



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

## MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

**M. BOUTLENDJ Omar**

**M. YATALIT Amazigh**

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

Option : **Ouvrages et Aménagements Hydrauliques**

### INTITULE :

## **ETUDE DE FAISABILITE DU BARRAGE DE BENI SLIMANE (W. MEDEA)**

Soutenu le **04/07/2019** devant le jury composé de :

- Président : M. I-BENDAHDJANE
- Promoteur : M. A-HAMMOUCHE
- Examineur : M. A- BERREKSI

## *Remerciements*

Au terme de ce travail, louange au bon Dieu grand créateur qui nous a donné la force et la capacité de réaliser ce travail et nous a guidé pour arriver à ce niveau.

Nous adressons nos remerciements à nos parents pour nous avoir encouragé et permis d'entreprendre les études. Sans eux, nous ne serions pas là. Nous adressons nos plus vifs remerciements à notre promoteur M. HAMMOUCHE pour avoir accepté de nous guider dans ce travail et pour le temps précieux qu'il nous a consacré à chaque fois que cela était nécessaire.

Nous tenons à remercier M. BENDAHMANE pour toute l'aide qu'il nous a offerte, sa disponibilité et ses orientations.

Nous remercions tous les enseignants du département d'Hydraulique qui ont contribué à notre formation et les connaissances qu'ils nous ont transmises grâce auxquelles nous avons pu réaliser ce travail.

Nous tenons également à remercier les membres du jury qui nous feront l'honneur d'examiner ce travail.

Nous adressons nos remerciements aussi à Hocine KACEF et Smail KACED pour leur aide durant ce travail.

Enfin, nous exprimons nos vifs remerciements à tous ceux ou celles qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Amazigh et Omar

# Dédicaces

*Je tiens à dédier ce travail au deux personne les plus chers à mon coeur mes très chers parents qui mon soutenue et inculquer tous ce que je sais tout au long de c'est année dieux les garde.*

-

*Aux sources d'inspiration et qui sont mon très chers frère et ma sœur en particulier, et tous mes proches.*

*A celui qui a collaboré avec moi dans ce travail mon collègue et ami Y. Amazigh*

*A mes chers amis qui m'ont soutenu pendant mon cursus universitaire en particulier à Aissa bandi, Mouh, Mehdi, Latif, Naim mi3ouch, Aghilas bazou, Nabile, Chouchou, Anis, Smail, Mohand Ghorsam, et à ma chère Dalila et aux étudiants du département d'hydraulique, et surtout la classe de master 2, option ouvrages et aménagement hydrauliques promotion 2019.*

*Et en fin à tous qui m'ont aidé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

*Toute ma gratitude pour ceux que je n'ai pas pu porter leurs noms.*

***Boutlendj Omar***

# *Dédicaces*

Je dédie ce travail à mes chers parents, à la mémoire de ma tante « Hassina », à mon frère Brahim et ma sœur Dihia, et à toute ma famille sans exception.

Je le dédie aussi à mon binôme O\_ BOUTLENDJ, à mes amis : Smail, Moumouh, Nabil, Salah, et Ahmed (lehvav tmara).

AMAZIGH

# TABLE DES MATIERES

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| INTRODUCTION GENERALE ..... | 1 |
|-----------------------------|---|

## Chapitre I : Synthèse de l'étude géologique et géotechnique

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Introduction.....                                                                         | 2  |
| I.1 Description du site de barrage.....                                                   | 2  |
| I.1.1 Localisation de la zone d'étude .....                                               | 2  |
| I.1.2 Choix de site du barrage .....                                                      | 3  |
| I.2 Étude géologique .....                                                                | 3  |
| I.2.1 Géologie régionale .....                                                            | 3  |
| I.2.2 Géologie de site du barrage .....                                                   | 4  |
| I.2.3 Géologie de la cuvette .....                                                        | 4  |
| I.2.4 Zone de glissement .....                                                            | 5  |
| I.2.5 Sismicité régionale du site.....                                                    | 5  |
| I.3 Reconnaissances INSITU.....                                                           | 5  |
| I.3.1 Trachées de reconnaissance.....                                                     | 5  |
| I.3.2 Sondages carottés .....                                                             | 5  |
| I.3.3 Essais de perméabilité (Lefranc et lugeons).....                                    | 5  |
| I.3.4 Essais SPT .....                                                                    | 6  |
| I.4 Étude géotechnique .....                                                              | 6  |
| I.4.1 Condition naturelle .....                                                           | 6  |
| I.4.2 Caractéristique géotechnique de la fondation .....                                  | 6  |
| I.5 Matériaux de construction.....                                                        | 7  |
| I.5.1 Sols à utiliser au noyau.....                                                       | 8  |
| I.5.2 Matériaux à utiliser dans les recharges.....                                        | 8  |
| I.5.3 Matériaux a utilisé dans les filtres.....                                           | 9  |
| I.5.4 Matériaux pour les drains et agrégats pour le béton et enrochement (carrière) ..... | 9  |
| I.5.5 Matériaux disponibles .....                                                         | 10 |
| Conclusion.....                                                                           | 10 |

## Chapitre II : Etude hydrologique

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Introduction .....                                            | 11 |
| II.1 Bassin versant .....                                     | 11 |
| II.1.1 Caractéristiques morphologiques du bassin versant..... | 12 |

|          |                                                                                |    |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| II.1.1.1 | Paramètre géométrique.....                                                     | 12 |
| II.1.1.2 | Paramètres de forme .....                                                      | 13 |
| II.1.1.3 | Paramètres de relief .....                                                     | 14 |
| II.1.2   | Caractéristiques hydrographiques .....                                         | 16 |
| II.1.2.1 | Profil en long du cours d'eau principale .....                                 | 16 |
| II.1.2.2 | Pente moyenne du cours d'eau principal .....                                   | 16 |
| II.1.3   | Caractéristiques climatiques du bassin versant du barrage de Beni Slimane..... | 16 |
| II.1.3.1 | La température.....                                                            | 17 |
| II.1.3.2 | Évaporation.....                                                               | 17 |
| II.2     | Pluviométrie .....                                                             | 18 |
| II.2.1   | Homogénéisation des données pluviométriques .....                              | 18 |
| II.2.1.1 | Homogénéisation des pluies journalières maximales .....                        | 18 |
| II.2.1.2 | Homogénéisation des pluies annuelles moyennes.....                             | 20 |
| II.2.1.3 | Pluies mensuelles .....                                                        | 21 |
| II.2.1.4 | Calcul de la Pluie moyenne annuelle.....                                       | 21 |
| II.2.2   | Ajustement des pluies maximales journalières .....                             | 22 |
| II.2.2.1 | Ajustement à loi Gamma .....                                                   | 22 |
| II.2.2.2 | Ajustement à la loi log-normal.....                                            | 24 |
| II.2.2.3 | Ajustement à loi Gumbel .....                                                  | 25 |
| II.3     | Étude des écoulements .....                                                    | 27 |
| II.3.1   | Écoulement liquide.....                                                        | 27 |
| II.3.1.1 | Homogénéisation des écoulements liquides.....                                  | 27 |
| II.3.1.2 | Écoulement moyen interannuel.....                                              | 27 |
| II.3.1.3 | Répartition mensuelle de l'écoulement moyen.....                               | 28 |
| II.3.1.4 | Caractéristiques de l'écoulement .....                                         | 28 |
| II.3.1.5 | Étude fréquentielle des écoulements .....                                      | 30 |
| II.3.2   | Écoulement Solide.....                                                         | 31 |
| A)       | Formule de Tixeront-Sogreah : .....                                            | 31 |
| II.3.2.1 | Volume mort.....                                                               | 31 |
| II.4     | Étude des crues .....                                                          | 31 |
| II.4.1   | Temps de concentration .....                                                   | 32 |
| II.4.2   | Pluies de courtes durées .....                                                 | 32 |
| II.4.3   | Calcul des Débits Maximaux Probables.....                                      | 34 |

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| II.4.3.1 Ajustement de la série hydrométrique de Mellah oust..... | 34 |
| II.4.4 Construction des hydrogrammes de crue .....                | 35 |
| II.4.5 Choix de la crue de projet et de la crue de chantier ..... | 36 |
| II.4.5.1 Choix de la crue de projet.....                          | 36 |
| II.4.5.2 Choix de la crue du chantier.....                        | 37 |
| Conclusion .....                                                  | 38 |

### **Chapitre III : Étude de régularisation et de laminage de crues**

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Introduction.....                                                                             | 39 |
| III.1 Étude de la régularisation de l'écoulement .....                                        | 39 |
| III.1.2 Évaporation nette .....                                                               | 42 |
| III.1.3 Garantie de satisfaction des besoins.....                                             | 43 |
| III.1.4 Choix de type de régularisation .....                                                 | 43 |
| III.1.5 Régularisation interannuelle .....                                                    | 43 |
| III.1.5.1 Calcul du volume utile de barrage sans tenir compte des pertes.....                 | 44 |
| III.1.5.2 Calcul du volume utile de barrage en tenant compte des pertes.....                  | 46 |
| III.2 Laminage des crues .....                                                                | 46 |
| III.2.1 Laminage de la crue de projet par la méthode de KOTCHERINE : .....                    | 46 |
| III.2.1.1 Estimation du débit de crue laminée .....                                           | 46 |
| III.2.1.2 Estimation du volume de la crue.....                                                | 47 |
| III.2.1.3 Estimation de la charge au-dessus du déversoir .....                                | 47 |
| III.2.2 Laminage pour un déversoir de largeur $b = 20$ m, par la méthode de<br>HIDENBLAT..... | 50 |
| Conclusion.....                                                                               | 53 |

### **Chapitre IV : Conception de la digue**

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Introduction .....                                                                             | 54 |
| IV.1 Variantes envisageables .....                                                             | 54 |
| IV.2 Choix du type de barrage .....                                                            | 55 |
| IV.3 Définition du profil général du barrage.....                                              | 55 |
| IV.3.1 Niveau de la crête de la digue .....                                                    | 55 |
| IV.3.1.1 Niveau de la crête de la digue sans tenir compte des efforts sismiques. ....          | 55 |
| IV.3.1.2 Niveau de la crête en prenant en considération les contraintes dues au<br>séisme..... | 56 |

|          |                                                      |    |
|----------|------------------------------------------------------|----|
| IV.4     | Dimensionnement de la digue en remblai zonée .....   | 57 |
| IV.4.1   | Cote de la fondation .....                           | 57 |
| IV.4.2   | Hauteur total de la digue .....                      | 57 |
| IV.4.3   | Largeur en crête de la digue : .....                 | 58 |
| IV.4.4   | Longueur tirée à partir de la moyenne en crête ..... | 58 |
| IV.4.5   | Les risbermes.....                                   | 58 |
| IV.4.6   | Fruits des talus.....                                | 59 |
| IV.4.7   | Largeur en base de la digue .....                    | 59 |
| IV.4.8   | Revêtements des talus .....                          | 60 |
| IV.4.8.1 | Talus aval .....                                     | 60 |
| IV.4.8.2 | Talus amont .....                                    | 60 |
| IV.4.9   | Noyau argileux .....                                 | 61 |
| IV.4.9.1 | Côte de la crête du noyau argileux .....             | 61 |
| IV.4.9.2 | Côte de la fondation du noyau argileux .....         | 61 |
| IV.4.9.3 | Hauteur de noyau argileux.....                       | 61 |
| IV.4.9.4 | Largeur en crête.....                                | 62 |
| IV.4.9.5 | Fruits des parements du noyau argileux.....          | 62 |
| IV.4.9.6 | Largeur en base du noyau argileux.....               | 62 |
| IV.4.9.7 | Largeur du noyau au terrain naturel .....            | 62 |
| IV.5     | Etude des infiltrations .....                        | 63 |
| IV.5.1   | à travers le corps du barrage.....                   | 63 |
| IV.5.1.1 | La ligne de saturation .....                         | 63 |
| IV.5.1.2 | Débit de fuite unitaire.....                         | 64 |
| IV.5.2   | Fondation.....                                       | 65 |
| IV.6     | Stabilités hydraulique de la digue .....             | 65 |
| IV.6.1   | Classification de la digue .....                     | 65 |
| IV.6.2   | Stabilité du noyau.....                              | 66 |
| IV.6.3   | Stabilité de la digue .....                          | 67 |
| IV.6.4   | Stabilité de la fondation de la digue.....           | 68 |
| IV.7     | Drain .....                                          | 69 |
| IV.7.1   | Prisme de drainage .....                             | 69 |
| IV.8     | Filtre.....                                          | 70 |
| IV.9     | Injection d'étanchéité.....                          | 70 |

|                                  |                                                                    |    |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----|
| IV.10                            | Coût estimatif de la digue en remblai zonée a noyau argileux ..... | 71 |
| Conclusion.....                  |                                                                    | 71 |
| CONCLUSION GENERALE.....         |                                                                    | 72 |
| Références bibliographiques..... |                                                                    | 73 |

# Liste des tableaux

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau (I.1) : Caractéristiques des séismes de projet .....                                                   | 5  |
| Tableau (I.2) : caractéristique géotechnique des zones de la fondation.....                                    | 7  |
| Tableau (I.3) : coordonnées UTM des zones d’emprunt et l’axe du barrage.....                                   | 8  |
| Tableau (I.4) : Essais au laboratoire pour la zone d’emprunt des matériaux à utiliser dans le Noyau.....       | 8  |
| Tableau (I.5) : Essais au laboratoire pour la zone d’emprunt des matériaux à utiliser dans les recharges. .... | 9  |
| Tableau (I.6) : Essais au laboratoire pour la zone d’emprunt des matériaux à utiliser dans les filtres.....    | 9  |
| Tableau (I.7) : Disponibilités des matériaux pour remblais (m <sup>3</sup> ).....                              | 10 |
|                                                                                                                |    |
| Tableau (II.1) : répartition des surfaces en fonction des altitudes.....                                       | 14 |
| Tableau (II.2) : Températures mensuelles .....                                                                 | 17 |
| Tableau (II.3) : Répartition mensuelle de l’évaporation en (mm) (1986/2006).....                               | 17 |
| Tableau (II.4) : caractéristique des stations pluviométrique.....                                              | 18 |
| Tableau (II.5) : les caractéristiques des stations pluviométriques.....                                        | 21 |
| Tableau (II.6) : pluies maximales journalière fréquentielle ajustée à la loi Gamma.....                        | 23 |
| Tableau (II.7) : Pluie maximale journalière fréquentielle ajustée à la loi Log-Norma.....                      | 25 |
| Tableau (II.8) : Pluie maximale journalière fréquentielle ajustée à la loi Gumbel.....                         | 26 |
| Tableau (II.9) : Caractéristiques de la station hydrométrique de Beni Slimane.....                             | 27 |
| Tableau (II.10) : Résultats du test de WILKOXON.....                                                           | 27 |
| Tableau (II.11) : Les valeurs de l’écoulement liquide fréquentiel pour différentes fréquences.....             | 30 |
| Tableau (II.12) : Les débits maximales annuels fréquentielle ajustée à la loi Gumbel.....                      | 35 |
| Tableau (II.13) : Crue de projet recommandée.....                                                              | 37 |
|                                                                                                                |    |
| Tableau (III.1) : Surfaces submergées et les volumes d’eau correspondants .....                                | 40 |
| Tableau (III.2) : Répartition mensuelle de l’évaporation (brute, nette), pluie brute .....                     | 42 |
| Tableau (III.3) : écoulement pendant la période d’étéage .....                                                 | 45 |
| Tableau (III.4) : Données initiales .....                                                                      | 47 |

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau (III.5) : Débit laminés pour différentes largeurs hydrauliques .....                                     | 48 |
| Tableau (III.6) : Débit laminés pour différentes largeurs de déversoir .....                                     | 48 |
| Tableau (III.7) : la variation de débit laminée en fonction de volume emmagasin .....                            | 50 |
| Tableau (III.8) : Hydrogramme de la crue de projet et hydrogramme de crue laminée .....                          | 51 |
|                                                                                                                  |    |
| Tableau (IV.1) : Récapitulatif des résultats de calcul de la revanche .....                                      | 56 |
| Tableau (IV.2) : Récapitulatif des résultats du calcul de la largeur en crête .....                              | 58 |
| Tableau (IV.3) : Valeurs des fruits recommandés pour les talus des digues en terre .....                         | 59 |
| Tableau (IV.4): Epaisseur de l'enrochement et D50 minimal des pierres en fonction de la hauteur de la vague..... | 61 |
| Tableau (IV.5) : Coordonnées de la ligne de saturation pour la digue en remblai zonée à noyau.....               | 64 |
| Tableau (IV.6) : Classification des digues en terre en fonction du type de la fondation.....                     | 66 |
| Tableau (IV.7) : Gradient admissible en fonction de la classe de la digue.....                                   | 67 |
| Tableau (IV.8) : Gradient d'infiltration critique.....                                                           | 68 |
| Tableau (IV.9) : Coefficient de sécurité de la fondation vis-à-vis les infiltrations.....                        | 68 |
| Tableau (IV.10) : coût détaillé de la digue en remblai zoné à noyau argileux.....                                | 71 |

# *Liste des figures*

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure (I.1) : situation géographique de barrage de Beni Slimane.....                                              | 2  |
| Figure (II.1) : bassin hydrographique.....                                                                         | 12 |
| Figure (II.2) : Courbe hypsométrique.....                                                                          | 14 |
| Figure (II.3) : profile en long du cours d'eau principale.....                                                     | 16 |
| Figure (II.4) : Répartition mensuel des températures moyenne.....                                                  | 17 |
| Figure (II.5) : Répartition mensuelle de l'évaporation .....                                                       | 18 |
| Figure (II.6) : corrélation simple entre les précipitations maximales journalières Djouab-Beni Slimane.....        | 19 |
| Figure (II.7) : corrélation simple entre les précipitations maximales journalières Djouab Pont de la Traille ..... | 19 |
| Figure(II.8) : corrélation simple entre les précipitations totales de Djouab_Beni Slimane .....                    | 20 |
| Figure (II.9) : corrélation simple entre les précipitations totales de Djouab-Pont de la Traille.....              | 20 |
| Figure (II.10) Répartition mensuelle des fractions de la pluie.....                                                | 22 |
| Figure (II.11) : Ajustement à la loi Gamma (Maximum de vraisemblance).....                                         | 23 |
| Figure (II.12) Ajustement à la loi log-normal (maximum de vraisemblance).....                                      | 24 |
| Figure (II.13) : Ajustement à la loi Gumbel (maximum de vraisemblance).....                                        | 26 |
| Figure (II.14) Représentation mensuelle des écoulements liquides à Beni Slimane .....                              | 28 |
| Figure (II.15) : Répartition mensuelle de l'écoulement liquide fréquentiel.....                                    | 31 |
| Figure (II.16) : courbe Précipitation-Durée-Fréquence .....                                                        | 33 |
| Figure (II.17) : courbe Intensité-Durée-Fréquence .....                                                            | 33 |
| Figure (II.18) : Ajustement à la loi Gumbel (maximum de vraisemblance) .....                                       | 34 |
| Figure (II.19) : Les hydro grammes des crues fréquentielles.....                                                   | 36 |
| Figure (II.20) : Hydro gramme de la crue de Projet.....                                                            | 37 |
| Figure (II.21) : Hydrogramme de la crue de chantier.....                                                           | 38 |
| Figure (III.1) : courbe Altitude Surface.....                                                                      | 41 |
| Figure (III.2) : courbe Altitude volume.....                                                                       | 41 |
| Figure (III.3) : Répartition mensuelle de l'évaporation (brute, nette), pluie brute.....                           | 43 |
| Figure (III.4) : Débit laminés pour différentes largeur de déversoir.....                                          | 49 |

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure (III.5) : volume de la crue laminée pour différentes largeur de déversoir.....       | 49 |
| Figure (III.6) : La variation de débit laminé en fonction de volume emmagasiné.....         | 51 |
| Figure (III.7) : Hydrogramme de la crue de projet et l'hydrogramme de la crue laminée ..... | 52 |
| Figure (IV.1) : Dimensionnement du prisme de drainage.....                                  | 70 |

## Liste des Symboles

- $\delta_m$  : Largeur de noyau au terrain naturel [m].
- $\bar{S}$  : Surface moyenne qui correspond à  $\bar{V}$  [m<sup>2</sup>].
- $\delta'$  : Epaisseur fictif du noyau [m].
- $\bar{V}$  : Volume moyen [Mm<sup>3</sup>].
- a : Hauteur libres de sécurité [m].
- b : Exposant climatique [-].
- $B_{bA}$  : Largeur en base de la digue [m].
- $B_{cr}$  : Largeur en crête de la digue [m].
- $b_d$  : Largeur de déversoir [m].
- $b_{ncr}$  : Largeur en crête du noyau [m].
- Cc : Côte de la crête de la digue [m. NGA].
- $C_{cn}$  : Côte de la crête du noyau [m. NGA].
- $C_j$  : Côte de la fondation du barrage [m. NGA].
- $C_s$  : Coefficient d'asymétrie [-].
- $C_V$  : Coefficient de variation moyen de l'écoulement annuelle [-].
- d : La largeur en base du noyau diminue de à 0,7. b [m].
- $D_{50}$  : Dimension minimale des blocs [m].
- $D_s$  : Dénivelée spécifique [m].
- E : Evaporation [mm].
- $E_0$  : Ecoulement moyen interannuel [Mm<sup>3</sup>].
- $E_b$  : Evaporation brute [mm].
- $E_D$  : Epaisseur de tapis drainant.
- $E_F$  : Ecoulement fréquentiel [Mm<sup>3</sup>].
- $E_m$  : Ecoulement pendant la période d'étiage [m<sup>3</sup>].
- $E_n$  : Evaporation nette [mm].
- $E_P$  : Epaisseur de la couche de l'enrochement [m].
- F : Fetch [Km].
- g : Accélération de pesanteur [m/s<sup>2</sup>].
- H : Charge hydraulique sur le déversoir [m].
- $H^*$  : Dénivelée entre la première courbe de niveau et le niveau de l'exutoire [-].
- $H_0$  : Echantillon provient d'une loi normale [-].
- $H_1$  : Echantillon ne provient pas d'une loi normale [-].
- $H_b$  : Hauteur du barrage [m].
- $H_{bA}$  : Hauteur total de la digue [m].
- $H_{max}$  : Altitude maximale [m. NGA].
- $H_{mes}$  : Altitude médiane [m. NGA].
- $H_{min}$  : Altitude minimale [m. NGA].
- $H_{moy}$  : Altitude moyenne [m. NGA].
- $H_n$  : Hauteur de noyau argileux [m].
- $H_{nTN}$  : Hauteur du noyau à partir de terrain naturel [m].
- $H_p$  : Hauteur de prisme [m].

$h_v$  : Hauteur de la vague [m].  
 $I_0$  : Intensité de pluie [mm/h].  
 $I_C$  : Pente moyenne du cours d'eau [%].  
 $I_g$  : Indice de pente globale [%].  
 $I_{mp}$  : Indice de pente moyenne [%].  
 $K_C$  : Indice de compacité [-].  
 $K_D$  : Coefficient de perméabilité de matériau constituant le drain [m/s].  
 $K_n$  : Coefficient de perméabilité du noyau [m/s].  
 $K_P$  : Coefficient d'allongement [-].  
 $K_s$  : Coefficient qui tient compte des efforts sismique [-].  
 $L$  : Largeur de la crête [m].  
 $l_D$  : Largeur de tapis drainant [m].  
 $L_e$  : Lamé d'eau écoulée [mm].  
 $l_r$  : largeur équivalent [Km]  
 $L_r$  : Longueur du rectangle équivalent [Km]  
 $m$  : Volume relatif pendant la période d'étiage [-].  
 $M_0$  : Module de l'écoulement relatif [l/s.Km<sup>2</sup>].  
 $m_1$  : Fruit de talus amont de la digue [-].  
 $m_2$  : Fruit de talus aval de la digue [-].  
 $M_e$  : Module d'écoulement [l/s].  
 $m_{n1}$  : Fruit de talus amont du noyau [-].  
 $m_{n2}$  : Fruit de talus aval du noyau [-].  
 $P$  : Précipitations [mm].  
 $P_b$  : Pluie brute [mm].  
 $P_{bv}$  : Périmètre du bassin versant [Km].  
 $P_e$  : Densité volumétrique des sédiments [T/m<sup>3</sup>].  
 $P_j$  : Précipitation journalière d'une période de retour donnée T [mm].  
 $P_{ma}$  : Pluie du mois le plus arrosé [mm].  
 $P_{max,j}$  : Pluies maximales journalières [mm].  
 $P_{moy}$  : Précipitation moyenne annuelle [mm].  
 $P_t$  : Pluies de durées t, de même période de retour T [mm].  
 $P_{vi}$  : La profondeur de voile d'injection [m].  
 $Q$  : Débit de la crue de projet [m<sup>3</sup>/s].  
 $q$  : Débit laminé [m<sup>3</sup>/s].  
 $Q_d$  : Débit instantané de la décrue [m<sup>3</sup>/s].  
 $Q_m$  : Débit instantané de la montée [m<sup>3</sup>/s].  
 $Q_{max}$  : Débit maximum de la crue de fréquence considérée [m<sup>3</sup>/s].  
 $q_n$  : Débit de fuite unitaire [m<sup>3</sup>/s].  
 $r$  : Coefficient de l'autocorrélation [-].  
 $R_s$  : Hauteur de montée de la vague en tenant compte d'un effort sismique [m].  
 $R_V$  : Hauteur de montée de la vague ou revanche [m].  
 $S$  : Surface du bassin versant [Km<sup>2</sup>].  
 $S_1$  : Surface du plan d'eau correspondant à la première courbe de niveau [km<sup>2</sup>].  
 $S_n$  : Surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau Hn [m<sup>2</sup>].

$S_{n-1}$  : Surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau  $H_{n-1}$  [ $m^2$ ].  
 $t$  : Durée de la pluie [h].  
 $T$  : Tassement [m].  
 $T_a$  : Ecoulement Solide [ $T/(km^2.ans)$ ].  
 $T_b$  : Temps global de la crue [h].  
 $t_c$  : temps de concentration [h].  
 $t_d$  : Temps de la décrue en [s].  
 $t_m$  : Temps de la montée de la crue [s].  
 $T_r$  : Période de retour [Ans].  
 $U_{P\%}$  : Demande en eau à satisfaire pour une garantie de P% [ $Mm^3$ ].  
 $V_1$  : Volume d'eau correspondant à la première courbe de niveau [ $m^3$ ].  
 $V_C$  : Volume de la crue [ $m^3$ ].  
 $V_e$  : Volume évaporé [ $Mm^3$ ].  
 $V_F$  : Volume de la charge sur le déversoir déduit de la courbe capacité hauteur [ $m^3$ ].  
 $V_{int}$  : Volume interannuel [ $Mm^3$ ].  
 $V_m$  : volume mort [ $Mm^3$ ].  
 $V_n$  : Volume d'eau correspondant à la courbe de niveau  $H_n$  [ $m^3$ ].  
 $V_S$  : Volume saisonnier qui correspond à  $\beta_c$  calculé [ $Mm^3$ ].  
 $V_u$  : Volume utile [ $Mm^3$ ].  
 $V_v$  : Vitesse de propagation de la vague [m/s].  
 $\alpha$  : Coefficient de régularisation [-].  
 $\beta_c$  : Composante saisonnière du volume utile [-].  
 $\beta_{plur}$  : Composant pluriannuelle du volume utile [-].  
 $\Delta$  : Dénivelée simple [m. NGA].  
 $\Delta H$  : Différence d'altitude entre deux courbes de niveau successives [m].  
 $\Delta L$  : Distance entre deux points du cours d'eau suffisamment distantes [m].  
 $\Delta V_n$  : Volume élémentaire compris entre deux courbes de niveau successives [ $m^3$ ].  
 $\Phi$  : Angle de frottement [ $^\circ$ ].

## **Liste des abréviations**

ANBT : Agence Nationale des Barrages et Transferts

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

CTN : Cote de terrain naturel

m.NGA : Mètre Niveau Géographique Algérie

NNR : Niveau Normal de la Retenue

NO : Nord-Ouest

NPHE : Niveau des Plus Hautes Eaux

NVM : Niveau du Volume Mort

SBE : Séisme de Base d'Exploration

SMD : Séisme Maximal de Dimensionnement

SMHV : Séisme Maximal Historique Vraisemblable

SPT : Standard Pénétration Test

UTM : Unité Transversal Mercator

VNNR : Volume d'eau au Niveau Normale de la Retenue

# *Introduction*

## *Générale*

## INTRODUCTION GENERALE

L'eau est une source rare et précieuse, indispensable pour tout développement que ce soit sur le plan économique ou social, elle est la source de la vie, sa demande est en croissance permanente.

Dans ces dernières années, l'Algérie s'est orienté vers la construction des ouvrages hydrauliques nettement les barrages et les retenues collinaires.

Dans cette optique la wilaya de Médéa a bénéficié d'un important projet de réalisation d'un aménagement hydraulique, c'est celui du barrage de « Beni Slimane ». qui est destiné à l'irrigation de cette région.

Le présent travail a pour but d'étudier la faisabilité du barrage de Beni Slimane. Il comprendra quatre chapitres.

Le premier chapitre sera consacré pour l'analyse des conditions géologiques et géotechniques du site et des zones d'emprunts.

Dans le deuxième chapitre, on va définir les caractéristiques géomorphologiques, hydrographique et climatiques du bassin versant, et on traitera en détail les données pluviométriques en vue de calcul de l'hydrogramme de crue, de l'estimation et le choix de la crue de projet et du transport solide.

Ensuite, le troisième chapitre va contenir l'étude de la régularisation des apports en fonction de la destination de l'aménagement hydraulique et l'étude de laminage des crues afin de déterminer le débit laminé, la hauteur des plus hautes eaux et la largeur du déversoir.

Dans le quatrième chapitre nous allons étudier la conception de la digue.

Enfin, on terminera par une conclusion générale.

*Synthèse de l'étude  
géologique et  
géotechnique*

## Introduction

L'établissement d'un projet nécessite absolument la procédure de s'assurer sur certain nombre de critères d'ordre géotechnique et géologique à raison de justifier notre choix du site. Cette étude géologique a pour but d'étudier la géologie du site de barrage et de définir les caractéristiques géologiques principales, ainsi que la perméabilité, la stabilité de la fondation de la digue et de la cuvette, et de rechercher les zones d'emprunts.

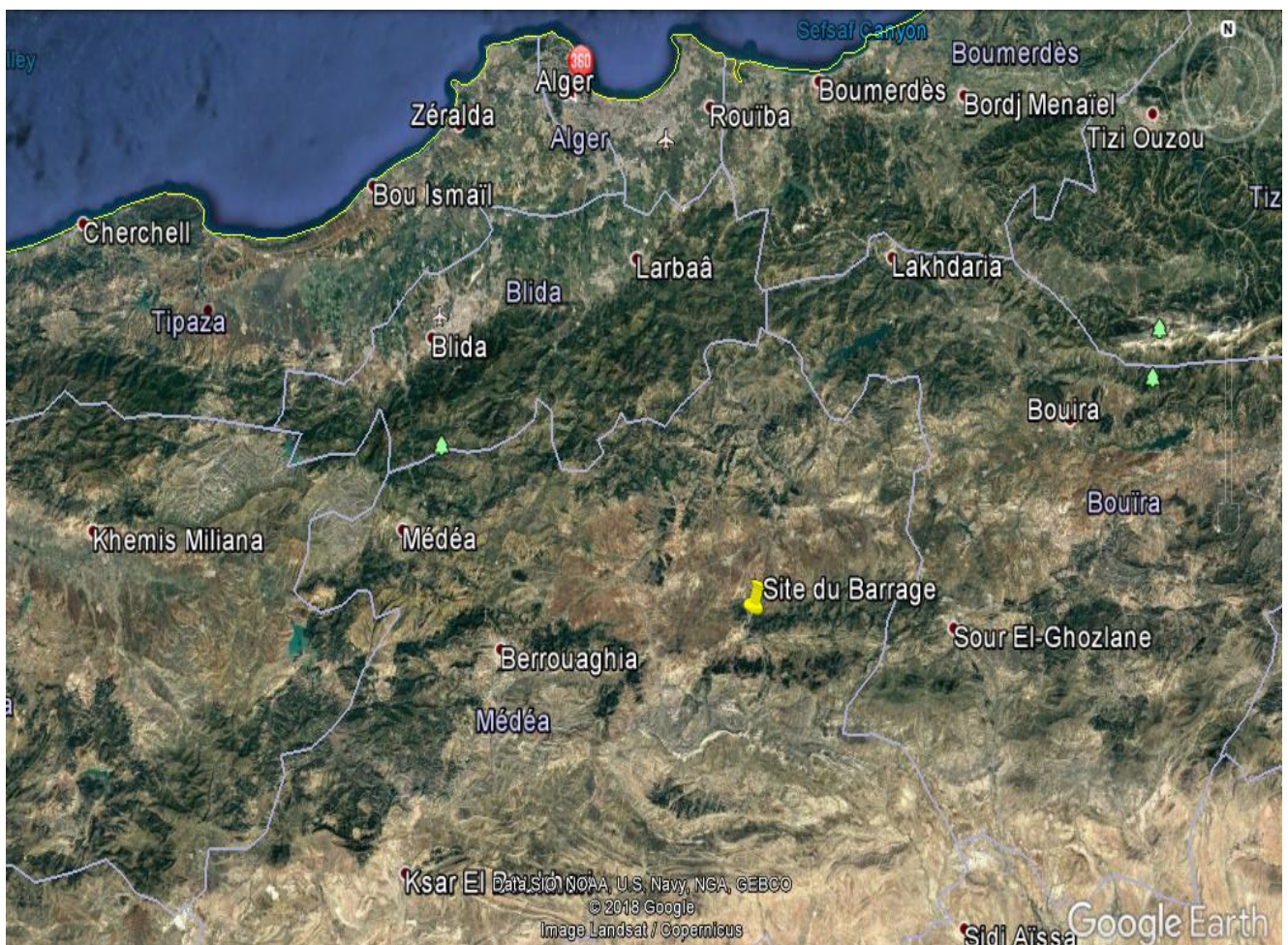
### I.1 Description du site du barrage

#### I.1.1 Localisation de la zone d'étude

Le site du barrage de Beni Slimane est en fait situé sur l'oued Mellah (Wilaya de Médéa), au sud de la ville de Beni Slimane à environ 10 Km du village Souagui. L'oued Mellah est un affluent par la rive droite de l'oued Isser. Les coordonnées UTM du site sont [1]:

$X = 530\,700\text{ m}$ ,  $Y = 4\,002\,200\text{ m}$ ,  $Z = 656.5\text{ m}$

La situation géographique du barrage de Beni Slimane est représentée dans l'annexe (01), est illustrée dans la figure suivante :



**Figure (I.1) : Situation géographique du barrage de Beni Slimane**

### **I.1.2 Choix du site du barrage**

Le choix du site est basé essentiellement sur des connaissances et des conditions topographiques, géologiques, géotechniques et hydrauliques du site.

Parmi les critères déterminants du choix d'un site de barrage, on distingue les différents points suivants :

- Garantir la quantité d'eau qui sera stockée dans la retenue ;
- Bonne géologie pour l'emplacement du barrage et de la retenue ;
- Un resserrement de la gorge liant les deux rives, soit une vallée étroite, d'où le volume du barrage sera minimum ;
- Choisir l'emplacement rapproché des zones d'accès existantes, facile afin d'éviter la création d'autres voies importantes pour les engins et la main d'œuvre ;
- Un site convenable à l'emplacement des ouvrages annexes.

## **I.2 Étude géologique**

### **I.2.1 Géologie régionale**

Le barrage de Beni Slimane se situe dans la région des Kabyles qui se localise à l'extrémité du bassin de la Mitidja, à environ 10 km du village de Souagui dans la bordure méridionale de l'Atlas Tellien. Administrativement le site est situé dans la Wilaya de Médéa, à cheval sur les communes de Souagui, Djouab et Sidi Slimane.

