

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah-

DEPARTEMENT AMENAGEMENT ET GENIE HYDRAULIQUE

MEMOIRE DE MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Hydraulique

THEME DU PROJET :

**AMENAGEMENT D'UN COURS D'EAU DANS LE
BASSIN VERSANT MAFRAGH (W.DE TAREF)**

PRESENTE PAR :

M^{lle} : BOUROUNA Karima

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

| Nom et Prénoms | Grade | Qualité |
|------------------------------|--------------|----------------|
| M ^{me} :B.TOUAIBIA | Professeur | Président |
| M ^f :M.BOUZIANE | M.A.A | Examineur |
| M ^f :A.ZEROUAL | M.A.A | Examineur |
| M ^f :M.BOUKHELIFA | M.A.B | Examineur |
| M ^f :M.K.MIHOUBI | Professeur | Promoteur |

Septembre ; 2014

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تهيئة ولاية الطا من أجل حمايتها الفيضانات. في هذا السياق أجرينا دراسة هيدرولوجية لتقدير التدفقات. تقييم تدفق الفيضانات وكذلك تقدير كميات الجريان , قترح تحديد RAS-HEC تقليل الأضرار الناجمة عن هذه الظواهر الهيدروليكية. وبالتالي اقترحنا إسقاط السد بهدف الفيضانات.

Résumé

L'objectif principal de cette étude est l'aménagement de l'oued Mafragh (wilaya de Taref) pour la protection du chef-lieu contre ces crues. Dans ce contexte nous avons mené une étude hydrologique pour estimer les débits.

Après une modélisation plus poussée avec logiciel HEC-RAS à permis d'apprécier l'écoulement des crues tant, ainsi que l'estimation des volumes débordant et on se propose de définir les aménagements permettant d'écarter et de diminuer les dégâts occasionnés par ces phénomènes hydrauliques.

D'où on a proposé la projection d'un barrage déversoir à seuil libre pour le ralentissement des crues.

Abstract

The main objective of this study is the development of Wadi Mafragh (wilaya Taref) to protect the capital against these floods. In this context we conducted a hydrological study to estimate flows.

After further modeling with HEC-RAS software enabled the assessment of flood flow as well as estimating volumes overflowing and it is proposed to define the facilities enabling clipping and reduce the damage caused by these hydraulic phenomena.

Hence we proposed the projection of a weir dam free threshold for slowing flood.

SOMMAIRE

| | |
|---|----|
| Remerciement | 01 |
| Dédicace..... | |
| Résumé | |
| Introduction générale..... | 01 |
| Chapitre I Historique des inondations dans la wilaya d'El Tarf | |
| Introduction..... | 02 |
| .1. La pluviométrie dans la willaya | 02 |
| .2. Cause des inondations..... | 03 |
| .3. Problème des inondations..... | 03 |
| .4. Exemples des inondations..... | 05 |
| .4.1. inondation d' Avril 2005..... | 05 |
| .4.2. inondation de Février 2012..... | 06 |
| .5. Risques d'inondation de la Wilaya d'El Tarf | 08 |
| Conclusion | 08 |
| Chapitre II présentation de la zone d'étude | |
| Introduction | 09 |
| .1.Présentation de la zone d'étude..... | 09 |
| II.2. Situation géographique du bassin versant la Mafragh..... | 09 |
| II.3. Délimitation du bassin versant..... | 10 |
| II.4.Aperçu hydrographique..... | 10 |
| .5.Paramètre géométrique et de relief..... | 10 |
| .5.1.paramètre géométrique | 10 |
| I.5.1.1.Superficie et Périmètre..... | 11 |
| I .5.1.2. Indice de Forme (ou de Compacité) de Gravelius..... | 12 |
| .5.1.3. Indice d'allongement..... | 12 |
| I .5.1.4. Dimensionnement du Rectangle Equivalent..... | 12 |
| .5.2. Paramètres de Relief..... | 12 |
| .5.2.1. Courbe hypsométrique..... | 12 |
| .6. Altitudes | 16 |
| .6.1. Altitude Moyenne..... | 16 |
| .6.2. Altitude de Fréquence 50 %..... | 16 |
| I .6.3. Dénivelée Spécifique (D)..... | 16 |
| .7. pentes | 16 |
| .7.1. Indice de Pente de Roche « I_p » | 16 |
| II.8.2. Indice de Pente Global « I_g »..... | 16 |
| I .8.3. Indice de pente moyenne« I_m » | 17 |
| .8. Paramètres Hydrographique..... | 17 |
| .8.1. Chevelue Hydrographique | 19 |
| II.8.2. Densité de Drainage..... | 19 |
| .8.3. Coefficient de Torrentialité..... | 19 |
| .8.4. Temps de concentration..... | 19 |
| I .8.4.1. Formule de GIANDOTTI | 19 |
| I.8.4.3. Formule de SCS Californienne | 19 |
| I.8.4.4. Formule de Ramser - Kirpich | 19 |
| I .8.5.vitesse moyenne de transfert des eaux..... | 20 |
| I .8.6. Occupation du sol | 20 |
| I .8.7. Coefficient de Ruissellement..... | 20 |
| I.8.8. Profil en long des cours d'eau | 21 |
| Conclusion | 22 |
| Chapitre III Etude géologique, hydrogéologique et topographique | |
| Introduction | 23 |
| III.1.Aperçu hydro géologique de la zone d'étude..... | 23 |
| .1.1. Contexte hydrogéologiques..... | 23 |
| .1.2. Les différentes nappes du système aquifère du bassin versant de la Mafragh Plaines d'El Taref.. | 23 |
| .1.2.1. Nappe profonde..... | 23 |
| .1.2.2. Nappe superficielle..... | 23 |
| .2. Aperçu géologique de la zone d'étude..... | 24 |

| | |
|--|----|
| .3. Reconnaissance du site..... | 26 |
| .3.1. Reconnaissance des sols..... | 26 |
| .3.1.1. Organisation de la reconnaissance..... | 26 |
| .3.1.1.1. In-Situ..... | 26 |
| .3.1.1.2. Au laboratoire..... | 26 |
| .4. La topographie du terrain | 27 |
| .4.1. Localisation de l'aire d'étude..... | 27 |
| .5. Caractéristique Géotechnique..... | 27 |
| Conclusion..... | 28 |

Chapitre IV Utiles et codes de calcul de modélisation

| | |
|--|----|
| Introduction..... | 29 |
| IV. 1. Système d'information géographique (SIG)..... | 29 |
| IV.1.1. Historique..... | 29 |
| IV.1.2. Définition..... | 29 |
| IV.1.3. Les composants d'un SIG..... | 30 |
| IV.1.4. Usage de SIG..... | 30 |
| IV.2. Logiciel Arc Gis..... | 30 |
| IV.2.1. Présentation de Logiciel..... | 31 |
| IV.2.2. La base des données d'Arc Gis..... | 31 |
| IV.2.3. Modèles du traitement des données | 32 |
| IV.2.4. Etapes à suivre..... | 33 |
| IV.2.4.1. Géoréférencement d'une carte..... | 34 |
| IV.2.4.2. Délimitation des sous Bassin | 34 |
| IV.2.4.3. Mise en route..... | 34 |
| IV.2.4.4. Configuration Dataset..... | 35 |
| IV.2.4.5. Prétraitement..... | 35 |
| IV.2.4.6. Traitement des bassins versants..... | 35 |
| IV.3. Logiciel Global Mapper 12 | 36 |
| IV.4. Logiciel HEC-RAS 4.0..... | 37 |
| IV.4.1. Définition de logiciel..... | 37 |
| IV.4.2. Description de la méthode utilisée..... | 37 |
| IV.4.3. Etapes de la modélisation..... | 38 |
| Conclusion..... | 43 |

Chapitre V Etude hydrologique

| | |
|---|----|
| Introduction..... | 44 |
| V.1. Caractéristiques Climatologiques..... | 44 |
| V.1.1. Températures..... | 45 |
| V.1.2. Evaporation..... | 46 |
| V.1.3. Pluviométrie..... | 47 |
| V.2. Variation spatiale de la pluie moyenne annuelle | 48 |
| V.3. Etude statistiques des pluies maximales journalière | 49 |
| V.3.1. Ajustement à la loi de Galton..... | 49 |
| V.3.1.1. Station d'Ain Assel sur bassin Kébir..... | 49 |
| V.3.1.2. Station de Chaffia barrage sur bassin Bounamoussa..... | 50 |
| V.3.2. Ajustement à la loi de Gumbel..... | 50 |
| V.3.2.1. Station d'Ain Assel sur bassin Kébir..... | 51 |
| V.3.2.2. Station de Chaffia barrage sur bassin Bounamoussa..... | 52 |
| V.3.3. Ajustement à la loi de GEV (distribution des valeurs extrêmes généralisées)..... | 52 |
| V.3.3.1. Station d'Ain Assel sur bassin Kébir..... | 52 |
| V.3.3.2. Station de Chaffia barrage sur bassin Bounamoussa..... | 53 |
| V.4. Qualité de l'ajustement..... | 53 |
| V.4.1. Station d'Ain Assel sur bassin Kébir..... | 54 |
| V.4.2. Station de Chaffia barrage sur bassin Bounamoussa..... | 54 |
| V.5. Pluies de courte durée..... | 55 |
| V.5.1. Station d'Ain Assel sur bassin Kébir..... | 57 |
| V.5.2. Station de Chaffia barrage sur bassin Bounamoussa..... | 57 |
| V.6. Détermination des apports liquides..... | 57 |

| | |
|--|----|
| V.6.1.Détermination des apports liquides..... | 57 |
| V.6.1.1.Formule de l'ANRH..... | 57 |
| V.6.1.2.Formule de Samie..... | 57 |
| V.6.1.3.Formule de Deri I..... | 57 |
| V.6.1.4.Formule de Deri II..... | 57 |
| V.6.2.Caractéristiques de l'écoulement..... | 58 |
| V.6.2.1.Module de l'écoulement..... | 58 |
| V.6.2.2.Module de l'écoulement relatif..... | 58 |
| V.6.2.3.lame d'eau écoulée..... | 58 |
| V.6.2.4.Coefficient de l'écoulement..... | 58 |
| V.6.3.Détermination des Apports Solides..... | 58 |
| V.6.3.1.Formule de Tixeront –Sogreah..... | 58 |
| V.6.3.2.Formule de Gravilovic..... | 58 |
| V.7.Etudes de crues..... | 59 |
| V.7.1.Détermination des débits maximums..... | 59 |
| V.7.1.1.Méthodes par corrélation statistique (Méthode Crupédix)..... | 59 |
| V.7.1.2. Estimation Empirique Du Débit De Crues Maximal..... | 59 |
| V.7.1.2.1.Formule de Turazza..... | 59 |
| V.7.1.2.2.Formule de Giandotti..... | 60 |
| V.7.1.2.3.Formule de Sogreah-ANRH (1989)..... | 61 |
| V.7.2. Hydrogramme de Crue..... | 61 |
| Conclusion..... | 63 |

Chapitre IV Calcul hydraulique

| | |
|---|----|
| Introduction..... | 64 |
| IV.1. But d'aménagement..... | 64 |
| IV.2. Choix du site pour la simulation des débits de la crue..... | 64 |
| IV.3.Données de base existante pour l'aménagement..... | 65 |
| IV.4.Débit de dimensionnement..... | 65 |
| IV.5.Aménagement des bassins versants..... | 66 |
| V.6. Généralités..... | 66 |
| IV.6.1.Ecoulement à surface libre..... | 66 |
| IV.6.2.Variabilité dans le temps..... | 66 |
| IV.6.2.1.Ecoulement permanent..... | 66 |
| IV.6.2.2.Ecoulement non permanent..... | 66 |
| IV.6.3. variabilité dans l'espace..... | 66 |
| IV.6.3.1.Régime uniforme..... | 66 |
| IV.6.3.2.Régime non uniforme..... | 66 |
| IV.7.Estimation du coefficient de Manning..... | 66 |
| IV.8.Simulation de l'écoulement d'oued la Kébir aux conditions réelles..... | 67 |
| Conclusion..... | 67 |

Chapitre VII Etude de la variante

| | |
|--|----|
| Introduction..... | 77 |
| VII.1.choix du site..... | 77 |
| VII.2.Calcul hydraulique de la zone d'étude..... | 78 |
| VII.3.Débit maximal annuel du projet..... | 80 |
| VII.4.la courbe capacité hauteur surface..... | 80 |
| VII.5.Estimation des volumes des sédiments..... | 80 |
| VII.6.Estimation du volume mort..... | 80 |
| VII.7.la hauteur du barrage..... | 80 |
| VII.8.les cotes caractéristiques..... | 80 |
| VII.9.Laminage des crues..... | 80 |
| VII.11.Tableau récapitulatif des résultats..... | 84 |
| VII.12.Dimensionnements des ouvrages annexes..... | 85 |
| VII.12.1.Tapis étanche amont..... | 85 |
| VI.12.2.Bassin d'amortissement..... | 85 |
| VII.13. Vérification de la stabilité de seuil..... | 87 |
| VII.13.1. Stabilité au glissement..... | 88 |
| VII.13.2.Stabilité au renversement..... | 89 |
| VII.14.Simulation de l'écoulement d'oued la Kébir après l'aménagement..... | 90 |
| Conclusion générale..... | 94 |

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I Historique des inondations dans la wilaya d'El Tarf

| | |
|---|----|
| Tableau .1 les apports entrants et sortants pendant le mois février 2011..... | 08 |
| Tableau I.2 Risque des inondations dans la willaya de Tarf. | 08 |

Chapitre II Présentation de la zone d'étude

| | |
|--|----|
| Tableau .1 Correspondance valeur de K_G et type de réponse attendue..... | 12 |
| Tableau .2 Récapitulatif des caractéristiques géométriques du bassin versant..... | 12 |
| Tableau II.3 Répartition Hypsométrique du bassin de l'Oued Kébir..... | 13 |
| Tableau .4 Répartition Hypsométrique du bassin de l'Oued Bounamoussa. | 13 |
| Tableau .5 Altitudes caractéristiques..... | 16 |
| Tableau II.6 Classification des reliefs | 16 |
| Tableau .7 La dénivelée..... | 16 |
| Tableau II.8 Les indices de pentes | 17 |
| Tableau .9 Densité de drainage et coefficient de torrentialité..... | 19 |
| Tableau .10 Temps de concentration..... | 20 |
| Tableau II.12 Superficie de la végétation par rapport à celle du bassin versant..... | 20 |
| Tableau II.13 Coefficients de ruissellement selon le type de surface..... | 21 |
| Tableau II.14 Caractéristique hydromorphométrique des bassins versants..... | 22 |

Chapitre V Etude hydrologique

| | |
|---|----|
| Tableau V1 Les cordonnées des deux stations..... | 44 |
| Tableau V2 Températures moyenne annuelle (station de Chafia barrage)..... | 44 |
| Tableau V.2 Températures moyenne annuelle (station de Ain Assel)..... | 44 |
| Tableau V3 Répartition de mensuelle de l'évaporation (station de Chafia barrage)..... | 45 |
| Tableau V4 Répartition de mensuelle de l'évaporation (station d' Ain Assel)..... | 45 |
| Tableau V3 Stations retenus (Bassin Versant de la Mafragh)..... | 47 |
| Tableau V4 Caractéristiques de la séries pluviométrique..... | 48 |
| Tableau V5 Résultat d'ajustement à la loi de Galton | 49 |
| Tableau V6 Résultat d'ajustement à la loi de Galton | 49 |
| Tableau V7 Résultat d'ajustement à la loi de Gumbel..... | 50 |
| Tableau V8 Résultat d'ajustement à la loi de Gumbel..... | 51 |
| Tableau V9 Résultat d'ajustement à la loi de GEV..... | 52 |
| Tableau V10 Résultat d'ajustement à la loi de GEV..... | 52 |
| Tableau V11 paramètres climatiques de Montana et période de retour..... | 54 |
| Tableau V12 Valeurs des pluies obtenues en mm/heure..... | 54 |
| Tableau V13 Valeurs des intensités obtenues en mm/heure..... | 55 |
| Tableau V14 Valeurs des pluies obtenues en mm/heure..... | 55 |
| Tableau V15 Valeurs des intensités obtenues en mm/heure..... | 56 |
| Tableau V 16 Apport liquide (bassin d'oued Kébir)..... | 57 |
| Tableau V17 Apport liquide, apport fréquentiel (bassin d'oued Bounamoussa)..... | 57 |
| Tableau V18 Apport solide pour le Bassin Oued Kébir..... | 59 |
| Tableau V19 Apports solides pour le Bassin Oued Bounamoussa..... | 59 |
| Tableau V 20 Débit de pointe par Crupédix..... | 59 |
| Tableau V 21 Valeur de Coefficient de ruissellement..... | 60 |
| Tableau V 22 Intensité maximale pendant une durée égale temps de concentration | 60 |
| Tableau V 23 Débit max par Turazza..... | 60 |
| Tableau V 24 Débit max par Giandotti..... | 60 |
| Tableau V 25 Débit max par de Sogreah.ANRH..... | 61 |
| Tableau V 26 Comparaison entre les deux formules de Turazza et Crupédix..... | 61 |

Chapitre IV Calcul hydraulique

| | |
|---|----|
| Tableau VI 1 Valeurs usuelles des Strickler K ($n=1/k$)..... | 66 |
| Tableau VI 2 les paramètres hydraulique pour chaque sections..... | 68 |

Chapitre IV Etude de variante

| | |
|--|----|
| Tableau VII 1 Caractéristique géomorphométrique du bassin versant..... | 78 |
| Tableau VII 2 Les coordonnés des courbes (Hauteur-Capacité-Surface)..... | 79 |
| Tableau VII 3 Données initiales..... | 81 |
| Tableau VII 4 1 ^{ère} étape de calcule..... | 82 |
| Tableau VII 5 2 ^{ème} étape de calcul..... | 82 |
| Tableau VII 6 3 ^{ème} étape de calcul..... | 82 |
| Tableau VII 7 Récapitulation des résultats..... | 84 |
| Tableau VII 8 Récapitulatif des résultats..... | 88 |
| Tableau VII 9 les paramètres hydraulique pour chaque sections..... | 91 |

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Historique des inondations dans la wilaya d'El Tarf

| | |
|---|----|
| Figure I-1 Carte pluviométrique de la wilaya de TARG | 02 |
| Figure I-2 la pluviométrique interannuelle (1996 -2011) (DRE ,2011). | 02 |
| Figure I-3 L'embouchure de l'Oued Mafragh « image satellite » | 05 |
| Figure -4 Carte des inondations 2005 de la wilaya d'El Taref. | 06 |
| Figure -5 Dynamique des inondations pour les observations du 28 et 29 Février 2012. | 07 |

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

| | |
|---|----|
| Figure II-1 Situation géographique de la wilaya d'El Tarf (Google Earth). | 09 |
| Figure II-2 Bassin versant la Mafragh. | 09 |
| Figure II-3 Délimitation du bassin versant la Mafragh, (D.H.W Traf). | 10 |
| Figure II-4 Réseau hydrographique du Bassin Versant de la Mafragh. | 10 |
| Figure II-5 Délimitation des sous bassins. | 11 |
| Figure II-6 Courbe hypsométrique Kébir. | 13 |
| Figure II-7 Courbe hypsométrique Bounamoussa. | 13 |
| Figure II-8 Répartition du bassin Versant en Surfaces Partielles Kébir. | 14 |
| Figure II-9 Répartition du bassin Versant en Surfaces Partielles Bounamoussa. | 15 |
| Figure II-12 Classification de Schumm du Bassin Kébir et Bounamoussa. | 17 |
| Figure -13 Réseau hydrographique (Arc Gis). | 18 |
| Figure -13 Profil en Long du Cours d'eau Bounamoussa. | 21 |
| Figure -14 Profil en long du cours d'eau Kébir. | 21 |

Chapitre III Etude géologique, hydrogéologique et topographique

| | |
|--|----|
| Figure -1 Carte géologique de la zone d'étude. | 24 |
| Figure -2 Légende de la carte géologique d'El Tarf | 25 |
| Figure -3 Vue en plan sur photo satellite. | 27 |
| Figure -4 Plan d'implantation des travaux géotechniques. | 27 |

Chapitre IV Utiles et codes de calcul de modélisation

| | |
|---|----|
| Figure IV1 Fenêtre représentant le module Arc Map. | 31 |
| Figure IV 2 Fenêtre représentant le programme Arc Toolbox | 31 |
| Figure IV3 Fenêtre représentant le programme Arc Catalog | 32 |
| Figure IV4 Barre du programme Arc Scene | 32 |
| Figure IV5 Fenêtre représentant le programme Arc Globe | 32 |
| Figure IV6 Fenêtre de Géoréférencement. | 34 |
| Figure IV7 Fenêtre représentant le positionnement de la carte. | 34 |
| Figure IV8 Fenêtre du Link Table. | 34 |
| Figure IV9 Fenêtre représentant le code Arc Hydro Tools 9. | 35 |
| Figure IV10 Fenêtre représentant le Project Raster. | 35 |
| Figure IV11 Fenêtre représentant Project Raster. | 35 |
| Figure IV12 Fenêtrant représentant DEM Reconditioning. | 36 |
| Figure IV13 Fenêtre représentant DEM Reconditioning (AGREE). | 36 |
| Figure IV14 Fenêtre représente le principe de téléchargement des données ASTERGDEM. | 36 |
| Figure IV15 Fenêtre représente les résultats de calculs de logiciel HEC-RAS. | 36 |
| Figure IV16 Fenêtre représente un message d'erreur | 37 |
| Figure IV17 Fenêtre représente options régionales et linguistique | 37 |
| Figure IV18 Fenêtre principale de HEC-RAS4. | 37 |
| Figure IV19 La barre de menu avec toutes les fonctions disponibles. | 38 |
| Figure IV20 Fenêtre représente l'option Steady Flow Data. | 38 |
| Figure IV21 Fenêtre de création d'un nouveau projet | 38 |
| Figure IV22 Fenêtre Geometric Data. | 39 |
| Figure IV23 Fenêtre background pictures. | 39 |
| Figure IV24 Fenêtre de section (Cross data). | 39 |
| Figure IV25 Fenêtre représentant la fonction d'interpolation. | 40 |
| Figure IV-26 Fenêtre de calcul en écoulement non permanent (Unsteady Flow). | 41 |
| Figure IV27 Fenêtre représentant l'hydrogramme de crue | 42 |
| Figure IV28 Fenêtre Performing Unsteady Flow Simulation. | 42 |
| Figure IV29 Fenêtre représente le graphe débits-hauteurs en fonction des temps | 43 |
| Figure IV30 Fenêtre représente les vitesses en fonction de chaque section | 43 |

Chapitre V : Etude hydrologique

| | | |
|------------|---|----|
| Figure V1 | Variation de la température de bassin Bounamoussa..... | 45 |
| Figure V2 | Variation de la température de bassin Kébir..... | 45 |
| Figure V3 | Répartition mensuelle de l'évaporation de bassin Bounamoussa..... | 46 |
| Figure V4 | Répartition mensuelle de l'évaporation de bassin Kébir..... | 46 |
| Figure V5 | Précipitations Moyennes Mensuelles (en mm et %)(bassin Bounamoussa)..... | 47 |
| Figure V6 | Précipitations Moyennes Mensuelles (en mm et %)(bassin Kébir)..... | 47 |
| Figure V7 | Répartition des pluies maximales journalières de 1980-2011(bassin Kébir)..... | 48 |
| Figure V8 | Répartition des pluies maximales journalières de 1980-2011(bassin Bounamoussa)..... | 48 |
| Figure V9 | Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Galton..... | 49 |
| Figure V10 | Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Galton..... | 50 |
| Figure V11 | Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Gumbel..... | 51 |
| Figure V12 | Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Gumbel..... | 51 |
| Figure V13 | Représentation graphique de l'ajustement à la loi de GEV..... | 52 |
| Figure V14 | Représentation graphique de l'ajustement à la loi de GEV..... | 53 |
| Figure V15 | Représentation graphique de la comparaison entre les trois lois..... | 53 |
| Figure V16 | Représentation graphique de la comparaison entre les trois lois..... | 54 |
| Figure V15 | courbe de pluie de courte durée..... | 55 |
| Figure V16 | Courbe intensité Durée Fréquence..... | 55 |
| Figure V17 | courbe de pluie de courte durée..... | 56 |
| Figure V18 | Courbe intensité Durée Fréquence..... | 56 |
| Figure V19 | Hydrogramme de crue de bassin Kébir..... | 62 |
| Figure V20 | Hydrogramme de crue de bassin Bounamoussa..... | 62 |
| Figure V21 | Hydrogramme de crue de bassin la Mafragh..... | 63 |

Chapitre IV Calcul hydraulique

| | | |
|-------------|---|----|
| Figure VI 1 | Choix du cours d'eau pour la simulation des débits, Echelle 1/200 000..... | 64 |
| Figure VI 2 | Carte topographique de sous bassin Kébir Est Echelle 1/250 000..... | 65 |
| Figure VI 3 | Carte du réseau hydrographique de sous bassin Kébir Est, Echelle 1/250 000..... | 65 |
| Figure VI 4 | Définition du tracé de l'oued et des sections..... | 67 |
| Figure VI 5 | Définition de la crue des conditions aux limites..... | 67 |
| Figure VI 4 | Sections en travers du canal et résultats de simulation..... | 69 |
| Figure VI 5 | profil en long de l'oued a son l'état naturel (présentation 3D)..... | 75 |
| Figure VI 6 | profil en long de l'oued dans l'état max (présentation 3D)..... | 75 |

Chapitre VII Etude de la variante

| | | |
|---------------|--|----|
| Figure VI 1 | la carte du sous bassin Kébir Est, Echelle (1/250 000)..... | 77 |
| Figure VI 2 | Hydrogramme de crue de la période de retour de 100 ans du sous bassin Kébir Est..... | 78 |
| Figure VI 3 | Variations du volume stocké en fonction de l'élévation du plan d'eau..... | 79 |
| Figure VI 4 | Variations de la surface inondée en fonction de l'élévation du plan d'eau..... | 79 |
| Figure VII 5 | La courbes $q=f(H)$ | 83 |
| Figure VII 6 | La courbes $q=f(V_{forcé})$ | 83 |
| Figure VII 7 | Bloc amortissement d'énergie (blocs chicane)..... | 86 |
| Figure VII 8 | de dissipation Type II..... | 87 |
| Figure VII 9 | Définition du tracé de l'oued et des sections..... | 90 |
| Figure VII 10 | la Section en travers de la digue..... | 90 |
| Figure VI 11 | Sections en travers du canal et résultats de simulation..... | 92 |
| Figure VII 12 | profil en long de l'oued plus l'aménagement (présentation 3D)..... | 93 |

Listes des planches

Planche n°01 Plan de situation de la zone d'étude 1 W.Taref

Planche n°02 Plan de situation de la zone d'étude 2 W.Taref

Planche n°03 Découpage des sous bassins (Arc-Gis)

Planche n°04 Simulation de l'écoulement d'oued Kébir Est aux conditions réelles (HED-RAS).

Planche n°05 Simulation de l'écoulement d'oued Kébir Est après l'aménagement (HEC-RAS).

Planche n°06 Profil en long de oued Kébir : Bassin versant Est W.Taref

Planche n°07 Profil topographique de sous bassin Kébir Est (Arc-Gis).

INTRODUCTION GENERALE

Parmi les catastrophes naturelles, les inondations sont plus dommageables. Elles sont souvent associées aux cyclons. Les parades face au risque inondation sont nombreuses. L'originalité des inondations réside dans le fait que l'homme peut influencer et tenter de réduire le phénomène naturel.

La wilaya d'El Tarf a connu à plusieurs reprises des inondations catastrophiques dues aux fortes chutes de pluies. Ces inondations ont causé des dégâts matériels importants, notamment dans l'agriculture, et ont été également à l'origine de pertes de vies humaines. La wilaya d'El Tarf se distingue par la particularité de son climat pluvieux et humide qui favorise sa position géographique maritime à laquelle s'ajoute le phénomène d'accumulation des eaux de surface, des dépressions naturelles des réserves lacustres (lacs).

L'objectif principal est de trouver des solutions au transit des eaux pluviales avant de se déverser vers la mer. Sur la base d'une enquête sur le terrain appuyée par plusieurs visites des ouvrages et tenant compte des données hydrologiques du bassin versant, nous avons pu comprendre les différentes contraintes du terrain liées permettant de proposer des solutions durable au problème d'aléa d'inondation posé. Pour ce faire, nous avons par la présente étude structurée comme suit :

Pour mener ce travail on opté les septes chapitres suivants:

CHAPITRE I Historique des inondations dans la wilaya d'El Tarf

CHAPITRE II Présentation de la zone d'étude

CHAPITRE III Etude Géologique, Hydrogéologique et Topographique

CHAPITRE IV Utiles et codes de calcul de modélisation

CHAPITRE V Etude hydrologique

CHAPITRE IV Calcul hydraulique

CHAPITRE VII Etude de la variante

CHAPITRE I

HISTORIQUE DES INONDATIONS DANS LA WILAYA D'EL TARF

Introduction

La wilaya d'El Tarf a connu à plusieurs reprises des inondations catastrophiques dues aux fortes chutes de pluies.

Ces inondations ont causé des dégâts matériels importants, notamment dans l'agriculture, et ont été également à l'origine de pertes de vies humaines.

La wilaya d'El Tarf se distingue par la particularité de son climat pluvieux et humide qui favorise sa position géographique maritime à laquelle s'ajoute le phénomène d'accumulation des eaux de surface, des dépressions naturelles des réserves lacustres (lacs).

.1. La pluviométrie dans la wilaya

Les précipitations annuelles varient de 800 à 1200 mm voir 1500mm considérées parmi les plus importantes du pays permettant l'apport global de près de 700 millions m³/ans dont seule une partie soit 273 millions de m³ est retenue représentant 39% du volume total reçu.

- Superficie totale.....3 339 Km² ;
- Population409 262 Habitants (2010) ;
- Littoral95 Km ;
- Pluviométrie moyenne entre 800 et 1500 mm ;
- Moyenne interannuelle de la Wilaya 900 mm.

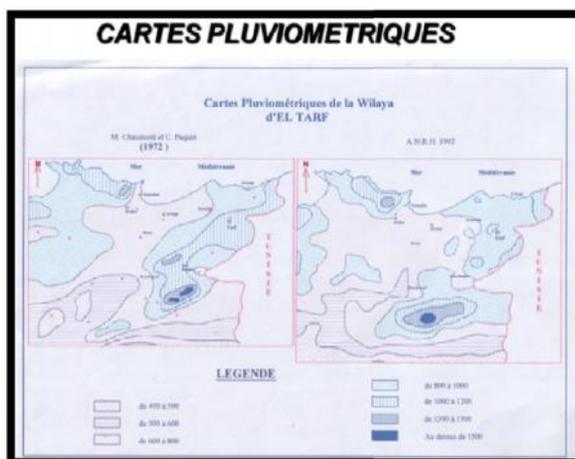


Figure I 1 Carte pluviométrique de la wilaya de Tarf.

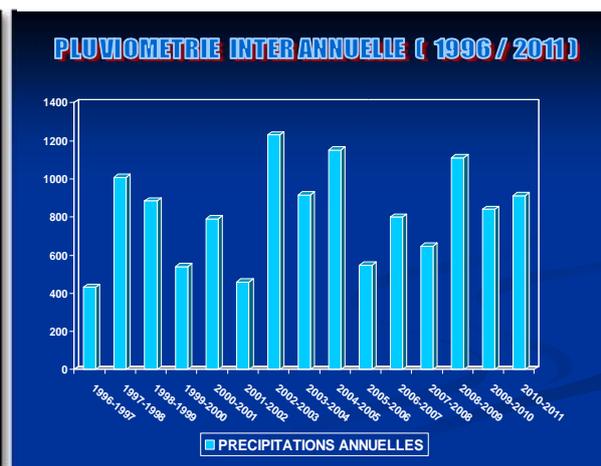


Figure I 2 la pluviométrie interannuelle (1996 -2011) (DRE ,2011).

.2. Cause des inondations

- Pluviométrie intense et irrégulière atteignant les 800 à 1 500 mm/an (orages) ;
- Pente très faible favorisant la stagnation des eaux ;
- Un nombre important de centres, sept situés dans les zones basses (Ain Assel, El Tarf, BOUTELDJA,.....Etc) ;
- L'embouchure de la Mafragh ne véhicule pas le débit de crue provoqué par tout les Oueds à la fois ;
- Nature des sols des plaines d'EL Tarf argileux (perméabilité faible) ;
- Présence d'obstacles naturels (dépôts d'alluvions – arbustes ...).

En plus des causes naturelles, d'autres produites par l'homme agissent en faveur de ce problème tel que :

- L'absence d'entretien des émissaires naturels : oued el Kébir est, oued Bouhaloufa, oued Ardane, oued Boulathane, oued Seybousse, oued Besbas et oued Bouhlala ;
- L'insuffisance d'un réseau d'assainissement dans le périmètre de Bounamoussa et son absence dans la plaine D'El Tarf et Bouteldja ;
- la réalisation de certains chemins communaux dans la commune de Boutheldja, du lac des oiseaux et de Berrihane, ou quelques tronçons constituent de véritables obstacles pour l'écoulement normal des eaux vers les exutoires naturels ;
- Charriage constant de matériaux solides provenant des terrassements (chantiers de construction).

.3. Problème des inondations

Le problème des inondations qui se pose en permanence a pour principale cause la forte intensité des pluies qui dépasse par fois les 100 mm en l'espace d'une journée.

Ces intensités provoquent des écoulements torrentiels qui affectent la plaine alluviales de la Mafragh drainé par l'oued Kebir-Est et la Bounamoussa, par fois des inondations prolongées (stagnation des eaux superficiels sur des hauteurs qui dépasses 50 cm, et ou des nappes d'eau superficielles couvert la plaine alluviales pendant des périodes qui varient de trois jours au minimum jusqu'à une semaine en moyenne), qui peuvent empêcher l'utilisation des terres agricoles pendant des périodes allant jusqu'à trois mois, surtout durant ces dernière années;

Aussi le problème de l'évacuation des crues au niveau de l'oued Mafragh causé par dune de sable (l'embouchure) ; cet oued constituant le tronçon terminal de plusieurs cours d'eau de la zone (Oued Kebir Est, Oued Bounamoussa,...etc.) (Figure -3).



Oued Mssida



un quartier dans la wilaya de Taref



Oued Kébir (Berihal)



Oued Bouthleja



Pont de l'auto route Est-Oust (Chafia)

Photos Problèmes des inondations.



Figure I 3 L'embouchure de l'Oued Mafragh (Image satellite)

.4. Exemples des inondations

.4.1. inondation d'Avril 2005

L'inondation du mois d'Avril 2005 du 11 au 14 a été provoquée par une forte pluviométrie de 175 mm qui s'est soldée par des crues de l'Oued KEBIR.

Le 10/04/2005 : débit de crue $164,44 \text{ m}^3/\text{s}$ soit égale $14,21 \text{ Hm}^3/\text{j}$;

Le 11/04/2005 : débit de crue $379,99 \text{ m}^3/\text{s}$ soit égale $32,83 \text{ Hm}^3/\text{j}$;

Le 12/04/2005 : débit de crue $650,18 \text{ m}^3/\text{s}$ soit égale $56,18 \text{ Hm}^3/\text{j}$;

Le 13/04/2005 : débit de crue $330,03 \text{ m}^3/\text{s}$ soit égale $28,51 \text{ Hm}^3/\text{j}$;

Le 14/04/2005: débit de crue $157,59 \text{ m}^3/\text{s}$ soit égale $13,62 \text{ Hm}^3/\text{j}$;

T o t a l = $145,35 \text{ Hm}^3/\text{j}$.

Conclusion: En 04 jours le barrage Mexa a rejeté 3 fois et demi son volume.

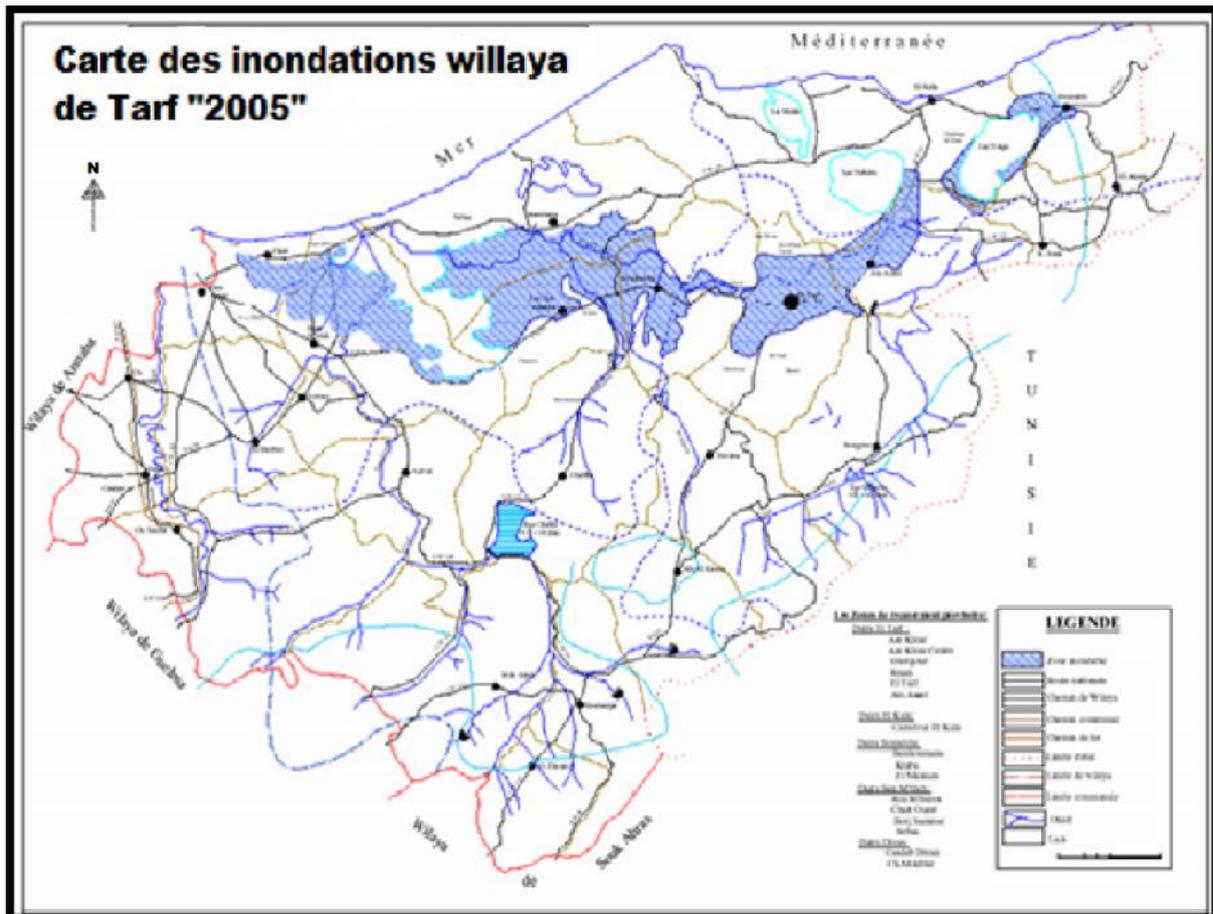


Figure 4 Carte des inondations 2005 de la wilaya d'El Tarf (rapport sur la situation des inondations dans la wilaya d'el Tarf D. R. E 2005)

.4.2. inondation de Février 2012

Des pluies diluviennes et la fonte des neiges se sont abattues dès le 24 Février 2012 en Algérie, dans la wilaya de d'El Taref, près de la frontière Tunisienne.

L'exceptionnelle pluviométrie (plus de 250mm en 4 jours seulement et 195 mm en une journée) enregistrée est la plus importante des 20 dernières années dans cette région de l'extrême Est du pays.

La carte suivante indique la dynamique des inondations dans la wilaya de Taref.

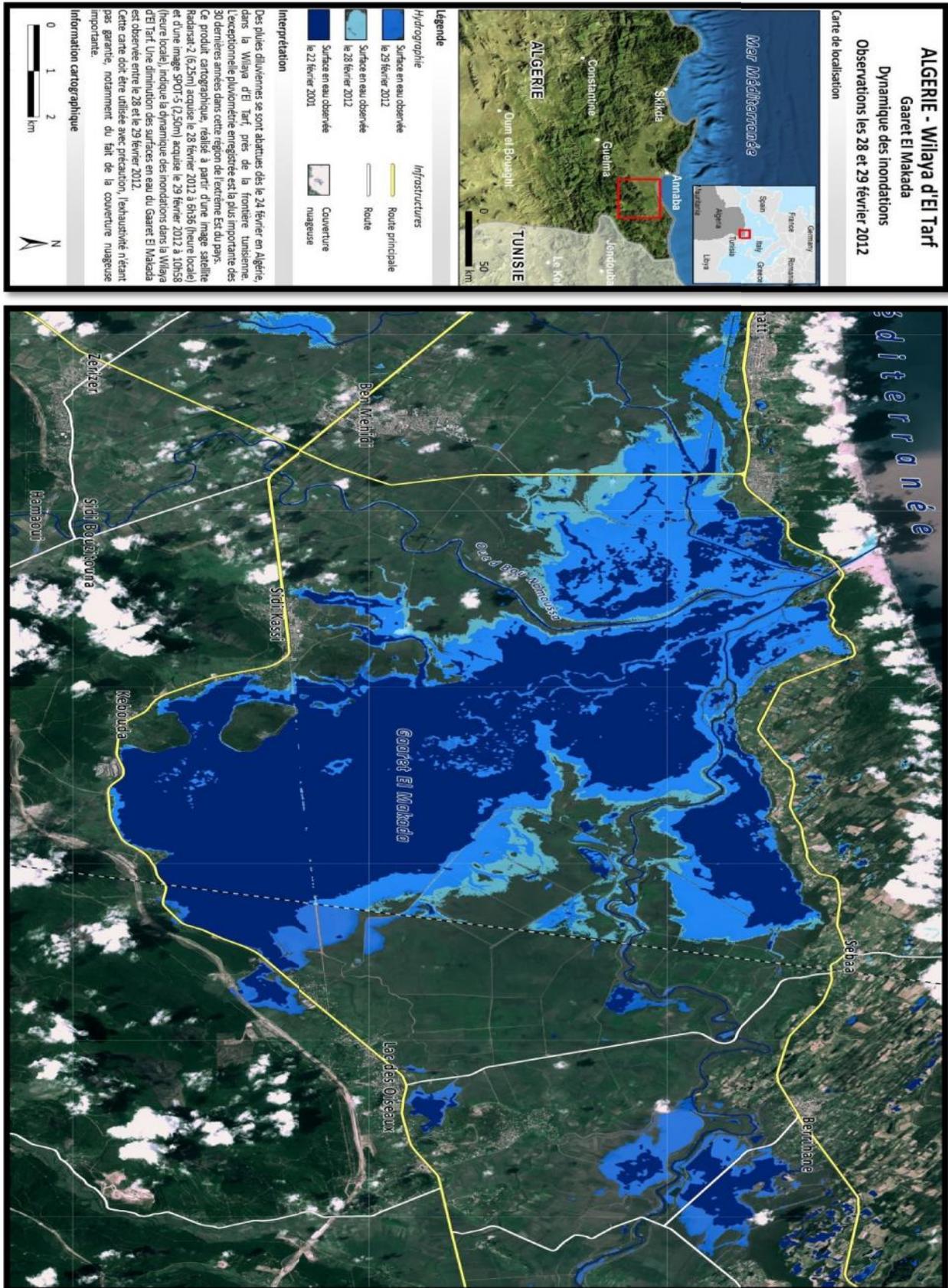


Figure 5 Dynamique des inondations pour les observations du 28 et 29 Février 2012 (rapport des inondations dans la wilaya d'Tref D.R.E 2012).

Les tableaux suivants représentent les apports entrants et sortant le 31 et le 32/03/2012 dans oued Bounamoussa et Kébir :

Tableau 1 les apports entrants et sortants pendant le mois février 2011.

| Oued Bounamoussa | | | |
|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Précipitation (mm) | Volume entrant (hm ³) | Volume sortant (hm ³) | Débit véhiculé (m ³ /s) |
| 156,40 | 95,608 | 101,769 | 1400 |

| Oued Kébir | | | |
|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Précipitation (mm) | Volume entrant (hm ³) | Volume sortant (hm ³) | Débit véhiculé (m ³ /s) |
| 109,3 | 123,84 | 128,128 | 1094 |

.5. Risques d'inondation de la Wilaya d'El Tarf

Tableau I 2 Risque des inondations dans la willaya de TARF,

| Commune | Populations (2011) | Superficies (ha) | Superficies inondables (ha) | Risques |
|------------------------|--------------------|------------------|-----------------------------|---------------|
| Echatt | 15 442 | 6 215 | 80 | Faible risque |
| Ain Assel | 8 271 | 9 480 | 400 | |
| Bougous | 301 | 21 580 | 36 | |
| Oum Teboul | 6 963 | 8 735 | 400 | |
| Bouteldja | 13 659 | 11 353 | 637 | Moyen risque |
| Berrihane | 3 882 | 20 250 | 206 | |
| El tarf | 10 157 | 11 140 | 600 | |
| Lac des oiseaux | 5 978 | 8 588 | 412 | Haut risque |
| Ben M'hidi | 16 04 | 15 06 | 12 | |
| Besbes | 315 159 | 512155 | 6160 | |
| Drean | 21 237 | 4 800 | 60 | |
| Asfour | 12 465 | 10 452 | 120 | |
| Chihani | 9 157 | 20 082 | 66 | |
| Chbaita Mokhtar | 16 699 | 4 198 | 100 | |
| Cheffia | 2 836 | 19 247 | / | |
| Total | 148 219 | 183 340 | 3 403 | |

Conclusion

Les meilleurs moyens de se prémunir des dommages d'une inondation reste la prévention et la précaution afin de réduire le degré d'exposition au risque de son impact, si ce dernier est inévitable et représente le premier risque naturel tant par l'importance des dégâts provoqué que par le nombre de personnes concerné, ainsi l'incidence financière considérable, L'application de tous les moyens doit être cohérente localement et en échelle du bassin versant.

Chapitre II

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Introduction

Le présent chapitre a pour but de donner la description de la zone d'étude et déterminer les principales caractéristiques géographiques et géomorphologiques nécessaires au dimensionnement des ouvrages projetés dans le cadre de la protection de la ville d'El Tarf contre les eaux d'origines superficielles (pluviales, ondes de crues ...etc.).

1. Présentation de la zone d'étude

La wilaya d'El Tarf est située à l'extrême Nord-Est de l'Algérie à la frontière tunisienne. Elle est délimitée :

- Au nord, par la mer Méditerranée ;
- A l'est, par la Tunisie ;
- Au sud, par la wilaya de Souk Ahras ;
- Au sud-est, par la wilaya de Guelma ;
- A l'ouest par la wilaya d'Annaba.



Figure II 1 Situation géographique de la wilaya d'El Tarf (Google Earth)

II.2. Situation géographique du bassin versant la Mafragh

Selon les cahiers de l'agence des bassins hydrographiques, le bassin versant de la Mafragh s'étendant de 7°45 à 8°45 de longitude Est et de 36°20 à 36° 55 de latitude Nord, est inclus dans le bassin versant des côtières Constantinois-Est codifié sous le numéro 03.

Drainé par deux oueds importants (Oued Bounamoussa à l'Ouest et Oued El Kébir à l'Est), le bassin de la Mafragh est limité :

- Ñ Au Nord par le massif dunaire de Boutheldja formant obstacle naturel avec la mer Méditerranée;
- Ñ Au Sud par le bassin de Medjerdah;
- Ñ A l'Est par le bassin des côtières de la Calle et les frontières Tunisiennes;
- Ñ A l'Ouest par le bassin de la Seybouse.



