

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique Et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement et de la recherche scientifique
Universite Mohamed Khider Biskra
Faculté Des Sciences Et De Technologie
Département De Genie Civil Et Hydraulique
reference :2022

جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة المدنية والري
المرجع :2022



MEMOIRE DE MASTER II

Filière : Hydraulique

Spécialité : Ouvrage Hydraulique

Thème

Etude D'une Retenue Collinaire sur Oued Maghraoua Commune L'outaya wilaya de BISKRA -Etudes des variantes des digues-

Nom et Prénom de l'étudiant :

Sahnoune Chourouk

Encadre par :

Naima Benmebarek

Tibermacine Menouba

Promotion 2022

Dédicace

الى روح اختي الطاهرة نعيمة التي فارقتنا في رمضان الماضي وتركت فينا حزنا عميقا لا يوصف ارجوا من الله ان يتغمدنا برحمته ويسكنها فسيح جنته.

- A l'âme de ma sœur Naima qui nous a quitté avant ramadan et a laissé en moi un chagrin profond je demande à dieu de la bénir de sa miséricorde et qu'elle habite à son vaste paradis.
- Avec expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail a ceux qui, quel que soient le terme embrassé, je n'arriverai jamais à leur exprimer mon amour sincère, à la femme qui a souffert sans me laisser souffrir qui ne m'a jamais dit non à mes exigence et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère.
- A mon chère marie et sa famille qu'il n'a pas cessée de me conseiller encourager et se tenir tout au long de mes études, que dieu le protège et lui offre chance, santé et bonheur.
- A mon adorable sœur Nora et sa petite famille son mari et leur enfant, qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille.
- A mes frères et une dédicace spéciale à mon chère frère Adel et sa petite famille sa femme et ses filles, nous espérons que dieu le protégera de tout mal et lui accordera tout ce qu'il souhaite.
- A chaque famille de ma sœur Naïma ses filles et leur maris, ses fils et leur femmes, j'espère que dieu les protégera et leur accordera le meilleur.
- A ma chère nièce, chams Al-Doha qui m'a toujours aidé de tout son cœur je lui souhaite la réussite dans sa vie futur.

Remerciement

Avant Tout, je remercie Dieu de m'avoir permis d'accomplir cet humble travail

J'adresse mes remerciements particuliers à mon encadrant le professeur M^{me} NAIMA BENMEDAERK pour tous ses efforts pour m'avoir aidé et encouragé à terminer ce modeste travail.

Je tiens à remercier vivement pour la compréhension et pour l'aide tous ceux qui soit par leur conseils, directives ou orientation :

- ❖ **Direction d'hydraulique**
- ❖ **A Tout les enseignants du département d'hydraulique, qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance.**

Résumé

L'Algérie est un pays au climat semi-aride dont la majeure partie du territoire est désertique. Elle ne compte ni grands fleuves ni montagnes enneigées en grand nombre. Les besoins du pays en eau ne cessent d'augmenter alors que l'offre est limitée. L'Agence nationale des barrages et des transferts a vu la nécessité de créer davantage de barrages, Dans ce contexte, ce travail s'intéresse à l'étude d'une retenue collinaire sur Oued Maghraoua commune d'el outaya (Wilaya de Biskra). ce barrage de 9.81 m de hauteur permettra d'irriguer environ 92.4 hectare des terres agricoles. quatre variantes de digues ont été étudiés avec le Logiciel Plaxis 2D. Les résultats sont présentés et discutés. Le choix de la variante optimale sera basé sur la disponibilité des matériau et l'étude technico-économique.

Mots clés: barrage, irrigation, infiltrations, modélisation, Plaxis 2D.

ملخص

الجزائر بلد ذو مناخ شبه جاف ، معظم أراضيها صحراء. ليس بها أنهار كبيرة ولا العديد من الجبال المغطاة بالثلوج. تتزايد احتياجات البلاد من المياه باستمرار في حين أن الإمداد محدود. ورأت الوكالة الوطنية للسدود والتحويلات الحاجة إلى إنشاء المزيد من السدود ، وفي هذا السياق يركز هذا العمل على دراسة خزان تل في واد مغراوة بلدية الوطاية بولاية بسكرة. هذا السد الذي يبلغ ارتفاعه 9.81 م سيجعل من الممكن ري حوالي 92.4 هكتار من الأراضي الزراعية. تمت دراسة أربعة متغيرات من السد باستخدام برنامج Plaxis 2D النتائج قد عرضت ونوقشت. يعتمد اختيار الخيار الأمثل على توافر المواد والدراسة الفنية الاقتصادية.

الكلمات المفتاحية: السد ، الري ، التسرب ، النمذجة ، Plaxis 2D.

SOMMAIRE :

Introduction générale.....	2
-----------------------------------	----------

CHAPITRE 1

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I. Introduction :.....	4
I.2 Situation Géographique.....	4
I.3 Géologique	5
I.3. 1 Géologie Du Bassin Versant.....	5
I.3. 2 Géologie De La Cuvette.....	6
I.3.3 Géologie De La Fondation.....	6
1.4 Travaux Topographique	7
I.5. Sismicité De La Région	7
I.6 Reconnaissance Géotechnique	8
I.6.1 Différents Essais Effectues.....	8
A- Essais Physiques D'identification Et De Classement.....	8
B- Essais Mécaniques.....	9
C. Analyses Chimiques De Sol.....	9
I.6.2 Essais In-Situ.....	9
I.6.3 Résultats Des Essais De Laboratoire	10
I.6.4 Terrains D'assise Et De Fondation.....	12
➤ Argiles.....	12
I.7 Matériaux De Construction De La Digue	12
➤ Matériaux D'etancheite.....	12
I.8. Conclusion.....	13

Chapitre II

Etude Hydrologique

II.1 Introduction.....	15
II.2 Caractéristiques Morpho-Métriques Du Bassin Versant.....	15
II.2.1 Surface	16
II.2.2 Périmètre.....	16

II.2.3 Hypsométrie.....	17
II.3 Caractéristique De Forme	18
II.3.1 Indice De Compacité De Gravelius (Kc) :.....	18
➤ Coefficient D'allongement.....	19
II.3.2 L'altitude Moyenne (H) Est Obtenue Par.....	19
II.3.3 Rectangle Equivalent.....	19
II.3.4 Les Indices	20
II.3.4.1 Indices De Pentes.....	20
II. 3.4.2 Indice De Pente Roche (Ipr)	20
II.3.4.3 Indice De Pente Globale (I _g).....	20
II.4.Densité Spécifique (Ds).....	21
II.4.1 Relief Et Pente.....	22
II.4.2densité Du Thalweg Elémentaire	23
II.4.3 Densité De Drainage Dd.....	23
II.4.4 Coefficient De Torrentialité.....	23
II.4.5 Temps De Concentration Du Bassin Versant Tc.....	23
➤ Formule De Giandotti	24
➤ Formule De KIRICH.....	24
➤ Formule De VENTURA.....	24
➤ Formule De PASSINI.....	24
II.4.6 vitesse De Ruissellement.....	25
• Critères Descriptifs Du Relief	26
II.4.7 Couverture Vegetal.....	26
II.5 Caractéristiques Climatiques Du Bassin Versant.....	27
II.5.1 La Température.....	27
II.5.2 Le Vent.....	28
II.5.3 L'humidité Relative.....	29
II.5.3.1 Régime Climatique.....	30
II.5.3.2 Indice De Martonne.....	30
II.5.3.3 Le Diagramme Ombrothermique.....	30

II.5.4 Les Précipitation.....	31
II.5.4.1 Apport Liquide.....	36
• Formule De ANRH.....	37
• Formule de SAMI.....	37
• Formule De Deri I	38
• Formule De Deri II.....	38
• Formule De Chaumont.....	38
• Formule De Padoun.....	39
• Formule De Ukguiprovdkh.....	39
II.5.4.2 Pluies Journalières Maximales Moyenne.....	40
II.5.4.3 Pluie Journalière Maximale De Différentes Fréquences	40
II.5.4.4 Exposant Climatique.....	40
II.6. Pluies De Courte Durée.....	40
II.6.1 Débit De Crue.....	41
II.6.1. Méthode De Sockolovsky.....	41
II.6.2.2 Méthode Rationnel.....	42
II.6.3 L'hydrogramme De Crue	43
II.7 Apport Solide	44
II.7.1 Apport Solide Et Calcule De Volume Mort	44
II .7.2 Largeur En Crête	45
A-Formule De Knappen.....	45
B- Formule De F-Preec.....	45
C-Formule Anonyme (Simplifiée).....	45
D-Formule Pratique.....	46
II.8 Conclusion.....	46

CHAPITRE III

ETUDE DES VARIANTES DE LA DIGUE

III.1 Introduction	48
III.2. Choix du type de la digue.....	48
III.2.1 Les barrages en béton se partagent en trois groupes	48
a- Barrage poids.....	48
b- Barrage voûte.....	49

c- Barrage à contreforts.....	49
III.2.2 Barrages en remblai.....	49
III.2.2.1 Types de barrage en terre.....	50
A- Barrage Homogène	50
B- Barrage à noyau.....	50
- Barrage à noyau central.....	51
- Barrage à noyau incliné.....	51
- Barrage à diaphragme.....	51
C- Barrage à masque.....	51
III.3 Les caractéristiques géotechniques des sols.....	51
III.4 Profil général de la digue	52
A. Hauteur et largeur de la digue.....	52
B. Largeur en crête.....	52
C. longueur en crête.....	52
III.5 Barrages en remblai	52
III.5.1 Barrage en terre homogène.....	53
A. Calcul et choix de types des drains.....	53
B. Tapis drainant aval	53
C. Dimensionnement du drain vertical	53
- Drain cheminé (vertical).....	54
D. Dimensionnement du prisme aval	54
E. Hauteur de prisme de drainage	54
F. Fruits de talus.....	54
G. . Largeur en crête de prisme de drainage.....	54
H. Largeur en base du prisme	55
III.5.2 Modélisation du barrage homogène.....	55
➤ Présentation de logiciel PLAXIS 2D.....	55
• Profil du barrage.....	55
• Réseau d'écoulement.....	56
• Stabilité fin construction.....	56
• Stabilité en fonctionnement normal.....	57
• Le tassement.....	57
• Débit de fuites.....	57

III.5.3 Barrage en terre zoné	57
A- Noyau	57
B-Hauteur du noyau	58
C-Largeur à la base du noyau.....	58
D-Pente des talus.....	59
III.5.4 Modélisation du barrage zoné.....	60
• Profil du Barrage.....	60
• Réseau d'écoulement.....	61
• Stabilité fin construction.....	61
• Stabilité en fonctionnement normal.....	62
• Le tassement.....	62
• Débit de fuites.....	63
III.6. Barrage en enrochement à masque en béton ou en géomembrane:.....	63
A. Pentes des talus	63
III.6.1 Modélisation d'un Barrage homogène avec géomembrane.....	63
• Réseau d'écoulement.....	63
• Stabilité fin construction.....	64
• Stabilité en fonctionnement normal.....	64
• Le tassement.....	64
• Débit de fuites.....	65
III.7. Conclusion.....	67
Conclusion Générale	67

Liste Des Tableaux

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Tableau I.1 Coefficient d'accélération sismique [RPA-99].....	8
Tableau I.2 : Résultats du puits N°01.....	9
Tableau I.3 : Résultats du puits N°02.....	9
Tableau I.4 Résultats des essais de laboratoire (laoratoire de l'abitat sud de la Construction unité de BATNA)	10
Tableau I.5: Classification des sols.....	12
Tableaux I.6 Potentiel de changement volumique des sols en fonction de leur caractéristique de plasticité Gibbs (1956).....	13

CHAPITRE II ETUDE HYDROLOGIQUE

Tableau II. 1 : Hypsométrie Du Bassin Versant.....	17
Tableau II.2 : Classification Des Reliefs D'après L'orstrom	21
Tableau II.3 : Récapitulatif Des Caractéristiques Du Bassin Versant.....	26
Tableau II.5 : Vitesses Moyennes Des Vents Enregistrées A La Station De Biskra.....	28
Tableau II.6 : Humidités Relatives Moyennes Enregistrées A La Station De Biskra.....	29
Tableau II.7 : Caractéristiques Des Postes Pluviométriques (Source ANRH).....	32
Tableaux II.8 : Station Pluviométrique Equipée D'un Pluviographe Et D'un Pluviomètre..	33
Tableau II.9 Les Précipitations Annuelles De La Station De Biskra En Période Commune.	34
Tableau II.10 : EVALUATION DE L'APPORT MOYEN INTERANNUEL (Formules Complémentaires).....	39
Tableaux II.11 : Calcule Pjmax% Fréquentielle.....	40
Tableau II. 12 : Calcul De La Pluie Maximale Pendant Le Temps De Concentration.....	41
Tableau II.13 : Les Valeurs C _e Du Coefficient De Ruissellement.....	41
Tableau II.14 : Calcul De Débit De Crue Par La Formule De Sockolovsky.....	42
Tableau II.15 : Calcule De Débit De Crue Par La Formule Rationnel.....	42
Tableau II.16 : Degré De Perméabilité.....	44

CHAPITRE III

ETUDE DES VARIANTES DE LA DIGUE

Tableau III.1 : Les Caractéristiques Géotechniques De Terrains De Fondation De La Digue (laboratoire l'habitat Sud de la construction).....	52
Tableau III.2 : Valeurs Indicatives Des Pentés Des Talus.....	53
Tableau III.3 : Classe De Barrage En Terre En Fonction Du Type De La Fondation.....	58
Tableau III.04 : Gradient Admissible En Fonction De La Classe De L'ouvrage.....	59
Tableau III.05 : Caractéristiques Du Noyau	60

Liste Des Figures

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Figure I.1 : Situation De La Retenu.....	5
Figure I.2 : Géologie Du Bassin d'El Outaya.....	7
Figure I.3 : Levé Topographique De La Cuvette A L'échelle 1/1000.....	8
Figure I.4 : Coupe Schématique Sur L'axe Proposé.....	11

CHAPITRE II ETUDE HYDROLOGIQUE

Figure II.1 : Limite Du Bassin Versant Et Réseau Hydrographique.....	15
Figure II.2 : Bassin Versant De Oued Maghraoua.....	16
Figure II.3 : Carte Hydrologique Et Relief De Bassin Versant.....	17
Figure II.4 : Bassin Versant De Oued Maghraoua.....	18
Figure II.5 : Influence de la forme du bassin sur Versant.....	19
Figure II.6 : Plan de situation géographique de la cuvette et bassin versant avec le réseau hydrographique (B.étude T.Saddek).....	22
Figure II.7 Courbe Variation De Température Mensuelles Minimale Et Maximale A Station De Biskra	28
Figure II.8 : Courbe De Variation De Vitesse Moyennes De Vent Par Mois A Station De Biskra	29
Figure II.9 Histogramme Humidité Relative Moyenne Enregistrées A Station De Biskra..	30
Figure II.10 : Diagramme Ombrothermique Station De Biskra. Période 1976-2008	31
Figure II.11 : Carte de réseaux hydroclimatologique de sous bassin versant de l'outaya (ANRH ,2005)	32
Figure II.12 : Variation Inter-Annuelle Des Précipitations Station De Biskra Période 1977-2008.....	36
Figure II.13 : Réseau hydrographique du bassin versant (Méthode sockolovsky).....	44

CHAPITRE III

ETUDE DES VARIANTES DE LA DIGUE

Figure III.1 Types Des Barrages En Remblai.....	49
Figure III.2 Représente Le Profil Général D'un Barrage Homogène.	50

Figure III.3 : Barrage En Terre Homogène.....	55
Figure III.4 : Maillage Et Conditions Aux Limites.....	56
Figure III.5 : Réseau D'écoulement Du Barrage En Terre Homogène.....	56
Figure III.6 : Cercle De Glissement Du Barrage Homogène En Fin De Construction...	56
Figure III.7 : Cercle De Glissement Du Barrage Homogène Sans Géomembrane.....	57
Figure III.8 : Tassement Du Barrage Homogène.....	57
Figure III.9 : Profil Général D'un Barrage Zoné	60
Figure III.10 : Maillage Et Conditions Aux Limites.....	61
Figure III.11 : Réseau D'écoulement Du Barrage En Terre Zoné.....	61
Figure III.12 : Cercle De Glissement Du Barrage Zoné En Fin Construction.....	62
Figure III.13 : Cercle De Glissement Du Barrage Zoné En Fonctionnement Normal...	62
Figure III.14 : Tassement Du Barrage Zoné.....	62
Figure III.15 : Profil Général D'un Barrage En Enrochement A Masque En Béton.....	63
Figure III.16 : Maillage Et Conditions Aux Limites.....	63
Figure III.17 : Réseau D'écoulement Du Le Barrage En Terre Homogène Avec Géomembrane.....	64
Figure III.18 : Cercle De Glissement Du Barrage Homogène Avec Géomembrane.....	64
Figure III.19 : Tassement Du Barrage Homogène Avec Géomembrane.....	65

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est une ressource vitale pour le développement démographique et économique de la planète et sa problématique ne se pose pas dans les mêmes termes selon le niveau de développement économique social et politique atteint par les différents pays. Le déséquilibre entre une demande sans cesse croissante et une offre réduite, pose le problème de la gestion de sa rareté. La répartition inégale de cette ressource sur l'ensemble des pays, crée des tensions et en fait une source de conflits. Ces constats ont été à la base de rencontres internationales sur la question et à l'émergence de certaines décisions universellement admises.

Dans le bassin méditerranéen et en Algérie, la question de l'eau se pose surtout en termes de disponibilité, de qualité de l'eau et de gestion de cette ressource rare en fonction des priorités des secteurs utilisateurs (tourisme, agriculture) (Z, SOUKAR FATIMA, 2009) .

Face à la détérioration sans cesse des ressources en eaux qui sont vitales pour les humains et les animaux, l'état Algérien a consacré, ces dernières années, des moyens financiers énormes pour l'aménagement des environnements de l'eau ainsi que dans les différents ouvrages de retenue et de stockage d'eau.

Plusieurs barrages et digues ont été ainsi réalisés. Ceci dans le but de fournir de l'eau potable et satisfaire aux besoins de l'irrigation de l'agriculture. Les différents types et formes des barrages et digues contribuent à la protection de l'eau.

Le problème majeur se présente dans les travaux d'étude des barrages est bien le rapport entre la stabilité et la satisfaction des besoins en eaux qui détermine la hauteur et le volume de barrage. Les retenues collinaires sont les ouvrages de capacité (volume en eau en limite de déversoir) inférieure à 1 million de m³.

L'objectif de ce travail est de faire l'étude de construction de la retenue collinaire sur Oued MAGHRAOUA wilaya de Biskra. Cette étude est structurée en trois chapitres après une introduction générale :

- le premier chapitre concerne l'étude de la zone d'étude (topographie, géologie et la géotechnique) ;
- Dans le 2ème chapitre, nous présenterons le bassin versant avec ses caractéristiques morphologique et l'étude hydrologique
- Le 3ème chapitre concerne l'étude des différentes variantes proposées de la digue. Chaque variante est modélisée par le logiciel Plaxis 2D dans le but de l'étudier hydrauliquement et mécaniquement.
- Enfin, ce mémoire sera clôturé par une conclusion générale.

CHAPITRE 1

PRESENTATION DE LA ZONE

D'ETUDE

Chapitre 1 : Présentation De La Zone D'étude

I. Introduction :

La retenue collinaire sur **Oued Maghraoua** commune de **Loutaya** dans la wilaya de **Biskra**, se trouve dans une région toujours gravement déficitaire en eau où les périodes de pénurie sont très courantes et où l'amplitude thermique favorise une intense évaporation.

La zone d'étude est caractérisée par une insuffisance des apports liquide nécessaire pour le remplissage de la retenue.

I.2 SITUATION GEOGRAPHIQUE

Notre site se trouve à environ 5 km à l'ouest de la localité d'El-Outaya (figure I.1) Cette plaine se trouve dans une région aride de la wilaya de Biskra au sud algérien. Elle occupe une place importante et sa superficie dépasse les 30000 Ha

Elle est limitée :

- Au Nord commune d'El-Kantara.
- A l'Est wilaya de Batna.
- A l'Ouest commune de Tolga.
- Au Sud commune de Biskra.

La plaine d'El-Outaya est un glacis en pente extrêmement douce qui s'étale au sud-ouest du djebel Maghraoua et du pied des Aurès à des altitudes qui s'abaissent d'une manière très régulière et presque imperceptible de 250 à 180m.

Les vallées ne s'y marquent guère, seuls les talwegs des oueds qui coulent lors des pluies exceptionnelles s'y enfoncent de 1 à 3 m et y montrent une nappe de graviers.

Le terrain choisie de la retenu pour le projet en question se trouve à El Outaya dans un site dit Maghraoua. La digue est placée sur l'Oued Maghraoua (B. des études technique de l'hydraulique Takkok Saddek, 2014).

