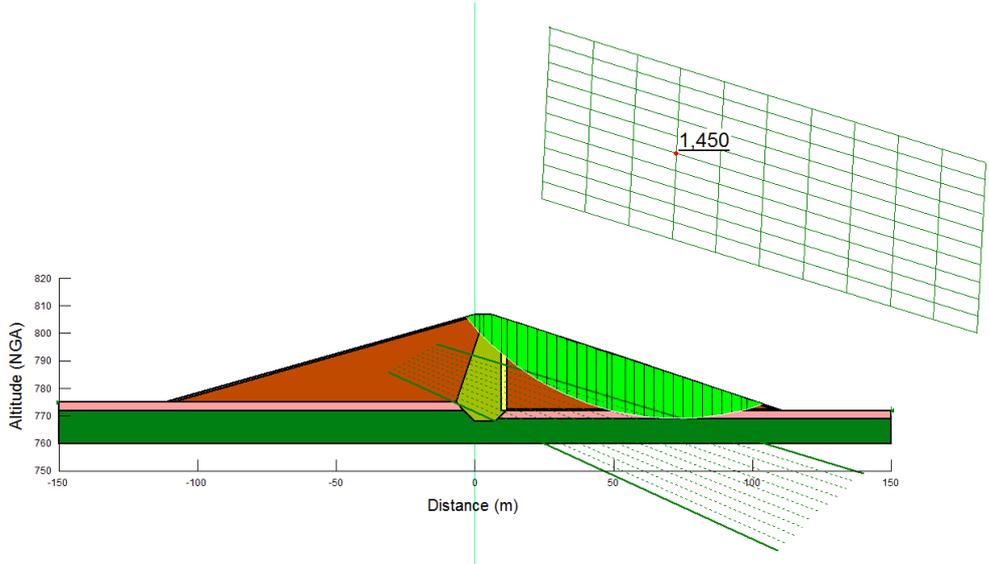


Figure 40: Résultat pour le cas de Fin de construction

Le facteur de sécurité est de 1,45 qui est supérieur à 1

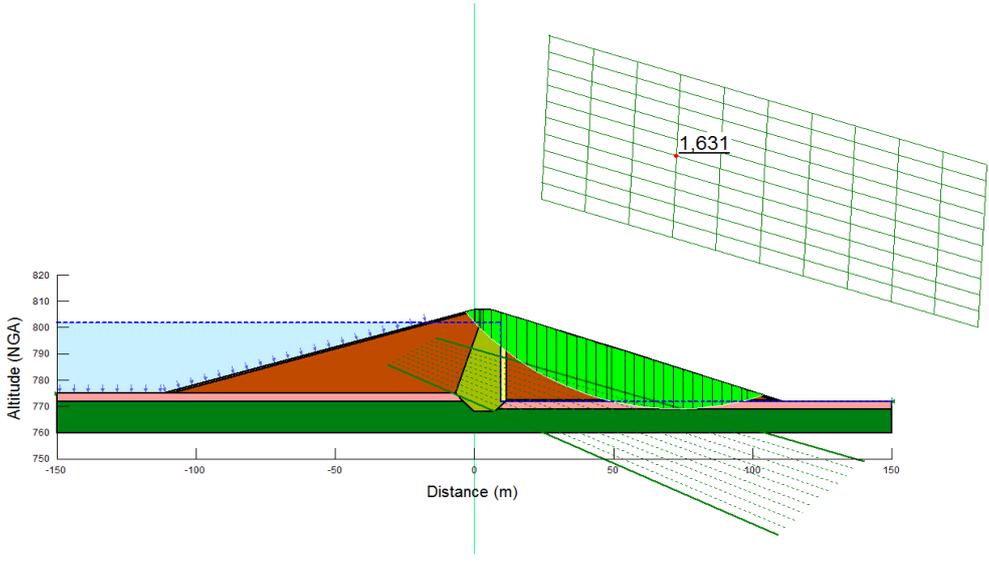


Figure 41: Résultat pour le cas de Régime permanent (RN)