I.5.1.1. Superficie et Périmètre

Les bassins versants des Oued Kébir et Bounamoussa occupent respectivement une superficie de 1520 et 1160 Km², leur périmètre est, dans l'ordre, 305,9 et 305,5 Km et la longueur du Talweg Principal (L_{TP}) est de 94,28 Km pour le premier Oued et de 83,67 Km pour le second.

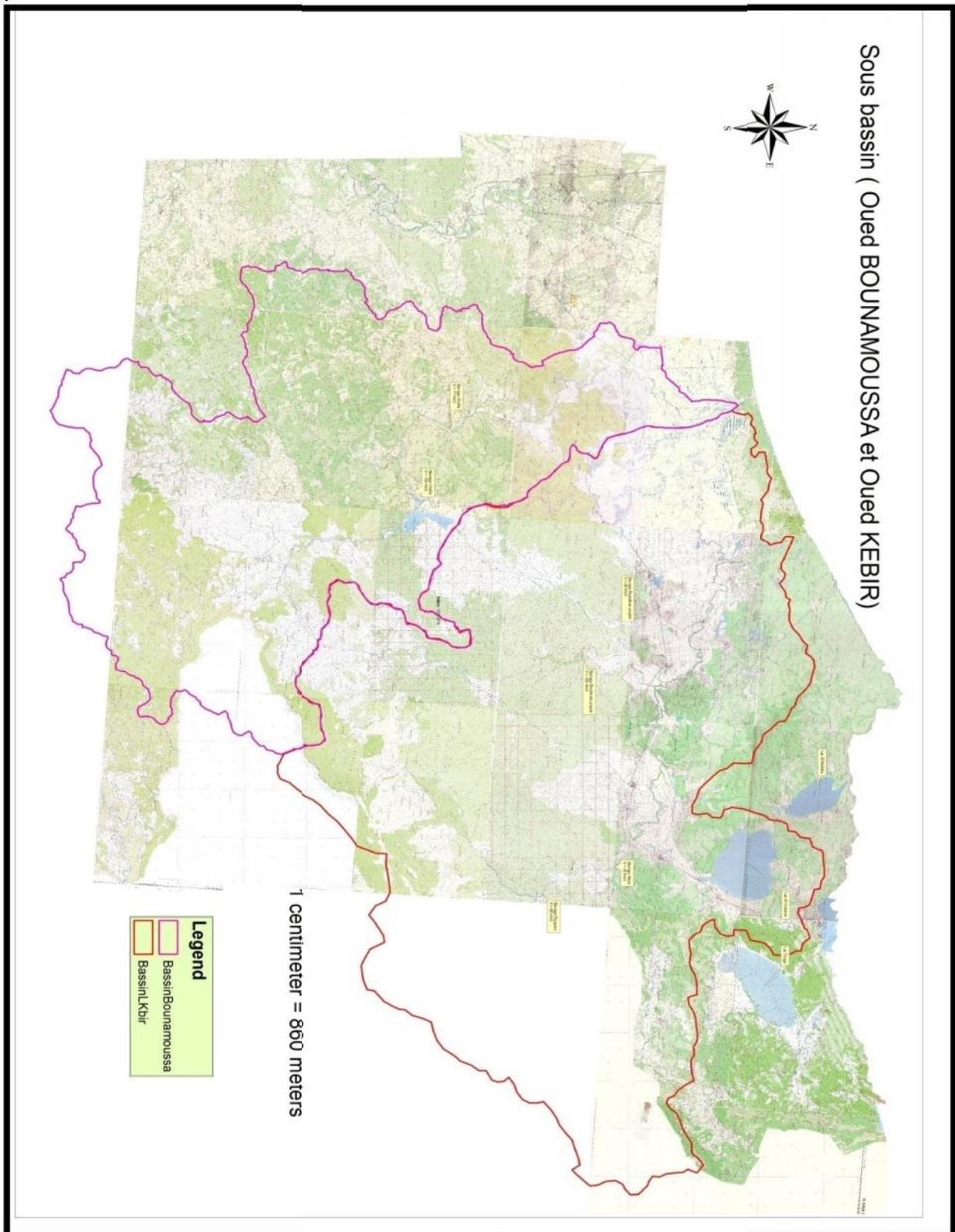


Figure II-5 Délimitation des sous bassins.

I .5.1.2. Indice de Forme (ou de Compacité) de Gravelius

La valeur de cet indice permet d'avoir une idée sur la forme du bassin versant. Il est défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

$$K_G = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}} \dots\dots\dots (II.01)$$

P : périmètre du bassin versant (km²).

S : surface du bassin versant (km).

On admet communément la classification suivante :

Tableau 1 Correspondance valeur de K_G et type de réponse attendue

| | |
|-------------------------------|---------------------------|
| • K _G < 1,25 | : Bassin compact |
| • 1,25 < K _G < 1,5 | : Bassin de forme moyenne |
| • K _G > 1,5 | : Bassin plutôt allongé |

.5.1.3. Indice d'allongement

Ce coefficient est obtenu par la relation suivante :

$$C_a = \frac{L^2}{S} \dots\dots\dots (.02)$$

L : longueur du talweg principale.

S : la surface du bassin versant.

I .5.1.4. Dimensionnement du Rectangle Equivalent

Le dimensionnement du rectangle équivalent consiste à la détermination de sa largeur (l_r) et longueur (L_r) respective. La longueur et la largeur du rectangle équivalent sont données par les relations qui suivent :

$$L_r = \frac{K_G}{1.12} \cdot \sqrt{S} \cdot \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G}\right)^2} \right] \dots\dots\dots (.03)$$

$$l_r = \frac{K_G}{1.12} \cdot \sqrt{S} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G}\right)^2} \right] \dots\dots\dots (.04)$$

Avec :

K_G : indice de compacité de Gravelius.

S : superficie du bassin versant en km.

L_r : longueur du rectangle équivalent en km.

l_r : largeur du rectangle équivalent en km.

Les caractéristiques géométriques du bassin versant de l'oued Kébir (SB₁) et oued

Bouamoussa (SB₂) sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 2 Récapitulatif des caractéristiques géométriques du bassin versant.

| Désignation | | Symbole | unités | Valeur (SB ₁) | Valeur(SB ₂) |
|----------------------------------|----------|----------------|-----------------|---------------------------|--------------------------|
| Superficie | | S | Km ² | 1520 | 1160 |
| Périmètre | | P | km | 305,9 | 305,5 |
| Longueur du talweg principal | | L | km | 94,28 | 82,67 |
| Indice de compacité de Gravelius | | K _G | / | 2,21 | 2,53 |
| Indice d'allongement | | C _a | / | 5,85 | 5,89 |
| Rectangle équivalent | Longueur | L _r | km | 143,09 | 144,77 |
| | Largeur | l _r | km | 10,77 | 8,43 |

.5.2. Paramètres de Relief

Les paramètres de relief se résument dans l'Indice de Pente de Roche (I_p), l'Indice Global (I_G) et l'indice de pente moyenne (I_m) qui requièrent la connaissance de la répartition hypsométrique et de la Dénivelée (D).

.5.2.1. Courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique représente le tracé de la répartition cumulée des pourcentages de la superficie entre les courbes de niveau connues (tableau -3et -4).

Tableau II 3 Répartition Hypsométrique du bassin de l'Oued Kébir.

| Elévation | Borne supérieur | Surfaces partielles (Km ²) | Surfaces partielles (%) | Surfaces cumulées (KM ²) | Surfaces cumulées (%) |
|-----------|-----------------|--|-------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| <0 | 0 | 27,66 | 1,81973684 | 27,66 | 100 |
| 0 – 200 | 200 | 735,15753 | 48,365627 | 762,81753 | 98,1802632 |
| 200 – 400 | 400 | 384,72693 | 25,3109822 | 1147,54446 | 49,8146362 |
| 400 – 600 | 600 | 226,88424 | 14,9265947 | 1374,4287 | 24,5036539 |
| 600-800 | 800 | 101,9403 | 6,70659868 | 1476,369 | 9,57705921 |
| 800-1000 | 1000 | 34,3578 | 2,26038158 | 1510,7268 | 2,87046053 |

Tableau -4 Répartition Hypsométrique du bassin de l'Oued Bounamoussa.

| ELEV-ATION | BORNE SUP | Surfaces partielles (Km ²) | Surfaces partielles (%) | Surfaces cumulées (KM ²) | Surface cumulées (%) |
|------------|-----------|--|-------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| <0 | 0 | 0,8 | 0,06896552 | 0,8 | 100 |
| 0 - 200 | 200 | 322,01776 | 27,7601517 | 322,81776 | 99,9310345 |
| 200 - 400 | 400 | 271,48 | 23,4034483 | 594,29776 | 72,1708828 |
| 400 - 600 | 600 | 389,0382 | 33,5377759 | 983,33596 | 48,7674345 |
| 600-800 | 800 | 113,6473 | 9,79718103 | 1096,98326 | 15,2296586 |
| 800-1000 | 1000 | 27,30374 | 2,35377069 | 1124,287 | 5,43247759 |
| 1000-1200 | 1200 | 27,6112 | 2,38027586 | 1151,8982 | 3,0787069 |
| 1200-1400 | 1400 | 8,08993 | 0,69740776 | 1159,98813 | 0,69843103 |
| >1400 | 1404 | 0,01187 | 0,00102328 | 1160 | 0,00102328 |

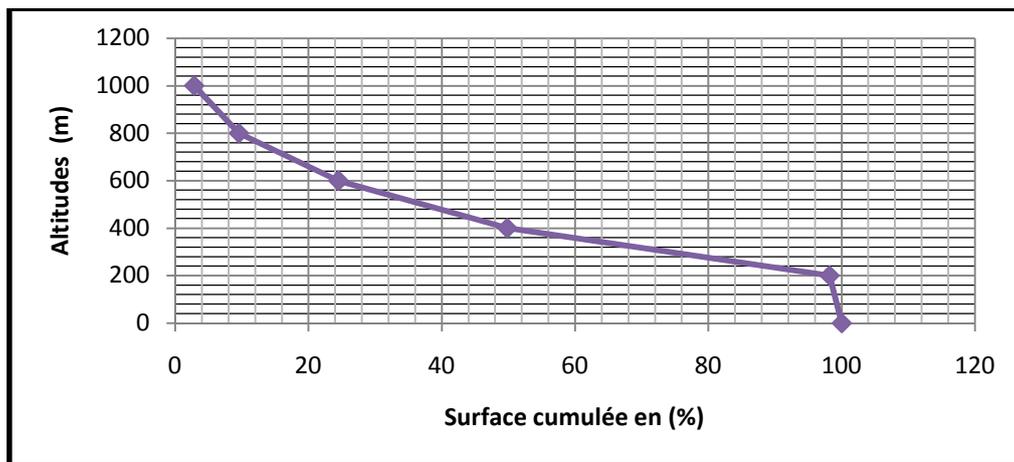


Figure II 6 Courbe hypsométrique Kébir

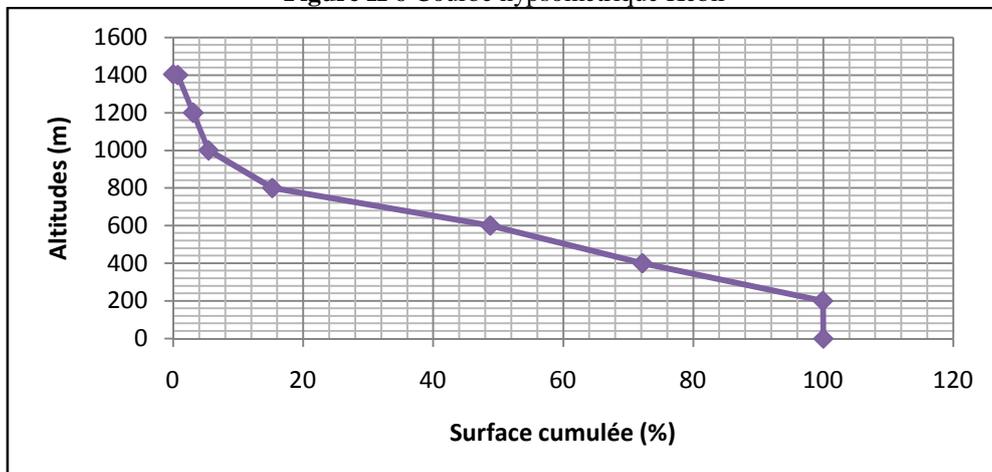


Figure II 7 Courbe hypsométrique Bounamoussa

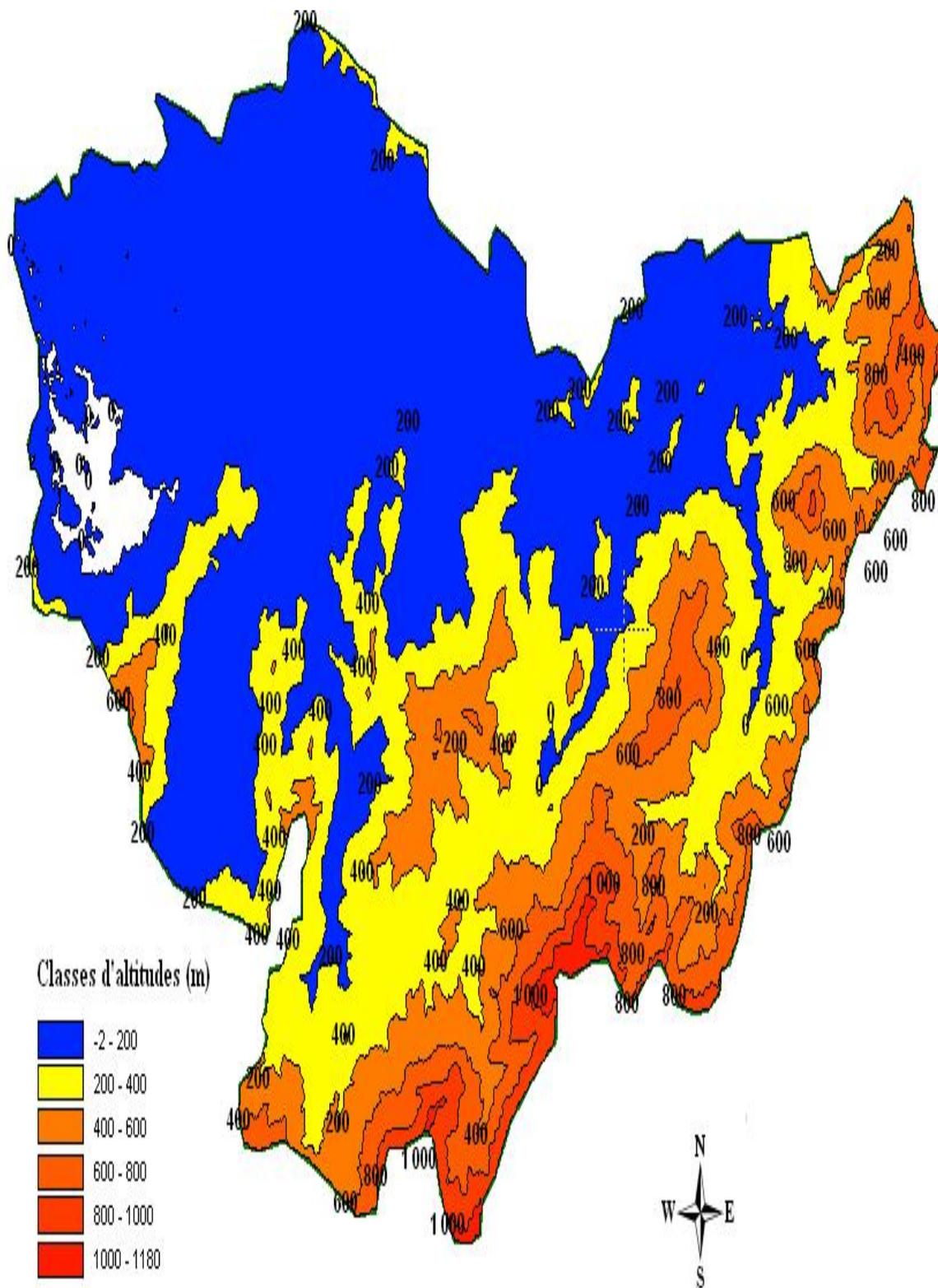
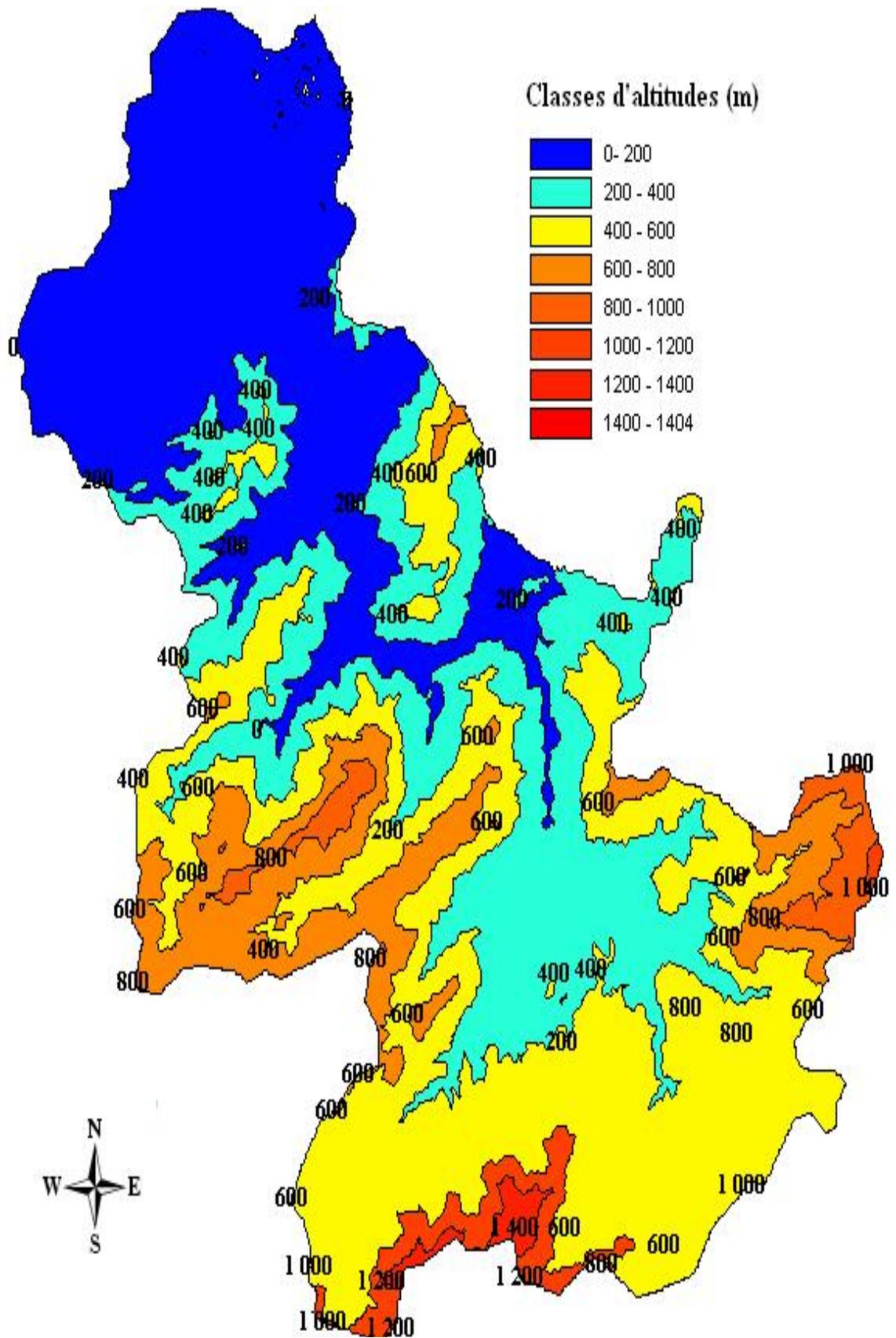


Figure II 8 Répartition du bassin Versant en Surfaces Partielles Kébir



.6. Altitudes

.6.1. Altitude Moyenne

Elle est donnée par la relation : $H_{moy} = \frac{1}{S_T} \cdot \sum \left(S_i \cdot \frac{H_{i-1} + H_i}{2} \right) \dots \dots \dots (II.5)$

S_i : Surface partielle;

S_T : Surface totale du bassin versant;

H_{i-1} : Altitude d'ordre (i-1);

H_i : Altitude d'ordre (i).

.6.2. Altitude de Fréquence 50 %

Elle est déduite de la courbe hypsométrique ($H_{50\%}$).

Tableau 5 Altitudes caractéristiques

| Altitudes | Valeur SB ₁ (m NGA) | Valeur SB ₂ (m NGA) |
|------------|--------------------------------|--------------------------------|
| H moyennes | 266,21 | 390,67 |
| H médiane | 400 | 600 |
| H max | 1200 | 1400 |
| H min | 0 | 200 |

I .6.3. Dénivelée Spécifique (D)

La dénivelée spécifique est la différence d'altitudes (H) comprise entre la surface cumulée de 5% ($H_{5\%}$) et 95% ($H_{95\%}$):

$$D_s = D \sqrt{\frac{l_r}{L_r}} \dots \dots \dots (.6)$$

$D = (H_{5\%} - H_{95\%})$ en (m) ;

L_r : longueur de rectangle équivalent en (m) ;

l_r : largeur de rectangle équivalent en (m).

Pour l'interprétation de ce paramètre, l'IRD (EX ORSTOM) a mis au point la classification suivante :

Tableau II 6 Classification des reliefs

| | | | |
|---------------------|-----|----------------------|-----|
| Relief très faible | 10 | <= D _s <= | 10 |
| Relief faible | 25 | <= D _s <= | 25 |
| Relief assez faible | 50 | <= D _s <= | 50 |
| Relief modéré | 100 | <= D _s <= | 100 |
| Relief assez fort | 250 | <= D _s <= | 250 |
| Relief fort | 500 | <= D _s <= | 500 |
| Relief très fort | | <= D _s | |

Tableau 7 La dénivelée

| | Unité | Valeur SB ₁ | Valeur SB ₂ |
|---------------------------------------|-------|------------------------|------------------------|
| Dénivelée (D) | m | 660 | 760 |
| Dénivelée Spécifique(D _s) | m | 181,07 | 183,39 |

.7. pentes

.7.1. Indice de Pente de Roche « I_p »

Caractérisé la pente global du bassin versant, donné par la formule suivante :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum \sqrt{S_i \times d_i} \dots \dots \dots (II.7)$$

L : la longueur du rectangle équivalent ;

S_i : Fraction en % de la surface S comprise entre deux courbes de niveau voisines ;

d_i : Distance entre deux courbes de niveau ;

I.8.2. Indice de Pente Global « I_g »

C'est le rapport de la dénivelée spécifique D sur la longueur du talweg principal, il est donné par la relation suivante :

$$I_g = \frac{D}{L_{TP}} \dots \dots \dots (II.8)$$

.8.3. Indice de pente moyenne « I_m »

La pente moyenne de ce cours d'eau a été calculée grâce à la relation suivante :

$$I_m = \frac{\Delta H_{max}}{L_{TP}} \dots\dots\dots (II.9)$$

H_{max} : différence entre les points extrême du cours d'eau principal du bassin versant ;
 L : longueur du cours d'eau principale.

Tableau II 8 Les indices de pentes

.8. Paramètres Hydrographique

| Les indices de pentes | Symbole | Unités | Valeurs SB ₁ | Valeur SB ₂ |
|-----------------------------|----------------|--------|-------------------------|------------------------|
| Indice de la pente de roche | I _p | m/km | 4,6 | 6,7 |
| Indice de la pente globale | I _G | m/km | 7,00 | 9,03 |
| Indice de pente moyen | I _m | m/km | 8,3 | 9,6 |

Les paramètres hydrographiques se résument essentiellement dans la densité de drainage, sa détermination repose sur une classification des talwegs par ordres et détermination des longueurs de chaque ordre. En conséquence toute mesure s'appuie sur l'établissement du plan chevelu hydrographique complet du bassin versant.

.8.1. Chevelue Hydrographique

Le cours principal d'un oued est alimenté par les affluents les plus importants qui sont eux mêmes alimentés par des affluents de second ordre, ainsi de suite jusqu'aux ruisselets et petits cours d'eau de tête du bassin formant ce que les cartographes appellent le chevelu. C'est-à-dire le cours d'eau d'ordre x + 1 formé par la réunion de deux cours d'eau d'ordre x.

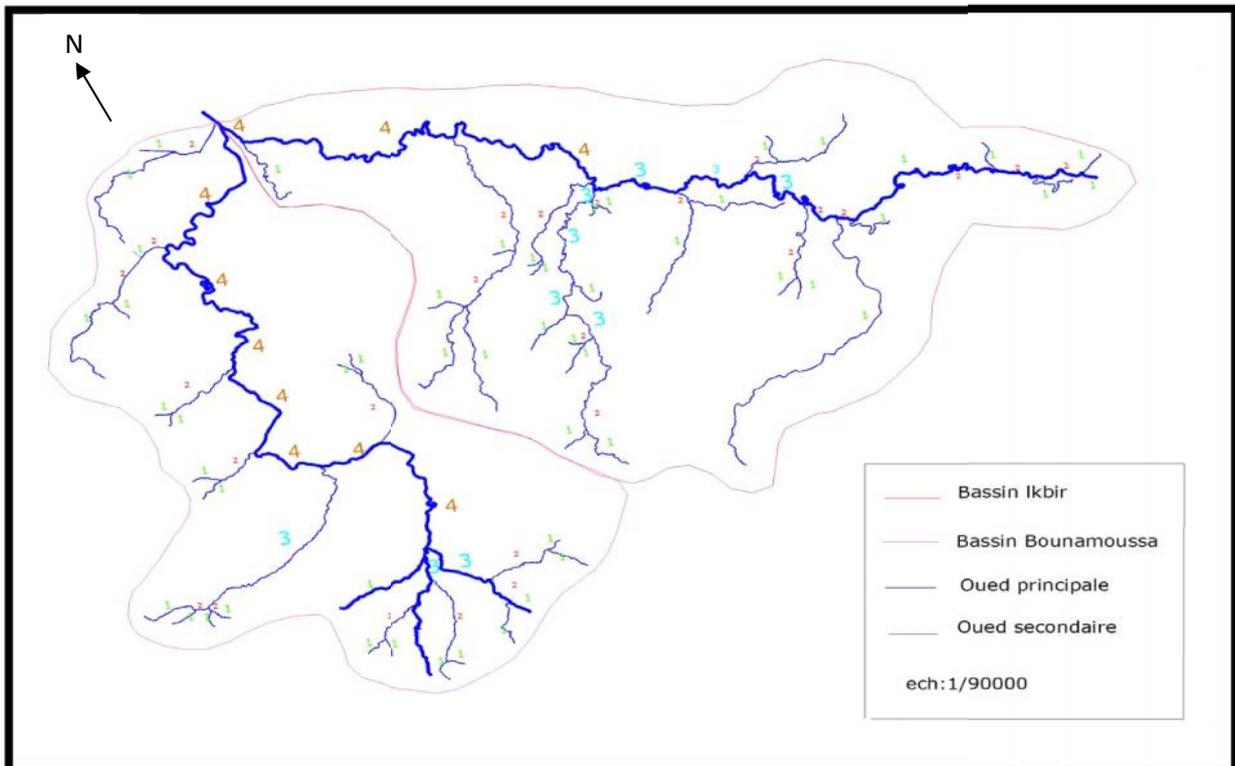


Figure II 12 Classification de Schumm du Bassin Kébir et Bounamousa.

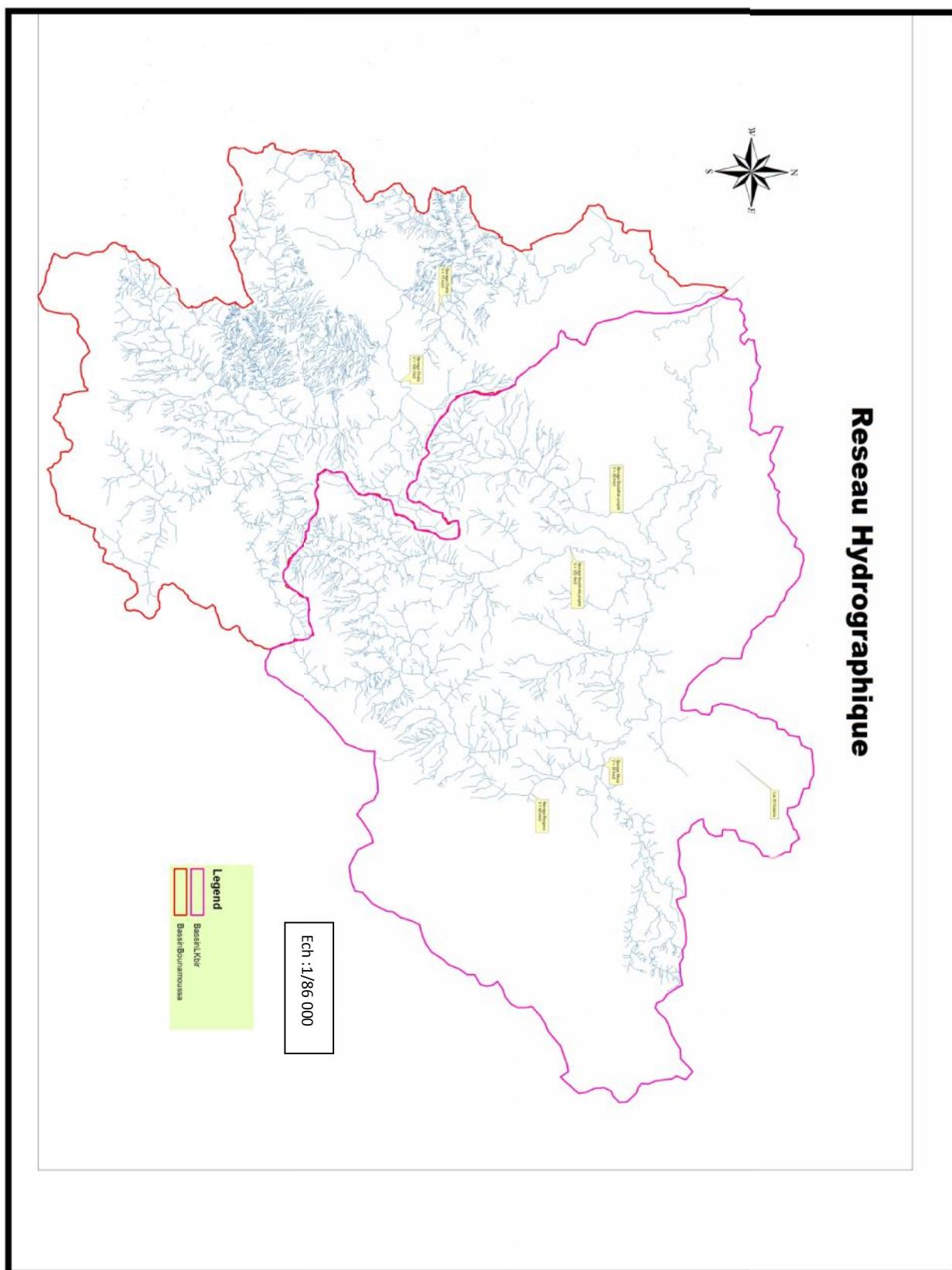


Figure 13 Réseau hydrographique (Arc Gis).

II.8.2. Densité de Drainage

La relation de la densité de drainage est donnée par la formule suivante :

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{S} \dots\dots\dots (II.10)$$

l_i : longueur totale des cours d'eau d'ordre i (km) ;

n : l'ordre le plus élevé dans la classification.

$n=4$: pour bassin d'oued Kébir et pour le bassin d'oued Bounamoussa.

S : La surface de sous bassin.

.8.3. Coefficient de Torrentialité

Il se calcul à partir de la formule suivante : $C_T = D_d \times F_1 \dots\dots\dots (.11)$

Avec :

F_1 : Fréquence des talwegs d'ordre 01 ;

$$F = \frac{N_1}{S} \dots\dots\dots (.12)$$

N_1 : Nombre de talwegs d'ordre 01;

S : La surface de sous bassin.

Les résultats de calcul de coefficient de ruissèlement et le coefficient de torrentialité sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 9 Densité de drainage et coefficient de torrentialité

| | Unité | Valeur (SB1) | Valeur (SB2) |
|------------------------------|--------------------|--------------|--------------|
| Densité de drainage | Km/km ² | 0,71 | 0,69 |
| Coefficient de torrentialité | / | 0,16 | 0,15 |

.8.4.Temps de concentration

Le temps de concentration est le temps écoulé entre le début d'une précipitation et l'atteinte du débit maximal à l'exutoire du bassin versant. Il correspond au temps nécessaire pour permettre à l'eau de ruisseler du point le plus reculé du bassin versant jusqu'à l'exutoire.

Plusieurs méthodes simplifiées sont utilisées pour estimer le temps de concentration sur les bassins versants. Chaque méthode convient à des conditions distinctes de type de sol, de pentes, de superficies de bassins versants.

Les formules utilisées, en tenant compte des caractéristiques physiques des sous bassins versants, sont les suivantes:

I .8.4.1. Formule de GIANDOTTI : $T_C = \frac{4 \times \sqrt{S} + 1.5 \times L}{0.8 \sqrt{H}} \dots\dots\dots (.14)$

I.8.4.3. Formule de SCS Californienne : $T_C = 58 * [L^3 / H]^{-0.385} \dots\dots\dots (.15)$

I.8.4.4. Formule de Ramser - Kirpich : $T_C = 4 * (L / \sqrt{H / L})^{0.77} \dots\dots\dots (.16)$

Où :

T_c = temps de concentration en min;

S = Surface du bassin versant (Km²);

$H = H_{moy} - H_{min}$

H_{moy} : Altitude moyenne du bassin versant;

H_{min} : Altitude minimale du bassin versant;

L : Longueur du talweg principal (m).

Les résultats des différents calculs obtenus par les méthodes précédentes sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau 10 Temps de concentration.

| Bassin Versant | Formules | Tc, (min) | Tc, H | Tc(h) Moyen |
|-------------------------|----------------|-------------|-------|----------------|
| Oued Kébir | Giandotti | 1348,02204 | 22,47 | 22,66 |
| | Ventura | 2651,935812 | 44,2 | |
| | Ramser-Kirpich | 714,3213553 | 11,90 | |
| | California | 724,8725205 | 12,08 | |
| Bassin Versant | Formules | Tc, min | Tc, H | Tc(h) Moyen |
| Oued Bounamoussa | Giandotti | 994,436619 | 16,57 | 17,40 |
| | Ventura | 2007,376591 | 33,47 | |
| | Ramser-Kirpich | 583,476623 | 9,72 | |
| | California | 592,0950945 | 9,87 | |

I .8.5.vitesse moyenne de transfert des eaux

Cette vitesse est donnée par la formule suivante :

$$V_r = L/T_c \dots\dots\dots (II.17)$$

L : longueur de talweg principale en (km) ;

V_r : temps de concentration en (heure).

Les résultats de la vitesse moyenne de ruissellement dans le tableau suivant :

Tableau II-11 La vitesse de transfert des eaux

| Sous bassin | Sb ₁ | Sb ₂ |
|----------------------------|-----------------|-----------------|
| V_r(km/h) | 4,16 | 4,80 |

I .8.6. Occupation du sol

De part sa lithologie diversifiée (roches imperméables et des roches très perméables), le bassin de la Mafragh favorise l'écoulement d'une part et l'infiltration d'autre part ce qui explique la présence d'un réseau de drainage d'une densité de ramification moyenne à faible. La densité de drainage du bassin, confirme que le réseau hydrographique est faible.

Aussi étant donné que 70 % de la superficie totale du bassin présente une pente inférieure à 2 %, le relief possède une sensibilité faible à l'érosion. Néanmoins, le relief du bassin de la Mafragh est assez fort.

Tableau II 12 Superficie de la végétation par rapport à celle du bassin versant.

| Espèces | Forêts | Maquis | Reboisements | Plante-Fruitières | Vides labourables |
|---|--------|--------|--------------|-------------------|-------------------|
| Pourcentage par rapport à la Superficie Totale | 42,19% | 38,97% | 15,65% | 0,30% | 2,86% |

I .8.7. Coefficient de Ruissellement

Le coefficient de ruissellement est généralement tabulé en fonction des conditions physiques du bassin versant (relief, sols, végétation, taux d'urbanisation), il est déterminé sur la base de classifications dressées par L'A.N.R.H sur les bassins versants algériens en fonction de leurs sols, de la taille du bassin, et de la pluviométrie journalière de fréquence 1% (Annexe n°01).

Dans notre cas, le coefficient de ruissellement est ajusté en fonction des caractéristiques particulières des bassins versants :

- Sol particulier ;
- Présence des agglomérations ;
- Surface spécifique : routière, ferroviaire ;
- Nature du sol (fissuré, perméable, imperméable...) ;
- Occupation du sol (forets, prairies, pâturages terrain nu,...).

Des coefficients de ruissellement spécifiques à chaque surface ont été retenus:

Tableau II 13 Coefficients de ruissellement selon le type de surface

| Types de Surface | Asphaltes, roches non fissurées, béton | Sols argileux et sols encroûtés | Sols forestiers argileux et lourds | Læss et sols carbonatés | Limons sableux | MOYEN |
|------------------|--|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------|----------------|-------|
| Cr | 1 | 0,6 | 0,45 | 0,3 | 0,15 | 0,50 |

I.8.8. Profil en long des cours d'eau

La topographie :

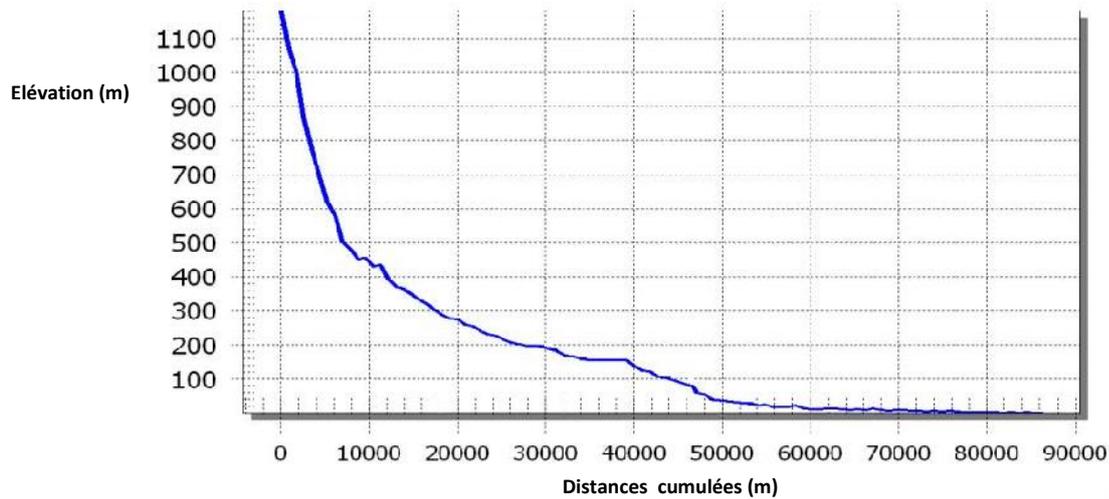


Figure 13 Profil en Long du Cours d'eau Bounamoussa

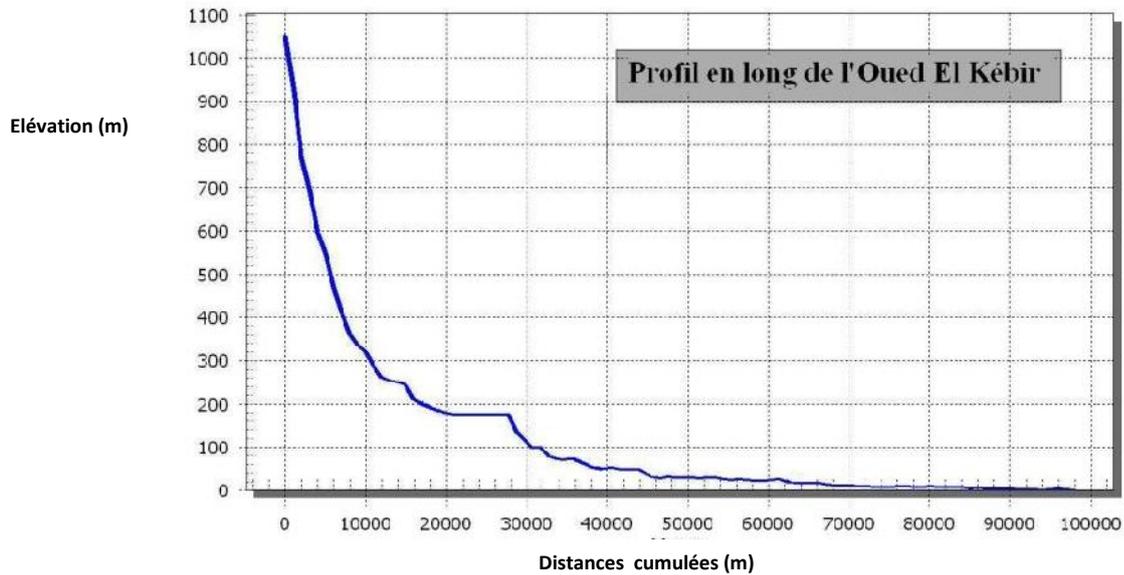


Figure 14 Profil en long du cours d'eau Kébir

Tableau II 14 Caractéristique hydromorphométrique des bassins versants.

| Désignation | unité | symbole | Sous bassin Kébir | Sous bassin Bounamoussa |
|---|--------------------|------------------|-------------------|-------------------------|
| Surface | Km ² | S | 1520 | 1160 |
| Altitude maximale | m | H _{max} | 1200 | 1400 |
| Altitude minimale | m | H _{min} | 0 | 200 |
| Altitude moyenne | m | H _{mov} | 238,3 | 394,1 |
| Altitude médiane | m | H _{méd} | 400 | 600 |
| Indice de pente globale | m/km | I _g | 7,00 | 9,03 |
| Pente moyenne du bassin versant | m/km | I _m | 8.3 | 9.6 |
| Indice de pente de roche | m/km | I _p | 4.6 | 6.7 |
| Densité de drainage | km/km ² | D _d | 0,71 | 0,69 |
| Longueur du cours d'eau principale | Km | L | 94,28 | 82,67 |
| Périmètre du bassin | Km | P | 305,9 | 305,5 |
| Indice de compacité de Gravelius | / | K _G | 2,21 | 2,53 |
| Temps de concentration | H | T _c | 22,66 | 17,40 |
| La dénivelée spécifique | m | D _s | 181,07 | 183,39 |
| Indice d'allongement | C _a | / | 5,85 | 5,89 |
| Rectangle équivalent | km | L _r | 143,09 | 144,77 |
| | km | lr | 10,77 | 8,43 |

Conclusion

Une présentation fiable de la zone d'étude s'avère d'une grande importance, vu le taux d'information qu'elle nous fournit, ce que nous permet d'évaluer les risques et d'estimer les catastrophe qui peut être engendré par un phénomène naturel comme les crues.

CHAPITRE III

ETUDE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET TOPOGRAPHIQUE

Introduction

Pour meilleure maîtrise de la réserve en eau souterraine dans l'espace étudié, il est nécessaire d'identifier les différents systèmes des aquifères rencontrés.

Le système hydrogéologique peut être schématisé de la façon suivante :

- Des aquifères superficiels exploités en grand partie par des puits domestiques et dont la lithologie varie d'une zone à l'autre.
- Des nappes profondes reconnues par des forages profonds.

III.1. Aperçu hydrogéologique de la zone d'étude

.1.1. Contexte hydrogéologiques

D'après les auteurs des rapports de l'A.B.H (2002) d'Energoproject-Enhyd (1985), deux nappes peuvent être distinguées dans le système aquifère de la plaine d'El Taref. La nappe phréatique qui d'après les auteurs du rapport de 2002 couvre l'ensemble de la superficie de la plaine.

Elle est contenue dans des formations alluvionnaires et des argiles plus ou moins sableuses et est séparée de la nappe captive par un horizon argileux qui forme à la fois le substratum de la nappe captive superficielle et le toit de la nappe captive des graviers. L'épaisseur de la nappe varie entre 2 et 20 m.

En saison humide, la nappe affleure en formant des marécages au nord d'EL Taref. La deuxième nappe captive, elle est contenue dans un réservoir constitué de galets et de graviers surmonté par un toit argileux d'épaisseur importante. Dans la région NO de la plaine la puissance de la nappe oscille entre 4 et 15 m.

La transmissivité varie entre $1,24 \cdot 10^{-3}$ à $3,5 \cdot 10^{-3}$ m^2/s à l'ouest de la plaine et de $2,1 \cdot 10^{-3}$ à $8,8 \cdot 10^{-3}$ m^2/s et la perméabilité entre $1,5 \cdot 10^{-5}$ à $7 \cdot 10^{-5}$ m/s (A.B.H.2002), la profondeur de la nappe varie entre 2 et 20 m.

.1.2. Les différentes nappes du système aquifère du bassin versant de la Mafragh Plaines d'El Taref

.1.2.1. Nappe profonde

Cette nappe s'étend de l'est vers l'ouest avec un substratum marneux et un toit argileux d'épaisseur importante, le réservoir est constitué de galets et de graviers. La puissance de la nappe varie suivant la morphologie du substratum de 5 à 15m. La productivité d'un forage de cette nappe est de 4,0-10,1 l/s (Energoprojectenhyd, 1992).

.1.2.2. Nappe superficielle

Elle couvre la totalité de la plaine d'EL Taref, elle est contenue dans les formations alluvionnaires et les argiles plus ou moins sableuses, elle est séparée de la nappe captive par un horizon argileux qui constitue le toit de la nappe captive et le substratum de cette nappe. Ce sont les précipitations efficaces qui alimentent cette nappe.

Au centre de la plaine la fluctuation est très importante avec une amplitude maximale de 4.5m, cela est dû à l'exploitation par de nombreux puits, en allant vers le Nord de la plaine la fluctuation diminue ; ceci est peut être dû au drainage des oueds ; EL Kébir EST et Messida par la nappe, par ailleurs au Sud –Ouest de la plaine la fluctuation varie de 1,5 à 2,5m cela est dû à l'alimentation de la nappe par oued Guergour.

.2. Aperçu géologique de la zone d'étude

Ñ contexte géologique

D'après les études antérieures réalisées dans notre zone d'étude, l'essentiel des formations affleurant dans la région sont d'âge tertiaire et quaternaire.

Le tertiaire est essentiellement représenté par des formations gréso-argileuses du numidien, qui couvrent de grandes superficies depuis le lac Fetzara jusqu'à la frontière tunisienne, les auteurs distinguent l'Eocène qui correspond à une série transgressive de calcaires massifs affleurant dans les monts de la Chafia. L'Oligocène est représenté dans les monts de Cheffia et Bouteldja par un important système argilo-gréseux du numidien, formé par des argiles à la base surmontée par des grés. Le Mio-Pliocène correspond à une série d'éboulis numidiens sous forme de sable, d'argile, graviers et conglomérats. Cette série constitue les remplissages des fosses d'effondrement de la vallée de la Seybouse et de Bounamoussa.

Le Quaternaire est représenté par le Quaternaire Ancien caractérisé par des formations alluvionnaires situées entre 100 et 150 m d'altitude au dessus de la Seybouse.

Le Quaternaire moyen est bien développé le long des vallées des oueds, il est caractérisé par des matériaux alluvionnaires (limons et cailloux) situés à une altitude de plus de 50 m au dessus des vallées des oueds. Le Quaternaire récent est caractérisé par les dépôts de langes dans la région d'El Kala (Lacs Tonga, Oubeia, Mellah) et des sables des dunes littorales, Le Quaternaire actuel constitue généralement les lits des oueds, Le Quaternaire actuel constitue généralement les lits des oueds (sables, cailloux) et les plages actuelles (cordon dunaire) constitué par des sables d'origine marine.

