



## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

**Option: Conception des systèmes d'assainissement**

**THEME :**

**Protection contre les inondations du chef-lieu de la commune  
de Ammi Moussa (W.Relizane)**

**Présenté par :**  
**MERAH Lynda**

**Devant les membres du jury**

<b>Nom et Prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
MEDDI Hind	M.C.A	Président
KAHLERRAS Djillali	M.C.B	Examineur
KHALED/HOULI Samia	M.A.A	Examineur
BOUKHELIFA Mustapha	M.C.B	Promoteur

**Session Novembre 2020**

## *Dédicace*

Avec un énorme plaisir, un coeur ouvert et une immense joie que je dédie ce travail à :

### *Ma chère mère*

« Tu m'as donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir. Tout ce que je peux t'offrir ne pourra jamais exprimer l'amour et la reconnaissance que je te porte »

### *Mon cher papa*

« L'épaule solide, l'oeil attentif compréhensif et la personne la plus digne de mon respect, aucune dédicace ne saurait exprimer mes sentiments, que dieu te préserve et te procure santé et longue vie »

### *Mes chers frères et sœurs*

Qui m'ont tout appris, et qui ont toujours été là pour moi

### *Ma grande famille*

### *Mes meilleures amies*

Avec qui j'ai partagé malheurs et bonheurs pendant mes dernières années : Khadidja, Wafa, Sabah, Thinhinane, imene, Yasmine et Manel

Enfin, à tous les gens qui m'ont aidé dans ma vie

*Lynda*

# Remerciement

Avant tous, je remercie Dieu tout puissant qui m'a permis de m'instruire et d'arriver aussi loin dans mes études, qui m'a donné courage et patience pour passer tous les moments difficiles, et qui m'a permis d'achever ce travail.

Je tiens à présenter mes sincères remerciements à mon promoteur Mr Mustapha BOUKHELIFA, pour sa contribution à l'élaboration de ce mémoire, sa disponibilité, son suivie, son aide et précieux conseils.

J'adresse tous mes respects et vifs remerciements les membres de jury M<sup>me</sup> MEDDI Hind, M<sup>r</sup> KAHLERRAS Djillali, et M<sup>me</sup> HOULI Samia pour avoir accepté de juger mon travail.

Mes gratitudes vont aussi à tous mes enseignants et enseignantes pendant tout mon cursus d'études pour leurs disponibilités et pour le savoir qu'ils m'ont fidèlement transmis.

Merci à toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce projet, ainsi un grand merci à M<sup>r</sup> Mazighi Hichem et M<sup>r</sup> Khedimallah Abderrahmane.

Enfin, j'exprime ma reconnaissance à tous mes chers amis pour leur présence dans ma vie, et tous leurs soutiens.

*MERAH Lynda*

### ملخص:

تهدف هذه الدراسة لحماية مدينة عمي موسى بولاية غليزان ضد فيضانات وادرهيو ، المتسببة في أضرار جسيمة على الممتلكات وعشرات الهكتارات من الأراضي الزراعية . لمواجهة هذا الخطر أصبح من الضروري اقتراح نظام تهيئة فعال للوادي.

وفي هذا الإطار تطرقنا إلى عدة محاور:

- دراسة جيومورفولوجية و مناخية للمنطقة
- دراسة هيدرولوجية لتحديد كمية التدفق
- المحاكاة الهيدروليكية للمجرى المائي بواسطة البرامج Autocad Civil 3D و HEC-RAS،
- وأخيرا مناقشة الحلول المختلفة، و اختيار الحل الأنسب من الناحية التقنية و الاقتصادية.

**الكلمات الدالة :** خطر، أمطار، هطول، فيضان، دراسة هيدرولوجية ، حماية، محاكاة هيدروليكية.

### Résumé :

Le présent travail a pour objet l'étude d'un système de protection de la ville d'Ammi Moussa (W.Relizane) et sa population contre le débordement d'oued Rhiou, occasionnant d'importants préjudices matériels et l'endommagement des dizaines d'hectares de cultures maraichères. Face à cette situation, Il devient nécessaire de proposer un système d'aménagement efficace.

Dans ce contexte, plusieurs axes sont développés, En premier lieu, une étude géomorphologiques et climatiques de la zone d'étude, suivie d'une étude hydrologique afin de déterminer les débits de crue, ensuite la simulation hydraulique du cours d'eau en utilisant une association de fonctionnalités entre les logiciels AutoCad Civil 3D et HEC-RAS, Et enfin une description des variantes d'aménagement proposées pour pouvoir choisir la variante la plus adapté d'un point de vue technico-économique.

**Mots clés :** Aléa, Précipitation, Averse, Débordement, Etude Hydrologique, Protection, Modélisation Hydraulique.

### Abstract:

The purpose of the present work is to study a system of protection of the city of Ammi Moussa (W. Relizane) and its population against the overflow of Oued Rhiou, which causes significant material damage to the tens of hectares of market gardening crops. Faced with this situation, it becomes necessary to propose an effective planning system. In this context, several axes are developed. First, a geomorphologic and climatic study of the study area, followed by a hydrological study to determine the flow of flood, then the hydraulic simulation of the water course using a combination of features between AutoCad Civil 3D and HEC-RAS software. Finally, our work ends with a description of the proposed layout variants to be able to choose the most suitable variant from a technical and economic point of view.

**Key Works:** Hazard, Precipitation, Downpour, Overflow, Hydrological Study, Protection, Hydraulic Modeling.

# Table des matières

<b>Résumé :</b> .....	<b>03</b>
<b>Table des matières :</b> .....	<b>04</b>
<b>Liste des tableaux :</b> .....	<b>08</b>
<b>Liste des figures :</b> .....	<b>10</b>
<b>Liste des planches :</b> .....	<b>12</b>
<b>Introduction général :</b> .....	<b>13</b>

## Chapitre 01

## Présentation de la zone d'étude

<b>Introduction :</b> .....	<b>17</b>
<b>1. Présentation du projet :</b> .....	<b>17</b>
<b>2. Situation géographique :</b> .....	<b>17</b>
<b>3. Relief :</b> .....	<b>17</b>
<b>4. Occupation du sol :</b> .....	<b>18</b>
<b>5. Situation climatique :</b> .....	<b>19</b>
5.1. La pluviométrie : .....	19
5.2. La température : .....	20
5.3. L'évaporation : .....	20
5.4. Les vents : .....	21
5.5. L'ensoleillement : .....	21
5.6. L'humidité relative : .....	21
<b>6. Situation géologique :</b> .....	<b>22</b>
<b>7. La sismicité :</b> .....	<b>22</b>
<b>8. Situation hydrogéologique :</b> .....	<b>23</b>
<b>9. Les infrastructures hydrauliques :</b> .....	<b>23</b>
9.1. Alimentation en eau potable : .....	23
9.2. Assainissement : .....	23
<b>10. Situation démographique :</b> .....	<b>24</b>
<b>11. Etude hydro-morphologique du bassin versant :</b> .....	<b>24</b>
11.1. Paramètres morphologiques : .....	25
11.1.1. La surface : .....	25
11.1.2. Le périmètre : .....	25
11.1.3. La longueur du cours d'eau principale : .....	36
11.1.4. Caractéristique du forme : .....	36
11.2. Paramètres de relief : .....	27
11.2.1. Répartition des surfaces hypsométrique : .....	27
11.2.2. Altitude caractéristique : .....	29
11.2.3. Indice de pente globale : .....	29
11.2.4. Indice de pente de roche : .....	30

11.2.5. Pente moyenne du bassin versant : .....	30
11.2.6. Dénivelée spécifique : .....	31
11.3. Caractéristique du réseau hydraulique : .....	31
11.3.1. Densité de drainage : .....	32
11.3.2. La pente moyenne du cours d'eau principale : .....	32
11.3.3. Le temps de concentration : .....	32
11.3.4. La vitesse moyenne de ruissèlement .....	33
<b>Conclusion : .....</b>	<b>33</b>

## Chapitre 02

### Etude des précipitations maximales journalières

<b>Introduction : .....</b>	<b>35</b>
<b>1. Présentation de la station pluviométrique : .....</b>	<b>35</b>
<b>2. Etude des précipitations maximales journalières: .....</b>	<b>36</b>
2.1. Les caractéristiques de la série: .....	37
2.2. Ajustement des pluies maximales journalières : .....	37
2.2.1. Ajustement à la loi de Gumbel : .....	37
2.2.2. Ajustement à la loi Log-Normale : .....	38
2.2.3. Ajustement à la loi GEV : .....	39
2.3. Qualité de l'ajustement et choix de la loi adéquate : .....	40
2.3.1. Le test visuel : .....	40
2.3.2. Le test d'ajustement de Pearson .....	41
2.3.3. Choix de la loi la plus adéquate .....	42
<b>3. Les pluies de courtes durées : .....</b>	<b>42</b>
3.1. Calcul des précipitations et intensités maximales de courte durée: .....	42
<b>Conclusion : .....</b>	<b>44</b>

## Chapitre 03

### Estimation des débits de crue du cours d'eau

<b>Introduction : .....</b>	<b>46</b>
<b>1. Les débits de pointe : .....</b>	<b>46</b>
1.1. Détermination des débits maximums fréquents par les formules empiriques: .....	46
1.1.1. La formule de Giandoti : .....	46
1.1.2. La formule de Sokolovsky .....	47
1.2. Détermination des débits maximums fréquents par l'ajustement de la série hydrométrique: .....	47
<b>2. Comparaison des valeurs de débits : .....</b>	<b>51</b>
<b>3. L'hydrogramme des crues : .....</b>	<b>51</b>
3.1. Pour le temps de montée : .....	51
3.2. Pour la décrue : .....	52
<b>Conclusion : .....</b>	<b>53</b>

<b>Introduction :</b> .....	<b>55</b>
<b>1. Historique des inondations de la Région:</b> .....	<b>55</b>
<b>2. Description de l'oued Rhiou:</b> .....	<b>56</b>
<b>3. Modélisation de l'écoulement :</b> .....	<b>58</b>
3.1. Présentation du logiciel HEC-RAS: .....	58
3.2. Les étapes de simulation par HEC-: .....	59
3.2.1. Modélisation de la rivière : .....	60
3.2.2. Données hydrométrique et conditions aux limites : .....	63
3.2.3. Simulation : .....	64
3.2.4. Présentation des résultats de la simulation hydraulique .....	64
3.3. Choix de la période de retour : .....	67
<b>4. Les zones inondables:</b> .....	<b>68</b>
<b>Conclusion :</b> .....	<b>68</b>

<b>Introduction :</b> .....	<b>70</b>
<b>1. Le but d'aménagement :</b> .....	<b>70</b>
<b>2. Principe d'aménagement:</b> .....	<b>70</b>
2.1. Les différents types d'aménagements envisageables :.....	70
2.1.1. Protection directe : .....	70
2.1.2. Protection indirecte : .....	71
2.2. Les formules de dimensionnement des canaux :.....	72
2.3. Choix des paramètres de dimensionnement : .....	73
2.3.1. La pente du projet : .....	73
2.3.2. Le coefficient de rugosité: .....	73
2.3.3. La marge de sécurité dans les canaux : .....	73
2.3.4. Vitesse d'érosion : .....	73
<b>3. Etude des variantes :</b> .....	<b>74</b>
3.1. Proposition des variant : .....	74
3.2. Etude des variantes proposées :.....	74
3.2.1. Variante en gabion: .....	74
3.2.2. Canal rectangulaire (mur de soutènement) : .....	80
<b>Conclusion :</b> .....	<b>89</b>

<b>Introduction :</b> .....	<b>91</b>
<b>1. Estimation du coût de la variante :</b> .....	<b>91</b>
1.1. Coût de la première variante : .....	91
1.2. Coût de la deuxième variante : .....	91

<b>2. Choix de la variante d'aménagement :</b>	<b>92</b>
2.1. Critères d'évaluation:	92
2.2. La variante choisit :	92
<b>3. Organisation de chantier :</b>	<b>92</b>
3.1. Définition de la planification:	92
3.2. Techniques de la planification:	93
3.2.1. Méthodes basées sur le réseau:	93
3.2.2. Méthodes basées sur le graphique:	94
3.3. Les étapes de la planification	94
3.4. Estimation des durées :	94
3.5. Choix de la méthode de calcul :	95
3.5.1. Les paramètres de la méthode CPM:	95
3.5.2. Le chemin critique C.C:	95
3.6. Elaboration du réseau selon la méthode CPM	95
<b>4. Organisation de chantier :</b>	<b>98</b>
4.1. Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier :	98
4.1.1. Maitre de l'ouvrage:	98
4.1.2. Maitre d'oeuvre:	98
4.1.3. L'entreprise:	98
4.2. Définitions des engins utilisés :	98
<b>Conclusion :</b>	<b>99</b>
<b>Conclusion générale :</b>	<b>100</b>
<b>Référence bibliographique :</b>	<b>102</b>
<b>Annexes :</b>	<b>104</b>



# Liste des tableaux

## Chapitre 01

<b>Tableau I.1:</b> Les valeurs Moyennes des précipitations (période 1984-2015).....	19
<b>Tableau I.2:</b> Les valeurs Moyennes des températures (1982-2007).....	20
<b>Tableau I.3:</b> valeurs moyennes de l'évaporation (période 2000-2005).....	20
<b>Tableau I.4:</b> Moyennes des vitesses du vent (période 2000-2005).....	21
<b>Tableau I.5:</b> Valeurs moyennes d'ensoleillement (période 2000-2005).....	21
<b>Tableau I.6:</b> Distribution moyenne mensuelle de l'humidité .....	21
<b>Tableau I.7:</b> Population d'Ammi Moussa .....	24
<b>Tableau I.8:</b> Répartition altimétrique du bassin versant .....	27
<b>Tableau I.9:</b> Détermination de la pente de Roche .....	30
<b>Tableau I.10:</b> Récapitulatif des caractéristiques hydromorphométriques du bassin .....	33

## Chapitre 02

<b>Tableau II.1:</b> Caractéristiques de la station pluviométrique d'Ammi Moussa .....	36
<b>Tableau II.2:</b> Séries des Pluies Maximales Journalières (1974-2011) à la station d'Ammi Moussa .....	36
<b>Tableau II.3:</b> Caractéristiques de la série pluviométrique .....	37
<b>Tableau II.4:</b> Quantiles théoriques de Gumbel .....	38
<b>Tableau II.5:</b> Quantiles théoriques de Galton .....	39
<b>Tableau II.6:</b> Quantiles théoriques de GEV .....	40
<b>Tableau II.7:</b> Résultats du test de Pearson .....	41
<b>Tableau II.8:</b> Pluies et intensités de courtes durées .....	43

## Chapitre 03

<b>Tableau III.1:</b> Les débits de pointe par la formule de Giandoti .....	46
<b>Tableau III.2:</b> Les débits de pointe par la formule de Sokolovsky .....	47
<b>Tableau III.3:</b> Série des débits maximums journaliers .....	47
<b>Tableau III.4:</b> Les débits de pointe par l'ajustement de la série hydrométrique .....	51
<b>Tableau III.5:</b> Comparaison des trois approches .....	51
<b>Tableau III.6:</b> Débits de crues pour différentes périodes de retour .....	52

## Chapitre 04

<b>Tableau IV.1:</b> Quelques inondations dans la wilaya de Relizane .....	55
<b>Tableau IV.2:</b> Données de débits .....	63

## Chapitre 05

<b>Tableau V.1:</b> Quelques sections simples .....	72
<b>Tableau V.2:</b> Valeurs de coefficient de rugosité .....	73
<b>Tableau V.3:</b> Valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolident .....	73
<b>Tableau V.4:</b> Répartitions des tronçons d'aménagement Oued Rhiou .....	74
<b>Tableau V.5 :</b> Caractéristique géométrique de la section gabionnée .....	75
<b>Tableau V.6 :</b> Caractéristiques géométriques du canal en gabion .....	76
<b>Tableau V.7:</b> Résultats des contraintes tractrices au fond .....	77
<b>Tableau V.8:</b> Récapitulation des résultats .....	81
<b>Tableau V.9:</b> Calcul des moments de la semelle et voile .....	86
<b>Tableau V.10:</b> Ferrailage du mur de soutènement .....	87

## Chapitre 06

<b>Tableau V.1 :</b> Devis de la variante (canal mixte).....	91
<b>Tableau V.2 :</b> Devis de la variante (mur de soutènement) .....	91
<b>Tableau VI.3 :</b> Liste des opérations avec leurs durées .....	96
<b>Tableau VI.4 :</b> Succession des taches.....	96
<b>Tableau VI.4 :</b> Engins utilisés .....	99

# Liste des figures

## Chapitre 01

<b>Figure I.1:</b> Situation d'Ammi Moussa dans la Wilaya de Relizane .....	18
<b>Figure I.2:</b> Vue satellitaire de la zone d'étude (Source : Google Earth).....	18
<b>Figure I.3:</b> Etages bioclimatiques au Nord d'Algérie (ANAT, 2004).....	19
<b>Figure I.4:</b> Classification sismique des wilayas d'Algérie .....	22
<b>Figure I.5:</b> Carte du bassin versant de l'Oued Rhiou .....	25
<b>Figure I.6:</b> Carte hypsométrique du bassin versant de l'Oued Rhiou .....	28
<b>Figure I.7:</b> Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Rhiou .....	29
<b>Figure I.8:</b> Carte du réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Rhiou .....	31

## Chapitre 02

<b>Figure II.1:</b> Réseau de mesure sur la zone d'étude (Extraite de la carte ANRH).....	35
<b>Figure II.2:</b> Ajustement graphique à la loi de Gumbel .....	38
<b>Figure II.3:</b> Ajustement graphique à la loi de Galton .....	39
<b>Figure II.4:</b> Ajustement graphique à la loi de GEV .....	40
<b>Figure II.5:</b> Représentation graphique de l'ajustement des trois lois .....	41
<b>Figure II.6:</b> Courbe de pluie de courte durée .....	43
<b>Figure II.7:</b> Courbe Intensité-durée-fréquence .....	44

## Chapitre 03

<b>Figure III.1:</b> Ajustement graphique à la loi de GEV .....	29
<b>Figure III.2:</b> Ajustement graphique à la loi de Gumbel .....	29
<b>Figure III.3:</b> Ajustement graphique à la loi LN .....	50
<b>Figure III.4:</b> Ajustement graphique à la loi de LN3 .....	50
<b>Figure III.5:</b> Hydrogramme de crue pour différentes périodes de retour .....	53

## Chapitre 04

<b>Figure IV.1 :</b> Photos sur oued Rhiou lors d'une crue .....	55
<b>Figure IV.2 :</b> Photos sur oued Rhiou lors d'une crue au niveau du pont de la route nationale RN 90.....	56
<b>Figure IV.3 :</b> Pont existant au niveau de la route national RN 90 .....	57
<b>Figure IV.4 :</b> Photos prises sur oued Rhiou par le bureau d'étude hydro-technique BEHY ..	57
<b>Figure IV.5 :</b> photos prises sur oued Rhiou par le bureau d'étude hydro-technique BEHY ..	57
<b>Figure IV.6 :</b> Photos prises sur oued Rhiou par le bureau d'étude hydro-technique BEHY ..	58
<b>Figure IV.7 :</b> Fenêtre d'accueil du logiciel HEC-RAS .....	59
<b>Figure IV.8 :</b> Les différentes étapes pour définir le tracé de notre cours d'eau.....	61
<b>Figure IV.9 :</b> Définition du tracé de l'oued et des sections .....	61

<b>Figure IV.10 :</b> Fenêtres de définition des données sur le pont .....	62
<b>Figure IV.11 :</b> Définition de la crue .....	63
<b>Figure IV.12 :</b> Définition des conditions aux limites .....	64
<b>Figure IV.13 :</b> Profil en long de l’oued Rhiou montrant le niveau d’eau pour les périodes de retour 20, et 50 ans .....	65
<b>Figure IV.14 :</b> Vue en Plan en 3D d’Oued Rhiou, pour la période de retour 50 ans, et 20 ans après la simulation .....	65
<b>Figure IV.15 :</b> Section en travers d’Oued Rhiou au niveau du pont de RN 90 pour lrd période de retour 20,50 et 100 ans. ....	66
<b>Figure IV.16 :</b> Profil en travers d’Oued Rhiou-amont .....	66
<b>Figure IV.17 :</b> Profil en travers d’Oued Rhiou-aval .....	67

## Chapitre 05

<b>Figure V.1:</b> Coupe en travers d’un mur en gabion .....	75
<b>Figure V.2:</b> Efforts tangentiel critique pour des matériaux non cohésifs (Chaudhry, 2014) ..	77
<b>Figure V.3:</b> Sections aménagée tronçons 6 .....	78
<b>Figure V.4:</b> Sections aménagée tronçons 5 .....	79
<b>Figure V.5:</b> Sections aménagée tronçons 4 .....	79
<b>Figure V.6 :</b> Sections aménagée tronçons 3 .....	80
<b>Figure V.7:</b> Pré-dimensionnement du mur de soutènement .....	81
<b>Figure V.8:</b> Coupe sur le ferrailage du mur de soutènement .....	87
<b>Figure V.9:</b> Sections aménagée tronçons 1 .....	88
<b>Figure V.10:</b> Sections aménagée tronçons 6 .....	88
<b>Figure V.11:</b> Sections aménagée tronçons 3 .....	89

## Chapitre 06

<b>Figure VI.1:</b> Réseau de planification des taches par la méthode CPM .....	97
<b>Figure VI.2:</b> Diagramme de Gantt .....	97

# Liste des Planche

<b>Planche I</b> : Plan topographique d'oued Rhiou.....	<b>1/5</b>
<b>Planche II</b> : Carte des zones inondable. ....	<b>2/5</b>
<b>Planche III</b> : Profil en long de l'oued à aménagé .....	<b>3/5</b>
<b>Planche IV</b> : variante d'aménagement tronçon 1 – 2 -3.....	<b>4/5</b>
<b>Planche V</b> : variante d'aménagement tronçon 4-5-6.....	<b>5/5</b>

# **Introduction générale**

## Introduction générale

L'Algérie est l'un des pays confrontés aux phénomènes de crues et d'inondations qui se manifestent de façon catastrophique constituant ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et social, ces inondations sont les catastrophes naturelles les plus destructives et même les plus fréquentes et provoquent d'importants dégâts humains et matériels.

Cet inventaire fait ressortir les grandes inondations engendrées par des pluies exceptionnelles généralisées sur des grands bassins versants et pouvant toucher plusieurs régions atteignant parfois l'ampleur d'une catastrophe nationale telles que : les inondations de l'automne 1969 en Algérie et en Tunisie, les inondations catastrophiques de Mars 1973 sur l'Est Algérien, les inondations de Mars 1974 des bassins versants de l'Algérois et de la Sebaou, les inondations de Décembre 1984 sur tout l'Est Algérien et les inondations urbaines affectant surtout les agglomérations et les villes provoquées par des orages localisés d'automne et d'été et dont les conséquences dramatiques pourraient être évitées si ce n'est d'autres facteurs qui les amplifient.

On peut rappeler aussi, à titre d'exemple, les événements à Bab El Oued (Alger) de novembre 2001, une inondation qui a fait près de 800 victimes ; ou celles de l'automne 2008, qui ont fait de dizaines de victimes notamment à Ghardaïa, Aïn Defla, Batna et Bechar ; ou encore celles de 2012 qui ont touché le nord-est et le nord-ouest de l'Algérie.

Les risques d'inondations sont dus, à l'interaction complexe de plusieurs composantes, c'est donc la concomitance de facteurs topographiques, géologiques, hydrologiques et météorologiques.