La partie méridionale de l'Atlas Tellien est constituée par deux alignements montagneux parallèles (NO) séparés par une dépression étroite suivant l'axe Souagui-Djouab.

Les reliefs nords constituent un tronçon de la longue chaîne des Bibans, qui se prolonge vers l'Est en direction Bordj Bou Arreridj. Dans la zone qui nous concerne (Nord-Est de la feuille de Souagui), les reliefs principaux sont les Djebels M'Chellak et Boulgroun (1058 m). La chaîne Sud est constituée par l'étroite crête des Djebel Châaba dont les plus hauts sommets sont les Djebels Tourat (1305 m) et Gadet El Grib (1213 m).

L'Oued Mellah coupe les deux chaînes suivant une direction grossièrement Sud-Nord. Le site du barrage est situé dans une cluse creusée à travers les marnes et les quartzites de l'Albo-Aptien constituant le Djebel Mchelfak, la situation géologique de la région d'étude est représentée dans l'annexe (02).

#### **I.2.1.1 Lithologie**

Le site du barrage de Beni Slimane est situé au nord de l'Algérie, dans la région des montagnes de l'atlas. La chaîne Atlasique est orientée Est-Ouest et s'étend du Maroc à l'Ouest jusqu'à la Tunisie à l'Est ; au Nord, est limité par la Méditerranée et, au Sud, par la grande faille Sud-Atlasique. C'est une région mobile très plissée, structurée par l'orogénèse alpine, englobant le domaine Tellien, les Hautes Plaines et l'Atlas Saharien.

- L'Atlas Tellien inclut un ancien complexe cristallophyllien de base constitué par gneiss, schistes et granites, ainsi que des formations paléozoïques légèrement métamorphisées (les grès, les schistes et les pélites avec formations de « flysch » mésozoïques et

cénozoïques) et quelques dépôts terrigènes et carbonatés. Ces roches ont été plissées et fracturées.

- Les Hauts Plateaux sont composés pour une épaisse séquence de dépôts marins et non marins.
- L'Atlas Saharien se compose de dépôts sédimentaires de plateforme épicontinentale jusqu'à 10 000 m d'épaisseur, qui ont été moyennement plissées et fracturés. Les roches et matériaux actuels se composent de grès, d'argiles, de marnes et de roches calcaires.

### **I.2.2 Géologie du site du barrage**

Au niveau du site étudié, on observe en surface une masse marneuse gris-bleu renfermant des intercalations de bancs centimétriques de calcaire à grains fins, de calcaire marneux et de grès fin. Cette masse marneuse est traversée à distances régulières par des bancs de grès quartzeux grossièrement orientés Est-Ouest. L'épaisseur des bancs de grès varie entre 7 et 10 m, avec un pendage globalement orienté vers le Sud ou le Sud-Est.

Dans le fond de la vallée et les appuis on observe la présence des différents niveaux de dépôts de terrasse, de dépôts alluvionnaires de réduite épaisseur et des colluvions.

### **I.2.3 Géologie de la cuvette**

#### ***I.2.3.1 Caractéristiques géomorphologiques***

La géomorphologie de la cuvette du barrage présente une forme allongée d'environ 3800 m. C'est une cuvette longiforme parcourue par l'oued Mellah qui serpente entre deux versants qui sont le plus souvent assez rapprochés et raides. Elle est constituée par des zones de terrasses plates de largeur moyennes de 150 m au niveau des zones rectilignes, et de largeur moyenne de 200 m au niveau des boucles et des méandres. Il coule sur un lit mineur assez rétréci, excédant rarement 50 m. Ce lit mineur est entaillé dans des terrasses limoneuses d'épandage anciennes dont les berges sont sapées régulièrement par l'érosion des crues. Ces terrasses limoneuses surélevées par rapport au lit mineur de 2 à 4 m.

#### ***I.2.3.2 Structure géologique***

La cuvette du barrage est représentée par les mêmes séries géologiques observées au niveau de site du barrage [1].

1. **Sur la rive droite** : Des bancs redressés presque à la verticale qui forment la falaise au-dessus des terrasses alluviales. Ces deux bancs gréseux redressés forment la crête et les reliefs de cette rive droite. Ces bancs toujours redressés longent la rive de l'oued en amont. Ils sont recoupés et décalés par des failles. Les alternances marno-pélitiques présentent parfois des disharmonies au niveau des plissements.
2. **La rive gauche** : En amont présente les formations monoclinales soulignées par les bancs de grès d'orientation grossière est-ouest.

### **I.2.4 Zone de glissement**

Une ancienne zone de glissement d'importante épaisseur (16,5 m) a été identifiée en rive gauche à l'aval du site de l'implantation du barrage, cette zone est limitée inférieurement et

supérieurement par des couches résistantes de nature calcaire gréseuse, qui empêchent le développement de l'instabilité.

### I.2.5 Sismicité régionale du site

Pour établir les scénarios sismiques permettant de définir le Séisme de Base d'Exploration (SBE) et le Séisme Maximal de Dimensionnement (SMD), une analyse de la sismicité dans un rayon de 100 km autour du site du barrage a été effectuée et prenant compte des éléments de la carte sismotectonique. On peut définir :

- Le séisme maximal historique vraisemblable (SMHV) est celui de 24 juin 1910 avec une magnitude  $M = 6.6$  localisé à une distance épicentrale de 10 km.
- Le (SMD) en majorant d'un demi-degré la magnitude du (SMHV)  $M = 6,6 + 0.5 = 7.1$
- Le (SBE) la valeur maximale connue est celle de 21 juin 1960  $M = 5.6$

Les valeurs maximales de la composante horizontale de l'accélération obtenues pour les deux séismes de référence sur le site du barrage, à partir des scénarios sismiques considérés, sont les valeurs proposées au Tableau (I.1) :

**Tableau (I.1) : Caractéristiques des séismes de projet**

| Séisme | Accélération |
|--------|--------------|
| SBE    | 0.12 g       |
| SMD    | 0.29 g       |

## I.3 Reconnaissances INSITU

Tenant compte de l'importance du barrage et des ouvrages hydrauliques annexes, les programmes de reconnaissance d'étude de faisabilité et de la présente phase furent composés par des sondages avec carottage continu, des essais de perméabilité du type Lefranc. Dans le cadre de la recherche de zones d'emprunt et carrières, le programme fut composé par la réalisation des sondages avec carottage continu, et des puits de reconnaissance.

### I.3.1 Tranchées de reconnaissance

12 tranchées de reconnaissance ont été ouvertes avec une profondeur maximale de 8 m, avec prélèvement d'échantillons dans les rives et au fond de la vallée pour la réalisation d'essais au laboratoire dans le but de :

- Déterminer l'épaisseur de fouilles ;
- Observer directement la nature des terrains impliqués ;
- La caractérisation du terrain de la fondation.

### I.3.2 Sondages carottés

Un total de 21 sondages carottés fut réalisé dont l'implantation a concerné le site du barrage et les ouvrages hydrauliques, pendant les différentes phases d'étude. L'exécution des sondages carottés a eu pour objectif principal la reconnaissance des caractéristiques de perméabilité, déformabilité et de résistance au cisaillement du massif de fondation du barrage et respectifs appuis, ainsi que des ouvrages hydrauliques annexes.

### **I.3.3 Essais de perméabilité (Lefranc et lugeons)**

En association avec les terrains meubles et roches tendres, des essais de perméabilité du type Lefranc et lugeons ont été réalisés. Fonction de la nature granulométrique des alluvions, ces essais ont été exécutés en tranches de (Lefranc : 0,5 m, lugeons : 3m et 5m).

### **I.3.4 Essais SPT**

Les sondages effectués en relation avec les terrains meubles et roches tendres ont été accompagnés de l'exécution d'essais SPT (« Standard Pénétration Test »), avec un écart de 1,5 m, les essais SPT ont pour l'objectif de la caractérisation géotechnique des formations, notamment, la classification de la compacité des sables et de la consistance des argiles.

## **I.4 Étude géotechnique**

L'étude géotechnique du barrage Beni-Slimane est basée essentiellement sur [1] :

- La reconnaissance des sols ;
- Les essais de laboratoire ;

### **I.4.1 Condition naturelle**

#### **I.4.1.1 Unité géotechnique**

D'après l'ensemble des sondages réalisés, on peut conclure que le massif de fondation est composé par des alluvions, des dépôts de terrasses, des colluvions, du sol résiduel (matériaux broyés et décomposés) et des unités plus compactes composées par une alternance de marnes, marnes calcaires, calcaires et grès, parfois quartzitiques.

Sur les rives, la partie superficielle est composée par des colluvions et des sols résiduels d'altération. La rive gauche présente de plus importantes épaisseurs (3 à 9 m). En rive droite, l'épaisseur est plus réduite (2 à 6 m)

#### **A) Indice RQD**

Un pourcentage de RQD très variable, en général compris entre 0 et 100 %.

#### **B) Perméabilité**

L'analyse des résultats des essais a permis de conclure que les sols de fondation du barrage sont de nature :

- Argilo-marneuse et gréseuse sont peu perméables à imperméables ( $10^{-5}$  à  $10^{-6}$  m/s) ;
- Les dépôts colluvionnaires présentent aussi des valeurs de perméabilité très réduites ( $10^{-5}$  à  $10^{-6}$  m/s), en résultat de la présence d'une matrice argilo-silteuses ;
- Les dépôts alluvionnaires (AI) analysés sont aussi peu perméables, présentent valeur fréquemment de l'ordre de  $10^{-6}$  m/s.

### **I.4.2 Caractéristique géotechnique de la fondation**

L'analyse des résultats des essais SPT a permis de conclure que la généralité des sols de la fondation présente des valeurs de NSPT supérieures à 50 coups (sols très compacts et durs).

**I.4.2.1 Zonage technique**

L'analyse intégrée des données géologiques, géotechniques et géophysiques conduit à distinguer plusieurs unités géotechniques. Le tableau suivant présente les caractéristiques principales pour les besoins du projet, pour chacune des zones identifiées.

**Tableau (I.2) : caractéristique géotechnique des zones de la fondation**

| Zone                                                 | 1                                                                                                                              | 2                                                                                                                                                    | 3                                                                                                          |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Description                                          | Zone géotechnique supérieure composée de matériaux de surface broyés et dégradés, colluvions, alluvions et dépôts de terrasse. | Zone géotechnique intermédiaire, marneuse, calcaire-marneuse et gréseuse, qui présente de bonnes conditions de fondation résistance et déformabilité | Zone géotechnique inférieure, imperméable, constituée par les mêmes formations avec mieux caractéristique. |
| Profondeur                                           | -                                                                                                                              | 11.5-28 AB<br>13.5-31 RG<br>5-18 RD                                                                                                                  | -                                                                                                          |
| Altérations                                          | Peut résistantes.                                                                                                              | - Massif faible et moyen qualité AB<br>-Massif sain RD                                                                                               | Moyenne à très bonne qualité                                                                               |
| Vitesse des ondes Sismiques longitudinales, VL (m/s) | 290-550                                                                                                                        | 730-3000                                                                                                                                             | >3000                                                                                                      |
| Pourcentage de récupération (%)                      | 24-100                                                                                                                         | 45-100                                                                                                                                               | 80-100                                                                                                     |
| Pourcentage de RQD (%)                               | 0-20<br>(Exceptionnellement > 20)                                                                                              | 0-60<br>Exceptionnellement > 60)                                                                                                                     | 0-100                                                                                                      |
| Perméabilité Lefranc (m/s)                           | $4 \times 10^{-6}$ à $7 \times 10^{-5}$                                                                                        | -                                                                                                                                                    | -                                                                                                          |
| Unité lugeon                                         | -                                                                                                                              | 4-31                                                                                                                                                 | <3                                                                                                         |

**I.5 Matériaux de construction**

Les résultats obtenus dans les travaux de reconnaissance réalisés dans les zones A1 A2 A4 A5 A6 et carrières CP3 qui est située à environ 2 Km au sud de l'axe du barrage et la carrière Romada à environ 8 Km au sud-est, permettent d'affirmer qu'à proximité du site du barrage il y aura des matériaux convenables pour la construction d'un barrage en remblai zoné. Le tableau suivant présente les coordonnées UTM de ces zones et l'axe du barrage.

**Tableau (I.3) : coordonnées UTM des zones d'emprunt et l'axe du barrage**

| Zone | X(m)   | Y(m)    |
|------|--------|---------|
| A1   | 530598 | 4003160 |
| A2   | 530115 | 4003038 |
| A4   | 530291 | 4001796 |
|      | 530399 | 4001528 |
| A5   | 530600 | 4001908 |
|      | 530914 | 4001329 |
| A6   | 531514 | 3999599 |
| AB   | 530700 | 4002200 |

**I.5.1 Sols à utiliser au noyau**

Terrasse argileux (argilo-limoneux ou argileux de granulométrie étendue), ce sont des sols avec les meilleures caractéristiques géotechniques pour un noyau imperméable trouvés dans les zones d'emprunt A1, A2, A4, A5 et A6.

Des échantillons remaniés, prélevés de puits, ont été sélectionnés afin de les soumettre à des essais d'identification : analyses granulométriques, détermination des limites de consistance, des teneurs en eau et de la densité des particules solides.

Les principaux résultats obtenus sont présentés dans le Tableau (I.4).

**Tableau (I.4) : Essais au laboratoire pour la zone d'emprunt des matériaux à utiliser dans le noyau**

| Essais/analyse                     |          | Classification unifié                         |
|------------------------------------|----------|-----------------------------------------------|
| Classification unifiée             |          | Sols argileux et limoneux (CL, CH et ML)      |
| Zone d'emprunt                     |          | A1 A2 A 45 A6                                 |
| Nombre                             |          | 38                                            |
| Granulométrie                      | Fins (%) | 80-85                                         |
| Limite d'Atterberg                 | LL (%)   | 32-47                                         |
|                                    | LP (%)   | Moyen                                         |
|                                    | IP       | 15-23                                         |
| Densité des particule solide       |          | 2.67-2.73                                     |
| Teneur en eau (%)                  |          | 10-18                                         |
| Teneur en matière organique (%)    |          | 4.5-12                                        |
| Cisaillement                       |          | $\Phi' = 20^\circ$<br>$C' = 5 \text{ KN/m}^2$ |
| Perméabilité avec compactage à 95% |          | 0                                             |

**I.5.2 Matériaux à utiliser dans les recharges**

Pour la construction des recharges en remblai zoné on pourra disposer de plusieurs types de matériaux :

- Les dépôts de terrasse sableux trouvé dans les zones d'emprunt A1, A2, A4, A5 et A6 ;

- Les colluvions, sols résultants d'altération des roches, majoritairement recueillis dans l'axe du barrage ;
- Les roches provenant de la carrière CP3 des travaux de reconnaissance ont été réalisés, ils sont récapitulés dans le tableau (I.5)

**Tableau (I.5) : Essais au laboratoire pour la zone d'emprunt des matériaux à utiliser dans les recharges**

| Essais/analyse               |          | Résultat                                      |                                               |
|------------------------------|----------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Classification unifié        |          | Terrasse argileuse-sableuse (GC, SM, SC)      | Dépôt colluvion (CL, CH)                      |
| Zone d'emprunt               |          | A1 A2 A 45 A6                                 | Axe de barrage                                |
| Nombre                       |          | 14                                            | 07                                            |
| Granulométrie                | Fins (%) | 17-45                                         | 70                                            |
| Limite d'Atterberg           | LL (%)   | 28-39                                         | 45-52                                         |
|                              | LP (%)   | 16-25                                         | 18-24                                         |
|                              | IP       | 11-15                                         | 17-26                                         |
| Densité des particule solide |          | 2.67                                          | -                                             |
| Teneur en eau (%)            |          | 5.4-13.4                                      | 5.9-46.7                                      |
| Teneur en matière organique  |          | 4.5-5.5                                       | -                                             |
| Teneur en carbonate          |          | 15-21                                         | -                                             |
| Cisaillement                 |          | $\Phi' = 30^\circ$<br>$C' = 0 \text{ KN/m}^2$ | $\Phi' = 28^\circ$<br>$C' = 0 \text{ KN/m}^2$ |
| Perméabilité                 |          | $10^{-6}$                                     | $10^{-7}$                                     |

### I.5.3 Matériaux à utiliser dans les filtres

Les matériaux à utiliser dans les filtres sont les sables ainsi que les graviers, ces matériaux pourront être obtenus de l'exploitation des alluvions graveleuses occurrentes à l'amont et à l'aval du barrage, des échantillons de ces matériaux ont été recueillis dans les zones d'emprunt A1 A2 A4 A5 A6 pour les essais au laboratoire dans l'objectif de les caractériser. Les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau (I.6) :

**Tableau (I.6) : Essais au laboratoire pour la zone d'emprunt des matériaux à utiliser dans les filtres**

| Classification unifiée                  |          | Alluvions ((GC, CP) |
|-----------------------------------------|----------|---------------------|
| Granulométrie                           | Fins (%) | 02-11               |
| Poids volumique sec ( $\text{KN/m}^3$ ) |          | 18.3-21.5           |
| Teneur en eau (%)                       |          | 06-14               |

### I.5.4 Matériaux pour les drains et agrégats pour le béton et enrochement (carrière)

Pour les drains et agrégats pour le béton et enrochements on a prévu l'obtention de ces matériaux à partir de la carrière potentielle CP3 et carrière de Romada, (à l'amont du site de barrage) :

- Calcaire : les sondages effectués dans carrière CP3 ont montré la présence d'un massif calcaire très dur et homogène de bonne qualité jusqu'à environ 35 m de profondeur ;
- Les Roches : les résultats des essais au laboratoire ont montré la présence des matériaux de classification ; roche peu altérée et avec une résistance mécanique moyenne à élevée dans la carrière Romada (Djouab).

### I.5.5 Matériaux disponibles

Les disponibilités des volumes de matériaux pour les remblais sont représentées dans le tableau suivant [1] :

**Tableau (I.7) : Disponibilités des matériaux pour remblais (m<sup>3</sup>)**

|                         | Noyau  | Recharge | Agrégats | Filtres |
|-------------------------|--------|----------|----------|---------|
| A1                      | 56000  |          | -        | -       |
| A2                      | 150000 | 124500   | -        | -       |
| A4                      | 68500  | 300000   | -        | -       |
| A5                      | 100000 | 438000   | -        | -       |
| A6                      | 187500 | 420000   | -        | -       |
| A6 Aval                 | 130000 | -        | -        |         |
| Alluvions<br>Graveleuse | -      | -        | 260000   |         |
| CP3                     | -      | -        | 250000   |         |
| Total disponible        | 542000 | 1432500  | 510000   |         |

### Conclusion

L'étude géologique et géotechnique a montré que :

- Le massif de la fondation est composé par une couverture perméable, composé par des sols alluvionnaires, des colluvions et des dépôts de terrasse, sur un massif rocheux composé par une alternance de marnes, marnes calcaires et grès calcaire, parfois quartzitique ;
- Selon le zonage géotechnique on prévoit que le voile d'injections devra être ancré dans la zone géotechnique inférieure qui a une perméabilité < 3 UL] ;
- Les résultats obtenus dans les travaux de reconnaissance réalisés permettent d'affirmer qu'à proximité du site du barrage il y aura des matériaux convenables pour la construction d'un barrage en remblai zoné ;
- Des fouilles pour l'ancrage du noyau et enlever les sols colluvio-alluvionnaires, les dépôts de terrasse ainsi que la partie d'altération plus décomprimée du massif rocheux sont nécessaires.

*Etude hydrologique*

## Introduction

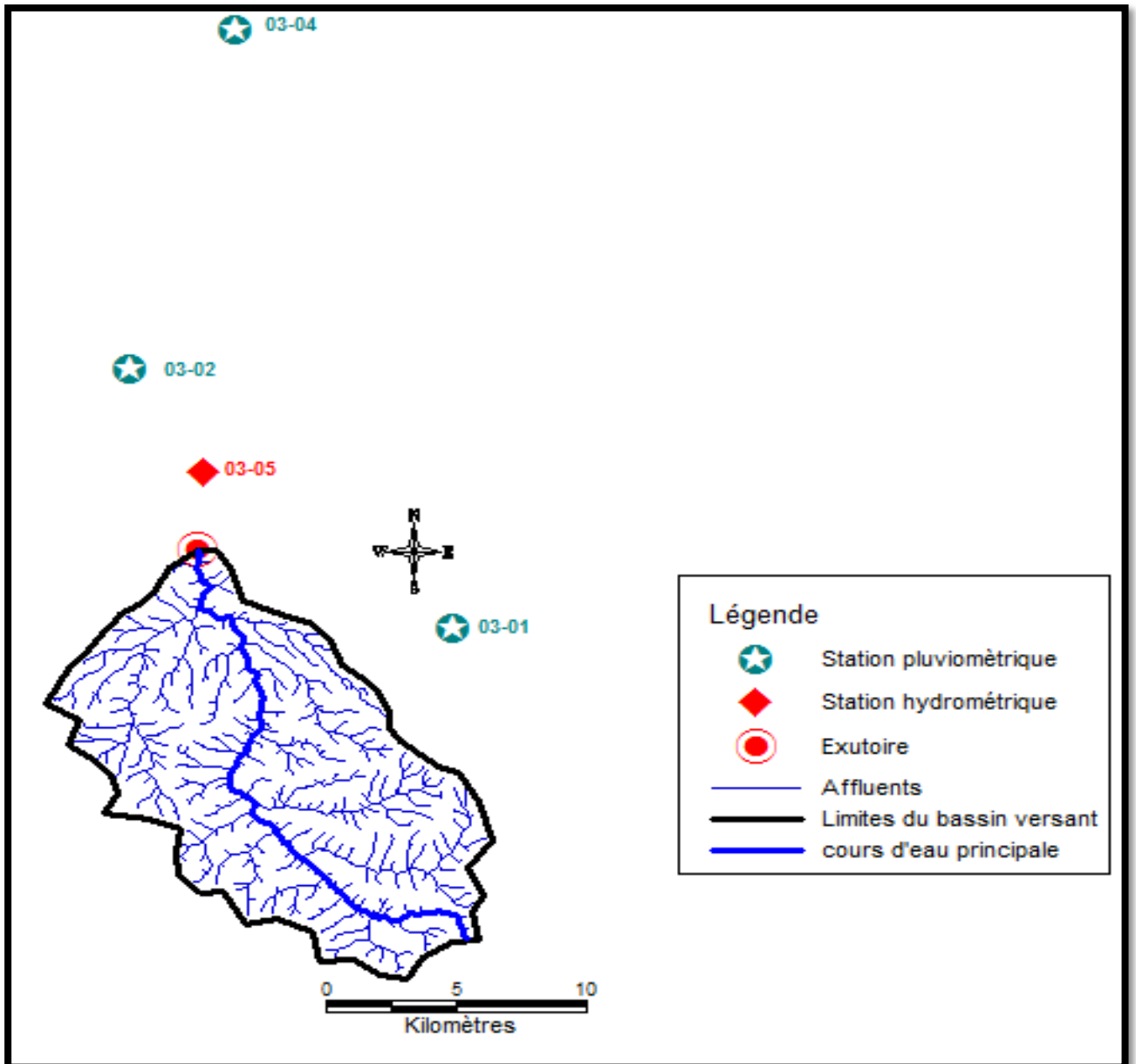
Le dimensionnement, la sécurité et la bonne exploitation des ouvrages hydrauliques sont liés à une évaluation correcte de l'importance de la crue. Dans ce cadre nous procédons dans une étude hydrologique du bassin versant de l'Oued Mellah pour déterminer certains paramètres de base pour la réalisation d'un barrage, comme le volume mort, le volume utile, le débit régularisé, le débit de crues, le débit solide et laminage des crues.

### II.1 Bassin versant

Le bassin versant représente l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ses effets.

- Plus précisément, le bassin versant est une surface élémentaire hydrologiquement close, c'est-à-dire qu'aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et que tous les excédents de précipitations s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire ;
- Le bassin versant, en une section droite d'un cours d'eau, est donc défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section ;
- Il est entièrement caractérisé par son exutoire, à partir duquel on peut tracer le point de départ et d'arrivée de la ligne de partage des eaux qui le délimite ;
- Généralement, la ligne de partage des eaux correspond à la ligne de crête. On parle alors de bassin versant topographique.

La délimitation du bassin versant de l'oued Mellah est faite à l'aide du logiciel MapInfo Professional 8.0 sur une carte d'état-major de la région d'une échelle de (1/50 000).



*Figure (II.1) : Bassin hydrographique*

### II.1.1 Caractéristiques morphologiques du bassin versant

#### II.1.1.1 Paramètres géométriques

A partir des cartes d'état-major et à l'aide du logiciel MapInfo, on a déterminé la surface, le périmètre et la longueur du talweg principal de Beni Slimane :

- Surface : 174.3 Km<sup>2</sup> ;
- Périmètre : 58.95 Km ;
- Longueur du talweg principal : 31 Km.

**II.1.1.2 Paramètres de forme****A) Indice de compacité de GRAVELLIUS ( $K_c$ )**

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

Avec :

- $K_c$  : Indice de compacité ;
- $S$  : Surface du bassin versant, [ $S = 174.3 \text{ Km}^2$ ] ;
- $P$  : Périmètre du bassin versant, [ $P = 58.95 \text{ km}$ ].

D'où l'indice de compacité de GRAVELLIUS :

Donc :  $K_c = 1.26$

$K_c > 1$  : Le bassin versant est de forme allongée.

**B) Coefficient d'allongement**

Il est estimé par la formule suivante :

$$K_p = \frac{P^2}{S} \quad (\text{II.2})$$

Avec :

- $S$  : Surface du bassin versant, [ $S = 174.3 \text{ Km}^2$ ] ;
- $P$  : Périmètre du bassin versant, [ $P = 58.95 \text{ km}$ ].

D'où Coefficient d'allongement :  $K_p = 19.94$

**C) Le rectangle équivalent****➤ Longueur équivalente**

$$L_r = \frac{K_c \sqrt{S}}{1.128} \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{K_c} \right)^2} \right) \quad (\text{II.3})$$

Avec :

- $L_r$  : Longueur du rectangle équivalent ;
- $K_c$  : Indice de compacité de GRAVELLIUS [ $K_c = 1.26$ ].

Donc la longueur du rectangle équivalent est  $L_r = 21.32 \text{ Km}$ .

**➤ Largeur équivalente**

$$l_r = \frac{K_c \sqrt{S}}{1.128} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{K_c} \right)^2} \right) \quad (\text{II.4})$$

D'où la valeur de la largeur de rectangle équivalent :  $l_r = 8.18 \text{ Km}$ .

### II.1.1.3 Paramètres de relief

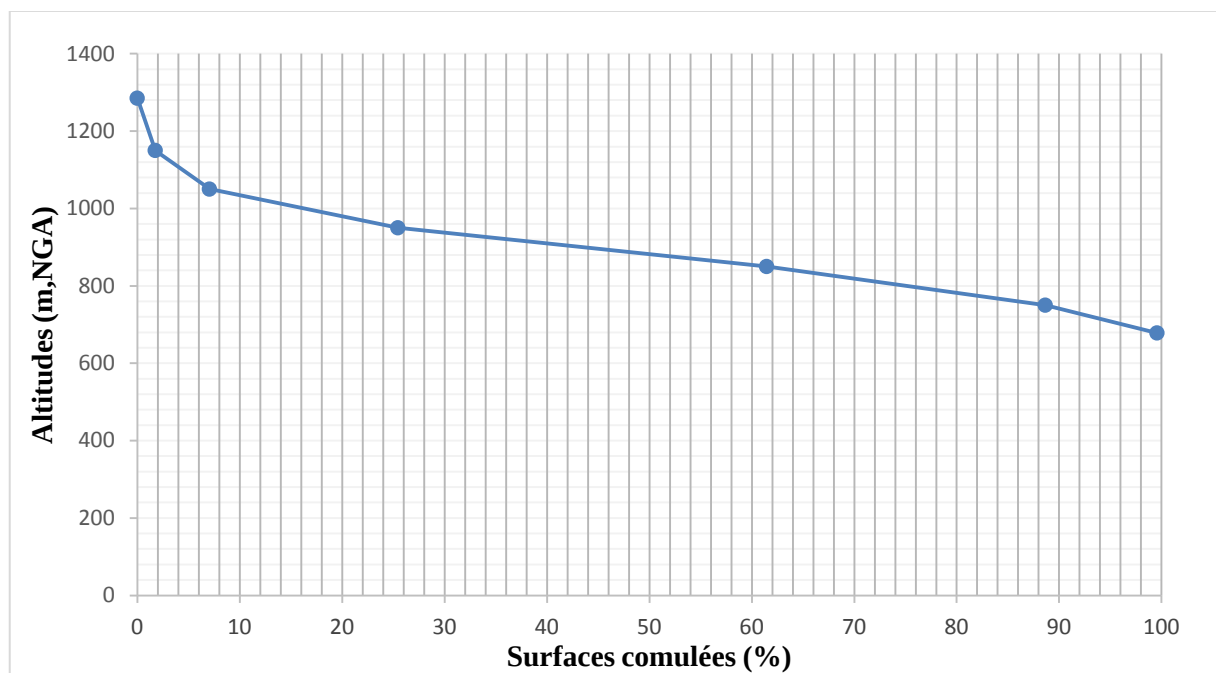
#### A) Courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin versant, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant par tranches d'altitudes, et surfaces partielles. Cette répartition a été déterminée à l'aide du logiciel Global Mapper et MapInfo professionnel 8.0, Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau (II.1).

**Tableau (II.1) : Répartition des surfaces en fonction des altitudes**

| Altitudes (m. NGA) | Altitude moyenne (m. NGA) | Surfaces partielles (Km <sup>2</sup> ) | Surfaces cumulées (Km <sup>2</sup> ) | Surfaces potentielles (%) | Surfaces cumulées (%) |
|--------------------|---------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1200-1370          | 1285                      | 3.07                                   | 3.07                                 | 1.76                      | 1.76                  |
| 1100-1200          | 1150                      | 9.21                                   | 12.28                                | 5.28                      | 7.04                  |
| 1000-1100          | 1050                      | 32.05                                  | 44.33                                | 18.39                     | 25.43                 |
| 900-1000           | 950                       | 62.75                                  | 107.08                               | 36                        | 61.43                 |
| 800-900            | 850                       | 47.4                                   | 154.48                               | 27.19                     | 88.62                 |
| 700-800            | 750                       | 19                                     | 173.48                               | 10.9                      | 99.52                 |
| 700-656.5          | 678.25                    | 0.82                                   | 174.3                                | 0.47                      | 100                   |

La courbe hypsométrique est illustrée sur la figure suivante :



**Figure (II.2) : Courbe hypsométrique**

#### B) Les altitudes caractéristiques

➤ L'altitude maximale et minimale

$$H_{\max} = 1370 \text{ m. NGA} \quad \text{et} \quad H_{\min} = 656.5 \text{ m. NGA}$$

## ➤ Altitude moyenne

$$H_{moy} = \frac{S_i - H_i}{S} \quad (II.5)$$

Avec :

- $H_{moy}$  : Altitude moyenne du bassin [m] ;
- $S_i$  : Aire comprise entre deux courbes de niveau [km<sup>2</sup>] ;
- $H_i$  : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m] ;
- $S$  : Superficie totale du bassin versant [km<sup>2</sup>].

D'où l'altitude moyenne  $H_{moy} = 935$  m. NGA

## ➤ L'altitude médiane

$$H_{med} = H_{50\%} = 880 \text{ m. NGA}$$

- $H_{5\%} = 1080$  m. NGA Et  $H_{95\%} = 700$  m. NGA

**C) Les indices**➤ **Indice de pente globale**

$$I_g = \frac{\Delta}{L_r} \quad (II.6)$$

Avec :

- $I_g$  : Indice de pente globale ;
- $\Delta$  : Dénivelée simple [ $H_{5\%} - H_{95\%} = 380 \text{ m. NGA}$ ] ;
- $L_r$  : Longueur du rectangle équivalent [ $L_r = 21.32 \text{ km}$ ].

D'où Indice de pente globale :  $I_g = 1.78$

• **Indice de pente moyenne**

$$I_{pm} = \frac{\Delta H}{L_r} \quad (II.7)$$

Avec :

- $I_{pm}$  : Indice de pente moyenne :

$$\Delta H = H_{\max} - H_{\min} = 713.5 \text{ m} :$$

- $L_r$  : Longueur du rectangle équivalent [ $L_r = 21.32 \text{ Km}$ ]

D'où Indice de pente moyenne  $I_{pm} = 3.35$

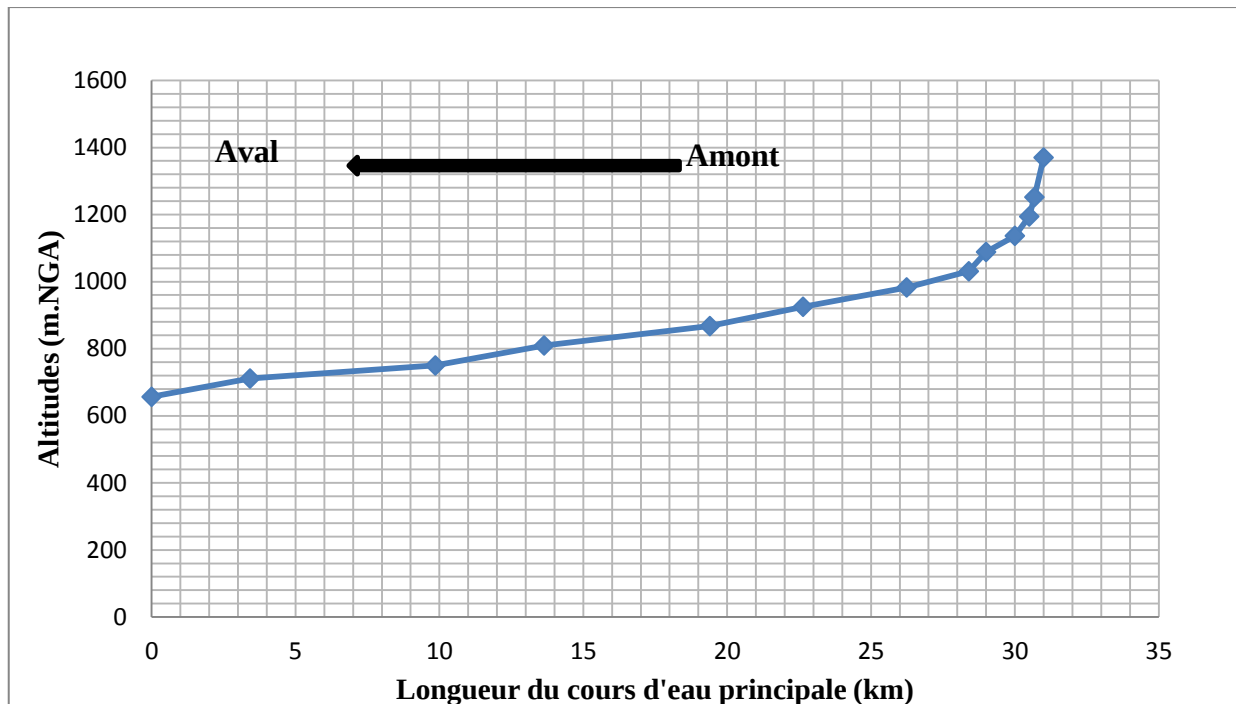
**D) Dénivelée spécifique :**

$$D_s = I_g \cdot \sqrt{S} \quad (\text{II.8})$$

D'où :  $D_s = 23.5 \text{ m}$

**II.1.2 Caractéristiques hydrographiques****II.1.2.1 Profil en long du cours d'eau principale**

Le profil en long de l'oued Mellah est illustrée sur la figure suivante :



**Figure (II.3) : profil en long du cours d'eau principal**

**II.1.2.2 Pente moyenne du cours d'eau principal**

$$I_c = \frac{\Delta H}{\Delta L} \quad (\text{II.9})$$

Avec :

- $I_c$  : Pente moyenne du cours d'eau ;
- $\Delta H$  : Différence d'altitude ;
- $\Delta L$  : Longueur de cour d'eau.

