



Faculté de Technologie
Département d'**Hydraulique**
Laboratoire de Recherche en Hydraulique Appliquée et Environnement (LRHAE)

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

KACEMI Nabil
SIAD Yazid

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

Option : **Ouvrages et Aménagements Hydrauliques**

INTITULE :

ETUDE DE FAISABILITE DU BARRAGE DE SIDI KHELIFA (TIZI OUZOU)

Soutenu le **30 /Juin /2015** Devant le jury composé de :

- Président : Mr : **LADJEL Mahmoud**
- Promoteur (s) : Mr : **ALLOUACHE Atmane**
- Examineur (s) : Mr : **BEDJOU**
- Invité : Mr : **BRAKENI**



Faculté de Technologie
Département d'**Hydraulique**
Laboratoire de Recherche en Hydraulique Appliquée et Environnement (LRHAE)

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

KACEMI Nabil

SIAD Yazid

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

Option : **Ouvrages et Aménagements Hydrauliques**

INTITULE :

ETUDE DE FAISABILITE DU BARRAGE DE SIDI KHELIFA (TIZI OUZOU)

Soutenu le **30 /Juin /2015** Devant le jury composé de :

- Président : Mr : **LADJEL Mahmoud**
- Promoteur (s) : Mr : **ALLOUACHE Atmane**
- Examineur (s) : **Mr : BEDJOU**
- Invité : **Mr : BRAKENI**

Remerciements

- *Au terme de cette modeste étude, on tien à exprimer nos profonde gratitude et nos vifs remerciements à Mr ALLOUACHE (notre promoteur) pour le soutien, l'aide et les conseils qu'il nous a dispensé pour l'élaboration de ce présent mémoire et notre formation durant les années de spécialités.*
- *Nous remercions le président et les membres du jury qui nous feront l'honneur de juger notre travail.*
- *Nous voudrions aussi remercier l'ensemble des professeurs, la direction de l'université et le ministère de tutelle pour avoir veillé à notre formation.*
- *Nous remercions Mr HEMOUCHE et Mr BERREKSI on particulier pour les conseils qu'ils nous ont dispensé pour l'élaboration de ce mémoire.*
- *Un remerciement particulier à tous les travailleurs de la bibliothèque de l'UAMB.*
- *Un grand merci pour toutes les personnes qui ont contribuées de prés ou de loin pour la réalisation de ce mémoire.*

..... *KACEMI Nabil et SIAD Yazid.....2015.*

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance :

- *A mes très chers parents, sans eux ce travail n'aurait jamais vu le jour.*
- *A mes grands mère Ouardia et Ouiza.*
- *A mes sœurs et mes frères, ma richesse sur cette terre : Fatiha, Mahdi, Kamelia, Mustapha, Mohamed et Imane.*
- *A mes très chers oncles et tantes en particulier : Zohra, Karime.*
- *A tous mes amis surtout, Mimina, Kamel, Fairouz, Abdou, Chouchou, Taher, Tarik, Moh, Hakim, Massinissa, Ighiles et Hamza qui m'ont soutenu durant mon cursus universitaire.*
- *En fin qu'ils trouvent ici mes sincères excuses, tous ceux dont leurs noms ne figurent guère.*

..... Nabil.....2015.

Je dédie ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance :

- *A mes très chers parents, sans eux ce travail n'aurait jamais vu le jour.*
- *A mes grandes mères.*
- *A tous mes sœurs et mes frères.*
- *A mes très chers oncles et tantes.*
- *A tous mes amis de Berchiche, Bejaia, Bouira.*

..... Yazid.....2015.

TABLE DES MATIERES

LISTE DES SYMBOLES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : DESCRIPTION GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

| | |
|---|----|
| Introduction | 2 |
| I.1. Généralités | 2 |
| I.1.1. Classification des barrages en matériaux locaux | 2 |
| I.1.2. Brève description des parties constitutives d'un barrage en terre | 3 |
| I.2. Documentations consultées : | 3 |
| I.3. Situation géographique | 4 |
| I.4. Etude géologique | 6 |
| I.4.1. Géologie régional | 6 |
| I.4.2. Géologie de la cuvette | 6 |
| I.4.2.1. Formations superficielles (Quaternaire) | 7 |
| I.4.2.2. Formations plus anciennes | 7 |
| I.4.3. Géologie du site du barrage | 8 |
| I.4.3.1. Rive droite | 8 |
| I.4.3.2. Rive gauche | 8 |
| I.4.3.3. L'épaisseur du remplissage alluvial | 8 |
| I.5. Hydrogéologie de la cuvette et du site | 9 |
| I.6. Etude géotechnique | 9 |
| I.6.1. Caractéristiques des terrains de fondation | 10 |
| I.6.1.1. Couverture colluviale et alluviale | 10 |
| I.6.1.2. Flyschs | 10 |
| I.6.2. Caractéristiques géotechniques des matériaux de barrage et de la fondation | 10 |
| I.7. Tectonique | 12 |
| I.8. Sismicité | 13 |
| Conclusion | 14 |

CHAPITRE II : ETUDE HYDROLOGIQUE

| | |
|---|----|
| Introduction | 15 |
| II.1.Description du Bassin Versant de Sidi Khelifa | 15 |
| II.2. Caractéristiques morphologiques du Bassin Versant de Sidi Khelifa | 15 |
| II.2.1. Indice de compacité de GRAVELLIUS (Kc) | 15 |
| II.2.2. Coefficient d'allongement | 15 |
| II.2.3.Le rectangle equivalent..... | 17 |
| II.2.4. Le relief..... | 17 |
| II.2.4.1.Calcul des surfaces élémentaires | 17 |
| II.2.4.2.Traçage de la courbe hypsométrique | 17 |
| II.2.4.3.Les altitudes caractéristiques | 19 |
| II.2.5.Les indices de pente..... | 19 |
| II.2.5.1.Indice de pente moyenne de Bassin Versant | 19 |
| II.2.5.2.Indice de pente globale I_g du Bassin Versant | 19 |
| II.2.5.3.Indice de pente moyenne du Talweg principal | 19 |
| II.3.1.Densité des Talwegs élémentaires | 20 |
| II.3.2.Dénivélé spécifique | 20 |
| II.3.3.Densité de drainage..... | 20 |
| II.3.4.Temps de concentration..... | 20 |
| II.3.4.1.Formule de GIANDOTTI | 20 |
| II.3.4.2.Formule de KIRPICH | 20 |
| II.3.5.Vitesse de ruissellement | 20 |
| II.3.5.1.Formule de SOKOLOVSKY | 21 |
| II.4.Caractéristiques climatiques | 23 |
| II.4.1.Température..... | 23 |
| II.4.2.Vitesse de vent..... | 23 |
| II.4.3.Humidité relative de l'air..... | 24 |
| II.4.4.Evaporation..... | 25 |
| II.4.5. Pluviométrie..... | 25 |
| II.4.5.1. Homogénéité et correction des données | 25 |
| II.4.5.1.1.Test de WILCOXON ou test de Rang | 25 |
| II.4.5.1.2.Méthode graphique ou méthode double masse..... | 26 |
| II.4.5.1.3.Correction de la série pluviométrique de Yakouren..... | 26 |
| II.4.5.2.Calcul des précipitations..... | 27 |
| II.4.5.2.1.Calcul des précipitations inter annuelles | 27 |
| II.4.5.2.2. Répartition moyenne mensuelle de la précipitation | 28 |

| | |
|--|----|
| II.4.5.2.3.Précipitations maximales journalières | 28 |
| A.GUMBEL (Méthode des moments) | 28 |
| B. Loi de GALTON (log-normale) | 28 |
| II.4.6.Apports liquides..... | 31 |
| II.4.6.1.Calculs de l'apport annuel moyen | 31 |
| II.4.6.1.1.Formule de TURC | 31 |
| II.4.6.1.2.Formule de GAUTIER | 32 |
| II.4.6.1.3.Formule de MEDINGER | 32 |
| II.4.6.1.4.Formule d'I.N.R.H | 32 |
| II.4.6.1.5.Formule de DERRI (II) | 32 |
| II.4.6.2.Calcul de module de l'écoulement | 32 |
| II.4.6.3.Caractéristiques de l'écoulement..... | 33 |
| II.4.6.3.1.Module de l'écoulement | 33 |
| II.4.6.3.2.Module de l'écoulement relatif (spécifique) | 33 |
| II.4.6.3.3.Coefficient de variance | 33 |
| II.4.6.3.4.L'apport annuel fréquentiel | 34 |
| II.5 : Les crues..... | 34 |
| II.5.1.Détermination des crues maximum probable | 34 |
| II.5.1.1.Formule de MALLET GAUTHIER | 35 |
| II.5.1.2.Formule DE TURAZA | 35 |
| II.5.1.3.Formule de SOKOLOVSKY..... | 35 |
| II.5.2. Construction des Hydrogrammes de Crue | 36 |
| II.5.3.Choix de la fréquence de la crue | 38 |
| II.6.Apport solide et estimation de volume mort | 39 |
| II.6.1.Apport solide | 39 |
| II.6.1.1.Formule de TIXERONT | 39 |
| II.6.1.2.Formule de SOGREAH | 40 |
| II.6.2.Volume mort..... | 40 |
| Conclusion..... | 41 |

CHAPITRE III : ETUDE DE REGULARISATION

| | |
|---|----|
| Introduction..... | 42 |
| III.1.La répartition mensuelle de la demande en eau AEP + Irrigation | 42 |
| III.2.La répartition mensuelle de l'apport (A 80% Mm ³)..... | 42 |
| III.3.La courbe caractéristique de la retenue (Hauteurs- Surfaces –Volumes) | 43 |
| III.3.1.Traçage des courbes | 45 |
| III.3.1.1.Courbe Surface - Hauteur..... | 45 |

| | |
|---|----|
| III.3.1.2.Courbe Volume- Hauteur | 46 |
| III.4. Calcul du volume utile | 46 |
| III.4.1.Procédé de calcul | 46 |
| III.4.1.1.Régularisation saisonnière (sans tenir compte des pertes) | 48 |
| III.4.1.2.Régularisation saisonnière (en tenant compte des pertes)..... | 48 |
| III.4.1.2.1.Pertes par évaporations..... | 49 |
| III.4.1.2.2.Pertes par infiltrations | 49 |
| III.4.1.3.Estimation de l'erreur | 51 |
| Conclusion..... | 51 |

CHAPITRE IV : LAMINAGE DES CRUES

| | |
|--|----|
| Introduction | 52 |
| IV.1.Principe de calcul | 52 |
| IV.2.Laminage de crue par la méthode de KOTCHERINE | 52 |
| IV.2.1.Estimation du débit de crue laminée | 53 |
| IV.2.2.Estimation de la charge au dessus du déversoir | 53 |
| IV.3.Hydro gramme de crue à la sortie par la méthode de HILDENBLAT | 55 |
| Conclusion..... | 58 |

CHAPITRE V : DIMENSIONNEMENT DU BARRAGE

| | |
|--|----|
| Introduction | 59 |
| V.2. Caractéristiques géométriques du barrage..... | 59 |
| V.2.1.Hauteur du barrage | 59 |
| V.2.1.1. Calcul de la revanche | 59 |
| V.2.1.1.1. Formule de STEVENSON GAILLARD | 59 |
| V.2.1.1.2.Formule de MALLET et PAQUANT | 60 |
| V.2.1.1.3. Formule de l'U.S.B.R | 60 |
| V.2.2. Largeur en crête..... | 60 |
| V.2.2.1.Formule de KNAPPEN | 60 |
| V.2.2.2.Formule d'E- F-PREECE..... | 60 |
| V.2.2.3. Formule Anonyme (simplifiée) | 61 |
| V.2.2.4. Formule pratique | 61 |
| V.2.3.Longueur du barrage : | 61 |
| V.2.4.Pentes des talus : | 61 |
| V.2.5.La largeur à la basse de la digue..... | 62 |
| V.2.6. Protection des talus..... | 62 |

| | |
|---|----|
| V.2.6.1.Le talus amont | 62 |
| V.2.6.2.Le talus aval | 62 |
| V.2.6.2.1.Première méthode..... | 62 |
| V.3.Caractéristiques géométriques de noyau | 63 |
| V.3.1.La hauteur du noyau | 63 |
| V.3.2.Largeur en crête..... | 63 |
| V.3.3.Largeur de la base du noyau..... | 64 |
| V.3.4.Largeur moyenne du noyau | 64 |
| V.4.Etude des infiltrations..... | 64 |
| V.4.1.Homogénéisation du barrage..... | 65 |
| V.4.1.1.Calcul de l'épaisseur moyenne du noyau | 65 |
| V.4.1.2.détermination de l'épaisseur virtuelle pour le noyau équivalent | 65 |
| V.4.2.Equation de la ligne de saturation | 65 |
| V.4.3.Débit de fuite | 66 |
| Conclusion | 67 |

CHAPITRE VI : LES OUVRAGES ANNEXES

| | |
|--|----|
| Introduction | 71 |
| VI.1.La galerie de dérivation provisoire | 71 |
| VI.2.Les batardeaux | 71 |
| VI.3.Vidange de fond | 71 |
| VI.4.Prise d'eau..... | 72 |
| VI.5.Evacuateur de crue | 72 |
| VI.5.1.Critères de choix de l'évacuateur de crue | 72 |
| VI.5.2.Les évacuateurs de crues se divisent en deux catégories selon les principes type..... | 72 |
| VI.5.2.1.Forme du seuil..... | 72 |
| VI.5.2.2.Bassin de décharge..... | 72 |
| VI.5.2.3.Coursier..... | 73 |
| VI.5.2.4.Bassin de dissipation..... | 73 |
| Conclusion..... | 73 |

| | |
|---------------------------|----|
| CONCLUSION GENERALE | 74 |
|---------------------------|----|

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES.

LISTE DES SYMBOLES

α : Paramètre caractérisant la perméabilité du bassin versant ;
(C_K) : Coefficient d'aplatissement ;
(CNAGB) : Comité National Australienne des Grandes Barrages ;
(C_S) : Coefficient d'asymétrie ;
 \bar{X} : La moyenne des $P_{\max j(\text{mm})}$;
 ΔH : Différence d'altitude entre les deux courbes de niveau successives ;
 ΔV_i : Volume élémentaire compris entre deux courbes de niveau successives (m^3) ;
 a : Constant du bassin ;
 A : Les apports mensuels (Mm^3) ;
 $A_{F(p)}$: Apport annuelle d'une période de retour donnée en Mm^3 ;
ANBT : Agence National des Barrage est de Transfère ;
ANRH : Agence National des Ressources Hydraulique ;
 A_o : Apport annuel (Mm^3) ;
 b : Exposant de body ;
 B : La largeur à la basse de la digue (m) ;
 b_d : La largeur (m) ;
 b_{cr} : Largeur de crête (m) ;
 C : Cohésion effective (KN/m^2) ;
 C_F : Cote a la fondation (m) ;
 C_{PHE} : Cote aux plus hautes eaux (m) ;
 C_{RN} : Cote de la retenue normale (m) ;
 C_v : Coefficient de variation ;
 D : Déficit de l'écoulement en (mm) ;
 D : Densité apparente (KN/m^3) ;
 D_d : Densité de drainage (Km/Km^2) ;
 D_s : Dénivelé spécifique (m) ;
 e : épaisseur de la couche de l'enrochement (m) ;
 E_s : Evaporation mensuelle (m) ;
 E_v : L'évaporation (mm) ;
 F : Densité des Talwegs élémentaire Km^{-2} ;
 F : Le fletch (Km) ;
FND : Fréquence de non dépassement ;
 G : Accélération de pesanteur (m/s^2) ;
 H_{\min} : L'altitude minimale (m) ;
 H_n : La hauteur du noyau (m) ;
 H_0 : Hauteur due au tassement (m) ;
 H_1 : Hauteur d'eau a l'amont du noyau (m) ;
 H_2 : Hauteur a l'aval (m) ;
 $H_{5\%}$ (m) : Hauteur corresponde à 5% de la surface total ;
 $H_{95\%}$ (m) : Hauteur corresponde à 95% de la surface total ;
 H_a : L'humidité relative de l'air (%) ;
 H_b : Hauteur du barrage (m) ;
 H_d : Charge sur le déversoir (m) ;
 H_d : Hauteur entre le niveau de plus haute eaux et la retenue normal (m) ;
 H_{\max} : L'altitude maximale (m) ;
 $H_{\text{méd}}$: Médiane (m) ;
 H_{moy} : L'altitude moyenne (m) ;
 H_{RN} : Hauteur a la retenue normal (m) ;
 h_v : Hauteur des vagues (m/s) ;

LISTE DES SYMBOLES

I_g : Indice de pente global (m/Km) ;
INC : Institut National des cartographies ;
 I_{pm} : Indice de pente moyenne (m/Km) ;
K : Coefficient de réduction ;
 K_a : Coefficient d'allongement ;
 K_c : Indice de compacité ;
 K_n : Coefficient de perméabilité de noyau (m/s) ;
 K_t : Coefficient de perméabilité de barrage (m/s) ;
L : Longueur du talweg principal (Km) ;
 L_n : Largeur en crête du noyau (m) ;
L : Variable théorique ;
 L_d : Largeur de déversoir (m) ;
 L_e : Lamme d'eau écoulée en (mm) ;
 I_{nmoy} : Largeur moyenne du noyau (m) ;
 $I_{n.b \max}$: Largeur de la base du noyau (m) ;
 L_r : Longueur du rectangle équivalent (Km) ;
 L_r : Largeur du rectangle équivalent (Km) ;
M : Apport annuelle moyenne en (l/Km².s) ;
m : Coefficient de débit ;
 m_1, m_2 : Le fruit (amant, aval) ;
 m_n : La pente des talus du noyau ;
n : Nombre de station d'observation ;
 N_1, N_2 : La taille de l'échantillon ;
P : Périmètre du bassin (Km) ;
 P_{moy} : Précipitation moyenne annuel (mm) ;
 $P_{max j}$: Précipitation maximal journalière ;
 P_{tc} : Pluies pendant le temps de concentration de fréquence ;
 q_f : Débit de fuite (m²/s) ;
Q : Débit (m³/s) ;
q : Probabilité au non-dépassement ;
 $Q_{\%}$: Le débit de la crue en m³/s
 $q(t)$: Débit déversé par l'évacuateur de crue (laminé)
 $Q_c(t)$: Débit de crue entrant à l'instant (t) ;
 Q_d : Débit instantané de la décrue (m³/s) ;
 q_{lam} : Le débit laminé (m³/s) ;
 Q_m : Débit instantané de la montée (m³/s) ;
 $Q_{max (\%)}$: Débit maximum de crue de même fréquence que celle de la pluie de courte durée ;
 Q_{max} : Débit maximum de la crue de fréquence considérée en (m³/s) ;
 q_s : Débit spécifique ;
 Q_s : L'apport solide annuel (t/an) ;
R : La revanche (m) ;
RPA : Règles Parasismiques Algériennes ;
S : Surface du bassin versant (Km²) ;
 S'_m : Epaisseur virtuelle du noyau (m) ;
 S_1 : Epaisseur de la de noyau a la crête (m) ;
 S_2 : Epaisseur de la base de noyau (m) ;
 S_i : Surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau H_i en (m²) ;
 S_i : Surface élémentaire (km²) ;
 S_{i+1} : Surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau H_{i+1} en (m²) ;
SIG : système d'information géographique ;

LISTE DES SYMBOLES

S_m : Epaisseur moyenne du noyau (m) ;
 S_{moy} : Surface du plan d'eau correspond au volume moyen (Km^2) ;
 t : Temps (s) ;
 T : Période de retour (ans) ;
 T_c : Temps de concentrations exprimé en (heure) ;
 t_d : Temps de la décrue en (heures) ;
 T_f : Durée de fonctionnement de barrage (ans) ;
 t_m : Temps de la montée de la crue en heures (h) ;
 T_{moy} : Température moyenne annuelle en (C°) ;
 T_s : Le transport solide en ($t/Km^2/an$) ;
 U : La demande mensuelle en eaux (Mm^3) ;
 U : Variable de Gausse ;
 V_C : le volume de la crue correspondant au $Q\%$ en (m^3) ;
 V_d : déficitaires (Mm^3) ;
 V_{ep} : Volume perdu à cause de l'évaporation (Mm^3) ;
 V_F : le volume de charge sur le déversoir déduit par la courbe capacité hauteur (Mm^3) ;
 V_{inf} : Volume perdu à cause de l'infiltration (Mm^3) ;
 V_m : Volume mort (m^3) ;
 V_{moy} : Volume moyenne (Mm^3) ;
 V_{NNR} : Volume du niveau normal de la retenue (Mm^3) ;
 V_r : Vitesse de ruissellement (Km/h) ;
 V_{rf} : volume de remplissage final (Mm^3) ;
 V_{ri} : volume de remplissage initial (Mm^3) ;
 V_s : volumes excédentaires (Mm^3) ;
 V'_u : volume utile en tenant compte des pertes (Mm^3) ;
 V_u : volume utile sans tenir compte des pertes (Mm^3) ;
 V_v : Vitesse de propagation des vagues (m/s) ;
 Γ_s : Poids volumique du sol (t/m^3) ;
 δ : Coefficient qui dépendant des conditions hydrogéologiques de la cuvette ;
 ΔL : Largeur moyenne du noyau (m);
 σ : L'écart type ;
 Φ : Angle de frottement ($^\circ$).

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : DESCRIPTION GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

| | |
|---|----|
| Figure (I.1) : Situation géographique de barrage de Sidi Khelifa..... | 5 |
| Figure (I.2) : Géologie de la cuvette..... | 8 |
| Figure (I.3) : Géologie de site..... | 9 |
| Figure (I.4) : Carte de zonage sismique (RPA99-Version 2003). | 13 |

CHAPITRE II : ETUDE HYDROLOGIQUE

| | |
|--|----|
| Figure (II.1) : Le Bassin Versant de Sidi Khelifa..... | 16 |
| Figure (II.2): Courbe hypsométrique de Bassin Versant de Sidi Khelifa..... | 17 |
| Figure (II.3) : Le rectangle équivalent de Bassin Versant de Sidi Khelifa..... | 18 |
| Figure (II.4) : Chevelus Hydrographiques de Bassin Versant Sidi Khelifa..... | 21 |
| Figure (II.5) : Répartition mensuelle de la température à Azzefoun..... | 23 |
| Figure (II.6) : Répartition mensuelle de la vitesse de vent a Azzefoun..... | 24 |
| Figure (II.7) : Répartition de l'humidité de l'air à Azzefoun..... | 24 |
| Figure (II.8) : Répartition mensuelle de l'évaporation a Azzefoun..... | 25 |
| Figure (II.9) : Représentation graphique de la loi de GUMBEL..... | 29 |
| Figure (II.10) : Représentation graphique de la loi de log-normale (Galton)..... | 30 |
| Figure (II.11) : Hydrogramme de crue pour différentes périodes de retour..... | 37 |
| Figure (II.12) : Hydrogramme de crue de projet..... | 39 |

CHAPITRE III : ETUDE DE REGULARISATION

| | |
|--|----|
| Figure (III.1) : Courbe Surface-Hauteur..... | 45 |
| Figure (III.2) : Courbe Volume-Hauteur..... | 45 |

CHAPITRE IV : LAMINAGE DES CRUES

| | |
|--|----|
| Figure(IV.1) : Hauteur-Débit laminé..... | 54 |
| Figure (IV.2) : Volume forcé-Débit laminé..... | 55 |
| Figure (IV.3) : $V_i + 0,5 * q_i * \Delta t$ et débit sortant..... | 57 |
| Figure (IV.4) : Hydrogramme de crue entré et sortie..... | 57 |

CHAPITRE V : DIMENSIONNEMENT DU BARRAGE

| | |
|---|----|
| Figure (V.1) : Le barrage de Sidi Khelifa..... | 68 |
| Figure (V.2) : Ligne de saturation dans le barrage de Sidi Khelifa..... | 69 |
| Figure (V.3) : Le barrage de Sidi Khelifa..... | 70 |

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I :DESCRIPTION GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

| | |
|--|----|
| Tableau (I.1) : Paramètres géotechniques des matériaux de barrage. | 11 |
| Tableau (I.2) : Paramètres géotechniques de la fondation..... | 11 |
| Tableau (I.3) : Résumé des quantités de matériaux de construction | 12 |
| Tableau (I.4) : Coefficients des accélérations du séisme selon la zone d'étude | 13 |

CHAPITRE II : ETUDE HYDROLOGIQUE

| | |
|--|----|
| Tableau (II.1) : Répartition en pourcentage de la surface élémentaire..... | 17 |
| Tableau (II.2) : Les résultats pour le temps de concentration. | 21 |
| Tableau(II.3) : Tableau récapitulatif..... | 22 |
| Tableau (II.4) : Température enregistrée à la ville d'Azzefoun. | 23 |
| Tableau (II.5) : Répartition mensuelle de la vitesse du vent. | 23 |
| Tableau (II.6) : Répartition mensuelle de l'humidité relative de l'air d'Azzefoun..... | 24 |
| Tableau (II.7) : Répartition mensuelle de l'Evaporation..... | 25 |
| Tableau(II.8) : Résultats trouvés de test de WILCOXON..... | 26 |
| Tableau (II.9) : Répartition moyenne annuelle de la précipitation..... | 27 |
| Tableau (II.10) : Répartition moyenne mensuelle de la précipitation..... | 28 |
| Tableau (II.11) : Caractéristique de la station de Tagma. | 28 |
| Tableau (II.12) : Résultats de l'ajustement par la loi de GUMBEL..... | 29 |
| Tableau (II.13) : Comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon..... | 29 |
| Tableau (II.14) : Résultat de l'ajustement a la loi de Galton..... | 30 |
| Tableau(II.15) : Comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon..... | 31 |
| Tableau (II.16) : Résultats obtenues pour le calcul l'âme d'eau, apports, débits..... | 33 |
| Tableau (II.17): Récapitulatif des résultats du coefficient de variation. | 34 |
| Tableau (II.18) : Résultats pour le calcul de l'apport fréquentiel..... | 34 |
| Tableau (II.19) : Résultats des débits maximums de la crue..... | 35 |
| Tableau (II.20) : Résultats des débits maximums de la crue..... | 35 |
| Tableau (II.21) : Résultats des débits maximums de la crue..... | 35 |
| Tableau (II.22) : Hydrogramme de crue cas monté..... | 36 |
| Tableau(II.23) : Hydrogramme de crue cas décrue..... | 37 |
| Tableau (II.24) : Catégories des dommages résultants des crues..... | 38 |
| Tableau (II.25) : Crues de projet recommandé..... | 38 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau (II.26) : Résultats trouvés pour les deux formules..... | 40 |
|---|----|

CHAPITRE III:ETUDE DE REGULARISATION

| | |
|--|----|
| Tableau (III.1) : La répartition mensuelle des besoins en eau AEP+Irrigation..... | 42 |
| Tableau (III.2) : Répartition mensuelle de l'apport..... | 42 |
| Tableau (III.3): Caractéristiques topographique de la retenue..... | 44 |
| Tableau (III.4) : Le volume utile de la retenue..... | 46 |
| Tableau (III.5) : Régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes en (Mm ³)..... | 47 |
| Tableau (III.6) : Valeurs de δ en fonction des conditions hydrogéologiques..... | 49 |
| Tableau (III.7) : Le volume utile de la retenue..... | 49 |
| Tableau (III.8) : Régularisation saisonnière en tenant compte les pertes..... | 50 |

CHAPITRE IV : LAMINAGE DES CRUES

| | |
|--|----|
| Tableau (IV.1) : Hauteur et débit laminé..... | 54 |
| Tableau (IV.2) : Débit laminé pour différente largeur..... | 54 |
| Tableau(IV.3) : Calcul $V_i + 0,5 * q_i * \Delta t$ | 55 |
| Tableau (IV.4) : Le débit déversé par la méthode de HILDENBLANT..... | 56 |
| Tableau (IV.5) : Tableau récapitulatif de l'étude de la régularisation et du laminage..... | 58 |

CHAPITRE V : DIMENSIONNEMENT DU BARRAGE

| | |
|---|----|
| Tableau (V.1) : Calcul de la revanche..... | 60 |
| Tableau (V.2) : Récapitulatif des résultats de calcul de largeur de crête..... | 61 |
| Tableau (V.3) : Valeurs indicatives de pente de talus..... | 61 |
| Tableau(V.4) : Epaisseur de l'enrochement et D50 minimal en fonction de la hauteur de la vague..... | 63 |
| Tableau(V.5) : Résultats pour la courbe de saturation..... | 66 |

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Les ressources en eau de l'Algérie constituent l'une des principales ressources indispensables sur lesquelles repose la richesse du pays dans l'avenir, ainsi que la réussite de son développement socio-économique.