Ainsi, si les inondations sont classées dans la catégorie des catastrophes naturelles, il reste que dans plusieurs régions du pays ; elles sont en grande parties imputable aux agissements de l'homme. L'occupation des rives immédiats des cours d'eau et l'urbanisation anarchique, la défaillance des réseaux d'assainissement et de collecte des eaux pluviales, le gonflement des oueds par les décombres et les débris et d'autres agissements humains qui favorisent des dégâts lors des averses saisonnières.

Après ces inondations meurtrières, de nombreux ouvrages de protection ont été réalisés récemment. Le Ministère des Ressources en Eau a lancé des études pour faire un inventaire des zones inondables, étudier l'intensité des phénomènes, calculer des paramètres explicatifs des causes et de leurs conséquences et faire une cartographie des zones à très haut risque.

Pour notre travail, nous avons pris comme région d'étude du chef lieu de la commune d'Ammi Moussa traversé par oued Rhiou dans l'objectif d'examiner le débordement d'oued Rhiou et de proposer un aménagement adéquat face à les inondations récurrentes d'oued Rhiou.

Ce présent travail comprendra six chapitres :

- Le premier chapitre sera consacré pour la présentation de la zone d'étude et la définition des caractéristiques géomorphologiques, hydrographiques et climatiques du bassin versant.
- Dans le deuxième chapitre, on va traiter les données pluviométriques en vue de déterminer les pluies maximales probables pour diverses périodes de retour.
- Ensuite dans le troisième chapitre on va procéder à l'étude des débits, l'établissement de l'hydrogramme de crue et en fin les débits de crues pour différentes fréquences.
- Le quatrième chapitre va contenir la description de l'état de l'oued et la simulation hydraulique à l'aide de logiciel Hec-Ras et Autocad Civil-3D, afin de mieux connaître le comportement du cours d'eau à l'état naturel.
- une recherche des solutions sous forme de différentes variantes pour sécuriser notre site des inondations fera l'objet du cinquième chapitre.
- Et enfin, on terminera par le sixième chapitre dans lequel on va faire une estimation quantitative et financière de chaque variante et aussi le choix de la variante la plus adaptée.
- En conclusion, nous dressons le bilan de travail réalisé.



## **CHAPITRE I**

# **Présentation de la zone d'étude**

**Introduction :**

L'élaboration de tout projet de protection contre les inondations nécessite une parfaite connaissance de la zone d'étude afin de permettre de choisir la bonne variante hydraulique pour une meilleure protection contre l'aléa inondation

Ce chapitre est donc consacré à définir les caractéristiques du site (situation géographique, climatique, géologique, sismique, hydraulique et surtout l'hydro-morphologie du bassin versant) et les facteurs influençant la conception du projet.

**1. Présentation du projet :**

La ville d'Ammi Moussa est située à l'intérieur du très vaste bassin versant drainé par l'Oued Rhiou, principal affluent d'Oued Chéelif. Cette position entre les têtes des sous-bassins versants et le milieu récepteur naturel « Oued Rhiou » du point de vue implantation est problématique pour la ville d'Ammi Moussa. Elle constitue le passage obligé des eaux de ruissellement vers l'oued Rhiou.

L'objectif global de la présente étude, est la réalisation d'une étude de protection du site contre les inondations.

**2. Situation géographique :**

La commune d'Ammi moussa située à 71 km du chef-lieu de la wilaya de Relizane, elle s'étend sur une superficie de 173,55 km<sup>2</sup>. Elle est limitée par :

- Vers le Nord : commune de Lahlef et Ouldja
- Vers le Sud : commune d'Ain-Tarik et Melaab
- Vers l'Est : commune de Ramka et Souk-El-had
- Vers l'Ouest : commune d'Ouled-Yaich

Le chef-lieu de la commune est situé à l'ouest du territoire de la commune, au point de rencontre de la RN 90 et du CW 14 dont les coordonnées géographiques 35° 52 '9.275" N et 1° 6' 32.128" E et 219 m d'altitude avec les coordonnées UTM selon la projection UTM (WGS84) Algérie fuseau 31 : E : 329271.14 et N : 3971096.99

L'agglomération a pris assise sur un flanc de versant de la rivière d'Oued-Rhiou qui traverse la ville au sens d'écoulement sud vers le Nord-Ouest, elle a une altitude moyenne de 150 m par rapport au niveau de la mer.

**3. Relief :**

Le territoire de la commune d'Ammi-Moussa se caractérise par son relief accidenté se situe sur le versant ouest des monts d'Ouarsenis .Elle est traversée par deux cours d'eau d'une importance majeure du fait qu'ils alimentent le barrage Gargar.

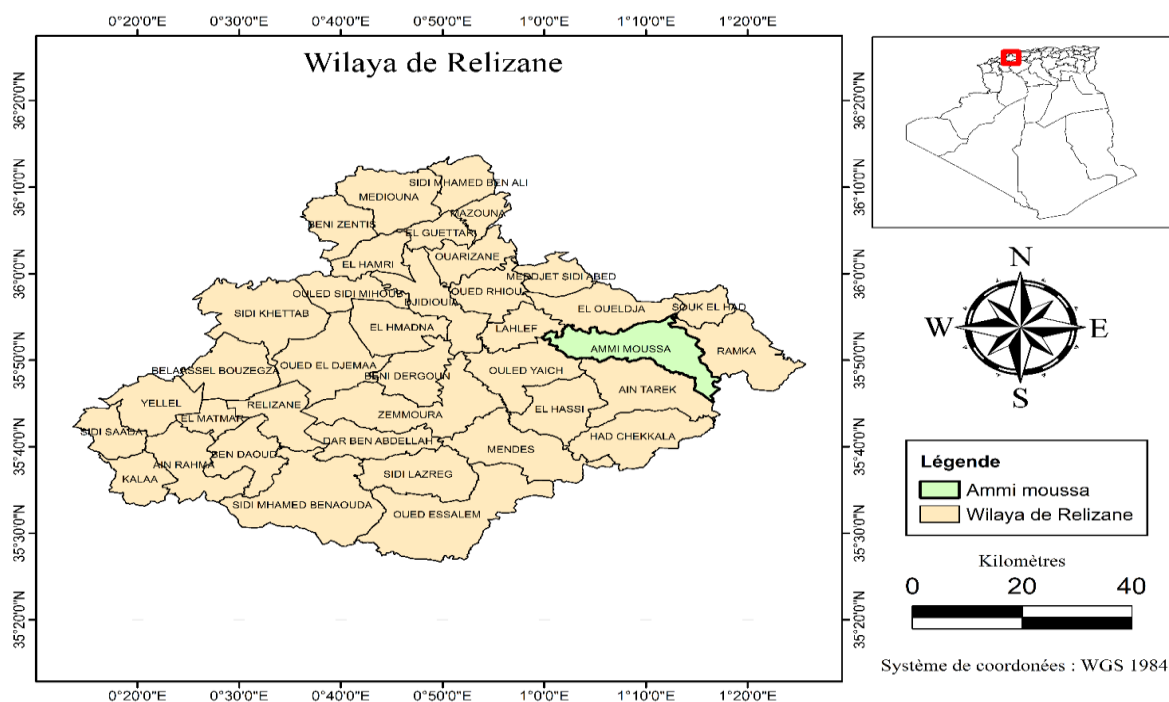


Figure I.1 : Situation d’Ammi Moussa dans la Wilaya de Relizane



Figure I. 2 : Vue satellitaire de la zone d'étude (Source : Google Earth)

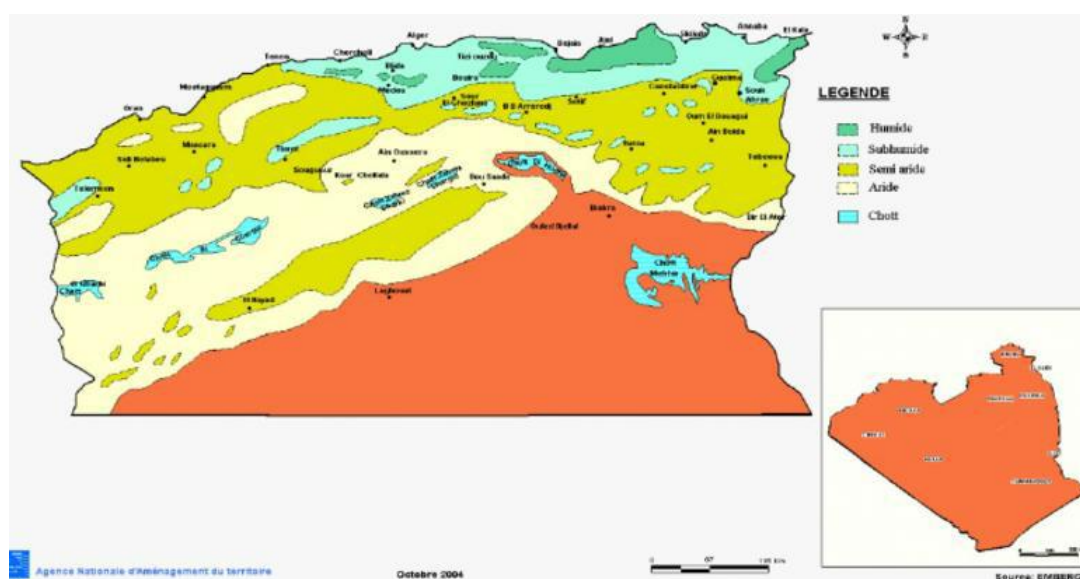
#### 4. Occupation du sol :

La région dans un rayon de 3 kilomètres de Ammi Moussa est couverte par des terres cultivées (27 %), des pâturages (24 %), des arbres (18 %) et des buissons (18 %), dans un rayon de 16 kilomètres par des terres cultivées (40 %) et des pâturages (18 %) et dans un rayon de 80 kilomètres par des terres cultivées (49 %) et une végétation éparse (17 %).

**5. Situation climatique :**

Le climat est l'ensemble des phénomènes météorologiques (température, pression atmosphérique, vents, précipitation, etc.) Qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère son évolution en un lieu donné. Ces paramètres climatiques sont directement responsables de la répartition et du développement des plantes comme il intervient fortement dans la formation et l'évolution du sol. C'est un élément essentiel dans l'étude de différentes régions du monde (Thinoin, 1948).

La commune de Ammi moussa se trouve dans un étage bioclimatique semi-aride, la température moyenne annuelle est de 29°C, en été, elle peut augmenter jusqu'à 43°C et en hiver elle descend parfois jusqu'à 2°C. La pluviométrie se situe entre 400 mm et 600 mm, elle est généralement concentrée dans le temps, ce qui entraîne des crues spectaculaires.



**Figure I.3 : Etages bioclimatiques au Nord d'Algérie (ANAT, 2004).**

**5.1. La pluviométrie :**

Les précipitations sont irrégulières et très variables d'une année à l'autre, on observe le maximum pendant le mois de Décembre et le minimum pendant les mois de Juillet et Aout.

**Tableau I.1 : les valeurs Moyennes des précipitations (période 1984-2015).**

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	jan	fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
<b>P (mm)</b>	16.59	30.82	47.43	49.81	47.54	46.51	43.00	39.41	27.00	7.01	1.89	2.93	359.96
<b>P (%)</b>	4.61	8.56	13.18	13.84	13.21	12.92	11.95	10.95	7.50	1.95	0.52	0.82	100.00

ANRH Alger

L'analyse des données pluviométriques montre que la hauteur maximale des précipitations est enregistrée au mois de Décembre (49.81mm), tandis que le minimum est atteint au mois de Juillet (1.89mm).

**5.2. La température :**

La température joue un rôle important dans la vie et le développement de la végétation, principalement par deux paramètres : la température minimale du mois le plus froid et la température maximale du mois le plus chaud. Le tableau N°2 présente ces différentes observations ainsi que la température moyenne au niveau de la station d'Ammi Moussa.

**Tableau I.2 : Les valeurs Moyennes des températures (1982-2007)**

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout
<b>M (°C)</b>	32.29	26.38	20.12	16.06	15.09	17.01	19.85	22.44	27.49	33.24	37.43	37.03
<b>m(°C)</b>	19.7	15.9	11.8	8.6	7	8.22	9.45	11.7	15.39	19.2	22.5	22.8
<b>Moyenne (°C)</b>	26.00	21.14	15.96	12.33	11.05	12.62	14.65	17.07	21.44	26.22	29.97	29.92

ONM 2008

- M : Moyenne des températures maximales du mois (°C).
- m: Moyenne des températures minimales du mois (°C).

L'analyse du tableau montre que les plus hautes valeurs de températures sont enregistrées entre le mois de Juin et Septembre avec un maximum atteint au mois de Juillet (37,43°C) ; le minimum est atteint au mois de Janvier (7°C).

**5.3. L'évaporation :**

L'évaporation totale mesurée d'eau libre au niveau de la région peut attendre 1701.4 mm D'après le tableau ci-dessous qui représente la variation de quantité moyenne mensuelle d'eau évaporée en fonction du mois, on constate que l'évaporation elle est importante du mois d'Avril à Octobre. Elle atteint le maximum 290,4 mm durant le mois de Juin.

**Tableau I.3 : les valeurs moyennes de l'évaporation (période 2000-2005).**

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mar s	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
<b>Evaporation (mm)</b>	185.4	128.2	66.2	55.2	49.6	67.6	97.6	126.2	181.4	290.4	268.2	185.4

ONM 2008

#### 5.4. Les vents :

Le vent exerce une influence importante sur l'évaporation du sol d'où sur la croissance de la végétation dans toute sa variété. Les vents soufflent fréquemment dans des directions instables et à différentes intensités en fonction des saisons. En été prédominant les vents de composantes NE et NA et en hiver les vents NW dominant dont la vitesse moyenne annuelle est de 2.74 (m/s), elle n'est pas variable pendant l'année, elle est de 3.27 (m/s) au maximum et 2.38 (m/s) au minimum.

**Tableau I.4 : Valeurs moyennes des vitesses du vent (période 2000-2005).**

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Vent (m/s)	2.68	2.45	2.42	2.66	2.43	2.38	2.58	3.05	3.17	3.27	2.88	2.87

ONM 2007

#### 5.5. L'ensoleillement :

On remarque la variabilité de la durée de l'ensoleillement de chaque mois, elle est très importante en allant de mars à octobre d'où l'évaporation est par conséquent est importante en favorisant le dessèchement pendant cette période. La durée d'ensoleillement la plus importante est au mois de juillet avec 352h/mois et la moins intense est au mois de décembre avec 162h/mois.

**Tableau I.5 : Valeurs moyennes d'ensoleillement (période 2000-2005).**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Ensol (h/mois)	274	229.7	175.1	156.6	168	180.9	226.2	245.5	296.8	326.7	353.3	320.1

ONM 2008

#### 5.6. L'humidité relative :

L'humidité relative moyenne annuelle de la région 52.08 %. L'humidité est supérieure à 60 % dans 4 mois de l'année (de Novembre à Février), alors que le minimum est enregistré dans les mois de Juillet et Aout avec 36, 37 %.

**Tableau I.6 : Distribution moyenne mensuelle de l'humidité**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Humidité (%)	50.37	51	61.87	66.12	64.37	62.5	57.75	48.85	49.12	40.25	36.37	36.37

ONM 2008



**6. Situation géologique :**

Du point de vue géologique et structural de la région, le substratum permo-triassique dans le massif de l'Ouarsenis est surmonté par des terrains transgressifs de la succession jurassique.

Les monts de l'Ouarsenis font partie des monts externes. Les premières phases orogéniques (calédonienne et hercynienne) sont mal représentées, mais l'effet de la troisième phase (alpine) est bien marquée et plus important avec une structure très complexe, notamment au versant Nord du massif. Les traces de cette orogénèse sont bien présentées et se traduisent par des croupes et des ravins relativement profonds.

La géologie de la zone d'étude se traduit par des ensembles lithologiques rencontrés dans le bassin versant dont fait partie la ville d'Ammi Moussa avec une prédominance marneuse et argileuse.

**7. La sismicité :**

Les classifications établis ci-dessous sont indépendantes du choix du système constructif et concernent les zones sismiques les groupes d'usages et les sols.

En fonction de l'intensité sismique, l'Algérie est découpée en zones sismiques (figure I.2)

- Zone 0 : Séismicité négligeable.
- Zone I : Séismicité faible.
- Zone II a et II b : Séismicité moyenne.
- Zone III : Séismicité forte.

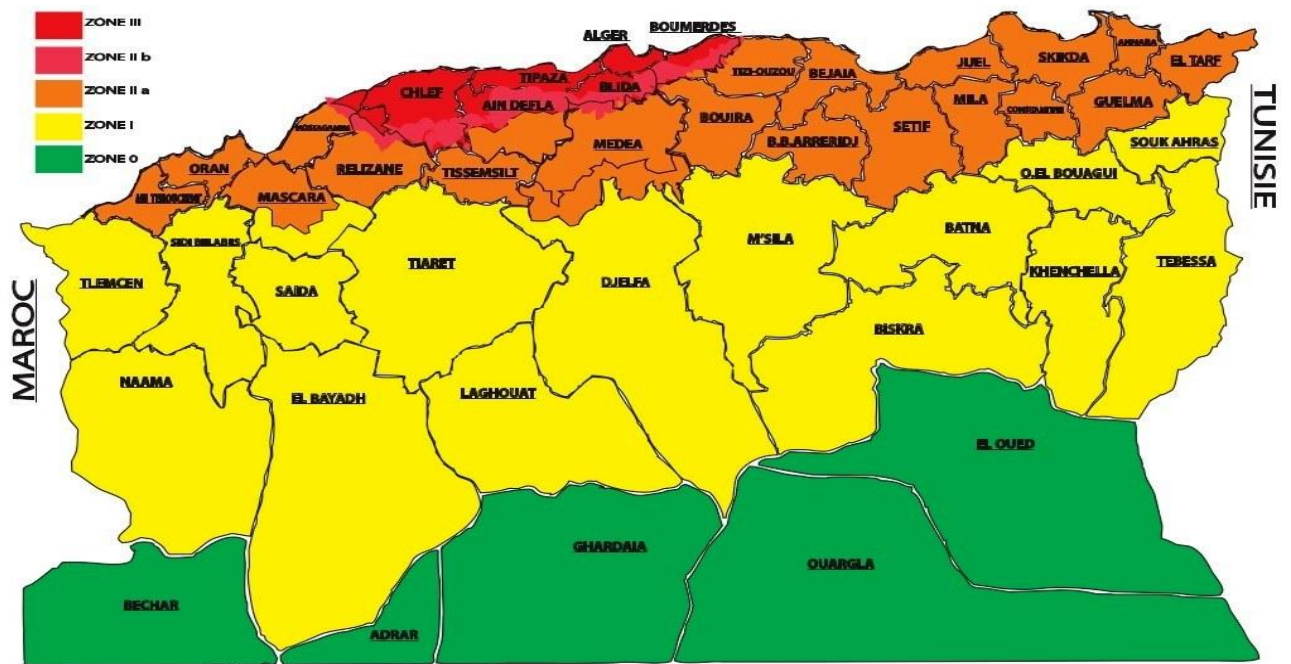


Figure I.4 : Classification sismique des wilayas d'Algérie.

La (Figure I.2) montre que notre zone d'étude est classée en zone II a ; une zone à sismicité moyenne.

## 8. Situation Hydrogéologique :

La région du bassin hydrogéologique de Cheliff –Zahrez est composée de trois parties bien distinctes :

- Au Nord, le géosynclinal du Cheliff encadré par deux chaînes telliennes émergentes (mont de Dahra au Nord et le massif de l'Ouarsenis au Sud).
- Au Sud, les hautes plaines entre l'Ouarsenis et l'atlas saharien.
- Le bassin de Zahrez, au Sud.

De nombreuses formations géologiques contiennent des eaux souterraines et constituent des aquifères potentielles, les formations les plus anciennes sont d'âge jurassique et les récentes correspondant aux alluvions quaternaires.

Dans la zone septentrionale du bassin des deux chaînes telliennes favorisant un flux important, les niveaux perméables (calcaires et grès) sont généralement peu développés et encaissés dans des puissantes formations imperméables.

## 9. Les infrastructures hydrauliques :

### 9.1. Alimentation en eau potable :

Au niveau de l'agglomération d'Ammi Moussa existe cinq (05) forages de débit d'exploitation de 60 l/sec. La ville possède cinq (05) réservoirs de capacité totale de 4300 m<sup>3</sup>.

La ville est dotée d'un réseau de distribution de type maillé couvrant la totalité de la ville. Ce réseau est constitué principalement en PVC et PEHD, dont les diamètres varient entre 63 et 250 mm.

### 9.2. Assainissement :

Le réseau d'assainissement de l'agglomération de Ammi Moussa est de type mixte, ce type désigne communément le réseau constitué, selon les zones d'habitation, en partie en système unitaire et en partie en système séparatif.

Le réseau d'assainissement des eaux usées de la ville est composé de quatre collecteurs principaux et couvre la totalité de la ville. Les diamètres du réseau des eaux usées varient de D=300 à D=1200mm.

Le réseau d'assainissement des eaux pluviales est composé de six collecteurs principaux, et un collecteur secondaire, Les diamètres du réseau des eaux pluviales sont réalisés en béton comprimé (CAP) et en béton armé (B.A) de diamètre 600 mm à 1500mm.



## 10. La situation démographique :

D'après le dernier recensement effectué en 2008, la population de la commune d'Ammi Moussa était de 28962 habitants et celle du chef-lieu était de 27530 habitants.

Pour une estimation de l'évolution de la population à différents horizons, le taux d'accroissement est de 0.8% (source recensement 2008).

**Tableau I.7 : Population d'Ammi Moussa**

Horizons	2008	2018	2025	2030	2040
Chef-lieu	27530	29800	31500	32780	35490
Zone éparse	1432	1550	1640	1710	1850

La population d'Ammi Moussa est fortement agglomérée au niveau du chef-lieu avec plus de 95%.

La commune de Ammi Moussa comprend de nombreux infrastructures et d'équipements conformes pour les besoins de la population : administratifs, éducations, santé sportifs... etc.

## 11. Etude hydro-morphologique du bassin versant

Le bassin versant est l'unité de base de toute analyse hydrologique, il est défini par la surface drainée par un cours d'eau et ses affluents

La délimitation des bassins versants des cours d'eau qui traversent le site d'étude est faite grâce à un modèle SRTM (MNT) de résolution 30 m, stocké sous extension de fichier **.dem**, déjà géo-référencé avec le système de projection suivant :

- Projection : UTM
- Zone : 31
- Datum : WGS84

À l'aide des outils disponibles à la boîte Hydrologie dans le logiciel ARCGIS, nous avons effectué les étapes suivantes :

- **Fill** pour combler les vides ;
- **Flow Direction** pour déterminer la direction d'écoulement ;
- **Flow Accumulation** pour voir où s'accumulent les eaux ;
- **Conditional** pour choisir le nombre des pixels qui versent l'eau dans un seul pixel afin de réaliser le réseau hydrographique raster ;
- Puis on transforme le format raster au format vecteur et on crée l'exutoire que l'outil Watershed utilise pour tracer les limites du bassin

Grace à l'utilisation des outils de logiciel ArcGis 10.2.2, nous avons procédé à l'élaboration des différentes cartes de réseau hydrographique, des pentes, hypsométriques, et de faire sortir toutes les caractéristiques morpho-métriques et hydrographiques.