La pente moyenne du cours d'eau principal est 0.023

Les calculs des caractéristiques morphologiques et hydrographiques du bassin versant de Beni Slimane sont récapitulés dans l'annexe (03).

**II.1.3 Caractéristiques climatiques du bassin versant du barrage de Beni Slimane**

L'objectif de l'étude climatologique est de fournir des données concernant la température de l'air, l'évaporation du plan d'eau et la répartition de la pluie mensuelle dans le site d'étude. Ces données sont nécessaires pour effectuer une étude hydrologique fiable.

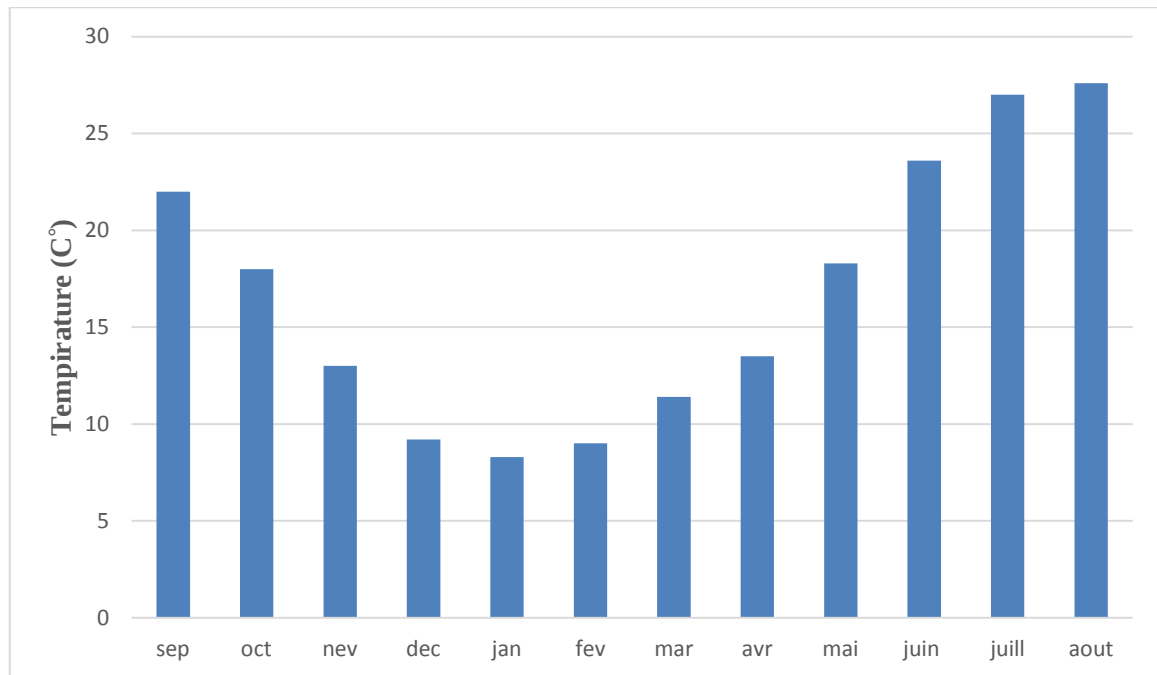
### II.1.3.1 La température

Les températures moyennes mensuelles à la station de Beni Slimane (ville) sont données dans le tableau (II.2), la température moyenne annuelle est 16.8 °C.

**Tableau (II.2) : Températures mensuelles**

| Mois    | Sep  | Oct  | Nev  | Dec | Jan | Fev | Mar  | Avr  | Mai  | Jun  | Juil. | aout | Année |
|---------|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|-------|------|-------|
| Moyenne | 22.6 | 18.0 | 13.0 | 9.2 | 8.3 | 9.0 | 11.4 | 13.5 | 18.3 | 23.6 | 27.0  | 27.6 | 16.8  |

La répartition des températures moyennes mensuelles est illustrée dans la figure suivante :



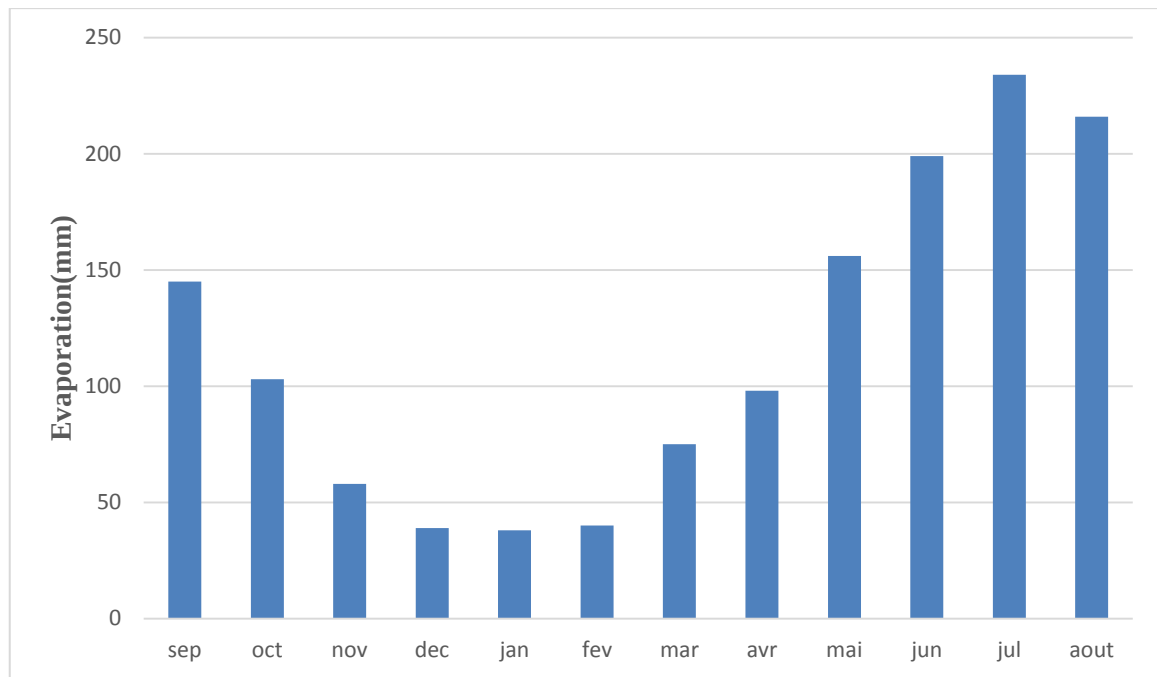
**Figure (II.4) : Répartition mensuelle des températures moyennes**

### II.1.3.2 Évaporation

C'est un ensemble des phénomènes qui transforment l'eau en vapeur par un processus physique. La répartition mensuelle de l'évaporation est donnée dans le tableau (II.3) et illustrée dans la figure (II.5) :

**Tableau (II.3) : Répartition mensuelle de l'évaporation en (mm) (1986/2006)**

| MOIS       | Sep  | Oct | Nev | Dec | Jan | Fev | Mar | Avr | Mai  | Jun  | Juil | Aout | Année |
|------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|-------|
| $E_v$ (mm) | 145  | 103 | 58  | 39  | 38  | 40  | 75  | 98  | 156  | 199  | 234  | 216  | 1400  |
| $E_v$ (%)  | 10.3 | 7.4 | 4.1 | 2.8 | 2.7 | 2.8 | 5.4 | 7.0 | 11.1 | 14.2 | 16.7 | 15.5 | 100   |



**Figure (II.5) : Répartition mensuelle de l'évaporation**

## II.2 Pluviométrie

Les données pluviométriques disponibles dans la région ont été sélectionnées à partir du réseau d'observations de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). Les stations sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau (II.4) : Caractéristiques des stations pluviométriques**

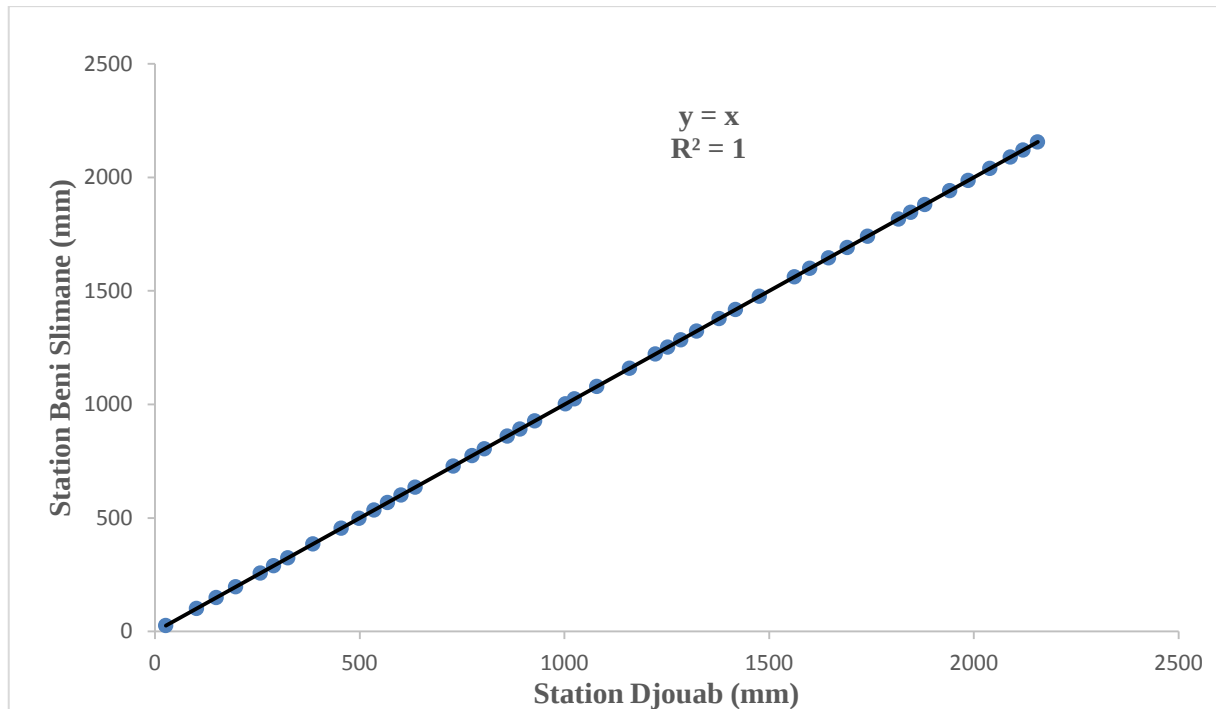
| Station | Djouab | Beni Slimane | Pont de la Traille |
|---------|--------|--------------|--------------------|
| X(m)    | 566.95 | 557.2        | 559.15             |
| Y(m)    | 315.55 | 322.65       | 343                |
| Z(m)    | 825    | 600          | 370                |

### II.2.1 Homogénéisation des données pluviométriques

Pour assurer l'homogénéité des séries pluviométriques on a utilisé la méthode des doubles masses ou méthode graphique.

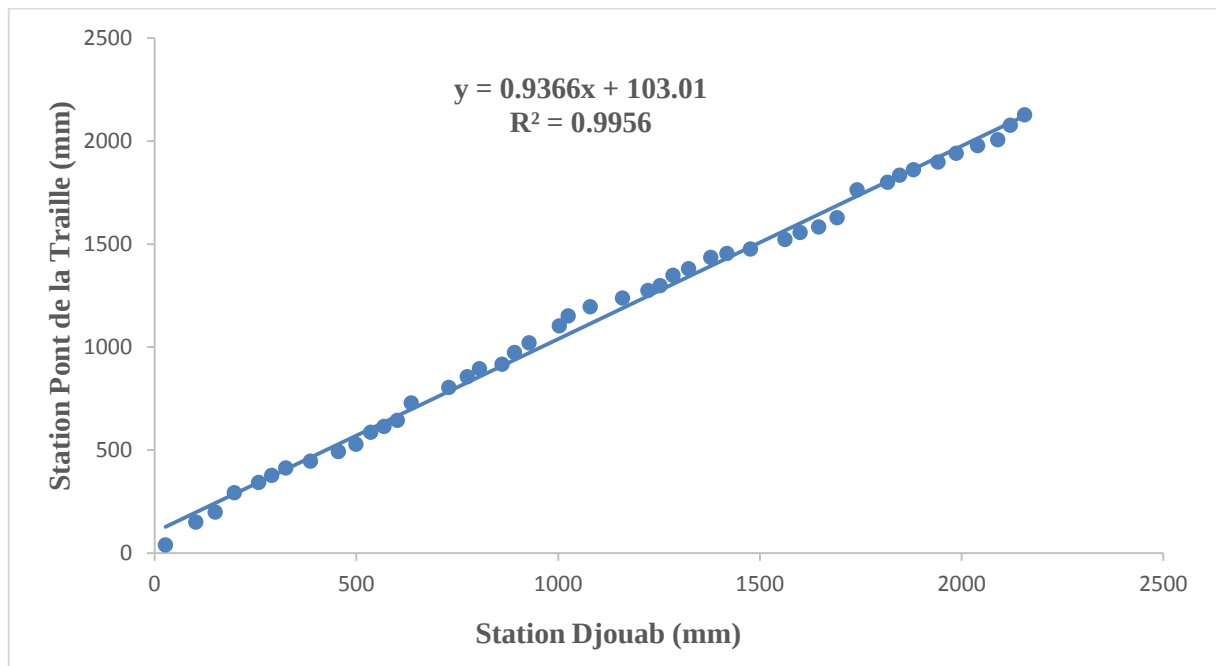
#### II.2.1.1 Homogénéisation des pluies journalières maximales

La correction des valeurs de la série pluviométrique de Djouab\_Beni Slimane est illustrée dans la Figure ci-après :



**Figure (II.6) :** *Corrélation simple entre les précipitations maximales journalières Djouab-Beni Slimane*

La correction des valeurs de la série pluviométrique de Djouab-Pont de la Traille est illustrée dans la Figure ci-dessous.

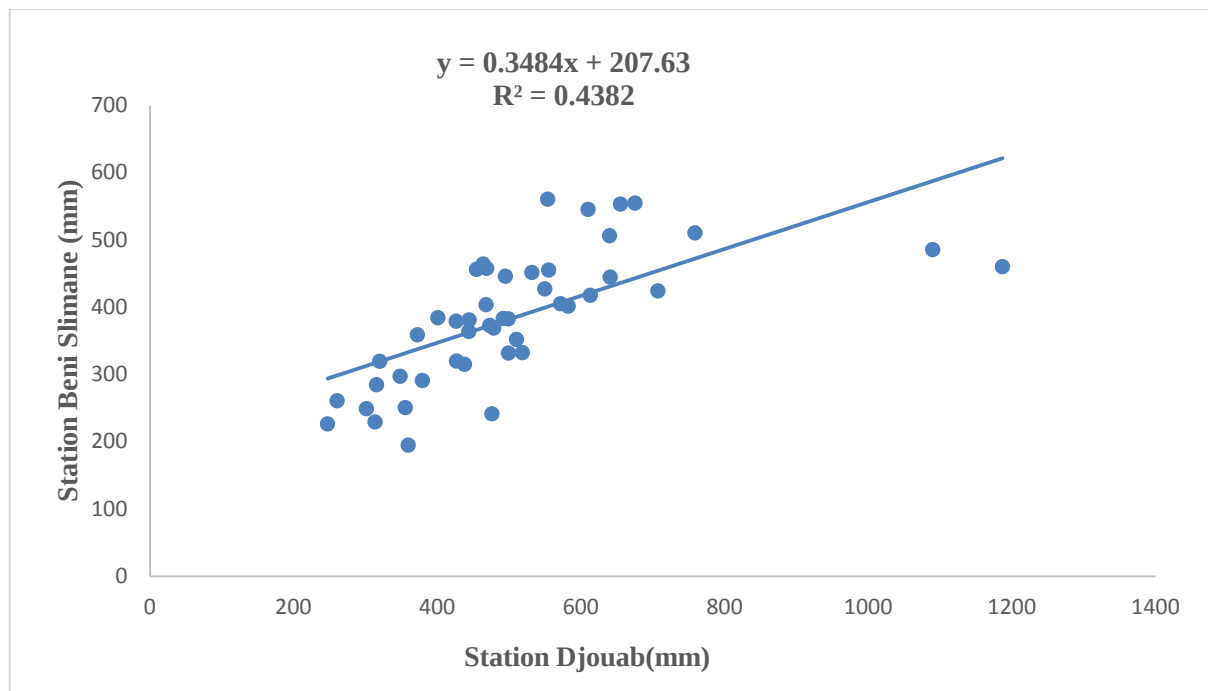


**Figure (II.7) :** *Corrélation simple entre les précipitations maximales journalières Djouab et Pont de la Traille*

Les valeurs des pluies maximales journalières sont présentées dans l'annexe (04).

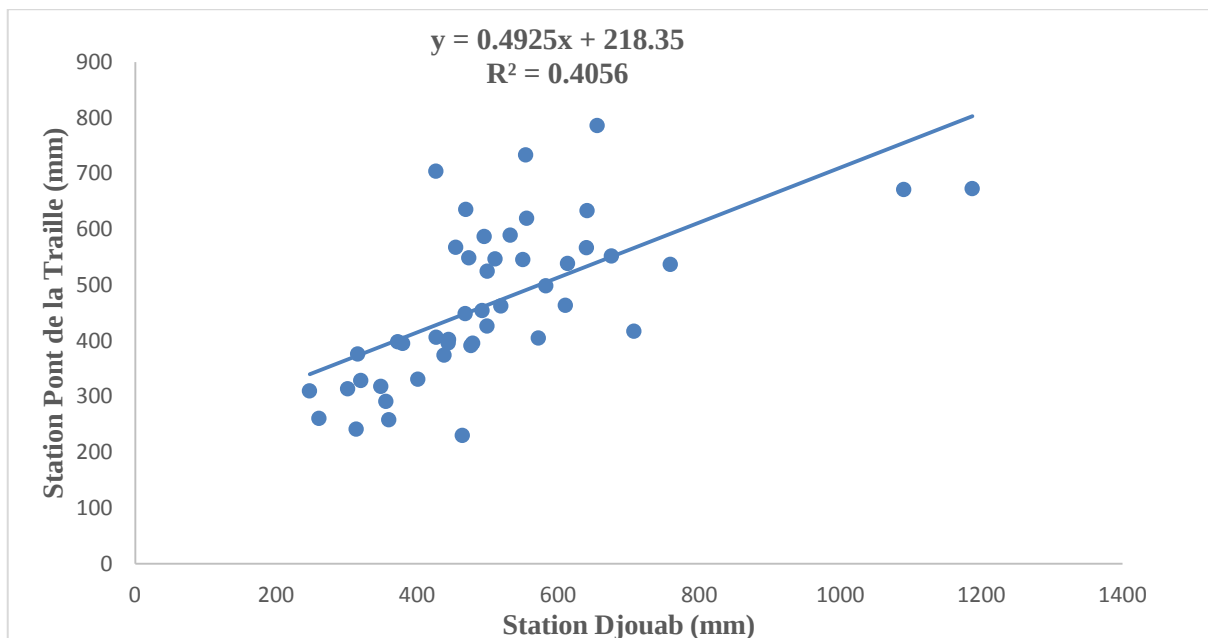
### II.2.1.2 Homogénéisation des pluies annuelles moyennes

La correction des valeurs de la série pluviométrique (les précipitations totales) de Djouab-Beni Slimane est illustrée dans la figure ci-dessous :



**Figure (II.8) :** Corrélation simple entre les précipitations totales de Djouab.Beni Slimane

La correction des valeurs de la série pluviométrique (les précipitations totales) de Djouab-pont de la traïlle est montrée dans la figure ci-après :



**Figure (II.9) :** Corrélation simple entre les précipitations totales de Djouab-Pont de la Traïlle

Les valeurs de la pluie totale sont présentées dans l'annexe (05).

**II.2.1.3 Pluies mensuelles**

Les données de la pluie moyenne mensuelle sont tirées des stations pluviométriques du bassin versant de Beni Slimane sur la période 1970-2014. Les valeurs des pluies moyennes mensuelles sont présentées dans l'annexe (06).

**Tableau (II.5) : Les caractéristiques des stations pluviométriques**

| Poste pluviométrique | Code de la station | Altitude (m. NGA) | Période d'observation |
|----------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|
| Djouab               | 090301             | 825               | 1970_2014             |
| Beni Slimane         | 090302             | 600               | 1970_2014             |
| Pont de la traïlle   | 090304             | 370               | 1970_2014             |

**II.2.1.4 Calcul de la Pluie moyenne annelle****A) Méthode arithmétique**

La formule de la précipitation moyenne est donnée par [3] :

$$P_{moy} = \sum \frac{p_i}{n} \quad (II.10)$$

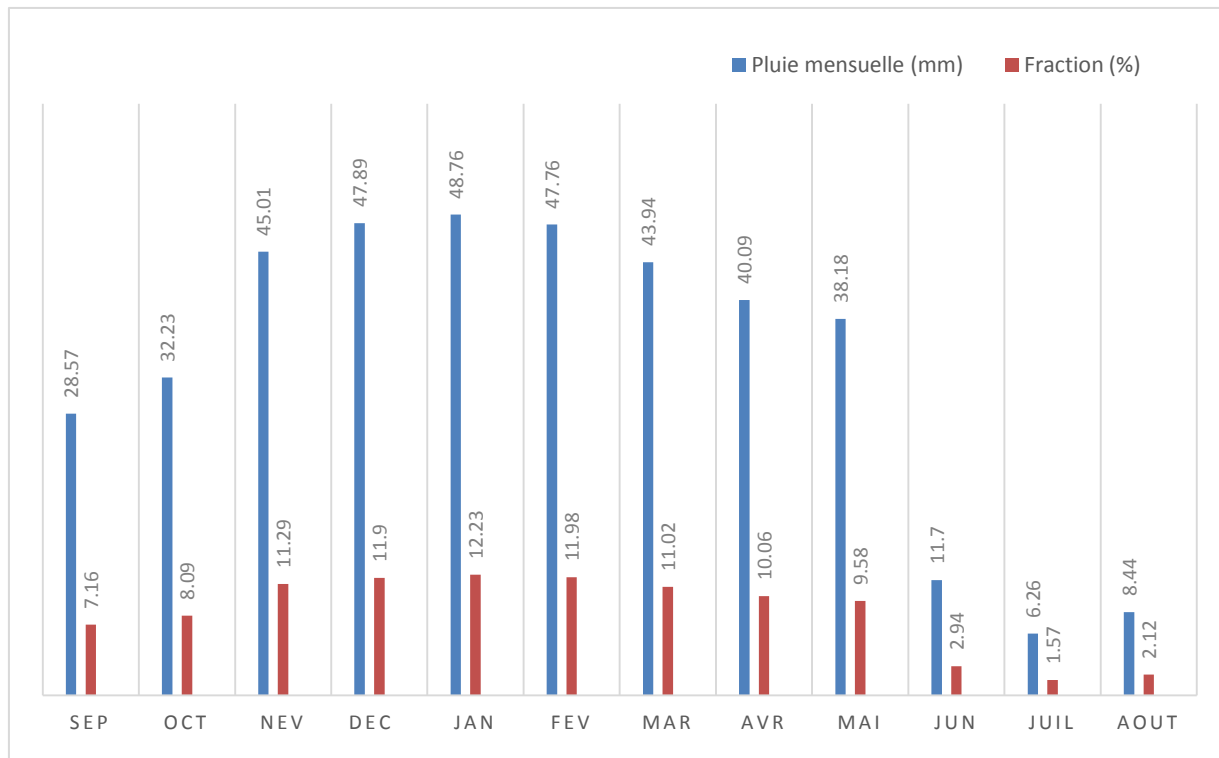
Avec :

- $P_i$  : Précipitation moyenne annuelle de la  $i$  ème station ;
- $n$  : nombre de stations d'observation.

$$P_{moy} = 466.73 \text{ mm}$$

La pluie moyenne annuelle sur le bassin versant Beni Slimane est estimée à 466.73 mm

La répartition mensuelle des pluies est présentée dans l'annexe (06), est illustre dans la figure ci-après :



**Figure (II.10) : Répartition mensuelle des fractions de la pluie**

### II.2.2 Ajustement des pluies maximales journalières

L'ajustement de la série des pluies maximales journalières est effectué à l'aide du logiciel HYFRAN, les résultats de l'ajustement sont les suivants :

#### II.2.2.1 Ajustement à loi Gamma

##### A) Test d'adéquation : Test de Pearson III ou de $\chi^2$

##### A.1) Hypothèses

- $H_0$  : L'échantillon provient d'une loi Gamma ;
- $H_1$  : L'échantillon ne provient pas d'une loi Gamma.

##### A.2) Résultats

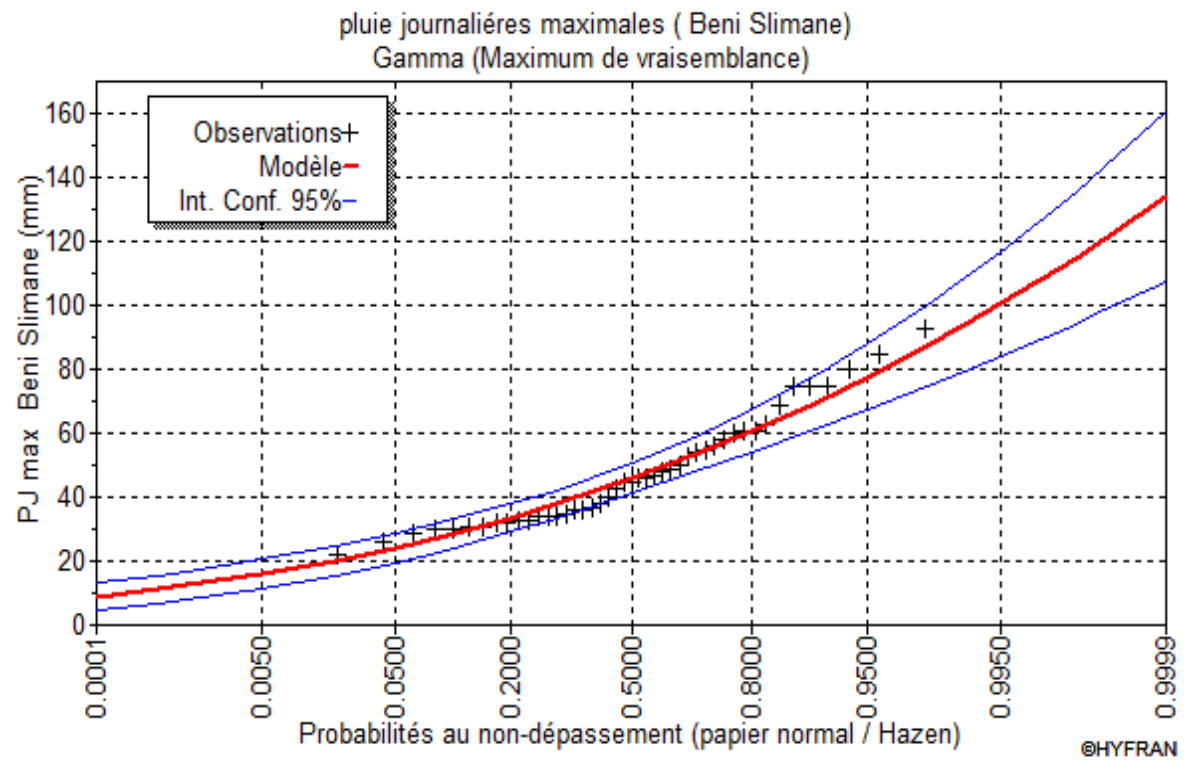
Résultats de la statistique :  $\chi^2 (3.67) < \chi^2_{5\%} (11.07)$ , donc l'ajustement est satisfaisant.

- Degré de liberté : 6
- Nombre de classes : 9

##### A.3) Conclusion

Nous pouvons accepter  $H_0$  au niveau de signification de 5 %.

L'ajustement à la loi Gamma de la série des pluies maximales est illustrée dans la figure ci-après.



**Figure (II.11) :** Ajustement à la loi Gamma (Maximum de vraisemblance)

### B) Résultats de l'ajustement

- Nombre d'observations :  $N = 45$  ;
- Paramètres :  $\mu = 8.41173$  et  $\alpha = 0.17647$  ;
- Quantiles :  $P = F(X)$  (probabilité au non dépassement) ;  
 $T = 1 / (1 - P)$  (période de retour).

Les pluies maximales journalières fréquentielles estimées à l'aide de la fonction distribution Gamma sont présentées dans ce tableau :

**Tableau (II.6) :** Pluies maximales journalières fréquentielles ajustées à la loi Gamma

| T (ans) | Probabilité (P) | $P_{\max,j}$ (mm) | Intervalle de confiance (95%) |
|---------|-----------------|-------------------|-------------------------------|
| 10000   | 0.9999          | 134               | 108-160                       |
| 2000    | 0.9995          | 121               | 98.4-143                      |
| 1000    | 0.9990          | 115               | 94.3-135                      |
| 200     | 0.9950          | 100               | 84.2-117                      |
| 100     | 0.9900          | 94                | 79.5-108                      |
| 50      | 0.9800          | 87.1              | 74.5-99.8                     |
| 20      | 0.9500          | 77.5              | 67.3-87.7                     |
| 10      | 0.9000          | 69.6              | 61.2-77.9                     |
| 5       | 0.8000          | 60.7              | 54.1-67.2                     |

### II.2.2.2 Ajustement à la loi log-normal

#### A) Test d'adéquation : test de Pearson III ou de $\chi^2$

##### A.1) Hypothèses

- $H_0$  : l'échantillon provient d'une loi log-normal ;
- $H_1$  : L'échantillon ne provient pas d'une loi log-normal.

##### A.2) Résultats

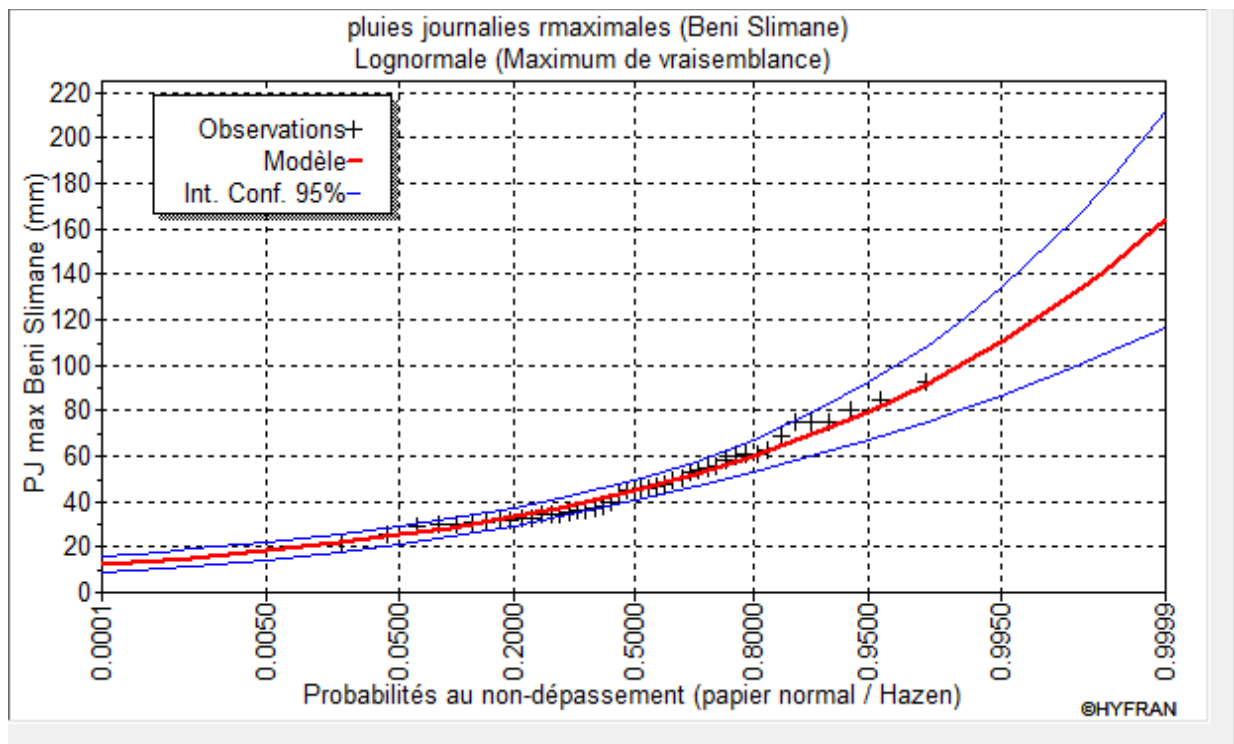
Résultats de la statistique :  $\chi^2 (2.04) < \chi^2 5\%(11.07)$ ,

- Degré de liberté : 6
- Nombre de classe : 9

##### A.3) Conclusion

Nous pouvons accepter  $H_0$  au niveau de signification de 5 %.

L'ajustement à la loi log-normal de la série des débits maximaux annuel est illustre dans la figure ci-dessous :



**Figure (II.12) : Ajustement à la loi log-normal (maximum de vraisemblance)**

##### B) Résultats de l'ajustement

- Nombre d'observations :  $N = 45$  ;
- Paramètres :  $\mu = 3.80361$ ;  $\sigma = 0.3492$  ;
- Quantiles :  $P = F(X)$  (probabilité au non dépassement).  
 $T = 1/(1-P)$  (période de retour).

Les pluies maximales journalières fréquentielle estimées à l'aide de la fonction distribution Log-Normal sont présentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau (II.7) : Pluies maximales journalières fréquentielles ajustées à la loi Log-Normal**

| T (ans) | Probabilité (P) | P <sub>max,j</sub> (mm) | Intervalle de confiance |
|---------|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| 10000   | 0.9999          | 164                     | 117-212                 |
| 2000    | 0.9995          | 142                     | 105-179                 |
| 1000    | 0.9990          | 132                     | 99.3-165                |
| 200     | 0.9950          | 110                     | 86.7-134                |
| 100     | 0.9900          | 101                     | 81.1-121                |
| 50      | 0.9800          | 91.9                    | 75.3-109                |
| 20      | 0.9500          | 79.7                    | 67.7-92.2               |
| 10      | 0.9000          | 70.2                    | 60.5-79.9               |
| 5       | 0.8000          | 60.2                    | 53-67.4                 |

**II.2.2.3 Ajustement à loi Gumbel****A) Test d'adéquation : Test de Pearson III ou de  $\chi^2$** **A.1) Hypothèses**

- $H_0$  : L'échantillon provient d'une loi Gumbel ;
- $H_1$  : L'échantillon ne provient pas d'une loi Gumbel.