Chapitre 1 : Présentation De La Zone D'étude

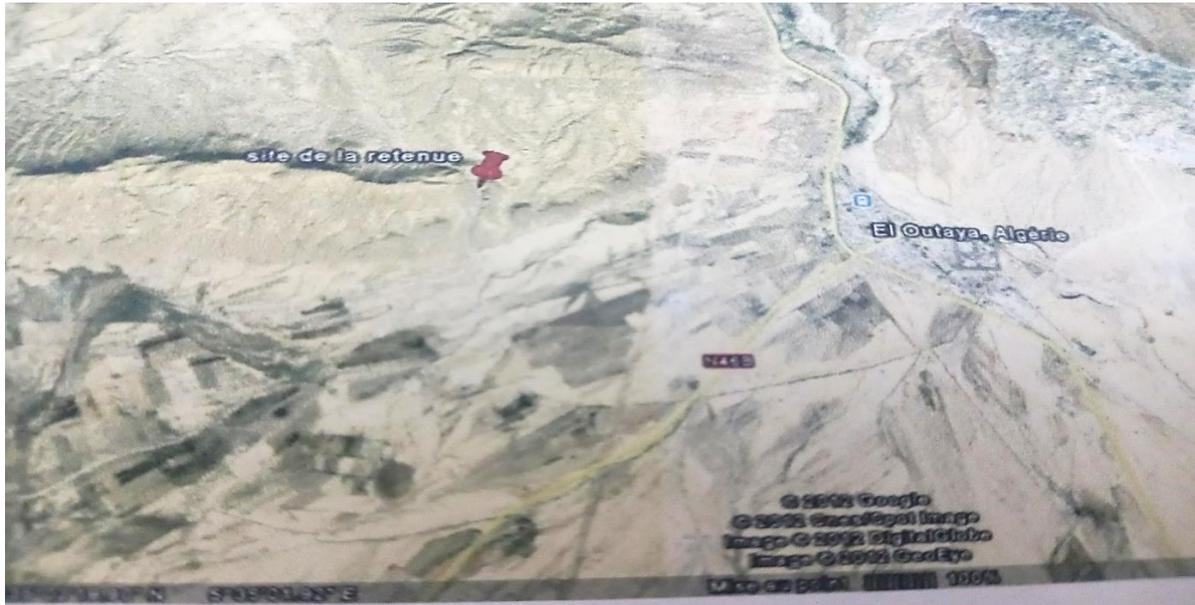


Figure I.1 : Situation de la retenue (Google image C.2012 Ged eye)

L'étude géologique : établis par ROBERT Laffitte sur Auress 1939, GUIRAUD (1973,1990)

I.3 GEOLOGIQUE

Le bassin qui prend le nom de cette dernière est formé par un remplissage Néogène. Il se trouve dans une région qui constitue une des zones les plus franches de transition entre les domaines atlasiques montagneux et plissés du Nord (Algérie méditerranéenne) et les étendues plates et désertiques du Sahara septentrional au Sud (Algérie saharienne).

Deux domaines très contrastés, tant du point de vue géomorphologique que géologique, sont séparés par l'accident sud atlasique (bureaux des études technique de l'hydraulique takkok saddek, 2014).

Cette région est formée d'un ensemble de bassins et (ou) sous bassins aligné presque parallèlement Nord-sud (Robert, Lafitte, 1939) et (Guiraud, René, 1973-1990).

I.3. 1 GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT

Le bassin versant Situé dans une zone fortement tectonisée, séparant deux domaines bien distincts :

L'Atlas Saharien surélevé, au nord et le Sahara au sud, la plaine d'El Outaya occupe un vaste synclinorium affecté par un ensemble de plis et de failles.

L'ensemble de la lithostratigraphie de cette plaine (R.Laffitte, 1939)et (Nicola GOUSKOV, 1952) est constitué par les terrains crétacés formés de grès, marnes, calcaires et argiles. L'Eocène est représenté par des calcaires fissurés, marnes et gypse. Les formations néogènes (Mio-Pliocène) sont bien développées et sont constituées de calcaires et calcaires marneux à la

Chapitre 1 : Présentation De La Zone D'étude

base, des conglomérats, grès, sables et des marnes au sommet. Le Quaternaire est formé d'alluvions, travertins de sources et des éboulis

I.3. 2 GEOLOGIE DE LA CUVETTE

- La surface de la cuvette qui va être mise à l'eau est constituée de terrasses de l'oued alluvions en rive droite (jusqu'à 4m d'épaisseur) et en zone centrale (jusqu'à 1m).
- La cuvette étant très réduite en surface ce qui diminuera considérablement les pertes des eaux stockées.
- La partie gauche est constituée d'alternance d'argiles et de grés friables. Alors, que sur la limite amont de la cuvette, les eaux seront en contact avec les calcaires (B. des études technique de l'hydraulique Takkok Saddek, 2014).

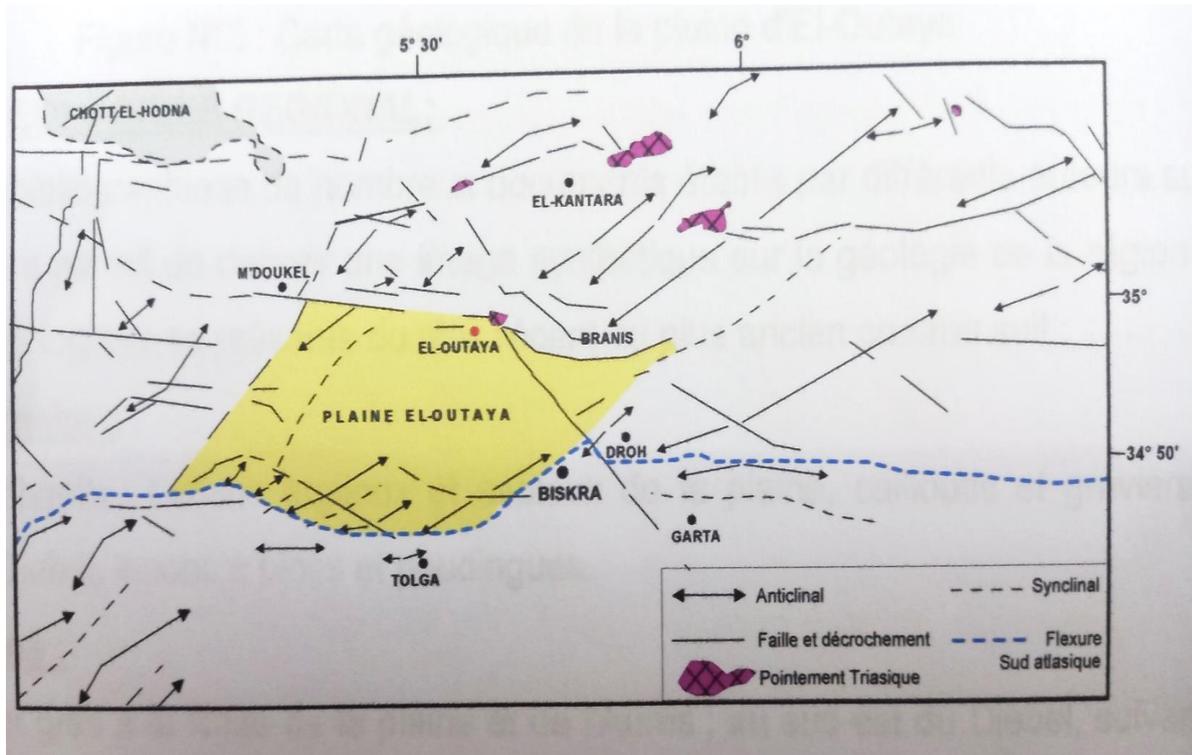
Au cours de l'analyse générale, aucune trace de phénomène karstiques ni de glissements en masse n'a été décelé dans l'aire cartographiée.

L'ensemble de la lithostratigraphie de cette plaine est constitué par les terrains créacés formés de grès, marnes, calcaires et argiles. L'Eocène est représenté par des calcaires fissurés, marnes et gypse. Décrite plus haut permet d'identifier quelques formations perméables, et d'autres imperméables pouvant jouer le rôle de substratum imperméable (étanchéité) (B. des études technique de l'hydraulique Takkok Saddek, 2014).

I.3.3 GEOLOGIE DE LA FONDATION

- Sous les alluvions, l'assise argileuse a l'avantage d'être étanche et peut supporter n'importe quel type de digue.
- Il est préférable d'implanter l'évacuateur de crues sur la rive droite (pente douce ne demandant pas beaucoup d'excavations) (B. des études technique de l'hydraulique Takkok Saddek, 2014).

Chapitre 1 : Présentation De La Zone D'étude



**Figure I.2 : Géologie et situation du bassin d'El Outaya
dans le contexte Sud –atlasique**

1.4 TRAVAUX TOPOGRAPHIQUE

Un levé topographique de cuvette, de l'emprise de la digue et des zones qui lui avoisinent en aval et d'une bonne partie des terrains où est probable l'implantation de l'évacuateur de la crue.

Au niveau de la cuvette, ces travaux couvrent la partie probable au remplissage (B. des études technique de l'hydraulique Takkok Saddek, 2014). Le levé topographique à l'échelle 1/1000 est pris à partir d'un ensemble des stations dont les coordonnées sont rattachés au NGA

Chapitre 1 : Présentation De La Zone D'étude

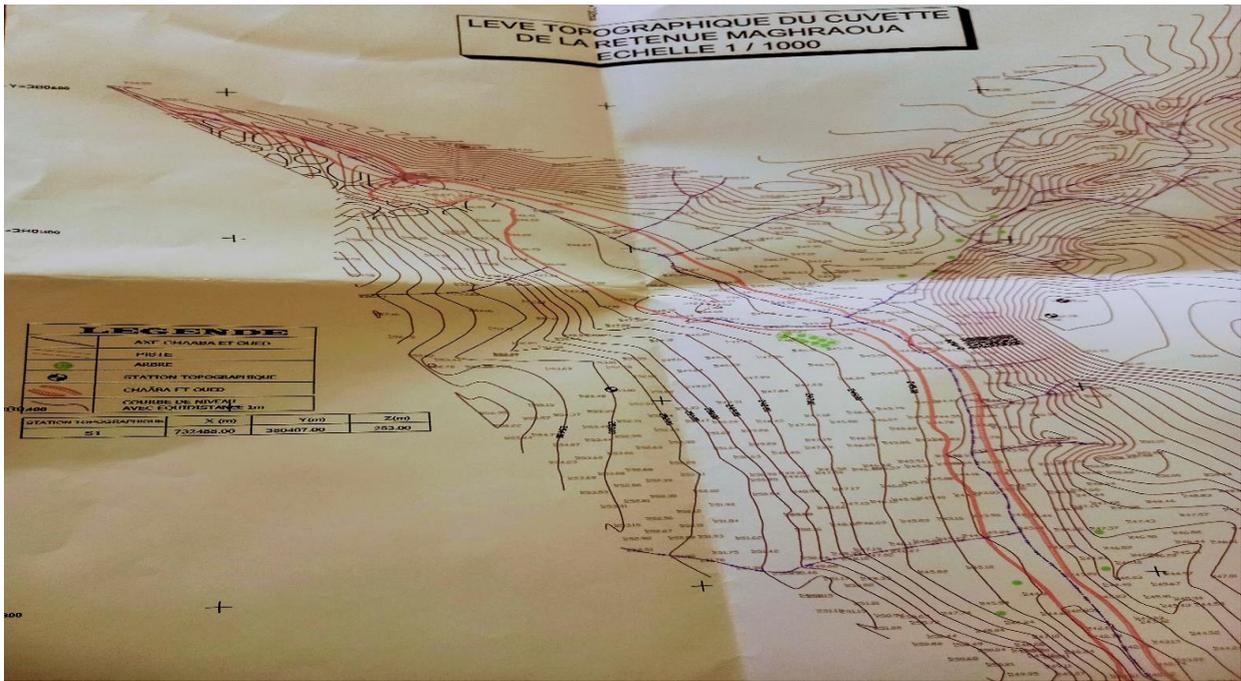


Figure I.3 : levé topographique de la cuvette à l'échelle 1/1000 (B.Etude T.Saddek)

I.5 SISMICITE DE LA REGION :

Le R.P.A 99 version 2003 a classé la région d'El Outaya Wilaya de Biskra comme zone de faible sismicité (Zone 1).

Tableau I.1 : Coefficient d'accélération sismique [RPA-99].

Groupe	Zone I	Zone IIa	Zone IIb	Zone III	Classification des ouvrages selon leur importance
1A	0.15	0.25	0.30	0.40	Ouvrages d'importance vitale : Sécurité-Hopitaux
1B	0.12	0.20	0.25	0.30	Ouvrages de grande importance: Scolaire et Culte
2	0.10	0.15	0.20	0.25	Ouvrages courants : Habitations- Bureaux
3	0.07	0.10	0.14	0.18	Ouvrages de faible importance: Hangars

I.6 RECONNAISSANCE GEOTECHNIQUE

I.6.1 DIFFERENTS ESSAIS EFFECTUES

Les essais effectués sont de trois types :

A- ESSAIS PHYSIQUES D'IDENTIFICATION ET DE CLASSEMENT

- Teneur en eau naturelle (W_n)
- Densité humide (D_h)
- Densité sèche (D_d)

Chapitre 1 : Présentation De La Zone D'étude

- Degré de saturation (S_r)
- Limite de liquidité (W_L)
- Limite de plasticité (W_P)
- Indice de plasticité (I_p)
- Granulométrie

B. ESSAIS MECANIQUES

- Essai Proctor normal
- Essai de cisaillement rectiligne à la boîte de type U.U
- Essai œdométrique
- Essai de perméabilité

C. ANALYSES CHIMIQUES DE SOL

- Teneur en carbonates de calcium $CaCO_3$. (04essais)
- Teneur en gypses. $CaSO_4, 2H_2O$ (04essais)
- Teneur insolubles. (04essais)

I.6.2 ESSAIS IN-SITU

Les résultats des essais in-situ par deux puits de reconnaissance_sont récapitulés dans les tableaux suivant :

Tableau I.2 : Résultats du Puits N°01

Profondeur (m)	Type de sol	Classification selon DTR-BE 1.2
0.00 ÷ 0.40	Terre de recouvrement	/
0.40 ÷ 2.20	Dépôt alluvionnaire	Moyennement compact
A partir de 2.20	Argile sableuse rougeâtre parfois compacte	compact

Tableau I.3 : Résultats du Puits N°02

profondeur(m)	type de sol	classification selon DTR-BE 1.2
0.00 ÷ 0.40	Terre de recouvrement	/
0.40 ÷ 2.70	Dépôt alluvionnaire	Moyennement compact
0.70 ÷ 3.60	Argile sableuse rougeâtre parfois compacte	Compact

Chapitre 1 : Présentation De La Zone D'étude

Des analyses et des essais de laboratoire de caractérisation géotechnique ont été effectués sur les échantillons prélevés dans le but de déterminer l'importance qualitative et quantitative des propriétés physiques, mécanique et chimiques du sol (B. des études technique de l'hydraulique Takkok Saddek, 2014).

NB : * Les essais mécaniques sont impraticables à cause de la nature compacte du sol.

I.6.3 RESULTATS DES ESSAIS DE LABORATOIRE

Les résultats des différents essais réalisés au laboratoire sont regroupés dans le tableau ci-dessous : **Tableau I.4 Résultats des essais de laboratoire (laboratoire de l'habitat sud de la Construction unité de BATNA)**

Échantillon/profondeur Paramètre mesurée		PU 01	PU 02
		2.20 -2.50 m	0.50 -1.90 m
Analyse Granulo Sédimentométrique	Fraction argileuse ($d < 2\mu$) %	Essais impraticable est insoluble	/
	Limon ($0.02\text{mm} < d < 2\mu$)		8%
	Sable fin ($0.2\text{mm} > d > 0.02\text{mm}$)		12%
	Gros sable ($2.00\text{mm} > d > 0.2\text{mm}$)		18%
	Graviers ($20\text{mm} > d > 2\text{mm}$)		36%
	cailloux ($d > 2\text{mm}$)	26%	
Limite d'atterberg	Limite de liquidité WL (%)	34,98	/
	Limite de plasticité WP (%)	18,60	/
	Indice de plasticité IP (%)	16,38	/
Teneur en eau naturelle		5,43	5,19
Densité humide γ_h		2,13	/
Densité sèche γ_d		2,02	/
Degré de saturation S_r (%)		43,51	/
Essai cisaillement à la boîte		Essais impraticable	
Essai Proctor	Densité sèche $\gamma_{d_{MAX}}$ (t/m^3)	/	1,93
	Teneur en eau W_{OPN} (%)	/	5,1
Teneur en $CaCO_3$ (%)		24,0	34,0
Teneur en SO_4 (%)		1,31	1,29
Teneur en gypse (%)		0,34	0,21
Insolubles		2,33	2,29

Chapitre 1 : Présentation De La Zone D'étude

D'après les résultats nous pouvons conclure que :

L'étude géotechnique du terrain de la retenue collinaire à Maghraoua à El Outaya W/Biskra renferme les résultats des puits de reconnaissances ainsi que des essais de laboratoire.

- ❖ Après avoir examiné les Logs lithologiques, on est en présence d'un dépôt alluvionnaire au-dessus d'une argile sableuse parfois compacte
- ❖ D'après le DTR-BE 1.2, les différents types de sol rencontrés sont des terrains moyennement compacts à compacts.
- ❖ L'analyse des résultats obtenus par les essais de laboratoire permettent de formuler les remarques suivantes :
 - La digue repose sur une couche d'alluvions perméables caractérisées par une teneur en eau naturelle (W_n) de **5.19 %** ainsi qu'une densité γ_{dMax} de **1.93 t/**.
 - Au-dessous de cette couche se trouve une couche d'argile sableuse peu plastique caractérisé par un indice de plasticité I_p de **16.38%**, humide et très dense S_r (%) **43.51** et $\gamma_d(t/m^3)$ de **2.02**.
 - Le sol est classé selon la NF P 18-011 (classification des environnements agressifs) comme sol **fortement agressif**.

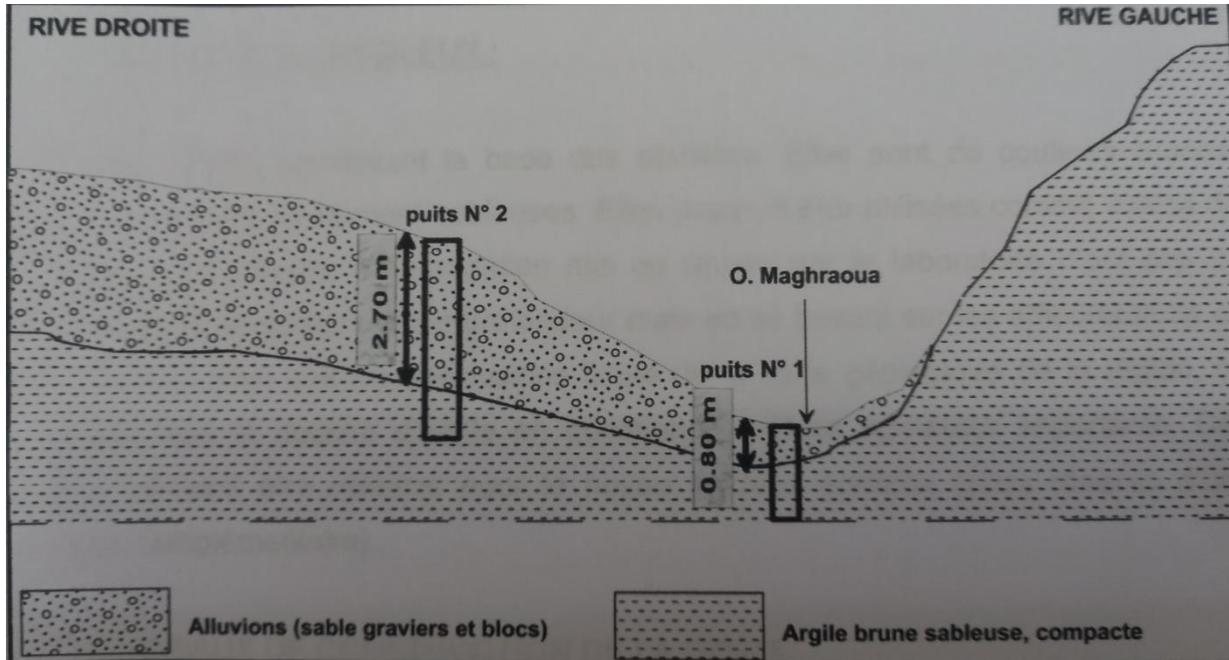


Figure I.4 : coupe schématique sur l'axe proposé

Chapitre 1 : Présentation De La Zone D'étude

I.6.4 TERRAINS D'ASSISE ET DE FONDATION

➤ ARGILES

- Cette roche occupe toute la surface au niveau de l'emprise de la digue et même sur les rives.
- Comme fondation, elle est très importante et présente une bonne résistance aux charges et d'une étanchéité satisfaisante, elle permet la réalisation sans difficulté des travaux de mise en place du corps de la digue.
- L'ancrage de la digue dans la fondation sera aisément réalisé.
- Il n'y a pas de nappe phréatique au niveau de l'axe de la digue, ce qui facilitera la mise en place des remblais sans obligation de recourir aux opérations d'assèchement très coûteuse de la fondation.

