

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique

Option : CONCEPTION DES SYSTEMES D'ASSAINISSEMENT

THEME :

PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS DE LA LOCALITÉ EI GOR (W.TLEMCEN).

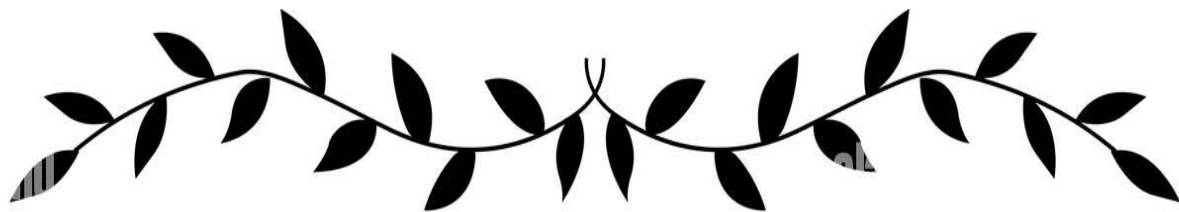
Présenté par:

Ketita Imene

Devant les membres du jury

| Nom et Prénoms | Grade | Qualité |
|------------------|-------|-----------|
| Mokrane Wahiba | M.C.B | Président |
| Salhi Chahrazed | M.C.B | Membre |
| Kadi Latifa | M.A.A | Membre |
| Ammari Abdelhadi | M.C.A | Promoteur |

ENSH 2024



Remerciements

En préambule à ce mémoire, je tiens à remercier le bon Dieu tout puissant de m'avoir offert l'opportunité de franchir ce stade de savoir, et de m'avoir donné le courage et la patience de réaliser ce modeste travail.

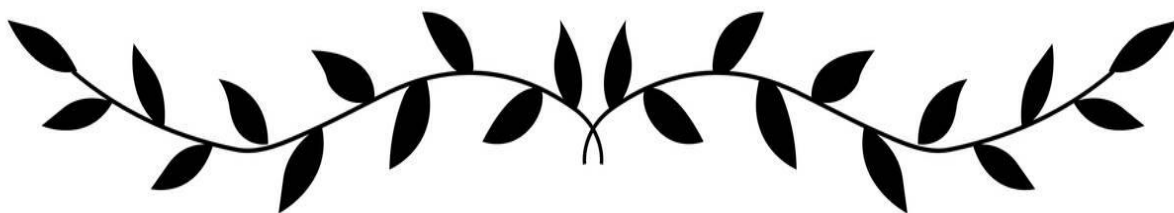
Je remercie mon promoteur Mr ABDELHADI AMMARI d'avoir accepté de diriger et de réaliser mon travail, j'exprime mes sincères gratitude et reconnaissances pour ses conseils et instructions inestimables.

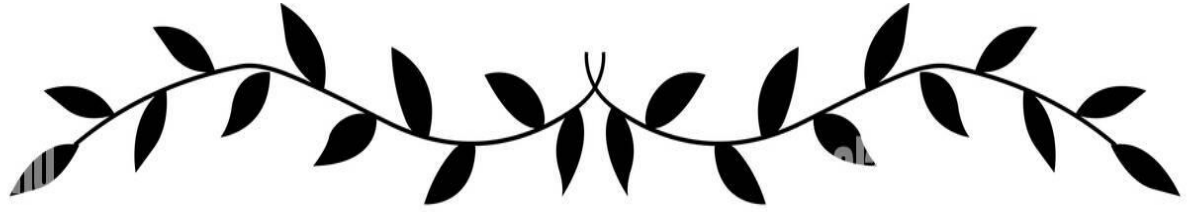
J'adresse mes remerciements les plus sincères à Mr BEDRAOUI ABDERRAHMEN ingénieur chez l'Agence Nationale De La Gestion Intégrée Des Ressources En Eau AGIRE-W.Tlemcen- pour ses prestations et assistance

Je tiens à remercier ma famille, mes parents, mes frangines et frère pour leur encouragements.

Je ressens de la gratitude envers mes amis pour leur soutien constant et qui ont contribuer amplement pour faire réussir ce travail acharné,
Merci à LABDI AMAR, KHITER SOFIANE, WAFA BELLAHCENE, YOUSRA, NADA KHIAT, SALIM SAIDI, RIHAB, MANEL, SELMA, MAARIG ISSAAD, ABDERRAHMEN, et RACHID.

Milles merci.





Dédicaces

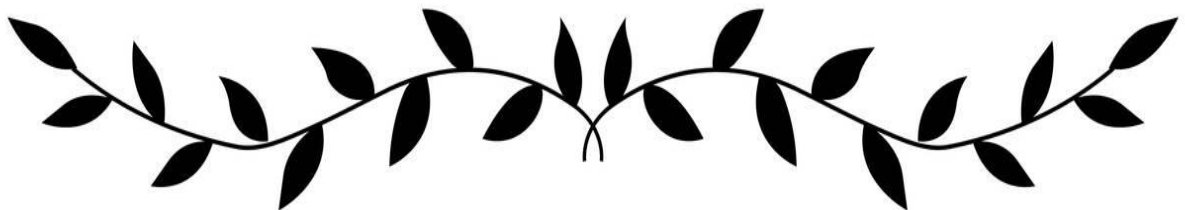
Je dédie ce modeste travail à mes chers parents. Ma mère pour m'avoir mis au Monde et pour m'avoir accompagné tout le long de ma vie. Je lui dois une fière Chandelle.

Mon père qui sans lui et ses sacrifices je ne serais pas arrivé jusqu'ici. J'espère toujours Rester fidèle aux valeurs morales qu'on m'a apprises.

Mes très chères sœurs et frère MANEL, IBTISSEM et RAMZI et toute ma famille. Mes très chers amis et Mes collègues de la promo d'hydraulique option Conception des réseaux d'assainissement

الحمد لله على ما باركت لنا يا الله في سعيينا، فلك الشكر على نجاحنا ولك الفضل في الأولى والأخرة.

اللهم إن ما وصلنا إلى نجاح فهذا من فضلك وكرمك وتوفيقك يا رحيم. الحمد لله



ملخص :

تعد الجزائر واحدة من أكثر البلدان التي تواجه خطر الفيضانات التي تتكرر بشكل متزايد بسبب مزيج من العوامل الطبيعية والبشرية.

الهدف من هذا العمل هو حماية بلدية الغور بولاية تلمسان من الفيضانات من خلال تحديد المناطق المعرضة لهذا الخطر الناجمة عن ارتفاع مفاجئ لمنسوب مياه واد الغور الذي يعبر وسط المدينة.

استخدمنا في هذا العمل أدوات النمذجة الهيدرولوجية والهيدروليكية الرقمية لتطوير خريطة لمناطق الفيضانات بناءً على المعايير الفنية والاقتصادية، تم اقتراح نموذج تهيئة مناسب للوادي من أجل حماية الأشخاص و الاموال.

الكلمات المفتاحية : تطوير نظام ، واد الغور الفيضانات ، نمذجة هيدروليكية ، المناطق المهددة بالفيضانات

RÉSUMÉ :

L'Algérie est l'un des pays les plus confrontés au risque d'inondation qui sont de plus en plus fréquentes causées par la combinaison des facteurs naturels et anthropiques.

Le but de ce travail est la protection contre les inondations de la commune El Gor W.Tlemcen afin d'identifier les zones inondables suite à un débordement du cours d'eau principal Oued El Gor qui traverse la ville concernée par l'aménagement.

Dans le présent travail on a utilisé les outils de la modélisation numérique hydrologique et hydraulique afin d'élaborer la carte d'inondabilité qui représente l'extension des zones inondables atteintes lors d'une inondation réelles ou potentielles. En se basant sur des critères technico-économique, un aménagement mixte gabionnage et enrochement a été proposé afin de protéger la localité d'El Gor contre les inondations.

MOTS CLÉS: inondations, Oued El Gor, modélisation hydraulique, les zones inondables, carte d'inondabilité, crue centennale.

ABSTRACT:

Algeria is one of the countries most vulnerable to flooding, with the risk of flooding increasing due to a combination of natural and anthropogenic factors. The aim of this work is the protection of the commune El Gor, W. Tlemcen, against flooding in order to identify the flood zones following an overflow of the main river Oued El Gor which crosses the town concerned by the development. This study used digital hydrological and hydraulic modeling tools to develop the flood map which represents the extension of the flood zones reached during a real or potential flood. Based on technical-economic criteria, a mixed gabions and riprap development was proposed in order to protect the locality of El Gor against flooding.

Key words: Floodings, El Gor watercourse, hydraulic modeling, flood map.

Table des matières:

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCTION GÉNÉRALE..... | i |
| Introduction générale..... | 16 |
| CHAPITRE I: PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE..... | 17 |
| Introduction | 18 |
| I- Présentation générale de la région de l'étude..... | 18 |
| I.1 Situation géographique de la zone d'étude..... | 19 |
| I.2 Démographie..... | 20 |
| I.3 Relief et topographie..... | 20 |
| I-4 Cadre Géologique général..... | 23 |
| I-5 Pédologie..... | 23 |
| I- 6 La climatologie..... | 24 |
| I-6-1. La pluviométrie..... | 24 |
| I-6-2. La température..... | 27 |
| I-6-3 L'humidité de l'air..... | 27 |
| I-6-4 Le vent..... | 28 |
| I-7 situation hydrographique..... | 29 |
| I-8 reconnaissance des lieux..... | 29 |
| I-9.Description et état de fait de l'aire d'étude..... | 30 |
| Conclusion..... | 35 |
| CHAPITRE II: ÉTUDE HYDROLOGIQUE..... | 36 |
| Introduction..... | 37 |
| I. Définition du bassin versant..... | 37 |
| II. Etude des caractéristiques hydro-morphométriques du bassin versant..... | 37 |
| II.1.Délimitation du bassin versant..... | 38 |
| II.2. Caractéristiques géométriques..... | 38 |
| II.3. Caractéristiques de forme | 39 |
| II.4. les paramètres relief..... | 41 |
| II.5. calcul des paramètres hydrographiques..... | 47 |
| III.Analyse des données pluviométriques..... | 53 |
| III.1.1 analyse des pluies maximales journalières..... | 53 |

| | |
|--|------------|
| III.1.2 . Ajustement des pluies journalières maximales..... | 56 |
| III.1.3 . Test de validité de l'ajustement..... | 64 |
| III.1.3.1. le Test visuel..... | 64 |
| III.1.3 2 le Test d'adéquation de χ^2 (Pearson)..... | 64 |
| III.1.4 Pluies de courte durée..... | 65 |
| Conclusion..... | 68 |
| CHAPITRE III: CALCUL DE DÉBIT DE CRUE..... | 69 |
| Introduction..... | 70 |
| I. Calcul du débit de crues..... | 70 |
| I.1.l'approche basée sur les formules empiriques..... | 70 |
| I.2.l'approche SCS (service de conservation des sols)..... | 74 |
| I.2.1.Présentation du modèle de transfert pluie-débit (méthode SCS)..... | 74 |
| II. La modélisation hydrologique avec logiciel HEC.HMS..... | 79 |
| II.1. la modélisation hydrologique du bassin versant..... | 79 |
| II.2. représentation du modèle HEC-HMS..... | 80 |
| II.3.discussion des résultats..... | 85 |
| Conclusion..... | 86 |
| CHAPITRE IV: ÉLABORATION DE LA CARTE D'INONDABILITÉ..... | 87 |
| Introduction..... | 88 |
| I- description générale du cours d'eau..... | 88 |
| II.la modélisation hydraulique..... | 93 |
| II.1. Définition..... | 93 |
| II.2.le modèle HEC RAS | 94 |
| II.3.La démarche de la simulation | 94 |
| II.4. visualisation des résultats de la simulation | 96 |
| II.4.1.le profil du plan de Oued El Gor..... | 97 |
| II.4.2.Les profils en travers..... | 97 |
| II.4.3.résultats de la simulation :..... | 99 |
| II.5. discussion des résultats..... | 104 |
| III. la carte d'inondabilité..... | 104 |
| Conclusion..... | 105 |
| CHAPITRE V: LES VARIANTES D'AMENAGEMENT | 106 |

| | |
|---|-----|
| Introduction..... | 107 |
| I. Ecoulement dans les canaux á ciel ouvert..... | 107 |
| I.1. Généralités | 107 |
| I.2. types d'écoulement..... | 107 |
| I.3.Régime d'écoulement..... | 109 |
| I.4 .le type d'écoulement | 109 |
| I.5.Dimensionnement des canaux | 110 |
| II.les techniques d'aménagement fluviaux..... | 112 |
| II.1 La protection indirecte..... | 112 |
| II.2 La protection directe | 112 |
| III. suggestion des variantes d'aménagement | 114 |
| III.1.variante 01 : canal en dur « bétonnage »..... | 114 |
| III.1.1. Choix des paramètres de dimensionnement..... | 116 |
| III.1.2 les paramètres d'écoulement | 120 |
| III.1.3.les profils en travers | 125 |
| III.1.4.interprétation des résultats | 126 |
| III.1.5. estimation du cout de la variante | 127 |
| III.2 variante 02 : canal en gabion | 128 |
| III.2.1. Dimensionnement | 131 |
| III.2.2. les paramètres hydrauliques | 133 |
| III.2.3.les profils en travers | 138 |
| III.2.4. interprétation des résultats | 139 |
| III.2.5. estimation du cout de la variante | 140 |
| III.3. variante03 :canal en enrochement | 142 |
| III.3.1.Dimensionnement | 143 |
| III.3.2. les paramètres de l'écoulement | 145 |
| III.3.3. Les profils en travers | 150 |
| III.3.4. interprétations des résultats | 151 |
| III.3.5.le calcul de volume d'enrochement | 152 |
| III.3.6. Estimations du cout de la variante | 156 |
| IV. Choix de la variante d'aménagement | 157 |
| V. Calcul de stabilité des canaux á fond non revêtu | 157 |

| | |
|--|------------|
| Conclusion | 162 |
| CHAPITRE VI: MANAGEMENT DE PROJET | 163 |
| Introduction | 164 |
| I.Devie quantitatif et estimatif | 164 |
| I.1 Calcul du volume des travaux | 164 |
| I.1.1 Volume de la couche de terre végétale..... | 164 |
| I.1.2 Volume des déblais et des remblais | 165 |
| I.1.3 Volume de Gabionnage et d'énrochement pour la protection du cours d'eau | 166 |
| II. Planification de projet | 169 |
| II.1. Techniques De La Planification | 169 |
| II.1.1. Méthodes basées sur le réseau | 169 |
| II.1.1.1 Définition du réseau | 169 |
| II.1.1.2 Construction du réseau | 170 |
| II.1.1.3.Méthode C.P.M (critical path method-méthode du chemin critique) | 171 |
| II.1.1.4.Méthode P.E.R.T (Program Evaluation and Review Technical) | 171 |
| II.1.1.5.Méthode P.D.M (Procedure Diagram Method) | 171 |
| II.1.2 Méthodes basées sur le graphique | 171 |
| II.2.Les Etapes De La Planification | 172 |
| II.3.Choix De La Méthode De Calcul | 172 |
| II.3.1 Les paramètres de la méthode C.P.M | 172 |
| II.3.2. les principales lois de la méthode C.P.M | 173 |
| II.4. Elaboration du réseau selon la méthode C.P.M | 174 |
| II.5.Diagramme de GANT (planning des travaux)..... | 176 |
| Conclusion | 177 |
| CONCLUSON GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS..... | 178 |
| Conclusion générale | 179 |
| Quelques recommandations | 180 |
| BIBIOGRAPHIE | 181 |
| ANNEXE..... | 182 |

Table des figures

| | |
|---|-----------|
| CHAPITRE I: PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE..... | 17 |
| Figure I.1 : carte de la localisation géographique de la commune EL GOR..... | 18 |
| Figure I.2: limites administratifs de la commune El Gor..... | 19 |
| Figure I.3 : la carte topographique du bassin versant..... | 21 |
| FigureI.4 : le modèle numérique de terrain en vue 3D..... | 22 |
| Figure I.5 : Relief de la zone étudiée..... | 22 |
| Figure I.6 :la carte des sols de l'ouest de l'Algérie..... | 24 |
| Figure I.7 : Variation des précipitations moyennes annuelles (1982-2012) station Sebdou(ANRH)..... | 25 |
| Figure I.8 : Variation des précipitations mensuelles(ANRH)..... | 26 |
| Figure I.9 : Variations saisonnière des précipitations(ANRH)..... | 26 |
| Figure I.10: Image satellite non traitée de la commune El Gor..... | 29 |
| Figure I.11 : des violentes orages qui ont précédé la crue du 2022/09..... | 30 |
| Figure I.12 : Photos prise de la crue la plus récente du 2022/09..... | 31 |
| Figures I.13 : l'inondation du 2022 dans la commune d'El Gor du 2022/09..... | 33 |
| Figures I.14 : l'état de la commune lors de la décrue (2022/09)..... | 34 |
| Figure I.15 : dommages infrastructurelle causés par la crue du 2022/09..... | 35 |
| CHAPITRE II: ÉTUDE HYDROLOGIQUE..... | 36 |
| Figure II.1 : la délimitation du bassin versant Oued El Gor avec réseau hydrographique..... | 38 |
| Figure II.2: la carte hypsométrique du BV..... | 42 |
| Figure II.3: diagramme et courbe Hypsométrique du BV oued El Gor..... | 43 |
| Figure II.4: visualisation des courbes de niveau..... | 46 |
| Figure II.5: le réseau hydrographique du bassin versant..... | 48 |
| Figure II.6 : Extrait de la carte des bassins hydrographiques Algériens..... | 53 |
| Figure II.7: Répartition des précipitations max journalière du poste Pluviométrique Sebdou (ANRH)..... | 55 |
| Figure II.8 : Représentation graphique de l'ajustement à la loi Gumbel..... | 59 |
| Figure II.9: Représentation graphique de l'ajustement à la loi log normal..... | 61 |
| Figure II.10 : Représentation graphique de l'ajustement à la loi GEV..... | 63 |
| Figure II.11: Comparaison des lois d'ajustement de la série pluviométrique..... | 64 |

| | |
|--|------------|
| Figure II.12: Courbes intensités-durées-fréquences(IDF)..... | 68 |
| CHAPITRE III: CALCUL DE DÉBIT DE CRUE..... | 69 |
| Figure III.1: LULC générée par Arc Geo HMS..... | 78 |
| Figure III.2: l’interface de logiciel HEC HMS..... | 80 |
| Figure III.3 : hydrogramme de crue du BV pour T=100 ans..... | 81 |
| Figure III.4 : résultat de la simulation pour la période de retour 50 ans..... | 82 |
| Figure III.5 : hydrogramme de crue du BV pour T=20 ans..... | 83 |
| Figure III.6: hydrogramme de crue du BV pour T=10 ans..... | 84 |
| Figure III.7 : hydrogramme de crue du BV pour T=5 ans..... | 85 |
| CHAPITRE IV: ÉLABORATION DE LA CARTE D’INONDABILITÉ..... | 87 |
| Figure IV.1: les tronçons du cours d’eau principal..... | 89 |
| Figure IV.2 : état de tronçon 01 non aménagé (31/07/2024)..... | 90 |
| Figures IV.3 : constructions piscicoles sur les rives de tronçon 01 (31/07/2024)..... | 90 |
| Figure IV.4 : état de tronçon 03 non aménagé de Oued El Gor (31/07/2024)..... | 91 |
| Figures IV.5 : zone bâties au voisinage de l’Oued (31/07/2024)..... | 92 |
| Figure IV.6 : la répartition des sections transversales de Oued El Gor..... | 96 |
| Figure IV.7 : Profil du plan d’eau d’Oued El Gor au passage de la crue centennale..... | 97 |
| Figure IV.8 : Profil en travers du tronçon 01 de Oued El Gor,Station 1074 | 98 |
| Figure IV.9 : profile en travers dans le tronçon 02 d’Oued El Gor,Station 1900..... | 98 |
| Figure IV.10 : profile en travers dans le tronçon 03 d’Oued El Gor, Station 8966..... | 99 |
| Figure IV.11 : la carte d’inondabilité pour une période de retour centennale..... | 105 |
| CHAPITRE V: LES VARIANTES D’AMENAGEMENT..... | 106 |
| Figure V.1 : schéma des écoulements permanent et non permanents..... | 108 |
| Figure V.2 : schéma des écoulements uniforme et non-uniforme..... | 108 |
| Figure V.3 : Éléments géométriques pour divers formes de canaux..... | 111 |
| Figure V.4: Coupe en travers d’une section trapézoïdale en béton armé..... | 115 |
| Figure V.5: l’interface de logiciel Flow Master..... | 117 |
| Figure V.6 : les dimensions du canal trapézoïdal du tronçon 03..... | 118 |
| Figure V.7: les dimensions du canal trapézoïdal du tronçon 02..... | 118 |
| Figure V.8: les dimensions du canal trapézoïdal du tronçon 01..... | 119 |
| Figures V.9: les sections transversales dans le tronçon 03, station 9039..... | 125 |
| Figures V.10 : les sections transversales dans le trognon 02, station 3805..... | 125 |

| | |
|--|------------|
| Figures V.11 : section transversale dans le tronçon 01, station 416..... | 126 |
| Figure V.12 : une coupe en travers d'une berge aménagée en gabionnage..... | 129 |
| Figure V.13 : un exemple d'un gabionnage installé sur un Oued dans la commune de Bab El Assa-Tlemcen-(27/08/2024)..... | 129 |
| Figures V.14 : la section transversale dans le tronçon 03, station 8526..... | 138 |
| Figures V.15 : section transversale dans le tronçon 02, station 3661..... | 138 |
| Figures V.16 : section transversale dans le tronçon 01, station 869..... | 139 |
| Figure V.17: Les dimensions du canal trapézoïdal en enrochement dans le tronçon 03..... | 144 |
| Figure V.18: Les dimensions du canal trapézoïdal en enrochement dans le tronçon 02..... | 144 |
| Figure V.19 : Les dimensions du canal trapézoïdal en enrochement dans le tronçon 01..... | 145 |
| Figures V.20: section transversale dans le tronçon 03, station 7465..... | 150 |
| Figures V.21: section transversale dans le tronçon 02, station 3805..... | 150 |
| Figures V.22 : section transversale dans le tronçon 01, station 262..... | 151 |
| Figure V.23: Canal en enrochement..... | 152 |
| Figure V.24 : angle au repos des grains solide en fonction du diamètre médian..... | 159 |
| Figure V.25: efforts tangentiels critiques pour les matériaux non cohésifs (USB)..... | 160 |
| Figure V.26: efforts tangentiels critiques pour les matériaux non cohésifs (USB)..... | 160 |
| CHAPITRE VI: MANAGEMENT DE PROJET | 163 |
| Figure VI.1 : les paramètres essentiels pour l'exécution de cette méthode..... | 173 |
| Figure VI.2: le réseau à nœuds..... | 176 |
| Figure VI.3 : Diagramme de Gantt..... | 177 |

Liste des tableaux :

| | |
|--|-----------|
| CHAPITRE I: PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE..... | 17 |
| Tableau I.1 : Evolution de la population d'EL GOR (HABITANT)..... | 20 |
| Tableau I.2 : Précipitations Mensuelles moyennes (station Sebdou 1982-2012)..... | 25 |
| Tableau I.3 : températures mensuelles á Beni-Bahdel..... | 27 |
| Tableau I.4 : Humidité de l'air de la zone d'étude (%)..... | 28 |
| CHAPITRE II: ÉTUDE HYDROLOGIQUE | 36 |
| Tableau II.1 : les caractéristiques morpho-métriques du BV..... | 39 |
| Tableau II.2 : l'indice de compacité de Gravelius..... | 39 |
| Tableau II.3 : le coefficient d'allongement..... | 40 |
| Tableau II.4 : les caractéristiques du rectangle équivalent..... | 41 |
| Tableau II.5 : répartition en % des surfaces élémentaires du BV Oued El Gor..... | 42 |
| Tableau II.6 : les altitudes caractéristiques du bassin versant..... | 44 |
| Tableau II.7 : Classification d'ORSTOM du relief à partir de l'indice de pente globale..... | 45 |
| Tableau II.8 : la classification du relief..... | 45 |
| Tableau II.9: les longueurs des courbes de niveau..... | 47 |
| Tableau II.10: classification des cours d'eau avec longueurs selon Horton..... | 48 |
| Tableau II.11 : la densité de drainage..... | 49 |
| Tableau II.12 : temps de concentration du bassin versant..... | 51 |
| Tableau II.13: Identification de la station pluviométrique..... | 53 |
| Tableau II.14: Série d'observations des précipitations maximales journalières du poste pluviométrique SEBDOU (160401)..... | 54 |
| Tableau II.15: Caractéristiques empiriques de la série d'observation..... | 56 |
| Tableau II.16: les paramètres de la loi de Gumbel par la méthode de maximum de vraisemblance..... | 58 |
| Tableau II.17 : Calcul des quantiles par la droite de Gumbel..... | 59 |
| Tableau II.18: Les paramètres de la loi log-normale.t..... | 60 |
| Tableau II.19 : Calcul des quantiles par la droite de Galton..... | 61 |
| Tableau II.20: les paramètres de la loi de GEV par la méthode de maximum de vraisemblance..... | 62 |
| Tableau II.21 : Calcul des quantiles par la droite de GEV..... | 63 |

| | |
|---|------------|
| Tableau II.22 : résultat du test de khi2..... | 65 |
| Tableau II.23 : les précipitations maximales journalières pour chaque fréquence..... | 66 |
| Tableau II.24 : Pluies et intensités de courtes durées pour des différentes périodes de retour..... | 67 |
| CHAPITRE III: CALCUL DE DÉBIT DE CRUE..... | 69 |
| Tableau III.1 : l'intensités correspondantes au temps de concentrations..... | 71 |
| Tableau III.2 : précipitations moyennes annuelles de la station de Sebdou(ANRH)..... | 72 |
| Tableau III.3 : Débit de crue calculée par les formules empiriques..... | 73 |
| Tableau III.4: classification des sols selon NRCS..... | 76 |
| Tableau III.5: CN selon le type d'occupation du sol.y..... | 77 |
| Tableau III.6: résultat de la simulation pour la période de retour 100 ans..... | 80 |
| Tableau III.7 : résultat de la simulation pour la période de retour 50 ans..... | 81 |
| Tableau III.8: résultat de la simulation pour la période de retour 20 ans..... | 82 |
| Tableau III.9: résultat de la simulation pour la période de retour 10 ans..... | 83 |
| Tableau III.10 : résultat de la simulation pour la période de retour 5 ans..... | 84 |
| Tableau III.11 : résumé des résultats de la simulation..... | 85 |
| Tableau III.12: résultats des débits de crue suivant les deux approches..... | 86 |
| CHAPITRE IV: ÉLABORATION DE LA CARTE D'INONDABILITÉ..... | 87 |
| Tableau IV.1: le partage de cours d'eau en tronçons..... | 89 |
| Tableau IV.2 : résultats de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 03..... | 100 |
| Tableau IV.3 : résultats de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 02..... | 102 |
| Tableau IV.4 : résultats de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 01..... | 103 |
| CHAPITRE V: LES VARIANTES D'AMENAGEMENT | 106 |
| Tableau V.1 : description des tronçons de Oued El Gor..... | 114 |
| Tableau V.2 : les vitesses limites selon la nature du lit..... | 116 |
| Tableau V.3: valeurs de coefficient de rugosité n..... | 117 |
| Tableau V.4 : les valeurs de la revanche..... | 120 |
| Tableau V.5 : résultats de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 03..... | 121 |
| Tableau V.6 : résultats de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 02..... | 123 |
| Tableau V.7 : résultats de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 01..... | 124 |
| Tableau V.8: devie quantitatif et estimatif de la variante canal en dur d'oued El Gor..... | 128 |

| | |
|---|------------|
| Tableau V.9 : Granulométrie du remplissage (Gabions ou Reno) en fonction de la vitesse du courant..... | 130 |
| Tableau V.10: Répartitions des tronçons d'aménagement urbain (oued El Gor)..... | 131 |
| Tableau V.11: Les résultats de calcul des nombres de caisses pour le canal en gabion dans le tronçon 03 d'Oued El Gor..... | 132 |
| Tableau V.12: Les résultats de calcul des nombres de caisses pour le canal en gabion dans le tronçon 02 d'Oued El Gor..... | 132 |
| Tableau V.13 : Les résultats de calcul des nombres de caisses pour le canal en gabion dans le tronçon 01 d'Oued El Gor..... | 133 |
| Tableau V.14: résultat de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 03..... | 134 |
| Tableau IV.15 : résultats de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 02..... | 136 |
| Tableau V.16 : résultats de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 01..... | 137 |
| Tableau V.17: résultat de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 03..... | 142 |
| Tableau V.18: résultat de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 03..... | 146 |
| Tableau V.19 : résultats de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 02..... | 148 |
| Tableau V.20 : résultats de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 01..... | 149 |
| Tableau V.21: sections d'enrochements..... | 155 |
| Tableau V.22: volume d'enrochement..... | 156 |
| Tableau V.23: devie quantitatif et estimatif de la variante canal en dur d'oued El Gor..... | 156 |
| Tableau.24 : vitesse admissible d'écoulement..... | 158 |
| Tableau V.25: Résultats des contraintes tractrices au fond et berges..... | 161 |
| Tableau V.26: les dimensions standards des matelas Reno (courantes)..... | 162 |
| CHAPITRE VI: MANAGEMENT DE PROJET | 163 |
| Tableau VI.1 : coefficient de foisonnement pour les matériaux divers..... | 165 |
| Tableau VI.2: Devis quantitatif et estimatif du projet..... | 167 |
| Tableau VI.3: listes des taches avec leur durée de réalisation estimées..... | 175 |
| Tableau VI.4 : succession des taches..... | 175 |



INTRODUCTION GÉNÉRALE:

INTRODUCTION GENERALE :

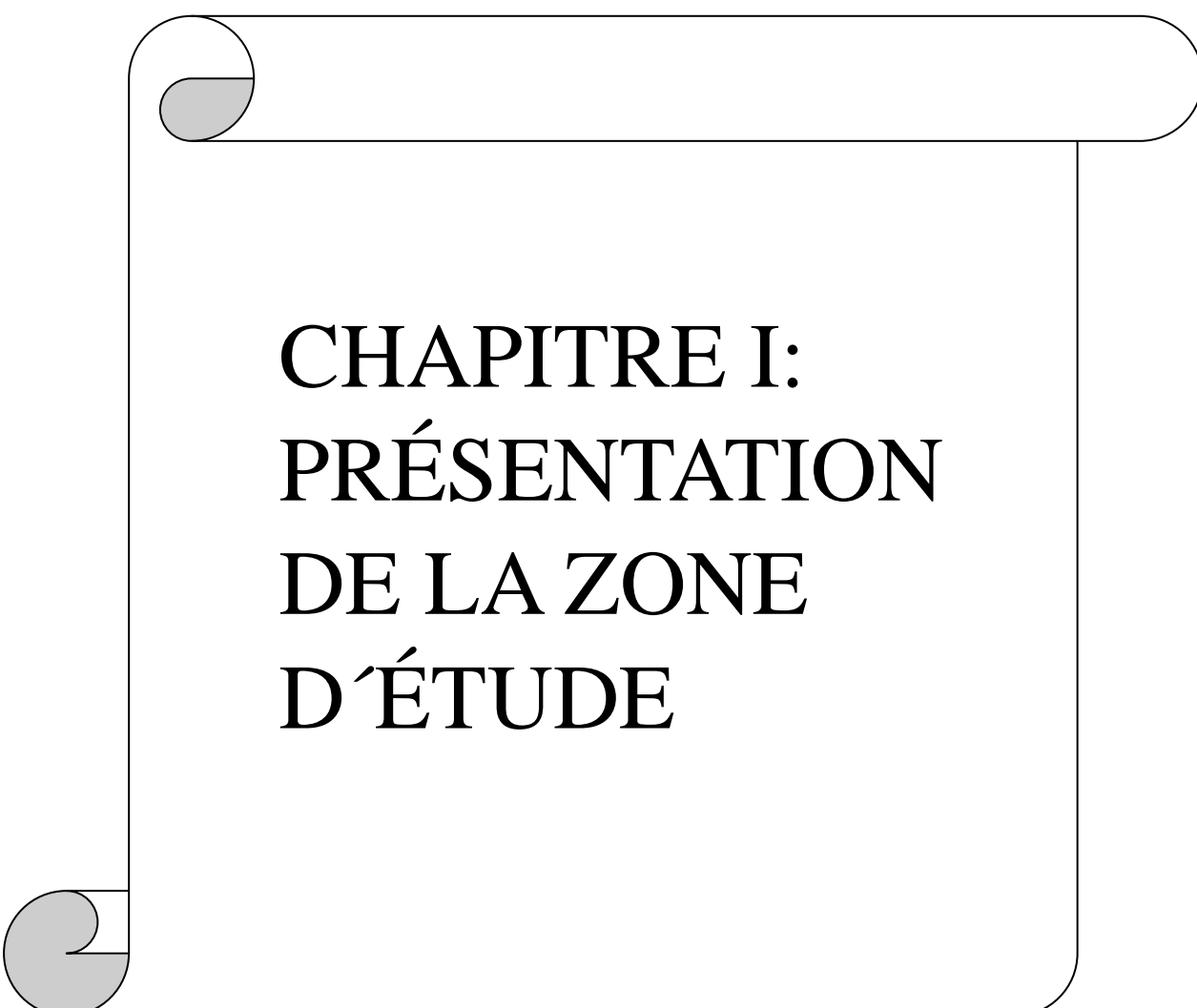
Les inondations sont, de toutes les catastrophes naturelles qui frappent le monde chaque année qui impactent négativement la société, l'économie et l'environnement. Les inondations figurent au premier rang des catastrophes naturelles dans le monde en occasionnant environ 20 000 victimes / an (Simona & Cedric, 2007), elles sont difficile à prévoir quand à leur période de retour et leur intensités étant donné que celles les plus rares sont les plus méchantes.

L'Algérie est l'un des pays confrontés au phénomènes de crues et inondation qui présentent un risque majeur en raison du changement climatique, de l'urbanisation piscicole dans les zones rouge qui figurent dans le PPRI et les événements météorologiques extrêmes, elles sont d'autant plus à redouter lorsqu'elle se produisent en zones à vocation urbaine que rurales ,là où les enjeux sont beaucoup plus importants.

Les risques d'inondations sont dus à l'interaction complexe de plusieurs facteurs, c'est le résultat de la concordance de paramètres topographiques, géologiques, hydrologiques et météorologiques. Cependant, elles ne sont pas toujours provoquées par des événements exceptionnels car elles peuvent avoir lieu suite à des épisodes météorologiques ordinaires étant favorisées par l'intervention d'autres paramètres tel que : l'aménagement des territoires et le manque d'entretien des cours d'eau ou même aménagements fluviaux inadéquates, dans ce cas, les inondations catastrophiques devraient être plus fréquentes. Un nombre croissant d'individus devraient donc être exposés à ce phénomène, ce qui rend la question de la gestion du risque d'inondation de plus en plus importante pour les gouvernements.

Dans le centre de la commune d'El Gor, en Septembre 2022, des inondations historiques, plus importantes que celle de 1974, ont eu lieu sur la zone en question, causant des grands dégâts matériels.

Le présent travail a pour objectif la protection de la commune d'EL GOR contre les inondations causées essentiellement par le débordement de ses cours d'eau qui traversent la ville par un aménagement adéquat afin d'augmenter la capacité hydraulique du cours d'eau considéré et de protéger les zones situées sur les berges.

A decorative frame resembling a scroll, with a horizontal bar at the top and a vertical bar on the left. The top bar has a small grey semi-circle at its left end. The vertical bar has a larger grey semi-circle at its bottom end.

CHAPITRE I: PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

CHAPITRE I PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Introduction :

La phase de l'étude préliminaire et recueil des données est indispensable avant tout projet afin de collecter les données géographiques, topographiques, climatologiques, pédologiques et démographiques pour aboutir à la protection des zones inondables.

I- Présentation générale de la région de l'étude :

El Gor est une commune de la Daïra de Sebdou de la Wilaya de Tlemcen, d'une superficie de 803,9 km² et d'un périmètre de 121,8 km. Elle est située entre 1°59' et 1°58' de longitude Ouest et entre 34°50' et 34°57' de latitude Nord, La commune se trouve à l'extrême sud-est de la wilaya de Tlemcen, Son chef-lieu, est situé à environ :

- 53Km du chef-lieu de la wilaya de Tlemcen,
- 18Km du chef-lieu de la Daïra de Sebdou,
- 36Km de Ras-El-Ma et 35Km de Moulay-Slyssan.

Elle est rattachée administrativement à la Daïra de Sebdou.

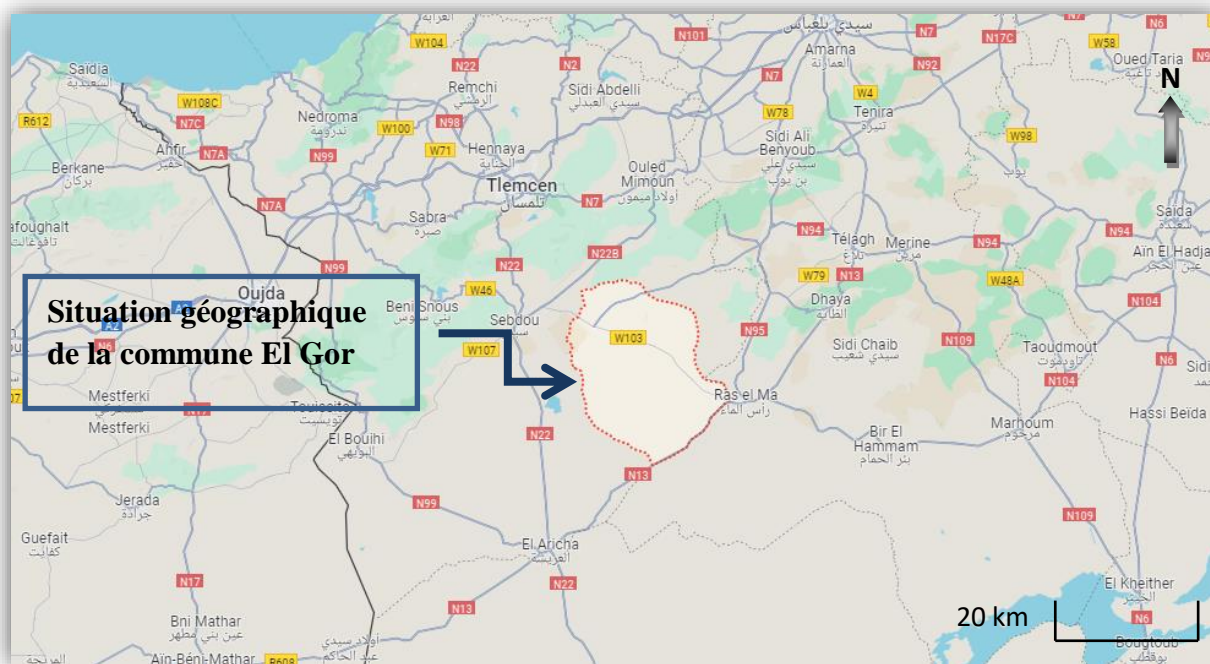


Figure I.1 : carte de la localisation géographique de la commune EL GOR .

Source : Google Maps 2024.

CHAPITRE I PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I.1 Situation géographique de la zone d'étude :

Le territoire communal est limité par :

- ◆ Au nord par la commune de Beni Semiel
- ◆ A L'Est par la commune d'Ain Tallout
- ◆ A L'Ouest par la commune de Sebdou et El Aricha
- ◆ Au sud-est par les communes de Ras El Ma et Redjem Demmouche de la wilaya Sidi de Bel Abbès.

La commune de EL Gor compte 07 agglomérations secondaires : **El Gor, Koteibet, Siyada, Ouglat Djedid, Koussa, M'Zi Nohia, Kebarta.**

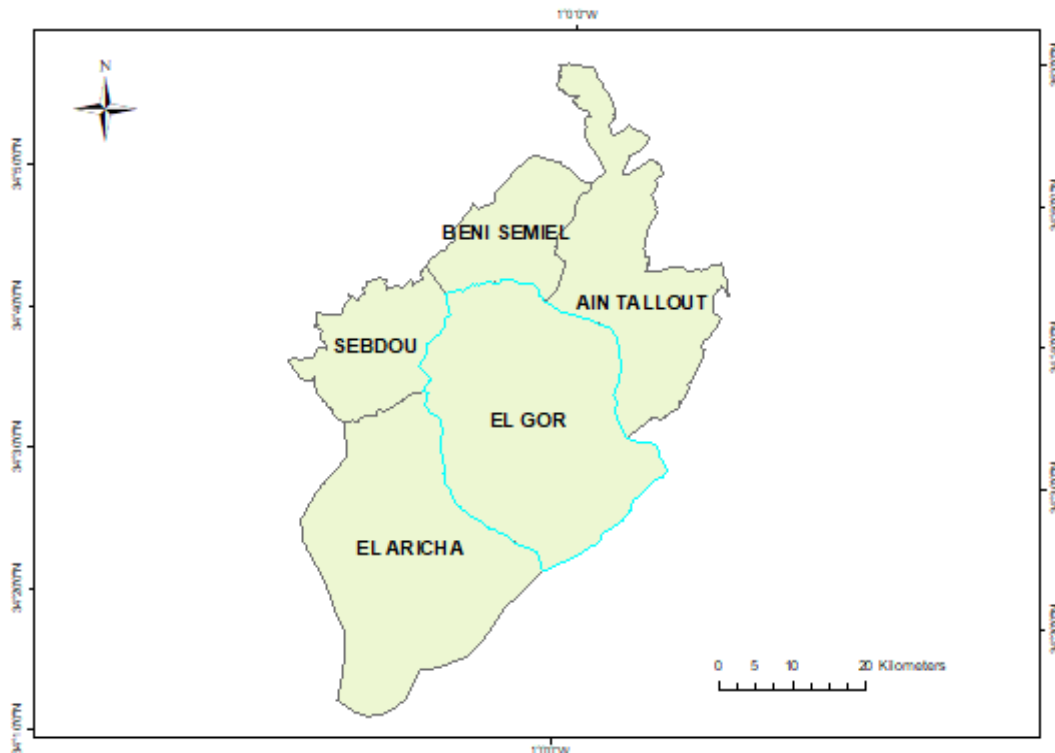


Figure I.2: limites administratives de la commune El Gor.

CHAPITRE I PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I.2 Démographie :

Selon le recensement général de la population et de l'habitat de 2008, la population de la commune d'El Gor est évaluée à 8958 habitants contre 7708 en 1998. en 2020 les statistiques ont montrés qu'il avait une légère augmentation avec 9649 habitants.

Tableau I.1 : Evolution de la population d'EL GOR (HABITANT) :

| Année | 1966 | 1977 | 1987 | 1998 | 2008 | 2020 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|
| EL GOR | 4459 | 6222 | 6089 | 7708 | 8958 | 9649 |

Source : A.N.A.T 2012.

I.3 Relief et topographie:

La plaine d'El-Gor est limitée géographiquement à l'est par la partie du désert dite Sahara des Béni-Mathar, l'Oued de Ras el Ma et les deux petites montagnes dites de Bagra et Bagaïera, au sud par le chatt (lac salé au sud de Aricha), à l'ouest par la plaine el-Khadra, au nord par une chaîne de montagnes non interrompues qui s'étend de Ouejda à Sidi Ali ben-youb.

El Gor est composée de plusieurs sous bassin versants, on s'intéresse au bassin versant urbanisé de Oued El Gor qui est caractérisé par un relief plat dans son ensemble. La carte topographique est représentée dans la figure suivante :

CHAPITRE I PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

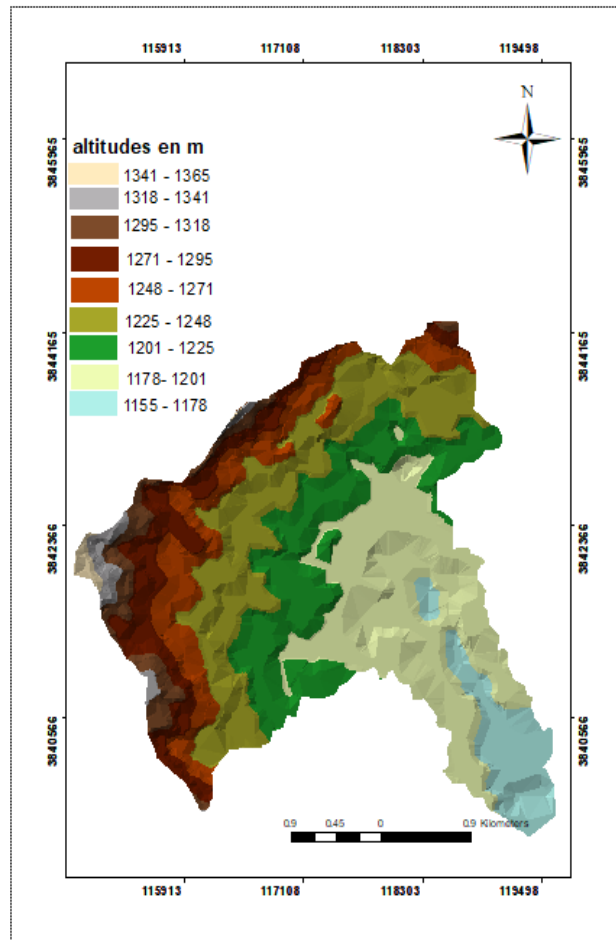


Figure I.3 : la carte topographique du bassin versant.

Le relief de la région d'étude est obtenu à partir d'un modèle numérique de terrain de résolution 30 m issue de USGS Earth Explorer réalisé par logiciel ArcGis10.6.

CHAPITRE I PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

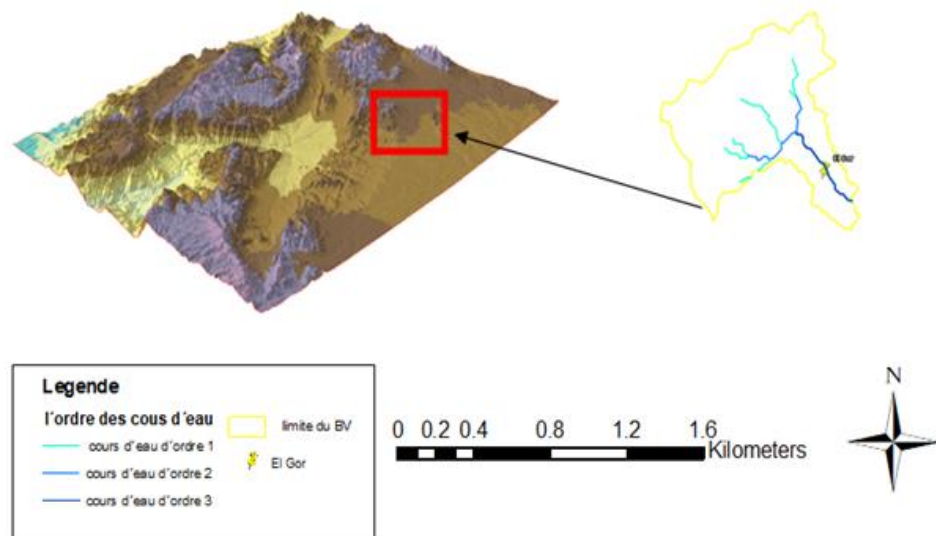


Figure I.4 : le modèle numérique de terrain en vue 3D.

La figure suivante représente le relief du bassin versant étudié et ses alentours.

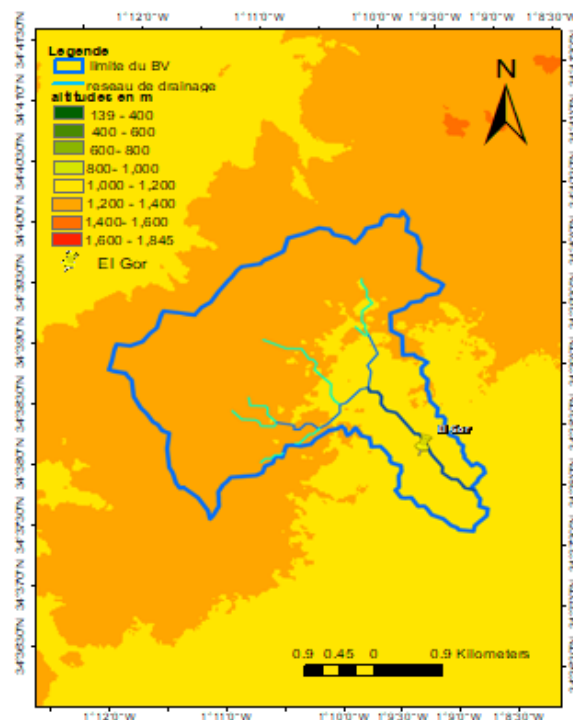


Figure I.5 : Relief de la zone étudiée.

La plaine d'El-Gor est cultivable dans la partie nord et aux pieds des montagnes. Dans la partie sud elle produit des joncs de halfa et une herbe fine qui forment une excellente pâture pour les

CHAPITRE I PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

moutons, les chevaux et les chameaux. Dans la partie ouest de cette plaine se trouve une petite forêt (la plaine el-Khadra au sud de Tlemcen).

I-4 Cadre Géologique général :

La géologie est une science qui s'intéresse à l'étude de la terre principalement, et plus particulièrement la lithosphère afin de comprendre la formation du sol et des formes du relief.

Elle occupe une place privilégiée dans le cadre d'une étude du milieu naturel puisque à elle seule reviennent à l'origine des roches mères et des formations superficielles (Benest, 1985).

Les principales séries lithologiques reconnues dans la partie sud des monts de Tlemcen sont :

- Mésozoïque (surtout jurassiques) ;
- Eocènes (secteur El- Aricha) ;
- Post-éocènes (Néogènes et quaternaires). Toutes les parties centrales de la dépression d'El Aouedj.

Les monts de Tlemcen sont marqués par une succession de grabens et de horsts d'orientation N 50° à NE 70°, limités par une grande faille normale. Celles-ci ont souvent joué en failles inverses lors des mouvements de compression cénozoïques.

À l'affleurement, les terrains mésozoïques les plus anciens (surtout le jurassique inférieur) se rencontrent vers l'Ouest à la périphérie du horst paléozoïque de Ghar Rouban, en direction de Sidi Bel-Abbes affleurent principalement des séries du crétacé inférieur. Au Sud, les couches du jurassique supérieur-Eocrétacé s'enfoncent sous une couverture importante d'âge tertiaire et quaternaire.

I-5 Pédologie :

Le sol est un milieu cohérent et meuble résulte de l'altération d'une roche mère. Les sols steppiques adaptés au régime climatique aride sont généralement peu évolués, moins profonds et parfois inexistant. La répartition des sols steppiques correspond à une mosaïque compliquée où se mélangent sols anciens et sols récents, sols dégradés et sols évolués.

Les sols steppiques ont deux caractères principaux :

- ✓ Pauvreté et fragilité des sols, prédominance des sols minces de couleur grise due à la raréfaction de l'humus. Ce sont les sols les plus exposés à la dégradation ;
- ✓ Existence de bons sols dont la superficie est limitée et bien localisée.

CHAPITRE I PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Ces derniers se localisent dans les deux zones

➤ Les sols de dépressions

Ces dépressions qu'elles soient linéaires (lits l'oued) ou des dépressions fermées constituées par les chatts (dépression salées inclus toujours une sebkha) et les dayas (petites dépression peu profondes ou ils s'accumulent des eaux de surfaces non salées) sont les meilleurs sols. Constitué par des éléments fins déposés par les eaux de ruissellement, constituant un horizon pédologique très fertile.

➤ Les sols des piedmonts

Ces sols sont beaucoup moins homogènes et moins épais. Leurs constituants sont plus grossiers et moins stables que ceux des sols des dépressions.