### 11.1. Paramètres morphologiques :

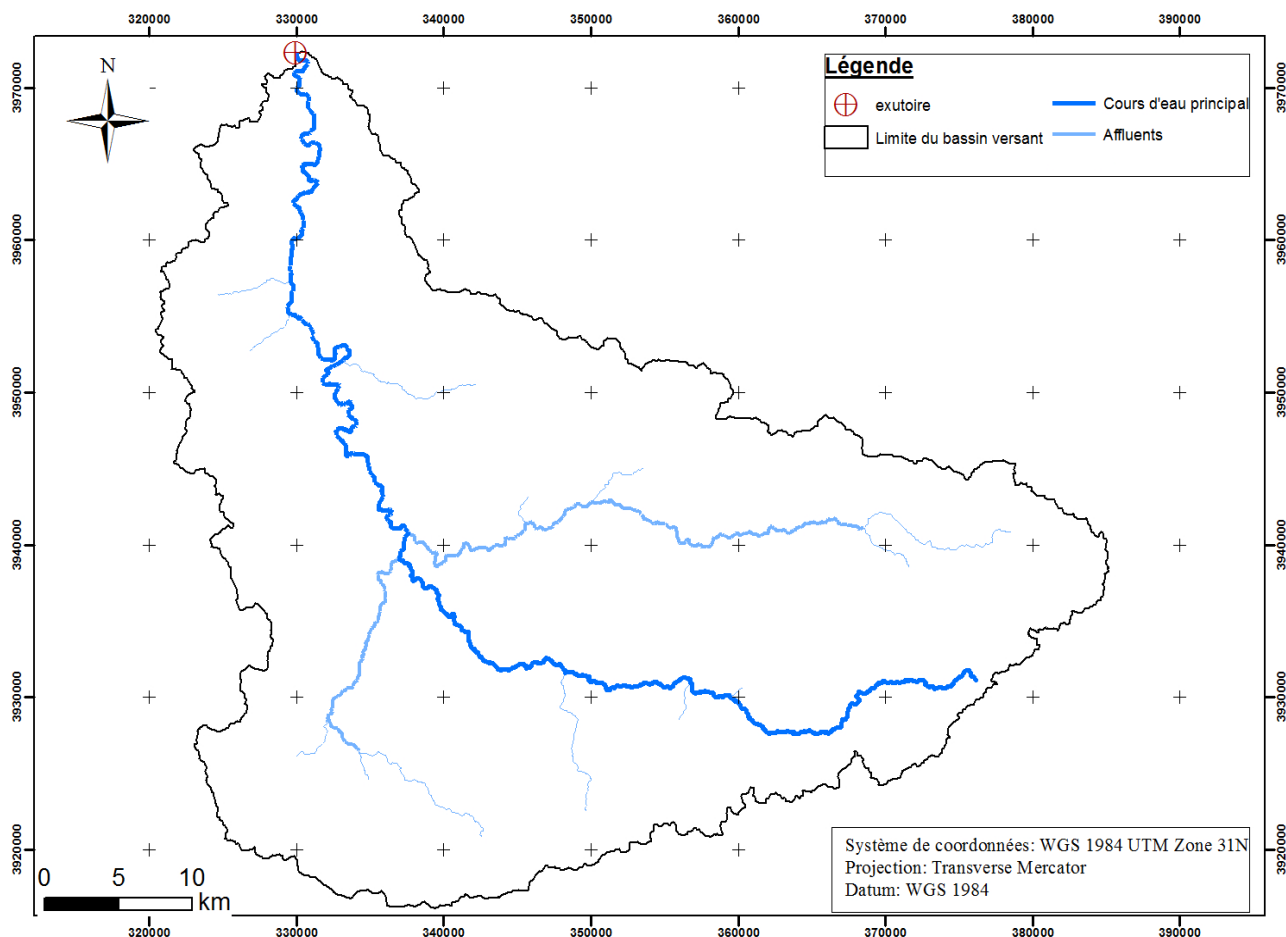


Figure I.5 : Carte du bassin versant de l'Oued Rhiou

#### 11.1.1. La Surfaces :

La surface d'un bassin versant est la première et la plus importante des caractéristiques, obtenue directement par logiciel Arcgis.

$$S = 1903 \text{ km}^2$$

#### 11.1.2. Le Périmètre :

Le périmètre correspond à la limite extérieure du bassin, formant son contour et caractérisant sa longueur. Il a été calculé également par le logiciel Arcgis.

$$P = 272 \text{ km}$$

### 11.1.3. La longueur du cours d'eau principal :

$$L_c = 117.80 \text{ km}$$

### 11.1.4. Caractéristiques de forme :

Comme il est difficile d'exprimer réellement la forme d'un bassin versant, on a fait appel à deux indices qui sont :

#### a. Indice de compacité de Gravelius $K_G$ :

Cet indice est un paramètre indicateur de la forme du bassin versant, il renseigne aussi sur la vitesse de concentration des débits, et de l'érosion. Il est défini comme le rapport entre le périmètre du bassin et la circonférence du cercle ayant la même superficie que le bassin.

$$K_G = \frac{P}{2\pi\sqrt{\frac{S}{\pi}}} \approx 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

- P : périmètre du bassin versant en km
- S : Surface du bassin versant en  $\text{km}^2$

Si :

- $K_G < 1.12$  → Bassin versant ramassé.
- $K_G > 1.12$  → Bassin versant allongé.

$$K_G = 1.75 \quad \rightarrow \quad \text{un bassin versant allongé}$$

#### b. Facteur de forme $R_f$ :

Défini par Horton, c'est le rapport entre la superficie du bassin et le carré de sa longueur maximale :

$$R_f = \frac{S}{L_c^2}$$

- S = l'aire totale du bassin versant en  $\text{km}^2$ ;
- L = longueur du cours d'eau principal en km ;8

$$R_f = 0.14$$

#### c. Rayon de circularité $R_c$ :

C'est le rapport entre la superficie du bassin et celle du cercle dont la circonférence est égale au périmètre du bassin

$$R_c = \frac{4\pi S}{P^2}$$

- S = l'aire totale du bassin versant en km<sup>2</sup>;
- P = Périmètre du bassin versant en km ;

$$R_c = 0.32$$

#### d. Rectangle équivalent :

Cette notion a été introduite pour pouvoir comparer les bassins versants entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques géométrique sur l'écoulement.

Soit L et l la longueur et la largeur du rectangle ayant la même surface que le bassin versant.

$$L, l = K_G \frac{\sqrt{S}}{1.128} \left( 1 \pm \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{K_G} \right)^2} \right)$$

$$L = 119.53 \text{ km}$$

$$l = 15.94 \text{ km}$$

### 11.2. Paramètres de reliefs :

Les paramètres du relief présentent une importance considérable pour l'estimation de la vitesse de ruissèlement, une plus forte pente provoque un écoulement plus rapide, donc un temps de concentration plus court et une montée plus rapide pour les crues.

#### 11.2.1. Répartition des surfaces et courbe hypsométrique :

La répartition altimétrique est déterminée par planimétrie de surfaces partielles situées entre deux courbes de niveau voisin.

**Tableau I.8 : Répartition altimétrique du bassin versant**

Altitude	h <sub>i</sub> (m)	S <sub>i</sub> (km <sup>2</sup> )	S <sub>i</sub> (%)	S <sub>i.cum</sub> (km <sup>2</sup> )	S <sub>i.cum</sub> (%)	S <sub>i</sub> *h <sub>i</sub> (m.km <sup>2</sup> )
120-200	160	22.21	1.17	22.21	1.17	3553.6
200-300	250	66.91	3.52	89.12	4.68	16727.5
300-400	350	115.9	6.09	205.02	10.77	40565
400-500	450	172.99	9.09	378.01	19.86	77845.5
500-600	550	267.21	14.04	645.22	33.91	146965.5
600-700	650	349.49	18.37	994.71	52.27	227168.5
700-800	750	374.57	19.68	1369.28	71.95	280927.5
800-900	850	316.18	16.61	1685.46	88.57	268753
900-1000	950	166.81	8.77	1852.27	97.34	158469.5
1000-1100	1050	40.61	2.13	1892.88	99.47	42640.5
1100-1200	1150	9.66	0.51	1902.54	99.98	11109
1200-1263	1231.5	0.44	0.02	1902.98	100	541.86

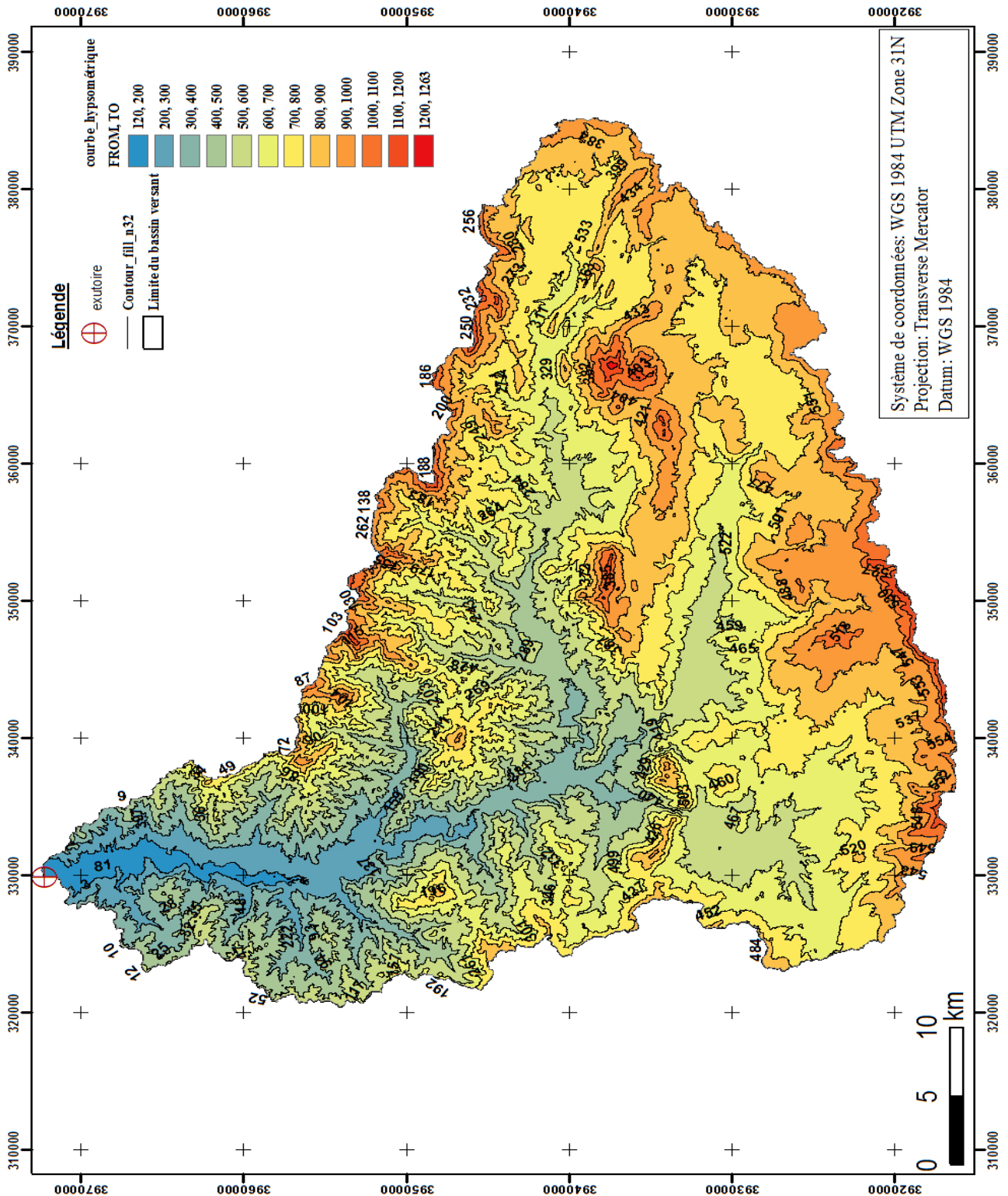


Figure I.6 : Carte hypsométrique du bassin versant de l'Oued Rhiou

La courbe hypsométrique représente la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle nous donne une vue synthétique sur le relief du bassin

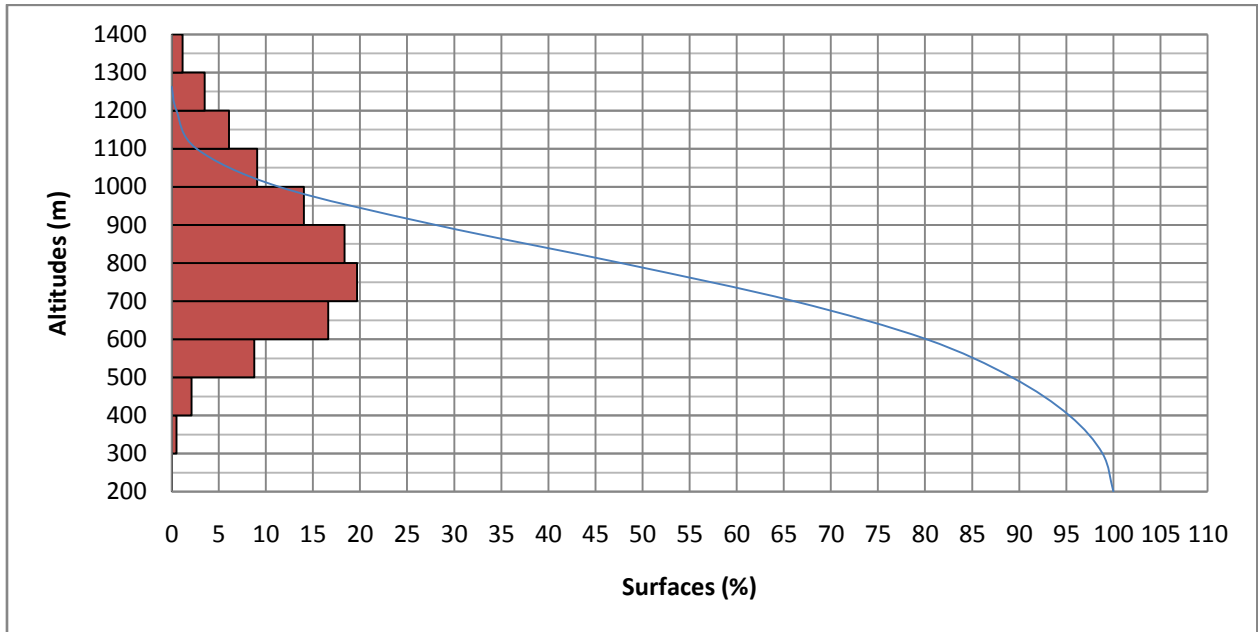


Figure I.7 : Courbe hypsométrique du bassin versant

### 11.2.2. Altitudes caractéristiques :

- $H_{\max}$  et  $H_{\min}$  : le point le plus haut du bassin versant et le point le plus bas, elles sont obtenues directement par logiciel ArcGis.

$$H_{\max} = 1263 \text{ m}$$

$$H_{\min} = 120 \text{ m}$$

- $H_{50\%}$ ,  $H_{95\%}$  et  $H_{05\%}$  : elles sont déterminées à partir de la courbe hypsométrique.

$$H_{50\%} = 788 \text{ m}$$

$$H_{95\%} = 409 \text{ m}$$

$$H_{05\%} = 1063 \text{ m}$$

- $H_{\text{moy}}$  : est calculée par la formule suivante :

$$H_{\text{moy}} = \frac{1}{S} \sum H_i * S_i$$

- S : surface totale du bassin versant en  $\text{km}^2$ ;
- $H_i$  : Altitude moyenne entre 2 courbes de niveaux consécutives en m ;
- Surface partielle comprise entre 2 courbes de niveaux consécutives en Km ;

$$H_{\text{moy}} = 670.14 \text{ m}$$

### 11.2.3. Indice de pente globale ( $I_g$ ) :

$$I_g = \frac{D}{L}$$

- D : Dénivelée entre  $H_{5\%}$  et  $H_{95\%}$  en m ;
- L : Longueur de rectangle équivalent en Km ;

$$I_g = 5.47 \text{ m/km}$$

### 11.2.4. Indice de pente de Roche ( $I_p$ ) :

L'indice de pente de Roche sert à déterminer la pente moyenne avec les données réelles du bassin versant.

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum \sqrt{S_i(H_i - H_{i-1})}$$

- L : Longueur du rectangle équivalent du bassin versant en m ;
- $S_i$  : Surface partielle (%) comprise entre deux courbes de niveau consécutives en  $\text{km}^2$  ;

**Tableau I.9: Détermination de la pente de Roche**

$H_i$ (m)	$H_i - H_{i-1}$ (m)	$S_i$ (%)	$S_i * (H_i - H_{i-1})$	$\sqrt{S_i * (H_i - H_{i-1})}$
1263				
1200	63	0.02	1.46	1.21
1100	100	0.51	50.76	7.12
1000	100	2.13	213.40	14.61
900	100	8.77	876.57	29.61
800	100	16.61	1661.50	40.76
700	100	19.68	1968.33	44.37
600	100	18.37	1836.54	42.85
500	100	14.04	1404.17	37.47
400	100	9.09	909.05	30.15
300	100	6.09	609.04	24.68
200	100	3.52	351.61	18.75
120	80	1.17	93.37	9.66
			Totale	301.24

$$I_p = 27.55$$

### 11.2.5. Pente moyenne du bassin versant ( $I_m$ ):

$$I_m = \frac{\Delta H (0.5l_1 + l_2 + l_3 + \dots + 0.5l_n)}{S}$$

- $\Delta H$  : Dénivelée entre deux courbes de niveaux en m ;
- $L_i$  : longueur de la courbe de niveau d'ordre 1,2, 3,....., n en m ;
- S : surface du bassin versant en  $\text{km}^2$  ;

$$I_m = 0.195 = 19 \%$$

11.2.6. Dénivelée spécifique ( $D_s$ ) :

$$D_s = D \sqrt{\frac{l}{L}}$$

- D : Dénivelée entre H5% et H95% (m) ;
- L : Longueur du rectangle équivalent en Km ;
- l : Largeur du rectangle équivalent en Km ;

$D_s = 238.83$

11.3. Caractéristique du réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Il est caractérisé par : la hiérarchisation du réseau, le nombre et les longueurs des cours d'eau et son profil en long

La connaissance du réseau hydrographique, nous permet de bien se renseigner sur le mode de drainage des bassins versants, ainsi que leurs aptitudes au ruissellement.

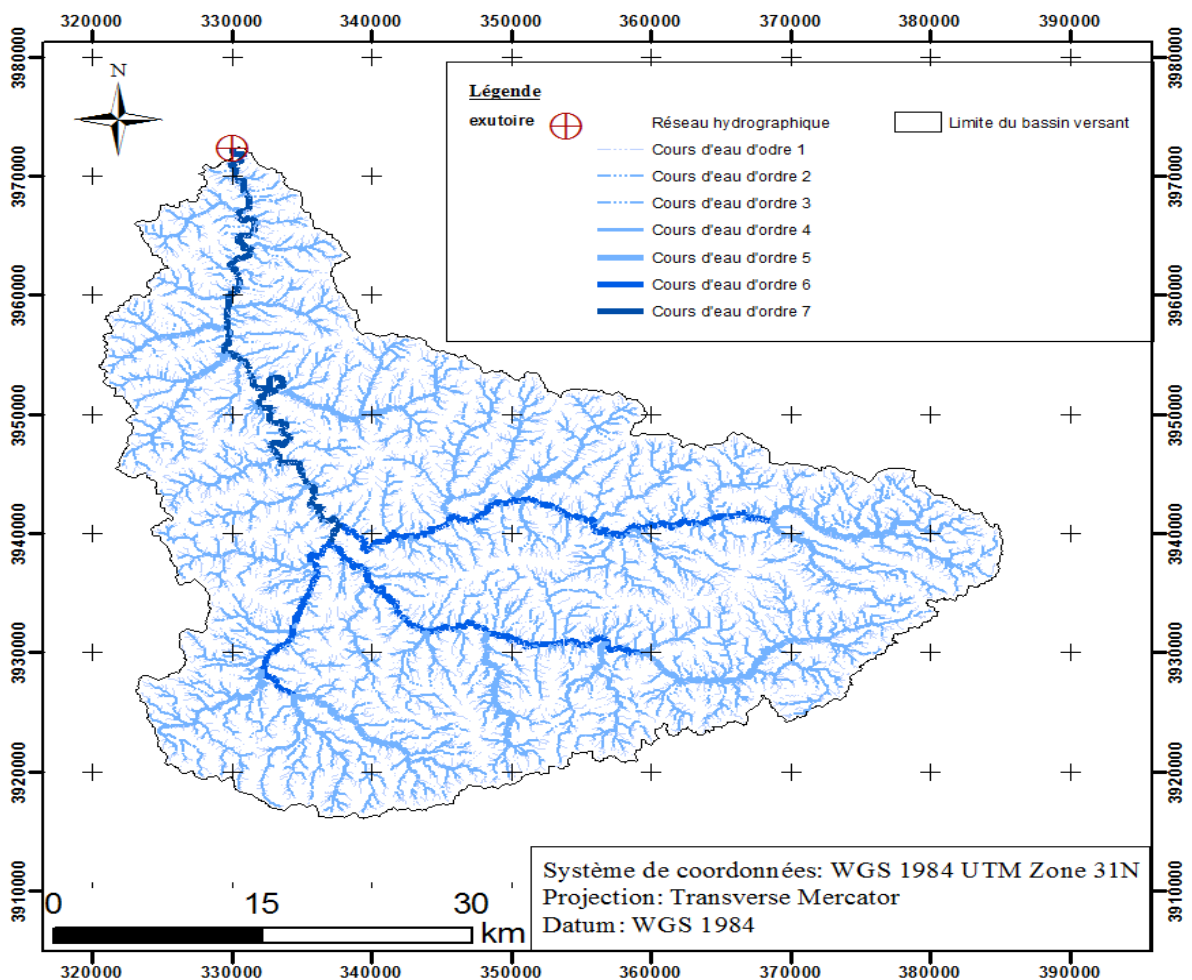


Figure I.8 : Carte du réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Rhiou



### 11.3.1. Densité de drainage ( $D_d$ ) :

C'est le rapport entre la longueur totale de tous les talwegs  $L_i$  du bassin, à la surface totale  $S$ , exprimée en  $\text{km}/\text{km}^2$ .

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S}$$

- $L_i$  : Longueur des cours d'eau d'ordre  $i$  en  $\text{km}$  ;
- $S$  : Surface du bassin versant en  $\text{km}^2$  ;

$$D_d = 0.28 \text{ km}/\text{km}$$

### 11.3.2. la pente moyenne du cours d'eau principal ( $I_c$ ) :

Ce paramètre permet de déterminer de vitesse d'écoulement jusqu'à arriver à l'exutoire du bassin, donc elle a une influence sur le temps de concentration et par conséquent, elle agit sur le débit maximal observé.

$$I_c = \frac{\Delta H}{L}$$

- $\Delta H$  : dénivellation maximale (dénivelée entre  $H_{\max}$  et  $H_{\min}$ ) de la rivière en  $\text{km}$  ;
- $L$  : Longueur de cours d'eau principal en  $\text{km}$  ;

$$I_c = 9.70 \text{ m}/\text{km}$$

### 11.3.3. Le temps de concentration ( $T_c$ ) :

Le temps de concentration des eaux sur un bassin versant est défini comme le temps nécessaire pour une goutte d'eau située au point le plus loin possible de l'exutoire.

C'est un paramètre important pour l'estimation du débit de pointe à l'exutoire, Il existe plusieurs formules qui permettent de calculer le temps de concentration. Elles se basent toutes essentiellement sur les caractéristiques du bassin versant. Nous retenons la formule de Giandotti qui nous semble convenable pour les grands bassins versant.