I.7 MATERIAU DE CONSTRUCTION DE LA DIGUE

❖ MATERIAUX D'ETANCHEITE

Teneur en eau naturelle (Wn) 4,6 et 5,9 %

Densité sèche (yd) 1,84 et 2,19 (t/m³)

Degré de saturation (Sr)..... 43,51 %

Limite de liquidité (WL)..... 34,98 %

Limite de plasticité (Wp) 18,60 %

Indice de plasticité (p)..... 16.38 %

Teneur en carbonate..... 34 %

Teneur en insolubles.....2,29%

Teneur en gypse.....0,34%

Selon la classification du tableau suivant : les argiles prévues à être utilisées pour la partie étanche de la digue sont de type limoneux - argileux.

Tableau I.5: Classification des sols

Lithologie	Limite de liquidité(WL)	indice de plasticité (ip)
Sable	WL <WL	Ip <15
Limon	20 <WL <60	5 <Ip <25
Argile	WL >30	Ip >15

Alors que concernant leurs comportement vis-à-vis de l'eau (retrait gonflement), les argiles étudiées ne sont pas soumis d'une façon importante à ce phénomène et ce conformément au tableau ci-dessous.

Chapitre 1 : Présentation De La Zone D'étude

Tableau : Potentiel de changement volumique des sols en fonction de leur caractéristique de plasticité Gibbs (1956).

Tableaux I.6 : Potentiel de changement volumique des sols en fonction de leur caractéristique de plasticité Gibbs (1956).

Potentiel de changement volumique	Ip (%)	WL(%)	Ws(%)
Faible	<18	20-35	>15
Moyen	15-28	35-50	10-15
Élevé	25-41	50-70	7-12
Très élevé	>45	>70	<11

I.8. CONCLUSION

D'après cette étude géologique et géotechnique nous pouvons émettre les conclusions suivantes :

La retenue de Maghraoua est bien située dans une formation homogène et résistante à tout phénomène de stabilité des lieux. La cuvette étant très réduite en surface, ce qui diminuera considérablement les pertes des eaux stockées dans la future retenue par évaporation.

Pour l'étanchéité et Le choix du matériau de construction est privilégiée en terre pour sa vocation de répondre sans problèmes (stabilité) aux différentes sollicitations (contraintes) durant l'exploitation de l'ouvrage ainsi que son coût pas très onéreux sans oublier sa disponibilité sur site.

La digue sera de type hétérogène (zonée) vu l'importance en quantité des alluvions (recharge) par rapport aux argiles.

Notre site du point de vu géologique et hydrogéologique, est favorable à la réalisation d'une retenue collinaire et les matériaux de construction sont disponibles sur les lieux. Par contre du point de vu perméabilité les alluvions doivent faire l'objet d'un traitement par des injections alors que dans les zones ou l'épaisseur est faible, il sera plus pratique de les excaver et les exploiter pour la construction de la digue (B. des études technique de l'hydraulique Takkok Saddek, 2014).

CHAPITRE II

ETUDE

HYDROLOGIQUE

II.1 Introduction

Les conditions climatiques jouent un rôle déterminant dans la réalimentation des nappes aquifères et ce sont les précipitations qui en constituent le facteur essentiel. Elles interviennent par leur répartition annuelle et mensuelle, leur total journalier et surtout les averses génératrices de crues et de précipitations efficaces, particulièrement dans les zones arides.

II.2 CARACTERISTIQUES MORPHO-METRIQUES DU BASSIN VERSANT :

La limite du BV sera tracée sur une carte en courbes de niveau en suivant les lignes de crête bordant le bassin et ne traversera le cours d'eau qu'au droit de l'exutoire (**Fig. II. 1**).



Figure II.1 : Limite du bassin versant et réseau hydrographique

Chapitre II : Etude Hydrologique

II.2.1 SURFACE :

La surface du bassin versant est déterminée à partir de la carte d'état-major **EL KANTARA NI-31 XXIV-8 Ouest** Échelle **1/50 000**.

$S=20.31$ Km

II.2.2 PERIMETRE :

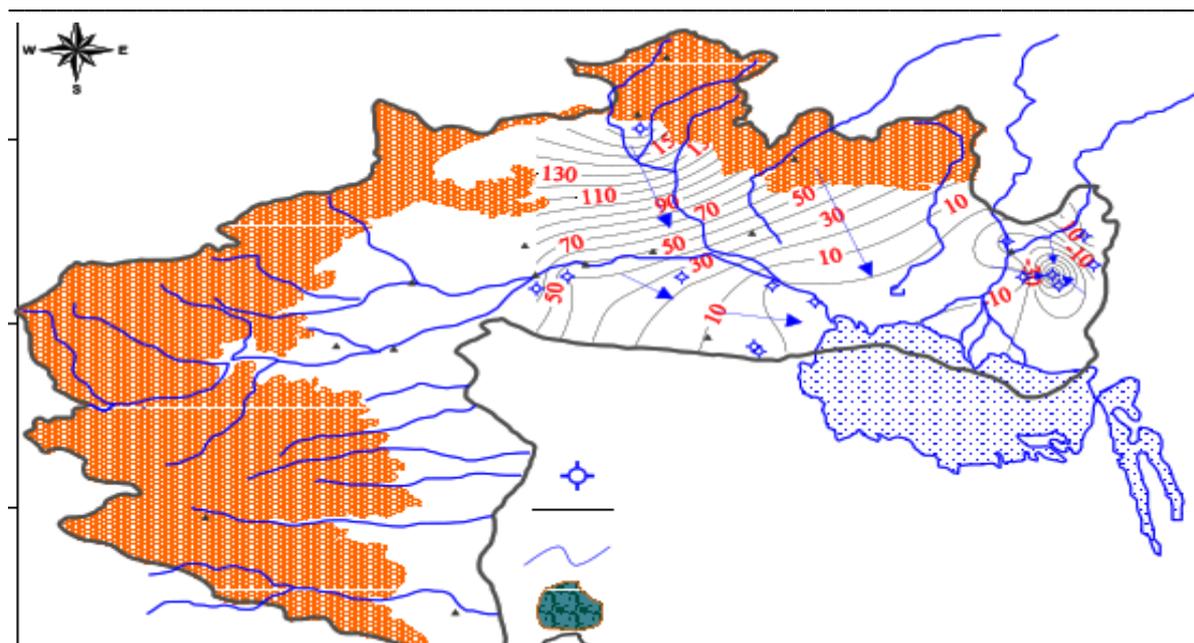
Le périmètre du bassin versant est déterminé à partir de la carte d'état-major **EL KANTARA NI-31 XXIV-8 Ouest** Échelle **1/50 000**

$P=24.71$ Km



Figure II.2 : Bassin versant de Oued Maghraoua (ANRH BISKRA)

Chapitre II : Etude Hydrologique



**Figure II.3 : carte hydrologique et relief de bassin versant BISKRA (ANRH BISKRA)
(piézométric map of aquifer system of Biskra 2006)**

II.2.3 HYPSONOMETRIE

Afin de décrire et d'expliquer les formes du relief, on doit réaliser des courbes dites "hypsonométriques". Pour cela, on dispose de cartes topographiques à partir desquelles on procède à la répartition de la superficie du bassin par tranche d'altitude (**Tableau II.1**). Ensuite, le report du cumul des aires élémentaires et des valeurs altimétriques sur une échelle arithmétique permet de tracer la courbe hypsonométrique du bassin. Cette dernière est susceptible de changer avec le temps au fur et à mesure que le bassin est consommé par l'érosion (cours hydrogéologie appliqué Mdm :Maou.A).

Le tableau ci-dessous nous montre la répartition des tranches de la surface du bassin versant.

Tableau II. 1: Hypsonométrie du bassin versant

Altitudes (m)	Surface (Km2)	Surfaces cumulé (Km2)	Surface %	Surfaces cumulé %	Hi(Km)
560-550	0,0128	0,0128	0,06	0,06	555
550-500	0,5885	0,6013	2,90	2,96	525
500-450	0,9846	1,5859	4,85	7,81	475
450-400	1,441	3,0269	7,10	14,90	425
400-350	4,4416	7,4685	21,87	36,77	375
350-300	7,7802	15,2487	38,31	75,08	325
300-250	5,0365	20,2852	24,80	99,88	275
250-243	0,0248	20,31	0,12	100,00	246.5

Chapitre II : Etude Hydrologique

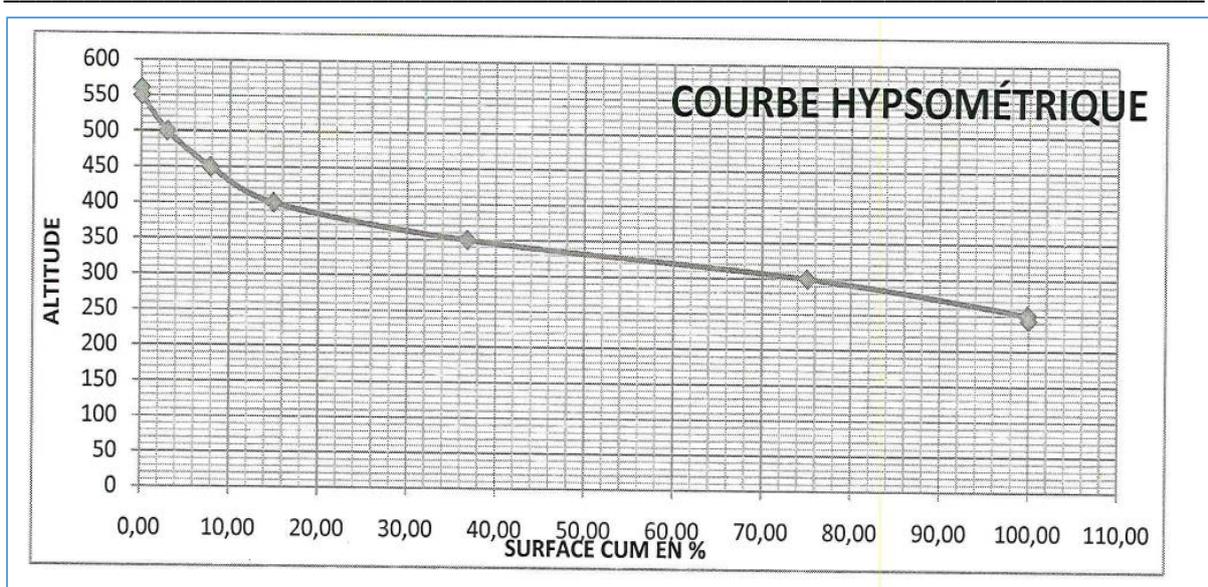


Figure II.4 : Courbe hypsométrique

II.3 CARACTERISTIQUE DE FORME

II.3.1 INDICE DE COMPACTITE DE GRAVELIUS (K_c):

Cet indice nous indique la forme bassin versant. L'indice de compacité se calcule comme suit (B.TOUBIA, mars , 2004):

$$K_c = 0.28 \frac{p}{\sqrt{s}} \quad (II\ 1)$$

Ou :

Kc: Indice de GRAVELLIUS

P: Périmètre du bassin versant (km)

S: Surface du bassin versant (km²)

$$K_c = 1.54$$

On constate que :

$$K_c = 1,54 > 1.128$$

Si $K_c = 1,128 \Rightarrow$ bassin ramassé

Si $K_c > 1,128 \Rightarrow$ bassin allongé

Selon la valeur de K_c on pourra dire que notre bassin est de forme allongée.

Ce qui permet de se faire une idée sur le débit de pointe qui sera amorti en arrivant à l'exutoire.

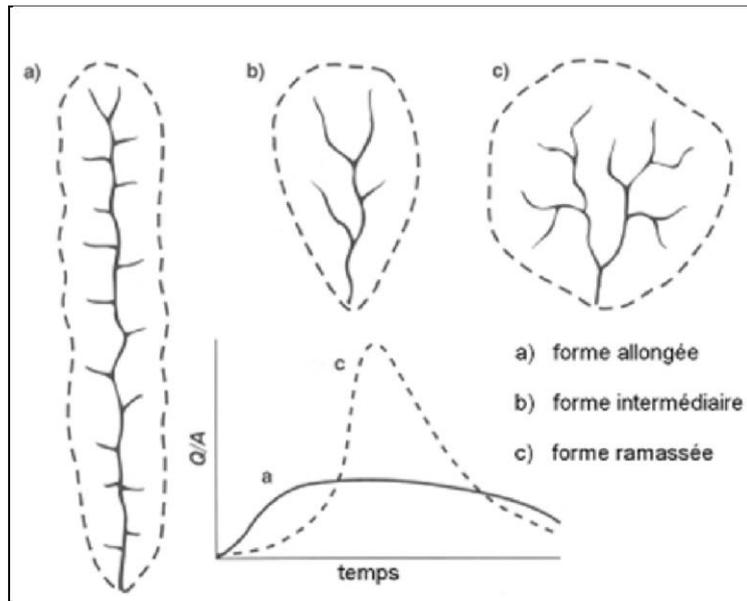


Figure II.5 : Influence de la forme du bassin sur Versant

- **Coefficient d'allongement :**

Ce coefficient est obtenu par la relation suivante :

$$Kp = \frac{p^2}{S} \quad (\text{II } 2)$$

$$Kp = 30,06$$

II.3.2 L'ALTITUDE MOYENNE (H) EST OBTENUE PAR :

$$\frac{\sum h_i s_i}{S}$$

$$H=368 \text{ m} \quad (\text{II } 3)$$

Si : surface partielle entre deux courbes de niveau (Km²)

Hi : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau successive (m)

S : Superficie du bassin versant (Km²)

II.3.3 RECTANGLE EQUIVALENT

Pour apprécier la forme, et par la suite les dimensions, du bassin versant, on assimile ce dernier à un rectangle ayant la même superficie, le même périmètre et la compacité. Ce rectangle, appelé rectangle équivalent, est caractérisé par sa longueur (Le en km)

(cours hydrogéologie appliqué Mdm :Maou.A) qu'on peut calculer à l'aide de la formule ci-dessous :

Chapitre II : Etude Hydrologique

Le bassin versant peut-être assimilé à un rectangle équivalent, de dimension équivalente de longueur L et de largeur l qui ont été déterminées à l'aide des deux formules suivantes :

$$L = \frac{Kc \times \sqrt{s}}{1,128} \times \left[1 + \sqrt{\left(1 - \frac{1,128}{Kc}\right)^2} \right] \quad (\text{II } 4)$$

$$l = \frac{Kc \times \sqrt{s}}{1,128} \times \left[1 - \sqrt{\left(1 - \frac{1,128}{Kc}\right)^2} \right] \quad (\text{II } 5)$$

$$L = 10.44 \text{ Km} . l = 1.94 \text{ Km}$$

Avec L : longueur du rectangle équivalent en (Km)

l : largeur du rectangle équivalent en (Km)

II.3.4 Les indices : (cours hydrogéologie appliqué Mdm :Maou.A)

II.3.4.1 Indices de pentes

- La pente moyenne détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin donc le temps de concentration.
- Cette variable influence donc le débit maximal observé.
- Une pente abrupte favorise et accélère l'écoulement superficiel et l'action érosive de l'eau.
- Une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie, dans le sol et favorise le dépôt de la charge solide dans l'eau.

II 3.4.2 Indice de pente ROCHE (IPR) :

$$IPR = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum \sqrt{a_i} * d_i \quad (\text{II } 6)$$

L : Longueur de Rectangle équivalent (m)

a_i : surface parcelle/surface total

d_i : dénivelée (m) / d_i =H_i –H_{i-1}

II.3.4.3 INDICE DE PENTE GLOBALE (I_g) :

Cet indice présente l'avantage d'être très simple et facile à calculer. L'indice de pente global (I_g), exprimé en m/km, est donné par le rapport de la dénivelée utile (D, en m) ; estimée à partir de la courbe hypsométrique ; à la longueur du rectangle équivalent en km (L_e), OU on prend les points tels que la surface supérieure ou s'inscrit 90% de la surface du bassin versant.

La formule la plus simple et la plus rapide pour calculer l'indice de pente globale **igest**

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

Chapitre II : Etude Hydrologique

Où :

L: La longueur équivalente (km)

D : La distance séparant les altitudes ayant 5% et 95% de la surface du bassin versant (m)

$$I_g = 20.6 \text{ m/Km} = 0.206 \%$$

II.4.DENSITE SPECIFIQUE (D_s):

La densité spécifique nous permet de classer le relief du bassin versant suivant la classification de (**O.R.S.T.O.M**):

$$D_s = I_g \times \sqrt{s} \quad (\text{II } 8)$$

Où

I_g: Indice de pente globale (m/km)

S: Surface du bassin versant (km²)

$$D_s = 92.75 \text{ m}$$

Tableau II.2 Classification des reliefs d'après l'ORSTOM

Classe de relief	Dénivelée spécifique (D_s) m	Relief
R ₁	$D_s < 10$	Très faible
R ₂	$10 < D_s < 25$	Faible
R ₃	$25 < D_s < 50$	assez faible
R ₄	$50 < D_s < 100$	Modéré
R ₅	$100 < D_s < 250$	Assez fort
R ₆	$250 < D_s < 500$	Fort
R ₇	$D_s > 500$	Très fort

D'après la classification de l'**ORSTOM**, on conclut que notre bassin versant présente un relief **Modéré (R4)** qui favorise le ruissellement

$$50 < D_s < 100$$

La courbe hypsométrique (Fig II.4) fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude

Les mesures effectuées sur la carte hydrologique et relief (Fig II.2) à l'échelle 1/50000 sont résumée dans le (tableau II .1)

II.4.1 Relief et pente

Deux domaines très contrastés, tant du point de vue géomorphologique que géologique, sont séparés par l'accident sud atlasique.

Cette région est formée d'un ensemble de bassins et (ou) sous bassins aligné presque parallèlement Nord-sud.

La partie Nord de la région se présente sous la forme d'une chaîne, grossièrement, orientée Nord-est – Sud-ouest : l'Atlas saharien qui inscrit dans son prolongement oriental le massif de l'Aurès culminant à 2328 m ; Le relief est de type jurassien et se présente sous la forme de plis courts et espacés, tantôt creusés par de profondes combes de flanc, tantôt festonnés de chevrons sous l'effet de l'attaque du ruissellement.

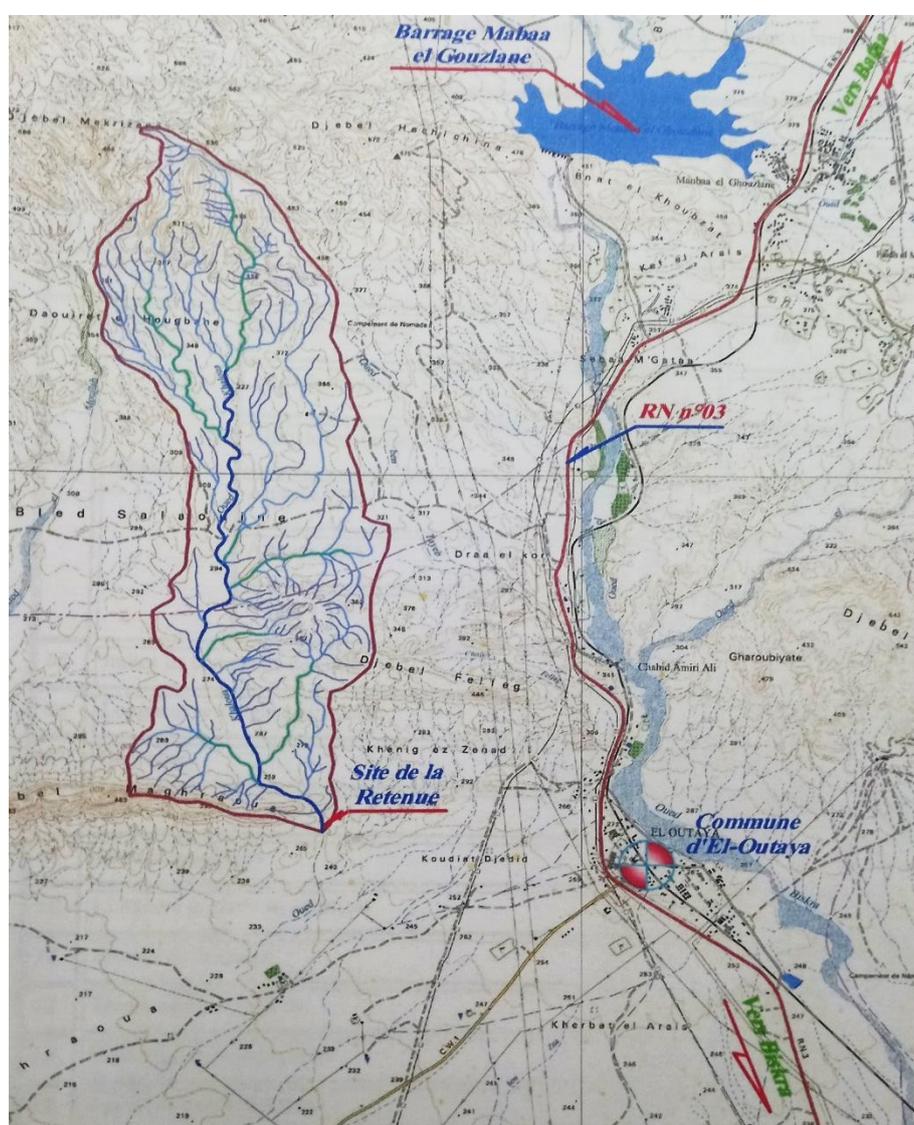


Figure II.6 :Plan de situation géographique de la cuvette et bassin versant avec le réseau hydrographique (B.étude T.Saddek)

II.4.2 Densité du thalweg élémentaire :

$$F1 = \frac{N1}{S} \quad (\text{II.9})$$

N1 : Nombre de thalwegs d'ordre 1, N1= 68

S : Superficie du bassin versant

AN : F1 = 3.348 thalweg/km²

II.4.3 Densité de drainage Dd :

Exprimée en km/km² ; se définit comme étant le rapport de la longueur totale (Li), en km, des cours d'eau à la superficie totale du bassin versant (S), en km²,

La densité de drainage dépend de plusieurs facteurs tels que la lithologie, la tectonique, l'exposition, le couvert végétal, les pentes et le climat.

$$Dd = \frac{\sum Li}{S} \quad (\text{II 10})$$

Li : longueur totale des talwegs du BV (12.07 Km)

S : surface du BV,

AN : Dd = 5,68 Km/km²

II.4.4 Coefficient de torrentialité : Ce coefficient reflète le caractère torrentiel des averses dans le bassin. Il est fortement lié à la densité de drainage et à la fréquence des drains par la relation :

$$C_t = D_d F_1 \quad (\text{II 11})$$

AN: C_t = 19.01 Km-3

D'après les résultats obtenus ci-dessus, on peut conclure que le chevelu hydrographique est dense, ce qui traduit que notre bassin est bien drainé

II.4.5 Temps de concentration du bassin versant t_c

C'est le temps mis par la première goutte de pluie tombée sur le point le plus éloigné du bassin pour atteindre l'exutoire.