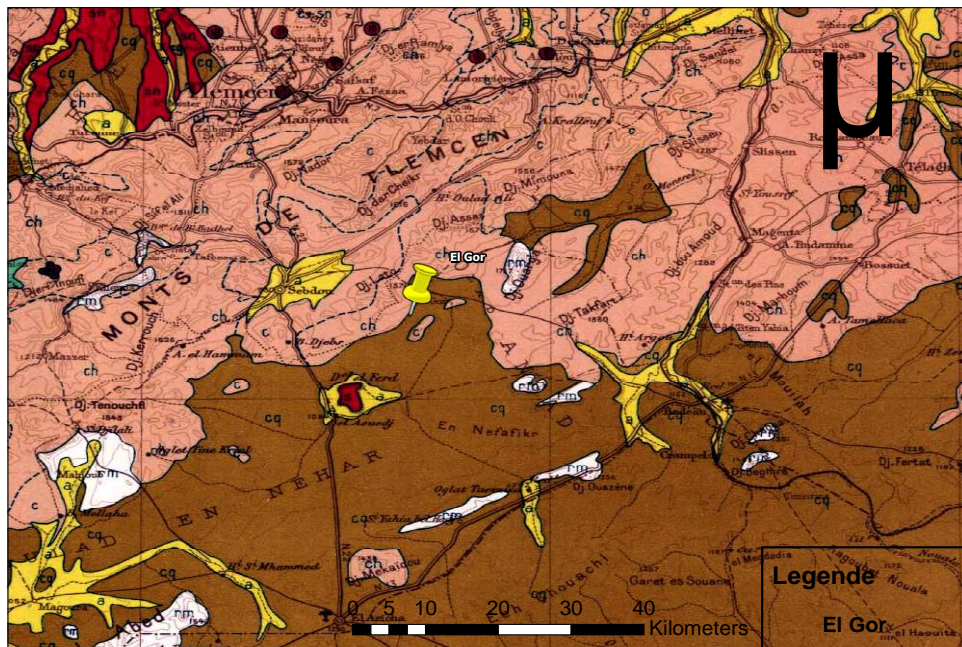


Figure I.6: la carte des sols de l'ouest de l'Algérie.

Source : ANRH.

I- 6 La climatologie :

Les conditions climatiques du bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau. Les précipitations et les facteurs climatiques dans leur ensemble sont des variables aléatoires dans le temps et dans l'espace, permettent d'expliquer quantitativement les variations des composantes du régime hydrologique dans sa conception la plus large.

I-6-1. La pluviométrie :

Les précipitations se réfèrent à toutes les eaux météorologiques collectées par un bassin versant ou une surface spécifique. La hauteur de précipitation est la hauteur de la lame d'eau

CHAPITRE I PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

précipitée qui s'accumulerait sur une surface horizontale si toutes les précipitations y étaient sous forme liquide (Touaibia, 2015) la pluviométrie est relevée par l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques) de la wilaya de Tlemcen enregistrées par les pluviographes qui enregistrent la lame d'eau précipitée en fonction du temps afin de tracer un pluviogramme sur une échelle de 24h, le papier de pluviographe a un pas de temps de 5 min généralement qui est couramment utilisé en Algérie (Toumi).

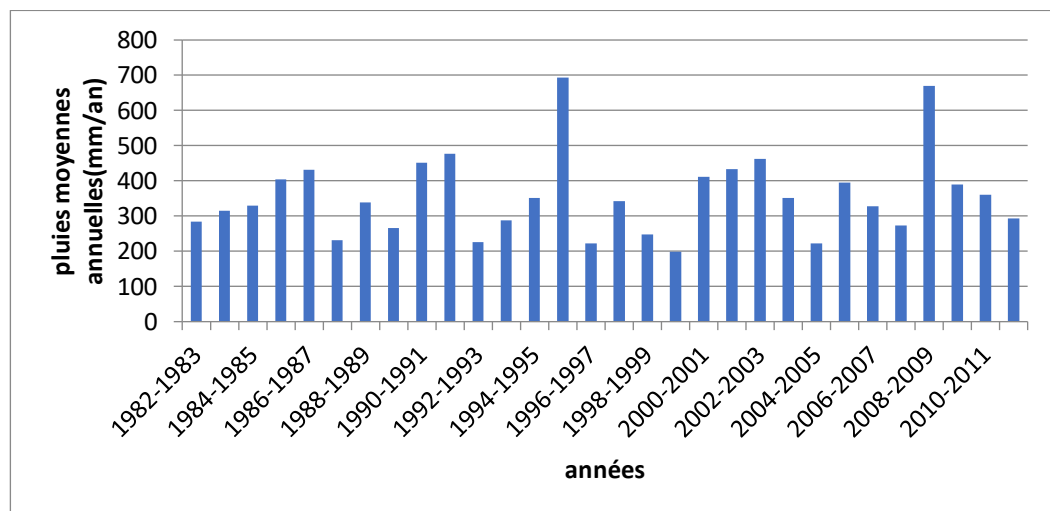


Figure I.7 : Variation des précipitations moyennes annuelles (1982-2012) station Sebdu(ANRH).

La précipitation moyenne annuelle est comprise entre 198 et 694 mm/an.

Tableau I.2 : Précipitations Mensuelles moyennes (station Sebdu 1982-2012).

| Mois | SEPT | OCT | NOV | DEC | JAN | FEV | MARS | AVRIL | MAI | JUIN | JUIL | AOUT |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| P (mm) | 22.6 | 31.4 | 40.7 | 41.2 | 48.4 | 42.4 | 42.1 | 35.2 | 28.6 | 10.1 | 5.1 | 8.3 |

Source :ANRH.

CHAPITRE I PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

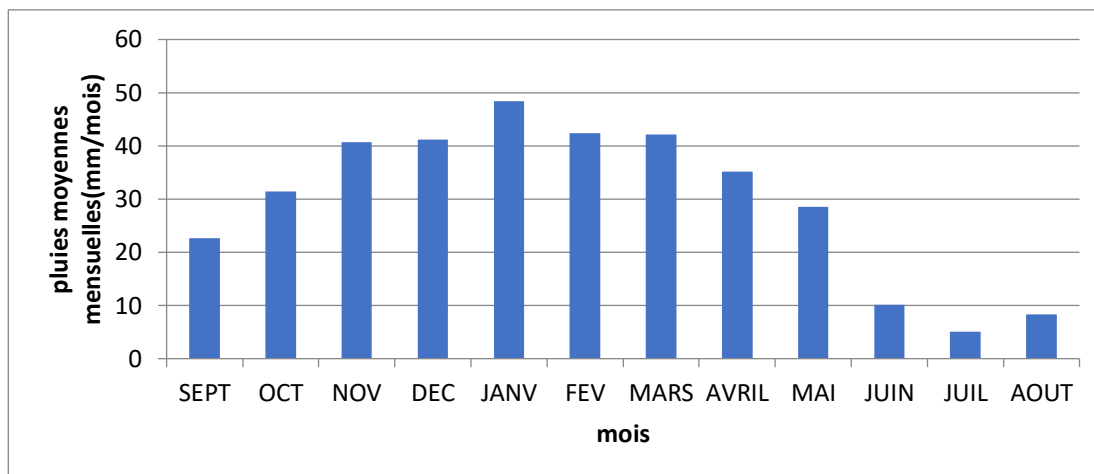


Figure I.8 : Variation des précipitations mensuelles(ANRH).

Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations représentées sur la figure indiquent que le mois le plus arrosé est celui de janvier avec une précipitation moyenne mensuelle de 48.4 mm par contre le mois le plus sec correspond à celui de juillet avec une précipitation moyennée mensuelle de l'ordre de 5.1 mm.

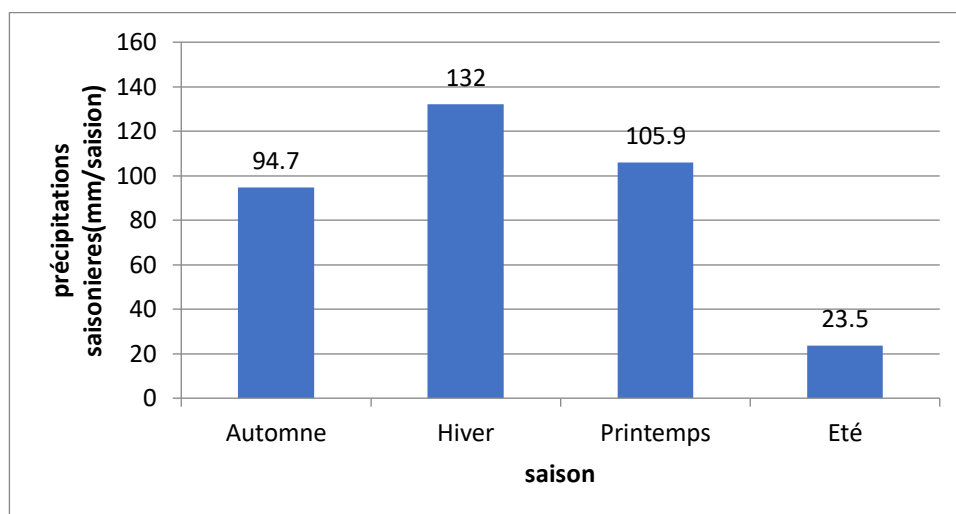


Figure I.9 : Variations saisonnière des précipitations(ANRH).

L'analyse de la figure ci-dessus montre la répartition des précipitations selon les saisons se fait comme suit en deux périodes :

- Une période humide s'étendant du mois de septembre au mois de mai, c'est-à-dire pendant les trois saisons automne, hiver et printemps avec une moyenne maximale de 132 mm enregistré en Hiver.

CHAPITRE I PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

- Une période sèche qui correspond aux mois de juin, juillet et août avec une précipitation moyenne de **23,5** mm.

I-6-2. La température :

La température est considérée comme le facteur climatique le plus important. C'est celui qu'il faut examiner en tout premier lieu par son action écologique sur les êtres vivants. Elle joue un rôle majeur dans la détermination du climat régional.

Tableau I.3 : températures mensuelles à Beni-Bahdel.

| mois | SEPT | OCT | NOV | DEC | JAN | FEV | MARS | AVRIL | MAI | JUIN | JUIL | AOUT |
|--------------------------|------|-----|------|-----|-----|------|------|-------|-----|------|------|------|
| Température minimale(°C) | 17 | 12 | 9 | 5 | 5 | 5 | 7 | 9 | 12 | 16 | 19 | 19 |
| Température maximale(°C) | 30 | 24 | 18 | 15 | 14 | 16 | 18 | 20 | 24 | 29 | 34 | 34 |
| Température moyenne(°C) | 23.5 | 18 | 13.5 | 10 | 9.5 | 10.5 | 12.5 | 14.5 | 18 | 22.5 | 26.5 | 26.5 |

Source :ANRH.

Notre région est caractérisée par un été chaud et sec et un hiver relativement doux,

- Le mois le plus froid est janvier avec une température moyenne de l'ordre (9.5°C)
- Et le mois le plus chaud est juillet avec une température moyenne de (26,5°C)

I-6-3 L'humidité de l'air :

Les mois les plus humides sont décembre, janvier et février avec une moyenne de l'ordre de 69.1%. Les mois les plus secs sont juin, juillet et août. Le tableau I.4 donne la variabilité mensuelle de l'humidité relative de l'air. On constate un maximum en novembre (76.1%) et un minimum en juillet (57.9%).

CHAPITRE I PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Tableau I.4 : Humidité de l'air de la zone d'étude (%).

| Mois | Sept | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mars | Avr | Mai | Jui | Juil | Aout | Moy Annuelle |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------|
| % | 67.2 | 72.8 | 76.1 | 74.3 | 74.3 | 72.9 | 71.4 | 70.0 | 68.2 | 62.5 | 57.9 | 62 | 69.1 |

Source :ANRH.

I-6-4 Le vent :

Le vent est le paramètre physique représentatif des mouvements naturel d'une masse d'air qui se déplace suivant une direction déterminée (vent du nord, du sud). Les vents qui soufflent sur la zone ont selon leur direction diverses origines :

Vents du Nord

En hiver, ces vents secs et froids pénètrent la zone d'étude par les monts de Tlemcen ; ils favorisent les chutes de neige à plus de 1 400 mètres d'altitude. De Mars-Avril à Octobre, ces vents sont chauds et parfois humides par suite de leur passage sur la mer ; ce phénomène réduit relativement la chaleur de l'été dans la zone de Sebdou.

Vents d'Ouest

Ce sont les vents dominants. Ils soufflent du sud-ouest au nord-ouest. Une grande partie des précipitations provient de l'ascendance forcée de ces masses d'air sur les monts de Tlemcen, Ils sont fréquents pendant les mois de novembre à février.

Vents du Sud

Secs et chauds, les vents du Sud qui soufflent surtout au printemps et en automne, quelque fois en été, ramènent avec eux une quantité appréciable de sable et de limon. Le vent joue un rôle important, il accentue la sécheresse. Différentes types de vents affectent notre région : les vents du Nord qui ramènent de l'humidité et les vents chauds du Sud appelés aussi Sirocco qui sont partout un danger pour les cultures .Le sirocco: vent chaud et sec, il entrave le développement des cultures. Il constitue la cause du faible tapis végétal dans la région parce que les vents chauds et secs accentuent le dessèchement du substrat et limite l'installation de la végétation.

Ce vent chaud souffle surtout en été, son maximum a eu lieu en juillet, c'est la période généralement du repos estival pour la végétation. Il provoque un dessèchement non seulement de la

CHAPITRE I PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

végétation mais aussi du sol. Ce vent ramène aussi avec lui une quantité appréciable de sable et de limon. Ces sécheresses périodiques viennent régulièrement perturber le milieu. La zone steppique est la plus marquée.

I-7 situation hydrographique:

L'oued principale traverse le centre de la ville El Gor, Il prend naissance au sein du massif montagneux du nord, l'oued est intermittent (temporaire) il cesse de couler pendant les périodes des basses eaux (l'étiage) et se manifeste en période de crues, parfois violentes.

Le relief de la zone d'étude est globalement plat ou, le lit et les berges d'oued sont difficile à visualiser à temps sec.



Figure I.10: Image satellite non traitée de la commune El Gor.

source :Google Earth Pro 2024.

I-8 reconnaissance des lieux :

A). Sorties et enquêtes sur terrain :

Durant cette phase, plusieurs sorties et visites de reconnaissance de la région en étude ont été effectués par les ingénieurs du bureau d'étude. Dans le but:

- Cerner une connaissance détaillée du bassin versant en étude.
- Limiter l'aire d'étude.

CHAPITRE I PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

- Voir réellement le comportement de cours d'eau responsable des inondations à la zone d'étude
- Visualiser la topographie qui impose le genre de comportement des cours d'eau.

B).Situation actuelle de la zone d'étude

L'oued principale traverse le centre de la ville EL GOR .Il prend naissance au sein du massif montagneux du nord, et traverse le centre de la ville .L'oued est à sec presque toute l'année hormis quelques crues, parfois violente. Le lit et les berges d'oued sont inaperçues par temps sec, ils deviennent seulement manifestes au période des crues

I-9.Description et état de fait de l'aire d'étude:

Dans le centre El Gor, en date du 30 Septembre 2022, des inondations historiques, plus importantes que celle de 1974 et celle de 2010 et 2015, ont eu lieu sur la zone en question. Des violents orages accompagnés de pluie et de grêle se sont abattus, entraînant d'importantes inondations et crues d'eaux.



Figure I.A



Figure I.B

Figure I.11 : des violentes orages qui ont causées la crue du sep,2022.

CHAPITRE I PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE



Figure I.A



Figure I.B



Figure I.C

Figure I.12 : Photos prise au moment de la crue la plus récente du 2022/09.

Source : Bet HYDRAMDANIA.

CHAPITRE I PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

En effet, de nombreuses vidéos publiées sur les réseaux sociaux montrent l'eau dévalée le long des garages et les seuils d'entrées de plusieurs habitations.



Figure I.A



Figure I.B



Figure I.C



Figure I.D



Figure I.E

Figures I.13 : l'inondation du 2022 dans la commune d'El Gor du 2022/09.

Source : Bet HYDRAMDANIA.

L'oued traverse le village avec des quantités impressionnantes de crues inondant toutes les zones urbaines se trouvant sur son passage.

CHAPITRE I PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE



Figure I.A



Figure I.B

Figures 1.14 : l'état de la commune lors de la décrue (2022/09).

Source : Bet HYDRAMDANIA.

Les crues ont provoqué l'effondrement des murs des clôtures et des dégâts importants aux infrastructures routières et aux exploitations agricoles.



Figure I.15 : dommages infrastructurelle causés par la crue du 2022/09.

Source : Bet HYDRAMDANIA.

Conclusion :

Le recueil des données topographique, démographique, hydraulique et climatologique de la zone d'étude sont indispensables pour réaliser le projet de la protection de la commue El Gor contre les eaux pluviales, qui est souvent soumise aux risque d'inondations causé par les débordements fréquentes d'Oued El Gor qui passe par le centre ville. Dans le prochain chapitre, l'analyse de l'intensité moyenne maximale est indispensable afin de développer les aménagements antiérosifs.

A decorative frame resembling a scroll, with a horizontal bar at the top and a vertical bar on the left. The top bar has a rounded right end and a small grey semi-circle at its left end. The vertical bar has a rounded bottom end and a larger grey semi-circle at its bottom end.

CHAPITRE II: ÉTUDE HYDROLOGIQUE

CHAPITRE II ETUDE HYDROLOGIQUE

Introduction :

L'hydrologie est la science qui étudie l'hydrosphère, surtout en ce qui concerne les effets des précipitations et de l'évaporation sur la présence et les caractéristiques de l'eau dans les cours d'eau et les lacs, ainsi qu'en surface ou sous terre.

Cette mission occupe la partie la plus rigoureuse du projet en étude et toutes erreurs sur le calcul des paramètres hydrologiques peuvent causer de grands dégâts sur les ouvrages à dimensionner, d'où la nécessité d'un traitement très poussé de cette partie de l'étude.

Le but de l'étude hydrologique est de calculer, évaluer ou encore estimer avec la plus grande précision possible, les paramètres hydrologiques servant pour la détermination des volumes d'eau à évacuer en période de crues (crue du projet).

I. Définition du bassin versant :

Un bassin versant est définie comme étant une zone géographique de collecte des eaux de surface drainée par un cours d'eau principale et ses affluents (réseau hydrographique ou de drainage) à l'amont de cette section. Tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface doit donc traverser la section considérée, appelée exutoire, pour poursuivre son trajet vers l'aval.

Chaque bassin versant est séparé des autres par une ligne de partage des eaux reliant les lignes de crêtes qui passent par les sommets des montagne en restant perpendiculairement possible sur les courbes de niveaux. Plus précisément, de chaque coté de cette ligne de partage, les eaux pluviales s'écoulent vers des exutoires différents.

Voir la figure II.1 qui représente le bassin versant étudié.

II. Etude des caractéristiques hydro-morphométriques du bassin versant :

L'étude des caractéristiques morphologiques « surface, périmètre, forme, pente, relief » associée à une analyse hydrologique d'un bassin versant constitue une plate-forme très importante pour la compréhension du comportement (régime) hydrologique et la réponse hydrologique du bassin, ces caractéristiques morphométriques décrivent les formes de la surface du terrain.

II.1. Délimitation du bassin versant :

La délimitation est établie suivant les lignes de crête pour tracer la ligne de partage des eaux de telle sorte que les limites ne traversent pas les cours d'eau qu'au niveau de l'exutoire. Le bassin versant a été bel et bien délimité par logiciel ArcGis représenté sur la figure suivante.

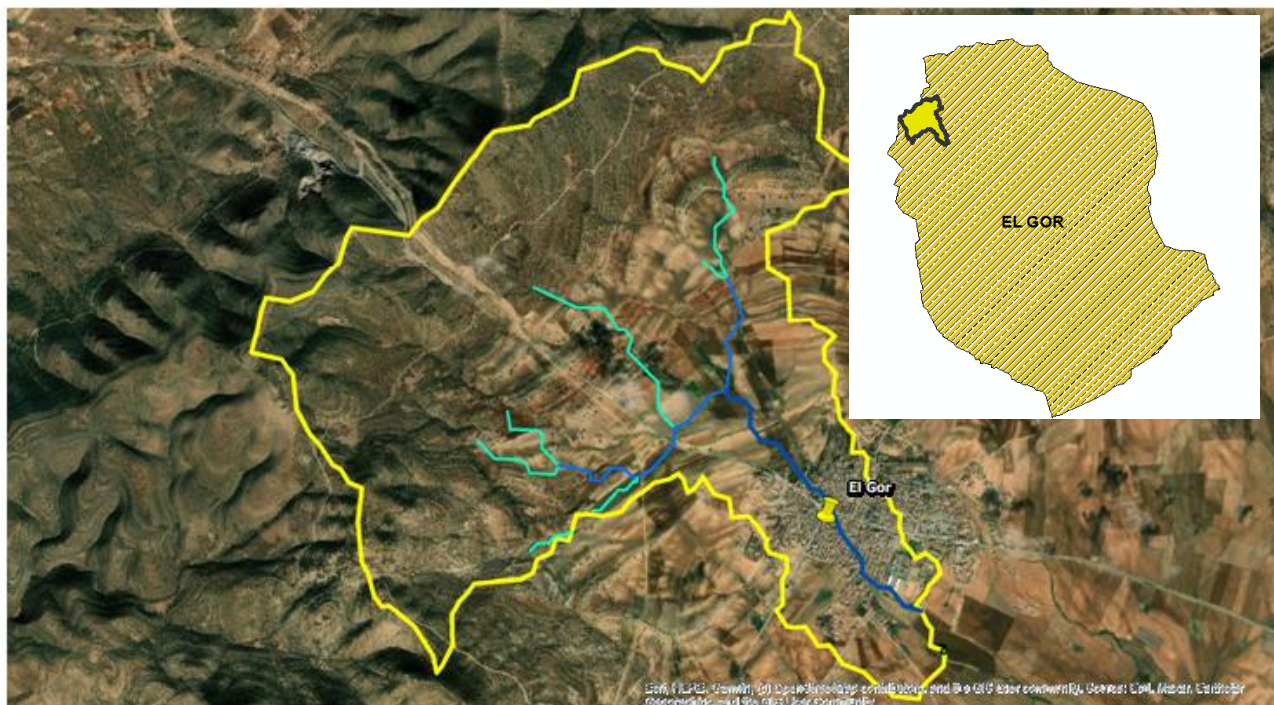


Figure II.1 : la délimitation du bassin versant Oued El Gor avec réseau hydrographique.

II.2. Caractéristiques géométriques :

- **La Superficie :**

C'est le paramètre le plus important du bassin parce qu'il permet de contrôler l'intensité de plusieurs phénomènes hydrologiques tels que (le débit, le volume de précipitations ou l'infiltration). Elle peut être déterminée en utilisant un planimètre sur une carte topographique.

- **Le Périmètre :**

Correspond à la longueur de la limite extérieure (ligne de partage des eaux) du bassin. Il peut être identifié en utilisant un curvimètre sur une carte topographique.

- **La longueur du talweg :**

Elle correspond à la longueur du cours d'eau principal du bassin versant considéré allons de l'amont vers l'exutoire (l'aval) ayant le plus grand ordre.

Tableau II.1 : les caractéristiques morpho-métriques du BV.

| Surface (km ²) | Périmètre (km) | Longueur du thalweg (km) |
|----------------------------|----------------|--------------------------|
| 12,28 | 20,60 | 2,29 |

II.3. Caractéristiques de forme :

- **Indice de compacité de Gravelius (Indice de forme) :**

La forme d'un bassin versant influence l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin, par exemple, une forme allongée favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison de la réponse lente du bassin versant vu son allongement important. L'indice admis par les hydrologues pour caractériser la forme du bassin versant est celui de compacité de Gravelius donné par la formule suivante :

$$K_c = \frac{P_{BV}}{2\sqrt{\pi S_{BV}}} \quad \text{II.1}$$

Avec :

- ✓ **PBV** : Périmètre du bassin versant ;
- ✓ **SBV** : Surface du bassin versant ;

Plus le K_c sera proche de 1, plus le bassin aura une forme ramassée et plus le temps de concentration sera court.

$K_c = 1 \longrightarrow$ forme ramassée

$K_c > 1 \longrightarrow$ forme allongée

Tableau II.2 : l'indice de compacité de Gravelius.

| Bassin versant | kc | La forme |
|----------------|------|----------|
| Oued el gor | 1,65 | allongé |

CHAPITRE II ETUDE HYDROLOGIQUE

- **Coefficient d'allongement (Ca) :**

Le coefficient d'allongement conditionne la réponse d'un bassin versant à une pluie. Obtenu à partir de la relation :

$$Ca = \frac{L^2}{S} \quad \text{II.2}$$

Avec :

- ✓ **L** : la longueur du talweg principal (Km) ;
- ✓ **S** : la superficie du bassin versant (Km²) ;

Tableau II.3 : le coefficient d'allongement.

| Bassin versant | Ca |
|----------------|------|
| Oued el gor | 0,42 |

Puisque le coefficient d'allongement est relativement faible, Le bassin est plus ou moins ramassé en amont, et plutôt allongé en aval, ce qui contribue à l'accentuation des ondes de crue.

- **Rectangle équivalent :**

Le bassin versant rectangulaire résulte d'une transformation géométrique du bassin versant réel en gardant la même superficie, périmètre et indice de Gravelius, il est caractérisé par la longueur « L » et la largeur « l » définies respectivement par les formules suivantes :

➤ La longueur du rectangle équivalent (km) :

$$L = \frac{Kc \cdot \sqrt{S}}{1,128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{Kc} \right)^2} \right) \quad \text{II.3}$$

➤ La largeur du rectangle équivalent (km) :

$$l = \frac{Kc \cdot \sqrt{S}}{1,128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{Kc} \right)^2} \right) \quad \text{II.4}$$

Avec :

- ✓ **L** : Longueur du rectangle (Km) ;

CHAPITRE II ETUDE HYDROLOGIQUE

- ✓ **I** : Largeur du rectangle (Km) ;
- ✓ **Kc** : Indice de compacité de Gravelius ;
- ✓ **S** : la surface du BV (Km²) ;

Tableau II.4 : les caractéristiques du rectangle équivalent .

| Bassin versant | l (km) | L(km) |
|----------------|--------|-------|
| Oued el gor | 1,38 | 8,86 |

II.4. les paramètres relief :

Le relief est l'ensemble des formes que présente la surface de la Terre (élevations, dépressions, pentes). Le relief se détermine lui aussi au moyen d'indice ou de caractéristiques suivantes :

- La courbe hypsométrique.
- L'indice de pente globale.
- L'indice de pente moyenne.

- **La courbe hypsométrique :**

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief, aussi elle sert à déterminer le temps de concentrations en relevant les altitudes caractéristiques. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude autrement dit le pourcentage de superficie cumulée, au-delà d'une certaine altitude.

CHAPITRE II ETUDE HYDROLOGIQUE

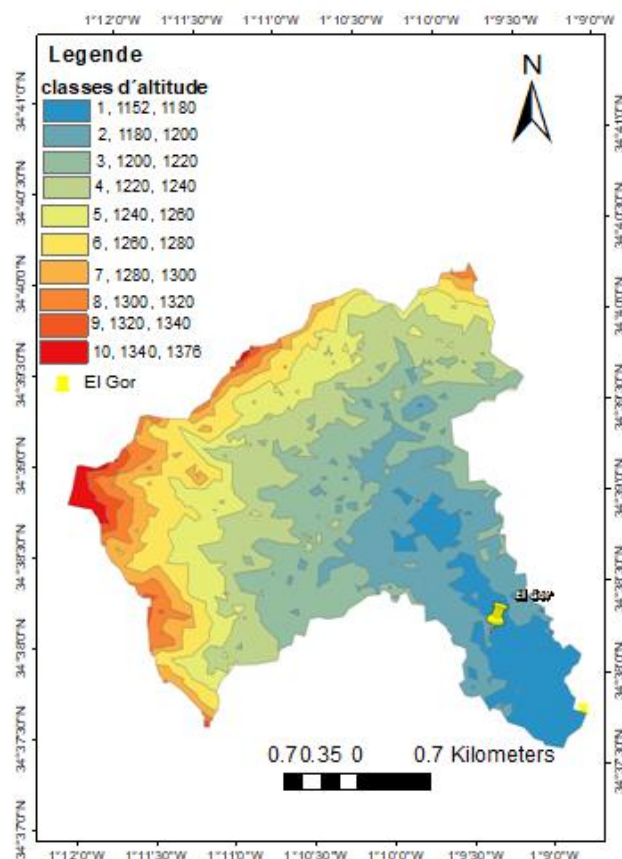


Figure II.2: la carte hypsométrique du BV.

Les courbes hypsométriques montrent que la partie urbanisée du bassin versant situé à l'aval à la plus faible altitude puisque dans une région de géomorphologie homogène (caractérisé par des relief similaire et des processus de d'érosion et des sédimentation uniforme), la pente diminue de l'amont vers l'aval, donc fortement soumise au risque d'inondation.

Tableau II.5 : répartition en % des surfaces élémentaires du BV Oued El Gor.

| Altitudes H | Surfaces élémentaires | | Surfaces Cumulées | | Hi moy |
|-------------|-----------------------|--------|--------------------|--------|--------|
| (m) | (km ²) | (%) | (km ²) | (%) | (m) |
| 1340-1376 | 0,1117 | 0,907 | 0,1117 | 0,907 | 1358 |
| 1320-1340 | 0,1400 | 1,144 | 0,2517 | 2,051 | 1330 |
| 1300-1320 | 0,4187 | 3,413 | 0,6704 | 5,464 | 1310 |
| 1280-1300 | 0,7061 | 5,755 | 1,3765 | 11,219 | 1290 |
| 1260-1280 | 1,2182 | 9,917 | 2,5947 | 21,136 | 1270 |
| 1240-1260 | 1,5314 | 12,474 | 4,1261 | 33,61 | 1250 |
| 1220-1240 | 2,2228 | 18,102 | 6,3489 | 51,712 | 1230 |
| 1200-1220 | 2,5569 | 20,821 | 8,9058 | 72,533 | 1210 |

CHAPITRE II ETUDE HYDROLOGIQUE

| | | | | | |
|-----------|---------|--------|---------|--------|------|
| 1180-1200 | 2,0975 | 17,079 | 11,0033 | 89,612 | 1190 |
| 1152-1180 | 1,2759 | 10,388 | 12,2792 | 100 | 1166 |
| Total | 12,2792 | 100 | | | |

La courbe hypsométrique est représentée dans la figure ci-dessous.

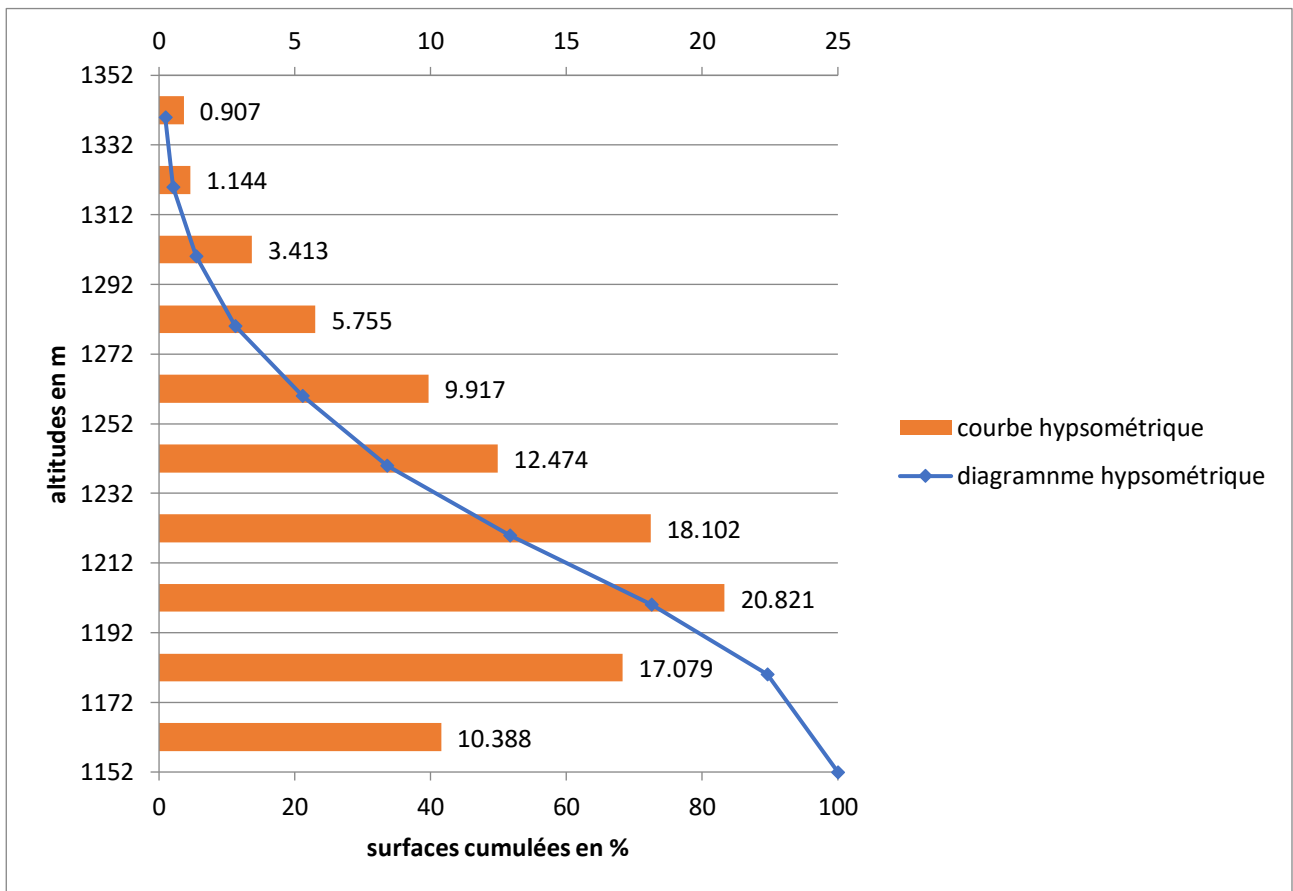


Figure II.3: diagramme et courbe Hypsométrique du BV oued El Gor.

La courbe hypsométrique montre bien que la grande partie de la surface du bassin versant est entre l'altitude 1272m et 1192m, le pourcentage de la surface est petit entre l'altitude 1172m et 1152m.

- **Les altitudes Caractéristiques :**

L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le bas, généralement à l'exutoire.

CHAPITRE II ETUDE HYDROLOGIQUE

- L'altitude **H95 %**, **H5%** ET l'altitude médiane **H50%** sont déterminés à partir de la courbe hypsométrique.
- L'altitude moyenne H_{moy} est calculée par la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i * H_i}{S} \quad \text{II.5}$$

$$\text{Avec : } H_i = \frac{H_{I+n} + H_n}{2}$$

- ✓ **Hi** : Altitude moyenne entre 2 courbes de niveaux consécutives en m ;
- ✓ **Si** : surface partielle comprise entre 2 courbes de niveaux consécutives en km² ;
- ✓ **S** : surface totale du bassin versant en km² ;

Les altitudes caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau II.6 : les altitudes caractéristiques du bassin versant.

| valeur | Hmax (m) | Hmin (m) | Hmoy (m) | H5% (m) | H50% (m) | H95% (m) | Dénivelée (m) |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------------|
| Bassin versant | 1376 | 1152 | 1227,29 | 1300 | 1220 | 1165 | 135 |

• Indice de pente globale de Dubreuil :

Il est exprimé en %, comme étant le rapport entre 2 altitudes caractéristiques entre 5% et 95 % de la surface du bassin et la longueur du rectangle équivalent.

Avec :

H_{95%} : l'altitude correspondant à 95% de la superficie totale du bassin versant ;

H_{5%} : l'altitude correspondant à 5% de la superficie totale de bassin versant ;

Il est donné par la formule suivante :

$$I = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \quad \text{II.6}$$

Avec :

- ✓ **D** : Dénivelée entre **H_{5%}** et **H_{95%}** en (m) ;
- ✓ **L** : longueur du rectangle équivalent en (Km) ;
- ✓ **H_{5%}, H_{95%}** : sont respectivement les altitudes correspondantes à, **S_{5%}** et **S_{95%}** ;

CHAPITRE II ETUDE HYDROLOGIQUE

NB : I_g indice de pente globale s'exprime en (m /km) ou (%) unités usuelles de mesure de pente

Tableau II.7 : Classification d'ORSTOM du relief à partir de l'indice de pente globale.

| | |
|---------------------|-----------------------|
| Relief très faible | $I_g < 0.002$ |
| Relief faible | $0.002 < I_g < 0.005$ |
| Relief assez faible | $0.005 < I_g < 0.01$ |
| Relief modéré | $0.01 < I_g < 0.02$ |
| Relief assez fort | $0.02 < I_g < 0.05$ |
| Relief fort | $0.05 < I_g < 0.1$ |
| Relief très fort | $0.1 < I_g$ |

Source : ORSTOM

L'indice de pente globale est calculé dans le tableau suivant :

Tableau II.8 : la classification du relief.

| Bassin versant | I_g | relief |
|----------------|--------|--------|
| Oued El Gor | 0,0152 | modéré |

- **La pente moyenne du bassin versant :**

Cette entité est très importante pour nous informer sur la topographie de notre bassin versant, c'est une caractéristique importante des bassins versants. La formule est donnée par (M.Carlier, 1964).

$$I_m = \frac{\Delta H(0,5l_1 + l_2 + \dots + 0,5l_n)}{S} \quad \text{II.7}$$

Avec :

- ✓ ΔH : Dénivelée H 5% – H95% ;
- ✓ l_n : Longueur de la courbe de niveau d'ordre n (Km) ;
- ✓ S : Surface du bassin versant (Km²) ;

La carte topographique est représentée dans la figure suivante :

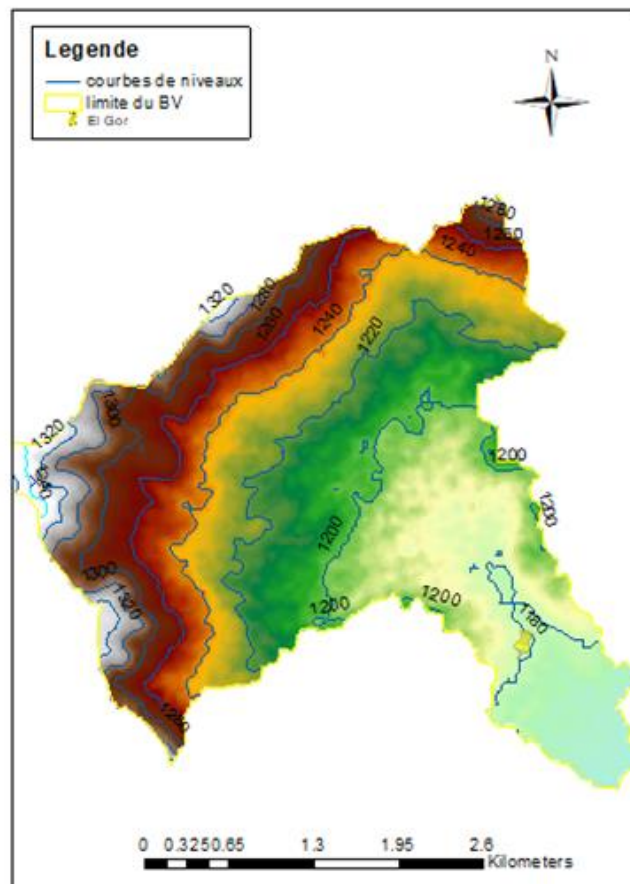


Figure II.4: visualisation des courbes de niveau.

On remarque que la pente en aval est assez faible, ce qui contribue à donner naissance à une onde de crue dynamique plus importante. Cette onde est sous forme de cloche, plus difficile à atténuer que l'onde cinématique ainsi que sa répartition dans le lit majeur est plus importante.

Les longueurs des courbes de niveau sont calculées à partir de la carte topographique avec le logiciel ArcGis et sont montrées dans le tableau suivant :

Tableau II.9: les longueurs des courbes de niveau.

| Altitude de la courbe (m) | Longueur (km) |
|---------------------------|---------------|
| 1180 | 3,53 |
| 1200 | 5,93 |
| 1220 | 7 |
| 1240 | 6,86 |
| 1260 | 6,65 |
| 1280 | 6,90 |
| 1300 | 4,48 |
| 1320 | 2,39 |
| 1340 | 0,69 |
| 1360 | 0,23 |

Pour notre cas, $I_m=0,470\text{m/km}$. Calculé par la formule II.7.

II.5. calcul des paramètres hydrographiques:

Le réseau hydrographique d'un bassin versant représente la totalité des cours d'eau (oued, fleuve, rivière, torrent, ruisseau) temporaire ou permanents qui draine la surface du bassin versant. Pour déterminer les caractéristiques du réseau, il a été procédé à une classification et une numérotation des cours d'eau.

La classification des thalwegs est assez délicate. Nous adopterons le schéma de HORTON, selon lequel un thalweg élémentaire sans affluent est d'ordre 1, tout cours d'eau ayant au moins un affluent d'ordre 1 est d'ordre 2... Cet ordre est un moyen qui permet d'identifier et de classer les types de cours d'eau en fonction du nombre de leurs affluents.

CHAPITRE II ETUDE HYDROLOGIQUE

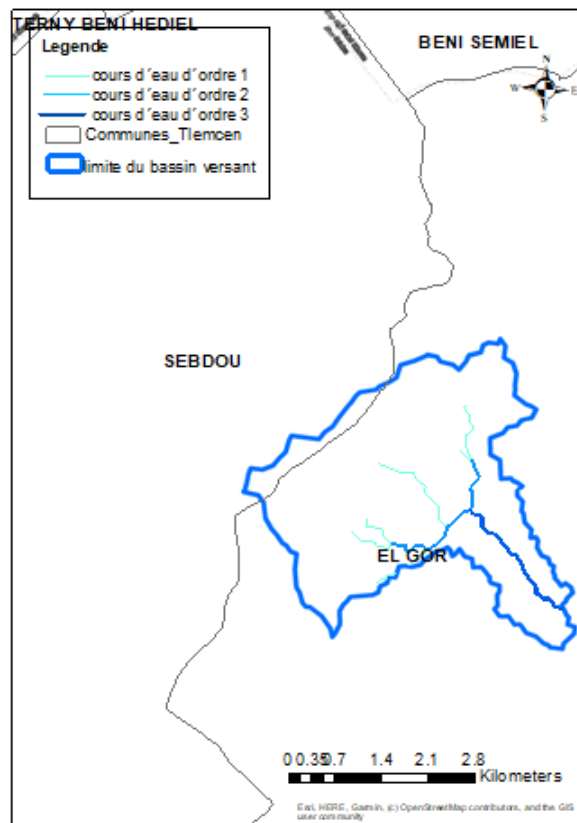


Figure II.5: le réseau hydrographique du bassin versant.

Le résultat de classifications et calcul des longueurs des différents cours d'eau obtenu par le logiciel ArcGis est résumé dans le tableau suivant :

Tableau II.10: classification des cours d'eau avec longueurs selon Horton.

| L'ordre des cours d'eau | Longueur (km) |
|-------------------------|---------------|
| 1 | 5,01 |
| 2 | 2,55 |
| 3 | 2.29 |

- **La longueur du cours d'eau principal :**

La longueur du cours d'eau principal est de 2.29 km selon logiciel ArcGis.

CHAPITRE II ETUDE HYDROLOGIQUE

- **La densité de drainage :**

Elle est introduite par Horton, est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin. Elle est exprimée en Km / Km².

Elle est donnée par la formule suivante

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S} \quad \text{II.8}$$

Avec :

- ✓ **D_d** : densité de drainage (km/km²) ;
- ✓ **L_i** : longueur des cours d'eau total (km) ;
- ✓ **S** : surface du bassin versant (km²).

Les résultats dans le tableau suivant :

Tableau II.11: la densité de drainage.

| Bassin versant | Dd(km/km ²) |
|----------------|-------------------------|
| Oued El Gor | 0,80 |

Pour une densité de drainage supérieure à 0.5, on dit que l'ensemble de bassin versant est moyennement drainée, plus que cette entité est élevée plus que le bassin est soumis à un risque d'inondation plus élevé à cause de manque d'infiltration des eaux ce qui va provoquer une concentration rapide des eaux dans le cours d'eau.

- **Le temps de concentration T_c :**

La notion de temps de concentration aurait été introduite pour la première fois, en 1851, par un physicien irlandais, T.J. Mulvaney, c'est une caractéristique d'une surface se définit comme le temps émis par une goutte de pluie tombée au point le plus éloignée en durée d'écoulement pour atteindre l'exutoire du bassin versant. Il va servir au calcul de débit de crue.

Autrement dit, le temps de concentration (T_c) est le temps nécessaire pour permettre à l'eau de ruisseler du point le plus reculé du bassin jusqu'à l'exutoire.

Pratiquement le temps de concentration peut estimer à l'aide de formules le plus souvent empiriques (obtenue par expériences sans démonstrations).

CHAPITRE II ETUDE HYDROLOGIQUE

➤ Formule de Giandotti :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad \text{II.9}$$

Avec :

- ✓ **S** : Surface du bassin versant en km² ;
- ✓ **L** : La longueur du cours d'eau principal en km ;
- ✓ **H_{moy}** : l'altitude moyenne du bassin versant en m ;
- ✓ **H_{min}** : l'altitude minimale du bassin versant en m ;

Limites d'application : utilisée pour les grands bassins versants.

➤ Formule californienne :

$$T_c = \left(\frac{0.87.L^3}{H_{max} - H_{min}} \right)^{0.386} = 0.0663 \left[\frac{L}{\sqrt{I}} \right]^{0.77} \quad \text{II.10}$$

Avec :

- ✓ **T_c** : Temps de concentration en h ;
- ✓ **L** : Longueur de la rivière principale en km ;
- ✓ **I** : La pente moyenne de l'oued en m/m ;

Limites d'application : utilisée pour les petits bassins versants ayant une superficie inférieure à 0,453km².

➤ Formule de Ventura :

$$T_c = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{I}} \quad \text{II.11}$$

Avec :

- ✓ **S** : La surface du bassin versant en Km² ;
- ✓ **I** : Pente moyenne du bassin en m/m ;
- ✓ **T_c** : temps de concentration en min ;

Limites d'application : utilisée pour les bassins versants ayant une superficie entre 1 et 20km² ou supérieure à 10km² selon les ouvrages.

CHAPITRE II ETUDE HYDROLOGIQUE

➤ Formule de Passini :

$$T_c = 0.108 \cdot \frac{(S.L)^{\frac{1}{3}}}{I^{0.5}} \quad \text{II.12}$$

Avec :

- ✓ **T_c**: le temps de concentration en heures ;
- ✓ **S** : Surface du bassin versant en km² ;
- ✓ **L** : longueur du talweg principal en km ;
- ✓ **I**: pente moyenne de bassin versant en m/m;

Limites d'application : utilisée pour les bassins versants ayant une superficie supérieure à 20km².

➤ Formule de l'ANRH :

$$T_c = 1,7 \cdot \left(\frac{S.L}{\sqrt{I}}\right)^{0,19} \quad \text{II.13}$$

Avec :

- ✓ **S** : Surface du bassin versant en km² ;
- ✓ **L** : longueur du cours d'eau en km ;
- ✓ **I** : Pente des cours d'eau en % ; $I = \Delta h / L$
- ✓ **T_c** : temps de concentration en h ;

Limites d'application : développée pour les bassins versants de l'Algérie.

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II.12 : temps de concentration du bassin versant.

| formules | T _c (h) | T _c (min) |
|---------------|--------------------|----------------------|
| Giandotti | 2,51 | 150,6 |
| Californienne | 0,30 | 18 |
| Passini | 0,47 | 28.2 |
| ANRH | 2,58 | 154,8 |
| Ventura | 0.65 | 39 |

CHAPITRE II ETUDE HYDROLOGIQUE

Vu que la formule de Giandotti est réservée pour les grands bassins versants, Passini pour les bassins versants ayant une superficie totale supérieure à 20 km², Californienne pour des petits bassins de surface inférieure à 0,453 km², on opte pour le temps de concentration calculé par la formule de L'ANRH développée pour les bassins versants de l'Algérie.

III. Analyse des données pluviométriques :

III.1. les données disponibles :

Les précipitations représentent un facteur essentiel dans le bilan hydrologique, sa quantification est faite au niveau de plusieurs stations pluviométriques implantées à travers le territoire algérien dans le but d'avoir une information précise sur ce paramètre. Il existe plusieurs stations proches de la région d'étude citant celles de : Lalla Setti, Hacaiba, Ras El Ma, Sidi Ali Benyoub, Slissen centre, Tamfousset, Khemis Ould Moussa, Merbeh et celle de Sebdou. Une station située entre 20 et 60 km du bassin versant peut être la station représentative des données (AGIRE).

L'étude sera basée sur les données enregistrées au niveau de la station pluviométrique **SEBDOU** qui représente une série d'observation plus de 30 ans pour plus de détails (**48 ans**) série largement suffisante.

L'adoption de ce poste est motivée par :

- La situation géographique, de ce poste, proche de l'aire d'étude.
- La disposition de ce poste d'une série d'observations plus de 30 ans, série largement suffisante pour le dimensionnement de ce type d'aménagement.

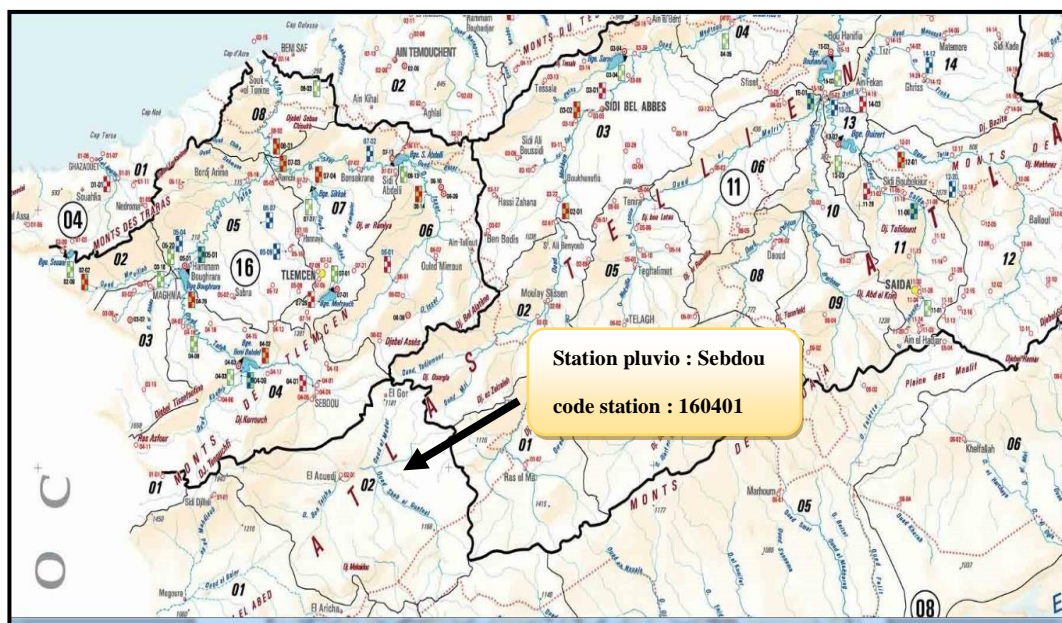


Figure II.6 : Extrait de la carte des bassins hydrographiques Algériens.

Source : ANRH.

-Les paramètres hydrologiques de la station pluviométrique sont illustrés par le Tableau suivant :

Tableau II.13: Identification de la station pluviométrique.

| La station Sebdou | Code de station (ANRH) | X (KM) | Y(KM) | Z(M) | Période d'observation |
|----------------------|---------------------------|--------|--------|------|--------------------------|
| | 160401 | 131,25 | 158,55 | 875 | 48ans |

III.1.1 analyse des pluies maximales journalières :

L'analyse des précipitations journalières maximales, en matière des études hydrotechniques, telle que les études des cours d'eaux, entrent d'une façon directe pour le dimensionnement des ouvrages d'évacuation des crues, cette partie représente la partie la plus rigoureuse de l'étude.