Le facteur de sécurité est de 1,63 qui est supérieur à 1

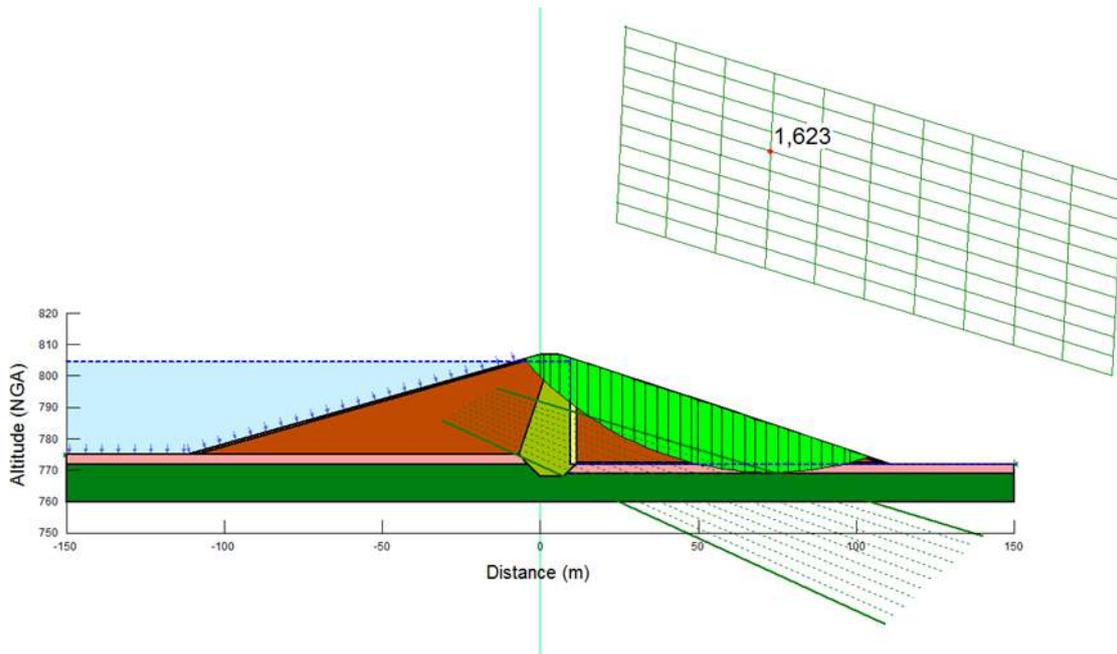


Figure 42:Résultat pour le cas de Régime permanent à plus haute eau

Le facteur de sécurité est de 1,62 qui est supérieur à 1

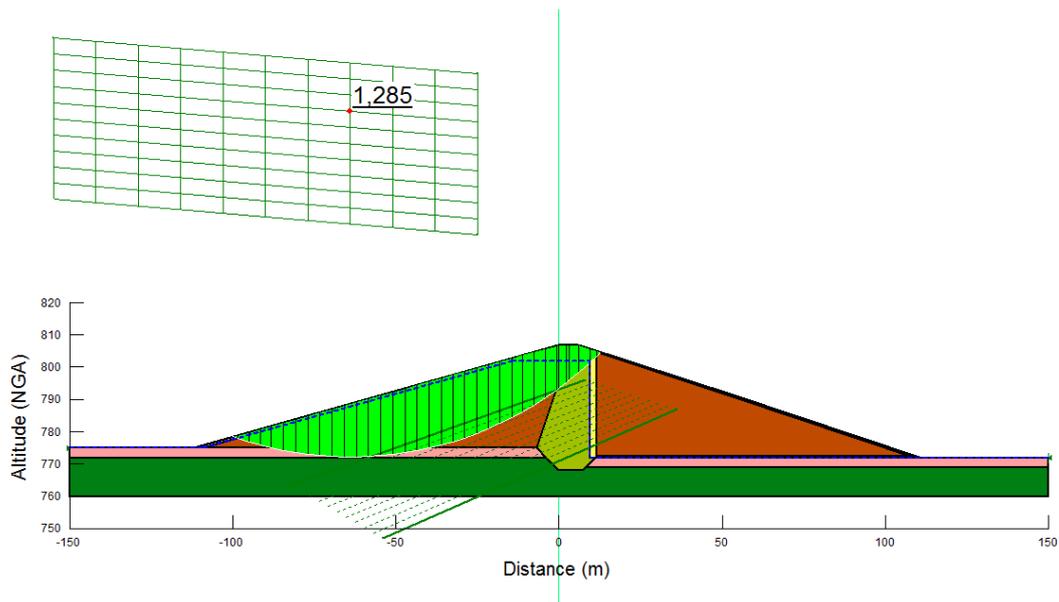


Figure 43:Résultat pour le cas de Vidange rapide depuis RN

Le facteur de sécurité est de 1,28 qui est supérieur à 1

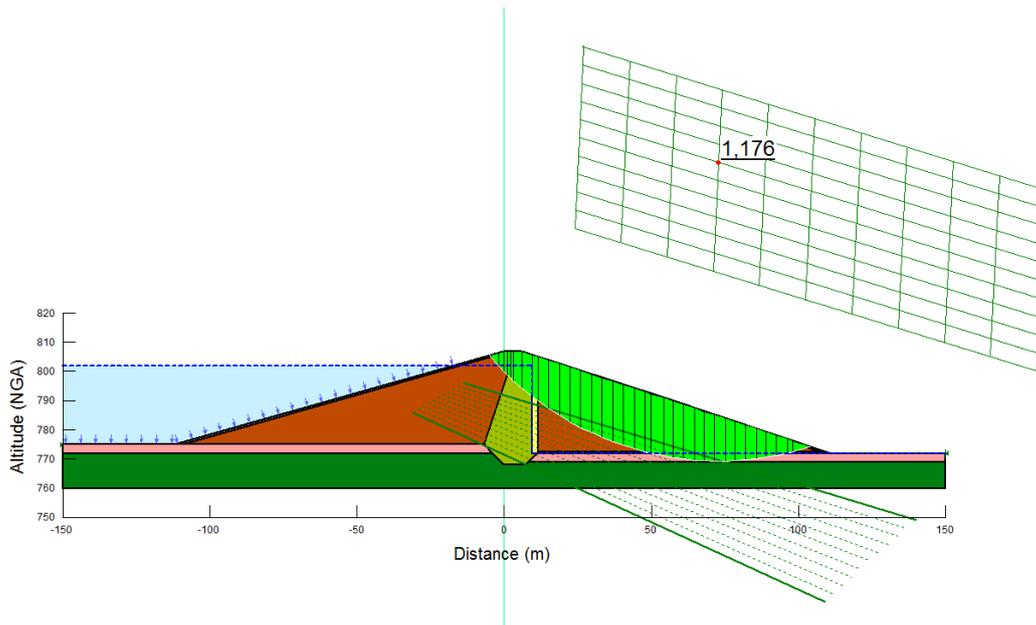


Figure 44:Résultat pour le cas de séisme de base d'exploitation (SBE)

Le facteur de sécurité est de 1,17 qui est supérieur à 1

IV.11. Conclusion

Ce chapitre traite de l'étude de la stabilité des pentes et des talus, en mettant l'accent sur le barrage de Chebabta. En utilisant le logiciel Géostudio et ses modules, notamment SLOPE/W, nous avons analysé et calculé les coefficients de sécurité pour différentes configurations et scénarios de charge.

Les principaux points abordés incluent :

- ✚ **Analyse granulométrique** : Les matériaux utilisés (alluvions A1, A2, A3, pseudo-noyau, filtres) ont été évalués pour garantir leur adéquation, l'étanchéité et la stabilité des remblais.
- ✚ **Méthodes de calcul** : Des simulations ont été réalisées pour divers scénarios de charge, incluant la fin de la construction, le régime permanent à retenue normale et à plus haute eau, la vidange rapide et les conditions sismiques.
- ✚ **Résultats des facteurs de sécurité** : Les coefficients de sécurité obtenus sont supérieurs aux normes internationales minimales, assurant une marge de sécurité adéquate.

Conclusion générale

Dans le cadre de notre projet intitulé "Étude de faisabilité du barrage de Chebabta", nous avons mené une analyse exhaustive en quatre chapitres principaux, chacun apportant des contributions essentielles.

Le premier chapitre a abordé une étude géologique et géotechnique approfondie, caractérisant les formations du site et confirmant l'étanchéité générale avec des niveaux de nappe phréatique entre 766 et 805 mètres. L'analyse géologique a révélé que le site est principalement composé de marnes imperméables, avec quelques couches de calcaires fracturés. Des sondages ont été effectués pour déterminer la composition des sols et leur stabilité. Les résultats ont montré une bonne étanchéité générale du site, avec des variations de niveau de nappe faibles, ce qui est crucial pour la stabilité du barrage. Des études sismiques ont également été menées pour évaluer la résistance du site aux tremblements de terre, confirmant que le site est situé dans une zone de faible sismicité avec une PGA (Peak Ground Acceleration) de 0.15..