Le temps de concentration d'un bassin versant est l'un des caractéristiques reflétant les particularités morpho métriques hydraulique du processus d'écoulement.

Il caractérise le temps que mette une particule d'eau provenant de la partie du bassin versant la plus éloignée hydrologiquement de l'exutoire pour parvenir à celui-ci. Il est estimé comme étant le maximum de la somme des trois temps (d'humectation, de ruissellement ou d'écoulement et d'acheminement) (Blkacem Rouina, 2020).

Chapitre II : Etude Hydrologique

Pour cela, il est difficile de l'obtenir expérimentalement avec des mesures de terrain, il a été estimé par les formules empiriques suivantes :

➤ **Formule de GIANDOTTI**

$$Tc = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H \text{ moy} - H \text{ min}}} \quad (\text{II.12})$$

$$Tc = 4,06 \text{ heures}$$

➤ **FORMULE DE -KIRPICH:**

$$Tc = 0.01947 * L^{0.77} * I^{-0.385} \quad (\text{II.13})$$

Où :

- Tc: temps de concentration (en minutes)
- I: la pente H/L, H étant la différence entre les deux élévations extrêmes du bassin (m)
- L: longueur du thalweg principal (km)

$$Tc = 110.16 \text{ mn} = 1.84 \text{ heure}$$

➤ **FORMULE DE VENTURA**

$$Tc = 76,3 \times \frac{\sqrt{S}}{\sqrt{I}} \quad (\text{II.14})$$

- Tc: temps de concentration (en minutes)
- S: superficie du bassin versant (km²)
- I: la pente moyenne du bassin versant exprimé en %

$$Tc = 212.51 \text{ mn} = 3.54 \text{ heure}$$

➤ **FORMULE DE PASSINI :**

$$Tc = 64,8 \times \frac{\sqrt[3]{L \times S}}{\sqrt{I}} \quad (\text{II.15})$$

Où :

- Tc: temps de concentration (heures)
- L: longueur du thalweg principal (km)
- S: superficie du bassin versant (km²)
- la pente moyenne du bassin versant exprimé en %

$$Tc = 250.64 \text{ mn} = 4.18 \text{ heure}$$

D'après les quatre méthodes les résultats de temps concentration varient, pour cela on prendra la moyenne de ces trois résultats et on aura Tc.

$$Tc = 4.06 \text{ heure}$$

II.4.6 Vitesse de ruissellement :

On entend par ruissellement, l'écoulement par gravité à la surface du sol, suivant la pente du terrain, et dans le micro-réseau hydrographique, des eaux météoriques qui ont échappé à l'infiltration, à l'évaporation et au stockage superficiel. détermine le comportement hydrologique du bassin influence sur les facteurs hydro climatologiques (précipitations, températures, Vents, ruissellement

Cette vitesse est déterminée par la formule suivante :

$$Vr = \frac{L}{Tc} \quad (\text{II.16})$$

L : Longueur du thalweg principal (Km) ,Tc : Temps de concentration (h)

AN: **Vr = 2,97 km/h**

Chapitre II : Etude Hydrologique

Tableau II.3 Récapitulatif des caractéristiques du bassin versant (bureaux des études technique de l'hydraulique takkok saddek, 2014)

N°	Paramètres		Symbole	valeur	unité
01	Surface du bassin versant		S	20,31	Km ²
02	Périmètre du bassin versant		P	24,71	Km
03	Altitudes	Altitude maximale	H _{max}	560	m
04		Altitude moyenne	H _{moy}	368	m
05		Altitude minimale	H _{min}	243	m
06		Altitude 95%	H _{95%}	260	m
07		Altitude 50%	H _{50%}	330	m
08		Altitude 5%	H _{5%}	470	m
09	Indice de compacité de GRAVELIUS		Kg	1,54	/
10	Rectangles	Longueur équivalente	L	10,44	Km
11	Equivalant	Largeur équivalente	I	1,94	Km
12	Dénivelée		D	315	M
13	Indice de pente globale		Ig	20,6	m/km
14	Densité spécifique		Ds	92,75	m
15	Classe de relief		R	R4	
16	Longueur de thalweg principal		Lp	12,07	Km
	Vitesse. De .ruissellement		Vr	2,97	Km/h
17	Temps de concentration		Tc	4,06	Heure

- **Critères descriptifs du relief**

Les critères descriptifs du relief d'un bassin versant sont donnés ci-dessous.

- altitudes : exutoire, points culminants, courbe hypsométrique
- pentes : moyenne, maxi et mini, distribution (carte), exposition du bassin

II.4.7 COUVERTURE VEGETALE :

- Les sols sont de parcours steppique dont la végétation naturelle est dégradée. La région dispose d'une grande variété de sols ayant pour genèse l'interférence de la géologie et de la géomorphologie, d'où résulte la formation de faciès différents.

- Nous sommes en présence de sols peu évolués d'apport alluvial et alluvial- colluvial et de sols halomorphes salins. Nous notons aussi l'absence de végétation forestière (B. des études technique de l'hydraulique Takkok Saddek, 2014)

- Par ailleurs, le manque de végétation dans le bassin versant, accélère les risques d'érosion et par conséquent un fort transport solide dans la retenue

II.5 Caractéristiques climatiques du bassin versant :

L'objectif de l'étude climatologique est de fournir des données concernant le climat, données nécessaires pour la conception du barrage et de ces ouvrages annexes, ces conditions climatiques du bassin jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau, Les facteurs qui déterminent le climat sont :

- la température
- l'humidité
- La précipitation
- le ventect

II.5.1 LA TEMPERATURE :

Les valeurs du tableau, reportées sur le graphique (fig II.7), montrent que les températures minimales ont été enregistrées aux mois de janvier et décembre avec **12°C**, et les températures maximales ont été enregistrées aux mois de juillet et août avec **45°C**.

Tableau II.4 : Températures mensuelles à la station de Biskra.

Mois temp	Ja n	Fé v	Ma r	Av r	Ma i	Ju n	Ju l	Ao u	Se p	Oc t	No v	Dé c	Moyannu l
Moyenne	12	13	16	20	25	30	33	33	28	22	16	12	21,7
Maximale	21	24	28	33	38	42	45	44	40	33	26	22	33
Minimale	03	03	05	08	13	18	22	24	17	12	06	03	11
Amplitude	18	21	23	25	25	24	23	22	23	21	20	19	22

La région de Biskra présente une température moyenne annuelle de 21,7°C. L'effet de continentalité est important, les températures n'étant pas soumises à l'influence de la mer.

Ceci donne une augmentation sensible de l'amplitude thermique (22°C de moyenne annuelle).

Cette forte chaleur conjuguée à une amplitude thermique très élevée, favorise une intense évaporation.

On constate aussi qu'avec une température de 12°C aux mois de janvier et décembre, la région présente des risques très minimes de gelée au sol (B. des études technique de l'hydraulique Takkok Saddek, 2014).

Chapitre II : Etude Hydrologique

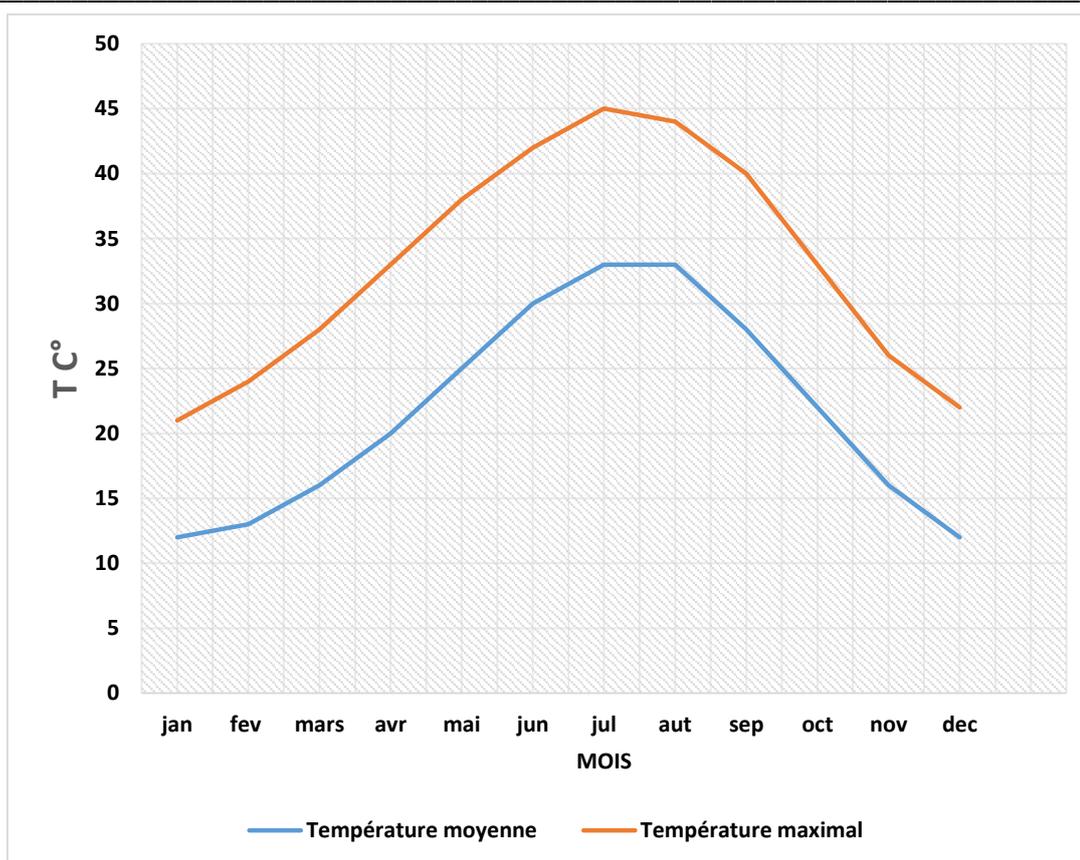


Figure II.7: Variation de température mensuelles minimale et maximale à la station de Biskra

II.5.2 LE VENT :

Les vents sont fréquents et répartis sur toute l'année avec des vitesses moyennes mensuelles de 4.5 m/s environ ; alors que les vitesses maximales sont enregistrées aux mois d'avril et mai (respectivement **5.7** et **5.5m/s**).

Durant la saison sèche (juin, juillet, août et septembre), les vents dominants sont de secteur **Sud-est**. En effet, durant cette période arrivent souvent des siroccos d'une moyenne de **58** jours/an .

Pendant la saison hivernale, les vents du secteur Nord-est sont dominants, amenant de l'humidité du Nord.

Tableau II.5 : Vitesses moyennes des vents enregistrées à la station de Biskra

Mois temp	Ja n	Fé v	Ma r	Av r	Ma i	Ju n	Jul	Ao u	Se p	Oc t	No v	Dé c	Moyannu l
Vitesse moyen n (m/s)	4,2	4,5	4,7	5,7	5,5	4,6	4,2	4,0	4,0	4,0	4,1	4,1	4,5

Chapitre II : Etude Hydrologique

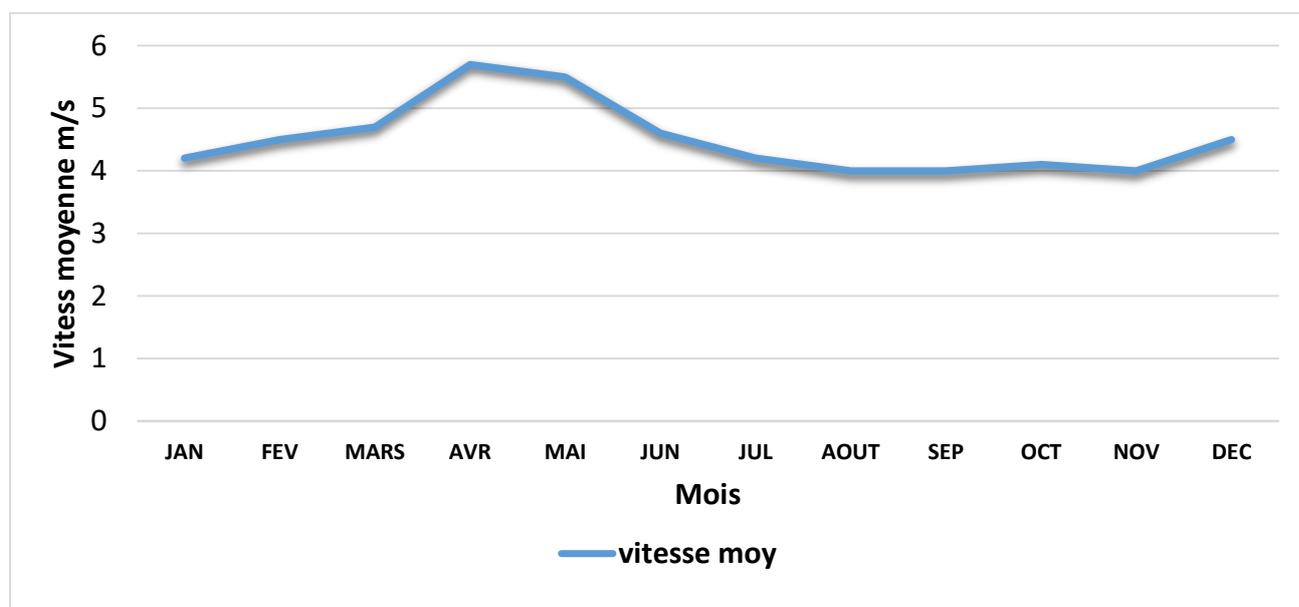


figure II.8 :courbe de variation de vitesse moyennes de vent par mois à station de Biskra

II.5.3 L'HUMIDITE RELATIVE :

Ce paramètre est relativement faible dans la zone d'étude ; la moyenne est de **42.9%**. Cette faiblesse s'explique par l'aridité du climat et la concentration des masses d'air chaudes du Sahara . Les valeurs moyennes mensuelles sont insérées dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.6 : Humidités relatives moyennes enregistrées à la station de Biskra

Mois	Jan	Fé	Mar	Av	Mai	Ju	Jul	Ao	Se	Oc	No	Dé	Moyen
Vitesse moyenne (m/s)	53,9	50,3	44,7	38,8	34,4	31,9	27,7	30,6	39,7	48,2	53,5	58,5	42,9

Chapitre II : Etude Hydrologique

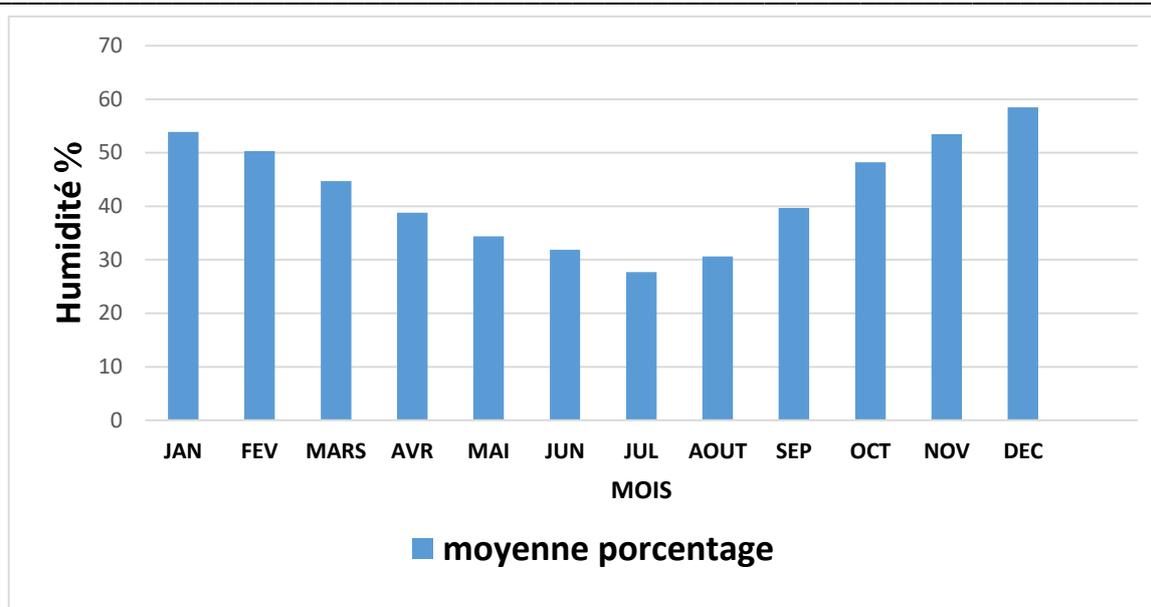


Figure II.9 Histogramme Humidité relative moyenne enregistrées à station de Biskra

II.5.3.1 REGIME CLIMATIQUE

Trois méthodes ont été retenues pour la détermination du régime climatique, il s'agit de :

II.5.3.2 INDICE DE MARTONNE

Noté **I**, cet indice permet de déterminer le degré d'aridité d'une région. Pour le calculer, on utilise la formule :

$$I = P/(T+10) \quad (\text{III } 17)$$

Où

- P désigne les précipitations totales annuelles
- T la température moyenne annuelle.

Selon De Martonne, des valeurs de I inférieures à 10 caractérisent un milieu aride ; pour des valeurs de I comprises entre **10 et 20**, il s'agit d'un milieu semi-aride.

Pour notre zone d'étude, l'indice d'aridité **I** est de **4.07**, cette valeur caractérise parfaitement cette région où les influences sahariennes sont prédominantes ; il s'agit donc d'un **milieu aride**.

II.5.3.3 LE DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE

Le diagramme ombrothermique de **Gausson** et **Bagnouls** est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèches et humides de l'année, où sont portés en abscisses les mois, et en ordonnées les précipitations (**P**) et les températures (**T**), avec **P=2T**.

La figure ci-après porte le diagramme ombrothermique de la région de Biskra établi à partir des données pluviométriques et thermiques moyennes mensuelles de la période 1976-2011.