Au plan de l'édification, l'exploitation rationnelle des ressources hydrauliques figure de tout temps parmi les principales préoccupations de la direction politique du pays qui s'est engagée sur un plan grandiose, la construction de 70 barrages au niveau national. Dans le cadre bien précis, la wilaya de Tizi Ouzou a bénéficié de quatre futurs barrages afin de combler son déficit en ressources en eau pour l'irrigation et l'alimentation. Parmi ces barrages figure celui de la région Sidi Khelifa sur l'oued Sidi Ahmed commune Azefoune.

Notre projet de fin de cycle a pour objectif l'élaboration d'une étude de faisabilité d'un barrage en terre sur l'oued Sidi Ahmed Youcef ; barrage à double but : alimentation en eau potable des régions voisines et Irrigation des périmètres agricoles.

Afin de répondre à l'objectif assigné, nous avons structuré notre travail en six chapitres. Le premier traitera de l'analyse des conditions topographiques géologiques et géotechniques qui nous permettent de fixer le choix du site favorable. Ensuite, on traitera des données pluviométriques et hydrométriques. Celles-ci nous permettront d'aborder les chapitres sur l'étude hydrologique et hydraulique. D'autre part, une étude de régularisation et laminage des crues sera entreprise pour déterminer la capacité utile de la retenue. Nous aborderons ensuite le dimensionnement de barrage de Sidi Khelifa. Enfin nous donnerons une description des ouvrages annexes du barrage.

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I :

DESCRIPTION GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

Introduction

Avant d'entamer toute étude d'un projet, il est indispensable qu'un support topographique sera réaliser afin d'effectuer les relevés topographiques, géologiques et géotechniques.

Ces derniers doivent assurer une haute sécurité. Pour bien mener notre étude on a commencé par prendre en compte toutes les informations et paramètres concernant notre site .C'est pour cette raison qu'on a élaboré ce chapitre.

Afin de bien mené notre étude plusieurs documents nous ont été mis en service par l'Agence National des Barrages et Transformations (ANBT), l'Agence National des Ressources Hydrauliques et par l'Institut National de la Cartographie (INC).

Dans ce chapitre on a commencé par une petite généralité pour rendre le lecteur adaptable au milieu des barrages, puis une description géographique, géologique et géotechnique qui a été résumée pour avoir une idée sur la zone d'étude ou d'implantation de Barrage de Sidi Khelifa.

I.1. Généralités

I.1.1. Classification des barrages en matériaux locaux

Les barrages en matériaux locaux se classent [10]:

- Le barrage en terre homogène :
- Le barrage en terre hétérogène ou zoné ;
- Le barrage en terre mixte.

I.1.1.1.Les barrages en terre homogène

Ce sont des barrages constitués d'un seul matériau qui garantit l'imperméabilité, accompagnée de dispositifs de drainage contre la filtration. Le remblai est constitué de matériaux du type argile, argile sablonneuse, limons, sable limoneux, sable, etc. Il peut y avoir d'autres matériaux qui ne contribuent pas dans la stabilité du barrage (enrochement et protection du talus et de la crête).

I.1.1.2.Les barrages en terre hétérogènes ou zoné

Ce sont des barrages composés de deux matériaux, l'un imperméable et l'autre résistant, séparés par des couches de transition. Ces derniers peuvent être classés en terre avec enrochement, en terre avec écran, en terre avec noyau ou zoné, etc.

I.1.1.3.Les barrages en terre mixte

Ce sont des barrages composés de plusieurs matériaux placés selon un certain ordre et avec les mêmes quantités. Ils peuvent être composés d'écran et de noyau, suivant la mise en place du matériau imperméable (argile) dans la zone du talus amont ou dans le centre du remblai ou de la digue. Les matériaux placés entre l'argile et le gravier ont des épaisseurs bien définies. Ces épaisseurs sont beaucoup plus grandes que celles des filtres et des drains.

I.1.2. Brève description des parties constitutives d'un barrage en terre

La signification des principaux termes utilisée dans la conception et dans la construction de ces structures hydrauliques est comme suit [10]:

- a) Crête* : Facilite la circulation sur le barrage une fois terminée, elle est nécessaire dans la finition de l'ouvrage avec des équipements de compactage. Le niveau de la crête définit la hauteur maximale qu'atteint le barrage.
- b) Clé d'ancrage* : Elle permet de couper ou de diminuer le flux d'eau à travers la fondation et d'allonger le chemin de filtration.
- c) Ecran d'injection* : Il remplace la clé d'ancrage dans les fondations rocheuses perméables ou les fondations perméables d'une épaisseur importante. Il est construit en injectant un mélange de ciment et d'eau qui remplit les pores et les fentes.
- d) Bermes* : Elles permettent la réalisation et la réparation des revêtements de talus. En outre, elles donnent la stabilité aux digues et réduisent la vitesse des eaux qui glissent sur les surfaces des talus avals, en contribuant à éviter l'érosion. Ils servent aussi d'appui aux revêtements des talus en amont.
- e) Revêtements* : Ils protègent les talus contre l'action des vagues (en amont) et de la pluie (en aval).
- f) Filtres et drainages* : Il s'agit de dispositifs qui contrôlent et évacuent les eaux infiltrées à l'intérieur des barrages.
- g) Noyau et écran* : Ils diminuent les débits de filtration dans les barrages mixtes.
- h) Tapis étanche* : Il permet de diminuer les débits de filtration.
- i) Recharge*: Le massif en amont ou en aval que donne, en général, la stabilité au barrage.
- j) Evacuateurs de crues* : Ils permettent de verser l'excès d'eau pluviale.
- k) Déviation de l'oued* : Ensemble d'ouvrages qui permettent la construction des barrages dans les zones des oueds.
- l) Prise d'eau* : Structure qui permet l'utilisation des eaux du barrage selon les demandes des consommateurs.

I.2.Documentations consultées

Plusieurs documents ont été utilisés dans cette partie parmi eux on cite :

- ❖ Carte topographiques d'état major Tizi Ouzou Alger Echelle :(1/200 000) (ANBT) ;
- ❖ Carte d'Algérie région Tizi Ouzou d'état major Echelle (1/50 000) (INC) ;
- ❖ Carte géologique de la cuvette Echelle (1/5000) (ANBT) ;
- ❖ Carte géologique de la cuvette Echelle (1/5000) (ANBT) ;
- ❖ Carte géologique de l'Algérie Azzazga, Azzefoun, Echelle (1/50 000) (ANBT) ;
- ❖ Carte de zonage sismique (RPA99 -Version 2003) ;
- ❖ Rapports géologiques et géotechnique sur la région de Tizi Ouzou (ANRH) ;
- ❖ Rapport Etude d'avant projet détaillé de barrage Sidi Khelifa Mémoire Synthèse (ANBT).

I.3.Situation géographique

Le barrage de Sidi Khelifa est localisé dans la wilaya de Tizi Ouzou sur l'Oued de Sidi Ahmed Youcef (OSAY), il est situé à la limite des communes de Azzefoun et Ait Chefaa, il est à 10 km à l'est de la ville d'Azzefoun, à 8km au nord-ouest de Ait Chefaa, à 5km de l'embouchure de l'oued vers la mer, et à 3 km de l'amont du pont de la route n° 24 reliant Azzefoun et Cap Sigli.

On accède au site du barrage à partir du pont, par une piste qui longe l'oued côté rive droite qui se termine à 1km en aval de l'axe projeté du barrage.

L'oued Sidi Ahmed Youcef est constitué de la confluence des principaux affluents, Oued Nait Bou Slimane et l'oued Koufi qui prennent leur source des montagnes entourant la région d'Assif El Hammam.

L'oued se jette à la mer, après un long parcours en méandres d'environ une trentaine de kilomètres, à l'embouchure de Sidi Khelifa. tout au long de son cheminement, il est alimenté par de nombreux oueds coulant des montagnes environnantes et qui eux-mêmes sont alimentés par d'innombrables ruisseaux qui coulent sur les flancs de montagnes.

Les coordonnées UTM du site sont les suivantes :

E = 633 869

N = 4 080 349

La carte géographique de site de barrage de Sidi Khelifa est présentée dans la figure (I.1).



Figure (I.1) : Situation géographique de barrage de Sidi Khelifa.

I.4. Etude géologique

La géologie c'est la science qui étudie les sols, et les processus géologiques qui influent sur les conditions de construction et de l'exploitation des ouvrages.

I.4.1. Géologie régional

La région du NE de la Grande Kabylie est caractérisée par un empilement complexe de nappes de flysch, à matériel crétacé et nummulitique. Ces nappes sont charriées surtout sur les zones externes du Tell (ç.à.d. au Sud de la dorsale Kabyle, mais aussi dans le domaine Nord-Kabyle auquel appartient cette région.

La vallée de l'oued Sidi Ahmed Youcef coupe sur deux tiers de sa longueur le flysch de Port Gueydon correspondant à la localité d'Azzefoun. Ce flysch est constitué d'une série continue grésopélimitique de 550 m d'épaisseur environ, comprenant des terrains crétacés (Albo-Aptien, Sénonien), paléocènes, éocènes (Ypresien-Lutétien Supérieur), oligocènes et miocènes Inférieurs (Stampien-Aquitainien).

Les massifs côtiers de la région d'Azeffoun, Ait Rahouna, Cap Sigli, jusqu'à Azazga, vers le sud, sont constitués de terrains allochtones de type flyschs, recouverts par endroits, par le Numidien argilo-gréseux. Ces flyschs (massyliens et maurétaniens) sont en position nord kabyle par rapport à la chaîne calcaire du Djurdjura. La fragilité des terrains qui les constituent, à dominance pélimitique, et leur mode de mise en place (charriage, écaillage, plissement) leur confèrent une structure tectonique complexe.

La zone autour du site du barrage est située sur l'oued Sidi Ahmed Youcef à l'intérieur de la Grande Kabylie représentée surtout par les formations de flysch de la période du Crétac-Oligocène avec une tectonique très complexe

En remontant de son embouchure, l'oued Sidi Ahmed Youcef traverse deux ensembles morphologiques :

- une basse plaine alluviale de 500 à 1000 m de large, orientée NE-SO, située en aval du Projet de barrage ;
- une vallée plus étroite (150 à 200 m), orientée N-S.

C'est dans cette vallée, à proximité de sa jonction avec la basse plaine, qu'est projetée la réalisation du barrage de Sidi Khelifa.

I.4.2. Géologie de la cuvette

L'Oued Sidi Ahmed Youcef (OSAY), où est situé l'axe du barrage, est caractérisé par deux grands ensembles morphologiques : la plaine alluviale basse, de 500 à 1000 m de largeur, orientée NE – SO, et située en aval du site du barrage ; et la vallée plus étroite de 150 à 200 m de largeur, d'orientation Nord – Sud.

Ces ensembles morphologiques sont caractérisés par une structure tectonique complexe, marquée par de nombreux charriages, écaillages, et plissements. Cette tectonique complexe est marquée par un grand accident nord-sud) passant le long de l'oued sous les alluvions récentes. Cet

accident est un décrochant sénestre et surélève le versant rive droite qui favorise ainsi l'affleurement du flysch massylien.

La série stratigraphique de la cuvette du barrage est représentée par des formations superficielles récentes, Quaternaires, surmontant des formations plus anciennes formées de terrains allochtones de type flysch grésopélique, d'âge Miocène Inférieur à Crétacé Moyen.

1.4.2.1. Formations superficielles (Quaternaire)

a) Des alluvions actuelles de lit mineur

Elles sont représentées par des blocs gréseux arrondis, de 20 à 50 cm de diamètre.

b) Des terrasses alluviale de lit majeur

Limons sableux superficiels, de galets, et de blocs gréseux, mesure de 10 à 20 cm de diamètre.

c) Cônes de déjection

Nature graveleuse formée d'éléments péliques et gréseux anguleux décimétriques à matrice limoneuse sur 5m de profondeur, observé en rive gauche de (OSAY).

d) Les colluvions

Colluvions argilo-graveleuses elle est de l'ordre de 5 m seulement distribuées le long des pentes des versants.

e) Les éboulis de grès numidiens

Ils sont formés de gros blocs de grès, observés en rive droite.

1.4.2.2. Formations plus anciennes

a) Les grès numidiens

Formée d'une barre de grès grossier poreux, blanc.

b) Les flyschs mauritaniens

Formation de l'unité lutétienne argilo-conglomératique, l'unité paléocène argilo-pélique et l'unité sénonienne grésocalcaire et pélique.

c) Les flyschs massyliens, Sénoniens

Ces flyschs sont formés d'une alternance de pélites, grès et quartzites (Albo-Aptien), ou bien de pélites, marnes, et bancs calcaires / gréseux.

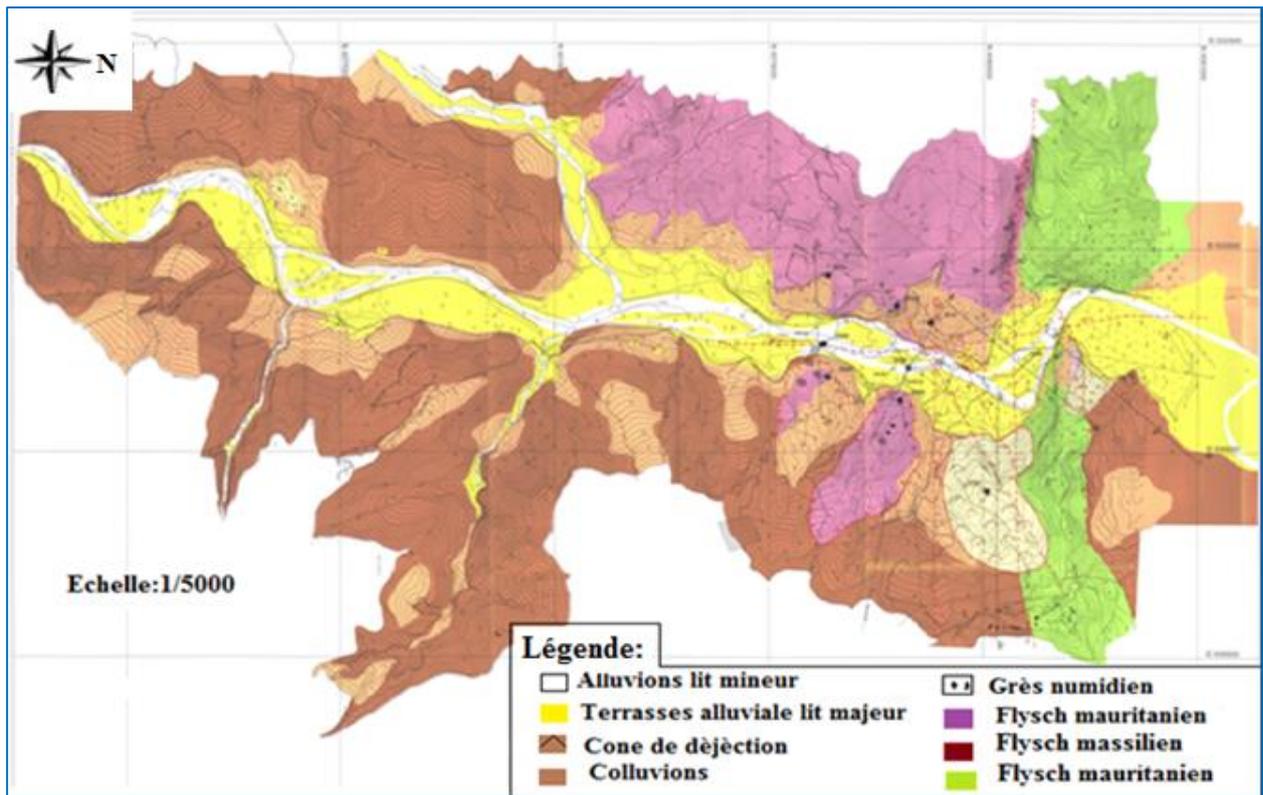


Figure (I.2) : Géologie de la cuvette.

I.4.3 : Géologie du site du barrage

I.4.3.1. Rive droite

Projetée sur la série d'agilité du flysch maurétanien-paléocène, remaniée, très fragmentée, elle repose à faible profondeur sur la série quartzite-topéolitique du flysch massilien.

L'épaisseur des colluvions est variable.

I.4.3.2. Rive gauche

Elle est constituée de série de marne et d'agilité. Elle est très altérée en surface sous un recouvrement pouvant atteindre 25m de profondeur.

I.4.3.3. L'épaisseur du remplissage alluvial

Atteint 24,5 m. Les alluvions sont moyennes à grossières (blocs et galets) et de nature grésocalcaire et calcaire.

La géologie de site de barrage est présentée dans la figure (I.3).

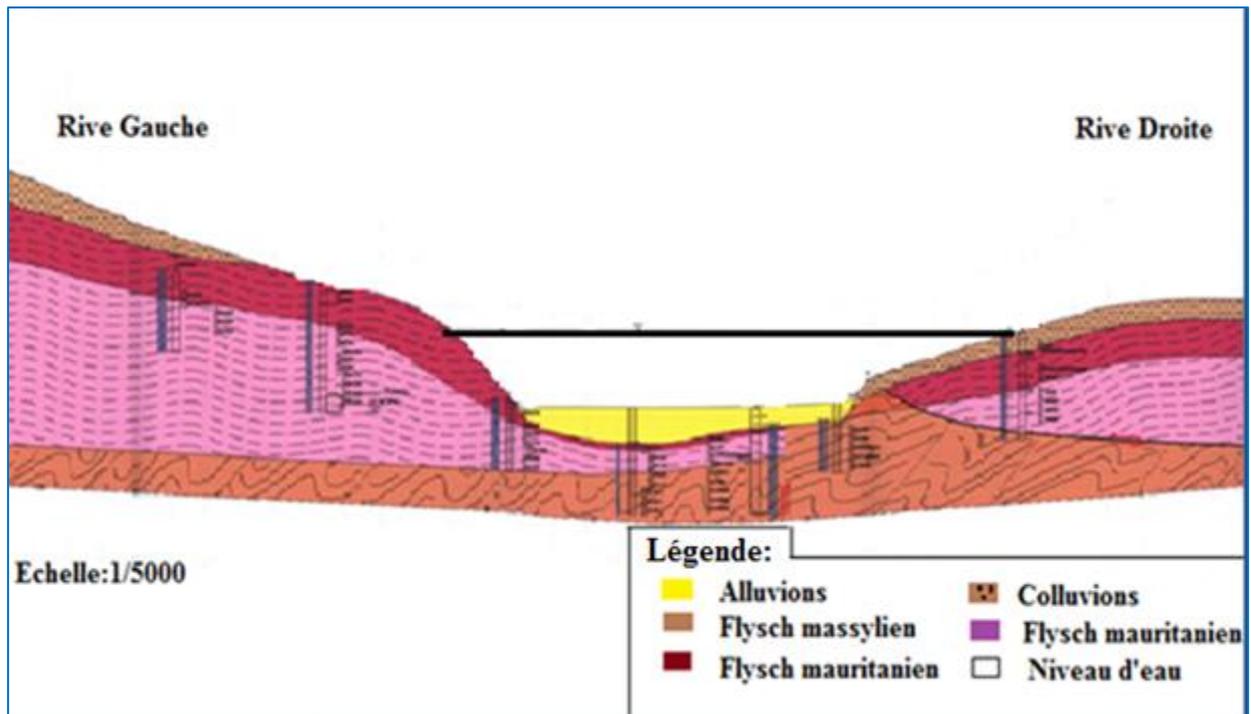


Figure (I.3) : Géologie de site.

I.5. Hydrogéologie de la cuvette et du site

La prédominance de marne, agilité, pélite, et colluvions argileuses, ainsi que la structure Plissée des strates, représentent des conditions peu probables de développement d'un système d'eau souterraine.

Le site du barrage est situé sur une couche massive de flyschs qui est typiquement de faible perméabilité, dense, avec une haute teneur en argile.

I.6. Etude géotechnique

La partie géotechnique traite l'ensemble des essais de laboratoire aux quels ont été soumis les échantillons prélevés lors des sondages et puits, réalisés par la compagnie de reconnaissance du sol.

Le but de la campagne de reconnaissance était de réaliser des sondages le long des axes de l'étude des variantes afin de déterminer l'axe présentant les caractéristiques géologiques et géotechniques les plus favorables. D'autre part, des puits de reconnaissance ont été creusés dans les gîtes potentiels de matériaux de construction, notamment les argiles, les colluvions, les alluvions du lit mineur, et les alluvions du lit majeur. Puis des essais de laboratoire ont été effectués sur les échantillons prélevés lors des forages.

Les différentes caractéristiques géotechniques obtenues sont résumées comme suit :

I.6.1. Caractéristiques des terrains de fondation

I.6.1.1. Couverture colluviale et alluviale

Les colluvions, matériaux argileux, gréseux et gréso-calcaires sont caractérisées par les Propriétés physiques suivantes :

- Les limites de liquidité des colluvions sont comprises entre 45,0 et 50,2%, avec une Moyenne de 47,6% ;
- Les indices de plasticité des colluvions varient entre 22,8 et 23,7%, avec une moyenne de 23,3% ;
- L'indice de consistance déterminé pour un échantillon de colluvions est de 1,7% ;
- La teneur en eau déterminé pour un échantillon de colluvions est de 11,0% ;
- La résistance à la compression simple saturée déterminé pour un échantillon de Colluvions est de 662 bars.

I.6.1.2. Flyschs

- Les limites de liquidité sont comprises entre 26,0% et 41,3%, avec une moyenne de 33,1% (33,0% pour les flyschs altérés et 33,6% pour les flyschs non altérés) ;
- Les indices de plasticité varient entre 9,7% et 20,1%, avec une moyenne de 14,3% (14,1% pour les flyschs altérés et 14,8% pour les flyschs non altérés) ;
- L'indice de consistance varie entre 0,9 et 2,3%, avec une moyenne de 1,7% (tous les résultats correspondent au flysch altéré) ;
- La teneur en eau varie entre 0,15% et 21,50%, avec une moyenne de 2,8% (4,4% Pour les flyschs altérés et 2,1% pour les flyschs non altérés) ;
- La densité apparente varie entre 1,80 et 2,75 g/cm.

I.6.2. Caractéristiques géotechniques des matériaux de barrage et de la fondation

Les paramètres géotechniques des différents matériaux du barrage sont déduits à partir des résultats de l'investigation géotechnique des gites d'emprunts effectués, ainsi qu'à partir des propriétés générales requises pour la construction des barrages, ces résultats sont résumés comme suit dans le tableau (I.1).

Pour la fondation, les propriétés mécaniques sont obtenues à partir de l'interprétation des essais de laboratoire effectués durant les phases d'investigations.

Le tableau (I.2) résume les paramètres géotechniques retenus dans les calculs pour les matériaux de fondation.

CHAPITRE I : DESCRIPTION GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

Tableau (I.1): Paramètres géotechniques des matériaux de barrage.

| Matériaux | Densité apparente (KN/m³) | Cohésion effective (KN/m²) | Angle de frottement ϕ(°) |
|--|---|--|---|
| Argile | 19.5 | 5 | 25 |
| Tapis drainant | 19 | 0 | 36 |
| Transition de gravier sableux sélectionné | 20 | 0 | 35 |
| Gravier drainant | 20 | 0 | 36 |
| Tout-venant alluvionnaire | 20 | 0 | 34 |
| Protection aval | 20 | 0 | 37 |
| Enrochement | 20 | 0 | 38 |
| Protection amont | 20 | 0 | 37 |

Tableau (I.2): Paramètres géotechniques de la fondation.

| Matériaux | Densité apparente (KN/m³) | Cohésion effective (KN/m²) | Angle de frottement ϕ(°) |
|----------------------------------|---|--|---|
| Alluvions | 19 | 0 | 35 |
| Colluvions | 21 | 5 | 17 |
| Flysch Maurétanien altéré | 24 | 10 | 19 |
| Flysch Maurétanien non altéré | 25 | 25 | 23 |
| Flysch Massylien altéré | 24 | 10 | 19 |
| Flysch Massylien non altéré | 25 | 25 | 23 |

CHAPITRE I : DESCRIPTION GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

Les volumes de remblais nécessaires pour construire le barrage sont disponibles en quantités suffisantes. Le tableau ci-dessous contient une comparaison des quantités disponibles dans la cuvette, et celles estimées pour le barrage :

Tableau (I.3) : Résumé des quantités de matériaux de construction

| Matériaux de Remblai | Quantités Disponibles (m3) | Quantités Estimées pour le Barrage (m3) | Zones d'emprunt |
|---|----------------------------|---|------------------|
| Noyau Argileux | 728 000 | 238 618 | Mlata |
| Recharges Alluvions | 728 000 | 889 350 | (lit majeur) |
| Drains / filtres /transitions et agrégats grossiersde béton | 2 095 275 | 817 480 | (lit mineur) |
| Enrochements | 635 775 | 97 740 | Carrière Tigrine |

I.7.Tectonique

Les ensembles géomorphologiques de la cuvette sont affectés par une tectonique tangentielle complexe, remontant au Miocène Inférieur, suivie d'une tectonique cassante Néogène post-nappes et quaternaire à deux phases, distensive puis compressive.

L'ouverture du bassin et le mouvement gravitaire des nappes de flysch à partir de leurs aires d'origine vers le bassin correspondent à la phase tectonique tangentielle. Les flyschs se sont développés dans le bassin dans l'ordre d'âge décroissant suivant :

- ✚ Flysch massylien – Sénoniens ;
- ✚ Flysch maurétanien – Unité Sénonienne ;
- ✚ Flysch maurétanien– Unité Paléocène ;
- ✚ Flysch maurétanien – Unité Lutétienne.

L'accident majeur qui a entaillé le tracé de l'Oued Sidi Ahmed Youcef correspond à la faille sub-méridienne, à composante en décrochement sénestre, cette faille est responsable du soulèvement de la rive droite, permettant ainsi au flysch massylien d'y affleurer. Plusieurs failles décrochantes sénestres sont associées à cette faille majeure, leur direction oscillant entre le N 60°E et l'Est – Ouest.

I.8.Sismicité

Selon les Règles Parasismiques Algériennes RPA 99, CENTRE NATIONAL RECHERCHE APPLIQUEE EN GENIE PARASISMIQUE, d'après la carte du zonage sismique du territoire national (RPA99-Version 2003) [10].

Sur la carte suivante il est défini 4 zones sismiques classées comme suit :

- 1- Zone I: sismicité négligeable ;
- 2- Zone IIa: sismicité faible ;
- 3- Zone IIb: sismicité moyenne ;
- 4- Zone III : sismicité élevée.