La série pluviométrique d'une étendue de 48 ans est présentée dans le tableau suivant :

CHAPITRE II ETUDE HYDROLOGIQUE

Tableau II.14: Série d'observations des précipitations maximales journalières du poste pluviométrique SEBDOU (160401).

| N° d'Ordre | Année d'observation | P.J.Max(mm) | N° d'Ordre | Année d'observation | P.J.Max (mm) |
|------------|---------------------|-------------|------------|---------------------|--------------|
| 1 | 1968 | 40.2 | 25 | 1992 | 59 |
| 2 | 1969 | 24.3 | 26 | 1993 | 22.4 |
| 3 | 1970 | 67.6 | 27 | 1994 | 68.9 |
| 4 | 1971 | 45.5 | 28 | 1995 | 59.1 |
| 5 | 1972 | 75.1 | 29 | 1996 | 89.1 |
| 6 | 1973 | 59.4 | 30 | 1997 | 21.4 |
| 7 | 1974 | 52.7 | 31 | 1998 | 37.4 |
| 8 | 1975 | 49 | 32 | 1999 | 33.8 |
| 9 | 1976 | 37.1 | 33 | 2000 | 37.4 |
| 10 | 1977 | 22.8 | 34 | 2001 | 63.9 |
| 11 | 1978 | 49.1 | 35 | 2002 | 42 |
| 12 | 1979 | 70.1 | 36 | 2003 | 29.1 |
| 13 | 1980 | 54.3 | 37 | 2004 | 27.3 |
| 14 | 1981 | 37.9 | 38 | 2005 | 35.7 |
| 15 | 1982 | 36.3 | 39 | 2006 | 27 |
| 16 | 1983 | 20.1 | 40 | 2007 | 28 |
| 17 | 1984 | 40.4 | 41 | 2008 | 58.6 |
| 18 | 1985 | 35.3 | 42 | 2009 | 29.2 |
| 19 | 1986 | 63 | 43 | 2010 | 24.8 |
| 20 | 1987 | 37.6 | 44 | 2011 | 26.5 |
| 21 | 1988 | 113.4 | 45 | 2012 | 45.5 |
| 22 | 1989 | 47.2 | 46 | 2013 | 36 |
| 23 | 1990 | 43 | 47 | 2014 | 24.5 |
| 24 | 1991 | 60.4 | 48 | 2015 | 26.5 |

CHAPITRE II ETUDE HYDROLOGIQUE

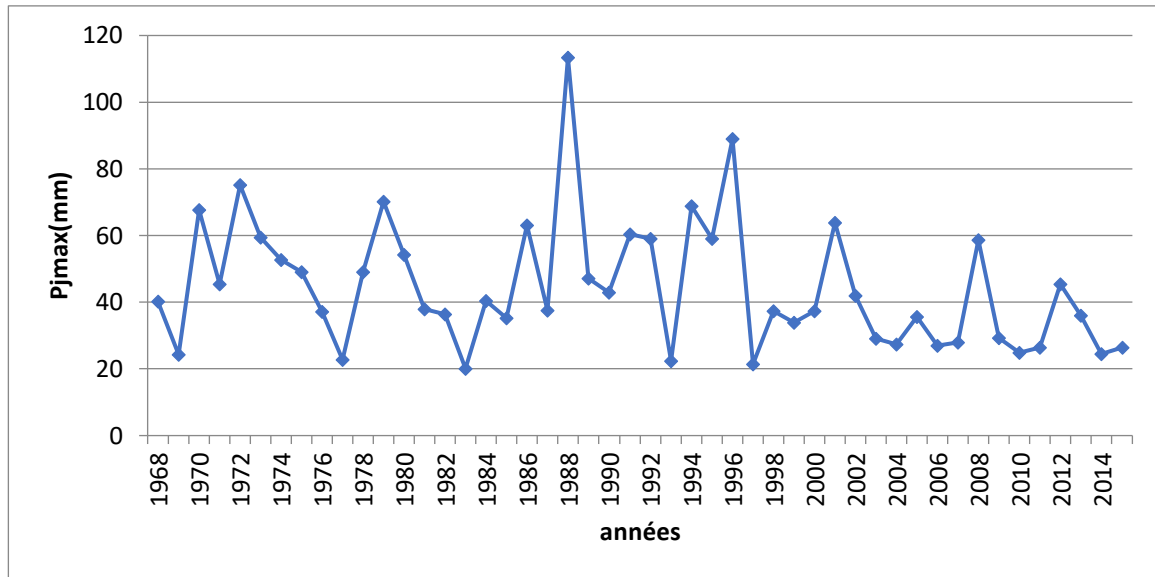


Figure II.7: Répartition des précipitations max journalière du poste Pluviométrique Sebdu (ANRH).

- Cette répartition des pluies maximum journalières, permet de conclure que la région en étude présente une très forte irrégularité des pluies. L'analyse de la série, montre :
- Un Pic enregistré en 1988 de l'ordre 113,4 mm , qui représente la valeur maximum des pluie journalière pendant la période (1968-2015).

Les paramètres statistiques de la série d'observation sont représentés dans le tableau ci-dessus :

Tableau II.15: Caractéristiques empiriques de la série d'observation.

| STATION SEBDOU | | |
|---|---|-----------------|
| Caractéristique | Formules | Valeur calculée |
| Nombre d'observation | / | 48 |
| Minimum | / | 20,1 |
| Maximum | / | 113,4 |
| Moyenne arithmétique " \bar{X} " | $\bar{X} = \frac{\sum xi}{N}$ | 44,5 |
| Ecart-type | $\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} (X - \bar{X})^2}$ | 19,3 |
| Médiane | / | 39,0 |
| Coefficient de variation (Cv) ou écart type relatif | $Cv = \frac{\sigma}{\bar{X}}$ | 0.433 |
| L'exposant climatique (b) | donné par l'ARNH | 0,48 |

III.1.2 . Ajustement des pluies journalières maximales :

Sachant que l'Algérie est soumise à un climat très aléatoire et irrégulier allons d'un climat méditerranéen sur la bonde littorale au climat aride ou semi aride ailleurs, dans sa majorité pour le reste du pays, cependant le choix d'une loi statistique dissymétrique est indispensable pour l'analyse statistique des pluies journalières maximales.

Pour aboutir à des résultats plus précis, il a été procédé à un ajustement de la série d'observations des pluies journalières maximales du poste pluviométrique en étude, à la loi de GUMBEL, la LOI LOG-NORMAL et la loi GEV, qui s'ajustent bien au régime hydrologique méditerranéen.

L'ajustement des pluies maximales journalières sera traiter par logiciel "Hyfran plus".

a- Ajustement des pluies journalières maximales à la loi de Gumbel :

La loi de Gumbel est très universellement utilisée pour caractériser la distribution de valeurs extrêmes, elle est aussi largement utilisé en Algérie.

CHAPITRE II ETUDE HYDROLOGIQUE

La fonction de répartition de la loi de Gumbel ou doublement exponentiel $F(x)$ est donnée par l'expression suivante:

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

$$Y = \alpha(X - X_0) \quad \text{II.15}$$

Avec :

- ✓ **Y** : variable réduite de Gumbel. ;
- ✓ **α et X_0** : paramètres d'ajustement de la loi de Gumbel à déterminer par la méthode des moindres carrés ;

Tel que :

- ✓ **X_0** : Paramètre de position (mode);
- ✓ **α** : Paramètre de l'échelle différent de zéro et positif appelé aussi « gradex » ;
- ✓ **X** : Variable étudiée « Pmax.j » ;

L'équation $y = \alpha (x - x_0)$, présentée sous la forme $x = \frac{1}{\alpha} y + x_0$ est l'équation d'une droite qui représente la loi de Gumbel sur une échelle Gumbelienne (la droite de régression), où, α est la pente de la droite (Gradex) et x_0 est l'ordonnée à l'origine (mode)

Avant de procéder à l'ajustement il faut suivre les étapes suivantes :

- classer les valeurs des précipitations par ordre croissant avec attribution d'un rang 1. 2.3.....n.
- calculer pour chaque valeur de précipitation la fréquence expérimentale.

Il existe plusieurs formules d'estimation de la fonction de répartition ou la loi de probabilité au non dépassement $F(x)$, elles reposent toutes sur le classement de la série par ordre croissantes permettant d'associer à chaque valeur son rang r . Ces formules peuvent être résumées par une relation générale qui garantit la symétrie autour de la médiane :

$$F(x) = \frac{r-a}{n+1-2a} \quad \text{II.16}$$

Avec :

- ✓ **r** : rang de précipitation ;

CHAPITRE II ETUDE HYDROLOGIQUE

✓ **N** : nombre d'observation (48ans) ;

Des simulations ont montré que pour la loi de Gumbel, il est judicieux utiliser la distribution empirique de Hazen .

$$F(x) = \frac{r-0.5}{n} \quad \text{II.17}$$

Avec :

✓ **r** : le rang dans la série pluviométrique classée par ordre croissant ;

✓ **n** : la taille de l'échantillon ;

- calculer la variable réduite de GUMBEL donnée par la formule suivante :

$$y = -\ln(-\ln(F(x))) \quad \text{II.18}$$

-calculer les paramètres d'ajustement « α » et « x_0 » par les deux formules suivantes :

$$\alpha = 0.78 * \sigma$$

$$X_0 = \bar{X} - 0.577 * \alpha$$

Avec :

✓ **σ** : écart type de la série ;

✓ **\bar{X}** : La moyenne arithmétique de la série ;

Tableau II.16: les paramètres de la loi de Gumbel par la méthode de maximum de vraisemblance.

| | |
|----------------------|-------|
| Nombre d'observation | 48 |
| X_0 | 35,93 |
| α | 14,05 |
| $\frac{1}{\alpha}$ | 0.027 |

CHAPITRE II ETUDE HYDROLOGIQUE

Résultats graphiques de la loi Gumbel par la méthode de maximum de vraisemblance obtenus par logiciel Hyfran Plus sont montrés dans la figure suivante :

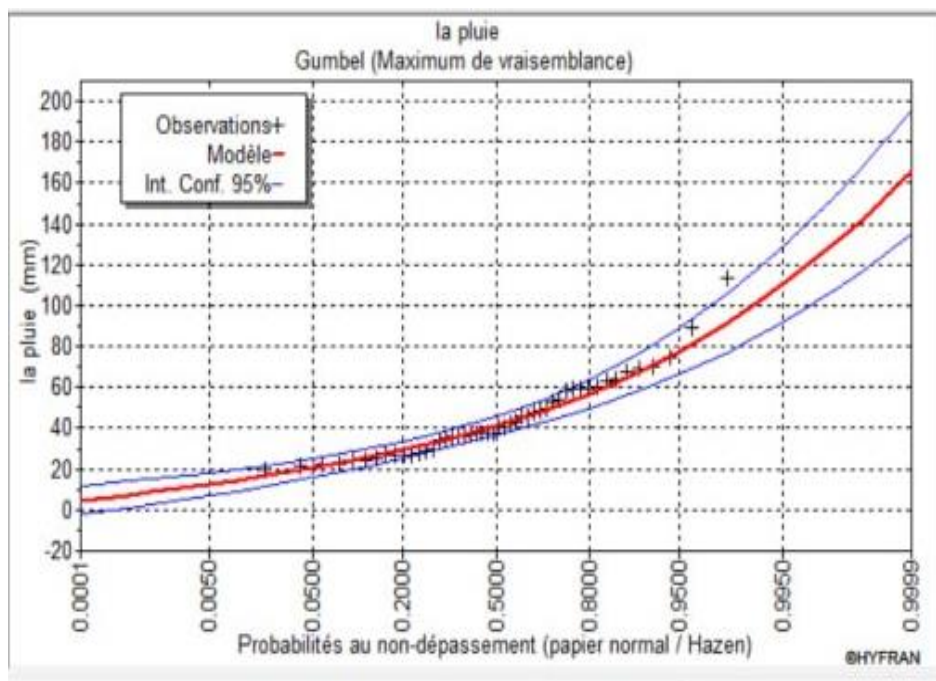


Figure II.8 : Représentation graphique de l'ajustement à la loi Gumbel.

Pour des différentes périodes de retour, les résultats de l'ajustement à la loi de Gumbel issus de logiciel Hyfran, avec l'utilisation de la technique de vraisemblance sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau II.17 : Calcul des quantiles par la droite de Gumbel.

| T | Fréquence (ans ⁻¹) | Valeurs théoriques Pjmax(mm) | écart type | intervalle de confiance 95% (mm) |
|-------|--------------------------------|---------------------------------|------------|--|
| 100.0 | 0.9900 | 101 | 8.30 | 84.3 - 117 |
| 50.0 | 0.9800 | 90.8 | 7.22 | 76.6 - 105 |
| 20.0 | 0.9500 | 77.7 | 5.79 | 66.3 - 89.0 |
| 10.0 | 0.9000 | 67.6 | 4.72 | 58.3 - 76.8 |
| 5.0 | 0.8000 | 57.0 | 3.67 | 49.8 - 64.2 |

b-Ajustement des pluies journalières maximales à la loi de Galton (log normale) :

La fonction de répartition de la loi log-normal est donnée par l'expression suivante :

CHAPITRE II ETUDE HYDROLOGIQUE

$$F(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^U e^{-\frac{1}{2}u^2} du \quad \text{II. 19 (Fréquence au non dépassement)}$$

(u) représente la variable réduite de Gauss. Dans le cas de la loi log normale la variable u est

$$\text{égale à : } u = \frac{\ln x - \overline{\ln x}}{\sigma_{\ln x}} \quad \text{II.20}$$

Avec :

- ✓ **ln x** : moyenne arithmétique de la série des valeurs initiales transformées en logarithme ;
- ✓ **σ_{lnx}** : écart type de la série transformée en logarithme. ;

La transformation $\ln x = \overline{\ln x} + \sigma_{\ln x} u$ est l'équation de la droite de Galton.

Pour déterminer les deux paramètres (la moyenne, écart type) de la loi log-normale, on fait appel au logiciel Hyfran.

Dans notre calcul, on a opté pour la méthode du maximum de vraisemblance, et la fréquence choisie est celle de Hazen.

Tableau II.18: Les paramètres de la loi log-normale.

| | |
|--|-------|
| Nombre de données | 48 |
| La moyenne des logarithmiques « \bar{X} » | 3,71 |
| L'écart type des logarithmiques « σ » | 0.407 |

CHAPITRE II ETUDE HYDROLOGIQUE

Résultats graphiques de la loi Galton par la méthode de maximum de vraisemblance obtenus par logiciel Hyfran Plus sont montrés dans la figure suivante :

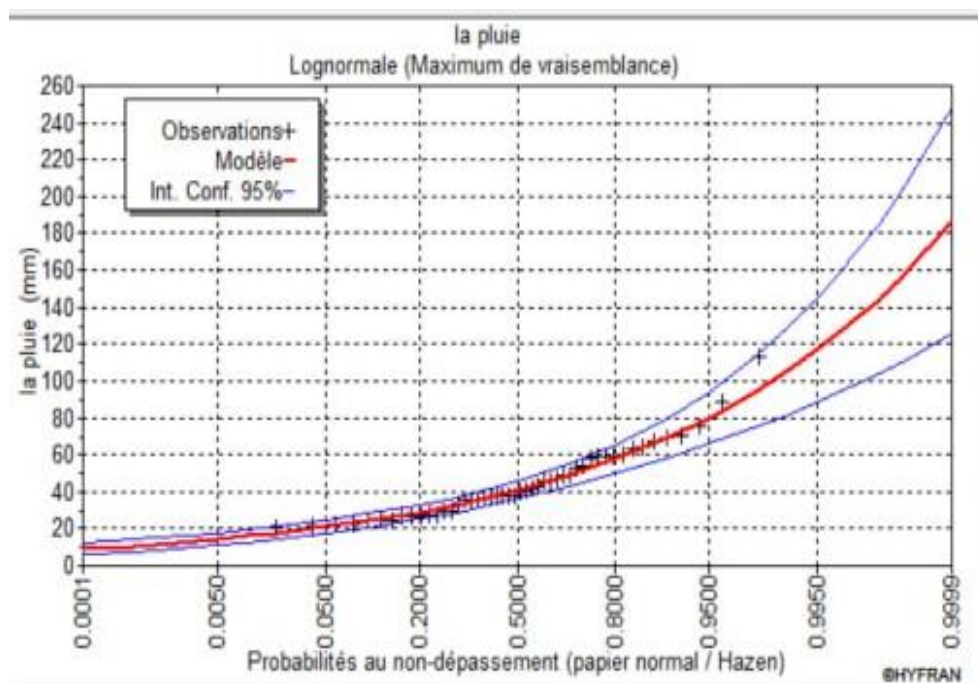


Figure II.9: Représentation graphique de l'ajustement à la loi log normal.

Pour des différentes périodes de retour, les résultats de l'ajustement à la loi de Galton issus de logiciel Hyfran, avec l'utilisation de la technique de vraisemblance sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau II.19 : Calcul des quantiles par la droite de Galton.

| T | Fréquence (ans ⁻¹) | Valeurs théoriques P _{jmax} (mm) | écart type | intervalle de confiance 95%(mm) |
|-------|--------------------------------|--|------------|---------------------------------------|
| 100.0 | 0.9900 | 106 | 12.1 | 82.0 - 129 |
| 50.0 | 0.9800 | 94.5 | 9.88 | 75.2 - 114 |
| 20.0 | 0.9500 | 80.0 | 7.27 | 65.8 - 94.3 |
| 10.0 | 0.9000 | 69.0 | 5.50 | 58.2 - 79.8 |
| 5.0 | 0.8000 | 57.7 | 3.96 | 49.9 - 65.4 |

CHAPITRE II ETUDE HYDROLOGIQUE

c- Ajustement des pluies journalières maximales à la loi de GEV :

La loi des extrêmes généralisées (GEV), aussi appelée la loi de Jenkinson est une loi utilisée beaucoup plus au nord d'Algérie, Jenkinson (1955) a montré que les lois de distribution des extrêmes pouvaient se mettre sous une forme unique :

$$F(x) = e^{-1(1 - \frac{k(x-x_0)}{u})^{1/k}} \quad \text{II.21}$$

Trois paramètres interviennent :

- ✓ **x₀** : paramètre de position ;
- ✓ **u** : paramètre de dispersion ;
- ✓ **k** : paramètre de forme ;

Le variable réduite est : $y = -\frac{1}{k} \ln(1 - k \frac{(x-x_0)}{u})$ II.22

On aura donc : $x = u + \frac{\alpha}{k} (1 - (-\ln F(x)))^k$ II.23

Tableau II.20: les paramètres de la loi de GEV par la méthode de maximum de vraisemblance.

| | |
|----------------------|-------|
| Nombre d'observation | 48 |
| X ₀ | 12,72 |
| K | 0,171 |
| U | 34,81 |

Résultats graphiques de la loi GEV par la méthode de maximum de vraisemblance obtenus par logiciel Hyfran Plus sont montrés dans la figure suivante :

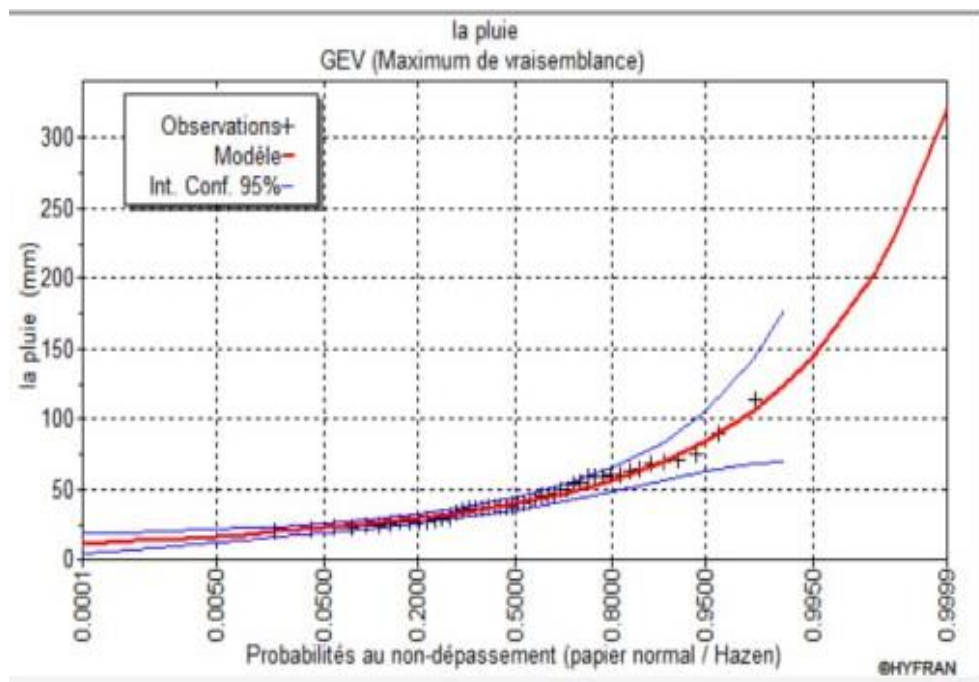


Figure II.10 : Représentation graphique de l'ajustement à la loi GEV.

Pour des différentes périodes de retour, les résultats de l'ajustement à la loi de Galton issus de logiciel Hyfran, avec l'utilisation de la technique de vraisemblance sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau II.21 : Calcul des quantiles par la droite de GEV.

| T | Fréquence (ans ⁻¹) | Valeurs théoriques P _{jmax} (mm) | écart type | intervalle de confiance 95%(mm) |
|-------|--------------------------------|--|------------|---------------------------------------|
| 100.0 | 0.9900 | 124 | 27.6 | 69.7 - 178 |
| 50.0 | 0.9800 | 105 | 18.9 | 68.4 - 142 |
| 20.0 | 0.9500 | 84.1 | 10.8 | 62.8 - 105 |
| 10.0 | 0.9000 | 69.7 | 6.84 | 56.3 - 83.1 |
| 5.0 | 0.8000 | 56.6 | 4.30 | 48.1 - 65.0 |

III.1.3 . Test de validité de l'ajustement :

Pour la validation d'une loi d'ajustement, on va procéder par le test visuel et le test de Pearson qui est couramment utilisés.

III.1.3.1. le Test visuel :

Pour comparer les trois méthodes, nous avons tracé sur le même graphique les trois courbes d'ajustement.

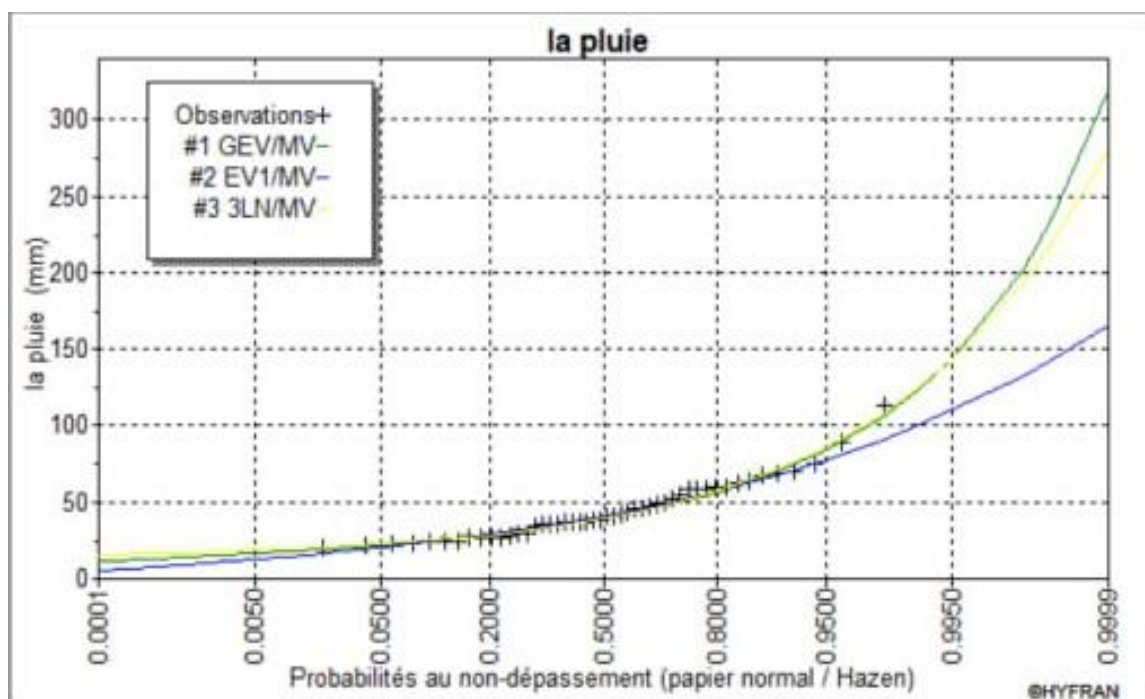


Figure II.11: Comparaison des lois d'ajustement de la série pluviométrique.

La comparaison graphique montre que notre série s'ajuste bien à la loi GEV étant les données expérimentales sont plus proche de la droite théorique, et qui est très utilisé dans le nord de l'Algérie(Toumi).

III.1.3 2 le Test d'adéquation de χ^2 (Pearson):

Le test de Khi-deux ou le test de Pearson est un test largement utilisé pour la validation de la compatibilité d'une loi d'ajustement sur une série d'observation de nombre ou de taille N, Pour

CHAPITRE II ETUDE HYDROLOGIQUE

notre étude, l'adéquation de la loi est bonne pour une probabilité $1-\alpha=95\%$, la variable χ^2 est utilisé pour un risque de 5%.

Les hypothèses sont donc :

Si $P(\chi^2) \geq 5\%$ l'ajustement est à considérer.

Si $P(\chi^2) < 5\%$ on ne peut rien conclure, il faut refaire le calcul en modifiant le nombre de classes.

Les résultats du test de Pearson sont résumés dans le tableau suivant par logiciel Hyfran.

Tableau II.22 : résultat du test de χ^2 .

| Lois d'ajustement | Degré de liberté | Nombre de classes | χ^2 calc | χ^2 theo | Observations |
|-------------------|------------------|-------------------|---------------|---------------|--|
| Gumbel | 6 | 9 | 9,38 | 12.592 | χ^2 calc < χ^2 theo Ajustement valide |
| Galton | 6 | 9 | 9,38 | 12,592 | χ^2 calc < χ^2 theo Ajustement valide |
| Gev | 5 | 9 | 9,75 | 11,070 | χ^2 calc < χ^2 theo Ajustement valide |

On remarque que les 3 lois sont valables mais on choisie de travailler avec la loi de GEV qui s'ajuste bien au nord de l'Algérie.

III.1.4 Pluies de courte durée :

Maintenant, on va adopter une relation entre pluie, temps de retour et durée : celle-ci consiste à représenter, pour chaque temps de retour choisis, la pluie en fonction de la durée. C'est cette présentation que l'on nomme courbe IDF. Elle a l'avantage pratique de bien se prêter à l'interpolation pour différentes durées.

Pour tracer les courbes IDF on transforme les pluies maximales journalières aux pluies de courtes durées exprimées en [mm], en utilisant la formule de K.Body (ANRH 1984) :

$$P_{cd. p\%} = P_{max.j p\%} * \left(\frac{t}{24}\right)^b \quad \text{II.24}$$

CHAPITRE II ETUDE HYDROLOGIQUE

Avec :

- ✓ **P_{cd}, p%** : pluie de courtes durée (mm) de fréquence égale à celle de P_{maxj}, p% ;
- ✓ **P_{maxj}, p%** : pluie maximale fréquentielle ;
- ✓ **t** : durée de l'averse en heure(h) ;
- ✓ **b** : exposant climatique (b=0,48). [Source ANRH] ;

Ensuite on calcule les intensités maximales d'une durée t(h) et une période de retour T (ans) par la relation suivante :

$$I_t = \frac{P_{cd,p\%}}{t} \quad \text{II.25}$$

Avec :

- ✓ **I_t** : Intensité de durée t(h), exprimée en (mm/h) ;

Tableau II.23 : les précipitations maximales journalières pour chaque fréquence.

| Période T | 100 | 50 | 20 | 10 | 5 |
|-----------------------------|-----|-----|------|------|------|
| Fréquence 1/T | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 |
| Pluies fréquentielles mm | 124 | 105 | 84,1 | 69,7 | 56,6 |

Les résultats sont représentées dans le tableau suivant :

CHAPITRE II ETUDE HYDROLOGIQUE

Tableau II.24 : Pluies et intensités de courtes durées pour des différentes périodes de retour.

| T | 100 | | 50 | | 20 | | 10 | | 5 | |
|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|--------|------------|--------|------------|
| Durée h | Pcd mm | It mm/h | Pcd mm | It mm/h | Pcd mm | It mm/h | Pcd mm | It mm/h | Pcd mm | It mm/h |
| 1 | 26.97 | 26.97 | 22.83 | 22.83 | 18.29 | 18.29 | 15.16 | 15.16 | 12.31 | 12.31 |
| 2 | 37.61 | 18.80 | 31.85 | 15.92 | 25.51 | 12.75 | 21.14 | 10.57 | 17.17 | 8.58 |
| 3 | 45.70 | 15.23 | 38.69 | 12.89 | 30.99 | 10.33 | 25.68 | 8.56 | 20.86 | 6.95 |
| 4 | 52.46 | 13.11 | 44.43 | 11.10 | 35.58 | 8.89 | 29.49 | 7.37 | 23.94 | 5.98 |
| 5 | 58.40 | 11.68 | 49.45 | 9.89 | 39.60 | 7.92 | 32.82 | 6.56 | 26.65 | 5.33 |
| 6 | 63.74 | 10.62 | 53.97 | 8.99 | 43.23 | 7.20 | 35.82 | 5.97 | 29.09 | 4.84 |
| 7 | 68.63 | 9.80 | 58.12 | 8.30 | 46.55 | 6.65 | 38.58 | 5.51 | 31.33 | 4.47 |
| 8 | 73.18 | 9.14 | 61.96 | 7.74 | 49.63 | 6.20 | 41.13 | 5.14 | 33.40 | 4.17 |
| 9 | 77.43 | 8.60 | 65.57 | 7.28 | 52.52 | 5.83 | 43.52 | 4.83 | 35.34 | 3.92 |
| 10 | 81.45 | 8.14 | 68.97 | 6.89 | 55.24 | 5.52 | 45.78 | 4.57 | 37.18 | 3.71 |
| 11 | 85.26 | 7.75 | 72.20 | 6.56 | 57.83 | 5.25 | 47.92 | 4.35 | 38.92 | 3.53 |
| 12 | 88.90 | 7.40 | 75.28 | 6.27 | 60.29 | 5.02 | 49.97 | 4.16 | 40.58 | 3.38 |
| 13 | 92.38 | 7.10 | 78.23 | 6.01 | 62.65 | 4.81 | 51.93 | 3.99 | 42.17 | 3.24 |
| 14 | 95.73 | 6.83 | 81.06 | 5.79 | 64.92 | 4.63 | 53.81 | 3.84 | 43.69 | 3.12 |
| 15 | 98.95 | 6.59 | 83.79 | 5.58 | 67.11 | 4.47 | 55.62 | 3.70 | 45.16 | 3.01 |
| 16 | 102.06 | 6.37 | 86.43 | 5.40 | 69.22 | 4.32 | 57.37 | 3.58 | 46.58 | 2.91 |
| 17 | 105.08 | 6.18 | 88.98 | 5.23 | 71.27 | 4.19 | 59.06 | 3.47 | 47.96 | 2.82 |
| 18 | 108.00 | 6.00 | 91.45 | 5.08 | 73.25 | 4.06 | 60.71 | 3.37 | 49.29 | 2.73 |
| 19 | 110.84 | 5.83 | 93.86 | 4.94 | 75.17 | 3.95 | 62.30 | 3.27 | 50.59 | 2.66 |
| 20 | 113.60 | 5.68 | 96.20 | 4.81 | 77.05 | 3.85 | 63.85 | 3.19 | 51.85 | 2.59 |
| 21 | 116.30 | 5.53 | 98.48 | 4.68 | 78.87 | 3.75 | 65.37 | 3.11 | 53.08 | 2.52 |
| 22 | 118.92 | 5.40 | 100.70 | 4.57 | 80.65 | 3.66 | 66.84 | 3.03 | 54.28 | 2.46 |
| 23 | 121.49 | 5.28 | 102.87 | 4.47 | 82.39 | 3.58 | 68.29 | 2.96 | 55.45 | 2.41 |
| 24 | 124 | 5.16 | 105 | 4.37 | 84.1 | 3.50 | 69.7 | 2.90 | 56.6 | 2.35 |

Les résultats sont représentés dans la figure suivante :

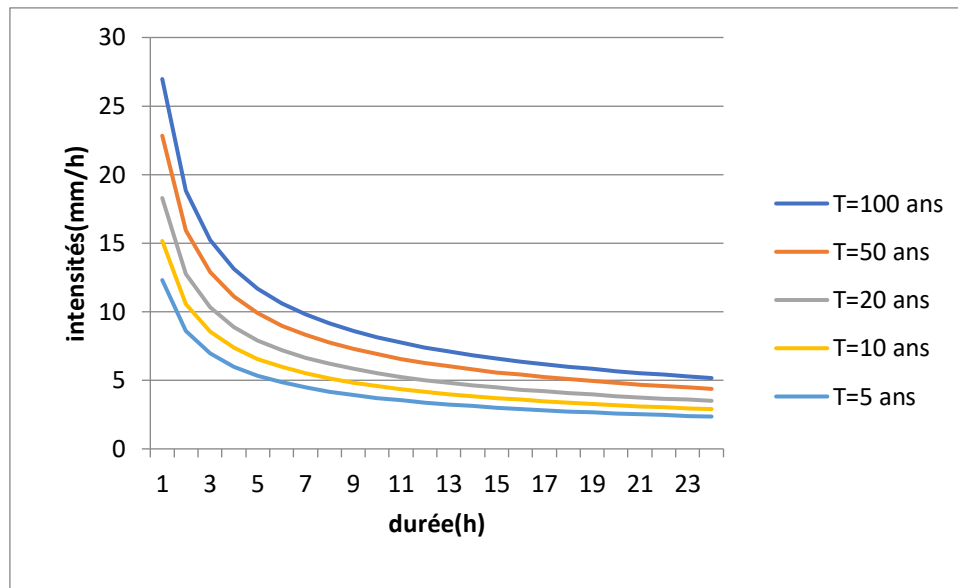


Figure II.12: Courbes intensités-durées-fréquences(IDF).

Conclusion :

Dans ce chapitre on a pu déterminer l'intensité moyenne maximale de pluie qui est égale à 55,46 mm/h en utilisant une série pluviométrique obtenu par les mesures au sol pour une période de retour centennale, puis les courbes IDF sont des courbent qui caractérisent les précipitations extrêmes, en mettant en relation les intensités durées et fréquences des pluies maximales pour évaluer les inondations causées directement par les précipitations. Dans le prochain chapitre on va calculer le débit de crue de projet pour le dimensionnement des ouvrages de protection.

A decorative frame resembling a scroll, with a horizontal bar at the top and a vertical bar on the left. The top bar has a rounded right end and a small grey semi-circle at its left end. The vertical bar has a rounded bottom end and a larger grey semi-circle at its bottom end.

CHAPITRE III: CALCUL DE DÉBIT DE CRUE

CHAPITRE III CALCUL DE DEBIT

Introduction :

Le débit de crue nous permet de mieux comprendre le fonctionnement du cours d'eau en période de crue et apporter les éléments nécessaires à la gestion des risques d'inondations afin de choisir l'aménagement qui convient le mieux.

La crue est définie comme étant une forte augmentation de débit et de la lame d'eau d'un oued (hauteur), le mot apparaît lorsqu'il y a un débordement de lit mineur au lit majeur appelé zone d'épandage de crue.

I. Calcul du débit de crues :

La prédétermination des crues a pour but de relever les crues fréquentielles les plus importantes afin de garantir un maximum de sécurité. On 2 approches pour estimer le débit de crue de projet, la première est basée sur des formules empiriques obtenues suites à des expériences, la deuxième est l'approche SCS.

I.1.l'approche basée sur les formules empiriques :

- Formule de Giandotti :

$$Q_{max,p\%} = \frac{170.S.(H_{moy}-H_{min})^{1/2}}{4.(S)^{1/2}+1.5L}.P_{cd} \quad \text{III.1}$$

Avec :

- ✓ **Q_{max,p%}** : débit maximum de crue en m³/s de même fréquence que celle de la pluie de courte durée ;
- ✓ **S** : surface du bassin versant en Km² ;
- ✓ **P_{cd}** : pluie fréquentielle de courte durée correspondante au temps de concentration en m ;
- ✓ **H_{min}** : altitude minimale du Bassin Versant en m ;
- ✓ **H_{moy}** : altitude moyenne du Bassin Versant en m ;
- ✓ **L** : longueur du talweg principal en Km ;

Tableau III.1 : l'intensités correspondantes au temps de concentrations.

| période de retour T | 100 | | 50 | | 20 | | 10 | | 5 | |
|---------------------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| Tc (h) | Pct mm | It mm/h | Pct mm | It mm/h | Pct mm | It mm/h | Pct mm | It mm/h | Pct mm | It mm/h |
| 2,58 | 42,51 | 16,47 | 35,99 | 13,94 | 28,83 | 11,17 | 23,89 | 9,25 | 19,40 | 7,51 |

CHAPITRE III CALCUL DE DEBIT DE CRUE

- **Formule de MALLET-GAUTHIER** :

$$Q_{max,p\%} = 2K \cdot \log(1 + A P_{moy}) \cdot \frac{S}{\sqrt{L}} \sqrt{1 + 4 \log T - \log S} \quad \text{III.2}$$

Avec :

- ✓ **K** : Constante comprise entre 1 et 3. On prend 1,1 ;
- ✓ **P_{moy}** : Précipitation moyenne interannuelle en m ;
- ✓ **S** : surface du bassin versant en Km² ;
- ✓ **L** : Longueur du talweg principal en Km ;
- ✓ **T** : période de retour (ans) ;
- ✓ **A** : coefficient régionale varie entre 20 et 30 (pour notre zone, on prend m=20)

CHAPITRE III CALCUL DE DEBIT DE CRUE

Tableau III.2 : précipitations moyennes annuelles de la station de Sebdou(ANRH).

| N° d'Ordre | Année d'observation | Pmoy.ann (mm) | N° d'Ordre | Année d'observation | Pmoy.ann (mm) |
|---------------------|---------------------|---------------|------------|---------------------|---------------|
| 1 | 1982-1983 | 283.8 | 16 | 1997-1998 | 342.8 |
| 2 | 1983-1984 | 314.8 | 17 | 1998-1999 | 247.8 |
| 3 | 1984-1985 | 329.1 | 18 | 1999-2000 | 198 |
| 4 | 1985-1986 | 404.2 | 19 | 2000-2001 | 411.4 |
| 5 | 1986-1987 | 430.7 | 20 | 2001-2002 | 433.3 |
| 6 | 1987-1988 | 231.5 | 21 | 2002-2003 | 463.1 |
| 7 | 1988-1989 | 337.8 | 22 | 2003-2004 | 351.1 |
| 8 | 1989-1990 | 265.7 | 23 | 2004-2005 | 222.3 |
| 9 | 1990-1991 | 451.8 | 24 | 2005-2006 | 394.5 |
| 10 | 1991-1992 | 477.3 | 25 | 2006-2007 | 327 |
| 11 | 1992-1993 | 225.1 | 26 | 2007-2008 | 272.4 |
| 12 | 1993-1994 | 286.9 | 27 | 2008-2009 | 668.9 |
| 13 | 1994-1995 | 351.1 | 28 | 2009-2010 | 389.2 |
| 14 | 1995-1996 | 694 | 29 | 2010-2011 | 360.9 |
| 15 | 1996-1997 | 222.2 | 30 | 2011-2012 | 293.7 |
| La moyenne :394,5mm | | | | | |

• **Formule de TURAZZA** :

Cette formule est bien adaptée pour les cas des petits bassins et elle fait appel également au temps de concentration (tc) car elle utilise l'intensité moyenne maximale de précipitations déterminées sur un intervalle de référence égal au temps de concentration du bassin versant (EMI, 1999) :

$$Q_{max,p\%} = \frac{C.S.I_{tc}}{3.6} \quad \text{III.3}$$

Avec :

- ✓ **S** : Surface du Bassin versant en km² ;
- ✓ **C** : coefficient de ruissellement de la crue considérée pour une probabilité P % ;

$$C=0,6(1-10^{-0,36.(p)^2})=0.6 \quad \text{III.4}$$

- ✓ **P** : la moyenne des précipitations interannuelle en m ;

CHAPITRE III CALCUL DE DEBIT DE CRUE

- ✓ **Itc** : Intensité moyenne maximale des précipitations pendant une durée égale au temps de concentration en mm/h ;

- **Formule de SOKOLOVSKY:**

$$Q_{max,p\%} = \frac{0,28.(P_{cd}-h_0).\alpha p\%.f.s}{T_m} \quad \text{III.5}$$

- ✓ **H0** : pertes initiales en mm. H0 = 7 mm ;
- ✓ **S** : Superficie du bassin en Km² ;
- ✓ **Pcd** : pluie fréquentielle de courte durée correspondante au temps de concentration ;
- ✓ **Tm**=Tc(h) ;
- ✓ **αp%** : coefficient de ruissellement de la crue probable pour une période donnée ;

$$\alpha p\% = \frac{\sqrt{Xp\%}-\sqrt{H_0}}{\sqrt{Xp\%}+\sqrt{H_0}} \quad \text{III.6}$$

- ✓ **Xp%** : précipitation en mm, de probabilité p% correspondant à un temps tc (pcd en mm) ;
- ✓ **F** : Coefficient de forme de la crue ;

$$F = \frac{12}{4+3\gamma} = 1,2 \quad \text{III.7}$$

-pour S<50km² on a γ = 2.

-pour des petits bassin non boisé avec sol peu perméable γ = (2 à 2.5).

-pour bassin boisé et sol perméable γ = (3 à 4).

Les résultats de calcul sont présents dans le tableau suivant :

Tableau III.3 : Débit de crue calculée par les formules empiriques.

| Bassin versant oued El Gor | | | | | |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Débit (m ³ /s) | | | | | |
| Période de retour T | 100 | 50 | 20 | 10 | 5 |
| Giandotti | 44,12 | 37,35 | 29,92 | 24,79 | 20,13 |
| Turraza | 33,70 | 28,53 | 22,86 | 18,93 | 15,37 |
| Sokolovsky | 24,00 | 17,98 | 11,86 | 8,03 | 4,94 |
| MalletGauthier | 47,53 | 43,76 | 38,21 | 33,41 | 27,80 |

I.2.l'approche SCS(service de conservation des sols) :

I.2.1.Présentation du modèle de transfert pluie-débit (méthode SCS) :

Ce modèle dérive de l'approche proposée par l'US Soil Conservation Service (SCS). Il s'agit d'un modèle de transfert pluie-débit basé sur la pluviométrie responsable du ruissellement (pluie nette).

La méthode Soil Conservation Service Curve Number(SCS-CN) a été développée en 1954 et est documentée dans la section 4 du National Engineering Handbook (neh-4), publié par le Soil Conservation Service (Natural Ressources Conservation actuellement). La méthode SCS-CN est le résultat d'enquêtes exhaustives sur le terrain menées à la fin des années 1930 et au début des années 1940 et des travaux de plusieurs enquêteurs, dont Mockus(1949), Sherman(1949), Andrews(1954) et Ogrosky(1956). L'adaptation de la loi sur la protection des bassins versants et la prévention des inondations (loi publique 83-566) en août 1954 a conduit à la reconnaissance de la méthode a depuis connu une myriade d'application dans le monde entier. La méthode est simple à comprendre, aisément appliquer, stable et utile pour les bassins versants non jaugés.

Il s'agit de l'une des méthodes les plus populaires pour calculer le volume de ruissellement de surface pour un événement pluvieux donné provenant de petits bassins versants agricoles, forestiers et urbains. La principale raison de sa large applicabilité et de son acceptabilité réside dans le fait qu'elle tient compte de la plupart des caractéristiques des bassins versants producteurs de ruissellement : type de sol, occupation du sol et l'état de la surface et de l'humidité antérieure (sol gorgé en eau ou sec) .

En hydrologie urbaine, deux temps caractéristiques sont classiquement utilisés par la modélisation de la transformation pluie débit. L'un est le temps de concentration, l'autre le lag-time ou temps de réponse du bassin qui représente le décalage entre le centre de gravité de l'hyétochrome entrant qui représente la pluie nette à ruisseler) et celui de la sortie(représente le débit à l'exutoire), utilisé dans des modèles de transfert pluie débit. Le temps de concentration (T_c) correspond au temps de contribution d'un bassin versant pour obtenir le débit de point. Le lag-time (K) correspond à la différence temporelle des centres de gravité entre celui de l'hydrogramme de sortie et celui de l'hydrogramme du débit de pluie nette. et comme notre bassin versant n'est pas jaugé, l'estimation du lag-time sera déduit à partir du temps de concentration en se basant sur la formule empirique suivante :

CHAPITRE III CALCUL DE DEBIT DE CRUE

$$Lag=0,6Tc \quad III.8$$

Avec :

- ✓ **Tc** : temps de concentration en h ;
- ✓ **Lag** : temps de réponse de bassin en h ;

L'hydrogramme est caractérisé par :

- ✓ **Qp** : Le débit de pointe en m³/s ;
- ✓ **Tp** : Le temps à la pointe (du montée) $Tp = \frac{D}{2} + 0,6.Tc$;
- ✓ **Tb** : Le temps de base $Tb = Tp + Tr$;
- ✓ **Tr** : le temps de décrue de l'hydrogramme ;

Le rapport entre Tr et Tp est donnée par la formule suivant :

$$\frac{Tr}{Tp} = 1,67 \quad III.9$$

Le modèle SCS se base sur le fait que la précipitation brute tombée sur le bassin versant peut être partagée en : pluie efficace (effective ou nette Peff), la rétention en eau du bassin versant (F) et les pertes initiales (Ia). la relation entre la précipitation et les 3 autres composantes est :

$$\frac{F + Peff}{S - Ia} \quad III.10$$

Avec :

- ✓ **S** : représente la rétention potentielle maximale c'est à dire la différence entre l'infiltration réelle et l'infiltration potentielle égale le rapport entre le ruissellement réel et le ruissellement potentiel ;

La rétention qui se crée au niveau de bassin (stockage provisoire des eaux de ruissellement dans les dépressions) est donnée par la formule : $F = (P - Ia) - Peff$ III.11

On remplace l'équation dans l'équation on trouve :

$$Peff = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia) + S} \quad III.12$$

on se basant sur l'étude des pluies soudaines, abondantes et de courte durée (averses), les connaisseurs en SCS ont fondé la relation empirique entre Ia et S :

CHAPITRE III CALCUL DE DEBIT DE CRUE

$$I_a = 0,2.S \quad \text{III.13}$$

on aura :

$$P_{eff} = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)} \quad \text{III.14}$$

Cette relation va nous permettre de calculer le ruissellement Q en fonction de la précipitation P.

Pour trouver la valeur inconnue S, on va se baser sur le CN qui est un nombre adimensionnel indiquant la caractéristique de réponse au ruissellement du bassin versant (Runoff), la relation entre ces 2 entités sera donc :

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN} (mm) \quad \text{D'où : } CN = \frac{25400}{S + 254} \quad \text{III.15}$$

Le CN est calculé on se basant sur le couvert végétal et le type de sol, NRCS a distingué 4 classes tout dépend de son potentiel d'infiltration (perméabilité).

Tableau III.4: classification des sols selon NRCS.

| Type du sol | group |
|--|-------|
| Sableux, limoneux-sableux | A |
| -Sable-limoneux -Sable argilo-limoneux | B |
| -Argile limoneuse -Argile limono-sableuse -Sablo-argileux -Limon sablo-argileux | C |
| Argile | D |

Source : USDA 1972.

La zone d'étude est constituée complètement d'un sol limoneux sableux donc de classe A.

Vue que notre bassin versant est composé de plusieurs classes d'occupation du sol et type de sol, donc on calcule le CN pondéré exprimé par la relation suivante :

$$CN_p = \frac{\sum A_i.CN_i}{\sum A_i} \quad \text{III.16}$$

Avec:

- ✓ **CNi** : curve number correspondant à un type d'occupation du sol ;
- ✓ **Ai** : la surface correspondante à un type d'occupation du sol ;

CHAPITRE III CALCUL DE DEBIT DE CRUE

Tableau III.5: CN selon le type d'occupation du sol.

| Occupation de sol | Classe des sols | | | |
|-------------------|-----------------|----|----|----|
| | A | B | C | D |
| Terres agricoles | 72 | 81 | 88 | 91 |
| Foret | 36 | 60 | 79 | 79 |
| Terrain nu | 68 | 79 | 89 | 89 |
| Zone urbanisée | 80 | 85 | 90 | 95 |

source : USDA, SCS 1972.

Pour notre cas, le CN est égale á 69,14.

A cause de manque des cartes qui nous renseigne sur l'usage ou non usage fait des terres par l'homme, c'est á dire ce qui recouvre le sol. Elle distingue plusieurs catégories biophysiques qui sont :

- les zones de végétation (arbres, buissons, champs, pelouses).
- les sols nus (même s'il s'agit d'un manque de couverture ou couverture dispersée).
- Les surfaces durs (roches, bâtiments).
- les surfaces humides et les plans d'eau (nappe et cours d'eau, zones inondables).

On a crée la carte suivante pour notre bassin versant en se basant sur une photo satellitaire obtenu de la porte ESRI Land Use/Land Cover en 2021 par logiciel ArcGis vue le manque des cartes POS á l'échelle national.

CHAPITRE III CALCUL DE DEBIT DE CRUE

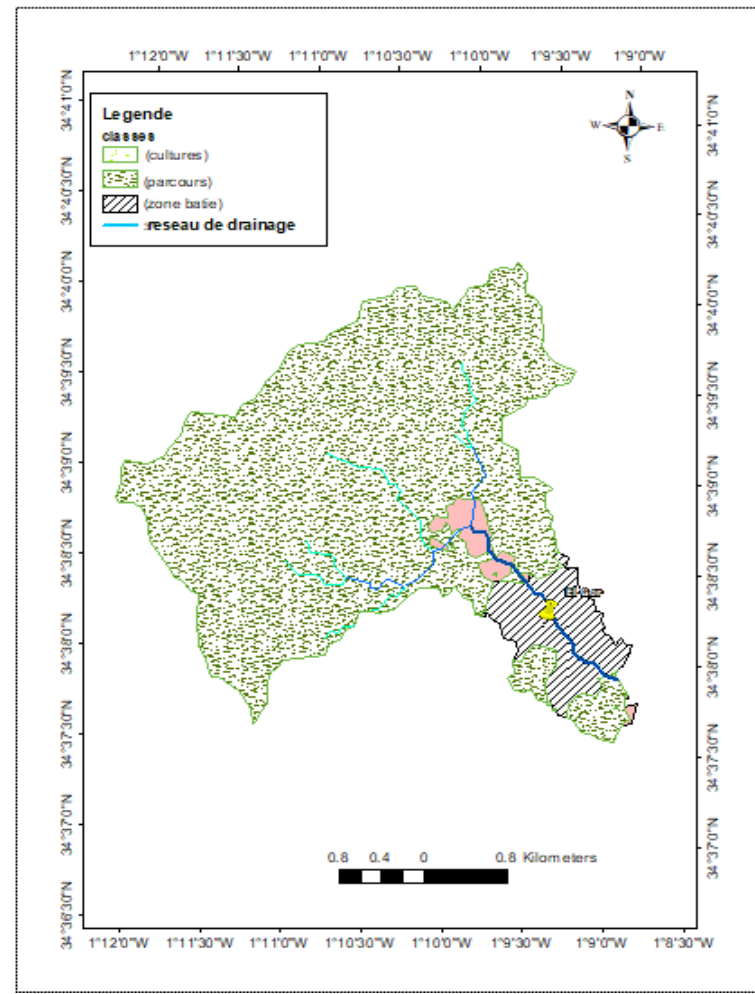


Figure III.1: LULC générée par Arc Geo HMS.

La carte d'occupation du sol montre que le bassin versant est constitué de 4 classes d'occupations étant les parcours ou prairie qui sont des terres non cultivées utilisées pour l'élevage et la collecte de fourrage naturel occupent la majorité de la surface du bassin, une zone urbanisée, zones végétatives et des cultures qui forment une minorité de la totalité de la superficie. On calcule un Curve number qui indique la réponse d'un bassin versant à un ruissellement donné par une pluie afin de tenir compte de la variation des types de sols et du couvert végétal dans l'aire d'étude.

L'approche SCS, nécessite l'utilisation d'une modélisation hydrologique, ou modélisation pluie-débit à l'échelle d'un bassin versant à l'aide d'un logiciel HEC-HMS, ce modèle permet de transformer des séries temporelles décrivant le climat d'un bassin versant donné (séries de précipitations et de températures par exemple, séries qui sont les entrées du modèle hydrologique) en une série de débits (sortie du modèle hydrologique).