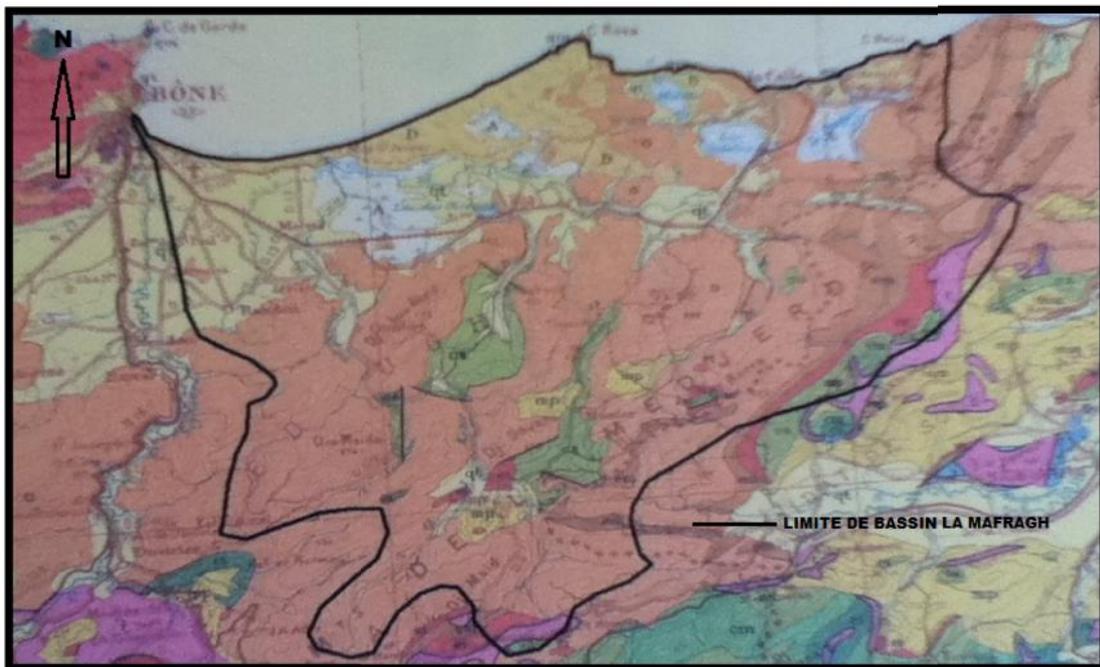


Figure 1 Carte géologique de la zone d'étude

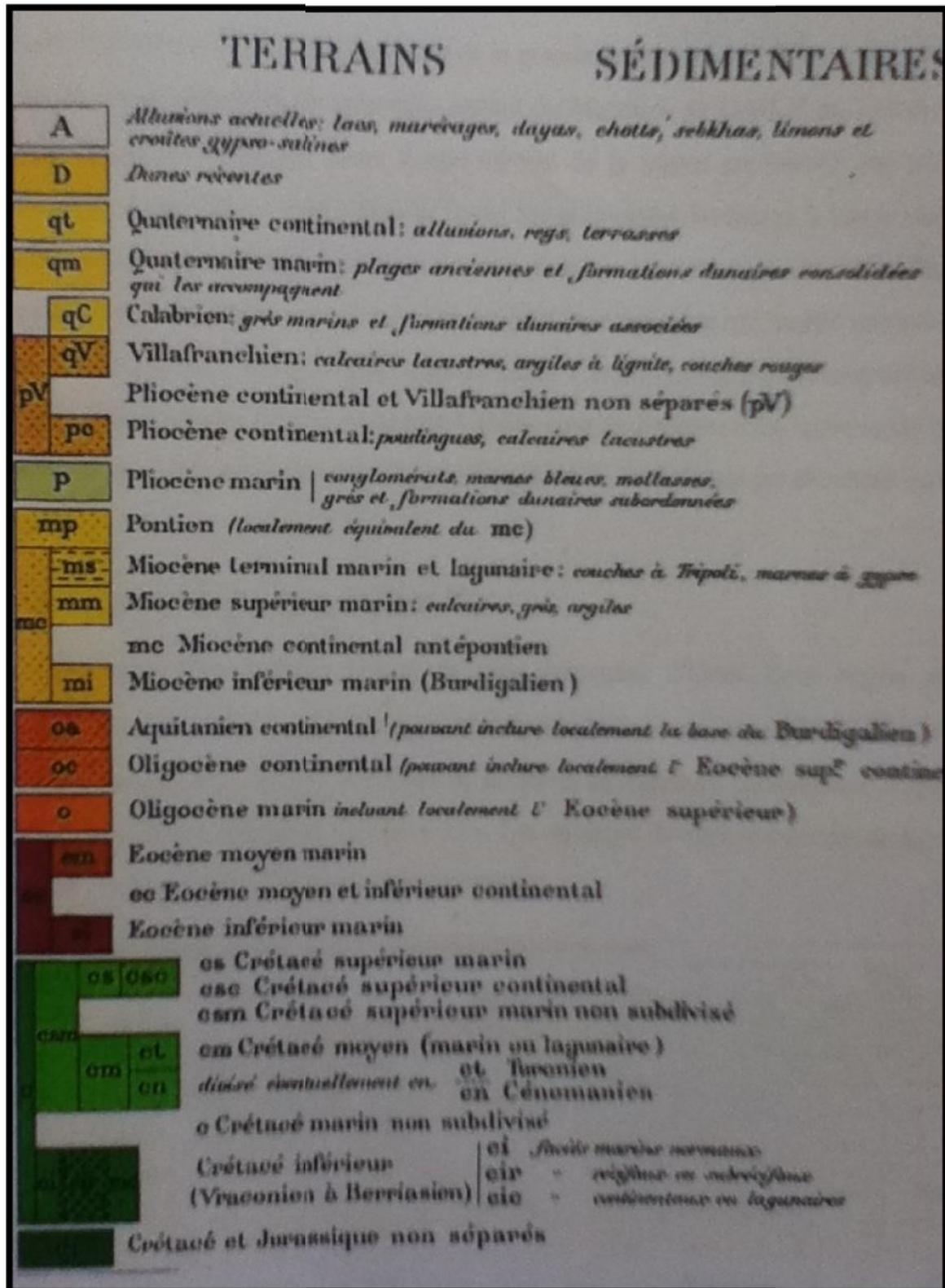


Figure 2 Légende de la carte géologique d'El Tarf « extraire de la carte géologique d'Algérie éch 1/500 000»

.3. Reconnaissance du site

Situation et topographique :

Le terrain objet de l'étude est situé le long de l'oued « la MAFEAGH », sur le dernier tronçon, près du rejet dans l'étude dans la mer méditerranée, pas loin de l'agglomération secondaire de Sidi Mobarak, commune Ben M'hidi wilaya d'El Taref.

.3.1. Reconnaissance des sols

.3.1.1. Organisation de la reconnaissance

.3.1.1.1. In-Situ

Les sondages s'agissent d'une reconnaissance profonde, qui consiste à réaliser un trou dans le sol au moyen d'un outil d'attaque fixé à un train de tige.

Ces forages servent aux prélèvements d'échantillons intacts ou remaniés à travers les couches traversées du terrain ; Ces derniers serviront par la suite à la détermination en laboratoire des caractéristiques physico mécaniques et chimiques.

Aux fins de déterminer d'une part, la nature géologique du terrain et d'autre part, les caractéristiques géotechnique des sols en place, le LHC EST a réalisé le programme de reconnaissance suivant :

- Quatre(04) sondages carottés avec prélèvement d'échantillons intacts ou remaniés.
- Dix huit (18) puits de 3,00m de profondeur.

L'implantation des essais réalisés est représentée sur un plan donné en annexe A

.3.1.1.2. Au laboratoire

Il s'agit d'une reconnaissance profonde, qui consiste à réaliser un trou dans le sol au moyen d'un outil d'attaque fixé à un train de tige.

Les échantillons récupérés lors des sondages carottés et des prélèvements (puits), ont été soumis aux différents essais de laboratoire suivants :

Ñ Analyse granulométrique

Cette analyse étudie la répartition des grains constituant un sol donné selon leur taille. Elle s'effectue à l'aide d'un tamisage mécanique pour les grains dont la taille est supérieure à 0.1 mm. Pour les grains de taille inférieure l'essai de sédimentations est plus approprié.

Les résultats de cette analyse sont présents sous forme d'un tableau en Annexe B

Ñ Limites d'ATTERBERG

Les limites d'Atterberg caractérisent les différents états de consistance d'un sol fin. A l'état plastique, les grains se sont rapprochés et ont mis en commun leurs couches adsorbées si bien qu'ils sont reliés par les chaînes de molécules d'eau qui s'accroche à leurs deux extrémités sur chaque grain. Lorsqu'il y a mouvement, les grains restent attachés les uns aux autres, sans s'éloigner.

A l'état solide en fin, les grains sont encore plus près les uns des autres, ils arrivent même en contact en quelques points, en chassant l'eau adsorbée. Les frottements internes sont alors importants.

Les résultats de cette essai résumé par le tableau de l'annexe C

Ñ Masse volumique

La masse volumique d'un sol est quotient de la masse (m) du sol par le volume (V) qu'il occupe (y compris les vides qu'il contient).

Les résultats représenté dans le tableau de l'annexe D

Ñ La teneur en eau (W_p)

La teneur en eau se définit comme étant le rapport en pourcentage de poids d'eau libre au poids des éléments solide.

Les résultats sont donnés dans le tableau de l'annexe E.

\hat{N} Degré de saturation (S_r)

Le degré de saturation (S_r) indique la quantité d'eau contenue dans le sol. Il s'agit du rapport du volume occupé par l'eau au volume total des vides. Les résultats de l'essai de Proctor normal sont donnés dans le tableau de l'annexe F.

4. La topographie du terrain

La reconnaissance exige obligatoirement une visite du site et de l'aire d'étude, une étude topographique détaillée de l'oued a été établie à partir de la confluence des oueds (oueds Kébir et oued Bounamoussa) vers l'embouchure sur un linéaire de 2.1 km.

Le levé topographique a pour objet de déterminer le relief du terrain ainsi que tous les détails à partir de la confluence des deux oueds vers de l'oued Mafragh.

4.1. Localisation de l'aire d'étude

L'oued Mafragh est situé à 30km au Nord-Ouest de la ville d'El Taref, dont les coordonnées sont :

| Exutoire | X(m) | Y(m) | Z(m) |
|-------------------|---------|----------|------|
| Coordonnée locale | 405 550 | 4078 150 | 3.00 |



Figure 3 Vue en plan sur photo satellite

5. Caractéristique Géotechnique

A partir de la reconnaissance géotechnique réalisée, il ressort que la zone au sud du pont est argileuse, avec une portance inférieure ou égale à 1 bar et une compressibilité importante ; La zone plus au Nord est constituée par du sable.

Le terrain des berges d'Oued Mafragh est formé essentiellement, après une couverture végétale 0.50m d'épaisseur environ par endroits, d'une couche d'argile limoneuse de diverses couleurs légèrement à peu sableuse et parfois vaseuse au niveau du sondage S1 et des puits F12, F14, F15, F16 et F17.

Au niveau des sondages carottés S2, S3, S4 et des puits F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9, F10, F11, F13 et F18 le terrain est constitué de sable grossier à moyen parfois légèrement argileux.



Figure 4 Plan d'implantation des travaux géotechniques.

Conclusion

Sur la base des coupes de sondage nous avons pu reconnaître la lithologie des formations au niveau de la zone d'étude le long d'oued de la Mafragh.

D'après les études antérieures réalisées dans notre zone d'étude, l'essentiel des formations affleurant dans la région sont d'âge tertiaire et quaternaire.

La reconnaissance exige obligatoirement une visite du site et de l'aire d'étude, une étude topographique détaillée de l'oued a été établie à partir de la confluence des oueds (oueds Kébir et oued Bounamoussa) vers l'embouchure sur un linéaire de 2,1 km.

Les échantillons les plus appropriés qui ont montré les meilleures caractéristiques physiques, mécaniques et hydrauliques pourront être utilisés.

CHAPITRE IV

UTILES ET CODES DE CALCUL DE MODELISATION

Introduction

L'aménagement des bassins versants a évolué en plusieurs étapes. Dans un premier temps il a été rattaché à la sylviculture et à l'hydrologie forestière. La participation des populations n'était pas prise en compte. Il concernait seulement les services forestiers publics. Dans un deuxième temps, un lien a été établi avec la gestion des ressources en terres et les bénéfices économiques y afférant. Une plus grande attention a alors été portée aux bénéficiaires. Aujourd'hui, on parle d'un aménagement «participatif et intégré», fondé sur la participation et la contribution des populations locales.

Un logiciel est un ensemble de séquences d'instructions interprétables par une machine et d'un jeu de données nécessaire à ces opérations. Le logiciel détermine donc les tâches qui peuvent-être effectuées par la machine, ordonne son fonctionnement et lui procure ainsi son utilité fonctionnelle.

Les séquences d'instructions appelées « programmes » ainsi que les données du logiciel sont ordinairement structurés en fichiers. La mise en œuvre des instructions du logiciel est appelée exécution, et la machine est appelée ordinateur ou calculateur.

Dans ce chapitre on donne une petite définition des logiciels utilisés pour les calculs, et les étapes à suivre :

IV. 1. Système d'information géographique (SIG)

IV.1.1. Historique

Dans les années 1960, les cartes de l'Afrique de l'Est trop nombreuses pour permettre de localiser les meilleurs endroits pour créer de nouvelles implantations forestières font naître l'idée d'utiliser l'informatique pour traiter les données géographiques.

L'usage accru de ces techniques et méthodes dans la science et l'aménagement du territoire et pour le suivi, la gestion et protection de la biodiversité a été permis par l'avancée de l'informatique, et encouragé par la prise de conscience environnementale. Cette évolution des applications a permis de nouvelles approches scientifiques transdisciplinaires et collaboratives. Et ce depuis les années 1970.

Maguire *et al.* (1991) distinguent trois périodes principales dans l'évolution des SIG :

- Fin des années 1950 – milieu des années 1970 : début de l'informatique, premières cartographies automatiques et naissance de l'éditeur de logiciels SIG ESRI (en 1969) ;
- Milieu des années 1970 - début des années 1980 : diffusion des outils de cartographie automatique SIG dans les organismes d'État (armée, cadastre, services topographiques...);
- Depuis les années 1980 : croissance du marché des logiciels, développements des applications sur PC, mise en réseau (bases de données distribuées, avec depuis les années 1990, des applications sur Internet) et une banalisation de l'usage de l'information géographique (cartographie sur Internet, calcul d'itinéraires routiers, utilisation d'outils embarqués liés au GPS...), apparition de logiciels libres ou d'outils dédiés aux pratiques coopératives, etc.

IV.1.2. Définition

Le SIG est un système d'information permettant de créer, d'organiser et de présenter des données alphanumériques spatialement référencées, autrement dit Géoréférencées, ainsi que de produire des plans et des cartes. Ses usages couvrent les activités Géomatiques de traitement, de partage et de diffusion de l'information géographique.

La représentation est généralement en deux dimensions, mais un rendu 3D ou une animation présentant des variations temporelles sur un territoire sont possibles.

IV.1.3. Les composants d'un SIG

Un Système d'Information Géographique est constitué de 5 composants majeurs :

- **Matériel**
Les SIG fonctionnent aujourd'hui sur une très large gamme d'ordinateurs des serveurs de données aux ordinateurs de bureaux connectés en réseau ou utilisés de façon autonome.
- **Logiciels**
Les logiciels de SIG offrent les outils et les fonctions pour stocker, analyser et afficher toutes les informations ; Principaux composants logiciel d'un SIG :
 - Outils pour saisir et manipuler les informations géographiques.
 - Système de gestion de base de données.
 - Outils géographiques de requête, analyse et visualisation.
 - Interface graphique utilisateur pour une utilisation facile.
- **Données**
Les données sont certainement les composantes les plus importantes des SIG. Les données géographiques et les données tabulaires associées peuvent, soit être constituées en interne, soit acquises auprès de producteurs de données.
- **Utilisateurs**
Un Système d'Information Géographique (SIG) étant avant tout un outil, c'est son utilisation (et donc, son ou ses utilisateurs) qui permet d'en exploiter la quintessence. Les SIG s'adressent à une très grande communauté d'utilisateurs depuis ceux qui créent et maintiennent les systèmes, jusqu'aux personnes utilisant dans leur travail quotidien la dimension géographique. Avec l'avènement des SIG sur Internet, la communauté des utilisateurs de SIG s'agrandit de façon importante chaque jour et il est raisonnable de penser qu'à brève échéance, nous serons tous à des niveaux différents des utilisateurs de SIG.
- **Méthodes**
La mise en œuvre et l'exploitation d'un SIG ne peut s'envisager sans le respect de certaines règles et procédures propres à chaque organisation.

IV.1.4. Usage de SIG

L'usage courant du système d'information géographique est la représentation plus ou moins réaliste de l'environnement spatial en se basant sur des primitives géométriques : points, des vecteurs (arcs), des polygones ou des maillages (raster). À ces primitives sont associées des informations attributaires telles que la nature (route, voie ferrée, forêt, etc.) ou toute autre information contextuelle (nombre d'habitants, type ou superficie d'une commune)

Le domaine d'appartenance de ce type de systèmes d'information est celui des sciences de l'information géographique ; L'information géographique peut être définie comme l'ensemble de la description d'un objet et de sa position géographique à la surface de la Terre.

IV.1.5. Fonctionnalités d'un SIG

Un SIG le plus connu est fourni par la société Google, sous deux formes : Google Maps et Google Earth. Il est néanmoins important de préciser que c'est un logiciel accessible au grand public, comprenant des fonctionnalités beaucoup moins avancées que des logiciels SIG experts, tels que ArcGIS, MapInfo ou QGIS. C'est grâce aux logiciels de Google que les SIG sont en train de se démocratiser. Il est très facile d'incorporer dans un site Web un élément de cartes Google Map en y incluant une balise positionnée avec ses coordonnées géographiques (latitude, longitude dans le système WGS).

IV.2. Logiciel Arc Gis

IV.2.1. Présentation de Logiciel

En 1981 ESRI lança son premier logiciel SIG commercial Apple Arc Info, qui combine l'affichage d'entités géographiques points, lignes ou polygones avec des outils de gestion de bases de données pour associer des attributs à ces entités.

Le modèle de données géographiques utilisé alors était appelé « modèle géorelationnel ».

Arc GIS constitue un instrument de visualisation, d'organisation et d'analyse de données géo référencées. Tout comme Mapinfo, il fonctionne principalement en mode objet, mais offre de grandes possibilités au niveau du traitement des rasters si l'on dispose des extensions du programme appropriées. Il fait partie de la série des logiciels ESRI. Bien entendu amélioré par rapport à Arcview 3.2 (notamment au niveau de l'utilisation de l'interface, plus agréable, et de la présentation des données, beaucoup plus soignée), la différence fondamentale entre Arc GIS10 et les versions antérieures réside dans la « partition » du logiciel et qu'Arc Gis 10 offre la possibilité du traitement des imageries satellitaires. On a présent affaire à une série de programmes distincts :

- **Arc Map**

C'est l'application principale. Elle permet de visualiser les données, de les saisir et les mettre à jour, géographiques sous la forme d'une carte, imprimable et stockée sur disque. Une carte peut-être affichée sous 2 modes :

Le mode donné et le mode mise en page.

Le premier permet d'effectuer des opérations comme des mesures, des interrogations ou des requêtes. Le deuxième est composé de données géographiques, des légendes, des titres, des flèches du Nord. Le passage de l'un à l'autre se fait par un onglet en bas à gauche de la fenêtre.

- Mode Données (appelé « source ») pour consulter ou mettre à jour les données
- Mode Mise en page : pour préparer la carte en vue de l'édition.



Figure IV1 Fenêtre représentant le module Arc Map.

- **Arc Toolbox**

C'est une interface graphique des commandes "ARC". Elle permet d'effectuer des opérations de calculs, de conversion, de croisements... via un assistant. Ce module est disponible sous Arc Catalog et sous Arc Map en l'activant à l'aide de L'icône dans la barre des tâches.

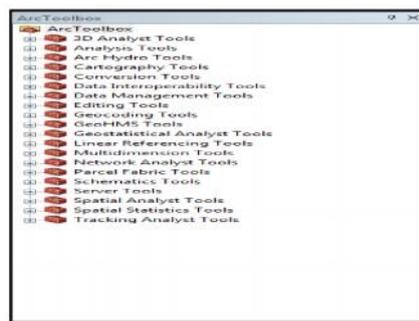


Figure IV 2 Fenêtre représentant le programme Arc Toolbox

- **Arc Catalog**

Il permet l'exploration et l'organisation des différents types de données. Son Utilisation ne s'y limite pas. Il autorise la visualisation des données géographiques et attributaires, des opérations de modification sur les données (ajout suppression, organisation des attributs modification des projections...) et le renseignement des métadonnées.

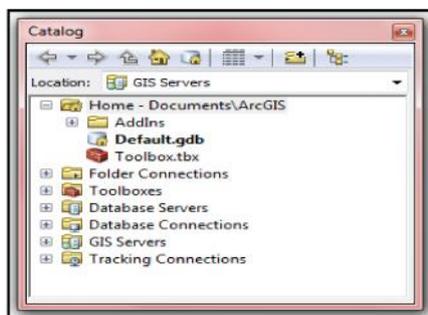


Figure IV3 Fenêtre représentant le programme Arc Catalog

- **Arc Scene**

Pour la visualisation et l'exploration de couches en 3D.



Figure IV4 Barre du programme Arc Scene

- **Arc Globe**

Pour la visualisation de couches sur un globe terrestre (sphère).

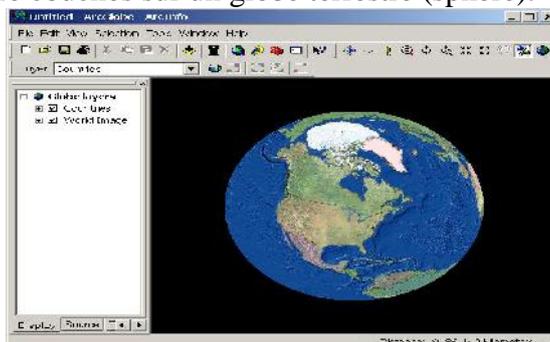


Figure IV5 Fenêtre représentant le programme Arc Globe

IV.2.2.La base des données d'Arc Gis

Le logiciel Arc Gis offre une énormément possibilité du stockage des données géographique à l'aide de l'outil du stockage la Géodatabase.

- **Géodatabase**

La Géodabase est une **Base de données** structuré et organisé permettant le stockage de grandes quantités d'informations afin d'en faciliter l'exploitation (ajout, mise à jour, recherche de données). La Géodatabase permet :

- le stockage de données vectorielles, raster, tabulaires dans une seule base de données (SGBD) ;
- La formalisation des relations entre les classes d'objets, la définition des règles de validation pour les attributs, assure le contrôle de cohérence de la topologie au niveau des objets et entre les classes d'objet.

Il existe trois types de **GéoDatabase** d'ESRI. Vous devez choisir celle qui convient le mieux à votre projet avant de la créer. Vous apprendrez à utiliser la « GéoDatabase Fichier » ou « File GéoDatabase » durant ce cours. Mais voici maintenant une présentation des trois types de GéoDatabase :

- **La GéoDatabase Fichier**

Stocke les ensembles de données dans un dossier Windows. Chaque ensemble de données peut « peser » jusqu'à 1To. Cette base de données peut être cryptée et sécurisée.

- **La GéoDatabase personnelle**

Stocke les données dans une base de données Access (.MDB). La taille maximale de cette base de données est de 250 à 500 mo et elle ne peut être utilisée que dans l'environnement Microsoft Windows.

- **La GéoDatabase ARCSDE**

Stocke les données dans des bases de données externes et beaucoup plus lourdes à gérer mais aussi plus performantes comme Oracle, DB2, SQL, Server, etc.

Les GéoDatabase peuvent contenir des Classes d'entités (Feature class), des jeux de classes d'entités (Feature dataset), des classes d'objets (Object class) aussi appelées Tables ainsi que des fichiers Raster.

Une **classe d'entités** est un ensemble homogène d'entités. Toutes les entités ont la même géométrie (point, poly ligne, polygone,...) et les mêmes attributs. Ces attributs sont stockés dans la table de la classe d'entités. La notion de classe d'entités est similaire à la notion de fichier de formes (Shapefile).

Un **jeu de classes d'entités** est un ensemble de classes d'entités. Il regroupe des classes d'entités ayant des relations topologiques. Un jeu de classes d'entités peut aussi être utilisé pour regrouper des classes d'entités appartenant à une même thématique. Toutes les classes d'entités appartenant à un même jeu de classes d'entités sont stockées avec la même référence spatiale (datum, projection, domaines,...). La notion de jeu de classes d'entités est similaire à la notion de couverture.

Une **table** peut-être stockée dans une GéoDatabase. Elle se caractérise par un ensemble de champs et d'enregistrements. Les tables d'une GéoDatabase peuvent être reliées ou jointes à des tables ou à des classes d'entités de la même GéoDatabase.

Les fichiers **Raster** peuvent être stockés dans une GéoDatabase. Ils peuvent être mosaïqués en un seul jeu de Raster ou gérés comme un ensemble de fichiers différents dans un catalogue d'images.

Les relations, les domaines, les sous-types, les réseaux géométriques, les métadonnées et les références spatiales des couches sont aussi stockés dans la GéoDatabase.

IV.2.3.Modèles du traitement des données

Un modèle de traitement est une ou plusieurs opérations ou tâche Incluant ses intrants, ses extrants, et ses paramètres de traitement (environnement de traitement), liée(s) sous forme d'une séquence de travail. Les modèles de traitement permettant :

- De concevoir graphiquement un processus de géo-traitement complexe puis de l'implémenter;
- D'automatiser une séquence de travail;
- De modifier les paramètres d'un traitement complexe afin d'en comprendre l'impact (Création de scénarios) ; Etc.

Nous avons utilisé la le modèle du traitement « Model Builder » de Arc Gis. Ce dernier peut défini par :

- Un diagramme ou représentation graphique du modèle
- Il peut contenir un ou plusieurs des éléments suivants :
 - Intrant (Project Data) :
Données spatiales existant AVANT l'exécution du modèle
 - Opération (Tool) :
Traitement à appliquer aux intrants.
 - Extrant (Derived Data) :

- Données spatiales générées par l'opération sur les intrants
- N'existaient pas AVANT l'exécution du modèle (sauf dans le cas d'un outil modifiant directement l'intrant, comme ADD FIELD par exemple).
- Peuvent servir d'intrant à un autre processus du modèle courant.

IV.2.4. Etapes à suivre

IV.2.4.1. Géoréférencement d'une carte

Le géoréférencement consiste à utiliser des coordonnées cartographiques pour affecter un emplacement spatial à des entités cartographiques. Tous les éléments d'une couche de carte ont une position et une étendue géographiques spécifiques qui leur permettent d'être repérés sur la surface de la terre, ou près de celle-ci. La capacité de localiser avec précision des entités géographiques est essentielle pour la cartographie et le SIG, dans notre projet on a 27 pièces à l'échelle 1/25 000.

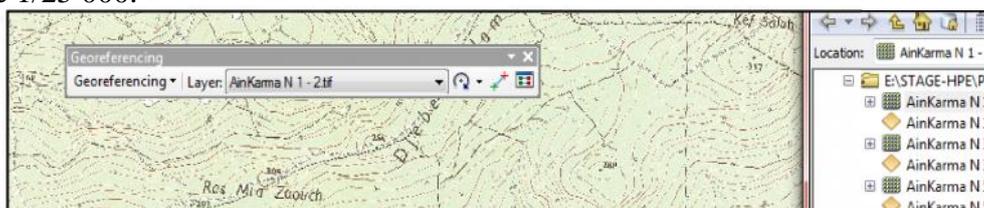


Figure IV6 Fenêtre de Géoréférencement

Les systèmes de coordonnées projetées utilisent également, et de plus en plus, une valeur Z pour mesurer l'altitude au-dessus ou en dessous du niveau moyen de la mer.

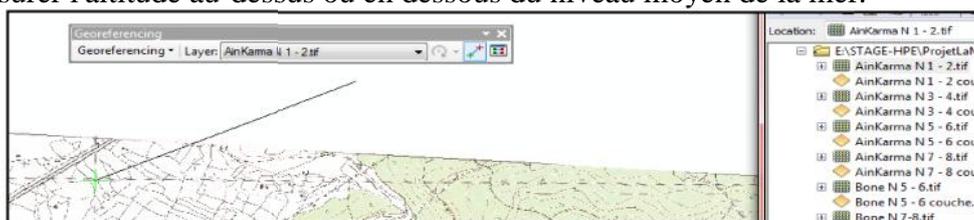


Figure IV7 Fenêtre représentant le positionnement de la carte.

Dans l'illustration ci-dessous, la notation (2, 3, 4) repère un point situé à deux unités positives sur x, trois unités positives sur y, (Link Table) à partir de l'origine, et dont l'altitude correspond à quatre unités au-dessus de la surface de la Terre (ce qui équivaut à 4 mètres au-dessus du niveau moyen de la mer).

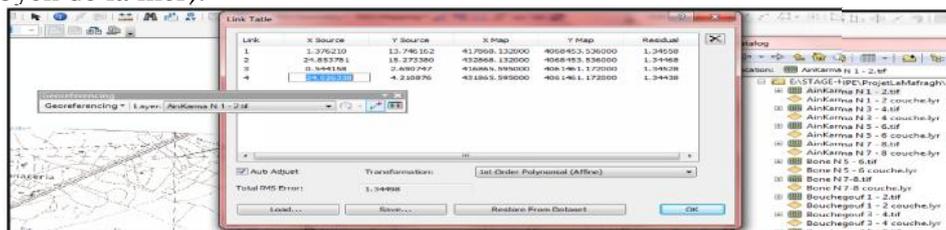


Figure IV8 Fenêtre du Link Table.

IV.2.4.2. Délimitation des sous Bassin

Utilisation des fonctionnalités majeures disponibles dans les outils Arc Hydro pour Raster analyse devra effectuer une analyse de drainage sur un modèle de terrain pour la San Marcos Bassin. L'Arc Hydro outils est utilisés pour calculer plusieurs ensembles de données qui décrivent collectivement le réseau hydrographique du bassin versant.

Raster analyse est effectuée pour générer des données sur la direction d'écoulement, l'accumulation de flux, la définition du cours d'eau, la segmentation de flux, et la délimitation des bassins versants. Ces données seront ensuite être utilisées pour développer une représentation vectorielle des bassins versants et les lignes de drainage de points choisis.

L'utilité des outils Hydro Arc est démontré par les appliquant à des attributs qui sont utiles pour la modélisation hydrologique.

On passe sur quatre étapes principales :

- Mise en route ;
- Configuration de prétraitement ;
- Terrain de prétraitement ;
- Traitement des bassins versants.

IV.2.4.3.Mise en route

Ouvrir ArcMap. Créer une nouvelle carte vide, et l'enregistrer. Faites un clic droit sur la barre de menu pour faire apparaître le menu contextuel montrant outils disponibles, comme indiqué ci-dessous :



Figure IV9 Fenêtre représentant le code Arc Hydro Tools 9

IV.2.4.4.Configuration Dataset

Le but de cette étape est de charger les données d'ArcMap, Cliquez sur le  icône pour ajouter les données raster. Crée un nouveau document ArcMap, Cliquez sur le bouton

ArcToolbox  dans ArcMap pour afficher ArcToolbox. En ArcToolbox, sélectionnez Outils de gestion des données → des projections et des transformations → Raster → projet Raster comme indiqué ci-dessous:



Figure IV10 Fenêtre représentant le Project Raster.

Double-cliquez sur **Raster projet** pour obtenir le formulaire ci-dessous:

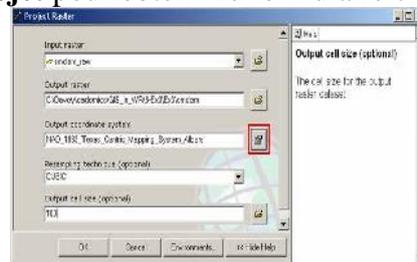


Figure IV11 Fenêtre représentant Project Raster.

IV.2.4.5.Prétraitement

Le terrain de prétraitement utilise le DEM pour identifier le modèle de drainage de surface. Une fois prétraitées, le DEM et ses dérivés peuvent être utilisées pour la délimitation des bassins hydrographiques et la production efficace réseau de cours d'eau, Toutes les étapes dans le prétraitement menu terrain doivent être effectuées dans un ordre séquentiel, de haut en bas.

- **DEM remise en état :**

Cette fonction modifie un DEM en imposant des éléments linéaires sur celui-ci, Il s'agit d'une mise en œuvre de la méthode ACCORD, Sélectionnez Prétraitement Terrain | Reconditionnement DEM, comme la photo suivante :



Figure IV12 Fenêtrant représentant DEM Reconditioning.

Sélectionnez le Raw appropriées DEM (smdem) et disposez de flux ACCORD (NHDFlowline_P). Définissez les paramètres d'accord, comme indiqué :



Figure IV13 Fenêtre représentant DEM Reconditioning (AGREE).

IV.2.4.6. Traitement des bassins versants

Arc Hydro fournit également un ensemble complet d'outils pour la délimitation des bassins versants et des sous-bassins hydrographiques. Ces outils reposent sur des ensembles de données acquis au cours de la transformation du terrain. Cette partie de l'exercice peut vous exposer à certaines des fonctionnalités de traitement des bassins versants en Arc Hydro. Les étapes à suivre pour le traitement des bassins versants :

1. Délimitation des bassins versants du lot ;
2. Délimitation Point Interactive ;
3. Délimitation sous-bassin hydrographique du lot ;
4. Flow Path Tracing.

IV.3. Logiciel Global Mapper 12

Le logiciel Global Mapper nous a permis de télécharger les données ASTER GDEM directement à partir du site officiel de la NASA (www.jpl.nasa.gov/gdem). L'utilisation de ce logiciel permet un gain de temps. La figure ci-après représente la fenêtre de téléchargement des données ASTER GDEM.

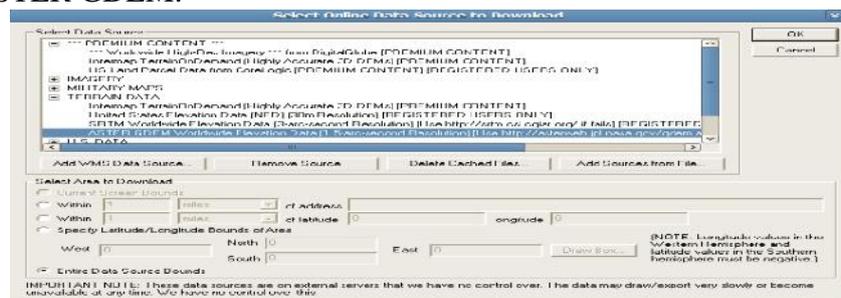


Figure IV14 Fenêtre représente le principe de téléchargement des données ASTER GDEM.

IV.4. Logiciel HEC-RAS 4.0

IV.4.1. Définition de logiciel

HEC-RAS est un logiciel intégré pour l'analyse hydraulique qui permet de simuler les écoulements à surface libre. Il a été conçu par le Hydrologic Engineering Center de l'US Army Corps of Engineers. Il s'agit d'une nouvelle version d'un modèle hydraulique auparavant nommé HEC-2, qui comporte maintenant une interface graphique permettant d'éditer, modifier et visualiser les données d'entrée de même d'observer les résultats obtenus.

IV.4.2. Description de la méthode utilisée

De manière générale, on se place dans les conditions les plus défavorables possibles, conditions gardant toutefois une certaine vraisemblance.

Deux calculs sont, en fait, effectués successivement :

- Celui qui conduit à déterminer le débit;
- La propagation de ce débit tout au long de la vallée.

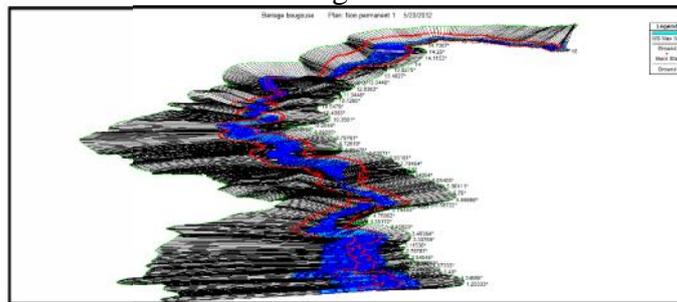


Figure IV15 Fenêtre représente les résultats de calculs de logiciel HEC-RAS.

Pour démarrer HEC RAS, double-cliquez sur l'icône  placé sur le bureau, ou bien allez dans le menu Démarrer et choisissez le programme HEC-RAS 4.0. Fait important à noter, HEC-RAS utilise comme symbole décimal le point, et non la virgule utilisée habituellement dans notre système d'unité.



Figure IV16 Fenêtre représente un message d'erreur

Un message d'erreur peut apparaître lors du démarrage si le symbole décimal spécifié pour votre ordinateur n'est pas le point. Vous pouvez changer ce symbole dans le Panneau de configuration de Windows.

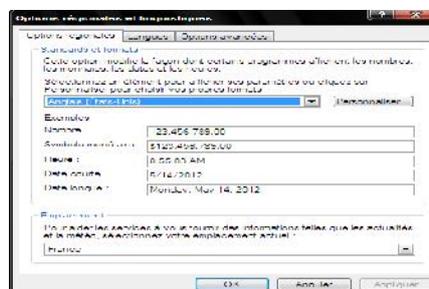


Figure IV17 Fenêtre représente options régionales et linguistique

Suite au démarrage de HEC-RAS vous devez obtenir la fenêtre principale de HEC-RAS qui illustrée à la figure ci-dessous.

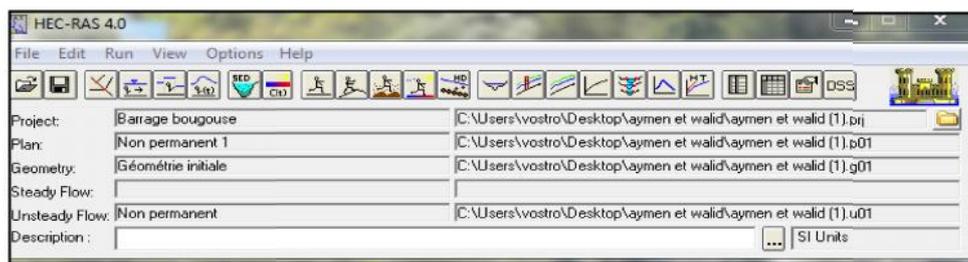


Figure IV18 Fenêtre principale de HEC-RAS4

La barre de menu comprend toutes les fonctions disponibles de HEC-RAS. Le menu File permet d'ouvrir, de créer et de sauvegarder un projet (avec extension .prj). Les autres options permettent de modifier le titre du projet ou d'effacer tous les fichiers reliés à un projet. Utilisé cette dernière option avec précaution !

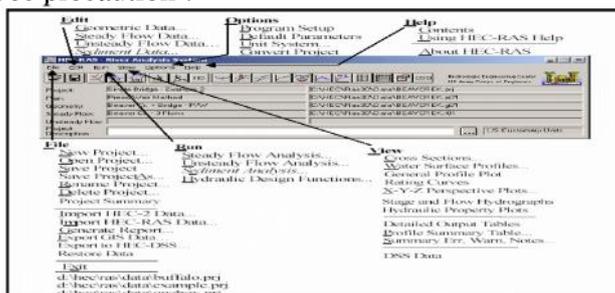


Figure IV19 La barre de menu avec toutes les fonctions disponibles

Outre le menu File, le menu Edit est également important et permet de spécifier les données de base décrivant le système hydrographique devant être modélisé ainsi que les conditions du débit dans ce système.

La principale étape de la création d'un projet de modélisation avec HEC-RAS est de définir la géométrie de notre cours d'eau, au moyen de sections transversales. Cette étape est réalisée en choisissant l'option **Geometric Data...** Toute les données reliées à la géométrie du cours d'eau sont sauvegardées dans les fichiers dont l'extension est .G** où ** désigne les chiffres représentant une numérotation séquentielle.

Une autre option disponible dans le menu **Edit** est **Steady Flow Data...** Cette option permet de spécifier la ou les valeurs de débit dans le cours d'eau qui devront être modélisés, ainsi que les conditions limites de l'écoulement. Les informations qui sont spécifiées avec cette option sont contenues dans les fichiers .

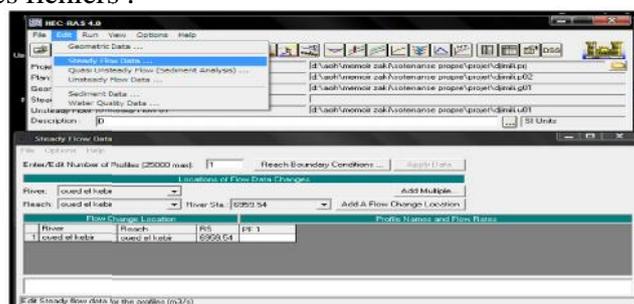


Figure IV20 Fenêtre représente l'option Steady Flow Data

IV.4.3. Etapes de la modélisation

• Projet

Dans le menu **File**, choisir l'option **New Project** pour obtenir une fenêtre similaire à celle illustrée plus bas. La première étape est de choisir le dossier de travail où le projet sera sauvegardé.

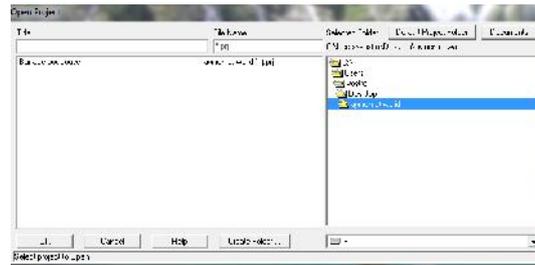


Figure IV21 Fenêtre de création d'un nouveau projet

Un nouveau répertoire peut d'ailleurs être créé avec le bouton **Create Directory**. Le titre du projet sera par la suite spécifié dans la ligne haute et un nom de fichier doit aussi être indiqué dans la case suivante, tout en conservant l'extension **.prj**. Il ne faut pas utiliser les accents pour un nom de fichier. Après avoir appuyé sur OK, un message apparaît pour confirmer les informations soumises. Appuyez à nouveau sur OK et les données seront sauvegardées dans le fichier et le répertoire indiqué.

Avant d'entrer les informations reliées à la géométrie et aux débits, il faut spécifier le système d'unité utilisé. Dans le menu **Option**, allez à **Units System** et choisissez System International

- **Géométrie des sections**

Après avoir défini les principaux paramètres du projet, la deuxième étape est de définir les caractéristiques géométriques du système modélisé. Sélectionnez **Edit / Geometric Data...** et la fenêtre Base Geometric Data apparaît.

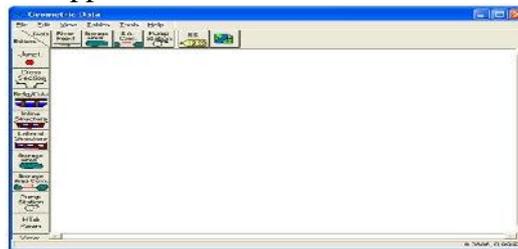


Figure IV22 Fenêtre Geometric Data

Pour vous aider à tracer le tronçon de rivière à l'étude, vous pouvez ajouter une image de fond à cette fenêtre. Appuyez sur le bouton **Add /Edit background pictures...** et appuyez sur **Add** afin de sélectionner le fichier image. Après avoir appuyé sur **Close**,

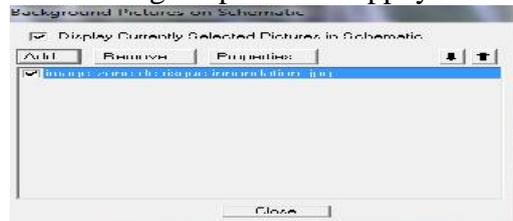


Figure IV23 Fenêtre background pictures

Un message apparaît car la taille de l'image est plus grande que la taille de l'écran. Il est possible d'ajuster l'échelle en choisissant dans le menu **View** l'option Full Plot. Pour sauvegarder les étapes accomplies, allez à **File / Save Geometric Data as...** Sauvegardez les données de la géométrie sous un fichier. Pour représenter le tronçon à étudier, cliquez sur le bouton **River Reach**. Le curseur se transforme en crayon et vous pouvez alors dessiner le tronçon de rivière à l'aide d'une suite de points qui vont de l'amont vers l'aval, en suivant le centre de la rivière sur l'image de référence. Vous double-cliquez pour indiquer la fin du tronçon. A ce moment, une fenêtre apparaît vous demandant d'indiquer le nom de la rivière et le nom du tronçon.

Les autres caractéristiques géométriques nécessaires à cette étape sont les sections

transversales à différents endroits de la rivière. Les sections transversales sont représentées au moyen de points représentant des coordonnées X-Y, où X est la distance par rapport à un point de référence arbitraire placé sur la rive et Y est l'élévation du fond de la rivière.

Pour entrer les données, vous devez cliquer sur le bouton **Cross-Section** dans la partie gauche pour obtenir une fenêtre similaire à celle illustrée ci-haut. Dans le menu **Option**, choisissez **Add a new Cross Section...** Il vous est alors demandé de définir la station (River Station) de cette section transversale qui est en fait un identificateur numérique.

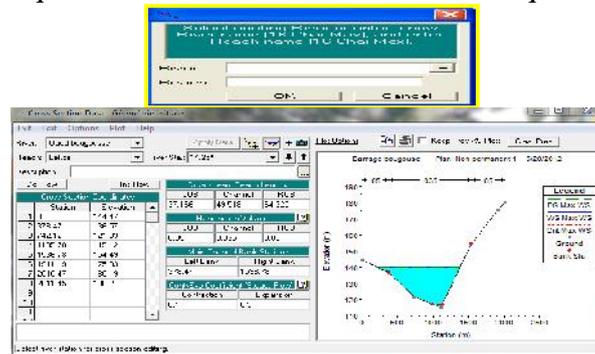


Figure IV24 Fenêtre de section (Cross data)

HEC-RAS place sur un tronçon de rivière les stations en ordre décroissant de la partie amont vers la partie aval. La signification de chacun des termes que l'on y retrouve est décrite ci-dessous :

River : nom de la rivière sur laquelle la nouvelle section sera ajoutée ;

Reach : nom du tronçon de la rivière sur laquelle la nouvelle section sera ajoutée ;

River station : Identification numérique de la section transversale ;

Description : Commentaire de l'utilisation sur cette section ;

Cross-section coordinates : Coordonnées relatives dans le plan X-Y des points définissant la section transversale

Downstream Reach Lengths : Distance en mètres jusqu'à la prochaine section transversale située en aval ;

LOB : signifie la partie gauche de la plaine inondable et **ROB** sa partie droite, alors que

Channel : désigne le lit principal de la rivière ;

Manning's values : Coefficient de Manning de chaque portion de la section transversale ;

Main Channel Bank stations : Coordonnées, dans le plan X seulement, des limites gauches et droite du lit principal de la rivière. Les valeurs fournies doivent correspondre à une valeur déjà présente dans la partie Cross-section coordinates.

Après avoir entré les données, cliquez sur **Apply Data**. Vous pouvez alors visualiser la section transversale que vous venez de définir dans la partie adjacente de la fenêtre. Les autres sections seront rentrées de la même manière.

Pour augmenter la stabilité des calculs de niveau par le modèle. Il est recommandé d'avoir une distance raisonnable entre deux sections transversales. En assumant que la pente et les propriétés des sections varient de façon linéaire entre deux sections consécutives, la fonction XS interpolation dans le menu **Tools** permet d'ajouter par interpolation de nouvelles sections entre deux sections existantes.