Chapitre II : Etude Hydrologique

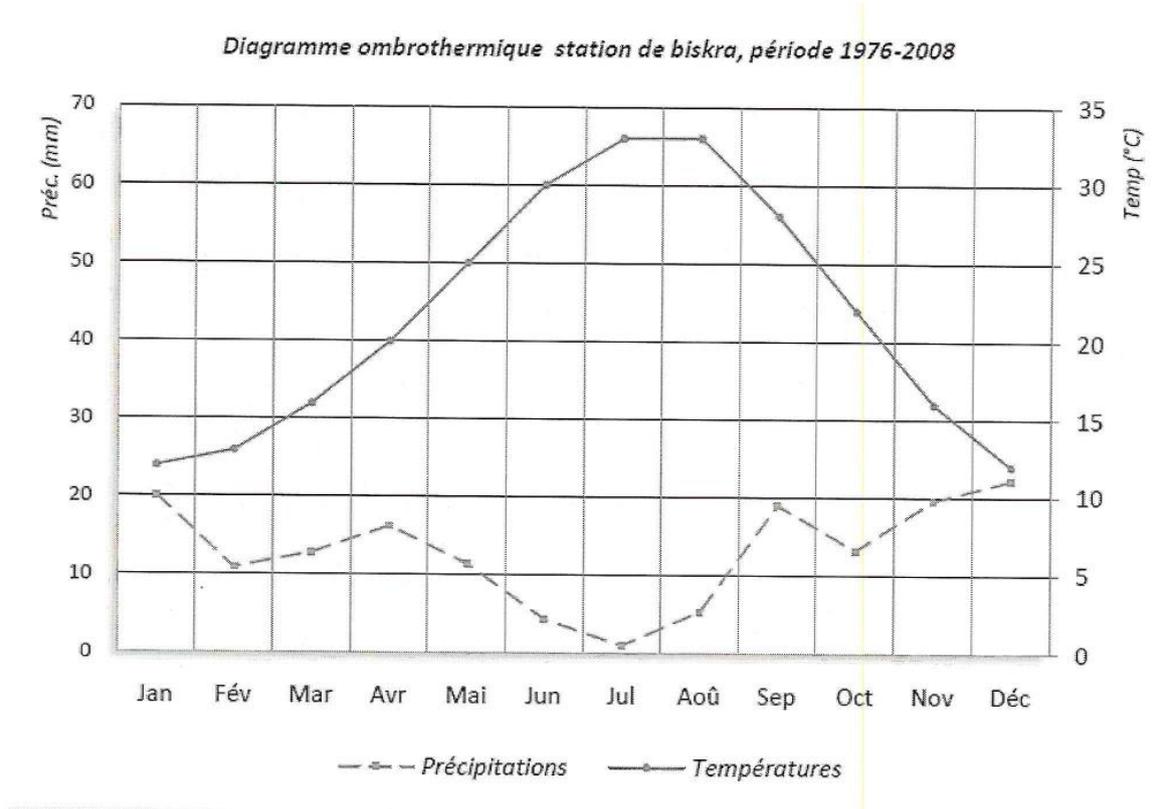


Figure II.10 : Diagramme Ombrothermique station de Biskra. Période 1976-2008

Ce diagramme montre que la période sèche s'étale sur la totalité de l'année.

II.5.4 LES PRECIPITATION

Sur un plan général, la consultation de la carte des précipitations de l'Algérie du Nord (fig), établie par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) pour la période 1965-95, montre

Que :

- ❖ Pluviométrie comprise entre 200 et 250 mm de la partie Nord du bassin versant
- ❖ La pluviométrie du reste de la région étudiée (la cuvette) varie dans un intervalle limité par les isohyètes 100 et 200mm.

Localement, la région d'El Outaya ne dispose que d'un seul poste pluviométrique, (qui ne fonctionne plus actuellement). Cela nous amène à exploiter le poste de Biskra vu sa proximité ainsi que son fonctionnement régulier et continu pendant de longues années. Les caractéristiques de ces deux stations sont consignées dans le tableau qui suit.

Chapitre II : Etude Hydrologique

Tableau II.7 : Caractéristiques des postes pluviométriques (ANRH BISKRA).

Station	Code ANRH	Coordonnées		Altitude	Observations
		X	Y		
Biskra	06-14-16	778.27	171.54	85	Fonctionnel
El-Outaya	06-12-05	764.8	196.2	275	à l'arrêt

Les précipitations mesurées à la station de **Biskra** et celle d'**El-Outaya** (période commune **1974-2001**), caractérisent d'une façon générale les zones de type **aride** avec une longue saison sèche et chaude en été, et des mois pluvieux en automne, hiver et printemps.

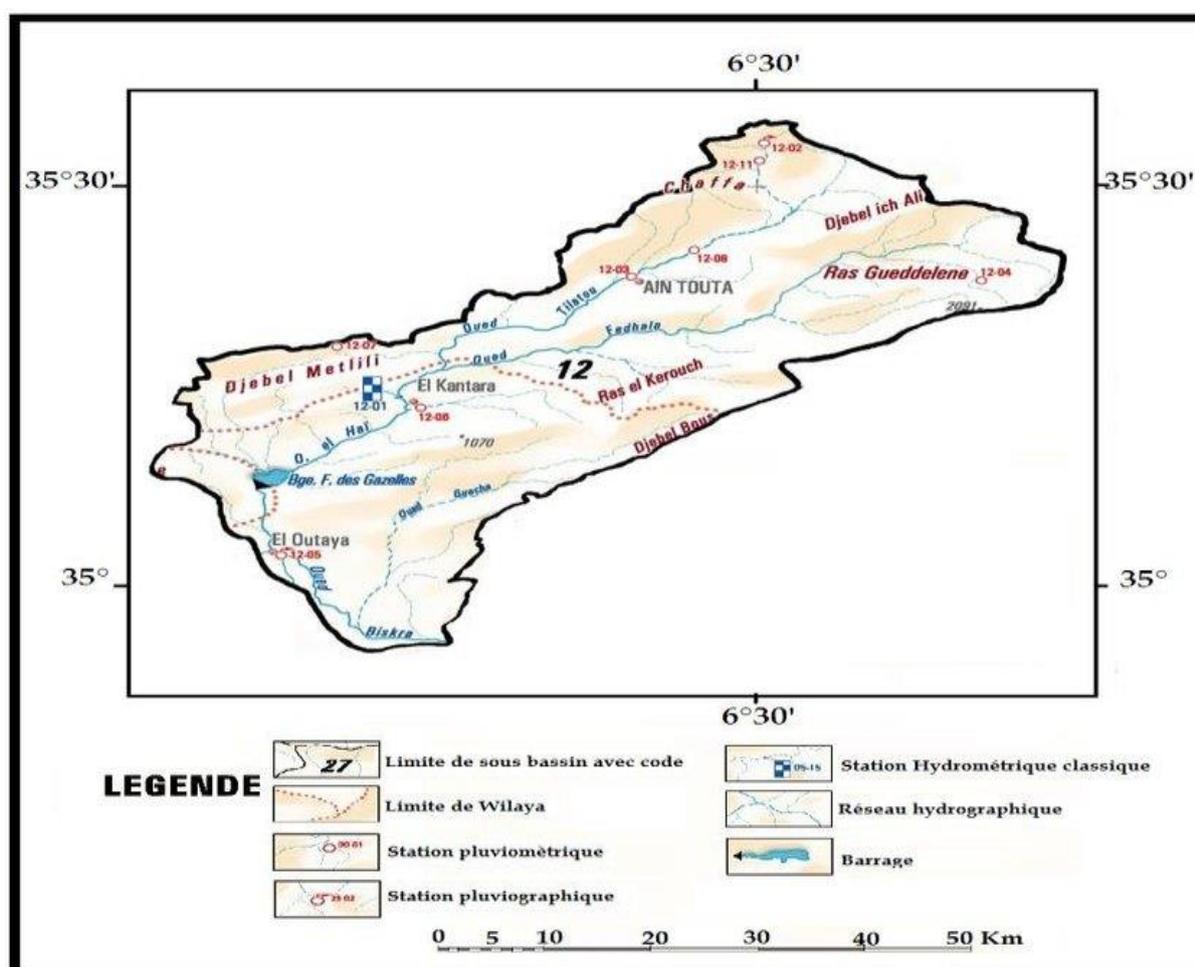


Figure II.11 : Carte de réseaux hydroclimatologique de sous bassin versant de l'outaya (ANRH ,2005)

Chapitre II : Etude Hydrologique

Tableaux II.8 : Station pluviométrique équipée d'un pluviographe et d'un pluviomètre													
Année	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Total annuel
73/74					0.0	7,8	22,8	3,7	2,5	8,1	2,7	1,8	49,4
74/75	0,2	0,0	0,0	0,3	8,4	11,6	6,3	31,7	45,7	0,0	0,0	0,0	114,6
75/76	38,5	0,0	6,5	19,0	0,7	36,5	18,1	3,1	8,5	22,0	4,1	0,0	157,0
76/77	29,0	12,8	2,0	9,9	42,2	2,8	6,6	19,4	64,1	2,6	2,3	0,0	164,7
77/78	0,0	0,0	17,3	0,0	14,4	3,7	4,7	6,1	0,0	1,6	0,0	0,0	47,8
78/79	0,0	12,8	0,0	0,2	0,0	5,0	3,0	9,6	6,3	0,0	0,0	0,0	36,9
79/80	66,5	0,3	0,0	0,0	0,0	18,9	13,1	9,6	6,3	23,0	0,0	7,0	144,7
80/81	0.0	0.0	39.8	10.3	0.0	9.2	11.5	8.5	0.0	23.0	0.0	7.9	110.2
81/82	0.0	0.2	0.0	17.7	5.4	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.3
82/83	0.0	40.8	58.3	0.0	0.0	9.1	1.5	0.0	5.5	0.0	0.0	22.5	137.7
83/84	0.0	3.8	3.5	4.0	0.5	3.6	7.6	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	26.5
84/85	1.0	14.7	19.2	1.0	11.0	1.1	32.0	1.6	25.9	0.0	0.0	0.0	106.5
85/86	2.3	9.9	16.6	13.5	31.0	3.6	49.0	0.3	17.4	0.0	0.0	0.0	143.6
86/87	26.3	10.7	11.5	11.4	10.7	12.0	3.8	1.0	5.8	1.0	2.3	2.6	99.1
87/88	0.0	15.5	4.5	11.8	4.5	0.0	4.1	16.6	1.0	22.7	0.0	0.0	80.7
88/89	2.5	0.0	13.5	4.9	4.6	10.9	0.0	10.9	10.6	20.6	0.0	8.6	87.1
89/90	6.6	2.0	11.5	3.0	28.0	0.0	9.0	20.4	32.0	4.5	0.5	7.0	124.5
90/91	5.6	0.0	14.5	20.6	17.0	13.0	60.4	3.5	3.1	2.0	0.0	26.0	165.7
91/92	13.0	33.5	4.0	9.9	18.9	2.3	22.0	6.6	5.0	0.0	4.5	20.5	140.2
92/93	20.5	0.0	50.5	3.5	0.0	4.4	11.5	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	94.4
93/94	2.5	0.0	6.3	3.2	14.4	5.0	22.6	1.4	0.0	1.5	0.0	7.3	64.2

Chapitre II : Etude Hydrologique

94/95	37,3	36,2	3,2	0,0	4,5	2,0	7,0	11,5	0,0	4,0	0,5	0,0	106,2
95/96	31,8	2,6	25,0	19,5	63,9	25,1	46,2	5,4	2,7	3,7	3,4	0,0	229,3
96/97	31,7	0,0	0,0	4,3	3,8	2,6	1,4	88,9	0,0	5,1	0,0	0,0	137,8
97/98	16,6	4,9	41,6	13,9	0,0	0,4	11,0	47,1	12,1	7,4	0,0	0,0	155,0
98/99	0,0	3,6	0,1	0,1	82,3	0,5	0,2	0,0	5,2	18,3	0,0	2,5	112,3
99/00	21,3	11,4	47,4	33,2	0,0	0,0	0,0	4,0	8,3	0,0	0,0	0,0	125,6
00/01	12,8	3,0	10,0	2,5	45,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6	77,0
2001/2002	1,2	2,6	21,9	10,1	1,1	0,0	1,5	2,8	0,3	0,0	0,0	3,6	45,1
2002/2003	0,6	16,2	17,9	1,4	81,7	2,9	6,6	3,1	0,3	0,2	0,0	0,2	131,1
2003/2004	6,3	37,5	4,3	10,9	0,1	0,3	32,8	70,7	34,0	1,0	0,0	0,5	198,4
2004/2005	6,7	6,2	31,4	53,9	0,0	21,9	1,9	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	123,7
2005/2006	2,5	3,7	4,7	9,0	58,6	35,8	13,0	13,3	8,0	0,6	0,0	0,9	149,9
2006/2007	19,7	9,8	47,3	8,0	0,0	41,0	12,5	40,0	2,6	0,0	0,0	2,5	183,5
2007/2008	28,1	0,0	2,3	0,0	4,9	0,0	0,0	0,0	26,1	0,0	0,0	0,0	61,4
2008/2009	25,1	59,8	0,0	45,9	72,9	16,8	51,8	18,3	20,2	0,0	0,0	0,0	310,8
2009/2010	42,1	1,2	0,0	19,6	8,4	24,1	29,4	28,4	7,0	27,3	0,0	5,6	193,1
2010/2011	11,6	12,4	37,1	0,0	7,9	0,6	52,1	60,8	69,5	0,0	0,0	0,0	252,0
2011/2012	6,3	89,0	7,1	0,0	0,0	3,3	8,7	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	121,3

Chapitre II : Etude Hydrologique

Tableau II.9: Les précipitations annuelles de la station de Biskra en période commune

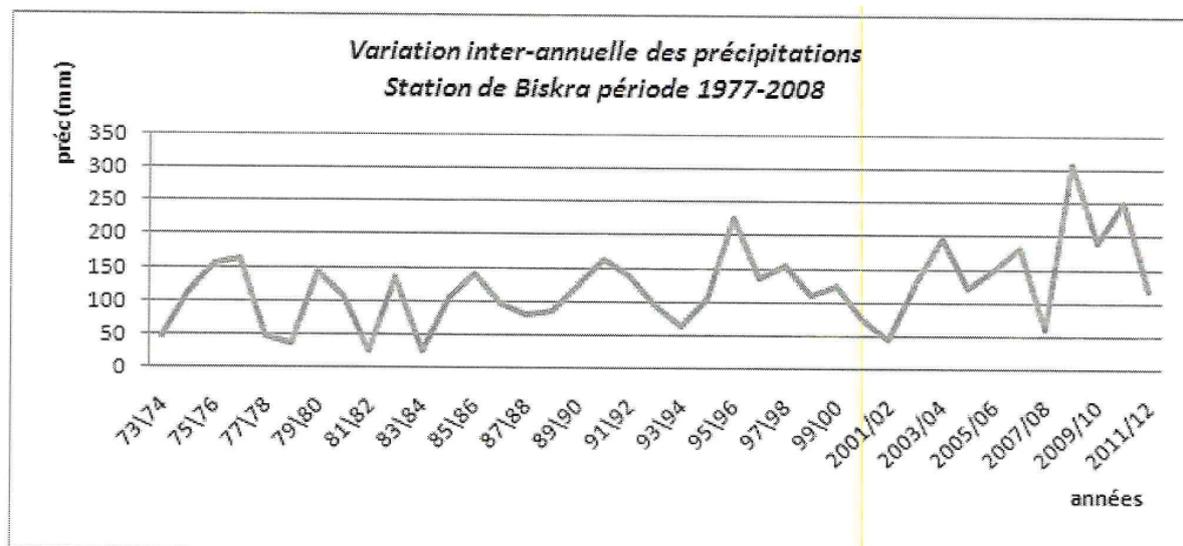
Année	Biskra	El Outaya
1974	83.5	75.2
1975	181.2	119.6
1976	109.9	212.1
1977	65.6	66.6
1978	97.5	100.5
1979	99.7	102
1980	116.2	90.5
1981	114.7	70
1982	89.6	107
1983	87.2	82.8
1984	159.4	149.8
1985	96.9	98.4
1986	96,9	98,4
1987	50,2	80,6
1988	97,5	89,2
1989	77,7	76
1990	127,2	48,1
1991	133	38
1992	202,8	44
1993	78	33,2
1994	121,2	61,3
1995	212,9	82,8
1996	116,2	47,1
1997	169,3	64,7
1998	96.4	46.6
1999	124.5	37.2
2000	88.9	34.2
2001	55.5	81.9

La détermination de la lame d'eau moyenne précipitée sur la plaine, nécessite un réseau de postes assez dense et couvrant toute la région avec des observations qualifiées, pour caractériser la pluviométrie dans la plaine d'El Outaya, aux données de la station de l'Office National de la Météorologie de Biskra, car c'est la station qui se prête le mieux, à caractériser le climat de la zone vu son fonctionnement régulier pendant un nombre d'années assez représentatif (1974/2011) .

L'analyse des données des précipitations annuelles Figure II. mesurées à la station de Biskra pour la période 1974/2011, **montre une moyenne annuelle de 126.47mm** .

Chapitre II : Etude Hydrologique

Figure II.12 : variation inter-annuelle des précipitations saturation de biskra période 1977-2011



II.5.4.1 APPORT LIQUIDE

Compte tenu de l'absence d'observations directes sur le régime hydrologique de l'oued Maghraoua à l'endroit du barrage, on a utilisé les formules empiriques et l'analogie hydrologique pour déterminer l'apport annuel théorique.

II.5.4.2 APPORT MOYEN INTERANNUEL :

Le calcul de l'apport moyen et son Coefficient de variation seront calculé par les formules empiriques (Blkacem Rouina, 2020) suivantes déduites des conditions du régime de l'Algérie :

- Formule de ANRH
- Formule de DERI I
- Formule de DERI II
- Formule SAMIE
- Formule de CHAUMONT
- Formule de PADOUN
- Formule de UKGUIPROVODKH

Chapitre II : Etude Hydrologique

✓ FORMULE DE L'ANRH :

$$A = 0.513 P^{2.683} \times Dd^{0.5} \times S^{0.842} \quad (\text{II 18})$$

$$Le = (0.513 * P^{2.683} * Dd^{0.5} * S^{0.842}) / S \quad (\text{II 19})$$

$$Mo = (Le / 31.56) \quad (\text{II 20})$$

Où :

- **Dd**: Densité de drainage en km/km².
- **P** : précipitation moyenne annuelle en (mm).
- **S**: surface du bassin versant en km².
- **Mo** : débit spécifique annuelle 1/s/km².
- **Le** : lame d'eau écoulée en (mm).

$$Le = 2.9 \text{ mm}$$

$$Mo = 0.093 \text{ 1/s/km}^2$$

$$A = 0.060 \text{ Hm}$$

✓ FORMULE DE SAMI :

$$Le = P^2(293 - 2,2\sqrt{S}) \quad (\text{II 21})$$

$$Mo = (Le / 31.56)$$

$$A = Le \times S \times 10^{-3} \quad (\text{II 22})$$

Où :

- **Le** : lame d'eau écoulée en mm
- **P**: Pluie moyenne annuel en m
- **A** : Apport moyen annuel en hm³
- **S**: la surface du bassin versant
- **Mo** : débit spécifique annuelle l/s/km².

Ainsi :

$$Le = 4.5 \text{ mm}$$

$$Mo = 0.143 / \text{s/km}^2$$

$$A = 0.092 \text{ hm}^3$$

Chapitre II : Etude Hydrologique

✓ FORMULE DE DERI I:

$$A = 0.915 \times P^{2.684} \times S^{0.842} \quad (\text{II 23})$$

$$Mo = (Le/31.56)$$

$$Le = (A/S \times 1000)$$

Ainsi :

$$A = 0.045 \text{ hm}^3$$

$$Le = 2.2 \text{ mm}$$

$$Mo = 0.0701 \text{ 1/s/km}^2$$

✓ FORMULE DE DERI II :

$$Mo = 11.8 \times P^{2.82}$$

$$Mo: \text{ module spécifique } 1/\text{s/Km}^2 \quad (\text{II 24})$$

$$Le = Mo \times 31.56$$

$$A = Le \times (S/1000)$$

Ainsi :

$$Mo = 0.0351 \text{ 1/s/km}^2$$

$$Le = 1.1 \text{ mm}$$

$$A = 0.022 \text{ hm}^3$$

✓ FORMULE DE CHAUMONT :

$$Le = 0.6 \times (1 - 10^{-0.36P^2}) \times P$$

$$Mo = (Le/31.56) \quad (\text{II 25})$$

$$A = Le \times (S/1000)$$

Le : lame d'eau écoulée en mm

P : Pluie moyenne annuel en m

A : Apport moyen annuel en hm

S : la surface du bassin versant

Mo : débit spécifique annuelle 1/s/km².

Ainsi :

$$Le = 1 \text{ mm}$$

$$Mo = 0.032 \text{ 1/s/km}^2$$

$$A = 0.020 \text{ hm}^3$$

Chapitre II : Etude Hydrologique

✓ **FORMULE DE PADOUN:**

$$M_o = 1.54 \cdot (0.0019 \cdot p^{3.57})$$

$$M_o: \text{ module spécifique l/s/Km}^2 \quad \text{(II 26)}$$

$$L_e = M_o \times 31.56$$

$$A = L_e \times (S/1000)$$

Ainsi :

$$M_o = 0.0091 \text{ l/s/km}^2$$

$$L_e = 0.3 \text{ mm}$$

$$A = 0.060 \text{ hm}^3$$

✓ **FORMULE UKRGUIPROVODKHOZ:**

$$M_o = (P / 340)^{2.24}$$

$$L_e = M_o \times 31.56 \quad \text{(II 27)}$$

$$A = L_e \times (S/1000)$$

Ainsi :

$$M_o = 0.1091 \text{ l/s/km}^2$$

$$L_e = 3.4 \text{ mm}$$

$$A = 0.070 \text{ hm}^3$$

Tableau II.10 EVALUATION DE L'APPORT MOYEN INTERANNUEL
(Formules complémentaires)

Formule	Lame écoulée (mm)	le Module spécifique M_o (l/s/Km ²)	Apport moyen A (Hm ³)
INRH	2.9	0.093	0.060
SAMI	4.5	0.143	0.092
DERI I	2.2	0.070	0.045
DERI II	1.1	0.035	0.022
CHAUMONT	1	0.032	0.020
PADOUN	0,3	0.009	0.006
UKRGUIPROVODKHOZ	3.4	0.109	0.070

Ces formules ont été établies pour d'autres régions terrestres, c'est pourquoi elles doivent être maniées avec réserve.