II. La modélisation hydrologique avec logiciel HEC.HMS:

II.1. la modélisation hydrologique du bassin versant :

Un modèle hydrologique ou modèle pluie-débit est une représentation théorique simplifiée d'une réalité physique utilisé comme un outil numérique de la représentation de la réaction pluie-débit. C'est à dire les modèles hydrologiques utilisent la pluie comme variable d'entrée et calculent un hydrogramme en sortie du bassin. Ces modèles reposent en général sur deux fonctions distinctes :

- Une fonction de production qui sépare la pluie brute tombée sur La totalité du bassin versant et qui est mesurée par un ou plusieurs pluviomètres en une partie infiltrée et en une partie ruisselée ou nette.
- Une fonction de transfert ou le routage qui consiste à répartir dans le temps la quantité d'eau nette et l'acheminé à l'exutoire de l'unité hydrologique (le bassin versant).

Il existe plusieurs modèles semi-distribués (ou semi-spatialisés) comme le modèle HBV et le TOPMODELE, l'avantage que présentent les modèles semi-distribués est qu'ils disposent d'une structure à base physique et ils demandent moins de données que les modèles distribués. Le modèle HEC-HMS est un exemple de ce type de modèles connu par ses performances de calcul et par la qualité de ses résultats. Un modèle hydrologique peut être utilisé dans plusieurs contextes: Prévision des crues, Prévision d'étiages, Prédétermination de débits extrêmes, Études d'impact anthropique sur l'hydrologie (construction d'aménagements hydrauliques (barrage par exemple), changements d'occupation du sol, etc.), Études d'impact de changements climatiques sur l'hydrologie et la Simulation de débits pour combler des lacunes dans les données et reconstituer des séries de débits historiques.

Il existe plusieurs modèles hydrologiques, on adopte le modèle selon :

- Du type de l'approche qu'il utilise et de la qualité des résultats qu'il fournit ;
- De son utilisation, comme par exemple les performances des interfaces graphiques utilisées (sa convivialité) ;
- De la portabilité du logiciel, la gestion et la structure des entrées/sorties ;
- De la facilité d'intégration et d'interconnexion avec d'autre outils de traitements et d'exploitation des résultats.

CHAPITRE III CALCUL DE DEBIT DE CRUE

II.2. représentation du modèle HEC-HMS :

HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) est un logiciel de modélisation hydrologique, il a été développé par le USACE (US Army Corps of Engineers). Interface basée sur le SIG qui porte une mise en page adaptée afin de faciliter la gestion des variables telles que les bassins, les données de séries chronologiques, le terrain.

Le modèle HEC-HMS est un modèle complet, donc adapté théoriquement à n'importe quel type de climat et notamment à celui des zones arides, Ce logiciel permet de calculer des hydrogrammes de crues pour plusieurs objectifs à savoir les études de drainage urbain, la prévision des crues, la conception des réservoirs et la réduction des effets des inondations.

Le logiciel permet de simuler les eaux de ruissellement de grands bassins versant fluviaux ainsi que de petits centres urbains par exemple. Le programme permet de générer des hydrogrammes qui peuvent être utilisés directement ou en collaboration avec d'autres logiciels pour, par exemple, des études de disponibilité des ressources en eau, la planification de l'assainissement urbain, des prévisions des inondations, l'impact de projet d'urbanisation sur les ruissellements, la conception d'ouvrages de protection des crues etc.



Figure III.2: l'interface de logiciel HEC HMS.

- **La période de retour centennale 100 ans :**

CHAPITRE III CALCUL DE DEBIT DE CRUE

Tableau III.6: résultat de la simulation pour la période de retour 100 ans.

| Bassin versant | La surface drainée (km ²) | Temps de pic(h) | Le débit de pointe (m ³ /s) |
|----------------|--|-----------------|---|
| Oued El Gor | 12,28 | 13 :30h | 40,5 |

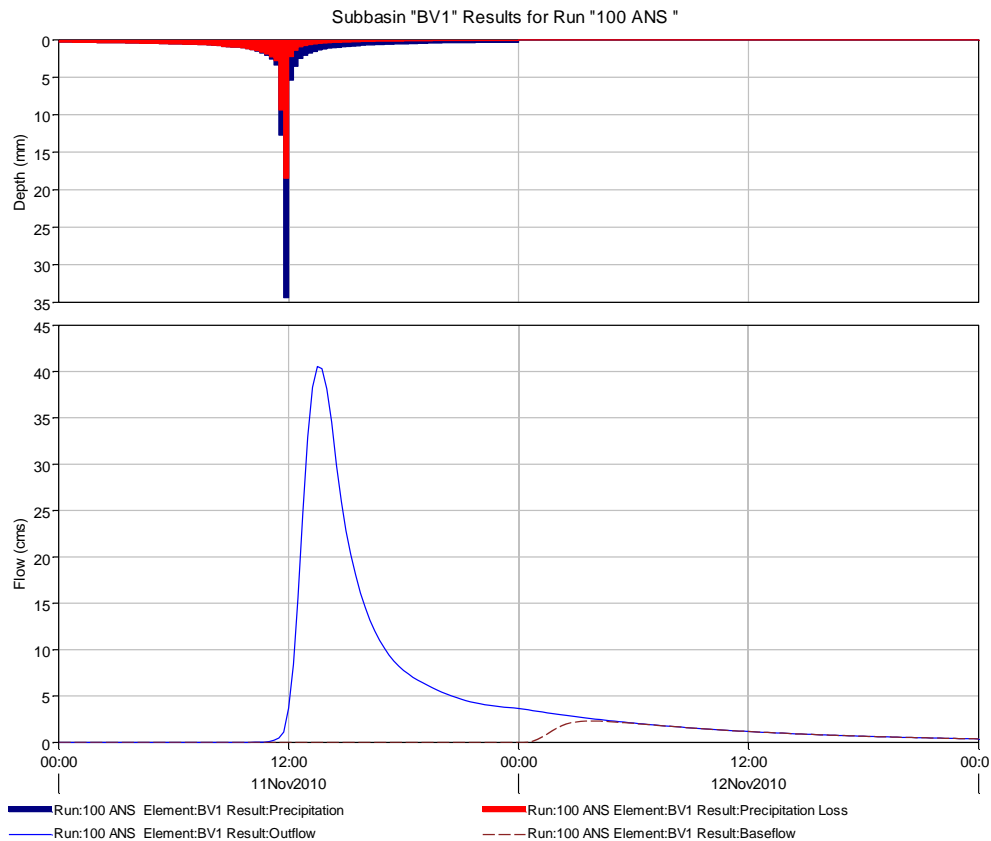


Figure III.3 : hydrogramme de crue du BV pour T=100 ans.

Les pertes par infiltration du bassin versant El Gor représente 61,43 % de la pluie totale, donc une perte de 76,18 mm. Le pic atteint un débit de 40,5 m³/s avec un temps de pic de 13h30.

- **La période de retour 50 ans :**

Tableau III.7 : résultat de la simulation pour la période de retour 50 ans.

| Bassin versant | La surface drainée (km ²) | Temps de pic(h) | Le débit de pointe(m ³ /s) |
|----------------|--|-----------------|--|
| Oued El Gor | 12,28 | 13 :45h | 28,03 |

CHAPITRE III CALCUL DE DEBIT DE CRUE

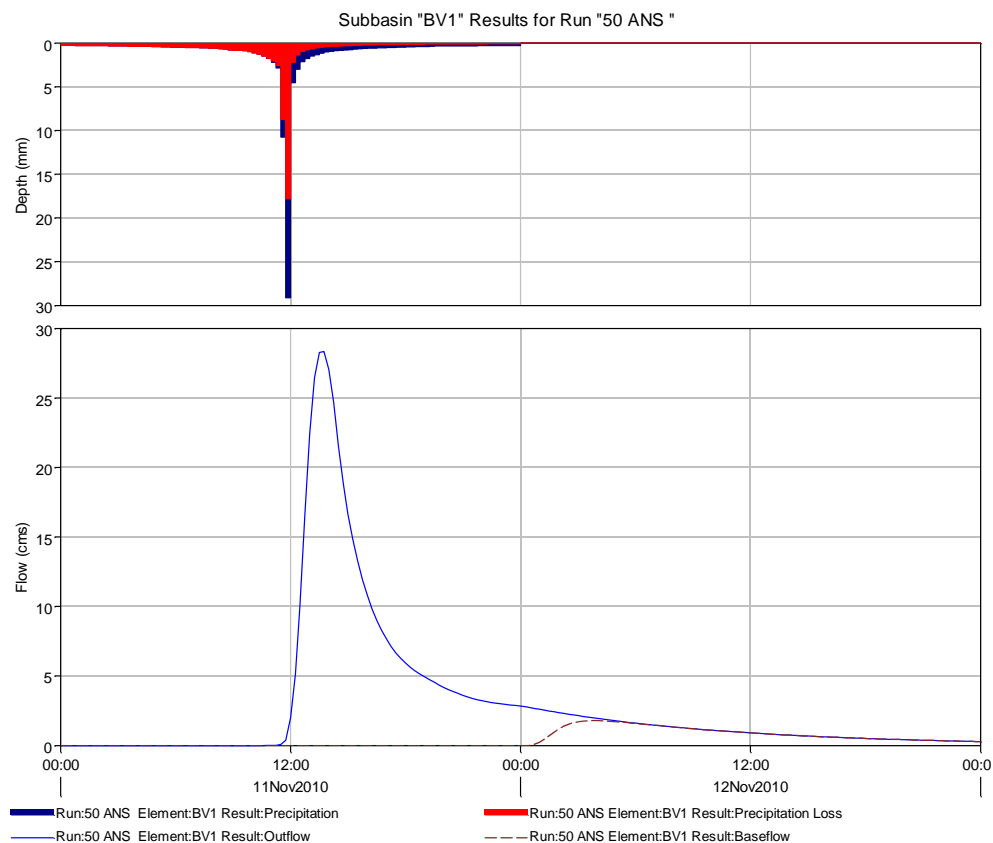


Figure III.4 : résultat de la simulation pour la période de retour 50 ans.

Les pertes par infiltration du bassin versant El Gor représente 67 % de la pluie totale, donc une perte de 70,36 mm. Le pic atteint un débit de 28,03 m³/s avec un temps de pic de 13h45.

- **La période de retour 20 ans :**

Tableau III.8: résultat de la simulation pour la période de retour 20 ans.

| Bassin versant | La surface drainée (km ²) | Temps de pic(h) | Le débit de pointe (m ³ /s) |
|----------------|--|-----------------|---|
| Oued El Gor | 12,28 | 13 :45h | 16,6 |

CHAPITRE III CALCUL DE DEBIT DE CRUE

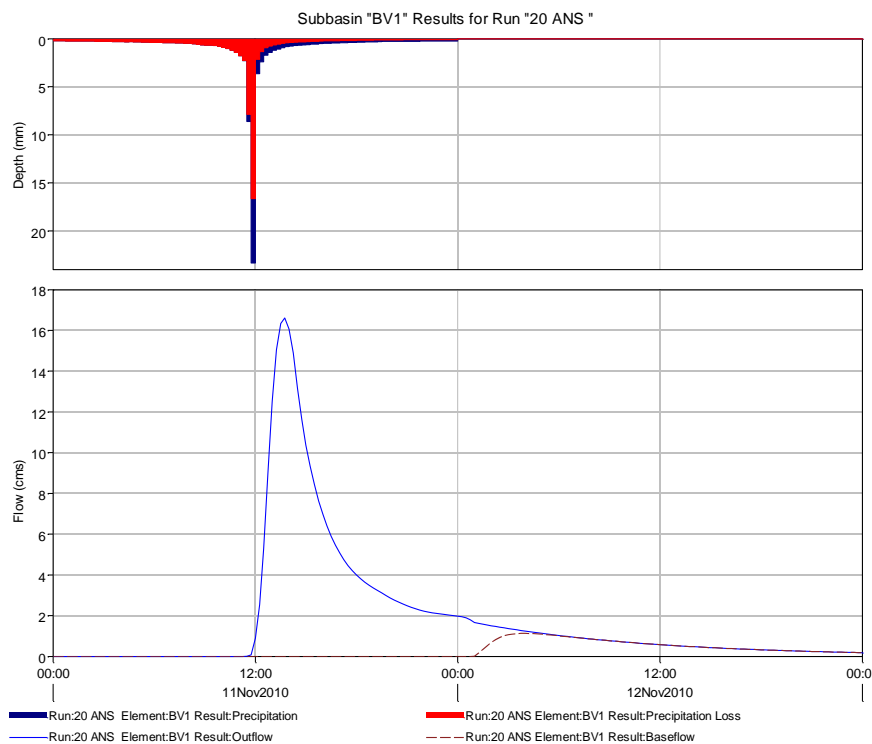


Figure III.5 : hydrogramme de crue du BV pour T=20 ans.

Les pertes par infiltration du bassin versant El Gor représente 74,32 % de la pluie totale, donc une perte de 62,51 mm. Le pic atteint un débit de 16,6 m³/s avec un temps de pic de 13h45.

- **La période de retour 10 ans :**

Tableau III.9: résultat de la simulation pour la période de retour 10 ans.

| Bassin versant | La surface drainée (km ²) | Temps de pic(h) | Le débit de pointe (m ³ /s) |
|----------------|---------------------------------------|-----------------|--|
| Oued El Gor | 12,28 | 13 :45h | 9,5 |

CHAPITRE III CALCUL DE DEBIT DE CRUE

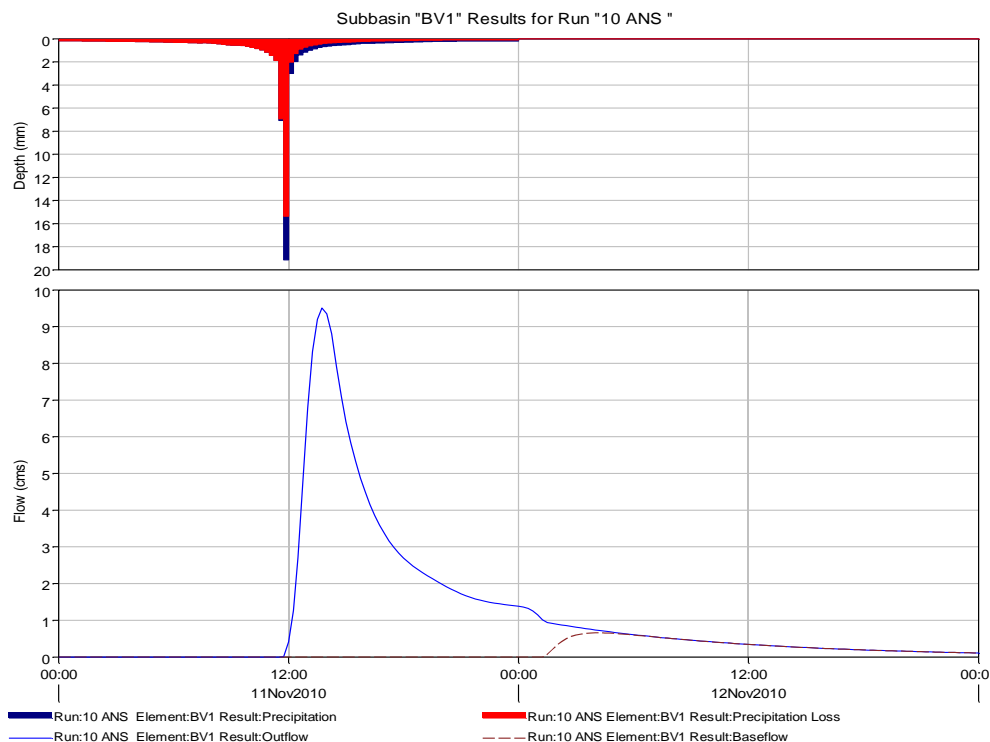


Figure III.6: hydrogramme de crue du BV pour T=10 ans.

Les pertes par infiltration du bassin versant El Gor représente 79,71 % de la pluie totale, donc une perte de 55,56 mm. Le pic atteint un débit de 9,5 m³/s avec un temps de pic de 13h45.

- **La période de retour 5 ans :**

Tableau III.10 : résultat de la simulation pour la période de retour 5 ans.

| Bassin versant | La surface drainée (km ²) | Temps de pic(h) | Le débit de pointe (m ³ /s) |
|----------------|--|-----------------|---|
| Oued El Gor | 12,28 | 14 :00h | 4,9 |

CHAPITRE III CALCUL DE DEBIT DE CRUE

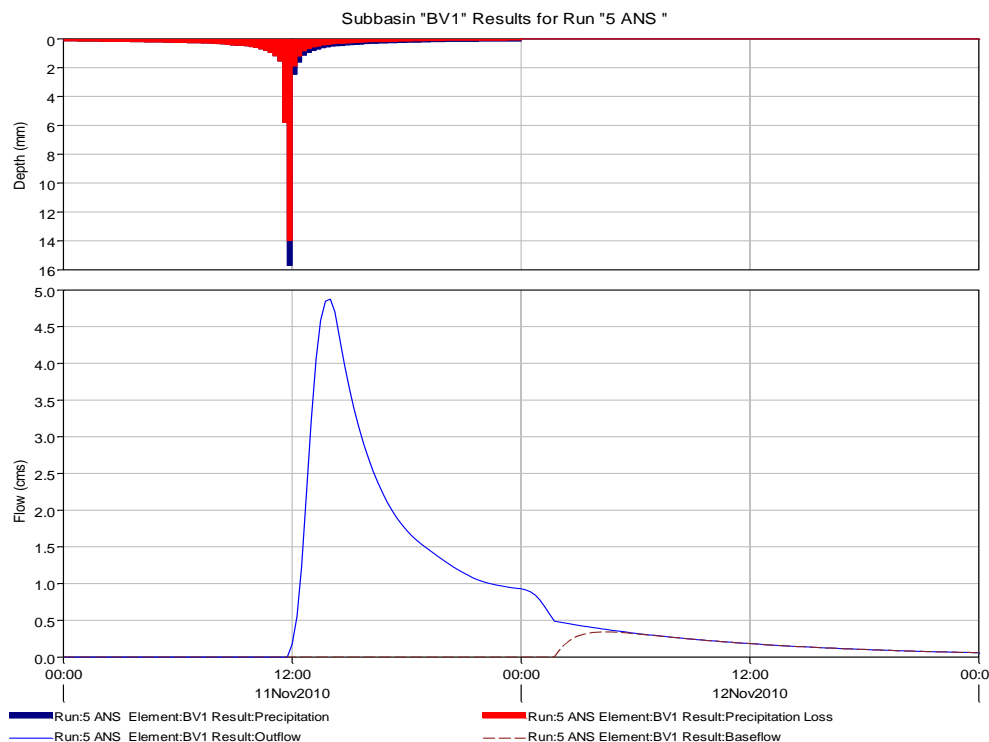


Figure III.7 : hydrogramme de crue du BV pour T=5 ans.

Les pertes par infiltration du bassin versant El Gor représente 86,18 % de la pluie totale, donc une perte de 48,78 mm. Le pic atteint un débit de 4,9 m³/s avec un temps de pic de 14h00.

Le tableau suivant résume les résultats de la simulation en utilisant logiciel de modélisation hydrologique HEC HMS :

Tableau III.11 : résumé des résultats de la simulation.

| | Bassin versant Oued El Gor | | | | |
|---------------------------|----------------------------|--------|--------|--------|-------|
| Période de retour T(ans) | 100 ans | 50 ans | 20 ans | 10 ans | 5 ans |
| Débit (m ³ /s) | 40,5 | 28,03 | 16,6 | 9,5 | 4,9 |

II.3.discussion des résultats :

Les formules empiriques utilisées pour le calcul de débit ont donné des résultats distincts, les formules de **GIANDOTTI** et **MALLET-GAUTHIER** donnent presque les mêmes valeurs de débits pour les périodes de retour différentes, les formules de **SOKOLOVSKY** et **TURAZZA** donnent des valeurs de débits proches à l'approche **SCS-CN** par rapport au formules de **GIANDOTTI** et **MALLET-GAUTHIER**.

CHAPITRE III CALCUL DE DEBIT DE CRUE

D'autre part, la méthode **SCS-CN** du modèle hydrologique HEC-HMS nous donne des valeurs de débits proches aux formules de **GIANDOTTI** et **TURAZZA**, et elle prend en considération plusieurs paramètres comme le type de sol, l'infiltration et l'occupation du sol et la transformation pluie-débit selon les caractéristiques hydro-morphométriques du bassin versant cela permet de d'obtenir des estimations de ruissèlement précises. Donc, on continue l'étude par les résultats trouvés par la méthode **SCS-CN**.

Le tableau suivant résume les résultats de calcul des débits pour les différentes périodes de retour selon les deux approches utilisées.

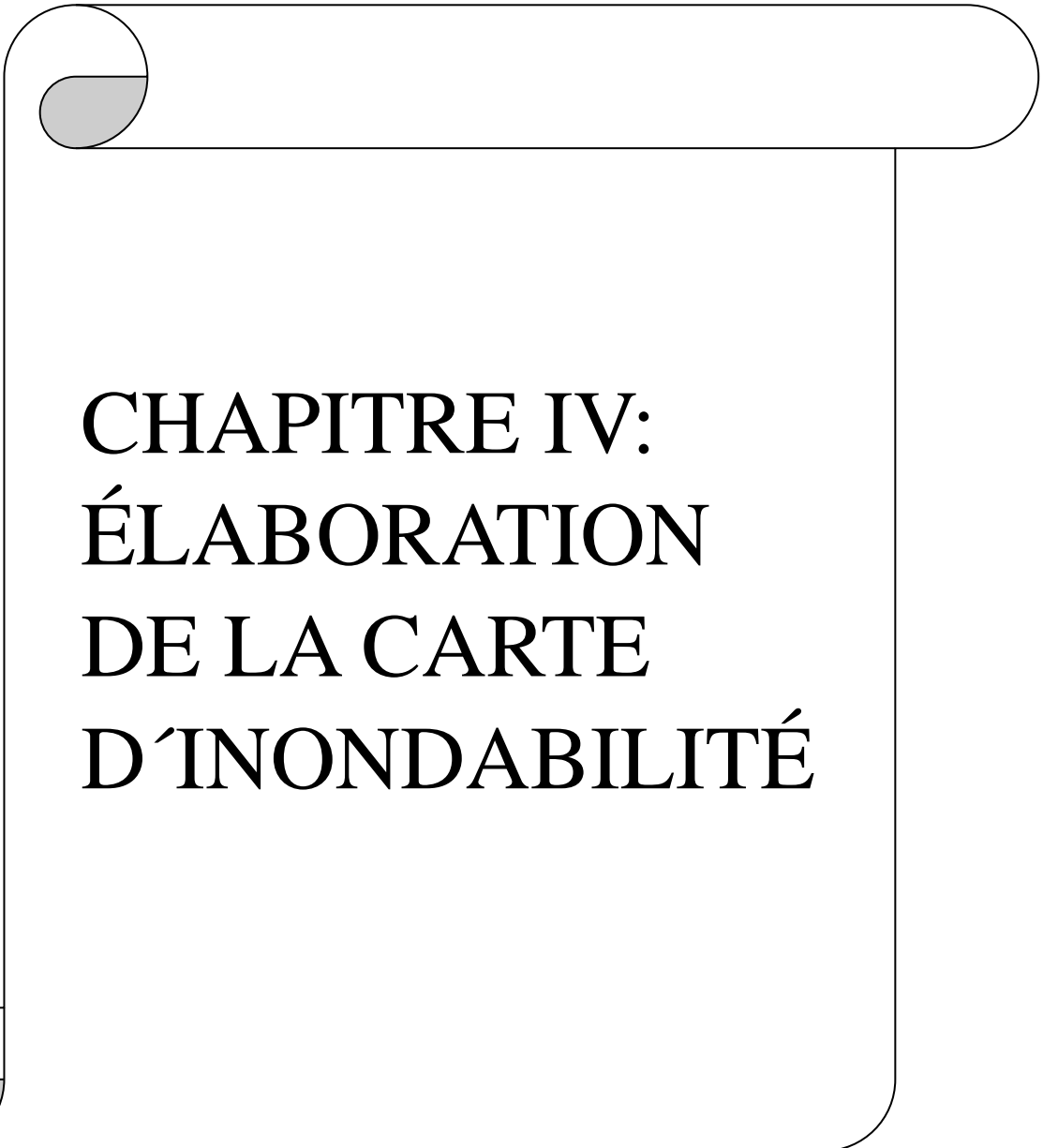
Tableau III.12: résultats des débits de crue suivant les deux approches.

| Bassin versant Oued El Gor | | | | | |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Débit (m ³ /s) | | | | | |
| Période de retour T | 100 | 50 | 20 | 10 | 5 |
| Giandotti | 44,12 | 37,35 | 29,92 | 24,79 | 20,13 |
| Turraza | 33,70 | 28,53 | 22,86 | 18,93 | 15,37 |
| Sokolovsky | 24,00 | 17,98 | 11,86 | 8,03 | 4,94 |
| Mallet-Gauthier | 47,53 | 43,76 | 38,21 | 33,41 | 27,80 |
| SCS-CN | 40,5 | 28,03 | 16,6 | 9,5 | 4,9 |

Conclusion :

Dans ce chapitre, le débit de crue a été déterminé pour des périodes de retour différentes en utilisant les deux approches « les formules empiriques et la méthode SCS-CN », le débit centennial obtenu par la méthode **SCS-CN** est de l'ordre de 40,5 m³/s pour le bassin versant d'Oued El Gor,

La prochaine étape sera l'élaboration de la carte des zones inondables qui montrent les régions susceptibles d'être recouvertes par l'eau ou indiquent les zones atteintes lors d'inondations passées. Ces cartes sont des outils essentiels qui peuvent nous aider à définir les risques et à atténuer l'incidence des inondations.

A decorative graphic of a scroll. It consists of a horizontal bar at the top with a rounded right end and a small grey semi-circle on its left side. A vertical line descends from the left end of this bar, forming a large rectangular frame with rounded corners. A grey semi-circle is attached to the left side of this frame, centered vertically.

CHAPITRE IV: ÉLABORATION DE LA CARTE D'INONDABILITÉ

CHAPITRE IV ELABORATION DE LA CARTE D'INONDABILITE

Introduction :

La connaissance des écoulements en rivière consiste à estimer en tout point du cours d'eau et au cours du temps les grandeurs hydraulique principales qui sont : le débit, les hauteurs d'eau, vitesses et d'autres paramètres qui aident à comprendre le comportement de l'Oued.

L'estimation de ces paramètres passent par des mesures sur terrain mais qui présentent certaines limites donc on fera appel à des outils mathématiques de simulation des modèles hydraulique qui sont une représentation simplifiée des écoulements.

Le but principal est l'élaboration de la carte d'inondabilité de la région traversée par Oued El Gor montre les zones qui pourrait être recouvert par l'eau ou les zones atteintes lors d'une inondation passée afin de choisir l'aménagement adéquate des tançons en question et la création des plans de prévention des zones les plus affectés par les crues exceptionnelles.

I- description générale du cours d'eau :

L'oued principale traverse le centre de la ville El Gor , L'oued est à sec presque toute l'année et se manifeste seulement en période de crue. Le lit et les berges d'oued sont inaperçues par temps sec à cause de son relief plat, toutes les zones urbaines se trouvant sur son passage ce qui augmente le degré de la vulnérabilité face à l'aléa inondation.

L'oued est non aménagé, la capacité hydraulique de l'oued pour atténuer la crue est minimale à cause de la dégradation hydro morphologique de la section de l'Oued par l'urbanisation anarchique au bord des rive et le rejet polluants solide qui provoque une contamination de l'oued et réduit aussi sa section.

Pour une meilleure visualisation, on a partagé Oued El Gor à 3 tronçons selon les infrastructures existantes. Chaque tronçon doit avoir une longueur de 200m au minimum, ces ouvrages peuvent être eux-mêmes mis en danger par la dynamique de l'oued.

CHAPITRE IV ELABORATION DE LA CARTE D'INONDABILITE

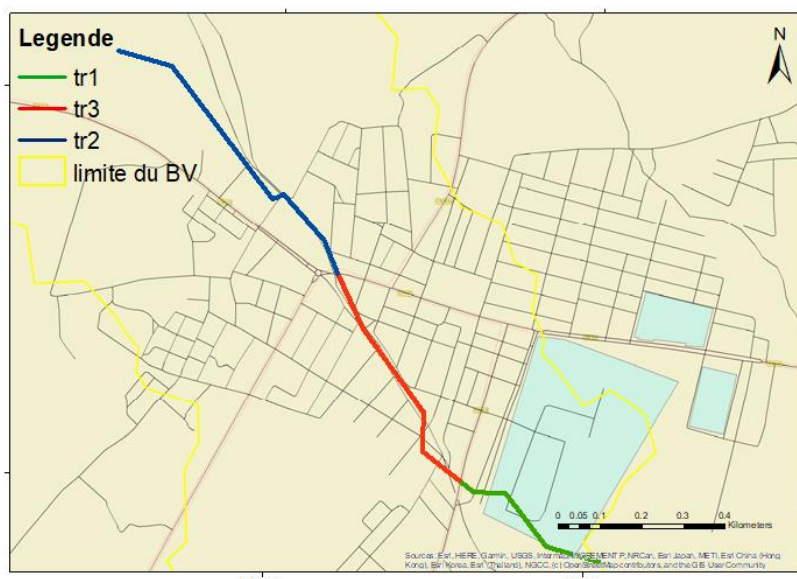


Figure IV.1: les tronçons du cours d'eau principal.

Le tableau suivant représente une description des trois tronçons étudiés.

Tableau IV.1: descriptions des tronçons d'Oued.

| Oued | tronçon | amont | aval | Longueur(m) |
|--------|---------|-------------------------------|-----------------------------|-------------|
| El Gor | tr1 | Quelques mètres de l'exutoire | CW115 | 423,5 |
| El Gor | tr2 | CW115 | CW112 | 610 |
| El Gor | tr3 | CW112 | Après le Chemin de Khtitila | 1262,98 |

Tronçon 01 : ce tronçon a une longueur de 423,5 mètres, situé à quelque mètres de l'exutoire et la route CW115 puis rejoindre la RN22, ce tronçon passe par une zone moyennement urbanisé focalisé sur la rive gauche et une caserne qui risque d'être inondée. Ce tronçon est fortement dénudé (manque de végétations).

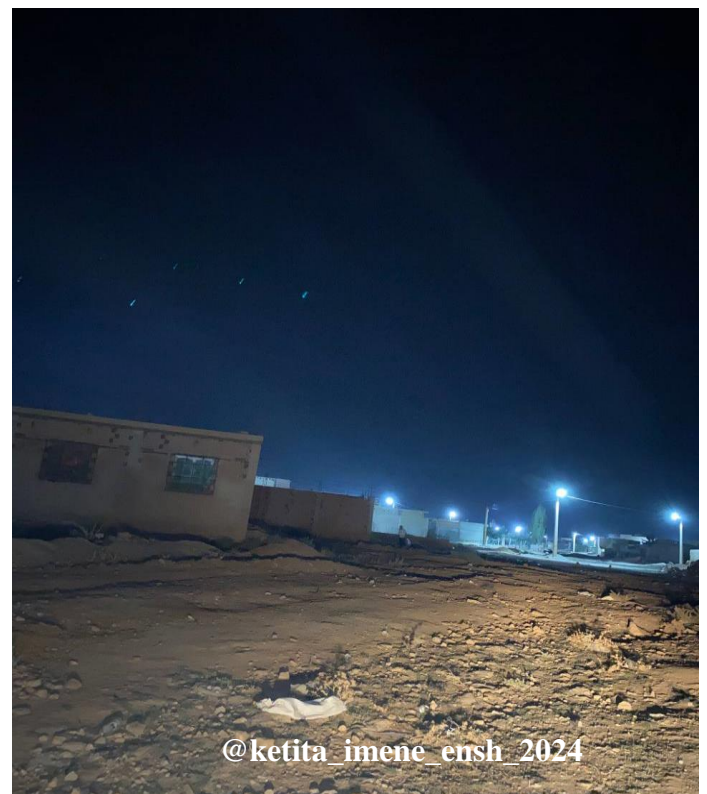
CHAPITRE IV ELABORATION DE LA CARTE D'INONDABILITE



Figure IV.2 : état de tronçon 01 non aménagé (31/07/2024).



A)



B)

Figures IV.3 : constructions piscicoles sur les rives de tronçon 01 (31/07/2024).

CHAPITRE IV ELABORATION DE LA CARTE D'INONDABILITE

Tronçon 02 : ce tronçon a une longueur de 610 mètres, situé entre la route CW115 et la route CW112. Ce tronçon est non aménagé qui traverse une zone fortement urbanisé de part et d'autre du lit mineur.

Tronçon 03 : ce tronçon a une longueur de 1262,98 mètres, situé entre la route CW112 qui relie Tinerdjef avec El Gor et le chemin de Khtitila, cette zone est urbanisé à l'aval du tronçon avec un jardin, station d'essence et une mosquée bâties sur le lit d'oued qui risquent d'être submergé lors d'une crue passée, et périurbain(rural, Région à l'extérieur des agglomérations ou des villes) à l'amont constitué de parcours et des terrains agricole.

Les berges sont végétalisées, fond non pavé donc fortement soumis à l'érosion, la présence des déchets solide, les rives sont densément urbanisé en rive droite et gauche à la partie aval du tronçon à l'entrée de la ville.



A)



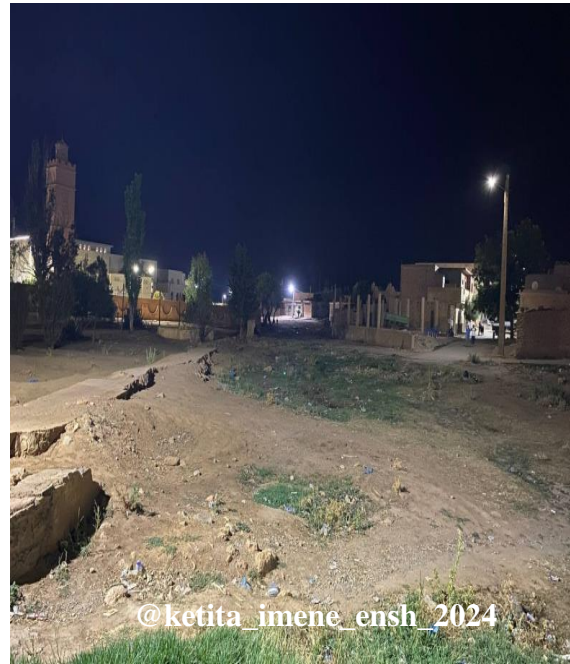
B)

Figure IV.4 : état de tronçon 03 non aménagé de Oued El Gor (31/07/2024).

CHAPITRE IV ELABORATION DE LA CARTE D'INONDABILITE



A)



B)



C)

Figures IV.5 : zone bâties au voisinage de l'Oued (31/07/2024).

II. la modélisation hydraulique :

II.1. Définition :

La modélisation hydraulique est une méthode de simulation numérique d'écoulements des cours d'eau, c'est une étape obligatoire et systématique dans l'étude de nouveaux aménagements ou dans les diagnostics des structures existantes, elle permet d'estimer la propagation amont et aval ou l'extension spatiale des zones inondées pour des périodes de retour extrêmes. Cette donnée est très nécessaire pour établir des cartes de risque.

- **Les modèles 1D :** qui décrivent l'écoulement dans une section de cours d'eau. Le traitement de ces sections unitaires permet de définir le fonctionnement global de la rivière, le champ de vitesse est considéré unidirectionnel. Ce modèle marche bien avec l'écoulement permanent.

➤ Avantages :

- Robuste ;
- Très bonne représentation des ouvrages hydrauliques et des écoulements en lits mineurs ;
- Besoins limités en topographie ;
- Peu gourmand en temps de calculs.

➤ Inconvénients :

- Peu adapté à des écoulements complexes et multidirectionnels en lits majeurs.

- **Les modèles 2D :** qui décrivent l'écoulement dans l'ensemble de la plaine alluviale par l'introduction d'un maillage qui restitue le relief. Le champ de vitesse dans ce cas est bidirectionnel. La modélisation 2D est considérablement plus chère que la modélisation 1D en raison des données supplémentaires qui sont nécessaires, l'amélioration de la précision qui est nécessaire, la nécessité d'utiliser du personnel plus expérimenté. Ce type de modèle marche bien avec l'écoulement non permanent.

➤ Avantages :

- Robuste ;
- Très bonne représentation des écoulements complexes en lits majeurs.

➤ Inconvénients :

- Nécessité de disposer d'une topographie précise (type LIDAR) ;
- Représentation simplifiée et limitée des ouvrages hydrauliques ;
- Gourmand en temps de calculs

CHAPITRE IV ELABORATION DE LA CARTE D'INONDABILITE

Le choix du modèle se base sur plusieurs critères : la précision requise, les ressources et aussi les données d'entrées disponibles.

- **Le couplage 1D/2D :** Le couplage 1D/2D permet d'utiliser un modèle unidimensionnel pour représenter le réseau (en général : le lit mineur) et un modèle bidimensionnel pour représenter la plaine d'inondation (en général : le lit majeur) afin d'améliorer les résultats de la simulation et diminuer le temps de calcul. Pour notre cas on a couplé les 2 modèles en faisant une délimitation la zone de débordement (flow path).

II.2.le modèle HEC RAS :

HEC-RAS, Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (Système d'analyse des rivières du centre d'ingénierie hydrologique) est un logiciel de modélisation hydraulique destiné à simuler l'écoulement dans les cours d'eau et les canaux, Développé par l'Hydrologic Engineering Center (HEC) en Californie, ce système permet au génie hydraulique d'analyser les débits dans le lit des rivières et de déterminer les zones inondables. Ce système permet aussi d'analyser les débits dans les lits des rivières, déterminer les zones inondables, calculer le transport solide par charriage et suspension, Etudier les ruptures des barrages, aménagements hydraulique, étudier l'impact des constructions des ouvrages (pont, seuil déversant...).

HEC-RAS est initialement un logiciel de modélisation monodimensionnelle (1D). Il permet également la modélisation bidimensionnelle (2D) depuis sa version 5.0, et même le couplage 1D/2D (Ecoulements unidimensionnels en lit mineur et bidimensionnels en lit majeurs) permis ses points forts il donne une Très bonne représentation des ouvrages hydrauliques, modulable et proche de la réalité , une modélisation précise du lit mineur (conservation de la précision des levés topographiques ou des données topographique à haute résolution) , il est disponible gratuitement et il permet d'effectuer une cartographie automatique des zones inondables à partir des résultats de calcul.

II.3.La démarche de la simulation :

La 1^{er} étape : est la Construction d'un modèle géométrique des tronçons étudiées en se basant sur un levé topographique à l'aide de l'extension HEC GEO-RAS sur ArcGis ou bien par Ras Mapper dans HEC RAS , on trace les sections en travers pour chaque tronçon de distance réduite afin d'obtenir plus de détails dessinés de l'aval vers l'amont selon le sens de l'écoulement, on élimine

CHAPITRE IV ELABORATION DE LA CARTE D'INONDABILITE

les sections qui se croisent et chaque section doit passer par l'axe de l'Oued, lit mineur et lit majeur puis on crée un fichier d'extension (.geo) qui sera exporté vers HEC-RAS ou bien l'exportation du modèle à l'aide de HEC-GeoRAS sur Arc-Gis. Les levés de terrain des sections en travers donnent plus de précision dans la simulation des écoulements que les modèles numériques du terrain.

La 2eme étape : la création d'un nouveau projet HEC RAS et la conversion le fichier Projet contient le titre et la description du projet, le système d'unité utilisé et les liens vers tous les fichiers qui lui sont associés. Il contient aussi les variables par défaut qui peuvent être définies par l'utilisateur et une référence au dernier Plan utilisé.

La 3eme étape : créer un nouveau fichier géométrie et importé les sections en travers vers le projet, ce fichier contient toutes les informations géométriques sur le cours d'eau analysé, soit le schéma arborescent, les sections transversales, la distance entre une section et une autre, les coefficients de Manning de chaque section.

Dans notre cas pour le coefficient de Manning on se basant sur la Forme de l'oued et les Matériaux du lit et Etat de la végétation, l'état du lit majeur et le type de revêtement...etc., donc on a choisi un coefficient de Manning de 0.022 pour les berges et les lits de l'Oued étant un canal en terre(non revêtu).

RAS MAPPER nous permet de tracer les sections transversales en se basant sur un levé topographique détaillé en faisant une exportation des résultats vers « geometry data » comme montre la figure suivante :

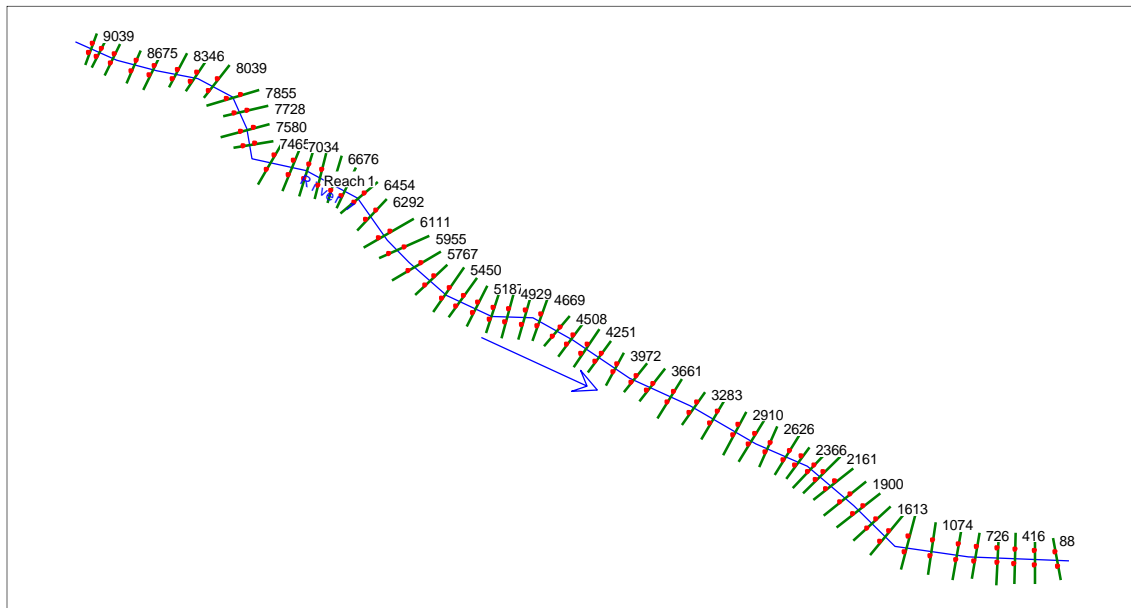


Figure IV.6 : la répartition des sections transversales de Oued El Gor sur HEC RAS.

La 4eme étape : la création du fichier « Steady Flow Data», il est utilisé pour simuler les écoulements permanents qui marche bien avec les modèles 1D. En vérité il n'existe pas d'écoulement permanent dans la nature, avoir un débit constant dans le temps est rare donc on fait un couplage des deux modèles en traçant une zone de débordement.

Dans notre cas pour le débit de projet on travaille avec le débit de période de retour de 100 ans obtenus par le modèle de simulation hydrologique HEC HMS qui est égale à $40,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Les conditions aux limites sont nécessaires pour calculer la hauteur d'eau initiale aux extrémités de chaque tronçon, dans notre cas on a choisi la hauteur critique comme conditions aux limites pour Oued El Gor et une distance qui varie entre 20m et 50m qui sépare une section transversale à une autre, notant que plus cette distance est faible plus que les résultats seront précises.

La 5eme étape : la création du fichier plan qui contient les références au fichier géométrie et débit associés à ce plan.

La 6eme étape : l'exécution de la simulation et la création du fichier « Run », ce fichier est automatiquement créé par HEC-RAS lorsqu'une simulation est lancée.

II.4. visualisation des résultats de la simulation :

CHAPITRE IV ELABORATION DE LA CARTE D'INONDABILITE

Après avoir lancé la simulation sous HEC-RAS, nous pouvons obtenir les profils en travers de chaque section selon le débit considéré tout en long de l'axe d'Oued El Gor pour les différents tronçons, les vitesses d'écoulement ainsi que les lignes d'eau et d'énergie

Un des résultats intéressant à consulter est la vue en profil des différentes stations du tronçon simulé. Cette fonction, « View Cross Section » dans HEC RAS permet de visualiser les profils en travers, on peut même visualiser les profils transversaux et longitudinaux pour analyser la morphologie du terrain dans le lit d'oued par « Profil Lines » dans la fonctionnalité de la cartographie et la visualisation des données (RasMapper) et plusieurs autres résultats intéressants.

II.4.1.le profil du plan de Oued El Gor :

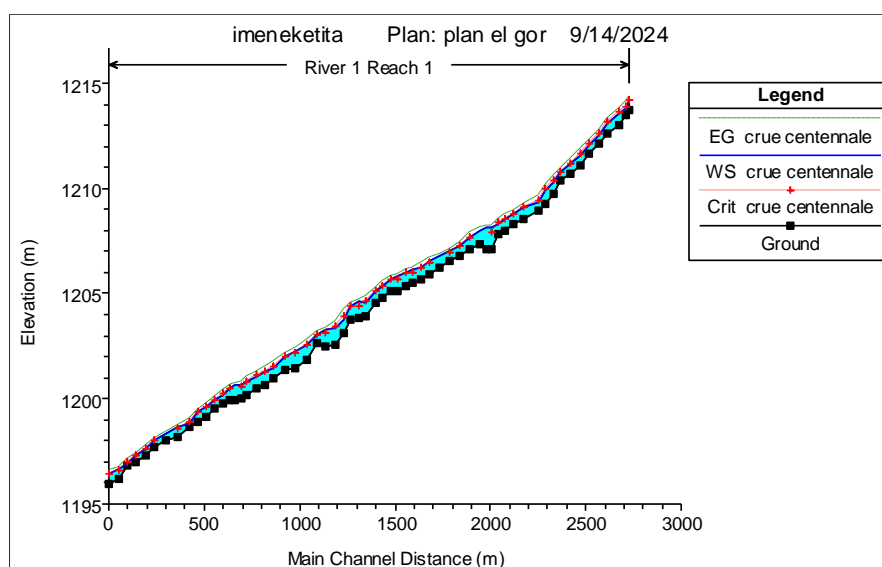


Figure IV.7 : Profil du plan d'eau d'Oued El Gor au passage de la crue centennale.

II.4.2.Les profils en travers :

En utilisant l'option d'affichage des résultats des profils transversaux réalisé, nous avons constaté que le débordement est marqué dans les trois tronçons étudiés, le niveau de plan d'eau dépasse le lit mineur (Bank Station) pour venir inonder le lit majeur (flow path).

Les figures suivantes montrent les profils en travers dans chaque tronçon d'Oued El Gor :

CHAPITRE IV ELABORATION DE LA CARTE D'INONDABILITE

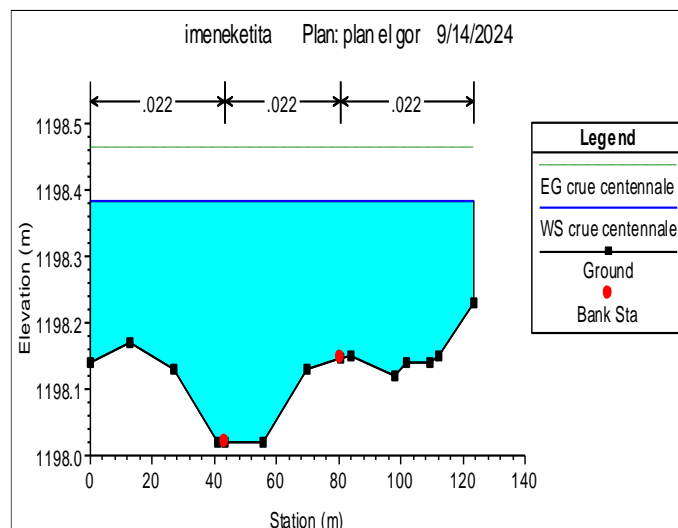


Figure IV.8 : Profil en travers du tronçon 01 de Oued El Gor, Station 1074 .

La figure suivante illustre le profil en travers dans le tronçon 02 d'Oued El Gor :

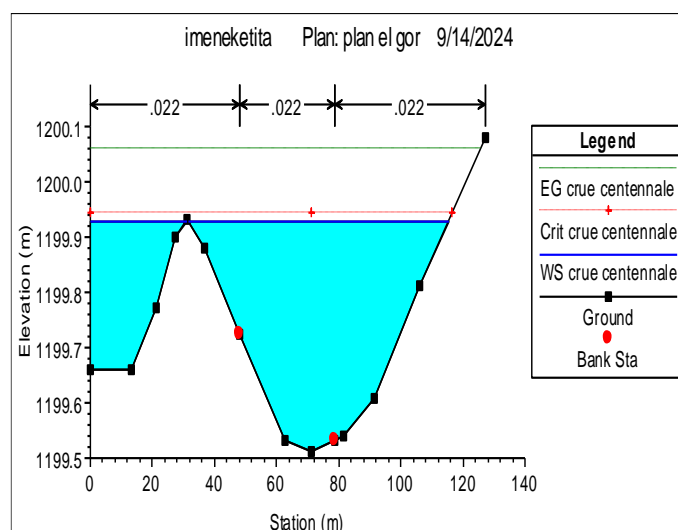


Figure IV.9 : profile en travers dans le tronçon 02 d'Oued El Gor, Station 1900.

La figure suivante présente la section mouillée dans le dernier tronçon de l'Oued.

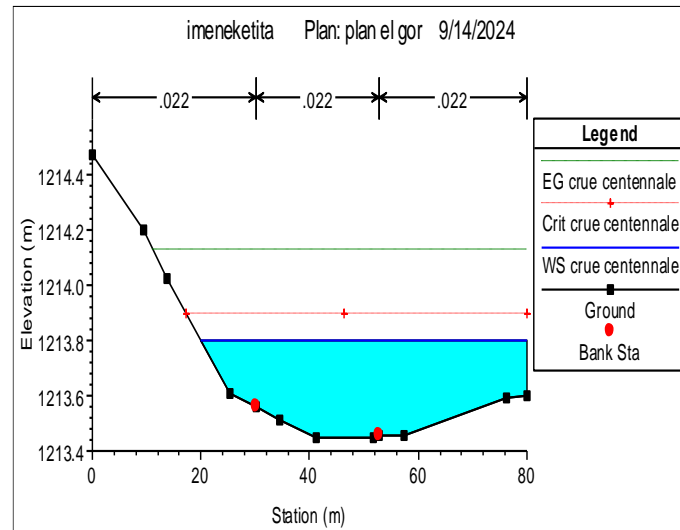


Figure IV.10 : profile en travers dans le tronçon 03 d'Oued El Gor, Station 8966.