Le deuxième chapitre a porté sur l'étude hydrologique du bassin versant de l'oued Meskiana, révélant un indice de compacité de 1.46 et une dénivelée de 177 mètres. Les données climatiques montrent une forte variabilité saisonnière, avec des températures moyennes annuelles de 15.52 °C et des précipitations moyennes annuelles de 272.33 mm. L'analyse des précipitations a utilisé des méthodes statistiques avancées pour déterminer les pluies maximales journalières, ajustées selon les lois de Gumbel et de Log-normal. Ces données sont essentielles pour dimensionner les structures de gestion des crues. La courbe hypsométrique du bassin versant a montré une distribution des altitudes qui favorise un écoulement rapide des eaux, augmentant les risques d'érosion et de crues soudaines. L'étude a également pris en compte l'évaporation et la transpiration, cruciales pour évaluer les pertes d'eau et planifier la gestion des ressources hydriques..

Le troisième chapitre a décrit l'aménagement hydraulique, choisissant un barrage en béton compacté au rouleau (BCR) de 40.5 mètres de hauteur et 500 mètres de longueur, avec une capacité de retenue de 6.661 millions de mètres cubes et un évacuateur de crues capable de gérer 4 565 m³/s. Ce chapitre a également détaillé les aspects techniques de la construction, incluant la dérivation provisoire, l'ouvrage de prise d'eau, et l'évacuateur de crues. L'accent a été mis sur la gestion efficace des eaux et la sécurité structurelle, notamment avec la mise en place de systèmes de contrôle des crues et des vannes de régulation.

Conclusion Générale

Enfin, le quatrième chapitre a évalué les options techniques et économiques, aboutissant à la meilleure variante pour optimiser les coûts et garantir la qualité. Cette évaluation a inclus une analyse des coûts de construction, des matériaux nécessaires, et des impacts environnementaux. Les résultats ont montré que la construction du barrage de Chebabta est réalisable sans difficultés techniques majeures. Des investigations supplémentaires sont recommandées pour affiner les détails techniques et assurer l'approvisionnement en matériaux. La capacité de retenue du barrage favorisera le développement régional et générera de nombreux emplois locaux.

La construction du barrage de Chebabta est réalisable sans difficultés techniques majeures. Des investigations supplémentaires sont recommandées pour affiner les détails techniques et assurer l'approvisionnement en matériaux. La capacité de retenue du barrage favorisera le développement régional et générera de nombreux emplois locaux.

Cette étude reflète nos efforts théoriques et pratiques, et nous espérons qu'elle servira de référence pour les futures initiatives similaires.

Bibliographie

- [1] **MAOU.A.** Cours hydrologie 1 option : hydrogéologie appliquée +géologie. Institut d'architecture et des sciences de la terre université de Sétif.2023
- [2] **FARES BELAGOUNE.** Thèse. Etude Hydrologique des Bassins versants aride et semi-aride du sud-est de l'Algérie (Cas des bassins : Chott Melghir, Chott d'El Hodna et Hauts Plateaux Constantinois). Université d'Ouargla.2020
- [3] **HAMMAR YUCEF.** Mémoire de fin d'étude. Contribution à l'étude d'aménagement Oued KARMOUS commune d'Akbou wilaya de Bejaia. Université de Bejaia.2023
- [4] **KEUMEZE DJOUMGOUE.** Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieure 2ie avec grade de master 2. Etude comparative entre un déversoir trapézoïdal et un déversoir bec de canard : cas du barrage de loesgotenga, province de kouritenga, région du centre-est (burkina faso). Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement Burkina faso. 2021
- [5] **BOUBEKEUR Youcef, GUESMIA Khadîdja.** Mémoire de fin d'étude. Etude de faisabilité du barrage de Berriche W. Batna. Ecole Nationale Polytechniques.2015
- [6] **G. BOCQUIER.** Note concernant les travaux pédologiques dans la cuvette congolaise. Office de la recherche scientifique et technique outre-mer 20, rue monsieur paris vile. n°5414, I.E.C. Brazzaville fév.1960
- [7] **HOUARI I, M., NEZLI I, E., et BOUREGAA S.** Description géologique et géométrique des formations aquifères de la cuvette de Ouargla. Algérien journal of arid environnement. ISSN 2170-1318, vol. 4, n° 1, Juin 2014: 12-19
- [8] **COUR, F., VINCENT, A.** Géotechnique, tome1 : Détermination de la perméabilité du noyau d'un barrage à partir des mesures in situ des pressions interstitielles. Bibliothèque virtuelle ICE Connaissances essentielles en ingénierie. Volume 23 Issue 3, Septembre 1973, pp. 383-405
- [9] **CORINNE CURT.** Evaluation de la performance des barrages en service basée sur une formalisation et une agrégation des connaissances. Application aux barrages en remblai. Génie des procédés. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, 2008. Français
- [10] **ETIENNE FROSSARD.** Justification des barrages en enrochements a masque d'étanchéité amont. Colloque CFBR : « Justification des barrages : Etat de l'art et Perspectives», Expert Indépendant- 54 Route des Faget 64290 ESTIALESCQ Chambéry, 27 et 28 novembre 2019