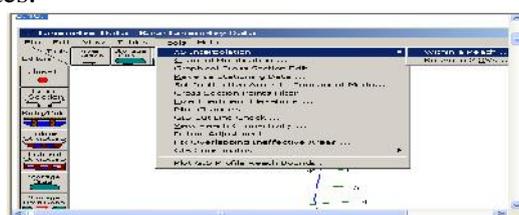


Figure IV25 Fenêtre représentant la fonction d'interpolation

Pour terminer, vous pouvez vérifier les données spécifiées avec le menu Tables. Les mêmes paramètres pour toutes les sections y sont regroupés à l'intérieur d'un même tableau et peuvent y être modifiés. Avant de quitter la fenêtre Geometric Data, sauvegardez les informations que vous avez rentrées.

- **Débit et conditions aux limites**

Débit

L'étape suivante de la modélisation hydraulique sur HEC-RAS est de spécifier les débits utilisés pour calculer les profils d'écoulement. Dans la fenêtre principale, cliquez sur le bouton Steady Flow Data. Pour obtenir une fenêtre similaire à celle illustrée plus bas. Pour entrer les valeurs des débits,

Les valeurs de débit qui sont entrées aux cases correspondantes sont représentatives de la section amont et sont considérées valides sur tout le tronçon de rivière

Dans notre calcul on s'intéresse au régime non permanent

Pour se faire, ouvrir la fenêtre Unsteady Data et cliquez sur Initial Condition

Si on a une seule branche dans notre rivière, HEC-RAS nous affichera le nom River, Reach et RS (la section à l'extrémité amont de la rivière) et nous demandera de définir le débit initial au temps zéro dans Initial Flow.

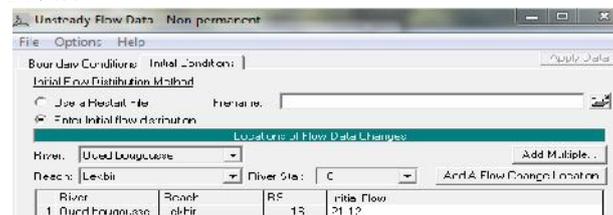


Figure IV26 Fenêtre de calcul en écoulement non permanent (*Unsteady Flow*)

Si la rivière possède plusieurs branches, il faut donner un débit initial pour chaque branche. Pour cela on peut sélectionner la branche dans Reach. Il suffit de définir le débit dans la rivière à l'instant $t = 0$.

- **Conditions aux limites**

Les conditions aux limites représentent une étape fondamentale pour simuler un écoulement non permanent.

Ouvrir la fenêtre **Unsteady Flow Data** et cliquer sur **Boundary Condition** comme l'indique la figure

HEC-RAS affichera automatiquement les noms (station) de toutes les sections qui se trouvent aux frontières de la rivière, il suffit alors de choisir le type de condition aux limites pour chaque station affichée ; Les principales conditions aux limites sont :

Stage hydrographe : représente la variation de la hauteur d'eau en fonction du temps et y est utilisé en amont ou en aval de la rivière ;

Flow hydrograph : représente la variation du débit en fonction du temps (hydrogramme de crues) est y utilisé surtout en amont de la rivière ;

Stage /Flow hydr : représente la variation de la hauteur d'eau en fonction du débit est y utilisée en général à l'aval de la rivière ;

Normal Depth : représente la pente de la ligne d'eau à l'endroit de la section (la pente du canal ou la rivière peut être utilisée). Elle est utilisée en aval de la rivière ;

TS Gate Opinions : représente la hauteur d'ouverture de la vanne en fonction du temps (peut être utilisée pour simuler l'ouverture de la vidange de fond d'un barrage).

Hydrogramme de crues = FLOW HYDOGRAPH

Un hydrogramme des crues peut être utilisé soit comme une condition à la limite en amont ou en aval, mais il est plus préférable d'utiliser en tant que condition à la limite amont.

Lorsque l'icône de flow hydrogramme est enfoncé, la fenêtre illustrée dans la Figure apparaît

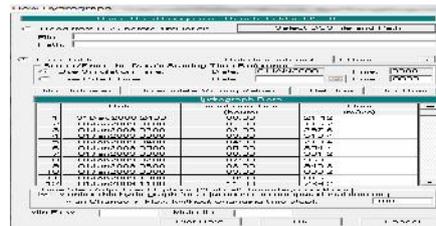


Figure IV27 Fenêtre représentant l'hydrogramme de crue

- La première étape consiste à entrer dans un "Data intervalle de temps ;
- Pour entrer des données dans le tableau, l'utilisateur est tenu de choisir soit "Utiliser Simulation Time" ou "fixe l'heure de début" ;
- Si l'utilisateur sélectionne "Utiliser Simulation Temps", puis l'hydrogramme qu'ils entrent toujours commence au début de la fenêtre de simulation de temps ;
- La simulation de départ, la date et l'heure est affichée à côté de cette case, mais il est grisé ;
- Si l'utilisateur sélectionne "fixe l'heure de début, puis l'hydrogramme est inscrit un utilisateur à partir de la date et l'heure spécifiées ;
- Une fois la date et l'heure de départ sont sélectionnées, l'utilisateur peut alors commencer à entrer les données.

- **Normal Depth :**

La pente de la courbe d'énergie: il faut choisir la pente du canal la plus éloignée de la zone d'étude pour ne pas influencer l'étude.

- **Simulation hydraulique:**

Après avoir entré toutes les données dans HEC-RAS, il reste à réaliser le calcul proprement dit.

Ouvrir la fenêtre **Performing Unsteady Flow Simulation**



Figure IV28 Fenêtre Performing Unsteady Flow Simulation

Entrer les données suivantes

- **Starting Date et Ending Date** : Elle représente respectivement la date du début et de la fin de la simulation.
- **Starting Time et Ending Time** : Elle représente respectivement le temps du début et de la fin de la simulation.
- **Computation Inteval** : C'est le pas du temps dt utilisé pour le calcul. Ce temps est très important car si la simulation ne réussit pas, il faut le diminuer.

Cliquer maintenant sur le bouton Compute est la simulation débutera

- **Visualisation des résultats**

HEC-RAS possède beaucoup de moyens pour afficher les résultats. Les plus importants sont les suivants :

Profil en Long : Cliquer sur View Profiles pour afficher la ligne d'eau en un temps voulu. On peut réaliser une animation de la ligne d'eau en utilisant le bouton Animate the simulation results

Vue 3D (X-Y-Z): Cliquer sur View 3D multiple cross section plot pour afficher la vue 3D de la rivière en un temps voulu. On peut réaliser une animation en utilisant le bouton Animate the simulation results.

On peut aussi afficher des informations sur les débits et les hauteurs d'eau en fonction du temps et en chaque section :

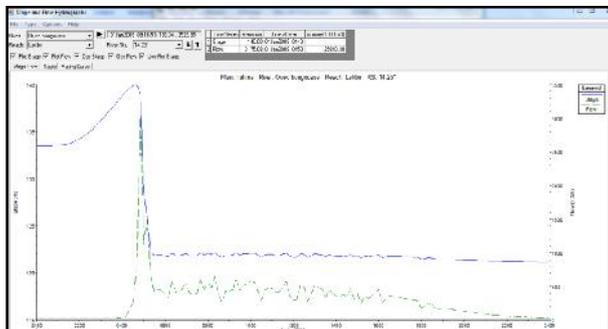


Figure IV29 Fenêtre représente le graphe débits-hauteurs en fonction des temps

On peut aussi visualiser les vitesses en chaque section

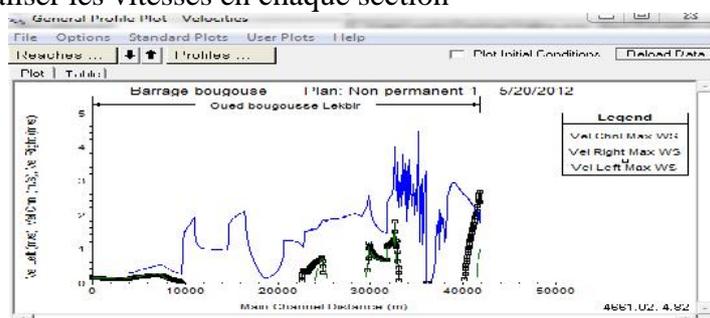


Figure IV30 Fenêtre représente les vitesses en fonction de chaque section

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté quelques outils informatique notamment Arc Gis et HEC-RAS, ce sont deux outils d'une importance dans ce travail que à la fois nous faciles les calculs et les outils d'aide à la décision.

La méthode utilisée par le Logiciel **HEC-RAS**, apporte des réponses face au risque d'inondation. Mais elle nécessite des développements et fait encore l'objet de recherche, notamment pour une meilleure quantification.

Chapitre V

ETUDE HYDROLOGIQUE

Introduction

L'étude hydrologique détaillée consiste donc à l'estimation des différents apports hydriques et solides permettant le dimensionnement hydrotechnique des ouvrages une fois retenus.

Cette étude consiste en l'estimation des apports à l'issue d'analyses précises aussi bien morphologiques que statistiques des différents facteurs et paramètres primordiaux pour l'étude hydrologique.

Ainsi, dans ce chapitre nous allons procéder à l'étude hydrologique du bassin versant précédemment déterminé en l'occurrence de bassin versant de la Mafragh.

V.1. Caractéristiques Climatologiques

Pour l'analyse des différentes caractéristiques climatologiques au niveau des deux sous bassins versant Oued Bounamoussa et Oued Kebir, les deux stations Chafia Barrage et Ain El Assel dont les caractéristiques sont mentionnées dans le tableau suivant ont été retenues.

Tableau V1 Les coordonnées des deux stations

| Code de la station | Nom de la station | X(Km) | Y(Km) | Z(m) |
|--------------------|-------------------|-------|-------|------|
| 31601 | Ain El Assel | 1005 | 399 | 35 |
| 31501 | Chaffia (Barrage) | 977 | 381 | 170 |

V.1.1. Températures

Tableau V2 Températures moyenne annuelle (station de Chafia barrage)

| Mois | Sep | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jun | Jeuil | Aut | Moyenne Annuel |
|---------|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|------|-----|------|-------|-----|----------------|
| Max(c°) | 27 | 32 | 35 | 32 | 39,5 | 45,5 | 47 | 44,5 | 46 | 39,5 | 33,5 | 29 | 37,5 |
| Min(c°) | 1 | -3 | 1,5 | 1,5 | 4 | 6 | 5 | 3 | 5 | 4 | 2 | 1 | 2,6 |

Source ANRH ; période (1980-2011)

Tableau V-2 : Températures moyenne annuelle (station de Ain Assel)

| Mois | Sep | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jun | Jeuil | Aut | Moyenne Annuel |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|----------------|
| Max(c°) | 29,4 | 25,5 | 18,2 | 14,1 | 13,6 | 13,9 | 18,3 | 21,2 | 25,5 | 31,5 | 36,0 | 35,2 | 23,5 |
| Min(c°) | 18,3 | 13,9 | 8,12 | 4,5 | 3,1 | 3,3 | 7,0 | 11,0 | 14,3 | 19,1 | 22,3 | 22,1 | 12,3 |

Source ANRH ; période (1980-2011)

La variation de la température de sous bassin Bounamoussa représentée dans la figure ci-dessous : Notons que la température maximale est enregistrée au mois juillet (47°C) et la température minimale au mois de janvier (27°C). La température annuelle moyenne est de (37,5°C).

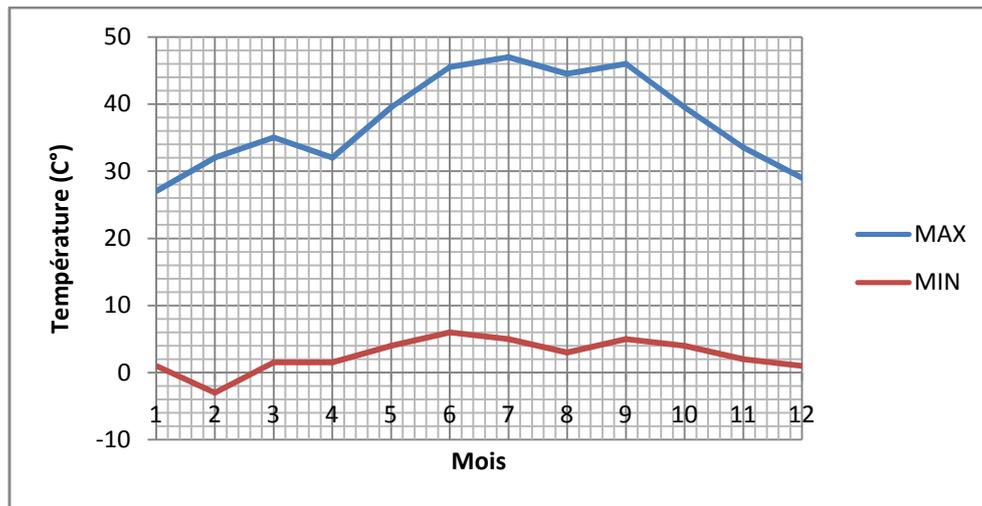


Figure V1 Variation de la température de bassin Bounamoussa.

Et pour le bassin Kébir la figure suivante représente aussi la variation de la température dans la zone d'étude. Notons que la température maximale est enregistrée au mois juillet (36°C) et la température minimale au mois de janvier (3,1°C). La température annuelle moyenne est de (23,5°C).

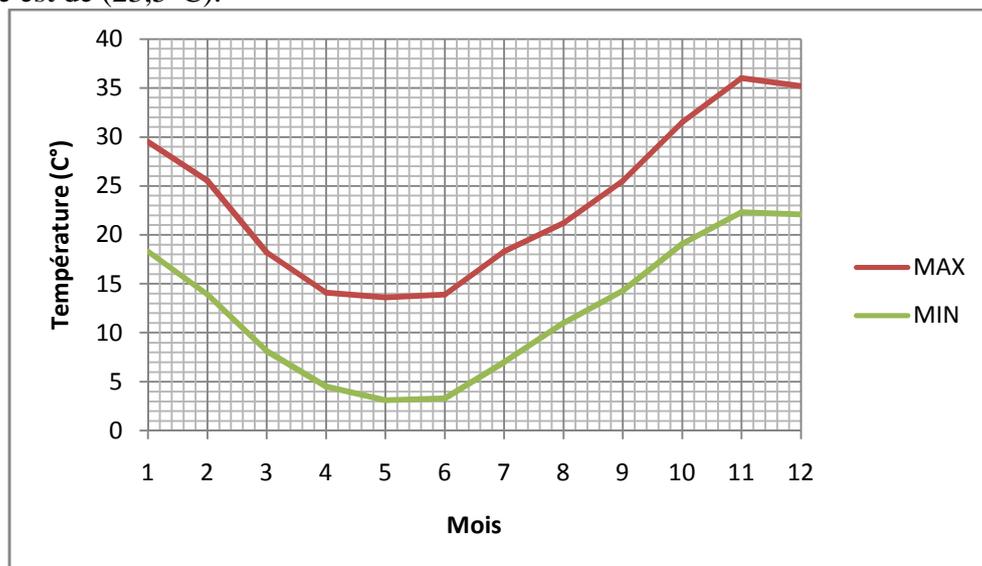


Figure V2 Variation de la température de bassin Kébir.

V.1.2.Evaporation

Tableau V3 Répartition de mensuelle de l'évaporation (station de Chafia barrage).

| Mois | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jun | Jeuil | Aut | Moyenne Annuel |
|----------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|----------------|
| Evap(mm) | 171,0 | 113,4 | 68,1 | 50,8 | 44,9 | 52,8 | 91,5 | 116,8 | 178,9 | 214,7 | 261,2 | 243,63 | 134,05 |

Source ANRH ; période (1980-2011)

Tableau V4 Répartition de mensuelle de l'évaporation (station d'Ain Assel).

| Mois | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Fev | Mar | Avr | Mai | Jun | Jeuil | Aut | Moyenne Annuel |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-----|-----|-------|-------|----------------|
| Evap(mm) | 464,7 | 301,7 | 169,7 | 108,9 | 105,2 | 137,3 | 228,07 | 299,0 | 463 | 703 | 906 | 804,2 | 390,9 |

Source ANRH ; période (1980-2011)

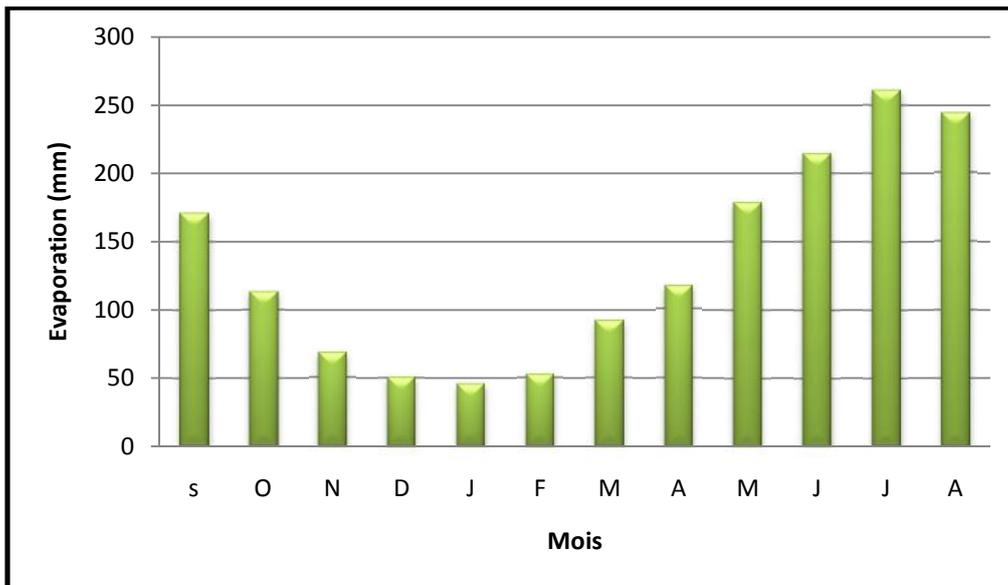


Figure V3 Répartition mensuelle de l'évaporation de bassin Bounamoussa.

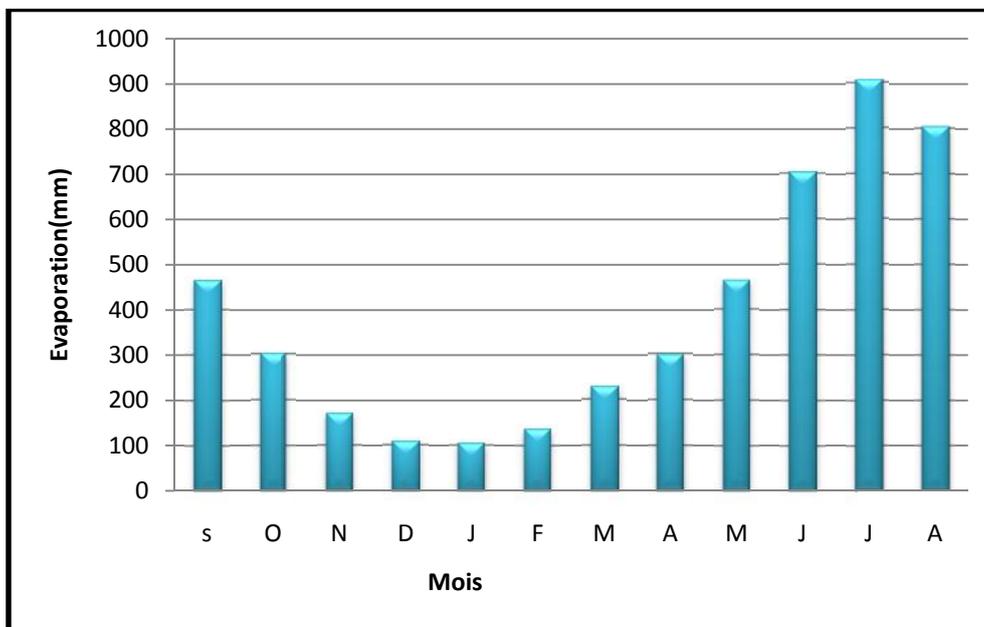


Figure V4 Répartition mensuelle de l'évaporation de bassin Kébir.

V.1.3. Pluviométrie

Les précipitations constituent un facteur essentiel pour définir le climat régnant dans la région, ainsi que pour déterminer les crues.

Les observations enregistrées au niveau de la station de Chafia barrage et la station d'Ain Assel sur une période de 30 ans (1980-2011) sont représentées dans les figures suivantes :

A la station Chafia barrage, l'histogramme de la série des précipitations pour la même période 1980-2011 montre que le mois de décembre est toujours le plus pluvieux avec cette fois 134.40 mm, et juillet, le mois le plus sec avec 2.88 mm.

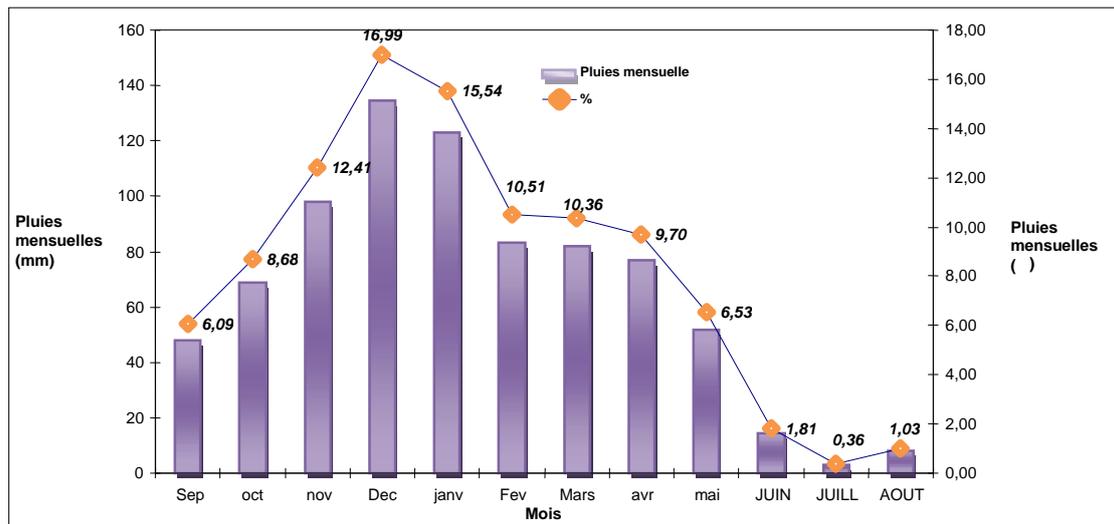


Figure V5 Précipitations Moyennes Mensuelles (en mm et %)(bassin Bounamoussa)

Et pour la station Ain el Assel, l’histogramme de la série des précipitations mensuelles pour la période 1980-2011 montre que le mois de décembre est le mois le plus pluvieux (143,7 mm) alors que le mois le plus sec est juillet avec 2,21 mm.

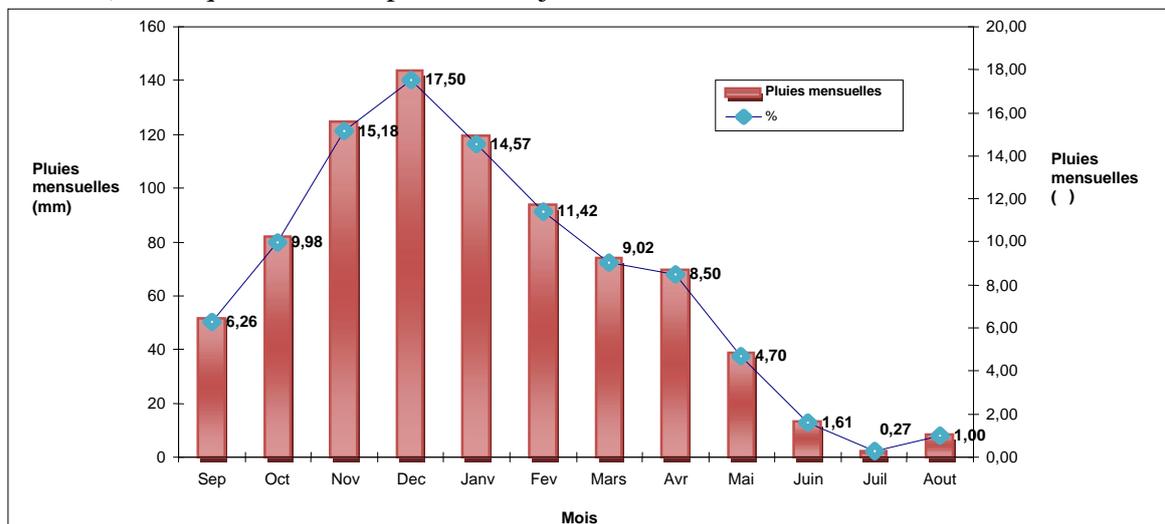


Figure V6 Précipitations Moyennes Mensuelles (en mm et %)(bassin Kebir),

V.2. Variation spatiale de la pluie moyenne annuelle

Pour l’étude de la variation spatiale de la pluie interannuelle, 8 stations ont été utilisées, Le comblement des lacunes a été effectué par les méthodes statistiques (test de médiane) suivant:

Tableau V3 Stations retenus (Bassin Versant de la Mafragh)

| Code de la station | Nom de la station | X (Km) | Y (Km) | Z (m) | Pluie Moyenne Annuelle (mm) |
|--------------------|-------------------|--------|--------|-------|-----------------------------|
| 31503 | Bouhadjar | 984 | 369 | 300 | 560,881 |
| 31717 | Lac des Oiseaux | 984 | 400 | 6 | 702,855 |
| 31601 | Ain El Assel | 1005 | 399 | 35 | 811,19 |
| 140631 | Pont Bouchet | 949 | 402 | 9 | 615,792 |
| 31602 | Roum El Souk | 1020 | 402 | 150 | 644,082 |
| 31718 | Bouteldja Epea | 989 | 400 | 25 | 750,793 |
| 31501 | Cheffia (Barrage) | 977 | 381 | 170 | 783,359 |
| 31604 | Kerma | 991 | 379 | 280 | 631,817 |

Les détails sur la méthode utilisé dans l’annexe I,

Ainsi pour le bassin versant de la Mafragh, la lame moyenne précipitée (P_{moy}) est de **691,63 mm**

V.3. Etude statistique des pluies maximales journalières

Les pluies maximales journalières de rares fréquences sont des pluies génératrices des crues d'importants débits, contre lesquels il faut protéger l'ouvrage ou l'agglomération

Caractéristiques de la série pluviométrique :

Tableau V4 Caractéristiques de la séries pluviométriques des sous bassins

| Caractéristiques | Valeurs (sous bassin Kébir) | Valeurs (sous bassin Bounamoussa) |
|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| La moyenne des $P_{j\text{max}}$ | 186,21 | 193,9 |
| L'écart type | 89,0 | 79,8 |
| Coefficient de variation C_v | 0,40 | 0,35 |

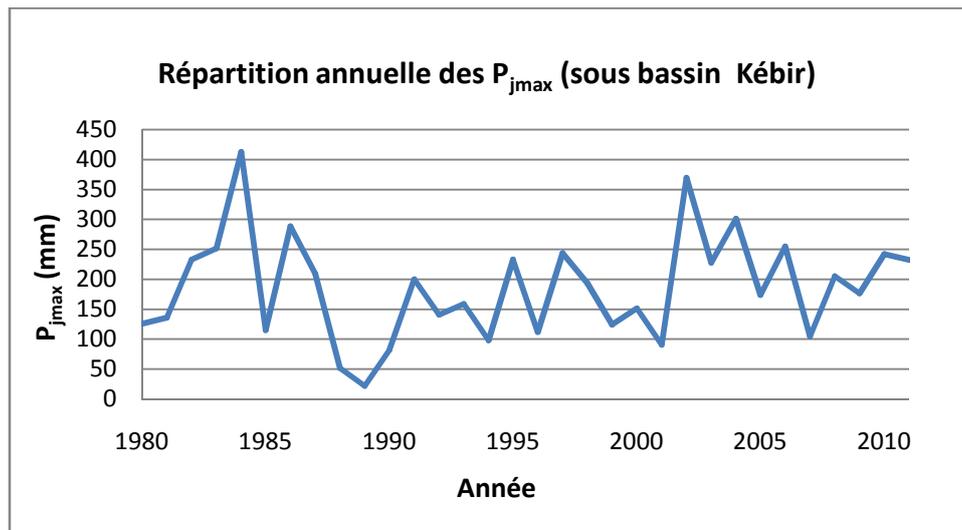


Figure V7 Répartition des pluies maximales journalières du bassin Kébir de 1980-2011

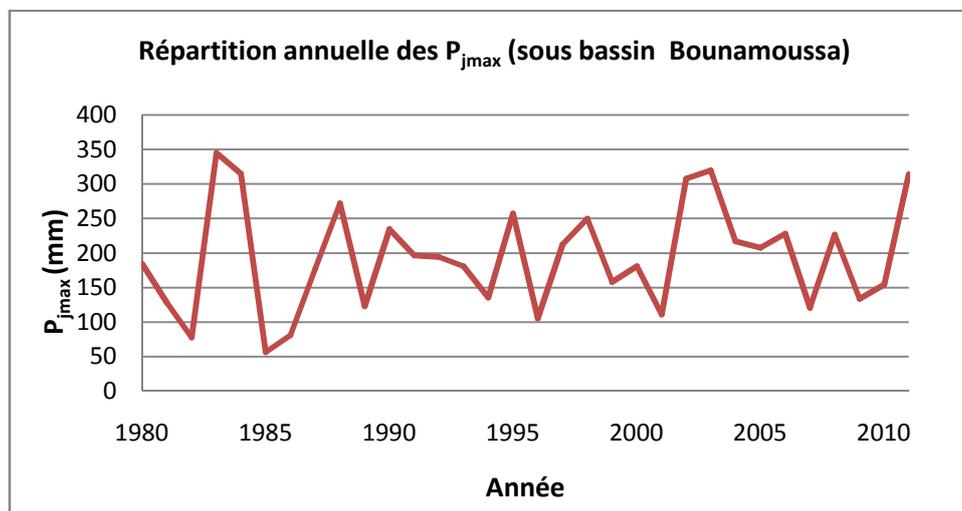


Figure V8 Répartition des pluies maximales journalières du bassin Bounamoussa de 1980-2011

Il existe plusieurs lois d'ajustement capable d'illustrer notre série en question, mais dans notre étude on va ajuster notre sérié par trois lois différentes et de retenir celle qui est la plus adéquate, les lois d'ajustement sont :

- Lois de GALTON (ou loi log normale 2 paramètre);
- Loi de Gumbel;
- La loi de GEV (distribution des valeurs extrêmes généralisées).

V.3.1.Ajustement à la loi de Galton

Calcul des fréquences expérimentale (ou non dépassement) :

$$q = f(x) = \frac{n-0.5}{N} \quad \text{et} \quad T = \frac{1}{1-q} \dots \dots \dots (V.1)$$

m : numéro d'ordre de la valeur ;
 N : la taille de l'échantillon.

Paramètre de l'ajustement à la loi log normale :

$$X_{p\%} = X_{moy} + \delta U_{p\%} \dots \dots \dots (V.2)$$

Avec :

X_{moy} : hauteur de pluie moyenne ;

δ : Ecart-type ;

$U_{p\%}$: variable réduite de gauss.

V.3.1.1.Station d'Ain Assel sur bassin Kébir

Les résultats de l'ajustement dans le tableau suivant :

Tableau V5 Résultat d'ajustement à la loi de Galton

| Période de retour (T) | Fréquence (q) | Valeurs théorique (XT) | Ecart-type (δ) | Intervalle de confiance (95%) |
|-----------------------|---------------|------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 100 | 0,99 | 346 | 31,5 | 284-407 |
| 50 | 0,98 | 322 | 26,9 | 269-375 |
| 20 | 0,95 | 289 | 21,0 | 248-330 |
| 10 | 0,90 | 263 | 16,8 | 230-296 |
| 5 | 0,80 | 235 | 12,8 | 209- 260 |

Le tracé de la droite de Galton est représenté sur papier de log-normale comme le montre la figure suivante :

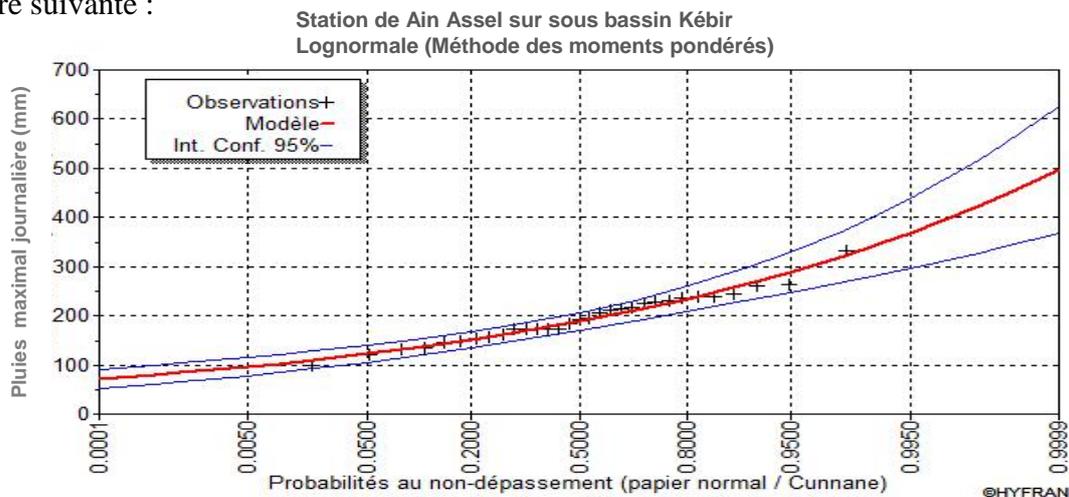


Figure V9 Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Galton.

V.3.1.2.Station de Chaffia barrage sur bassin Bounamoussa

Les résultats de l'ajustement dans le tableau suivant :

Tableau V6 Résultat d'ajustement à la loi de Galton

| Période de retour (T) | Fréquence (q) | Valeurs théorique (XT) | Ecart-type (δ) | Intervalle de confiance (95%) |
|-----------------------|---------------|------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 100 | 0,99 | 348 | 34,7 | 281-409 |
| 50 | 0,98 | 332 | 29,2 | 253-365 |
| 20 | 0,95 | 282 | 26,1 | 216- 329 |
| 10 | 0,90 | 258 | 18,2 | 243-298 |
| 5 | 0,80 | 238 | 16,6 | 205-256 |

Le tracé de la droite de Galton est représenté sur papier de log-normale comme le montre la figure suivante :

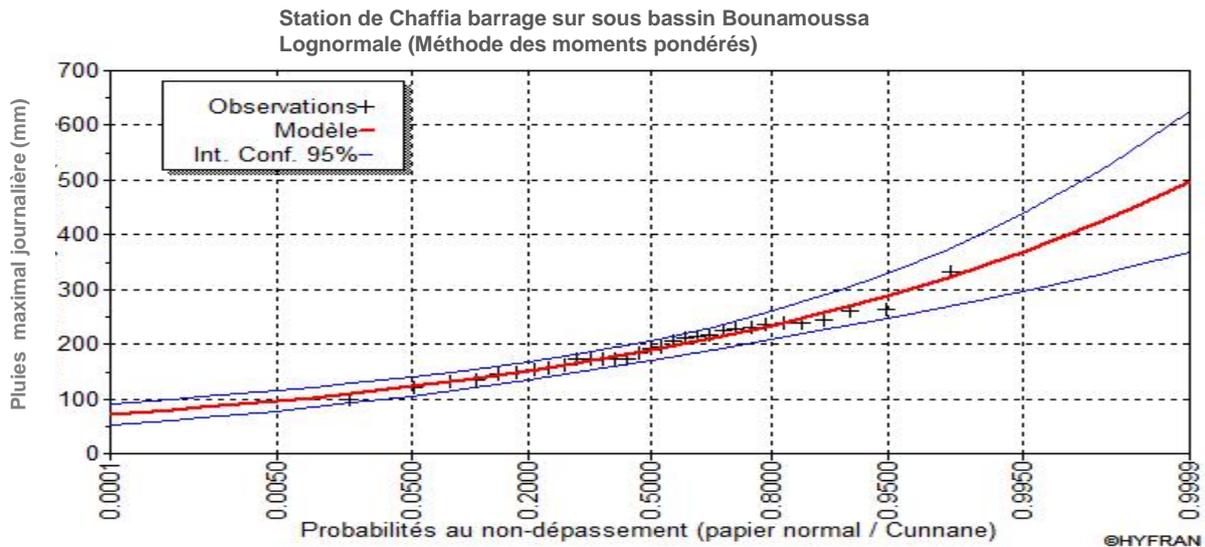


Figure V10 Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Galton.

V.3.2.Ajustement à la loi de Gumbel

L'équation de droite de Gumbel :

$$P_{moy} = \frac{1}{\alpha}y + X_0 \dots\dots\dots(V.3)$$

Y : variable de la droite de Gumbel ;

$y = -[\ln(-\ln(Fx))]$ Avec : $F(x) = \frac{m-0.5}{N}$

m : ordre de classement ;

N : taille de l'échantillon ;

$\frac{1}{\alpha}, X_0$: sont déterminés par la méthode des moindres carrés ;

V.3.2.1.Station d'Ain Assel sur bassin Kébir

Les résultats de calcul des fréquences expérimentales et des valeurs théoriques sont exposés dans le tableau suivant :

Tableau V7 Résultat d'ajustement à la loi de Gumbel

| Période de retour (T) | Fréquence (q) | Valeurs théoriques (XT) (mm) | Ecart-type () | Intervalle de confiance (95%) |
|-----------------------|---------------|------------------------------|----------------|-------------------------------|
| 100 | 0,99 | 376 | 33,8 | 310-443 |
| 50 | 0,98 | 344 | 28,7 | 288-400 |
| 20 | 0,95 | 301 | 22,1 | 258-344 |
| 10 | 0,90 | 268 | 17,2 | 234-302 |
| 5 | 0,80 | 233 | 12,7 | 208-258 |

La présentation de la droite de Gumbel est montrée par la figure suivante :

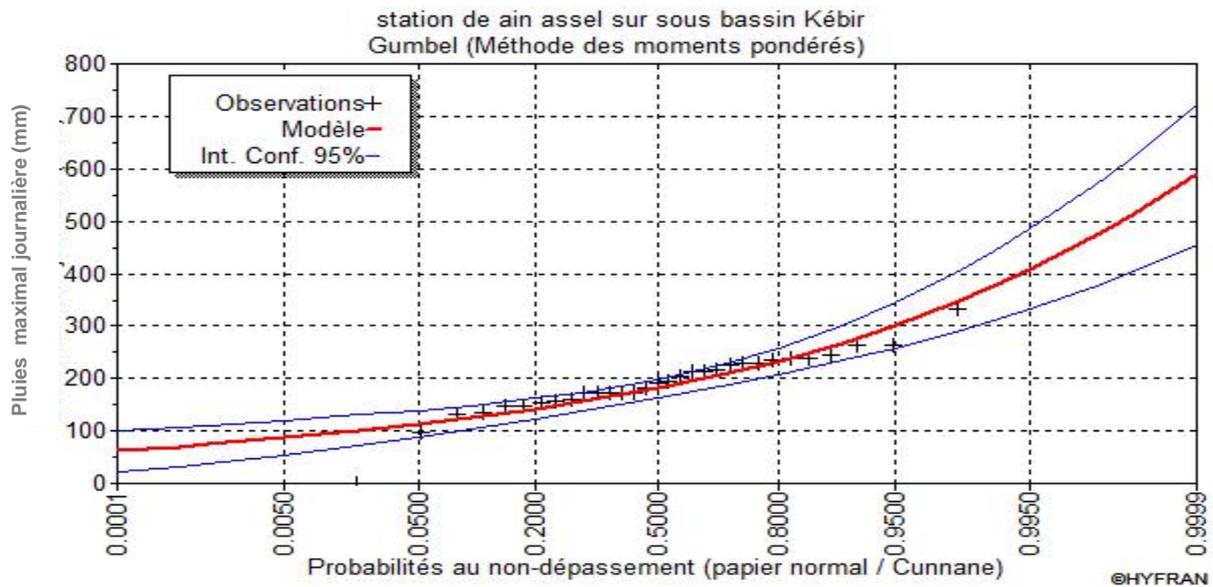


Figure V11 Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Gumbel.

V.3.2.2. Station de Chaffia barrage sur bassin Bounamouss

Les résultats de l'ajustement dans le tableau suivant :

Tableau V8 Résultat d'ajustement à la loi de Gumbel

| Période de retour (T) | Fréquence (q) | Valeurs théorique (XT) (mm) | Ecart-type (σ) | Intervalle de confiance (95%) |
|-----------------------|---------------|-----------------------------|----------------|-------------------------------|
| 100 | 0,99 | 358 | 29,7 | 300-416 |
| 50 | 0,98 | 329 | 25,2 | 280-379 |
| 20 | 0,95 | 292 | 19,4 | 254 -330 |
| 10 | 0,90 | 262 | 15,2 | 233-292 |
| 5 | 0,80 | 232 | 11,1 | 210 -254 |

La présentation de la droite de Gumbel est montrée par la figure suivante :

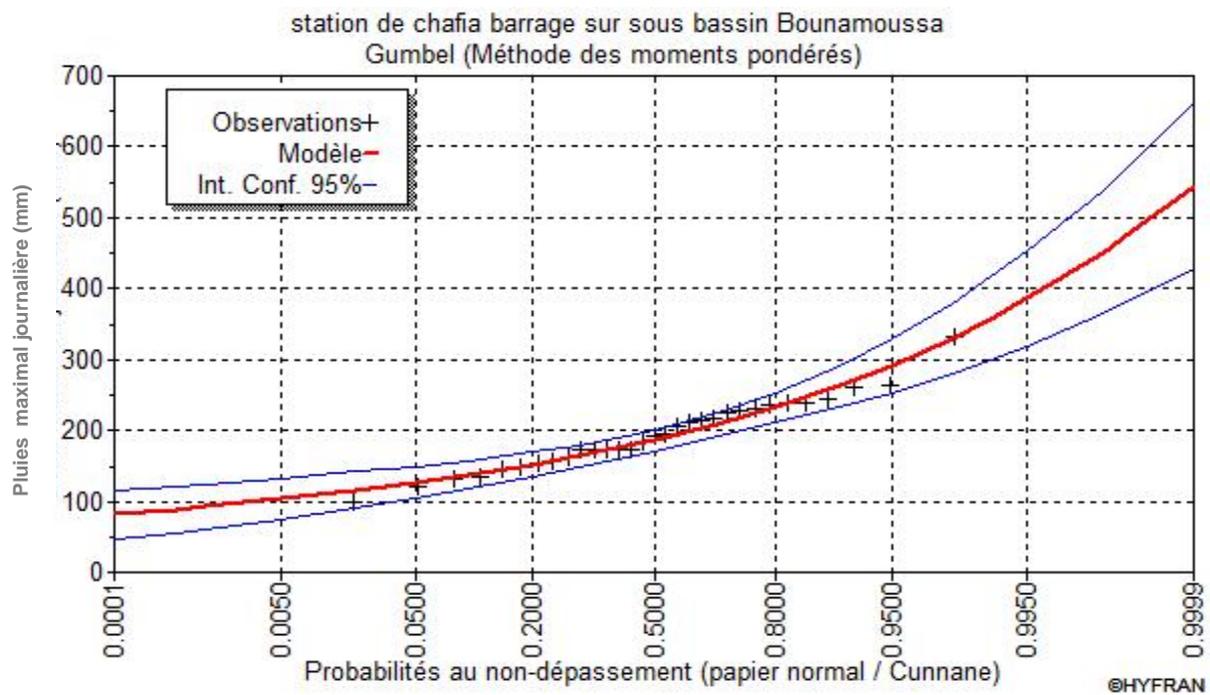


Figure V12 Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Gumbel.

V.3.3.Ajustement à la loi de GEV (distribution des valeurs extrêmes généralisées)

La distribution des valeurs extrêmes généralisées est la synthèse de trois fonctions de distribution que l'on a souvent employées en hydrologie, cette distribution à trois paramètres fonction de distribution de la loi de GEV s'écrit :

$$F_X(x) = \exp \left\{ -1 \left[1 - \frac{k(x-\varepsilon)}{\alpha} \right]^{\frac{1}{k}} \right\} \dots\dots\dots(V.4)$$

V.3.3.1.Station d'Ain Assel sur bassin Kébir

Les résultats de l'ajustement dans le tableau suivant :

Tableau V9 Résultat d'ajustement à la loi de GEV

| Période de retour (T) | Fréquence (q) | Valeurs théorique (XT) (mm) | Ecart-type () | Intervalle de confiance (95%) |
|-----------------------|---------------|-----------------------------|----------------|-------------------------------|
| 100 | 0,99 | 320 | 30,3 | 260-379 |
| 50 | 0,98 | 305 | 24,1 | 258-352 |
| 20 | 0,95 | 282 | 17,4 | 248-316 |
| 10 | 0,90 | 261 | 13,8 | 234-288 |
| 5 | 0,80 | 236 | 11,6 | 214-259 |

La présentation de la droite de GEV est montrée par la figure suivante :

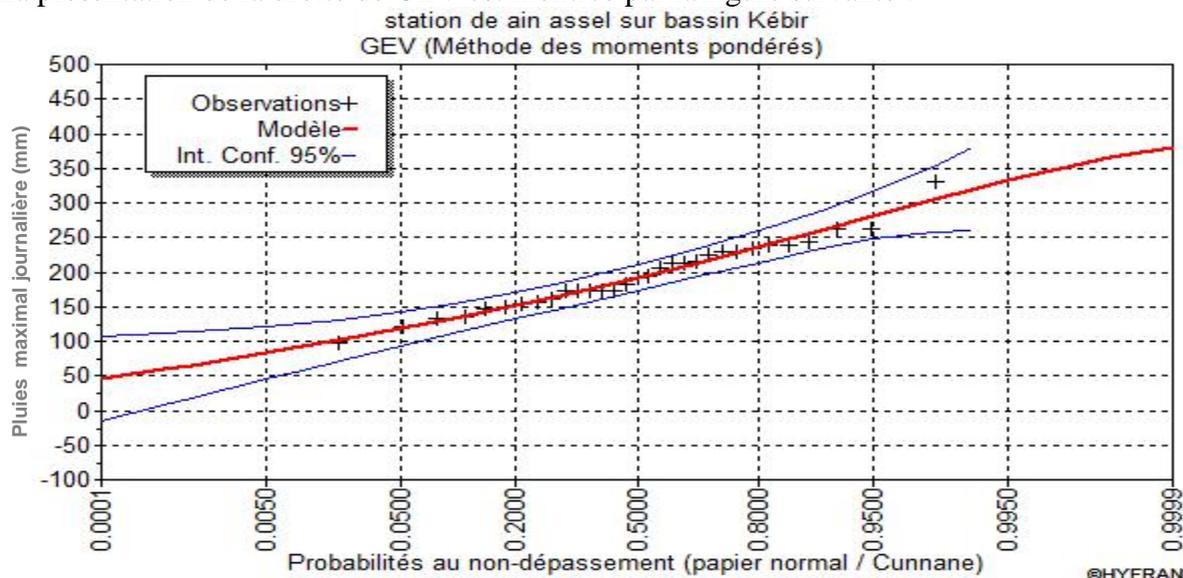


Figure V13 Représentation graphique de l'ajustement à la loi de GEV,

V.3.2.2.Station de Chaffia barrage sur bassin Bounamoussa

Les résultats de l'ajustement dans le tableau suivant :

Tableau V10 Résultat d'ajustement à la loi de GEV

| Période de retour (T) | Fréquence (q) | Valeurs théorique (XT) (mm) | Ecart-type () | Intervalle de confiance (95%) |
|-----------------------|---------------|-----------------------------|----------------|-------------------------------|
| 100 | 0,99 | 326 | 31,3 | 230-368 |
| 50 | 0,98 | 315 | 24,2 | 246-335 |
| 20 | 0,95 | 286 | 19,3 | 238 -325 |
| 10 | 0,90 | 265 | 12,7 | 226-286 |
| 5 | 0,80 | 246 | 15,7 | 219-248 |

La présentation de la droite de GEV est montrée par la figure suivante :

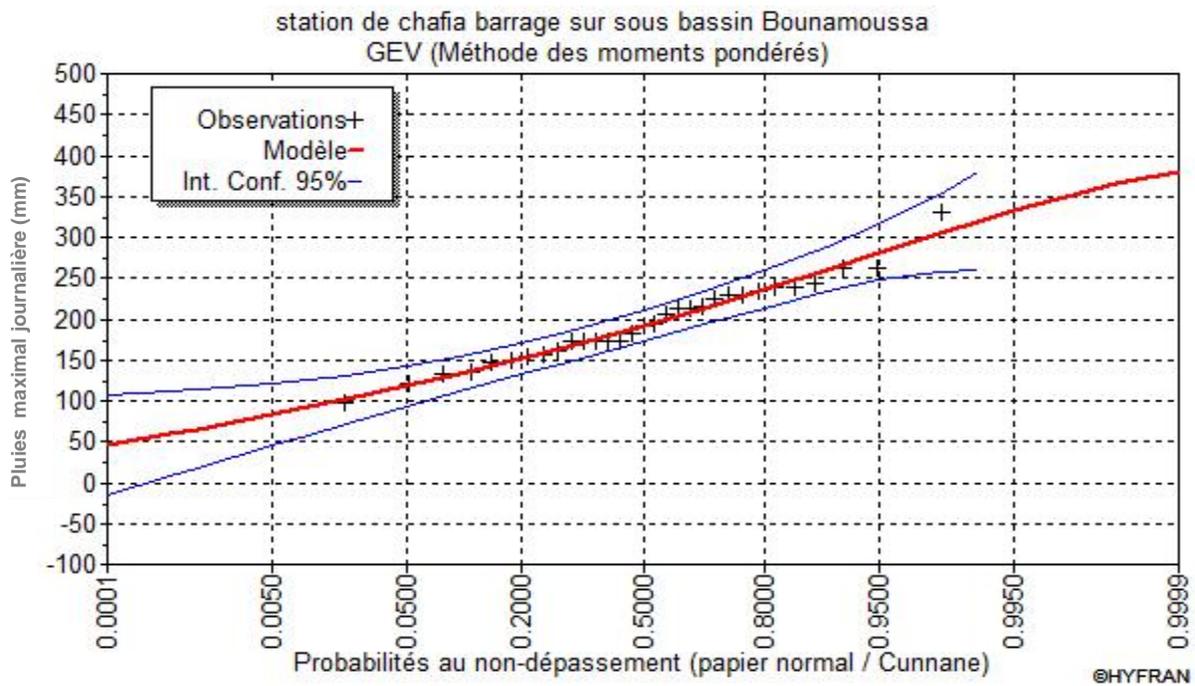


Figure V14 Représentation graphique de l'ajustement à la loi de GEV.