II.4.3.résultats de la simulation :

Les résultats de la simulation détaillée sont représenté dans le tableau suivant de l'ensemble des tronçons :

CHAPITRE IV ELABORATION DE LA CARTE D'INONDABILITE

Tableau IV.2 : résultats de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 03.

| Oued | tr | station | Q ₁₀₀ (m ³ /s) | Cote fond Oued (m) | N.L Eau (m) | H critique(m) | N.L énergie (m) | Pente (m/m) | V (m/s) | L. Mouillée (m) | Nbre Froude |
|------|-----|---------|---|--------------------------|-------------------|------------------|-----------------------|-------------|------------|-----------------------|----------------|
| Gor | tr3 | 9039 | 40.50 | 1213.71 | 1214.17 | 1214.17 | 1214.34 | 0.006097 | 2.03 | 66.28 | 0.99 |
| Gor | tr3 | 8966 | 40.50 | 1213.45 | 1213.80 | 1213.89 | 1214.13 | 0.016027 | 2.71 | 59.89 | 1.52 |
| Gor | tr3 | 8854 | 40.50 | 1213.04 | 1213.59 | 1213.61 | 1213.77 | 0.005867 | 2.17 | 71.55 | 0.99 |
| Gor | tr3 | 8675 | 40.50 | 1212.58 | 1213.06 | 1213.14 | 1213.34 | 0.010710 | 2.55 | 72.72 | 1.29 |
| Gor | tr3 | 8526 | 40.50 | 1212.13 | 1212.51 | 1212.58 | 1212.78 | 0.013936 | 2.62 | 74.28 | 1.43 |
| Gor | tr3 | 8346 | 40.50 | 1211.63 | 1212.09 | 1212.11 | 1212.31 | 0.007262 | 2.24 | 56.41 | 1.08 |
| Gor | tr3 | 8196 | 40.50 | 1211.13 | 1211.59 | 1211.67 | 1211.89 | 0.011697 | 2.66 | 58.72 | 1.35 |
| Gor | tr3 | 8039 | 40.50 | 1210.66 | 1211.14 | 1211.21 | 1211.40 | 0.008625 | 2.40 | 60.99 | 1.17 |
| Gor | tr3 | 7855 | 40.50 | 1210.37 | 1210.76 | 1210.79 | 1210.95 | 0.007948 | 2.05 | 77.81 | 1.09 |
| Gor | tr3 | 7728 | 40.50 | 1209.78 | 1210.29 | 1210.38 | 1210.59 | 0.009531 | 2.57 | 62.21 | 1.24 |
| Gor | tr3 | 7580 | 40.50 | 1209.24 | 1209.89 | 1209.95 | 1210.14 | 0.009864 | 2.41 | 61.04 | 1.23 |
| Gor | tr3 | 7465 | 40.50 | 1208.98 | 1209.37 | 1209.46 | 1209.69 | 0.017091 | 2.87 | 97.80 | 1.58 |
| Gor | tr3 | 7204 | 40.50 | 1208.55 | 1209.08 | 1209.08 | 1209.25 | 0.005673 | 1.96 | 69.50 | 0.95 |
| Gor | tr3 | 7034 | 40.50 | 1208.29 | 1208.81 | 1208.80 | 1208.97 | 0.004936 | 1.91 | 83.62 | 0.90 |
| Gor | tr3 | 6908 | 40.50 | 1208.01 | 1208.58 | 1208.58 | 1208.76 | 0.005756 | 2.01 | 69.66 | 0.96 |
| Gor | tr3 | 6797 | 40.50 | 1207.84 | 1208.32 | 1208.36 | 1208.54 | 0.007765 | 2.22 | 66.50 | 1.10 |
| Gor | tr3 | 6676 | 40.50 | 1207.10 | 1208.14 | 1207.92 | 1208.24 | 0.001411 | 1.42 | 61.81 | 0.52 |
| Gor | tr3 | 6579 | 40.50 | 1207.13 | 1208.13 | | 1208.20 | 0.001053 | 1.19 | 62.63 | 0.45 |

CHAPITRE IV ELABORATION DE LA CARTE D'INONDABILITE

Tableau IV.2 : résultats de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 03.

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|------|-------|---------|---------|---------|---------|----------|------|-------|------|
| Gor | tr3 | 6454 | 40.50 | 1207.32 | 1208.00 | | 1208.13 | 0.003990 | 1.63 | 59.93 | 0.80 |
| Gor | tr3 | 6292 | 40.50 | 1207.10 | 1207.69 | 1207.69 | 1207.87 | 0.006317 | 2.02 | 58.97 | 1.00 |
| Gor | tr3 | 6111 | 40.50 | 1206.80 | 1207.24 | 1207.30 | 1207.47 | 0.009259 | 2.31 | 75.65 | 1.19 |
| Gor | tr3 | 5955 | 40.50 | 1206.53 | 1207.00 | 1206.97 | 1207.14 | 0.004513 | 1.70 | 70.30 | 0.84 |
| Gor | tr3 | 5767 | 40.50 | 1206.27 | 1206.80 | | 1206.90 | 0.003346 | 1.38 | 78.34 | 0.71 |
| Gor | tr3 | 5608 | 40.50 | 1205.93 | 1206.56 | 1206.50 | 1206.70 | 0.004017 | 1.51 | 59.09 | 0.78 |
| Gor | tr3 | 5450 | 40.50 | 1205.69 | 1206.26 | 1206.26 | 1206.45 | 0.005920 | 2.04 | 62.74 | 0.98 |
| Gor | tr3 | 5319 | 40.50 | 1205.48 | 1206.18 | 1206.03 | 1206.27 | 0.001878 | 1.44 | 72.41 | 0.58 |
| Gor | tr3 | 5187 | 40.50 | 1205.38 | 1205.96 | 1205.96 | 1206.14 | 0.004944 | 2.05 | 65.51 | 0.91 |
| Gor | tr3 | 5055 | 40.50 | 1205.12 | 1205.87 | 1205.72 | 1205.94 | 0.001474 | 1.33 | 77.92 | 0.52 |
| Gor | tr3 | 4929 | 40.50 | 1205.09 | 1205.67 | 1205.67 | 1205.84 | 0.004784 | 1.97 | 70.90 | 0.89 |
| Gor | tr3 | 4795 | 40.50 | 1204.81 | 1205.34 | 1205.38 | 1205.57 | 0.008485 | 2.26 | 57.85 | 1.15 |
| Gor | tr3 | 4669 | 40.50 | 1204.58 | 1205.10 | 1205.11 | 1205.28 | 0.007515 | 1.95 | 64.62 | 1.06 |
| Gor | tr3 | 4508 | 40.50 | 1203.95 | 1204.52 | 1204.62 | 1204.88 | 0.009879 | 2.73 | 46.21 | 1.27 |
| Gor | tr3 | 4384 | 40.50 | 1203.84 | 1204.61 | 1204.44 | 1204.69 | 0.001558 | 1.42 | 71.84 | 0.54 |
| Gor | tr3 | 4251 | 40.5 | 1203.76 | 1204.40 | 1204.40 | 1204.58 | 0.004588 | 2.11 | 64.97 | 0.89 |

Le tableau suivant représente les résultats de la simulation dans le tronçon 02.

CHAPITRE IV ELABORATION DE LA CARTE D'INONDABILITE

Tableau IV.3 : résultats de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 02.

| Oued | tr | station | Q ₁₀₀ (m ³ /s) | Cote fond Oued (m) | N.L Eau (m) | H critique(m) | N.L énergie (m) | Pente (m/m) | V (m/s) | L. Mouillée (m) | Nbre Froude |
|------|-----|---------|---|--------------------------|-------------------|------------------|-----------------------|-------------|------------|-----------------------|----------------|
| Gor | tr2 | 4125 | 40.50 | 1203.11 | 1203.75 | 1203.91 | 1204.26 | 0.015017 | 3.37 | 31.71 | 1.57 |
| Gor | tr2 | 3972 | 40.50 | 1202.53 | 1203.39 | 1203.43 | 1203.69 | 0.007855 | 2.55 | 36.79 | 1.15 |
| Gor | tr2 | 3805 | 40.50 | 1202.47 | 1203.27 | 1203.11 | 1203.36 | 0.002012 | 1.54 | 65.83 | 0.61 |
| Gor | tr2 | 3661 | 40.50 | 1202.65 | 1203.06 | 1203.06 | 1203.21 | 0.006819 | 1.94 | 78.85 | 1.02 |
| Gor | tr2 | 3481 | 40.50 | 1201.88 | 1202.57 | 1202.60 | 1202.85 | 0.006141 | 2.40 | 43.30 | 1.03 |
| Gor | tr2 | 3283 | 40.50 | 1201.46 | 1202.25 | 1202.13 | 1202.38 | 0.002396 | 1.68 | 57.52 | 0.66 |
| Gor | tr2 | 3109 | 40.50 | 1201.40 | 1202.01 | 1202.01 | 1202.20 | 0.004987 | 2.05 | 63.59 | 0.92 |
| Gor | tr2 | 2910 | 40.50 | 1200.99 | 1201.45 | 1201.53 | 1201.75 | 0.011481 | 2.60 | 56.61 | 1.33 |
| Gor | tr2 | 2766 | 40.50 | 1200.63 | 1201.33 | 1201.33 | 1201.51 | 0.003848 | 2.01 | 70.22 | 0.83 |
| Gor | tr2 | 2629 | 40.50 | 1200.49 | 1201.05 | 1201.10 | 1201.29 | 0.006897 | 2.39 | 62.05 | 1.08 |
| Gor | tr2 | 2467 | 40.50 | 1200.18 | 1200.79 | 1200.82 | 1201.03 | 0.006144 | 2.32 | 54.23 | 1.02 |
| Gor | tr2 | 2366 | 40.50 | 1200.00 | 1200.69 | 1200.58 | 1200.82 | 0.003087 | 1.68 | 54.00 | 0.73 |
| Gor | tr2 | 2251 | 40.50 | 1199.93 | 1200.64 | | 1200.72 | 0.002172 | 1.31 | 79.35 | 0.60 |
| Gor | tr2 | 2161 | 40.50 | 1199.91 | 1200.46 | 1200.46 | 1200.62 | 0.005376 | 2.03 | 83.15 | 0.94 |
| Gor | tr2 | 2049 | 40.50 | 1199.75 | 1200.21 | 1200.26 | 1200.40 | 0.007708 | 2.24 | 98.14 | 1.10 |
| Gor | tr2 | 1900 | 40.50 | 1199.51 | 1199.93 | 1199.94 | 1200.06 | 0.006736 | 1.88 | 114.90 | 1.00 |
| Gor | tr2 | 1764 | 40.50 | 1199.13 | 1199.66 | 1199.64 | 1199.79 | 0.005740 | 1.63 | 81.92 | 0.91 |

CHAPITRE IV ELABORATION DE LA CARTE D'INONDABILITE

Le tableau suivant représente les résultats de la simulation dans le tronçon 01.

Tableau IV.4 : résultats de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 01.

| Oued | tr | station | Q ₁₀₀ (m ³ /s) | Cote fond Oued (m) | N.L Eau (m) | H critique(m) | N.L énergie (m) | Pente (m/m) | V (m/s) | L. Mouillée (m) | Nbre Froude |
|------|-----|---------|---|--------------------------|-------------------|------------------|-----------------------|-------------|------------|-----------------------|----------------|
| Gor | tr1 | 1613 | 40.50 | 1198.90 | 1199.35 | 1199.35 | 1199.50 | 0.007128 | 1.66 | 79.01 | 0.99 |
| Gor | tr1 | 1472 | 40.50 | 1198.67 | 1198.83 | 1198.91 | 1199.10 | 0.013890 | 0.91 | 79.66 | 1.10 |
| Gor | tr1 | 1273 | 40.50 | 1198.22 | 1198.64 | 1198.61 | 1198.73 | 0.004447 | 1.51 | 117.80 | 0.81 |
| Gor | tr1 | 1074 | 40.50 | 1198.02 | 1198.38 | | 1198.46 | 0.004374 | 1.36 | 123.40 | 0.79 |
| Gor | tr1 | 89 | 40.50 | 1197.68 | 1198.00 | 1198.00 | 1198.12 | 0.006777 | 1.31 | 106.93 | 0.92 |
| Gor | tr1 | 726 | 40.50 | 1197.32 | 1197.65 | 1197.66 | 1197.80 | 0.008075 | 1.54 | 94.95 | 1.02 |
| Gor | tr1 | 555 | 40.50 | 1197.03 | 1197.31 | 1197.31 | 1197.42 | 0.007039 | 1.48 | 122.30 | 0.96 |
| Gor | tr1 | 416 | 40.50 | 1196.81 | 1196.95 | 1196.99 | 1197.13 | 0.006513 | 0.75 | 120.00 | 0.79 |
| Gor | tr1 | 282 | 40.50 | 1196.19 | 1196.67 | 1196.56 | 1196.78 | 0.002777 | 0.80 | 117.60 | 0.58 |
| Gor | tr1 | 88 | 40.50 | 1195.93 | 1196.44 | 1196.44 | 1196.59 | 0.003504 | 0.95 | 100.10 | 0.66 |

II.5. discussion des résultats :

Les résultats de la simulation montrent que la vitesse varie entre 0,75 m/s et 2,87 m/s avec un nombre de Froude qui oscille entre 0,45 et 1,58 ce qui indique la présence des deux types d'écoulement fluvial et torrentiel, dans les sections à écoulement fluvial les dépôts seront considérables, cette accumulation causera la surélévation rapide de niveau d'eau et l'accentuation des débordements avec le temps.

Le tronçon 01 d'Oued El Gor est inondable à l'amont comme à l'aval, il nécessite un aménagement adéquat pour protéger les zones mis en danger à la sortie de la ville. Le débordement est marqué sur les deux rives de l'Oued en l'aval et sur la rive gauche beaucoup plus en amont, ce qui va mettre les habitants sur la rive gauche plus une caserne en risque d'inondation, sur la rive droite, la densité de la population est peu importante que la gauche et un peu éloignée de lit d'Oued.

Le tronçon 02 déborde tout au long. Ce débordement est beaucoup plus en aval sur la rive droite allons vers la voirie CW115 qui relie le chemin de la Wilaya CW103 allons de la commune El Gor jusqu'à Ras El Ma (Sidi Bel Abbes) avec la route nationale N22, la chaussée risque d'être inondée lors du passage d'une crue centennale comme le cas en 2015 suite aux fortes chutes de pluies sous forme d'averse orageuses (selon le bilan météorologique spécial BMS).

Le tronçon 03 n'a pas la capacité de permettre le passage de la crue centennale, mettant un jardin, une mosquée et une station d'essence situé sur la rive droite plus un tissu urbain dense à l'aval en danger.

Donc l'aménagement sera projeté de l'amont vers l'aval sur une longueur de 2296,48m.

III. la carte d'inondabilité :

Les cartes des zones inondables définies les zones couvertes par l'eau lors d'inondations réelles ou potentielles. Elles peuvent démontrer les probabilités d'inondations et leurs impacts sur les infrastructures, les personnes et les biens. La carte d'inondabilité a été établie suivant les résultats trouvés par la simulation en faisant une exportation des résultats à partir du Ras Mapper vers ArcGis pour la cartographie et le géoréférencement. La carte des zones inondables de zone urbanisée de la commune El Gor pour une période de retour centennale est montrée sur la figure suivante :

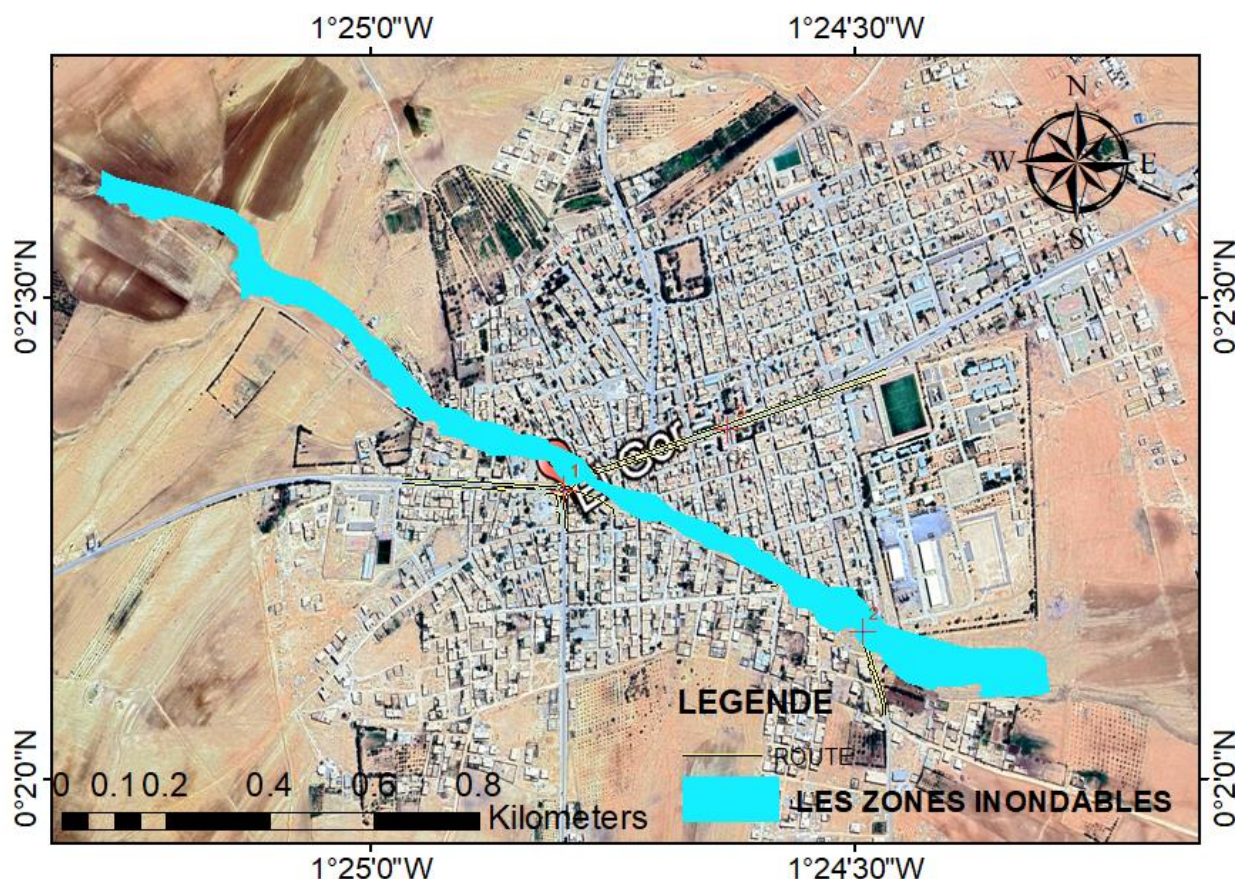


Figure IV.11 : la carte d'inondabilité pour une période de retour centennale.

Conclusion :

Dans ce chapitre on a étudié les écoulements dans les cours d'eaux El Gor non aménagés en utilisant un Modèle hydrodynamique HEC-RAS pour une crue d'une période de retour centennale, et d'après les résultats obtenus on a mis en place une carte des zones inondables de la zone d'étude, cela nous permettra de visualiser les tronçons atteints d'inondation dans le but de les protéger par la proposition d'une variante d'aménagement adéquate.

La prochaine étape sera l'aménagement des tronçons d'oueds sélectionnés en totalité puisque le linéaire n'est pas important et la quasi-totalité des profils en travers montrent une susceptibilité d'inondation lors du passage de la crue centennale mettant toute une agglomération en danger.

A decorative graphic of a scroll with a grey shadow, framing the chapter title.

CHAPITRE V: LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

Introduction :

Le but essentiel de l'étude est assurer une bonne protection du centre d'El Gor contre les inondations. L'aménagement consiste dans un premier temps à limiter la progression d'oued vers les habitations et à éviter ensuite le débordement des eaux de ces derniers, lors des crues vers les habitations tout autour, dans un deuxième temps. Pour ces raisons, nous insistons à proposer trois variantes, qui garantiront la protection de la zone d'étude contre les débordements d'oued ; mais aussi faut-il que sa faisabilité soit évidente du point de vue technique et qu'elle soit, bien adaptée au terrain et à ses conditions topographiques.

I. Ecoulement dans les canaux à ciel ouvert :

I.1. Généralités :

On appelle canal, un système de transport dans lequel l'eau s'écoule dans une section ouverte. Ce qui caractérise les écoulements dans des canaux est leur surface libre soumise à une pression atmosphérique (Chow, 1959). On distingue deux catégories de canaux :

- **Canal naturel :** Ce sont les canaux qu'on retrouve dans la nature que ce soient des oueds, ruisseau, torrent, fleuves ou rivières.
- **Canal artificiel :** Le canal artificiel que l'Homme se construit pour pallier les manques de la Nature pour ses besoins de transports et d'irrigation et pour la navigation généralement plus étroit et peu profond qu'un passage naturel.

I.2. types d'écoulement :

On peut définir les écoulements suivants la variabilité de caractéristiques hydrauliques tels que le tirant d'eau et la vitesse en fonction du temps et l'espace.

- **Variabilité dans le temps :**

L'écoulement est permanent (ou stationnaire) si la vitesse « V » et la profondeur « h » et d'autres caractéristiques de l'écoulement restent invariables dans le temps en grandeur et en direction. Dans le cas contraire l'écoulement est non permanent (non-stationnaire) (Chow, 1959).

Autrement dit, On dit qu'un écoulement est permanent si le champ des vitesses, la pression, la masse volumique en chaque point ne dépendent pas du temps.

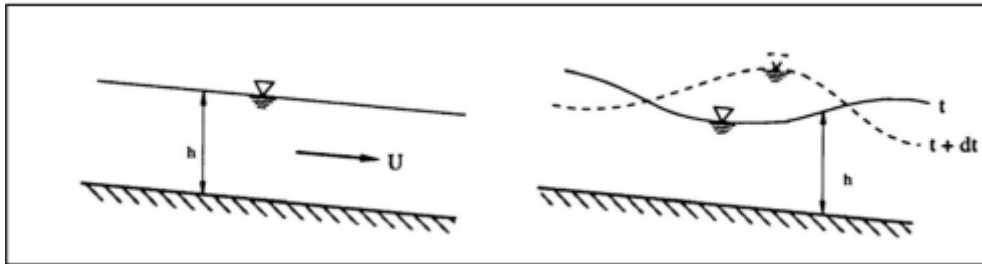


Figure V.1 : schéma des écoulements permanents et non permanents.

- **Variabilité dans l'espace :**

Un écoulement est considéré comme étant uniforme lorsque ses caractéristiques géométriques et hydrauliques sont constants à savoir la pente, la profondeur d'eau, la section, la rugosité et le débit. Autrement dit, c'est lorsque la ligne de fond, la ligne d'énergie et la ligne d'eau sont parallèles (la pente de la ligne d'énergie est égale à la pente de la ligne de fond). Dans la nature, avoir un débit constant, c'est rare, 90% des écoulements dans la nature sont non uniformes.

Dans de nombreux cas, le débit Q dans un canal n'est pas uniforme, donc on parle d'un écoulement varié ou non uniforme, donc la pente du fond sera différente de la pente de la ligne de charge. On fait la distinction entre écoulement graduellement varié et écoulement brusquement varié.

- écoulement graduellement varié : régime d'écoulement où la variation de la hauteur d'eau dans la direction de l'écoulement est très faible.

- l'écoulement rapidement varié : régime d'écoulement où la variation de la hauteur d'eau dans la direction de l'écoulement est très importante.

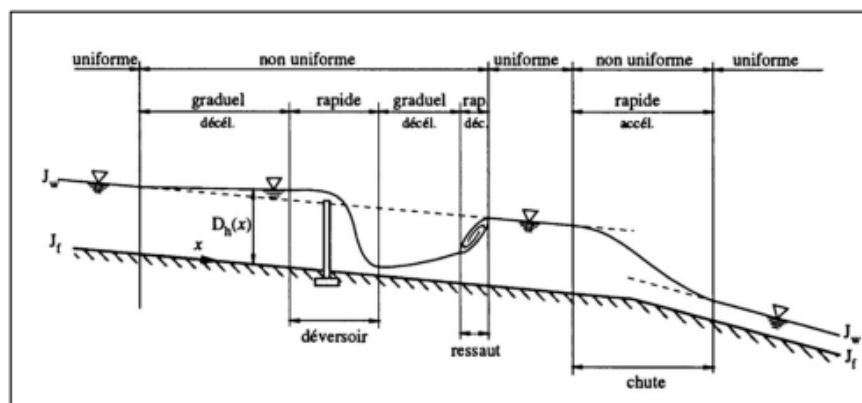


Figure V.2 : schéma des écoulements uniformes et non-uniformes.

Source : (W.H. Graf, Hydraulique Fluviale)

I.3. Régime d'écoulement :

Le régime d'écoulement peut être déterminé en calculant le nombre de Reynolds.

- **Le nombre de Reynolds :** le nombre de Reynolds représente physiquement le rapport entre l'énergie cinétique des particules et l'amortissement visqueux existant dans un écoulement de fluide.
 - $Re < 2000$: régime laminaire
 - $Re = 2000$ régime de transition
 - $Re > 2000$: régime turbulent

Ces valeurs peuvent varier dans la littérature selon le type d'installations, la température et la qualité de l'eau.

I.4. le type d'écoulement :

Le type d'écoulement se caractérise par le nombre de Froude .

- **Le nombre de Froude :** le nombre de Froude représente physiquement le rapport entre la vitesse d'écoulement et la vitesse de propagation d'onde (S. Boualem).

$$Fr = \frac{v_{éc}}{\sqrt{g \cdot H}} \quad V.1 \text{ (pour les canaux rectangulaires)}$$

$$Fr = \frac{v_{éc}}{\sqrt{g \cdot D}} \quad V.2 \text{ (pour les canaux hydrauliques (circulaire..)) : formule de Bousinesq}$$

Avec :

- ✓ **Vec** : la vitesse d'écoulement (m/s) ;
 - ✓ **g** : accélération de la pesanteur (m/s^2) ;
 - ✓ **H** : le tirant d'eau (m) ;
 - ✓ **D** = S/T étant le rapport entre la section mouillée et la largeur au miroir ;
-
- $Fr < 1$: écoulement fluvial (sous-critique)
 - $Fr = 1$ écoulement critique
 - $Fr > 1$: écoulement torrentiel (super-critique)

I.5. Dimensionnement des canaux :

Dans les canaux ouverts, l'écoulement uniforme se développe lorsque les forces de résistance s'opposant à l'écoulement sont équilibrées par les forces de gravité. Les forces de résistances sont proportionnelles à V^2 .

Lorsqu'un écoulement entrant dans un canal s'effectue de façon lente, la vitesse et par conséquent la résistance à l'écoulement sont faibles. Les forces de gravité sont alors prédominantes et l'écoulement subit alors une accélération depuis l'amont. La vitesse ainsi que la résistance augmentent au fur et à mesure que l'on se déplace vers l'aval, jusqu'à ce que les forces de gravité soient équilibrées. A cet instant, l'écoulement uniforme apparaît.

Les écoulements uniformes dans les canaux et conduites sont régis par les relations de Chézy et de Manning (ou de Manning-Strickler) qui sont les plus largement utilisées. Actuellement, et depuis plus de deux siècles, le calcul hydraulique est basé sur les deux fameuses formules habituelles de Chézy et de Manning qui ont prouvé leurs efficacité car d'un point de vue conceptuel et pratique ce sont les formules les plus fondées et les plus simples à utiliser.

- **La formule de Chezy :**

La formule de Chézy est probablement la première formule destinée au calcul de l'écoulement uniforme. La vitesse moyenne V s'exprime par :

$$V = C \sqrt{Rh \cdot I} \quad V.3$$

En remplaçant cette formule dans l'équation de la continuité ($Q = V \cdot S$) on obtient :

$$Q = C \sqrt{Rh \cdot I} \cdot S \quad V.4$$

Avec :

- ✓ **C** : coefficient de Chézy ($m^{0.5}/s$) ;
- ✓ **S** : section mouille (m^2) ;
- ✓ **Rh** : rayon hydraulique, $Rh = S/P$ (m) ;
- ✓ **I** : pente de canal (mm/mm) ;

- **La formule de Mnannig –Strickler (Gauckler-Manning-Strickler):**

La vitesse moyenne V de l'écoulement uniforme peut être également évaluée par la formule dite de Manning (1891). La vitesse V est liée au coefficient C de résistance de l'écoulement, au rayon hydraulique Rh et à la pente I du canal. A l'origine.

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

Avec : $C = K.Rh^{1/6} V.5$

$$V = K.Rh^{2/3} \sqrt{I} \quad V.6$$

La relation a été ensuite modifiée par plusieurs auteurs pour s'écrire, en unité métrique :

$$V = \frac{1}{n} . Rh^{2/3} \sqrt{I} \quad V.7$$

En remplaçant cette formule dans l'équation de la continuité ($Q = V.S$) on obtient :

$$Q = \frac{1}{n} . S . Rh^{2/3} \sqrt{I} \quad V.8$$

Avec :

- ✓ $K = 1/n$: coefficient de rugosité de STRICKLER, dépend de la nature du matériau du canal ;

La formule de Manning – Strickler est celle qui est largement utilisée pour l'écoulement uniforme dans les canaux ouverts . Dans notre dimensionnement, on utilisera la formule de Manning-Strickler.

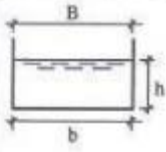
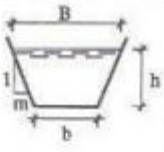
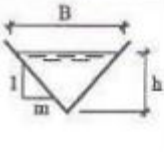
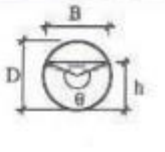
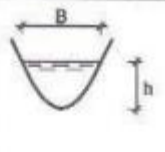
| |  |  |  |  |  |
|------------------------------|---|---|---|---|---|
| | Rectangle | Trapeze | Triangle | Cercle | Parabole |
| Surface S | $b h$ | $(b + mh)h$ | mh^2 | $\frac{1}{8} (\theta - \sin \theta) D^2$ | $\frac{2}{3} B h$ |
| Périmètre mouillé P | $b + 2h$ | $b + 2h\sqrt{1+m^2}$ | $2h\sqrt{1+m^2}$ | $\frac{1}{2} \theta D$ | $B + \frac{8}{3} \frac{h^2}{B} *$ |
| Rayon hydraulique R_h | $\frac{b h}{b + 2h}$ | $\frac{(b + mh) h}{b + 2h\sqrt{1+m^2}}$ | $\frac{mh}{2\sqrt{1+m^2}}$ | $\frac{1}{4} \left[1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right] D$ | $\frac{2B^2 h}{3B^2 + 8h^2} *$ |
| Largeur B | b | $b + 2mh$ | $2mh$ | $(\sin \theta/2) D$ ou $2 \sqrt{h (D-h)}$ | $\frac{3}{2} \frac{S}{h}$ |
| Profondeur hydraulique D_h | h | $\frac{(b + mh) h}{b + 2mh}$ | $\frac{1}{2} h$ | $\left[\frac{\theta - \sin \theta}{\sin \theta/2} \right] \frac{D}{8}$ | $\frac{2}{3} h$ |

Figure V.3 : Éléments géométriques pour divers formes de canaux.

Source : Chenaoui Bekhta, 2021 Chlef.

II. les techniques d'aménagement fluviaux :

Une inondation est le phénomène occasionnel qui peut noyer de vastes parties du lit majeur ou de la plaine, à la suite d'une crue particulièrement importante et du débordement des eaux. De façon plus pragmatique, on admet qu'une rivière est en crue lorsqu'elle déborde des limites de son lit mineur.

Une fois la situation du risque est décrite, il est possible de faire une prévision d'un large éventail d'aménagements qui pourra a priori participer à la réduction des conséquences des écoulements provoquant les inondations. Ces aménagements peuvent être prévus au niveau du bassin versant et dans le lit majeur des cours d'eau.

II.1 La protection indirecte : La protection indirecte, consiste à intervenir plus loin du site menacé en aménageant un ouvrage de dérivation des oueds responsables des inondations, vers d'autres bassins, situés à l'extérieur de la zone menacée pour l'évacuer vers des zones à faible vulnérabilité ou on admet l'inondation du terrain.

II.2 La protection directe : La protection directe consiste à intervenir directement sur les sites menacés, en y aménageant des ouvrages de protections appropriés, qui peuvent atténuer d'une manière significative les effets néfastes des crues. Le type d'aménagement le plus utilisé est la protection des berges et le lit d'oued contre l'érosion, il existe plusieurs techniques d'aménagement on peut citer :

- **Recalibrage du cours d'eau :**

Intervention sur une rivière consistant à reprendre en totalité le lit et les berges du cours d'eau dans l'objectif prioritaire est d'augmenter la capacité hydraulique du tronçon.

Le principe du recalibrage consiste à augmenter la débitance du lit mineur en augmentant la section d'écoulement par élargissement du lit, approfondissement ou les deux, aboutissant à un milieu totalement modifié : suppression de la végétation des berges, destruction de l'habitat piscicole, etc.

Le recalibrage des cours d'eau est probablement l'un des types d'intervention les plus fréquemment réalisés. Notons que le recalibrage d'un cours d'eau a souvent été couplé à d'autres interventions telles que : La protection des berges contre l'érosion.

- **Génie végétale :**

Elle consiste à protéger les berges par l'action stabilisatrice du couvert végétal qui sert à améliorer les caractéristiques physiques et chimiques du sol ainsi que la lutte contre le ruissellement, que ce soit des végétaux vivants (les saules, arbre et arbuste, le sisal...) ou morts comme des branches de saule entrelacées autour d'une rangée de pieux de stabilisation pour former un tressage par exemple. Le rôle de la végétation dans la stabilisation de l'érosion des sols est connu depuis l'antiquité (Andel & Al, 1986)

Ces techniques comprennent aussi l'ensemencement sur des toiles biodégradables. Ces toiles permettent de retenir le sol en attendant que la végétation pousse, ou maintenu avec la végétation (non biodégradable) où le risque d'érosion est très important.

- **canaux en dur :**

Elle paraît d'être la solution la plus simple mais la plus coûteuse et inadéquate avec l'environnement car il est mauvais de trop imperméaliser, car l'écoulement va creuser ailleurs en affectant d'autres zones.

Les canaux en dur peuvent être des canaux réalisés par coulage de béton ou par clouage de dalles de bétons ou métalliques.

- **enrochement :** L'enrochement est réalisé avec des blocs dont la taille doit être dimensionnée en fonction du gabarit du cours d'eau et assemblés soigneusement. C'est une technique très fréquente qui consiste à stabiliser les berges (et le fond) par un empilement d'enrochement de carrière avec un fruit des talus assez faible pour aboutir à un angle entre 36° et 40°, 45° est retenu comme valeur limite pour l'enrochement libre sans lien de béton.

- **Gabions ou matelas Reno :** Les caissons de gabions sont des cages grillagées parallélépipédiques emplies de cailloux, galets ou de pierres issues de carrières, ils sont constitués de fils de fer revêtus de Galvalum tressés remplis sur le chantier pour former une structure flexible, perméable et monolithique pour protéger les berges, contre l'érosion.

Les gabions sont disposés de manière à former les marches de l'escalier, créant ainsi une structure solide et durable. Les escaliers en gabion sont idéaux pour les terrains en pente.

Les matelas Reno doit son nom aux premiers ouvrages hydrauliques réalisés sur le fleuve Reno près de Bologne, en Italie, ce sont aussi des caisses de gabion de grandes dimensions

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

et d'environ 30 cm d'épaisseur au maximum, ils sont plus discrets que les gabions. Par ailleurs, le Matelas Reno s'intègre mieux dans l'environnement (peut être végétalisé) et nécessite moins de maintenance.

III. suggestion des variantes d'aménagement :

Le tableau suivant donne une description générale point de vue aménagement conçu si il existe, les vocations de chaque zone, le degré d'inondabilité et la pente moyenne qui génère le mois de remblai et de déblai dans chaque tronçon :

Tableau V.1 : description des tronçons de Oued El Gor.

| Oued | tronçon | vocation | Aménagement existants | Pente moyenne m/m |
|--------|---------|---|-----------------------|-------------------|
| El Gor | Tr1 | Moyennement urbanisé | Non aménagé | 0,0048 |
| El Gor | Tr2 | Fortement urbanisé | Non aménagé | 0,0041 |
| El Gor | Tr3 | Fortement urbanisé en aval-rural en amont | Non aménagé | 0,0045 |

Les cours d'eau évoluent perpétuellement selon des caractéristiques physiques et saisonnières ou des dégradations hydro morphologique sont souvent marqués, les cours d'eau changent de forme et direction après chaque crue. C'est pourquoi, il est nécessaire d'intervenir régulièrement pour les préserver.

L'objectif majeur reste la protection des personnes et des biens de valeur contre les dangers dus à l'eau, pour cela, on va proposer 3 variantes des aménagements fluviaux possible, la planification et la mise en œuvre de l'aménagement de l'oued doit être adapté à la topographie du terrain, abordable point de vue technico-économique en respectant la situation financière des pouvoirs publics.

Les acteurs externes à l'administration s'opposent le plus fréquemment aux projets d'aménagement fluvial influant de façon régulatrice ou restrictive sur l'activité agricole ou l'extension des infrastructures.

III.1.variante 01 : canal en dur « bétonnage »:

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

L'aménagement consiste à projeter un canal trapézoïdal à ciel ouvert en béton armé avec un fruit de talus $m=0,577$ et un angle de 60° .

Le choix de la section trapézoïdale est motivé parce qu'elle permet une construction rapide et protection accrue, la plus adaptée à la section naturelle du cours d'eau ce qui réduit le volume des terrassements. La section trapézoïdale présente le profil le plus rentable hydrauliquement, pour sa grande capacité de transit des eaux, le champ de l'écoulement est maximal, ainsi que. En générale des sections trapézoïdales sont utilisées pour les chenaux érodables. De point de vue stabilité du canal, le béton armé a montré une effective résistance pour les sections trapézoïdale plus satisfaisante que les autres formes.

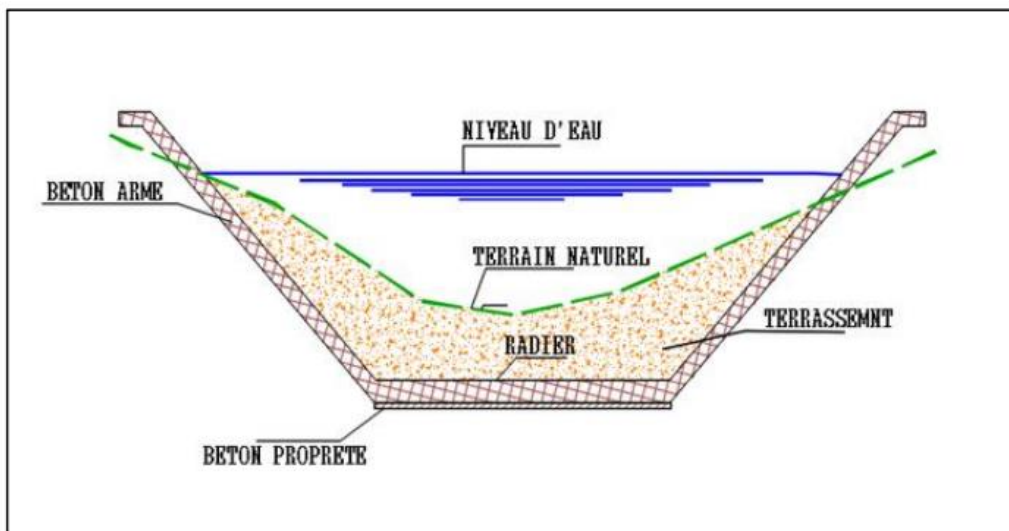


Figure V.4: Coupe en travers d'une section trapézoïdale en béton armé.

➤ **Avantage :**

- Difficilement endommagées, solide et durable
- Une longue durée de vie et nécessite peu d'entretien (60 à 100 ans).
- Résistant au feu
- Facilité d'entretien des canaux

➤ **Inconvénients :**

- La solution la plus coûteuse.
- Inadéquat avec l'environnement (il ne faut pas trop imperméaliser car l'oued va s'étendre vers d'autres zones donc le problème à déplacer)

- Avec sa composition, tout béton est susceptible de se « carbonater » (vieillissement de béton) après 50 ans environ qui peut s'accélérer selon la pollution et l'humidité de l'air. On peut détecter des signes de carbonatation sur la surface du béton à travers les barres d'aciers qui sont mis à nu ainsi leurs corrosion ou les éclatements de béton.
- Sa mise en œuvre nécessite un travail de coffrage et de ferrailage plus complexe que d'autres matériaux.

III.1.1. Choix des paramètres de dimensionnement :

- **La pente du projet :** la pente moyenne doit être choisie d'une façon convenable avant de procéder le calcul hydraulique, le canal sera dimensionné en se basant sur la pente moyenne qui génère le moins des volumes des terrassements possibles, 0,48%, 0,41% et 0,45% étant les pentes choisies pour les tronçons 01, 02 et 03 successivement.
- **La vitesse d'érosion :** les pentes de projet choisies doivent assurer une vitesse moyenne de flux inférieure à la vitesse limite d'érosion (admissible) du revêtement afin de résister contre l'action dynamique du courant d'eau et les forces hydrostatiques qui s'exercent sur les parois pour assurer une durée de vie prolongée de l'ouvrage de protection.

Tableau V.2 : les vitesses limites selon la nature du lit.

| La nature du revêtement | La vitesse limite (m/s) |
|-------------------------------|-------------------------|
| Pavage de pierre a une couche | 2,50-4,00 |
| Gabion | 4,00-6,00 |
| Revêtement en béton | 6,00-10,00 |
| Béton amélioré | 10,00 |

Source : Degoutte, 2012.

- **Le coefficient de rugosité :** la rugosité du canal dépendant de la nature du revêtement, les valeurs de la rugosité de certains revêtements sont données dans le tableau suivant :

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

Tableau V.3: valeurs de coefficient de rugosité n.

| La nature du lit ou du revêtement | Valeur de rugosité n |
|-----------------------------------|----------------------|
| Canal avec revêtement en béton | 0.014 |
| Canal en terre | 0.022 |
| Canal en pierres sèches | 0.025 |
| Canal en gabions | 0.030 |

Source : Chen et Coton, 1986.

➤ Dimensionnement :

Après avoir fixé les paramètres de dimensionnements, le dimensionnement du canal trapézoïdal se fera à l'aide de logiciel Flow Master.

➤ FlowMaster :

Ce logiciel est appelé boîte à outils pour les systèmes hydrauliques. En mode normal, effectuer des calculs hydrauliques à grande échelle s'accompagne d'erreurs, mais avec ce logiciel on pourra effectuer les calculs hydrauliques dans plusieurs types d'éléments différents, comme les calculs de tubes et de canaux ouverts.

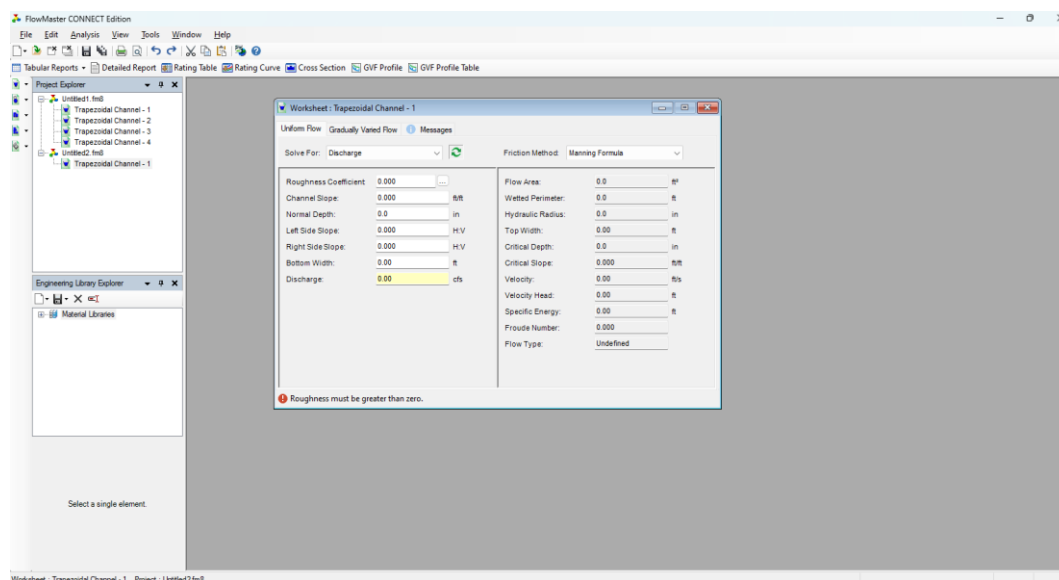


Figure V.5: l'interface de logiciel Flow Master.

On a fixé 3 pentes de projets uniforme pour chaque tronçons de telles sorte à minimiser les volumes excédentaires des déblais et remblais, selon les pentes choisies on a pu obtenir les dimensions des

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

canaux en dur prévu pour chaque tronçon de l'oued, les dimensions sont montrées dans les figures suivantes :

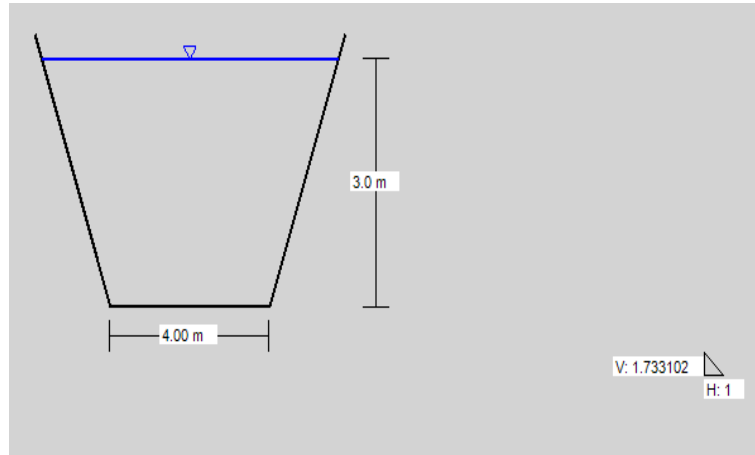


Figure V.6 : les dimensions du canal trapézoïdal du tronçon 03.

Les dimensions du canal sont :

- ✓ Hauteur d'eau : 3m
- ✓ Largeur au fond : 4m

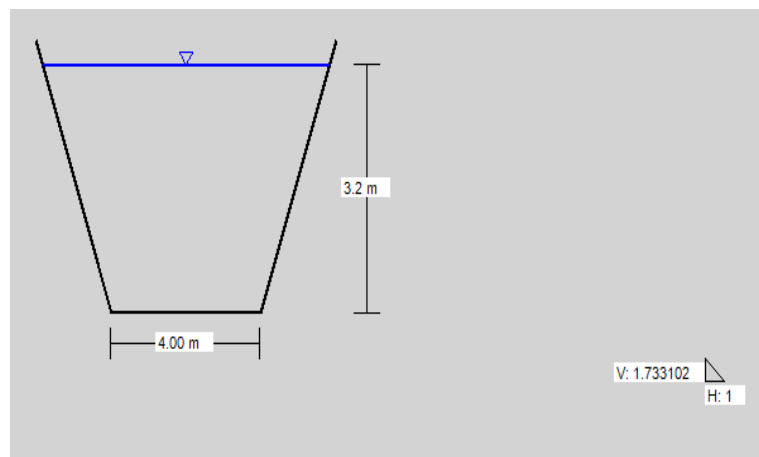


Figure V.7: les dimensions du canal trapézoïdal du tronçon 02.

Les dimensions du canal sont :

- ✓ Hauteur d'eau : 3,2 m
- ✓ Largeur au fond : 4m

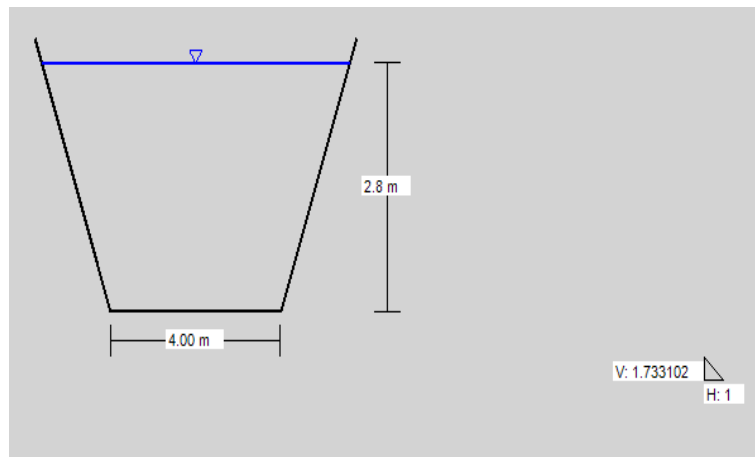


Figure V.8: les dimensions du canal trapézoïdal du tronçon 01.

Les dimensions du canal sont :

- ✓ Hauteur d'eau : 2,8 m
- ✓ Largeur au fond : 4 m

Notant que on a procédé par un approfondissement des canaux pour augmenter leur capacité hydraulique d'évacuation de la crue centennale puisque l'élargissement n'est pas permis à cause de la forte densité de population sur les deux rives.

➤ La revanche :

La revanche est une marge de sécurité ajoutée à la hauteur d'eau calculée afin de tenir compte de la formation des vagues, Variation du niveau du lit du cours d'eau et les débits non stationnaires, et à l'accumulation des dépôts solides dans le fond à la moindre chute de pente au cours du temps. La revanche nécessaire est aussi fixée par rapport aux objets à protéger, du type d'ouvrages de protection ou en fonction du temps de retour du débit de dimensionnement.

Source : la commission pour la protection contre les crues CIPC.

Il existe plusieurs approches pour l'estimation de cette hauteur, en Suisse, les approches les plus fréquemment utilisées sont:

Les valeurs suivantes ont été mentionnées pour les grandeurs fixes:

- Sous les ponts $f_e = \min. 1.0 \text{ m}$
- Ruisseaux $f_e = \min. 0.5\text{--}1.0 \text{ m}$
- Fleuves/Rivières $f_e = \min. 0.8\text{--}1.0 \text{ m}$

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

- Torrents $fe = \min. 1.5-2.5 \text{ m}$

Source : CIPC.

fe : une grandeur fixe fonction du degré de protection visé et du potentiel de dommages.

Ces valeurs peuvent varier selon les différentes institutions.

La revanche peut être donnée par le tableau suivant :

Tableau V.4 : les valeurs de la revanche.

| Débit (m^3/s) | $Q < 0,75$ | $0,75 < Q < 1,5$ | $1,5 < Q < 1,8$ | $Q > 1,8$ |
|---------------------------------|------------|------------------|-----------------|-----------|
| Revanche(m) | 0,45 | 0,6 | 0,75 | 0,9 |

Source : Chaudry, 2008.

La marge de sécurité oscille, généralement, entre 0,30m pour les petits canaux, et 60cm à 1.20 m pour les grands canaux. Il est donc indispensable de tenir compte de toutes les circonstances qui peuvent conduire à modifier ces indications (Lencastre, 2008).

Pour notre cas on fixe une revanche de 0.5m pour chaque tronçon.

III.1.2 les paramètres d'écoulement :

L'aménagement a été effectué tout au long de la zone concernées puisque la quasi-totalité des sections en travers montrent une inondation lors du passage d'une crue centennale. Le calcul des paramètres d'écoulement sera effectué à l'aide du logiciel HEC-RAS et les résultats de calcul se résument dans le tableau suivant :

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

Tableau V.5 : résultats de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 03.

| Oued | tr | station | Q ₁₀₀ (m ³ /s) | Cote fond Oued (m) | N.L Eau (m) | H critique(m) | N.L énergie (m) | Pente (m/m) | V (m/s) | L. Mouillée (m) | Nbre Froude |
|------|-----|---------|---|--------------------------|-------------------|------------------|-----------------------|-------------|------------|-----------------------|----------------|
| Gor | tr3 | 9039 | 40.50 | 1210.80 | 1212.77 | 1212.77 | 1213.59 | 0.002503 | 4.00 | 6.27 | 1.01 |
| Gor | tr3 | 8966 | 40.50 | 1210.65 | 1212.39 | 1212.62 | 1213.49 | 0.003791 | 4.65 | 6.01 | 1.23 |
| Gor | tr3 | 8854 | 40.50 | 1210.41 | 1212.04 | 1212.38 | 1213.33 | 0.004721 | 5.03 | 5.88 | 1.37 |
| Gor | tr3 | 8675 | 40.50 | 1210.04 | 1211.60 | 1212.01 | 1213.04 | 0.005513 | 5.32 | 5.80 | 1.48 |
| Gor | tr3 | 8526 | 40.50 | 1209.73 | 1211.25 | 1211.70 | 1212.77 | 0.005930 | 5.46 | 5.76 | 1.53 |
| Gor | tr3 | 8346 | 40.50 | 1209.35 | 1210.85 | 1211.32 | 1212.43 | 0.006290 | 5.57 | 5.73 | 1.58 |
| Gor | tr3 | 8196 | 40.50 | 1209.04 | 1210.53 | 1211.02 | 1212.13 | 0.006428 | 5.61 | 5.71 | 1.60 |
| Gor | tr3 | 8039 | 40.50 | 1208.71 | 1210.19 | 1210.98 | 1211.82 | 0.006575 | 5.66 | 5.70 | 1.61 |
| Gor | tr3 | 7855 | 40.50 | 1208.33 | 1209.80 | 1210.61 | 1211.45 | 0.006642 | 5.68 | 5.70 | 1.62 |
| Gor | tr3 | 7728 | 40.50 | 1208.06 | 1209.53 | 1210.20 | 1211.19 | 0.006728 | 5.71 | 5.69 | 1.63 |
| Gor | tr3 | 7580 | 40.50 | 1207.75 | 1209.21 | 1209.80 | 1210.88 | 0.006770 | 5.72 | 5.69 | 1.64 |
| Gor | tr3 | 7465 | 40.50 | 1207.51 | 1208.97 | 1209.41 | 1210.64 | 0.006776 | 5.72 | 5.69 | 1.64 |
| Gor | tr3 | 7204 | 40.50 | 1206.97 | 1208.43 | 1208.95 | 1210.10 | 0.006800 | 5.73 | 5.68 | 1.64 |
| Gor | tr3 | 7034 | 40.50 | 1206.62 | 1208.08 | 1208.62 | 1209.75 | 0.006800 | 5.73 | 5.68 | 1.64 |
| Gor | tr3 | 6908 | 40.50 | 1206.35 | 1207.81 | 1208.41 | 1209.49 | 0.006860 | 5.75 | 5.68 | 1.65 |
| Gor | tr3 | 6797 | 40.50 | 1206.12 | 1207.58 | 1208.20 | 1209.26 | 0.006860 | 5.75 | 5.68 | 1.65 |
| Gor | tr3 | 6676 | 40.50 | 1205.87 | 1207.33 | 1207.95 | 1209.01 | 0.006859 | 5.75 | 5.68 | 1.65 |
| Gor | tr3 | 6579 | 40.50 | 1205.67 | 1207.13 | 1207.68 | 1208.81 | 0.006837 | 5.74 | 5.68 | 1.64 |

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

Tableau V.5 : résultats de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 03.