ANNEXES

Annexe

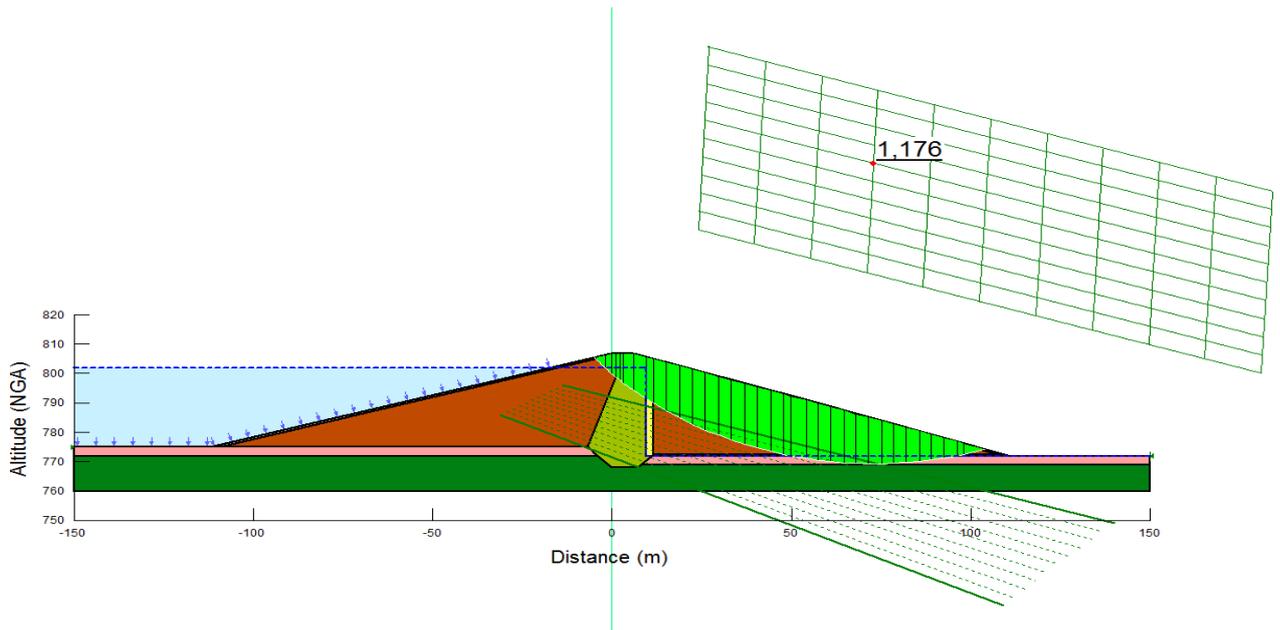
Annexes (01) : Pluies mensuelles et annuelles–StationdeMeskiana_12-02-01(complété)