V.4. Qualité de l'ajustement

V.4.1. Station d'Ain Assel sur bassin Kébir

La comparaison des trois graphiques des droites de régression obtenues par les trois lois ajustements à l'aide de logiciel HYFRAN (comparaison graphique).

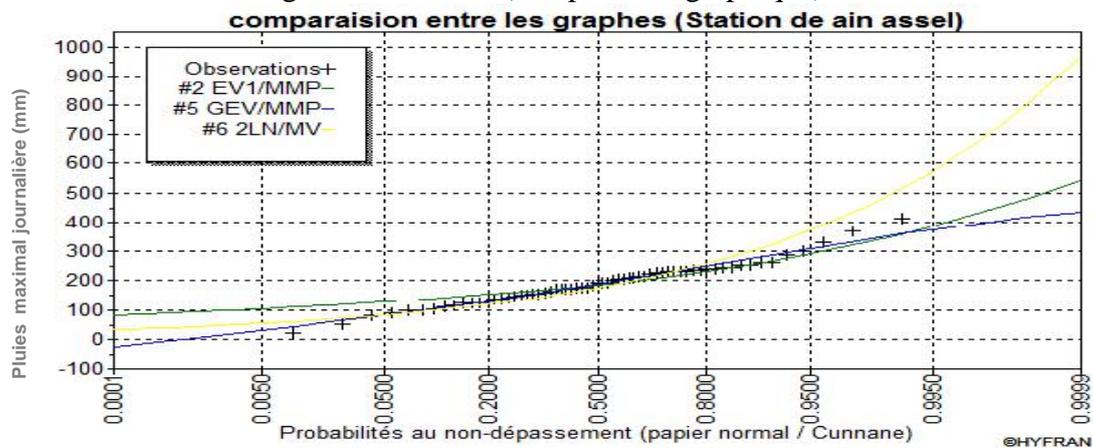


Figure V15 Représentation graphique de la comparaison entre les trois lois.

Conclusion-1-

- le graphe le plus proche de la droite de Henry est de loi de GEV, mais il prend des valeurs négative c'est-à-dire le choix de la loi de GEV est refuser ;
- donc le graphe le plus proche est de loi de Gumbel ;
- Cependant le test visuel qui montre que notre série s'ajuste mieux par la loi de Gumbel.

V.4.2.Station de Chaffia barrage sur bassin Bounamoussa

La comparaison se fait l'aide de logiciel HYFRAN (comparaison graphique) :

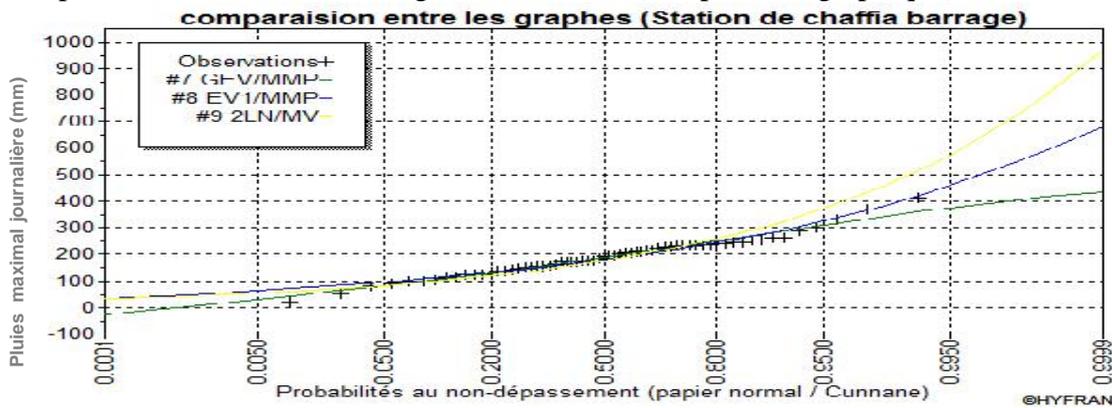


Figure V16 Représentation graphique de la comparaison entre les trois lois

Conclusion-2-

- le graphe le plus proche de la droite de Henry est de loi de GEV, mais il prend des valeurs négative c'est-à-dire le choix de la loi de GEV est refuser ;
- donc le graphe le plus proche est de loi de Gumbel ;
- Cependant le test visuel qui montre que notre série s'ajuste mieux par la loi de Gumbel.

V.5.Pluies de courte durée

La relation Intensité – Durée - Fréquence donné par l'ANRH est de la forme :

$$P_t / P_{Jmax} = a \cdot t^b \dots\dots\dots(V.5)$$

Où :

Pt : pluie correspondante a un pas de temps

Pjmax : pluie journalière maximale

a et b ; paramètres climatiques

Les paramètres a et b mentionnés dans le tableau suivant ont été calculés par la méthode des moindres carrés :

Tableau V11 paramètres climatiques de Montana et période de retour,

| Période de retour | Temps de fréquence | a | b |
|-------------------|--------------------|-------|-------|
| 5 ans | 0,80 | 0,403 | 0,341 |
| 10 ans | 0,90 | 0,430 | 0,328 |
| 20 ans | 0,95 | 0,448 | 0,320 |
| 100 ans | 0,99 | 0,477 | 0,308 |
| Moyenne | - | 0,440 | 0,324 |

Source ANRH Constantine

V.5.1.Station d'Ain Assel sur bassin Kébir

Tableau V12 Valeurs des pluies obtenues en mm/heure

| Période de retour | 0,25h | 0,5h | 1h | 2h | 3h | 6h | 12h | 24h |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 5 ans | 39,28 | 49,76 | 63,02 | 79,83 | 91,67 | 116,11 | 147,07 | 186,29 |
| 10 ans | 42,68 | 53,57 | 67,25 | 84,41 | 96,42 | 121,04 | 151,94 | 190,72 |
| 20 ans | 44,96 | 56,12 | 70,06 | 87,46 | 99,58 | 124,31 | 155,18 | 193,72 |
| 100 ans | 48,67 | 60,26 | 74,60 | 92,35 | 104,64 | 129,54 | 160,37 | 198,54 |

La courbe de pluie contre durée est représenté dans le graphe suivant :

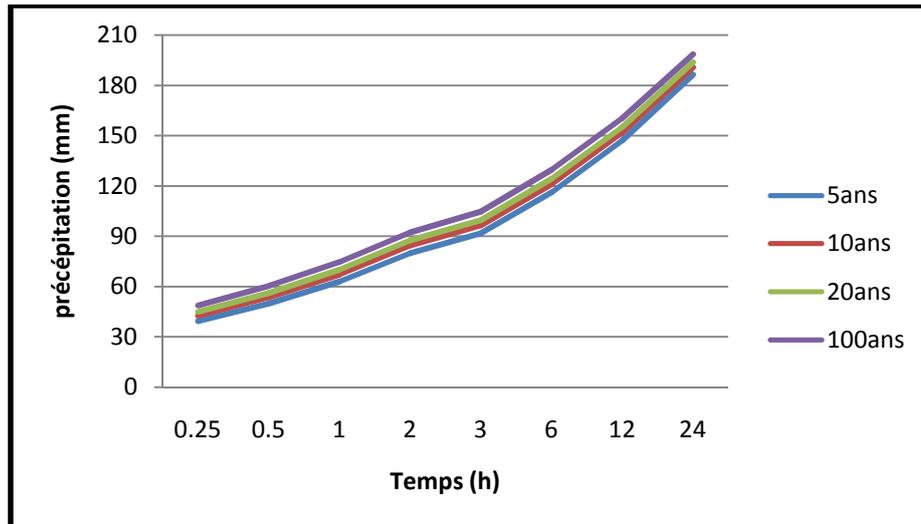


Figure V15 courbe de pluie de courte durée

Les intensités de courtes durées ont été évaluées afin de prévoir les intensités pluviales en période de crue, Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau V13 Valeurs des intensités obtenues en mm/heure

| Période de retour | 0,25h | 0,5h | 1h | 2h | 3h | 6h | 12h | 24h |
|-------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 5 ans | 157,14 | 99,52 | 63,02 | 39,91 | 30,55 | 19,35 | 12,25 | 7,76 |
| 10 ans | 170,72 | 107,15 | 67,25 | 42,20 | 32,14 | 20,17 | 12,66 | 7,94 |
| 20 ans | 179,85 | 112,25 | 70,06 | 43,73 | 33,19 | 20,71 | 12,93 | 8,07 |
| 100 ans | 194,70 | 120,52 | 74,60 | 46,17 | 34,88 | 21,59 | 13,36 | 8,27 |

La courbe intensité durée fréquence est représenté dans le graphe suivant :

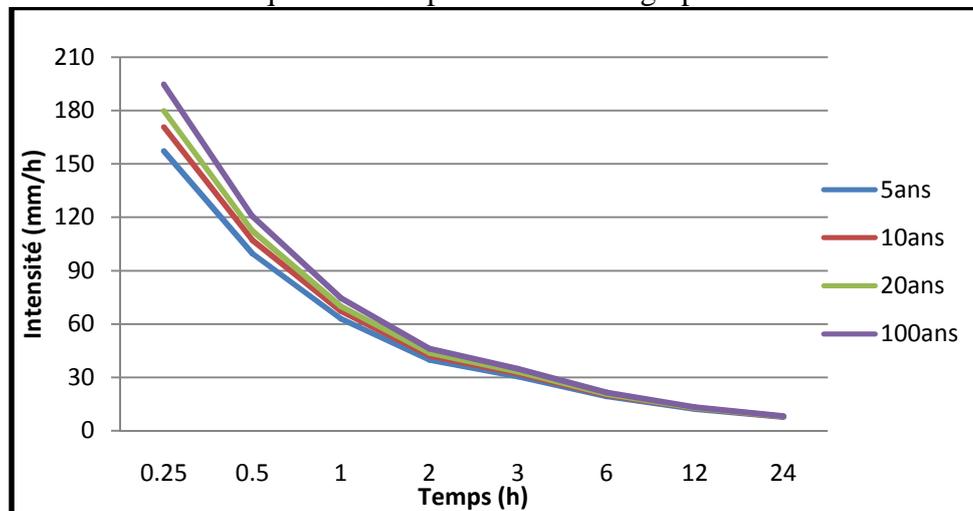


Figure V16 Courbe intensité Durée Fréquence

V.5.2. Station de Chaffia barrage sur bassin Bounamoussa

Tableau V14 Valeurs des pluies obtenues en mm/heure

| Période de retour | 0,25h | 0,5h | 1h | 2h | 3h | 6h | 12h | 24h |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 5 ans | 27,45 | 34,77 | 44,04 | 55,79 | 64,06 | 81,14 | 102,78 | 130,18 |
| 10 ans | 29,82 | 37,44 | 46,99 | 58,99 | 67,38 | 84,59 | 106,18 | 133,29 |
| 20 ans | 31,42 | 39,22 | 48,96 | 61,12 | 69,59 | 86,87 | 108,45 | 135,38 |
| 100 ans | 34,01 | 42,11 | 52,13 | 64,54 | 73,12 | 90,53 | 112,07 | 138,75 |

La courbe de pluie contre durée est représenté dans le graphe suivant :

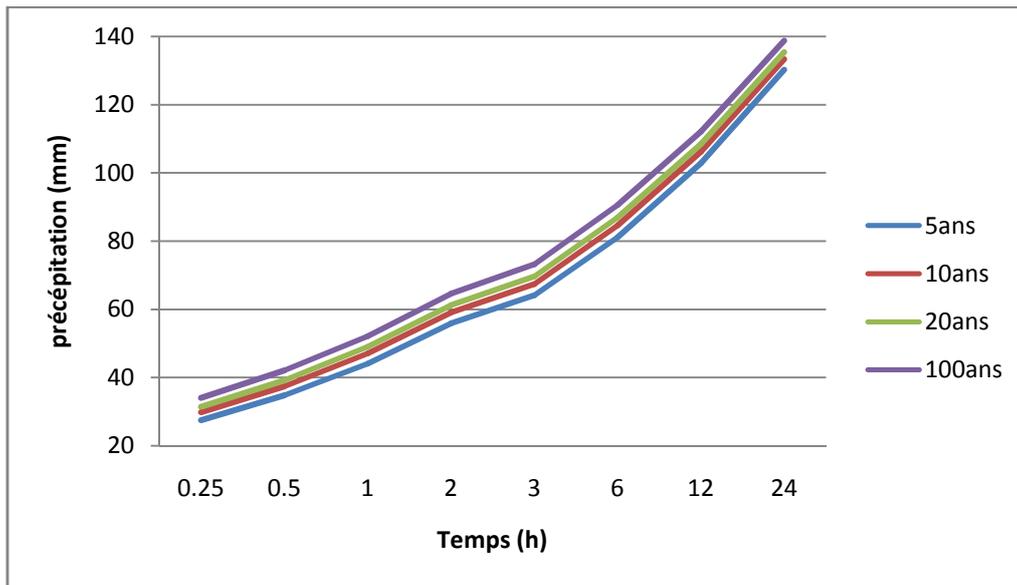


Figure V17 courbe de pluie de courte durée

Les intensités de courtes durées ont été évaluées afin de prévoir les intensités pluviales en période de crue, Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau V15 Valeurs des intensités obtenues en mm/heure

| Période de retour | 0,25h | 0,5h | 1h | 2h | 3h | 6h | 12h | 24h |
|-------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 5 ans | 109,82 | 69,55 | 44,04 | 27,89 | 21,35 | 13,52 | 8,56 | 5,42 |
| 10 ans | 119,30 | 74,88 | 46,99 | 29,49 | 22,46 | 14,09 | 8,84 | 5,55 |
| 20 ans | 125,68 | 78,45 | 48,96 | 30,56 | 23,19 | 14,47 | 9,03 | 5,64 |
| 100 ans | 136,07 | 84,22 | 52,13 | 32,27 | 24,37 | 15,08 | 9,33 | 5,78 |

La courbe intensité durée fréquence est représenté dans le graphe suivant :

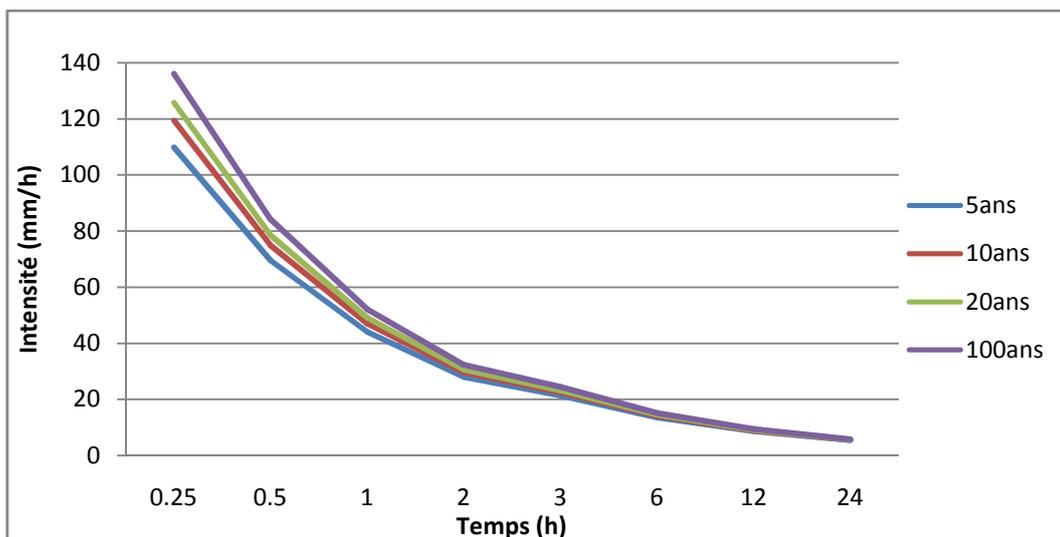


Figure V18 Courbe intensité Durée Fréquence

V.6. Détermination des apports liquides

L'intérêt de la détermination du débit maximal d'un cours d'eau est évident en raison des effets destructeurs bien connus de ces événements hydrologiques, L'étude des apports liquides favorise le bon dimensionnement du drainage,

V.6.1. Détermination des apports liquides

V.6.1.1. Formule de l'ANRH

L'apport est donné par la relation suivante :

$$A_0 \text{ (Hm}^3\text{)} = 0,513 * (P_a/1000)^{2,683} * D_d^{0,5} * S^{0,842} \dots\dots\dots(V.6)$$

Tel que :

- S: superficie du bassin versant en Km² ;
- P_a : précipitation moyenne annuelle en mm ;
- D_d : densité de drainage Km/Km²,

V.6.1.2. Formule de Samie

La lame d'eau écoulée (Le) est donnée par la relation suivante :

$$Le = (293 - 2,2 \times \sqrt{S}) P^2 ; \dots\dots\dots(V.7)$$

- A₀ = (Le × S)/1000 (en hm³),
- S : surface du bassin versant ;
- P : périmètre du bassin versant,

V.6.1.3. Formule de Deri I

L'apport est donné par la relation suivante :

$$A_o = 0.915 P_o^{2.684} S^{0.842} \text{ (en hm}^3\text{)} \dots\dots\dots(V.8)$$

Avec P₀ = P_a/1000

- S : surface du bassin versant ;
- P_a : périmètre du bassin versant,

V.6.1.4. Formule de Deri II

L'apport est donné par la relation suivante :

$$A_0 = (Le \times S)/1000 \text{ (en hm}^3\text{)} ; \dots\dots\dots(V.9)$$

Avec : Le = M₀* 31,56 ;

$$M_o = 11.8 P_o^{2.82} \text{ (En l/s, km}^2\text{)},$$

- L_e : la lame d'eau écoulé;
- S : surface du bassin versant,

Remarque

Pour les formules Deri I et II, le C_{vq} a été calculé avec la formule Sokolovsky – Cheveliev :

$$Cvq = 0.78 - 0.291 g_g M_o - 0.0631 g (S + 1)$$

Pour la formule Sami, le C_v a été calculé par la relation de Sokolovsky :

$$Cvq = 0,78 - 0,291 * (\text{Log}(M_0))$$

$$\text{Et } M_0 = Le / 31,56$$

Tableau V 16 Apport liquide (bassin d'oued Kébir)

| Formule | ANRH | Sami | Deri I | Deri II | Moyenne |
|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| A ₀ ; hm ³ | 117,774 | 207,276 | 249,249 | 313,764 | 222,015 |

Tableau V17 Apport liquide, apport fréquentiel (bassin d'oued Bounamoussa)

| Formule | ANRH | Sami | Deri I | Deri II | Moyenne |
|----------------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|
| A ₀ ; hm ³ | 84,200 | 155,231 | 180,754 | 216,994 | 159,294 |

V.6.2. Caractéristiques de l'écoulement

V.6.2.1. Module de l'écoulement

Il est donnée par :

$$M_e = A_0/T \dots \dots \dots (V10)$$

A_0 : Apport moyen annuel (litre) ;

T : Temps d'une année en secondes.

$$M_e (\text{Bounamoussa}) = 5,05 \text{ l/s} ; M_e (\text{Kébir}) = 7.04 \text{ l/s}$$

V.6.2.2. Module de l'écoulement relatif

$$M_0 = M_e/S \dots \dots \dots (V11)$$

S : Superficie du bassin (km^2) ;

M_0 : Module de l'écoulement (l/s).

$$M_0 (\text{Bounamoussa}) = 0,004 \text{ l/s/km}^2 ; M_0 (\text{Kébir}) = 0,004 \text{ l/s/km}^2$$

V.6.2.3. lame d'eau écoulée

$$L_e = A_0/S \dots \dots \dots (V12)$$

$$L_e (\text{Bounamoussa}) = 0,137 \text{ mm} ; L_e (\text{Kébir}) = 0,146 \text{ mm}$$

V.6.2.4. Coefficient de l'écoulement

Il est donné par :

$$C_e = L_e/P_{\text{moy}} \dots \dots \dots (V13)$$

$$C_e (\text{Bounamoussa}) = 0,00001 ; C_e (\text{Kébir}) = 0,00002$$

V.6.3. Détermination des Apports Solides

Sachant que les transports solides en suspension et charriés des cours d'eau sont susceptibles de diminuer le volume utile des ouvrages hydrauliques (retenues, barrages, canalisations, ...), il est donc nécessaire de les étudier, L'apport solide moyen annuel (A_S) est déterminé par les relations empiriques, que nous présentons ci-dessous :

V.6.3.1. Formule de Tixeront –Sogreah

Elle est donnée par : $A_S = \dots \times A_0^{0,15}$

: Paramètre caractérisant la perméabilité du bassin versant, égale à 20 pour bassin de perméabilité faible.

V.6.3.2. Formule de Graviovic

Cette relation fait intervenir un autre indice climatique (Coefficient de Température) et des caractéristiques de bassin versant, Elle est donnée par :

$$A_{Sq} = A_{Sq} \times C_{RM} \dots \dots \dots (V.14)$$

A_{Sq} : Taux de production annuel de matériaux (charriés et en suspension) $\text{m}^3/\text{Km}^2/\text{an}$, Il se calculera à partir de la relation suivante : $A_{Sq} = t \times P_{\text{MOY}} \times \dots \times Z^{1,5}$

Z : Coefficient d'érosion relatif, pour un terrain faiblement érodé en profondeur et en nappe ($Z = 0,4$) ;

T : Coefficient de température donnée par : $t = 0,1 + \sqrt{(T/10)}$ où T est la température moyenne annuelle ;

C_{RM} : Coefficient de rétention tenant compte des discontinuités spatio-temporelles dans le flux de matériaux arrachés au versant :

$$C_{RM} = \frac{\sqrt{P}}{0.2 \times (L + 10)} \times P_{\text{MOY}} \dots \dots \dots (V.15)$$

P : Périmètre du bassin versant (Km) ;

L : Longueur du Talweg Principal (Km),

P_{moy} : précipitation annuelle moyenne dans le bassin versant mm,

Les résultats des calculs sont illustrés dans les tableaux suivants :

Tableau V18 Apport solide pour le Bassin Oued Kébir,

| Formule | T/Km ² /an | m ³ /km ² /an |
|------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| Gavrilovic | 242,4 | 220,4 |
| Tixeron- Sogreah | 672,1 | 611,0 |
| La moyenne | 457,2 | 415,7 |

Tableau V19 Apports solides pour le Bassin Oued Bounamoussa,

| Formule | T/Km ² /an | m ³ /km ² /an |
|------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| Gavrilovic | 363,5 | 330,5 |
| Tixeron- Sogreah | 665,6 | 605,1 |
| La moyenne | 514,5 | 467,8 |

Conclusion

L'apport liquide total du bassin est de l'ordre de : $A_S = 430,00$ T/Km²/an ;

L'apport solide total au niveau du bassin est de l'ordre de : $A_S = 971,7$ T/Km²/an.

V.7. Etudes de crues

V.7.1. Détermination des débits maximums

Afin d'évaluer les débits maximaux des bassins versants aux sites des franchissements, on utilise deux méthodes :

- Méthode par corrélation statistique (Crupédix).
- Les formules empiriques élaborées en fonction de la pluie et des caractéristiques physiques des bassins versants ;

V.7.1.1. Méthodes par corrélation statistique (Méthode Crupédix)

La relation de Crupédix est une relation simple à mettre en œuvre car elle ne fait intervenir que deux paramètres explicatifs du débit à savoir la surface et la pluie journalière d'occurrence 10 ans :

$$Q_{10 \text{ ans}} = S^{0,8} \times \left(\frac{P_{j10}}{80}\right)^2 \times R \dots \dots \dots (V.16)$$

S : superficie du Bassin en Km² ;

P_{j10} : pluie journalière décennale en mm ;

R : coefficient régional égal 1 (région montagneuse).

Le test de la relation sur notre échantillon, permet d'obtenir un débit donné avec un intervalle de confiance à 70 % égal à $[2/3 Q_{10} ; 3/2 Q_{10}]$:

Tableau V 20 Débit de pointe par Crupédix

| Nom du bassin | Oued Kébir | Oued Bounamoussa | La Mafragh |
|---|------------|------------------|------------|
| Q _{10 ans} (m ³ /s) | 497,340 | 632,74 | 1130,08 |

V.7.1.2. Estimation Empirique Du Débit De Crues Maximal

V.7.1.2.1. Formule de Turazza

Pour la détermination du débit de crues on utilise la méthode de Turazza, avec l'intensité moyenne maximale de précipitation maximale journalière, Cette relation est donnée par :

$$Q_{\max p\%} = \frac{C.I_{tc}.S}{3.6} \dots \dots \dots (V.17)$$

S : superficie du bassin versant en Km² ;

C: coefficient de ruissellement pour différent période de retour égal à :

Tableau V 21 Valeur de Coefficient de ruissellement

| Période de retour | 5 ans | 10 ans | 50 ans | 100 ans |
|-------------------|-------|--------|--------|---------|
| C | 0,6 | 0,65 | 0,75 | 0,8 |

I_c : Intensité moyenne maximale des précipitations pendant une durée égale temps de concentration en mm/h;

Tableau V 22 Intensité maximale pendant une durée égale temps de concentration

| Période de retour | Bassin kébir avec $T_c = 22,66$ h | | Période de retour | Bassin Bounamoussa avec $T_c = 17,4$ h | |
|-------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------|---|-------------------|
| | Pluies j max | Intensité maximal | | Pluies j max | Intensité maximal |
| 5 ans | 181,96 | 8,12 | 5 ans | 116,66 | 6,70 |
| 10 ans | 186,46 | 8,32 | 10 ans | 119,94 | 6,89 |
| 20 ans | 189,49 | 8,45 | 20 ans | 122,14 | 7,01 |
| 100 ans | 194,37 | 8,67 | 100 ans | 125,66 | 7,22 |

Le débit max de crues pour différentes période de retour est représenté dans le tableau suivant :

Tableau V 23 Débit max par Turazza

| Période de retour | 5 ans | 10 ans | 50 ans | 100 ans |
|--|--------|---------|---------|---------|
| Débit max (m^3/s) (bassin Kébir) | 571,40 | 634,27 | 743,28 | 813,48 |
| Débit max (m^3/s) (bassin Bounamoussa) | 360,08 | 401,05 | 471,23 | 517,15 |
| Total (bassin Mafragh) | 931,49 | 1035,32 | 1214,52 | 1330,63 |

V.7.1.2.2. Formule de Giandotti

Le débit maximal de crue est déterminé par la relation de Giandotti, mettant en évidence la pluie maximum sur le temps de concentration, Elle est donnée par :

$$Q_{max} = \frac{1,66 \times P_t (\%) \times \sqrt{H_{max} - H_{min}}}{4\sqrt{S} + 1,5 \times L_{Tp}} \dots \dots \dots (V.18)$$

Avec :

H_{max} : Altitude Maximale du Bassin Versant ;

H_{min} : Altitude Minimale du Bassin Versant ;

S : superficie du bassin versant en Km^2 ;

L : longueur du Talweg principale.

P_t : pluie maximal pendant une duré de temps de concentration.

Le débit max de crues pour différentes période de retour est représenté dans le tableau suivant :

Tableau V 24 Débit max par Giandotti

| Période de retour | 5 ans | 10 ans | 50 ans | 100 ans |
|--|-------|--------|--------|---------|
| Débit max (m^3/s) (bassin Kébir) | 18,3 | 20,85 | 24,14 | 26,61 |
| Débit max (m^3/s) (bassin Bounamoussa) | 28,42 | 33,21 | 39,41 | 44,06 |
| Total (bassin Mafragh) | 46,72 | 54,06 | 63,55 | 70,67 |

V.7.1.2.3. Formule de Sogreah-ANRH (1989)

$$Q_t = C_q (P_t - P_1) \dots\dots\dots(V.19)$$

Avec :

$P_1=20$ mm en Algérie du nord ;

P_t : Pluie journalière max, de période de retour t ,

C_q : coefficient de ruissellement ; $C_q = (S/6) \times T_b^{-0,77}$

S : superficie du BV en Km^2 ;

T_b : temps de base en heure ;

$$T_b = T_{b0} + (L^{1,7} (P_a \times V_i)^{0,57}/1000)$$

$T_{b0} = 2,33$ pour les stations du Nord Algérien ;

L : longueur du talweg principal ;

P_a : pluie annuelle en mm ;

V_i : pente brute du bassin en %

$$V_i = (H_{max} - H_{min})/L_r$$

H_{max} et H_{min} : altitudes max, et min

L_r : longueur du rectangle equivalent.

Le débit max de crues pour différentes période de retour est représenté dans le tableau suivant :

Tableau V 25 Débit max par de Sogreah-ANRH

| Période de retour | 5 ans | 10 ans | 50 ans | 100 ans |
|--|---------|---------|---------|----------|
| Débit max (m^3/s) (bassin Kébir) | 3482,50 | 4094,59 | 4886,87 | 5480,58 |
| Débit max (m^3/s) (bassin Bounamoussa) | 2884,36 | 3391,32 | 4047,52 | 4539,25 |
| Total (bassin Mafragh) | 6366,86 | 7485,91 | 8934,39 | 10019,83 |

Conclusion

- Nous remarquons que les relations de Sogreah-ANRH et Giandotti donnent des valeurs extrêmes, la première est trop élevée et la seconde très faible, Ces deux relations seront écartées ;
- Les débits obtenus par les formules de Turrazza sont rapprochés ;
- Comparaison de débit décennal entre les deux formules de Turrazza et Crupédix:

Tableau V 26 Comparaison entre les deux formules de Turrazza et Crupédix

| Nom du bassin | Oued Kébir | Oued Bounamoussa | La Mafragh |
|--|------------|------------------|------------|
| $Q_{10\text{ans}}$ de Crupédix (m^3/s) | 497,340 | 632,74 | 1130,08 |
| $Q_{10\text{ans}}$ de Turrazza (m^3/s) | 634,27 | 401,05 | 1035,32 |

On remarque que les valeurs du débit décennal par la formule de Crupédix et proche de la formule de Turrazza.

C'est-à-dire on prend le débit maximal de la formule de Turrazza.

V.7.2. Hydrogramme de Crue

Pour tracer l'hydrogramme de crue, on doit suivre la méthode de Sokolovski qui divise l'hydro gramme en deux parties non symétriques, une est calculée à partir du temps de montée et l'autre à partir du temps de la décrue,

Pour la montée de la crue :

$$Q_m = Q_{max} \left(\frac{t}{t_m} \right)^x \dots\dots\dots(V20)$$

Pour la décrue :

$$Q_d = Q_{max} \left[\frac{(t_d - t)}{t_d} \right]^y \dots\dots\dots(V21)$$

Où :

t_m : Temps de montée de la crue ($t_m = t_c$),

t_d : temps de la décrue ($t_d = 4 t_m$; $= 4 t_c$),

x, y : puissances des courbes ($x=2$; $y=3$),

δ : Coefficient qui dépend des caractéristiques du bassin versant,

Les débits max pour les sous bassins :

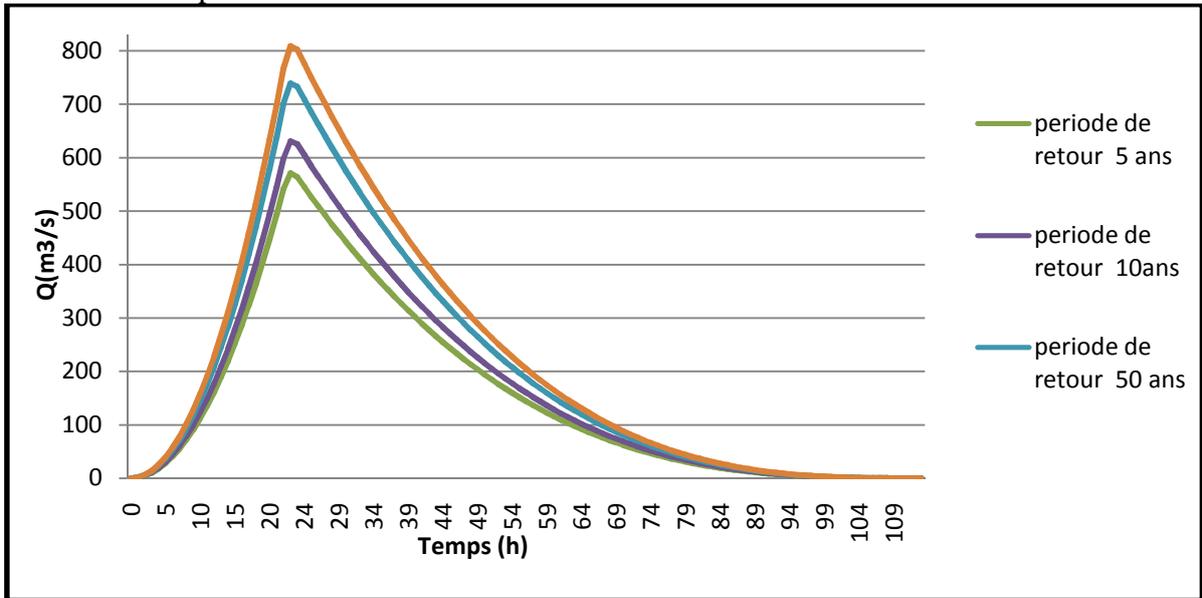


Figure V19 Hydrogramme de crue de bassin Kébir

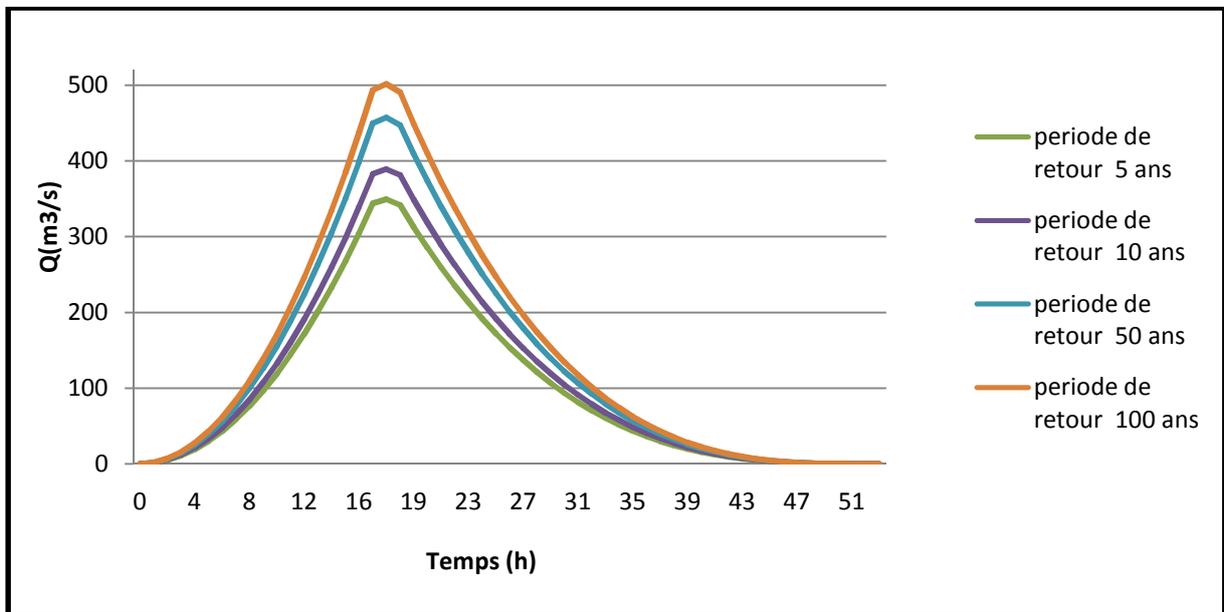


Figure V20 Hydrogramme de crue de bassin Bounamoussa

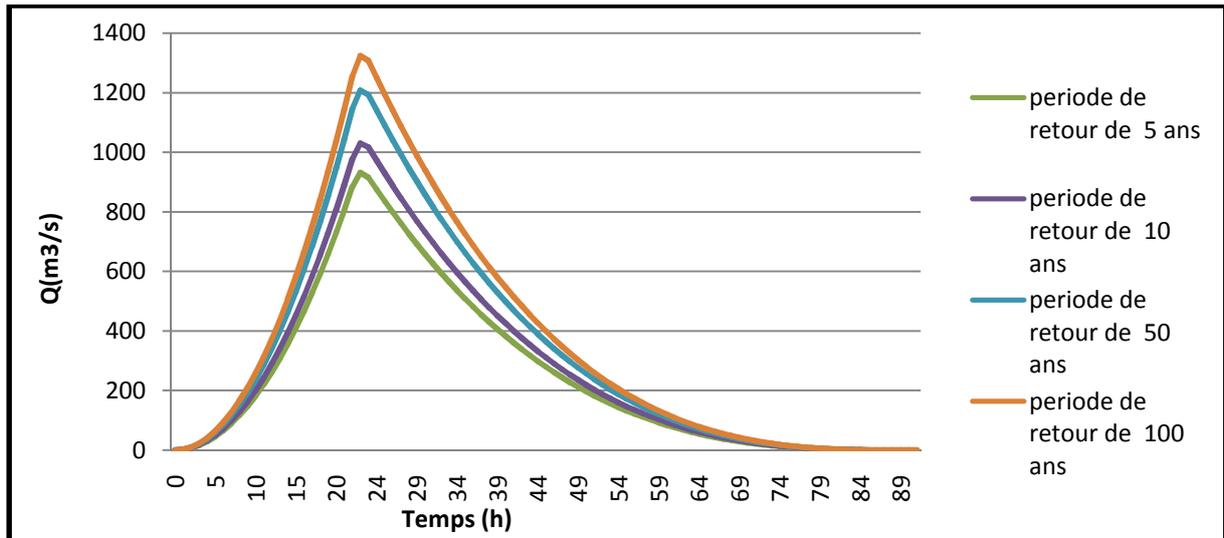


Figure V21 Hydrogramme de crue de bassin la Mafragh

Conclusion

A la fin de cette étude hydrologique, on a pu estimer les débits de crues pour différentes périodes de retour.

Pour un maximum de sécurité, nous allons prendre comme débit pour le dimensionnement celui obtenue par la formule de Turrazza.

CHAPITRE IV

CALCUL HYDRAULIQUE

Introduction

L'objectif de cette étude est dans un premier temps, d'apprécier l'écoulement des crues tant, en termes de tirant d'eau, de vitesse, régime d'écoulement ainsi que l'estimation des volumes débordant. Dans un deuxième temps, on se propose de définir les aménagements permettant d'écrêter et de diminuer les dégâts occasionnés par ces phénomènes hydrauliques.

Pour ce faire, on procédera par une estimation des normes d'écoulement et un calcul hydraulique en se basant sur des données hydrologiques, hydrauliques et topographiques des sites ou bassins versants en question. Le calcul hydrologique sera réalisé pour une fréquence bien choisie (centennal), la plus adéquate pour ce genre de projet afin de définir l'impact de cette crue de référence sur les ouvrages et examiner les débordements éventuels hors du lit mineur et majeur des cours d'eau.

IV.1. But d'aménagement

L'aménagement de bassin la Mafragh a pour but, la protection de la willaya de Taref contre les crues de ce dernier, alors que d'une façon générale les aménagements hydraulique des oueds (oued Kébir et oued Bounamoussa) ont pour but d'attendre un ou plusieurs des objectifs suivants :

- Ecoulement rapide et sans danger des eaux de crue ;
- Charriage efficace des sédiments en sus ;
- Pension et des dépôts sur le fond ;
- Concentration des courants dans une section déterminée du lit ;
- Stabilité du cours avec minimum d'érosion des berges ;
- Profondeur suffisant et parcours aisée pour la navigation.

IV.2. Choix du site pour la simulation des débits de la crue

On a choisir le site suivants au niveau de oued Kébir ou il y a des agglomérations dans la partie aval (Bouteldja, El Kala, El Rirhia et Mechit Nadjem) :

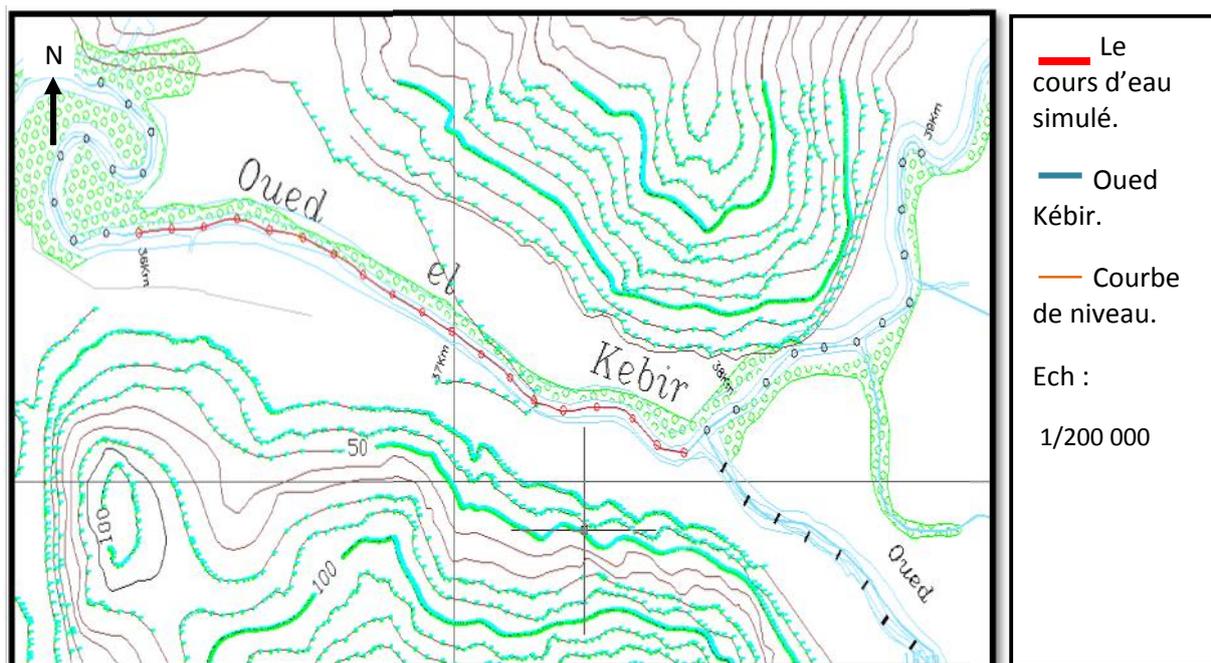


Figure VI 1 Choix du cours d'eau pour la simulation des débits, Echelle 1/200 000

IV.3. Données de base existante pour l'aménagement

Pour les besoins d'étude et dans le cadre de l'aménagement on a utilisé des cartes d'état major à l'échelle 1/25 000^{ème}, les vues aériennes de la zone d'étude (Google Earth) du levé topographique et de l'étude hydrologique du bassin versant de l'oued Mafragh.

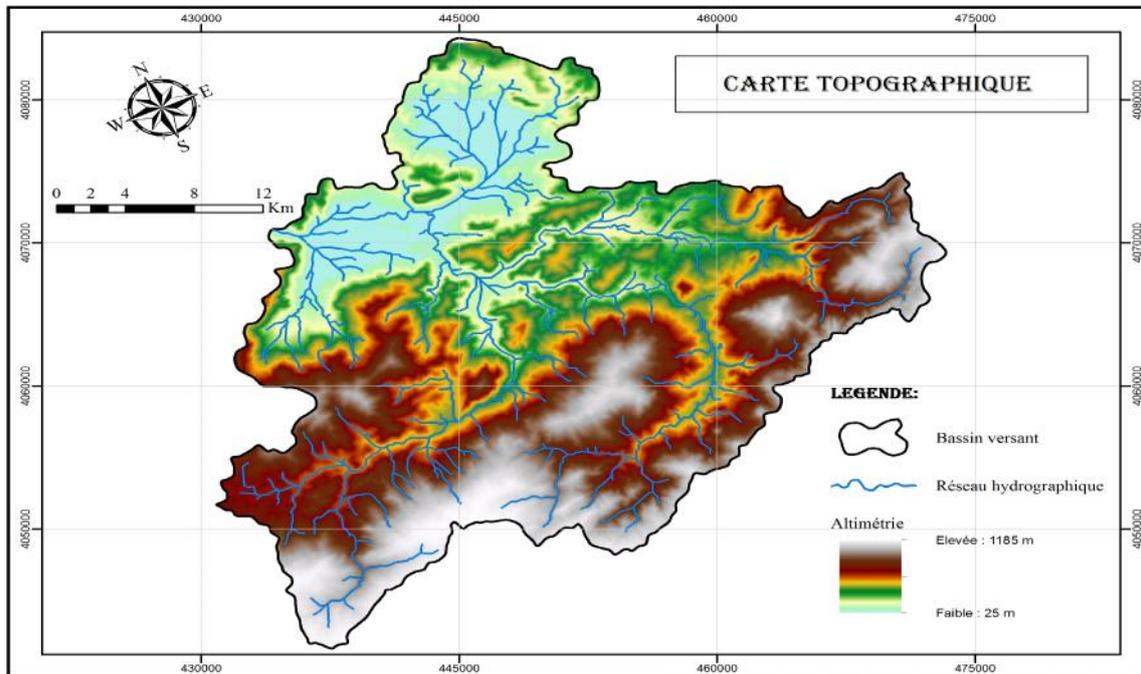


Figure VI 2 Carte topographique de sous bassin Kébir Est Echelle 1/250 000

IV.4. Débit de dimensionnement

Le débit de dimensionnement est choisi à partir des normes de protection et de sécurité contre les inondations, et selon l'étude hydrologique, la période de retour choisi est 100 ans et Le débit choisi pour le dimensionnement est $488,262 \text{ m}^3/\text{s}$ qui représentent 60% du réseau hydrographique du bassin Kébir.