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|------|-------|---------|---------|---------|---------|----------|------|------|------|
| Gor | tr3 | 6454 | 40.50 | 1205.40 | 1206.85 | 1207.70 | 1208.54 | 0.006894 | 5.76 | 5.68 | 1.65 |
| Gor | tr3 | 6292 | 40.50 | 1205.07 | 1206.53 | 1207.05 | 1208.20 | 0.006796 | 5.73 | 5.69 | 1.64 |
| Gor | tr3 | 6111 | 40.50 | 1204.69 | 1206.15 | 1206.66 | 1207.83 | 0.006814 | 5.73 | 5.68 | 1.64 |
| Gor | tr3 | 5955 | 40.50 | 1204.36 | 1205.82 | 1206.33 | 1207.50 | 0.006853 | 5.74 | 5.68 | 1.65 |
| Gor | tr3 | 5767 | 40.50 | 1203.97 | 1205.43 | 1205.94 | 1207.11 | 0.006831 | 5.74 | 5.68 | 1.64 |
| Gor | tr3 | 5608 | 40.50 | 1203.64 | 1205.10 | 1205.61 | 1206.78 | 0.006831 | 5.74 | 5.68 | 1.64 |
| Gor | tr3 | 5450 | 40.50 | 1203.31 | 1204.77 | 1205.28 | 1206.45 | 0.006823 | 5.74 | 5.68 | 1.64 |
| Gor | tr3 | 5319 | 40.50 | 1203.03 | 1204.49 | 1205.00 | 1206.17 | 0.006872 | 5.75 | 5.68 | 1.65 |
| Gor | tr3 | 5187 | 40.50 | 1202.76 | 1204.22 | 1204.73 | 1205.89 | 0.006798 | 5.73 | 5.68 | 1.64 |
| Gor | tr3 | 5055 | 40.50 | 1202.48 | 1203.94 | 1204.45 | 1205.62 | 0.006848 | 5.74 | 5.68 | 1.65 |
| Gor | tr3 | 4929 | 40.50 | 1202.22 | 1203.68 | 1204.19 | 1205.36 | 0.006823 | 5.74 | 5.68 | 1.64 |
| Gor | tr3 | 4795 | 40.50 | 1201.94 | 1203.40 | 1203.91 | 1205.07 | 0.006809 | 5.73 | 5.68 | 1.64 |
| Gor | tr3 | 4669 | 40.50 | 1201.67 | 1203.13 | 1203.64 | 1204.81 | 0.006858 | 5.75 | 5.68 | 1.65 |
| Gor | tr3 | 4508 | 40.50 | 1201.34 | 1202.80 | 1203.31 | 1204.48 | 0.006819 | 5.73 | 5.68 | 1.64 |
| Gor | tr3 | 4384 | 40.50 | 1201.08 | 1202.54 | 1203.05 | 1204.22 | 0.006857 | 5.75 | 5.68 | 1.65 |
| Gor | tr3 | 4251 | 40.50 | 1200.80 | 1202.26 | 1202.77 | 1203.94 | 0.006875 | 5.75 | 5.68 | 1.65 |

Le tableau suivant représente les résultats de la simulation dans le tronçon 02.

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

Tableau V.6 : résultats de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 02.

| Oued | tr | station | Q ₁₀₀ (m ³ /s) | Cote fond Oued (m) | N.L Eau (m) | H critique(m) | N.L énergie (m) | Pente (m/m) | V (m/s) | L. Mouillée (m) | Nbre Froude |
|------|-----|---------|---|--------------------------|-------------------|------------------|-----------------------|-------------|------------|-----------------------|----------------|
| Gor | tr2 | 4125 | 40.50 | 1200.00 | 1201.28 | 1201.97 | 1203.56 | 0.010555 | 6.69 | 5.47 | 2.03 |
| Gor | tr2 | 3972 | 40.50 | 1199.50 | 1200.78 | 1201.47 | 1203.07 | 0.010608 | 6.70 | 5.47 | 2.04 |
| Gor | tr2 | 3805 | 40.50 | 1199.20 | 1202.07 | 1201.17 | 1202.39 | 0.000692 | 2.49 | 7.31 | 0.53 |
| Gor | tr2 | 3661 | 40.50 | 1199.50 | 1201.47 | 1201.47 | 1202.29 | 0.002504 | 4.00 | 6.27 | 1.01 |
| Gor | tr2 | 3481 | 40.50 | 1199.10 | 1200.70 | 1201.07 | 1202.05 | 0.005002 | 5.13 | 5.85 | 1.41 |
| Gor | tr2 | 3283 | 40.50 | 1198.40 | 1199.81 | 1200.37 | 1201.63 | 0.007660 | 5.98 | 5.63 | 1.74 |
| Gor | tr2 | 3109 | 40.50 | 1198.10 | 1199.58 | 1200.07 | 1201.20 | 0.006459 | 5.62 | 5.71 | 1.60 |
| Gor | tr2 | 2910 | 40.50 | 1197.70 | 1199.18 | 1199.67 | 1200.80 | 0.006504 | 5.64 | 5.71 | 1.61 |
| Gor | tr2 | 2766 | 40.50 | 1197.60 | 1199.38 | 1199.57 | 1200.42 | 0.003515 | 4.52 | 6.05 | 1.19 |
| Gor | tr2 | 2629 | 40.50 | 1197.30 | 1198.93 | 1199.27 | 1200.23 | 0.004775 | 5.05 | 5.87 | 1.38 |
| Gor | tr2 | 2467 | 40.50 | 1197.00 | 1198.58 | 1198.97 | 1199.97 | 0.005280 | 5.23 | 5.82 | 1.45 |
| Gor | tr2 | 2366 | 40.50 | 1196.90 | 1198.62 | 1198.87 | 1199.76 | 0.003986 | 4.73 | 5.98 | 1.26 |
| Gor | tr2 | 2251 | 40.50 | 1196.80 | 1198.60 | 1198.77 | 1199.62 | 0.003423 | 4.48 | 6.07 | 1.17 |
| Gor | tr2 | 2161 | 40.50 | 1196.70 | 1198.49 | 1198.67 | 1199.52 | 0.003488 | 4.51 | 6.06 | 1.18 |
| Gor | tr2 | 2049 | 40.50 | 1196.60 | 1198.43 | 1198.57 | 1199.41 | 0.003229 | 4.39 | 6.11 | 1.14 |
| Gor | tr2 | 1900 | 40.50 | 1196.30 | 1197.95 | 1198.27 | 1199.21 | 0.004580 | 4.97 | 5.90 | 1.35 |
| Gor | tr2 | 1764 | 40.50 | 1196.00 | 1197.57 | 1197.97 | 1198.99 | 0.005396 | 5.28 | 5.81 | 1.47 |

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

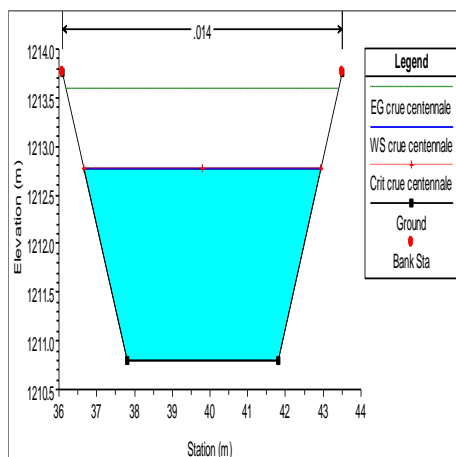
Le tableau suivant représente les résultats de la simulation dans le tronçon 01.

Tableau V.7 : résultats de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 01.

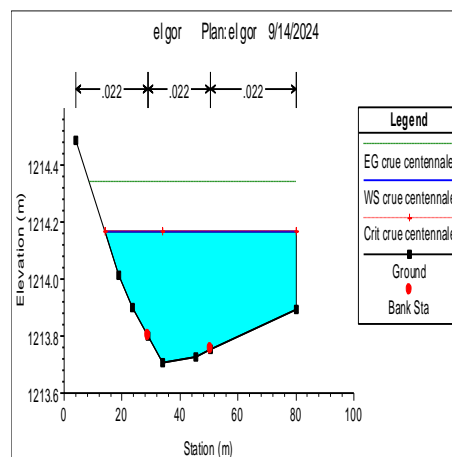
| Oued | tr | station | Q ₁₀₀ (m ³ /s) | Cote fond Oued (m) | N.L Eau (m) | H critique(m) | N.L énergie (m) | Pente (m/m) | V (m/s) | L. Mouillée (m) | Nbre Froude |
|------|-----|---------|---|--------------------------|-------------------|------------------|-----------------------|-------------|------------|-----------------------|----------------|
| Gor | tr1 | 1613 | 40.50 | 1196.00 | 1197.97 | 1197.97 | 1198.79 | 0.002503 | 4.00 | 6.27 | 1.01 |
| Gor | tr1 | 1472 | 40.50 | 1195.80 | 1197.56 | 1197.77 | 1198.63 | 0.003641 | 4.58 | 6.03 | 1.21 |
| Gor | tr1 | 1273 | 40.50 | 1195.50 | 1197.18 | 1197.47 | 1198.38 | 0.004280 | 4.86 | 5.94 | 1.31 |
| Gor | tr1 | 1074 | 40.50 | 1195.20 | 1196.85 | 1197.17 | 1198.11 | 0.004576 | 4.97 | 5.90 | 1.35 |
| Gor | tr1 | 89 | 40.50 | 1194.80 | 1196.37 | 1196.77 | 1197.78 | 0.005373 | 5.27 | 5.81 | 1.46 |
| Gor | tr1 | 726 | 40.50 | 1194.50 | 1196.03 | 1196.47 | 1197.53 | 0.005826 | 5.42 | 5.77 | 1.52 |
| Gor | tr1 | 555 | 40.50 | 1194.10 | 1195.58 | 1196.07 | 1197.20 | 0.006471 | 5.63 | 5.71 | 1.60 |
| Gor | tr1 | 416 | 40.50 | 1193.70 | 1195.13 | 1195.67 | 1196.89 | 0.007329 | 5.88 | 5.65 | 1.70 |
| Gor | tr1 | 282 | 40.50 | 1193.20 | 1194.57 | 1195.17 | 1196.51 | 0.008350 | 6.16 | 5.58 | 1.81 |
| Gor | tr1 | 88 | 40.50 | 1193.00 | 1194.55 | 1194.97 | 1196.01 | 0.005601 | 5.35 | 5.79 | 1.49 |

III.1.3.les profils en travers :

Les profils en travers montrent que le canal projeté assure le transport de la crue centennale sans débordement tout au long du cours d'eau, les sections en travers obtenus par simulation par logiciel HEC RAS pour chaque tronçon sont montrées dans les figures suivantes :



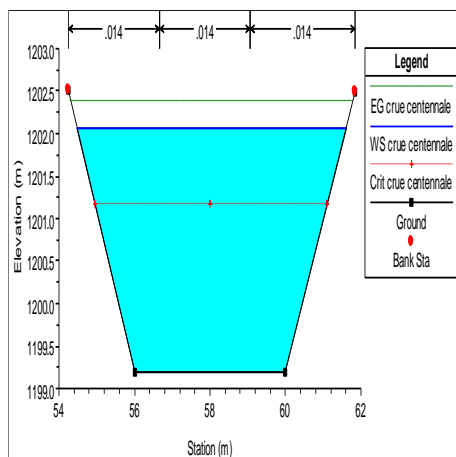
A) Après aménagement



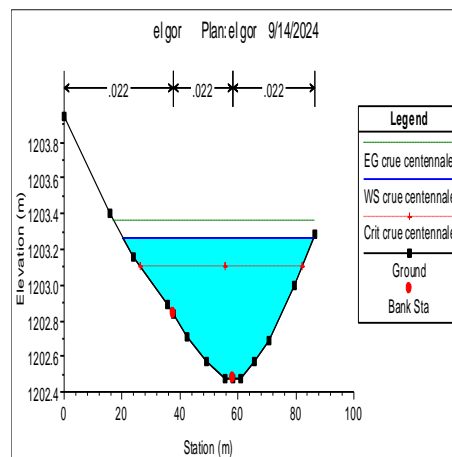
B) avant aménagement

Figures V.9 : les sections transversales dans le tronçon 03, station 9039.

Les figures ci-dessous représentent une section avant et après aménagement dans le tronçon 02.



A) Après aménagement

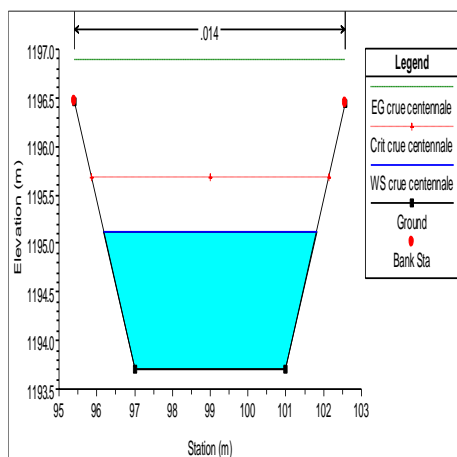


B) avant aménagement

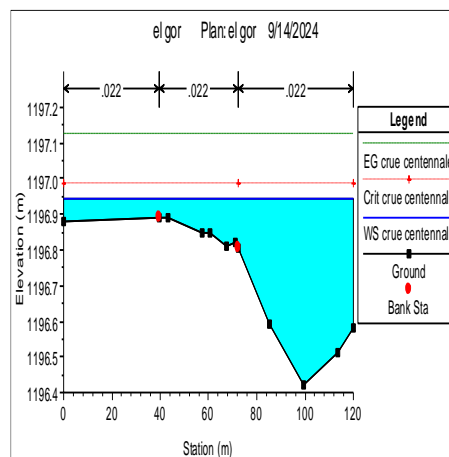
Figures V.10 : les sections transversales dans le tronçon 02, station 3805.

Les figures ci-dessous représentent une section avant et après aménagement dans le tronçon 01.

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT



A) après aménagement



B) avant aménagement

Figures V.11 : section transversale dans le tronçon 01, station 416.

III.1.4.interprétation des résultats :

- **Dans le tronçon 01 :**

Selon le nombre de Froude, nous constatons que le type d'écoulement est torrentiel ($Fr > 1$). De plus, la vitesse d'écoulement ne dépasse pas 10 m/s, ce qui reste admissible au revêtement en béton afin d'éviter l'érosion et l'usure de ce dernier. Le périmètre mouillé atteint un maximum de 6,27 m. D'un point de vue technique. Le canal trapézoïdal en béton armé offre une protection efficace contre la crue centennale.

- **Dans le tronçon 02 :**

L'écoulement est l'écoulement torrentiel hormis une section où l'écoulement est fluvial, les dépôts solides seront considérables dans cette section donc on recommande un curage régulier et un suivi régulier du canal. La vitesse d'écoulement ne dépasse pas 10 m/s, ce qui convient au revêtement en béton afin d'éviter l'érosion et l'usure de ce dernier. D'un point de vue technique, le canal trapézoïdal en béton armé assure le transport de la crue centennale sans débordement.

- **Dans le tronçon 03 :**

Le nombre de Froude est supérieur à 1 donc le type d'écoulement est torrentiel. De plus, la vitesse d'écoulement ne dépasse pas 10 m/s, ce qui convient parfaitement au revêtement en béton.

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

D'un point de vue technique, le canal trapézoïdal en béton armé assure l'évacuation de la crue centennale sans débordement.

III.1.5. estimation du coût de la variante :

Il est estimé que l'épaisseur du revêtement en béton des parois et voiles du canal trapézoïdal varie de 20cm à 25cm (Hadj Sadok.A).

Il est conseillé d'utiliser une épaisseur de 5 cm à 10 cm pour le béton de propreté afin d'éviter le contact des armatures avec le sol et afin d'obtenir une surface de travail propre non terreuse et plane ainsi pour éviter la contamination du béton de fondation par le sol.

- calcul de volume de béton dosé à 350 kg/m³ :

$$V_b = (S_r + S_b).L \quad V.9$$

Avec :

- ✓ **S_r** : la surface du radier en m² ($S_r = e_r.b$). On prend $e_r = 25$ cm ;
- ✓ **B** : la largeur du radier en ;
- ✓ **S_b** : la surface des berges en m² ($S_b = e_b.2.H. \sqrt{1 + m^2}$). On prend $e_b = 25$ cm ;
- ✓ **H** : hauteur du canal en m ;
- ✓ **L** : la longueur d'aménagement en m ;

En aménagement, le béton dosé à 350 kg/m³ est très utilisé pour les raisons suivantes :

- résistance : il assure une bonne résistance pour l'aménagement urbain et paysager.
- durabilité : il assure une longue durée de vie.
- imperméabilité considérable et rapport qualité prix : ce béton offre un équilibre entre la performance et le coût.
- mise en œuvre : il présente une bonne ouvrabilité (selon le con d'ABRAMS), simplicité de mettre en place sur chantier.

Le dosage 350 signifie que la quantité de ciment est de 350 kg par m³, ce dosage est standards et traditionnel pour les ouvrages hydrauliques. Il peut varier selon les fonctionnalités et les performances souhaitées.

- Calcul de volume de béton de propreté :

Se calcule de la même façon que le béton armé sauf pour une épaisseur de 0,1m. Le dosage est de minimum 150 kg/m³ jusqu'à 250 kg/m³ puisqu'il n'est pas de vocation structurelle.

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

Le coût de la variante canal en béton armé est déterminé à partir des quantités des terrassements calculés par HEC-RAS.

Tableau V.8: le devis quantitatif et estimatif de la variante canal en dur d'oued El Gor.

| Désignation des travaux | | unité | quantité | Prix unitaire DA | Montant DA |
|--|---------|----------------|----------|---------------------|-------------|
| terrassements | Déblai | M ³ | 32138,08 | 250,00 ,00 | 8 034 520 |
| | Remblai | M ³ | 5258,01 | 700,00 | 3 680 607 |
| Béton de propreté dosé á 150-250kg/m ³ | | M ³ | 2769,33 | 8.000,00 | 22 154 640 |
| béton dosé á 350 kg/m ³ | | M ³ | 6951,64 | 32.000,00 | 222 452 480 |
| Montant | | | | | 252 322 247 |

III.2 variante 02 : canal en gabion :

Les caissons de gabions sont des cages grillagées parallélépipédiques emplies de cailloux, galets ou de pierres issues de carrières, de diamètre entre 10 et 40 cm, Ils se présentent sous forme de dimensions variées, ces cages sont de dimensions 1x1x1m qui sont très courants en marché et des cages de 1x0.5x1m pour construire le mur de soutènement des berges. Les canaux en gabion, sont mis en œuvre d'une façon spéciale ; les sacs sont agencés de manière à créer un escalier qui permet la stabilité des berges créant ainsi une structure solide et durable.

Ils sont constitués de fils de fer galvanisé ou fils d'acier de Galmac, la galvanisation à chaud par un alliage zinc-aluminium, ceci apportant une résistance exceptionnelle à la corrosion, leur fonction constitue une barrière pour retarder et ralentir les processus d'érosion causés par l'eau.

Dans notre cas, On propose de projeter des caisses en gabion sous forme d'escalier pour former un mur de soutènement perméable aux berges, pour le fond on recommande un matelas Reno de 100-150mm de diamètre ($d_{50}=125\text{mm}$) .Nous allons utiliser les gabions de 100-200 mm de diamètre ($d_{50}=150\text{mm}$), le coefficient de rugosité n , est de l'ordre de $0.03 \text{ (s/m}^{1/3}\text{)}$.

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

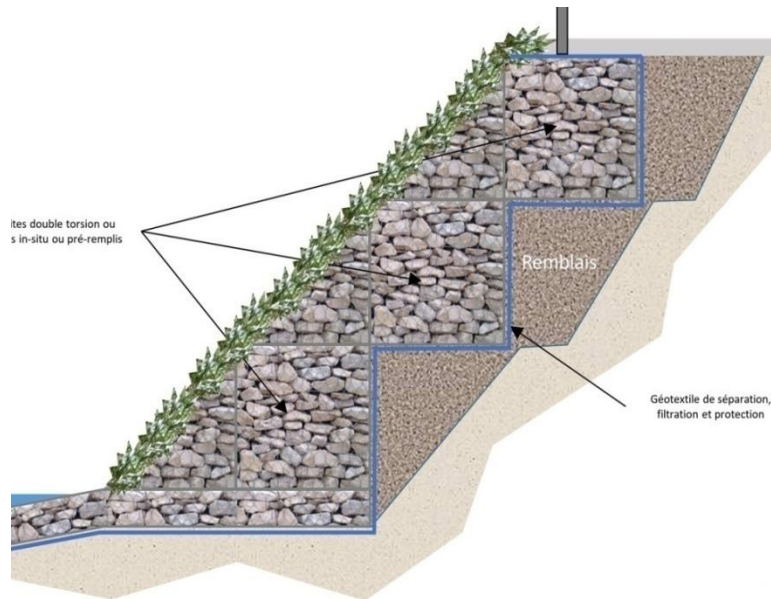


Figure V.12 : une coupe en travers d'une berge aménagée en gabionnage.



Figure V.13 : un exemple d'un gabionnage installé sur un Oued dans la commune de Bab El Assa W.Tlemcen (27/08/2024).

Le tableau suivant montre les dimensions des pierres de remplissage des caissons :

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

Tableau V.9 : Granulométrie du remplissage (Gabions ou Reno) en fonction de la vitesse du courant.

| Type | Epaisseur | Pierres de remplissage | | Vitesse limite | Vitesse admissible |
|--------------|-------------|------------------------|---------------|----------------|--------------------|
| | (m) | Calibrage (mm) | d_{50} (mm) | ($m.s^{-1}$) | ($m.s^{-1}$) |
| Matelas Reno | 0,15 - 0,17 | 70 - 100 | 85 | 3,5 | 4,2 |
| | | 70 - 150 | 110 | 4,2 | 4,5 |
| | 0,23 - 0,25 | 70 - 100 | 85 | 3,6 | 5,5 |
| | | 70 - 150 | 110 | 4,5 | 6,1 |
| | 0,30 | 70 - 120 | 110 | 4,2 | 5,5 |
| | | 100 - 150 | 125 | 5,0 | 6,4 |
| Gabions | 0,50 | 100 - 200 | 150 | 5,8 | 7,6 |
| | | 120 - 250 | 190 | 6,4 | 8,0 |

Source : Gerard, Degoutte 2012.

Les gabions présentent plusieurs avantages bénéfiques pour l'environnement :

➤ Les Avantages :

- En raison de la construction en pierres des murs en gabion, la perméabilité reste bonne, tout en diminuant la vitesse de l'eau en brisant l'énergie du courant et en dispersant la pression sur une large zone.
- les murs en gabion résistent à la rupture et à la séparation, grâce à la flexibilité de leur construction en treillis métallique.
- Coût réduit
- les roches utilisées dans la construction de gabions sont naturels. Ces matériaux sont également bons pour l'environnement et peuvent supporter des années d'usure. En outre, le fil galvanisé utilisé dans la maille résiste à la corrosion et à la rouille.
- Facilité de la mise en œuvre.
- Valable pour le terrain accidenté à forte pente.

➤ Les inconvénients :

- Les structures en gabions ont connu la réputation d'être inesthétiques et artificielles dans les rivières.

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

- Si les roches se déplacent ou s'usent à l'intérieur des cages métalliques à la suite d'une forte activité d'eau, le mur entier doit être démonté pour atteindre la zone endommagée.
- Les murs en gabions doivent être inspectés régulièrement pour assurer leur intégrité. Par ailleurs, ils doivent également être immédiatement inspectés et évalués après toute tempête, qui a causé un débit d'eau plus lourd que la normale.

III.2.1. Dimensionnement :

Les dimensions du canal en gabion ont été déterminées en supposant une largeur de fond et une pente de projet uniforme pour chaque tronçon pour calculer ensuite le nombre d'étage de gabions nécessaires pour les 3 tronçons afin de véhiculer un débit supérieur ou égale au débit du projet $Q_p = 40,5 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une rugosité de $0.03 \text{ s/m}^{1/3}$.

Les caractéristiques d'une section gabionnée sont les suivantes :

-La Section $S_m (\text{m}^2)$:

$$S_m = 0.5k(k - 1) + b.k \quad \text{V.10}$$

-Périmètre $P_m (\text{m})$:

$$P_m = b + 3k - 1 \quad \text{V.11}$$

-Rayon hydraulique $R_h (\text{m})$:

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{0.5k(k - 1) + b.k}{b + 3k - 1} \quad \text{V.12}$$

Avec :

- ✓ **K** : est le nombre d'étages. ;

On fixe la largeur de la base et les pentes de projet puis on calcule le nombre d'étage qui peut évacuer le débit de crue, le tableau suivant résume les paramètres d'entrées pour le calcul de nombre d'étages de gabion.

Tableau V.10: Répartitions des tronçons d'aménagement urbain (oued El Gor).

| Tronçon | Débit centennale (m^3/s) | Largeur du fond (m) | Pente de projet (m/m) |
|---------|---|------------------------|--------------------------|
| Tr01 | 40,5 | 4 | 0.0048 |
| Tr02 | 40,5 | 4 | 0.0041 |
| Tr03 | 40,5 | 4 | 0.0045 |

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

Les résultats de calcul de nombre d'étage de gabion sont représentés pour le tronçon 03 sont représentées dans le tableau qui suit :

Tableau V.11: Les résultats de calcul des nombres de caisses pour le canal en gabion dans le tronçon 03 d'Oued El Gor.

| K | Q (m ³ /s) | S (m) | P (m) | Rh (m) |
|---|-----------------------|-------|-------|--------|
| 8 | 228.469 | 60 | 27 | 2.222 |
| 7 | 176.335 | 49 | 24 | 2.042 |
| 6 | 131.759 | 39 | 21 | 1.857 |
| 5 | 94.299 | 30 | 18 | 1.667 |
| 4 | 63.503 | 22 | 15 | 1.467 |
| 3 | 38.921 | 15 | 12 | 1.250 |
| 2 | 20.125 | 9 | 9 | 1.000 |
| 1 | 6.826 | 4 | 6 | 0.667 |

Les résultats de calcul de nombre d'étage de gabion sont représentés pour le tronçon 02 sont représentées dans le tableau qui suit :

Tableau V.12: Les résultats de calcul des nombres de caisses pour le canal en gabion dans le tronçon 02 d'Oued El Gor.

| K | Q (m ³ /s) | S (m) | P (m) | Rh (m) |
|---|-----------------------|-------|-------|--------|
| 8 | 218.079 | 60 | 27 | 2.222 |
| 7 | 168.315 | 49 | 24 | 2.042 |
| 6 | 125.767 | 39 | 21 | 1.857 |
| 5 | 90.010 | 30 | 18 | 1.667 |
| 4 | 60.615 | 22 | 15 | 1.467 |
| 3 | 37.151 | 15 | 12 | 1.250 |
| 2 | 19.209 | 9 | 9 | 1.000 |
| 1 | 6.515 | 4 | 6 | 0.667 |

Les résultats de calcul de nombre d'étage de gabion sont représentés pour le tronçon 01 sont représentées dans le tableau qui suit :

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

Tableau V.13 : Les résultats de calcul des nombres de caisses pour le canal en gabion dans le tronçon 01 d'Oued El Gor.

| K | Q (m ³ /s) | S (m) | P (m) | Rh (m) |
|---|-----------------------|-------|-------|--------|
| 8 | 233.491 | 60 | 27 | 2.222 |
| 7 | 180.211 | 49 | 24 | 2.042 |
| 6 | 134.655 | 39 | 21 | 1.857 |
| 5 | 96.371 | 30 | 18 | 1.667 |
| 4 | 64.899 | 22 | 15 | 1.467 |
| 3 | 39.776 | 15 | 12 | 1.250 |
| 2 | 20.567 | 9 | 9 | 1.000 |
| 1 | 6.976 | 4 | 6 | 0.667 |

Le nombre d'étages de gabion est de $K = 4$ donc $H = 4$ m avec une largeur au fond de 4m, ce mur en gabion assure l'évacuation de débit de projet qui est égale à 40,5 m³/s. Ces dimensions sont valables pour les 3 tronçons, avec des curages réguliers du fond et entretien des cages après chaque crue afin d'assurer la capacité maximale de drainage et le bon fonctionnement de l'ouvrage.

III.2.2. les paramètres hydrauliques :

L'aménagement a été effectué tout au long d'Oued El Gor sur un linéaire de 2297m de l'amont à l'aval. Le calcul des paramètres d'écoulement sera effectué à l'aide du logiciel HEC-RAS et les résultats de calcul se résument dans le tableau suivant :

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

Tableau V.14: résultat de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 03.

| Oued | tr | station | Q ₁₀₀ (m ³ /s) | Cote fond Oued (m) | N.L Eau (m) | H critique(m) | N.L énergie (m) | Pente (m/m) | V (m/s) | L. Mouillée (m) | Nbre Froude |
|------|-----|---------|---|--------------------------|-------------------|------------------|-----------------------|-------------|------------|-----------------------|----------------|
| Gor | tr3 | 9039 | 40.50 | 1209.80 | 1211.97 | 1211.97 | 1212.80 | 0.008302 | 4.05 | 6.00 | 1.00 |
| Gor | tr3 | 8966 | 40.50 | 1209.60 | 1211.71 | 1211.77 | 1212.61 | 0.009098 | 4.18 | 6.00 | 1.05 |
| Gor | tr3 | 8854 | 40.50 | 1209.20 | 1211.14 | 1211.37 | 1212.25 | 0.010835 | 4.66 | 5.00 | 1.13 |
| Gor | tr3 | 8675 | 40.50 | 1208.70 | 1210.87 | 1210.87 | 1211.70 | 0.008307 | 4.05 | 6.00 | 1.00 |
| Gor | tr3 | 8526 | 40.50 | 1208.30 | 1210.42 | 1210.47 | 1211.31 | 0.009033 | 4.17 | 6.00 | 1.05 |
| Gor | tr3 | 8346 | 40.50 | 1207.80 | 1209.91 | 1209.97 | 1210.81 | 0.009203 | 4.20 | 6.00 | 1.06 |
| Gor | tr3 | 8196 | 40.50 | 1207.30 | 1209.26 | 1209.47 | 1210.34 | 0.010491 | 4.61 | 5.00 | 1.11 |
| Gor | tr3 | 8039 | 40.50 | 1206.90 | 1209.23 | 1209.07 | 1209.92 | 0.006355 | 3.69 | 6.00 | 0.87 |
| Gor | tr3 | 7855 | 40.50 | 1206.50 | 1208.67 | 1208.67 | 1209.50 | 0.008299 | 4.05 | 6.00 | 1.00 |
| Gor | tr3 | 7728 | 40.50 | 1206.00 | 1207.86 | 1208.17 | 1209.08 | 0.012400 | 4.89 | 5.00 | 1.21 |
| Gor | tr3 | 7580 | 40.50 | 1205.50 | 1207.63 | 1207.67 | 1208.50 | 0.008872 | 4.14 | 6.00 | 1.04 |
| Gor | tr3 | 7465 | 40.50 | 1205.10 | 1207.05 | 1207.27 | 1208.14 | 0.010638 | 4.63 | 5.00 | 1.12 |
| Gor | tr3 | 7204 | 40.50 | 1204.60 | 1206.98 | 1206.77 | 1207.64 | 0.005831 | 3.58 | 6.00 | 0.83 |
| Gor | tr3 | 7034 | 40.50 | 1204.20 | 1206.83 | | 1207.34 | 0.004084 | 3.16 | 6.00 | 0.69 |
| Gor | tr3 | 6908 | 40.50 | 1204.10 | 1206.53 | | 1207.15 | 0.005476 | 3.51 | 6.00 | 0.81 |
| Gor | tr3 | 6797 | 40.50 | 1203.80 | 1206.46 | | 1206.96 | 0.003952 | 3.13 | 6.00 | 0.68 |
| Gor | tr3 | 6676 | 40.50 | 1203.50 | 1206.40 | | 1206.80 | 0.002931 | 2.81 | 6.00 | 0.58 |
| Gor | tr3 | 6579 | 40.50 | 1203.20 | 1206.39 | | 1206.70 | 0.002291 | 2.48 | 7.00 | 0.52 |

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

Tableau V.14: résultat de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 03.

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|------|-------|---------|---------|---------|---------|----------|------|------|------|
| Gor | tr3 | 6454 | 40.50 | 1203.50 | 1205.86 | | 1206.53 | 0.006038 | 3.63 | 6.00 | 0.85 |
| Gor | tr3 | 6292 | 40.50 | 1203.20 | 1205.52 | 1205.37 | 1206.22 | 0.006423 | 3.71 | 6.00 | 0.88 |
| Gor | tr3 | 6111 | 40.50 | 1202.80 | 1205.29 | | 1205.88 | 0.004987 | 3.39 | 6.00 | 0.77 |
| Gor | tr3 | 5955 | 40.50 | 1202.50 | 1205.12 | | 1205.64 | 0.004146 | 3.18 | 6.00 | 0.70 |
| Gor | tr3 | 5767 | 40.50 | 1202.30 | 1204.75 | | 1205.36 | 0.005296 | 3.47 | 6.00 | 0.79 |
| Gor | tr3 | 5608 | 40.50 | 1202.00 | 1204.55 | | 1205.10 | 0.004576 | 3.29 | 6.00 | 0.73 |
| Gor | tr3 | 5450 | 40.50 | 1201.80 | 1204.24 | | 1204.86 | 0.005352 | 3.48 | 6.00 | 0.80 |
| Gor | tr3 | 5319 | 40.50 | 1201.50 | 1204.13 | | 1204.64 | 0.004134 | 3.18 | 6.00 | 0.70 |
| Gor | tr3 | 5187 | 40.50 | 1201.30 | 1203.98 | | 1204.47 | 0.003828 | 3.09 | 6.00 | 0.67 |
| Gor | tr3 | 5055 | 40.50 | 1201.00 | 1203.91 | | 1204.31 | 0.002894 | 2.80 | 6.00 | 0.58 |
| Gor | tr3 | 4929 | 40.50 | 1201.10 | 1203.35 | 1203.27 | 1204.11 | 0.007258 | 3.87 | 6.00 | 0.93 |
| Gor | tr3 | 4795 | 40.50 | 1200.80 | 1203.07 | 1202.97 | 1203.81 | 0.006985 | 3.82 | 6.00 | 0.92 |
| Gor | tr3 | 4669 | 40.50 | 1200.50 | 1202.88 | | 1203.54 | 0.005826 | 3.58 | 6.00 | 0.83 |
| Gor | tr3 | 4508 | 40.50 | 1200.20 | 1202.63 | | 1203.25 | 0.005442 | 3.50 | 6.00 | 0.80 |
| Gor | tr3 | 4384 | 40.50 | 1200.00 | 1202.30 | 1202.17 | 1203.02 | 0.006689 | 3.76 | 6.00 | 0.90 |
| Gor | tr3 | 4251 | 40.50 | 1199.70 | 1201.87 | 1201.87 | 1202.70 | 0.008308 | 4.05 | 6.00 | 1.00 |

Le tableau suivant représente les résultats de la simulation dans le tronçon 02.

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

Tableau V.15 : résultats de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 02.

| Oued | tr | station | Q ₁₀₀ (m ³ /s) | Cote fond Oued (m) | N.L Eau (m) | H critique(m) | N.L énergie (m) | Pente (m/m) | V (m/s) | L. Mouillée (m) | Nbre Froude |
|------|-----|---------|---|--------------------------|-------------------|------------------|-----------------------|-------------|------------|-----------------------|----------------|
| Gor | tr2 | 4125 | 40.50 | 1199.30 | 1201.70 | 1201.47 | 1202.34 | 0.005707 | 3.56 | 6.00 | 0.82 |
| Gor | tr2 | 3972 | 40.50 | 1198.70 | 1201.71 | | 1202.08 | 0.002895 | 2.69 | 7.00 | 0.59 |
| Gor | tr2 | 3805 | 40.50 | 1198.50 | 1201.58 | | 1201.93 | 0.002611 | 2.60 | 7.00 | 0.56 |
| Gor | tr2 | 3661 | 40.50 | 1198.70 | 1201.00 | 1200.87 | 1201.72 | 0.006597 | 3.74 | 6.00 | 0.89 |
| Gor | tr2 | 3481 | 40.50 | 1198.30 | 1200.47 | 1200.47 | 1201.30 | 0.008300 | 4.05 | 6.00 | 1.00 |
| Gor | tr2 | 3283 | 40.50 | 1197.70 | 1200.14 | 1199.87 | 1200.76 | 0.005360 | 3.48 | 6.00 | 0.80 |
| Gor | tr2 | 3109 | 40.50 | 1197.40 | 1199.88 | | 1200.47 | 0.005043 | 3.41 | 6.00 | 0.77 |
| Gor | tr2 | 2910 | 40.50 | 1197.10 | 1199.46 | | 1200.13 | 0.006017 | 3.62 | 6.00 | 0.85 |
| Gor | tr2 | 2766 | 40.50 | 1196.80 | 1199.27 | | 1199.87 | 0.005166 | 3.44 | 6.00 | 0.78 |
| Gor | tr2 | 2629 | 40.50 | 1196.50 | 1199.13 | | 1199.64 | 0.004100 | 3.17 | 6.00 | 0.69 |
| Gor | tr2 | 2467 | 40.50 | 1196.30 | 1198.93 | | 1199.44 | 0.004089 | 3.16 | 6.00 | 0.69 |
| Gor | tr2 | 2366 | 40.50 | 1196.10 | 1198.85 | | 1199.31 | 0.003500 | 2.99 | 6.00 | 0.64 |
| Gor | tr2 | 2251 | 40.50 | 1196.10 | 1198.46 | | 1199.13 | 0.006040 | 3.63 | 6.00 | 0.85 |
| Gor | tr2 | 2161 | 40.50 | 1195.90 | 1198.34 | | 1198.96 | 0.005331 | 3.47 | 6.00 | 0.80 |
| Gor | tr2 | 2049 | 40.50 | 1195.60 | 1198.28 | | 1198.77 | 0.003863 | 3.10 | 6.00 | 0.67 |
| Gor | tr2 | 1900 | 40.50 | 1195.50 | 1197.88 | | 1198.54 | 0.005885 | 3.60 | 6.00 | 0.84 |
| Gor | tr2 | 1764 | 40.50 | 1195.20 | 1197.72 | | 1198.29 | 0.004776 | 3.34 | 6.00 | 0.75 |

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

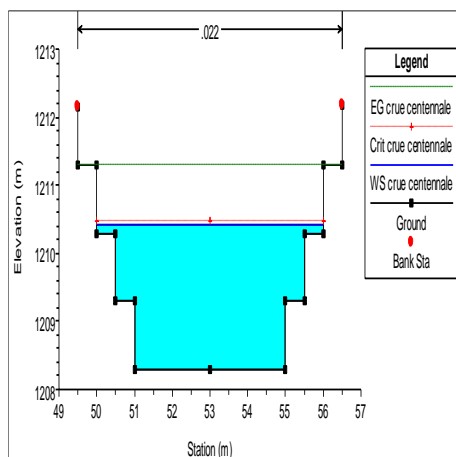
Le tableau suivant représente les résultats de la simulation dans le tronçon 01.

Tableau V.16 : résultats de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 01.

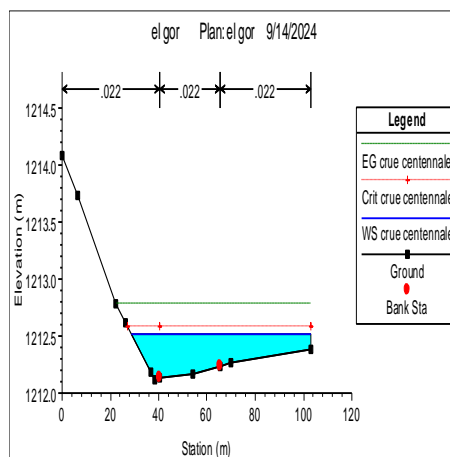
| Oued | tr | station | Q ₁₀₀ (m ³ /s) | Cote fond Oued (m) | N.L Eau (m) | H critique(m) | N.L énergie (m) | Pente (m/m) | V (m/s) | L. Mouillée (m) | Nbre Froude |
|------|-----|---------|---|--------------------------|-------------------|------------------|-----------------------|-------------|------------|-----------------------|----------------|
| Gor | tr1 | 1613 | 40.50 | 1195.00 | 1197.37 | | 1198.04 | 0.005929 | 3.61 | 6.00 | 0.84 |
| Gor | tr1 | 1472 | 40.50 | 1194.70 | 1197.19 | | 1197.78 | 0.004957 | 3.39 | 6.00 | 0.77 |
| Gor | tr1 | 1273 | 40.50 | 1194.40 | 1196.88 | | 1197.47 | 0.005041 | 3.41 | 6.00 | 0.77 |
| Gor | tr1 | 1074 | 40.50 | 1194.10 | 1196.51 | 1196.27 | 1197.15 | 0.005618 | 3.54 | 6.00 | 0.82 |
| Gor | tr1 | 89 | 40.50 | 1193.70 | 1195.87 | 1195.87 | 1196.70 | 0.008299 | 4.05 | 6.00 | 1.00 |
| Gor | tr1 | 726 | 40.50 | 1193.20 | 1195.81 | 1195.37 | 1196.33 | 0.004202 | 3.20 | 6.00 | 0.70 |
| Gor | tr1 | 555 | 40.50 | 1193.00 | 1195.17 | 1195.17 | 1196.00 | 0.008286 | 4.05 | 6.00 | 1.00 |
| Gor | tr1 | 416 | 40.50 | 1192.00 | 1194.99 | 1194.17 | 1195.36 | 0.002654 | 2.71 | 6.00 | 0.55 |
| Gor | tr1 | 282 | 40.50 | 1192.00 | 1194.76 | 1194.17 | 1195.21 | 0.003484 | 2.99 | 6.00 | 0.64 |
| Gor | tr1 | 88 | 40.50 | 1191.90 | 1194.07 | 1194.07 | 1194.90 | 0.008273 | 4.05 | 6.00 | 1.00 |

III.2.3.les profils en travers :

Les profils en travers assurent le transport de la crue centennale sans débordement tout au long du cours d'eau, les sections en travers obtenus par simulation par logiciel HEC RAS pour chaque tronçon sont montrées dans les figures suivantes :



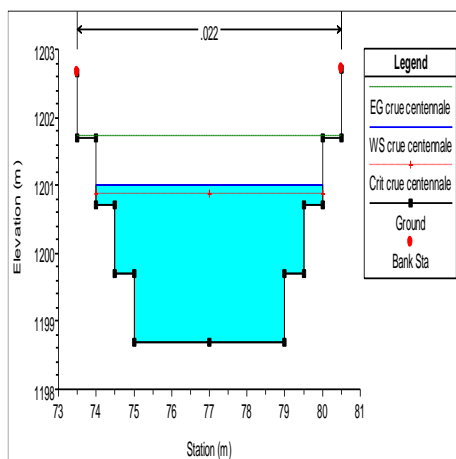
A) Après aménagement



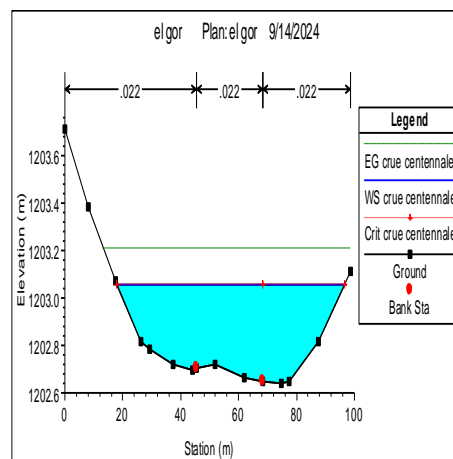
B) avant aménagement

Figures V.14 : la section transversale dans le tronçon 03, station 8526.

Les figures ci-dessous représentent une section avant et après aménagement dans le tronçon 02.



A) Après aménagement

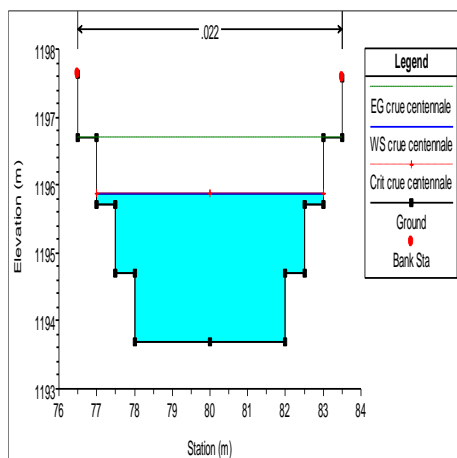


B) avant aménagement

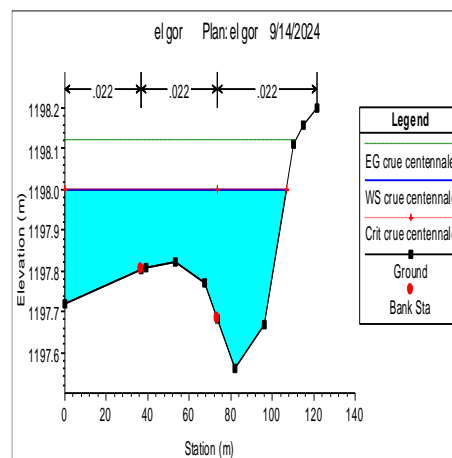
Figures V.15 : section transversale dans le tronçon 02, station 3661.

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

Les figures ci-dessous représentent une section avant et après aménagement dans le tronçon 01.



A) après aménagement



B) avant aménagement

Figures V.16 : section transversale dans le tronçon 01, station 869.

III.2.4. interprétation des résultats :

- **Dans le tronçon 01 :**

Selon le nombre de Froude, le type d'écoulement est mixte avec une prédominance de l'écoulement fluvial, la vitesse d'écoulement reste limite pour un gabion. Le périmètre mouillé est de 7 m au maximum. D'un point de vue technique, le canal gabionné assure une bonne protection contre la crue exceptionnelle.

- **Dans le tronçon 02 :**

Selon le nombre de Froude, le type d'écoulement est fluviale sauf dans la section 348, la vitesse d'écoulement ne dépasse pas la vitesse admissible pour un gabion de dimensions choisies. Le périmètre mouillé est de 6 m au maximum. D'un point de vue technique, le canal gabionné assure une bonne protection contre la crue exceptionnelle.

- **Dans le tronçon 03 :**

Selon le nombre de Froude il y a une prédominance de l'écoulement fluvial, la vitesse d'écoulement atteint un maximum de 4,05m/s. Cette vitesse reste admissible pour un gabion de dimensions choisies. Le périmètre mouillé est de 6 m au maximum. D'un point de vue technique, le canal gabionné assure l'évacuation de la crue centennale.

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

La vitesse d'écoulement pour le canal en gabion est vérifiée pour les 3 tronçons et toujours inférieure à la vitesse limite et la vitesse admissible de gabion (5.8 m/s et 7.6 m/s) et (5,0m/s et 6,4 m/s) pour le tapis de gabion au fond.

III.2.5. estimation du cout de la variante :

On a proposé cette variante car les gabions ont plusieurs avantages d'utilisation: perméables et souples, de dimensionnement et de Constitutions rapides, pratiques, des entretiens et réparations faciles et surtout moins coûteux que les autres solutions. On procède par 4 étages de gabion sur 2297 ml pour la protection des berges contre l'érosion avec des recommandations de curage et entretien régulier pour assurer leur intégrité après chaque tempête.

Un gabion est une structure en fille métallique remplies de pierres de carrières.ils sont rectangulaire ou cubique généralement, les pierres sont placées à l'intérieure des cages par une pelle ou le godet de l'engin mécanique. Ensuite les cages sont fermés à l'aide de clips, par un lien en fil métallique ou même des spiraux.

Étape01 : commencer par mesurer avec précision la longueur et la hauteur du mur afin d'éviter les erreurs de calcul, pour notre cas on a appliqué le gabion tout au long de l'oued puisque la plupart des profils ont inondé lors de la simulation hydraulique. $L=2297\text{mm}$, $H_{\text{mur}}=4\text{m}$ (4 étages).

Étape02 : calculer la surface du mur, en multipliant la longueur par la hauteur. $S_{\text{mur}}=9188 \text{ m}^2$.

Étapes03 : déterminer la densité de remplissage, elle représente le rapport entre le volume des gabions et leurs poids. Elle dépend de la taille des pierres de remplissage. Pour un mur de gabion ordinaire la densité est généralement de 0.6.

Étape04 : calculer la quantité du gabion nécessaire, on aura besoin de 9188 cages de largeur 0,5m et de 27564 caissons de largeur de 1m.

Étapes 05 : l'estimation des matériaux de remplissage, pour se faire, on aura besoins de pierres concassées dans un concasseur en carrière, galets ou Caillaux, le choix des matériaux dépendra de l'emplacement du mur en gabion, le coût et la disponibilité en carrière. Il est crucial de sélectionner des matériaux de qualité afin d'assurer la stabilité du mur.

Pour le calcul de la quantité de pierres tenant compte des dimensions des gabions et de la hauteur du mur, nos cages sont de 1 m^3 est de $0,5 \text{ m}^3$ selon la longueur, largeur et hauteur des cages utilisés.

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

On additionne le volume de tous les gabions pour obtenir le volume total requis en m^3 . Pour notre cas le volume à remplir est de $36752 m^3$.

Enfin on va multiplier ce volume par la densité des pierres ou des galets pour obtenir le poids nécessaire en tonnes.

Quelques exemples de densités :

- Pierres concassées : $1,6 \text{ tonne}/m^3$
- Gravier : $1,4 \text{ tonne}/m^3$
- Pierre de rivière ou galet : $1,8 \text{ tonne}/m^3$

On peut même mettre du granit, le basalte, le schiste, la pierre bleue, les pierres calcaires....

Pour notre cas on utilise les pierres concassées qui sont plus économiques que les galets. La pierre concassée flammée est une roche naturelle non gélive, pierre calcaire extrêmement dure et non friable, donc $P_p = 58803,2$ tonnes. Le volume de pierre sera le poids divisé par la densité.

La durée de vie va de 10 à 75 ans selon l'environnement de l'installation et de spécification de fil (diamètre), de la maille hexagonale, des conditions environnementales, la qualité de matériau et la conception.

Les frais de la mise en place sont de 15000 à 45000 Da si le sol est plat et en bon état, c'est le cas d'Oued El Gor. Ces prix varient selon les fournisseurs et les entrepreneurs.

Il est recommandé de mettre du géotextile en dessous des cages de gabion surtout quand il y a un risque des eaux usées dans le cours d'eau, le géotextile est un feutre anti-contaminant très résistant et perméable. Il laisse donc passer l'eau mais retient la terre, évitant ainsi d'obstruer l'arrière du mur en gabion et de perdre à terme son effet drainant, empêchant également de souiller l'eau qui traversera le mur en gabion.

Les particules fines constitutives du remblai pourraient être entraînées par les eaux météoriques et venir colmater les vides de l'ouvrage. Une fois l'indice des vides diminué, les eaux ne seraient plus drainées et la poussée hydrostatique qui en résulterait pourrait venir déstabiliser l'ouvrage.

L'emploi d'un géotextile dans ce cas a un rôle plutôt de séparation (agissant comme un filtre)

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

se justifie donc pour éviter la migration des fines dans les gabions. Toutefois certains géotextiles peuvent se colmater dans le temps.