#### Formule de Giandotti :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5 L_{cp}}{0.8 \sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

- $S$  : La surface du bassin versant en  $\text{Km}^2$  ;
- $L$  : La longueur du talweg principale en  $\text{Km}$  ;
- $H_{moy}$  : L'altitude moyenne du bassin versant en  $\text{m}$  ;
- $H_{min}$  : L'altitude minimale du bassin versant en  $\text{m}$  ;

$$T_c = 18.72 \text{ heures}$$

11.3.4. vitesse moyenne de ruissellement ( $V_r$ ) (Km/h) :

$$V_r = \frac{L_{cp}}{T_c}$$

- L : Longueur du talweg principale en km ;
- $T_c$  : Temps de concentration en h ;

$$V_r = 0.95 \text{ km/h}$$

**Tableau I.9 : Récapitulatif des caractéristiques hydromorphométriques du bassin**

Caractéristique	Unité	Valeur
<b>1-Morphométrie</b>		
Surface (S)	Km <sup>2</sup>	1903
Périmètre (P)	Km	272
L'indice de compacité Gravelius( $k_G$ )	/	1.75
Rectangle équivalent	Longueur (L)	119.53
	Largeur (l)	15.94
Facteur de forme ( $R_F$ )	/	0.14
Rayon de circularité ( $R_c$ )	/	0.32
<b>2-Relief</b>		
Altitude maximale ( $H_{max}$ )	m	1263
Altitude minimale ( $H_{min}$ )	m	120
Altitude moyenne ( $H_{moy}$ )	m	670.14
Altitude médiane ( $H_{50\%}$ )	m	788
Altitude 5% ( $H_{05\%}$ )	m	1063
Altitude 95% ( $H_{95\%}$ )	m	409
Indice de pente globale ( $I_g$ )	m/km	5.47
Indice de pente de Roche ( $I_p$ )	m/km	27.55
Dénivelé spécifique ( $D_s$ )	m	238.83
Pente moyenne du bassin versant ( $I_m$ )	%	
<b>3-Réseau hydrographique</b>		
Longueur du cours d'eau principal ( $L_{cp}$ )	km	117.80
Densité de drainage ( $D_s$ )	Km/km <sup>2</sup>	0.28
Pente moyenne du cours d'eau principal ( $I_c$ )	m/km	970
Temps de concentration ( $T_c$ )	heur	18.72

**Conclusion :**

Au niveau de ce chapitre nous avons pu définir les caractéristiques géographiques, climatique, géologique, sismique, hydraulique du bassin versant, et ainsi la détermination des paramètres hydro-morphologiques du bassin, dans le but de bien évaluer les risques de ces inondations.

## CHAPITRE II

# **Etude des précipitations maximales journalières**

**Introduction :**

Les fortes crues en Algérie sont causées par les pluies extrêmes et les pluies de courte durée. Pour lutter contre ces crues, des projets de protection vont être projetés. La réalisation de ces projets nécessite au préalable une étude des précipitations maximales journalières afin de déterminer ces pluies extrêmes et pluies de courte durée. C'est dans ce contexte que ce chapitre fait objet.

**1. Présentation de la station pluviométrique:**

Dans le but d'analyser les précipitations dans notre bassin versant, notre étude sera basée sur les données enregistrées au niveau de la station pluviométrique d'Ammi Moussa (la station la plus proche de la zone d'étude).

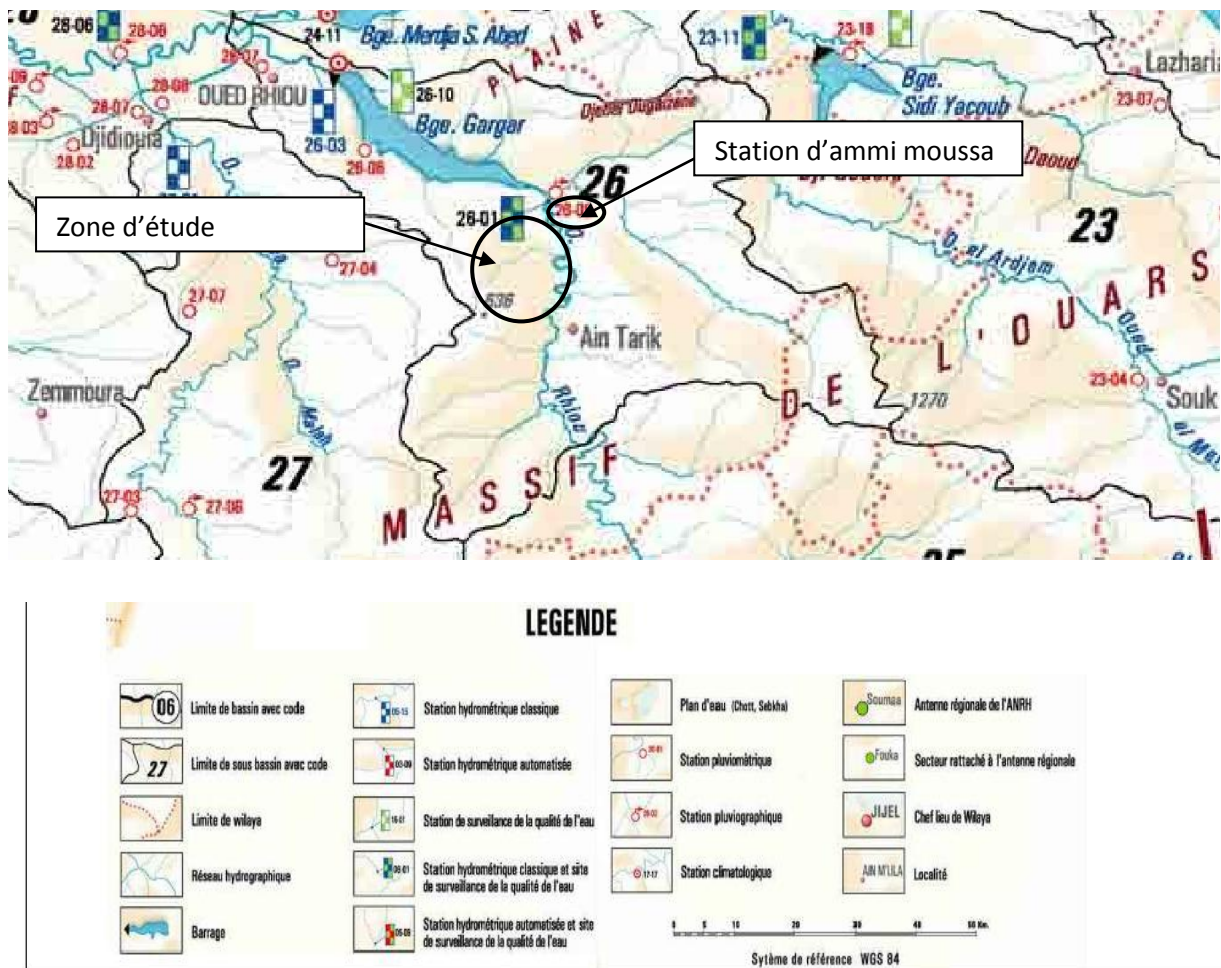


Figure II.1 : Réseau de mesure sur la zone d'étude (Extraite de la carte ANRH)

Les caractéristiques de la station pluviométrique sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau II.1 : Caractéristiques de la station pluviométrique d’Ammi Moussa**

Station	Code	Source	Coordonnées			Nbre
			Longitude (°)	Latitude (°)	Z (m)	
AMMI MOUSSA	012605	A.N.R.H	1.120	35.866	140	45 ans

## 2. Etude des précipitations maximales journalières :

Les pluies journalières est souvent la génératrice des crues exceptionnelles. Pour cela, il est important d’effectuer un ajustement statistique d’une loi théorique à la série d’observations afin de déterminer les intensités de pluie les plus extrêmes et d’estimer par conséquence un débit de crue en passant par les étapes suivantes :

- Classer la série des précipitations par ordre croissant ;
- Calcul de la fréquence expérimentale (au non-dépassement);
- Calcul des caractéristiques empiriques de la série de données ;
- Ajuster graphiquement la loi choisie ;
- Calculer le quantile et son intervalle de confiance.
- Calcul des pluies et intensités de courte durée

**Tableau II.2 : Séries des Pluies Maximales Journalières (1974-2011) à la station d’Ammi Moussa**

Année	$P_{\max,j}$	Année	$P_{\max,j}$	Année	$P_{\max,j}$
1974	28.2	1987	34.8	2000	71.5
1975	49	1988	31.7	2001	73.7
1976	55.5	1989	19.1	2002	31.7
1977	47.5	1990	24	2003	28.6
1978	28.7	1991	25.7	2004	22.7
1979	30.7	1992	18.8	2005	42.3
1980	28.8	1993	21.8	2006	21.1
1981	29.7	1994	40.9	2007	17.7
1982	33.8	1995	24.9	2008	29.8
1983	21.8	1996	88.5	2009	27.9
1984	20.9	1997	43.8	2010	40.7
1985	30.7	1998	54.3	2011	41.2
1986	25.3				

### 2.1. Les caractéristiques de la série :

**Tableau II.3 : Caractéristiques de la série pluviométrique**

Nombre d'année	44
Maximum	88.5
Minimum	17.7
Moyenne	36.7
Écart type	16.4
Médiane	30.7
Coefficient de variation Cv	0.446

### 2.2. Ajustement des pluies maximales journalières :

L'ajustement des pluies maximales journalières à trois lois différentes est basé sur le logiciel «HYFRAN ». Ces trois lois sont :

- La loi de Gumbel ;
- La loi de Galton;
- La loi GEV ;

#### 2.2.1. Ajustement à loi de Gumbel :

Cette loi a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-x_0}{a}}}$$

Avec :

- $y = \frac{x-x_0}{a}$  : est la variable réduite de la loi de Gumbel ;
- $x$  : précipitation maximale journalière (mm) ;
- $x_0$  : ordonnée à l'origine (mm) ;
- $\frac{1}{a}$  : la pente de la droite de Gumbel ;

Donc on peut écrire :  $y = -\ln[-\ln(-f(x))]$

Et l'expression de quantile est alors :  $x = ay + x_0$

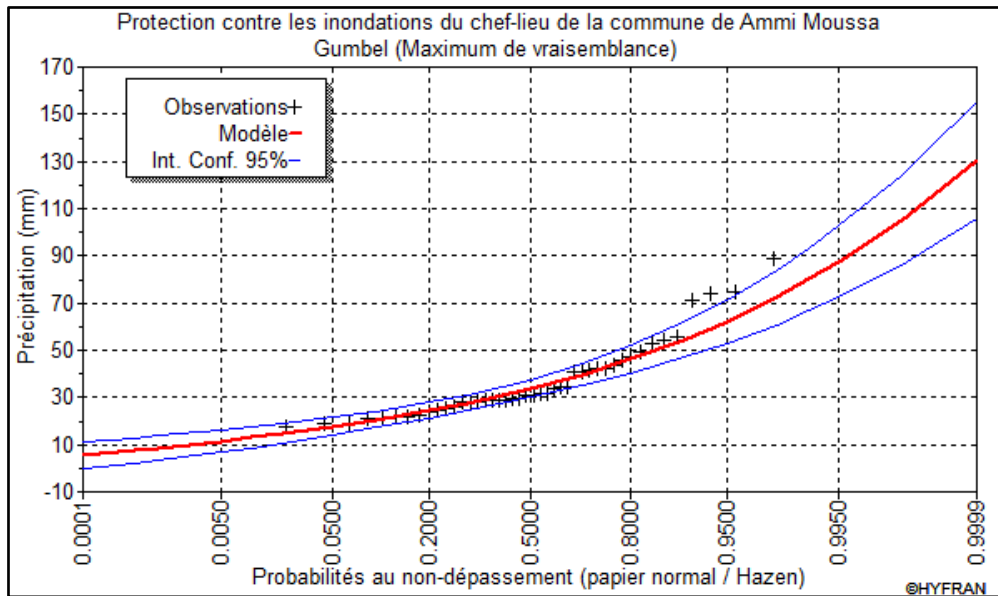


Figure II.2 : Ajustement graphique à la loi de Gumbel

- Estimation des paramètres par la méthode du maximum de vraisemblance :  
 a = 10.94  
 b = 29.74

Tableau II.4 : Quantiles théoriques de Gumbel

Période de retour T (ans)	Fréquence au non-dépassement q	Valeurs théoriques X <sub>t</sub> (mm)
100	0.99	80.1
50	0.98	72.4
20	0.95	62.2
10	0.9	54.4
5	0.8	46.2

2.2.2. Ajustement à la loi de Log-normale (Galton) :

Cette loi a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

Avec :  $u = \frac{\ln x - \overline{\ln x}}{\sigma_{\ln x}}$  variable réduite de gauss

Donc :  $\ln x = \overline{\ln x} + u\sigma_{\ln x}$

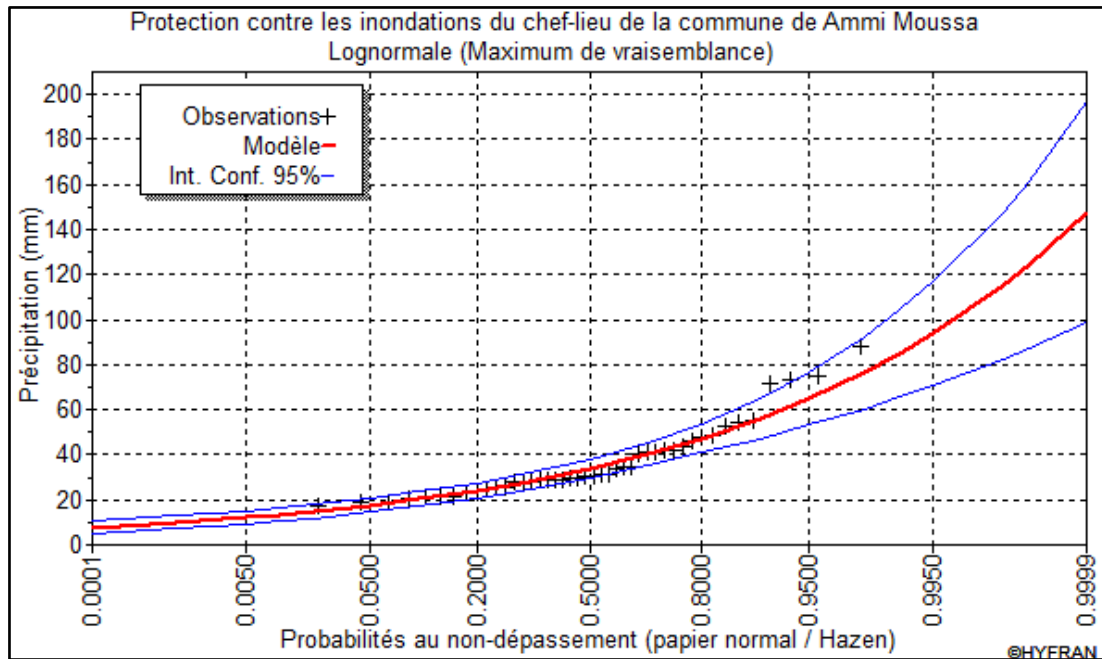


Figure II.3 : Ajustement graphique à la loi de Galton

- Estimation des paramètres par la méthode du maximum de vraisemblance :

$$\overline{\ln x} = 3.52$$

$$\sigma_{\ln x} = 0.4$$

Tableau II.5 : Quantiles théoriques de Galton

Période de retour T (ans)	Fréquence au non-dépassement q	Valeurs théoriques X <sub>t</sub> (mm)
100	0.99	85
50	0.98	76.3
20	0.95	64.9
10	0.9	56.2
5	0.8	47.2

### 2.2.3. Ajustement à la loi de GEV :

Cette loi a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$F(x) = \exp\left[-\left(1 - c \frac{x - a}{b}\right)^{\frac{1}{c}}\right]$$

Avec :

- a : paramètre de position ;
- b : paramètre de dispersion ;
- c : paramètre de forme ;



La formule de la variable réduite est :  $y = -\frac{1}{c} \ln(1 - c \frac{x-a}{b})$

Avec :  $F(x) = e^{-e^{-y}}$

Donc l'expression du quantile est :  $x = a + \frac{b}{c} [1 - [-\ln(F(x))]]^c$

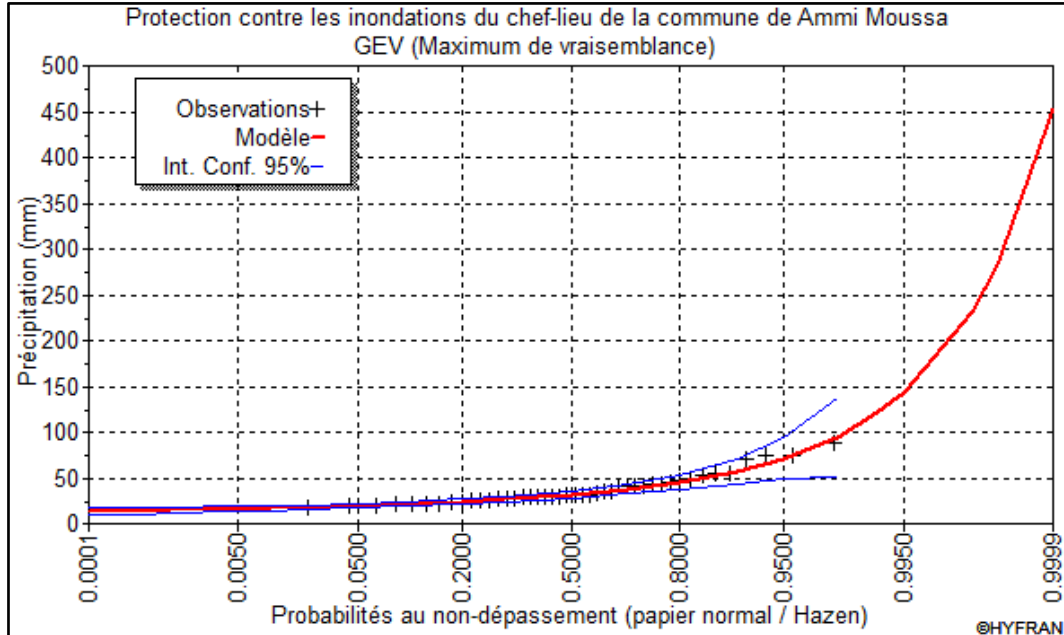


Figure II.4 : Ajustement graphique à la loi de GEV

Tableau II.6 : Quantiles théoriques de GEV

Période de retour T (ans)	Fréquence au non-dépassement q	Valeurs théoriques $X_t$ (mm)
100	0.99	117
50	0.98	94.8
20	0.95	71.5
10	0.9	57.4
5	0.8	45.6

**2.3. Qualité de l'ajustement et choix de la loi adéquate :**

La sélection de la loi d'ajustement la mieux adaptée se fait en deux étapes :

**2.3.1. Le test visuel :**

Ce test est basée sur une observation graphique c'est-à-dire vérifier si on a un bon ajustement (un bon alignement de points, pas de cassures de pente ou de mauvaises courbures) et ensuite accepter ou rejeter la loi.

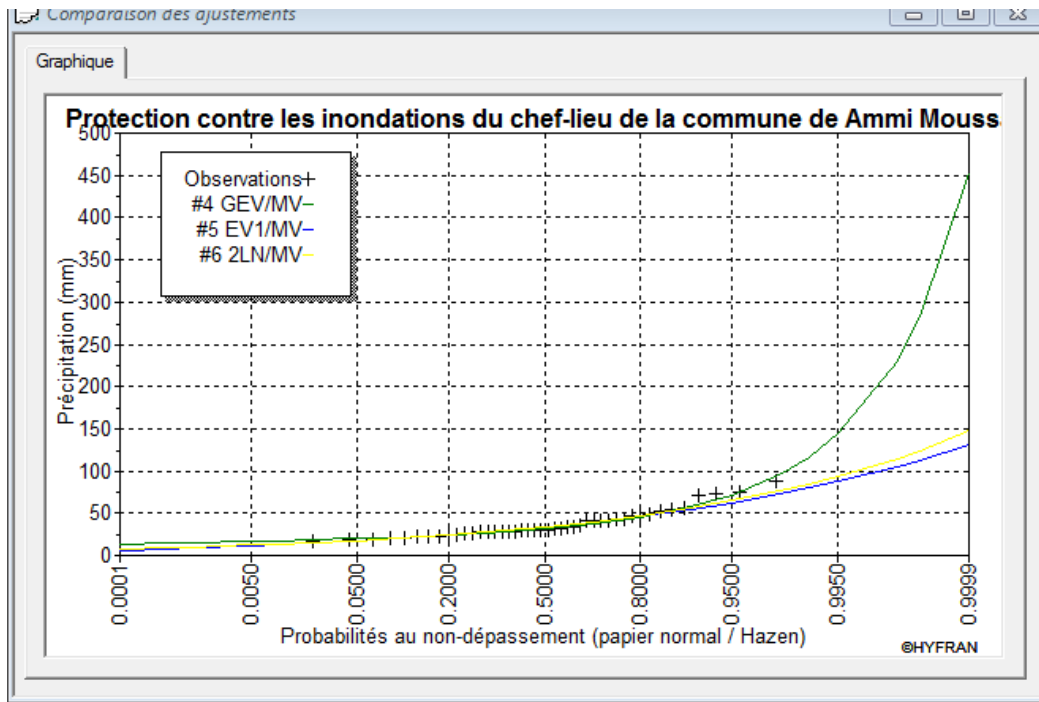


Figure II.5 : Représentation graphique de l’ajustement des trois lois.

**Interprétations graphiques des résultats obtenues :**

En se référant aux graphes obtenus précédemment (Figure II.1, II.2, II.3), on remarque que les trois lois pourraient bien s’ajuster.

- Pour l’ajustement à la loi de Gumbel, on a obtenue des intervalles de confiances plus larges et divergents progressivement par rapport à celle de Galton et GEV.
- Pour l’ajustement à la loi de Galton, Les intervalles de confiance obtenues sont plus larges et divergents progressivement par rapport à celle de la loi GEV.
- Pour l’ajustement à la loi de GEV, la position des pluies maximales journalières sont très proche de la droite d’ajustement théorique.

**2.3.2. Le test d’adéquation du Pearson ( $\chi^2$ ) :**

Ce test consiste à vérifier l’ajustement et confirmer notre choix en comparant la valeur calculée avec la valeur théorique, à un risque de 5%.

**Tableau II.7 : Résultats du test de Pearson**

Lois statistiques	Degré de liberté	Nombre de paramètres	$\chi^2$ calculé	$\chi^2$ théorique	Observations	remarque
Gumbel	6	2	9.18	12.59	$\chi^2_{calculé} < \chi^2_{théorique}$	Ajustement validé
Galton	6	2	12.86	12.59	$\chi^2_{calculé} > \chi^2_{théorique}$	Ajustement non validé
GEV	5	3	8.36	11.07	$\chi^2_{calculé} < \chi^2_{théorique}$	Ajustement validé

**Interprétation:**

D'après le tableau ci-dessus:

- La loi de Galton ne peut pas s'ajuster parce que  $\chi^2_{\text{calculé}}$  est supérieure à  $\chi^2_{\text{théorique}}$ .
- Les deux de Gumbel et GEV sont adéquates, mais on remarque que l'écart le plus grand entre  $\chi^2_{\text{calculé}}$  et  $\chi^2_{\text{théorique}}$  correspond à celui de la loi Gumbel.

**2.3.3. Choix de la loi la plus adéquate :**

Le test visuel et celui de Pearson sont des indicateurs fiables sur le modèle à choisir, l'un confirme les résultats de l'autre. Et d'après l'évaluation de la qualité d'ajustement par ces deux tests, on opte pour la loi de GEV.