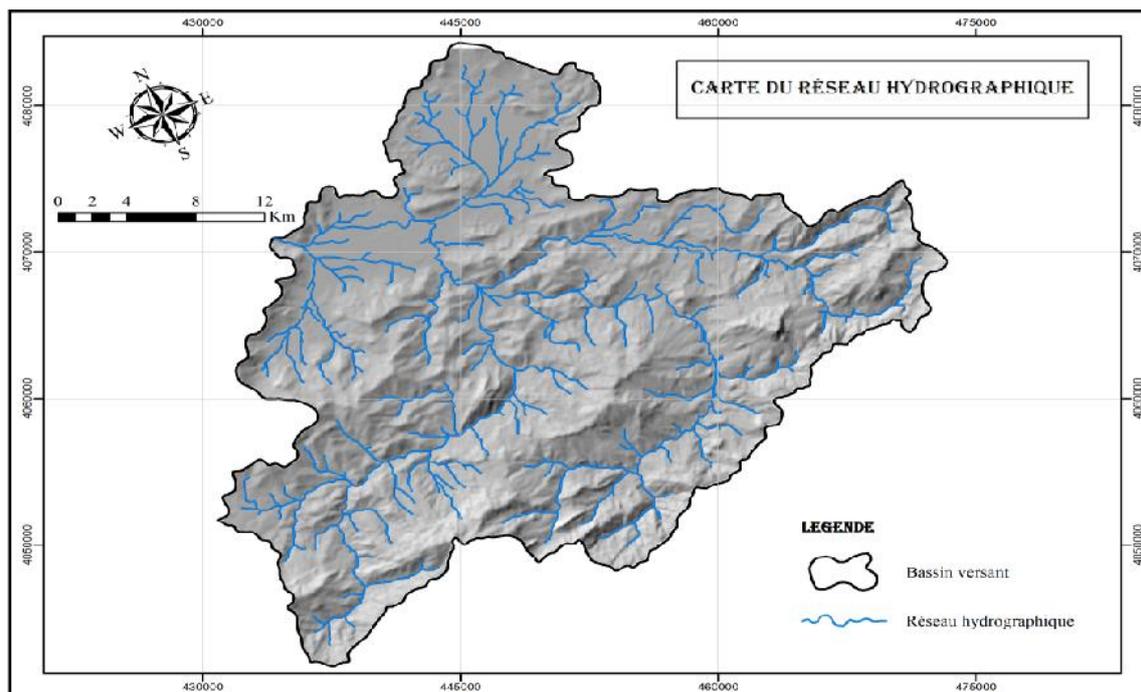


Figure VI 3 Carte du réseau hydrographique de sous bassin Kébir Est, Echelle 1/250 000

IV.5. Aménagement des bassins versants

Contre l'érosion par des méthodes biologiques et/ou par la construction de seuils en gabions qui permettent la réduction des vitesses d'écoulement et le dépôt des sédiments en amont.

V.6. Généralités:

IV.6.1. Ecoulement à surface libre

Se caractérise par l'existence d'une surface libre, c'est-à-dire une surface en contact avec l'atmosphère, tout en long du réseau. Dans ce type d'écoulement, la pression à surface de l'eau équivalente à la pression atmosphérique, et l'écoulement se fait sous l'action de la force de gravité à cause de l'existence de pente.

IV.6.2. Variabilité dans le temps

IV.6.2.1. Ecoulement permanent

On dit un écoulement permanent si les paramètres suivants : vitesse, débit et profondeur restent invariable dans le temps en grandeur et en direction. C'est-à-d

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dQ}{dt} = \frac{dh}{dt} = \frac{du}{dt} = 0 \quad (\text{VI.1})$$

IV.6.2.2. Ecoulement non permanent

On dit un écoulement permanent lorsque les paramètres suivants : vitesse, débit et profondeur se varient dans le temps en grandeur et en direction. C'est-à-dire :

$$\frac{dv}{dt} \neq \frac{dQ}{dt} \neq \frac{dh}{dt} \neq \frac{du}{dt} \neq 0 \quad (\text{VI.2})$$

IV.6.3. variabilité dans l'espace

IV.6.3.1. Régime uniforme

Un écoulement est uniforme si les paramètres suivants : vitesse, pente, rugosité, profondeur et section restent invariable dans l'espace. C'est à dire :

$$\frac{dv}{dx} = \frac{di}{dx} = \frac{dh}{dx} = \frac{ds}{dx} = 0 \quad (\text{VI.3})$$

IV.6.3.2. Régime non uniforme

Un écoulement est non uniforme si les paramètres suivants : vitesse, pente, rugosité, profondeur et section se varient dans l'espace. C'est à dire :

$$\frac{dv}{dx} \neq \frac{di}{dx} \neq \frac{dh}{dx} \neq \frac{ds}{dx} \neq 0 \quad (\text{VI.4})$$

- **Régime non uniforme graduellement varié**

Régime d'écoulement où la variation de hauteur dans la direction d'écoulement est très faible, typiquement si x désigne une longueur d'écoulement et h une variation de hauteur, on a $h/x \ll 1$.

- **Régime non uniforme rapidement varié**

Régime d'écoulement où la variation de hauteur dans la direction d'écoulement est très importante, en effet à l'approche d'une singularité ou bien en cas de ressaut hydraulique, l'écoulement peut entrer dans un régime rapidement varié.

IV.7. Estimation du coefficient de Manning

Les valeurs du coefficient de Manning sont représenté dans le tableau suivant:

Tableau VI 1 Valeurs usuelles des Strickler K ($n=1/k$)

| Type de cours d'eau | Valeurs usuelles de K ($m^{1/3}/s$) | Valeurs usuelles de n |
|--------------------------------------|---|-------------------------|
| Canal bétonné, très lisse | 75 à 100 | 0,014 à 0,01 |
| Canal bétonné, état moyen | 50 à 75 | 0,02 à 0,013 |
| Canal en terre | 30 à 50 | 0,033 à 0,02 |
| Cours d'eau régulier, bien entretenu | 40 à 50 | 0,025 à 0,02 |
| Cours d'eau ordinaire | 30 à 40 | 0,033 à 0,025 |
| Cours d'eau avec embâcles | 20 à 30 | 0,05 à 0,033 |

IV.8.Simulation de l'écoulement d'oued la Kébir aux conditions réelles

- La longueur de cour d'eau est de 1,8 km
- Nombre des sections 31
- Distance moyenne entre les sections est 43,676 m

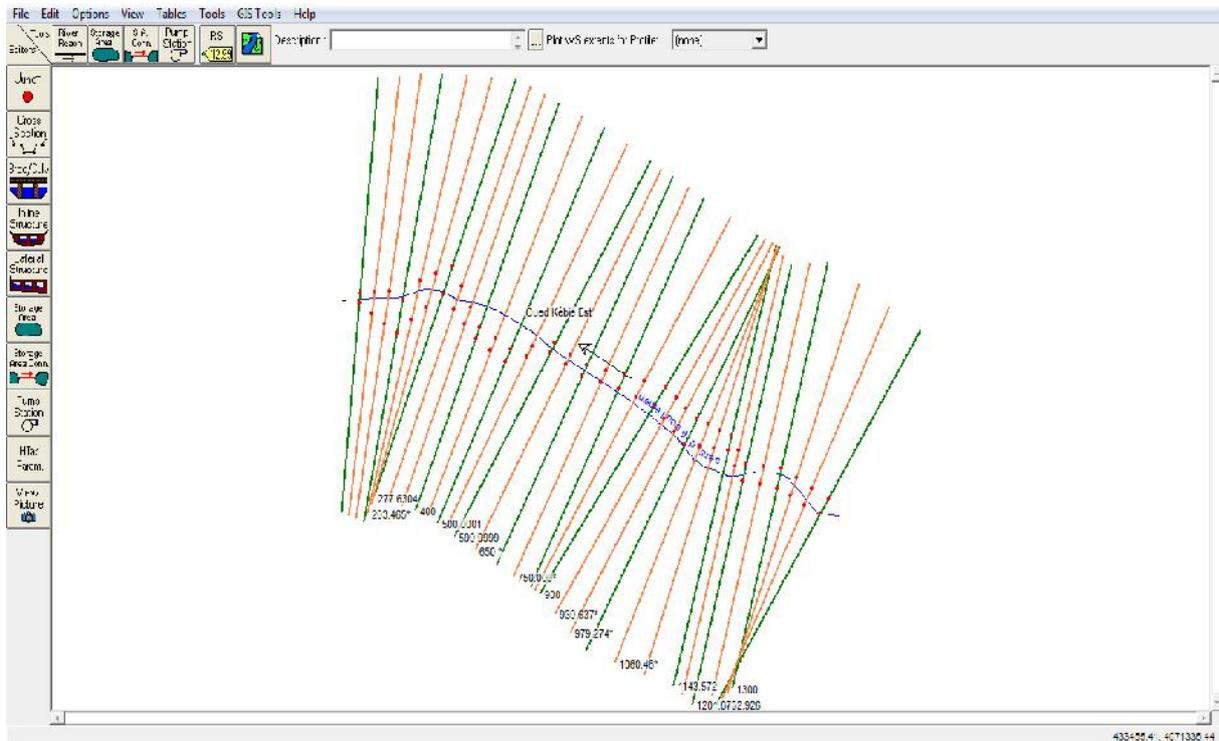


Figure VI 4 Définition du tracé de l'oued et des sections

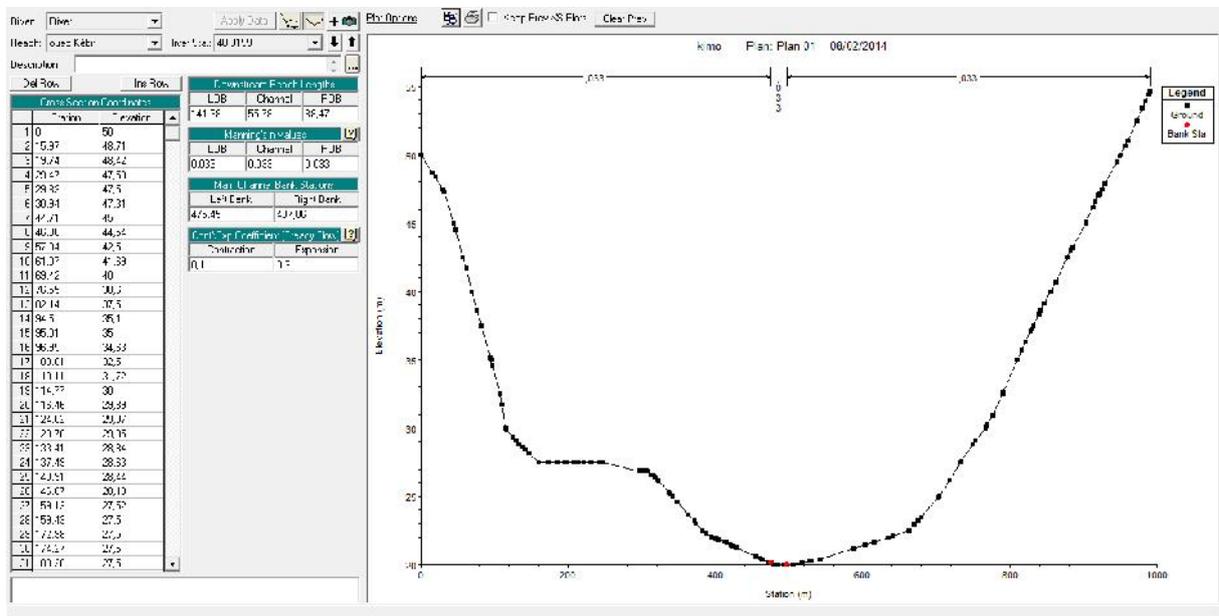


Figure VI 5 Définition de la crue des conditions aux limites

Les résultats de simulation de logiciel HEC-RAS pour 33 sections sont représenté dans le tableau suivant :

Tableau VI 2 les paramètres hydraulique pour chaque sections

| Reach | River Sta | Q Total (m ³ /s) | Min Ch El (m) | W.S. Elev (m) | E.G. Elev (m) | E.G. Slope (m/m) | Vel Chnl (m/s) | Flow Area (m ²) | Top Width (m) | Froude # Chl |
|--------------------|-----------|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|------------------|----------------|-----------------------------|---------------|--------------|
| Oued kébir Est Est | 1442,926 | 374,1 | 22,5 | 33,59 | 33,59 | 0,000007 | 0,16 | 2316,17 | 394,93 | 0,02 |
| Oued kébir Est | 1395,28* | 381,92 | 22,49 | 33,59 | 33,59 | 0,000007 | 0,19 | 2017,84 | 391,97 | 0,02 |
| Oued kébir Est | 1347,64* | 396,25 | 22,47 | 33,59 | 33,59 | 0,000007 | 0,20 | 2016,51 | 345,55 | 0,02 |
| Oued kébir Est | 1300 | 396,84 | 22,46 | 33,59 | 33,59 | 0,000007 | 0,17 | 2311,52 | 341,3 | 0,02 |
| Oued kébir Est | 1250,93* | 396,25 | 22,32 | 33,59 | 33,59 | 0,000007 | 0,17 | 2309,82 | 401,46 | 0,02 |
| Oued kébir Est | 1201,873 | 396,22 | 22,14 | 33,59 | 33,59 | 0,000006 | 0,18 | 2179,80 | 435,16 | 0,02 |
| Oued kébir Est | 1172,72* | 418,09 | 21,94 | 23,47 | 24,22 | 0,001212 | 0,73 | 572,54 | 44,06 | 0,23 |
| Oued kébir Est | 1143,572 | 418 | 21,79 | 24,95 | 25,33 | 0,003069 | 1,61 | 258,92 | 162,43 | 0,32 |
| Oued kébir Est | 1102,01* | 418,06 | 21,61 | 25,02 | 25,22 | 0,001441 | 1,22 | 343,04 | 205,66 | 0,23 |
| Oued kébir Est | 1060,46* | 424,4 | 21,44 | 25,06 | 25,14 | 0,000714 | 0,90 | 469,20 | 236,11 | 0,16 |
| Oued kébir Est | 1018,911 | 424,23 | 21,26 | 25,04 | 25,15 | 0,000391 | 0,70 | 609,20 | 263,61 | 0,12 |
| Oued kébir Est | 979,274* | 424,25 | 21,13 | 25,05 | 25,13 | 0,000449 | 0,78 | 544,16 | 245,62 | 0,13 |
| Oued kébir Est | 939,637* | 445,07 | 20,99 | 25,02 | 25,12 | 0,000511 | 0,89 | 501,85 | 227,66 | 0,15 |
| Oued kébir Est | 900 | 445,07 | 20,46 | 24,94 | 25,1 | 0,000577 | 0,95 | 467,24 | 206,19 | 0,16 |
| Oued kébir Est | 850,* | 445 | 20,62 | 24,93 | 25,07 | 0,000761 | 1,11 | 402,47 | 215,76 | 0,18 |
| Oued kébir Est | 800 | 466,64 | 20,39 | 24,46 | 25,03 | 0,000961 | 1,31 | 355,01 | 214,43 | 0,21 |
| Oued kébir Est | 750,000* | 466,63 | 20,34 | 24,44 | 24,94 | 0,000547 | 0,83 | 564,56 | 261,49 | 0,13 |
| Oued kébir Est | 700,0001 | 466,65 | 20,24 | 24,49 | 24,95 | 0,00034 | 0,82 | 568,49 | 309,72 | 0,13 |
| Oued kébir Est | 650,* | 466,61 | 20,37 | 24,44 | 24,93 | 0,000231 | 0,67 | 700,79 | 295,53 | 0,11 |
| Oued kébir Est | 599,9999 | 466,61 | 20,47 | 24,44 | 24,92 | 0,000154 | 0,55 | 855,69 | 246,45 | 0,09 |
| Oued kébir Est | 550,* | 466,46 | 20,24 | 24,46 | 24,91 | 0,000246 | 0,75 | 625,3 | 247,54 | 0,11 |
| Oued kébir Est | 500,0001 | 466,43 | 20 | 24,45 | 24,9 | 0,000204 | 0,72 | 650,29 | 251,34 | 0,08 |
| Oued kébir Est | 450,000* | 466,45 | 20 | 24,44 | 24,49 | 0,000219 | 0,71 | 655,52 | 261,55 | 0,10 |
| Oued kébir Est | 400 | 466,41 | 20 | 24,43 | 24,44 | 0,000225 | 0,75 | 625,24 | 270,75 | 0,11 |
| Oued kébir Est | 359,210* | 466,41 | 20,04 | 24,42 | 24,47 | 0,000211 | 0,71 | 655,49 | 290,43 | 0,08 |
| Oued kébir Est | 318,420* | 466,36 | 20,04 | 24,41 | 24,46 | 0,000196 | 0,67 | 700,68 | 304,3 | 0,09 |
| Oued kébir Est | 277,6304 | 466,36 | 20,12 | 24,41 | 24,45 | 0,000141 | 0,60 | 781,5 | 323,44 | 0,09 |
| Oued kébir Est | 240,547* | 466,34 | 20,14 | 24,77 | 24,45 | 0,000354 | 0,81 | 572,35 | 316,55 | 0,13 |
| Oued kébir Est | 203,465* | 466,31 | 20,25 | 24,73 | 24,44 | 0,000572 | 0,95 | 489,59 | 291,67 | 0,14 |
| Oued kébir Est | 166,3824 | 466,66 | 20,31 | 24,69 | 24,41 | 0,000762 | 1,01 | 459,14 | 360,76 | 0,18 |
| Oued kébir Est | 127,028* | 400,47 | 20,21 | 22,25 | 25,15 | 0,001722 | 3,71 | 107,88 | 145,23 | 1,07 |
| Oued kébir Est | 87,6740* | 488,37 | 20,1 | 22,93 | 23,24 | 0,003064 | 1,82 | 267,68 | 266,54 | 0,37 |
| Oued kébir Est | 48,3199 | 488,25 | 20 | 23,01 | 23,13 | 0,001007 | 1,20 | 406,86 | 297,15 | 0,22 |

Légende

Min ch. El : Altitude du radier du canal
 Velchnl : Vitesse d'écoulement
 E.G Elev : altitude de la ligne d'énergie
 W.S Elev : Altitude du plan d'eau calculé

Froude # chl : Nombre de Froude
 Flowarea : Section mouillée
 E.G slope : pente de la ligne d'eau
 Top Width : Largeur du miroir

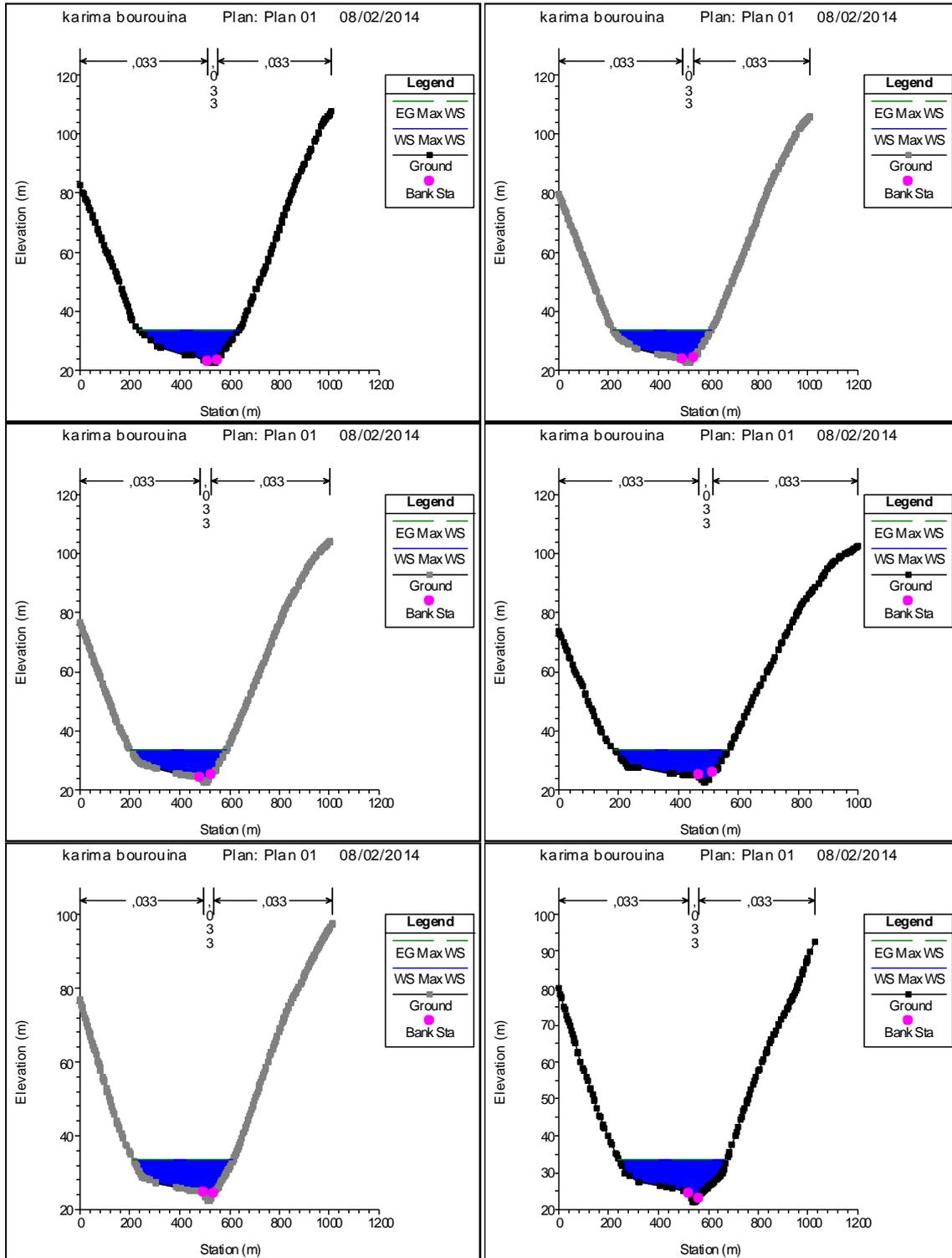


Figure VI 4 Sections en travers du canal et résultats de simulation.

EGM : Altitude qui correspond a la hauteur critique

WSM : Altitude du plan d'eau

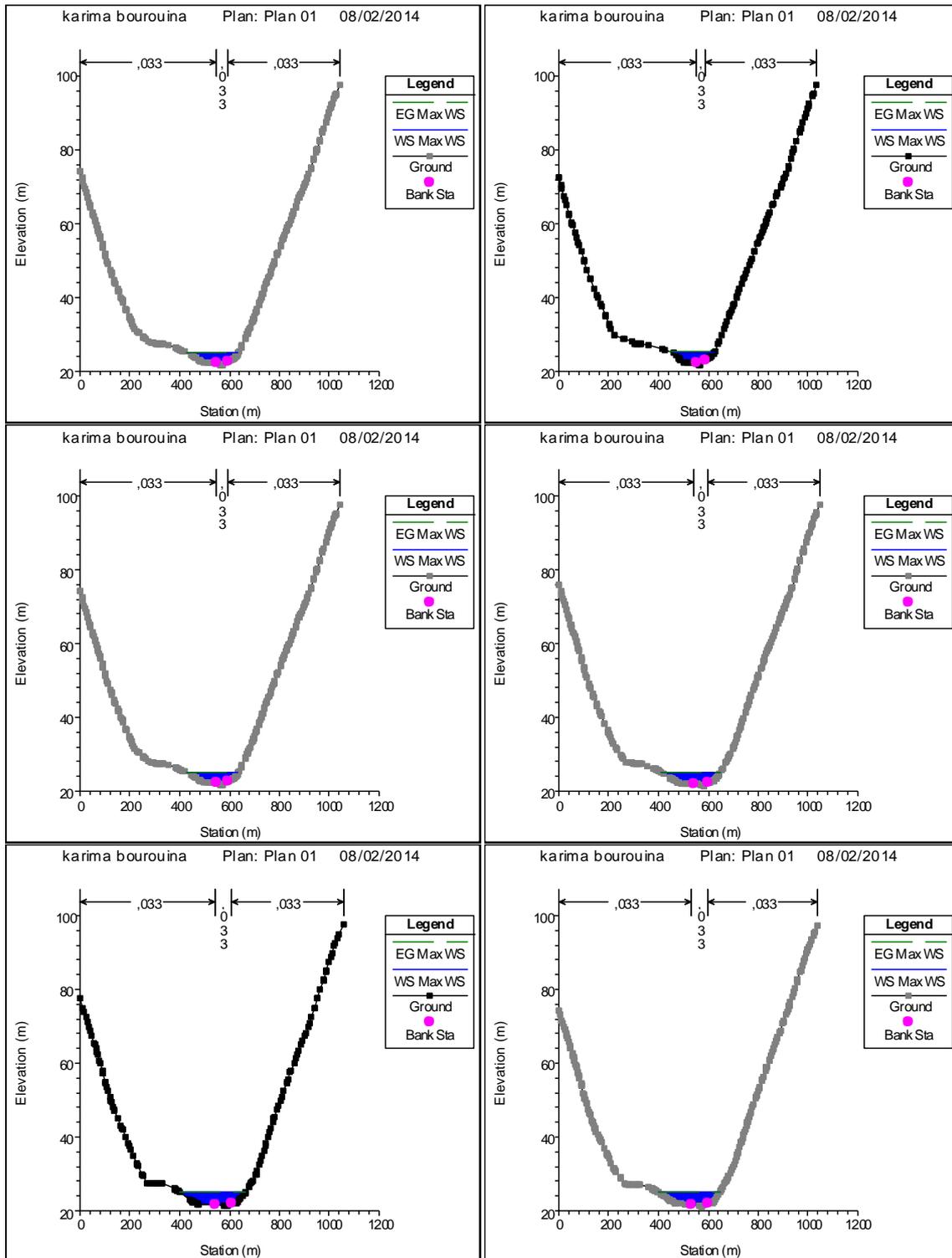


Figure VI 4 Sections en travers du canal et résultats de simulation.

EGM : Altitude qui correspond a la hauteur critique

WSM : Altitude du plan d'eau

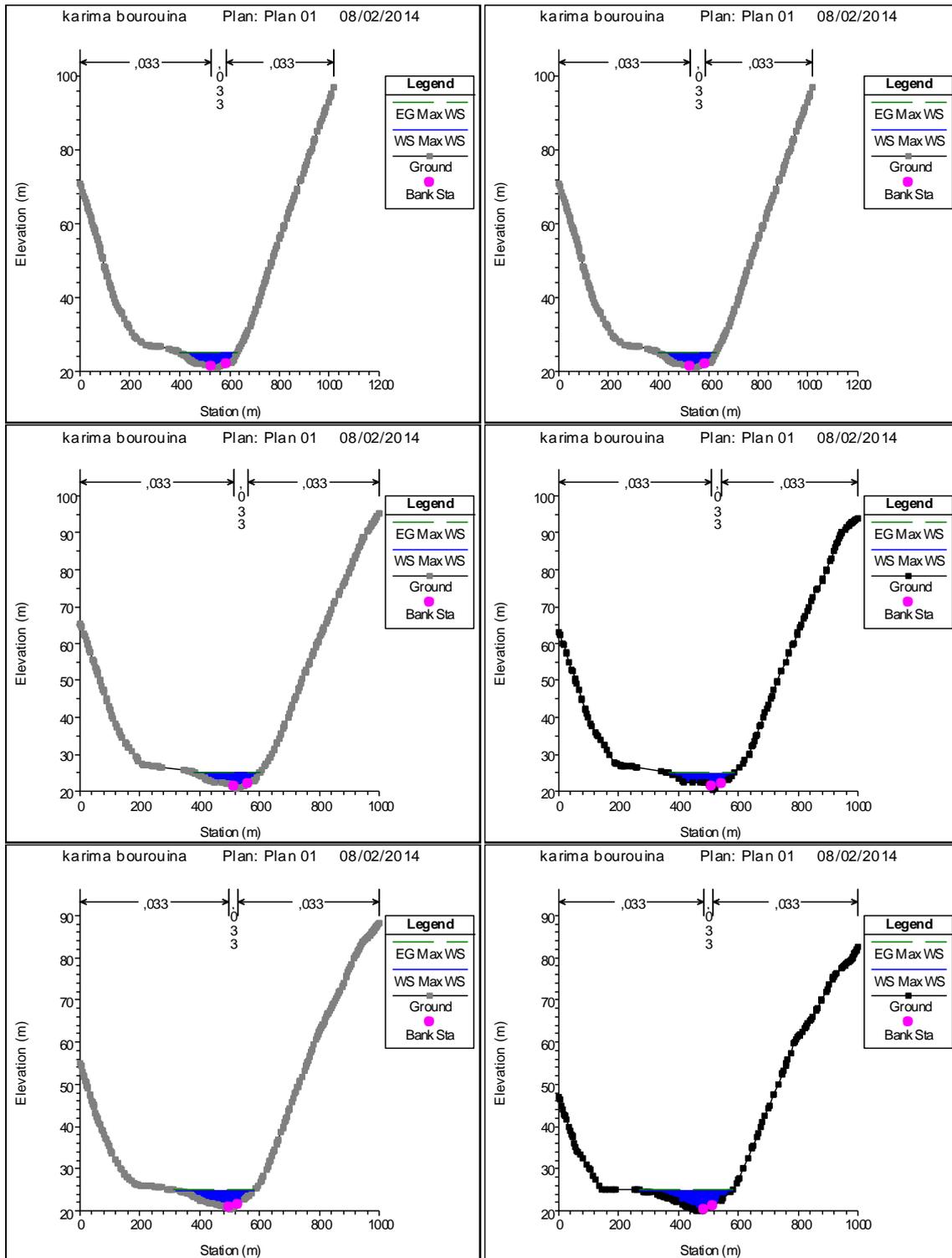


Figure VI 4 Sections en travers du canal et résultats de simulation.

EGM : Altitude qui correspond a la hauteur critique

WSM : Altitude du plan d'eau

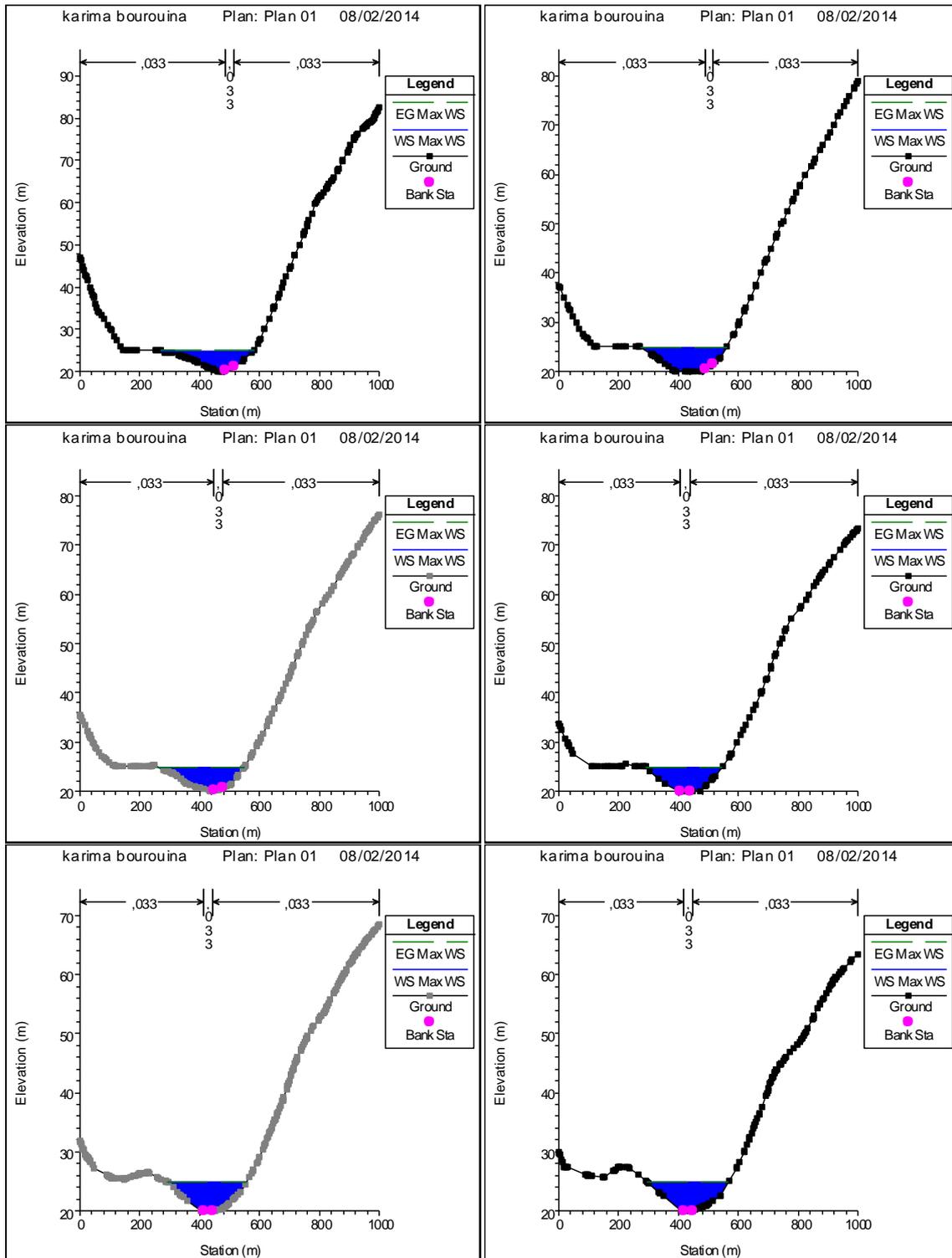


Figure VI 4 Sections en travers du canal et résultats de simulation.

EGM : Altitude qui correspond a la hauteur critique

WSM : Altitude du plan d'eau

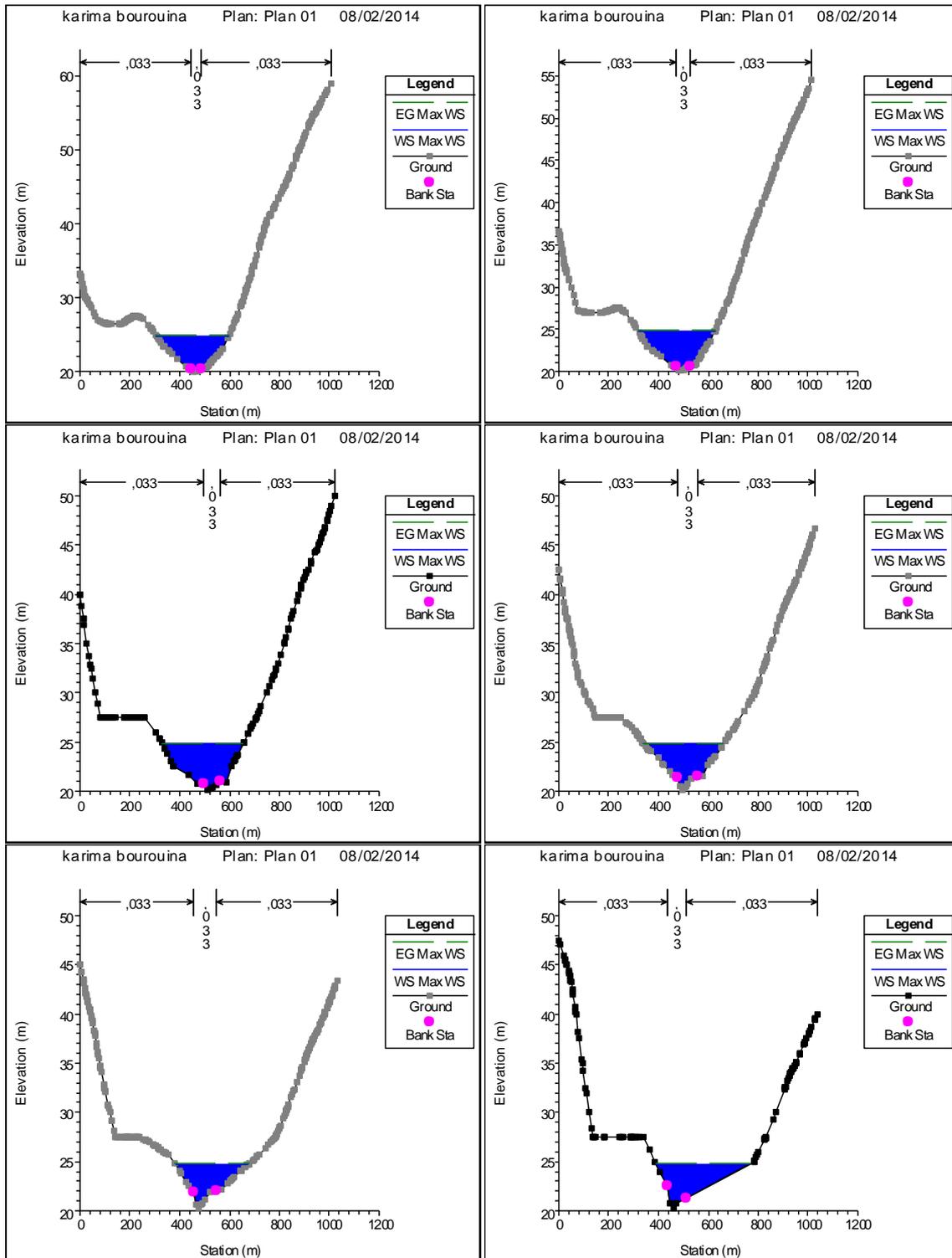


Figure VI 4 Sections en travers du canal et résultats de simulation.

EGM : Altitude qui correspond a la hauteur critique

WSM : Altitude du plan d'eau

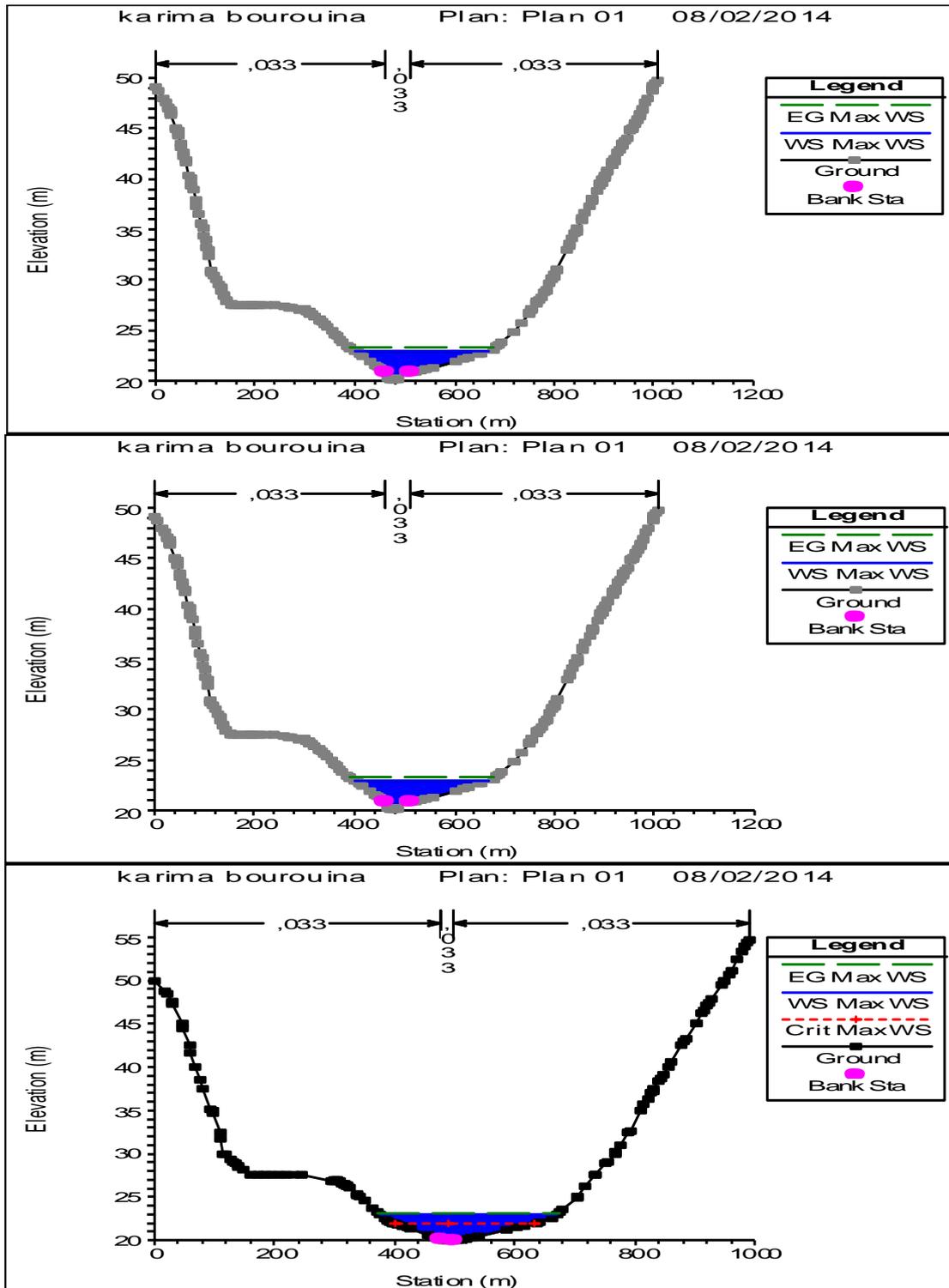


Figure VI 4 Sections en travers du canal et résultats de simulation.

EGM : Altitude qui correspond a la hauteur critique

WS M : Altitude du plan d'eau

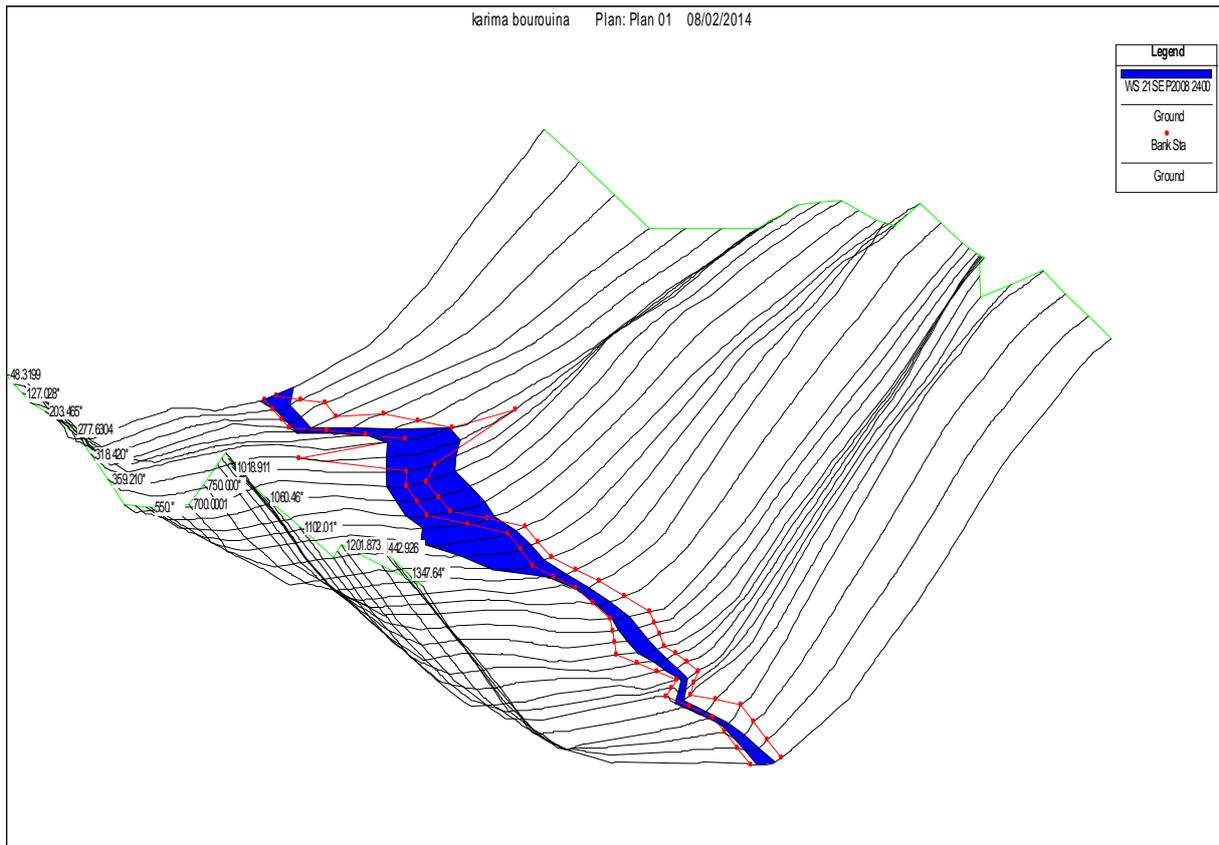


Figure VI 5 profil en long de l'oued a son l'état naturel (présentation 3D)

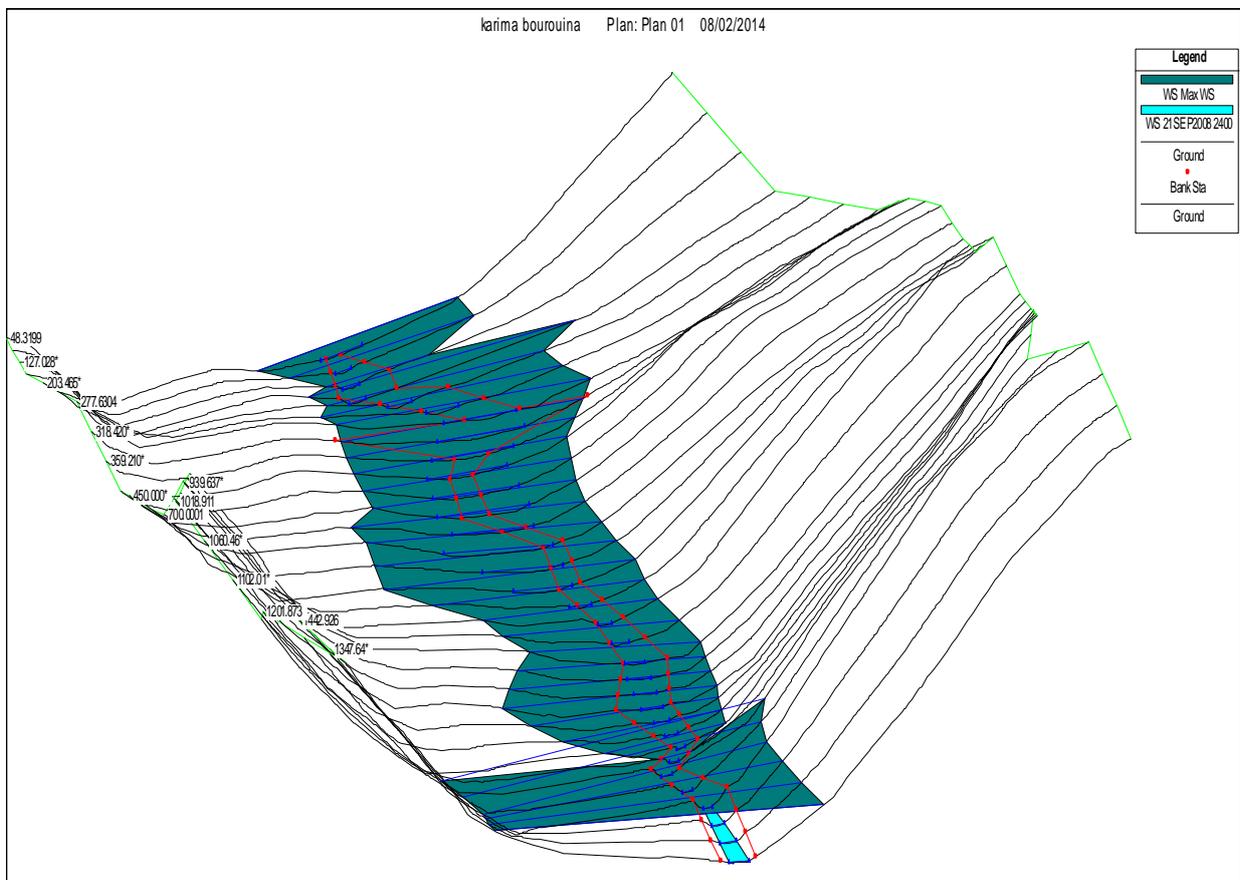


Figure VI 6 profil en long de l'oued dans l'état max (présentation 3D)

CHAPITRE VII

ETUDE DE LA VARIANTE

Introduction

Lors de ce chapitre, nous avons étudié des aménagements du lit de l'oued permettant de faire transiter le maximum de débit tout en prenant en considération les contraintes du site.