Années	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel
1969	166	173,8	5,2	62,7	42,3	1	18,5	22,05	30,2	24,5	6,2	3	555,5
1970	1,5	43,6	0	6,5	60,5	28,9	0,2	3,5	41,5	12,5	16,4	18,5	233,6
1971	100,5	52,8	8,9	10,8	69	11,4	31,5	51,7	20,3	136,1	13,5	24,9	531,4
1972	18,8	108,9	5,2	31	59,1	60	130	54,6	4,5	16	1,8	38,8	528,7
1973	5,2	8,5	9	17,1	1	40	2	35,9	19,2	4,8	0,9	13,2	156,8
1974	1,3	12,5	23	8	12,7	68,2	37,8	50	58	0	8,5	24,1	304,1
1975	48,14	7,51	39,85	3,96	29,28	30,31	62,22	22,86	51,99	58,28	41	21,22	416,6
1976	36,71	48,37	87,03	17,75	13,54	6,04	27,38	35,43	66,81	35,55	1,84	19,15	395,6
1977	9,73	16,47	45,74	0	8,83	28,3	31,12	21,62	32	2,58	0	22,29	218,7
1978	0,65	37,42	7,82	7,39	6,08	45,26	32,97	85,51	24,05	39,65	0,15	1,6	288,6
1979	72,1	19,8	6,1	2,1	22,9	30,8	64,9	33	1	67,2	0	23,9	343,8
1980	41,6	0,6	43,4	56,6	17,8	26,3	41,3	21,6	15,8	27,1	1	10,8	303,9
1981	40,4	14	2,5	12,65	14,2	14	7	60,7	83	0	0	0	248,5
1982	42,7	49	53,3	23	3	0	32,4	4	27	14,8	0	31,3	280,5
1983	7	15,2	16,7	12	60,6	96,6	22,7	17,6	0	8,1	0	0	256,5
1984	11,4	36,7	4,3	69,6	22,7	3,8	52	19	27	0	0	0	246,5
1985	0	0	0	3,5	23,2	13,9	75,4	0,8	19,2	20,5	15,9	0	172,4
1986	62,6	4,6	18,9	20,5	0	17,2	31,9	0	15,2	0	0	23	193,9
1987	0	2,5	0	1,8	4,4	13,8	11,8	20,7	32,1	40,2	0	0	127,3
1988	13,5	22,6	28,5	23,1	2,7	19,5	0	6,9	0	0	0	49,9	166,7
1989	4,5	0	11,6	5,7	23,4	0	21	14,1	44	0	0	0	124,3
1990	31	7,5	56,9	35,2	2,9	19,5	40,6	54,8	32	0	0	0	280,4
1991	0	39	27,5	0	37,6	51,3	45,5	24,9	69,8	0	0	7,5	303,1
1992	3	64	37,4	44,8	0	14,1	8,2	1,4	38,4	2,6	2,3	24,9	241,1
1993	24,5	3,2	3,9	12,65	7,5	14	19	22,05	10,5	0	0	2,3	119,6
1994	7,5	26,2	6,5	5,8	44,2	0	8,8	11,5	0	74,9	23,1	6,7	215,2
1995	98,7	26,8	7	12	88	63	66	33,2	12,2	15,8	0	3,5	426,2
1996	8,6	0	0	2,4	10,5	0	11	33,5	13,3	7	1,7	0,6	88,6
1997	65,7	4,9	40,2	22,6	14,8	4	27,8	56,7	11,6	12	0	19,4	279,7
1998	20,1	15,5	16,7	3,4	88	2	15,7	9,9	17,8	38,3	11	0	238,4
1999	25,1	57,7	43,8	27,9	2,9	0,3	0	0	97,1	22	0	0	276,8
2000	19	27,8	9,5	23,2	20	14,8	6,1	12	49	12	0	0	193,4
2001	12	17,9	12,8	0	0	0	5,5	11,1	8	28	0	87,2	182,5
2002	3,4	6	52,9	6,8	12,3	12,1	16	36,5	28	11,1	0	0	185,1
2003	26,3	79,9	10,2	71,7	10,2	4,3	31	13,9	92,6	40,9	16,2	36,8	434
2004	32,4	1,2	80,3	52,7	2,7	13,4	5,6	13,7	0,3	4,5	0	3,5	210,3
2005	43,7	8,4	4	13,3	61,3	15,2	4,5	40,2	120,6	23,7	6,5	28,3	369,7
2006	0	18,9	6,7	27,4	5,2	15,2	50,7	61,8	35,1	12,4	0,4	21,5	255,3
2007	24,1	0	9	27,5	2,1	3,8	26,7	30,5	66,3	3	0	58,5	251,5
2008	58,4	80,9	7,5	15,5	82,4	0	47,4	86,5	45,4	0	0	4	428
2009	95	17,9	0	0,4	43	19	11,6	23,8	29,6	16,7	7,3	0	264,3
2010	26,9	16,9	39	0	27	50,8	28,8	22,5	57,2	24,8	0	0	293,9
2011	24,1	34,6	10,9	8,5	11,5	17,3	27,5	14,7	14	2	8	0	173,1
2012	36,3	23,4	4,2	0	11	5	24,3	24	0,6	3	29,3	17,4	178,5
Moyenne	31,14	28,49	20,54	18,4	24,6	20,33	28,69	27,74	33,23	19,6	4,84	14,72	272,33
Ecart type	34,24	33,4	21,9	19,4	25,55	21,77	24,84	21,41	28,62	25,9	8,91	18,54	111,92
Médiane	24,1	17,9	9,85	12,33	13,87	14,05	27,04	22,28	27,5	12,2	0	7,1	253,4
Cv	1,1	1,17	1,07	1,05	1,04	1,07	0,87	0,77	0,86	1,32	1,84	1,26	0,41
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	88,6
Max	100,5	108,9	87,03	71,7	88	96,6	130	86,5	120,6	136,1	41	87,2	531,4