Les résultats obtenus varient dans l'intervalle allons 0.006 hm³ à 0.092 hm³.

Chapitre II : Etude Hydrologique

Les valeurs plus ou moins proche de la réalité sont celles INRH, UKRGUI et DERI I, pour cela on prendra la moyenne de ces deux résultats. On aura A :

$$A=0.058 \text{ hm}^3, M_o= 0.057 \text{ l/s/km}^2, L_e= 2.83 \text{ mm}$$

II .5.4.3 PLUIES JOURNALIERES MAXIMALES MOYENNE :

D'après les publications du Ministère de l'Hydraulique (**I.N.R.H Constantine 1985**) « Analyse fréquentielle de pluies de l'Algérie -Synthèse régionale Constantine-» sur les bassins versants algériens, la relation conseillée pour le calcul de la pluie journalière maximale est la suivante.

$$P_{j \text{ max moy}}= 0.0525 * P_{\text{moy}}+18.6 \quad (\text{II 30})$$

$$P_{j \text{ max moy}}= 25.24 \text{ mm}$$

II.5.4.4 PLUIE JOURNALIERE MAXIMALE DE DIFFERENTES FREQUENCES

Le coefficient de variation Cv de la station de **Biskra** est égale : Cv = **0.60** d'après

L'Analyse fréquentielle de pluies de l'Algérie – Synthèse régionale » sur les bassins versants algériens.

$$P_{j \text{ max}\%} = \left[\frac{P_{j \text{ max}}}{\sqrt{Cv^2+1}} \right] \times e^{U \times \sqrt{\ln(Cv^2+1)}} \quad (\text{II 29})$$

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableaux II.11 : calcul Pjmax% fréquentielle

Fréquence %	80	50	20	10	5	1	0,1
Période de retour (an)	1,25	2	5	10	20	100	1000
U	-0,84	0	0,84	1,28	1,65	2,33	3,09
Pjmax% (mm)	13,58	21,64	34,48	44,01	54,04	78,78	120,08

II.5.4.5 EXPOSANT CLIMATIQUE

$$b = 0.19$$

II.6. PLUIES DE COURTE DUREE

La pluie maximale de courte durée de fréquence donnée est calculée par la formule de **MONTANARI** :

$$P_{Tc} = P_{j \text{ max}\%} \times \left(\frac{Tc}{24} \right)^b \quad (\text{II 30})$$

Où :

Chapitre II : Etude Hydrologique

- P_{Tc} : pluie maximale de courte durée de fréquence donnée (mm);
- P ; max : pluie journalière maximale de fréquence donnée (mm);
- T : temps (heure);
- b : Exposant climatique

Tableau II. 12 : calcul de la pluie maximale pendant le temps de concentration

Fréquence %	80	50	20	10	5	1	0,1
Pjmax% (mm)	13,58	21,64	34,48	44,01	54,04	78,78	120,08
P tc (mm)	9,69	15,44	24,60	31,40	38,55	36,21	85,67

Pour notre cas : $P_{1c} = 56.21$ mm

II.6.1 DEBIT DE CRUE :

Pour le calcul des débits de pointe de crue on a utilisé plusieurs formules de « RATIONNEL » car elle est utilisée en Algérie.

II.6.1.2 METHODE DE SOCKOLOVSKY :

$$Q_{max} = \frac{0,28 \times P_{Tc} \times C_e \times S \times f}{T_c} \quad \text{(II 31)}$$

Q_{max} : débit maximal de la crue en m^3/s

P_{Tc} : Pluie de durée égale au temps de concentration en (mm)

C : Coefficient de ruissellement.

T_c : temps de concentration en heures.

C_e : Représente le coefficient de ruissellement, le tableau III-6, donne la variation des Coefficients de ruissellement en fonction des fréquences données.

Tableau II.13 : les valeurs c_e du coefficient de ruissellement.

Fréquence %	0,1	1	5	10
C_e	0,8	0,7	0,6	0,55

f : coefficient de forme de l'hydrogramme de crue il est donné par la formule Suivante :

$$f = \frac{12}{4+3B} \quad \text{(II.32)}$$

B : coefficient qui dépend du type de bassin il varie de 2 à 2,5 pour faible couverture végétale avec terrain imperméable.

$B = 3$ à 4 pour des petits bassins versants et les bassins de moyenne dimension avec une couverture végétale.

$B = 4$ à 7 pour les grands bassins.

Le bassin versant étudié a une faible couverture végétale et un terrain imperméable, donc on à pris $B=2$

Chapitre II : Etude Hydrologique

f=1,2

Fréquence%	Ptc (mm)	Ce	f	Q max % (m ³ /s)
0.1	85.67	0.8	1.2	115.20
1	56.21	0.7	1.2	66.14
5	38.55	0.6	1.2	38.88
10	31.40	0.55	1.2	29.03
20	24.60	0.5	1.2	20.68
50	15.44	0.45	1.2	11.68
80	9.69	0.4	1.2	6.52

Tableau II.14: calcul de débit de crue par la formule de sockolovsky.

II.6.2.2 METHODE RATIONNEL :

$$Q = \frac{Ce \times P_{Tc} \times S}{3,6 \times Tc} \quad \text{(II 33)}$$

Ou : Q_{max}. P_{Tc}, S, Tc ont la même signification que précédemment.

Tableau II.15 : calcul de débit de crue par la formule rationnel.

Fréquence %	Ptc (mm)	Ce	Q max % (m ³ /s)
0,1	85,67	0,8	95,24
1	56,21	0,7	54,68
5	38,55	0,6	32,14
10	31,40	0,55	24,00
20	24,60	0,5	17,09
50	15,44	0,45	9,66
80	9,69	0,4	5,39

La méthode est recommandée pour les retenues collinaires puisqu'elle considère non seulement les paramètres du bassin versant mais également les paramètres liés à la forme de l'hydrogramme.

La crue de projet sera centenaire alors :

$$Q_{\max} = 54.$$

Chapitre II : Etude Hydrologique

II.6.3 L'HYDROGRAMME DE CRUE :

Il est évident que la connaissance seule du débit maximal d'une crue est insuffisante lorsque l'on procède au dimensionnement d'un ouvrage d'art. Une crue pointue (de faible durée) exigera des ouvrages moins importants qu'une crue de même débit maximal qui s'étend sur plusieurs jours et qui comporte plusieurs pointes secondaires.

L'hydro gramme de crue est une courbe représentant la variation des débits en fonction du temps lors d'une crue (**figure II.13**).

L'hydro gramme nous permet d'estimer la forme, le volume, le temps de montée et le temps de décrue et cela par des méthodes plus ou moins empiriques tel que la méthode de SOKOLOVSKY qui nous donne toutes les informations nécessaires de la crue.

Cette méthode assimile l'hydro gramme à deux équations paraboliques :

L'une caractérisant la montée de la crue et qui s'écrit :

$$Q_m(T) = Q_{max} \times \left[\frac{T}{T_m} \right]^2 \quad \text{pour } 0 \leq T \leq T_m \quad (\text{II } 34)$$

L'autre caractérisant la décrue et s'écrit :

$$Q_d(T) = Q_{max} \times \left[\frac{T_B - T}{T_d} \right]^2 \quad \text{pour } T_m \leq T \leq T_B \quad (\text{III } 35)$$

Q_{max} : Débit maximum en m

$Q_m(T)$: Débit de crue ou de montée au temps (T) en m³/s.

$Q_d(T)$: Débit de décrue au temps (T) en m³/s

T_m : Temps de montée en heures et qui est égal au temps de concentration

$$T_m = T_c = 4.06 \text{ heures}$$

T_d : Temps de décrue ou descente en heures.

$$T_d = B T_m \quad (\text{II.36})$$

B : Coefficient qui dépend du type de bassin, dont notre cas $B=2$

T_B : Temps de base en heures et qui est évalué par la relation suivante :

$$T_m = 4.06 \text{ heures}, \quad T_a = 8.13 \text{ heures}, \quad T_b = 12.19 \text{ heures}$$

On obtient par conséquent le système d'équation suivant :

$$Q_m(T) = 54,68 \times \left[\frac{T}{5,41} \right]^2 \quad \text{pour } 0 \leq T \leq 4,06$$

$$Q_d(T) = 54,68 \times \left[\frac{12,19 - T}{8,13} \right]^2 \quad \text{pour } 4,06 \leq T \leq 12,19$$

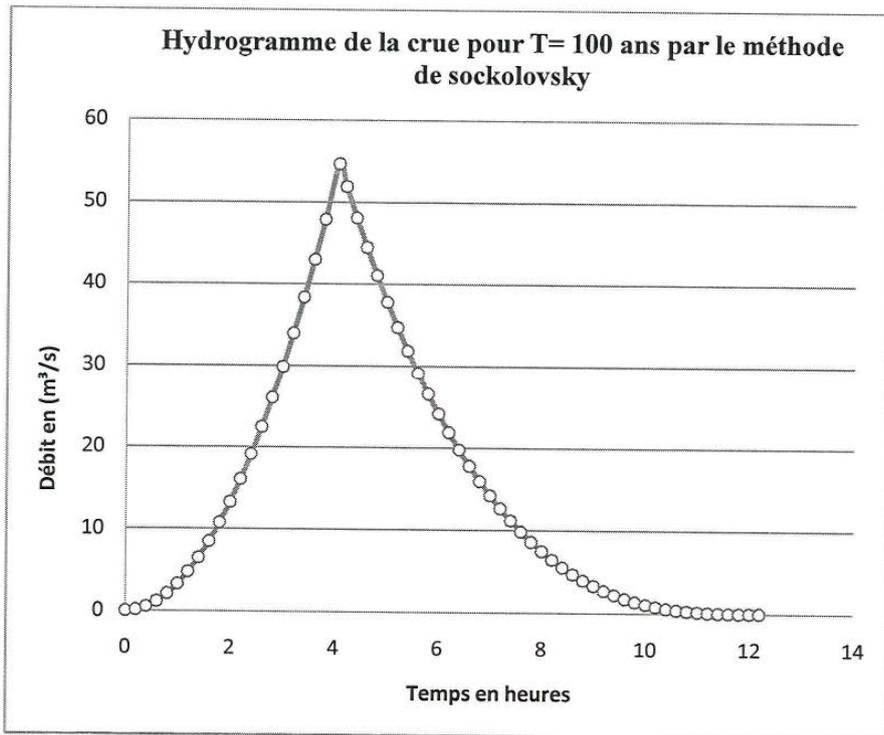


Figure II.13 : Réseau hydrographique du bassin versant (Méthode sockolovsky)

II.7 APPORT SOLIDE :

II.7.1 APPORT SOLIDE ET CALCUL DE VOLUME MORT :

Le volume de solides pour est déterminé par la formule de Tixeron-Sogreah, dont l'expression est la suivante :

Formule de Tixeron-Sogreah :

$$\mathbf{T_a = k * L_e^{0.15}} \quad \text{(II 37)}$$

Ta: Volume total de solides, en T/km² par année.

L_e: Lamé d'écoulement en mm, déterminée à partir de l'apport moyen.

K: Paramètre caractéristique de la perméabilité du bassin :

Tableau II.16 degré de perméabilité

K	DEGRÉ DE PERMÉABILITÉ
8,5	Élevée
7,5	Moyenne
350	Moyenne faible
1400	Faible
3200	Imperméable

D'où : K= 75

Chapitre II : Etude Hydrologique

Le volume occupé par les sédiments dépend de la densité des boues, sable, gravier et cailloux

Soit : $Ta = 92.1 \text{ T/Km}^2/\text{an}$

Les transports solides en suspension

$$AS = Ta * S \quad (\text{II } 38)$$

Avec : S : superficie du bassin versant en Km²

D'où : $AS = 1870.58 \text{ T / an}$

$\gamma_s = 1.6 \text{ T/m}^3$ et T (durée de vie) = 10 ans

Le volume de solide est égale à :

$$V_{\text{mort}} = AS T / \gamma_s \quad (\text{II } 39)$$

On a : $\gamma_s = 1.6 \text{ t/m}^3$

Application numérique : $V_{\text{mort}} = 11690.09 \text{ m}^3/\text{An}$

II.7.2 ETUDE HYDROTECHNIQUE

Les résultats obtenus de l'étude effectuée pour l'APC de Loutaya sont les suivants :

• Volume ou capacité de la retenue	92347.65 m ³
• Volume utile	80656.71 m ³
• Volume mort	11690.09 m ³
• Tranche du volume mort	3.19 m
• Tranche du volume utile	4.4
• Cote minimale au niveau du talweg	243.61 m
• Cote du niveau mort	246.8 m
• Cote du niveau normal de la retenue	251.2m

Après une optimisation technico-économique, la largeur du déversoir est fixée à 16m avec une hauteur déversant de 1.40 m et un débit laminé de 57.5 m³/s. Le barrage sera de hauteur 9.81m.

II .7.3 largeur en crête :

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

A-Formule de KNAPPEN

$$b_{cr} = 1.65 * \sqrt{H_b} = 5.16 \quad (\text{II } 40)$$

B- Formule de F-PREECE

$$b_{cr} = (1.1 * \sqrt{H_b}) + 1 = 4.45m \quad (\text{II } 41)$$

C-Formule Anonyme (simplifiée)

$$b_{cr} = 3.60 * \sqrt[3]{H_b} - 3 = 4.71m \quad (\text{II } 42)$$

D-Formule pratique

$$b_{cr} = \frac{5}{3} * \sqrt{H_b} = 5.22m \quad (\text{II 43})$$

On opte pour une largeur de crête égale à: **bcr = 5 m**

La longueur en crête par rapport à l'axe défini de la digue est : L=152 m

II.8 Conclusion

Les différents aspects des précipitations sont plus ou moins modifiés selon un effet combiné des autres paramètres physiques (altitude et exposition) et climatiques (température, évaporation, évapotranspiration, vents et humidité) ; autant de facteurs qui influent sur le régime hydrologique des bassins.

Nous avons présenté dans ce chapitre, un aperçu de ces différents facteurs et nous tenterons d'apprécier l'incidence qu'elles peuvent avoir sur l'hydrologie du bassin versant.

L'absence de végétation forestière et les aménagements antiérosifs dans le bassin versant augmentent le risque d'envasement rapide de la retenue par les sédiments.

A cet effet la protection du bassin versant contre l'érosion par reboisement et l'aménagement des talwegs est nécessaire.

CHAPITRE III
ETUDE DES VARIANTES
DE LA DIGUE

Chapitre III : Etude Des Variantes De La Digue

III.1 Introduction :

Le barrage est un ouvrage artificiel ou naturel construit à travers le lit d'un cours d'eau, retenant ou pouvant retenir de l'eau, Il peut aussi être installé sur un cours d'eau pour en bloquer les écoulements et élever le niveau d'eau en amont de l'ouvrage, le barrage et de fermer une cuvette naturelle dans le but de retenir les eaux de pluie et de ruissellement. Les investigations pendant la phase précédente ont montré que la fondation est constituée d'argiles surmontées par une couche d'alluvions, de faible épaisseur en rive gauche (0.80 m) et elle augmente en allant vers la rive droite où elle atteint 2.70 m d'épaisseur. Cette couche peut être excavée sans difficulté et servir de matériau de construction. A cet effet, la digue sera fondée sur le passage argileux et donc, il n'est pas nécessaire de prévoir dans cette zone des travaux d'injection. Notre site du point de vue géologique et hydrogéologique, est favorable à la réalisation de n'importe quel type de digue et les matériaux de construction dans le cas du choix du corps de la digue en alluvions avec un noyau étanche en argiles sont disponibles sur les lieux

III.2. Choix du type de la digue

le choix du type de barrage nécessite la prise en compte de plusieurs facteurs, citant la forme de la vallée (morphologie), la géologie, les conditions climatiques, la sismicité et la disponibilité des matériaux de construction, en vue de choisir la variante la plus économique tout en garantissant le plus haut degré de sécurité, et en minimisant les impacts causés par l'ouvrage.

Il existe deux grandes familles de barrages, ceux construits en béton et ceux construits en remblai (terre ou enrochement). Les barrages en remblais sont constitués de matériaux locaux meubles, qu'ils soient très fins (argile) ou très grossiers (enrochements). Cette famille regroupe cependant plusieurs catégories. Les différences proviennent des types de matériaux utilisés, et de dispositif d'étanchéité (POST G.Londe P, 1953).

III.2.1 Les barrages en béton :

Ils se partagent en trois groupes :

- a- Barrage poids :** comme son nom l'indique, résiste à la poussée de l'eau par son propre poids. La plupart des barrages poids sont massifs et pleins avec un profil triangulaire. Le parement aval est vertical ou légèrement incliné, quant au parement amont il est incliné avec un fruit de talus de (75 à 80%) (Anton et *als*, 2011).
- b- Barrage voûte :** Le barrage est constitué d'un mur en béton arqué. La poussée de l'eau est reportée sur les flancs de la vallée. Le barrage a parfois une double courbure verticale et horizontale.

Chapitre III : Etude Des Variantes De La Digue

C-Barrage à contreforts : résiste à la poussée de l'eau par son poids propre, mais un certain nombre de dispositions permettent de diminuer le volume de béton par rapport au barrage poids. Ces contreforts conduisent les efforts jusqu'aux fondations, qui doivent être de qualité et sont des éléments stabilisateurs de l'ouvrage.

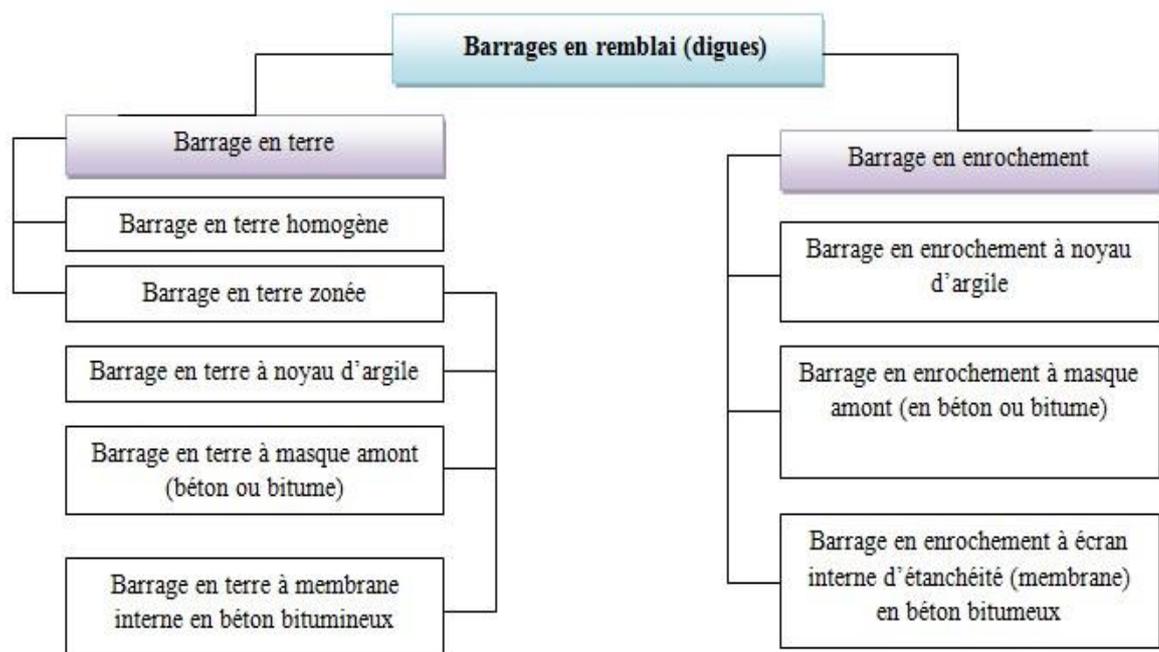
III.2.2 Barrages en remblai : Il s'agit d'ouvrages de grand volume, ce type de barrage constitué de terre ou d'énrochements comporte généralement un noyau central d'argile qui assure l'étanchéité. On choisit ce type d'ouvrage lorsque la vallée est trop large et lorsqu'on trouve les matériaux sur place ou à faible distance.