Le traitement de la problématique contre les inondations au niveau du bassin la Mafragh été réalisé en plusieurs opération ; le bureau d'étude HPO (Hydro Projet Ouest Oran) proposé des aménagements au niveau de oued la Mafragh (partie maritime) :

- Endiguement en argile compactée le long de l'oued ;
- Projection d'un canal trapézoïdal de 120m de largeur, un talus de 2/3 ;
- Un chenal ;
- Endiguement du chenal ;
- Une digue à talus.

Mais ces solutions été insuffisante et non efficiente protéger la ville contre les inondations surtout dans les régions plate ou il y à les problèmes de stagnation des eaux (Bouteldja, El Kala, El Rirhia et Mechit Nadjem), alors en doit réaliser un ouvrage dans la partie amont (sur sous bassin Kébir Est) pour ralentir le débit de la crue.

Pour la réalisation de l'ouvrage nous propose la variante suivante:

La Variante

Il faut régulariser le flux par un ouvrage écrêteur à seuil libre en béton.

VII.1.choix du site

Le site situé à 4 km de l'entrée de la commune Bouthldja c'est une partie du cours d'eau principale (oued Kébir), la délimitation de sous bassin est la suivante :

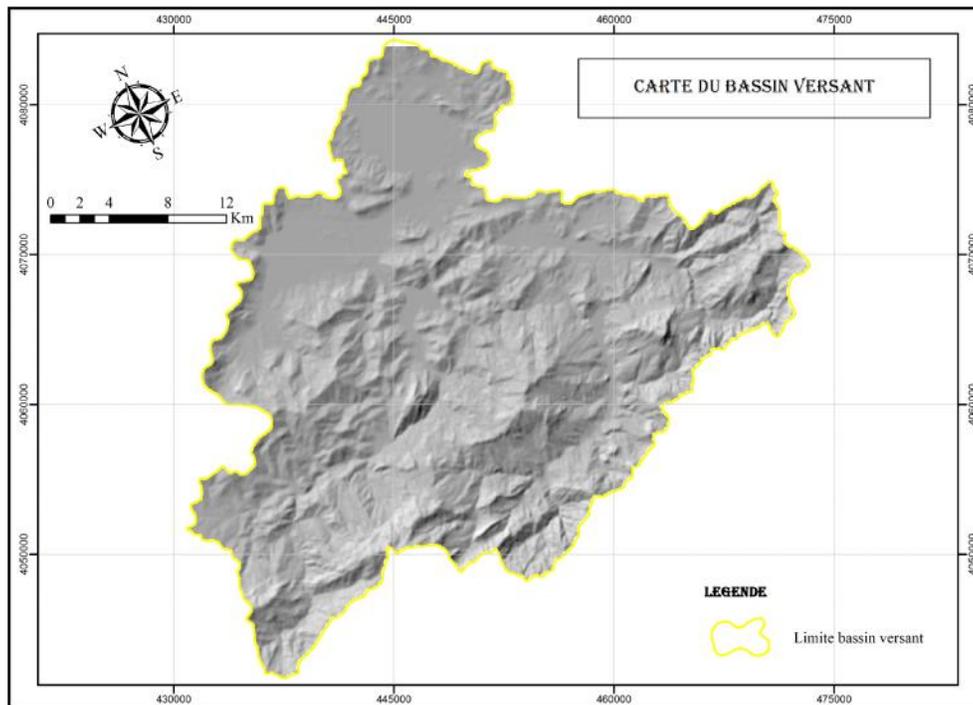


Figure VI 1 la carte du sous bassin Kébir Est, Echelle (1/250 000)

Les caractéristiques géomorphométriques du bassin versant sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau VII 1 Caractéristique géomorphométrique du bassin versant :

| Désignation | unité | symbole | Sous bassin Kébir |
|------------------------------------|------------------|------------------|-------------------|
| Surface | Km ² | S | 912 |
| Altitude maximale | m | H _{max} | 1145 |
| Altitude minimale | m | H _{min} | 20 |
| Altitude moyenne | m | H _{moy} | 582,5 |
| Coordonnées | m | X | 444600,438 |
| | m | Y | 4050484,325 |
| Longueur du cours d'eau principale | Km | L | 17,54 |
| Périmètre du bassin | Km | P | 174 |
| Pente moyenne | P _{moy} | ° | 4,25 |
| Pente maximal | P _{max} | ° | 37,57 |
| Temps de concentration | h | T _c | 7,47 |

VII.2. Calcul hydraulique de la zone d'étude

(Voir chapitre IV calcul hydraulique)

VII.3. Débit maximal annuel du projet

On l'hydrogramme de crue de la section qui véhicule un débit maximal 488,262 m³/s

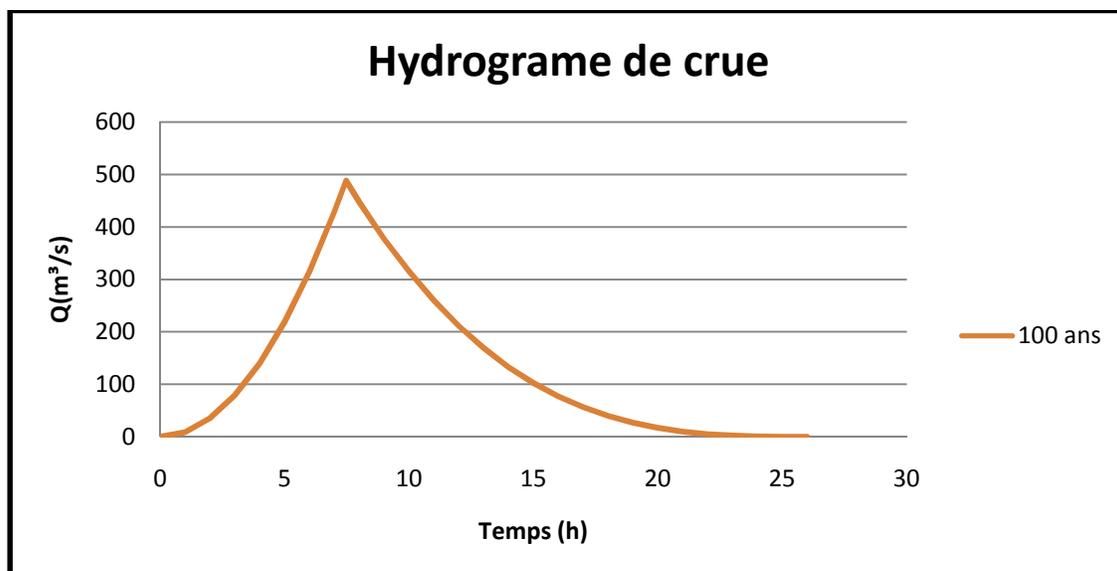


Figure VI 2 Hydrogramme de crue de la période de retour de 100 ans du sous bassin Kébir Est

VII.4.1a courbe capacité hauteur surface

Tableau VII 2 Les coordonnées des courbes (Hauteur-Capacité-Surface)

| Côte | Hauteur (m) | Surface cumulée (m ²) | Volume cumulé (m ³) | Côte | Hauteur (m) | Surface cumulée (m ²) | Volume cumulé (m ³) |
|------|-------------|-----------------------------------|---------------------------------|------|-------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 5 | 5 | 0 | 0 | 75 | 5 | 729000 | 1822500 |
| 10 | 5 | 10000 | 25000 | 80 | 5 | 819000 | 2047500 |
| 15 | 5 | 39000 | 97500 | 85 | 5 | 929000 | 2322500 |
| 20 | 5 | 69000 | 172500 | 90 | 5 | 1079000 | 2697500 |
| 25 | 5 | 104000 | 260000 | 95 | 5 | 1269000 | 3172500 |
| 30 | 5 | 144000 | 360000 | 100 | 5 | 1469000 | 3672500 |
| 35 | 5 | 189000 | 472500 | 105 | 5 | 1679000 | 4197500 |
| 40 | 5 | 239000 | 597500 | 110 | 5 | 1899000 | 4747500 |
| 45 | 5 | 294000 | 735000 | 115 | 5 | 2129000 | 5322500 |
| 50 | 5 | 354000 | 885000 | 120 | 5 | 2364000 | 5910000 |
| 55 | 5 | 419000 | 1047500 | 125 | 5 | 2602000 | 6505000 |
| 60 | 5 | 489000 | 1222500 | 130 | 5 | 2902000 | 7255000 |
| 65 | 5 | 565000 | 1412500 | | | | |
| 70 | 5 | 645000 | 1612500 | | | | |

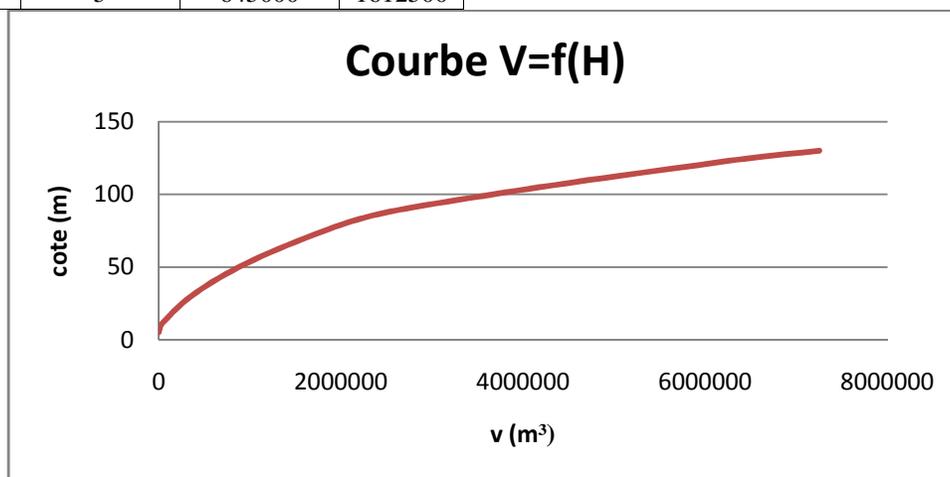


Figure VI 3 Variations du volume stocké en fonction de l'élévation du plan d'eau

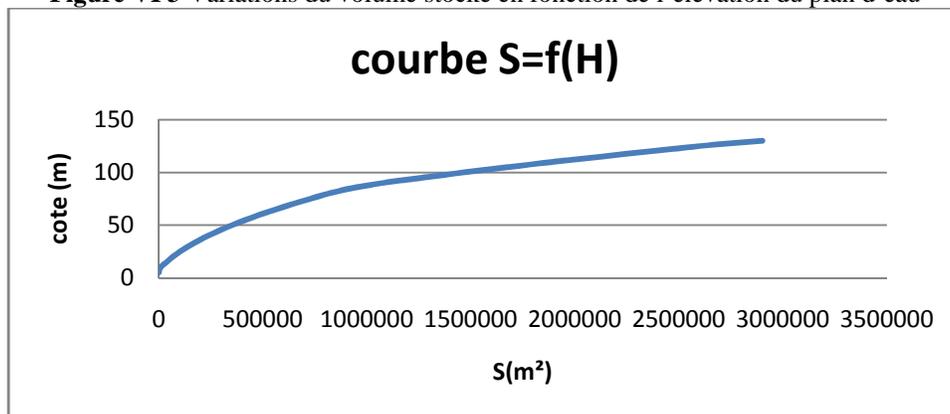


Figure VI 4 Variations de la surface inondée en fonction de l'élévation du plan d'eau

VII.5. Estimation des volumes des sédiments

En considérant les forces de production des sédiments en matière en suspensions et charriage, et tenus compte des différentes estimations du taux d'abrasion du bassin étudié, la valeur annuelle, admise pour évaluer les transports solides de la région, serait comprise entre 242,4 et 672,1 T/km², le volume des sédiments est déterminé par la formule suivante :

$$V_s = \frac{E_s \cdot T}{\gamma_s} \cdot S \dots \dots \dots \text{(VII 01)}$$

E_s : Taux d'abrasion, il est de 457,2 t/km²/an;

S : surface du bassin versant;

γ_s : Masse volumique de la vase $\gamma_s = 2,68 \text{ T/m}^3$

AN : $V_s = 155584 \text{ m}^3/\text{an}$

VII.6. Estimation du volume mort

Dans notre cas, on a estimé les apports solide par la valeur précédente, le volume mort est équivalent à une hauteur de 0,4m.

VII.7. la hauteur du barrage

A l'aide de logiciel Hec-Ras, on estime les surfaces susceptibles d'être inondée en fonction de la hauteur de l'eau, il faut que la hauteur de la digue égale à 5,4m

VII.8. les cotes caractéristiques

Cote du fond est 20,0m

La cote du volume mort est 20,4 m.

Donc le cote NNR est : 25,8m.

Cote de la base du barrage est égale la cote du fond diminuée la hauteur d'excavation ($H_{ex}=2 \text{ m}$) pour atteindre le bon sol : $H_{bb}=18\text{m}$.

VII.9. Laminage des crues

Le but de ce calcul est de déterminer par la hauteur déversoir et du débit laminé. La crue de projet adoptée, est la crue centennale tiré à partir du rapport hydrologique. Le débit de projet est estimé d'après la formule de KOTCHERINE. Est un procédé grapho-analytique qui se base sur les principes suivants:

- Hydrogramme de crue est considéré comme un triangle ou un trapèze ;
- Débits transitant par l'évacuation de crue se déversent selon une fonction linéaire ;
- Laminage commence avec le remplissage de la cuvette au niveau normal de la retenue (NNR) ;
- Pertes par infiltration et évaporation sont considérées comme nulles au moment de la crue.

Le débit de projet est estimé d'après la formule suivante :

$$Q_P = \frac{Q_{max}}{f} \left(1 - \frac{V_e}{V_c} \right) \dots \dots \dots \text{(VII 02)}$$

Avec :

Q_p : Débit de crue projet ;

f : Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue ($f=1,2$) ;

V_e : Valeur laminé de la crue ;

V_c : volume de crue.

Cette relation montre une réduction du débit de pointe de la crue au fur et à mesure que le niveau d'eau augmente dans la cuvette.

- **Estimation de la charge au dessus du déversoir :**

Le débit de crue centennial donné par la relation suivante :

$$q = m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2} \dots\dots\dots(\text{VII } 03)$$

Où :

m : coefficient de débit, dépendant notamment de l'épaisseur du déversoir par rapport a la charge **H**, et de la forme de la crête du déversoir, pour notre cas il est constant et égal à 0,49;

g : l'accélération de pesanteur; [g = 9,81m²/s];

b : la largeur de déversoir,

H : la charge sur le déversoir (on fait varier de 0,5 a 2 m),

Connaissant ce débit et parce qu'aussi :

$$q = S \cdot V_{\text{moy}} \quad \text{Et} \quad S = b \cdot (H + P)$$

Il est possible d'extraire la vitesse moyenne (V_{moy}) comme suit :

$$V_{\text{moy}} = \frac{q}{b \cdot (H + P)} \dots\dots\dots (\text{VII } 04)$$

Enfin on calcule les débits en faisant varier cette fois la largeur déversante par la même formule qui a dessus et b compris entre 4 et 44 mètres.

$$q = m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2} \dots\dots\dots (\text{VII } 05)$$

$$H_0 \approx H < \frac{r \cdot V_{\text{moy}}^2}{2g} \quad \text{Ou :} \quad H_0 : \text{ la charge globale.}$$

$\frac{V_{\text{moy}}^2}{2g}$: La charge dynamique liée a la vitesse d'écoulement;

P : la hauteur de pelle (p=1,5) ;

Cette itération donne des courbes qui peuvent s'entrecroiser avec la relation de q_{lam}. Ce sont des points de croisement qui permettent de définir le débit de crue laminée en correspondance à la largeur optimale.

Le débit laminée est calculé pour différentes charges "**H**" et différentes largeurs de "**b**",

Tableau VII. 3 Données initiales

| Données initiales | |
|-------------------|---------------------------|
| g | 9,81 m ² /s |
| | 1 |
| Q _{100%} | 488,262 m ³ /s |
| m | 0,49 |
| P | 1,5 m |

Tous les calculs et résultats sont représenté dans le tableau suivant :

Tableau VII.4 1^{ère} étape de calcul.

| b (m) | H (m) | Débit (m³/s) | Surface (m²) | Vitesse (m/s) | Volume forcé (m³) |
|--------------|--------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| 4 | 0,3 | 1,42 | 7,2 | 0,19 | 79816,51 |
| 8 | 0,5 | 6,13 | 16 | 0,38 | 80428,13 |
| 12 | 0,7 | 15,25 | 26,4 | 0,57 | 81039,75 |
| 16 | 0,9 | 29,64 | 38,4 | 0,77 | 81651,37 |
| 20 | 1,1 | 50,07 | 52 | 0,96 | 82262,99 |
| 24 | 1,3 | 77,20 | 67,2 | 1,14 | 82874,61 |
| 28 | 1,5 | 111,63 | 84 | 1,32 | 83486,23 |
| 32 | 1,7 | 153,93 | 102,4 | 1,50 | 84097,85 |
| 36 | 1,8 | 188,67 | 118,8 | 1,58 | 84403,66 |
| 40 | 1,9 | 227,34 | 136 | 1,67 | 84709,48 |
| 44 | 2 | 270,08 | 154 | 1,75 | 85015,29 |

Tableau VII.5 2^{ème} étape de calcul

| H (m) | V_{moy} (m/s) | H₀ (m) | Débit (m³/s) | | | | | | | | | |
|--------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | b=4 | b=8 | b=12 | b=16 | b=20 | b=24 | b=28 | b=32 | b=36 | b=40 |
| 0,3 | 0,19 | 0,30 | 1,43 | 2,86 | 4,29 | 5,72 | 7,16 | 8,59 | 10,02 | 11,45 | 12,88 | 14,32 |
| 0,5 | 0,38 | 0,50 | 3,09 | 6,19 | 9,29 | 12,39 | 15,49 | 18,59 | 21,68 | 24,78 | 27,88 | 30,98 |
| 0,7 | 0,57 | 0,70 | 5,15 | 10,32 | 15,49 | 20,65 | 25,82 | 30,98 | 36,14 | 41,31 | 46,47 | 51,64 |
| 0,9 | 0,77 | 0,91 | 7,56 | 15,15 | 22,72 | 30,30 | 37,87 | 45,45 | 53,02 | 60,60 | 68,17 | 75,75 |
| 1,1 | 0,96 | 1,12 | 10,28 | 20,59 | 30,89 | 41,19 | 51,48 | 61,78 | 72,08 | 82,38 | 92,67 | 102,97 |
| 1,3 | 1,14 | 1,32 | 13,29 | 26,61 | 39,91 | 53,22 | 66,53 | 79,83 | 93,14 | 106,44 | 119,75 | 133,06 |
| 1,5 | 1,32 | 1,53 | 16,56 | 33,16 | 49,74 | 66,32 | 82,90 | 99,48 | 116,06 | 132,64 | 149,22 | 165,80 |
| 1,7 | 1,50 | 1,75 | 20,08 | 40,21 | 60,31 | 80,42 | 100,52 | 120,63 | 140,73 | 160,84 | 180,94 | 201,05 |
| 1,8 | 1,58 | 1,85 | 21,93 | 43,91 | 65,87 | 87,82 | 109,78 | 131,74 | 153,69 | 175,65 | 197,61 | 219,57 |
| 1,9 | 1,67 | 1,96 | 23,84 | 47,73 | 71,59 | 95,46 | 119,33 | 143,19 | 167,06 | 190,93 | 214,79 | 238,66 |
| 2 | 1,75 | 2,06 | 25,80 | 51,66 | 77,49 | 103,32 | 129,15 | 154,99 | 180,82 | 206,65 | 232,48 | 258,31 |

Tableau VII.6 3^{ème} étape de calcul

| H (m) | V_{moy} (m/s) | H₀ (m) | Débit (m³/s) | | | | | | | | | |
|--------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | b=4 | b=8 | b=12 | b=16 | b=20 | b=24 | b=28 | b=32 | b=36 | b=40 |
| 0,3 | 79816 | 115,50 | 1,42 | 2,85 | 4,27 | 5,70 | 7,12 | 8,55 | 9,98 | 11,40 | 12,83 | 14,25 |
| 0,5 | 80428 | 112,65 | 3,06 | 6,13 | 9,20 | 12,27 | 15,33 | 18,40 | 21,47 | 24,54 | 27,60 | 30,67 |
| 0,7 | 81039 | 109,79 | 5,07 | 10,16 | 15,24 | 20,32 | 25,40 | 30,49 | 35,57 | 40,65 | 45,73 | 50,81 |
| 0,9 | 81651 | 106,93 | 7,40 | 14,81 | 22,22 | 29,63 | 37,04 | 44,45 | 51,85 | 59,26 | 66,67 | 74,08 |
| 1,1 | 82262 | 104,08 | 10,00 | 20,02 | 30,03 | 40,04 | 50,05 | 60,06 | 70,07 | 80,08 | 90,09 | 100,10 |
| 1,3 | 82874 | 101,22 | 12,84 | 25,72 | 38,58 | 51,44 | 64,30 | 77,16 | 90,02 | 102,88 | 115,75 | 128,61 |
| 1,5 | 83486 | 98,36 | 15,92 | 31,88 | 47,82 | 63,76 | 79,70 | 95,64 | 111,58 | 127,52 | 143,46 | 159,40 |
| 1,7 | 84097 | 95,51 | 19,21 | 38,46 | 57,69 | 76,93 | 96,16 | 115,39 | 134,62 | 153,86 | 173,09 | 192,32 |
| 1,8 | 84403 | 94,08 | 20,93 | 41,90 | 62,86 | 83,81 | 104,77 | 125,72 | 146,68 | 167,63 | 188,58 | 209,54 |
| 1,9 | 84709 | 92,65 | 22,70 | 45,44 | 68,17 | 90,89 | 113,62 | 136,34 | 159,07 | 181,79 | 204,52 | 227,24 |
| 2 | 85015 | 91,22 | 24,51 | 49,08 | 73,62 | 98,16 | 122,71 | 147,25 | 171,79 | 196,33 | 220,87 | 245,4 |

La détermination de la largeur de déversoir ainsi que le débit correspondant se fait graphiquement après la réalisation du graphe $q=f(h)$ comme montre la figure suivante :

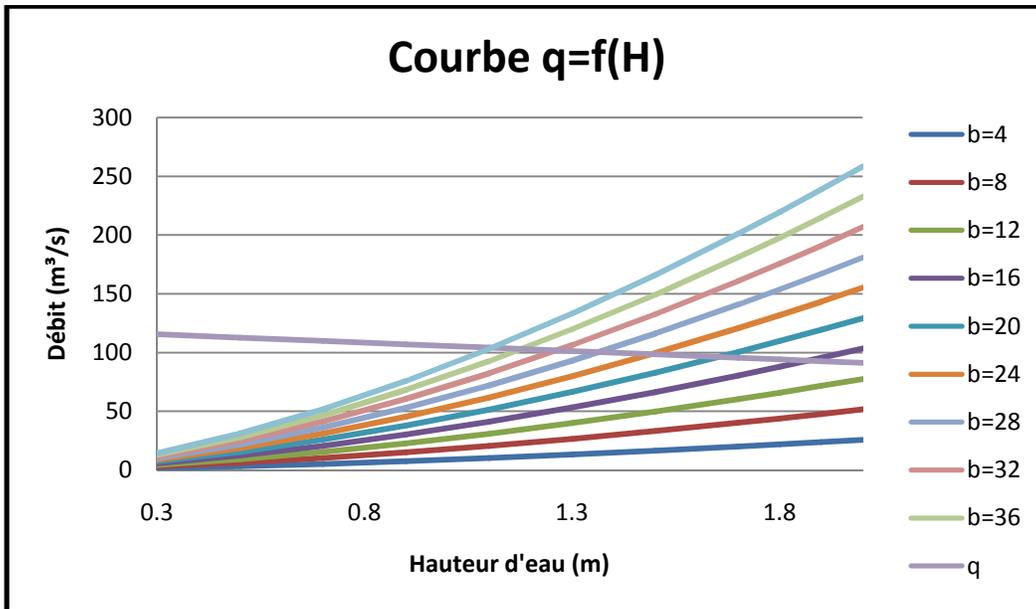


Figure VII.5 Les courbes $q=f(H)$

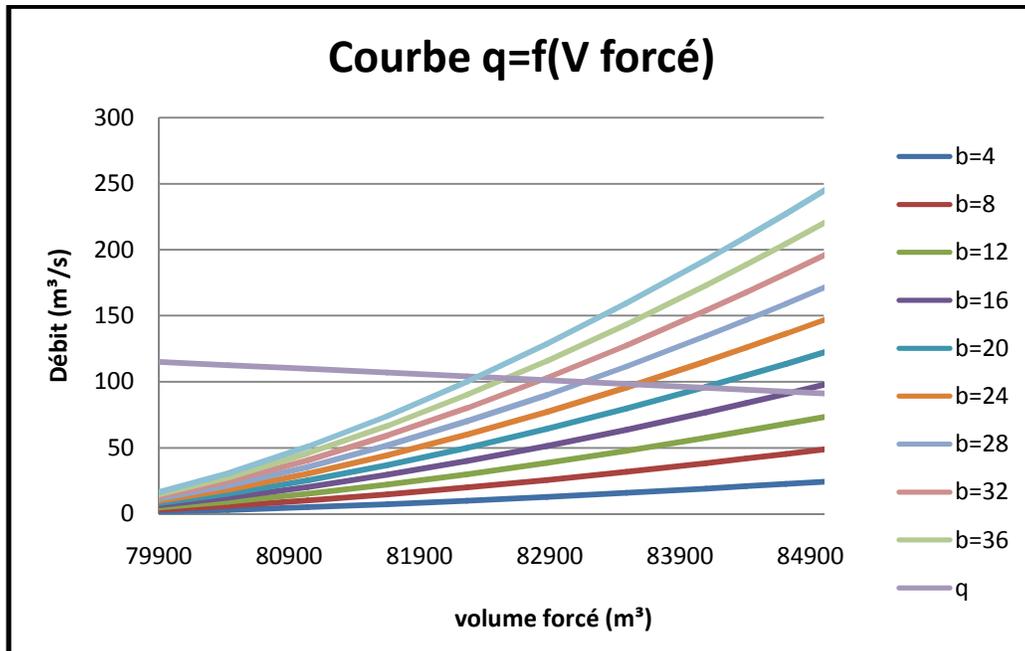


Figure VII.6 Les courbes $q=f(V_{\text{forcé}})$

VII.11. Tableau récapitulatif des résultats

Tableau VII.7 Récapitulatif des résultats obtenus

| Désignation | unité | symbole | Sous bassin Kébir |
|-------------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|
| Hauteur du barrage | m | H_{barrage} | 5,4m |
| Cote du normal de la retenue | m | NNR | 25,8 |
| Cote des hautes eaux | m | NPHE | 27,3 |
| Cote de fond | m | C_f | 20 |
| Hauteur de la base du barrage | m | H_{bb} | 18 |
| Hauteur déversée | m | $H_{\text{dév}}$ | 1,5 |
| Largeur du déversoir | m | b | 28 |
| Débit laminé | m^3/s | Q_{lam} | 111,63 |
| Longueur du radier | m | L_r | 4,2 |

VII.12. Dimensionnements des ouvrages annexes

VII.12.1. Tapis étanche amont

Le tapis amont à pour objet essentiel d'allonger le cheminement des eaux qui percutent sous l'ouvrage. Il est constitué de trois couches :

- Couche de tapis étanche d'une épaisseur de 10 cm ;
- Couche de gabionnage d'une épaisseur de 20 cm ;
- Couche de remblai bien compacté d'une épaisseur de 20 cm.

VI.12.2. Bassin d'amortissement

Le bassin d'amortissement est une structure changée d'alléger l'importance énergie que l'eau acquiert dans sa chute. Pour choisir le type de bassin, il faut d'abord connaître la nature du ressaut qui apparaît juste après déversement. Le saut aura lieu dans une section dans laquelle sera satisfaite l'équation suivante :

$$\frac{Y_2}{Y_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{(8F_{r1}^2 + 1)} - 1 \right) \dots \dots \dots (VII 06)$$

Ou :

Y_1 : Hauteur d'écoulement de l'eau dans la section initiale du ressaut (m) ;

Y_2 : Hauteur d'écoulement de l'eau après le ressaut ;

F_r : Nombre de Froude.

- 1) Calcul de la profondeur contactée y_1

$$y_1 = \frac{q}{\varphi \sqrt{2 \cdot g \cdot (E_0 - Y_1)}} \dots \dots \dots (VII 07)$$

q : débit unitaire (m^3/s) ; $q = Q_d/L_d$

φ : Coefficient de vitesse qui dépend de la forme de déversoir, $\varphi = 0.95$

E_0 : Energie total en (m) sur le seuil du déversoir :

$$E_0 = H + H_d + \alpha V^2/2g = 5,4 + 1,5 = 6,9m$$

$\alpha V^2/2g \ll 1$

$$y_1^{cal} = \frac{3,98}{0,95 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot (6,9 - y_1)}} \dots \dots \dots (VII 08)$$

La détermination de Y_1 se fait par itération successive, la valeur obtenue est :

$$Y_1 = 0,4m$$

On calcul la hauteur conjuguée Y_2 par la formule suivante :

$$\frac{Y_2}{Y_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{\left(\frac{8q^2}{gy_1^3} + 1 \right)} - 1 \right) \dots \dots \dots (VII 09)$$

$$Y_2 = 2,65 m$$

- 2) Calcul de la hauteur critique, elle est déterminée par la formule suivante :

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \dots \dots \dots (VII 10)$$

$$h_{cr} = 1,98 m$$

La hauteur normale à l'aval de dissipateur d'énergie est égale à 1,8 m. donc : $Y_2 > h_{aval}$
Donc le ressaut est dénoyé alors la projection de dissipation d'énergie est indispensable.

- 3) La forme du ressaut et ses caractéristiques dépendant directement du nombre de Froude et de la vitesse au pied aval :

$$F_r = \frac{V_1}{\sqrt{g \cdot y_1}} \dots\dots\dots(VII 11)$$

$$V_1 = \frac{Q_d}{b_b y_1} \dots\dots\dots(VII 12)$$

Y_1 : Tirant d'eau en (m);

V : Vitesse d'écoulement (m/s).

$$V = 9,96 \text{ m/s} ; F = 5,02.$$

Cas d'une conception d'un dissipateur de type ($F_{r1} > 4,5$; $V_1 < 15 \text{ m/s}$)

4) On détermine la longueur du dissipateur (L_{II})

$$L_{II} = Y_1 (1,62 + 0,1788F_{r1} - 0,007F_{r1}^2) \dots\dots\dots(VII 13)$$

On prend : $L = 6,20 \text{ m}$

5) On calcule les dimensions des dents défectrices :

Hauteur : $Y_1 = 0,67 \text{ m}$

Epaisseur : $Y_1 = 0,67$

Espace entre les dents = Y_1

Espace fonctionnel = $0,5Y_1 = 0,335 \text{ m}$

6) On détermine les dimensions des blocs amortisseurs d'énergie (blocs de chicane)

a. Calcul de h_3 avec l'épaisseur suivante

$$h_3 = Y_1 (0,545 + 0,175F_{r1}) \dots\dots\dots(VII 14)$$

$$h_3 = 0,56 \text{ m}$$

b. Calcul des dimensions de blocs de chicane :

Hauteur $h_3 = 0,56 \text{ m}$

Epaisseur $0,75h_3 = 0,42 \text{ m}$

Longueur $1,2h_3 = 0,672 \text{ m}$

Epaisseur supérieur $0,2h_3 = 0,112 \text{ m}$

Espace entre les blocs $0,75h_3 = 0,42 \text{ m}$

Espace fractionnel $0,375h_3 = 0,21 \text{ m}$

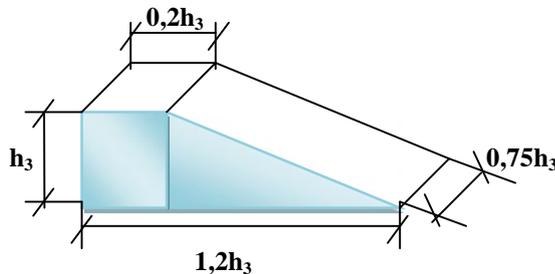


Figure VII.7 Bloc amortissement d'énergie (blocs chicane)

7) On calcule le nombre de blocs amortisseurs (n) : $n = b / 1,5 h_3 = 34$

8) On calcule les dimensions du seuil terminal h_4

a. On calcule h_4 à partir de l'expression suivante

$$h_4 = Y_1 (0,956 + 0,063F_{r1}) = 0,85 \dots\dots\dots(VII 15)$$

b. On calcule les dimensions du seuil terminal

Hauteur $h_4 = 0,85 \text{ m}$

Epaisseur de la face supérieure du seuil, $0,04h_4 = 0,034 \text{ m}$

Longueur $2,04 h_4 = 1,734 \text{ m}$.

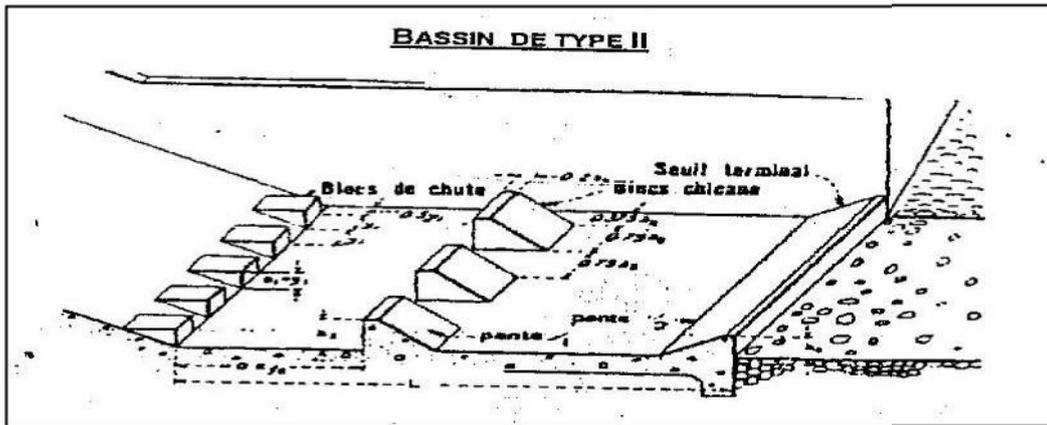


Figure VII.8 Dimension du bassin de dissipation Type II

Protection aval

Pour éviter la production d'affouillement en aval, on peut accoler le seuil à un arrière radié dont il présente une couche de 1,00m de pierres bien rangées de diamètre entre 100-300mm.

VII.13. Vérification de la stabilité de seuil

1- Calcul de la force due à la poussée de l'eau :

Soit la hauteur d'eau égale à 5,4 m et le poids volumique de l'eau égale à 10KN/m³

$$P_1 = \frac{\gamma h^2}{2} \dots\dots\dots(VII.16)$$

$$P_1 = \frac{10 \times 5,4^2}{2} = 145,8KN/ml$$

P₁=145,8 KN/ml

2- Calcul de force constante due au poids de l'eau :

Elle est calculée de la manière suivante :

$$P_1 = A. h. q \dots\dots\dots(VII.17)$$

$$\text{Soit: } q = \gamma. h = 10 \times 2 = 20KN/m^2$$

$$P_2 = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) . h. q \dots\dots\dots(VII.18)$$

$$P_2 = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{35}{2} \right) \times 2 \times 20 = 10,83KN/ml$$

P₂=10,83 KN/ml

3- Calcul de la force due à la poussée des terres :

Le sol étant rocheux on prend :

$$\varphi = 35^\circ$$

Poids spécifique du sol : $\gamma = 18KN/m^2$

$$P_3 = \gamma. \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \times \frac{h^2}{2} = 18 \times \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{35}{2} \right) \times \frac{2^2}{2} = 9,75 KN/ml$$

P₃=9,75KN/ml

4- Calcul de la force due aux apports solides :

Les apports solides sont estimés à une hauteur de 0,40 m

On prend : $\gamma = 17,50 KN/m^2$ $\varphi = 17^\circ$

$$P_4 = \gamma. \Delta. h^2/2 \dots\dots\dots(VII.19)$$

$$P_4 = 17 \times 0,4^2 \times \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{17}{2} \right) = 1,49KN/ml$$

P₄=1,49KN/ml

5- Calcul de la force due à la butée:

Le sol étant rocheux, on prend :

Angle de frottement : $\varphi = 35^\circ$

Poids spécifique du sol : $\gamma = 18 \text{ KN/m}^2$

$$P_5 = \gamma \cdot A \cdot h^2 / 2 \dots \dots \dots \text{(VII.20)}$$

$$P_5 = 18 \times \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{35}{2} \right) \times \frac{2^2}{2} = 132,85 \text{ KN/ml}$$

$$P_5 = 132,85 \text{ KN/ml}$$

6- Calcul de la force due au poids propre du seuil par ml :

L'ouvrage est constitué d'un matériau en béton armé évidé et rempli avec du remblai sur la partie inférieure.

Le poids spécifique du déversoir : $\gamma = 25 \text{ KN/m}^2$.

Le volume unitaire par unité de longueur $V_1 = 8,06 \text{ m}^3$.

$$G_1 = \gamma \cdot V_1 \dots \dots \dots \text{(VII.21)}$$

$$G_1 = 25 \times 8,06 = 201,5 \text{ KN/m}^2$$

$$G_1 = 201,5 \text{ KN/m}^2$$

7- Calcul de la force due au poids des terres

L'ouvrage est constitué d'un matériau en remblai bien sélectionné.

$$G_2 = \gamma \cdot V_2 \dots \dots \dots \text{(VII.22)}$$

Le poids spécifique du remblai : $\gamma = 17 \text{ KN/m}^2$.

Le volume unitaire par unité de longueur $V_1 = 8,91 \text{ m}^3$.

$$G_2 = 17 \times 8,91 = 151,47 \text{ KN/m}^2$$

$$G_2 = 151,47 \text{ KN/m}^2$$

8- Calcul de la force sismique due à la poussée de l'eau :

Elle est calculée de la manière suivante :

$$P_6 = \frac{\frac{\pi}{6} \cdot K_s \cdot h^2}{\left(1 - 3,38 \left(\frac{h}{1000}\right)^2\right) L \cdot 10} \dots \dots \dots \text{(VII.23)}$$

$K_s = 0,25$: degré de sismicité

$$P_6 = 0,1 \text{ KN/m}^2$$

Tableau VII.8 Récapitulatif des résultats

| Type de charge | Forces (KN/ml) | | Bras de levier (m)/x | Moment /x | |
|----------------|----------------|------------|----------------------|-------------|--------------|
| | Horizontales | Verticales | | Renversants | stabilisants |
| P ₁ | 145,8 | | 3,8 | 554,04 | |
| P ₂ | 10,83 | | 1 | 10,83 | |
| P ₃ | 9,75 | | 0,7 | 6,825 | |
| P ₄ | 1,49 | | 2,6 | 3,874 | |
| P ₅ | -132,85 | | 1 | -132,85 | |
| G ₁ | | 201,50 | 0,7 | | 141,05 |
| G ₂ | | 151,47 | 2,1 | | 318,08 |
| P ₆ | 0,6 | | 3,8 | 2,28 | |
| La somme | 35,62 | 352,97 | | 444,99 | 459,13 |

VII.13.1. Stabilité au glissement

Le coefficient de frottement fondation-rocher égale à 0,45. la condition de stabilité au glissement est donné par la relation suivante :

$$\frac{\sum F_H}{\sum F_V} < f$$

$$\frac{\sum F_H}{\sum F_V} = 0,10 < 0,45 \dots \dots \dots \text{c est verif ée}$$

VII.13.2. Stabilité au renversement

$$\sum M_{ST/X} > \sum M_{RE/X}$$

$$\sum M_{ST/X} = 444,99 \text{ KN.m} > \sum M_{RE/X} = 459,13 \text{ KN.M} \dots \dots \dots \text{C'est vérifié}$$

Le diagramme des contraintes sera trapézoïdal, si P tombe à l'intérieure du noyau central de la fondation, c'est-à-dire si $e_0 \leq B/6$

Le diagramme des contraintes sera triangulaire si P tombe à l'extérieure du noyau central de la fondation, c'est-à-dire si $e_0 \geq B/6$

• **Calcul de l'excentricité e_0**

$$B/2 = e_0 + d$$

$$\sum M_{/X} = \sum F_V \cdot d \quad ; \quad \text{Tel que : } \sum M_{/X} = \sum M_{ST/X} - \sum M_{RE/X} = 14,14 \text{ KN.m}$$

$$d = \frac{\sum M_{/X}}{\sum F_V}$$

$$d = 0,04$$

$$e_0 = B/2 - d = 2,06 \text{ m}$$

$$; B/6 = 0,7 \text{ m}$$

$e_0 > B/6 \dots \dots \dots$ le diagramme des contraintes est trapézoïdal.

$$\sigma_{\max} = \frac{\sum F_V}{B} \left(1 + \frac{6 \cdot e_0}{B}\right) = \frac{352,97 \times 1000}{4,2 \times 1000 \times 1000} \left(1 + \frac{6 \times 2,06}{4,2}\right) = 0,33 \text{ Mpa} = 3,3 \text{ bars}$$

$$\sigma_{\min} = \frac{\sum F_V}{B} \left(1 - \frac{6 \cdot e_0}{B}\right) = \frac{352,97 \times 1000}{4,2 \times 1000 \times 1000} \left(1 - \frac{6 \times 2,06}{4,2}\right) = 0,16 \text{ Mpa} = 1,6 \text{ bars}$$

$$\sigma_{\max} < \sigma_{\text{sol}} = 4 \text{ bars} \dots \dots \dots \text{C'est vérifié}$$

VII.14.Simulation de l'écoulement d'oued la Kébir après l'aménagement :