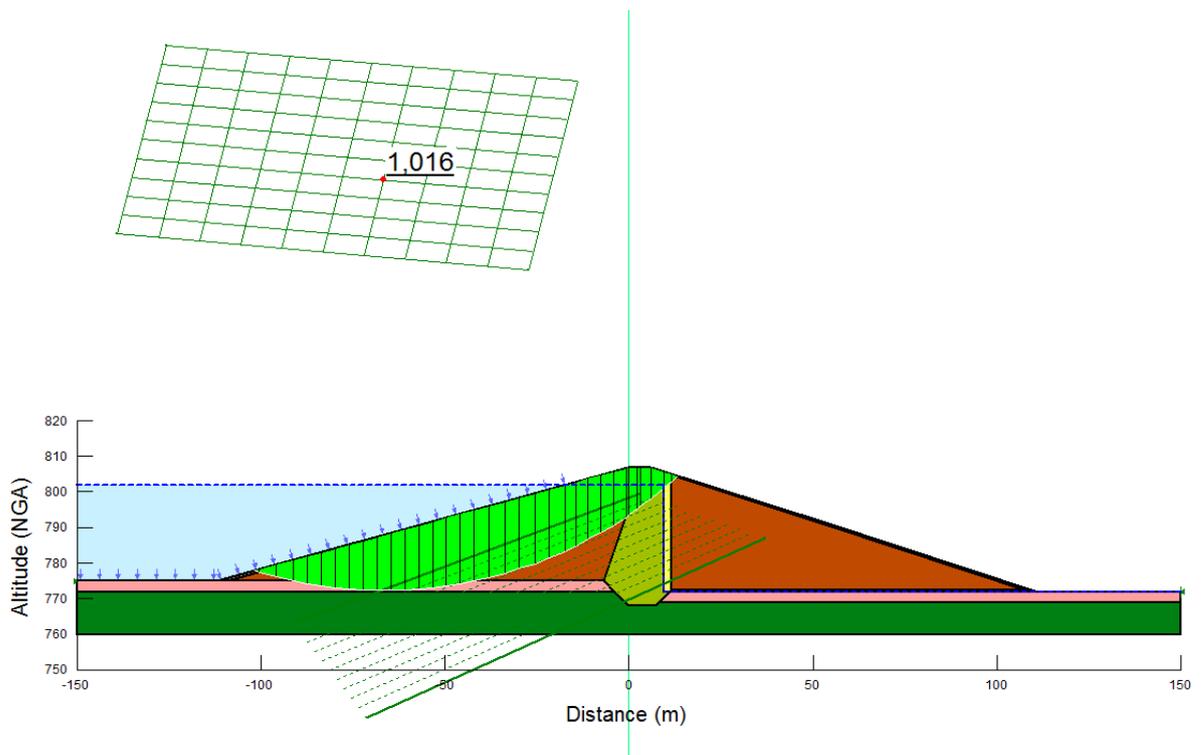
48,14

Pluieestimée

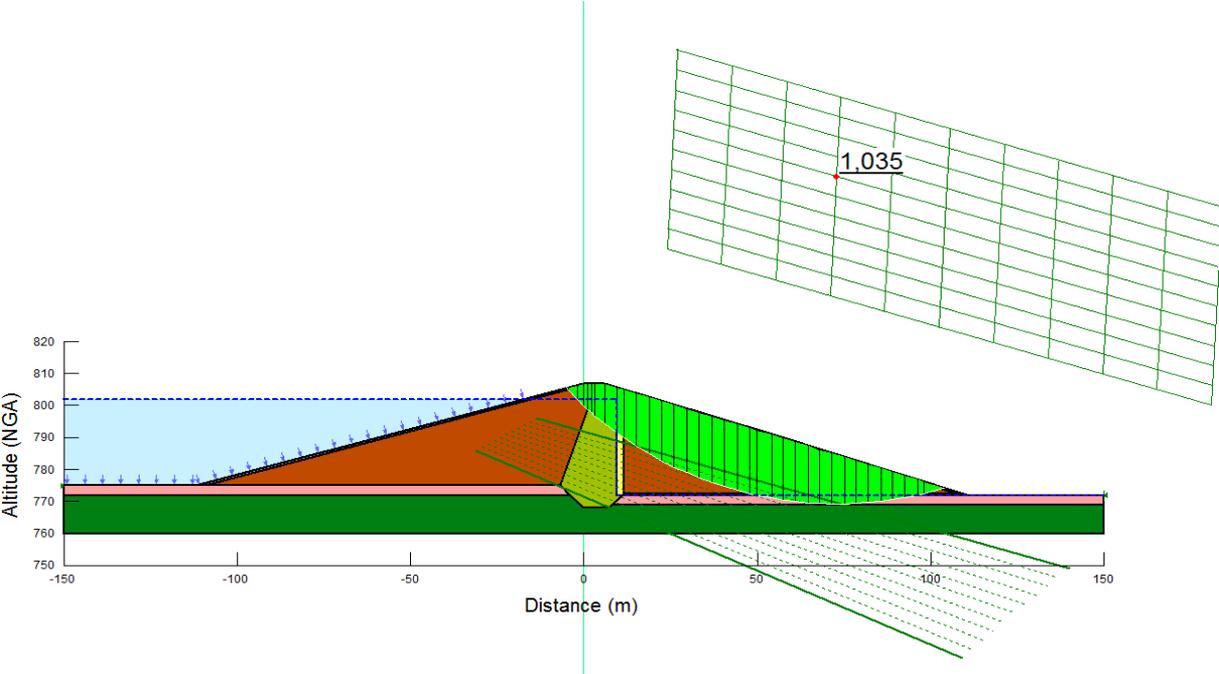
Annexes (02) : Résultat pour le cas de Régime permanent RN + SBE (Aval)



Annexes (03) : Résultat pour le cas de Régime permanent RN + SPM (Aval)



Annexes (04) : Résultat pour le cas de Régime permanent RN + SPM (Aval)



Résumé:

Ce mémoire porte sur l'étude technique et hydrologique du projet de barrage de Chebabta situé dans la wilaya d'Oum El Bouaghi, en Algérie. Il vise à réguler les crues de l'oued Meskiana, fournir de l'eau potable et industrielle, et soutenir l'irrigation agricole. Le projet comprend une analyse géologique et géotechnique approfondie, une étude hydrologique détaillée pour estimer les débits de crue et le transport solide, et une évaluation des options techniques et économiques pour la construction du barrage. Le mémoire est structuré en chapitres successifs abordant les conditions géologiques, hydrologiques, la régularisation des apports et le laminage des crues, ainsi que les options techniques et économiques pour la réalisation du barrage.

Abstract:

This thesis focuses on the technical and hydrological feasibility study of the Chebabta dam project located in the Oum El Bouaghi region, Algeria. It aims to regulate floods of the Meskiana river, provide potable and industrial water, and support agricultural irrigation. The project includes an in-depth geological and geotechnical analysis, a detailed hydrological study to estimate flood flows and sediment transport, and an evaluation of technical and economic options for the dam's construction. The thesis is structured in successive chapters addressing geological conditions, hydrological characteristics, flow regulation and flood attenuation, as well as technical and economic options for the dam's realization.

الملخص :

تتعلق هذه الأطروحة بالدراسة الفنية والهيدرولوجية لمشروع سد شبابتا الواقع في ولاية أم البواقي بالجزائر. ويهدف إلى تنظيم الفيضانات في وادي مسكيانة، وتوفير مياه الشرب والصناعية، ودعم الري الزراعي. ويتضمن المشروع تحليلاً جيولوجياً وجيوتقنياً متعمقاً، ودراسة هيدرولوجية تفصيلية لتقدير تدفقات الفيضانات والنقل الصلب، وتقييم الخيارات الفنية والاقتصادية لبناء السد. وتنقسم الأطروحة إلى فصول متتالية تتناول الظروف الجيولوجية والهيدرولوجية، وتنظيم التدفقات الداخلة وتدفق الفيضانات، فضلاً عن الخيارات الفنية والاقتصادية لبناء السد.