**3. Les pluies de courtes durées :****3.1. Calcul des précipitations et intensités maximales de courte durée :**

Les pluies de courte durée ont été calculées sur la base des données relatives aux pluies journalières maximales en utilisant la loi régionale exprimée par la relation de K.Boddy :

$$P_{c.d,P\%} = P_{\max,j,P\%} \left( \frac{t}{24} \right)^b$$

Avec :

- t : durée de l'averse ;
- b : exposant climatique  $b = 0.6$  selon les études régionale de l'ANRH ;
- $P_{c.d,P\%}$  : pluie de courte durée correspondante à une fréquence donnée (mm) ;
- $P_{\max,j,P\%}$  : pluie maximale journalière correspondante à une fréquence donnée (mm) ;

Les intensités maximales de durée t (h), et période de retour T (ans) sont calculé par la relation :

$$I_t = \frac{P_{c.d,P\%}}{t}$$

Avec :

- $I_t$  : intensité maximale de période t(h) ;
- $P_{c.d,P\%}$  : Pluie de courte durée ;

Les précipitations et les intensités maximales pour différentes durée sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau II.8 : Pluies et intensités de courtes durées

Quantiles	117 mm		94.8 mm		71.5 mm		57.4 mm		45.6 mm	
T(année)	100		50		20		10		5	
Durée (h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)
0.25	7.57	30.26	6.13	24.52	4.62	18.49	3.71	14.85	2.95	11.79
1	17.38	17.38	14.08	14.08	10.62	10.62	8.53	8.53	6.77	6.77
2	26.34	13.17	21.35	10.67	16.10	8.05	12.92	6.46	10.27	5.13
3	33.60	11.20	27.22	9.07	20.53	6.84	16.48	5.49	13.10	4.37
4	39.93	9.98	32.35	8.09	24.40	6.10	19.59	4.90	15.56	3.89
5	45.65	9.13	36.99	7.40	27.90	5.58	22.40	4.48	17.79	3.56
6	50.93	8.49	41.26	6.88	31.12	5.19	24.98	4.16	19.85	3.31
7	55.86	7.98	45.26	6.47	34.14	4.88	27.41	3.92	21.77	3.11
8	60.52	7.57	49.04	6.13	36.99	4.62	29.69	3.71	23.59	2.95
9	64.95	7.22	52.63	5.85	39.69	4.41	31.87	3.54	25.32	2.81
10	69.19	6.92	56.06	5.61	42.28	4.23	33.95	3.39	26.97	2.70
11	73.26	6.66	59.36	5.40	44.77	4.07	35.94	3.27	28.55	2.60
12	77.19	6.43	62.54	5.21	47.17	3.93	37.87	3.16	30.08	2.51
13	80.99	6.23	65.62	5.05	49.49	3.81	39.73	3.06	31.56	2.43
14	84.67	6.05	68.61	4.90	51.74	3.70	41.54	2.97	33.00	2.36
15	88.25	5.88	71.50	4.77	53.93	3.60	43.30	2.89	34.39	2.29
16	91.73	5.73	74.33	4.65	56.06	3.50	45.00	2.81	35.75	2.23
17	95.13	5.60	77.08	4.53	58.14	3.42	46.67	2.75	37.08	2.18
18.72	98.45	5.47	79.77	4.43	60.16	3.34	48.30	2.68	38.37	2.13
19	101.70	5.35	82.40	4.34	62.15	3.27	49.89	2.63	39.64	2.09
20	104.88	5.24	84.98	4.25	64.09	3.20	51.45	2.57	40.87	2.04
21	107.99	5.14	87.50	4.17	65.99	3.14	52.98	2.52	42.09	2.00
22	111.05	5.05	89.98	4.09	67.86	3.08	54.48	2.48	43.28	1.97
23	114.05	4.96	92.41	4.02	69.70	3.03	55.95	2.43	44.45	1.93
24	117.00	4.88	94.80	3.95	71.50	2.98	57.40	2.39	45.60	1.90

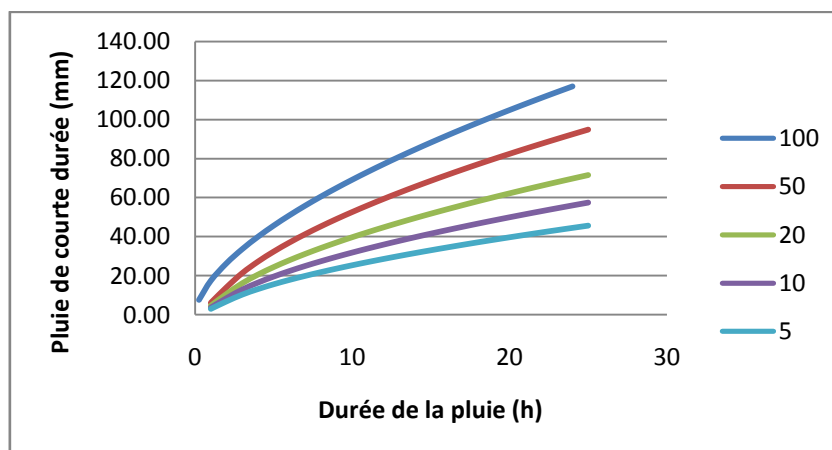


Figure II.6 : Courbe de pluie de courte durée

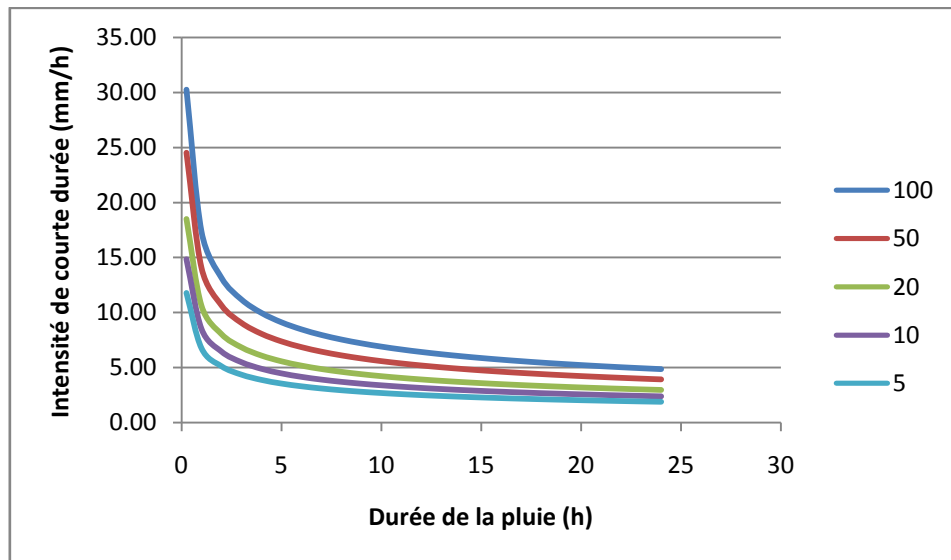


Figure II.7 : Courbe Intensité-durée-fréquence

### Conclusion :

Les pluies de courtes durées et leur intensité ont une influence directe sur l'estimation des débits de crue.

Dans ce chapitre on a fait des analyses et des ajustements sur la série pluviométrique qui ont permis de conclure que :

- le test d'adéquation de Khi-deux a montré que les lois d'ajustement de GUMBEL et de GEV s'ajustent bien à l'échantillon
- L'échantillon s'ajuste mieux à loi de GEV

## **CHAPITRE III**

# **Estimation des débits de crue du cours d'eau**

**Introduction :**

La détermination des débits de crue est une étape indispensable pour le dimensionnement des aménagements hydrauliques liés à la protection contre les crues. L'étude de ces crues doit être menée avec prudence pour ne pas tomber dans des erreurs de sous-estimation ou de surestimations compromettant respectivement la sécurité de l'ouvrage et son environnement.

Les méthodes d'évaluation sont nombreuses et dépendent de la diversité et de la complexité des facteurs qui déterminent les crues.

**1. Les débits de pointe :**

Les techniques utilisées pour la détermination des crues dépendent pour une grande part de données disponibles. Nous utilisons dans cette partie les formules empiriques utilisées en Algérie à savoir la formule de Giandotti et la formule de Sokolovski. Et puisque on travaille sur un bassin versant qui possède une station hydrométrique, on effectue aussi un ajustement statistique à la série hydrométrique.

**1.1. Détermination des débits maximums fréquents par les formules empiriques :****1.1.1. La formule de Giandotti :**

La méthode de Giandotti s'inspire des lois de ruissellement basées sur les caractéristiques morphologiques du bassin versant ainsi que le temps de concentration. Cette formule donne de résultats satisfaisants, particulièrement pour les bassins typiquement montagneux. (Bennis,2004)

$$Q_{\max.P\%} = \frac{166 \cdot P_{tc.P\%} \cdot A \cdot \sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}}{4\sqrt{A} + 1.5L}$$

Avec :

- $Q_{\max.P\%}$  : Débit maximum pour une fréquence donnée ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) ;
- $A$  : Superficie de bassin versant  $A=1903 \text{ km}^2$ ;
- $L$  : longueur du talweg principal  $L = 272 \text{ km}$  ;
- $H_{\text{moy}}$  : Altitude moyenne du bassin  $H_{\text{moy}} = 670.14\text{m}$ ;
- $H_{\text{min}}$  : Altitude minimale du bassin  $H_{\text{min}} = 120 \text{ m}$  ;
- $P_{tc.P\%}$  : Pluie fréquente de courte durée pour une fréquence  $P\%$  (m) ;

Les résultats de l'application de cette formule pour différentes périodes de retour sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau III.1 : Les débits de pointe par la formule de Giandotti**

T (année)	50	20	10	5
$P_{tc}(\text{mm})$	81.67	61.6	52.1	39.28
$Q_{\max} (\text{m}^3/\text{s})$	1723.06	1299.62	1099.19	828.72

### 1.1.2. La formule de Sokolovsky :

Le débit maximum probable est donné par la formule suivante :

$$Q_{\max.P\%} = 0.28 \frac{(X_{tc.P\%} - H_0) \cdot \alpha_{P\%} \cdot S \cdot f}{t_c}$$

Avec :

- $X_{tc.P\%}$  : précipitation de probabilité P% correspondant à un temps  $t_c$  (mm) ;
- $H_0$  : pertes initiales en mm, Au nord de l'Algérie  $H_0 = 7$  mm ;
- $f$  : Coefficient de forme, peut être calculé par la formule :  $f = \frac{12}{4+3\gamma}$  ;  
 $\gamma = 2$ , pour  $S < 50$  km<sup>2</sup> ;  
 $\gamma = (2 - 2.5)$ , pour des petits bassins non boisés, sol peu perméable ;  
 $\gamma = (3 - 4)$ , pour bassin boisés  
on prend  $\gamma = 3.5$  donc  $f = 0.83$
- $T_c$  : temps de concentration du bassin versant (h) ;
- $S$  : Surface du bassin versant (km<sup>2</sup>) ;
- $\alpha_{P\%}$  : coefficient du ruissellement pour la crue probable  $\alpha_{P\%} = \frac{\sqrt{X_{ct.P\%}} - \sqrt{H_0}}{\sqrt{X_{ct.P\%}} + \sqrt{H_0}}$  ;

Les résultats de l'application de cette formule pour différentes périodes de retour sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau III.2 : Les débits de pointe par la formule de Sokolovsky**

T (année)	50	20	10	5
P (mm)	81.67	61.6	52.1	39.28
$\alpha$	0.547073	0.495775	0.463542	0.406325
Q (m <sup>3</sup> /s)	965.07	639.51	493.9	309.87

### 1.2. Détermination des débits maximums fréquents par l'ajustement de la série hydrométrique :

L'estimation des débits de crue est faite à partir de la station hydrométrique de Ammi Moussa (code 012601) qui est la plus représentative, tant pour sa proximité de notre zone d'étude.

**Tableau III.3 : Série des débits maximums journaliers**

Année	$Q_{\max.jr}$	Année	$Q_{\max.jr}$	Année	$Q_{\max.jr}$	Année	$Q_{\max.jr}$
1982	440	1987	149	1992	151.2	1997	391
1983	250.6	1988	158	1993	326.3	1998	251.52
1984	47.64	1989	167	1994	670	1999	54.08
1985	415	1990	91	1995	719	2000	503.7
1986	535	1991	103	1996	358		



Notre série hydrométrique des débits maximums journaliers est très courte ( 19 ans) donc on va l'ajuster par approche maximum de vraisemblance par algorithme Bayesian MCMC (markov chain monte carlo) pour les lois statistiques suivantes :

- Loi de Gumbel ;
- Loi des valeurs extrêmes GEV ;
- Loi de log-normale ;
- Loi de log-normale 3 ;

La méthode de vraisemblance pour l'estimation des paramètres d'une loi consiste en des équations aux dérivés partiels.

Il existe une solution analytique pour déterminer le max vraisemblance si la série est très longue mais si la série est très courte il faut procéder par simulation et générer 30000 échantillon (et ajuster chacun d'eux) via le MCMC puis calculer le max de vraisemblance pour obtenir les paramètres des lois.

L'approche Bayésienne MCMC est basée sur des méthodes de régionalisation standard en supposant que la distribution des pics de crue rééchelonnée par un indice de crue dépendant du site est uniforme dans une région homogène. Une formulation de vraisemblance et un algorithme bayésien de Markov Chain Monte Carlo (MCMC) sont utilisés pour déduire les valeurs des paramètres des distributions régionales. Cette technique d'inférence statistique a été choisie pour sa rigueur, sa flexibilité quant au type de données qui peuvent être traitées, et sa capacité à calculer des estimations précises des intervalles de confiance pour les paramètres ajustés et pour les quantiles de crue correspondants. (Gaume2010)

La distribution théorique des valeurs de conception avec la probabilité annuelle de défaillance attendue est parfois appelée distribution prédictive. La fonction peut être calculée sur la base du résultat de la procédure d'inférence bayésienne et en particulier sur la distribution postérieure des paramètres. Pratiquement, cette espérance est estimée par la valeur moyenne résultant d'un échantillon de M ensembles de paramètres dramatiquement aléatoire dans la distribution postérieure. Noter que la distribution prédictive est estimée numériquement. Son type et la valeur mathématique de sa fonction de densité sont inconnus et diffèrent probablement du type de distribution GEV. Cela dit, il peut sembler complexe de calculer la distribution prédictive dans l'application opérationnelle, en outre, il convient de garder à l'esprit que les incertitudes liées au fait que la distribution réelle des variables observées est inconnue ne sont pas prise en compte. La sélection d'une valeur quantile à des fins de conception consiste donc souvent à sélectionner la limite supérieure d'un intervalle de confiance postérieure calculée pour le quantile sélectionné, généralement l'intervalle 70%. (Gaume, 2018)

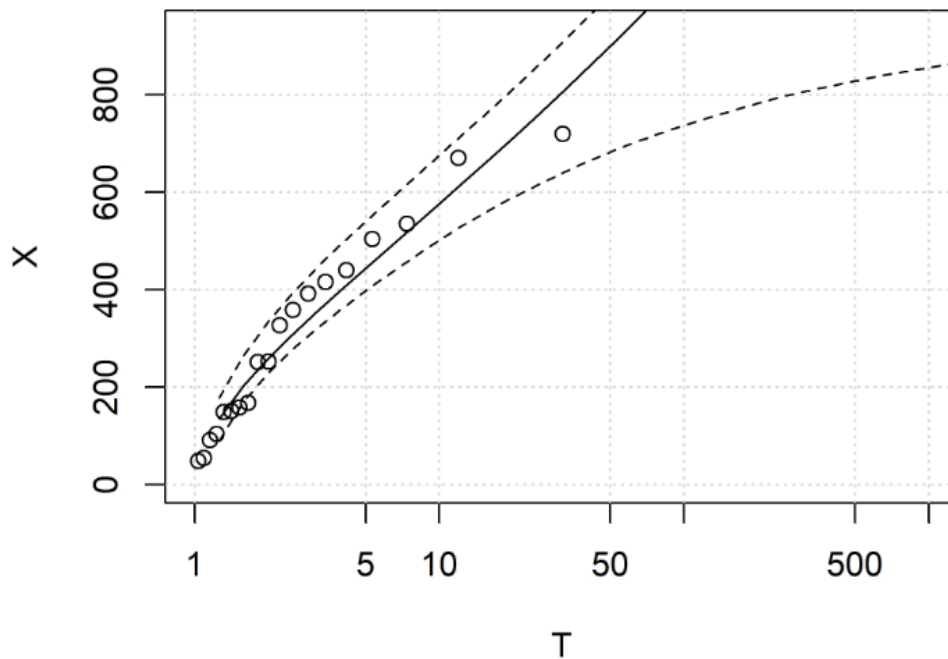


Figure III.1 : Ajustement graphique à la loi de GEV

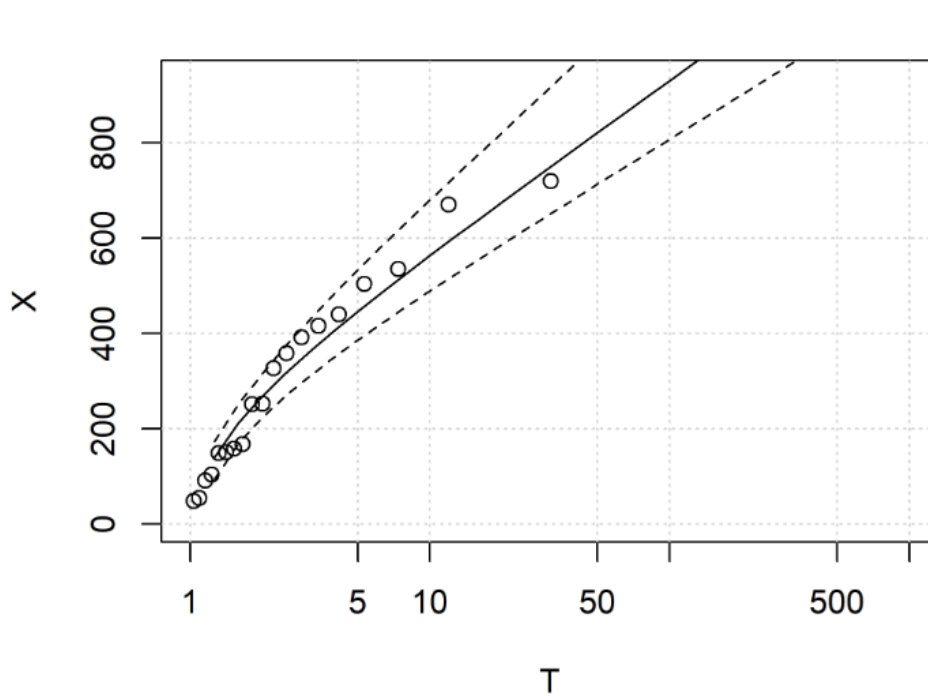


Figure III.2: Ajustement graphique à la loi de Gumbel

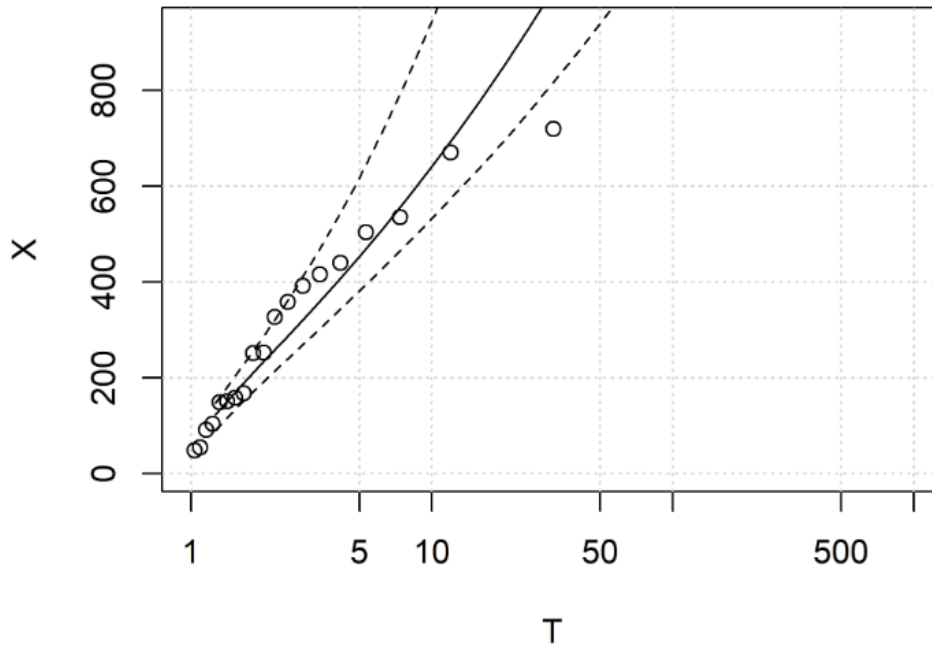


Figure III.3 : Ajustement graphique à la loi LN

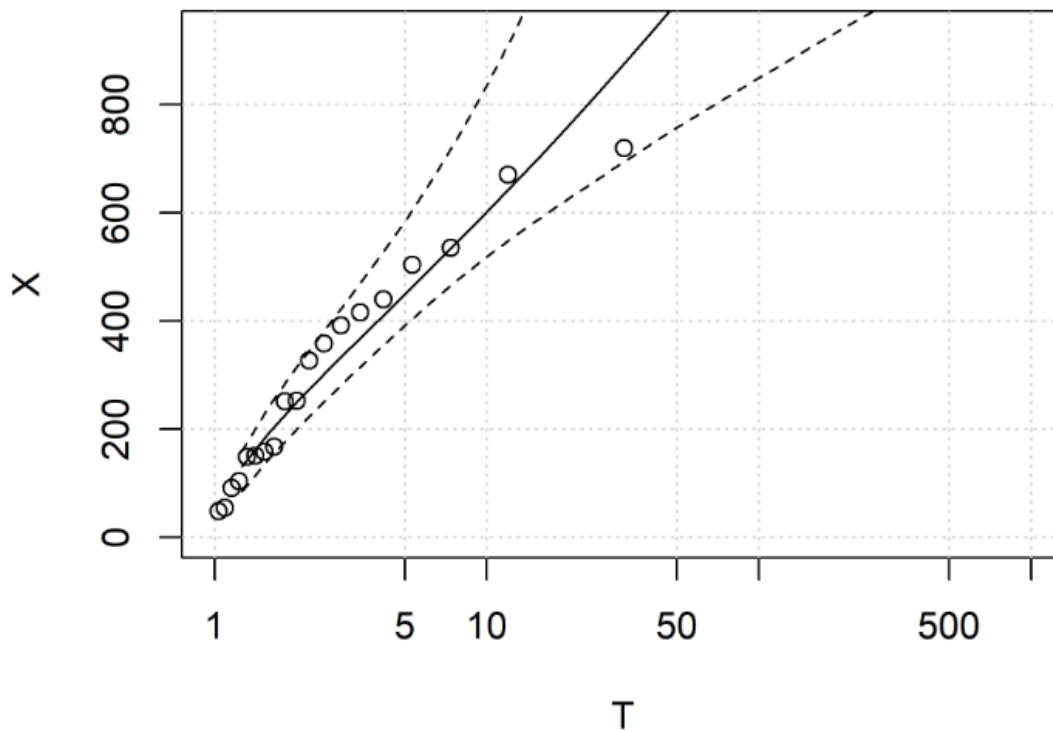


Figure III.3 : Ajustement graphique à la loi de LN3

**Interprétation :**

Après l'ajustement à quatre lois statistiques, on opte pour la loi GEV, vu que c'est une loi des valeurs extrêmes, et ces intervalles de confiance restent raisonnables comparativement aux autres lois.