Enfin, il est vivement conseillé de poser un film géotextile au sol pour éviter que de mauvaises herbes ne poussent et n'envahissent votre mur en gabion et pour tenir le sol fin en place pour ne pas affecter le potentiel de drainage du mur.

Source : travaux second œuvre, calcul de la quantité de gabion.

Tableau V.17: le devis quantitatif et estimatif du la variante canal en gabion.

| Désignation des travaux | | Unité | quantité | Prix unitaire DA | Montant DA |
|--|---------|----------------|----------|---------------------|---------------|
| terrassements | Déblai | M ³ | 49045,09 | 250,00 | 12 261 272,5 |
| | Remblai | M ³ | 8018,19 | 700,00 | 5 612 733 |
| Gabion 1x1x1m 1x0,5x1m | | Unité | 27564 | 2.000,00 | 55 128 000 |
| Gabion 1x0,5x1m | | Unité | 9188 | 1.500,00 | 13 782 000 |
| Matelas Reno de dimensions 2x2x0,3m | | Unité | 2297 | 2.000,00 | 4 594 000 |
| géotextile | | M ² | 36752 | 800,00 | 29 401 600 |
| Pierres calcaire concassées | | M ³ | 36752 | 2.000,00 | 73 504 000 |
| Montant | | | | | 194 283 605,5 |

III.3. variante03 :canal en enrochement :

Les enrochements naturels et durables sont l'un des principaux matériaux utilisés dans les travaux maritimes et fluviaux pour empêcher l'affouillement et l'érosion, et pour limiter le franchissement de la houle et les inondations. Les enrochements peuvent être naturels (blocs de pierre) ou artificiels (éléments préfabriqués en béton).

Autrement dit, L'enrochement est une méthode de stabilisation du sol qui implique l'utilisation de gros blocs de pierre ou de roche pour former une structure de soutènement. Les

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

roches sont disposées de manière stratégique pour créer une structure solide qui résiste à la pression du sol et de l'eau.

La taille des blocs doit être choisie en fonction de la vitesse du courant, de la profondeur du lit, de la pente des berges et du gabarit de cours d'eau. La mise en place d'un filtre (géotextile) sous les enrochements est obligatoire après le nivellement de la surface, posée en dessous d'une couche de sable va nous permettre de combler les creux pour avoir un terrain homogène et propre sans points dur qui peuvent déchirer la géotextile, afin d'éviter l'enfoncement des pierres dans le sol, créer une structure plus stable et durable, protéger les berges fortement érodable et maintenir en place la couche fine du sol, éviter le glissement de terrain et pour éviter que la mauvaise herbe pousse entre les rochers (toile non biodégradable)...

➤ Avantages :

- résistant.
- Protège contre le glissement et éboulement des terrains.
- Protéger le sol de l'érosion dans les zones à débit élevé.
- Réduire la vitesse de l'eau tout en brisant son énergie.
- Se marie parfaitement avec l'environnement fluvial.

➤ Inconvénients :

- cela pourrait avoir des conséquences sur les niveaux d'eau en diminuant la section d'écoulement par rapport à ce qui a été calculé si le calibre (taille) de l'enrochement proposé est mal adaptée. Il s'agit d'un enjeu.
- Une mauvaise utilisation de l'enrochement peut accroître l'érosion.

III.3.1. Dimensionnement :

On a fixé un fuit de talus de 2/1,5 pour un angle de $36,86^\circ$. Les dimensions des canaux sont représentées dans les figures suivantes :

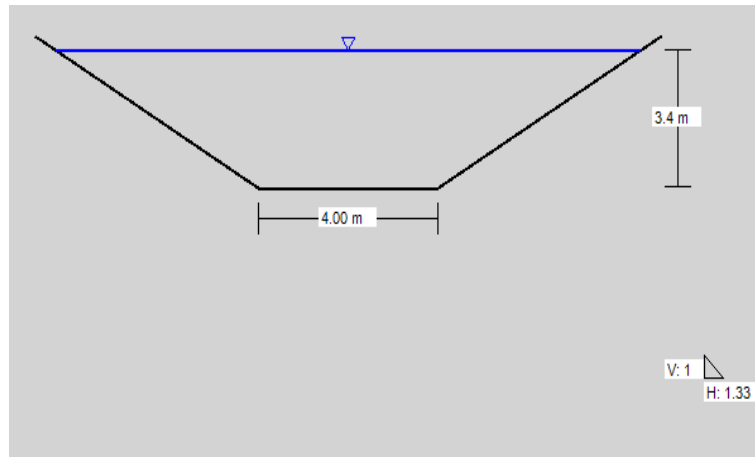


Figure V.17: Les dimensions du canal trapézoïdal en enrochement dans le tronçon 03.

Les dimensions du canal sont :

- ✓ Hauteur d'eau : 3,4 m
- ✓ Largeur au fond : 4m

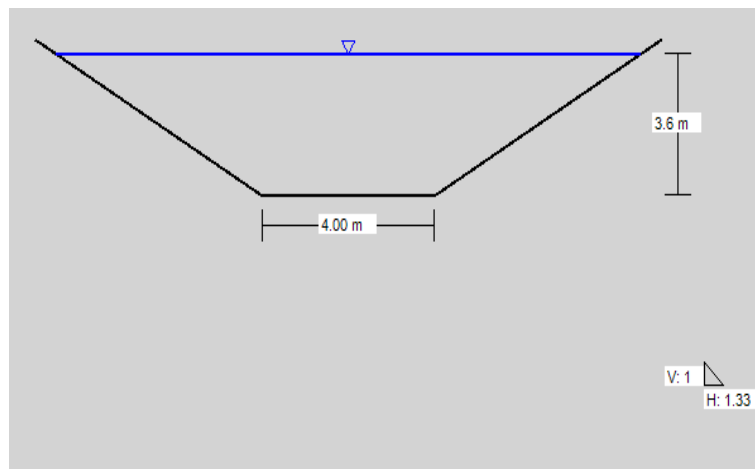


Figure V.18: Les dimensions du canal trapézoïdal en enrochement dans le tronçon 02.

Les dimensions du canal sont :

- ✓ Hauteur d'eau : 3,6 m
- ✓ Largeur au fond : 4m

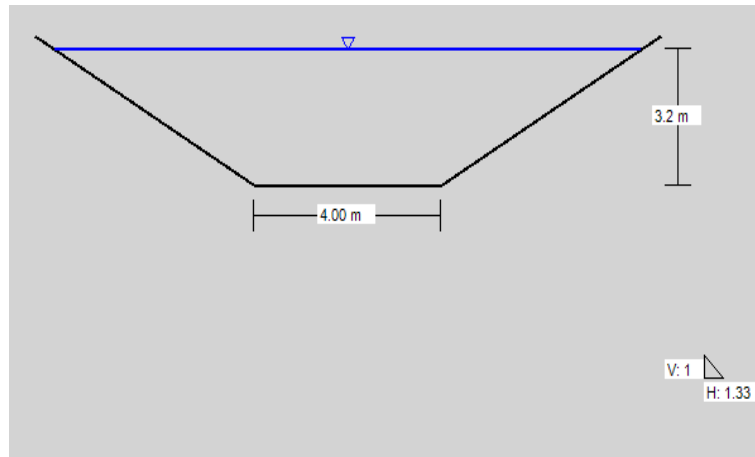


Figure V.19 : Les dimensions du canal trapézoïdal en enrochement dans le tronçon 01.

Les dimensions du canal sont :

- ✓ Hauteur d'eau : 3,2 m
- ✓ Largeur au fond : 4m

Notant que on a procédé par un approfondissement des canaux pour augmenter leur capacité hydraulique d'évacuation de la crue centennale puisque l'élargissement n'est pas permis à cause de la forte densité de population près des rives. On propose une revanche de 0,6m.

III.3.2. les paramètres de l'écoulement :

L'aménagement a été effectué tout au long de l'Oued pour protéger le centre d'El Gor contre les eaux pluviales. Le calcul des paramètres d'écoulement sera effectué à l'aide du logiciel HEC-RAS et les résultats de calcul se résument dans le tableau suivant :

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

Tableau V.18: résultat de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 03.

| Oued | tr | station | Q ₁₀₀ (m ³ /s) | Cote fond Oued (m) | N.L Eau (m) | H critique(m) | N.L énergie (m) | Pente (m/m) | V (m/s) | L. Mouillée (m) | Nbre Froude |
|------|-----|---------|---|--------------------------|-------------------|------------------|-----------------------|-------------|------------|-----------------------|----------------|
| Gor | tr3 | 9039 | 40.50 | 1210.40 | 1212.18 | 1212.18 | 1212.83 | 0.006753 | 3.59 | 8.72 | 1.01 |
| Gor | tr3 | 8966 | 40.50 | 1210.10 | 1211.64 | 1211.88 | 1212.61 | 0.011585 | 4.36 | 8.09 | 1.30 |
| Gor | tr3 | 8854 | 40.50 | 1209.80 | 1211.56 | 1211.58 | 1212.23 | 0.006979 | 3.63 | 8.68 | 1.02 |
| Gor | tr3 | 8675 | 40.50 | 1209.30 | 1210.91 | 1211.08 | 1211.77 | 0.009797 | 4.10 | 8.28 | 1.20 |
| Gor | tr3 | 8526 | 40.50 | 1208.80 | 1210.36 | 1210.58 | 1211.29 | 0.010954 | 4.27 | 8.15 | 1.27 |
| Gor | tr3 | 8346 | 40.50 | 1208.30 | 1210.03 | 1210.08 | 1210.73 | 0.007440 | 3.71 | 8.60 | 1.05 |
| Gor | tr3 | 8196 | 40.50 | 1207.90 | 1209.55 | 1209.68 | 1210.35 | 0.008980 | 3.98 | 8.38 | 1.15 |
| Gor | tr3 | 8039 | 40.50 | 1207.40 | 1208.98 | 1209.18 | 1209.88 | 0.010468 | 4.20 | 8.20 | 1.24 |
| Gor | tr3 | 7855 | 40.50 | 1207.00 | 1208.78 | 1208.78 | 1209.43 | 0.006753 | 3.59 | 8.72 | 1.01 |
| Gor | tr3 | 7728 | 40.50 | 1206.60 | 1208.17 | 1208.38 | 1209.08 | 0.010642 | 4.23 | 8.18 | 1.25 |
| Gor | tr3 | 7580 | 40.50 | 1205.90 | 1207.34 | 1207.68 | 1208.50 | 0.014829 | 4.77 | 7.82 | 1.46 |
| Gor | tr3 | 7465 | 40.50 | 1205.60 | 1207.60 | 1207.38 | 1208.07 | 0.004300 | 3.04 | 9.32 | 0.81 |
| Gor | tr3 | 7204 | 40.50 | 1205.20 | 1206.98 | 1206.98 | 1207.63 | 0.006742 | 3.58 | 8.72 | 1.01 |
| Gor | tr3 | 7034 | 40.50 | 1204.80 | 1206.78 | 1206.58 | 1207.27 | 0.004440 | 3.08 | 9.27 | 0.83 |
| Gor | tr3 | 6908 | 40.50 | 1204.50 | 1206.75 | | 1207.09 | 0.002706 | 2.57 | 9.99 | 0.65 |
| Gor | tr3 | 6797 | 40.50 | 1204.50 | 1206.44 | 1206.28 | 1206.95 | 0.004823 | 3.17 | 9.16 | 0.86 |
| Gor | tr3 | 6676 | 40.50 | 1204.30 | 1206.08 | 1206.08 | 1206.73 | 0.006753 | 3.59 | 8.72 | 1.01 |
| Gor | tr3 | 6579 | 40.50 | 1204.00 | 1206.08 | 1205.78 | 1206.50 | 0.003722 | 2.89 | 9.52 | 0.76 |

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

Tableau V.18: résultat de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 03

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|------|-------|---------|---------|---------|---------|----------|------|-------|------|
| Gor | tr3 | 6454 | 40.50 | 1203.80 | 1205.99 | | 1206.35 | 0.003034 | 2.68 | 9.82 | 0.69 |
| Gor | tr3 | 6292 | 40.50 | 1203.70 | 1205.64 | 1205.48 | 1206.15 | 0.004789 | 3.16 | 9.17 | 0.86 |
| Gor | tr3 | 6111 | 40.50 | 1203.40 | 1205.46 | | 1205.90 | 0.003814 | 2.91 | 9.49 | 0.77 |
| Gor | tr3 | 5955 | 40.50 | 1203.20 | 1205.31 | | 1205.71 | 0.003523 | 2.83 | 9.60 | 0.74 |
| Gor | tr3 | 5767 | 40.50 | 1203.00 | 1204.83 | 1204.78 | 1205.43 | 0.006077 | 3.45 | 8.86 | 0.96 |
| Gor | tr3 | 5608 | 40.50 | 1202.70 | 1204.57 | 1204.48 | 1205.14 | 0.005503 | 3.33 | 8.98 | 0.91 |
| Gor | tr3 | 5450 | 40.50 | 1202.40 | 1204.42 | | 1204.88 | 0.004137 | 3.00 | 9.37 | 0.80 |
| Gor | tr3 | 5319 | 40.50 | 1202.10 | 1204.39 | | 1204.71 | 0.002558 | 2.52 | 10.08 | 0.64 |
| Gor | tr3 | 5187 | 40.50 | 1202.10 | 1204.02 | | 1204.55 | 0.004999 | 3.21 | 9.11 | 0.87 |
| Gor | tr3 | 5055 | 40.50 | 1201.90 | 1203.82 | 1203.68 | 1204.35 | 0.005007 | 3.22 | 9.11 | 0.87 |
| Gor | tr3 | 4929 | 40.50 | 1201.70 | 1203.65 | 1203.48 | 1204.16 | 0.004767 | 3.16 | 9.18 | 0.85 |
| Gor | tr3 | 4795 | 40.50 | 1201.50 | 1203.46 | 1203.28 | 1203.96 | 0.004613 | 3.12 | 9.22 | 0.84 |
| Gor | tr3 | 4669 | 40.50 | 1201.30 | 1203.08 | 1203.08 | 1203.73 | 0.006753 | 3.59 | 8.72 | 1.01 |
| Gor | tr3 | 4508 | 40.50 | 1200.80 | 1202.36 | 1202.58 | 1203.29 | 0.010876 | 4.26 | 8.16 | 1.26 |
| Gor | tr3 | 4384 | 40.50 | 1200.50 | 1202.49 | 1202.28 | 1202.97 | 0.004414 | 3.07 | 9.28 | 0.82 |
| Gor | tr3 | 4251 | 40.50 | 1200.30 | 1202.08 | 1202.08 | 1202.73 | 0.006742 | 3.58 | 8.72 | 1.01 |

Le tableau suivant représente les résultats de la simulation dans le tronçon 02.

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

Tableau V.19 : résultats de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 02.

| Oued | tr | station | Q ₁₀₀ (m ³ /s) | Cote fond Oued (m) | N.L Eau (m) | H critique(m) | N.L énergie (m) | Pente (m/m) | V (m/s) | L. Mouillée (m) | Nbre Froude |
|------|-----|---------|---|--------------------------|-------------------|------------------|-----------------------|-------------|------------|-----------------------|----------------|
| Gor | tr2 | 4125 | 40.50 | 1199.70 | 1201.13 | 1201.48 | 1202.31 | 0.015170 | 4.80 | 7.80 | 1.48 |
| Gor | tr2 | 3972 | 40.50 | 1199.30 | 1201.49 | 1201.08 | 1201.85 | 0.003049 | 2.68 | 9.81 | 0.69 |
| Gor | tr2 | 3805 | 40.50 | 1198.90 | 1201.47 | | 1201.70 | 0.001612 | 2.12 | 10.84 | 0.51 |
| Gor | tr2 | 3661 | 40.50 | 1199.10 | 1200.88 | 1200.88 | 1201.53 | 0.006740 | 3.58 | 8.72 | 1.01 |
| Gor | tr2 | 3481 | 40.50 | 1198.70 | 1200.42 | 1200.48 | 1201.14 | 0.007590 | 3.74 | 8.58 | 1.06 |
| Gor | tr2 | 3283 | 40.50 | 1198.20 | 1200.30 | 1199.98 | 1200.71 | 0.003578 | 2.85 | 9.58 | 0.75 |
| Gor | tr2 | 3109 | 40.50 | 1198.00 | 1199.78 | 1199.78 | 1200.43 | 0.006747 | 3.59 | 8.72 | 1.01 |
| Gor | tr2 | 2910 | 40.50 | 1197.50 | 1199.15 | 1199.28 | 1199.95 | 0.008908 | 3.97 | 8.39 | 1.15 |
| Gor | tr2 | 2766 | 40.50 | 1197.20 | 1199.19 | 1198.98 | 1199.67 | 0.004415 | 3.07 | 9.28 | 0.82 |
| Gor | tr2 | 2629 | 40.50 | 1197.00 | 1199.02 | | 1199.48 | 0.004152 | 3.00 | 9.37 | 0.80 |
| Gor | tr2 | 2467 | 40.50 | 1196.80 | 1198.69 | 1198.58 | 1199.24 | 0.005341 | 3.29 | 9.02 | 0.90 |
| Gor | tr2 | 2366 | 40.50 | 1196.50 | 1198.71 | | 1199.06 | 0.002947 | 2.65 | 9.86 | 0.68 |
| Gor | tr2 | 2251 | 40.50 | 1196.20 | 1198.70 | | 1198.95 | 0.001798 | 2.21 | 10.65 | 0.54 |
| Gor | tr2 | 2161 | 40.50 | 1196.40 | 1198.27 | 1198.18 | 1198.84 | 0.005541 | 3.34 | 8.98 | 0.92 |
| Gor | tr2 | 2049 | 40.50 | 1196.10 | 1198.26 | | 1198.64 | 0.003176 | 2.72 | 9.75 | 0.70 |
| Gor | tr2 | 1900 | 40.50 | 1195.80 | 1198.22 | | 1198.50 | 0.002044 | 2.32 | 10.44 | 0.57 |
| Gor | tr2 | 1764 | 40.50 | 1195.60 | 1198.18 | | 1198.41 | 0.001594 | 2.11 | 10.86 | 0.51 |

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

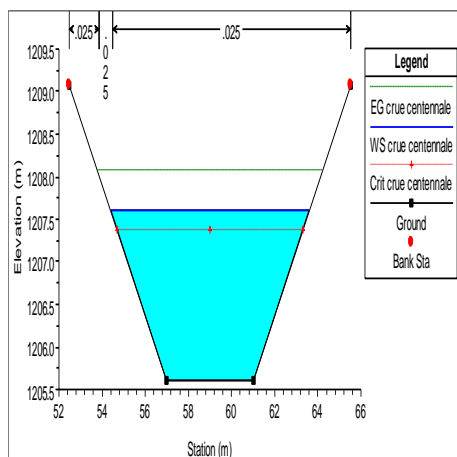
Le tableau suivant représente les résultats de la simulation dans le tronçon 01.

Tableau V.20 : résultats de la simulation par logiciel HEC RAS du tronçon 01.

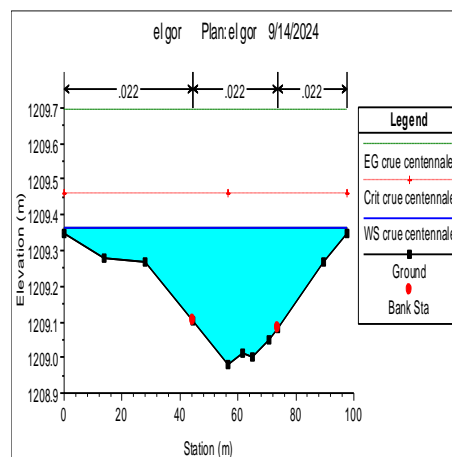
| Oued | tr | station | Q ₁₀₀ (m ³ /s) | Cote fond Oued (m) | N.L Eau (m) | H critique(m) | N.L énergie (m) | Pente (m/m) | V (m/s) | L. Mouillée (m) | Nbre Froude |
|------|-----|---------|---|--------------------------|-------------------|------------------|-----------------------|-------------|------------|-----------------------|----------------|
| Gor | tr1 | 1613 | 40.50 | 1195.80 | 1197.58 | 1197.58 | 1198.23 | 0.006748 | 3.59 | 8.72 | 1.01 |
| Gor | tr1 | 1472 | 40.50 | 1195.40 | 1197.01 | 1197.18 | 1197.87 | 0.009741 | 4.10 | 8.28 | 1.20 |
| Gor | tr1 | 1273 | 40.50 | 1195.10 | 1197.08 | 1196.88 | 1197.56 | 0.004488 | 3.09 | 9.26 | 0.83 |
| Gor | tr1 | 1074 | 40.50 | 1194.80 | 1196.62 | 1196.58 | 1197.23 | 0.006207 | 3.48 | 8.83 | 0.97 |
| Gor | tr1 | 89 | 40.50 | 1194.40 | 1196.19 | 1196.18 | 1196.83 | 0.006583 | 3.55 | 8.75 | 0.99 |
| Gor | tr1 | 726 | 40.50 | 1194.10 | 1196.01 | 1195.88 | 1196.55 | 0.005081 | 3.23 | 9.09 | 0.88 |
| Gor | tr1 | 555 | 40.50 | 1193.80 | 1195.58 | 1195.58 | 1196.23 | 0.006745 | 3.59 | 8.72 | 1.01 |
| Gor | tr1 | 416 | 40.50 | 1193.40 | 1195.00 | 1195.18 | 1195.87 | 0.009908 | 4.12 | 8.26 | 1.21 |
| Gor | tr1 | 282 | 40.50 | 1192.90 | 1194.47 | 1194.68 | 1195.38 | 0.010594 | 4.22 | 8.19 | 1.25 |
| Gor | tr1 | 88 | 40.50 | 1192.60 | 1194.38 | 1194.38 | 1195.03 | 0.006739 | 3.58 | 8.72 | 1.01 |

III.3.3. Les profils en travers :

Les profils en travers assurent le transport de la crue centennale sans débordement tout au long du cours d'eau, les sections en travers obtenus par simulation par logiciel HEC RAS pour chaque tronçon sont montrées dans les figures suivantes :



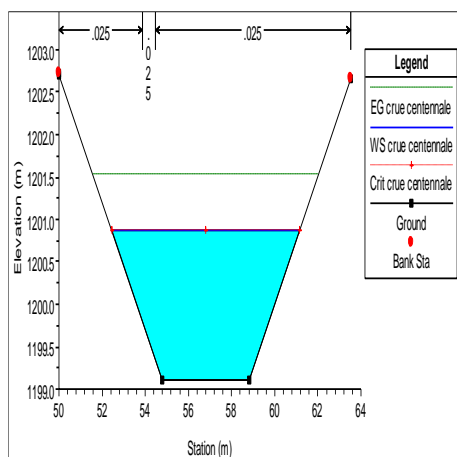
A) après aménagement



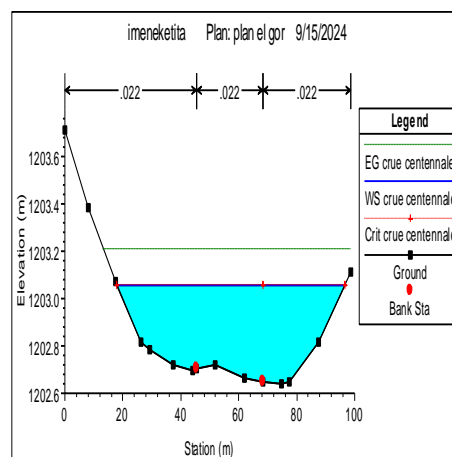
B) avant aménagement

Figures V.20: section transversale dans le tronçon 03, station 7465.

Les figures ci-dessous représentent une section avant et après aménagement dans le tronçon 02.



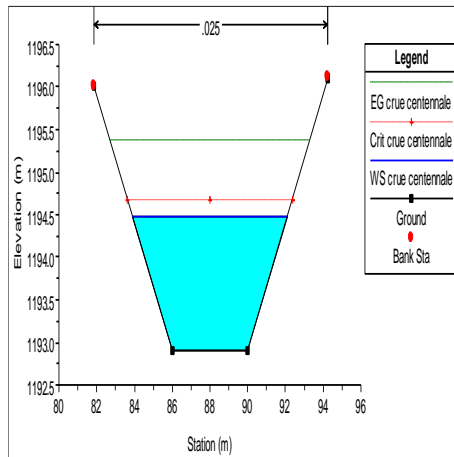
A) après aménagement



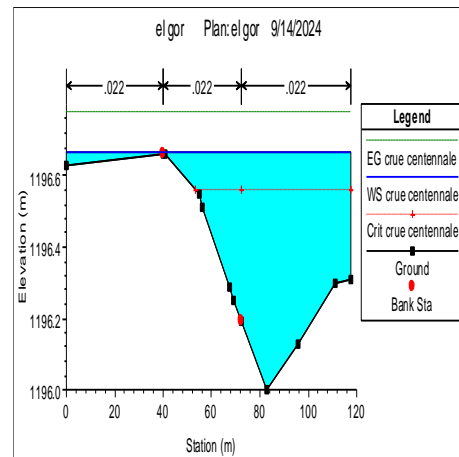
B) avant aménagement

Figures V.21: section transversale dans le tronçon 02, station 3661.

Les figures ci-dessous représentent une section avant et après aménagement dans le tronçon 01.



A) après aménagement



B) avant aménagement

Figures V.22 : section transversale dans le tronçon 01, station 262.

III.3.4. interprétations des résultats :

- **Dans le tronçon 01 :**

Selon le nombre de Froude, le type d'écoulement est mixte, la vitesse d'écoulement atteint un maximum de 4,77 m/s . Le périmètre mouillé est important dans ce tronçon donc il n'est pas recommandé dans la zone urbaine à cause du manque d'espace due à l'urbanisation au bord des rives. D'un point de vue technique, le canal en enrochement assure une bonne protection contre la crue exceptionnelle.

- **Dans le tronçon 02 :**

Selon le nombre de Froude, le type d'écoulement est mixte notant que l'écoulement fluvial est prédominant, la vitesse d'écoulement oscille entre 2,11m/s et 4,80 m/s. D'un point de vue technique, le canal en enrochement assure une bonne protection contre la crue exceptionnelle.

- **Dans le tronçon 03 :**

Selon le nombre de Froude, le type d'écoulement est mixte, la vitesse d'écoulement atteint un maximum de 4,22 m/s, le canal en enrochement assure l'évacuation de la crue centennale sans débordement.

III.3.5. le calcul de volume d'enrochement :

Le volume de l'enrochement sera calculé en fonction de diamètre médiane des roches à empiler dans le fond et les berges.

- Conception du canal en enrochement :

L'enrochement est une technique couramment utilisée pour stabiliser les berges et le fond des cours d'eau. Elle consiste à empiler des roches massives issues de carrières, non liés entre eux, avec une inclinaison modérée des talus afin d'assurer la stabilité de la structure. Sa largeur à la base doit être d'au moins 1/2 fois sa hauteur. Les roches sélectionnées doivent également être assez volumineuses, et surtout du même calibre.

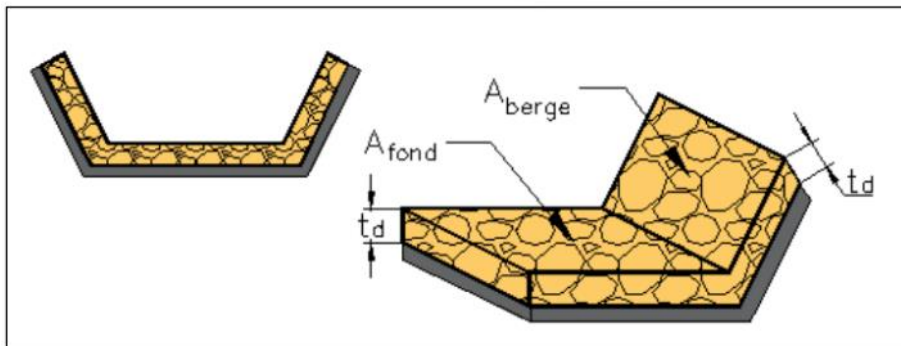


Figure V.23: Canal en enrochement.

➤ **Epaisseur orthogonale théorique t_d (m) :**

$$t_d = n \cdot D_{50} \quad \text{V.13}$$

➤ **Volume globale de dimensionnement :**

$$V_{b,d} = A \cdot t_d \quad \text{V.14}$$

Avec :

- ✓ **n** : nombre de couche $n = 1$;
- ✓ **D50** : Diamètre médian ou moyen. D50(mm) ;
- ✓ **A** : Aire (surface) (m^2) ;
- ✓ **L** : la longueur de chaque tronçon ;

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

➤ Les sections d'enrochement :

$$A = L \cdot l_{\text{talus}} \quad \text{V.15}$$

$$l_{\text{talus}} = h \cdot \sqrt{1 + m^2} \quad \text{V.16}$$

• Résistance à la vitesse du courant:

La vitesse limite du début d'entraînement est la vitesse en dessous de laquelle les pierres de l'enrochement sont stables, elle est fonction du poids de la pierre, de la pente de la berge et du tirant d'eau.

La méthode qui va être citée consiste à calculer la taille des blocs sur fond plat (ou de faible pente) ensuite corriger en fonction de la pente du talus.

Pour déterminer la dimension des blocs, une des approches possible est celle de la formule d'Isbash, qui donne le diamètre médian des blocs pour une protection en enrochements sur fond plat ou en faible pente en fonction du carré de la vitesse du courant au voisinage du revêtement.

$$d = 0,7 \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma_s - \gamma_w} \cdot \frac{U^2}{2g} = 0,361 \text{ m} \quad \text{V.17}$$

le diamètre moyen de la protection du fond est de $d_{50} = 0,85 \cdot 0,361 = 0,306 \text{ m}$ donc on utilise des blocs de pierres de :

$$D_{\min} = 0,7 \cdot 0,4 = 0,28 \text{ m} < d_{50} = 0,4 \text{ m} < D_{\max} = 1,4 \cdot 0,4 = 0,56 \text{ m}.$$

Et sera corrigé pour un écoulement fortement turbulent (élargissement soudain de la section, contact avec un ressaut...).

$$d = 1,4 \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma_s - \gamma_w} \cdot \frac{U^2}{2g} \quad \text{V.18}$$

Avec :

- ✓ **U** : vitesse du courant au voisinage du revêtement m/s. la vitesse moyenne de l'écoulement des 3 tronçons est de 3,37 m/s ;
- ✓ **G** : accélération de la pesanteur : 9,81 m/s² ;
- ✓ **γ_w** : poids volumique spécifique de l'eau : 10 kN/m³ ;
- ✓ **γ_s** : poids volumique spécifiques des roches ou blocs, il est souvent de l'ordre de 26 ou 27 kg/m³. on remarque que ce paramètre influe sur la taille des roches (D₅₀ diminue avec l'augmentation de γ_s et de l'angle β) ;

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

Pour les roches posés sur talus , Lane a proposé de diviser le diamètre calculé pour un fond plat par le facteur : $K = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \beta}{\sin^2 \varphi}}$. φ est l'angle d'équilibre limite d'enrochement sans écoulement, β est l'angle que fait le talus avec l'horizontal. Par sécurité l'angle φ est assimilé à l'angle de repos compris entre 36° et 45° , pour des enrochements, une moyenne de 40° est retenue pour $\frac{\gamma_s}{\gamma_w} = 2,6$.

$$K = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 36,86^\circ}{\sin^2 40^\circ}} = 0,359 \quad \text{V.19}$$

Le diamètre moyen des blocs de la protection des talus $d = (0,361/0,359) \cdot 0,85 = 0,85\text{m}$, ce diamètre reste à normalisé selon la disponibilité sur le marché algérien,

$$D_{\min} = 0,70,9 = 0,63\text{m} < d = 0,85\text{m} < D_{\max} = 1,40,9 = 1,26\text{m}.$$

- **Le choix de la géotextile :**

Il existe différents types de grammages et de densités. Un grammage important signifie une meilleure barrière du géotextile car plus épais et donc plus efficace contre les mauvaises herbes et résiste à la déchirure.

On utilise la géotextile sous l'enrochement afin de :

- ❖ **Renforcer et stabiliser le sol :** Grâce à sa déformation sous de fortes pressions, le feutre géotextile renforce la stabilité du sol .Il résiste aussi face aux changements de température et aléas climatiques (gel, forte chaleur).
- ❖ **Éviter la pousse des mauvaises herbes :** Fini le désherbage à répétition qui peut déstabiliser les roches empilées. Le feutre géotextile empêche la pousse des mauvaises herbes et celle des racines qui envahissent votre terrain.
- ❖ **Filtrer l'eau :** Il est très utile pour stabiliser le sol et filtrer l'eau, sans laisser passer les particules.
- ❖ **Garder l'humidité du sol :** Perméable à l'eau et l'air, le géotextile garde le sol humide, pour permettre aux végétaux de ne pas manquer d'eau.
- ❖ **Drainage du sol :** Le film géotextile permet de drainer et d'éviter la stagnation de l'eau, favoriser son écoulement et assurer sa bonne répartition. La toile géotextile est efficace pour les surfaces planes ainsi que celles en pentes.

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

- ❖ **Le feutre géotextile lutte contre l'érosion des sols :** Pour notre cas, on propose le géotextile non biodégradable non tissée (plus souple que le géotextile tissé et laisse circuler l'eau facilement) formée de polypropylène et polyester, pour maintenir avec l'ouvrage de grammage 90 g/m² car il supporte mieux le poids lourds, plus épais et perméable.

Il est conditionné et se présente sous forme de rouleau dont les dimensions varient selon les modèles.

$$S_{\text{géo}} = (b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + m^2}) \cdot L \quad \text{V.20}$$

Avec :

- ✓ **B** : la largeur de la tranchée en m.
- ✓ **L** : la longueur de l'aménagement en m.
- ✓ **m** : fruit de talus, pour notre cas m=2.
- ✓ **S_{géo}** : la surface à recouvrir en géotextile en m²
- ✓ **h** : hauteur du canal en m.

Il faut que chaque bande de géotextile chevauche celle d'à côté de 20 à 30 cm pour bien bloquer les repousses (un chevauchement plus important peut être nécessaire si le géotextile est installé sur un sol très instable). Le chevauchement est réalisé par des agrafes ou méthode de tuilage. Cette étape n'est pas indispensable pour du matériel lourd (gravier). Le poids suffit à maintenir la toile.

Pour notre cas on a besoin de recouvrir une surface de 41019,1638 m².

Tableau V.21: sections d'enrochements.

| | | L(m) | l(m) | A(m ²) |
|------------|--------------|---------|------|--------------------|
| Tronçon 01 | Fond | 423,5 | 4 | 1694 |
| | Talus gauche | 423,5 | 6,33 | 2680,75 |
| | Talus droit | 423,5 | 6,33 | 2680,75 |
| Tronçon 02 | Fond | 610 | 4 | 2440 |
| | Talus gauche | 610 | 6,98 | 4257,8 |
| | Talus droit | 610 | 6,98 | 4257,8 |
| Tronçon 03 | Fond | 1262,98 | 4 | 5051,92 |
| | Talus gauche | 1262,98 | 6,65 | 8398,81 |

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

| | | | | |
|--|-------------|---------|------|---------|
| | Talus droit | 1262,98 | 6,65 | 8398,81 |
|--|-------------|---------|------|---------|

Le volume de l'enrochement utilisés pour la protection du fond et des talus d'Oued El Gor est résumé dans le tableau suivant :

Tableau V.22: volume d'enrochement.

| | | n | D50(m) | td(m) | A(m ²) | V(m ³) |
|--------------|--------------|---|--------|-------|--------------------|--------------------|
| Tronçon 01 | Fond | 1 | 0,400 | 0,400 | 1694 | 677,6 |
| | Talus gauche | 1 | 0,900 | 0,900 | 2680,75 | 2412,67 |
| | Talus droit | 1 | 0,900 | 0,900 | 2680,75 | 2412,67 |
| Tronçon 02 | Fond | 1 | 0,400 | 0,400 | 2440 | 976 |
| | Talus gauche | 1 | 0,900 | 0,900 | 4257,8 | 3832,02 |
| | Talus droit | 1 | 0,900 | 0,900 | 4257,8 | 3832,02 |
| Tronçon 03 | Fond | 1 | 0,400 | 0,400 | 5051,92 | 2020,76 |
| | Talus gauche | 1 | 0,900 | 0,900 | 8398,81 | 7558,92 |
| | Talus droit | 1 | 0,900 | 0,900 | 8398,81 | 7558,92 |
| Volume total | | | | | | 31 281,58 |

III.3.6. Estimations du cout de la variante :

Le devie de la variante de l'enrochement est représenté sur le tableau suivant :

Tableau V.23: le devie quantitatif et estimatif de la variante canal en enrochement.

| Désignation des travaux | | unité | quantité | Prix unitaire DA | Montant DA |
|--|---------|----------------|-----------|---------------------|---------------|
| terrassements | Déblai | M ³ | 65671,05 | 250,00 | 1 417 762,5 |
| | Remblai | M ³ | 10743,94 | 700,00 | 7 520 758 |
| Géotextile non tissé composé de fibres de polypropylène unies par aiguilletage | | M ² | 41019,16 | 800,00 | 32 815 328 |
| L'enrochement | | M ³ | 31 281,58 | 4800,00 | 150 151 584 |
| Montant | | | | | 191 905 432,5 |

IV. Choix de la variante d'aménagement :

Il paraît que toutes les trois variantes assurent le transport de la crue centennale sans risque de débordement. Le choix de la variante sera donc basé sur des considérations technico-économiques afin de rassurer les futurs investisseurs, de sa potentialité et facilité de réalisation, de prévenir l'érosion des berges, les caractéristiques locales de l'environnement et la géomorphologie de la rivière.

Dans notre cas on opte pour un aménagement mixte, on fait un gabionnage dans le tronçon 01, 02 et à l'aval du tronçon 03 sur une longueur de 1660m car le mur de gabion assure un bon drainage, un coût réduit par rapport au canal en dur, la largeur au miroir est convenable pour le cas d'Oued El Gor où les deux berges sont urbanisées anarchiquement donc ils ont diminué la largeur du terrain naturel, il s'intègre bien avec l'environnement et s'adapte bien à la morphologie des berges d'Oued El Gor et qui peuvent durer jusqu'à 60 ans. En amont du tronçon 03, dans la partie rural, on projette une protection en enrochement qui s'étend sur une distance de 637m en se basant essentiellement sur des critères économiques puisque la partie amont du tronçon 03 n'est pas urbanisée donc on peut projeter une protection en enrochement avec une largeur au miroir importante (disponibilité d'espace).

Il faut recommander un curage régulier et un entretien à réaliser après chaque crue qui a apporté des débits supérieurs à la normale, afin de vérifier la capacité hydraulique du canal ainsi que les défaillances et anomalies susceptibles de se produire sur le revêtement puisque l'écoulement prédominant est l'écoulement fluvial à cause de la pente très faible à l'aval du bassin versant ce qui va provoquer des dépôts sédimentaires considérables qui vont réduire la performance de la protection et venir envaser les cages.

V. Calcul de stabilité des canaux à fond non revêtu :

Si le fond du chenal ou les berges sont érodables, le dimensionnement nécessite que les dimensions et la pente du fond soient adaptées de telle façon à assurer une stabilité des grains. Dans notre cas les berges sont stabilisées par le gabionnage et l'enrochement, il nous reste la vérification de la stabilité du fond qu'on doit vérifier afin de mettre un revêtement ou non. Deux méthodes sont généralement utilisées : La vitesse admissible et la force ou contrainte tractrice.

1- Méthode de La vitesse Admissible :

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

Dans cette méthode ; le dimensionnement du canal est fait de telle sorte à ce que la vitesse d'écoulement sous les conditions d'écoulement uniformes soit inférieure à la vitesse admissible qui est la vitesse limite d'érosion. Cette dernière est définie comme étant la vitesse au dessous de laquelle le fond et les berges du chenal sont considérées comme stables. Cette vitesse dépend principalement du type de sol et des dimensions des grains, et aussi de la profondeur de l'écoulement et de la sinuosité du chenal. En générale des sections trapézoïdales sont utilisées pour les chenaux érodables.

Les vitesses moyennes admissibles pour divers sols sont résumé dans le tableau suivant, ces valeurs sont relatives a un cours d'eau droit sans sinuosité avec une profondeur moyenne de 1m. (Lane, 1955) à suggérer de réduire ces valeurs de 5% pour les cours d'eau faiblement sinueux, 13% pour les chenaux modérément sinueux et de 22% pour ceux très sinueux. Pour les profondeurs différentes de 1m , les vitesses sont multipliées par un coefficient de correction k.

$$K=y^{\frac{1}{6}} \quad V.21$$

Avec :

- ✓ y : est la profondeur d'écoulement en m ;

Tableau.24 : vitesse admissible d'écoulement.

| Matériaux | V (m/s) |
|--|---------|
| Sable fin | 0.6 |
| Sable grossier | 1.2 |
| Sol Sablo- limoneux | 0.6 |
| Sol Sablo-argileux | 1.1 |
| Argile | 1.8 |
| Sablo- limoneux végétalisé (pente <5%) | 1.8 |
| Argilo-limoneux végétalisé (pente <5%) | 2.4 |
| Grès tendre | 2.4 |
| Schiste douce | 1.1 |
| Roche dure | 6.1 |

source : US corps of engineers.

Notant que cette vitesse admissible varie avec la profondeur. On préfère toujours d'ajouter une revanche comme marge de sécurité au tirant d'eau pour obtenir la profondeur du canal.

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

On doit vérifier que la vitesse moyenne d'écoulement est inférieure à la vitesse limite d'érosion ou admissible.

2- Méthode de la force (ou contrainte) tractrice :

L'utilisation de la méthode de la contrainte tractrice semble la plus adaptée, vue que le mouvement des grains est tributaire de la contrainte tractrice et non pas de la vitesse moyenne de l'écoulement, celle-ci est considérée car il est très difficile de calculer ou de mesurer la vitesse au fond.

La contrainte tractrice peut s'écrire

$$\tau_0 = \gamma_w \cdot R_h \cdot I \quad \text{V.22}$$

Avec:

- ✓ **R_h** : est le rayon hydraulique en m ;
- ✓ **I** : la pente du fond en m/m ;
- ✓ **τ₀** : La tension tangentielle critique exercée sur le fond en (KN/m³) ;
- ✓ **γ_w** : Le poids volumique spécifique de l'eau est 10 (KN/m²) ;

Pour des canaux larges $R \approx y$.

La figure suivante illustre la relation entre l'angle de repos ϕ , et le diamètre et la forme de la particule solide selon (USBR).

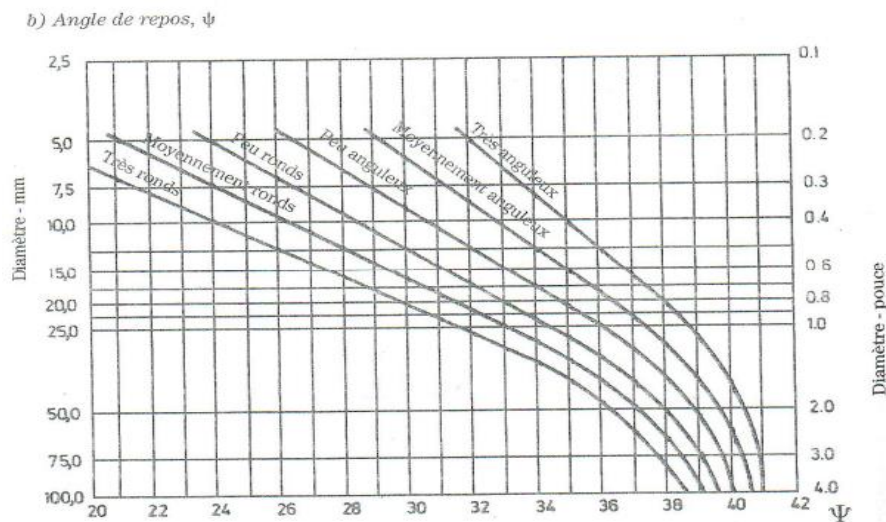


Figure V.24 : angle au repos des grains solide en fonction du diamètre médian.

Et selon cette méthode, pour vérifier la stabilité du fond, il faut que la contrainte tractrice au fond τ_0 soit inférieure à la contrainte tangentielle admissible.

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

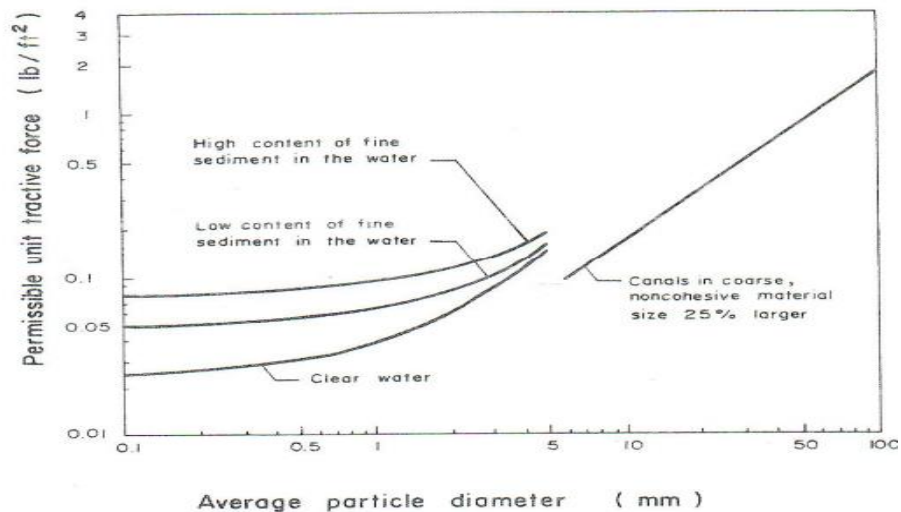


Figure V.25: efforts tangentiels critiques pour les matériaux non cohésifs (USBR).

De même ; la figure ci-dessous montre l'effort tangentiel admissible pour un matériau cohésif (USBR).

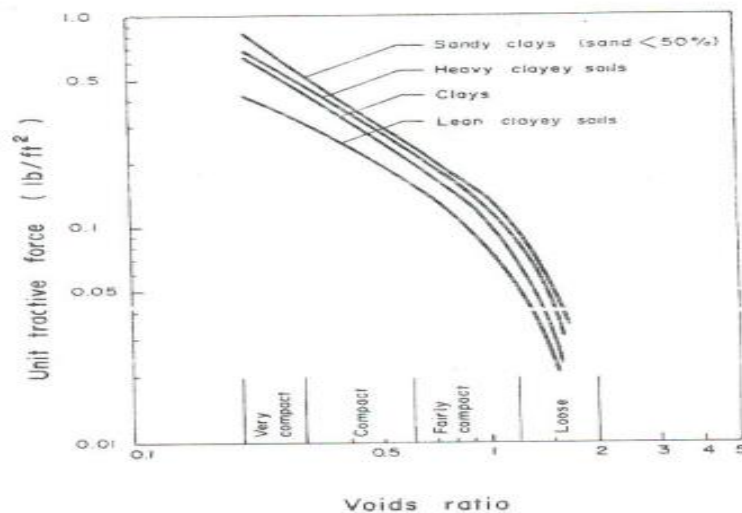


Figure V.26: efforts tangentiels critiques pour les matériaux non cohésifs (USBR).

Dans notre cas et selon les chapitres précédents le type de sol est limoneux-sableux, on prend un diamètre médian allons de 0,1 à 0,2 mm pas plus de 0,5 mm. On prend $D_{50}=0,5\text{mm}$.

La contrainte tangentielle admissible d'après l'abaque, pour $D_{50}=0,5\text{mm}$ on trouve $\tau_{adm}=0,08 \times 47,88=3,83\text{N/m}^2$.

Tableau V.25: Résultats des contraintes tractrices au fond et berges.

| Tronçon | τ_0 (KN/m ²) | τ_{adm} (KN/m ²).10 ⁻³ |
|------------------------------------|-------------------------------|--|
| Tronçon01 en gabion | 0,070 | 3,83 |
| Tronçon02 en gabion | 0,070 | 3,83 |
| Tronçon 03 en gabion en aval | 0,070 | 3,83 |
| Tronçon 03 en enrochement en amont | 0,085 | 3,83 |

D'après ce tableau, le fond n'est pas stable, on propose un fond en matelas Reno pour les canaux en gabion, dans notre cas on opte pour un matelas Reno qui assure une structure large, unis, stable et pas chère. Le matelas Reno est une structure de boîte à mailles d'une épaisseur de 0,17 à 0,3 m, qui est utilisée pour stabiliser le fond de cours d'eau. Un compactage suivi couche par couche est indispensable dans les berges et le fond de l'Oued afin d'assurer une stabilité et consolidation optimale pour supporter l'ouvrage de protection contre les inondations.

Il est également appelé matelas de gabion ou tapis de gabion. La différence la plus évidente entre le matelas Reno et les boîtes de gabion sont hauteur (épaisseur) et l'apparition. Le matelas Reno est moins haut, sa forme est plate et large.

Les caisses sont de dimensions 2x2x0,3 de diamètre efficace ou médian de 125mm sur une longueur de 2297m.

➤ Avantage :

- **Haute durabilité :** Fait du fil à faible teneur en carbone de haute qualité, notre matelas de gabion est fort et durable; en attendant, tous les bords sont renforcés avec la lisière de fil pour la force supplémentaire. Il peut supporter le poids lourd des roches dures denses.
- **Superbe perméabilité :** L'espace entre les roches permet un excellent drainage pour réduire la pression hydrostatique.
- **Respectueux de l'environnement.**
- **Économie.**

CHAPITRE V LES VARIANTES D'AMENAGEMENT

Les matériaux de remplissage tels que les roches et les pierres locales sont peu coûteux, cependant, ils sont faciles à assembler et à installer ne nécessitant pas de main-d'œuvre qualifiée et de gros équipements. Ils sont durables et sans entretien si la conception et la construction sont raisonnables qu'après chaque 10 ans ou après chaque crue, un entretien s'impose.

Tableau V.26: les dimensions standards des matelas Reno (courantes).

| Taille du matelas Reno | Diamètre du fil | Trou de maille |
|------------------------|-----------------|----------------|
| 1x1x0.3m | | |
| 1x2x0.3m | 2.2mm | 6x8cm |
| 2x2x0.3m | 2.7mm | 8x10cm |
| 2x3x0.3m | 3.0mm | 10x12cm |
| 2x4x0.3m | 3.4mm | |
| 2x6x0.3m | | |

Source :Shengsengabion.com

Conclusion :

Au cours de ce chapitre, trois variantes d'aménagement ont été proposées pour la protection des zones urbaines et rurales d'Oued El Gor contre les inondations. Ensuite, une étude technique et économique a été mise en place afin de choisir la variante optimale qui assure la protection des zones vulnérables à moindre coût possible. L'aménagement proposé sert à gabionner les berges de l'Oued tout au long de son parcours puisque sa partie la plus longue traverse des zones à forte densité de population et une partie rurale en amont du tronçon 03 qui peut être urbanisé dans le futur donc on prolonge l'aménagement de l'amont à l'aval jusqu'à l'exutoire afin de garantir une protection rigoureuse avec des recommandations de curage régulier de fond de l'oued avec une possibilité de l'implantation des saules pour éviter les érosions susceptibles de se manifester.

La prochaine étape sera l'estimation quantitatif du projet et l'organisation de chantier afin d'assurer l'enchaînement le plus logique et économique des travaux d'aménagement de l'Oued.

A decorative frame resembling a scroll, with a horizontal bar at the top and a vertical bar on the left. The top bar has a small circular tab on its left end. The vertical bar has a larger circular tab on its bottom end. The text is centered within the frame.

CHAPITRE VI: MANAGEMENT DE PROJET

Introduction :

L'organisation de chantier ou management de projet consiste à prévoir toutes les ressources nécessaires en moyens humains, matériels et matériaux, et demande et impose un rythme de travail pour une bonne utilisation de ses moyens dans le but de rechercher : la rapidité, la qualité, et l'économie.

En d'autres termes, le management de projet désigne l'ensemble des techniques, outils et méthodes mis en œuvre pour planifier et exécuter des actions (opérations) dans le but d'atteindre un objectif.

I. Devie quantitatif et estimatif :

Le mètre quantitatif estimatif est un document par lequel il est possible d'estimer le coût des travaux pour la réalisation d'un ouvrage de construction (ou une partie de celui-ci) ou des coûts pour son entretien futur, il s'agit l'une des pièces écrites les plus importantes dans le domaine de BTPH.