**A.2) Résultats**

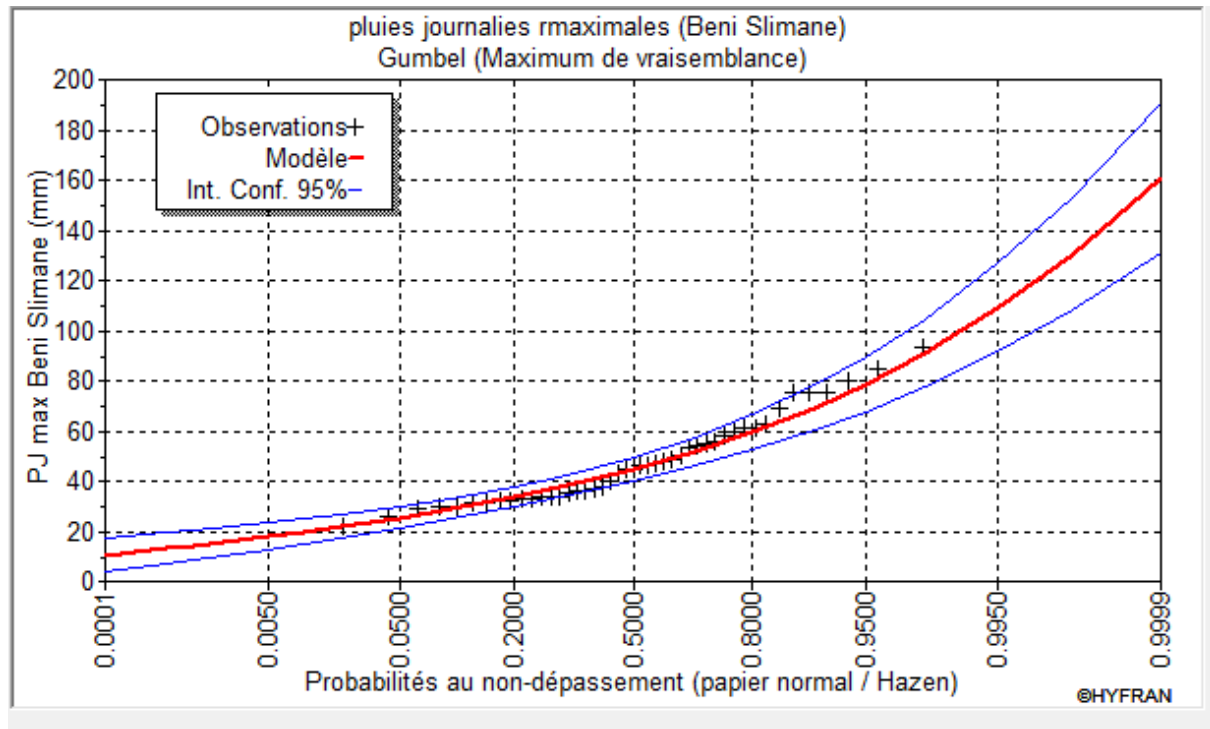
Résultats de la statistique :  $\chi^2$  (12.40) <  $\chi^2$  5% (11,07)

- Degré de liberté : 6
- Nombre de classe : 9

**A.3) conclusion**

Nous pouvons accepter  $H_0$  au niveau de signification de 5 %.

L'ajustement à la loi de Gumbel de la série des pluies maximales journalières est illustré dans la figure ci-après :



**Figure (II.13) :** Ajustement à la loi Gumbel (maximum de vraisemblance)

#### B) Résultats de l'ajustement

- Nombre d'observation :  $N = 45$  ;
- Paramètres :  $u = 39.7551$  ;  $\alpha = 13.1423$  ;
- Quantiles :  $P = F(X)$  (probabilité au non dépassement) ;  
 $T = 1 / (1-P)$  (période de retour).

Les pluies maximales journalières fréquentielles estimées à l'aide de la fonction distribution Gumbel sont présentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau (II.8) :** Pluies maximales journalières fréquentielles ajustées à la loi Gumbel

| $T_r$ (ans) | Probabilité (P) | $P_{\max,j}$ (mm) | Intervalle de confiance (95%) |
|-------------|-----------------|-------------------|-------------------------------|
| 10000       | 0.9999          | 161               | 131-190                       |
| 2000        | 0.9995          | 140               | 115-164                       |
| 1000        | 0.9990          | 131               | 108-153                       |
| 200         | 0.9950          | 109               | 91.6-127                      |
| 100         | 0.9900          | 100               | 84.5-116                      |
| 50          | 0.9800          | 91.0              | 77.4-105                      |
| 20          | 0.9500          | 78.8              | 67.8-89.8                     |
| 10          | 0.9000          | 69.3              | 60.4-78.3                     |
| 5           | 0.8000          | 59.5              | 52.5-66.4                     |

#### ➤ Commentaire

La loi la plus adéquate pour l'ajustement de la série pluviométrique des pluies maximales journalières de Beni Slimane est la loi Log-Normal.

## II.3 Étude des écoulements

### II.3.1 Écoulement liquide

La détermination 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 ou par analogie avec un bassin voisin, à cet effet la station Beni Slimane nous offre cette possibilité. D'où ces caractéristiques sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau (II.9) : Caractéristiques de la station hydrométrique de Beni Slimane**

| Station hydrométrique | Code de la station | Altitude | Oued         | Période d'observation |
|-----------------------|--------------------|----------|--------------|-----------------------|
| Beni Slimane          | 090305             | 825      | Mellah ouest | 1980_2001             |

#### II.3.1.1 Homogénéisation des écoulements liquides

On vérifie l'homogénéisation des données de la station hydrométrique de Mellah ouest par la méthode de WILCOXON, l'hypothèse d'homogénéisation est vérifiée si :  $W_{\min} < W_y < W_{\max}$

$$W_{\min} = \frac{(N_1 + N_2 + 1)N_1 - 1}{2} - \mu_1 \frac{\alpha}{2} \sqrt{\frac{N_1 N_2 (N_1 N_2 + 1)}{12}} \quad (\text{II.11})$$

$$W_{\max} = (N_1 + N_2 + 1)N_2 + W_{\min} \quad (\text{II.12})$$

$$W_y = \sum_{i=1}^n \text{rang} \quad (\text{II.13})$$

Avec :

- $N_1$  : la taille de la série des écoulements annuels de l'échantillon Y ;
- $N_2$  : la taille de la série des écoulements annuels de l'échantillon X ;
- $\mu$  : la valeur de la variable centrée réduite de Gauss correspondant à une probabilité de  $1 - \alpha / 2$  ( $\alpha = 5\%$ ) .

**Tableau (II.10) : Résultats du test de WILCOXON**

| Paramètre | $N_1$ | $N_2$ | $W_{\min}$ | $W_{\max}$ | $W_y$ | $\mu - 2.5$ |
|-----------|-------|-------|------------|------------|-------|-------------|
| Valeur    | 3     | 14    | 2.46       | 254.46     | 150   | 1.96        |

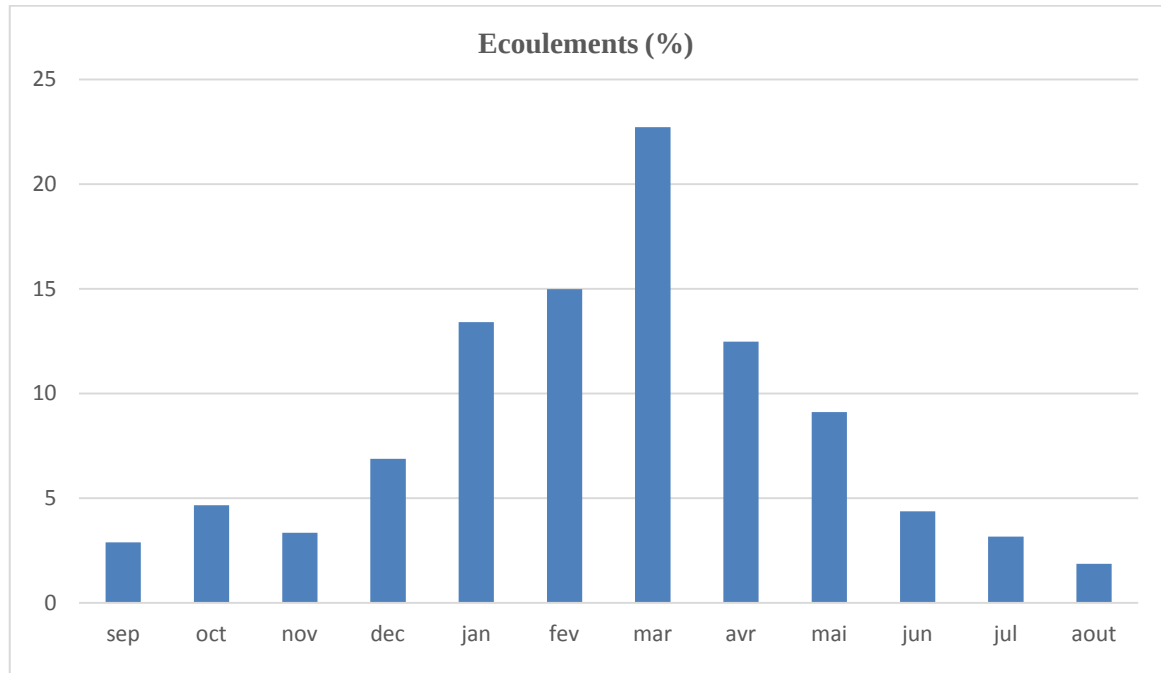
Puisque l'hypothèse du test de WILCOXON est vérifiée, on constate que les données de la station hydrométrique de Beni Slimane sont homogènes.

#### II.3.1.2 Écoulement moyen interannuel

A partir des données de la série des écoulements de la station hydrométrique de Beni Slimane, la valeur de l'écoulement moyen interannuel est  $E_0 = 10.74 \text{ Mm}^3$ .

### II.3.1.3 Répartition mensuelle de l'écoulement moyen

Les valeurs de la répartition mensuelle de l'écoulement sont représentées dans l'annexe (07).



**Figure (II.14) :** Représentation mensuelle des écoulements liquides à la station hydrométrique de Beni Slimane

### II.3.1.4 Caractéristiques de l'écoulement

#### A) lame d'écoulement

La lame d'écoulement est estimée par la formule suivante [5] :

$$L_e = \frac{E_0}{S} 10^3 \quad (\text{II.14})$$

Avec :

- $L_e$  : lame d'eau écoulée (mm) ;
- $E_0$  : Écoulement moyen interannuel, [ $E_0 = 10.74 \text{ Mm}^3$ ] ;
- $S$  : Surface de bassin versant, [ $S = 174.3 \text{ Km}^2$ ].

La lame d'eau écoulée est 61.16 mm

#### B) Module de l'écoulement

Le module de l'écoulement est estimé par la formule suivante [5] :

$$M_e = \frac{E_0}{T_a} \quad (\text{II.15})$$

Avec :

- $M_e$  : Module d'écoulement (l/s) ;
- $E_0$  : Écoulement moyen interannuel [ $E_0 = 10.74 \text{ Mm}^3$ ] ;
- $T_a$  : Le temps d'une année en secondes [ $T_a = 31.536 \cdot 10^6$ ].

Le module de l'écoulement est 340.56 l/s.

### C) Module de l'écoulement relatif

Le module de l'écoulement relatif est estimé par la formule suivante [5] :

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

Avec :

- $M_0$  : Module de l'écoulement relatif (l/s.Km<sup>2</sup>) ;
- $M_e$  : Module de l'écoulement, [ $M_e = 260$  l/s] ;
- $S$  : Surface de bassin versant, [ $S = 174.3$  Km<sup>2</sup>].

Le module de l'écoulement relatif est  $M_0 = 1.95$  l/s.km<sup>2</sup>

### D) Coefficient de variation

Pour la détermination du coefficient de variation moyen des écoulements annuels, On utilise les formules empiriques suivantes :

#### 1) Formule de Sokolovsky-chevliev

La formule de Sokolovsky-chevliev pour l'estimation du coefficient de variation moyen des écoulements annuels est la suivante :

$$C_v = 0.78 - 0.29 \cdot \log(M_0) - 0.063 \cdot \log(S + 1) \quad (\text{II.17})$$

Avec :

- $C_v$  : Coefficient de variation moyen de l'écoulement annuel ;
- $M_0$  : Module spécifique de l'écoulement annuel, [ $M_0 = 1.95$  l/s. Km<sup>2</sup>] ;
- $S$  : Surface de bassin versant, [ $S = 174.3$  Km<sup>2</sup>].

Le coefficient de variation de l'écoulement moyen est  $C_v = 0.56$

#### 2) Formule de l'ANRH

La formule de l'ANRH pour l'estimation du coefficient de variation moyen des écoulements annuels est la suivante [5] :

$$C_v = \frac{0.70}{M_0^{0.125}} \quad (\text{II.18})$$

Avec :

- $C_v$  : Coefficient de variation moyen de l'écoulement annuel ;
- $M_0$  : Module spécifique de l'écoulement annuel, [ $M_0 = 1.93$  l/s. Km<sup>2</sup>].

Le coefficient de variation de l'écoulement moyen est  $C_v = 0.64$

Le coefficient de variation moyen de l'écoulement annuel est  $C_v = 0.6$

**E) Coefficient d'asymétrie**

$$C_s = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left( \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \right)^3 \quad (\text{II.19})$$

Avec :

- $\bar{X}$  : Moyenne de la série des apports moyens annuels ;
- $X_i$  : Apport moyen annuel ;
- $n$  : Nombre d'années d'observations. ( $n=14$ ) ;
- $\sigma$  : Ecart type de la série des apports moyens annuels [ $\sigma = 7.55$ ].

Ce coefficient peut être calculé directement à l'aide du tableur EXCEL.

$$C_s = 1.14$$

**II.3.1.5 Étude fréquentielle des écoulements**

L'estimation fréquentielle des écoulements peut être envisagée par l'application d'une loi Log-normale (loi de Galton) donnée [5] :

$$E_F = \frac{E_0}{\sqrt{C_v^2 + 1}} e^{-\mu_F \sqrt{\log(C_v^2 + 1)}} \quad (\text{II.20})$$

Avec :

- $E_F$  : Écoulement fréquentiel ( $\text{Mm}^3$ ) ;
- $E_0$  : Écoulement moyen interannuel [ $E_0 = 10.74 \text{ Mm}^3$ ] ;
- $\mu_F$  : Variable réduite de Gausse ;
- $C_v$  : Coefficient de variation moyen de l'écoulement annuel.

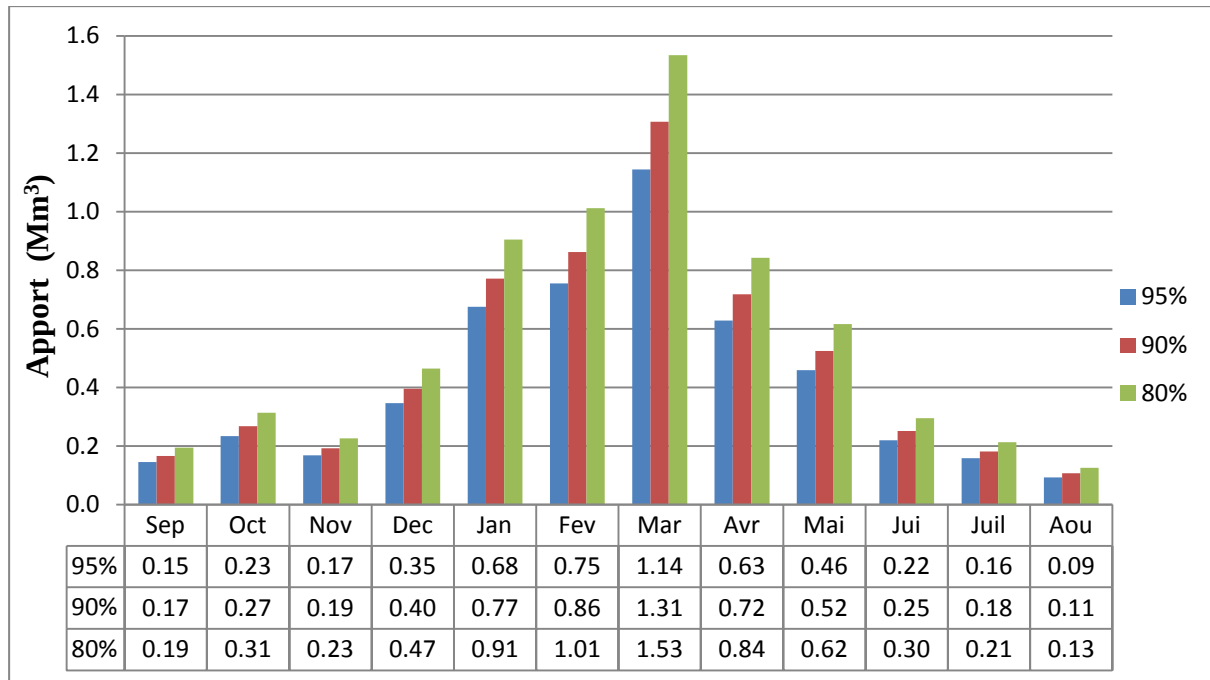
L'écoulement fréquentiel est :

$$E_F = 9.2e^{-0.365\mu_F} \quad (\text{II.21})$$

**Tableau (II.11) : Les valeurs de l'écoulement liquide fréquentiel pour différentes fréquences**

| Fréquence P (%)              | 95    | 90    | 80    |
|------------------------------|-------|-------|-------|
| Variable de Gauss            | 1.645 | 1.281 | 0.842 |
| Écoulement ( $\text{Mm}^3$ ) | 5.04  | 5.76  | 6.76  |

Les valeurs de la répartition mensuelle de l'écoulement liquide fréquentielle de Beni Slimane sont illustrées dans la figure suivante :



**Figure (II.15) : Répartition mensuelle de l'écoulement liquide fréquentiel**

### II.3.2 Écoulement Solide

L'écoulement solide est estimé à l'aide de la formule de Tixeront-Sogreah [5].

#### A) Formule de Tixeront-Sogreah :

$$T_a = K.h^{0.15} \quad (\text{II.22})$$

Avec :

- $h$  : Lamé d'écoulement [ $h = 61.16 \text{ mm}$ ] ;
- $K$  : Paramètre caractéristique de la perméabilité du bassin, [ $K = 350$ ]

Le volume total de solides est  $T_a = 648.69 \text{ [T/ (km}^2 \cdot \text{an)]}$ .

#### II.3.2.1 Volume mort

$$V_m = \frac{T_a \cdot S \cdot U}{P_e} \quad (\text{II.23})$$

Avec :

- $T_a$  : Volume Total de solide, [ $T_a = 648.69 \text{ T/ (km}^2 \cdot \text{an)]}$ ] ;
- $S$  : Surface du bassin versant, [ $S = 174.3 \text{ km}^2$ ] ;
- $U$  : Vie utile de l'ouvrage, [ $U = 50 \text{ ans}$ ] ;
- $P_e$  : Densité volumétrique des sédiments, [ $P_e = 1,4 \text{ T/m}^3$ ] ;

Le volume mort est  $V_m = 4.04 \text{ Mm}^3$

## II.4 Étude des crues

Le but de cette partie est de déterminer les hydrogrammes de crues fréquentielles sur le bassin versant et de définir les débits maxima probables correspondants [5].

### II.4.1 Temps de concentration

Le temps de concentration est estimé à l'aide de la formule de Giandotti, comme suit [6] :

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L_{cp}}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad (II.24)$$

Avec :

- $S$  : Surface du bassin versant, [ $S = 174.3 km^2$ ] ;
- $L_{CP}$  : Longueur du cours d'eau principal, [ $L_{CP} = 31 Km$ ] ;
- $H_{moy}$  : Altitude moyenne, [ $H_{moy} = 935 m.NGA$ ] ;
- $H_{min}$  : Altitude minimale, [ $H_{min} = 656.6 m.NGA$ ].

Le temps de concentration est  $t_c = 7.4 h$ .

### II.4.2 Pluies de courtes durées

Pour une période donnée (24h) et une fréquence donnée, on peut estimer les pluies de courtes durées par la formule de Montana [8] :

$$P_t = P_j \left( \frac{t}{24} \right)^b \quad (II.25)$$

Avec :

- $P_t$  : Pluies de durée  $t$ , de même période de retour  $T$  (mm) ;
- $P_j$  : Précipitation journalière d'une période de retour donnée  $T$  (mm) ;
- $t$  : Durée de la pluie (h) ;
- $b$  : Exposant climatique, qui est estimé comme suit [5] :

$$b = \frac{L_n(P_{ma})}{3.912} - 0.6352 \quad (II.26)$$

Avec :

- $b$  : Exposant climatique ;
- $P_{ma}$  : Pluie du mois le plus arrosé, [ $P_{ma} = 48.76 mm$ ].

La valeur de l'exposant  $b = 0.35$

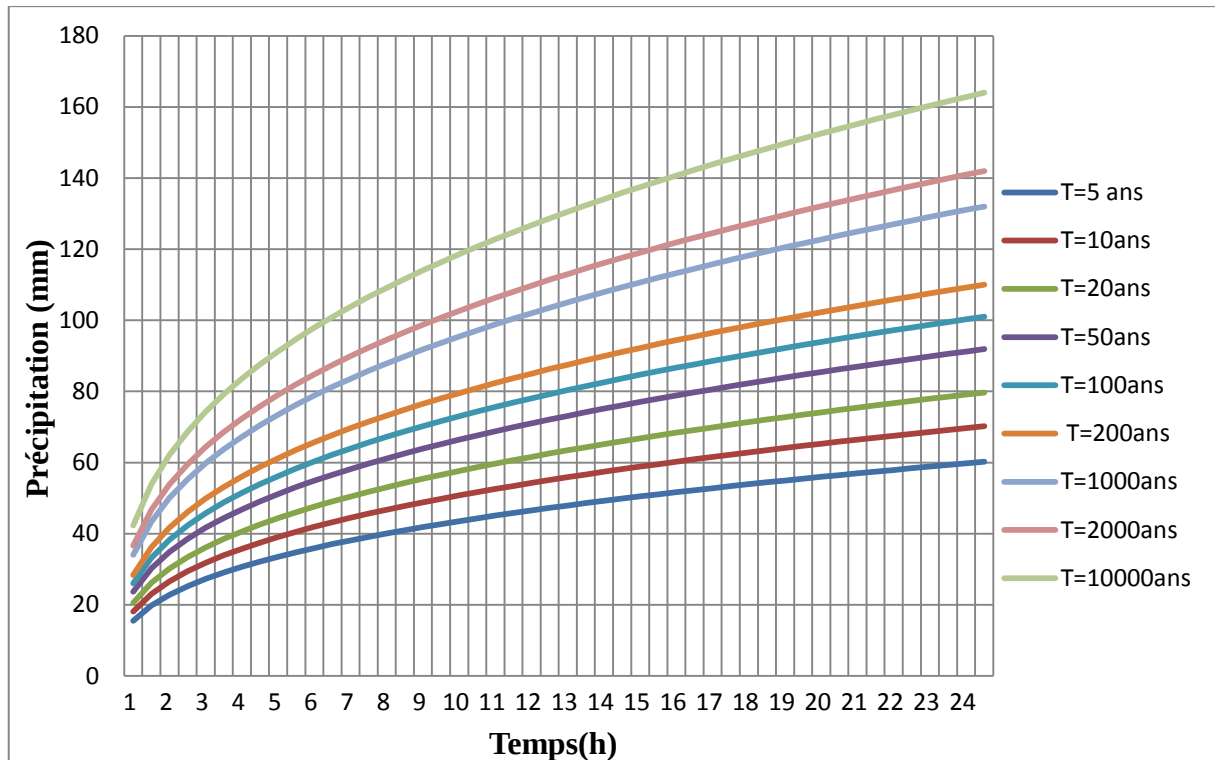
D'autre part, l'intensité de la pluie est exprimée comme suit :

$$I_0 = \frac{P_t}{t} \quad (II.27)$$

Avec :

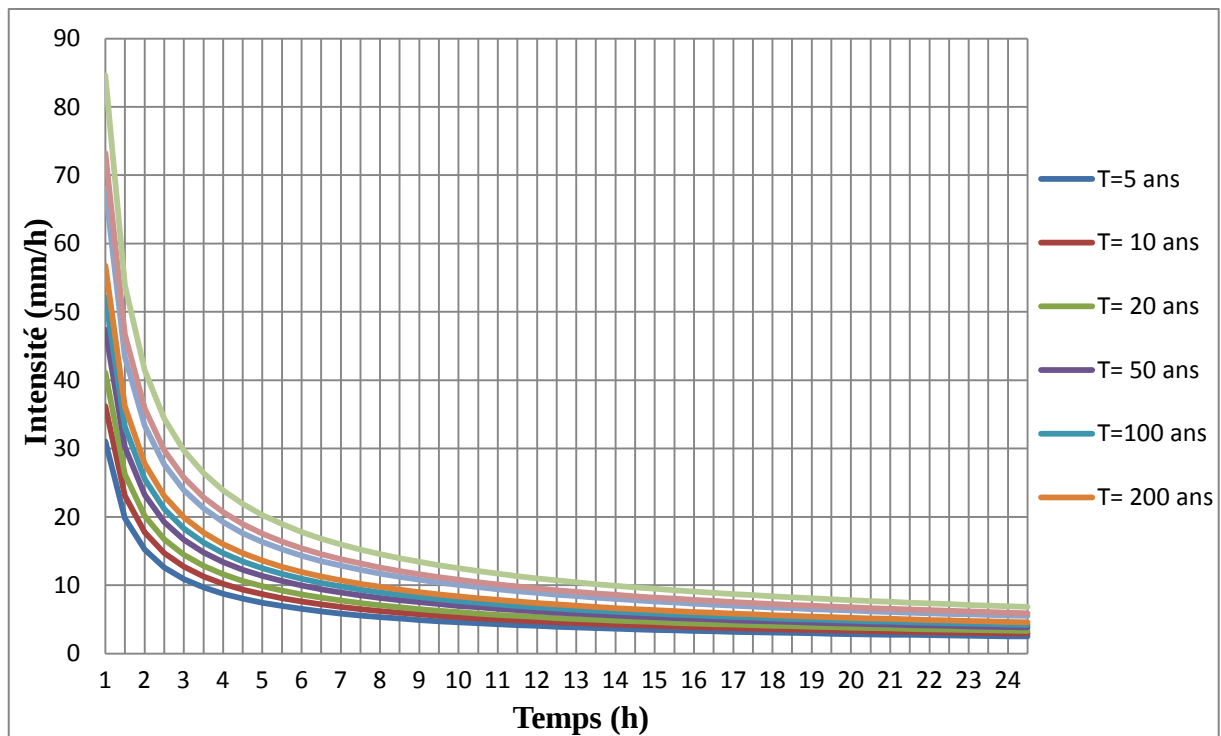
- $I_0$  : Intensité de pluie (mm/h).

Les résultats de calculs Précipitation-Durée-Fréquence sont présentés dans l'annexe (09) et illustrés dans le graphique ci-dessous :



**Figure (II.16) : Courbe Précipitation-Durée-Fréquence**

Les résultats de calcul Intensité-Durée-Fréquence sont présentés dans l'annexe (08) et illustrés dans le graphique suivant :



**Figure (II.17) : Courbe Intensité-Durée-Fréquence**

### II.4.3 Calcul des Débits Maximaux Probables

#### II.4.3.1 Ajustement de la série hydrométrique de Mellah

##### A) Ajustement a loi Gumbel

L'ajustement de la série des débits maxima annuels est effectué à l'aide du logiciel « HYFRAN ».

##### A) Test d'adéquation : Test de Pearson III ou du $\chi^2$

##### A.1) Hypothèses

- $H_0$  : L'échantillon provient d'une loi Gumbel ;
- $H_1$  : L'échantillon ne provient pas d'une loi Gumbel.

##### A.2) Résultats

Résultats de la statistique :  $\chi^2 (10.8) < \chi^2_{5\%}(11,07)$

- Degré de liberté : 3
- Nombre de classe : 6

##### A.3 Conclusion

Nous pouvons accepter  $H_0$  au niveau de signification de 5 %.

L'ajustement à la loi de Gumbel de la série des débits maxima annuels est illustré dans la figure ci-après :

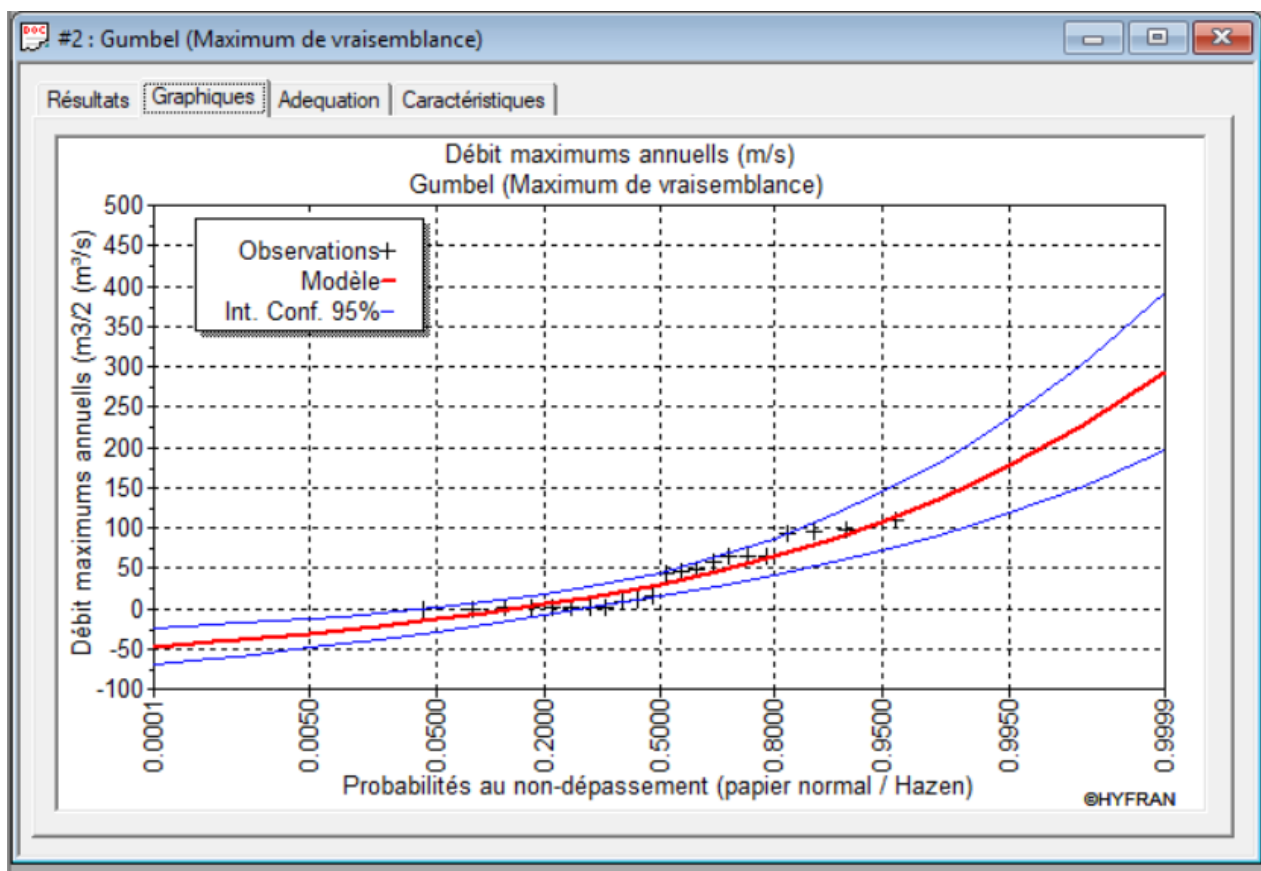


Figure (II.18) : Ajustement à la loi Gumbel (maximum de vraisemblance)

**A.2) Résultats de l'ajustement**

Nombre d'observations :  $N = 21$

Paramètres :  $u = 18.9277$  et  $\alpha = 29.8653$  ;

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

Les débits maximaux annuels estimés à l'aide de la fonction distribution Gumbel sont présentées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau (II.12) : Les débits maximaux annuels fréquents ajustés à la loi Gumbel**

| T (ans) | Probabilité (P) | Débit $Q_T$<br>( $m^3/s$ ) | Ecart-type | Intervalle de confiance |
|---------|-----------------|----------------------------|------------|-------------------------|
| 10000   | 0.9999          | 294                        | 94.8       | 196-392                 |
| 2000    | 0.9995          | 246                        | 41.6       | 164-327                 |
| 1000    | 0.9990          | 225                        | 38.1       | 151-300                 |
| 200     | 0.9950          | 177                        | 29.9       | 118-236                 |
| 100     | 0.9900          | 156                        | 26.4       | 105-208                 |
| 50      | 0.9800          | 135                        | 23.0       | 90.5-180                |
| 20      | 0.9500          | 108                        | 18.4       | 71.6-144                |
| 10      | 0.9000          | 86.1                       | 15.0       | 56.8-115                |
| 5       | 0.8000          | 63.7                       | 11.6       | 41.0-86.4               |

**II.4.4 Construction des hydrogrammes de crue**

La méthode de Sokolovsky assimile l'hydrogramme de crues à deux équations paraboliques, l'une pour la montée et l'autre pour la décrue [6].

➤ Pour la montée de la crue

$$Q_m = Q_{\max} \left( \frac{t}{t_m} \right)^x \quad (\text{II.28})$$

➤ Pour la décrue

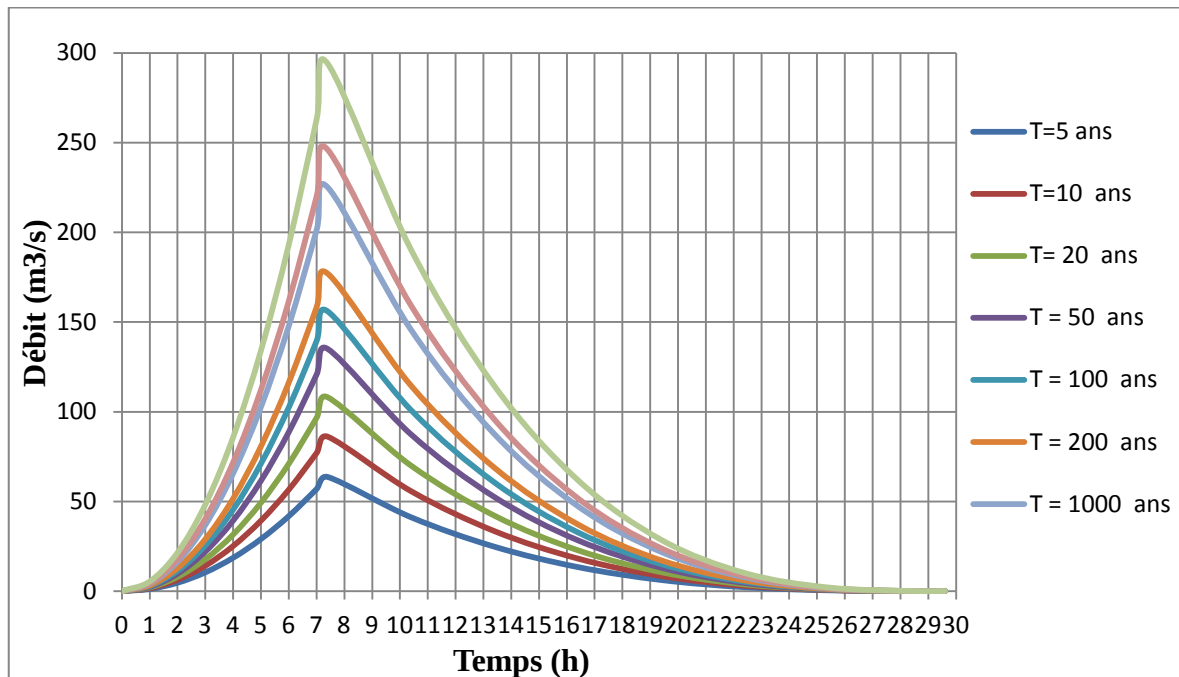
$$Q_d = Q_{\max} \left( \frac{t_d - t}{t_d} \right)^y \quad (\text{II.29})$$

Avec :

- $Q_m$  : Débit instantané de la montée ( $m^3/s$ ) ;
- $Q_d$  : Débit instantané de la décrue ( $m^3/s$ ) ;
- $t_m$  : Temps de la montée de la crue (s) ;
- $t_d$  : Temps de la décrue en (s) ;
- $Q_{\max}$  : Débit maximum de la crue de fréquence considérée en ( $m^3/s$ ) ;
- $x, y$  : Puissances des courbes ( $x=2$  : pour la montée de la crue, et  $y=3$  : pour la décrue).

$t_m = t_c$  (pour les petits bassins versants), avec  $t_c$  est le temps de concentration du bassin versant (heure) ;  $t_d = \delta \cdot t_m$  [ $\delta = 3$ ].