Les résultats de l'ajustement de la série hydrométrique pour différente période de retour sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau III.5 : Les débits de pointe par l'ajustement de la série hydrométrique**

T (année)	50	20	10	5
Q (m <sup>3</sup> /s)	903	625.00	500.00	450.00

**2. Comparaison des valeurs de débits :****Tableau III.6 : Comparaison des trois approches**

	T = 50 ans			T = 20 ans		
	Giandoti	Sokolovski	Ajustement statistique des Q <sub>max,j</sub>	Giandoti	Sokolovski	Ajustements statistique des Q <sub>max,j</sub>
Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /s)	1723	965.07	903.00	1299	639.51	625.00

Après une observation profonde du tableau III.6, les résultats obtenus par les lois de Giandodi ont été écartées, afin d'éviter un sur dimensionnement ou un risque d'un sous dimensionnement on opte pour les résultats de l'ajustement statistiques de la série hydrométrique.

**3. L'hydrogramme des crues :**

L'hydrogramme de crue est une identité de la crue, il nous donne les caractéristiques principales de la crues tel que : le volume de la crue, la durée de la crue, le débit maximum de la crue (débit de pointe).

Pour le tracé de l'hydrogramme de crue, on doit suivre la méthode de SOKOLOVSKI qui divise l'hydrogramme en deux parties non symétriques, une est calculée à partir du temps de montée et l'autre à partir du temps de la décrue.

**3.1. Pour le temps de montée :**

$$Q_{\text{montée}} = Q_{\text{max}} \left( \frac{t}{t_m} \right)^2$$

## 3.2. Pour la décrue :

$$Q_{\text{décrue}} = Q_{\text{max}} \left( \frac{t_d - t}{t_m} \right)^3$$

Avec :

- $t_m$  : temps de concentration en heures  $t_m = 18.72$  h ;
- $t_d$  : temps de la décente en heure,  $t_d = \delta t_m$  ( $\delta = 2-4$ ),  $t_d = 37.44$  h;
- $Q_{\text{max}}$  : débit maximum de crue (de pointe) en  $\text{m}^3/\text{s}$  ;

tableau III.7 : Débits de crues pour différentes périodes de retour

Durée (h)	La montée				Durée (h)	La décrue			
	50 ans	20 ans	10 ans	5 ans		50 ans	20 ans	10 ans	5 ans
0	0	0	0	0	19	863.084	597.373	477.898	430.108
1	2.577	1.783	1.427	1.284	20	730.146	505.361	404.289	363.860
2	10.307	7.134	5.707	5.136	21	611.612	423.319	338.655	304.790
3	23.191	16.051	12.841	11.557	22	506.655	350.675	280.540	252.486
4	41.228	28.536	22.829	20.546	23	414.450	286.856	229.485	206.536
5	64.419	44.587	35.670	32.103	24	334.170	231.292	185.033	166.530
6	92.764	64.205	51.364	46.228	25	264.991	183.410	146.728	132.055
7	126.262	87.391	69.912	62.921	26	206.086	142.640	114.112	102.701
8	164.913	114.143	91.314	82.183	27	156.629	108.409	86.727	78.054
9	208.719	144.462	115.570	104.013	28	115.794	80.145	64.116	57.705
10	257.677	178.348	142.678	128.411	29	82.756	57.278	45.823	41.240
11	311.789	215.801	172.641	155.377	30	56.688	39.236	31.389	28.250
12	371.055	256.821	205.457	184.911	31	36.764	25.446	20.357	18.321
13	435.475	301.408	241.127	217.014	32	22.160	15.338	12.270	11.043
14	505.047	349.562	279.650	251.685	33	12.048	8.339	6.671	6.004
15	579.774	401.283	321.026	288.924	34	5.603	3.878	3.103	2.792
16	659.654	456.571	365.257	328.731	35	2.000	1.384	1.107	0.996
17	744.687	515.426	412.341	371.107	36	0.411	0.284	0.228	0.205
18	834.874	577.848	462.278	416.050	37	0.012	0.008	0.006	0.006
18.72	903	625	500	450	37.44		0	0	0

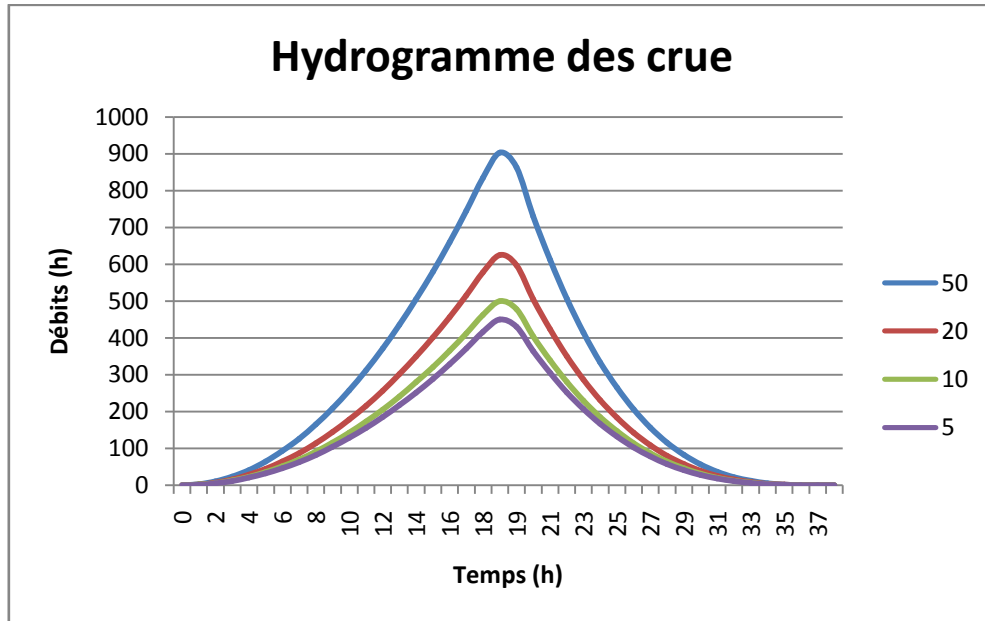


Figure III.4 : Hydrogramme de crue pour différentes périodes de retour

#### Conclusion :

L'objectif de ce chapitre est l'estimation des débits des crues qui nous permettront de faire la simulation hydraulique de notre cours d'eau, et le dimensionnement de l'ouvrage de protection de l'agglomération de Ammi Moussa contre les risques des inondations, qui pouvant entraîner des pertes de vie humaines et des dégâts matériels considérables.

Un mauvais choix de la méthode d'estimation implique un surdimensionnement ou sous dimensionnement donc des coûts élevés des ouvrages de protection ou bien risque d'inondation et dans notre étude on a pris

Les hydrogrammes des crues établis permettent de voir l'évolution des débits dans le temps pour différentes période de retour.

## CHAPITRE IV

# **Etude des écoulements dans le cours d'eau non aménagé**

### Introduction :

L'objectif de ce chapitre est la description de l'état actuel d'oued Rhiou, afin de modéliser un écoulement réel à surface libre du cours d'eau, dans le but d'avoir le comportement des lames d'eaux correspondantes aux différents débits issus de l'étude hydrologique pour être utilisées dans la détermination des zones inondables et par la suite, pour mettre en place un programme d'aménagement à prévoir pour diminuer les dégâts occasionnés par ces phénomènes hydrologiques.

Dans cette étude nous avons besoin de logiciel AutoCad Civil3D (version 2017) pour la génération des données géométrique, HEC-RAS (version 4.1.0) pour l'introduction des données hydrologiques suivant les critères morphométriques de la zone d'étude et les données les données géométrique t ensuite la simulation. Avec l'utilisation du module RAS MAPPER du HEC-RAS, on classe les zones inondables causées par l'oued pour la crue.

### 1. Historique des inondations de la Région :

Compte tenu du recensement effectué les inondations du bassin du Cheliff et des enquêtes de terrain menés par certains secteurs de l'ANRH, la wilaya de Relizane est considérée comme une région à grande risque au crues violentes surtout les zones suivantes : la ville de Relizane, la ville d'Oued Rhiou, plaine de la Mina.

Sur le tableau suivant, quelques inondations survenues dans la wilaya de Relizane et qui sont causées des pertes humaines et des destructions de constructions :

**Tableau IV.1 : Quelques inondations dans la wilaya de Relizane.**

Dates	inondations	causes
07-janv-67	Inondation locale à Oued Rhiou	Pluies de longue durée
02-nov-82	Inondation de la plaine de Mina	Première pluies d'automne
Déc-86	Inondation à la ville d'Oued Rhiou	Pluies violentes
19-oct-93	Inondations catastrophiques à Oued Rhiou	Pluies intenses (60 mm en moins de 3h)
Hiver-2012	Inondation à la ville de Yellel	Pluies violentes



**Figure IV.1 : Photos sur oued Rhiou lors d'une crue**





**Figure IV.2 : Photos sur oued Rhiou lors d'une crue au niveau du pont de la route nationale RN 90**

La ville de Ammi moussa présente de grand risque des inondations car sa situation hydrographique défavorable (la ville est traversée par un Oued), l'urbanisation anarchique et non réglementée, et aussi les pluies diluviennes qui se sont abattues ces dernières années sur la région de la wilaya de Relizane ont provoqué l'inondation de plusieurs quartiers de la ville de ammi Moussa et le débordement de l'oued Rhiou qui a causé l'affaissement des terrains limitrophes et des dégâts matériels importants. En outre, des dizaines d'hectares de cultures maraichères ont été endommagés.

## 2. Description de l'oued Rhiou :

Nous avons choisie de nous intéressons à la partie aval de l'oued. En effet la branche amont de l'oued serpente au milieu des terrains agricoles, et les crues n'occasionnent pas de débordements particuliers. Et à l'aval, l'oued ceinture la ville d'Ammi Moussa dans sa partie Nord-Est. Et aussi le passage par une zone industrielle et des zones agricole et quelques habitations dispersées dans l'autre côté de l'oued.

Le tronçon de l'oued à aménager s'étendant sur une longueur d'environ de 5 km, et le lit de l'oued varié de 70 m à 100 m, et il s'élargit dans quelques tronçons jusqu'à plus de 100 m.

Dans cette partie de l'étude, il existe certains ouvrages d'accès qui freinent les eaux de l'oued :

- Pont de la route nationale 90.
- Un déversoir.

Les photos ci-après représente une vue générale sur l'état du cours d'eau :



Figure IV.3 : Pont existant au niveau de la route national RN 90



Figure IV.4 : Photos prises sur oued Rhiou par le bureau d'étude hydro-technique BEHY



Figure IV.5 : photos prises sur oued Rhiou par le bureau d'étude hydro-technique BEHY





**Figure IV.6 : Photos prises sur oued Rhiou par le bureau d'étude hydro-technique BEHY**

Après l'observation de terrain et l'état d'Oued nous constatons que les problèmes du phénomène des inondations de la zone d'étude sont résumés ci-dessous :

- Aucune protection de la ville contre les crues.
- Réseau hydrographique très dense.
- L'envahissement de la végétation le lit d'oued.
- Les décharges publiques au niveau du lit d'oued faisant obstacle à l'écoulement.
- L'absence des opérations de curage et de nettoyage du cours d'eau.

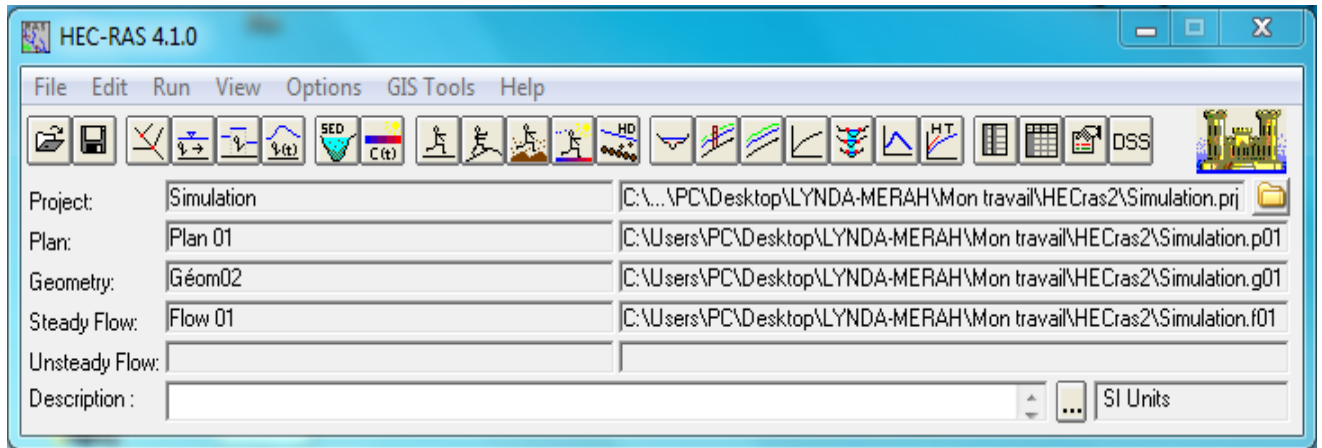
### 3. Modélisation de l'écoulement :

Pour la prévision des inondations, la gestion des cours d'eau et des plaines inondables, nous avons lancé la simulation sur le logiciel HEC-RAS, pour cela on fait entrer la géométrie de l'oued sous forme de profils en travers le long de l'oued. Ainsi que les débits de crue pour différentes périodes de retour et les conditions aux limites.

#### 3.1. Présentation du logiciel HEC-RAS :

C'est un logiciel de simulation hydraulique élaboré par l'US Army Corps of Engineers. HEC-RAS (version 4.1.0), Il permet de simuler les écoulements à surface libre et d'évaluer les débits et hauteurs d'eau sur l'ensemble des sections d'une rivière. Il englobe plusieurs aspects hydrologiques et hydrauliques : analyse du ruissellement des précipitations, hydraulique fluviale, analyse des dommages d'inondation, simulation des écoulements permanents et non permanents, le transport de sédiments, analyse de la qualité d'eau et certaines fonctions facilitant la conception d'ouvrages hydrauliques.

Ce logiciel utilise des équations d'hydraulique à surface libre (Saint-Venant 1D, Manning Strickler...) pour le calcul des différents paramètres hydrauliques qui nous permettent d'analyser de la capacité de cours d'eaux (risques de débordement, inondations).



**Figure IV.7 : Fenêtre d'accueil du logiciel HEC-RAS**

- **Project** : Il contient le titre et la description du projet, le système d'unités utilisé et les liens vers tous les fichiers qui lui sont associés. Il comporte l'extension «.prj».
- **Plan** : Un fichier Plan contient un titre et une description du plan, de façon similaire aux informations d'un Projet. Il contient de plus la référence aux fichiers Géométrie et Débit associés à ce Plan. Le concept de Plan permet ainsi de simuler différentes combinaisons de Géométrie et de Débit qui peuvent être nécessaires dans le cadre d'une étude hydraulique. Il est possible de modéliser 99 Plans par projet.
- **Géométrie** : Ce fichier contient toutes les informations géométriques sur le cours d'eau analysé (schéma du tronçon, les sections transversales, la distance entre chaque section, les coefficients de Manning, les structures présentes), un projet peut comporter plusieurs géométries afin d'analyser différentes variantes (par exemple avec ou sans obstruction dans la rivière).
- **Flow** : Le fichier Débit est utilisé pour simuler les écoulements permanents. Il contient le nombre de profils devant être calculés, les données de débit pour chacun d'eux et les conditions limites pour le tronçon. Un profil désigne l'ensemble des niveaux d'eau calculés pour des conditions particulières de débit

### 3.2. Les étapes de simulation par HEC-RAS :

Avant de commencer la simulation de l'écoulement d'eau par HEC-RAS, il faut créer un nouveau projet qui consiste à choisir un nom, un titre, et l'emplacement du fichier. Ensuite on passe par les étapes suivantes :

- Modélisation de la rivière (Préparation des données géométriques) ;
- Choix des paramètres hydrométriques et conditions aux limites ;
- Simulation hydraulique ;
- Présentation des résultats de la simulation hydraulique ;

### 3.2.1. Modélisation de la rivière:

Cette étape on va définir les données géométriques nécessaire a savoir : les sections transversales et les données d'ouvrages hydrauliques et d'arts existants (ponts, structures latérales, déversoirs, etc.) en se basant sur d'un levé topographique du cours d'eau a aménagé fourni par le bureau d'étude hydro-technique BEHY.

La génération des profils en travers représentatifs de la géométrie d'Oued Rhiou, nous avons utilisé le logiciel AutoCad Civil 3D (version 2017) qui présente l'avantage de générer automatiquement des fichiers de géométrie à partir du levé topographique, reconnus par HEC-RAS. Cela nous a permis de gagner en temps et en précision.

Le travail consiste à définir l'axe de l'Oued et les berges gauche et droite, la Création d'un fichier point puis une surface à partir du modèle numérique de terrain (MNT), Ensuite nous avons procédé à une tabulation automatique, dont nous avons fixé :

- L'équidistance entre deux sections transversales, Le choix de la distance entre les profils se fait généralement en fonction du tracé du cours d'eau, autrement dit à chaque changement de pente et à chaque changement de direction,
- La largeur d'une section transversale (variable dans notre cas).

Le profil en travers doit respecter les règles suivantes :

- Etre perpendiculaire à la direction d'écoulement des eaux.
- Ils ne doivent pas se croiser.
- Ils doivent recouper toute la plaine d'inondation.
- Ils doivent décrire le profil en long cours d'eau
- Ils doivent prendre en compte les modifications avec une large plaine d'inondation.
- Permettre la modélisation des ouvrages hydrauliques.

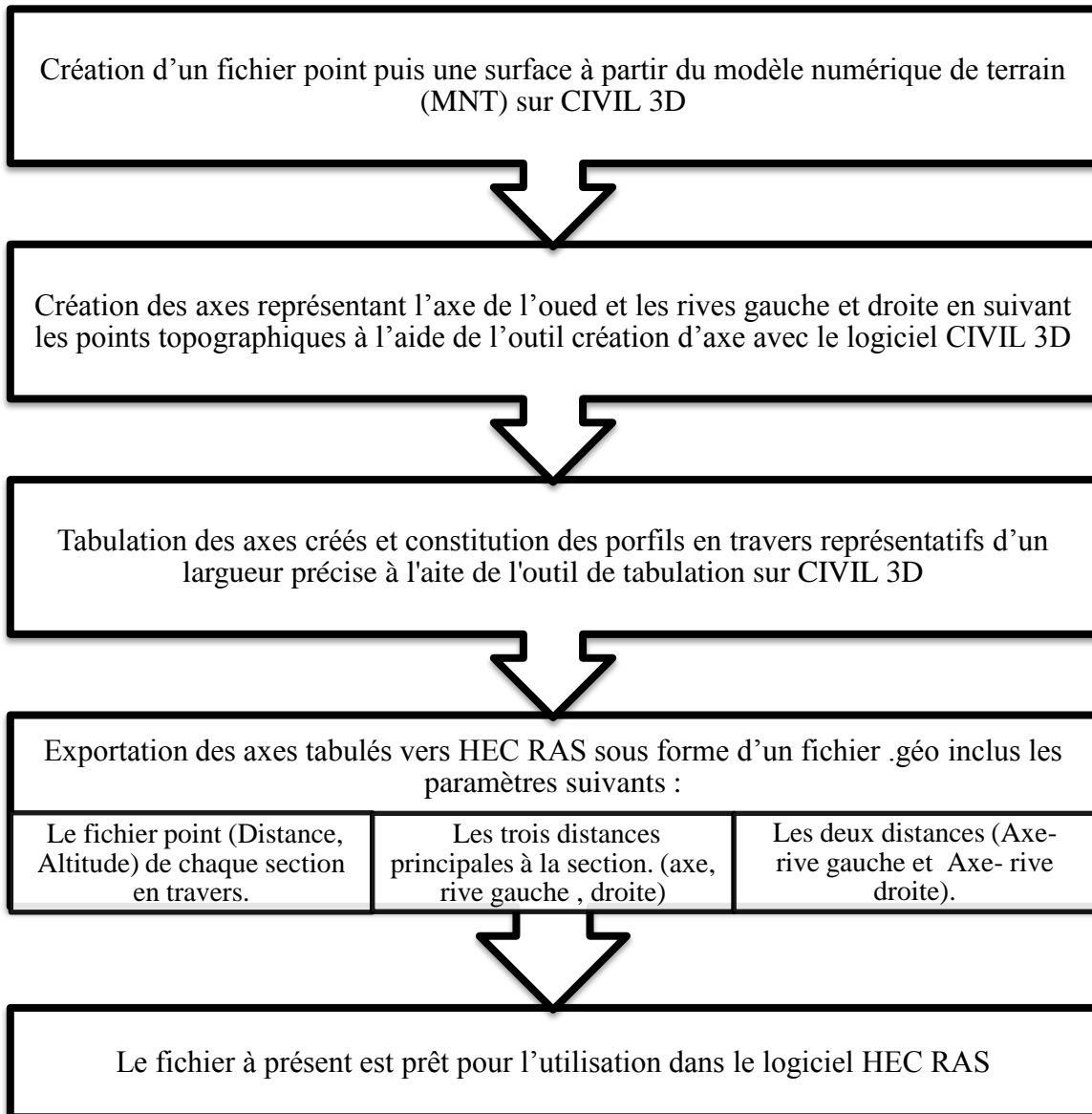


Figure IV.8 : Les différentes étapes pour définir le tracé de notre cours d'eau

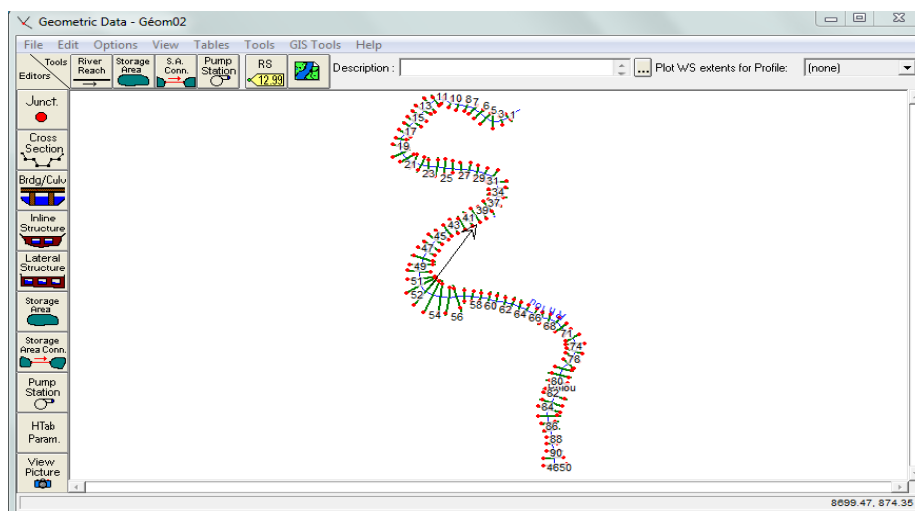


Figure IV.9 : Définition du tracé de l'oued et des sections

**Estimation du coefficient de Manning :**

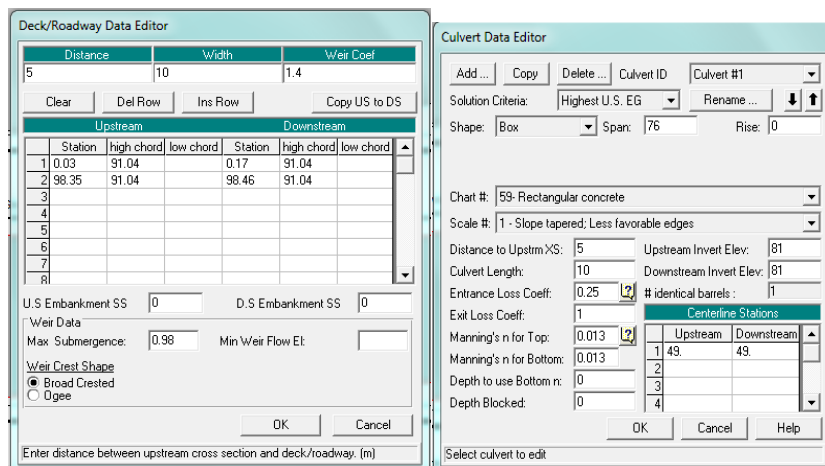
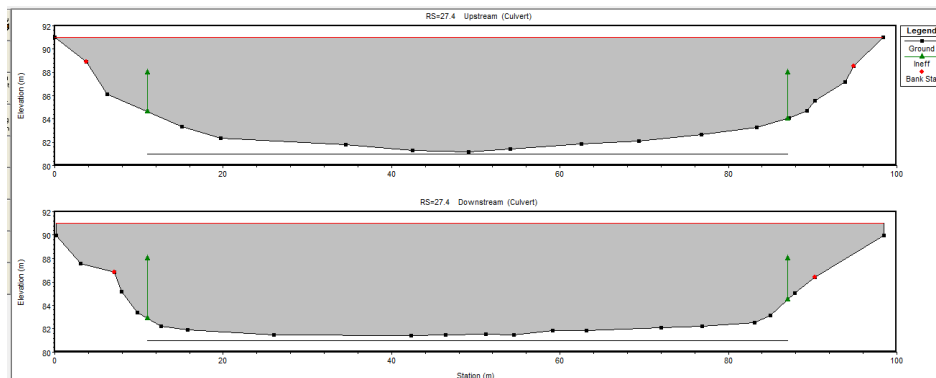
Il n'existe pas de règle solide et précise permettant à l'ingénieur hydraulicien de définir avec exactitude (avec un degré de confiance élevé) la valeur de  $n$  pour une situation hydraulique donnée. Les facteurs qui affectent la rugosité des lits d'oued comprennent :

- Matériaux de lits et dimension moyenne de particules solides ;
- Irrégularités des surfaces des lits d'oued ;
- Formes des lits d'oued (comme les rides, dunes, chutes et autres) ;
- Tendances à la formation de méandres ;
- Obstacles à l'écoulement (arbres déracinés, souches d'arbres, remblais et autres) ;
- Changement dans la géométrie entre les sections d'oueds ;
- Végétation sur les terrasses d'inondations et le lit mineur de l'oued.