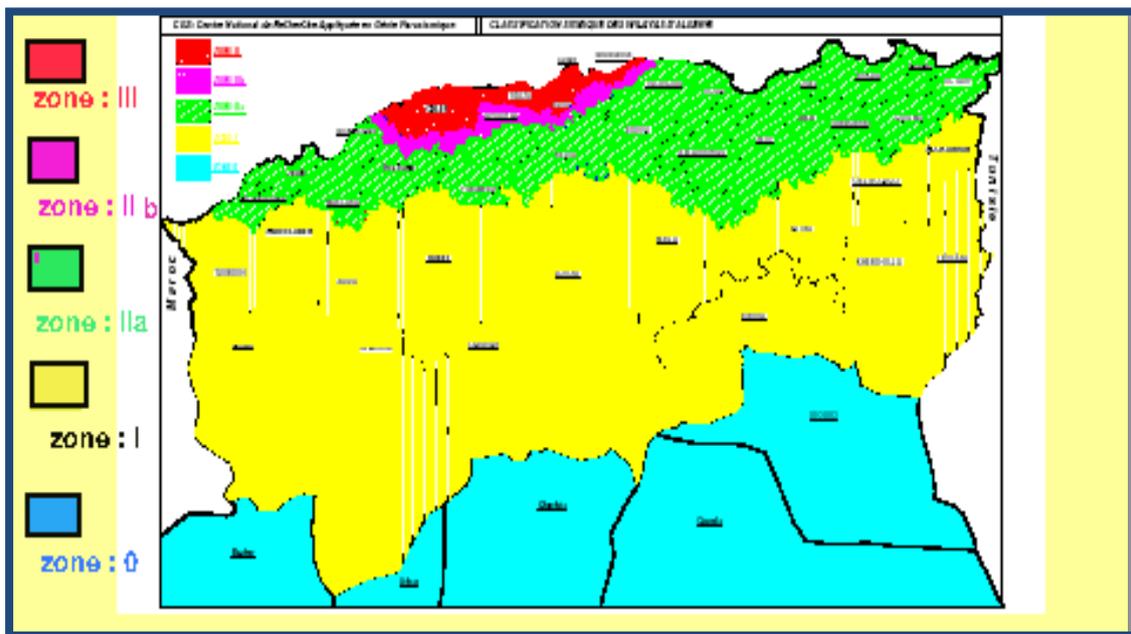


Figure (I.4) : Carte de zonage sismique (RPA99-Version 2003).

Tableau (I.4) : Coefficients des accélérations du séisme selon la zone d'étude.

| Zone I | Zone IIa | Zone IIb | Zone III | Classification des ouvrages selon leur importance |
|--------|----------|----------|----------|---|
| 0,15 | 0,25 | 0,30 | 0,40 | Ouvrage d'importance vitale |
| 0,12 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | Ouvrage de grande importance |
| 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | Ouvrage courant |
| 0,07 | 0,10 | 0,14 | 0,18 | Ouvrage de faible importance |

Le site de barrage situé dans la région nord-est de l'Algérie, et notre barrage classé dans les ouvrages de grande importance, on conclue que le coefficient de l'accélération du séisme est de 0.2 g.

Conclusion

Le choix définitif de L'axe de barrage Sidi Khelifa a été choisi selon les études géologiques et géotechniques effectuées. Ces dernières nous ont permis de connaître la géologie de la cuvette, la morphologie de la vallée et l'hydrogéologie de site. .

Pour ce qui est du type de barrage, il s'agit d'un barrage en terre à noyau argileux, il a été choisi pour :

- La disponibilité des matériaux de construction hétérogène : plusieurs zones ont été prospectées pour assurer l'approvisionnement du chantier en matériaux de différentes natures. situé à des distances raisonnables de site ;
- Aux résultats obtenus lors des essais effectués sur les paramètres mécaniques des matériaux de construction et les matériaux de la fondation du barrage.

CHAPITRE II :

ETUDE HYDROLOGIQUE

Introduction

L'hydrologie est une science qui étudie la phase du cycle d'eau qui débute avec l'arrivée de celle-ci sur la surface de la terre. Elle englobe les précipitations, le ruissellement et les eaux souterraines. C'est une science particulière car elle regroupe plusieurs sciences fondamentales très diversifiées et à pour but de répondre aux problèmes concernant la ressource en eau. L'hydrologie offre à l'ingénieur des outils d'inventaire et d'analyse des données pour répondre à des besoins soit sur le plan de la conception des éléments d'un aménagement que sur celui de l'exploitation des systèmes.

Les études hydrologiques donc sont très indispensables. Elles sont pour objectif d'étudier les conditions de la réserve d'une part et d'autre part d'estimer la crue contre laquelle il est nécessaire de protéger le barrage. Les études peuvent être basées sur la statistique si l'on dispose déjà d'un certain nombre d'années de mesures sur le site ou dans la région. A défaut, on appliquera les méthodes déterministes.

Ce chapitre a pour but la détermination de certaines caractéristiques hydrologiques essentielles pour le dimensionnement de notre barrage.

II.1. Description du Bassin Versant de Sidi Khelifa

Le bassin versant de Sidi Khelifa situé dans la région nord Kabylie, caractérisé par une surface de 225 Km², un périmètre de 73Km, et un cours d'eau principal (talweg) de 33Km, couvre 6 communes dont 5 de la wilaya de Tizi Ouzou (Azzefoun, Ait Cheffa, Akerrou, Yakouren, Zekri) et une de la wilaya de Bejaia (Adekar), le point plus culminant du Bassin se trouve à Djbel Toukra à 1645m d'altitude.

La surface, le périmètre, la longueur du bassin versant ont été calculés à l'aide d'une projection sur la carte d'état major d'Algérie Tizi Ouzou 1/200 000 par le Logiciel Map-Info (SIG).

Le bassin versant de Sidi Khelifa est présenté dans la figure dessous.

II.2. Caractéristiques morphologiques du Bassin Versant de Sidi Khelifa

II.2.1. Indice de compacité de GRAVELLIUS (K_c) [3]

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \dots \dots (II.1)$$

Avec :

- K_c : Indice de compacité ;
- S : Surface du bassin versant (225Km²);
- P : Périmètre du bassin (73Km).

$$K_c = 1,4.$$

Alors notre bassin versant est de forme allongé.

II.2.2. Coefficient d'allongement [8]

$$K_a = \frac{L^2}{S} \dots \dots (II.2)$$

Avec :

- L : Longueur du talweg principal (33Km).

$$K_a = 4,84 \text{ (Km/Km}^2\text{)}$$

II.2.3. Le rectangle équivalent [3]

- *Longueur équivalente*

$$L_r = \frac{K_c \sqrt{S}}{1,128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{K_c} \right)^2} \right) \dots\dots (II.3)$$

Avec :

L_r : Longueur du rectangle équivalent (Km);

K_c : Indice de compacité (1,4);

$$L_r = 29,6 \text{ Km.}$$

- *Largeur équivalente [3]*

$$\frac{K_c \sqrt{S}}{1,128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{K_c} \right)^2} \right) \dots\dots (II.4)$$

$$l_r = 7,6 \text{ Km.}$$

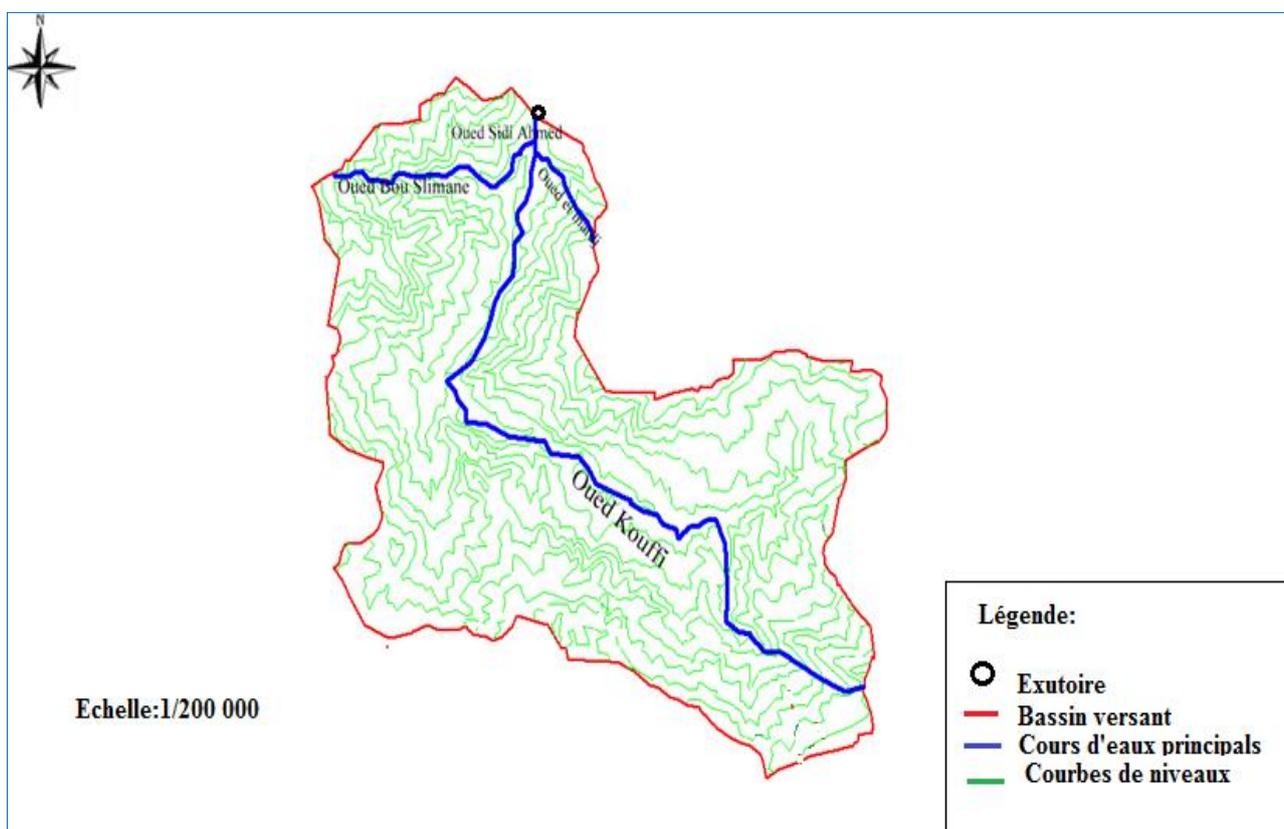


Figure (II.1) : Le Bassin Versant de Sidi Khelifa.

II.2.4. Le relief

II.2.4.1. Calcul des surfaces élémentaires

La répartition des surfaces élémentaires et leurs cumules en fonction des altitudes en été obtenues par projection de la carte état major d'Algérie Tizi Ouzou 1/200 000 sur Mapinfo.

Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau (II.1) : Répartition en pourcentage de la surface élémentaire.

| Elévation | H moyen | S _i (km ²) | S _i cum | S _i (%) | S _i cum (%) |
|-------------|---------|-----------------------------------|--------------------|--------------------|------------------------|
| 1400 à 1465 | 1432.5 | 6 | 6 | 2,7 | 2,7 |
| 1300 à 1400 | 1350 | 1 | 7 | 0,4 | 3,1 |
| 1200 à 1300 | 1250 | 1 | 8 | 0,4 | 3,6 |
| 1100 à 1200 | 1150 | 6,5 | 14,5 | 2,9 | 6,4 |
| 1000 à 1100 | 1050 | 2 | 16,5 | 0,9 | 7,3 |
| 900 à 1000 | 950 | 11,5 | 28 | 5,1 | 12,4 |
| 800 à 900 | 850 | 25 | 53 | 11,1 | 23,6 |
| 700 à 800 | 750 | 67,5 | 120,5 | 30 | 53,6 |
| 600 à 700 | 650 | 29 | 149,5 | 12,9 | 66,4 |
| 500 à 600 | 550 | 11,5 | 161 | 5 1 | 71,6 |
| 400 à 500 | 450 | 9 | 170 | 4 | 75,6 |
| 300 à 400 | 350 | 6,5 | 176.5 | 2,9 | 78,4 |
| 200 à 300 | 250 | 28 | 204,5 | 12,4 | 90,9 |
| 100 à 200 | 150 | 13,5 | 218 | 6 | 96,89 |
| 24 à 100 | 62 | 7 | 225 | 3,1 | 100 |

II.2.4.2. Traçage de la courbe hypsométrique

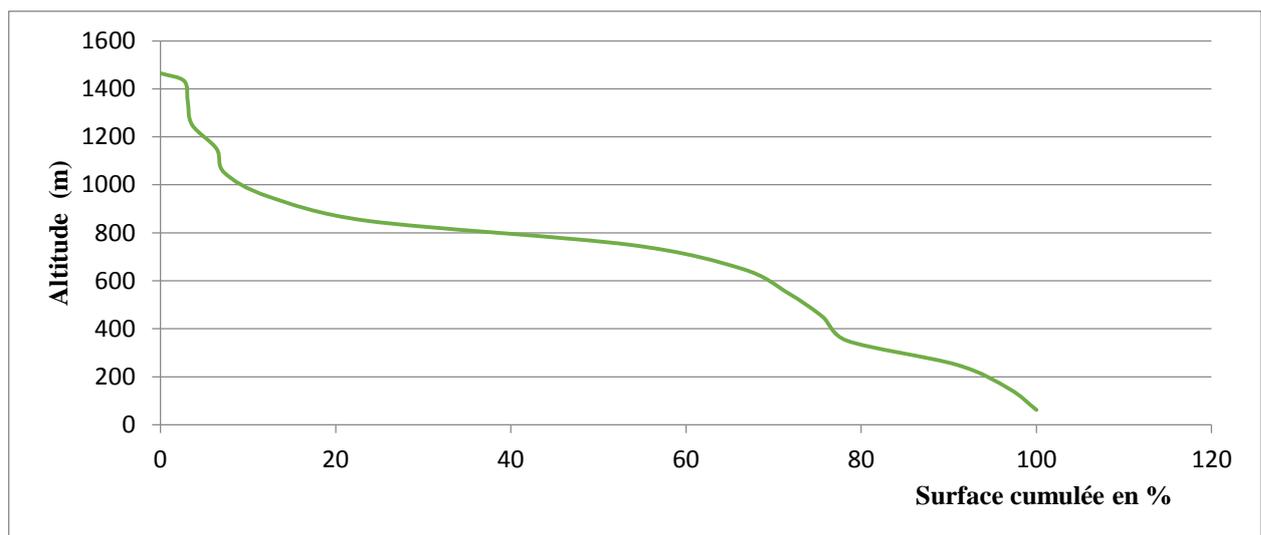


Figure (II.2): Courbe hypsométrique de Bassin Versant de Sidi Khelifa.

De la courbe hypsométrique on peut conclure que la grande surface de notre bassin versant est située entre l'altitude [600 m ; 900 m].

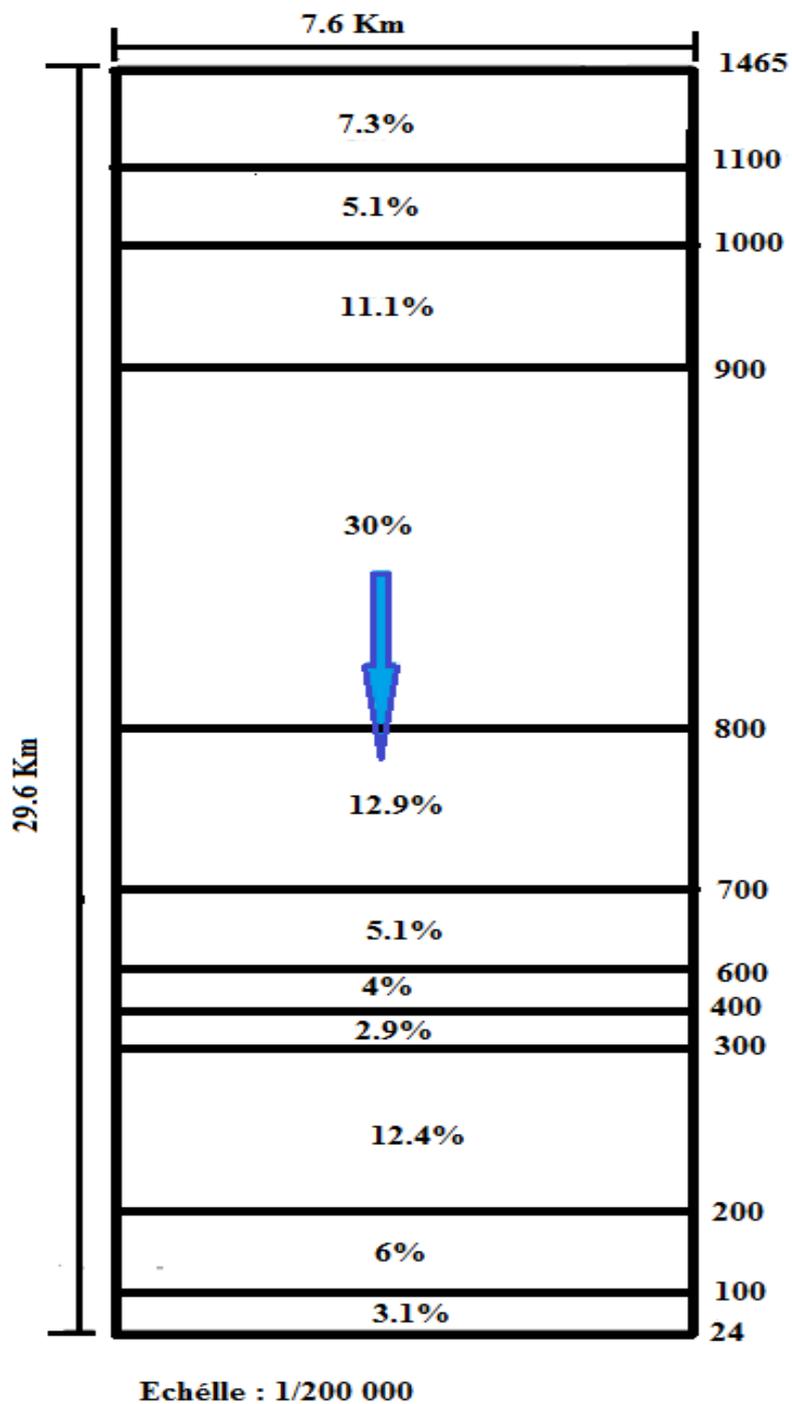


Figure (II.3) : Le rectangle équivalent de Bassin Versant de Sidi Khelifa.

II.2.4.3. Les altitudes caractéristiques

- L'altitude maximale et minimale

$$H_{\max} = 1465 \text{ m.} \quad \text{Et} \quad H_{\min} = 24 \text{ m.}$$

- L'altitude moyenne

$$H_{\text{moy}} = 642,35 \text{ m.}$$

- L'altitude médiane

$$H_{\text{méd}} = 760 \text{ m.}$$

- $H_{5\%} = 1200 \text{ m.}$ et $H_{95\%} = 160 \text{ m.}$

II.2.5. Les indices de pente**II.2.5.1. Indice de pente moyenne de Bassin Versant [4]**

$$I_{pm} = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{Lr} \dots\dots (II.5)$$

Avec :

- I_{pm} : Indice de pente moyenne ;
- H_{\max} : Altitudes maximales du bassin versant (1465 m);
- H_{\min} : Altitudes minimales du bassin versant (24 m) ;
- Lr : Longueur du rectangle équivalent (29,6 Km).

$$I_m = 48,68 \text{ m / km.}$$

II.2.5.2. Indice de pente globale I_g du Bassin Versant [4]

$$I_g = \frac{D}{Lr} \dots\dots (II.6)$$

Avec :

- I_g : Indice de pente global.

Tel que :

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} \dots\dots (II.7)$$

$$I_g = 35,13 \text{ m/km.}$$

II.2.5.3. Indice de pente moyenne du Talweg principal [4]

$$I = \frac{H_{\text{moy}}}{L} \dots\dots (II.8)$$

Avec :

- H_{moy} : Altitude moyenne (642,35m).

$$I = 0,19 \text{ \%}.$$

II.3.Caractéristiques hydrographiques du bassin versant

II.3.1.Densité des Talwegs élémentaires [3]

$$F = \frac{\sum_1^n N1}{S} \dots\dots(II.9)$$

Avec :

N1 : Nombre de cours d'eaux d'ordre 1, 98.

$$F_1 = 0,44 \text{ Km}^{-2}.$$

II.3.2. Dénivelé spécifique [4]

$$Ds = Ig \cdot \sqrt{S} \dots\dots(II.10)$$

$$D_s = 526,95 \text{ m.}$$

II.3.3.Densité de drainage [4]

$$Dd = \frac{\sum_{i=1}^n Li}{S} \dots\dots(II.11)$$

Avec :

$\sum_{i=1}^n Li$: La longueur totale de tous les cours d'eau (Km) égale à 428 Km/Km².

$$D_d = 1,9 \text{ km/km}^2.$$

II.3.4.Temps de concentration

II.3.4.1.Formule de GIANDOTTI [5]

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L_{cp}}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \dots\dots(II.12)$$

Avec :

T_c : Temps de concentrations exprimé en heure (h) ;

S : Surface du bassin versant (225km²);

L_{cp} : Longueur de cours d'eau principal (33km);

H_{moy} : Altitude moyenne (642,35m) ;

H_{min} : Altitude minimale (24m).

II.3.4.2.Formule de KIRPICH [6]

$$T_c = 0.1272 \frac{S}{I_g} \dots\dots(II.13)$$

Avec :

I_g : Pente global du B.V en %.

Tableau (II.2) : Les résultats pour le temps de concentration.

| Formulation | T _c (heures) |
|-------------|-------------------------|
| GIANDOTTI | 5,50 |
| KRIPICH | 3,22 |

Sur la base de ces résultats, Et de ce trouvés par le bureau d'étude (DAAR EL HANDASSA) qui a effectuer l'étude de faisabilité de ce Barrage (T_c = 4,50h).

Il a été procédé finalement à l'adoption définitive de la valeur moyenne de **4,36 heures** comme valeur du temps de concentration dans le bassin versant Sidi Khelifa.

II.3.5.Vitesse de ruissellement

II.3.5.1.Formule de SOKOLOVSKY [6]

$$V_r = \frac{L_p}{T_c} \dots\dots(II.13)$$

V_r : Vitesse de ruissellement ;

T_c : Temps de concentration (4,36h).

$$V_r = 7,57 \text{ Km/h}$$

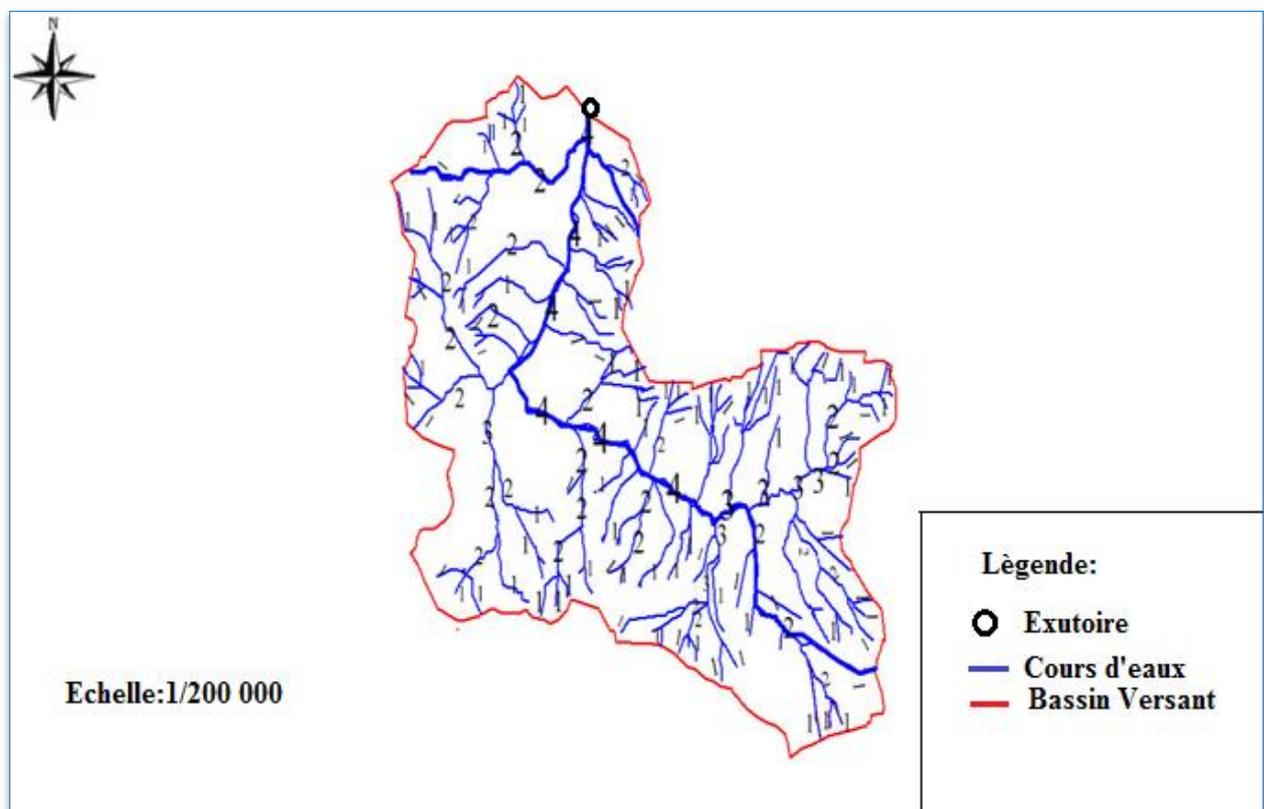


Figure (II.4) : Chevelus Hydrographiques de Bassin Versant Sidi Khelifa.

Tableau(II.3) : Tableau récapitulatif.

| Paramètres | Symboles | Unités | Valeurs |
|---|------------------|--------------------|---------|
| Superficie | S | Km ² | 225 |
| Périmètre | P | Km | 73 |
| Longueur de cours d'eau principale (talweg) | L | Km | 33 |
| Altitude maximale | H _{max} | m | 1465 |
| Altitude moyenne | H _{moy} | m | 642,35 |
| Altitude minimale | H _{min} | m | 24 |
| Altitude médiane | H _{méd} | m | 760 |
| Altitude H _{5%} | H _{5%} | m | 1200 |
| Altitude H _{95%} | H _{95%} | m | 160 |
| Langueur du rectangle équivalent | L _r | Km | 29,6 |
| Largeur du rectangle équivalent | l _r | Km | 7,6 |
| Indice de compacité | K _c | / | 1,4 |
| Indice de pente global | I _g | m/km | 35,13 |
| Indice de pente moyenne | I _m | m/km | 48,68 |
| Indice de pente moyenne de talweg | I | % | 0,19 |
| Densité de talweg élémentaire | F ₁ | Km ⁻² | 0,44 |
| dénivelé spécifique | D _s | M | 526,95 |
| Densité de drainage | D _d | Km/km ² | 1,9 |
| Temps de concentration | T _c | H | 4,36 |
| Vitesse de ruissellement | V _r | Km/h | 7,57 |

II.4. Caractéristiques climatiques

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

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

II.4.1. Température

Le climat de la commune d'Azzefoun et de la région en général est de type méditerranéen avec des températures fortes en Eté et faibles en Hiver, La température moyenne annuelle durant les 10 à 15 dernières années se situe autour de 18 C° ; elle atteint les 30 C° en été (juillet — août), et 4 à 5 C° en hiver (surtout les mois de janvier et février) [1].

Le Tableau suivant résume les températures enregistrées dans la région d'Azzefoun.

Tableau (II.4) : Température enregistrée à la ville d'Azzefoun.