Les résultats obtenus pour les différentes fréquences sont illustrés dans la figure (II.19) et présentés dans l'annexe (09) et l'annexe (10).



**Figure (II.19) : Les hydrogrammes des crues fréquentielles**

#### II.4.5 Choix de la crue de projet et de la crue de chantier

On appelle crue de projet, la crue maximale que l'ouvrage est capable d'évacuer sans dommage grave. En général, on se fixe la fréquence (ou période de retour) de la crue du projet puis on évalue le débit de crue (ou l'hydrogramme) à l'entrée dans l'ouvrage ; enfin, on étudie l'éventuel laminage de la crue à la traversée de l'ouvrage afin de déterminer les capacités d'évacuation nécessaires au transit de la crue : c'est le débit de la crue évacué par le déversoir qui intéresse le calcul de l'évacuateur. La crue de chantier quant à elle, est celle pour laquelle on calcule les ouvrages de protection du chantier. En général, la période de retour de cette crue est beaucoup plus faible (de l'ordre de quelques années) que pour la crue de projet (de l'ordre de quelques milliers d'années).

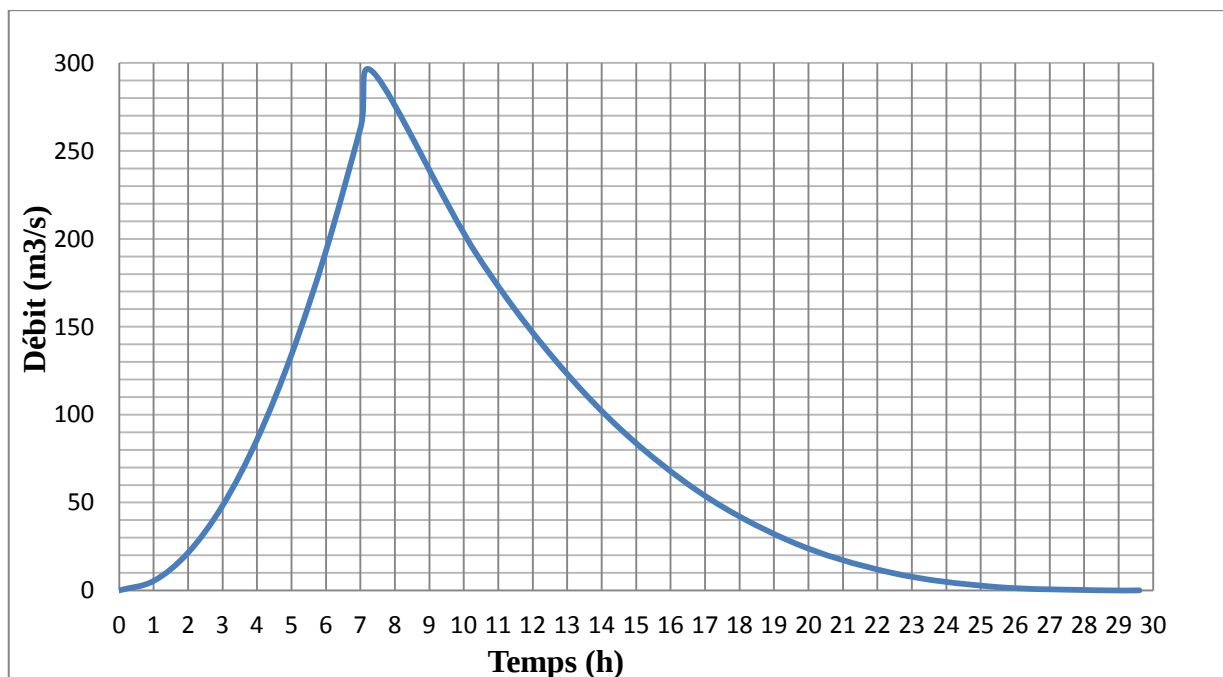
##### II.4.5.1 Choix de la crue de projet

Pour le choix de la crue de projet, nous nous rapportons aux recommandations du Comité Australien des Grands Barrages [7]. Pour le cas de notre étude, les connaissances hydrologiques paraissent moyennes et que le risque en aval est faible (pas de zones urbaines à l'aval).

**Tableau (II.13) : Crues de projet recommandées**

| Catégorie des dommages |                                        | Crue de projet recommandée de probabilité de dépassement annuelle |
|------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Elevés                 | Perte de vie dommage considérable      | 1/ 100000 à 1 /10000                                              |
| Importants             | Pas de perte de vie dommage importants | 1/10000 à 1/1000                                                  |
| 1/faibles              | Pas de perte de vie dommage faible     | 1/1000 à 1/100                                                    |

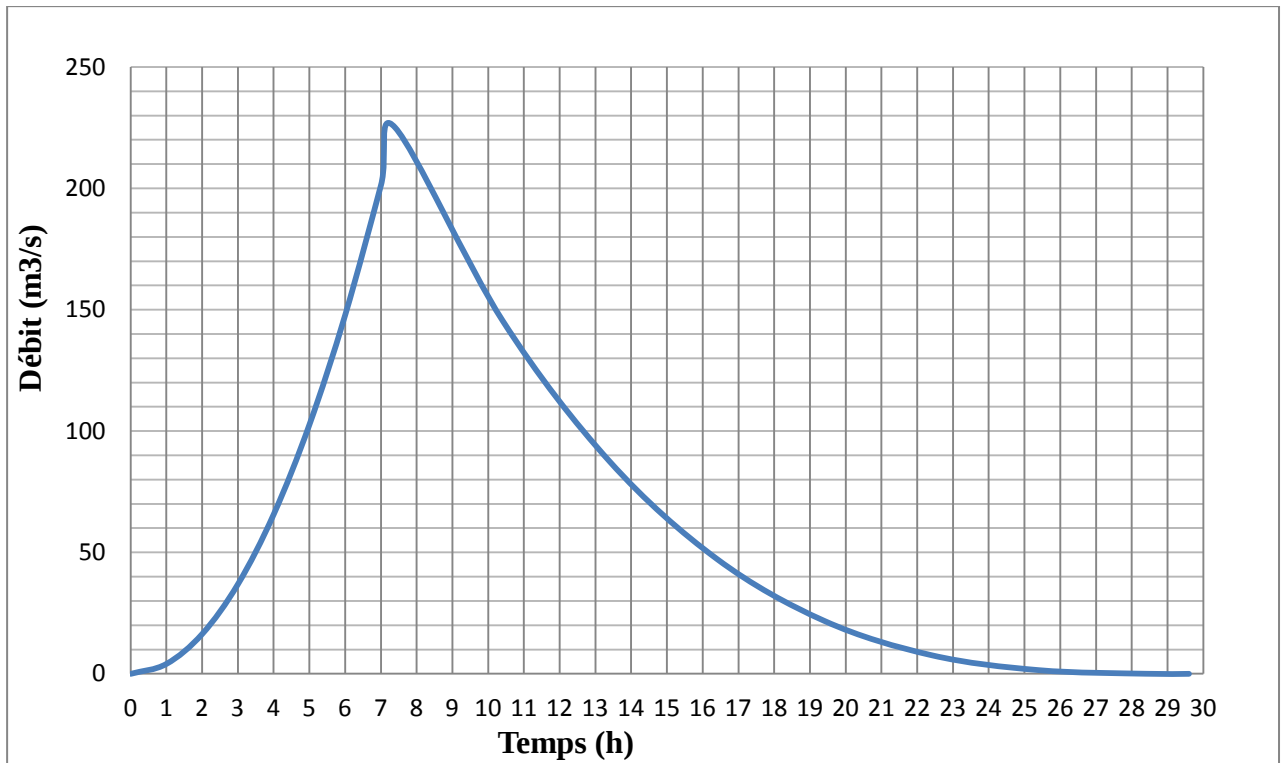
L'hydrogramme de la crue de projet est illustré sur la figure suivante :

**Figure (II.20) : Hydrogramme de la crue de Projet**

Le débit de la crue de projet est  $Q_{max} = 294 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### II.4.5.2 Choix de la crue du chantier

La fréquence de la crue de chantier choisie est 2% [7]. Ce qui correspond à un débit de crue de l'ordre  $135 \text{ m}^3/\text{s}$ . la répartition des débits maximums probables du projet ( $T = 50 \text{ ans}$ ) est illustrée dans la figure ci-après :



**Figure (II.21) :** Hydrogramme de la crue de chantier

## Conclusion

L'étude hydrologique du bassin versant de Beni Slimane nous a permis de constater que :

- Les caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de Beni Slimane sont (surface =  $174.3 \text{ km}^2$ , périmètre =  $58.95 \text{ km}$  et longueur de talweg =  $31 \text{ Km}$ ) ;
- Le bassin versant du barrage de Beni Slimane à une forme allongée  $K_C = 1.26$  ;
- La précipitation moyenne interannuelle est de  $465.33 \text{ mm}$  ;
- La lame d'eau moyenne écoulée dans le bassin versant du Beni Slimane est de  $61.16 \text{ mm}$  ;
- L'écoulement moyen interannuel est de  $10.74 \text{ Mm}^3$  ;
- L'écoulement moyen fréquentiel pour les garanties de satisfaction en  $\text{Mm}^3$  :  $5.04$  (95%),  $5.76$  (90%) et  $6.76$  (80%) ;
- Le volume mort qui a été estimée dans le bassin versant est  $4.04 \text{ Mm}^3$ , pour une période d'exploitation de 50 ans ;
- Le temps de concentration dans le bassin versant est 7.4 heures.

*Etude de  
régularisation et  
Laminage de crues*

## Introduction

La régularisation de l'écoulement a pour objectif de déterminer la capacité optimale de la retenue ainsi que le niveau correspondant, qui permettent de rendre réguliers les débits de l'oued Mellah, afin de satisfaire les besoins d'irrigation avec le moindre risque de défaillance possible. Par contre, l'étude de laminage consiste à déterminer la largeur du déversoir, d'estimer le débit de pointe laminé et fixer le niveau des plus hautes eaux (NPHE).

### III.1 Étude de la régularisation de l'écoulement

#### III.1.1 Courbes Altitude-Surface-Volume

Les courbes Altitude-Surface-Volume découlent du levé topographique au 1/5 000 réalisé sur la zone de la future retenue [5].

Les volumes sont calculés avec la formule suivante :

$$V_n = V_{n-1} + \Delta V_n = V_{n-1} + \left( \frac{S_{n-1} + S_n}{2} \right) \cdot \Delta H \quad (\text{III.1})$$

Avec :

- $S_n$  : Surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau  $H_n (m^2)$  ;
- $S_{n-1}$  : Surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau  $H_{n-1} (m^2)$  ;
- $\Delta H$  : Différence d'altitude entre les deux courbes de niveau successives ;
- $V_n$  : Volume d'eau correspondant à la courbe de niveau  $V_n (m^3)$  ;
- $\Delta V_n$  : Volume élémentaire compris entre deux courbes de niveau successives  $(m^3)$ .

Et :

$$V_1 = \frac{2}{3} S_1 H^* \quad (\text{III.2})$$

Avec :

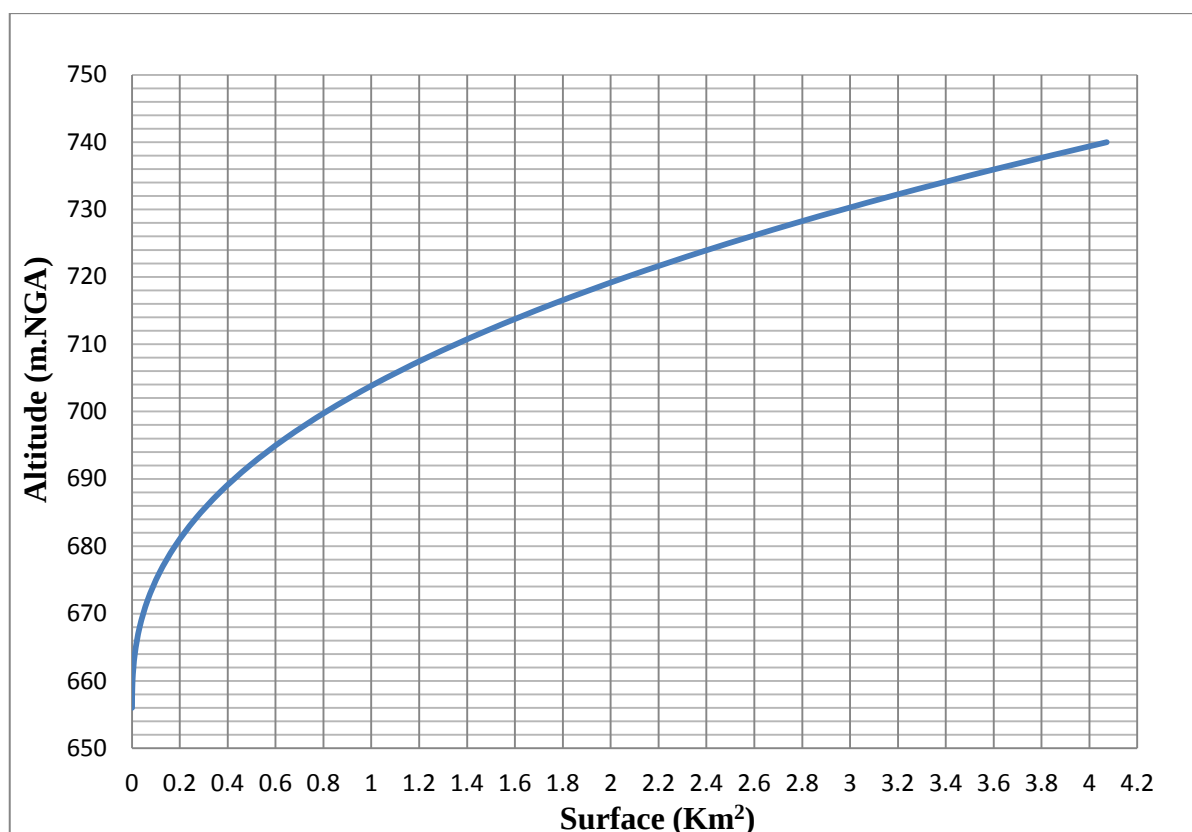
- $V_1$  : Volume d'eau correspondant à la première courbe de niveau ;
- $S_1$  : Surface du plan d'eau correspondant à la première courbe de niveau ;
- $H^*$  : Dénivelée entre la première courbe de niveau et le niveau de l'exutoire.

Les résultats du calcul de la loi « Altitude-Surface-Volume » sont récapitulés dans le tableau suivant :

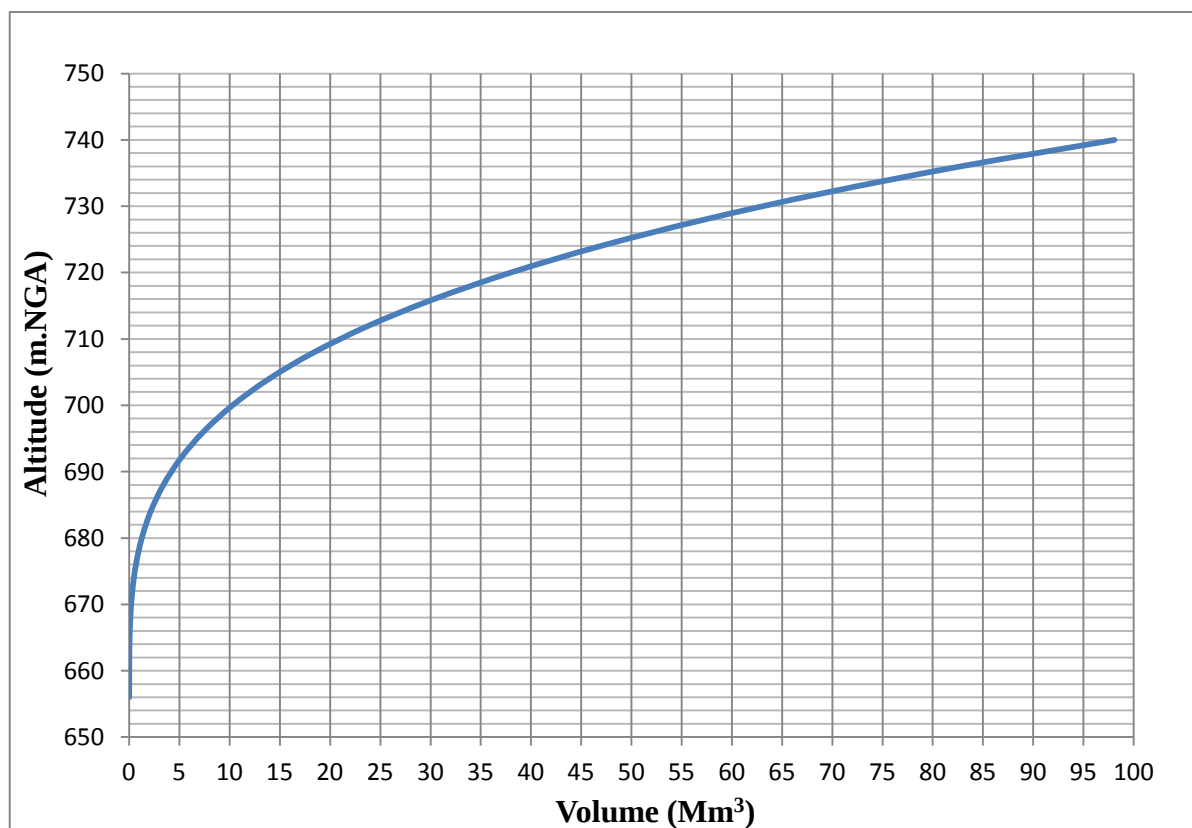
**Tableau (III.1) : Surfaces submergées et les volumes d'eau correspondants**

| Altitude (m.NGA) | S (Km <sup>2</sup> ) | S <sub>moy</sub> (Km <sup>2</sup> ) | ΔH (m) | ΔV (Mm <sup>3</sup> ) | V (Km <sup>3</sup> ) |
|------------------|----------------------|-------------------------------------|--------|-----------------------|----------------------|
| 656              | 0.000                | 0.001                               | 4      | 0.004                 | 0.000                |
| 660              | 0.002                |                                     |        |                       | 0.004                |
| 664              | 0.012                | 0.007                               | 4      | 0.027                 | 0.031                |
| 668              | 0.032                | 0.022                               | 4      | 0.087                 | 0.118                |
| 672              | 0.065                | 0.048                               | 4      | 0.194                 | 0.312                |
| 676              | 0.114                | 0.089                               | 4      | 0.357                 | 0.669                |
| 680              | 0.179                | 0.146                               | 4      | 0.586                 | 1.255                |
| 684              | 0.263                | 0.221                               | 4      | 0.884                 | 2.139                |
| 688              | 0.367                | 0.315                               | 4      | 1.26                  | 3.399                |
| 692              | 0.492                | 0.430                               | 4      | 1.718                 | 5.117                |
| 696              | 0.640                | 0.566                               | 4      | 2.265                 | 7.382                |
| 700              | 0.812                | 0.726                               | 4      | 2.904                 | 10.286               |
| 704              | 1.009                | 0.910                               | 4      | 3.641                 | 13.927               |
| 708              | 1.232                | 1.120                               | 4      | 4.481                 | 18.408               |
| 712              | 1.482                | 1.357                               | 4      | 5.426                 | 23.834               |
| 716              | 1.760                | 1.621                               | 4      | 6.482                 | 30.316               |
| 720              | 2.067                | 1.913                               | 4      | 7.654                 | 37.97                |
| 724              | 2.404                | 2.236                               | 4      | 8.942                 | 46.912               |
| 728              | 2.773                | 2.589                               | 4      | 10.354                | 57.266               |
| 732              | 3.173                | 2.973                               | 4      | 11.892                | 69.158               |
| 736              | 3.606                | 3.389                               | 4      | 13.558                | 82.716               |
| 740              | 4.073                | 3.839                               | 4      | 15.357                | 98.073               |

Les résultats obtenus du calcul de la loi (Altitude-surface-capacité) sont illustrés dans les figures suivante :



**Figure (III.1) : Courbe Altitude-Surface**



**Figure (III.2) : Courbe Altitude-volume**

**III.1.2 Évaporation nette**

L'évaporation nette dans le plan d'eau est estimée par la formule suivante :

$$E_n = E_b - P_b \quad (\text{III.3})$$

Avec :

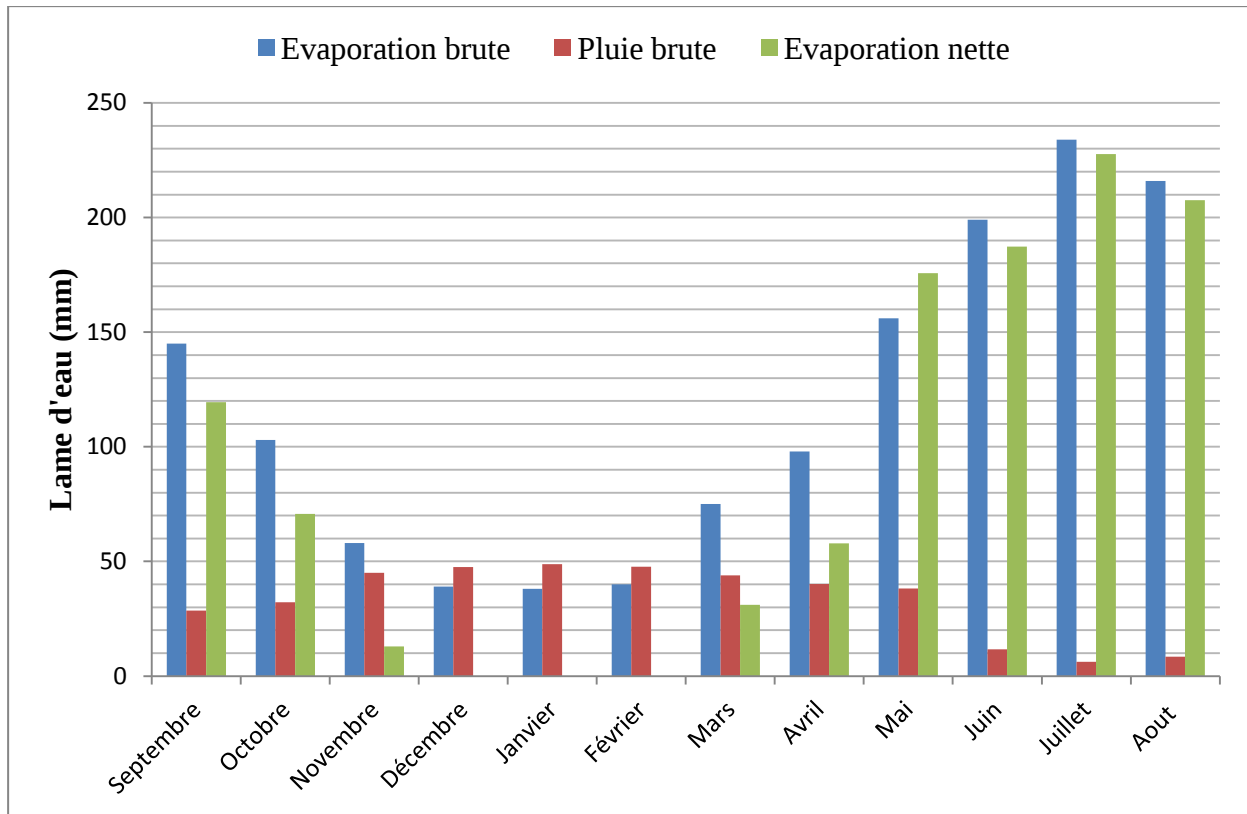
- $E_n$  : Évaporation nette (mm) ;
- $E_b$  : Évaporation brute (mm) ;
- $P_b$  : Pluie brute (mm).

La répartition mensuelle de l'évaporation nette est représentée dans le tableau suivant :

**Tableau (III.2) : Répartition mensuelle de l'évaporation (brute et nette) et la pluie brute**

| Mois      | $E_b$ | $P_b$  | $E_n$   |
|-----------|-------|--------|---------|
| Septembre | 145   | 28.57  | 119.43  |
| Octobre   | 103   | 32.23  | 70.77   |
| Novembre  | 58    | 45.01  | 12.99   |
| Décembre  | 39    | 47.59  | 0       |
| Janvier   | 38    | 48.76  | 0       |
| Février   | 40    | 47.76  | 0       |
| Mars      | 75    | 43.94  | 31.06   |
| Avril     | 98    | 40.09  | 57.91   |
| Mai       | 156   | 38.18  | 175.73  |
| Juin      | 199   | 11.7   | 187.3   |
| Juillet   | 234   | 6.26   | 227.74  |
| Aout      | 216   | 8.44   | 207.56  |
| Somme     | 1400  | 398.53 | 1002.47 |

La répartition mensuelle de l'évaporation nette est illustrée sur la figure suivante :



**Figure (III.3) :** Répartition mensuelle de l'évaporation (brute, nette), pluie brute

### III.1.3 Garantie de satisfaction des besoins

La garantie de satisfaction de l'irrigation est de l'ordre 80 (%).

### III.1.4 Choix de type de régularisation

Principalement, il existe deux types de régularisation de l'écoulement pour un barrage. D'ailleurs, quand l'écoulement d'une fréquence P % est supérieur à la restitution brute, on n'a pas besoin de construire un barrage et on se limite à réaliser une prise d'eau. Si l'écoulement d'une fréquence P% est égal à la restitution brute, on a affaire à une régularisation annuelle, c'est-à-dire que le volume utile, qui est appelé volume saisonnier se remplit durant la saison des pluies et se vide durant la saison sèche. A la fin de cette saison, théoriquement le barrage contient seulement le volume mort. Mais si l'écoulement d'une fréquence P% est inférieur à la restitution brute de garantie égale en valeur absolue P %, il s'agit de la régularisation interannuelle, qui consiste à stocker les excédents d'eau durant les années humides, pour couvrir les déficits des années sèches.

Le volume des besoins pour l'irrigation des cultures est estimé à 8000000 m<sup>3</sup>.

Puisque le volume de la restitution est supérieur au volume d'écoulement :

$\sum_{i=1}^{12} U(8000000) > E_{(P=80\%)}(6760000)$ , alors nous avons affaire à une régularisation interannuelle.

### III.1.5 Régularisation interannuelle

La régularisation interannuelle a pour but de satisfaire la consommation durant plusieurs années.

**III.1.5.1 Calcul du volume utile de barrage sans tenir compte des pertes**

Pour effectuer ce calcul, on applique la première méthode de Kritsky-Menkel. La formule de Kritsky-Menkel s'écrit comme suit :

$$V_u = (\beta_c + \beta_{plur})E_0 \quad (III.4)$$

Avec :

- $E_0$  : Écoulement moyen interannuel [ $E_0 = 10.74 \text{ Mm}^3$ ] ;
- $\beta_c$  : Composante saisonnière du volume utile ;
- $\beta_{plur}$  : Composante pluriannuelle du volume utile.

**A. La composante saisonnière  $\beta_c$** 

La composante saisonnière du volume utile est déterminée à partir de l'abaque de Kritsky-Menkel [12]. Elle est en fonction de :

- Coefficient de régularisation ;
- Volume relatif de l'écoulement pendant l'étiage au cours de l'année.

La représentation graphique de la variation de la composante saisonnière du volume utile en fonction de coefficient de régularisation de l'écoulement et le volume relatif pendant la période d'étiage au cours de l'année est montrée dans l'annexe (11) :

**B. Coefficient de régularisation  $\alpha$** 

Le coefficient de régularisation de l'écoulement est estimé par la formule suivante :

$$\alpha = \frac{U_{P\%}}{E_0} \quad (III.5)$$

Avec :

- $U_{P\%}$  : Demande en eau à satisfaire pour une garantie de P% [ $U_{P\%} = 8 \text{ Mm}^3$ ] ;
- $E_0$  : Écoulement moyen interannuel [ $E_0 = 10.74 \text{ Mm}^3$ ].

Le coefficient de régularisation de l'écoulement est :  $\alpha = 0.74$

**➤ Volume relatif de l'écoulement pendant l'étiage**

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

$$m = \frac{\sum_1^{N_{\text{int}}} E_m}{E_0} \quad (III.6)$$

Avec :

- $\sum_1^{N_{\text{int}}} E_m$  : Écoulement pendant la période d'étiage ( $\text{Mm}^3$ ) ;

L'écoulement pendant la période d'étiage est représenté dans le tableau suivant :

**Tableau (III.3) : Écoulement pendant la période d'étiage**

| Mois | E (Mm <sup>3</sup> ) | E - $\bar{E}$ (Mm <sup>3</sup> ) | Em (mm) |
|------|----------------------|----------------------------------|---------|
| Sep  | 0.31                 | -0.58                            | 0.58    |
| Oct  | 0.5                  | -0.39                            | 0.39    |
| Nov  | 0.36                 | -0.53                            | 0.53    |
| Dec  | 0.74                 | -0.15                            | 0.15    |
| Ja   | 1.44                 | 0.55                             | 0       |
| Fef  | 1.61                 | 0.72                             | 0       |
| Mar  | 2.44                 | 1.55                             | 0       |
| Avr  | 1.34                 | 0.45                             | 0       |
| Mai  | 0.98                 | 0.09                             | 0       |
| Jui  | 0.47                 | -0.42                            | 0.42    |
| Juil | 0.34                 | -0.55                            | 0.55    |
| Aout | 0.20                 | -0.69                            | 0.69    |
|      | $\bar{E} = 0.89$     |                                  | 3.31    |

D'où le volume relatif pendant la période d'étiage est  $m = 0.31$

A partir de l'abaque de Kritsky-Menkel, la valeur de  $\beta_c$  est  $\beta_c = 0.39$

Le volume saisonnier qui correspond à  $\beta_c$  calculé est  $V_s = 4.189 \text{ Mm}^3$ .

### C. La composante pluriannuelle

La composante interannuelle est déterminée par la méthode graphique, en utilisant l'abaque de Pléchkov.Ia.F (Annexe 12), qui est en fonction du coefficient de variation  $C_v$ , coefficient d'asymétrie  $C_s$ , coefficient de régularisation  $\alpha$ , la garantie P (%) et le coefficient de l'auto-corrélation  $r$  entre les écoulements des années voisines.

Le calcul de  $C_v$ ,  $C_s$  et  $r$  est fait avec le logiciel Excel, les résultats de calcul sont comme suit :

Coefficient de l'auto-corrélation :  $r = 0$

Coefficient de variation :  $C_v = 0.6$

Coefficient d'asymétrie  $C_s = 1.14$

La garantie P (%) est de l'ordre de 80 %

A partir de l'abaque Pléchkov.Ia.F, la valeur de la composante pluriannuelle est :

$$\beta_{plur} = 0.4$$

Le volume interannuel est :

$$V_{int} = 4.29 \text{ Mm}^3$$

Donc, le volume utile sans tenir compte des pertes est :

$$V_u = 8.48 \text{ Mm}^3$$

### III.1.5.2 Calcul du volume utile du barrage en tenant compte des pertes

Les pertes en eau à prendre en considération dans le calcul du volume utile du barrage, sont celles des infiltrations et de l'évaporation.

#### A. Calcul du volume évaporé

Le volume évaporé est estimé par la formule suivante [11] :

$$V_e = E_v \cdot S \quad (\text{III.7})$$

Où :  $\bar{S}$  = Surface moyenne qui correspond à  $\bar{V}(\text{m}^2)$ .

$$\bar{V} = \left( \frac{V_u}{2} \right) + V_m \quad (\text{III.8})$$

Avec :

- $\bar{V}$  : Volume moyen = 8.28 Mm<sup>3</sup> ;
- $V_m$  : Volume mort ;
- $V_u$  : Volume utile interannuel.

A partir des courbes (Altitude-Capacité-Surface) :  $\bar{S} = 0.75 \text{ Km}^2$

Le volume évaporé est :  $V_e = 7518.52 \text{ m}^3$

#### B. Calcul du volume infiltré

Le volume d'eau infiltré est estimé par la formule suivante :

$$V_{\text{inf}} = 0.03 \cdot \bar{V} \quad (\text{III.9})$$

Donc, le volume infiltré est :  $V_{\text{inf}} = 248400 \text{ m}^3$ .

Alors le volume utile du barrage de Beni Slimane est  $V_u = 8.7359 \text{ Mm}^3$ .

## III.2 Laminage des crues

Nous traitons cette étude par la méthode de KOTCHERINE et par la méthode de HILDENBLAT pour tracer l'hydrogramme de la crue.

### III.2.1 Laminage de la crue de projet par la méthode de KOTCHERINE :

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

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

#### III.2.1.1 Estimation du débit de crue laminée

La formule de Kotcherine pour l'estimation du débit de la crue laminée se présente sous la forme suivante :

$$q = Q \left( 1 - \frac{V_F}{V_C} \right) \quad (\text{III.10})$$

Avec :

- $V_F$  : Volume de la charge sur le déversoir déduit de la courbe capacité hauteur ( $\text{m}^3$ ) ;
- $Q$  : Débit de la crue de projet [ $Q = 294 \text{ m}^3/\text{s}$ ] ;
- $q$  : Débit laminé ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

#### III.2.1.2 Estimation du volume de la crue

Le volume de la crue est estimé par la formule suivante :

$$V_C = \frac{1}{2} Q T_b \quad (\text{III.11})$$

Avec :

- $T_b$  : Temps global de la crue.

D'où le volume de la crue est  $V_C = 9.52 \text{ Mm}^3$ .

#### III.2.1.3 Estimation de la charge au-dessus du déversoir

La charge au-dessus du déversoir est estimée par la formule suivante :

$$Q = m b_d \sqrt{2g} H^{3/2} \quad (\text{III.12})$$

Avec :

- $m$  : Coefficient de débit, dépendant notamment de l'épaisseur du déversoir par rapport à la charge  $H_0$ , et de la forme de la crête du déversoir [ $m = 0.49$ ] ;
- $g$  : Accélération de pesanteur, [ $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ] ;
- $b_d$  : Largeur du déversoir (m) ;
- $H$  : Charge hydraulique sur le déversoir (m).

Les données de départ pour le calcul à l'aide de la méthode de Kotcherine sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau (III.4) : Données initiales**

|                                                            |      |
|------------------------------------------------------------|------|
| L'accélération de la gravité $g$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) | 9.81 |
| Coefficient énergétique de Coriolis $\alpha$               | 1    |
| Le débit de projet ( $\text{m}^3/\text{s}$ )               | 294  |
| Volume de la crue de projet ( $\text{Mm}^3$ )              | 9.52 |
| Coefficient de débit (m)                                   | 0.49 |

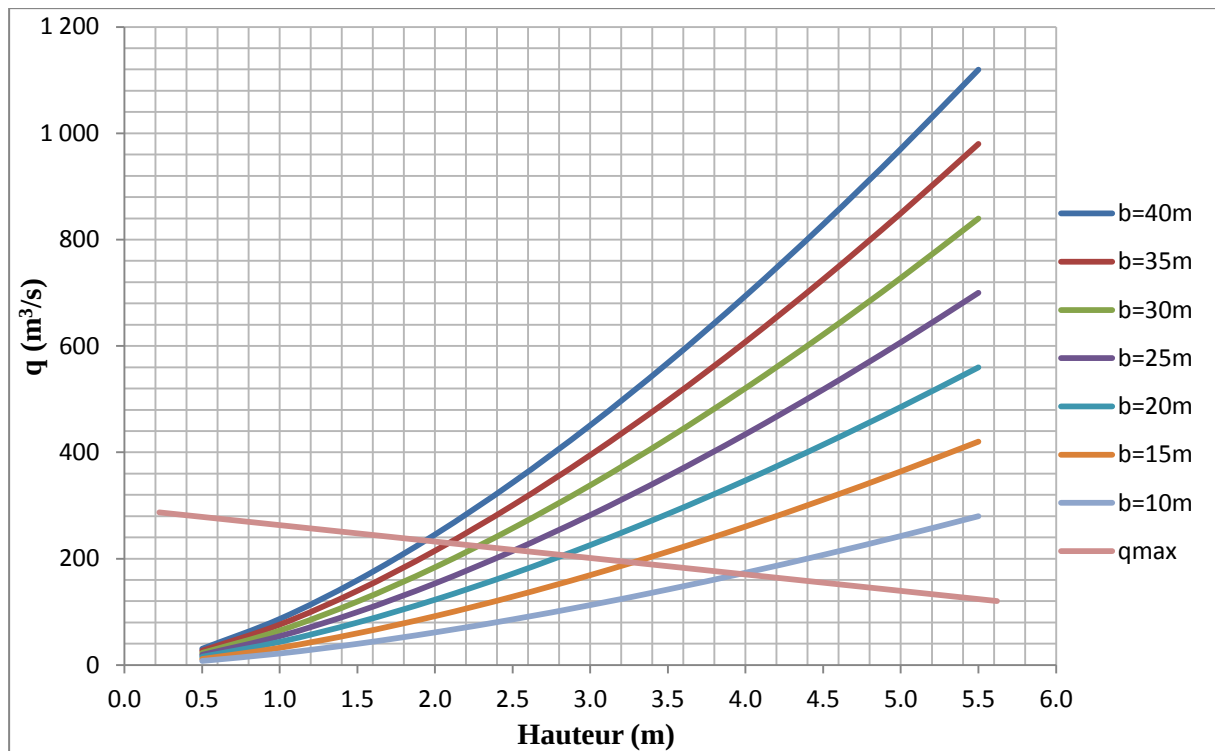
Les résultats de calcul du débit déversé pour différentes largeurs par la méthode de Kotcherine sont représentés dans les tableaux ci-dessous et illustrés dans les figures (III.4) et (III.5).