Le devie quantitatif estimatif est préparé par le métreur, ou l'économiste de la construction sur la base d'un projet.

I.1 Calcul du volume des travaux :

Le calcul se fait sur les sections transversales de l'oued, en évaluant la différence entre les sections naturelles et les sections projetées.

I.1.1 Volume de la couche de terre végétale:

Le volume de la couche de terre végétale concernée par le décapage est calculé par la formule suivante :

$$V_{cv} = H.B. L \quad \text{VI.1}$$

Avec :

- ✓ **V_{cv}** : Volume de la couche de terre végétale en (m³) ;
- ✓ **H** : Profondeur la couche de terre végétale (varie entre 10 et 40cm, on prend H_v = 0,1 m) ;
- ✓ **L** : Longueur totale de la tranchée en (m) ;
- ✓ **B** : Largeur de la couche de terre végétale en (m) ;

I.1.2 Volume des déblais et des remblais :

Les terrassements désignent tout mouvement de terre que ce soit des déblais ou des remblais, Les volumes des terrassements « déblais et remblais » sont calculés par HEC-RAS.

Le foisonnement des terres lors d'un terrassement équivaut à une augmentation de volume des matériaux après excavation. La multiplication s'avère plus ou moins forte. En effet, une terre sableuse apporte beaucoup plus de volume qu'une terre argileuse entièrement compactée.

Ainsi, ce volume foisonné sert de base à pour établir un devis de transport des matériaux du point A au point B, si il y a doit avoir un remblaiement avec les mêmes matériaux des déblais, le coefficient de foisonnement est particulièrement utile, car il permet d'identifier le volume exacte restant à transporter à la décharge publique après tassement des terres.

Tableau VI.1 : coefficient de foisonnement pour les matériaux divers.

| matériaux | Coefficient de foisonnement |
|--------------------------|-----------------------------|
| Terre végétale | 1,42 |
| Pierres concassées | 1,67 |
| Ciment | 3 |
| Argile, sableux argileux | 1,25 |
| Gravier | 1,12 |
| Tourbe | 1,18 |
| Sable | 1,12 |
| Terre sèche | 1,25 |
| Garnit fragmenté | 1,65 |
| enrobé | 1,09 |

Source :2024 SAS Terrain Construction.

Il faut garder à l'esprit que les coefficients de foisonnement indiqués sont susceptibles de varier si le matériau en question est mouillé ou sec. Pour déterminer précisément le volume du matériaux , on utilise une formule mathématique à savoir :

$$V_f = V_p \cdot K_f \quad \text{VI.2}$$

Avec :

- ✓ **V_f** : volume foisonné (m³).
- ✓ **V_p** : volume initiale ou en place, si le remblai sera effectué par la terres extraites du remblai, il s'agit du volume de déblais (m³).
- ✓ **K_f** : Coefficient de foisonnement dépend de la nature du sol, présenté dans le tableau suivant :

En somme, le foisonnement des matériaux est essentiel pour l'étude de la faisabilité du chantier. Car dans le transport et dans le terrassement, la différence de volume entre matériaux foisonnés et non foisonnés peut être significative.

I.1.3 Volume de Gabionnage et d'enrochement pour la protection du cours d'eau :

Dans notre projet nous allons utiliser des cages de gabion de dimension (1x1x1 m) et celles de (1x0,5x1m) et de diamètre médiane de 150mm pour les berges et un matelas Reno sur le fond de dimensions 2x2x0,3 de D50=125mm..

La pierre de gabion est un type de pierre concassée (par concasseur en carrière), telle que le calcaire .Ces dernières respectent un cahier des charges précis pour assurer une durée de vie optimale du gabion : elles sont non friables et résistantes au gel , et qui sont moins couteuses que les galets, provenant de carrières de pierre locales non sensible au gel, et utilisée comme remplissage pour les gabions, les paniers et les cages . Cette pierre concassée se décline en différentes tailles selon son utilisation. La taille la plus populaire est la pierre de 200 à 100 mm.

Pour la protection en enrochement, des blocs de pierres de diamètre d50=400mm on été proposé afin de stabiliser le fond et celles de d50=900 mm pour la protection des berges contre l'érosion.

Afin d'avoir une idée sur le coût de réalisation de notre projet voici le tableau suivant qui récapitule l'ensemble des calculs quantitatif et estimatif de l'ensemble des travaux utiliser dans notre étude.

CHAPITRE VI MANAGEMENT DE PROJET

Tableau VI.2: Devis quantitatif et estimatif du projet.

| N° d'article | Désignation des travaux | | U | Quantité | P.U DA | Total DA |
|--------------|--|---------|----------------|----------|----------|------------|
| 1 | Décapage de la couche végétale | | M3 | 918,8 | 300,00 | 275 640 |
| 2 | Terrassement de Toute nature par engin | Déblai | M ³ | 59812,52 | 250,00 | 14 953 130 |
| | | remblai | M ³ | 9785,47 | 700,00 | 6 849 829 |
| 3 | Nivellement et compactage en plusieurs couches | | M ² | 9188 | 900,00 | 8 269 200 |
| 4 | Fourniture et pose d'une géotextile non biodégradable de grammage 90g/m ² sur toute la longueur | | M ² | 37587,7 | 800,00 | 30 070 160 |
| 5 | Fourniture et pose des gabions de 1x1x1m pour les berges en fil galvanisé sur toute la longueur | | U | 19920 | 2.000,00 | 39 840 000 |
| 6 | Fourniture et pose des gabions de 1x0.5x1m pour les berges en fil galvanisé sur toute la longueur | | U | 6640 | 1.800,00 | 11 952 000 |
| 7 | Fourniture et pose de tapis | | U | 1660 | 2.000,00 | 3 320 000 |

CHAPITRE VI MANAGEMENT DE PROJET

| | | | | | |
|---------------|--|----------------|----------|----------|---------------|
| | Reno de dimensions 2x2x0,3m pour le fond sur toute la longueur | | | | |
| 8 | Fourniture et pose de matériaux de remplissage des cages : pierres concassées en calcaire. | M ³ | 26560 | 2,000,00 | 53 120 000 |
| 9 | Les volumes á transporter á la décharge public | M ³ | 57204,55 | 680,00 | 38 899 094 |
| 10 | Fourniture et pose de l'énrochement pour le fond de d50=0,4m sur toute la longueur | M ³ | 1019,2 | 3500,00 | 3 567 200 |
| 11 | Fourniture et pose de l'énrochement pour les talus de d50=0,9m sur toute la longueur | M ³ | 7631,77 | 4500,00 | 34 342 296 |
| Montant Total | | | | | 235 458 549 |
| TVA 19% | | | | | 44 737 124,31 |
| Montant TTC | | | | | 280 195 673,3 |

CHAPITRE VI MANAGEMENT DE PROJET

Le présent devis quantitatif et estimatif en TTC est estimé à la somme de deux cent quatre vingt millions cent quatre vingt et quinze et six cent soixante treize Dinars Algériens.

II. Planification de projet :

Avant d'aller sur chantier, pour la réalisation des travaux, il faut toujours commencer par une étude théorique, c'est ce qu'on appelle une planification. Son objectif est de s'assurer que les travaux se font dans un ordre correct c'est à-dire :

- une bonne succession des travaux.
- sans retard (à temps).
- économique que possible, c'est à dire faire un bénéfice.

II.1. Techniques De La Planification :

Il existe deux principales méthodes de planification :

- Méthodes basées sur le réseau.
- Méthodes basées sur le graphique

Notant que Le graphique ne peut se faire sans le réseau, car le réseau n'est qu'un outil de calcul permettant d'aboutir à des résultats répondant à certaines questions qui nous sont posées. Le graphique est une forme d'interprétation du réseau et de ses résultats mais mieux lisible et compréhensible.

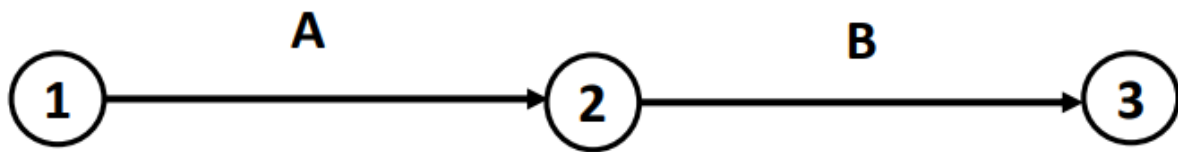
II.1.1. Méthodes basées sur le réseau :

II.1.1.1 Définition du réseau :

Le réseau est une représentation graphique d'un projet qui permet d'indiquer la relation entre les différentes opérations qui peuvent être successives, simultanées, convergentes, divergentes et leurs durées de réalisation. On distingue deux types de réseaux :

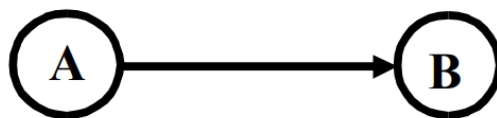
- Le réseau à flèches (méthode des potentielles) :

L'opération est représentée par une flèche et la relation entre les opérations par des nœuds.



- Le réseau à nœuds (méthode PERT) :

Dans le réseau à nœuds l'opération est mentionnée dans le nœud, et la flèche indique la relation entre les opérations.



II.1.1.2 Construction du réseau :

La division du projet en un certain nombre d'étapes ou tâches élémentaires, l'étude des liaisons logiques qui les lient, et l'estimation des durées de chaque tâche. Cette phase permet d'analyser la construction d'un graphe (ou réseau). Pour construire un réseau il faut passer par les six (6) opérations suivantes :

a-Etablissement d'une liste des tâches : Il s'agit dans cette première étape de procéder à un inventaire très précis et détaillé de toutes les tâches incontournables à la réalisation d'un projet.

b-Détermination des tâches qui précèdent et succèdent: Après avoir dressé la liste des tâches à effectuer, il n'est pas toujours aisé de construire un réseau sans l'inventaire des tâches qui précèdent et qui succèdent chaque opération.

c- Décomposer le projet en opérations : définir précède succède, et attribution des durées.

d-construction des graphes partiels : ce sont des réseaux composés de trois opérations au maximum.

e- regroupement des graphes partiels.

f- construction du réseau. En effet en regroupant les graphes partiels, on obtient le réseau.

CHAPITRE VI MANAGEMENT DE PROJET

Les méthodes les plus usuelles à l'ingénieur sont :

II.1.1.3.Méthode C.P.M (critical path method-méthode du chemin critique) :

L'objectif de cette méthode est de réduire les temps de réalisation d'un ouvrage en tenant compte de trois phases :

- 1ère phase : l'effectif nécessaire pour effectuer le travail.
- 2ème phase: analyser systématiquement le réseau, heure par heure, jour par jour, selon l'unité de temps retenue.
- 3ème phase : adapter le réseau aux conditions ou contraintes fixées par l'entreprise.

II.1.1.4.Méthode P.E.R.T (Program Evaluation and Review Technical):

C'est-à-dire technique d'ordonnancement des tâches et contrôle des programmes, c'est une méthode consistant à mettre en ordre sous forme de réseau plusieurs tâches qui grâce à leur chronologie et leur dépendance concourent toutes à l'obtention d'un produit fini.

La détermination d'un ordonnancement (ou planning), et la recherche des tâches qui déterminent la durée totale du projet.

II.1.1.5.Méthode P.D.M (Procedure Diagram Method):

C'est une méthode basée sur le réseau à nœuds et développe trois (03) relations à savoir :

- Commencement de l'opération (A) et (B) .
- Finition de l'opération (A) et commencement de (B).
- Finition de l'opération (A) et finition de l'opération (B).

II.1.2 Méthodes basées sur le graphique :

La théorie des graphes fournit un nouvel outil pour la résolution des problèmes d'ordonnancement, et la détermination des plannings. Son application réduit l'examen d'un projet de vastes dimensions a trois phases :

- La division du projet en un certain nombre d'étapes ou de tâches élémentaires.
- L'étude des liaisons logiques qui les lient.
- L'estimation des durées de chaque tâche. Cette phase permet la construction d'un graphe (ou réseau).

CHAPITRE VI MANAGEMENT DE PROJET

Les deux méthodes les plus utilisées sont :

- ✓ Méthode linéaire (ligne of balance technic) : Cette méthode est réservée à la planification des projets de construction dont les travaux sont répétitifs. Elle est particulièrement efficace pour les projets de construction à grande échelle, comme les chantiers de construction de bâtiments identiques ou de structures linéaires telles que les routes et les voies ferrées.
- ✓ Méthode à barres : Cette technique vise à déterminer deux réseaux et un diagramme à barres. Elle permet de visualiser les interdépendances entre les tâches et de déterminer la séquence dans laquelle elles doivent être exécutées. Cela facilite la gestion du projet en offrant une vue d'ensemble des activités et de leur chronologie.

II.2. Les Etapes De La Planification :

Il s'agit de l'étape cruciale du processus de mise en œuvre du projet.

- Collection des informations : L'établissement d'une synthèse d'analyse des informations acquises par des études comparatives permet l'usage correct du plan de réalisation de notre projet.
- Décomposition du projet : C'est une partie importante car chaque projet peut être analysé de diverses manières ; nous attribuons à chaque tâche un responsable et ses besoins en matériels.
- Relations entre les tâches : Il existe deux relations essentielles entre les tâches lors de la réalisation ; l'une porte sur un enchaînement logique et l'autre sur un enchaînement préférentiel.

II.3. Choix De La Méthode De Calcul :

Le choix de la méthode de calcul repose essentiellement sur le type d'ouvrage à construire. Il est préférable dans le cas où les opérations se suivent comme dans notre cas d'opter pour la méthode C.P.M.

II.3.1 Les paramètres de la méthode C.P.M. :

Les paramètres inévitables pour la méthode C.P.M sont représentés dans la figure qui suit :

La grille est comme suit :

| | | |
|------|------|--|
| DCP | TR | TR: Temps de réalisation : C'est le temps nécessaire à l'opération pour qu'elle soit réalisée. |
| DFP | DCPP | DCP: Date de commencement au plus tôt. C'est la date où l'activité peut être commencée. |
| DFPP | MT | DCPP: Date de commencement au plus tard. C'est la date où la tâche doit être commencée. |
| | | DFP: Date de finition au plus tôt. C'est la date où l'opération peut être achevée. |
| | | DFPP: Date de finition au plus tard. C'est la date où l'opération doit être achevée. |
| | | MT: Marge totale. C'est l'intervalle de temps compris entre au plus tôt, et au plus tard. |

Figure VI.1 : les paramètres essentiels pour l'exécution de cette méthode.

$$\begin{cases} \text{DCPP} = \text{DCP} \\ \text{DFPP} = \text{DFP} \end{cases}$$

II.3.2. les principales lois de la méthode C.P.M :

- Le calcul aller : La première opération du projet débute à un temps $t=0$.

$$\text{DFPi} = \text{DCPi} + \text{TR} \quad \text{VI.3}$$

$$\text{DCPj} = \text{DFPi} \quad \text{VI.4}$$

- Le calcul retour : Ensuite, on procède au calcul retour c'est à dire on calcul les dates au plus tard:

$$\text{DCPPj} = \text{DFPPi} \quad \text{VI.5}$$

$$\text{DCPPi} = \text{DFPPi} - \text{TR} \quad \text{VI.6}$$

-La marge totale MT:

$$\text{MT} = \text{DFPP} - \text{DFP} \quad \text{VI.7}$$

$$MT = DCPP - DCP \quad \text{VI.8}$$

Pour la dernière opération, on a toujours $MT=0$. La marge totale MT de l'opération est n'est jamais négative : $MT \geq 0$

- La tâche critique (T.C) : La tâche critique est l'opération dont : $MT=0$

- Le chemin critique (C.C) : C'est le chemin le plus long dans un réseau. Il donne la durée totale du projet (DTP). On le reconnaît par les tâches critiques. En effet le chemin critique relie les opérations possédant la marge totale nulle (0).

Le chemin critique (C.C) La somme des TR des opérations se situant sur le chemin critique est égale à la durée totale du projet DTP. Au niveau de la dernière opération $DTP = DFP$ Donc pour retrouver un chemin critique il suffit de vérifier la double condition suivante :

$$C.C \quad \Leftrightarrow \quad \left\{ \begin{array}{l} MT=0 \\ \sum TR_{c.c} = D.T.P \end{array} \right.$$

II.4. Elaboration du réseau selon la méthode C.P.M :

La méthode C.P.M est une méthode de planification, elle a pour but de diminuer le temps et le coût de réalisation de projet en augmentant la rentabilité du travail. Le tableau suivant résume les différentes tâches de la réalisation du projet.

CHAPITRE VI MANAGEMENT DE PROJET

Tableau VI.3: listes des taches avec leur durée de réalisation estimées.

| Opération | code | Durée (j) |
|-------------------------------------|------|-----------|
| Installation du chantier | I.C | 15 |
| Le décapage de la terre végétale | D | 20 |
| Les travaux de terrassements | T | 50 |
| Compactage | C | 30 |
| Gabionnage | G | 105 |
| enrochement | E | 30 |
| Déménagement de chantier | D.C | 15 |

La succession des opérations (taches) à effectuée est présentée dans le tableau qui suit :

Tableau VI.4 : succession des taches.

| opération | succède | Précède |
|-----------|---------|---------|
| I.C | D | - |
| D | T,C | I.C |
| T | C | D |
| C | G | T |
| G | E | C |
| E | D.C | G |
| D.C | - | E |

DTR=265jours.

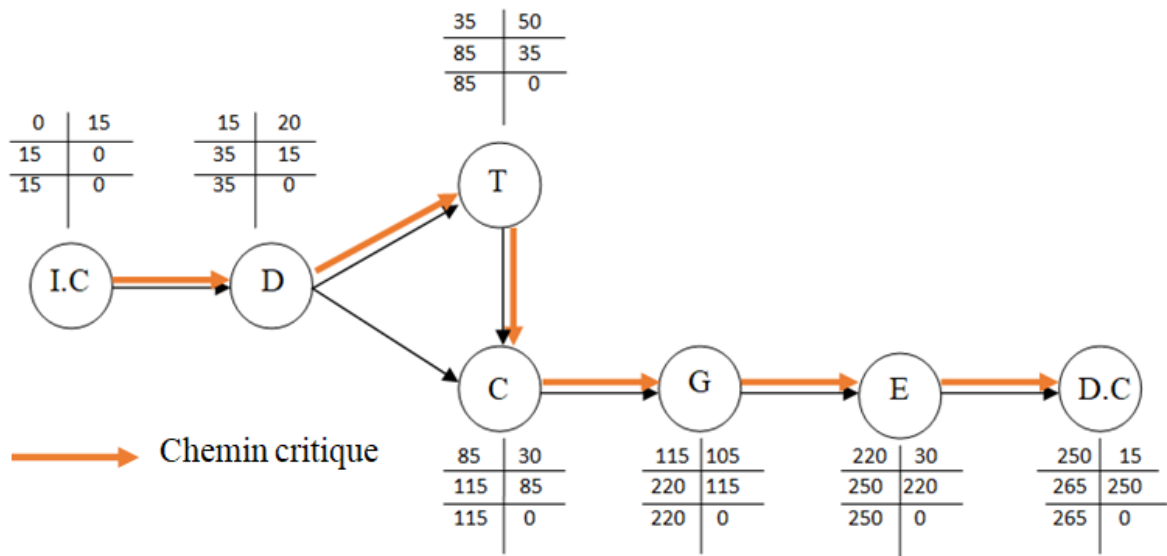


Figure VI.2: le réseau à nœuds.

II.5. Diagramme de GANT (planning des travaux):

Les diagrammes à barres traduisent effectivement une évolution dans le temps, mais chaque barre ne fait que représenter une succession de tâches effectuées par un homme, une équipe, ou une machine. Le diagramme à barres se réalise d'après le réseau.

Il existe 3 types de plans de travaux :

- ✓ Plan de travail au plus tôt : Toutes les opérations commencent à leur date au plus tôt, l'entreprise opte pour ce type de planning lorsqu'elle est riche en moyens et travaille sur plusieurs chantiers.
- ✓ Plan de travail au plus tard : Toutes les opérations commencent à leur date au plus tard ; les tâches ne sont pas retardées, l'entreprise opte pour ce type de planning quand ses moyens sont limités (plus économique).

CHAPITRE VI MANAGEMENT DE PROJET

- ✓ Plan de travail intermédiaire : Les opérations commencent à une date intermédiaire, entre date au plus tôt et date au plus tard, l'entreprise opte pour ce type de planning quand elle est riche et travaille sur un seul chantier (moyens parfaits).

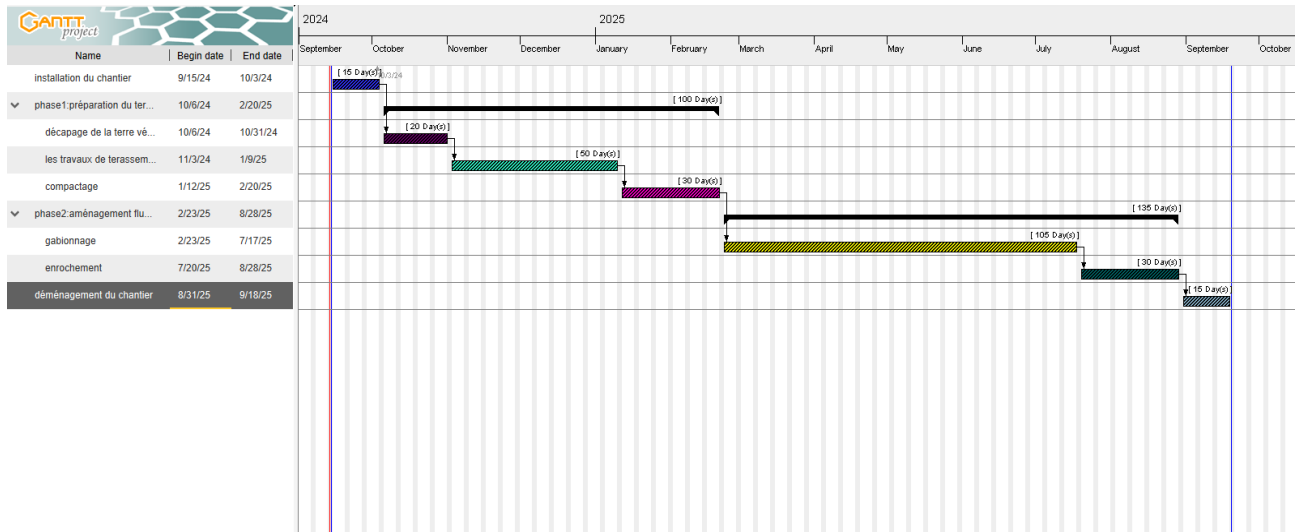


Figure VI.3 : Diagramme de Gantt.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté le devis quantitatif et estimatif afin de calculer les quantités et l'estimation des coûts totaux de la réalisation des travaux. Pour réaliser notre projet d'aménagement urbain d'Oued El Gor, dans les meilleures conditions de sécurité respectant le délai d'exécution, le coût, et la qualité des travaux.

Le montant total du projet a été estimé à 280 195 673,3DA avec un délai d'exécution de 265 jours.

A decorative graphic of a scroll with a grey shadow, framing the title text.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS

Conclusion Générale :

Pour se faire, nous avons d'abord recueillir les données nécessaires pour la présentation de la zone d'étude afin de comprendre les facteurs qui provoquent ce genre de comportement de cours d'eau avec une bonne connaissance d'historique de crue qui ont eu lieu sur le bassin versant d'Oued El Gor ces dernières années.

En deuxième lieu, on a étudié les caractéristiques Hydromorphométriques du bassin versant qui constituent une plate-forme très importante pour la compréhension du comportement (régime) hydrologique et la réponse hydrologique du bassin, ces caractéristiques morphométriques décrivent les formes de la surface du terrain. Après l'ajustement statistique de la série pluviométrique on trouve une intensité moyenne maximale qui est représentative de la pluie tombée au alentours de la station de mesure pour une période de retour centennale, Puis on a calculé les débits de crues pour notre bassin versant en utilisant 2 approches basées sur les formules empiriques et la méthode SCS-CN du modèle hydrologique « HEC-HMS », et d'après les résultats on aboutit à un débit de crue égale à 40.5 m³/s pour une période de retour 100 ans, et à l'aide de logiciel « HEC-RAS » on a fait une simulation hydraulique de l'écoulement et on a mis en place une carte des zones inondables du secteur d'El Gor, cela nous permettra de déterminer les tronçons à risque en vue de leurs aménagement.

Dans la phase finale, trois variantes d'aménagements ont été proposées et suivant l'étude technico-économique on a choisi une variante par un aménagement en gabion sur les berges avec un fond en Matelas Reno à réalisé pour un budget total de 280 195 673,3DA pendant un délai d'exécution de 8 mois et 22 jours.

Quelques recommandations :

Compte tenu des divers facteurs favorisant l'inondation et compte tenue de la complexité des techniques utilisées pour protéger la zone nous recommandons :

- ❖ -Le contrôle de l'ouvrage de traversées est obligatoire après chaque saison pluvieuse et après chaque crue importante afin de détecter les anomalies ou dégradations éventuelles. Il faut surtout enlever régulièrement tous les détritiques (terres, branches, etc...) qui se déposent à l'entrée de l'ouvrage pouvant peu à peu diminuer la section d'écoulement et rendre l'ouvrage inefficace.
- ❖ -Une attention particulière devra être donnée aux réseaux d'égouts et nous insistons sur la nécessité de procéder au curage et au nettoyage de ces dernières avant chaque saison pluvieuse par l'extraction des matières solides charriées, qui pourraient obturer les aménagements.
- ❖ interdire la construction anarchique dans les zones réservées à l'eau (bord de cours d'eau, anciens chenaux...).

BIBLIOGRAPHIE :

- BENMECHERNANE N., 2013**, étude de protection de la ville de bensekrane (w. Tlemcen) contre les inondations, Master en hydraulique, Université de Tlemcen.
- BOUBCHIR A., 2007**, Risques d'inondation et occupation des sols dans le Thore (région De Labruguière et de Mazamet), Mémoire de Master de Géographie et Aménagement, Université de Toulouse. Bibliographie 130.
- Bureau D'étude technique de construction hydraulique ENG.E.T W.Tlemcen .**
RECALIBRAGE DE L'OUED EL BAIR POUR LA PROTECTION DE MAGOURA CONTRE LES EAU PLUVIALES.
- CHACHOUA A., 2010**, Gestion de crue dans un bassin versant –Etude hydrologique, hydraulique et aménagement, Mémoire de Magister, Université de Tlemcen.
- **(DEGOUTTE, 2012)**. Diagnostic, aménagement et gestion des rivières.
- HACHEMI S.M., 2015**, Protection Des Agglomérations Contre Les inondations cas Du Centre D'el Gouassir (W. TLEMCCEN), Mémoire de Master en hydraulique, Université de Tlemcen.
- **LANE, E. W., 1955**. The importance of fluvial morphology in hydraulic engineering.
- **LENCASTRE A., 2008**, Hydraulique Générale, professeur en hydraulique Université nouvelle-Lisbonne-Portugal.
- Organisme Nationale De Contrôle Technique De La Construction Hydraulique CTH W.Tlemcen .** LA PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS D'OUED DAHOU, SEBDOU W.TLEMCCEN.
- **SIMONA N. et L.CEDRIC (2007)**. *Gestion durable des zones inondables dans le Delta du Danube (Roumanie)*. Dans : 1^{res} Journées Scientifiques Inter-Réseaux de l'AUF, Gestion Intégrée des Eaux et des Sols. Ressources, Aménagements et Risques en Milieux Ruraux et Urbains, 6-9 novembre 2007, Hanoi, Vietnam, 10 p.
Google Scholar
- TOUAIBIA BENINA**, Manuel Pratique d'Hydrologie. Mars 2004.
- **U.S. Army Corps of Engineers, 2016a**. HEC-RAS River Analysis System – User's Manual, Hydrologic Engineering Center, CPD-68, Version 5.0. 960p.
- U.S. Army Corps of Engineers, 2016a**. HEC-RAS River Analysis System – User's Manual, Hydrologic Engineering Center, CPD-68, Version 5.0. 960p.
- **VEN Te CHOW, 1959** Open-channel hydraulics.

ANNEXE

Annexe01 :La table de khi2

| P Y | 0.9 | 0.5 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.05 | 0.02 | 0.01 | 0.001 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 0.016 | 0.455 | 1.074 | 1.642 | 2.705 | 3.841 | 5.412 | 6.635 | 10.827 |
| 2 | 0.211 | 1.386 | 2.408 | 3.219 | 4.605 | 5.991 | 7.824 | 9.210 | 13.815 |
| 3 | 0.584 | 2.366 | 3.665 | 4.642 | 6.251 | 7.815 | 9.837 | 11.345 | 16.266 |
| 4 | 1.064 | 3.357 | 4.878 | 5.989 | 7.779 | 9.488 | 11.668 | 13.277 | 18.467 |
| 5 | 1.610 | 4.351 | 6.064 | 7.289 | 9.236 | 11.070 | 13.388 | 15.086 | 20.515 |
| 6 | 2.204 | 5.348 | 7.231 | 8.558 | 10.645 | 12.592 | 15.033 | 16.812 | 22.457 |
| 7 | 2.833 | 6.346 | 8.383 | 9.803 | 12.017 | 14.067 | 16.622 | 18.475 | 24.322 |
| 8 | 3.490 | 7.344 | 9.524 | 11.030 | 13.362 | 15.507 | 18.168 | 20.090 | 26.125 |
| 9 | 4.168 | 8.343 | 10.656 | 12.242 | 14.684 | 16.919 | 19.679 | 21.666 | 27.877 |
| 10 | 4.865 | 9.342 | 11.781 | 13.442 | 15.987 | 18.307 | 21.161 | 23.209 | 29.588 |
| 11 | 5.578 | 10.341 | 12.899 | 14.631 | 17.275 | 19.675 | 22.618 | 24.725 | 31.264 |
| 12 | 6.304 | 11.340 | 14.011 | 15.812 | 18.549 | 21.026 | 24.054 | 26.217 | 32.909 |
| 13 | 7.042 | 12.340 | 15.119 | 16.985 | 19.812 | 22.362 | 25.472 | 27.688 | 34.528 |
| 14 | 7.790 | 13.339 | 16.222 | 18.151 | 21.064 | 23.685 | 26.873 | 29.141 | 36.123 |
| 15 | 8.547 | 14.339 | 17.322 | 19.311 | 22.307 | 24.996 | 28.259 | 30.578 | 37.697 |
| 16 | 9.312 | 15.338 | 18.418 | 20.465 | 23.542 | 26.296 | 29.633 | 32.000 | 39.252 |
| 17 | 10.085 | 16.338 | 19.511 | 21.615 | 24.769 | 27.587 | 30.995 | 33.409 | 40.790 |
| 18 | 10.865 | 17.338 | 20.601 | 22.760 | 25.989 | 28.869 | 32.346 | 34.805 | 42.312 |
| 19 | 11.651 | 18.338 | 21.689 | 23.900 | 27.204 | 30.144 | 33.687 | 36.191 | 43.820 |
| 20 | 12.443 | 19.337 | 22.775 | 25.038 | 28.412 | 31.410 | 35.020 | 37.566 | 45.315 |
| 21 | 13.240 | 20.337 | 23.858 | 26.171 | 29.615 | 32.671 | 36.343 | 38.932 | 46.797 |
| 22 | 14.041 | 21.337 | 24.939 | 27.301 | 30.813 | 33.924 | 37.659 | 40.289 | 48.268 |
| 23 | 14.848 | 22.337 | 26.018 | 28.429 | 32.007 | 35.172 | 38.968 | 41.638 | 49.728 |
| 24 | 15.659 | 23.337 | 27.096 | 29.553 | 33.196 | 36.415 | 40.270 | 42.980 | 51.179 |
| 25 | 16.473 | 24.337 | 28.172 | 30.675 | 34.382 | 37.652 | 41.566 | 44.314 | 52.620 |
| 26 | 17.292 | 25.336 | 29.246 | 31.795 | 35.563 | 38.885 | 42.856 | 45.642 | 54.052 |
| 27 | 18.114 | 26.336 | 30.319 | 32.912 | 36.741 | 40.113 | 44.140 | 46.963 | 55.476 |
| 28 | 18.939 | 27.336 | 31.391 | 34.027 | 37.916 | 41.337 | 45.419 | 48.278 | 56.893 |
| 29 | 19.768 | 28.336 | 32.461 | 35.139 | 39.087 | 42.557 | 46.693 | 49.588 | 58.302 |
| 30 | 20.599 | 29.336 | 33.530 | 36.250 | 40.256 | 43.773 | 47.962 | 50.892 | 59.703 |

Annexe 02: Synthèses des résultats de simulation des aménagements d'Oued El Gor.

| Oued | tr | station | Q ₁₀₀ (m ³ /s) | Cote fond Oued (m) | N.L Eau (m) | H critique(m) | N.L énergie (m) | Pente (m/m) | V (m/s) | L. Mouillée (m) | Nbre Froude | Aménagement projeté |
|------|-----|---------|---|-----------------------------|-------------------|------------------|-----------------------|----------------|------------|-----------------------|----------------|------------------------|
| Gor | tr3 | 9039 | 40.50 | 1210.40 | 1212.18 | 1212.18 | 1212.83 | 0.006747 | 3.59 | 8.72 | 1.01 | enrochement |
| Gor | tr3 | 8966 | 40.50 | 1210.10 | 1211.64 | 1211.88 | 1212.61 | 0.011586 | 4.36 | 8.09 | 1.30 | enrochement |
| Gor | tr3 | 8854 | 40.50 | 1209.70 | 1211.24 | 1211.48 | 1212.21 | 0.011638 | 4.37 | 8.08 | 1.30 | enrochement |
| Gor | tr3 | 8675 | 40.50 | 1209.30 | 1211.08 | 1211.08 | 1211.73 | 0.006754 | 3.59 | 8.72 | 1.01 | enrochement |
| Gor | tr3 | 8526 | 40.50 | 1208.80 | 1210.34 | 1210.58 | 1211.31 | 0.011588 | 4.36 | 8.09 | 1.30 | enrochement |
| Gor | tr3 | 8346 | 40.50 | 1208.40 | 1210.18 | 1210.18 | 1210.83 | 0.006756 | 3.59 | 8.72 | 1.01 | enrochement |
| Gor | tr3 | 8196 | 40.50 | 1207.90 | 1209.44 | 1209.68 | 1210.41 | 0.011528 | 4.35 | 8.09 | 1.30 | enrochement |
| Gor | tr3 | 8039 | 40.50 | 1207.40 | 1209.01 | 1209.18 | 1209.87 | 0.009791 | 4.10 | 8.28 | 1.20 | enrochement |
| Gor | tr3 | 7855 | 40.50 | 1207.00 | 1208.78 | 1208.78 | 1209.43 | 0.006756 | 3.59 | 8.72 | 1.01 | enrochement |
| Gor | tr3 | 7728 | 40.50 | 1206.60 | 1208.17 | 1208.38 | 1209.08 | 0.010634 | 4.23 | 8.18 | 1.25 | enrochement |
| Gor | tr3 | 7580 | 40.50 | 1206.10 | 1207.66 | 1207.88 | 1208.59 | 0.010989 | 4.28 | 8.15 | 1.27 | enrochement |
| Gor | tr3 | 7465 | 40.50 | 1205.70 | 1207.25 | 1207.48 | 1208.20 | 0.011309 | 4.32 | 8.11 | 1.28 | enrochement |
| Gor | tr3 | 7204 | 40.50 | 1205.30 | 1207.20 | 1207.08 | 1207.74 | 0.005208 | 3.26 | 9.06 | 0.89 | enrochement |
| Gor | tr3 | 7034 | 40.50 | 1205.00 | 1206.78 | 1206.78 | 1207.43 | 0.006641 | 3.56 | 8.74 | 1.00 | enrochement |
| Gor | tr3 | 6908 | 40.50 | 1204.70 | 1206.71 | | 1207.18 | 0.004207 | 3.02 | 9.35 | 0.80 | enrochement |
| Gor | tr3 | 6797 | 40.50 | 1204.50 | 1206.63 | 1206.28 | 1207.03 | 0.003344 | 2.78 | 9.68 | 0.72 | enrochement |

Annexe 02: Synthèses des résultats de simulation des aménagements d'Oued El Gor.

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|------|-------|---------|---------|---------|---------|----------|------|------|------|-------------|
| Gor | tr3 | 6676 | 40.50 | 1204.40 | 1206.18 | 1206.18 | 1206.83 | 0.006748 | 3.59 | 8.72 | 1.01 | enrochement |
| Gor | tr3 | 6579 | 40.50 | 1204.00 | 1206.15 | 1205.78 | 1206.53 | 0.003279 | 2.76 | 9.70 | 0.72 | enrochement |
| Gor | tr3 | 6454 | 40.50 | 1203.90 | 1205.68 | 1205.68 | 1206.33 | 0.006752 | 3.59 | 8.72 | 1.01 | enrochement |
| Gor | tr3 | 6292 | 40.50 | 1203.30 | 1205.42 | 1205.13 | 1206.02 | 0.005332 | 3.43 | 7.00 | 0.84 | gabionnage |
| Gor | tr3 | 6111 | 40.50 | 1203.00 | 1205.06 | 1204.83 | 1205.70 | 0.005917 | 3.55 | 7.00 | 0.89 | gabionnage |
| Gor | tr3 | 5955 | 40.50 | 1202.70 | 1204.83 | | 1205.42 | 0.005178 | 3.40 | 7.00 | 0.83 | gabionnage |
| Gor | tr3 | 5767 | 40.50 | 1202.40 | 1204.35 | 1204.23 | 1205.08 | 0.006248 | 3.78 | 6.00 | 0.90 | gabionnage |
| Gor | tr3 | 5608 | 40.50 | 1202.00 | 1204.26 | | 1204.77 | 0.004203 | 3.16 | 7.00 | 0.75 | gabionnage |
| Gor | tr3 | 5450 | 40.50 | 1201.80 | 1204.05 | | 1204.57 | 0.004244 | 3.17 | 7.00 | 0.75 | gabionnage |
| Gor | tr3 | 5319 | 40.50 | 1201.60 | 1203.91 | | 1204.39 | 0.003854 | 3.07 | 7.00 | 0.71 | gabionnage |
| Gor | tr3 | 5187 | 40.50 | 1201.40 | 1203.79 | | 1204.24 | 0.003413 | 2.94 | 7.00 | 0.67 | gabionnage |
| Gor | tr3 | 5055 | 40.50 | 1201.20 | 1203.70 | | 1204.10 | 0.002947 | 2.80 | 7.00 | 0.62 | gabionnage |
| Gor | tr3 | 4929 | 40.50 | 1201.20 | 1203.39 | | 1203.94 | 0.004731 | 3.29 | 7.00 | 0.79 | gabionnage |
| Gor | tr3 | 4795 | 40.50 | 1201.00 | 1202.83 | 1202.83 | 1203.67 | 0.007611 | 4.05 | 6.00 | 1.00 | gabionnage |
| Gor | tr3 | 4669 | 40.50 | 1200.70 | 1202.58 | 1202.53 | 1203.37 | 0.006961 | 3.93 | 6.00 | 0.96 | gabionnage |
| Gor | tr3 | 4508 | 40.50 | 1200.30 | 1202.43 | | 1203.02 | 0.005208 | 3.40 | 7.00 | 0.83 | gabionnage |
| Gor | tr3 | 4384 | 40.50 | 1200.10 | 1201.97 | 1201.93 | 1202.77 | 0.007095 | 3.96 | 6.00 | 0.97 | gabionnage |
| Gor | tr3 | 4251 | 40.50 | 1199.80 | 1201.63 | 1201.63 | 1202.47 | 0.007650 | 4.06 | 6.00 | 1.01 | gabionnage |
| Gor | tr2 | 4125 | 40.50 | 1199.30 | 1200.86 | 1201.13 | 1202.06 | 0.012837 | 4.85 | 6.00 | 1.31 | gabionnage |
| Gor | tr2 | 3972 | 40.50 | 1198.80 | 1201.37 | 1200.63 | 1201.74 | 0.002664 | 2.70 | 7.00 | 0.59 | gabionnage |
| Gor | tr2 | 3805 | 40.50 | 1198.70 | 1201.20 | | 1201.60 | 0.002931 | 2.79 | 7.00 | 0.62 | gabionnage |

Annexe 02: Synthèses des résultats de simulation des aménagements d'Oued El Gor.

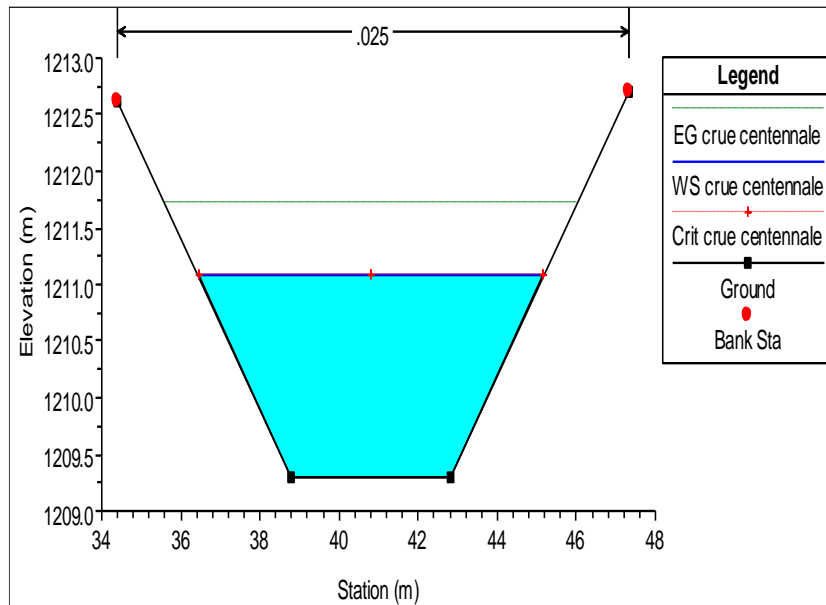
| | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|------|-------|---------|---------|---------|---------|----------|------|------|------|------------|
| Gor | tr2 | 3661 | 40.50 | 1198.70 | 1200.60 | 1200.53 | 1201.37 | 0.006815 | 3.90 | 6.00 | 0.95 | gabionnage |
| Gor | tr2 | 3481 | 40.50 | 1198.30 | 1200.13 | 1200.13 | 1200.97 | 0.007652 | 4.06 | 6.00 | 1.01 | gabionnage |
| Gor | tr2 | 3283 | 40.50 | 1197.60 | 1200.02 | 1199.43 | 1200.45 | 0.003305 | 2.91 | 7.00 | 0.66 | gabionnage |
| Gor | tr2 | 3109 | 40.50 | 1197.50 | 1199.42 | 1199.33 | 1200.18 | 0.006583 | 3.85 | 6.00 | 0.93 | gabionnage |
| Gor | tr2 | 2910 | 40.50 | 1197.10 | 1199.01 | 1198.93 | 1199.77 | 0.006710 | 3.88 | 6.00 | 0.94 | gabionnage |
| Gor | tr2 | 2766 | 40.50 | 1196.80 | 1198.74 | 1198.63 | 1199.48 | 0.006396 | 3.82 | 6.00 | 0.92 | gabionnage |
| Gor | tr2 | 2629 | 40.50 | 1196.40 | 1198.71 | | 1199.19 | 0.003884 | 3.08 | 7.00 | 0.72 | gabionnage |
| Gor | tr2 | 2467 | 40.50 | 1196.20 | 1198.53 | | 1199.00 | 0.003744 | 3.04 | 7.00 | 0.70 | gabionnage |
| Gor | tr2 | 2366 | 40.50 | 1196.00 | 1198.47 | | 1198.88 | 0.003056 | 2.83 | 7.00 | 0.63 | gabionnage |
| Gor | tr2 | 2251 | 40.50 | 1195.90 | 1198.36 | | 1198.77 | 0.003112 | 2.85 | 7.00 | 0.64 | gabionnage |
| Gor | tr2 | 2161 | 40.50 | 1195.80 | 1198.28 | | 1198.69 | 0.003018 | 2.82 | 7.00 | 0.63 | gabionnage |
| Gor | tr2 | 2049 | 40.50 | 1195.80 | 1198.01 | | 1198.55 | 0.004578 | 3.26 | 7.00 | 0.78 | gabionnage |
| Gor | tr2 | 1900 | 40.50 | 1195.60 | 1197.65 | 1197.43 | 1198.30 | 0.006018 | 3.58 | 7.00 | 0.90 | gabionnage |
| Gor | tr2 | 1764 | 40.50 | 1195.30 | 1197.51 | | 1198.05 | 0.004529 | 3.25 | 7.00 | 0.78 | gabionnage |
| Gor | tr1 | 1613 | 40.50 | 1195.10 | 1197.00 | 1196.93 | 1197.77 | 0.006797 | 3.90 | 6.00 | 0.95 | gabionnage |
| Gor | tr1 | 1472 | 40.50 | 1194.80 | 1196.74 | 1196.63 | 1197.48 | 0.006343 | 3.80 | 6.00 | 0.91 | gabionnage |
| Gor | tr1 | 1273 | 40.50 | 1194.30 | 1196.65 | | 1197.11 | 0.003667 | 3.02 | 7.00 | 0.70 | gabionnage |
| Gor | tr1 | 1074 | 40.50 | 1194.10 | 1195.95 | 1195.93 | 1196.77 | 0.007359 | 4.01 | 6.00 | 0.99 | gabionnage |
| Gor | tr1 | 89 | 40.50 | 1193.60 | 1195.72 | | 1196.32 | 0.005314 | 3.43 | 7.00 | 0.84 | gabionnage |
| Gor | tr1 | 726 | 40.50 | 1193.30 | 1195.59 | | 1196.08 | 0.003979 | 3.10 | 7.00 | 0.73 | gabionnage |
| Gor | tr1 | 555 | 40.50 | 1193.10 | 1194.93 | 1194.93 | 1195.77 | 0.007650 | 4.06 | 6.00 | 1.01 | gabionnage |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-------|---------|---------|---------|---------|----------|------|------|------|------------|
| Gor | tr1 | 416 | 40.50 | 1192.50 | 1194.01 | 1194.33 | 1195.30 | 0.014174 | 5.02 | 6.00 | 1.38 | gabionnage |
| Gor | tr1 | 282 | 40.50 | 1192.00 | 1194.30 | 1193.83 | 1194.79 | 0.003922 | 3.09 | 7.00 | 0.72 | gabionnage |
| Gor | tr1 | 88 | 40.50 | 1191.80 | 1193.63 | 1193.63 | 1194.47 | 0.007656 | 4.06 | 6.00 | 1.01 | gabionnage |

Annexe03 : les profils en travers des tronçons après aménagement :

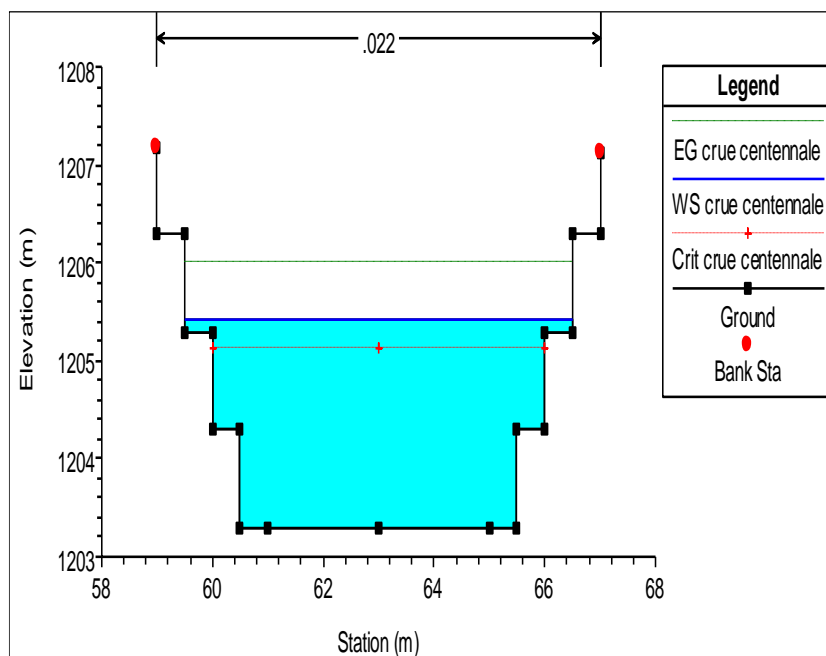
Tronçon 03 :

- **Enrochement :**



Station 8675.

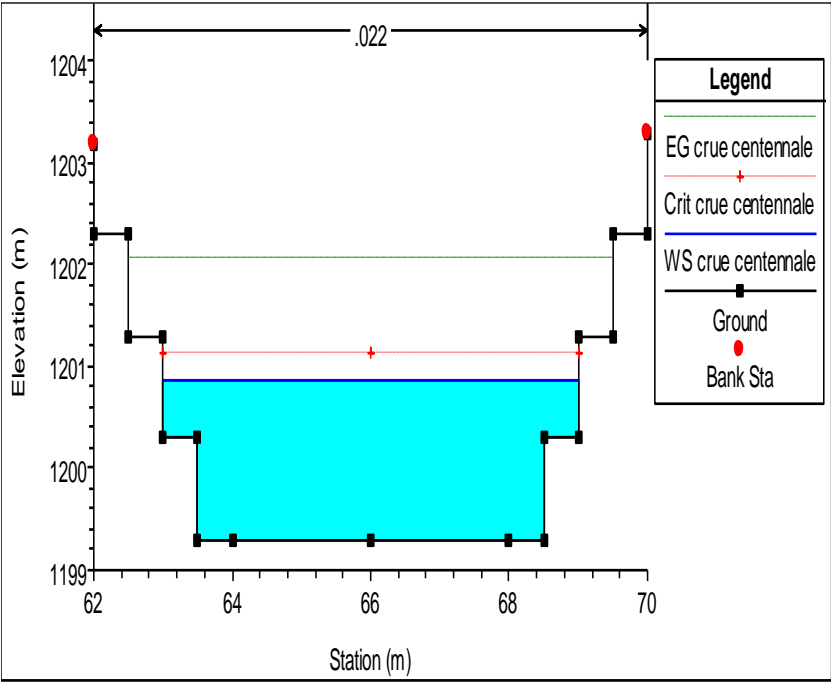
- **Gabionnage :**



Station 6292

Tronçon 02 :

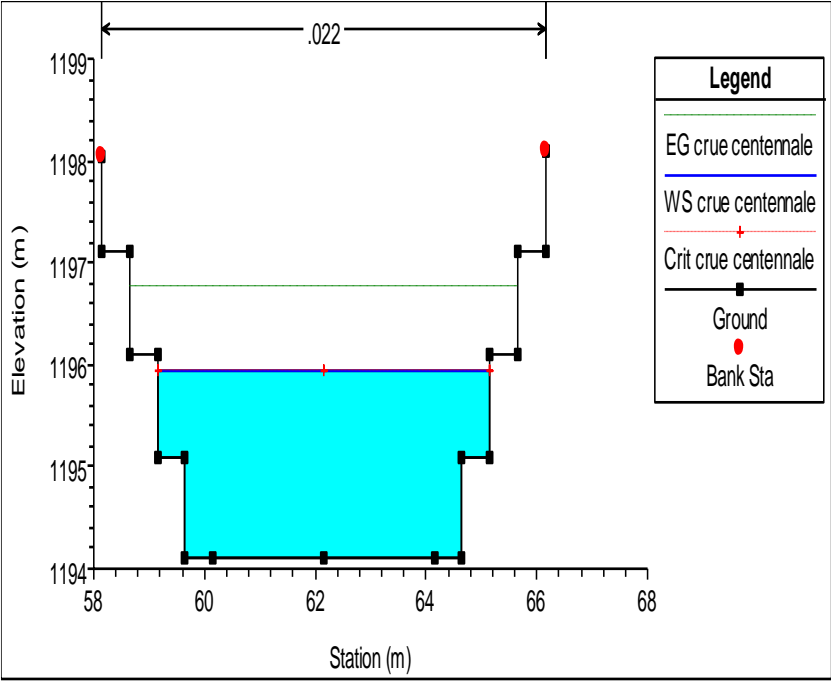
- **Gabionnage :**



Station 4125.

Tronçon 01 :

- **Gabionnage :**



Station 1074.