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | Moy Anuelle |
|------------------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------------|
| T _{min} | 16,8 | 13,1 | 9,2 | 7,3 | 5,6 | 6,4 | 6,7 | 8,7 | 11,4 | 15,4 | 18,4 | 18,7 | 11,48 |
| T _{max} | 28,8 | 24,8 | 20,2 | 17,6 | 16,5 | 17,1 | 18,6 | 20,0 | 22,6 | 26,9 | 30,6 | 30,7 | 22,87 |
| T _{moy} | 22,8 | 18,95 | 14,7 | 16,1 | 10,05 | 11,75 | 12,65 | 14,35 | 17 | 21,15 | 24,5 | 24,70 | 17,18 |

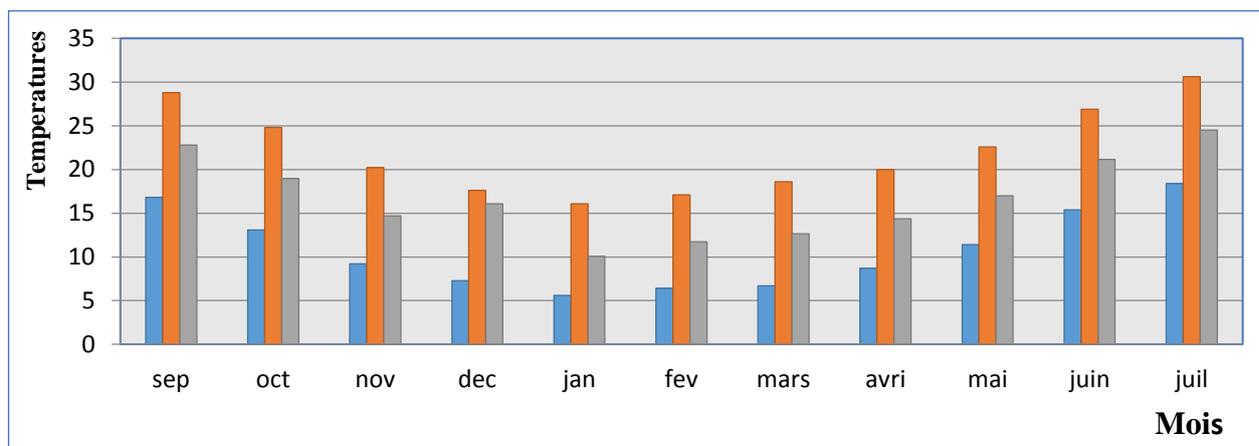


Figure (II.5) : Répartition mensuelle de la température à Azzefoun.

II.4.2. Vitesse de vent

La région d'Azzefoun est caractérisée par une vitesse de vent maximale qui atteint le 4.53km/h et une vitesse minimale qui atteint 2,61 Km/h [1].

Tableau (II.5) : Répartition mensuelle de la vitesse du vent.

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|
| Vitesse du vent (km/h) | 2,61 | 2,62 | 3,22 | 3,29 | 2,7 | 2,71 | 4,53 | 3,27 | 4,7 | 2,89 | 4,55 | 2,78 |
| Vitesse (m/s) | 0,73 | 0,73 | 0,89 | 0,91 | 0,75 | 0,75 | 1,26 | 0,91 | 1,3 | 0,80 | 1,26 | 0,77 |

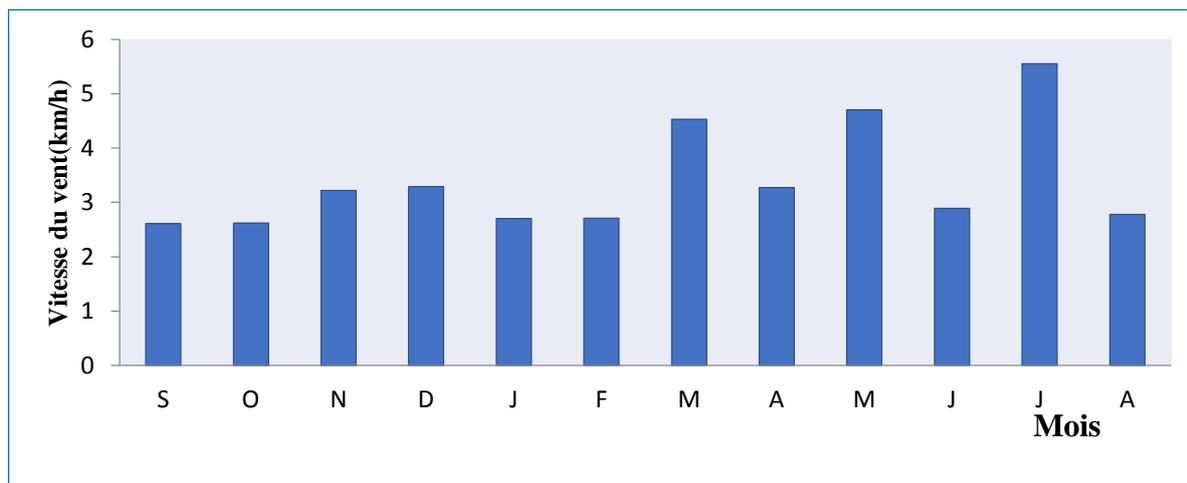


Figure (II.6) : Répartition mensuelle de la vitesse de vent a Azzefoun.

II.4.3. Humidité relative de l’air

D’après les donnes de la repartions mensuelle de l’humidité relative de l’air en conclue que la région d’Azzefoun a un climat humide qui atteint environ 70% [1].

Tableau (II.6) : Répartition mensuelle de l’humidité relative de l’air d’Azzefoun.

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | Moyenne Annuelle |
|--------------------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|------------------|
| H _{min} % | 46,4 | 49,4 | 49,8 | 52,5 | 51,2 | 52,3 | 46,7 | 50,6 | 49,7 | 40,8 | 44,1 | 44,6 | 48,18 |
| H _{Max} % | 91,8 | 92,8 | 93,7 | 92,8 | 93,4 | 94 | 94 | 94 | 93,7 | 93 | 91,2 | 91,7 | 93,01 |
| H _{Moy} % | 69,1 | 46,4 | 71,75 | 72,65 | 92,3 | 73,15 | 70,35 | 72,30 | 71,7 | 66,9 | 67,65 | 68,15 | 70,6 |

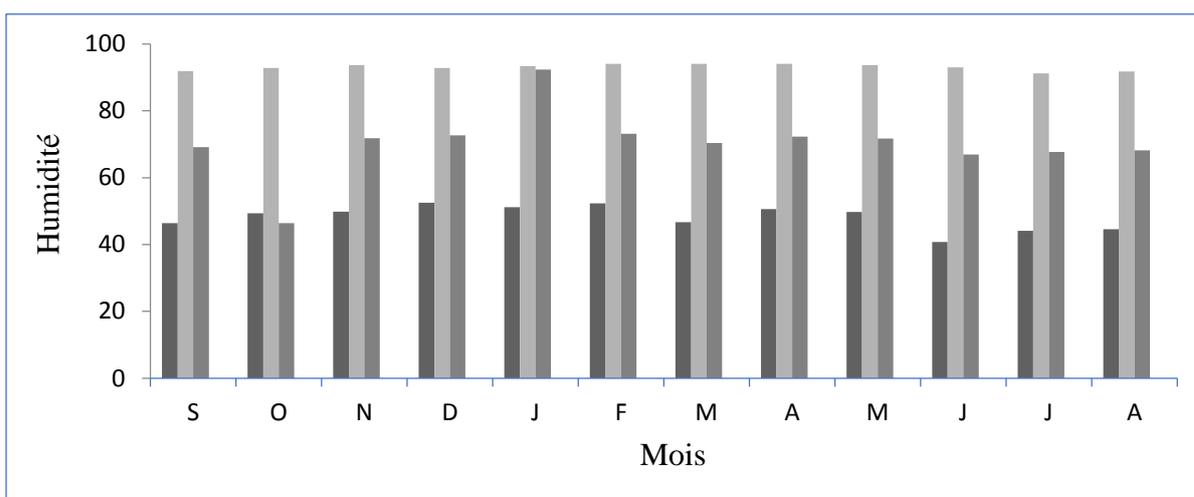


Figure (II.7) : Répartition de l’humidité de l’air à Azzefoun.

II.4.4. Evaporation

Le taux d'évaporation est très élevé dans les mois de juin, juillet, août, il atteint 270mm. Pour les mois d'hiver, on constate que le taux d'évaporation est faible, il atteint 2mm, avec un moyen de perte par évaporation qui atteint 1500mm/An.

Tableau (II.7): Répartition mensuelle de l'Evaporation.

| Mois | H% | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | Moy annuelle |
|------------|----|-----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|
| E_v (mm) | | 180 | 90 | 60 | 45 | 30 | 45 | 75 | 105 | 135 | 210 | 270 | 255 | 1500 |
| E_v % | | 12 | 6 | 4 | 3 | 2 | 3 | 5 | 7 | 9 | 14 | 18 | 17 | 100 |

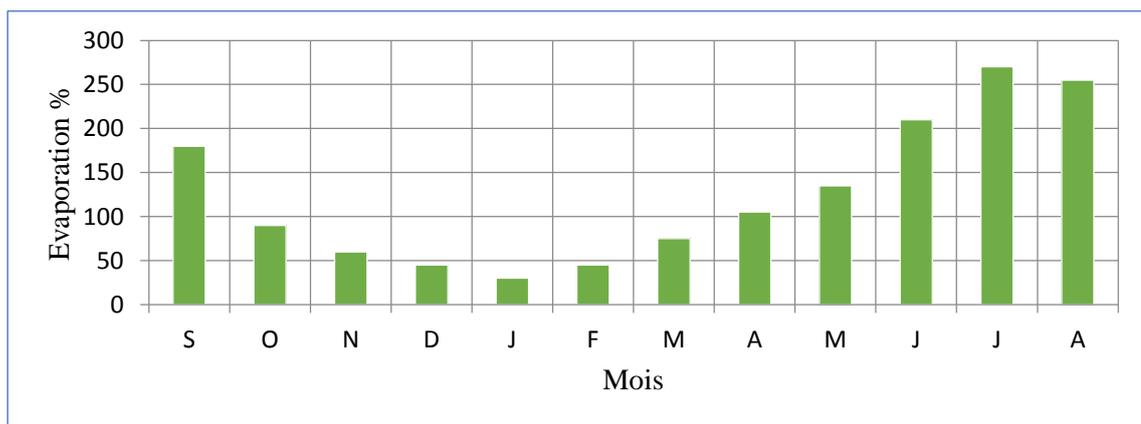


Figure (II.8) : Répartition mensuelle de l'évaporation à Azzefoun.

II.4.5. Pluviométrie

II.4.5.1. Homogénéité et correction des données

Dans le bassin versant de l'oued Sidi Ahmed Youcef, il n'existe aucune station pluviométrique.

Pour le calcul des précipitations, on a utilisé les données pluviométriques disponibles dans la région qui ont été sélectionnées à partir du réseau d'observation de l'Agence National des Ressources Hydrauliques (ANRH).

Deux stations pluviométriques ont été sélectionnées : Tagma et Yakourenne.

- Tagma, station caractérisée par un nombre d'observations complet sur l'année 1971-2008
- Yakouren station caractérisée par un manque d'observation entre l'année 1971-2008

Pour commencer nos calculs on a choisi d'abord l'assurance de l'omogéinité de la station de Yakouren par le test de WILCOXON, ensuite on a procédé à remplir les lacunes de la série de Tagma par la méthode graphique ou bien double masse.

II.4.5.1.1. Test de WILCOXON ou test de Rang [5]

- On prend notre série pluviométrique (Tagma) de précipitation moyenne annuelle.
- Soit deux variables aléatoires (X, Y) représentent respectivement 2 séries de précipitations annuelles de tailles N_1 , N_2 , pour chaque moyennes on donne son rang (1.2.3.....n). Y étant la série à étudier, X la série de base et que $N_2 > N_1$.

- En classe les éléments de notre nouvel échantillon YUX par ordre décroissant et on associe à chacune les rangs précédents.

$$W_y = \sum_{i=1}^n \text{rang} = 22+27+8+\dots+26\dots\dots(II.14)$$

$$W_{\min} = \frac{(N_1 + N_2 + 1)N_1 - 1}{2} - u_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12}} \dots\dots(II.15)$$

$$W_{\max} = (N_1 + N_2 + 1)N_1 - W_{\min} \dots\dots(II.16)$$

Tableau(II.8) : Résultats trouvés de test de WILCOXON.

| N1 | N2 | W _y | W _{min} | W _{max} | U _{1-2,5%} |
|----|----|----------------|------------------|------------------|---------------------|
| 18 | 20 | 363 | 330,8 | 371,2 | 1,96 |

Condition à vérifier :

$$W_{\min} < W_y < W_{\max}$$

$$330,8 < 363 < 371,2$$

Alors notre série de Tagma est homogène, donc on va l'utiliser comme référence, afin de corriger celle de Yakouren.

Test de WILCOXON disponible dans le tableau (3) dans l'annexe.

II.4.5.1.2. Méthode graphique ou méthode double masse

Cette méthode permet de déceler graphiquement l'hétérogénéité de la série Tagma, et corriger la station de Yakouren [5].

Utiliser la station de Tagma comme station de référence car cette station caractérisée par une série complète d'observation et un nombre d'années d'observation suffisant 38ans.

II.4.5.1.3. Correction de la série pluviométrique de Yakouren

- Traçage de la droite $Y=f(X)$.
Y= Pluies moyennes annuelles cumulées de la station yakouren.
X= Pluies moyennes annuelles cumulées de la station Tagma
- On a remarqué qu'il ya une forte corrélation entre les variables X et Y. ensuite on a corrigé les lacunes de la série de Yakouren par l'équation $X = 0,9216Y$ obtenue après le traçage de la droite de régression.

La Méthode graphique nous a permis de remplir les lacunes de la station pluviométrique de Yakouren, pour procéder au calcul des précipitations moyennes annuelles.

II.4.5.2. Calcul des précipitations

a. Calcul des précipitations moyennes annuelles

Le principe de calcul de pluviométrie la moyenne, sur un bassin versant est d'admettre que la pluie ponctuel est représentative de celle tombé sur une zone plus ou moins étendue autour de la station [7].

Pour le calcul de la précipitation moyenne, quatre méthodes sont généralement utilisées :

- Méthode de THISSEN : dans laquelle on attribue à chaque pluviométrie un point proportionnel à une zone définie géométriquement.
- méthode arithmétique : qui est une simple moyenne de N postes intéressant une surface donnée S.
- Méthode analytique : qui utilise une corrélation entre les précipitations et les altitudes.
- Méthode des isohyètes : qui utilise des courbes définies comme le lieu des points d'égalité de précipitation.

b. Choix de la méthode à utiliser

Il est préférable d'utiliser les quatre méthodes, afin de prendre la valeur la plus représentative, mais nous nous sommes optés pour l'utilisation de la méthode arithmétique en raison du manque de données.

La pluviométrie enregistrée dans les stations avoisinantes de notre bassin versant sont données dans le tableau suivant :

Tableau (II.9) : Répartition moyenne annuelle de la précipitation.

| Nom de station | Code de station | Période d'observation | Nombre années d'observation | Précipitation moyenne annuelle (mm) |
|----------------|-----------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| Tagma | 020909 | 1971 à 2009 | 39 | 1216,46 |
| Yakouren | 020902 | 1859 à 2009 | 39 | 1135,3 |

Source (ANRH).

II.4.5.2.1. Calcul des précipitations inter annuelles

• Méthode arithmétique

La formule de la précipitation moyenne est donnée par [7]:

$$P_{moy} = \sum \frac{P_i}{n} \dots (II.17)$$

Avec :

- P_i : Précipitation moyenne annuelle de i ème station ;
- n : Nombre de stations d'observation, $n=2$.

$$P_{moy} = 1175,9 \text{ mm.}$$

La précipitation moyenne annuelle sur le bassin versant de Sidi Khelifa est donc 1176 mm.

II.4.5.2.2. Répartition moyenne mensuelle de la précipitation

Le tableau suivant donne les résultats des observations faites à la station de Tagma et Yakouren qui représente le bassin versant :

Les séries de précipitations journalières sont présentés dans l'annexe par le tableau 1 et 2.

Tableau (II.10) : Répartition moyenne mensuelle de la précipitation.

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | TOTAL |
|----------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|---------|
| Tagma | 54,76 | 98,7 | 150,9 | 202,3 | 169,2 | 155,5 | 145 | 128,0 | 80,69 | 12,82 | 7,58 | 10,84 | 1216,46 |
| Yakouren | 49,9 | 88,2 | 137,9 | 190,2 | 160 | 145,2 | 138,1 | 124,3 | 71,5 | 14,3 | 6,3 | 9,4 | 1135,3 |
| Moyenne | 52,3 | 93,5 | 144,4 | 196,3 | 164,6 | 150,4 | 141,6 | 126,2 | 76,1 | 13,6 | 6,9 | 10,1 | 1175,9 |

II.4.5.2.3. Précipitations maximales journalières

L'étude consiste à faire un ajustement pour la série de données des précipitations maximales journalières de la station Tagma, qui est donnée comme station complète par (ANRH), avec une loi théorique [8].

L'ajustement de la série des précipitations maximales a été fait à l'aide du logiciel « HIFRAN ».

Tableau (II.11): Caractéristique de la station de Tagma.

| Caractéristiques | Formules | Valeurs |
|---|---|---------|
| La somme des $P_{\max j}$ en (mm) | $\sum_{i=1}^{N=38} X_i$ | 3398 |
| la moyenne des $P_{\max j}$ en (mm) | $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{N=38} X_i}{n}$ | 89 |
| L'écart type « σ_x » Pour $n > 30$ ans | $\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \times \sum_i^n (x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2) \text{ et } \sigma = \sqrt{\sigma^2}$ | 31,54 |
| Coefficient de variation « Cv » | $C_v = \frac{\sigma}{X}$ | 0,35 |

A.GUMBEL (Méthode des moments)

Résultats de l'ajustement :

Nombre d'observations: 36

Paramètres : $u = 75,4063$, $\text{Alpha} = 25,1385$.

Quantiles : $q = F(X)$ (probabilité au non-dépassement), $T = 1/(1-q)$.

Tableau (II.12) : Résultats de l'ajustement par la loi de GUMBEL.

| T | q | XT | écart type | intervalle de confiance |
|---------|--------|------|------------|-------------------------|
| 10000,0 | 0,9999 | 307 | 41,1 | 226 – 388 |
| 2000,0 | 0,9995 | 266 | 34,1 | 200 – 333 |
| 1000,0 | 0,9990 | 249 | 31,1 | 188 – 310 |
| 200,0 | 0,9950 | 209 | 24,1 | 161 – 256 |
| 100,0 | 0,9900 | 191 | 21,1 | 150 – 232 |
| 50,0 | 0,9800 | 173 | 18,1 | 138 – 209 |
| 20,0 | 0,9500 | 150 | 14,2 | 122 – 178 |
| 10,0 | 0,9000 | 132 | 11,2 | 110 – 154 |
| 5,0 | 0,8000 | 113 | 8,31 | 96,8 – 129 |
| 3,0 | 0,6667 | 98,1 | 6,27 | 85,8 – 110 |
| 2,0 | 0,5000 | 84,6 | 4,93 | 75,0 – 94,3 |

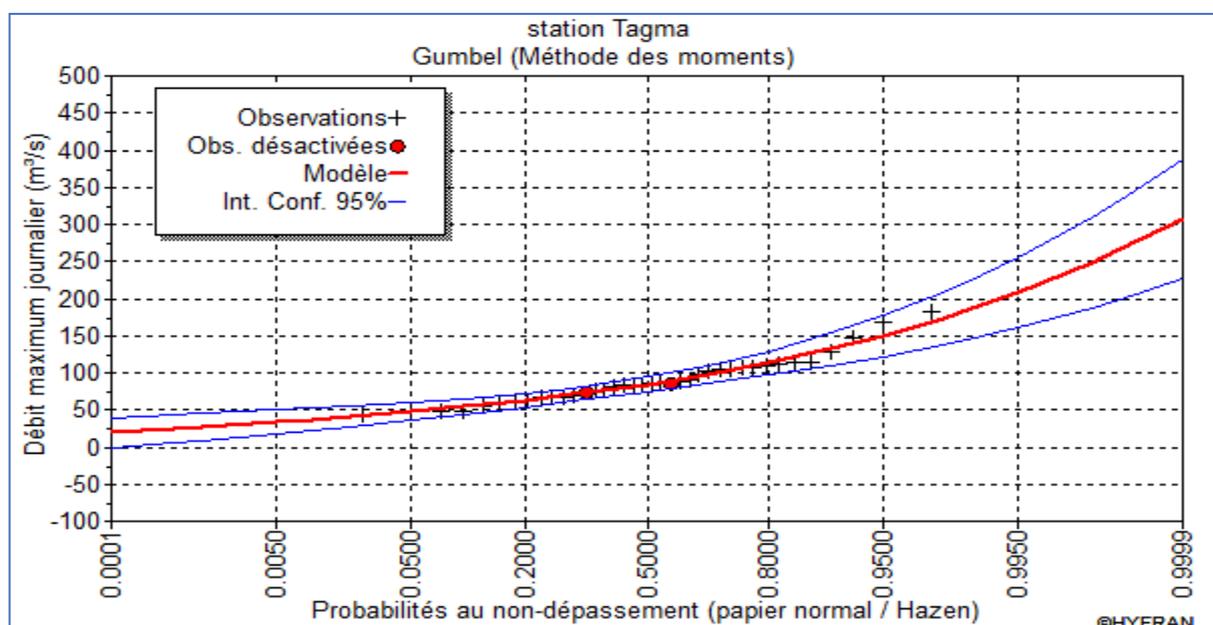


Figure (II.9) : Représentation graphique de la loi de GUMBEL.

Tableau (II.13) : Comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon.

| Gumbel (Méthode des moments) | Carac.de la loi | Carac.del'échantillon |
|------------------------------------|-----------------|-----------------------|
| Minimum | Aucun | 44.0 |
| Maximum | Aucun | 182 |
| Moyenne | 89.9 | 89.9 |
| Ecart – type | 32.2 | 32.2 |
| Médiane | 84.6 | 84.5 |
| Coefficient de variation (C_V) | 0.359 | 0.359 |
| Coefficient d'asymétrie (C_S) | 1.14 | 1 |
| Coefficient d'aplatissement (CK) | 2.40 | 3.68 |

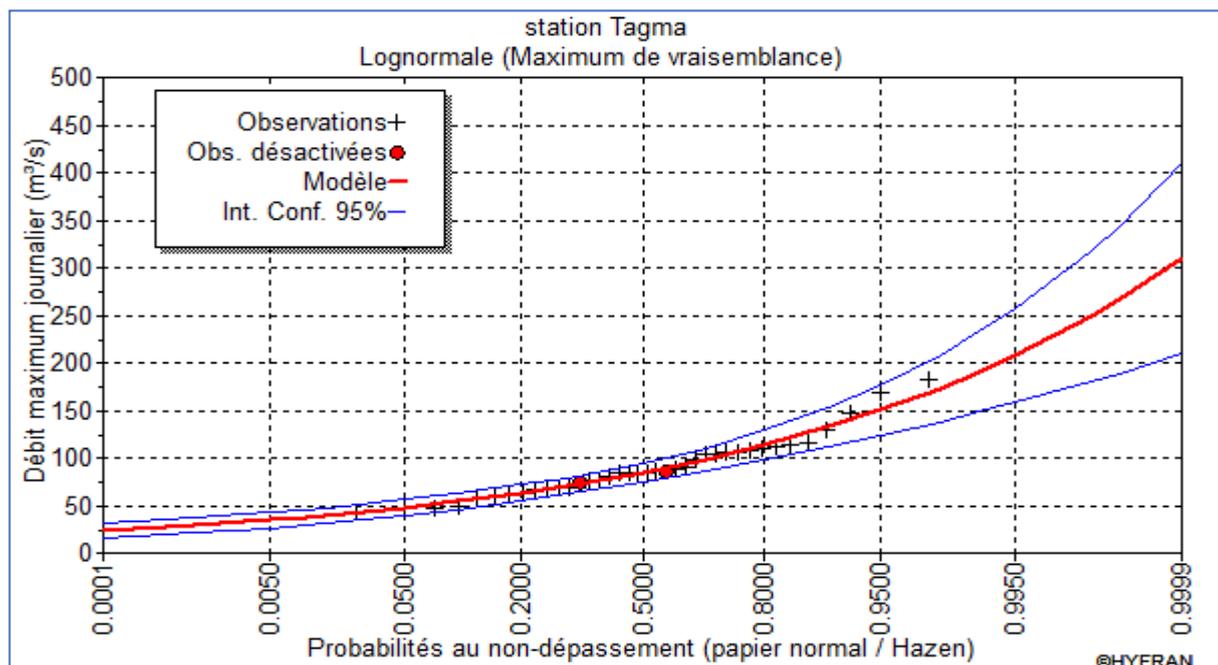


Figure (II.10) : Représentation graphique de la loi de log-normale (Galton).

B. Loi de GALTON (log-normale)

Nombre d'observations : 36

Paramètre : Mu : 4,43977, Sigma : 0,347776

Quantiles : $q = F(X)$ (probabilité au non dépassement), $T = 1 / (1-q)$.

Tableau (II.14) : Résultat de l'ajustement à la loi de Galton.

| T | Q | XT | écart type | intervalle de confiance |
|--------|--------|------|------------|-------------------------|
| 100000 | 0,9999 | 309 | 51,0 | 209 – 409 |
| 2000,0 | 0,9995 | 266 | 39,5 | 189 – 344 |
| 1000,0 | 0,9990 | 248 | 35,0 | 180 – 317 |
| 200,0 | 0,9950 | 208 | 25,3 | 158 – 257 |
| 100,0 | 0,9900 | 190 | 21,5 | 148 – 232 |
| 50,0 | 0,9800 | 173 | 17,9 | 138 – 208 |
| 20,0 | 0,9500 | 150 | 13,5 | 124 – 177 |
| 10,0 | 0,9000 | 132 | 10,4 | 112 – 153 |
| 5,0 | 0,8000 | 114 | 7,69 | 98,5 – 129 |
| 3,0 | 0,6667 | 98,4 | 5,97 | 86,7 – 110 |
| 2,0 | 0,5000 | 84,8 | 4,91 | 75,1 – 94,4 |

Tableau(II.15) : Comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon.

| Galton (Log -Normal) | Carac.de la loi | Carac.de l'échantillon |
|---------------------------------------|-----------------|------------------------|
| Minimum | 0,00 | 44 |
| Maximum | Aucun | 182 |
| Moyenne | 90 | 89,9 |
| Ecart – type | 32,2 | 32,2 |
| Médiane | 84,8 | 84,5 |
| Coefficient de variation (C_V) | 0,359 | 0,359 |
| Coefficient d'asymétrie (C_S) | 1,12 | 1 |
| Coefficient d'aplatissement (C_K) | 5,32 | 3,68 |

Conclusion :

D'après les deux schémas on a conclu que la pluie maximale journalière suit les lois log-normale (Galton), car tous les points sont à l'intérieur de l'intervalle de confiance et plus Proches de la droite de HENRY.

II.4.6.Apports liquides

L'estimation des apports liquides d'un cours d'eau se fait en général sur la base des données de mesure des stations hydrométriques implantées sur ce bassin.

Etant donné que nous sommes confrontés à une situation où la station hydrométrique de Azzefoun fournit par l'Agence National des Ressources Hydrauliques (ANRH) n'a pas été fonctionnelle d'une manière continue, on a utilisé des formules empiriques ; qui donnent tout de même des résultats avoisinants ceux obtenus à partir des mesures hydrométriques.