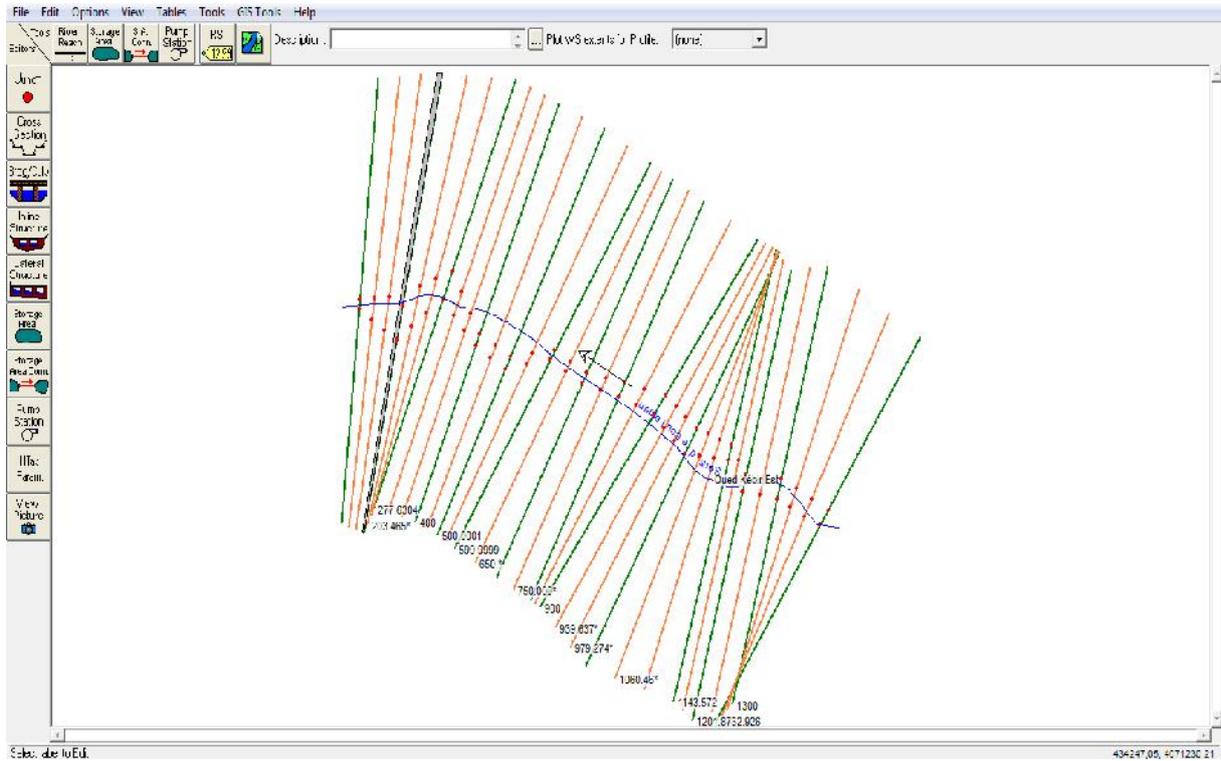


Figure VII 9 Définition du tracé de l'oued et des sections

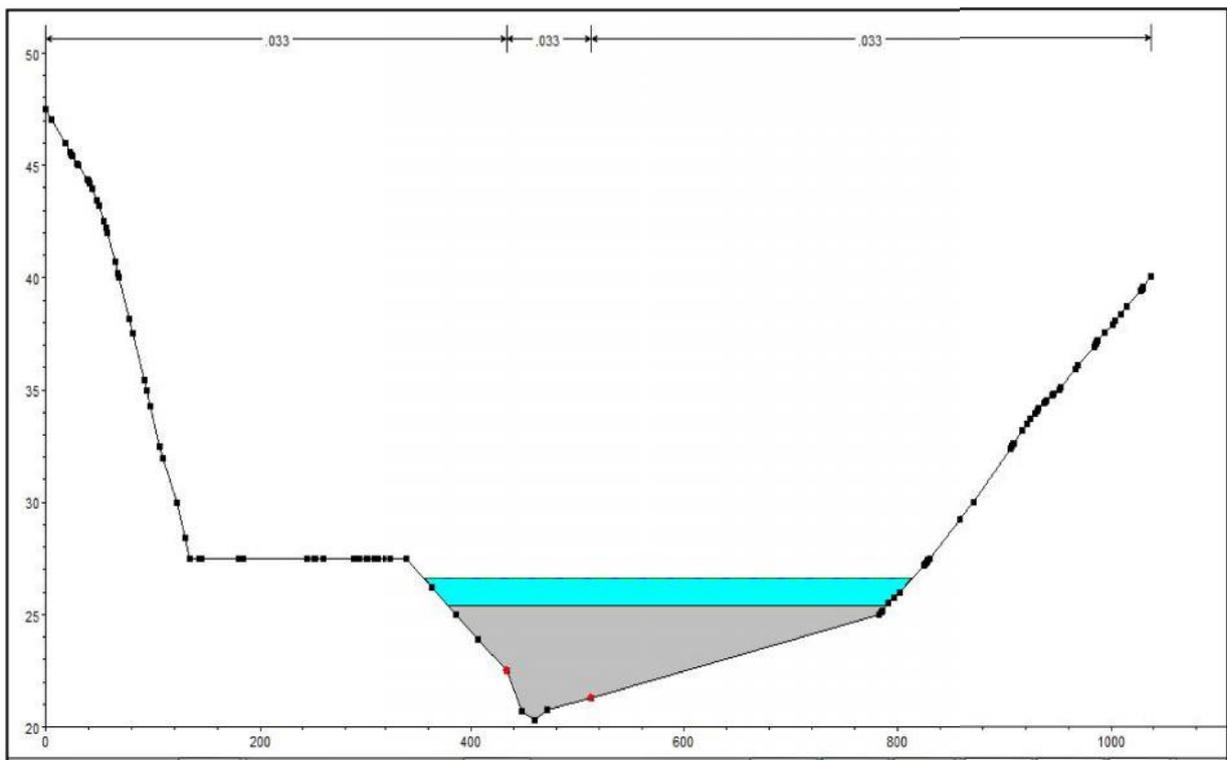


Figure VII 10 la Section en travers de la digue

Tableau VII 9 les paramètres hydraulique pour chaque sections

| Reach | River Sta | Q Total (m ³ /s) | Min Ch El (m) | W.S. Elev (m) | E.G. Elev (m) | E.G. Slope (m/m) | Vel Chnl (m/s) | Flow Area (m ²) | Top Width (m) | Froude # Chl |
|--------------------|-----------|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|-------------------|--------------------------------|------------------|-----------------|
| Oued kébir Est Est | 1442,926 | 374,1 | 22,5 | 33,59 | 33,59 | 0,000007 | 0,16 | 2316,17 | 394,93 | 0,02 |
| Oued kébir Est | 1395,28* | 381,92 | 22,49 | 33,59 | 33,59 | 0,000007 | 0,19 | 2017,84 | 391,97 | 0,02 |
| Oued kébir Est | 1347,64* | 396,25 | 22,47 | 33,59 | 33,59 | 0,000007 | 0,20 | 2016,51 | 345,55 | 0,02 |
| Oued kébir Est | 1300 | 396,84 | 22,46 | 33,59 | 33,59 | 0,000007 | 0,17 | 2311,52 | 341,3 | 0,02 |
| Oued kébir Est | 1250,93* | 396,25 | 22,32 | 33,59 | 33,59 | 0,000007 | 0,17 | 2309,82 | 401,46 | 0,02 |
| Oued kébir Est | 1201,873 | 396,22 | 22,14 | 33,59 | 33,59 | 0,000006 | 0,18 | 2179,80 | 435,16 | 0,02 |
| Oued kébir Est | 1172,72* | 418,09 | 21,94 | 23,47 | 24,22 | 0,001212 | 0,73 | 572,54 | 44,06 | 0,23 |
| Oued kébir Est | 1143,572 | 418 | 21,79 | 24,95 | 25,33 | 0,003069 | 1,61 | 258,92 | 162,43 | 0,32 |
| Oued kébir Est | 1102,01* | 418,06 | 21,61 | 25,02 | 25,22 | 0,001441 | 1,22 | 343,04 | 205,66 | 0,23 |
| Oued kébir Est | 1060,46* | 424,4 | 21,44 | 25,06 | 25,14 | 0,000714 | 0,90 | 469,20 | 236,11 | 0,16 |
| Oued kébir Est | 1018,911 | 424,23 | 21,26 | 25,04 | 25,15 | 0,000391 | 0,70 | 609,20 | 263,61 | 0,12 |
| Oued kébir Est | 979,274* | 424,25 | 21,13 | 25,05 | 25,13 | 0,000449 | 0,78 | 544,16 | 245,62 | 0,13 |
| Oued kébir Est | 939,637* | 445,07 | 20,99 | 25,02 | 25,12 | 0,000511 | 0,89 | 501,85 | 227,66 | 0,15 |
| Oued kébir Est | 900 | 445,07 | 20,46 | 24,94 | 25,1 | 0,000577 | 0,95 | 467,24 | 206,19 | 0,16 |
| Oued kébir Est | 850,* | 445 | 20,62 | 24,93 | 25,07 | 0,000761 | 1,11 | 402,47 | 215,76 | 0,18 |
| Oued kébir Est | 800 | 466,64 | 20,39 | 24,46 | 25,03 | 0,000961 | 1,31 | 355,01 | 214,43 | 0,21 |
| Oued kébir Est | 750,000* | 466,63 | 20,34 | 24,44 | 24,94 | 0,000547 | 0,83 | 564,56 | 261,49 | 0,13 |
| Oued kébir Est | 700,0001 | 466,65 | 20,24 | 24,49 | 24,95 | 0,00034 | 0,82 | 568,49 | 309,72 | 0,13 |
| Oued kébir Est | 650,* | 466,61 | 20,37 | 24,44 | 24,93 | 0,000231 | 0,67 | 700,79 | 295,53 | 0,11 |
| Oued kébir Est | 599,9999 | 466,61 | 20,47 | 24,44 | 24,92 | 0,000154 | 0,55 | 855,69 | 246,45 | 0,09 |
| Oued kébir Est | 550,* | 466,46 | 20,24 | 24,46 | 24,91 | 0,000246 | 0,75 | 625,3 | 247,54 | 0,11 |
| Oued kébir Est | 500,0001 | 466,43 | 20 | 24,45 | 24,9 | 0,000204 | 0,72 | 650,29 | 251,34 | 0,08 |
| Oued kébir Est | 450,000* | 466,45 | 20 | 24,44 | 24,49 | 0,000219 | 0,71 | 655,52 | 261,55 | 0,10 |
| Oued kébir Est | 400 | 466,41 | 20 | 24,43 | 24,44 | 0,000225 | 0,75 | 625,24 | 270,75 | 0,11 |
| Oued kébir Est | 359,210* | 466,41 | 20,04 | 24,42 | 24,47 | 0,000211 | 0,71 | 655,49 | 290,43 | 0,08 |
| Oued kébir Est | 318,420* | 466,36 | 20,04 | 24,41 | 24,46 | 0,000196 | 0,67 | 700,68 | 304,3 | 0,09 |
| Oued kébir Est | 277,6304 | 466,36 | 20,12 | 24,41 | 24,45 | 0,000141 | 0,60 | 781,5 | 323,44 | 0,09 |
| Oued kébir Est | 240,547* | 466,34 | 20,14 | 24,77 | 24,45 | 0,000354 | 0,81 | 572,35 | 316,55 | 0,13 |
| Oued kébir Est | 203,465* | 466,31 | 20,25 | 24,73 | 24,44 | 0,000572 | 0,95 | 489,59 | 291,67 | 0,14 |
| Oued kébir Est | 166,3824 | Inl Struct | | | | | | | | |
| Oued kébir Est | 127,028* | 111,63 | 20,21 | 21,25 | 24,15 | 0,001722 | 2,62 | 107,88 | 145,23 | 0,92 |
| Oued kébir Est | 87,6740* | 111,50 | 20,1 | 21,93 | 22,24 | 0,002064 | 1,23 | 267,68 | 266,54 | 0,16 |
| Oued kébir Est | 48,3199 | 111,25 | 20 | 22,01 | 21,13 | 0,001004 | 0,89 | 406,86 | 297,15 | 0,10 |

Les trois dernières sections

Les sections en travers de la partie aval sont représenté dont le tableau suivant :

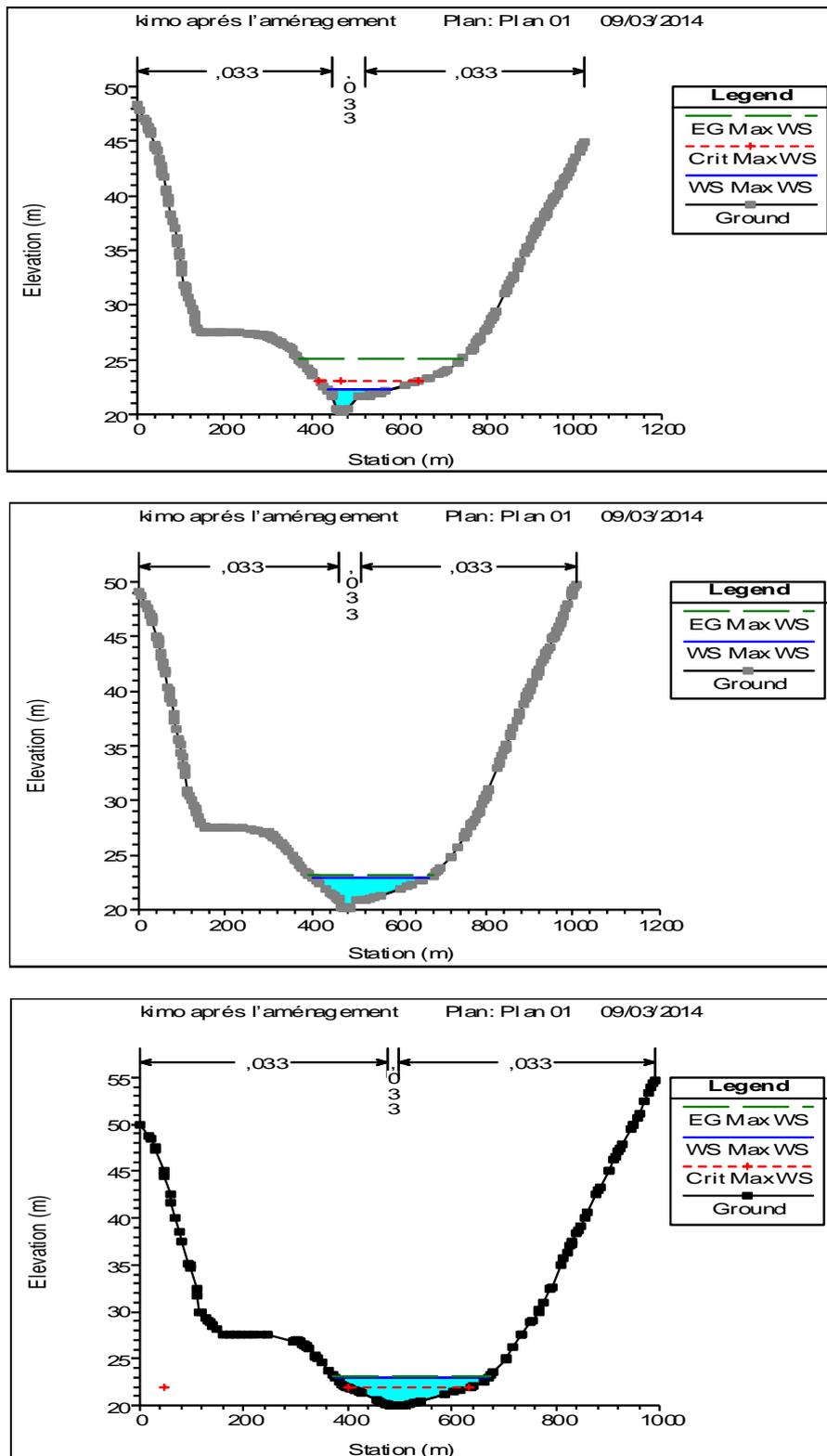


Figure VI 11 Sections en travers du canal et résultats de simulation.

EGM : Altitude qui correspond a la hauteur critique

WSM : Altitude du plan d'eau

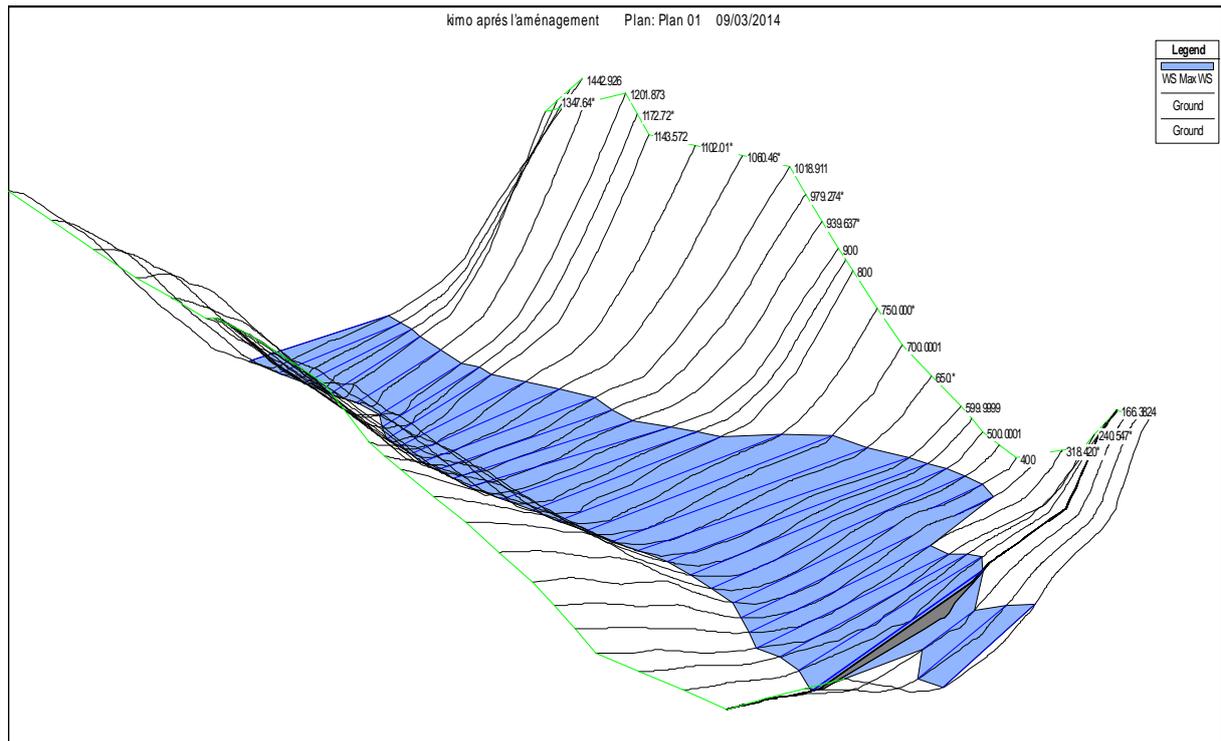


Figure VII 12 profil en long de l'oued plus l'aménagement (présentation 3D)

Références bibliographique

Degoutte,G.,Aide mémoire d'hydraulique a surface libre,Edition ENGREF,(2006),66p.

LENCASTRE.A (Hydraulique générale, EYROLLES-1999).

B-TOUAIBIA : « manuel pratique d'hydrologie ». (E.N.S.H) Blida. Mars 2004

B-TOUAIBIA : « polycopie de cours de régularisation des débits "les retenues" ».

(E.N.S.H).Blida .janvier 2001.

US.Army Corps of Engineers, HEC-RAS River Analysis System Hydraulic reference manual, Hydrologic Engineering Center,CPD-69 ,Version 4.1(**2010 a**).

MIHOUBI M K. (Cours et polycopie d'ouvrage hydrotechnique 4^{ème} Année ENSH- 2004).

MOKHTARI Sara. (Mémoire de fin d'étude – Promotion 2013).

AIT-IDIR Bilal (Mémoire de fin d'étude – Promotion 2013).

Rapport des inondations 2012 DRE Taref

Rapport sur la situation des inondations dans la wilaya d'el Tarf D. R .E 2011

CONCLUSION GENERALE

L'inondation est une composante intégrante de cycle de l'eau, la gestion de l'eau devrait être une partie intégrante des politiques d'aménagement des pouvoirs publics sans occulter surtout le devoir d'agir doit être mené avec une grande coordination pour freiner ou réduire les dégâts.

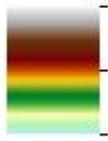
Afin de bien comprendre un tel phénomène et vue la grandeur et la complexité de terminer le débit de dimensionnement d'un bassin non jaugé et de protéger la willaya de TREF, très vulnérables au phénomène d'inondation, nous étions amené à suivre les étapes ci-dessous :

- Une description de la zone d'étude déterminé les principaux caractéristiques géographiques et géomorphologiques nécessaires au dimensionnement des ouvrages projetés.
- Une étude hydrologique détaillée consiste à l'estimation des différents apports hydriques et solides permettant le dimensionnement hydrotechnique des ouvrages.
- Un calcul hydraulique permis d'apprécier l'écoulement des crues tant, en termes de tirant d'eau, de vitesse, régime d'écoulement ainsi que l'estimation des volumes débordant, en se basant sur des données hydrologiques, hydrauliques et topographiques des sites à l'aide du code de calcul hydraulique HEC-RAS.
- Une proposition d'aménagements permettant d'écarter et de diminuer les dégâts occasionnés par ces phénomènes hydrauliques.

Enfin nous espérons que nous avons contribué par le biais de ce travail à remédier aux risques d'inondation de la willaya de TREF et que l'entretien et la maintenance de l'ouvrage projeté seront pris en considérations par les autorités locales, et cela afin assurer la longévité et le bon fonctionnement des équipements hydrauliques

Elevations

Value



High : 1184.9

Low : 24.644

Annexe A :

II- Classification du Coefficient de ruissellement selon l'ANRH

| Catégorie des sols | Appellation des sols | Pj max (mm) | Surface des bassins versants (en km ²) | | | | |
|--------------------|---|-------------|--|--------------|---------------|-----------------|--------|
| | | | <0,1 | >0,1 <1,0 | >2,0 <10,0 | >10,0 <100,0 | >100,0 |
| 1 | Asphaltes, roches non fissurées, béton | --- | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 2 | Sols argileux gras, croûtes et sols encroûtés | >0,8 | 0,80 | 0,70 | 0,65 | 0,65 | 0,60 |
| | | 81 – 150 | 0,90 | 0,85 | 0,80 | 0,80 | 0,80 |
| | | 151 – 200 | 0,95 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 |
| | | >200 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,90 | 0,90 |
| 3 | Sols argileux, sols forestiers d'argile grise, sols argileux gris et lourds | >0,8 | 0,70 | 0,60 | 0,55 | 0,55 | 0,45 |
| | | 81 – 100 | 0,80 | 0,75 | 0,70 | 0,65 | 0,65 |
| | | 101 – 150 | 0,85 | 0,80 | 0,75 | 0,65 | 0,65 |
| | | 151 – 200 | 0,85 | 0,85 | 0,80 | 0,70 | 0,70 |
| | | >200 | 0,90 | 0,90 | 0,80 | 0,75 | 0,75 |
| 4 | Sols châtaîns loess, sols carbonatés | >0,8 | 0,55 | 0,45 | 0,40 | 0,35 | 0,30 |
| | | 81 – 150 | 0,65 | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,40 |
| | | 151 – 200 | 0,75 | 0,70 | 0,65 | 0,60 | 0,55 |
| | | >200 | 0,8 | 0,75 | 0,70 | 0,65 | 0,60 |
| 5 | Limons sableux, sols marrons et gris marrons des zones steppiques et désertiques, sols gris limoneux – sableux. | >0,8 | 0,35 | 0,28 | 0,20 | 0,20 | 0,15 |
| | | 80 – 150 | 0,45 | 0,35 | 0,25 | 0,25 | 0,20 |
| | | 151 – 200 | 0,55 | 0,45 | 0,40 | 0,35 | 0,30 |
| | | >200 | 0,60 | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,40 |
| 6 | Sols sableux, graviers, sols à roches friables | - | 0,25 | 0,20 | 0,15 | 0,10 | 0,10 |

Annexe B :

III- Niveau d'eau dans le piézomètre.

| forage | Piézomètre | | Profondeur du tube | Profondeur de l'eau | Niveau d'eau | Date |
|--------|------------|-------|-----------------------|------------------------|--------------|------------|
| | | | (m) | (m) | | |
| F-3 | - | - | 23 | 0,2 | 13,14 | 06/05/2000 |
| F-4 | A | Est | 14,3 | 1,6 | 11,52 | 27/04/2000 |
| | B | Ouest | 5 | Boucher | - | 27/04/2000 |
| F-5 | A | Est | 18,3 | 1,9 | 11,34 | 08/05/2000 |
| | B | Ouest | >30 | 1,9 | 11,34 | 08/05/2000 |
| F-6 | A | Sud | 8,2 | Sec | - | 06/05/2000 |
| | B | Nord | 20,7 | Sec | - | 06/05/2000 |
| F-9 | A | Est | 14,5 | 1,6 | 11,58 | 07/05/2000 |
| | B | Ouest | 26 | 1,6 | 11,58 | 07/05/2000 |
| F-12 | - | - | 6,2 | 0,6 | 19,78 | 08/05/2000 |
| F-14 | A | Sud | 15,3 | 0,8 | 10,5 | 27/04/2000 |
| | B | Nord | 25,5 | 0,8 | 10,5 | 27/04/2000 |
| F-15 | - | - | >30 | 2,2 | - | 07/05/2000 |

Plan d'implantation des travaux géotechniques :



Annexe C :

III- Granulométrie.

| puits N° | prof (m) | Granulométrie (%) | | | | | | |
|-------------|-------------|----------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------|---------------------|--------------|
| | | cailloux (200- 20)mm | graviers (20-2)mm | Sable grossier (2-0,2) mm | Sable fin (0,2mm- 0,02 µm) | limons (0,02-2µm) | argile (2-0,2µm) | <80µm (%) |
| 1 | 2,00-3,00 | 6 | 13 | 42 | 16 | 6 | 17 | 29 |
| 2 | 1,50-2,00 | 4 | 16 | 26 | 11 | 13 | 30 | 49 |
| 2 | 3,00-3,70 | 28 | 21 | 12 | 10 | 10 | 19 | 33 |
| 3 | 1,50-2,10 | 24 | 8 | 25 | 12 | 7 | 24 | 36 |
| 3 | 2,60-3,20 | 26 | 13 | 20 | 12 | 6 | 23 | 34 |
| 4 | 0,50-1,30 | 7 | 2 | 7 | 11 | 20 | 47 | 75 |
| 4 | 1,30-2,60 | 40 | 2 | 9 | 12 | 14 | 17 | 39 |
| 4 | 2,60-3,30 | 8 | 11 | 11 | 10 | 17 | 43 | 66 |
| 5 | 0,60-1,25 | 15 | 11 | 6 | 20 | 52 | 30 | 64 |
| 5 | 1,30-2,10 | 5 | 3 | 12 | 29 | 36 | 18 | 82 |
| 6 | 2,50-3,50 | 0 | 11 | 3 | 24 | 32 | 14 | 78 |
| 6 | 2,30-2,90 | 5 | 5 | 7 | 23 | 22 | 26 | 74 |
| 7 | 1,50-1,90 | 27 | 13 | 11 | 5 | 6 | 15 | 43 |
| 8 | 0,70-1,40 | 48 | 22 | 7 | 3 | 29 | 24 | 13 |
| 8 | 1,50-1,80 | 0 | 4 | 15 | 23 | 13 | 26 | 66 |
| 13 | 0,80-1,20 | 33 | 14 | 11,5 | 7 | 30 | 12 | 33 |
| 13 | 1,40-2,10 | 10 | 7 | 28 | 17 | 26 | 29 | 75 |
| 14 | 0,80-1,20 | 19 | 16 | 26 | 21 | 46 | 16 | 52 |
| 14 | 2,50-3,00 | 0 | 4 | 14 | 29 | 56 | 21 | 76 |
| 15 | 1,30-1,50 | 0 | 8 | 15 | 14 | 36 | 21 | 79 |
| 16 | 2,10-2,40 | 0 | 23 | 10 | 11 | 46 | 10 | 72 |
| 17 | 3,00-3,50 | 0 | 2 | 10 | 13 | 25 | 21 | 56 |
| 18 | 3,00-3,50 | 0 | 4 | 7 | 12 | 30 | 4 | 55 |
| 19 | 2,50-2,80 | 0 | 4 | 7 | 11 | 31 | 16 | 55 |
| 20 | 2,10-2,30 | 0 | 33 | 12 | 2 | 0 | 22 | 46 |
| 21 | 2,20-2,50 | 28 | 15 | 13 | 0 | 0 | 11 | 33 |
| 22 | 0,70-1,00 | 16 | 27 | 10 | 0 | 0 | 13 | 43 |
| 22 | 3,00-3,20 | 0 | 8 | 13 | 0 | 7 | 16 | 69 |
| 23 | 2,80-3,00 | 27 | 21 | 14 | 7 | 0 | 14 | 66 |
| 24 | 2,80-3,00 | 0 | 21 | 13 | 6 | 0 | 2 | 39 |
| 25 | 0,80-1,20 | 18 | 23 | 15 | 8 | 12 | 9 | 48 |
| 25 | 1,70-2,00 | 4 | 12 | 13 | 12 | 0 | 0 | 56 |
| 26 | 1,80-2,10 | 0 | 15 | 18 | 15 | 0 | 0 | 45 |
| 27 | 2,50-2,70 | 19 | 30 | 13 | 15 | 0 | 0 | 22 |
| 28 | 1,30-1,50 | 0 | 11 | 33 | 5 | 6 | 6 | 11 |
| 29 | 2,00-2,30 | 0 | 21 | 15 | 6 | 0 | 5 | 36 |
| 30 | 1,50-1,70 | 0 | 10 | 16 | 0 | 0 | 6 | 69 |
| 30 | 2,90-3,10 | 9 | 14 | 18 | 0 | 15 | 8 | 12 |
| 30 | 1,50-1,70 | 0 | 2 | 16 | 0 | 0 | 12 | 18 |
| 31 | 2,40-2,80 | 32 | 9 | 12 | 3 | 0 | 0 | 59 |
| 32 | 2,60-3,00 | 18 | 38 | 11 | 5 | 0 | 25 | 25 |
| 33 | 2,60-2,80 | 12 | 7 | 3 | 6 | 0 | 0 | 26 |
| 34 | 1,50-2,00 | 0 | 14 | 15 | 11 | 0 | 0 | 94 |
| 35 | 2,80-3,00 | 0 | 10 | 16 | 12 | 6 | 0 | 89 |
| 36 | 2,50-2,70 | 0 | 13 | 17 | 4 | 0 | 0 | 59 |
| 37 | 2,00-2,20 | 0 | 27 | 0 | 0 | 0 | 50 | 56 |
| 38 | 2,00-2,20 | 29 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 |
| 39 | 1,80-2,00 | 9 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 56 |
| 40 | 2,00-2,20 | 24 | 2 | 16 | 5 | 0 | 0 | 53 |
| 41 | 1,40-1,60 | 21 | 4 | 15 | 6 | 0 | 0 | 28 |
| 42 | 1,70-1,80 | 0 | 8 | 16 | 12 | 0 | 0 | 84 |
| 43 | 1,40-1,60 | 3 | 6 | 11 | 44 | 3 | 48 | 39 |
| 44 | 1,40-1,70 | 0 | 9 | 6 | 0 | 2 | 0 | 25 |
| 45 | 1,50-1,70 | 31 | 7 | 0 | 11 | 0 | 49 | 26 |
| TR2 | 0,60-1,40 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 34 | 94 |
| TR2 | 1,80-2,20 | 14 | 8 | 0 | 0 | 3 | 0 | 88 |

Source (ANBT)

Annexe D :

III- Limites d'Atterberg.

| Puits N° | Prof (m) | Limites d'Atterberg | | | Puits N° | Prof (m) | Limites d'Atterberg | | |
|-------------|-------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-------------|-------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| | | w _l (%) | w _p (%) | I _p - | | | w _l (%) | w _p (%) | I _p - |
| - | - | (%) | (%) | - | - | - | (%) | (%) | - |
| 1 | 1,50-2,00 | 46,00 | 21,70 | 24,30 | 23 | 2,80-3,00 | 62,40 | 27,67 | 34,73 |
| 2 | 3,00-3,70 | 64,00 | 28,73 | 35,27 | 24 | 2,50-2,70 | 43,80 | 25,11 | 18,69 |
| 2 | 1,50-2,10 | 44,90 | 17,57 | 27,33 | 25 | 2,00-2,20 | 46,77 | 23,16 | 23,61 |
| 3 | 2,60-3,20 | 39,45 | 19,14 | 20,31 | 25 | 2,00-2,20 | 64,15 | 28,33 | 35,82 |
| 3 | 0,50-1,30 | 37,40 | 19,33 | 18,07 | 26 | 1,80-2,00 | 35,20 | 21,23 | 13,97 |
| 4 | 1,30-2,60 | 70,25 | 30,28 | 39,97 | 27 | 2,00-2,20 | 44,40 | 22,57 | 21,83 |
| 4 | 2,60-3,30 | 77,40 | 21,05 | 34,55 | 28 | 1,40-1,60 | 49,00 | 23,86 | 25,14 |
| 4 | 0,60-1,25 | 75,50 | 28,50 | 31,90 | 28 | 1,70-1,80 | 49,00 | 23,89 | 25,11 |
| 5 | 1,30-2,10 | 77,00 | 32,65 | 44,75 | 29 | 1,40-1,60 | 29,50 | 18,23 | 11,27 |
| 5 | 2,50-3,50 | 60,40 | 35,20 | 40,30 | 30 | 1,40-1,70 | 28,00 | 19,44 | 8,56 |
| 5 | 2,30-2,90 | 77,00 | 32,75 | 44,25 | 30 | 1,50-1,70 | 37,20 | 19,75 | 17,45 |
| 6 | 1,50-1,90 | 49,90 | 23,85 | 26,05 | 30 | 0,60-1,40 | 36,85 | 20,17 | 16,68 |
| 6 | 0,70-1,40 | 53,60 | 25,44 | 28,16 | 31 | 1,80-2,20 | 29,15 | 18,00 | 11,15 |
| 7 | 1,50-1,80 | 23,40 | 15,93 | 7,47 | 32 | 2,80-3,00 | 59,00 | 26,77 | 32,23 |
| 8 | 0,80-1,20 | 31,00 | 18,18 | 12,87 | 33 | 2,50-2,70 | 42,00 | 21,18 | 20,82 |
| 8 | 1,40-2,10 | 28,00 | 16,87 | 11,13 | 34 | 2,00-2,20 | 69,50 | 29,81 | 39,59 |
| 13 | 0,80-1,20 | 58,00 | 29,84 | 28,16 | 35 | 2,00-2,20 | 50,40 | 24,55 | 25,85 |
| 13 | 2,50-3,00 | 54,00 | 25,39 | 28,61 | 36 | 1,80-2,00 | 43,00 | 21,70 | 21,30 |
| 14 | 1,30-1,50 | 56,00 | 29,75 | 26,25 | 37 | 2,00-2,20 | 50,40 | 24,62 | 25,78 |
| 14 | 2,10-2,40 | 73,70 | 32,51 | 41,19 | 38 | 1,40-1,60 | 52,90 | 25,15 | 27,75 |
| 15 | 3,00-3,50 | 45,00 | 17,27 | 27,73 | 39 | 2,90-3,10 | 41,30 | 22,79 | 18,51 |
| 16 | 3,00-3,50 | 53,90 | 25,50 | 28,40 | 40 | 1,50-1,70 | 55,20 | 25,75 | 29,45 |
| 17 | 2,50-2,80 | 35,50 | 19,28 | 16,22 | 41 | 2,40-2,80 | 32,90 | 19,02 | 13,88 |
| 18 | 2,10-2,30 | 42,80 | 32,30 | 19,50 | 42 | 2,60-3,00 | 59,00 | 27,40 | 31,60 |
| 19 | 2,20-2,50 | 55,00 | 25,60 | 29,40 | 43 | 2,60-2,80 | 76,00 | 32,38 | 43,62 |
| 20 | 0,70-1,00 | 38,20 | 21,27 | 16,93 | 44 | 1,50-2,00 | 59,30 | 28,51 | 30,79 |
| 21 | 3,00-3,20 | 48,00 | 25,00 | 23,00 | 45 | 2,80-3,00 | 42,00 | 22,10 | 19,90 |
| 22 | 2,80-3,00 | 62,10 | 27,93 | 34,17 | TR2 | 2,50-2,70 | 68,00 | 29,72 | 38,28 |
| 22 | 2,80-3,00 | 58,60 | 27,82 | 30,78 | TR2 | 2,00-2,20 | 50,85 | 26,06 | 24,76 |

Source (ANBT)

Annexe E :

III-Masse volumique particules solides :

| Puits | Prof | s | Puits | Prof | s | Puits | Prof | s |
|-------|-----------|------|-------|-----------|------|-------|-----------|------|
| N° | (m) | | N° | (m) | | N° | (m) | |
| 1 | 2,00-3,00 | 2,68 | 14 | 2,50-3,00 | 2,78 | 30 | 0,70-1,00 | 2,69 |
| 2 | 3,00-3,70 | | 15 | 3,00-3,70 | | 30 | 3,00-3,70 | - |
| 2 | 1,50-2,10 | - | 15 | 1,50-2,10 | - | 30 | 1,50-2,10 | - |
| 3 | 2,60-3,20 | - | 16 | 2,60-3,20 | - | 30 | 2,60-3,20 | - |
| 3 | 0,50-1,30 | - | 17 | 0,50-1,30 | - | 31 | 0,50-1,30 | - |
| 4 | 1,30-2,60 | 2,73 | 18 | 1,30-2,60 | - | 32 | 1,30-2,60 | 2,70 |
| 4 | 2,60-3,30 | - | 19 | 2,60-3,30 | - | 33 | 2,60-3,30 | - |
| 4 | 0,60-1,25 | - | 20 | 0,60-1,25 | - | 34 | 0,60-1,25 | - |
| 5 | 1,30-2,10 | - | 21 | 1,30-2,10 | 2,69 | 35 | 1,30-2,10 | - |
| 5 | 2,50-3,50 | - | 22 | 2,50-3,50 | - | 36 | 2,50-3,50 | - |
| 5 | 2,30-2,90 | 2,76 | 23 | 2,30-2,90 | - | 37 | 2,30-2,90 | - |
| 6 | 1,50-1,90 | - | 24 | 1,50-1,90 | - | 38 | 1,50-1,90 | - |
| 6 | 0,70-1,40 | - | 25 | 0,70-1,40 | - | 39 | 0,70-1,40 | - |
| 7 | 1,50-1,80 | - | 25 | 1,50-1,80 | 2,70 | 40 | 1,50-1,80 | - |
| 8 | 0,80-1,20 | 2,71 | 26 | 0,80-1,20 | - | 41 | 0,80-1,20 | - |
| 8 | 1,40-2,10 | - | 27 | 1,40-2,10 | - | 42 | 1,40-2,10 | - |
| 13 | 0,80-1,20 | - | 28 | 0,80-1,20 | - | 43 | 0,80-1,20 | 2,71 |
| 13 | 2,50-3,00 | - | 28 | 2,50-3,00 | - | 44 | 2,50-3,00 | - |
| 14 | 1,30-1,50 | - | 29 | 1,30-1,50 | - | TR2 | 1,30-1,50 | - |
| | | | | | | TR2 | 1,80-2,20 | - |

Source (ANBT)

Annexe F :

III- la teneur en eau :

| Puits N° | Prof (m) | W | Puits N° | Prof(m) | W |
|----------|-----------|------|----------|-----------|------|
| - | | (%) | - | - | (%) |
| 1 | 2,00-3,00 | 5,9 | 14 | 2,50-3,00 | 21,0 |
| 2 | 3,00-3,70 | 18,3 | 15 | 3,00-3,70 | 13,2 |
| 2 | 1,50-2,10 | 19,6 | 15 | 1,50-2,10 | 11,8 |
| 3 | 2,60-3,20 | 12,5 | 16 | 2,60-3,20 | 18,5 |
| 3 | 0,50-1,30 | 12,9 | 17 | 0,50-1,30 | 15,1 |
| 4 | 1,30-2,60 | 27,5 | 18 | 1,30-2,60 | 15,2 |
| 4 | 2,60-3,30 | 18,9 | 19 | 2,60-3,30 | 15,4 |
| 4 | 0,60-1,25 | 20,1 | 20 | 0,60-1,25 | 17,3 |
| 5 | 1,30-2,10 | 40,2 | 21 | 1,30-2,10 | 13,6 |
| 5 | 2,50-3,50 | 22,6 | 22 | 2,50-3,50 | 13,8 |
| 5 | 2,30-2,90 | 26,1 | 23 | 2,30-2,90 | 15,7 |
| 6 | 1,50-1,90 | 17,8 | 24 | 1,50-1,90 | 14,9 |
| 6 | 0,70-1,40 | 18,7 | 25 | 0,70-1,40 | 13,0 |
| 7 | 1,50-1,80 | 11,0 | 25 | 1,50-1,80 | 17,5 |
| 8 | 0,80-1,20 | 13,8 | 26 | 0,80-1,20 | 14,4 |
| 8 | 1,40-2,10 | 7,0 | 27 | 1,40-2,10 | 10,0 |
| 13 | 0,80-1,20 | 21,3 | 28 | 0,80-1,20 | 17,4 |
| 13 | 2,50-3,00 | 17,3 | 28 | 2,50-3,00 | 10,9 |
| 14 | 1,30-1,50 | 23,6 | 29 | 1,30-1,50 | 17,4 |
| 1 | 1,50-2,00 | 21,6 | 30 | 0,60-1,25 | 16,0 |
| 15 | 3,00-3,70 | 12,4 | 38 | 1,30-2,10 | 14,0 |
| 16 | 1,50-2,10 | 16,9 | 39 | 2,50-3,50 | 17,2 |
| 17 | 2,60-3,20 | 16,0 | 40 | 2,30-2,90 | 10,0 |
| 18 | 0,50-1,30 | 15,7 | 41 | 1,50-1,90 | 9,4 |
| 19 | 1,30-2,60 | 14,3 | 42 | 0,70-1,40 | 26,7 |
| 20 | 2,60-3,30 | 15,5 | 43 | 1,50-1,80 | 13,4 |
| 21 | 0,60-1,25 | 14,9 | 44 | 0,80-1,20 | 12,4 |
| 22 | 1,30-2,10 | 28,7 | TR2 | 1,40-2,10 | 22,1 |
| 22 | 2,50-3,50 | 15,4 | TR2 | 0,80-1,20 | 15,4 |

Source (ANBT)

AnnexeG :

III- Proctor normal.

| Puits N° | Prof (m) | Proctor normal | | | Puits N° | Prof (m) | Proctor normal | | |
|-------------|-------------|----------------|-------------------------|-----------------------|-------------|-------------|----------------|-------------------------|-----------------------|
| | | d max | W _{opt} (%) | S _r (%) | | | d max | W _{opt} (%) | S _r (%) |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1 | 1,50-2,00 | 1,87 | 12,0 | 74,0 | 23 | 2,80-3,00 | - | - | - |
| 2 | 3,00-3,70 | - | - | - | 24 | 2,50-2,70 | 1,75 | 14,4 | 73,0 |
| 2 | 1,50-2,10 | - | - | - | 25 | 2,00-2,20 | - | - | - |
| 3 | 2,60-3,20 | - | - | - | 25 | 2,00-2,20 | - | - | - |
| 3 | 0,50-1,30 | 1,86 | 12,3 | 72,0 | 26 | 1,80-2,00 | - | - | - |
| 4 | 1,30-2,60 | - | - | - | 27 | 2,00-2,20 | - | - | - |
| 4 | 2,60-3,30 | - | - | - | 28 | 1,40-1,60 | 1,82 | 16,4 | 92,0 |
| 4 | 0,60-1,25 | - | - | - | 28 | 1,70-1,80 | - | - | - |
| 5 | 1,30-2,10 | - | - | - | 29 | 1,40-1,60 | - | - | - |
| 5 | 2,50-3,50 | - | - | - | 30 | 1,40-1,70 | 1,88 | 12,3 | 76,0 |
| 5 | 2,30-2,90 | 1,74 | 16,4 | 80,0 | 30 | 1,50-1,70 | - | - | - |
| 6 | 1,50-1,90 | - | - | - | 30 | 0,60-1,40 | 1,85 | 14,6 | 86,0 |
| 6 | 0,70-1,40 | 1,81 | 12,3 | 67,0 | 31 | 1,80-2,20 | - | - | - |
| 7 | 1,50-1,80 | - | - | - | 32 | 2,80-3,00 | - | - | - |
| 8 | 0,80-1,20 | - | - | - | 33 | 2,50-2,70 | 1,77 | 14,5 | 74,0 |
| 8 | 1,40-2,10 | 2,03 | 10,3 | 84,0 | 34 | 2,00-2,20 | - | - | - |
| 13 | 0,80-1,20 | - | - | - | 35 | 2,00-2,20 | - | - | - |
| 13 | 2,50-3,00 | - | - | - | 36 | 1,80-2,00 | 1,87 | 12,5 | 76,0 |
| 14 | 1,30-1,50 | - | - | - | 37 | 2,00-2,20 | - | - | - |
| 14 | 2,10-2,40 | 1,64 | 18,3 | 73,0 | 38 | 1,40-1,60 | - | - | - |
| 15 | 3,00-3,50 | - | - | - | 39 | 2,90-3,10 | - | - | - |
| 16 | 3,00-3,50 | - | - | - | 40 | 1,50-1,70 | - | - | - |
| 17 | 2,50-2,80 | - | - | - | 41 | 2,40-2,80 | 1,81 | 14,5 | 89,0 |
| 18 | 2,10-2,30 | - | - | - | 42 | 2,60-3,00 | - | - | - |
| 19 | 2,20-2,50 | 1,77 | 16,5 | 85,0 | 43 | 2,60-2,80 | - | - | - |
| 20 | 0,70-1,00 | - | - | - | 44 | 1,50-2,00 | 1,83 | 14,3 | 81,0 |
| 21 | 3,00-3,20 | 1,78 | 16,5 | 86,0 | 45 | 2,80-3,00 | | | |
| 22 | 2,80-3,00 | 1,69 | 16,5 | 75,0 | TR2 | 2,50-2,70 | | | |
| 22 | 2,80-3,00 | - | - | - | TR2 | 2,00-2,20 | 1,83 | 14,3 | 81,0 |

Source (ANBT)

Annexe H :

Détail des méthodes utilisées pour le calcul de la variation spatiale de la pluie

Méthode des polygones de Thiessen:

La méthode du polygone de Thiessen permet d'estimer des valeurs pondérées en prenant en considération chaque station pluviométrique. Elle affecte à chaque pluviomètre une zone d'influence dont l'aire, exprimée en %, représente le facteur de pondération de la valeur locale. L'application simple permet l'obtention de la carte suivante où l'aire de chaque polygone (A_i) est déterminée par planimétrie ou numériquement.



Figure – Méthode des polygones de Thiessen

La précipitation moyenne pondérée P_{moy} pour le bassin, se calcule alors en effectuant la somme des précipitations P_i de chaque station, multipliées par leur facteur de pondération (aire A_i), le tout divisé par la surface totale A du bassin. La précipitation moyenne sur le bassin s'écrit :

$$P_{moyBV} = \frac{\sum S_i \times P_i}{S}$$

Avec :

P_{moyBV} : Précipitation moyenne sur le bassin,

S : Surface totale du bassin,

P_i : Précipitation enregistrée à la station i ,

S_i : Superficie du polygone associée à la station i .

Le résultat de ce calcul est indiqué dans le tableau suivant :

Tableau : Résultats des calculs par la méthode de Thiessen

| Code Station | Nom Station | X (km) | Y (km) | Z (m) | P_i (mm) | Surface BV comprise dans polygone S_i (km ²) | $S_i * P_i$ |
|--------------|-----------------|--------|--------|-------|------------|--|-------------|
| 031503 | BOUHADJAR | 984 | 369 | 300 | 560,881 | 424,616 | 238159,047 |
| 031717 | LAC DES OISEAUX | 984 | 400 | 6 | 702,855 | 329,306 | 231454,369 |
| 031601 | AIN EL ASSEL | 1005 | 399 | 35 | 811,19 | 346,887 | 281391,266 |
| 140631 | PONT BOUCHET | 949 | 402 | 9 | 615,792 | 146,467 | 90193,2069 |
| 031602 | ROUM EL SOUK | 1020 | 402 | 150 | 644,082 | 348,198 | 224268,064 |
| 031718 | BOUTELDJA EPEA | 989 | 400 | 25 | 750,793 | 230,344 | 172940,663 |
| 031501 | CHEFFIA (Bge) | 977 | 381 | 170 | 783,359 | 500,803 | 392308,537 |
| 031604 | KERMA | 991 | 379 | 280 | 631,817 | 360,05 | 227485,711 |

Ainsi pour le bassin versant de la Mafragh, la lame moyenne précipitée (P_{moyBV}) est de **691.63** mm

Annexe J :

La série des pluies max journalières

| Station de Chaffia sur sous bassin Bouamoussa | | Station de Ain Assel sur sous bassin Kébir | | Bassin la Mafragh | |
|---|----------------|---|-------------|-------------------|-------------|
| Années | pj max (mm) | Années | pj max (mm) | Années | pj max (mm) |
| 1980 | 125,63 | 1980 | 184,6 | 1980 | 310,23 |
| 1981 | 135,97 | 1981 | 128,2 | 1981 | 264,17 |
| 1982 | 232,81 | 1982 | 77,7 | 1982 | 310,51 |
| 1983 | 251,38 | 1983 | 345 | 1983 | 596,38 |
| 1984 | 412,65 | 1984 | 314,9 | 1984 | 727,55 |
| 1985 | 114,98 | 1985 | 56,6 | 1985 | 171,58 |
| 1986 | 288,36 | 1986 | 81 | 1986 | 369,36 |
| 1987 | 209,28 | 1987 | 177,1 | 1987 | 386,38 |
| 1988 | 51,75 | 1988 | 272 | 1988 | 323,75 |
| 1989 | 21,6 | 1989 | 123 | 1989 | 144,6 |
| 1990 | 81,79 | 1990 | 234,5 | 1990 | 316,29 |
| 1991 | 199,79 | 1991 | 196,5 | 1991 | 396,29 |
| 1992 | 140,72 | 1992 | 194 | 1992 | 334,72 |
| 1993 | 158,89 | 1993 | 180,8 | 1993 | 339,69 |
| 1994 | 98,12 | 1994 | 135,4 | 1994 | 233,52 |
| 1995 | 232,71 | 1995 | 257,3 | 1995 | 490,01 |
| 1996 | 112,04 | 1996 | 105,4 | 1996 | 217,44 |
| 1997 | 243,76 | 1997 | 212,3 | 1997 | 456,06 |
| 1998 | 193,49 | 1998 | 249,8 | 1998 | 443,29 |
| 1999 | 124,3 | 1999 | 158,3 | 1999 | 282,6 |
| 2000 | 151,42 | 2000 | 180,6 | 2000 | 332,02 |
| 2001 | 90,36 | 2001 | 110,8 | 2001 | 201,16 |
| 2002 | 369,4 | 2002 | 307,7 | 2002 | 677,1 |
| 2003 | 227,8 | 2003 | 319,7 | 2003 | 547,5 |
| 2004 | 301,2 | 2004 | 216,7 | 2004 | 517,9 |
| 2005 | 173,9 | 2005 | 207,7 | 2005 | 381,6 |
| 2006 | 254,8 | 2006 | 228,1 | 2006 | 482,9 |
| 2007 | 104,2 | 2007 | 120,9 | 2007 | 225,1 |
| 2008 | 205 | 2008 | 226,6 | 2008 | 431,6 |
| 2009 | 176,2 | 2009 | 133,4 | 2009 | 309,6 |
| 2010 | 241,9 | 2010 | 154,6 | 2010 | 396,5 |
| 2011 | 232,6 | 2011 | 314 | 2011 | 546,6 |

| | | | | | |
|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|
| Moyenne | 186,2125 | Moyenne | 193,9125 | Moyenne | 374,754839 |
| Ecart type | 89,0163348 | Ecart type | 79,7788994 | Ecart type | 148,592104 |
| Coef de variation | 0,40362805 | Coef de variation | 0,35273641 | Coef de variation | 0,33083996 |