**Tableau (III.5) : Débits laminés pour différentes charges hydrauliques**

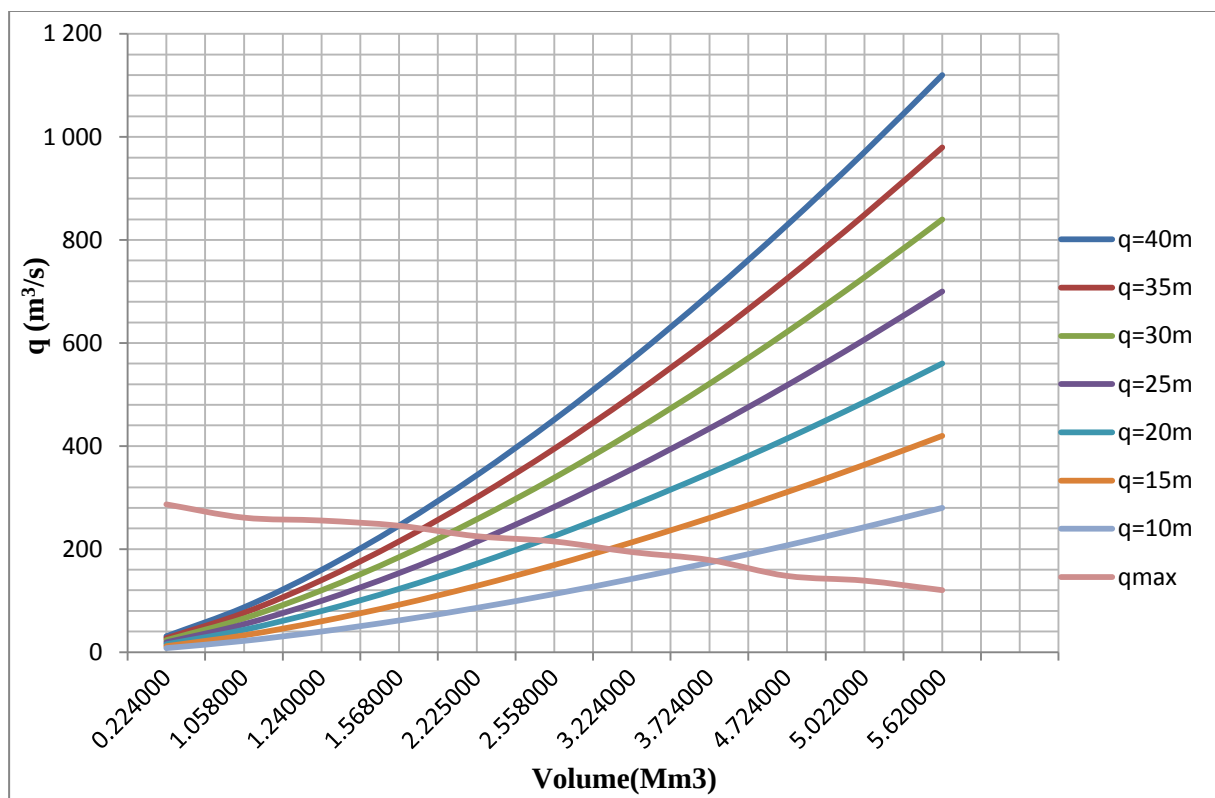
| h (m) | NPHE (m.NGA) | $V_f$ (Mm <sup>3</sup> ) | Q (m <sup>3</sup> /s) | b (m)  |
|-------|--------------|--------------------------|-----------------------|--------|
| 0.50  | 703.00       | 0.22                     | 287.08                | 374.19 |
| 1.00  | 703.50       | 1.06                     | 261.33                | 120.43 |
| 1.50  | 704.00       | 1.24                     | 255.71                | 64.14  |
| 2.00  | 704.50       | 1.57                     | 245.58                | 40.01  |
| 2.50  | 705.00       | 2.23                     | 225.29                | 26.26  |
| 3.00  | 705.50       | 2.56                     | 215.00                | 19.07  |
| 3.50  | 706.00       | 3.22                     | 194.44                | 13.68  |
| 4.00  | 706.50       | 3.72                     | 178.99                | 10.31  |
| 4.50  | 707.00       | 4.72                     | 148.11                | 7.15   |
| 5.00  | 707.50       | 5.02                     | 138.91                | 5.73   |
| 5.50  | 708.00       | 5.62                     | 120.44                | 4.30   |

**Tableau (III.6) : Débit laminés pour différente largeurs de déversoir**

|       | b (m)    |        |        |        |        |        |        |                         |
|-------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------------------|
| H (m) | 40       | 35     | 30     | 25     | 20     | 15     | 10     |                         |
| 0.5   | 30.69    | 26.86  | 23.02  | 19.18  | 15.35  | 11.51  | 7.67   | q (m <sup>3</sup> /s) b |
| 1.0   | 86.82    | 75.97  | 65.11  | 54.26  | 43.41  | 32.56  | 21.70  |                         |
| 1.5   | 159.49   | 139.56 | 119.62 | 99.68  | 79.75  | 59.81  | 39.87  |                         |
| 2.0   | 245.56   | 214.86 | 184.17 | 153.47 | 122.78 | 92.08  | 61.39  |                         |
| 2.5   | 343.17   | 300.28 | 257.38 | 214.48 | 171.59 | 128.69 | 85.79  |                         |
| 3.0   | 451.12   | 394.73 | 338.34 | 281.95 | 225.56 | 169.17 | 112.78 |                         |
| 3.5   | 568.47   | 497.41 | 426.35 | 355.29 | 284.24 | 213.18 | 142.12 |                         |
| 4.0   | 694.54   | 607.72 | 520.90 | 434.09 | 347.27 | 260.45 | 173.63 |                         |
| 4.5   | 828.75   | 725.16 | 621.56 | 517.97 | 414.38 | 310.78 | 207.19 |                         |
| 5.0   | 970.65   | 849.31 | 727.98 | 606.65 | 485.32 | 363.99 | 242.66 |                         |
| 5.5   | 1 119.82 | 979.85 | 839.87 | 699.89 | 559.91 | 419.93 | 279.96 |                         |



**Figure (III.4) :** Débits laminés pour différentes largeurs de déversoir



**Figure (III.5) :** Volume de la crue laminée pour différentes largeurs de déversoir

On opte pour une largeur de déversoir de  $b = 20$  m, correspondant à un débit laminé de  $225.56 \text{ m}^3/\text{s}$ , une charge de  $3 \text{ m}$  et un volume de  $2.56 \text{ Mm}^3$ .

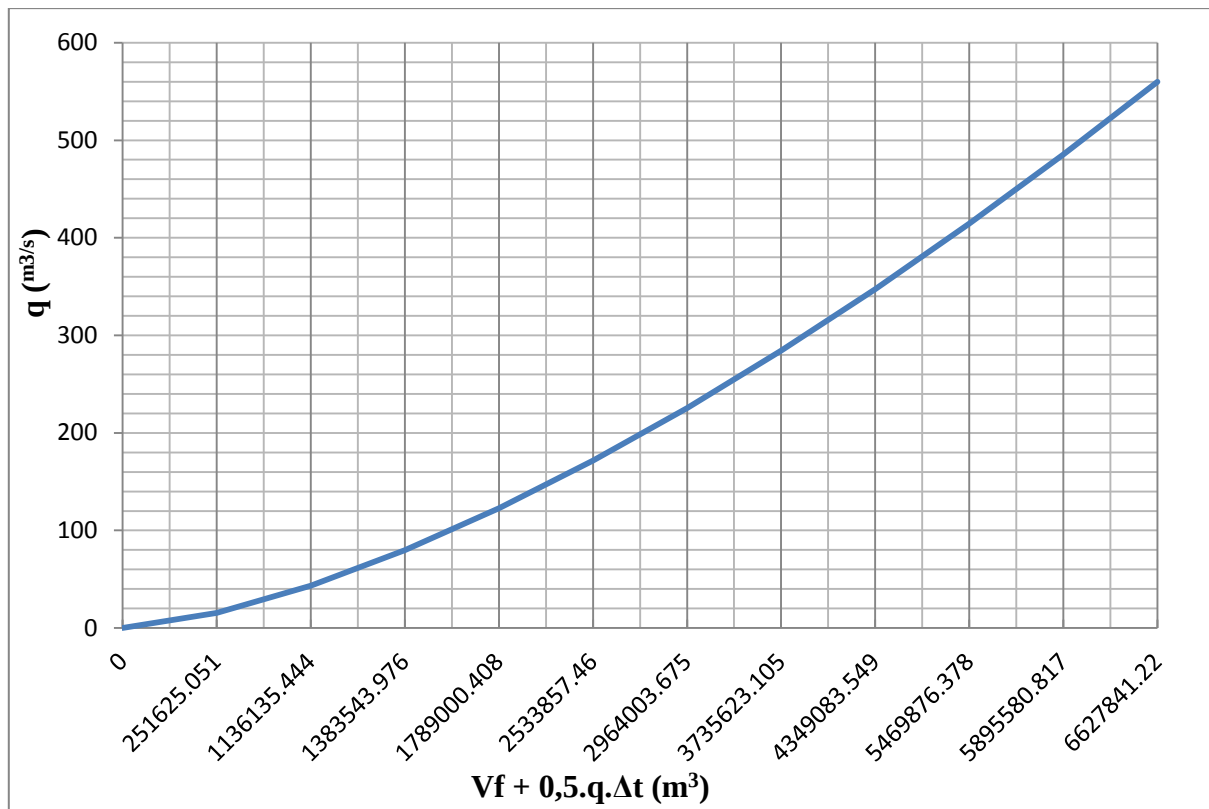
**III.2.2 Laminage pour un déversoir de largeur  $b = 20$  m, par la méthode de HIDENBLAT**

La variation de débit laminé en fonction du volume emmagasiné est représentée dans le tableau suivant :

**Tableau (III.7) :** La variation de débit laminée en fonction de volume emmagasiné

| H(m) | q (m <sup>3</sup> /s) | V <sub>f</sub> (m <sup>3</sup> ) | V <sub>f</sub> + 0,5.q.Δt (m <sup>3</sup> ) |
|------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------------------|
| 0    | 0                     | 0                                | 0                                           |
| 0.5  | 15.35                 | 224000                           | 251625.05                                   |
| 1.0  | 43.41                 | 1058000                          | 1136135.44                                  |
| 1.5  | 79.75                 | 1240000                          | 1383543.98                                  |
| 2.0  | 122.78                | 1568000                          | 1789000.41                                  |
| 2.5  | 171.59                | 2225000                          | 2533857.46                                  |
| 3.0  | 225.56                | 2558000                          | 2964003.67                                  |
| 3.5  | 284.24                | 3224000                          | 3735623.1                                   |
| 4.0  | 347.27                | 3724000                          | 4349083.55                                  |
| 4.5  | 414.38                | 4724000                          | 5469876.38                                  |
| 5.0  | 485.32                | 5022000                          | 5895580.82                                  |
| 5.5  | 559.91                | 5620000                          | 6627841.22                                  |

La variation du débit laminé en fonction du volume emmagasiné est illustrée sur la figure ci-dessous :



**Figure (III.6) :** La variation de débit laminé en fonction du volume emmagasiné

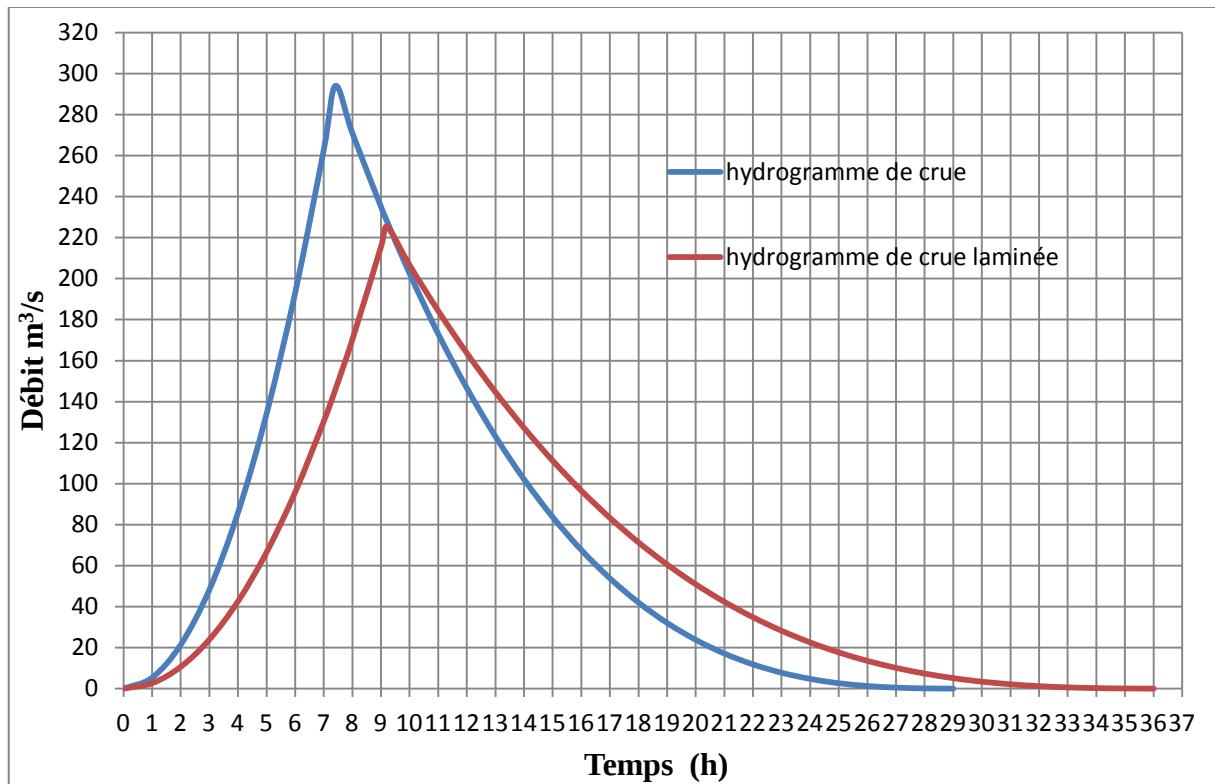
Les composantes de l'hydrogramme de crue ainsi l'hydrogramme de crue laminée de bassin versant de Beni Slimane, calculées par la méthode grapho-analytique de Hildenblat sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau (III.8) :** Composantes de l'hydrogramme de la crue de projet et de la crue laminée

| t (h) | Q ( $m^3/s$ ) | q ( $m^3/s$ ) | t  | Q ( $m^3/s$ ) | q ( $m^3/s$ ) |
|-------|---------------|---------------|----|---------------|---------------|
| 0     | 0.0           | 0             | 19 | 32.0          | 60.5          |
| 1     | 5.4           | 2.7           | 20 | 23.8          | 50.9          |
| 2     | 21.5          | 10.7          | 21 | 17.1          | 42.3          |
| 3     | 48.3          | 24.0          | 22 | 11.8          | 34.8          |
| 4     | 85.9          | 42.6          | 23 | 7.7           | 28.2          |
| 5     | 134.2         | 66.6          | 24 | 4.7           | 22.5          |
| 6     | 193.3         | 95.9          | 25 | 2.6           | 17.6          |
| 7     | 263.1         | 130.6         | 26 | 1.3           | 13.5          |
| 7.4   | 294.0         | 145.9         | 27 | 0.5           | 10.1          |
| 8     | 270.8         | 170.6         | 28 | 0.1           | 7.3           |
| 9     | 234.9         | 215.9         | 29 | 0.0           | 5.1           |

|     |       |       |      |   |     |
|-----|-------|-------|------|---|-----|
| 9.2 | 228.1 | 225.6 | 29.6 | 0 | 4.0 |
| 10  | 202.3 | 206.5 | 30   | 0 | 3.4 |
| 11  | 172.9 | 184.2 | 31   | 0 | 2.1 |
| 12  | 146.5 | 163.6 | 32   | 0 | 1.2 |
| 13  | 122.9 | 144.6 | 33   | 0 | 0.6 |
| 14  | 102.0 | 127.2 | 34   | 0 | 0.2 |
| 15  | 83.6  | 111.1 | 35   | 0 | 0.1 |
| 16  | 67.6  | 96.5  | 36   | 0 | 0.0 |
| 17  | 53.8  | 83.3  | 36.8 | 0 | 0.0 |
| 18  | 41.9  | 71.3  |      |   |     |

D'autre part, les hydrogrammes de crue et la crue laminée sont représentés dans la figure suivante :



**Figure (III.7) :** Hydrogramme de la crue de projet et l'hydrogramme de la crue laminée

## Conclusion

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

- Le volume normal de la retenue est :  $V_{NNR} = 12.7759 \text{ Mm}^3$  ;
- La capacité utile de stockage du barrage ( $V_u$ ), est :  $V_u = 8.73 \text{ Mm}^3$  ;
- La côte au niveau normal de la retenue est :  $NNR = 702.5 \text{ m.NGA}$  ;
- La côte au niveau du volume mort est :  $NVM = 689 \text{ m.NGA}$  ;
- La largeur estimée pour le déversoir est :  $b = 20 \text{ m}$  ;
- Le débit de pointe de la crue laminé ( $q$ ), est estimé à une valeur de  $225.56 \text{ m}^3/\text{s}$  ;
- Le niveau des plus hautes eaux  $NPHE = 705.5 \text{ mNGA}$ , et un volume forcé de l'ordre de :  $V_f = 2.56 \text{ Mm}^3$ .

*Conception de la digue*

## Introduction

Les barrages en terres peuvent être constitués par des matériaux de construction de caractéristiques très diverses, à la différence des barrages en béton ou même en enrochements dont les matériaux constitutifs restent contenus dans des fourchettes beaucoup plus étroites.

Le terme terre couvre toute une gamme de matériaux allant de l'argile pure très fine à des éléments très grossiers, dans certains cas même on utilise des roches altérées facilement compactables, tels que les latérites, des schistes et grès tendres...

Le choix du type de barrage se fait en fonction des caractéristiques locales, en particulier de la nature du sol de la fondation et de la forme de la vallée, des problèmes de transport d'approvisionnement, de l'extraction des matériaux de construction de leurs zones d'emprunts ainsi que des conditions économiques.

L'étude géologique et géotechnique est la base fondamentale de cette étude, en effet c'est en fonction de la nature du sol de fondations et des matériaux de construction disponibles au voisinage du site du barrage que l'on peut proposer des variantes et en écarter d'autres.

### IV.1 Variantes envisageables

Pour le cas présent, les conditions topographiques, géotechniques, et géologiques du site permettent d'envisager un barrage en matériaux locaux. Trois variantes sont envisageables :

#### IV.1.1 Barrage en terre homogène

Ce type est le plus facile à réaliser lorsque les matériaux sont suffisamment disponibles. Le barrage en terre homogène est constitué d'un massif en terre compactée imperméable, muni d'un dispositif de drainage dans sa partie aval et d'une protection mécanique contre l'effet de battillage dans sa partie amont.

#### IV.1.2 Barrage zoné

Souvent l'hétérogénéité des matériaux disponibles sur place ou leurs caractéristiques géotechniques ne permettent pas d'envisager une digue homogène étanche. Dans ce cas, une solution couramment adoptée consiste à concevoir un massif en plusieurs zones, dont chacune est constituée d'un matériau différent, suivant le rôle que doit jouer chaque zone.

La fonction de l'étanchéité est assurée par un noyau étanche réalisé en matériaux argileux qui pourra être placé en amont du barrage ou au centre de celui-ci.

#### IV.1.3 Barrage en terre à masque amont

Le masque amont est une paroi étanche plaquée sur le talus amont du barrage. Il existe de nombreuses natures de masque étanche telles que béton en ciment ou bitumineux, chapes préfabriquées, membranes souples etc.

Ce type présente l'avantage de pouvoir être exécuté après l'édification du remblai et de pouvoir réparé aisément, il est par contre plus exposé à l'agression extérieure mécanique et thermique.

## IV.2 Choix du type de barrage

Pour le choix du type de barrage, on a pris en considération les conditions géologiques de la fondation du barrage et la disponibilité des matériaux argileux, on a opté pour un barrage en terre hétérogène à noyau imperméable. C'est un barrage composé de différents matériaux, dans la plupart des cas composé de deux matériaux, l'un imperméable et l'autre résistant et perméable.

## IV.3 Définition du profil général du barrage

Le profil général de la digue est représenté dans l'annexe (13).

### IV.3.1 Niveau de la crête de la digue

La détermination du niveau de la crête est conditionnée par l'influence des efforts sismique [16].

#### IV.3.1.1 Niveau de la crête de la digue sans tenir compte des efforts sismiques.

Pour la détermination du niveau de la crête, on peut utiliser la relation suivante :

$$Cote_{crête} = NPHE + R_v + a \quad (IV.1)$$

Avec :

- $NPHE$  : Niveau des plus hautes eaux pour la probabilité de conception ;
- $R_v$  : Hauteur de montée de la vague ou revanche ;
- $a$  : Hauteur libre de sécurité (réserve constructive), dans le cas des petits barrages elle est comprise entre 0.40 et 0,60 m.

#### A) Calcul de la hauteur de montée de la vague (revanche)

Selon l'étude effectuée, pour cela on utilise plusieurs formules. Les plus employées sont [17] :

##### ➤ Formule de STEVENSON.

Pour  $F$  (fetch) < 18 km

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

$$h_v = 0.75 + 0.34F^{1/2} - 0.26F^{1/4} \quad (IV.3)$$

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

Où :

- $R_v$  : Hauteur de montée de la vague (m) ;
- $F$  : Longueur maximale de la surface d'eau du lac en suivant la direction du vent (km). On l'appelle "fetch" ;
- $h_v$  : Hauteur de la vague (m) ;
- $V_v$  : Vitesse de propagation de la vague (m/s) ;
- $g$  : Accélération de la gravité (9.81 m /s<sup>2</sup>).

➤ **Formule de MALLET et de PAQUANT.**

$$R_v = h_v + \frac{V_v^2}{2g} \quad (\text{IV.5})$$

$$h_v = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} F^{1/2} \quad (\text{IV.6})$$

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

➤ **Formule de l'U.S.B.R.**

$$R_v = 0.75 h_v + \frac{V_v^2}{2g} \quad (\text{IV.8})$$

$$h_v = 0.75 + 0.34 F^{1/2} - 0.26 F^{1/4} \quad (\text{IV.9})$$

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

Les résultats de calcul de la revanche sont donnés dans le tableau (IV.1).

**Tableau (IV.1) : Récapitulatif des résultats de calcul de la revanche**

| Formule               | Fetch F, (km) | $h_v$ (m) | $V_v$ (m/s) | $R_v$ (m) |
|-----------------------|---------------|-----------|-------------|-----------|
| STEVENSON             | 0.75          | 0.8       | 2.09        | 0.82      |
| MALLET et de PAQUANT. | 0.75          | 0.79      | 2.02        | 1         |
| U.S.B.R               | 0.75          | 0.8       | 3.1         | 1.09      |

Nous adoptons une valeur moyenne, soit  $R_v = 1$  m.

La cote de niveau des plus hautes eaux (NPHE) a été calculée dans le chapitre III (NPHE = 705.5 m. NGA)

La cote de la crête du barrage est :  $C_c = 707$  m. NGA

#### IV.3.1.2 Niveau de la crête en prenant en considération les contraintes dues au séisme.

Le niveau de la crête de la digue est estimé par la formule suivante [17] :

$$C_c = NNR + R_s + a \quad (\text{IV.11})$$

Avec :

- $NNR$  : Niveau normal de la retenue [ $NNR = 702.5$  m. NGA] ;
- $R_s$  : Hauteur de montée de la vague en tenant compte des efforts sismiques ;
- $a$  : Hauteur libre de sécurité [ $a = 0.5$  m].

**A) Estimation de la hauteur de montée de la vague**

Quand l'ouvrage est situé dans une zone d'activité sismique significative, la hauteur de montée de la vague est estimée par la formule suivante :

$$R_s = h_1 + h_2 \quad (\text{IV.12})$$

Avec :

- $R_s$  : Hauteur de montée de la vague en tenant compte du séisme ;
- $h_1$  : hauteur du barrage due au tassement [ $h_1 = 5\%.H_{bs}$ ] ;
- $H_{bs}$  : Hauteur de la digue sans tenir compte des efforts sismique [ $H_{bs} = 50.5$  m].

La hauteur due au tassement est de l'ordre de :

$$h_1 = 2.5 \text{ m}$$

$h_2$  : la hauteur de montée de la vague estimée par la formule suivante :

$$h_2 = 0.75(K_s H^2)^{1/3} \quad (\text{IV.13})$$

Avec :

- $H$  : Hauteur du barrage jusqu'au niveau normale de la retenue. [ $H = 46$  m].

$$K_s = \frac{a}{g} \quad (\text{IV.14})$$

Où :

- $a$  : Accélération horizontale produite par le séisme [ $a = 0.29$ ] ;

Donc le coefficient  $K_s$  est de l'ordre de :

$$K_s = 0.03$$

Donc la hauteur de montée de la vague est :  $h_2 = 2.95$  m

La hauteur de montée de la vague en tenant compte des efforts sismiques est :

$$R_s = 5.48 \text{ m}$$

Donc la cote de la digue en tenant compte des efforts sismiques est :

$$C_c = 708.48 \text{ m. NGA}$$

La côte de la crête du barrage sera la plus grande en considérant les deux analyses établies, donc :

$$C_c = 708.5 \text{ m. NGA}$$

**IV.4 Dimensionnement de la digue en remblai zonée****IV.4.1 Cote de la fondation**

Selon la lithologie du site du barrage de Beni Slimane, le toit de substratum rocheux se trouve à une profondeur moyenne de six mètre (06) sous le terrain naturel. Le niveau de la fondation de la digue du barrage est fixé à la côte 650.5 m. NGA.

**IV.4.2 Hauteur totale de la digue**

La hauteur totale de la digue en remblai zonée à noyau argileux est calculée par la formule suivante :

$$H_{bA} = C_{ce} - C_f \quad (IV.15)$$

Avec :

- $C_{cr}$  : Côte de la crête, [ $C_{cr} = 708.5$  m. NGA] ;
- $C_f$  : Côte de la fondation du barrage, [ $C_f = 650.5$  m. NGA].

Donc, la hauteur totale de la digue est :

$$H_{bA} = 58 \text{ m}$$

**IV.4.3 Largeur en crête de la digue**

L'estimation de la largeur en crête de la digue est faite par les formules empiriques suivantes [17] :

**Formule de T.T. KNAPPEN**

$$b = 1.65\sqrt{H_B} \quad (IV.16)$$

**Formule de E. F. PREECE**

$$b = 1.1\sqrt{H_B} + 1 \quad (IV.17)$$

**Formule selon Rolley.**

$$b = 3.6\sqrt[3]{H_B} - 3 \quad (IV.18)$$

Avec :

- $H_B$  : La hauteur du barrage.

Les largeurs de la crête calculées sont regroupées dans le tableau (IV.2) ci-dessous.

**Tableau (IV.2) : Récapitulatif des résultats du calcul de la largeur en crête**

| Formule      | Largeur |
|--------------|---------|
| T.T. KNAPPEN | 12.58   |
| E. F. PREECE | 9.38    |
| Rolley       | 10.95   |

On opte pour une largeur moyenne égale à 11 m.

**IV.4.4 Longueur tirée à partir de la moyenne en crête**

La longueur en crête est tirée à partir du plan de l'aménagement :

$$L = 212 \text{ m}$$

**IV.4.5 Les risbermes**

Quand la hauteur du barrage est supérieure à 10 m, il est très important de réaliser le barrage avec la variation de pente pour assurer la stabilité, la différence des fruits est 0.5 pour le talus

amont, et 0.25 pour le talus aval, tel que ces pentes sont plus grandes à la semelle et petites à la crête.

Pour la protection du talus aval contre l'érosion due au ruissellement, il faut construire des risbermes ayant une rigole latérale pour l'évacuation de l'eau. La largeur de risbermes est de 2m + 3m, s'il y a une route on prend la largeur est de 8 m

- Dans notre projet on prend la largeur est égale à 3 m.
- Les cotes des risbermes : pour le talus aval deux risbermes à 669.90 et à 689.33 m. NGA, et pour le talus amont une seule risberme à 682.63 m. NGA.

#### IV.4.6 Fruits des talus

Les pentes des talus recommandées pour les digues en remblai zonée à noyau argileux, sont présentées dans le tableau suivant [18] :

**Tableau (IV.3) : Valeurs des fruits recommandés pour les talus des digues en terre**

| Hauteur du barrage (m) | Type du barrage                       | Fruit du talus |      |
|------------------------|---------------------------------------|----------------|------|
|                        |                                       | Amont          | Aval |
| $H_b \leq 5$           | Homogène                              | 2.5            | 2    |
|                        | A zones                               | 2              | 2    |
| $5 \leq H_b \leq 10$   | Homogène, granulométrie Etendue       | 2              | 2    |
|                        | Homogène à forte pourcentage d'argile | 2.5            | 2.5  |
|                        | A zones                               | 2              | 2.5  |
| $10 \leq H_b \leq 20$  | Homogène, granulométrie Etendue       | 2.5            | 2.5  |
|                        | Homogène à forte pourcentage d'argile | 3              | 2.5  |
|                        | A zones                               | 2              | 3    |
| $H_b \geq 20$          | Homogène à granulométrie Etendue      | 3              | 2.5  |
|                        | A zones                               | 3              | 2.5  |

Pour le cas de cette étude, les fruits des talus amont et aval de la digue de barrage Beni Slimane sont :

- Parement amont  $m_1 = 3$
- Parement aval  $m_2 = 2.5$

#### IV.4.7 Largeur en base de la digue

La largeur en base de la digue en remblai zonée à noyau argileux est calculée par la formule Suivante [18] :

$$B_{bA} = (m_1 + m_2)H_{c+tn} + B_{cr} + 20 \quad (IV.19)$$

Avec :

- $B_{cr}$  : Largeur en crête de la digue, [  $B_{cr} = 11$  m] ;
- $m_1$  : Fruit de parement amont, [  $m_1 = 3$  ] ;
- $m_2$  : Fruit de parement aval, [  $m_2 = 2,5$  m] ;
- $H_{c+tm}$  : Hauteur de la digue à partir de terrain naturel, [  $H_{c+tm} = 52$  m].

La largeur en base de la digue est :

$$B_{bA} = 307.48 \text{ m}$$

#### **IV.4.8 Revêtements 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. Alors, les facteurs qui influent sur le choix et sur la conception du type de revêtement sont [17] :

- Hauteur de la montée subite ;
- Fluctuations du niveau du barrage ;
- Matériaux des barrages ;
- Conditions climatiques ;
- Importance de l'ouvrage.

Pour le cas des petits barrages, les revêtements les plus utilisés sont :

- Enrochement sur les couches de filtre ;
- Couche de terre végétale.

##### **IV.4.8.1 Talus aval**

On doit concevoir le revêtement pour éviter l'érosion à cause des pluies et s'il existe un niveau permanent d'eau.

Pour sa protection, l'utilisation d'une terre végétale avec des épaisseurs entre 0.20 et 0,3 m est très commune.

##### **IV.4.8.2 Talus amont**

L'emplacement du revêtement s'étend depuis la crête de la digue jusqu'à une profondeur au-dessous du niveau minimal d'exploitation, égale à la hauteur maximale de la vague mais pas moins de 2,0 m. Pour cela, on utilise communément un enrochement.

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 suivant :

**Tableau (IV.4) : Épaisseur de l'enrochement et  $D_{50}$  minimal des pierres en fonction de la hauteur de la vague.**

| Hauteur de la vague (m) | Épaisseur de la couche (m) | $D_{50}$ minimal (m) |
|-------------------------|----------------------------|----------------------|
| 0 – 0.3                 | 0.3                        | 0.2                  |
| 0.3 – 0.6               | 0.4                        | 0.25                 |
| 0.6 – 1.2               | 0.45                       | 0.3                  |
| 1.2 – 1.8               | 0.55                       | 0.4                  |
| 1.8 – 2.4               | 0.7                        | 0.45                 |
| 2.4 – 3                 | 0.8                        | 0.55                 |

Dans cette étude, la hauteur de la vague 0.8 m, donc l'épaisseur de la couche de l'enrochement de protection du parement amont est :

$$E_p = 0,45 \text{ m}$$

Et la dimension minimale des blocs est :

$$D_{50} = 0.3 \text{ m}$$

#### IV.4.9 Noyau argileux

Pour le noyau, On a opté pour un profil trapézoïdal dont les dimensions sont les suivantes :

##### IV.4.9.1 Côte de la crête du noyau argileux

La côte de la crête du noyau argileux est calculée par la formule suivante [17] :

$$C_{cn} = C_{cr} - 1 \quad (\text{IV.20})$$

Avec :

- $C_{cr}$  : Côte de la crête de la digue, [ $C_{cr} = 708.5 \text{ m. NGA}$ ].

Donc, la côte de la crête du noyau argileux est :

$$C_{cn} = 707.5 \text{ m. NGA}$$

##### IV.4.9.2 Côte de la fondation du noyau argileux

Selon la lithologie du site du barrage Beni Slimane, le toit du substratum rocheux se trouve à une profondeur moyenne de six mètre 06 m, et la structure du noyau nécessite une fondation rocheuse. Donc le niveau de la fondation de la digue de barrage est fixé à la côte 650.5 m. NGA.

##### IV.4.9.3 Hauteur du noyau argileux

La hauteur du noyau argileux est calculée par la formule suivante [17] :

$$H_n = C_n - C_f \quad (\text{IV.21})$$

Avec :

- $C_c$  : Côte de la crête de noyau, [ $C_c = 707.5 \text{ m. NGA}$ ] ;
- $C_f$  : Côte de la fondation du noyau, [ $C_f = 650.5 \text{ m. NGA}$ ].

Donc, la hauteur totale du noyau est :

$$H_n = 57 \text{ m}$$

#### IV.4.9.4 Largeur en crête

La largeur en crête du noyau est calculée par la formule suivante [17] :

$$b_{ncr} = \frac{1}{2} B_{cr} \quad (\text{IV.22})$$

Avec :

- $B_{cr}$  : Largeur en crête de la digue, [ $B_{cr} = 11 \text{ m}$ ].