II.4.6.1.Calculs de l'apport annuel moyen**II.4.6.1.1.Formule de TURC [6]**

$$L_e = P_{moy} - D \dots\dots(II.18)$$

Avec :

- D : Déficit de l'écoulement en (mm) ;
- P_{moy} : Pluie moyenne annuel en (1176mm) ;
- L_e : Lamme d'eau écoulée en mm.

$$D = \frac{P_{moy}}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P_{moy}}{L}\right)^2}} \dots\dots(II.19)$$

$$L = 300 + 25 T_{moy} + 0,05(T_{moy})^3 \dots\dots(II.20)$$

Avec :

- L : Variable théorique ;
- T_{moy} : Température moyenne annuelle en (C°) ;
- $T_{moy}=17C^\circ$.

$$L_e = 764 \text{ mm.}$$

$$A_0 = 171,9 \text{ Mm}^3.$$

II.4.6.1.2. Formule de GAUTIER [6]

$$Le = 0.6P_{moy}(1 - 10^{-3.6P_{moy}^2}) \dots\dots (II.21)$$

$$L_e = 706 \text{ mm.}$$

$$A_0 = 158,85 \text{ Mm}^3.$$

II.4.6.1.3. Formule de MEDINGER [6]

$$Le = 1.024(p_{moy} - 0.26)^2 \dots\dots (II.22)$$

$$A_0 = Le.S \dots\dots (II.23)$$

$$L_e = 859 \text{ mm}$$

$$A_0 = 193,28 \text{ Mm}^3.$$

II.4.6.1.4. Formule d'I.N.R.H [6]

$$A_0 = 0,915.P^{2.624}.S^{0.842} \dots\dots (II.24)$$

$$A_0 = 134,88 \text{ Mm}^3.$$

$$L_e = 599 \text{ mm.}$$

II.4.6.1.5. Formule de DERRI (II) [6]

$$A_0 = 0.513P_{moy}^{(-2.683)}.D_d.S^{0.842} \dots\dots (II.25)$$

Avec :

Dd : Densité de drainage $D_d = 1,9$ (Km/Km²).

$$A_0 = 143,98 \text{ Mm}^3.$$

$$L_e = 640 \text{ mm.}$$

II.4.6.2. Calcul de module de l'écoulement

Le module de l'écoulement peut être calculé comme suite [8]:

$$Q(m^3 / s) = 10^6 \frac{(A_0)}{365.24.3600} \dots\dots (II.26)$$

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau (II.16) : Résultats obtenues pour le calcul l'âme d'eau, apports, débits.

| Les formules | Lame d'eau Le (mm) | Apport annuel (Mm ³) | Débit Q (m ³ /s) |
|--------------|--------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| TURC | 764 | 171,9 | 5,45 |
| GAUTIER | 706 | 158,85 | 5,03 |
| MEDINGER | 859 | 193,28 | 6,13 |
| INRH | 599 | 134,88 | 4,28 |
| DERRI II | 640 | 143,98 | 4,57 |
| Moyenne | 713,6 | 160,58 | 5,09 |

D'après les résultats trouvés en considère que :

- La lame d'eau de notre bassin versant est 714 mm ;
- L'apport annuel : 161 Mm³ ;
- Le débit moyen annuel est : 5,1 m³/s.

On conclue que l'apport de bassin versant est très important d'où un barrage sera très utile dans cette région.

II.4.6.3. Caractéristiques de l'écoulement

II.4.6.3.1. Module de l'écoulement [8]

$$Q = \frac{A_0}{T} \dots\dots(II.27)$$

Avec :

A₀ : Apport moyenne ;
T : Temps d'une année en seconde.

$$Q = 5,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

II.4.6.3.2. Module de l'écoulement relatif (spécifique) [8]

$$q = \frac{Q}{S} \dots\dots(II.28)$$

Avec :

Q : Débit de l'écoulement (m³/s) ;

$$q = 22,6 \text{ l} / (\text{s.Km}^2)$$

II.4.6.3.3. Coefficient de variance [7]

Pour ce coefficient, on utilise les différentes formules empiriques, voir le tableau ci-dessous :

Avec :

q : Module de l'écoulement relatif (22,6 l/S.Km²) ;
K : Coefficient de réduction (K = 0,025 ÷ 1) ;
M : Apport annuel moyen en (l/Km².s).

Tableau (II.17): Récapitulatif des résultats du coefficient de variation.

| Formule | Equation | Résultats |
|----------------|---|-----------|
| SOKOLOVSKI | $C_v = 0,78 - 0,29 \log(q) - 0,063 \log(S + 1)$ | 0,23 |
| ANTONOV | $C_v = \frac{0,83}{(S+1000)^{0,076}}$ | 0,48 |
| KRISTY MENHEL | $C_v = \frac{0,83}{q^{0,27} \cdot S^{0,06}}$ | 0,39 |
| PADOUN | $C_v = 0,93 \frac{k}{Q^{0,23}}$ | 0,45 |
| UKRGIPROVOKHOZ | $CV = \frac{0,70}{M^{0,125}}$ | 0,45 |

Le coefficient de variation est pris en prenant la moyenne des coefficients des quatre formules plus proche car celle de SOKOLOVSKI nous donne un C_v loin de la moyenne alors notre Coefficient de Variation est $C_v = 0,44$.

II.4.6.3.4.L'apport annuel fréquentiel [9]

$$A_F = \frac{A_0}{\sqrt{C_{vq}^2 + 1}} e^{-u_F \sqrt{\lg(C_{vq}^2 + 1)}} \dots\dots(II.29)$$

Avec :

C_v : coefficient de variation de l'apport annuelle, ($C_v = 0,44$) ;

A_0 : Apport moyen annuel, ($A = 161 \text{ Mm}^3$) ;

$A_{F(p)}$: Apport annuelle d'une période de retour donnée en Mm^3 ;

FND : Fréquence de non dépassement ; $FND = 1 - \frac{1}{T}$.

$$AF(p) = 147,7 \cdot e^{(0,42u)} \dots\dots(II.30)$$

Les résultats obtenus pour les périodes de retours sont données dans le tableau suivant :

Tableau (II.18) : Résultats pour le calcul de l'apport fréquentiel.

| Période de retour | 5/4 | 5 | 10 | 50 | 100 | 500 | 1000 | 10000 |
|-------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| FND | 0,2 | 0,8 | 0,9 | 0,98 | 0,99 | 0,998 | 0,999 | 0,9999 |
| U | -0,841 | 0,845 | 1,282 | 2,055 | 2,327 | 2,575 | 3,009 | 3,72 |
| $A_{f(p)\%}$ | 109,75 | 210,6 | 256,1 | 354,4 | 397,3 | 440,9 | 529,0 | 713,2 |

II.5 : Les crues

II.5.1.Détermination des crues maximum probable

Le débit maximum est estimé par des formules empiriques suivantes [8]:

II.5.1.1. Formule de MALLET GAUTHIER

$$Q_{max} \% = 2k \cdot \log(1+aP) \frac{S}{\sqrt{L}} \sqrt{1+4 \log T - \log S} \dots\dots (II.31)$$

Avec :

- $Q_{max} (\%)$: Débit maximum de crue de même fréquence que celle de la pluie de courte durée;
 k : Coefficient dépendant du bassin versant (2,0-3,0), adopté 2,5;
 a : Constant du bassin (20-30), adopté 25;
 T : Durée de retour.

Les résultats trouvés sont portés dans les tableaux suivants :

Tableau (II.19) : Résultats des débits maximums de la crue.

| T (an) | 5 | 10 | 20 | 100 | 200 | 1000 | 10000 |
|--|----------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|--------------|
| Q_{max} (m³/s) | 349 | 472,55 | 569,95 | 748,75 | 813,74 | 947,61 | 1111,44 |

II.5.1.2. Formule DE TURAZA

$$Q_{max} = \frac{P_{tc} SC}{3.6 T_c} \dots\dots (II.32)$$

Avec :

- C = Coefficient de ruissèlement : 0,8 pour notre B.V;
 P_{tc} : Pluies pendant le temps de concentration de fréquence donnée.

$$P_{tc} = P_{jmax} f(p) \left(\frac{T_c}{24}\right)^b \dots\dots (II.33)$$

b : Exposant de body = 0,47 ;

P_{jmax} : Pluie maximale journalière correspond a une fréquence donnée.

Tableau (II.20) : Résultats des débits maximums de la crue.

| T (an) | 5 | 10 | 20 | 100 | 200 | 1000 | 10000 |
|--|----------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|--------------|
| P_{jmax} f(p) | 114 | 132 | 150 | 190 | 208 | 248 | 309 |
| P_{tc} | 51 | 59 | 67 | 85 | 93 | 111 | 139 |
| Q_{max} (m³/s) | 586,47 | 679,07 | 771,67 | 977,45 | 1070,06 | 1275,84 | 1589,65 |

II.5.1.3. Formule de SOKOLOVSKY

$$Q_{max} = \frac{0.28 P_{tc} a S}{T_c} (f) \dots\dots (II.34)$$

Avec :

- a : Coefficient du Bassin Versant : 0,65 ;
 (f) : Forme de l'hydrographe 1,2.

Tableau (II.21) : Résultats des débits maximums de la crue.

| T (an) | 5 | 10 | 20 | 100 | 200 | 1000 | 10000 |
|--|----------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|--------------|
| Q_{max} (m³/s) | 576,38 | 667,39 | 758,40 | 960,64 | 1061,65 | 1253,89 | 1262,30 |

Vu les résultats obtenus on a opté pour ceux de la méthode de TURAZA car il nous semble que leur résultats sont moyens, En plus ces résultats en été comparé avec l'étude effectuée par le Bureau d'étude dar (AL ANDASSA) sur le barrage de Sidi Khelifa.

II.5.2. Construction des Hydrogrammes de Crue [9]

La méthode de SOKOLOVSKY assimile l'hydrogramme de crues à deux équations paraboliques, l'une pour la montée et l'autre pour la décrue.

- **Montée de la crue:**

$$Q_m = Q_{\max} \left(\frac{t}{t_m} \right)^x \dots\dots (II.35)$$

- **La décrue:**

$$Q_d = Q_{\max} \left(\frac{t_d - t}{t_d} \right)^y \dots\dots (II.36)$$

Avec :

Q_m : Débit instantané de la montée (m³/s) ;

Q_d : Débit instantané de la décrue (m³/s) ;

t_m : Temps de la montée de la crue en heures ;

t_d : Temps de la décrue en heures ;

Q_{\max} : Débit maximum de la crue de fréquence considérée en (m³/s) ;

x,y:Puissance de la courbe (x=2 montée de la crue, et y=3 la décrue);

$T_m = T_c$; Temps de concentration = 4.36h;

$T_d = T_m \quad \alpha=2$.

Les résultats trouvés sont portés dans le tableau suivant :

Tableau (II.22) : Hydrogramme de crue cas monté.

| Temps(h) | Périodes de retour | | | | | | | Débit (m ³ /s) |
|----------|--------------------|--------|--------|--------|----------|----------|----------|---------------------------|
| | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 1 000 | 10 000 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0,5 | 7,71 | 8,93 | 10,15 | 12,85 | 14,07 | 16,78 | 20,91 | |
| 1 | 30,85 | 35,72 | 40,59 | 51,42 | 56,29 | 67,12 | 83,62 | |
| 1,5 | 69,42 | 80,38 | 91,34 | 115,69 | 126,65 | 151,01 | 188,15 | |
| 2 | 123,41 | 142,89 | 162,37 | 205,68 | 225,16 | 268,46 | 334,49 | |
| 2,5 | 192,82 | 223,27 | 253,71 | 321,37 | 351,82 | 419,47 | 522,65 | |
| 3 | 277,66 | 321,5 | 365,34 | 462,77 | 506,61 | 604,04 | 752,61 | |
| 3,5 | 377,93 | 437,6 | 497,27 | 629,88 | 689,56 | 822,17 | 1 024,39 | |
| 4 | 493,62 | 571,56 | 649,5 | 822,7 | 900,65 | 1 073,85 | 1 337,98 | |
| 4,36 | 586,47 | 679,07 | 771,67 | 977,45 | 1 070,06 | 1 275,84 | 1 589,65 | |

Tableau (II.23) : Hydrogramme de crue cas décrué.

| | | T = Période de retour | | | | | | |
|----------|--------|------------------------------|--------|--------|----------|----------|----------|--------------|
| Temps(h) | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 1 000 | 10 000 | |
| 0 | 586,47 | 679,07 | 771,67 | 977,45 | 1 070,06 | 1 275,84 | 1 589,65 | Débit (m³/s) |
| 0,5 | 491,26 | 568,83 | 646,39 | 818,77 | 896,34 | 1 068,72 | 1 331,58 | |
| 1 | 406,96 | 471,21 | 535,47 | 678,26 | 742,52 | 885,32 | 1 103,07 | |
| 1,5 | 332,9 | 385,46 | 438,02 | 554,83 | 607,39 | 724,2 | 902,33 | |
| 2 | 268,41 | 310,79 | 353,18 | 447,36 | 489,74 | 583,92 | 727,55 | |
| 2,5 | 212,85 | 246,45 | 280,06 | 354,74 | 388,36 | 463,04 | 576,93 | |
| 3 | 165,53 | 191,67 | 217,81 | 275,89 | 302,03 | 360,11 | 448,68 | |
| 3,5 | 125,81 | 145,67 | 165,54 | 209,68 | 229,55 | 273,69 | 341,01 | |
| 4 | 93,01 | 107,69 | 122,38 | 155,01 | 169,7 | 202,34 | 252,1 | |
| 4,5 | 73,31 | 84,88 | 96,46 | 122,18 | 133,76 | 159,48 | 198,71 | |
| 5 | 50,87 | 58,9 | 66,93 | 84,78 | 92,82 | 110,66 | 137,88 | |
| 5,5 | 33,55 | 38,85 | 44,15 | 55,92 | 61,22 | 72,99 | 90,94 | |
| 6 | 11,63 | 13,46 | 15,3 | 19,38 | 21,21 | 25,29 | 31,51 | |
| 6,5 | 5,69 | 6,59 | 7,49 | 9,49 | 10,38 | 12,38 | 15,43 | |
| 7 | 2,22 | 2,58 | 2,93 | 3,71 | 4,06 | 4,84 | 6,03 | |
| 7,5 | 0,56 | 0,65 | 0,74 | 0,94 | 1,03 | 1,22 | 1,52 | |
| 8 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,11 | |
| 8,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

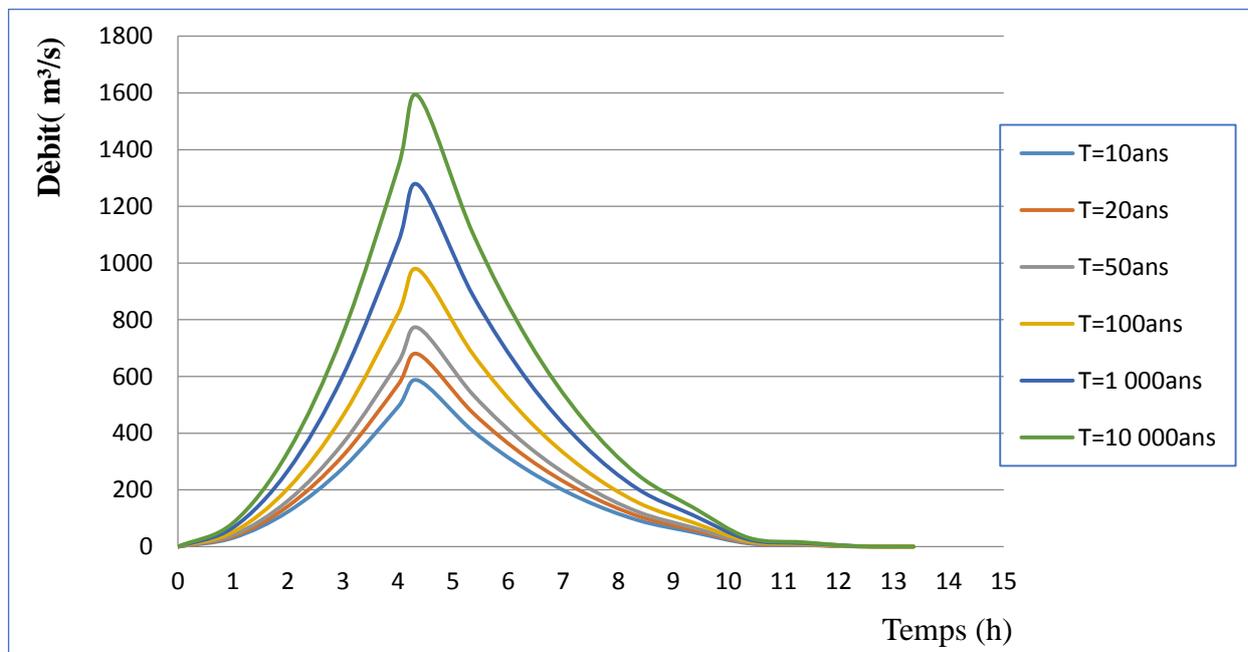


Figure (II.11) : Hydrogramme de crue pour différentes périodes de retour.

II.5.3.Choix de la fréquence de la crue

Le choix de la crue dépend essentiellement de l'importance de l'ouvrage à réaliser, des conséquences pouvant être cause à l'aval et des considérations techno-économique liées à l'aménagement et à son environnement [2].

Autrement dit, il s'agit de chercher un compromis optimum entre l'aspect économique de la construction et les risques encourus à l'aval, alors pour son estimation nous nous reportons à la recommandation de Comité National Australienne des Grandes Barrages (CNAGB) [2].

Tableau (II.24) : Catégories des dommages résultants des crues.

| <i>Recommandations du Comité National Australien des Grands Barrages</i> | | |
|--|---|---|
| Dommages élevés | Dommages importants | Dommages faibles |
| Pertes de vie envisagées en raison de la fréquence de la population ou d'autre centre d'activité à l'aval. | Pas de pertes de vies envisagées mais la possibilité existe toute fois. Pas de développement urbain et nombre limité d'édifices à l'aval. | Pas de pertes de vies envisagées. |
| Pertes économiques considérables : dommages à des entreprises industrielles, commerciales ou agricoles, des édifices publics et des centres d'habitation, dommage au barrage lui-même et à d'autres réservoirs à l'aval. | Pertes économiques appréciables. Dommages à des édifices publics importants, au barrage lui-même et à d'autres réservoirs à l'aval. | Pertes économiques minimales. Bâtiments agricoles, terres et chemin vicinaux. |
| Le barrage est essentiel à l'activité économique et les réparations ne sont pas possibles. | Réparation possible du barrage. Disponibilité des sources de secours pour la fourniture en eau ou en électricité. | Réparation du barrage possible, pertes indirectes faibles. |

Tableau (II.25) : Crues de projet recommandé.

| Catégorie des dommages | Crue de projet recommandé Probabilité de dépassement annuel |
|--|--|
| Elevés – perte de vie - dommages considérables | 1/100000 à 1/10000 |
| Importants– pas de pertes de vies - dommages importants | 1/10000 à 1/1000 |
| Faibles - pas de perte de vies - dommages légers | 1/1000 à 1/100 |

Afin d'éliminer le maximum de dégâts causés par les crues, et vu que notre barrage sera construit en terre dont le risque de submersion est présent, nous optons pour une crue de projet de probabilité de dépassement annuelle de 1 / 10000.

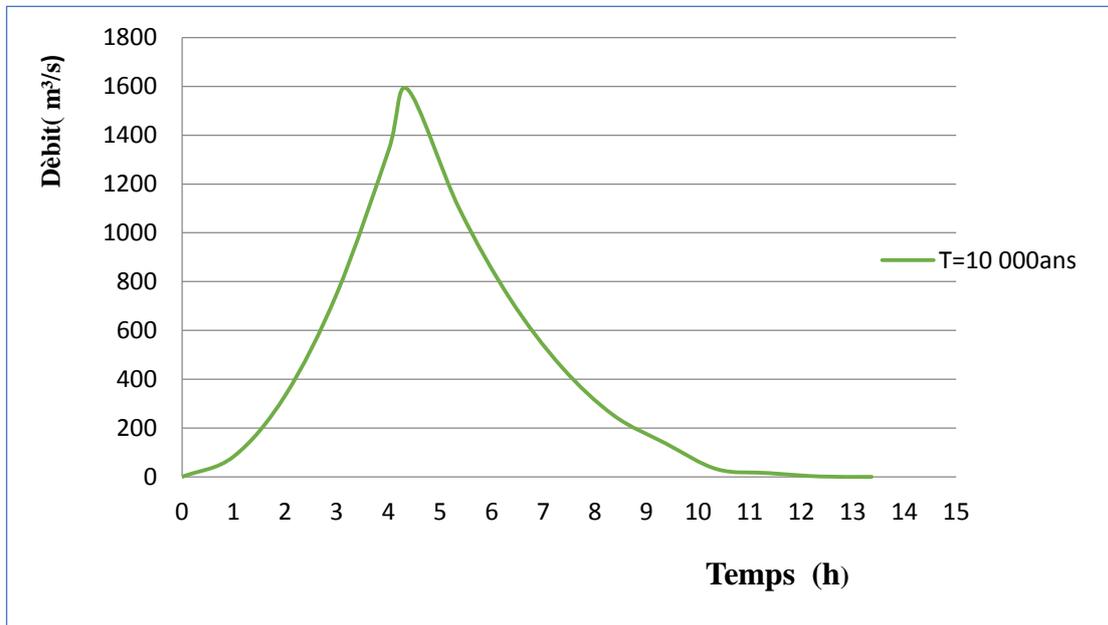


Figure (II.12) : Hydrogramme de crue de projet.

II.6. Apport solide et estimation de volume mort

II.6.1. Apport solide

L'évaluation de l'envasement est indispensable pour illustrer l'ampleur du comblement au niveau du barrage de Sidi Khelifa.

Les apports solides sont importants en Algérie et sont soumis à des précipitations mal réparties dans l'année, de plus l'érosion est intensive.

L'absence de mesures du transport solide sur l'oued Sidi Ahmed Youcef nous contraint à avoir recours aux méthodes empiriques [6] :

II.6.1.1. Formule de TIXERONT [6]

$$T_s = a.L_0^{0.15} \dots (II.36)$$

Avec :

T_s : Le transport solide en (t/Km²/an) ;

L_0 : La lame écoulée (714 mm) ;

α : Paramètre caractérisant la perméabilité du bassin versant, $\alpha=350$ (à moyenne perméabilité).

$$T_s = 983,22 \text{ t/Km}^2/\text{an}.$$

L'apport solide annuel est donné par:

$$Q_a = T_s \cdot S \dots (II.37)$$

$$Q_a = 221224,5 \text{ t/an}.$$

II.6.1.2. Formule de SOGREAH [6]

$$T_s = a.P^{0.15} \dots (II.38)$$

Avec :

Pmoy: pluie moyenne annuelle 1176mm.

$$\begin{aligned} T_s &= 1010,72 \text{ t/Km}^2/\text{An.} \\ Q_a &= 227412 \text{ t/an.} \end{aligned}$$

Les résultats des deux méthodes sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau (II.26) : Résultats trouvés pour les deux formules.

| Formule | Transport solide T_s (t/Km ² /an) | Apport solide Q_s (t/an) |
|-----------------|--|----------------------------|
| TIXERONT | 938,22 | 221224,5 |
| SOGREAH | 1010,72 | 227412 |

Pour donner la valeur finale de l'apport solide on fait la moyenne des apports trouvés dans les deux formules.

Donc :

$$Q_s = 22431825,25 \text{ t/an} \quad \text{d'où} \quad T_s = 996,97 \text{ t/Km}^2/\text{an}$$

II.6.2. Volume mort

Ce paramètre est donné par la formule suivante [6]:

$$V_m = \frac{T_s \cdot S \cdot T_f \cdot m}{\gamma_s} \dots (II.39)$$

Avec :

- T_s : Transport solide, 996,97 t/Km²/An ;
- T_f : Durée de fonctionnement de barrage, 50ans ;
- m : Pourcentage d'alluvion restant dans le lac, 60% ;
- γ_s : Poids spécifiques des sédiments : ($\gamma_s = 1.4 \text{ t / m}^3$).

$$V_m = 4,81 \text{ Mm}^3.$$

Le transport solide dans le site du barrage est très important, ce dernier est causé par le charriage des particules causées par les fortes précipitations sur le bassin versant, d'où on prévoit un système de dévasement pour réduire de transport solide afin de protéger l'ouvrage.

II.7. Qualité de l'eau

Les eaux de l'oued Sidi Ahmed Youcef sont d'une assez bonne qualité minérale résulte de faible développement de bassin versant qui est essentiellement caractérisé par une couverture végétale sauvage, par contre ces terres faiblement cultivées ou industrialisées, et les précipitations moyennes non négligeable dans la zone jouent certainement un rôle important en diminuant les pollutions locales.

Les analyses effectuées ont montré une absence totale de métaux lourds : les eaux sont moyennement à fortement minéralisées, propre sur le point physique et bactériologiquement moyennes à mauvaises, selon la classification des normes internationales (OMS, France, Algérie).

Ainsi, les eaux sont tout a fait adaptées à l'exploitation de barrage ; les eaux destinées à l'AEP doivent bien entendu faire l'objet d'un traitement préalable avant distribution.

Conclusion

L'étude des caractéristiques de bassin versant de Sidi Khelifa nous conduit a déduire que ceci est un bassin versant de forme allongée et de relief très fort.

Les caractéristiques climatiques sont très importantes qui mènent au remplissage de notre cuvette, avec un apport annuel mesuré de 161 Mm³ et une précipitation annuelle de 1176mm on peut déduire que c'est vraiment important de construire un barrage à ce niveau,

L'étude des crues nous a conduits à conclure que le bassin versant de Sidi Khelifa caractérisé par des débits de crues très importants.

Le débit maximal de crue qui sera pris en compte pour l'étude de laminage est la crue, Q : 1/10 000 .

En effet, l'étude de transport solide nous a permis d'évaluer le taux d'érosion du bassin versant de Sidi Khelifa, et d'estimer le volume mort de réservoir, ce paramètre est nécessaire aussi pour les travaux d'aménagement du bassin versant afin d'augmenter la durée de vie de barrage et limiter au minimum le phénomène d'envasement.

Le volume mort a été estimé dans le bassin versant à 4.81 Mm³, pour une période d'exploitation de 50 ans, avec un poids spécifique de 1,4t/m³. La qualité de l'eau destinée à l'alimentation doit être traité convenablement.

En fin les résultats trouvés, nous pouvons conclure que pour répondre aux besoins de la population, on doit entamer un chapitre pour l'étude de régularisation.

CHAPITRE II :

ETUDE DE REGULARISATION

Introduction

La régularisation de l'écoulement fluvial est la répartition de celui-ci dans le temps d'une façon régulière pour compenser les déficits de la demande.

On distingue la régularisation (saisonniers) quand l'écoulement annuel d'une fréquence donnée peut couvrir la demande en eau durant une année et aussi les pertes d'eau du barrage. Ce type de régularisation permet de déterminer une restitution en eau optimale qui est destinée à satisfaire des besoins limités.

Si l'écoulement annuel d'une fréquence donnée est inférieure à la somme de la demande exigée et des pertes d'eau, il devient impératif de faire appel à la régularisation interannuelle, c'est à dire pour satisfaire les besoins d'une année quelconque, il faut prendre une partie de l'écoulement des années précédentes déjà stockées dans le volume interannuel

Pour notre cas, on va effectuer une régularisation saisonnière puisque les apports sont supérieurs à la demande.

Les paramètres qu'on doit avoir pour pouvoir faire le calcul de la régularisation sont [8]:

- La répartition mensuelle de la demande en eau AEP + Irrigation.
- La répartition mensuelle de l'apport ($A_{80\%}$ Mm^3).
- La répartition mensuelle des infiltrations et d'évaporations.
- Les courbes caractéristiques de la retenue.

III.1. La répartition mensuelle de la demande en eau AEP + Irrigation

Tableau (III.1) : La répartition mensuelle des besoins en eau AEP+Irrigation

| mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A |
|------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|---|
| AEP | 4,55 | 3,28 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,46 | 3,3 | 3,7 | 4,2 | 4,5 | 5 |
| IRR | 3,64 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,42 | 1,2 | 3 | 3,4 | 4 | 4 |

Source (ANBT)

III.2. La répartition mensuelle de l'apport ($A_{80\%}$ Mm^3)

L'apport $A_{80\%}$ annuelle est déjà calculé dans le chapitre 2 Tableau (II.18). On a utilisé la pluie mensuelle afin de déterminer l'apport mensuel, les résultats obtenus sont comme suit :

Tableau (III.2) : Répartition mensuelle de l'apport.

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | Tot |
|-----------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|--------|
| Pluie | 52,3 | 93,5 | 144,4 | 196,3 | 164,6 | 150,4 | 141,6 | 126,2 | 76,1 | 13,6 | 6,9 | 10,1 | 1176 |
| A % | 4,45 | 7,95 | 12,28 | 16,69 | 14,00 | 12,79 | 12,04 | 10,73 | 6,47 | 1,16 | 0,59 | 0,86 | 100,00 |
| $A_{80\%}$ (Mm^3) | 4,61 | 8,25 | 12,74 | 17,32 | 14,52 | 13,27 | 12,49 | 11,13 | 6,71 | 1,20 | 0,61 | 0,89 | 103,75 |

III.3. La courbe caractéristique de la retenue (Hauteurs- Surfaces –Volumes)

La courbe H.S.V a été déterminée à partir des levés topographiques à 1/5000. Les résultats trouvés nous ont été fournis par (ANBT).