En se basant sur les facteurs cités ci-dessus, les informations collectées de la région d'étude et les photos satellitaires de Google Earth, on a estimé le coefficient de Manning. Et on prend ce coefficient homogène égale à 0.025 le lit de l'oued et les rives gauche et droite.

**Création du pont sur HEC-RAS :**

Pour la création du pont on utilise l'outil « Edit/Create bridges and culverts » et on introduit les données géométrique de pont a savoir : La position, La largeur, La longueur, l'épaisseur,...



**Figure IV.10 : Fenêtres de définition des données sur le pont**

### 3.2.2. Données hydrométriques et conditions aux limites :

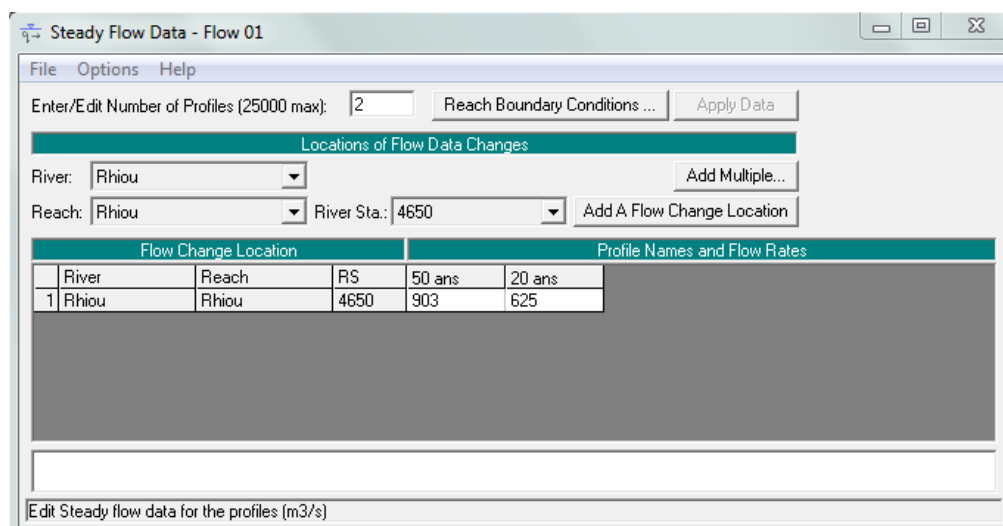
L'étape suivante de la modélisation hydraulique consiste à introduire les débits d'entrée et toutes les conditions aux limites nécessaires pour pouvoir exécuter le calcul des profils de la surface de l'eau en chaque section du l'Oued.

#### 3.2.2.1. Les débits d'entrées :

Débits utilisés ont été obtenues à partir de l'étude hydrologique réalisés et réaffichés dans le tableau suivant :

**Tableau IV.2 : Données de débits**

T (année)	50	20
Q (m <sup>3</sup> /s)	903	625



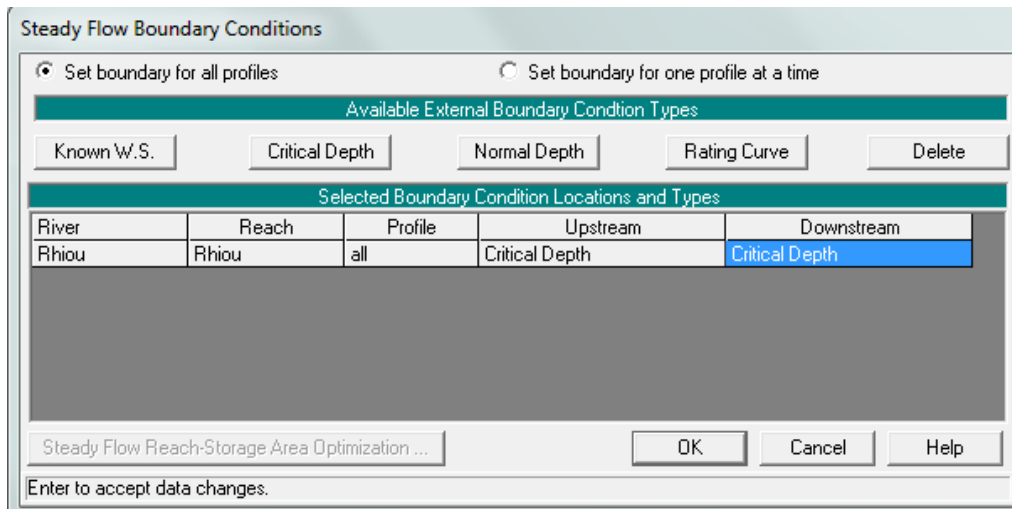
**Figure IV.11 : Définition de la crue**

#### 3.2.2.2. Les conditions aux limites :

Pour l'introduction des conditions aux limites, autrement dit, la hauteur d'eau en amont et en aval. HEC-RAS nous donne les choix suivant :

- **Hauteur d'eau connue** : pour chaque profil d'écoulement, la hauteur est connue.
- **La hauteur critique** : le programme calcule lui-même la hauteur critique et l'utilise comme condition aux limites.
- **La hauteur normale** : le logiciel nous demande la pente d'énergie qui sera utilisée pour le calcul de la hauteur normale par l'équation de Manning. Si la pente d'énergie n'est pas connue, l'utilisateur peut l'estimer en introduisant la pente de la surface de l'eau, ou la pente du fond.
- **Courbe de tarage** : le logiciel nous demande d'introduire la courbe débit-hauteur.





**Figure IV.12 : Définition des conditions aux limites**

Dans notre cas, nous allons choisir la hauteur critique comme une condition aux limites, puisque on ne dispose pas d'information comme la courbe de débit-hauteur, ou bien des mesures complètes qui pourraient nous permettre d'utiliser les autres alternatives (la hauteur normale et la hauteur d'eau connue).

### 3.2.3. Simulation :

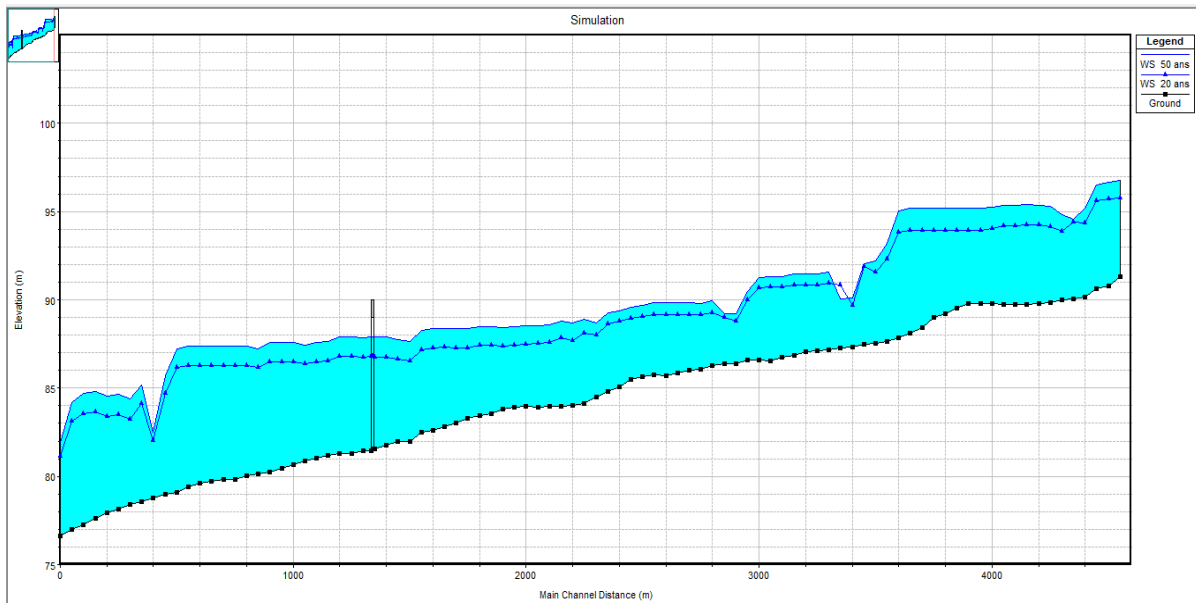
Les calculs peuvent être effectués pour plusieurs débits simultanément, soit en régime torrentiel, soit en régime fluvial, ou pour les deux régimes d'écoulement.

Après avoir défini la géométrie, les données hydrométriques et les conditions aux limites on peut passer à la simulation par l'icône « steady flow analysis » en supposant un régime d'écoulement mixte

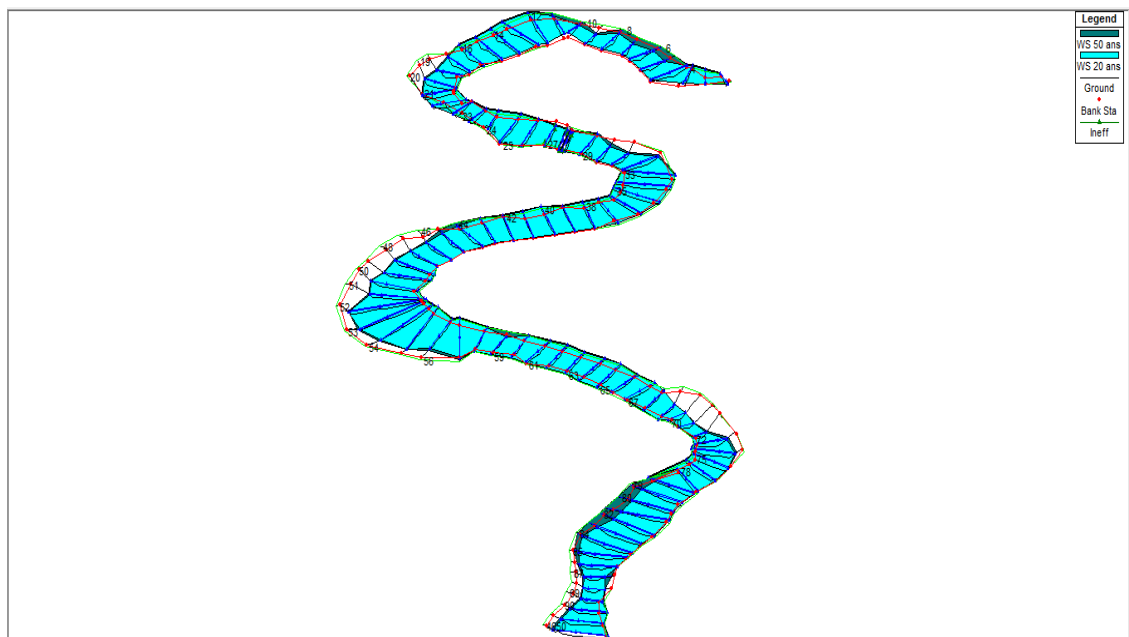
### 3.2.4. Présentation des résultats de la simulation hydraulique

Différentes formes de restitution des résultats sont disponibles sur le logiciel HEC-RAS, sous forme des tableaux récapitulant l'ensemble des données entrées et des paramètres hydrauliques issus de la simulation au niveau de chaque point (cross section, ainsi que des résultats graphiques tel que le profil en long, les profils en travers,...

Les résultats numériques des paramètres hydrauliques pour la période de retour 50 ans, et 20 ans sont donnés dans le tableau en annexe.



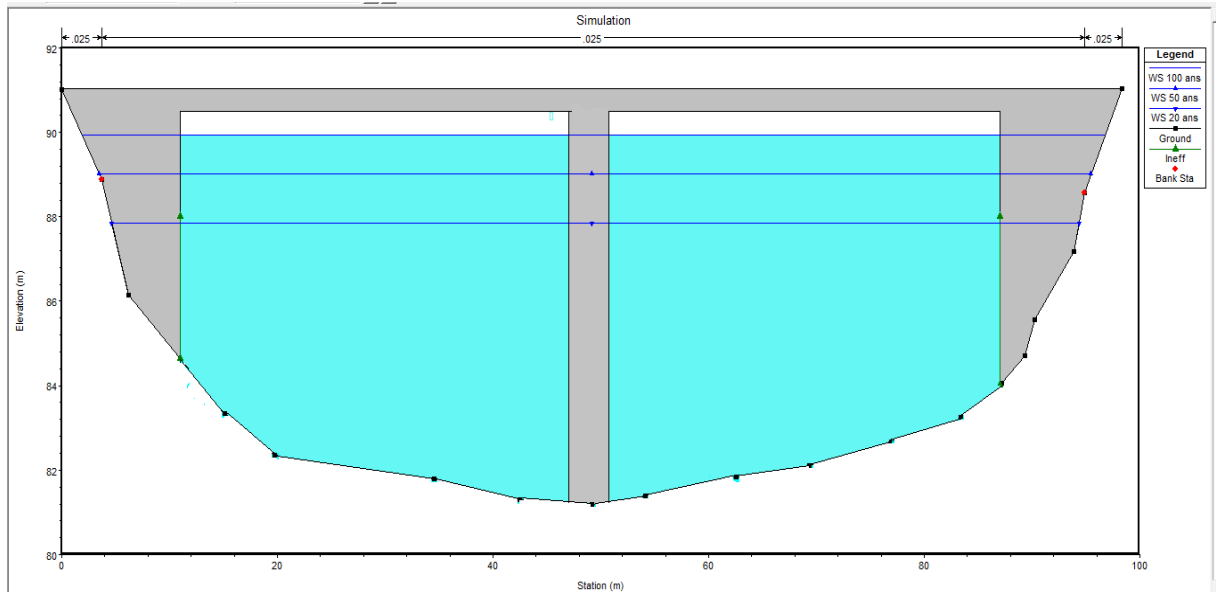
**Figure IV.13 : Profil en long de l’oued Rhiou montrant le niveau d’eau pour les périodes de retour 20, et 50 ans**



**Figure IV.14 : Vue en Plan en 3D d’Oued Rhiou, pour la période de retour 50 ans, et 20 ans après la simulation.**

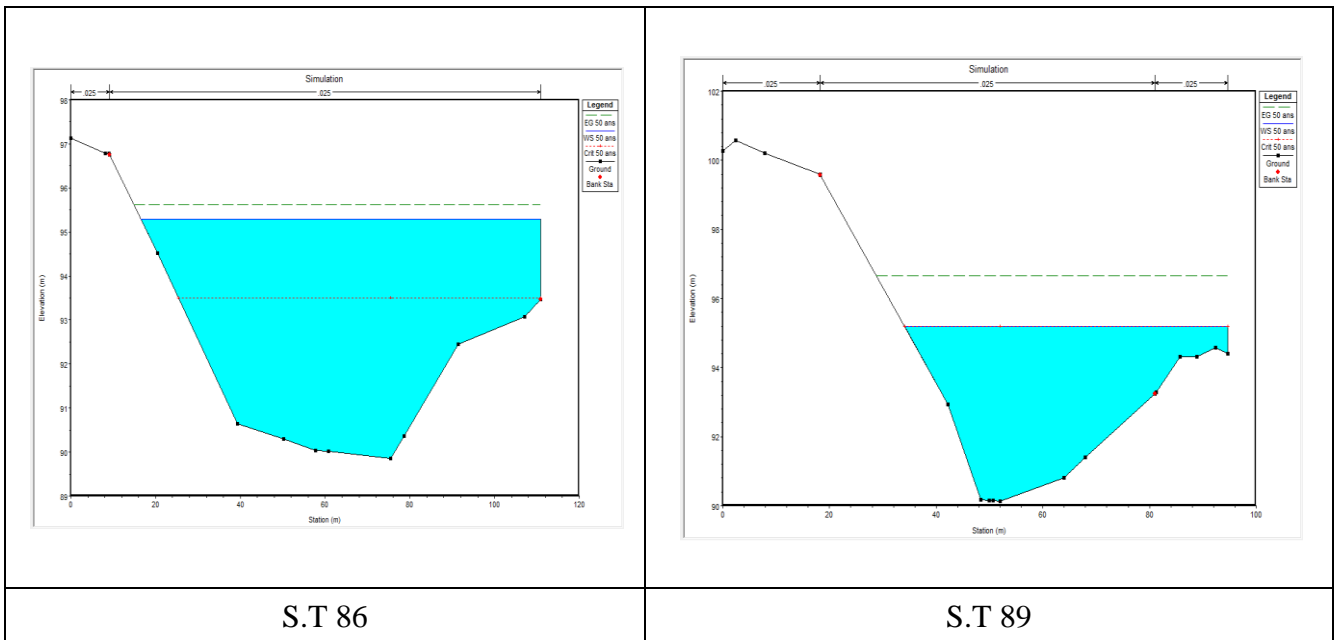
D’après la figure (IV.11) on voit que le profil de la hauteur d’eau illustre bien des zones à une hauteur d’eau très élevée ce qui est clair surtout au niveau de l’ouvrage routier traversant le cours d’eau.

Les figures des ouvrages et les sections inondées après la simulation par HEC-RAS pour la période de retour cinquantennale sont présentées dans les figures ci-dessous :



**Figure IV.15 : Section en travers d'Oued Rhiou au niveau du pont de RN 90 pour lrd période de retour 20,50 et 100 ans.**

Dans la figure (IV.13) correspondante à la section en travers d'Oued Rhiou au niveau du pont de RN 90, on remarque qu'il n'y a pas de dépassement de la ligne d'eau, donc aucun débordement pour une crue centennale. Cela est justifié par le bon dimensionnement de l'ouvrage.



**Figure IV.16 : Profil en travers d'Oued Rhiou-amont**

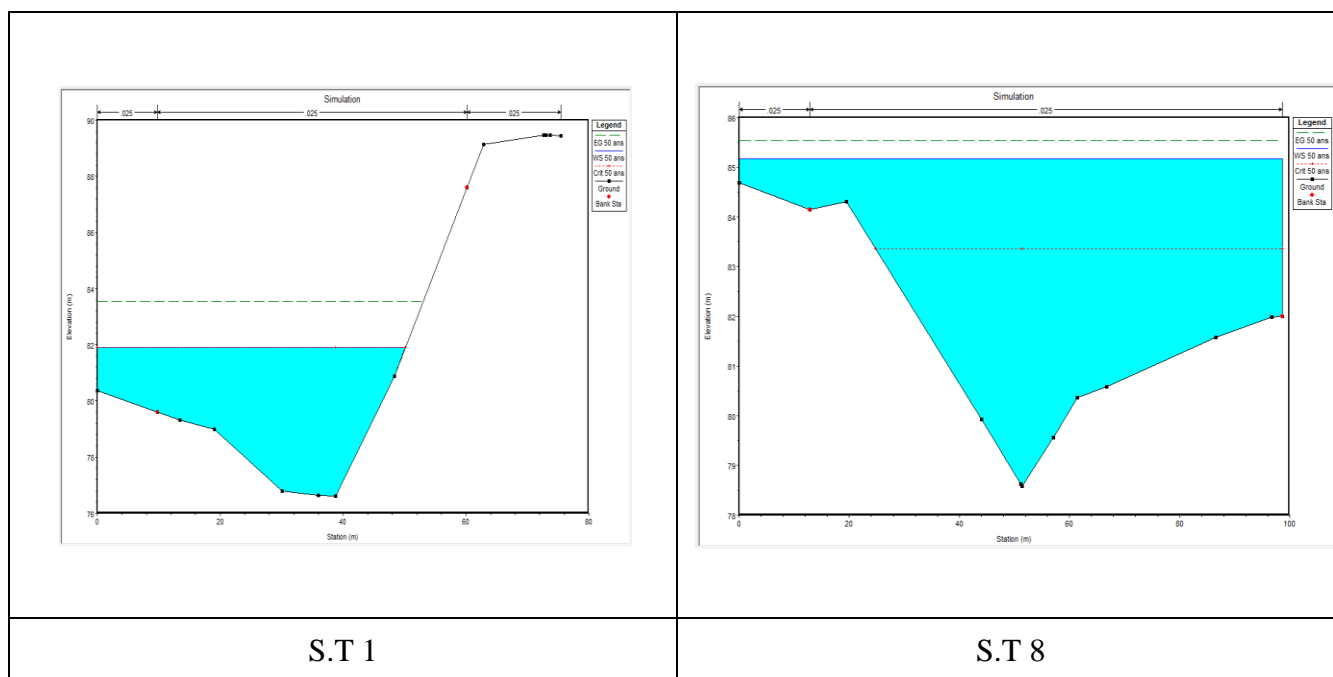


Figure IV.17 : Profil en travers d'Oued Rhiou-aval

En se basant sur les tableaux représentés en annexes et les figures ci-dessous, On remarque que :

- La vitesse d'écoulement moyenne dans l'Oued est de 2.85 m/s et atteint dans certaines sections des valeurs de 7 et 8 m/s.
- La hauteur d'eau moyenne est de 5.55 m et arrive par endroits jusqu'à 67m.
- La variation du régime d'écoulement le long de l'Oued. Cette constatation est confirmée par les valeurs du nombre de Froude qui varient entre 0,19 et 2,06.

### 3.3. Choix de la période de retour :

C'est la valeur du risque hydrologique acceptée par le concepteur qui définit la période de retour de la crue de projet de l'ouvrage. Il faut enfin souligner que la décision finale pour le choix de la crue de projet est toujours le résultat d'un compromis entre l'importance économique du projet, le financement disponible et le risque encouru. Plus on voudra diminuer le risque, plus la crue de projet sera grande (période de retour plus élevée) et plus le coût de l'ouvrage sera important.