On choisit ce type d'ouvrage lorsque la vallée est trop large et lorsqu'on trouve les matériaux sur place ou à faible distance.

On distingue deux catégories de barrage en remblai :

- Les barrages en terre, réalisé à partir de sols naturels meubles prélevés à proximité
- Les barrages en enrochement, dont la majeure partie est constituée de matériau de carrières concassé

Figure III.1 Types des barrages en remblai



La figure III.1 représente les sous types de barrage, pour les deux catégories de barrages en remblai en fonction du matériau de construction, et du dispositif d'étanchéité.

Chapitre III : Etude Des Variantes De La Digue

III.2.2.1 Types de barrage en terre

Il existe trois types de barrages en terre qui diffèrent en fonction des matériaux utilisés et de la méthode utilisée pour assurer l'étanchéité du barrage. :

- barrage en Terre homogènes,
- ceux à noyaux étanches
- ceux à masques amont,

D- Barrage Homogène :

Caractérisé par l'existence de grande quantité de sol pratiquement imperméable qui est le plus souvent argileux remplissant simultanément les deux fonctions d'écran et de masse. Ce matériau doit présenter des caractéristiques permettant de garantir une étanchéité suffisante et une stabilité du remblai (AMARA F, mémoire de master, 2018).

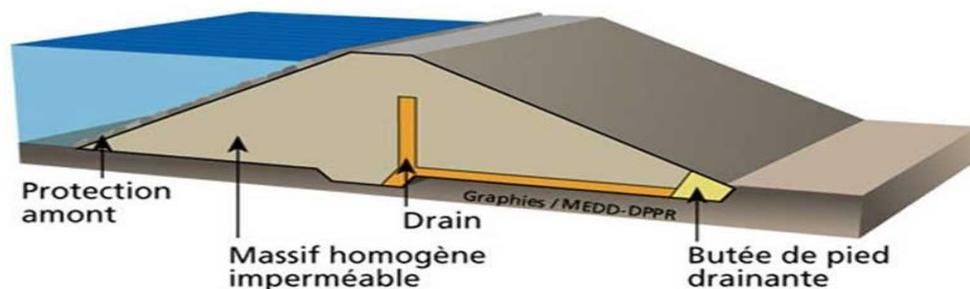


Figure III.2 représente le profil général d'un barrage homogène

E- Barrage à noyau : Dans le cas où la quantité des matériaux imperméables disponibles sur site est insuffisante pour réaliser tout le corps du barrage. Dans ce cas les fonctions de résistance et d'étanchéité sont en quelques sortes séparées. D'une part, la résistance est assurée par les recharges placées sur les flancs de l'ouvrage, d'autre part l'imperméabilité est assurée par le noyau central constitué de terre, la plus imperméable possible (argile) .IL existe trois types des barrages a noyau :

- Barrage à noyau central
- Barrage à noyau incliné
- Barrage à diaphragme
 - **Barrage à noyau central :** Le noyau est constitué d'un sol imperméable ou peu perméable pour assurer l'étanchéité par contre

Chapitre III : Etude Des Variantes De La Digue

la stabilité du massif sera assurée par des zones perméables appelées recharges (Cherif et *al*, 2013).

- **Barrage à noyau incliné** : le noyau est déplacé vers l'amont. Les surfaces potentielles de glissement traversent le noyau et la pente du parement amont est donc plus douce pour garantir la stabilité. La masse du corps d'appuis aval augmente également ce qui représente un certain avantage pour le barrage
- **Barrage à diaphragme** : Le noyau est constitué d'un mélange bitume de bentonite et de ciment et des parois en béton, pour une paroi moulée à sec $e_{\min}=0.80$ m .

C. Barrage à masque :

Sur des sites particuliers où aucune terre imperméable n'est disponible et où seuls les enrochements sont dominants. Le corps du barrage est donc construit avec un matériau quelconque pour autant qu'il soit peu déformable et pouvant assurer la stabilité au glissement de l'ensemble de l'ouvrage. Le masque qui assure l'étanchéité peut être en béton, en produits bitumineux ou en géo-membrane.

III.3 Les caractéristiques géotechniques des sols :

Ces terrains constituent les matériaux actuels de fond de vallée de l'Oued Maghraoua et qui occupent le lit mineur de l'oued sur une profondeur de 0.80 m ainsi que la totalité de la rive droite avec une épaisseur dépassant 2m. La disposition de ces formations laisse à supposer que les terrasses deviennent plus anciennes en se déplaçant vers la rive droite d'où l'importance du terrain de couverture constitué d'éboulis de pente enrobés dans une matrice fine. Vers la rive gauche, cette couche est absente et on remarque des affleurements sans couverture alluvionnaire. La disposition des éléments de la couche d'alluvions témoigne d'un milieu de dépôt à haute turbulence

Sous les alluvions, l'assise argileuse a l'avantage d'être étanche et peut supporter n'importe quel type de digue.

Les caractéristiques géotechniques des sols de fondation et d'empreints pour la digue ont été déterminées par des essais au laboratoire

Chapitre III : Etude Des Variantes De La Digue

Tableau III.1 : Les caractéristiques géotechniques de Terrains de fondation de la digue (laboratoire l'habitat Sud de la construction unité Batna) .

Caractéristiques géotechnique	Unité	Valeurs
Densité sèche (γ_d)	t/m ³	2.02
Densité de saturation (γ_{sat})	t/m ³	2.13
Cohésion total (C_u)	t/m ²	1.6
Angle de frottement total(ϕ_u)	(^o)	22
Perméabilité	m/s	1.02. 10 ⁻¹¹

III.4 Profil général de la digue

A. Hauteur et largeur de la digue

La hauteur de la digue est estimée à 9.81 m, la hauteur normale de la retenue est de 7.59m et la hauteur maximale atteint 8.99m.

$$H_b = 9.81 \text{ m}$$

$$H_{NNR} = 7.59 \text{ m}$$

B. Largeur en crête

D'après l'étude d'optimisation dans le chapitre précédent, la largeur en crête trouvé est estimée à: $b_c = 5 \text{ m}$

C . longueur en crête

La longueur de la crête est tirée à partir du plan de l'aménagement, elle est égale à :

$$\text{Longueur de la crête : } L_c = 152 \text{ m.}$$

III.5 Barrages en remblai

La pente des talus doit assurer leur stabilité statique. C'est à dire que les fruits de talus sont fixés par les conditions de stabilité mécanique du massif et de ses fondations. Le tableau suivant donne les valeurs des pentes des talus en fonction de la hauteur et du type du barrage .

Chapitre III : Etude Des Variantes De La Digue

Tableau III.2 : Valeurs indicatives des pentes des talus (valeurs devront être vérifiées par calcul de stabilité) ,(Belokonev, 1981)

Hauteur de la digue	Type de barrage (m)	Fruit des talus	
		Amont	Aval
H < 5m	Homogène	2,5	2 , 0
	A zones	2,0	2 , 0
5 ≤ H < 10 m	Homogène granularité étendue	2,0	2 , 0
	Homogène à fort pourcentage d'argile	2,5	2 , 5
	A zones	2,0	2 , 5
10 ≤ H < 20 m	Homogène granularité étendue	2,5	2 , 5
	Homogène à fort pourcentage d'argile	3	2 , 5
	A zones	2,0	3

III.5.1 Barrage en terre homogène

Les fruits des deux talus sont choisis d'après le tableau III.2

- Parement amont $m_1 = 2.5$
- Parement aval $m_1 = 2,5$
- perméabilité de la recharge $K = 8,33 \times 10^{-6} \text{m/s}$

A. Calcul et choix de types des drains

Le drain est un organe qui évacue les eaux des infiltrations à travers un massif ou une digue. Le système de drainage de la digue est constitué d'un Tapis filtrant réalisé, en bas de la partie amont de la digue, combiné avec un filtre vertical sans oublier le prisme de drainage. Le choix du type de drain dépend de plusieurs facteurs telles que la hauteur du barrage, La perméabilité de la fondation, La disponibilité du matériau, Le coût du matériau . Dans un barrage en terre homogène, on peut rencontrer selon l'anisotropie des matériaux les différents types de drains :

B.Tapis drainant aval

Couvre une bonne partie de l'aval de la fondation et sert d'exutoire au drain cheminée.

La longueur du Drain Tapis est estimée à :

$$L_d = (1/4 \text{ à } 1/3) L_b \quad \text{(III.1)}$$

Avec :

L_b : Longueur transversale de la digue, $L_b=54.05\text{m}$. Donc : $L_d = 18\text{m}$

Chapitre III : Etude Des Variantes De La Digue

I. Dimensionnement du drain vertical

- **Drain cheminé (vertical):** Placé verticalement au centre de la digue, constitué d'un rideau d'une largeur minimale de 1 mètre en matériau grossier dont la granularité est choisie de manière à ce que les conditions de filtre soient réalisées.

L'eau de percolation interceptée par ce drain est évacuée par le tapis drainant, Le niveau du drain vertical est au niveau NPHE.

$$H_d = 9.00 \text{ m}$$

D. Dimensionnement du prisme aval

Les prismes sont les éléments les plus utilisés pour le drainage. Dans sa partie centrale, ils sont construits en pierres et on place un filtre à l'envers au niveau de la zone de contact du remblai et sa fondation. Sa situation est particulière dans la partie du remblai qui passe par la voie de l'oued. Sa hauteur minimale est fonction du niveau d'eau dans le talus en aval et sa stabilité dépend des critères du concepteur. On peut calculer sa hauteur selon $0.2 H$ où H est la hauteur du barrage. La largeur du prisme dans sa partie supérieure (berme) doit être de 3 m pour qu'il puisse être placé et compacté avec les engins de compactage (Rodriguez et al, 2004).

E. Hauteur de prisme de drainage :

$$H_p = (0,15 \div 0,2) H_b \quad (\text{III.2})$$

Avec :

H_b : hauteur du barrage, $H_b = 9.81 \text{ m}$.

$$H_p = 0,2 \times H_b = 0,2 \times 9.81 = 1.96 \text{ m}$$

Nous prenons $H_p = 2 \text{ m}$

F. Fruits de talus :

- Pente du talus amont du prisme :

$$m_1 = (1 \div 1,5)$$

- Pente du talus aval du prisme (III.3)

$$m_2 = (1,5 \div 2,5)$$

Nous prenons : $m_1 = 1.5$ et $m_2 = 2$

J. Largeur en crête de prisme de drainage:

$$b_p = (1/3 \div 1/4) H_p \quad (\text{III.4})$$

$$b_p = 1/3 \times 2 = 0.66 \text{ m}$$

Chapitre III : Etude Des Variantes De La Digue

Nous prenons

$$b_p = 0.7 \text{ m}$$

H. Largeur en base du prisme :

Elle est exprimée par :

$$B_p = b_p + (m_1 + m_2) H_p \quad (\text{III.5})$$

$$B_p = 0.7 + (1.5 + 2) \times 2 = 7.7 \text{ m}$$

Nous prenons : $B_p = 8 \text{ m}$

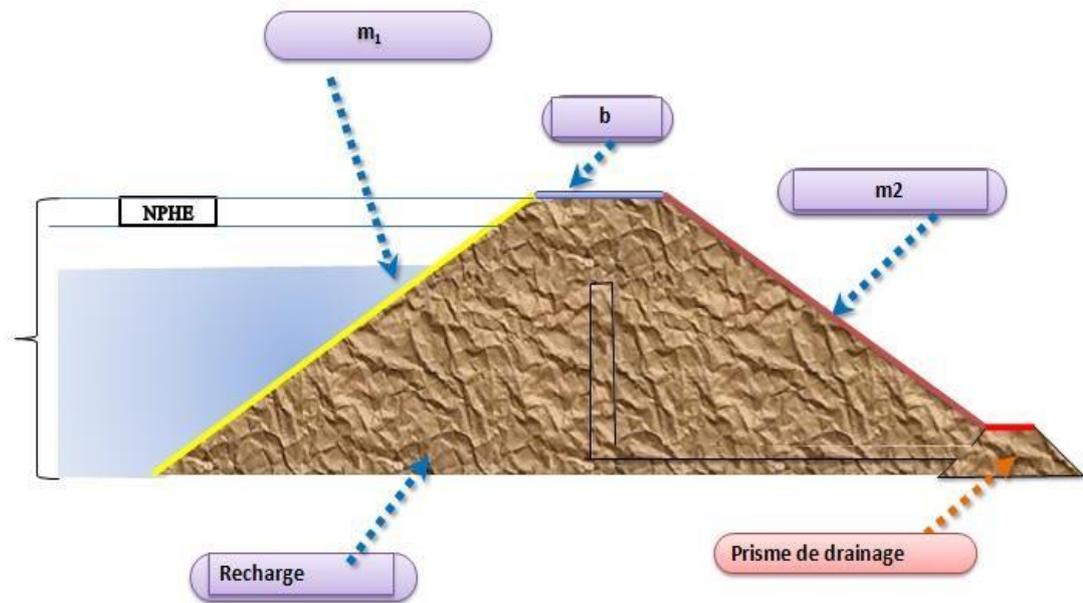


Figure III.3 : Barrage en terre homogène

III.5.2 Modélisation du barrage homogène

La modélisation a été établie et calculée avec le logiciel PLAXIS 8.2.

➤ Présentation de logiciel PLAXIS 2D :

Plaxis 2 D est un outil puissant et convivial pour la modélisation et l'analyse aux éléments finis des problèmes géotechnique en 2D (déformation, stabilité, en mécanique, des sols et mécanique des roches) (Terrasol.fr)

• Profil du barrage

On a choisi un profil dont les pentes ont été fixées selon l'étude à 2.5 chacune, la hauteur à 9.8m et la largeur de la crête à 5m. Le barrage est muni uniquement d'un drain horizontal. Le maillage et les conditions aux limites mécaniques sont présentés dans la figure III.4.

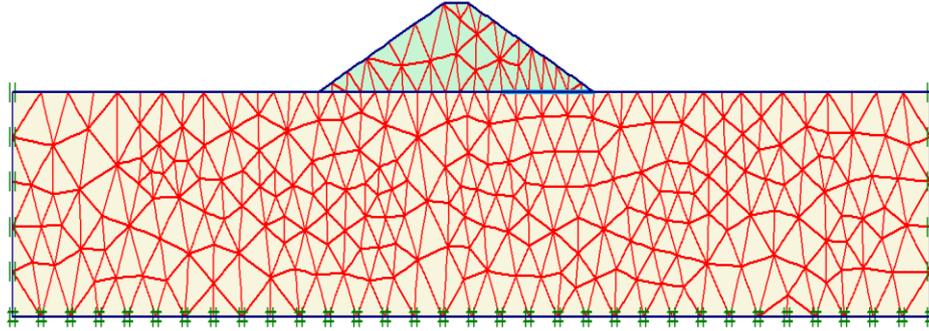
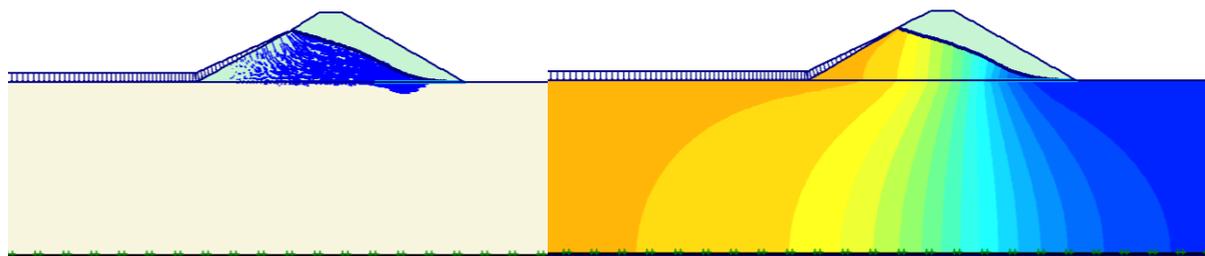


Figure III.4 : Maillage et conditions aux limites

- **Réseau d'écoulement**

Dans le logiciel Plaxis 2D, on fixe les lignes de courant à la base et aux frontières verticales de la fondation et on propose les lignes équipotentiels en amont et en aval de la digue.

La figure III.5 représente les lignes **de saturation, équipotentiels et de courant** du barrage en terre homogène.



(a) Lignes de courant

(b) Lignes équipotentiels

Figure III.5 : Réseau d'écoulement du barrage en terre homogène.

- **Stabilité fin construction**

Le barrage est stable en fin de construction et le coefficient de sécurité atteint 1.9543 figure III 6. On a deux cercles identiques car la pente des deux talus est la même.

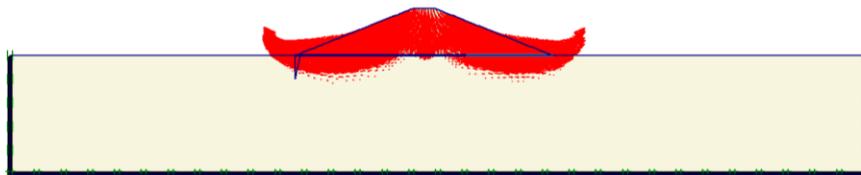


Figure III.6 : Cercle de glissement du barrage homogène en fin de construction

Chapitre III : Etude Des Variantes De La Digue

- **Stabilité en fonctionnement normal**

Le barrage est stable en **fonctionnement normal** et le coefficient de sécurité atteint 1.7196 figure III 7.

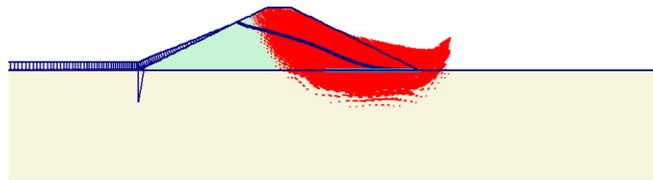


Figure III.7 : Cercle de glissement du barrage homogène sans géo membrane

- **Le tassement**

Le tassement est estimé à 17.6mm. Il est concentré au niveau de la crête de la digue.

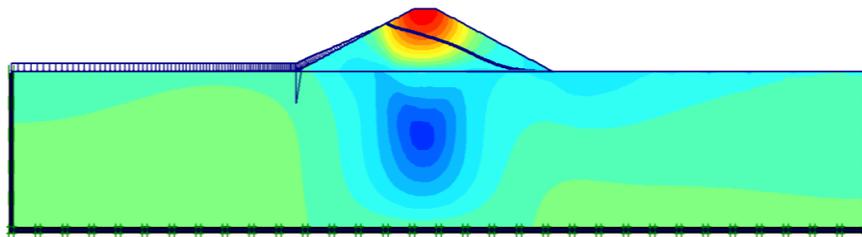


Figure III.8 : Tassement du barrage homogène

- **Débit de fuites**

Le débit de fuites est de $10.23 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{ml}$. Ce débit de fuites est très élevé, il convient de placer un système d'étanchéité sur la face amont du barrage et pour des raisons de stabilité, La membrane doit descendre dans la fondation à quelques mètres.

III.5.3 Barrage en terre zoné

A- Noyau :

Le noyau est un organe qui assure l'étanchéité de la retenue et diminue ainsi le débit de fuite. Il est réalisé en matériau imperméable disponible au niveau de la zone d'emprunt. Dans notre projet nous utiliserons les argiles

Les matériaux destinés à la confection du noyau doivent répondre aux exigences suivantes

:

- Avoir une résistance au cisaillement appréciable.

Chapitre III : Etude Des Variantes De La Digue

- Avoir une grande imperméabilité.
- Être insolubles dans l'eau et ne pas contenir de particules de gypse.

B- Hauteur du noyau :

$$H_n = H_b - 1 \dots\dots\dots (III.7)$$

$$H_n = 8.81 \text{ m}$$

C- Largeur à la base du noyau :

Elle est déterminée suivant la condition :

$$\frac{\Delta H}{B_{noy}} \leq J_{adm} \Rightarrow B_{noy} \geq \frac{\Delta H}{J_{adm}} \quad (III.8)$$

Avec :

- ΔH : Différence de charge entre l'amont et l'aval ; $\Delta H = H_1 - H_2$
- H_2 : Hauteur d'eau à l'aval, $H_2 = 0$.

H_1 : Hauteur d'eau à l'amont, $H_1 = 7.59 \text{ m}$.

B_{noy} : Largeur à la base du noyau (m)

J_{adm} : Gradient hydraulique du noyau admissible. Il est donné en fonction de la nature du sol de fondation.