La courbe Hauteurs-Capacités-Surface nous renseigne, d'une part sur les variations du volume de la retenue en fonction de la cote de la retenue normale et d'autre part la variation de la surface submergée de la retenue en fonction de la cote du plan d'eau.

La cote minimale relevée est de 25m et la cote maximale de 70m.

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

$$\Delta V_i = \frac{S_i + S_{i+1}}{2} \Delta H \dots\dots (III.1)$$

$$\Delta V_i = \frac{2}{3} S_i \Delta H \dots\dots (III.2)$$

Les résultats trouvés sont donnés comme suivants :

Avec :

S_i : Surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau H_i en m^2 ;

S_{i+1} : Surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau H_{i+1} en m^2 ;

ΔH : Différence d'altitude entre les deux courbes de niveau successives ;

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

Les résultats trouvés sont donnés comme Suits, voir le tableau dans l'annexe :

Tableau (III.3): Caractéristiques topographique de la retenue.

| Hauteurs | Cote NGA (m) | Δh [m] | Surface (Km ²) | V_i (Mm ³) | Volume (Mm ³) |
|----------|--------------|----------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 0 | 24 | 0 | - | 0 | 0 |
| 2 | 27 | 2 | 0,06 | 0,06 | 0,06 |
| 4 | 29 | 2 | 0,10 | 0,16 | 0,22 |
| 6 | 31 | 2 | 0,22 | 0,41 | 0,57 |
| 8 | 33 | 2 | 0,28 | 0,66 | 1,07 |
| 10 | 35 | 2 | 0,45 | 1,08 | 1,74 |
| 12 | 37 | 2 | 0,53 | 1,64 | 2,72 |
| 14 | 39 | 2 | 0,61 | 2,22 | 3,86 |
| 16 | 41 | 2 | 0,90 | 3,26 | 5,48 |
| 18 | 43 | 2 | 0,98 | 4,09 | 7,35 |
| 20 | 45 | 2 | 1,15 | 5,34 | 9,43 |
| 22 | 47 | 2 | 1,24 | 6,49 | 11,83 |
| 24 | 49 | 2 | 1,34 | 7,92 | 14,41 |
| 26 | 51 | 2 | 1,48 | 9,33 | 17,25 |
| 28 | 53 | 2 | 1,57 | 10,97 | 20,3 |
| 30 | 55 | 2 | 1,70 | 12,59 | 23,56 |
| 32 | 57 | 2 | 1,79 | 14,47 | 27,06 |
| 34 | 59 | 2 | 1,88 | 16,26 | 30,73 |
| 36 | 61 | 2 | 2,00 | 18,35 | 34,61 |
| 38 | 63 | 2 | 2,10 | 20,36 | 38,71 |
| 40 | 65 | 2 | 2,22 | 22,66 | 43,02 |
| 42 | 67 | 2 | 2,32 | 24,89 | 47,55 |
| 44 | 69 | 2 | 2,42 | 27,99 | 52,88 |
| 46 | 70 | 2 | 2,48 | 26,74 | 54,73 |

III.3.1. Traçage des courbes

III.3.1.1. Courbe Surface - Hauteur

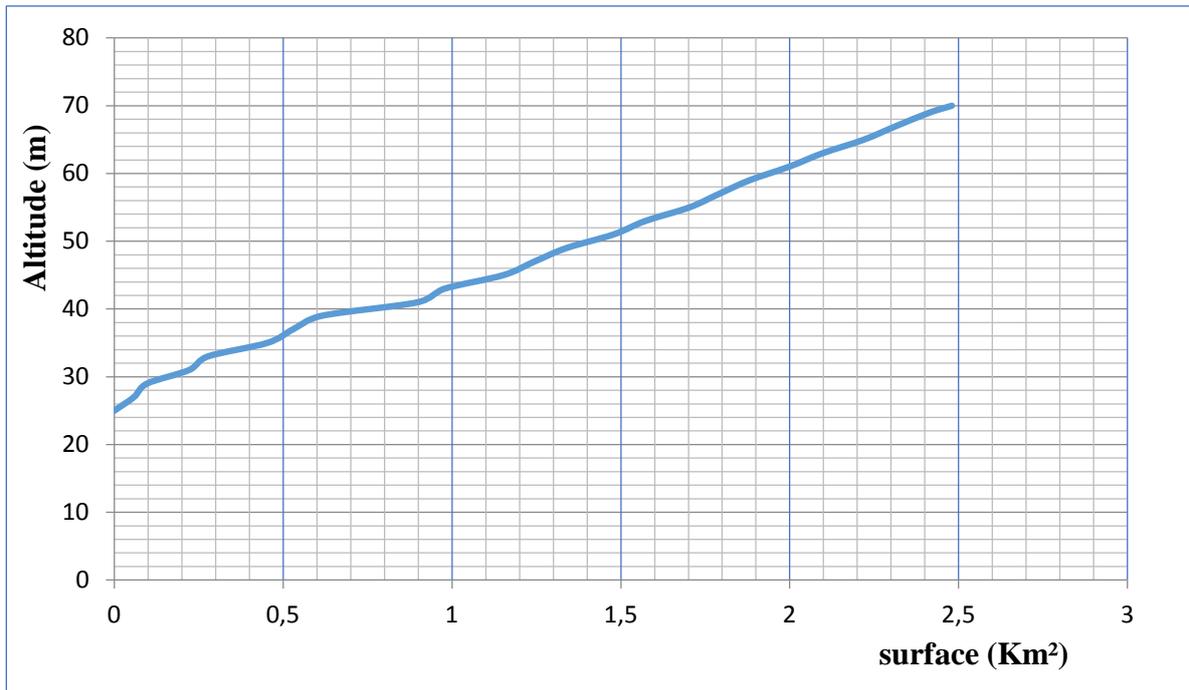


Figure (III.1) : Courbe Surface-Hauteur.

III.3.1.2. Courbe Volume- Hauteur

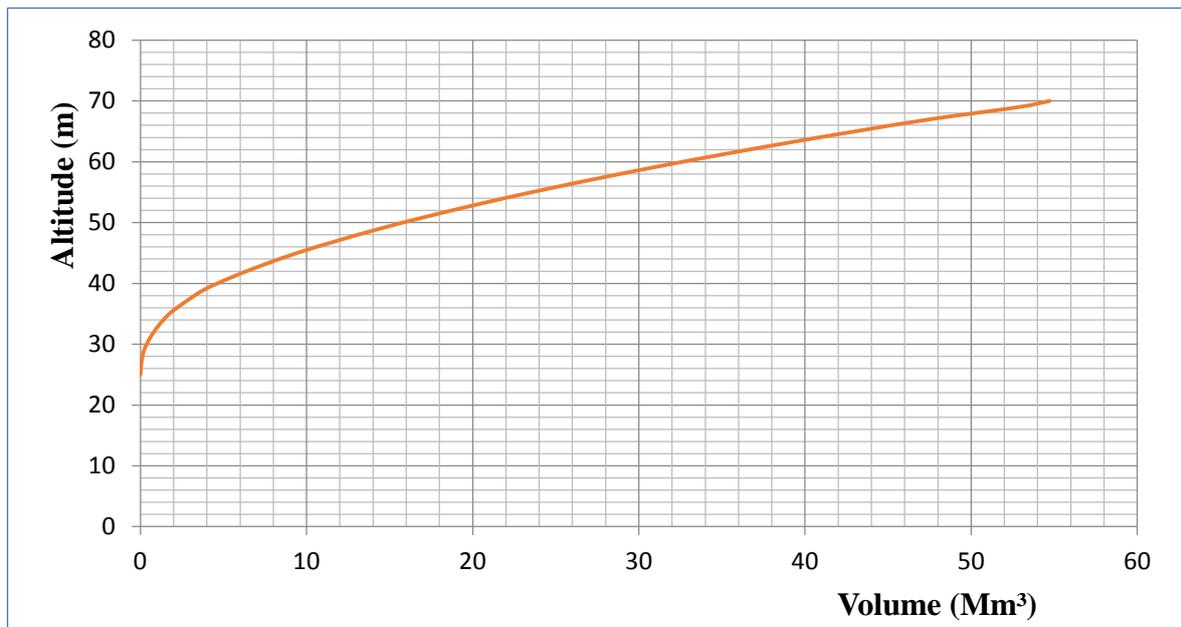


Figure (III.2) : Courbe Volume-Hauteur.

III.4. Calcul du volume utile

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

- ✓ L'apport annuel $A_{80\%}$.
- ✓ La consommation totale.
- ✓ Le volume mort de la retenue.

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

III.4.1.Procédé de calcul [8]

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

Le calcul de volume utile est donné dans le tableau suivant :

Tableau (III.4) : Le volume utile de la retenue.

| Mois | $A_{80\%}$ [Mm ³] | $U_{80\%}$ [Mm ³] | A-U [Mm ³] | V [Mm ³] |
|------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------------------|
| O | 8,25 | 4,28 | 3,97 | $V_s = 68,48$ |
| N | 12,75 | 2,4 | 10,35 | |
| D | 17,32 | 2,4 | 14,92 | |
| J | 14,52 | 2,4 | 12,12 | |
| F | 13,27 | 2,4 | 10,87 | |
| M | 12,49 | 2,88 | 9,61 | |
| A | 11,13 | 4,5 | 6,63 | |
| M | 6,71 | 6,7 | 0,01 | $V_d = 26,06$ |
| J | 1,20 | 7,6 | -6,40 | |
| J | 0,61 | 8,5 | -7,89 | |
| A | 0,81 | 9 | -8,19 | |
| S | 4,61 | 8,19 | -3,58 | |

Tableau (III.5): Régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes en (Mm³).

| Mois | A _{80%} [Mm ³] | U _{80%} [Mm ³] | A-U [Mm ³] | 1 ^{er} consigne | | |
|------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| | | | | V _{ri} [Mm ³] | V _{rf} [Mm ³] | S [Mm ³] |
| O | 8,25 | 4,28 | 3,97 | 4,81 | 4,81 | |
| | | | | 8,78 | 8,78 | |
| N | 12,75 | 2,4 | 10,35 | 19,13 | 19,13 | |
| | | | | 34,05 | 30,87 | 3,18 |
| D | 17,32 | 2,4 | 14,92 | 42,99 | 30,87 | 12,12 |
| | | | | 41,74 | 30,87 | 10,87 |
| J | 14,52 | 2,4 | 12,12 | 40,48 | 30,87 | 9,61 |
| | | | | 37,5 | 30,87 | 6,63 |
| F | 13,27 | 2,4 | 10,87 | 30,88 | 30,87 | 0,01 |
| | | | | 24,47 | 24,47 | |
| M | 12,49 | 2,88 | 9,61 | 16,58 | 16,58 | |
| | | | | 8,39 | 8,39 | |
| A | 11,13 | 4,5 | 6,63 | 4,81 | 4,41 | ΣS=42,42 |
| | | | | 30,88 | 30,87 | 0,01 |
| M | 6,71 | 6,7 | 0,01 | 24,47 | 24,47 | |
| | | | | 16,58 | 16,58 | |
| J | 1,2 | 7,6 | -6,40 | 8,39 | 8,39 | |
| | | | | 4,81 | 4,41 | ΣS=42,42 |
| J | 0,61 | 8,5 | -7,89 | 16,58 | 16,58 | |
| | | | | 8,39 | 8,39 | |
| A | 0,81 | 9 | -8,19 | 4,81 | 4,41 | ΣS=42,42 |
| | | | | 30,88 | 30,87 | 0,01 |
| S | 4,61 | 8,19 | -3,58 | 24,47 | 24,47 | |
| | | | | 16,58 | 16,58 | |

Avec :V_{rf} : Volume de remplissage final ;V_{ri} : Volume de remplissage initial ;

S : Volume excédentaire à évacuer.

V_{rf} = V_{ri} + (A_{80%}-U_{80%}) ;

A : Les apports mensuels ;

U : La demande mensuelle en eau pour AEP + Irrigation.

III.4.1.1. Régularisation saisonnière (sans tenir compte des pertes) [10]

Les résultats de calcul de la régularisation saisonnière sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Du tableau (III.3) on a :

$$\begin{aligned} V_s &= 68,48 \text{ Mm}^3 \\ V_d &= 26,06 \text{ Mm}^3 \end{aligned}$$

$V_s > V_d$ **Donc** : la retenue fonctionne à un seul temps.

D'ou : $V_u = V_d$ **Alors** : $V_u = 26,06 \text{ Mm}^3$

Le volume de la retenue normale sera :

$$V_{NNR} = V_u + V_m \dots\dots(III.3)$$

D'où :

$$V_{NNR} = 30,87 \text{ Mm}^3 \dots\dots\dots NNR = 60 \text{ m NGA.}$$

III.4.1.2. Régularisation saisonnière (en tenant compte des pertes) [10]

Les pertes dans la retenue sont à deux sortes :

- ✚ Pertes par évaporations.
- ✚ Pertes par infiltrations.

III.4.1.2.1. Pertes par évaporations

$$V_{ep} = E_s \cdot S_{moy} \dots\dots(III.4)$$

Avec :

- V_{ep} : Volume perdu a cause de l'évaporation ;
- E_s : Evaporation mensuelle (m);
- S_{moy} : Surface du plan d'eau correspond au volume moyen (V_{moy}) ;
- V_{moy} : Volume moyen.

$$V_{moy} = \left[\frac{V_{rf,i} + V_{rf,i+1}}{2} \right] \dots\dots(III.5)$$

$V_{rf,i}$ et $V_{rf,i+1}$: Volume de la retenue de deux mois successifs.

III.4.1.2.2. Pertes par infiltrations

Le volume mensuel des pertes par infiltrations est donné par :

$$V_{inf} = \frac{\delta \cdot V_{moy}}{100} \dots\dots(III.6)$$

- V_{inf} : Volume perdu à cause de l'infiltration ;
- δ : Coefficient dépendant des conditions hydrogéologiques de la cuvette déterminer d'après le tableau (III.5) ;
- V_{moy} : Volume moyen ;
- $V_{rf,i}$ et $V_{rf,i+1}$: Les volumes de la retenue de deux mois successifs .

Tableau (III.6) : Valeurs de δ en fonction des conditions hydrogéologiques

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

Pour notre sol, qui est faible de perméabilité en opte pour un $\delta = 0,5$.

Les résultats des calculs de V évaporé, V infiltré, et Volume utile sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau (III.7) : Le volume utile de la retenue.

| Mois | A _{80%} | Irr _{80%} | AEP _{95%} | U | V _{rf} [Mm ³] | V _{moy} [Mm ³] | S _{moy} [Km ²] | E _c (m) | V _{év} [Mm ³] | V _{in} [Mm ³] | U' [Mm ³] | A-U-U' |
|----------|------------------|--------------------|--------------------|------|---------------------------------------|--|--|--------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|--------|
| O | 8,25 | 1 | 3,28 | 4,28 | 4,81 | 6,795 | 0,38 | 0,09 | 0,019 | 0,033 | 0,053 | 3,92 |
| N | 12,75 | 0 | 2,4 | 2,4 | 8,78 | 13,955 | 0,54 | 0,05 | 0,027 | 0,069 | 0,097 | 10,25 |
| D | 17,32 | 0 | 2,4 | 2,4 | 19,13 | 25 | 0,62 | 0,05 | 0,031 | 0,125 | 0,156 | 14,76 |
| J | 14,52 | 0 | 2,4 | 2,4 | 30,87 | 30,87 | 0,65 | 0,05 | 0,039 | 0,154 | 0,193 | 11,93 |
| F | 13,27 | 0 | 2,4 | 2,4 | 30,87 | 30,87 | 0,65 | 0,06 | 0,039 | 0,154 | 0,193 | 10,68 |
| M | 12,49 | 0,42 | 2,46 | 2,88 | 30,87 | 30,87 | 0,65 | 0,06 | 0,039 | 0,154 | 0,193 | 9,42 |
| A | 11,13 | 1,2 | 3,3 | 4,5 | 30,87 | 30,87 | 0,65 | 0,06 | 0,045 | 0,154 | 0,200 | 6,43 |
| M | 6,71 | 3 | 3,7 | 6,7 | 30,87 | 30,87 | 0,65 | 0,07 | 0,065 | 0,154 | 0,219 | -0,21 |
| J | 1,2 | 3,4 | 4,2 | 7,6 | 30,87 | 27,67 | 0,65 | 0,1 | 0,084 | 0,138 | 0,223 | -6,62 |
| J | 0,61 | 4 | 4,5 | 8,5 | 24,47 | 20,525 | 0,635 | 0,13 | 0,107 | 0,102 | 0,211 | -8,1 |
| A | 0,81 | 4 | 5 | 9 | 16,58 | 12,485 | 0,49 | 0,17 | 0,060 | 0,062 | 0,123 | -8,11 |
| S | 4,61 | 3,64 | 4,55 | 8,19 | 8,39 | 6,4 | 0,4 | 0,124 | 0,049 | 0,032 | 0,082 | -3,54 |

Avec :

A_{80%} : Apport fréquentiel ;

Irr_{80%} : Demande en eaux irrigation ;

AEP : Demande en eaux pour adduction ;

U : Irr+AEP ;

V_{rf} : Volume d'eau dans la retenue final ;

U' : V_{inf}+V_{evp}.

Tableau (III.8) : Régularisation saisonnière en tenant compte les pertes.

| Mois | A [Mm ³] | U [Mm ³] | U' [Mm ³] | A-U-U' [Mm ³] | 1 ^{er} consigne | | |
|------|----------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| | | | | | V _{ri} [Mm ³] | V _{rf} [Mm ³] | S [Mm ³] |
| O | 8,25 | 4,28 | 0,053 | 3,92 | 4,81 | 4,81 | |
| N | 12,75 | 2,4 | 0,097 | 10,25 | 8,73 | 8,73 | |
| D | 17,32 | 2,4 | 0,156 | 14,76 | 18,98 | 18,98 | |
| J | 14,52 | 2,4 | 0,193 | 11,93 | 33,74 | 31,4 | 2,34 |
| F | 13,27 | 2,4 | 0,193 | 10,68 | 43,33 | 31,4 | 12 |
| M | 12,49 | 2,88 | 0,193 | 9,42 | 42,08 | 31,4 | 11,04 |
| A | 11,13 | 4,5 | 0,200 | 6,43 | 40,82 | 31,4 | 9,42 |
| M | 6,71 | 6,7 | 0,219 | -0,21 | 37,83 | 31,4 | 6,43 |
| J | 1,2 | 7,6 | 0,223 | -6,62 | 31,19 | 31,19 | |
| J | 0,61 | 8,5 | 0,211 | -8,10 | 24,57 | 24,57 | |
| A | 0,81 | 9 | 0,123 | -8,11 | 16,47 | 16,47 | |
| S | 4,61 | 8,19 | 0,083 | -3,54 | 8,36 | 8,36 | |
| | | | | | 4,8 | | ∑S=41,32 |

U' : Le volume de l'infiltration + l'évaporation.

III.4.1.3. Estimation de l'erreur :

Les volumes des pertes sont considérés comme une consommation pour ces calculs on doit vérifier la condition suivant :

$$1\% < \varepsilon < 2\%$$

D'après le tableau on a :

$$V_s = 67,39 \text{ Mm}^3. \quad \text{Et} \quad V_d = 26,58 \text{ Mm}^3.$$

Donc la retenue fonctionne à un seul temps, on remarque aussi que l'excédent d'eau est plus grand que le déficit, donc :

$$V_u = V_d = 26,58 \text{ Mm}^3.$$

$$\varepsilon = \frac{V'_u - V_u}{V_u} \cdot 100 \dots \dots (III.7)$$

Avec :

V_u : Volume utile sans tenir compte des pertes ;

V'_u : Volume utile en tenant compte des pertes.

$$\varepsilon = 1,99 \text{ \%}.$$

La condition est vérifiée

Alors :

Le volume de la retenue normale sera :

$$V_{NNR} = V_u + V_m \dots \dots (III.8)$$

$$V_{NNR} = 31,4 \text{ Mm}^3 \dots \dots \dots \text{NNR} = 61 \text{ m NGA}.$$

Conclusion

Selon les résultats trouvés de l'étude de régularisation, avec un volume utile de 26,58 Mm³ et un volume normal de la retenue de 31 Mm³ on peut dire que la satisfaction en eaux potables par l'alimentation des populations d'Azzeffoun et d'autres communes soit celles qui se trouvent à l'amont ou bien à l'aval de barrage, et l'irrigation des surfaces avoisinantes sera assurée.

Mes pour pouvoir contrôler tous ces apports de grande importance on envisage un évacuateur de crue de grande largeur.

En vas entamer un chapitre intitulé laminage de crue qui vas répondre à cette hypothèse.

CHAPITRE IV :

LAMINAGE DES CRUES

INTRODUCTION

L'effet de laminage des crues dépend de la forme de l'hydrogramme de crue entrant, de la capacité de l'évacuateur de crue et de la forme de la partie supérieure de la retenue.

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

Cette étude peut se faire par calcul sur ordinateur, ou par des méthodes purement dite hydraulique, basées sur la formule de déversoir telles que ; la méthode de BLACKMORE, la méthode GRAPHIQUE, la méthode de KOTCHERINE et la méthode graph-analytique de HILDEN BLAT.

Pour notre cas, on a choisi d'effectuer notre étude avec la méthode de KOCHERINE afin de choisir la largeur de notre évacuateur de crue et sa charge déversant, ensuite on a procédé a la méthode de HYNDEN BLAT afin d'estimer notre diagraphie de crue de sortie.

IV.1.Principe de calcul

L'étude de laminage repose sur l'équation différentielle suivante [8]

$$Q(t).dt = q(t).dt + S(t).dH.....(IV.1)$$

Avec :

- $Q_c(t)$: Débit de crue entrant à l'instant (t) ;
- $q(t)$: Débit déversé par l'évacuateur de crue (laminé) ;
- S : Surface de plan d'eau de la cuvette à l'instant (t).

Le débit cumulé à l'instant (t) est :

$$Q - q = S \frac{dh}{dt}.....(IV.2)$$

$\frac{dH}{dt}$ Représente la vitesse de remplissage (ou de montée des eaux) dans la retenue.

IV.2. Laminage de crue par la méthode de KOTCHERINE

La méthode de KOTCHERINE est un procédé grapho-analytique, qui se base sur les principes suivants [8]:

- ✓ L'hydrogramme de crue est assimilé à un triangle, et l'hydro gramme d'évacuation est assimilé à un triangle ;
- ✓ Les débits transitant par l'évacuateur de crue se déversent selon une fonction linéaire ;
- ✓ Le laminage commence avec le remplissage de la cuvette au niveau NNR ;
- ✓ Les pertes par infiltrations et évaporations sont considérées comme nulles au moment de la crue.

IV.2.1. Estimation du débit de crue laminée

Le volume stocké est exprimé selon la relation suivante [8]:

$$V_F = V_C \cdot \left(1 - \frac{q_{\text{lam}}}{Q_{\%}} \right) \dots\dots (IV.3)$$

Avec :

- V_F : Le volume de charge sur le déversoir déduit par la courbe capacité hauteur ;
- V_C : Le volume de la crue correspondant au $Q_{\%}$ en m^3 ;
- $Q_{\%}$: Le débit de la crue en m^3/s ;
- q_{lam} : Le débit laminé.

De cette relation se déduit le débit de crue laminée :

$$q_{\text{lam}} = Q_{\%} \cdot \left(1 - \frac{V_F}{V_C} \right) \dots\dots (IV.4)$$

IV.2.2. Estimation de la charge au dessus du déversoir

L'estimation de la charge au-dessus du déversoir s'effectue en faisant transiter ces volumes par un évacuateur de crues aux dimensions.

Le débit de crues transitant par l'évacuateur de crue se calcule alors par la formule [8]:

$$q = m \cdot L \cdot \sqrt{2g} \cdot H_d^{3/2} \dots\dots (IV.5)$$

Avec :

- $m = 0,49$: Coefficient de débit ;
- $g = 9,81$: Accélération de la pesanteur ;
- L : Largeur de déversoir ;
- H_d : Charge sur le déversoir.

Le débit laminé est calculé pour différentes charges ' H_d ' et différentes largeurs du seuil déversant ' b ' de l'évacuateur de crues.

L compris entre 60 et 100 mètres.

$$q = m \cdot L \cdot \sqrt{2g} \cdot H_d^{3/2} \dots\dots (IV.6)$$

Les résultats de calcul pour le laminage de la crue de projet par la méthode de KOTCHERINE sont donnés dans les tableaux et les Figures suivantes :

On a :

- ✚ Le débit de projet (m^3/s) : 1589,65 (Mm^3) ;
- ✚ Le volume de la crue : 30 Mm^3 ;
- ✚ Coefficient de débit : 0,49.

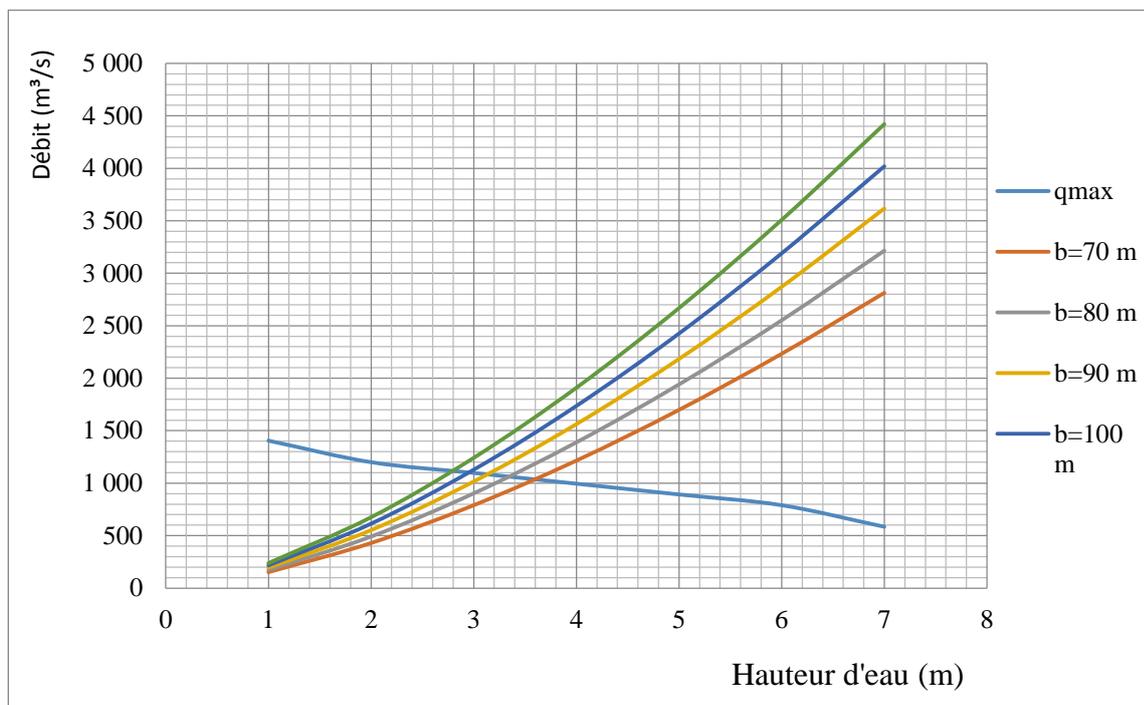
Tableau (IV.1.):Hauteur et débit laminé.

| H (m) | N PHEE (NGA) | V PHEE (m) | V _f (Mm ³) | q _{lam} (m ³ /s) |
|-------|--------------|------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 62 | 35 | 3,6 | 1 405,05 |
| 2 | 63 | 39 | 7,6 | 1 199,93 |
| 3 | 64 | 41 | 9,6 | 1 097,37 |
| 4 | 65 | 43 | 11,6 | 994,81 |
| 5 | 66 | 45 | 13,6 | 892,26 |
| 6 | 67 | 47 | 15,6 | 789,70 |
| 7 | 68 | 51 | 19,6 | 584,58 |

Au fur et à mesure que le niveau d'eau augmente dans la cuvette, On remarque une réduction du débit de pointe de la crue.