La largeur en crête du noyau est :

$$b_{ncr} = 5.5 \text{ m}$$

#### IV.4.9.5 Fruits des parements du noyau argileux

Les fruits du parements amont et aval du noyau argileux recommandés pour le cas de notre étude sont [19] :

- Parement amont :  $mn1 = 0.5$
- Parement aval :  $mn2 = 0.5$

#### IV.4.9.6 Largeur en base du noyau argileux

La largeur en base du noyau est déterminée par la formule suivante :

$$B_{bn} = 2.m_{n1}.H_n + b_{ncr} \quad (\text{IV.23})$$

Avec :

- $m_{n1}$  : Fruit du talus de noyau, [ $m_{n1} = 0.5$ ] ;
- $H_n$  : Hauteur du noyau (m), [ $H_n = 57.27 \text{ m}$ ] ;
- $b_{ncr}$  : Largeur en crête du noyau, [ $b_{ncr} = 5.5 \text{ m}$ ].

La largeur en base du noyau est :

$$B_{bn} = 62.77 \text{ m}$$

#### IV.4.9.7 Largeur du noyau au terrain naturel

La largeur du noyau au terrain naturel est déterminée par la formule suivante :

$$\delta_m = 2.m_{n1}.H_{nTN} + b_{ncr} \quad (\text{IV.24})$$

Avec :

- $m_{n1}$  : Fruit du talus de noyau, [ $m_{n1} = 0.5$ ] ;
- $H_{nTN}$  : Hauteur du noyau à partir de terrain naturel(m), [ $H_{nTN} = 51 \text{ m}$ ] ;
- $b_{ncr}$  : Largeur en crête du noyau, [ $b_{ncr} = 5.5 \text{ m}$ ].

La largeur de noyau au terrain naturel est :  $\delta_m = 56.77 \text{ m}$

### IV.5 Etude des infiltrations

Les infiltrations qui se produisent à travers le corps du barrage et ses fondations doivent être considérées sous deux aspects différents, d'une part elles réduisent le volume emmagasiné, d'autre part elles peuvent compromettre la stabilité de l'ouvrage sous l'influence de phénomène de renard qui est un processus d'érosion régressive souterraine, et l'eau s'infiltrant sous une certaine pression permet l'apparition de cheminements à travers la digue ou la fondation avec entraînement des particules fines. Dans cette partie, on s'intéresse au calcul de :

- Le débit de fuite ;
- La pression de l'eau interstitielle dans le massif ;
- La zone submergée du corps de la digue.

#### ➤ *Hypothèse de calcul*

La digue est isotrope du point de vue hydraulique (coefficient de perméabilité est le même dans toutes les directions)

#### IV.5.1 A travers le corps du barrage

##### IV.5.1.1 La ligne de saturation

La ligne de saturation est la ligne le long de laquelle la pression hydrostatique est nulle, on l'appelle aussi « ligne phréatique ».

Elle est en fonction des caractéristiques des matériaux de construction, elle est déterminée sur la base de la parabole de KOZENY et qui nous permet de délimiter la partie sèche où humide de la partie saturée d'eau du barrage.

Son tracé permet d'estimer le débit de fuite à travers le barrage et de déterminer le cas échéant, la zone d'émergence de l'eau le long du talus amont et particulièrement dangereuse.

Il est indispensable d'établir des dispositifs de drainage qui maintiennent la ligne de saturation à l'intérieur du massif [20].

- Kozeny a montré que la ligne phréatique est une parabole dont l'équation est :

$$X = \frac{Y^2 - Y_0^2}{2.Y^2} \quad (IV.25)$$

$$Y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d \quad (IV.26)$$

$$Y = \sqrt{2YX_0 + Y_0^2} \quad (IV.27)$$

Avec :

- $b$  : La largeur en base du noyau diminue de à  $0.7b$  (m) ;
- $h$  : Charge hydraulique de la retenue, [  $h = 49$  m ].

#### A) Calcul de la largeur d

La largeur d est calculée comme suit [20] :

$$d = \delta_m - 0.7.b \quad (\text{IV.28})$$

Avec :

- $\delta_m$ : Largeur du noyau au terrain naturel, [ $\delta_m = 56.77$  m] ;
- $b$  : Projection horizontal de la partie mouille du parement amont du noyau, [ $b = 24.5$  m].

La largeur  $d$  est :

$$d = 39.62 \text{ m}$$

Donc la valeur de  $Y_0$  est :

$$Y_0 = 23.39 \text{ m}$$

### B) Traçage de la ligne de saturation

L'équation de la ligne de saturation de la digue est la suivante :

$$Y^2 = 46.78X - 547.27 \quad (\text{IV.29})$$

Les coordonnées de la ligne de saturation de la digue en remblai à noyau argileux sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau (IV.5) : Coordonnées de la ligne de saturation pour la digue en remblai zonée à noyau**

| X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0     | 23.40 | 14    | 34.67 | 28    | 43.09 |
| 1     | 24.38 | 15    | 35.34 | 29    | 43.63 |
| 2     | 25.31 | 16    | 36.00 | 30    | 44.17 |
| 3     | 26.21 | 17    | 36.64 | 31    | 44.69 |
| 4     | 27.09 | 18    | 37.27 | 32    | 45.21 |
| 5     | 27.93 | 19    | 37.90 | 33    | 45.73 |
| 6     | 28.75 | 20    | 38.51 | 34    | 46.24 |
| 7     | 29.55 | 21    | 39.11 | 35    | 46.74 |
| 8     | 30.32 | 22    | 39.70 | 36    | 47.24 |
| 9     | 31.08 | 23    | 40.29 | 37    | 47.73 |
| 10    | 31.82 | 24    | 40.87 | 38    | 48.22 |
| 11    | 32.54 | 25    | 41.43 | 39    | 48.70 |
| 12    | 33.25 | 26    | 41.99 | 40    | 49.18 |
| 13    | 33.94 | 27    | 42.55 |       |       |

#### IV.5.1.2 Débit de fuite unitaire

Le débit de fuite unitaire est estimé par la formule de Darcy comme suit [21] :

$$q_n = K_R \frac{h^2 - y_0^2}{2\delta'} \quad (\text{IV.30})$$

Avec

- $K_R$  : Coefficient de perméabilité du matériau de recharge, [ $K_R = 10^{-5}$  m/s].
- $h$  : Charge hydraulique dans la retenue, [ $h = 49$  m] ;
- $Y_0$  : Charge hydraulique a l'aval de noyau, [ $Y_0 = 26.39$  m] ;

- $\delta'$  : Epaisseur fictive du noyau (m).

L'épaisseur fictive du noyau est estimée par la formule suivante :

$$\delta' = \delta_m \frac{K_R}{K_n} \quad (\text{IV.31})$$

Avec :

- $\delta_m$  : Largeur du noyau au terrain naturel, [  $\delta_m = 56.77$  m ] ;
- $K_R$  : Coefficient de perméabilité du matériau de recharge, [  $K_R = 10^{-5}$  m/s ] ;
- $K_n$  : Coefficient de perméabilité du noyau, [  $K_n = 10^{-9}$  m/s ].

L'épaisseur fictive du noyau est de l'ordre de :

$$\delta' = 5.677.10^5 \text{ m}^2/\text{s}$$

Le débit de fuite unitaire dans la digue est de l'ordre de :

$$q_n = 3.10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$$

#### IV.5.2 Fondation

Le débit d'infiltration à travers les fondations est donné par la loi de Darcy :

$$q_n = K.I.A \quad (\text{IV.32})$$

Avec :

- $K$  : Coefficient de perméabilité. ( $K=4.10^{-6}$  m/s)
- $I$  : gradient hydraulique.

$$I = \frac{H}{L_b} \quad (\text{IV.33})$$

Avec :

- $H$  = charge de la retenue,
- $L_b = 307.48$  m L'emprise de barrage).
- $A$  : section d'infiltration par unité de longueur.
- $A=T.1$  ( $T=6$  m Profondeur du sol de fondation perméable).

D'où  $q_n = 3.59.10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

### IV.6 Stabilités hydraulique de la digue

On doit vérifier la stabilité du noyau, la digue ainsi que la fondation vis-à-vis les infiltrations.

#### IV.6.1 Classification de la digue

La classification est basée sur la constitution de l'ouvrage et sa fondation et en particulier sur les risques attendus à l'aval en cas de rupture de l'ouvrage. et pour connaître la classe de notre barrage nous avons le tableau suivant [14] :

**Tableau (IV.6) : Classification des digues en terre en fonction du type de la fondation.**

| Type de sols de fondation | Classes de barrages |
|---------------------------|---------------------|
|---------------------------|---------------------|

|                                                            | I                       | II       | III     | IV   |
|------------------------------------------------------------|-------------------------|----------|---------|------|
|                                                            | Hauteurs de barrage (m) |          |         |      |
| Sols rocheux                                               | > 10                    | 70 ÷ 100 | 25 ÷ 70 | < 25 |
| Sols sablonneux, pierreux, terrain argileux non plastique. | > 75                    | 35 ÷ 75  | 15 ÷ 35 | < 15 |
| Terrain argileux plastique                                 | > 50                    | 25 ÷ 50  | 15 ÷ 25 | < 15 |

Puisque la fondation de la digue de Beni Slimane est un terrain rocheux et sa hauteur est de l'ordre de 58 m, on constate que la digue de barrage est de la classe III.

#### IV.6.2 Stabilité du noyau

La stabilité hydraulique du noyau est assurée en vérifiant les conditions suivantes, [22] :

##### ➤ Première condition

Le gradient hydraulique du flux de filtration dans le noyau ne soit pas supérieur au gradient admissible. Le gradient est déterminé à l'aide de la formule suivante :

$$\frac{\Delta H}{\delta_{\text{moy}}} \leq I_{\text{adm}} \quad (\text{IV.34})$$

Avec :

- $\delta_{\text{moy}}$ : Largeur moyenne du noyau, [ $\delta_{\text{moy}} = 34.13 \text{ m}$ ] ;
- $\Delta H$ : Charge hydraulique dans le noyau (m) ;
- $I_{\text{adm}}$  : Gradient hydraulique admissible

##### A. Charge hydraulique dans le noyau

La charge hydraulique dans le noyau est déterminée à l'aide de la relation suivante :

$$\Delta H = H - Y_0 \quad (\text{IV.35})$$

Avec :

- $H$  : Charge hydraulique dans la retenue, [ $H = 46 \text{ m}$ ] ;
- $Y_0$  : Charge hydraulique à l'aval de noyau, [ $Y_0 = 23.39 \text{ m}$ ].

La charge hydraulique dans le noyau est :  $\Delta H = 22.61 \text{ m}$

##### B. Gradient hydraulique admissible

Le tableau (IV.), présente des gradients hydrauliques admissibles en fonction de la classe de la digue.

**Tableau (IV.7) : Gradient admissible en fonction de la classe de la digue**

| Type de sol      | Classe de l'ouvrage |      |      |      |
|------------------|---------------------|------|------|------|
|                  | I                   | II   | III  | IV   |
| Argile compactée | 1.50                | 1.50 | 1.80 | 1.95 |
| Limon            | 1.05                | 1.05 | 1.25 | 1.35 |
| Sable moyen      | 0.70                | 0.8  | 0.90 | 1.00 |
| Limon sableux    | 0.51                | 0.65 | 0.75 | 0.85 |
| Sable fin        | 0.45                | 0.55 | 0.65 | 0.75 |

Puisque le matériau constitutif du noyau est une argile compacté ainsi la digue de barrage appartient à la classe III, on constate que le gradient hydraulique admissible est de l'ordre de 1,80.

Le gradient hydraulique du flux de filtration dans le noyau est de l'ordre de :  $I_n = 0,66$

Le gradient hydraulique du flux de filtration dans le noyau est inférieur au gradient hydraulique admissible.

#### ➤ Deuxième condition

La largeur en base doit vérifier la condition suivante [22] :

$$B_{bn} > \frac{\Delta H}{I_{adm}} \quad (IV.36)$$

Avec :

- $\Delta H$  : Charge hydraulique dans le noyau, [ $\Delta H = 22.61$  m] ;
- $I_{adm}$  : Gradient hydraulique admissible, [ $I_{adm} = 1,80$ ] ;
- $B_{bn}$  : Largeur en base du noyau, [ $B_{bn} = 62.77$  m].

Puisque  $\frac{\Delta H}{I_{adm}} = 12.56$ , la condition est vérifiée.

Les deux conditions de stabilité hydraulique pour le noyau argileux sont vérifiées, donc on constate que le noyau est stable d'un point de vue hydraulique.

#### IV.6.3 Stabilité de la digue

La résistance à la filtration de la digue est donnée par la formule (IV.34),

Avec :

- $\delta_{md}$  : Largeur moyenne de la digue, [ $\delta_{md} = 159,24$  m] ;
- $\Delta H$  : Charge hydraulique dans la digue (m) ;
- $I_{adm}$  : Gradient hydraulique admissible.

##### A. Charge hydraulique dans la digue

La charge hydraulique dans la digue est déterminée à l'aide de la relation suivante :

$$\Delta H = H - h_{av} \quad (IV.37)$$

Avec :

- $H$  : Charge hydraulique dans la retenue, [ $H = 46$  m] ;
- $h_{av}$  : Charge hydraulique à l'aval de la digue, [ $h_{av} = 0$  m].

La charge hydraulique dans la digue est :  $\Delta H = 46$  m

##### B. Gradient hydraulique admissible

Le gradient hydraulique admissible est tiré à partir de tableau (IV.7). Le gradient hydraulique admissible est de l'ordre de 0,90.

Puisque  $\frac{\Delta H}{\delta_{md}} = 0,29$  est vérifié, donc la digue est hydrauliquement stable vis-à-vis les infiltrations.

#### IV.6.4 Stabilité de la fondation de la digue

La stabilité hydraulique de la fondation vis-à-vis les infiltrations est assurée, si la condition suivante est vérifiée [15] :

$$\frac{H}{B_{bA} + 0.88T_c} \leq \frac{J_{cr}}{K_s} \quad (IV.38)$$

Avec :

- $H$  : Charge hydraulique dans la retenue, [ $H = 46$  m] ;
- $B_{bA}$  : Largeur en base de la digue, [ $B_b = 307.48$  m] ;
- $T_c$  : profondeur de la zone de filtration, [ $T_c = 6$  m] ;
- $J_{cr}$  : Gradient d'infiltration critique;
- $K_s$  : Coefficient de sécurité.

##### A. Gradient d'infiltration critique

Le gradient critique d'infiltration est déterminé en fonction du type de sol, comme le montre le tableau suivant :

**Tableau (IV.8) : Gradient d'infiltration critique**

| Type de sol | Gradient d'infiltration critique |
|-------------|----------------------------------|
| Argile      | 1.20                             |
| Limon       | 0.62                             |
| Sable gros  | 0.45                             |
| Sable moyen | 0.38                             |

Puisque le terrain d'assise de la digue sont des alluvions et colluvions de nature gros sable, on opte pour un gradient d'infiltration critique de l'ordre de 0,38

##### B. Coefficient de sécurité

Le coefficient de sécurité est déterminé en fonction de la classe du barrage, comme le montre le tableau suivant :

**Tableau (IV.9) : Coefficient de sécurité de la fondation vis-à-vis les infiltrations.**

| Classe de la digue | I    | II  | III  | IV   |
|--------------------|------|-----|------|------|
| $K_s$              | 1.25 | 1.2 | 1.15 | 0.29 |

La digue de Beni Slimane appartient à la classe III, donc le coefficient  $K_s$  est de l'ordre de 1,15.

Puisque la condition,  $\frac{H}{B_{bA} + 0.88T_c} (0.147) \leq \frac{J_{cr}}{K_s} (0.33)$  est vérifié, on constate que le terrain d'assise de la digue présente une résistance vis-à-vis les infiltrations.

### IV.7 Drain

Pour permettre l'évacuation des eaux infiltrées à travers le noyau et la recharge aval, on conçoit un drain, qui va de la crête du noyau jusqu'au pied aval de la digue en remblai zonée à noyau argileux. L'épaisseur du tapis drainant sera estimée par la formule suivante [16] :

$$E_D = \sqrt{\frac{2 \cdot q_n \cdot l_D}{K_D}} \quad (\text{IV.39})$$

Avec :

- $q_n$  : Débit de fuite dans la digue, [ $q_n = 3 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ ] ;
- $l_D$  : Largeur de tapis drainant ;
- $K_D$  : Coefficient de perméabilité de matériau constituant le drain, [ $K_D = 10^{-4} \text{ m/s}$ ].

L'estimation de la largeur de tapis drainant est faite comme suivant :

$$l_D = \frac{1}{3} B_{bA} \quad (\text{IV.40})$$

Avec :

- $B_{bA}$  : Largeur en base de la digue en terre, [ $B_{bA} = 307,48 \text{ m}$ ].

La largeur du tapis drainant est :

$$l_D = 102.5 \text{ m}$$

L'épaisseur du tapis drainant est :

$$E_D = 0.26 \text{ m}$$

#### IV.7.1 Prisme de drainage

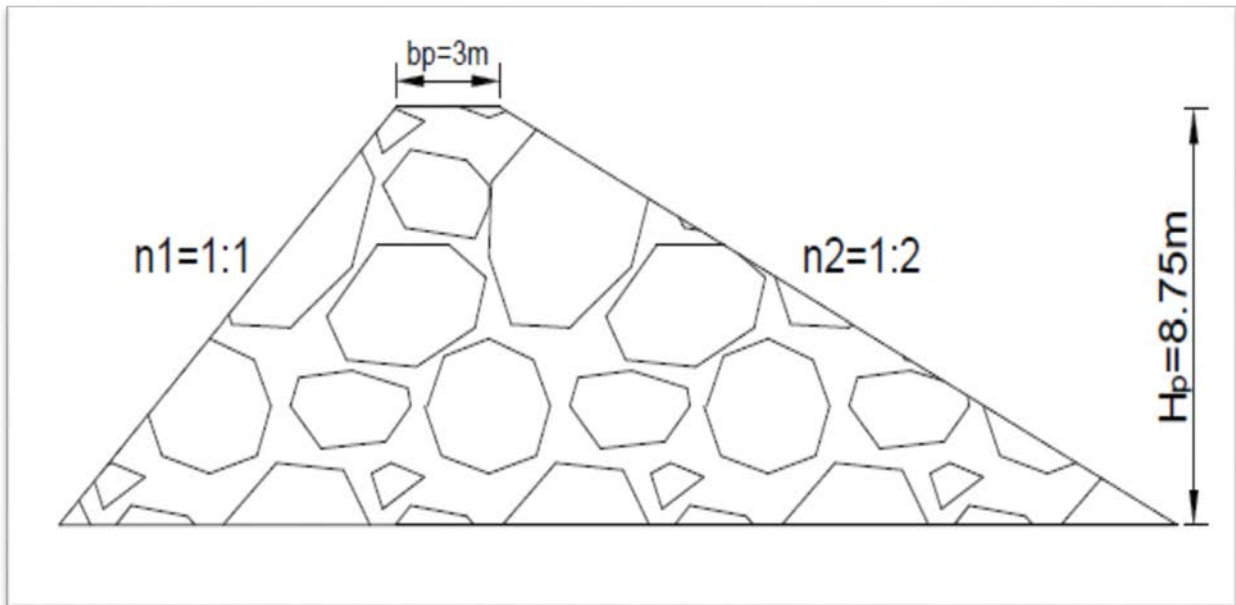
Pour protéger le pied du talus aval contre le glissement et pour recueillir les eaux d'infiltration qui traversent le massif, on prévoit un prisme de drainage constitué d'enrochement [14].

La hauteur du prisme  $H_p$  est fonction de la hauteur totale du barrage :  $H_p = (15-20) \% H_b$ .

La largeur en crête  $b_p$  généralement varie entre 2 et 3m, pour notre étude on prend :

$$b_p = 3 \text{ m} ; H_p = 15\% H_b$$

$$H_p = 8,75 \text{ m} ; n_1 = 1:1 ; n_2 = 1:2$$



**Figure (IV.1) : Dimensionnement du prisme de drainage**

#### IV.8 Filtre

L'objectif de filtre est la protection de la digue en remblai zonée à noyau argileux contre l'érosion interne et la ségrégation de la recharge et du noyau, Les épaisseurs minimales recommandées pour les filtres sont [17] :

- Sur le parement aval du noyau : le filtre sera composé d'une couche de gravier d'une épaisseur de 1 m et une couche de gros sable d'une épaisseur de 1 m ;
- Sur le parement amont du noyau : le filtre sera composé d'une couche de gravier d'une épaisseur de 1 m et d'une couche de gros sable d'une épaisseur de 1 m ;
- A l'aval de pied du noyau : le filtre sera composé d'une couche de gravier d'une épaisseur de 0.3 m et une couche de gros sable d'une épaisseur de 0.15 m sur les faciès du drain ;
- A l'amont de pied du noyau : le filtre sera composé d'une couche de gravier d'une épaisseur de 1 m et une couche de gros sable d'une épaisseur de 1 m

#### IV.9 Injection d'étanchéité

Selon le zonage géotechnique on prévoit que le voile d'injections devra être ancré dans la zone géotechnique inférieure qui est à une profondeur de 6 m.

La profondeur de voile d'injection est estimée par la formule suivante [17] :

$$P_{vi} = 0.8 H \quad (IV.41)$$

Avec :

- H : hauteur de la charge hydraulique dans la retenue [H = 49 m].

La profondeur de voile d'injection est :

$$P_{vi} = 39.2 \text{ m}$$

**IV.10 Coût estimatif de la digue en remblai zonée a noyau argileux**

Le cout estimatif de la digue en remblai zonée a noyau argileux est représenté dans le tableau suivant [1]:

**Tableau (IV.10) : Coût détaillé de la digue en remblai zoné à noyau argileux**

|            | Description                | unité          | P.U.(DA) | Quantité | Montant (DA) |
|------------|----------------------------|----------------|----------|----------|--------------|
| Excavation | Tous matériaux             | m <sup>3</sup> | 360      | 105957   | 38 144 520   |
|            | Supplément pour les roches | m <sup>3</sup> | 270      | 105905   | 29 404 350   |
| Injection  | Injection de l'écran       | M              | 4400     | 5000     | 22 000 000   |
| Digue      | noyau                      | m <sup>3</sup> | 265      | 255968   | 67 831 520   |
|            | Remblais tout-venant       | m <sup>3</sup> | 240      | 1102374  | 264 569 760  |
|            | Filtres                    | m <sup>3</sup> | 1000     | 41072    | 41 072 000   |
|            | Pied en enrochement        | m <sup>3</sup> | 500      | 2000     | 1 000 000    |
|            | Riprap                     | m <sup>3</sup> | 800      | 21282    | 17 025 600   |
| Total      | -                          | -              | -        | 1639558  | 481 047 750  |

**Conclusion**

D'après les résultats du dimensionnement, on a trouvé que :

- La cote de la crête de barrage  $C_c = 708.5$  m. NGA ;
- La hauteur totale de la digue  $H_{bA} = 58$  m ;
- La largeur en crête  $b = 11$  m ;
- La longueur en crête de la digue  $L = 212$  m ;
- La largeur en base de la digue  $B_{bA} = 307.48$  m ;
- La largeur en base du noyau  $B_{bn} = 62.77$  m ;
- La largeur en crête du noyau  $b_{bcr} = 5.5$  m.

# *Conclusion*

## *Générale*

## CONCLUSION GENERALE

L'étude de faisabilité d'un aménagement hydraulique important dans la wilaya de Médéa est le principal objectif du présent mémoire de fin d'études. Cet ouvrage d'envergure n'est autre que le barrage de Beni Slimane, destiné essentiellement à l'irrigation de la région en question. On signale que ladite région est à vocation agricole. Les résultats des analyses et investigations exécutées dans le cadre de l'étude de faisabilité du barrage Beni Slimane (médeá), permet de tirer les conclusions suivantes :

- Site favorable à la réalisation d'un barrage sur l'Oued Mellah dans le but de mobiliser les eaux de surface et leur utilisation à des fins d'irrigation, d'écarter les crues qui menacent les terres agricoles et d'alimenter les nappes alluvionnaires.
- La construction du barrage de Beni Slimane est réalisable et n'implique aucune difficulté technique particulière. De plus, le choix d'un barrage du type « en terre zoné » permet l'utilisation exclusive de matériaux disponibles in situ.
- La fondation du barrage Beni Slimane est une formation géologique rocheuse composée par une alternance de marnes, marnes calcaires et grès calcaire.
- Le niveau de terrain naturel est estimé à la cote 656.5 m.NGA
- Le volume mort est de l'ordre de  $4.04 \text{ Mm}^3$  le long de 50 ans d'exploitation, fixé à la cote 689 m.NGA.
- Le niveau normal de la retenue est estimé à la cote 702.5 m.NGA.
- Le volume utile du barrage Beni Slimane est de l'ordre de  $8.73 \text{ m}^3$ .
- Le niveau des plus hautes eaux est estimé à la cote 705.5 m.NGA.
- Le niveau de la crête est fixé à la cote 708.5 m.NGA.
- Le niveau de la fondation de la digue principale est estimé à la cote 650.5 m.NGA.
- Grâce à la capacité de sa retenue qui est de  $12.7759 \text{ Mm}^3$ , le barrage peut assurer la pérennité de l'irrigation, permettant ainsi le développement du secteur de l'agriculture avec la mise en valeur de nouvelles terres.
- Après la détermination de la cote des plus hautes eaux, on a pu calculer la hauteur totale du barrage qui est de 58 m.

*Références  
Bibliographiques*

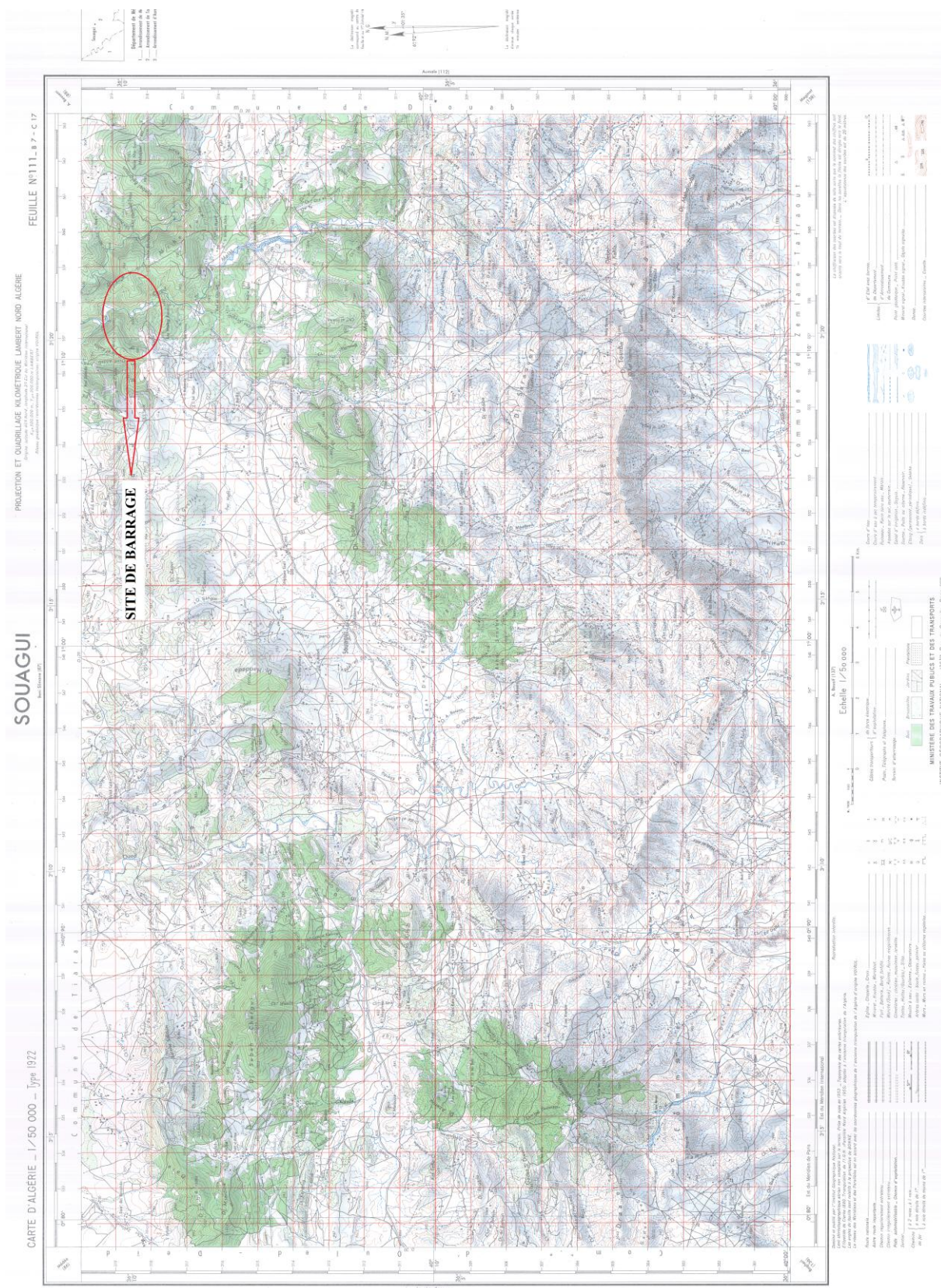
### Référence bibliographique

- [1] **Agence Nationale des barrages et des transferts.** “Etude avant-projet détaille (APD) du barrage Beni Slimane“, Avril 2010
- [2] **Amrine. S-A.,** Etude de faisabilité de la retenue collinaire sur Ouad Taabane, *Mémoire de fin d'études*, Ecole Nationale Supérieure de l'hydraulique, 2008
- [3] **KACEF. H ,SAADI. R.,** Etude de faisabilité du barrage de Ouldjet Mellague (Tébessa) Mémoire de fin d'étude- université abderrahmane Mira de Bejaia.2017
- [4] **Musy, A.Higy, C.** « Hydrology , A science of nature », CRC,Press,USA,2011
- [5] **Buján, César M., et Véliz, José et Manzanares, Boris.,** « Hydrologie Appliquée»,Alger, Avril2004
- [6] **Touaibia, B.,**"Manuel Pratique d'Hydrologie", Presse Madani Frères Guerrouaou-Blida, Mars 2004.
- [7] **Sari Ahmed,A.,**"Initiation à l'hydrologie de surface", Edition Houma, Alger, 2009.
- [8] **Laborde, J. P.,** "Eléments d'hydrologie de surface",2000.
- [9] **Lang, M.,** et Lavabre, J., "Estimation de la crue centennale pour les plans de prévention des risques d'inondation'', Edition Quae,
- [10] **Comité internationale des grands barrages.** ‘‘ Choix de la crue de projet, méthodes actuelles. Bulletin 82. Paris, 1984.
- [11] **Musy, A., et Higy, C.,** « Hydrologie Appliquée », Edition H. G. A- Bucarest, 1998.
- [12] **Kritsky, S.N., etMenkel, M.F.,** “A propos des approches de recherches des variations de l'écoulement fluvial“, Travaux de NIOU GOUGS, n°29, 1946.
- [13] **Plechekov, la.F.,** "La régularisation de l'écoulement fluvia 'l'.Guidrométéozdat, Lingrad, 1975
- [14] **Namik,S.** " ETUDE DE FAISABILITE DU BARRAGE DE BOUNACHI SUR OUED RABTA (W. TIZI OUZOU) ", *Projet de Fin d'Etudes*, Ingéniorat Ecole
- [15] **Bellah, B.** "ETUDE D'AVANT PROJET DETAILE DE LA DIGUE DU BARRAGE DE KEF EDDIR (W.TIPAZA) ". *Projet de Fin d'Etudes*, Ingéniorat Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique « Arbaoui Abdellah », Octobre 2008.
- [16] **Fell, R., et Mecgregor, P.,** et Stapledon, D., et Bell, G., « Geotechnical engineering of dams » Taylor & Francis Group plc, London, UK, 2005.
- [17] **Rodriguez, Bernardo, A.,** « Protection méthodologiques pour l'exécution des études des retenues collinaires et petits barrage », A.N.B, Alger, juillet 2004.

- [18] **Fell,R.,et MacGregor,P.,et Stapledon,D.**, "Geotechnical engineering of embankment dams", A.A.Balkema Publishers, Old Post Road, Brookfield, VT 05036, USA, 1992.
- [19] **Mallet, S.H., et Pacquant, T.**, « Les barrages en terre ». Edition Eyrolles, 61 Boulevard Saint-Germain, Paris 1951.
- [20] **PADAUX. S:** Technique des barrages en aménagement rural, Edition Eyrolles. Paris, France, 1985.
- [21] **Craig, R.F.**, « Craig's Soil Mechanics Seventh édition », this edition published in the Taylor & Francis e-Library, 2005.
- [22] **Rodriguez,B et La Rosa,S.** "Manuel de conception et projets typiques des digues en terre", Alger Juillet 2003.