Les tableaux III. 3 et III.4 nous permettent de déterminer le gradient hydraulique J_{adm}

Tableau III.3 : Classe de barrage en terre en fonction du type de la fondation

Type de sols de fondation	Classes de barrages			
	I	II	III	IV
	H auteurs de barrage (m)			
Sols rocheux.	>100	70÷100	25÷70	<25
Sols sablonneux, pierreux, terrain argileux non plastique.	75	35÷75	15÷35	<15
Terrain argileux plastique	>50	25÷50	15÷25	<15

D'après le tableau, la retenue de notre projet est de classe IV

Chapitre III : Etude Des Variantes De La Digue

Tableau III.4 : Gradient admissible en fonction de la classe de l'ouvrage

Type de sol	Classe de l'ouvrage			
	I	II	III	IV
Argile compactée	1.5	1.5	1.8	1.95
Limon	1.05	1.15	1.25	1.35
Sable moyen	0.7	0.8	0.9	1
Limon sableux	0.51	0.65	0.75	0.85
Limon sableux	0.51	0.65	0.75	0.85
Sable fin	0.45	0.55	0.65	0.75

D'après le tableau, $J_{adm} = 1.95$

$$B \geq \frac{\Delta H}{J_{adm}} = \frac{7.59-0}{1.95} = 3.89 \quad (\text{III } 9)$$

$B_{Noy} > 3.89 \text{ m}$

Nous pouvons calculer la Largeur à la base du noyau par une deuxième méthode

La base du noyau aura l'épaisseur donnée par :

$$B_{min} = 6 + C * H_n \quad (\text{III.10})$$

$$B_{max} = (0.8 \div 1.2) * H_b \quad (\text{III.11})$$

$$\text{Avec : } 0.15 \leq C \leq 0.3 * C = 0.2$$

Nous trouvons

$$B_{min} = 7.85 \text{ m et } B_{max} = 11.77 \text{ m}$$

B. Pente des talus :

$$m_1 = m_2 = \frac{B_{NOY} - b_{moy\ crete}}{2H_n} \quad (\text{III.12})$$

$$m = \frac{16-9/2}{16.18} = 0.91$$

Nous prenons $m_1 = m_2 = 1$

Chapitre III : Etude Des Variantes De La Digue

Tableau III.5 : Caractéristiques du noyau

Largeur en crête(m)	5
Hauteur de noyau H_n (m)	8.80
Largeur à la base du noyau (m)	11.77
Pente des talus	1
B_{min} et B_{max} (m)	7.85 11.77

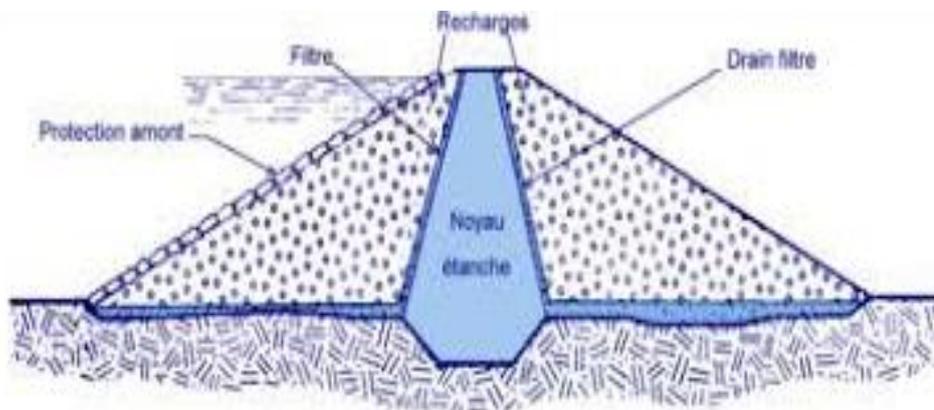


Figure III.9 : profil général d'un barrage zoné

III.5.4 Modélisation du barrage zoné

- **Profil du barrage**

On a choisi un profil dont les pentes ont été fixées selon l'étude à 2.5 chacune, la hauteur à 9.8m et la largeur de la crête à 5m. Le noyau est de hauteur 8.8m et de pentes 1 des deux talus. Le matériau du noyau est pris similaire à celui de la fondation. Le noyau est drainé.

Les pentes recommandées n'assurent pas la stabilité en fonctionnement normal car le cercle de glissement concerne aussi le noyau de caractéristiques mécaniques plus faibles. On propose des pentes de 3 pour chacune des deux pentes.

Le maillage et les conditions aux limites mécaniques sont présentés dans la figure III.10.

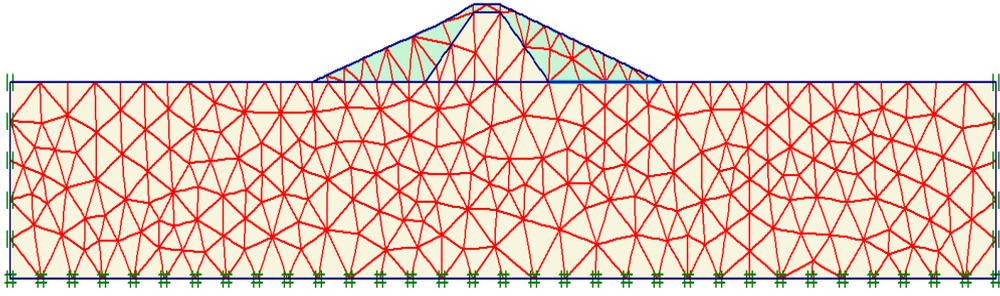
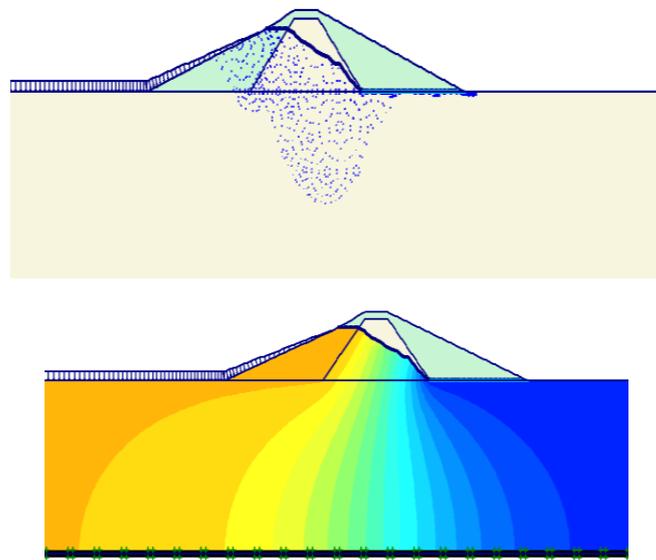


Figure III.10 : Maillage et conditions aux limites

- Réseau d'écoulement

La figure III.11 représente les lignes **de saturation**, **équipotentielles** et **de courant** du barrage en terre zoné. Le matériau de la digue joue le rôle d'un drain et intercepte l'eau qui traverse le noyau. La ligne de saturation dans la recharge est pratiquement horizontale.



(a) Lignes de courant

(b) Lignes équipotentielles

Figure III.11 : Réseau d'écoulement du barrage en terre zoné

Chapitre III : Etude Des Variantes De La Digue

- **Stabilité fin construction**

Le barrage est stable en fin de construction et le coefficient de sécurité atteint 2.2275.

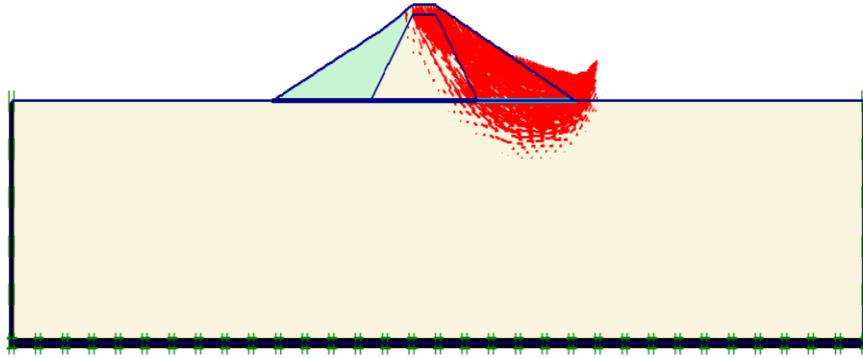


Figure III.12 : Cercle de glissement du barrage zonné en fin construction

- **Stabilité en fonctionnement normal**

Le barrage est stable en **fonctionnement normal** et le coefficient de sécurité atteint 12.104

Figure III.13.

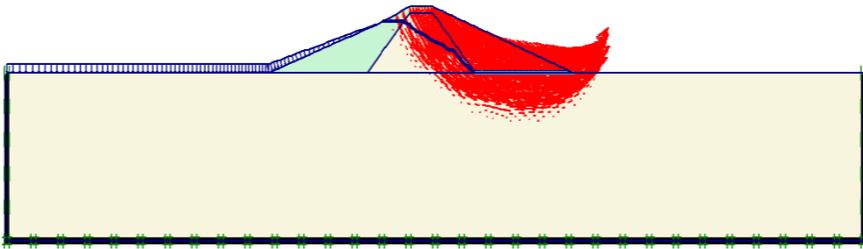


Figure III.13 : Cercle de glissement du barrage zonné en fonctionnement normal

- **Le tassement**

Le tassement est estimé à 7.45 mm. Il est concentré au niveau de la crête de la digue et le noyau

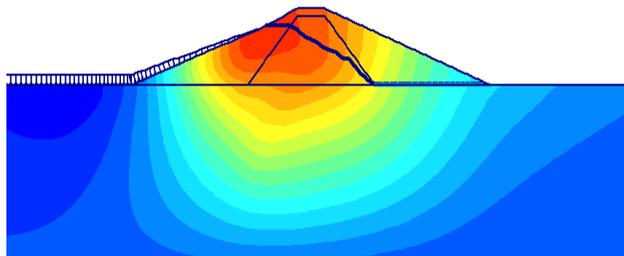


Figure III.14 : Tassement du barrage zonné

Chapitre III : Etude Des Variantes De La Digue

- **Débit de fuites**

Le débit de fuites est de $3.8 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}/\text{ml}$. Ce débit de fuites est très faible.

III.6. Barrage en enrochement à masque en béton ou en géomembrane:

A. Pentes des talus :

Fruits des talus d'après le tableau III.2 :

- Parement amont $m_1 = 2,5$
- Parement aval $m_2 = 2,5$

L'épaisseur du masque en béton est déterminée par la formule de Materon

$$e = 0,3 + 0,002 \times H_b \quad (\text{III.13})$$

$$e = 0,31 \text{ m}$$

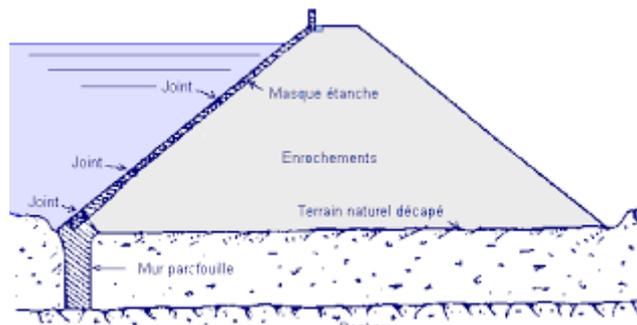


Figure III.15 : profil général d'un barrage en enrochement à masque en béton

On opte pour un barrage homogène avec géomembrane.

III.6.1 Modélisation d'un Barrage homogène avec géomembrane

Le maillage et les conditions aux limites sont présentés dans la figure III.16.

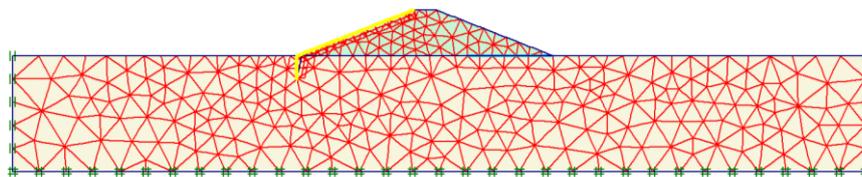


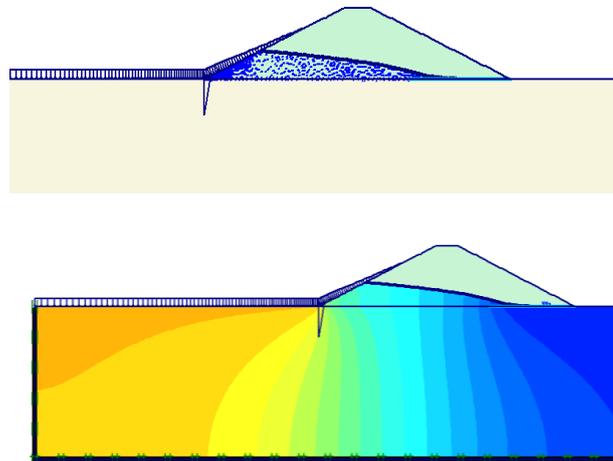
Figure III.16 : Maillage et conditions aux limites

- **Réseau d'écoulement**

La figure III.16 représente les lignes **de saturation**, **équipotentiels** et **de courant** dans le barrage en terre homogène avec géomembrane d'étanchéité. La géomembrane a empêché l'eau de s'infiltrer dans le corps de la digue.

Chapitre III : Etude Des Variantes De La Digue

Le matériau de la digue joue le rôle d'un drain et intercepte l'eau qui travers l'écran. La ligne de saturation s'est abaissée alors.



(a) Lignes de courant

(b) Lignes équipotentielles

Figure III.17 : Réseau d'écoulement du le barrage en terre homogène avec géomembrane

- **Stabilité fin construction**

Le barrage est stable en fin de construction et le coefficient de sécurité est le même que le cas sans géomembrane car cette dernière joue uniquement le rôle d'étanchéité.

- **Stabilité en fonctionnement normal**

Le barrage est stable en **fonctionnement normal** et le coefficient de sécurité atteint 1.8907 figure III.18. Le barrage est plus stable car le cercle de glissement s'est éloigné de la ligne de saturation.

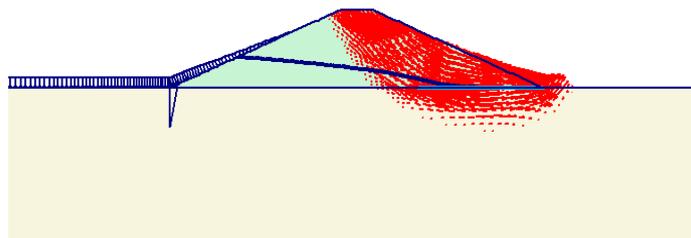


Figure III.18 : Cercle de glissement du barrage homogène avec géomembrane

- **Le tassement**

Le tassement est estimé à 22 mm. Il est concentré au niveau de la crête de la digue loin de la ligne de saturation et donc du gonflement.

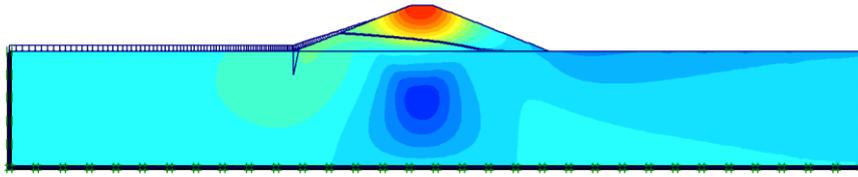


Figure III.19 : Tassement du barrage homogène avec géomembrane

• Débit de fuites

Le débit de fuites est plus faible. Ce débit de fuites représente le 1/4 du débit sans géomembrane. La diminution dépend de la profondeur de l'ancrage de la géomembrane dans la fondation.

III.7. Conclusion

D'après l'étude géologique de site choisie, le choix du matériau de construction est privilégié en terre. Il existe de grande quantité de sol pratiquement imperméable qui est le plus souvent argileux remplissant simultanément les deux fonctions d'écran et de masse. Ce matériau peut présenter des caractéristiques permettent de garantir une étanchéité suffisante et une stabilité du remblai. Les alluvions (recharge) sont aussi présentes en quantité importantes par rapport De L'étude des variantes par le logiciel Plaxis 2D, on tire les conclusions suivantes :

- Le barrage en terre homogène est la variante la plus simple. La digue est stable, facile à construire mais le problème majeure est les matériaux de construction qui doit être à la fois de perméabilité faible et de caractéristiques mécaniques élevées. Ce matériau est-il disponible sur le site et au voisinage ?
- Le barrage en terre homogène est proposé avec les alluvions de l'Oued mais l'étanchéité est assurée par la géomembrane. Cette variante est privilégiée à un masque en béton bitumineux. La géomembrane est maintenant disponible avec un coût modéré au niveau des marchés.
- Comme les matériaux sur site sont disponibles, le barrage en terre avec un noyau est proposé. Le débit de fuites est pratiquement négligeable car la perméabilité de la fondation et du noyau sont très faibles.

Une investigation géotechnique supplémentaire sur les matériaux de construction et une étude technico-économique seront indispensables pour fixer un choix sur la variante optimale.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

La sécurité des barrages est un sujet important. C'est plutôt un impératif, présent de façon plus ou moins explicite dans tout acte et toute décision de chaque intervenant dans la conception, la construction et l'exploitation d'un barrage. La sécurité dépend de beaucoup de petits détails d'exécution et d'exploitation, autant que des choix fondamentaux de projet.

Le souci permanent de la sécurité doit être consubstantiel à l'action du barragiste, pour deux raisons :

- éviter les *ruptures* catastrophiques, bien sûr,
- mais aussi éviter de compromettre *l'exploitation* de l'ouvrage : la défaillance ou l'indisponibilité d'un barrage peut affecter des intérêts économiques vitaux et entraîner des dommages sérieux même en l'absence de rupture du barrage.

Notre étude est axée principalement sur le choix de la variante optimale de la digue sur Oued **Maghraoua**. Le calcul porte sur le côté hydraulique, la stabilité du barrage et la détermination des déplacements par les méthodes numériques en utilisant le code de calcul PLAXIS 2D.

La retenue de **Maghraoua** est bien située dans une formation homogène et résistante à tout phénomène de stabilité des lieux. La cuvette étant très réduite en surface, ce qui diminuera considérablement les pertes des eaux stockées dans la future retenue par évaporation.

Les argiles de la région peuvent présenter des caractéristiques permettant de garantir une étanchéité suffisante et une stabilité du remblai. Les alluvions (recharge) sont aussi présentes en quantité importantes par rapport aux argiles.

De l'étude des variantes par le logiciel Plaxis 2D, on tire les conclusions suivantes :

- Le barrage en terre homogène semble être une variante simple et robuste. La digue est stable, facile à construire mais le problème majeure est les matériaux de construction qui doit être à la fois de perméabilité faible et de caractéristiques mécaniques élevées. Ce matériau n'est pas disponible sur le site et au voisinage.
- Le barrage en terre homogène avec géomembrane est une variante possible privilégiée à un masque en béton bitumineux. La géomembrane est maintenant disponible au niveau des marchés. la géomembrane remédie au problème de débit de fuites.
- Le barrage en terre zoné est une variante qui s'impose fortement. La recharge et l'argile sont abondantes sur le site. Le débit de fuites est pratiquement négligeable.

Conclusion Générale

Une investigation géotechnique supplémentaire sur les matériaux de construction et une étude technico-économique seront indispensables pour fixer un choix sur la variante optimale.

BIBLIOGRAPHIE

- AMARA Fatima, memoire de master . (2018). optimisation de la largeur en crête des petit barrage et retenue collinaire. département D'amenagement et ginie hydraulique de l'ecole superieur d'hydraulique arbaoui abdellah.
- Anton .s et pougastsch.H. (2011). LES BARRAGE DU PROJET A LA MISE EN SERVICE. persses polytechniques et université : Presses polytechniques et universitaires Romandes (PPUR), fédérale de lausanne ,710 p .
- B. des études technique de l'hydraulique Takkok Saddek. (2014, aout). Etude d'une Retenue collinaire sur oued Maghraoua Commune d'eloutaya. BATNA.
- B.TOUBIA, mars . (2004, MARS). Manuel Pratique d'hydrologie ENSH BLIDA. Blida.
- Baghzim.H. (2015). ETUDE NUMERIQUE DE LA CONCEPTION DES BARRAGES EN TERRE . *Thèse de Doctort*. BISKRA , Université Mohamed KHider-BISKRA .
- Blkacem Rouina. (2020, juin). Retenue Collinaire Guedeouarcommune de Derrhi Bouslah, memoire de master 2020. DEPARTEMENT DE Génie civil et hydraulique Université de MILA, W.MILA.
- bureaux des études technique de l'hydraulique takkok saddek. (2014, 0out). Etude de retenue collinaire sur oued maghraoua commune d'eloutaya . batna.
- cours hydrogéologie appliqué Mdm :Maou.A. (s.d.). *cours hydrogéologie appliqué +geologie de l'ingénieur :Maou.A.* Récupéré sur UNIV.setif.dz /https//iast.univ-setif.dz.
- Guiraud, René. (1973-1990). l'etude du bassin du HODNA ET DES REGIONS S VOISINES. univesité de Nice 1973.
- Nicola GOUSKOV. (1952). LA GEOLOGIE ET LES PROBLEMES DE L'EAU EN ALGERIE .
- POST G.Londe P. (1953). Lzs Barrage en terre cmopactée américaines Gauthier villars. Paris.
- Robert, Lafitte. (1939, février 02). Structure et relief de l'Aurés (Algerie). paris, université de paris (1896-1968), Paris.
- Z, SOUKAR FATIMA. (2009). la politique de leauen Algerie, valorisation et devloppement Durable. *enssa*, 1.