Tableau (IV.2) : Débit laminé pour différente largeur.

| H (m) | L (m) | | | | | q (m ³ /s) |
|-------|----------|----------|----------|---------|----------|-----------------------|
| | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | |
| 0 | | | | | | |
| 1 | 151,9 | 173,6 | 195,3 | 217 | 238,7 | |
| 2 | 429,877 | 491,288 | 552,699 | 614,11 | 675,521 | |
| 3 | 789,88 | 902,72 | 1015,56 | 1128,4 | 1241,24 | |
| 4 | 1215,2 | 1388,8 | 1562,4 | 1736 | 1909,6 | |
| 5 | 1698,242 | 1940,848 | 2183,454 | 2426,06 | 2668,666 | |
| 6 | 2232,93 | 2551,92 | 2870,91 | 3189,9 | 3508,89 | |
| 7 | 2813,188 | 3215,072 | 3616,956 | 4018,84 | 4420,724 | |



Figure(IV.1) : Hauteur-Débit laminé.

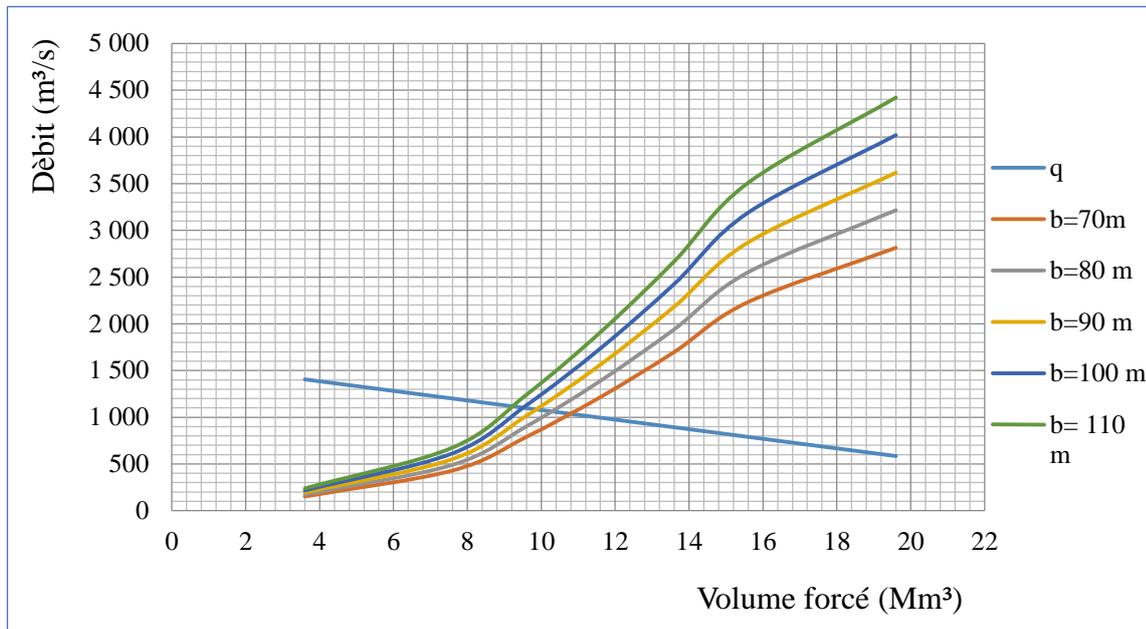


Figure (IV.2) : Volume forcé-Débit laminé.

Notre évacuateur de crue sera construit avec une largeur de 80 m .pour des raisons technoeconomique [1].

IV.3.Hydro gramme de crue à la sortie par la méthode de HILDENBLAT

On va traiter cette méthode pour une largeur de 80m .la méthode de HILDENBLAT nécessite la présence de [8]:

- ✓ Hydro gramme de crue à l’entrée ;
- ✓ Courbe de volume d’eau dans la retenue ;
- ✓ Courbe des débits déversant en fonction de la variation du volume d’eau au dessus de déversoir, $q = f (V_i + 0,5* q_i*\Delta t)$.

Tableau (IV.3) : Calcul $V_i + 0,5* q_i*\Delta t$.

| H_i (m) | q_i (m³/s) | V_i (m³) | $V_i + 0,5* q_i*\Delta t$ (m³) |
|-----------|--------------|------------|--------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 173,6 | 3600000 | 3678120 |
| 2 | 491,288 | 7600000 | 7821079,6 |
| 3 | 902,72 | 9600000 | 10006224 |
| 4 | 1388,8 | 11600000 | 12224960 |
| 5 | 1940,848 | 13600000 | 14473381,6 |
| 6 | 2551,92 | 15600000 | 16748364 |
| 7 | 3215,072 | 19600000 | 21046782,4 |

Pour Calculer le Débit Sortant « q » on applique la méthode de **HILDENBLAT**.

Tableau (IV.4) : Le débit déversé par la méthode de HILDEN BLANT.

| Δt (h) | Q (m ³ /s) | Q_m (m ³ /s) | $(Q_m - q) * \Delta t$ (m ³) | $V_i + 0,5 * q * \Delta t$ (m ³) | q (m ³ /s) |
|----------------|-------------------------|---------------------------|--|--|-------------------------|
| 0 | 0 | | | 0 | 0 |
| 1 | 83,62 | 41,81 | 150516 | 150516 | 6 |
| | | 209,55 | 731718 | | |
| 2 | 334,89 | 543,75 | 1863900 | 882234 | 26 |
| | | 1045,295 | 3352662 | | |
| 3 | 752,61 | 1463,815 | 4099734 | 2746134 | 114 |
| | | 1346,355 | -1024902 | | |
| 4 | 1337,98 | 588,11 | -1528596 | 6098796 | 325 |
| | | 350,39 | -1026036 | | |
| 4,36 | 1589,65 | 194,99 | -910854 | 10198530 | 901 |
| | | 96,99 | -990864 | | |
| 5,36 | 1103,06 | 35,76 | -909090 | 11801808 | 1200 |
| | | 8,47 | -717264 | | |
| 6,36 | 727,55 | 0,76 | -468000 | 10776906 | 980 |
| | | 0 | -439200 | | |
| 7,36 | 448,68 | | | 9366120 | 775 |
| | | | | | |
| 8,36 | 252,1 | | | 7837524 | 480 |
| | | | | | |
| 9,36 | 137,88 | | | 6811488 | 350 |
| | | | | | |
| 10,36 | 56,09 | | | 5900634 | 311 |
| | | | | | |
| 11,36 | 15,43 | | | 4000680 | 261 |
| | | | | | |
| 12,36 | 1,52 | | | 3283416 | 200 |
| | | | | | |
| 13,36 | | | | | 130 |
| | | | | | |
| 14,36 | | | | | 82 |

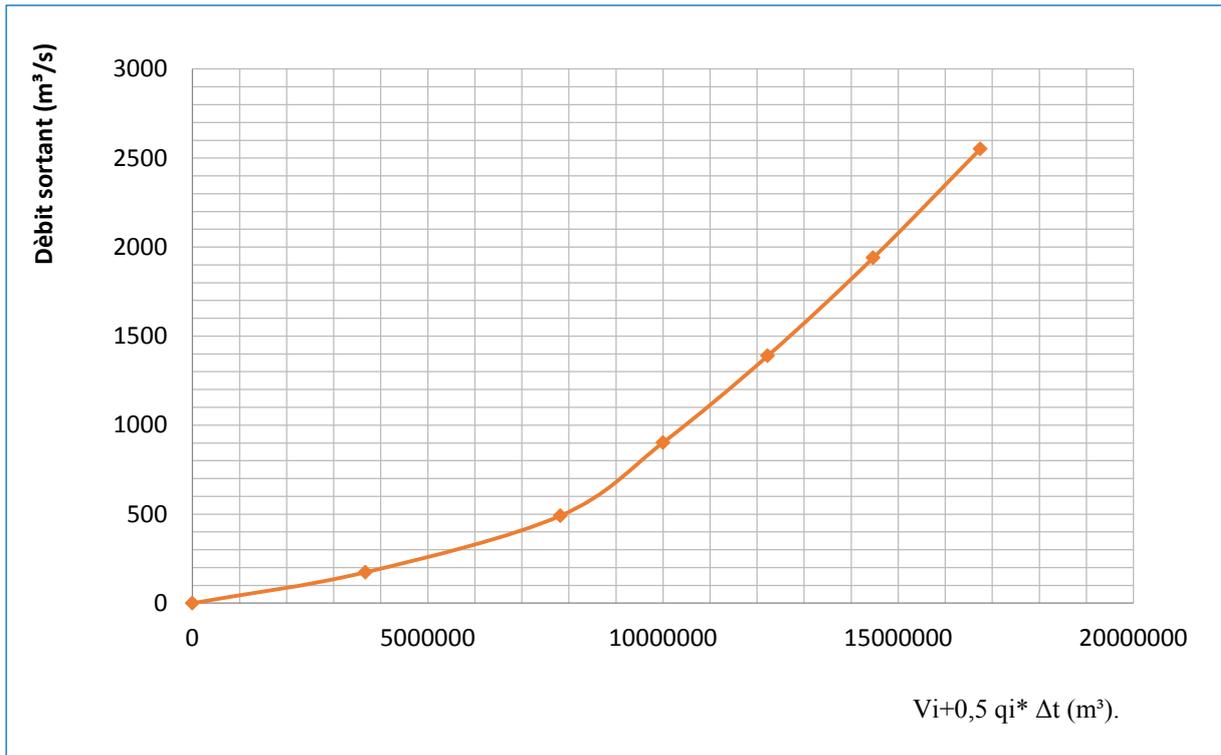


Figure (IV.3) : $V_i + 0,5 * q_i * \Delta t$ et débit sortant.

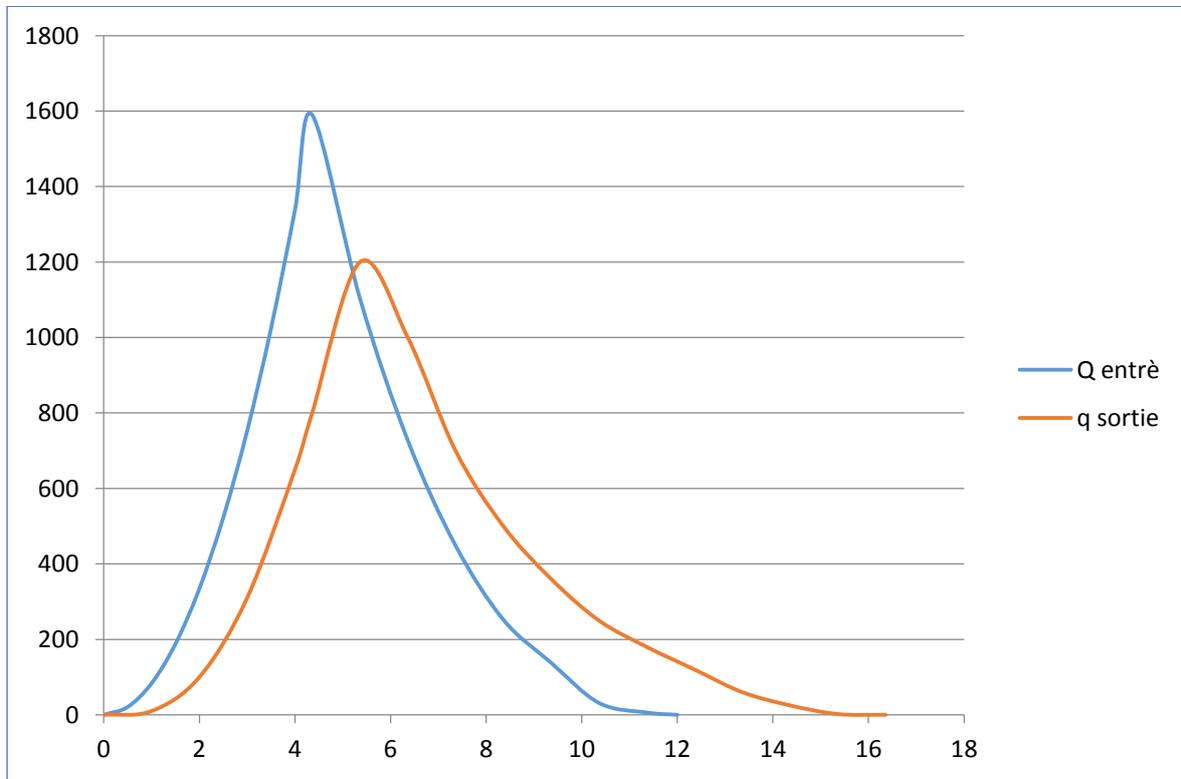


Figure (IV.4) : Hydrogramme de crue entré et sortie.

Tableau (IV.5) : Tableau récapitulatif de l'étude de la régularisation et du laminage.

| Dénomination | Unités | Valeurs |
|------------------------|-----------------|---------|
| Volume mort | Mm ³ | 4,81 |
| Volume Utile | Mm ³ | 26,58 |
| Volume au NNR | Mm ³ | 31,4 |
| Cote du fond | m (NGA) | 24 |
| Cote de V _m | m (NGA) | 40 |
| Cote NNR | m (NGA) | 61 |
| Cote NPHE | m (NGA) | 64,4 |

Conclusion

La méthode de KOCHERINE nous a permis de déduire que pour notre évacuateur de crue d'une largeur de 80 m, la charge d'eau sur le déversoir sera 3.4m, le débit d'eau évacué sera 1089 (m³/s), d'où le volume force sera 10,5 Mm³.

La méthode de HILDENBLAT nous a permis en revanche à elle que notre crue de sortie a un débit laminé à 1200 (m³/s).

Afin de choisir la valeur de débit évacué on a opté pour la méthode de KOTCHERINE. Qui nous donne un débit évacué de 1089 (m³/s).

CHAPITRE V :

DIMENSIONNEMENT DU BARRAGE

Introduction

Le dimensionnement a pour but la définition des caractéristiques géométriques tels que la hauteur, largeur, longueur et pente de talus de barrage de Sidi Khelifa, afin de savoir si ce dernier sera prêt à affronter la force de la poussée d'eau et les forces externes qui reposent sur lui.

Dans ce chapitre, on va essayer de dimensionner les caractéristiques géométriques du barrage et du noyau, et expliquer les méthodes utilisées afin de protéger les talus de la digue et du noyau. Ensuite, on entamera la partie étude de stabilité de barrage de Sidi Khelifa.

V.2. caractéristiques géométriques du barrage

V.2.1. Hauteur du barrage

$$H_b = H_{RN} + H_D + h_0 + R \dots (V.1)$$

Avec :

- H_b : Hauteur du barrage (m) ;
- H_{RN} : Hauteur à la retenue normale (m) ;
- H_D : Hauteur entre le niveau des eaux les plus hautes et la retenue normale (m) ;
- h_0 : Hauteur due au tassement (m), $h_0 = 1\% H_b$;
- R : La revanche (m).

$$H_{RN} = C_{RN} - C_F \dots (V.2)$$

Avec :

- C_{RN} : Cote de la retenue normale (61 m) ;
- C_F : Cote à la fondation (24 m) ;
- C_{PHE} : Cote aux plus hautes eaux (64,5m).

$$H_{RN} = 37 \text{ m.}$$

$$H_D = C_{PHE} - C_{RN} \dots (V.3)$$

$$H_D = 3,5 \text{ m.}$$

V.2.1.1. Calcul de la revanche [11]

Pour le calcul de la revanche (R) on utilise la méthode de DERRY :

$$R = 0.75 h_v \frac{V_v^2}{2g} \dots (V.4)$$

Avec :

- h_v : Hauteur des vagues (m/s) ;
- V_v : Vitesse de propagation des vagues (m/s).

La hauteur, la vitesse des vagues vont être calculées par les méthodes qui suivent [11]

V.2.1.1.1. Formule de STEVENSON GAILLARD [11]

$$h_v = 0.75 + 0.34 \cdot \sqrt{F} - 0.26 \cdot \sqrt[4]{F} \dots (V.5)$$

Avec :

F: Le fletch = (3km).

D'où :

$$V_v = 1.5 + 0.66\sqrt{h_v} \dots\dots(V.6)$$

V.2.1.1.2. Formule de MALLET et PAQUANT [11]

$$V_v = 0.75h_v \frac{V_v^2}{2g} \dots\dots(V.7)$$

Avec :

$$hv = 0.5 + 0.33 \cdot \sqrt{F} \dots\dots(V.8)$$

$$V_v = 1,5 + 2 / 3hv \dots\dots(V.9)$$

V.2.1.1.3. Formule de l'U.S.B.R [11]

$$hv = 0.75 + 0.34 \cdot \sqrt{F} - 0,26 \cdot \sqrt[4]{F} \dots\dots(V.10)$$

$$V_v = 1,5 + 2h_v \dots\dots(V.11)$$

Les résultats trouvés pour les différentes méthodes :

Tableau (V.1) : Calcul de la revanche

| Formule | h_v (m) | V_v (m/s) | R (m) |
|----------------------------|-----------|-------------|-------|
| STENVENSON GAILLARD | 1 | 2,16 | 0,99 |
| MALLET et PAQUANT | 1,07 | 2,21 | 1,05 |
| U.S.B.R | 1 | 3,5 | 1,37 |

On prend une valeur moyenne donc :

$$\mathbf{R = 1,2 m.}$$

$$H_b = H_{NR} + H_D + R. (sant tassement) \dots\dots(V.12)$$

$$\mathbf{H_b = 42, 02 m.}$$

$$H_b = H_{NR} + H_D + h_0 + R. (Avec tassement) \dots\dots (V.13)$$

$$\mathbf{H_b = 42,43 m.}$$

Après confirmation dans l'étude effectuer par (DAR EL HANDASSA), ayons trouvé une hauteur de barrage de Sidi Khelifa 43m nous allons prendre aussi :

$$\mathbf{H_b = 43 m.}$$

V.2.2. Largeur en crête

Différentes formules sont utilisées pour le calcul de la largeur en crête [11]:

V.2.2.1. Formule de KNAPPEN

$$b_{cr} = 1.65 \cdot \sqrt{H_b} \dots\dots(V.14)$$

V.2.2.2. Formule d'E- F-PREECE

$$b_{cr} = (1,1 \cdot \sqrt{H_b}) + 1 \dots\dots(V.15)$$

V.2.2.3. Formule Anonyme (simplifiée)

$$b_{cr} = 3,60 \cdot \sqrt[3]{H_b} - 3 \dots \dots (V.16)$$

V.2.2.4. Formule pratique

$$b_{cr} = \frac{5}{3} \sqrt{H_b} \dots \dots (V.17)$$

Avec :

H_b : Hauteur du barrage (43 m).

Tableau (V.2) : Récapitulatif des résultats de calcul de largeur de crête.

| Formule | b _{cr} (m) |
|------------|---------------------|
| KNAPPEN | 10,82 |
| EF PREECE | 8,21 |
| PRATIQUE | 9,61 |
| SIMPLIFIEE | 10,93 |
| Moyenne | 9,89 |

On opte pour une largeur de crête égale à: **b_{cr} = 10 m.**

V.2.3. Longueur du barrage :

Il est tiré a partir de plan d'aménagement, d'où la longueur du barrage et égale a **350 m.**

V.2.4. Pentés des talus :

Les pentes des talus sont fixées par les conditions de stabilité mécanique du massif et de ses fondations, Pour les massifs, on donne des pentes qui paraissent optimales [11].

Tableau (V.3) : Valeurs indicatives de pente de talus.

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

Pour notre barrage, la hauteur est plus du 20m, et le barrage est zoné donc les pentes adoptées sont :

- ✚ Pente amont : $m_1 = 3$;
- ✚ Pente aval : $m_2 = 3$.

V.2.5. La largeur à la base de la digue

Elle est déterminée comme suit [11] :

$$B = b_1 + b_2 + b_{cr} \dots\dots(V.18)$$

Avec :

$$b_1 = m_1 \cdot H_b \dots\dots(V.19)$$

$$b_2 = m_2 \cdot H_b \dots\dots(V.20)$$

$$m_1 = m_2.$$

Alors :

$$B = H_b (m_1 + m_2) + b_{cr} \dots\dots(V.21)$$

$$\mathbf{B = 268m.}$$

V.2.6. Protection des talus

La protection des talus dans les barrages en terre est utilisée pour éviter l'érosion par l'action des vagues d'une part et par les pluies d'une autre part.

Donc, il est nécessaire de prévoir une protection des talus.

V.2.6.1. Le talus amont

Dans notre cas pour le barrage de Sidi Khelifa plusieurs méthodes ont été utilisées afin de protéger le talus amont parmi elles on trouve [1]:

- ✚ Remblais drainant en gravier sélectionnés ;
- ✚ Transition gravier sableux ;
- ✚ Rip Rap : enrochement ;
- ✚ Rip Rap : batardeau.

Afin de déterminer l'épaisseur d'enrochement et le diamètre D_{50} minimal des roches, on s'est basé sur la méthode qui suit dans le tableau (V.4) [11]

V.2.6.2. Le talus aval [1]

D'une autre part la protection de talus aval a été effectuée par :

- ✚ La transition du gravier sableux sélectionné ;
- ✚ Recharge aval avec le (tout-venant), alluvions en sable et graviers ;
- ✚ Gravier uniforme.

V.2.6.2.1. Première méthode

Cette méthode consiste à déterminer l'épaisseur minimale de la couche d'enrochement et les dimensions minimales du bloc en fonction de la hauteur de la vague, en prenant les valeurs directement du tableau :

Tableau(V.4) : Épaisseur de l'encrochement et D₅₀ minimal en fonction de la hauteur de la vague.

| Hauteur de la vague (m) | Épaisseur de la couche (m) | D ₅₀ minimal (m) |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 0,0 ÷ 0,30 | 0,30 | 0,20 |
| 0,30 ÷ 0,60 | 0,40 | 0,25 |
| 0,60 ÷ 1,20 | 0,45 | 0,30 |
| 1,20 ÷ 1,80 | 0,55 | 0,40 |
| 1,80 ÷ 2,40 | 0,70 | 0,45 |
| 2,40 ÷ 3,00 | 0,80 | 0,55 |

Dans notre cas, la hauteur des vagues est ; $h_v = 1,02 \text{ m}$, du tableau on aura une épaisseur de la couche de l'encrochement de ; $e = 0,45 \text{ m}$ et un diamètre de la roche; $D_{50 \text{ min}} = 0,30 \text{ m}$.

Deuxième méthode :

Les ingénieurs d'US ARMY utilisent un tableau déterminé à partir d'abaques qui permettent d'obtenir l'épaisseur minimale de la couche d'encrochement et les dimensions minimales des blocs de roche en fonction de la hauteur de la vague.

Pour des hauteurs de la vague $0,62 \text{ (m)} < h_v < 1,2 \text{ (m)}$.

$e = 45 \text{ m}$.

$D_{50} = 0,25 \text{ m}$.

Avec :

H_v : Hauteur de la vague ;

e : Epaisseur de la couche d'encrochement ;

D_{50} : Diamètre minimal du 50 % de la pierre.

V.3.Caractéristiques géométriques de noyau

Le noyau de barrage de Sidi Khelifa été construit en argile, afin d'assurer l'étanchéité de l'ouvrage et diminuer le débit de fuite. En empêchant l'eau de passer à travers le corps du barrage [1].

V.3.1.La hauteur du noyau

La hauteur du noyau est donnée par la formule suivante [12]:

$$H_n = H_b - 1 \dots (V.21)$$

$$H_n = 42 \text{ m.}$$

V.3.2.Largeur en crête

La largeur en crête du noyau est donnée par la formule suivante [12] :

$$L_n = \frac{1}{6} H_b \dots (V.22)$$

$$L_n = 7,5 \text{ m.}$$

V.3.3. Largeur de la base du noyau

La base du noyau aura une largeur donnée par [12] :

$$l_{n.b} \min = 6 + C H_n \dots (V.23)$$

avec : $0,15 \leq C \leq 0,3$ d'où : $l_{n.b} \min = 14,4 \text{ m.}$ (C=0,2)

$$l_{n.b} \max = (0,8 - 1,2) H_b \dots (V.24)$$

On prend : $l_{n.b} \max = 43 \text{ m.}$

V.3.4. Largeur moyenne du noyau [12]

$$l_n \text{ moy} = \frac{B_n + L_n}{2} \dots (V.25)$$

Avec : $B_n = l_{n.b} \max$ $l_n \text{ moy} = 25,25 \text{ m.}$

Petite verification:

$$I = \frac{\Delta H}{\Delta L} \dots (V.27)$$

$$\Delta H = H_1 - H_2 \dots (V.28)$$

H_1 : Hauteur d'eau à l'amont du noyau c'est la hauteur au (NNR=37 m);

H_2 : Hauteur à l'aval est nul;

ΔL : Largeur moyenne du noyau (25, 25).

$$I = 1,47 < I_{adm} = [6;12]$$

La condition est donc vérifiée.

Résumé des parties constitues le barrage de Sidi Khelifa :

- ✓ Crête ;
- ✓ Noyau ;
- ✓ Ecran d'injection ;
- ✓ Filtre de sable ;
- ✓ Matériaux (Tout-venant+Gravelet+Roche) pour le revêtement.

Le barrage de Sidi Khelifa est présenté par la figure (V.1)

V.4. Etude des infiltrations

Les infiltrations à travers et sous le barrage doivent rester faible pour que le débit de fuite ne soit pas considérable.

L'étude de ces infiltrations se traduit par la détermination de la ligne de saturation et de débit de fuite.

Pour étudier les infiltrations on a procédé par la méthode suivante :

V.4.1.Homogénéisation du barrage

Afin de calculer les infiltrations dans un barrage zone on procède avec les différentes perméabilités K , on doit homogénéiser le coefficient de perméabilité du barrage, pour cela on procède part:

V.4.1.1.Calcul de l'épaisseur moyenne du noyau [12]

$$S_m = \frac{S_1 + S_2}{2} \dots (V.28)$$

Avec:

- S_m : Epaisseur moyenne du noyau;
- S_1 : Epaisseur de la de noyau a la crête (7,5 m);
- S_2 : Epaisseur de la base de noyau 43m.

$$S_m = 25,25 \text{ m.}$$

V.4.1.2.détermination de l'épaisseur virtuelle pour le noyau équivalent [12]

$$S'_m = S_m \frac{K_t}{K_n} \dots (V.29)$$

Avec :

- S'_m : Epaisseur virtuelle du noyau ;
- S_m : Epaisseur moyenne du noyau ;
- K_t : Coefficient de perméabilité de barrage $K_t=6,9.10^{-10}$ (m /s) ;
- K_n : Coefficient de perméabilité de noyau $K_n=6,9.10^{-11}$ (m /s).

$$S'_m=252,5 \text{ m.}$$

V.4.2.Equation de la ligne de saturation

On Parle d'une ligne de saturation dans une coupe transversale car dans la réalité c'est une surface selon laquelle la pression est égale à la pression atmosphérique [12].

La méthode pour tracer cette ligne a été propose par KOZENY qui a montré que pour un barrage en terre homogène, la ligne de saturation est assimilable a une parabole dans as partie médiane.

L'équation de la ligne de saturation s'écrit de la manière suivante:

$$y^2 - y_0^2 - 2xy_0 \dots (V.30)$$

$$y_0 = \sqrt{H_1^2 + L^2} - L \dots (V.31)$$

(V.30) devient :

$$y_0^2 = y^2 + 2xy_0 \dots (V.32)$$

$$y = \sqrt{y_0^2 + 2xy_0} \dots (V.33)$$

Avec :

- H_1 : Hauteur d'eau au niveau normal de la retenue (37m) ;

$$L = m_2 h_b + bc + m_2 (Hb - HNNR) + \Delta h \dots (V.34)$$

m_2 : Fruit aval 3 ;

H_b : Hauteur du barrage 43m ;

$$m_2 \cdot h_b = 129m;$$

$$bc = S'_m = 252,5m.$$

$$m_1 (N_{hb} - N_{NR}) = 18m.$$

$$\Delta h = 0.3 \cdot m_1 \cdot HNNR \dots (V.35)$$

$$\Delta h = 33,3 \text{ m.}$$

$$L = 432,8 \text{ m.}$$

De (V.31) on aura :

$$Y_0 = 1,58 \text{ m.}$$

Donc (V.33) devien :

$$y = \sqrt{3.16x + 1.58} \dots (V.36)$$

C'est l'équation de ligne de saturation phréatique dans le barrage de Sidi Khelifa.