# *Annexes*

## Annexe (1) : s tuation topographique de la r gion d tude



[illegible]

**Annexe (03) : caractéristique hydo-morpho-métrique du bassin versant de Beni Slimane**

| Désignation                             |          | Symbole          | Unités          | valeur |
|-----------------------------------------|----------|------------------|-----------------|--------|
| Superficie                              |          | S                | Km <sup>2</sup> | 174.3  |
| Périmètre                               |          | P                | Km              | 58.95  |
| Longue de thalweg principal             |          | L                | Km              | 31     |
| Indice de compacité                     |          | K <sub>c</sub>   | -               | 1.26   |
| Rectangle équivalent                    | Longueur | L <sub>r</sub>   | Km              | 21.32  |
|                                         | Largeur  | l <sub>r</sub>   | Km              | 8.18   |
| Dénivelée                               |          | D                | m               | 380    |
| Altitude                                | Maximale | H <sub>max</sub> | m.NGA           | 1370   |
|                                         | Moyenne  | H <sub>moy</sub> | m.NGA           | 935    |
|                                         | Médiane  | H <sub>50%</sub> | m.NGA           | 880    |
|                                         | Minimale | H <sub>min</sub> | m.NGA           | 656.5  |
| Indice de pente globale                 |          | I <sub>g</sub>   | %               | 1.78   |
| Indice de pente moyenne                 |          | I <sub>pm</sub>  | %               | 3.35   |
| Dénivelée spécifique                    |          | D <sub>s</sub>   | m               | 23.5   |
| Pente moyenne du cours d'eau principale |          | I <sub>c</sub>   | ‰               | 23     |

**Annexe (04) : Précipitation maximale journalière**

| Station | Diouab             | Beni Slimane       | Pont de la Traille | Station | Diouab             | Beni Slimane       | Pont de la Traille |
|---------|--------------------|--------------------|--------------------|---------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Année   | P <sub>max,j</sub> | P <sub>max,j</sub> | P <sub>max,j</sub> | Année   | P <sub>max,j</sub> | P <sub>max,j</sub> | P <sub>max,j</sub> |
| 1970    | 26,5               | 26,5               | 39                 | 1993    | 80                 | 80                 | 42.2               |
| 1971    | 75,2               | 75,2               | 110.9              | 1994    | 63                 | 63                 | 36.6               |
| 1972    | 48,1               | 48,1               | 48.5               | 1995    | 30,2               | 30,2               | 23.7               |
| 1973    | 47,4               | 47,4               | 94                 | 1996    | 32                 | 32                 | 50                 |
| 1974    | 60,3               | 60,3               | 50                 | 1997    | 38,6               | 38,6               | 32                 |
| 1975    | 32,4               | 32,4               | 34.2               | 1998    | 55                 | 55                 | 55                 |
| 1976    | 34,8               | 34,8               | 35.8               | 1999    | 40                 | 40                 | 19                 |
| 1977    | 61,2               | 61,2               | 33.2               | 2000    | 58,3               | 58,3               | 21.6               |
| 1978    | 69,2               | 69,2               | 46.4               | 2001    | 85,6               | 85,6               | 46.3               |
| 1979    | 43,5               | 43,5               | 35.5               | 2002    | 37,5               | 37,5               | 33.8               |
| 1980    | 36,6               | 36,6               | 58.4               | 2003    | 46                 | 46                 | 27                 |
| 1981    | 33                 | 33                 | 28                 | 2004    | 45,6               | 45,6               | 44.9               |
| 1982    | 33                 | 33                 | 29.6               | 2005    | 49,6               | 49,6               | 135                |
| 1983    | 34,5               | 34,5               | 84.5               | 2006    | 75,6               | 75,6               | 37                 |
| 1984    | 93                 | 93                 | 75.2               | 2007    | 29,8               | 29,8               | 34.3               |
| 1985    | 46                 | 46                 | 52.1               | 2008    | 34,3               | 34,3               | 26.4               |
| 1986    | 30                 | 30                 | 38.7               | 2009    | 61                 | 61                 | 37.2               |
| 1987    | 56                 | 56                 | 21.8               | 2010    | 45                 | 45                 | 42.6               |
| 1988    | 31                 | 31                 | 56.9               | 2011    | 53                 | 53                 | 37.1               |
| 1989    | 36                 | 36                 | 46.9               | 2012    | 50                 | 50                 | 28.6               |
| 1990    | 75                 | 75                 | 82.3               | 2013    | 31                 | 31                 | 70.5               |
| 1991    | 22                 | 22                 | 48.4               | 2014    | 35,5               | 35,5               | 50.4               |
| 1992    | 54,6               | 54,6               | 44.4               |         |                    |                    |                    |

**Annexe (05) : Précipitation totales annuelle.**

| Station | Diouab         | Beni Slimane   | Pont de la Traille | Station | Diouab         | Beni Slimane   | Pont de la Traille |
|---------|----------------|----------------|--------------------|---------|----------------|----------------|--------------------|
| Année   | P <sub>t</sub> | P <sub>t</sub> | P <sub>t</sub>     | Année   | P <sub>t</sub> | P <sub>t</sub> | P <sub>t</sub>     |
| 1970    | 247,3          | 226,3          | 310                | 1993    | 476,2          | 241,3          | 391,4              |
| 1971    | 655,2          | 553,1          | 786,2              | 1994    | 495            | 445,8          | 587,1              |
| 1972    | 553,8          | 560,4          | 733,5              | 1995    | 582,4          | 401,3          | 498,6              |
| 1973    | 549,8          | 427            | 545,7              | 1996    | 313,5          | 229,2          | 241,4              |
| 1974    | 444,5          | 380,9          | 402,3              | 1997    | 468,9          | 457,6          | 635,7              |
| 1975    | 640            | 506,1          | 567                | 1998    | 492            | 383            | 454,2              |
| 1976    | 400,9          | 384,1          | 331                | 1999    | 260,7          | 260,7          | 260,7              |
| 1977    | 348,4          | 297,1          | 318,1              | 2000    | 426,9          | 319,7          | 406,3              |
| 1978    | 478,7          | 368,8          | 395,6              | 2001    | 359,7          | 194,7          | 258,2              |
| 1979    | 555,2          | 455            | 619,8              | 2002    | 1187           | 460            | 673                |
| 1980    | 438,1          | 314,9          | 374,2              | 2003    | 675,4          | 554,6          | 552,1              |
| 1981    | 468,1          | 403,5          | 448,7              | 2004    | 379,4          | 290,8          | 395,2              |
| 1982    | 320            | 319,4          | 328,7              | 2005    | 707,3          | 424            | 417,1              |
| 1983    | 355,6          | 250,5          | 291,2              | 2006    | 640,9          | 444,6          | 633,5              |
| 1984    | 426,5          | 379            | 704,3              | 2007    | 758,9          | 510,2          | 537                |
| 1985    | 518,6          | 332,2          | 462,4              | 2008    | 571,8          | 404,9          | 404,9              |
| 1986    | 510,4          | 351,9          | 546,9              | 2009    | 610,1          | 545,2          | 463,6              |
| 1987    | 301,4          | 248,9          | 313,8              | 2010    | 1089,9         | 485,4          | 671,4              |
| 1988    | 464            | 464            | 230,1              | 2011    | 531,9          | 451,4          | 589,5              |
| 1989    | 372,4          | 358,7          | 398,2              | 2012    | 454,6          | 456            | 567,7              |
| 1990    | 473,2          | 372,7          | 548,8              | 2013    | 499            | 382,5          | 426,4              |
| 1991    | 613,2          | 417,5          | 538,7              | 2014    | 499,3          | 331,6          | 524,8              |
| 1992    | 315,6          | 284,5          | 376,2              |         |                |                |                    |

**Annexe (06) : Répartition de la pluie moyenne mensuelle**

| Mois                       | Sep   | Oct   | Nev   | Dec   | Jan   | Fev   | Mar   | Avr   | Mai   | Jun   | Juil | Aout |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| Pluie<br>Mensuelle<br>(mm) | 28.57 | 32.23 | 45.01 | 47.59 | 48.76 | 47.76 | 43.94 | 40.09 | 38.18 | 11.70 | 6.26 | 8.44 |
| Fraction<br>(%)            | 7.16  | 8.09  | 11.29 | 11.9  | 12.23 | 11.98 | 11.02 | 10.06 | 9.58  | 2.94  | 1.57 | 2.12 |

**Annexes (07) : Répartition mensuelle des écoulements liquides à mellah.**

| Mois                           | Sep  | Oct  | Nov  | Dec  | Jan   | Fev   | Mar   | Avr   | Mai  | Jun  | Juil | Aout |
|--------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| Apport<br>mensuels<br>(hm)     | 0.31 | 0.50 | 0.36 | 0.74 | 1.44  | 1.61  | 2.44  | 1.34  | 0.98 | 0.47 | 0.34 | 0.20 |
| Apport<br>fréquentiel<br>s (%) | 2.89 | 4.66 | 3.35 | 6.89 | 13.41 | 14.99 | 22.72 | 12.48 | 9.12 | 4.38 | 3.17 | 1.86 |

**Annexe (08) : Résultats de calculs Précipitation-Durée-Fréquence.**

| T(h) | T=5            |                | T=10           |                | T=20           |                | T=50           |                | T=100          |                | T=200          |                | T=1000         |                | T=2000         |                | T=10000        |                |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|      | I <sub>0</sub> | P <sub>t</sub> | I <sub>0</sub> | P <sub>t</sub> | I <sub>0</sub> | P <sub>t</sub> | I <sub>0</sub> | P <sub>t</sub> | I <sub>0</sub> | P <sub>t</sub> | I <sub>0</sub> | P <sub>t</sub> | I <sub>0</sub> | P <sub>t</sub> | I <sub>0</sub> | P <sub>t</sub> | I <sub>0</sub> | P <sub>t</sub> |
| 0.5  | 31.1           | 15.5           | 36.2           | 18.1           | 41.1           | 20.6           | 47.4           | 23.7           | 52.1           | 26.1           | 56.8           | 28.4           | 68.1           | 34.1           | 73.3           | 36.6           | 84.6           | 42.3           |
| 1    | 19.8           | 19.8           | 23.1           | 23.1           | 26.2           | 26.2           | 30.2           | 30.2           | 33.2           | 33.2           | 36.2           | 36.2           | 43.4           | 43.4           | 46.7           | 46.7           | 53.9           | 53.9           |
| 1.5  | 15.2           | 22.8           | 17.7           | 26.6           | 20.1           | 30.2           | 23.2           | 34.8           | 25.5           | 38.3           | 27.8           | 41.7           | 33.3           | 50.0           | 35.9           | 53.8           | 41.4           | 62.1           |
| 2    | 12.6           | 25.2           | 14.7           | 29.4           | 16.7           | 33.4           | 19.3           | 38.5           | 21.2           | 42.3           | 23.0           | 46.1           | 27.7           | 55.3           | 29.8           | 59.5           | 34.4           | 68.7           |
| 2.5  | 10.9           | 27.3           | 12.7           | 31.8           | 14.4           | 36.1           | 16.7           | 41.6           | 18.3           | 45.8           | 19.9           | 49.8           | 23.9           | 59.8           | 25.7           | 64.3           | 29.7           | 74.3           |
| 3    | 9.7            | 29.1           | 11.3           | 33.9           | 12.8           | 38.5           | 14.8           | 44.4           | 16.3           | 48.8           | 17.7           | 53.1           | 21.3           | 63.8           | 22.9           | 68.6           | 26.4           | 79.2           |
| 3.5  | 8.8            | 30.7           | 10.2           | 35.8           | 11.6           | 40.6           | 13.4           | 46.8           | 14.7           | 51.5           | 16.0           | 56.1           | 19.2           | 67.3           | 20.7           | 72.4           | 23.9           | 83.6           |
| 4    | 8.0            | 32.2           | 9.4            | 37.5           | 10.6           | 42.6           | 12.3           | 49.1           | 13.5           | 53.9           | 14.7           | 58.8           | 17.6           | 70.5           | 19.0           | 75.8           | 21.9           | 87.6           |
| 4.5  | 7.4            | 33.5           | 8.7            | 39.1           | 9.9            | 44.4           | 11.4           | 51.2           | 12.5           | 56.2           | 13.6           | 61.2           | 16.3           | 73.5           | 17.6           | 79.0           | 20.3           | 91.3           |
| 5    | 7.0            | 34.8           | 8.1            | 40.5           | 9.2            | 46.0           | 10.6           | 53.1           | 11.7           | 58.3           | 12.7           | 63.5           | 15.2           | 76.2           | 16.4           | 82.0           | 18.9           | 94.7           |
| 5.5  | 6.5            | 35.9           | 7.6            | 41.9           | 8.7            | 47.6           | 10.0           | 54.9           | 11.0           | 60.3           | 11.9           | 65.7           | 14.3           | 78.8           | 15.4           | 84.8           | 17.8           | 97.9           |
| 6    | 6.2            | 37.1           | 7.2            | 43.2           | 8.2            | 49.1           | 9.4            | 56.6           | 10.4           | 62.2           | 11.3           | 67.7           | 13.5           | 81.3           | 14.6           | 87.4           | 16.8           | 101.0          |
| 6.5  | 5.9            | 38.1           | 6.8            | 44.4           | 7.8            | 50.5           | 9.0            | 58.2           | 9.8            | 63.9           | 10.7           | 69.6           | 12.9           | 83.6           | 13.8           | 89.9           | 16.0           | 103.8          |
| 7    | 5.6            | 39.1           | 6.5            | 45.6           | 7.4            | 51.8           | 8.5            | 59.7           | 9.4            | 65.6           | 10.2           | 71.5           | 12.3           | 85.8           | 13.2           | 92.3           | 15.2           | 106.6          |
| 7.5  | 5.3            | 40.1           | 6.2            | 46.7           | 7.1            | 53.0           | 8.2            | 61.2           | 9.0            | 67.2           | 9.8            | 73.2           | 11.7           | 87.9           | 12.6           | 94.5           | 14.6           | 109.2          |
| 8    | 5.1            | 41.0           | 6.0            | 47.8           | 6.8            | 54.3           | 7.8            | 62.6           | 8.6            | 68.8           | 9.4            | 74.9           | 11.2           | 89.9           | 12.1           | 96.7           | 14.0           | 111.6          |
| 8.5  | 4.9            | 41.9           | 5.7            | 48.8           | 6.5            | 55.4           | 7.5            | 63.9           | 8.3            | 70.2           | 9.0            | 76.5           | 10.8           | 91.8           | 11.6           | 98.7           | 13.4           | 114.0          |
| 9    | 4.7            | 42.7           | 5.5            | 49.8           | 6.3            | 56.5           | 7.2            | 65.2           | 8.0            | 71.7           | 8.7            | 78.0           | 10.4           | 93.6           | 11.2           | 100.7          | 12.9           | 116.3          |
| 9.5  | 4.6            | 43.5           | 5.3            | 50.8           | 6.1            | 57.6           | 7.0            | 66.4           | 7.7            | 73.0           | 8.4            | 79.5           | 10.0           | 95.4           | 10.8           | 102.7          | 12.5           | 118.6          |
| 10   | 4.4            | 44.3           | 5.2            | 51.7           | 5.9            | 58.7           | 6.8            | 67.6           | 7.4            | 74.3           | 8.1            | 81.0           | 9.7            | 97.2           | 10.5           | 104.5          | 12.1           | 120.7          |
| 10.5 | 4.3            | 45.1           | 5.0            | 52.6           | 5.7            | 59.7           | 6.6            | 68.8           | 7.2            | 75.6           | 7.8            | 82.4           | 9.4            | 98.8           | 10.1           | 106.3          | 11.7           | 122.8          |
| 11   | 4.2            | 45.8           | 4.9            | 53.4           | 5.5            | 60.7           | 6.4            | 69.9           | 7.0            | 76.9           | 7.6            | 83.7           | 9.1            | 100.5          | 9.8            | 108.1          | 11.3           | 124.8          |
| 11.5 | 4.0            | 46.5           | 4.7            | 54.3           | 5.4            | 61.6           | 6.2            | 71.0           | 6.8            | 78.1           | 7.4            | 85.0           | 8.9            | 102.0          | 9.5            | 109.8          | 11.0           | 126.8          |
| 12   | 3.9            | 47.2           | 4.6            | 55.1           | 5.2            | 62.5           | 6.0            | 72.1           | 6.6            | 79.2           | 7.2            | 86.3           | 8.6            | 103.6          | 9.3            | 111.4          | 10.7           | 128.7          |
| 12.5 | 3.8            | 47.9           | 4.5            | 55.9           | 5.1            | 63.4           | 5.9            | 73.1           | 6.4            | 80.4           | 7.0            | 87.5           | 8.4            | 105.1          | 9.0            | 113.0          | 10.4           | 130.5          |
| 13   | 3.7            | 48.6           | 4.4            | 56.6           | 4.9            | 64.3           | 5.7            | 74.2           | 6.3            | 81.5           | 6.8            | 88.8           | 8.2            | 106.5          | 8.8            | 114.6          | 10.2           | 132.3          |
| 13.5 | 3.6            | 49.2           | 4.3            | 57.4           | 4.8            | 65.2           | 5.6            | 75.1           | 6.1            | 82.6           | 6.7            | 89.9           | 8.0            | 107.9          | 8.6            | 116.1          | 9.9            | 134.1          |
| 14   | 3.6            | 49.9           | 4.2            | 58.1           | 4.7            | 66.0           | 5.4            | 76.1           | 6.0            | 83.6           | 6.5            | 91.1           | 7.8            | 109.3          | 8.4            | 117.6          | 9.7            | 135.8          |
| 14.5 | 3.5            | 50.5           | 4.1            | 58.8           | 4.6            | 66.8           | 5.3            | 77.0           | 5.8            | 84.7           | 6.4            | 92.2           | 7.6            | 110.7          | 8.2            | 119.0          | 9.5            | 137.5          |
| 15   | 3.4            | 51.1           | 4.0            | 59.6           | 4.5            | 67.6           | 5.2            | 78.0           | 5.7            | 85.7           | 6.2            | 93.3           | 7.5            | 112.0          | 8.0            | 120.5          | 9.3            | 139.1          |
| 15.5 | 3.3            | 51.7           | 3.9            | 60.2           | 4.4            | 68.4           | 5.1            | 78.9           | 5.6            | 86.7           | 6.1            | 94.4           | 7.3            | 113.3          | 7.9            | 121.9          | 9.1            | 140.7          |
| 16   | 3.3            | 52.2           | 3.8            | 60.9           | 4.3            | 69.2           | 5.0            | 79.7           | 5.5            | 87.6           | 6.0            | 95.4           | 7.2            | 114.5          | 7.7            | 123.2          | 8.9            | 142.3          |
| 16.5 | 3.2            | 52.8           | 3.7            | 61.6           | 4.2            | 69.9           | 4.9            | 80.6           | 5.4            | 88.6           | 5.8            | 96.5           | 7.0            | 115.8          | 7.5            | 124.5          | 8.7            | 143.8          |
| 17   | 3.1            | 53.4           | 3.7            | 62.2           | 4.2            | 70.6           | 4.8            | 81.5           | 5.3            | 89.5           | 5.7            | 97.5           | 6.9            | 117.0          | 7.4            | 125.9          | 8.6            | 145.4          |
| 17.5 | 3.1            | 53.9           | 3.6            | 62.9           | 4.1            | 71.4           | 4.7            | 82.3           | 5.2            | 90.4           | 5.6            | 98.5           | 6.8            | 118.2          | 7.3            | 127.1          | 8.4            | 146.8          |
| 18   | 3.0            | 54.4           | 3.5            | 63.5           | 4.0            | 72.1           | 4.6            | 83.1           | 5.1            | 91.3           | 5.5            | 99.5           | 6.6            | 119.4          | 7.1            | 128.4          | 8.2            | 148.3          |
| 18.5 | 3.0            | 55.0           | 3.5            | 64.1           | 3.9            | 72.8           | 4.5            | 83.9           | 5.0            | 92.2           | 5.4            | 100.4          | 6.5            | 120.5          | 7.0            | 129.6          | 8.1            | 149.7          |
| 19   | 2.9            | 55.5           | 3.4            | 64.7           | 3.9            | 73.4           | 4.5            | 84.7           | 4.9            | 93.1           | 5.3            | 101.4          | 6.4            | 121.6          | 6.9            | 130.9          | 8.0            | 151.1          |
| 19.5 | 2.9            | 56.0           | 3.3            | 65.3           | 3.8            | 74.1           | 4.4            | 85.5           | 4.8            | 93.9           | 5.2            | 102.3          | 6.3            | 122.7          | 6.8            | 132.0          | 7.8            | 152.5          |
| 20   | 2.8            | 56.5           | 3.3            | 65.9           | 3.7            | 74.8           | 4.3            | 86.2           | 4.7            | 94.8           | 5.2            | 103.2          | 6.2            | 123.8          | 6.7            | 133.2          | 7.7            | 153.9          |
| 20.5 | 2.8            | 57.0           | 3.2            | 66.4           | 3.7            | 75.4           | 4.2            | 87.0           | 4.7            | 95.6           | 5.1            | 104.1          | 6.1            | 124.9          | 6.6            | 134.4          | 7.6            | 155.2          |
| 21   | 2.7            | 57.5           | 3.2            | 67.0           | 3.6            | 76.1           | 4.2            | 87.7           | 4.6            | 96.4           | 5.0            | 105.0          | 6.0            | 126.0          | 6.5            | 135.5          | 7.5            | 156.5          |
| 21.5 | 2.7            | 57.9           | 3.1            | 67.5           | 3.6            | 76.7           | 4.1            | 88.4           | 4.5            | 97.2           | 4.9            | 105.8          | 5.9            | 127.0          | 6.4            | 136.6          | 7.3            | 157.8          |
| 22   | 2.7            | 58.4           | 3.1            | 68.1           | 3.5            | 77.3           | 4.1            | 89.1           | 4.5            | 98.0           | 4.9            | 106.7          | 5.8            | 128.0          | 6.3            | 137.7          | 7.2            | 159.1          |
| 22.5 | 2.6            | 58.9           | 3.1            | 68.6           | 3.5            | 77.9           | 4.0            | 89.8           | 4.4            | 98.7           | 4.8            | 107.5          | 5.7            | 129.1          | 6.2            | 138.8          | 7.1            | 160.3          |
| 23   | 3.7            | 48.6           | 4.4            | 56.6           | 4.9            | 64.3           | 5.7            | 74.2           | 6.3            | 81.5           | 6.8            | 88.8           | 8.2            | 106.5          | 8.8            | 114.6          | 10.2           | 132.3          |
| 23.5 | 2.5            | 59.8           | 3.0            | 69.7           | 3.4            | 79.1           | 3.9            | 91.2           | 4.3            | 100.3          | 4.6            | 109.2          | 5.6            | 131.0          | 6.0            | 141.0          | 6.9            | 162.8          |
| 24   | 2.5            | 60.2           | 2.9            | 70.2           | 3.3            | 79.7           | 3.8            | 91.9           | 4.2            | 101.0          | 4.6            | 110.0          | 5.5            | 132.0          | 5.9            | 142.0          | 6.8            | 164.0          |

**Annexe (09) : Les valeurs de l'hydrogramme de crues (cas de la montée)**

|       | Période de retour (ans) |        |        |         |         |         |        |         |        |
|-------|-------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|---------|--------|
| Temps | 5                       | 10     | 20     | 50      | 100     | 200     | 1000   | 2000    | 10000  |
| 0     | 0                       | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       | 0      | 0       | 0      |
| 1     | 1,163                   | 1,572  | 1,972  | 2,465   | 2,848   | 3,232   | 4,108  | 4,492   | 5,368  |
| 2     | 4,653                   | 6,289  | 7,88   | 9,86    | 11,395  | 12,929  | 16,435 | 17,969  | 21,475 |
| 3     | 10,469                  | 14,150 | 17,750 | 22,18   | 25,639  | 29,090  | 36,979 | 40,430  | 48,319 |
| 4     | 18,612                  | 25,157 | 31,55  | 39,44   | 45,580  | 51,716  | 65,741 | 71,877  | 85,902 |
| 5     | 29,081                  | 39,307 | 49,30  | 61,63   | 71,219  | 80,807  | 102,72 | 112,308 | 134,22 |
| 6     | 41,87                   | 56,603 | 71,0   | 88,75   | 102,55  | 116,362 | 147,91 | 161,723 | 193,27 |
| 7     | 56,99                   | 77,043 | 96,639 | 120,799 | 139,590 | 158,38  | 201,33 | 220,124 | 263,07 |
| 7,4   | 63,7                    | 86,1   | 108    | 135     | 156     | 177     | 225    | 246     | 294    |

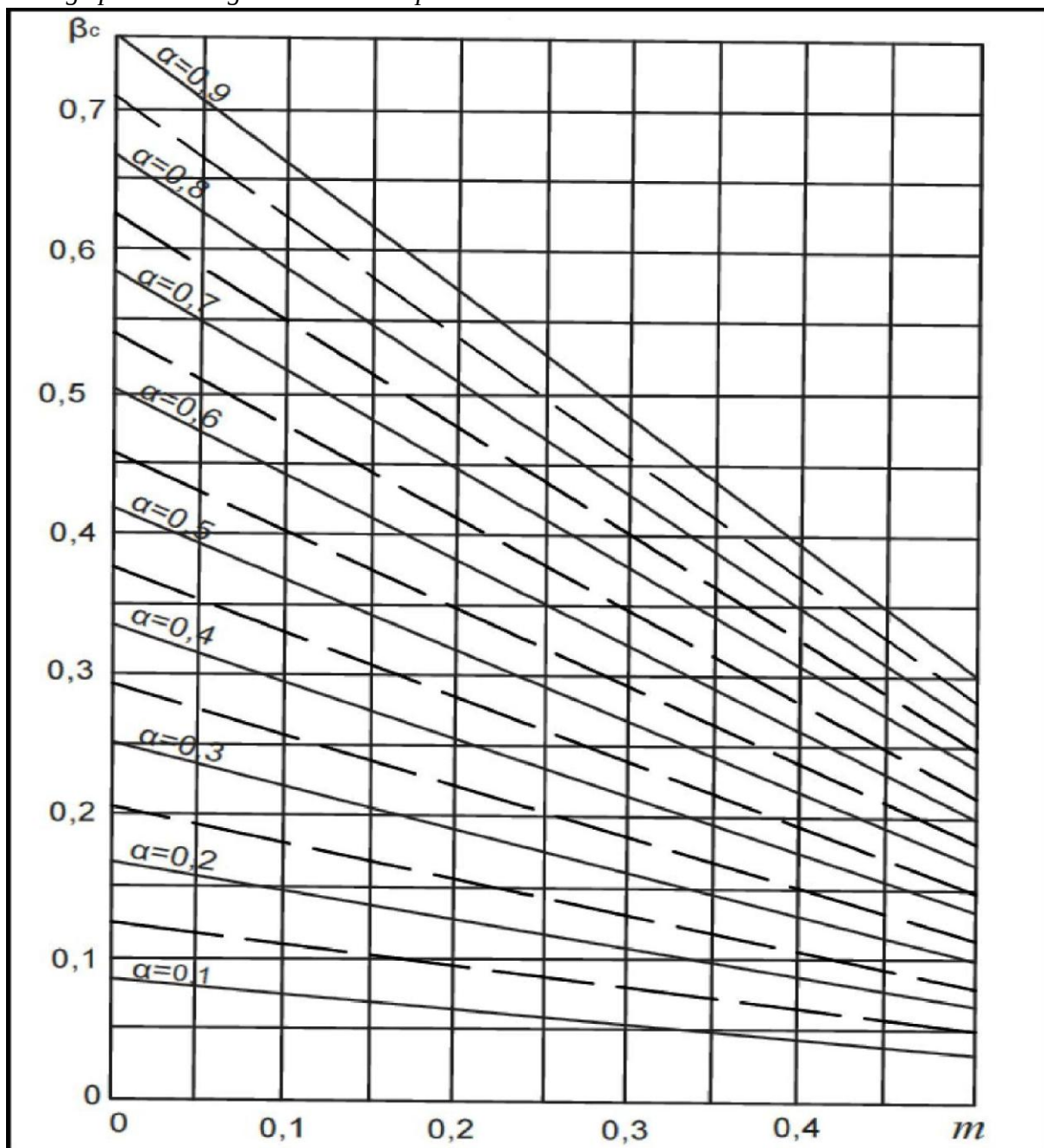
Débit (m<sup>3</sup>/s)

**Annexe (10) : Les valeurs de l'hydrogramme de crues (cas de la décrue)**

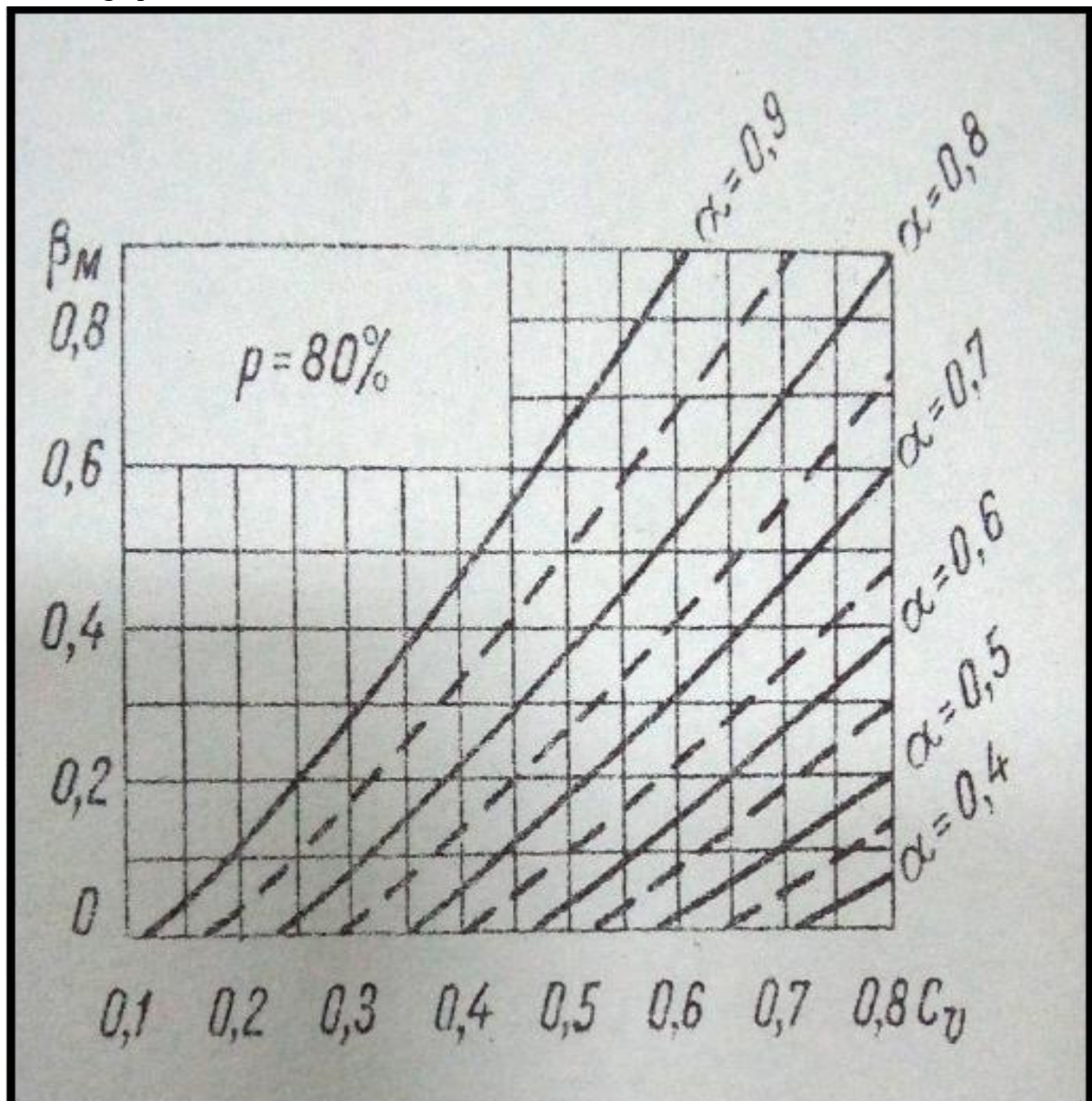
|       | Période de retour (ans) |        |        |        |        |        |        |       |        |
|-------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| Temps | 5                       | 10     | 20     | 50     | 100    | 200    | 1000   | 2000  | 10000  |
| 0     | 63,7                    | 86,1   | 108    | 135    | 156    | 177    | 225    | 246   | 294    |
| 3     | 41,20                   | 55,69  | 69,866 | 87,33  | 100,91 | 114,5  | 145,55 | 159,1 | 190,19 |
| 6     | 24,75                   | 33,4   | 41,967 | 52,458 | 60,61  | 68,77  | 87,43  | 95,59 | 114,24 |
| 9     | 13,39                   | 18,099 | 22,703 | 28,378 | 32,793 | 37,207 | 47,298 | 51,71 | 61,80  |
| 12    | 6,17                    | 8,35   | 10,475 | 13,094 | 15,13  | 17,16  | 21,82  | 23,86 | 28,51  |
| 15    | 2,17                    | 2,93   | 3,684  | 4,605  | 5,321  | 6,03   | 7,6757 | 8,39  | 10,029 |
| 18    | 0,43                    | 0,583  | 0,731  | 0,91   | 1,056  | 1,198  | 1,523  | 1,66  | 1,99   |
| 21    | 0,01                    | 0,013  | 0,017  | 0,0213 | 0,0246 | 0,027  | 0,035  | 0,03  | 0,04   |
| 22,2  | 0                       | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      |

Débit (m<sup>3</sup>/s)

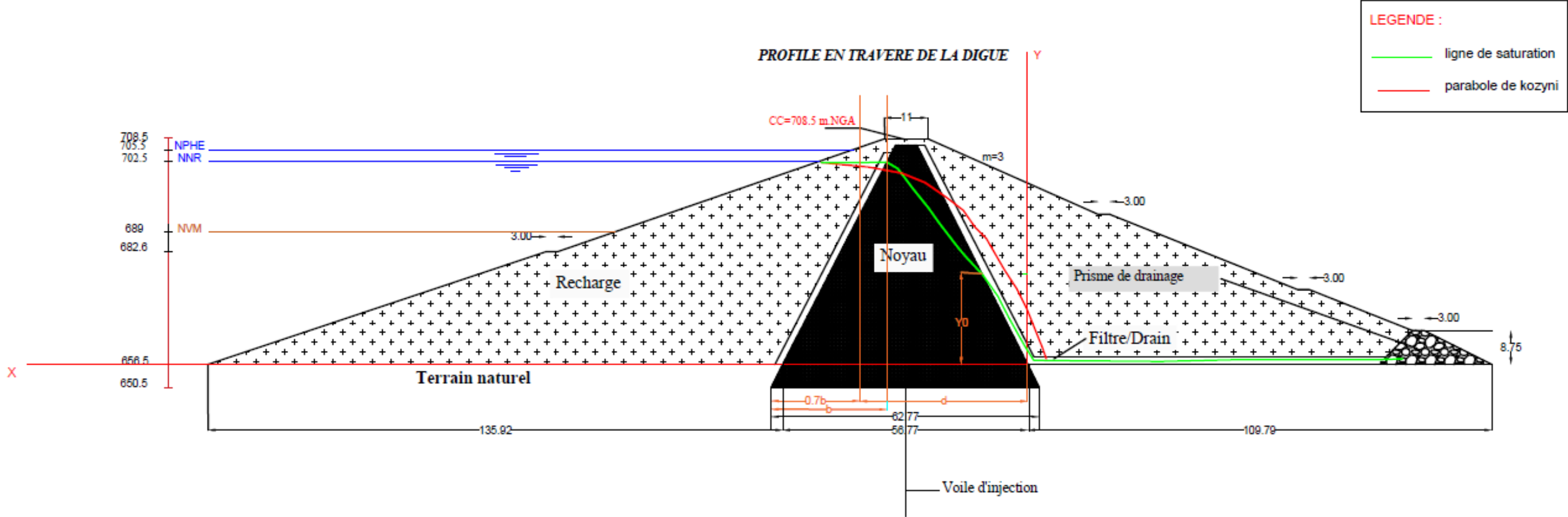
**Annexe (11) :** Abaque de Kritsky-Menkel pour la détermination de volume saisonnier du barrage pour une régularisation complète annuelle et interannuelle.



**Annexe (12) :** Abaque de Plechkov.Ia.F pour la détermination de la composante interannuelle du barrage pour :  $C_s = 2.C_v$  ;  $r = 0$  et  $P = 80\%$ .



Annexe (13) : profil générale de la digue



## Résumé

Dans le cadre de la stratégie nationale en matière de conservation des eaux et afin de rassembler les millions de mètres cube d'eau qui se perd inutilement dans les territoires algériens, l'Agence nationale des barrages et des transferts (ANBT) voit l'obligation de construire des barrages. Toutefois l'étude, le choix et le dimensionnement des ouvrages de stockage, méritent d'être approfondis. Ainsi, le travail que nous avons mené dans ce Mémoire est une étude de faisabilité d'un barrage dans la wilaya de Médéa principalement sur l'Oued Mellah. Après avoir fait une étude géologique, suivie d'une étude hydrologique approfondie nous avons dimensionné notre ouvrage ayant une capacité de 12.77 million m<sup>3</sup>, est une hauteur de 58 m.

**Mots clé :** barrage, eau, géologique, hydrologique.

## ملخص

في إطار الاستراتيجية الوطنية التي تهدف إلى الحفاظ على الموارد المائية من أجل تخزين ملايين الأمطار المكعبة المبددة في الجزائر، ترى الوكالة الوطنية للسدود والتحويلات ضرورة إنشاء سدود وحواسز مائية، و قمنا في هذا العمل بدراسة تقنية و ديناميكية على مستوى واد ملاح (ولاية المدية) لإنشاء سد من أجل تزويد المنطقة المياه لسقي الأراضي الفلاحية. بعد الدراسة الجيولوجية والهيدرولوجية معمقة قمنا بتصميم السد الذي تبلغ سعته حوالي 12.77 مليون متر مكعب، و ارتفاعه 58 متر.

الكلمات المفتاحية: سد، الجيولوجية، الهيدرولوجية، الماء

## Abstract

As part of the national water conservation strategy and in order to mobilize the millions of cubic meters of water unnecessarily lost in the Algerian territories, the National Agency of Dams and Transfer (ANBT) sees the obligation of building dams. However, the study of the choice and dimensioning of storage structures deserves further study. Thus, the work we have carried out in this Memoir is a feasibility study of a dam in the wilaya of Médéa mainly on the Oued Mellah. After doing a geological study, followed by a thorough hydrological study we dimensioned our structure with a capacity of 12.77 million m<sup>3</sup>, and with height of 58 m.

**Key Word :** Dam, geological, hydrological, water.