Les résultats trouvés pour différents X sont résumés dans le tableau suivant :

N.B. Dès qu'on aura un x à partir de noyau, on multiplie les valeurs $\left(\frac{K_b}{K_n}\right)$ pour dessiner la ligne de saturation.

La ligne de saturation est présentée par la figure (V.2).

Tableau(V.5) : Résultats pour la courbe de saturation

| | | | | | | | | | |
|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| X | 0 | 30,00 | 60,00 | 90,00 | 120,00 | 129,00 | 15,00 | 18,00 | 21,00 |
| Y | 1,58 | 9,86 | 13,85 | 16,93 | 19,52 | 20,24 | 21,81 | 23,89 | 25,79 |
| X | 24,00 | 27,00 | 30,00 | 33,00 | 36,00 | 38,15 | 390,00 | 420,00 | 432,80 |
| Y | 27,57 | 29,23 | 30,81 | 32,31 | 33,74 | 34,73 | 35,12 | 36,44 | 36,99 |

Vérification

Pour la valeur de $x = 432,80 \text{ m} = L$ on doit trouver $y = H_1(NNR)$;

Du tableau pour $x=432,80 \text{ m}$ $y = 36.99 = 37m$.

Condition vérifié.

V.4.3.Débit de fuite [12]:

Il est donné par la méthode suivante :

$$q_f = K_b \frac{h_1^2 - h_2^2}{2S'} \dots (V.37)$$

Avec :

q_f : Débit de fuite (m^2/s) ;

K_b : Coefficient de perméabilité de barrage $K_b = 6.9 \cdot 10^{-10} (m/s)$;

h_1 : Hauteur d'eau entrant au noyant 34,73 m ;
 h_2 : Hauteur d'eau a la sortie de noyau 20,23m ;
 S'_m : Epaisseur virtuelle du noyau 252,5 m.

$$q_f = 1,09 \cdot 10^{-9} (\text{m}^2/\text{s}).$$

alors :

$$q_f = 0,03 \text{ m}^2/\text{an}.$$

Après le calcul de débit de fuite, on peut conclure qu'il est négligeable, donc la stabilité de l'ouvrage est compromise.

Conclusion :

Le barrage de Sidi Khelifa aura une hauteur de 43 m, une largeur a la crête de 10 m et a la base 268 m, le noyau argileux aura une hauteur de 42 m une largeur en crête de 7,5 m, une largeur a la base de 43 m.

La cote à la crête de barrage sera 67 m.

On prévoit deux bermes côté amont et deux côté aval, pour permettre la réalisation et la réparation des revêtements de talus. En outre, elles donnent la stabilité aux digues et réduisent la vitesse des eaux qui glissent sur les surfaces du talus aval, en contribuant à éviter l'érosion. Ils servent aussi d'appui aux revêtements des talus en amont.

La 1^{ère} berme sera construite à la cote 40 mNGA de 10 m de largeur ;

La 2^{ème} berme sera construite à la cote 50 mNGA de 20 m de largeur.

Enfin une figure (V.3) va présenter le profil du barrage.

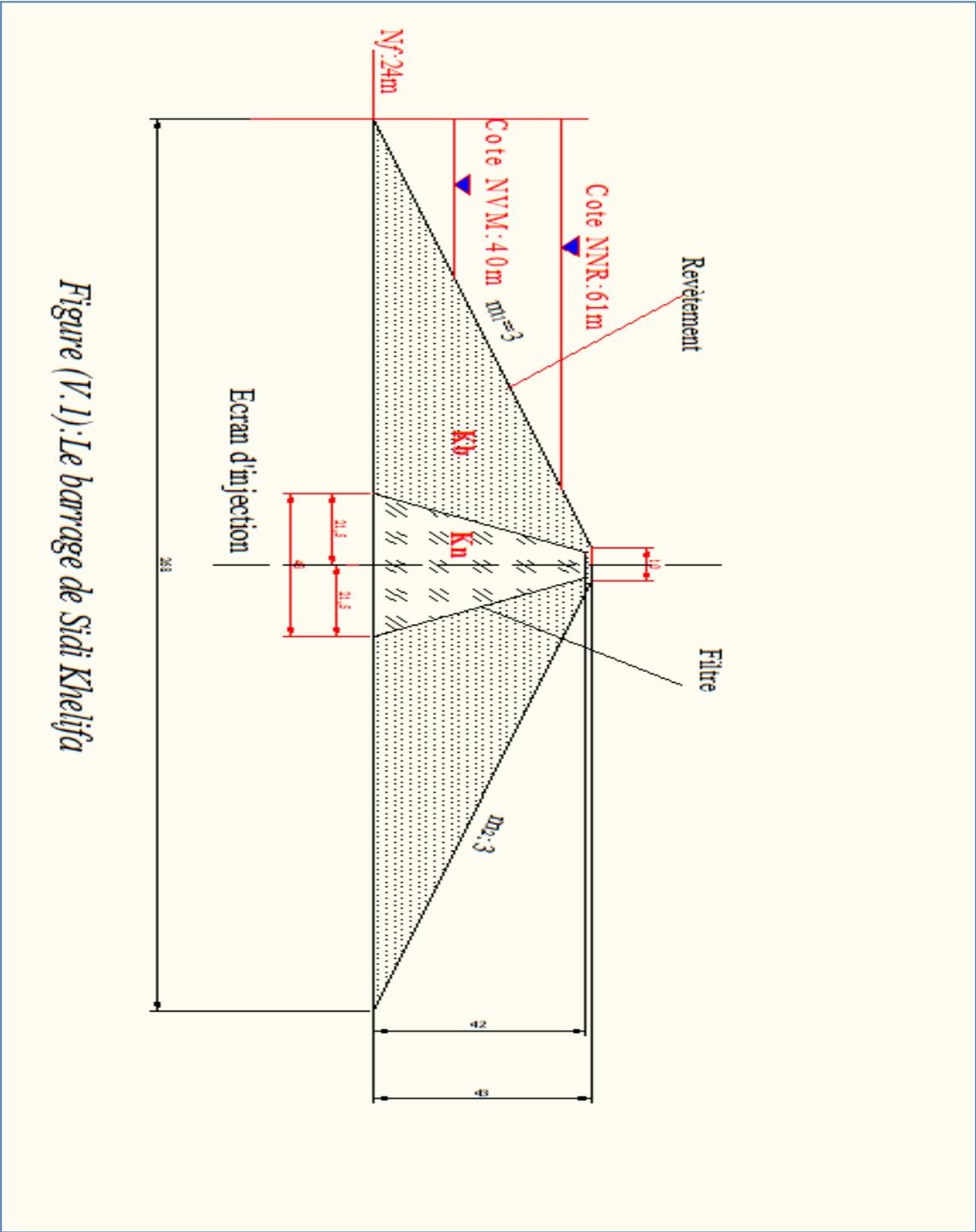


Figure (V.1): Le barrage de Sidi Kheifia

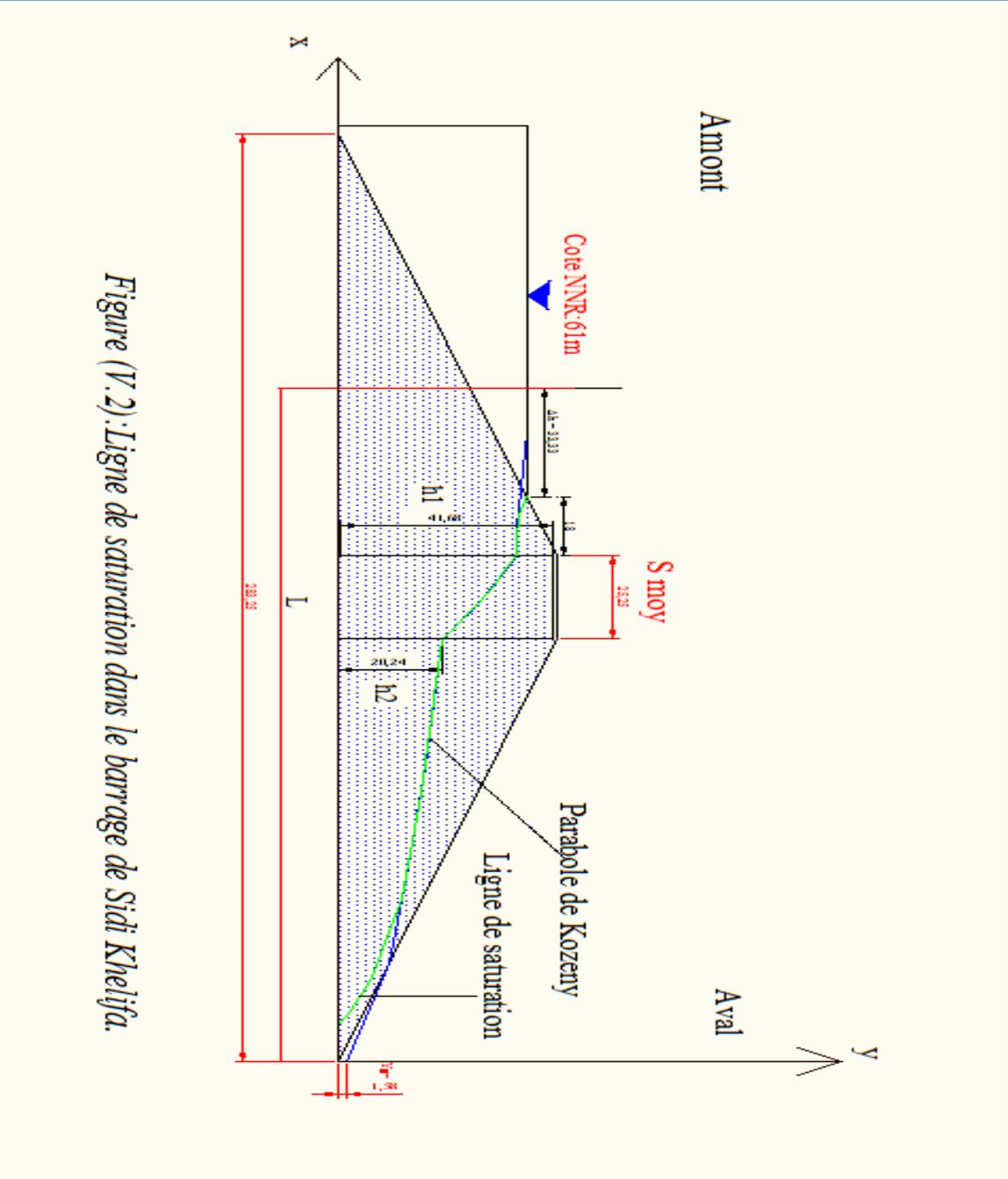


Figure (V.2): Ligne de saturation dans le barrage de Sidi Kheifia.

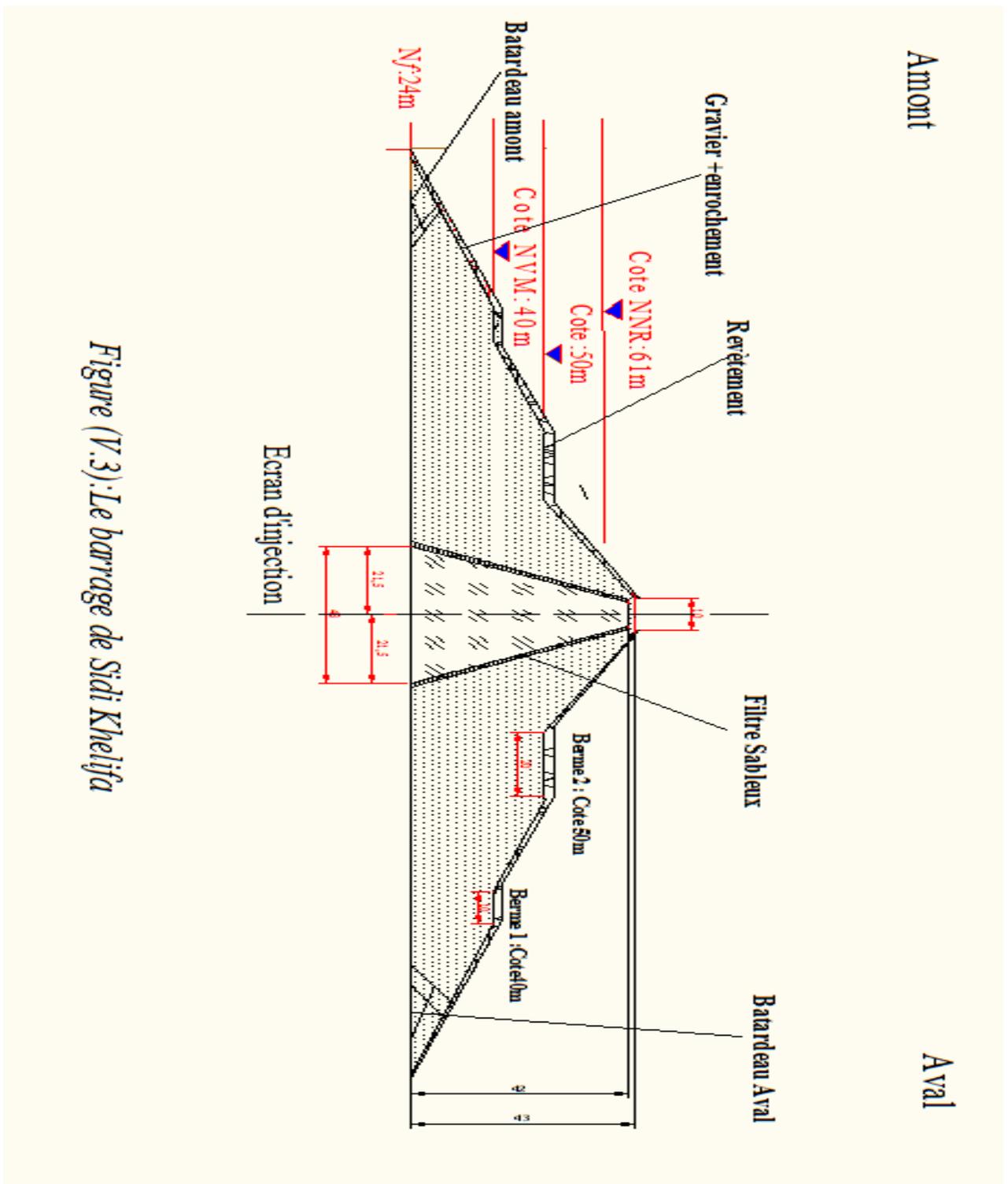


Figure (V.3): Le barrage de Sidi Khelifa

CHAPITRE VI :

LES OUVRAGES ANNEXES

INTRODUCTION

Le barrage de Sidi Khelifa sera construit avec un nombre d'ouvrages indispensables qui lui permettent un bon déroulement :

Les ouvrages annexes sont :

- ✚ Galerie de dérivation provisoire ;
- ✚ Les batardeaux ;
- ✚ Vidange de fond ;
- ✚ Prise d'eaux ;
- ✚ Evacuateur de crue.

Dans ce chapitre on va essayer de faire une description pour ces ouvrages annexes.

VI.1: La galerie de dérivation provisoire

La réalisation du barrage de Sidi Khelifa nécessite la protection du chantier contre les crues pendant les travaux ; pour cela une dérivation provisoire devient une exigence.

Le site de Sidi Khelifa offre une meilleure variante en rive gauche concernant la dérivation provisoire.

La dérivation provisoire est sous forme d'un tunnel revêtu en béton armé de diamètre de 9,50 m, à une longueur de 590 m.

VI.2.Les batardeaux

C'est une sorte de digue réalisé dans la partie amont du barrage et qui survivra comme obstacle aux eaux de l'oued Sidi Ahmed Youcef, en les dérivant vers la galerie de dérivation.

Les batardeaux seront réalisés avec des alluvions à étanchéité en amont, et avec de remblais en aval, ils auront une hauteur de 14m coté amont et 5,5m coté aval, avec une largeur en crête de 3 m [1].

VI.3.Vidange de fond

La vidange de fond sera planter on rive gauche, il sera équipé par deux vannes, une appelée vanne de garde, et l'autre vanne de réglage [1].

La vidange de fond aura une capacité de vidange égale à (47 m³/s), et un temps de vidange de 14,5 jours, elle servira essentiellement à :

- ❖ Abaisser le niveau de la retenue en cas de nécessité ;
- ❖ Effectuer la chasse d'eaux rapide ;
- ❖ Evacuer une partie de débit pendant les crues exceptionnelles ;
- ❖ Evacuer une partie des apports solides ;
- ❖ Vider la retenue pour la surveillance et l'entretien du barrage.

VI.4.Prise d'eau

Elle sera constituer d'une tour de prise en rive gauche avec un équipement hydraulique (système de vannes et pompes), et elle aura pour but le prélèvement instantané du débit nécessaire pour l'irrigation ou l'alimentation en eaux potable.

VI.5.Evacuateur de crue

Les évacuateurs de crues ont pour rôle d'assurer l'évacuation des crues exceptionnelles Survenant à retenue normale pleine sans risque de déversement sur la digue et sans d'érosion en aval risquant d'être dommageable pou la digue.

VI.5.1.Critères de choix de l'évacuateur de crue

Les principaux critères à prendre en considération pour le choix de l'évacuateur de sont :

- La sûreté et la sécurité de fonctionnement ;
- Les difficultés de réalisation ;
- Les exigences typographiques du site ;
- Les exigences géologiques du site ;
- La facilité d'entretien ;
- La facilité de modification ;
- Le coût de l'ouvrage.

VI.5.2.Les évacuateurs de crues se divisent en deux catégories selon les principes type

- ✓ L'évacuateur à écoulement libre ;
- ✓ L'évacuateur par puits noyé.

Les conditions géomorphologiques du barrage de sidi Khelifa militent en faveur d'une implantation en rive droite de l'évacuateur à seuil libre latéral. La crête du seuil latéral de l'évacuateur est calée au niveau de retenue normale 61 m NGA. Le niveau de la plateforme d'accès est de 57,00 m NGA et la longueur déversant du seuil est 80,00 m [1].

VI.5.2.1.Forme du seuil

La forme du seuil est basée sur le profil type USBR avec parement amont vertical [1].

VI.5.2.2.Bassin de décharge

Le seuil latéral déverse dans un bassin de décharge calé à la cote 50 mNGA environ. Ce bassin est muni d'un seuil de contrôle de débit en son extrémité aval, calé à la cote 51,20 mNGA. Cet ouvrage a été mis en place de manière à garantir un matelas liquide suffisant pour dissiper l'énergie de la chute et assurer un écoulement fluvial dans le chenal de décharge. La largeur du chenal varie de 6,50 m à 40 m le long du seuil déversant, d'amont en aval sur une longueur de 60 m, une pente amont-aval de 1% a été donnée au bassin de décharge [1].

VI.5.2.3. Coursier

Le coursier est la partie de l'évacuateur de crues qui permet le passage de l'eau de la côte du déversoir vers l'aval.

En aval du seuil de contrôle, le coursier de 40m de largeur est penté à 9% sur une longueur de 70 m. Par la suite, une portion courbe permet de basculer vers un coursier raide penté à 40% où le coursier s'évase sur 90 m de longueur pour atteindre une largeur de 50 m à l'entrée du bassin de dissipation [1].

VI.5.2.4. Bassin de dissipation

La dissipation de l'énergie dans cet ouvrage s'effectue de la même manière que dans le bassin d'amortissement: A travers d'un saut hydraulique, avec la seule différence qu'on utilise différents éléments dans le but de dissiper l'énergie et contribuer à la stabilisation du flux.

A l'extrémité aval du coursier, il est prévu un bassin de dissipation à ressaut de type USBR II, avant de restituer le débit au lit naturel de l'oued. Le bassin aura une longueur de 55 m, une cote de fond de 13 m NGA, la crête des murs bajoyers étant calée à la cote 31,5 m NGA [1].

Conclusion

Les ouvrages annexes nous ont permis de déduire que notre barrage de Sidi Khelifa sera équipé par plusieurs ouvrages qui vont contribuer à la facilitation d'exploitation

Ces ouvrages vont assurer le bon fonctionnement de la retenue, ce qui provoquera une longue vie d'exploitation.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

D'après l'étude effectuée, Nous pouvons conclure que le site de Sidi Khelifa présente des qualités favorables à l'implantation d'un barrage.

La précipitation moyenne annuelle mesurée de 1176 mm, avec un apport moyen annuel de 165Mm³ que nous avons estimé suffira à remplir la retenue.

La capacité totale de la retenue estimée à 26,58Mm³, satisfait à 95% la demande en AEP, et a 80% la demande en Irrigation.

La réalisation d'un barrage dans la région de Azzefoun offrira un grand nombre d'emplois dans les secteurs de l'exploitation du barrage, de l'agriculture et des services, que ce soit à court terme durant la phase de construction ou à long terme une fois le barrage en exploitation.

Toute fois l'étude réalisée n'est qu'une étude sommaire ou bien étude préliminaire et ne traite pas tous les aspects en détail.

Nous sommes conscients que la technique de construction d'un barrage est complexe, et devrait inclure une étude technico économique qui déterminera la solution optimale. Ceci dépassera l'objet de notre mémoire.

En fin, On peut dire que cette étude nous a permis de répondre aux objectifs assignés.

Annexes

Annexe (3) : Teste de WILCOXON

| StationTagma | Années | Moyenne | Rang | Décroissant | Rang |
|--------------|--------|---------|------|-------------|------|
| | 1971 | 129,1 | 1 | 152,1 | 27 |
| | 1972 | 150,9 | 2 | 151,4 | 32 |
| | 1973 | 137,6 | 3 | 150,9 | 2 |
| | 1974 | 89,9 | 4 | 137,6 | 3 |
| | 1975 | 122,4 | 5 | 129,1 | 1 |
| | 1976 | 90 | 6 | 127,5 | 14 |
| | 1977 | 88,7 | 7 | 126,6 | 25 |
| | 1978 | 90,6 | 8 | 126,2 | 38 |
| Y(N1) | 1979 | 90,1 | 9 | 122,4 | 5 |
| | 1980 | 99,6 | 10 | 115,3 | 16 |
| | 1981 | 93,9 | 11 | 111,3 | 28 |
| | 1982 | 91,2 | 12 | 106,9 | 15 |
| | 1983 | 102,4 | 13 | 106 | 33 |
| | 1984 | 127,5 | 14 | 103,8 | 37 |
| | 1985 | 106,9 | 15 | 103 | 20 |
| | 1986 | 115,3 | 16 | 102,4 | 13 |
| | 1987 | 74,5 | 17 | 102,3 | 36 |
| | 1988 | 101,4 | 18 | 101,4 | 18 |
| | 1989 | 63,5 | 19 | 99,6 | 10 |
| | 1990 | 103 | 20 | 96,7 | 35 |
| | 1991 | 83,1 | 21 | 94,8 | 30 |
| | 1992 | 83,8 | 22 | 93,9 | 11 |
| | 1993 | 69,6 | 23 | 91,2 | 12 |
| | 1994 | 88,5 | 24 | 90,6 | 8 |
| | 1995 | 126,6 | 25 | 90,1 | 9 |
| | 1996 | 57,7 | 26 | 90 | 6 |
| | 1997 | 152,1 | 27 | 89,9 | 3 |
| X(N2) | 1998 | 111,3 | 28 | 88,7 | 7 |
| | 1999 | 84,4 | 29 | 88,5 | 24 |
| | 2000 | 94,8 | 30 | 84,4 | 29 |
| | 2001 | 64,7 | 31 | 83,8 | 22 |
| | 2002 | 151,4 | 32 | 83,1 | 21 |
| | 2003 | 106 | 33 | 80,9 | 34 |
| | 2004 | 80,9 | 34 | 74,5 | 17 |
| | 2005 | 96,7 | 35 | 69,6 | 23 |
| | 2006 | 102,3 | 36 | 64,7 | 31 |
| | 2007 | 103,8 | 37 | 63,5 | 19 |
| | 2008 | 126,2 | 38 | 57,7 | 26 |

$$W_{min} < W_y < W_{max}$$

$$330,8 < 363 < 371,2$$

Références Bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **ANBT.**, Etude d'avant projet détaillé du barrage Sidi Khelifa Mission 5, Alger, 175 pages.
- [2] **CIGB.**, 1984, choix de la crue de projet, méthode actuelle. Bulletin 82 " crue projet", Paris (1986-1992) ,125pages.
- [3] **Roche, M.**, "HYDROLOGIE DE SURFACE", GAUTHIER - VILLARS ÉDITEUR- Paris, 1963, 390 pages.
- [4] **Laborde, J P.**, "ELEMENTS D'HYDROLOGIE DE SURFACE", 2000.
- [5] **Touaibia, B.**, "Manuel Pratique d'Hydrologie", Presse Madani Frères Guerrouaou-Blida, Mars 2004,164 pages.
- [6] **Bureau d'Etude Pluridisciplinaire Bouaoud F (Sétif) .**, Etude de la retenue collinaire de Zbanda sur Oued El Anasseur commune (Ouled Rached Bouira), 33 pages.
- [7] **Essaid, A., Halim, H.**, 2003, Etude de faisabilité du barrage de Tichi Haff, Akbou. (Bejaia) Mémoire de fin d'étude –Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 88 pages.
- [8] **Namik S.**, 2008, Etude de faisabilité du barrage de Bounachi sur l'oued rebta (Tizi Ouzou) Mémoire de fin d'étude Ecole National Supérieur en Hydraulique, Blida, 172 pages.
- [9] **Buján., César, M., et Véliz., José et Manzanares., Boris.**, " Hydrologie appliquée", ALGER, AVRIL 2004,72 pages.
- [10] **Règles Parasismiques Algériennes (RPA 99).**, Manuelle, 2003, 6 pages.
- [11] **Rodriguez., Bernardo, A., La Rosa., Santos.**, Manuel Procédures méthodologiques pour l'exécution des études des retenues collinaires et petits barrages Alger, Avril 2004,32 pages.
- [12] **Mostefai A.**, 2003, Etude de faisabilité d'une retenue collinaire Hedjia (Djelfa), Mémoire de fin d'étude –Ecole National Supérieur hydraulique, Blida, 151 pages.

ملخص :

هنا قمنا بإجراء دراسة أولية على واد سيدي أحمد يوسف (ولاية تيزي وزو) لتركييب سد. في المقام الأول لتوفير مياه الشرب و الري في المناطق الزراعية المحيطة بها.
بعد إجراء دراسة جيولوجية و جيوتقنية , تليها دراسة هيدرولوجية, قمنا بتقدير هذا المنشأ بارتفاع ذات 43 متر وسعة 26.6 مليون متر مكعب على امتداد 350 م.

Résumé :

Dans le présent mémoire nous avons affectuer une étude préliminaire sur l'Oued Sidi Ahmed Youcef (Wilaya de Tizi Ouzou) pour l'implantation d'un barrage en terre; destiné principalement à l'alimentation en eaux potable et l'irrigation des terres agricoles des régions avoisinantes.

Après avoir réalisé une étude géologique et géotechnique, suivie d'une étude hydrologique, nous avons dimensionné notre ouvrage ayant une hauteur de 43 m, et une capacité de 26.6 million m³ sur une longueur de 350 m.

Abstract:

Here in we conduct a preliminary study on the Oued Sidi Ahmed Youcef (Tizi Ouzou Province) for the installation of an earth dam ; primarily for drinking water supply and irrigation of farmland surrounding areas.

After conducting a geological and geotechnical study, followed by a hydrological study we have sized our work with a height of 43 m and a capacity of 26.6 million m³ over a length of 350 m.