Dans notre cas le but de ce projet est la protection contre les inondations d'une zone urbaine plus au moins faible, pour cela on opte pour le débit de projet pour une période de retour de 50 ans qui est le cas défavorable dans le cas des inondations des zones à faible densité démographique

#### 4. Les zones inondables :

La délimitation des zones inondables a été effectuée sous le logiciel HEC-RAS à l'aide de l'application RAS-Mapper intégré dans HEC-RAS version 4.1.0, en se basant sur les résultats de la simulation hydraulique importé depuis HEC-RAS et sur la topographie du terrain.

Le résultat de ce traitement est restitué sous forme de cartes montrant l'extension des zones inondables pour la période de retour cinquantennale (Planche N° 2).

La délimitation des zones inondables montre bien que notre oued déborde presque tout le long de leurs parcours. Ce qui nécessite d'effectuer un aménagement des oueds pour la protection humaine, des biens et de l'environnement.

#### **Conclusion :**

Le travail effectué au cours de ce chapitre a abouti à la description de la propagation de l'onde de crue pour différents débits de pointe, sous différents aspects : hauteur d'eau, débit, vitesse d'un part, localiser les zones envahies par les inondations d'autre part.

Les résultats obtenus conduit à dire que la capacité du cours d'eau est insuffisante pour permettre le passage de la crue pareil, ce qui montre que presque toute la surface au voisinage de l'oued a été inondée par la crue cinquantennale.

A ce titre, le prochain chapitre sera consacré à l'étude d'un aménagement du cours d'eau pour la protection contre ces inondations.

## **CHAPITRE V**

# **Etude des variantes d'aménagement pour la protection contre les inondations**

**Introduction :**

Dans le but de bien protéger la ville d'Ammi Moussa contre le débordement d'oued Rhiou et diminuer les dégâts occasionnés par ces phénomènes hydrologiques, différents variantes d'aménagements seront proposé sur la base des résultats obtenus à partir des chapitres précédents.

Cette protection consiste à choisir une variante réalisable du point de vue technique et économique et qu'elle soit bien adaptées avec le terrain.

**1. Le but d'aménagement :**

D'une façon générale les aménagements hydraulique des oueds ont pour but d'atteindre un ou plusieurs des objectifs suivant:

- Ecoulement rapide et sans danger des eaux de crues ;
- Charriage efficace des sédiments en suspension et des dépôts sur le fond
- Stabilité du cours avec minimum d'érosion des berges ;
- Profondeur suffisante et parcours aisée pour la navigation.

**2. Principe d'aménagement :****2.1. Les différents types d'aménagements envisageables :****2.1.1. Protections directes (rapprochées) :**

La protection directe consiste à intervenir directement sur le site menacé par la mise en œuvre des actions suivantes :

**2.1.1.1. Recalibrage :**

Il permet d'élargir et d'approfondir les sections des cours d'eau pour augmenter leur capacité d'évacuation des eaux et assurer une section mouillée répondant aux critères de protections désirées (donc le principe du recalibrage consiste à modifier la géométrie du cours d'eau).

**2.1.1.2. Curage :**

Ce type d'aménagement permet une nette amélioration des conditions d'écoulement suite à l'élimination de tous les obstacles et les dépôts entravant l'écoulement des eaux dans le cours d'eau. Le débroussaillage est également nécessaire à la traversée des agglomérations pour des raisons sanitaires et en sections courantes pour diminuer la rugosité et accroître la débitante.

**2.1.1.3. Réalisation des canaux :**

Permettant de régénérer le couloir initial de l'oued. Cette solution est indispensable dans le cas où le lit de l'oued et son domaine hydraulique ont été complètement occupés par des bâtiments ou par la voirie.

#### 2.1.1.4. Protection des berges

Suite à une crue importante les berges de l'oued seront soumises à des courants perturbateurs d'eau, ces derniers provoquent le transport de quelques parties de terre, ainsi le glissement de terre due aux infiltrations des eaux après la crue, cela nécessite des ouvrages qui maintiennent la stabilité des terres.

#### 2.1.1.5. Reprofilage :

Modification et homogénéisation du profil en long du cours d'eau (pente), dans le but d'accroître sa capacité d'évacuation. Le reprofilage d'un cours d'eau consiste à uniformiser sa pente, modifiant la zonation du profil en long. Ce type d'opération nécessite la suppression de la végétation rivulaire et des embâcles du lit. (AFB.2018)

#### 2.1.1.6. Endiguement des oueds :

Par la réalisation de diguettes de protection qui longent le cours d'eau sur ses deux berges. Cette opération est aisément réalisable par les ressources locales en main-d'œuvre et en matériaux. Par ailleurs, ce type de protection permet en outre de réaliser une protection sélective. Il peut en effet être établi graduellement en commençant par mettre à l'abri, de la plupart des crues, la partie la plus riche et la plus peuplée des zones exposées. En contre partie on notera que ce procédé de protection présente les inconvénients suivants :

- de provoquer une surélévation souvent notable du niveau des eaux et rend en outre plus difficile le drainage des terrains bas.
- Création d'un risque supplémentaire lié à la rupture brusque de la digue.

#### 2.1.2. Protections indirectes (éloignées) :

La protection indirecte par contre, consiste à intervenir plus loin des sites menacés, à l'extérieur du périmètre d'aménagement (bassins versants), en réalisant des ouvrages sur les oueds responsables des inondations :

##### 2.1.2.1. Création des canaux périphériques :

De dérivation des eaux vers les oueds permettant de les restituer vers des zones situées en dehors des aires à protéger. Cette déviation pourrait concerner une partie ou la totalité des eaux d'un oued vers un autre

##### 2.1.2.2. Réalisation des barrages ou seuils :

Pour stockage et laminage des crues à l'amont des zones menacées. Le volume et la capacité de laminage du barrage devront être optimisés de manière à répondre au-mieux à la protection envisagée ;



2.1.2.3. Aménagement des bassins versants :

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

2.2. Les formules de dimensionnement des canaux :

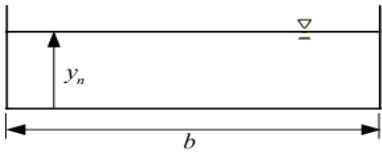
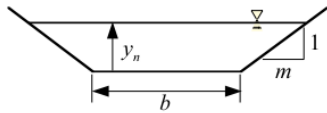
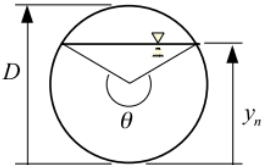
La formule utilisée pour le dimensionnement est celle de Manning Strickler, elle donnée par la relation suivante :

$$Q = \frac{1}{n} R_h^{\frac{2}{3}} S_m I^{\frac{1}{2}} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Où les différents paramètres sont :

- Q : débit de dimensionnement (m<sup>3</sup>/s).
- n : rugosité du canal.
- S<sub>m</sub> : section mouillée du canal en (m<sup>2</sup>).
- I : pente du tronçon de cours d'eau (pente du fond) en (m / m).
- R<sub>h</sub> : rayon hydraulique en (m) tel que :
- $R_h = \frac{S_m}{P_m}$

Tableau V.1 : Quelques sections simples.

Géométrie	Périmètre mouillé	Aire de la section
	$P = 2 y_n + b$	$A = b y_n$
	$P = 2 y_n \sqrt{1 + m^2} + b$	$A = b y_n + m y_n^2$
	$P = y_n (1 + \sqrt{1 + m^2})$	$A = D^2/8 (\Theta + \sin\Theta),$ $\Theta = 2 \arccos(1 - 2y_n/D)$

### 2.3. Choix des paramètres de dimensionnement :

#### 2.3.1. La pente du projet :

Le choix de la pente de projet relève d'une grande importance avant de procéder au calcul hydraulique, car elle a une influence directe sur la vitesse et le régime d'écoulement, c'est-à-dire qu'il faut choisir la pente d'une façon à avoir des vitesses inférieures aux vitesses admissibles (limites d'érosion).

#### 2.3.2. Le coefficient de rugosité :

La rugosité du canal dépendant de la nature du revêtement, les valeurs de la rugosité de certains revêtements à titre d'exemple est donnée dans le tableau suivant :

**Tableau V.2 : Valeurs de coefficient de rugosité.**

Caractéristiques du lit ou du revêtement	Valeur de la rugosité $n$
Canal en gabion	0.03
Canal en pierres sèches	0.025
Canal en terre droit et uniforme	0.017
Canal à revêtement en béton	0.013

Source : Table de rugosité de Manning

#### 2.3.3. La Marge de sécurité dans les canaux :

Dans les canaux à surface libre, il faut toujours prévoir une marge de sécurité au-dessus de la ligne d'eau calculée afin de tenir compte de l'accumulation de dépôt solide, de croissance de la végétation, des vagues provoquées par le vent, ...etc.

La marge de sécurité oscille, généralement, entre 0,30m pour les petits canaux, et 60 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).

#### 2.3.4. Vitesse d'érosion :

Afin d'éviter tous ruptures du fond et des berges des canaux sur l'action dynamique d'un courant d'eau, la vitesse de celui-ci ne doit pas être supérieure à la vitesse limite maximale. Les valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés sont données dans le tableau suivant:

**Tableau V.3 : Valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés.**

Lit	Vitesse $V_{er}$ (m/s)
Revêtement en branches	1.5-2.0
Pavage de pierre à une couche	2.5-4.0
Pavage de pierre à deux couches	3.5-5.0
Gabions	4.0-6.0
Revêtement en béton	6.0-10.0

### 3. Etude des variantes :

Parmi les propositions de l'aménagement cité déjà dessus, juste quelques variantes sont souvent utiliser dans les projets d'aménagement et de protection contre les crues, dont ce qui suit on s'intéresse d'étudier les variantes les plus réalisables, Un calcul hydraulique de chaque variante sera fait en vérifiant l'état d'écoulement par une simulation avec HEC-RAS pour chaque tronçon du cours d'eau, afin d'étudier le coté technico-économique pour pouvoir choisir celle la plus adéquate pour notre projet.

#### 3.1. Proposition des variantes

A partir de la carte des zone inondables et le profil en long générer par HEC-RAS ainsi pour faciliter sa gestion, l'Oued Rhiou est subdivise en huit tronçons comme le Tableau V.4 montre.

**Tableau V.4 : Répartitions des tronçons d'aménagement Oued Rhiou.**

Tronçons	N° Section	Longueurs (m)	Pente (m/m)
1	93-79	0-700	0,0030
2	79-73	700-1000	0,0036
3	73-53	1000-2000	0,0020
4	53-39	2000-2700	0.0030
5	39-28	2700-3250	0.0038
6	28-1	3250-4600	0.0032

Les variantes proposées pour l'aménagement du cours d'eau sont :

- Un canal en gabion
- Canal rectangulaire en béton armé (Un mur de soutènement).

#### 3.2. Etude des variantes proposées :

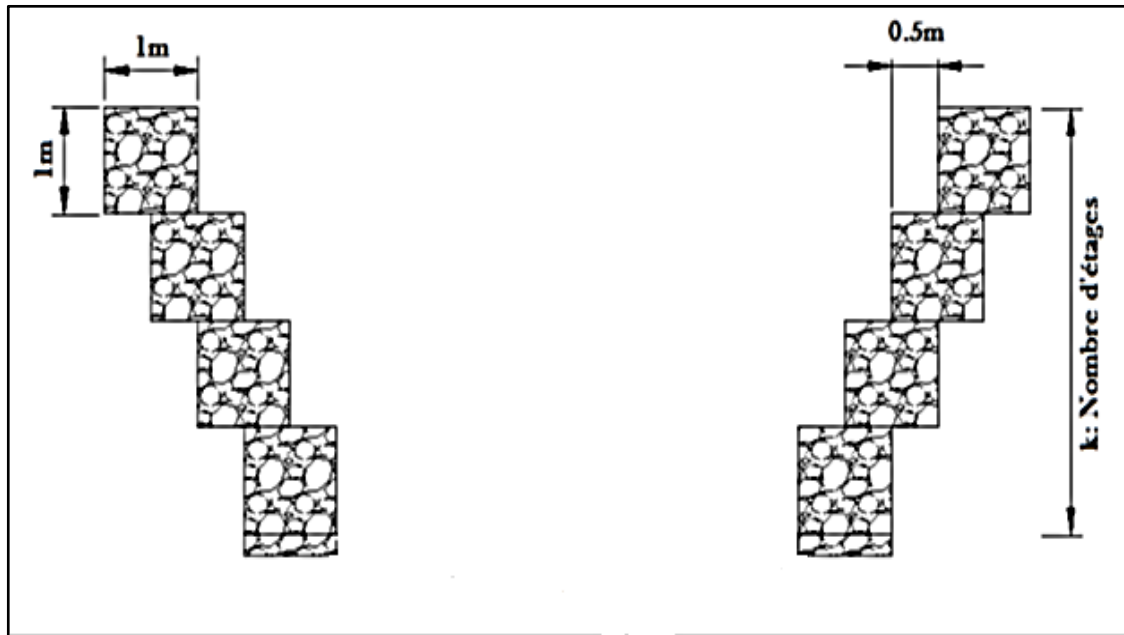
Les variantes proposées font l'objet d'une comparative dont le but d'évaluer la pertinence de chacune afin de choisir la meilleure variante d'un point de vue technico économique

##### 3.2.1. Variante en Gabion :

On propose dans cette variante un canal en gabion et on laisse le fond d'oued nu avec des opérations de curages. Cette variante a été proposée en tenons compte des variations des sections et une largeur trop grande de l'Oued.

**A- Calcul des murs en gabion:**

Les murs en gabions sont utilisés principalement pour réaliser les revêtements et les protections anti-affouillements. Ils se présentent sous forme de dimensions variées, dont les plus courant sont 1.0 \* 1 \* 0.5 et 1.0 \* 1.0\* 1.0 m. 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. En effet, ils permettent de freiner la vitesse d'écoulement des eaux de crues tout en favorisant l'infiltration.



**Figure V.1 : Coupe en travers d'un mur en gabion.**

**Tableau V.5 : Caractéristique géométrique de la section gabionnée.**

Caractéristique	Section $S_m$ (m <sup>2</sup> )	Périmètre $P_m$ (m)	Rayon hydraulique $R_h$ (m)
Relation	$\frac{1}{2}K(K - 1) + b.K$	$b + 3K - 1$	$\frac{0.5K(k - 1) + b.K}{b + 3K - 1}$

Avec :

**K** : Le nombre des étages,

**b**: La base du canal.

Nous fixons la largeur de la base b puis nous calculons le nombre d'étage qui puisse évacuer le débit de crue.

Les dimensions du canal sont calculées à l'aide de la formule de Manning Strickler dont le tableau suivant récapitule les résultats de calcul :

Tableau V. 6 : Caractéristiques géométriques du canal en gabion

Tronçons	Q (m <sup>3</sup> /s)	n	I (m\m)	b (m)	Nombre d'étages
1	903	0.03	0,0030	80	3
2	903	0.03	0,0036	80	3
3	903	0.03	0,0020	100	3
4	903	0.03	0.0030	100	4
5	903	0.03	0.0038	100	4
6	903	0.03	0.0032	100	4

### B- Etude de la stabilité du canal :

Pour le dimensionnement d'un canal, il est nécessaire d'en garantir la stabilité, afin d'éviter les érosions provoquées par les forces hydrodynamiques engendrées par l'écoulement. Les conditions dans lesquelles les particules du matériau non cohérent qui constituent le fond et les berges d'un canal commencent à se déplacer, appelées conditions critiques, peuvent s'exprimer en fonction des vitesses de l'écoulement (vitesses critiques), ou des tensions tangentielles exercées sur les particules (forces tractrices critiques).

Les étapes de l'étude de stabilité du fond du canal suivant cette méthode sont comme suit :

- Détermination de la contrainte tangentielle admissible à partir du diamètre moyen des grains et avec l'utilisation de l'abaque présenté dans la figure V.2.
- calculer la contrainte tangentielle au fond,
- Vérification que la contrainte tangentielle au fond  $\tau_0$  est inférieur à la contrainte admissible.

On doit vérifier que la contrainte tangentielle au fond  $\tau_0$  est inférieure à la contrainte admissible dans notre cas on a un diamètre des grains  $d=2\text{mm}$ .

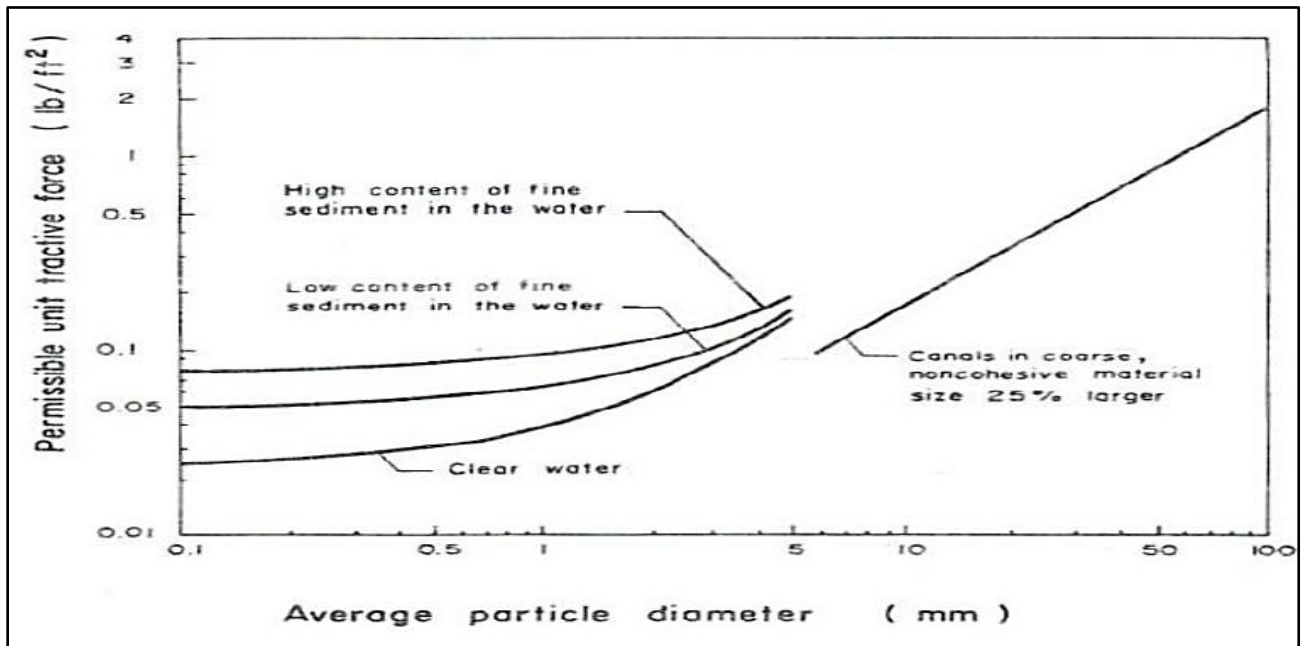


Figure V.2 : Efforts tangentiels critiques pour des matériaux non cohésifs (Chaudhry, 2014).

- Calculer la contrainte tangentielle au fond :

$$\tau_0 = \gamma_w R_h i$$

Avec :

- $\tau_0$  : La tension tangentielle critique exercée sur le fond en  $[N/m^2]$  ;
- $R$  : Le rayon hydraulique en  $[m]$  ;
- $\gamma_w$  : Le poids volumique de l'eau en  $[N/m^3]$  ;
- $i$  : La pente du fond en  $[m/m]$  ;

Les résultats de calcul sont présents dans le **Tableau V.7** :

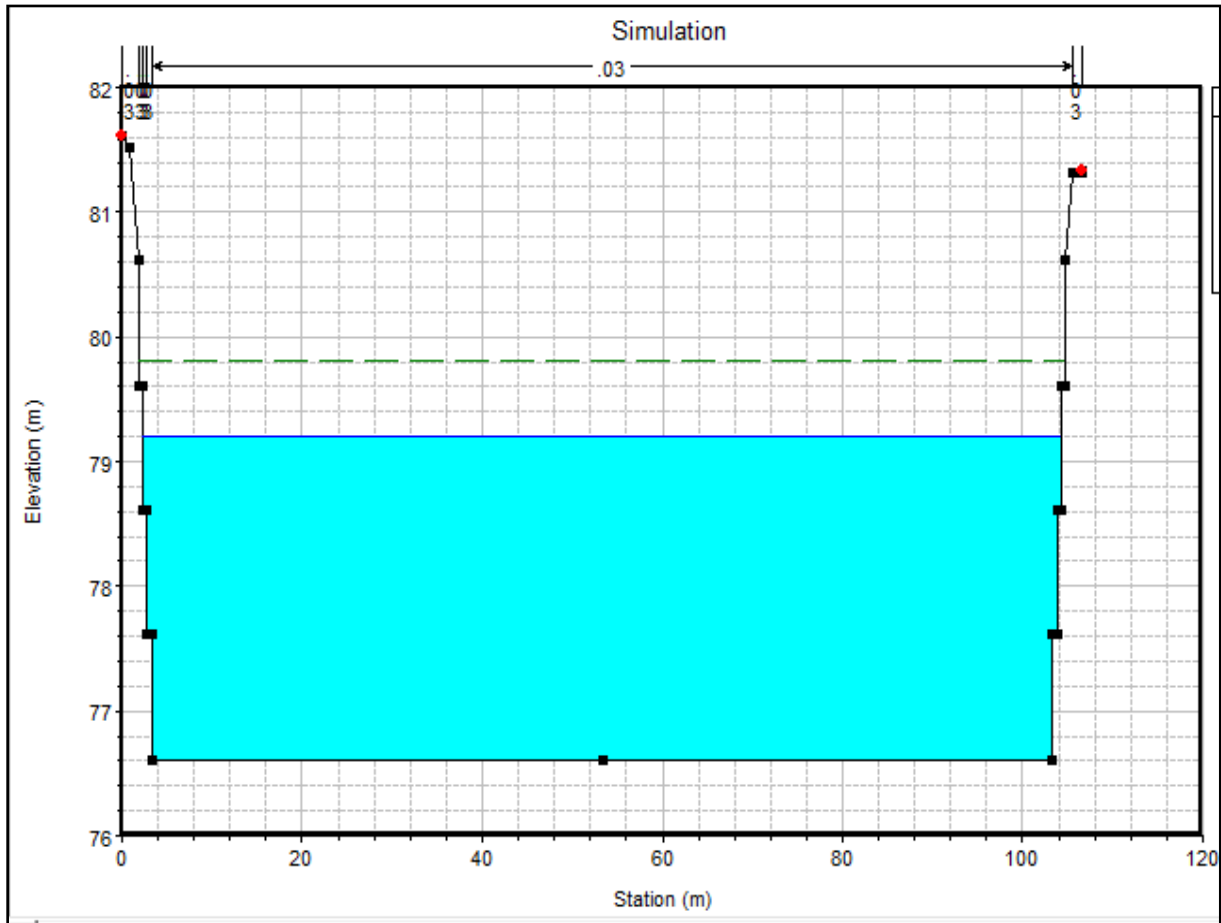
**Tableau V.7 : Résultats des contraintes tractrices au fond.**

Tronçons	Contrainte tractrice ( $N/m^2$ )	
	$\tau_0$	$\tau_0 \text{ adm}$
1	0.009	0,28
2	0.01	0,28
3	0.004	0.28
4	0.006	0.28
5	0.095	0.28
6	0.008	0.28

**Interprétation :**

Vu que la contrainte tangentielle au fond  $\tau$  est inférieure à la contrainte admissible, la stabilité du fond est bien vérifiée et la réalisation d'un tel aménagement est possible.

D'après la simulation par HEC-RAS on voit bien que les sections aménagées supportent la crue cinquantenne dans les figures suivantes.



**Figure V.3 : Sections aménagée tronçons 6.**

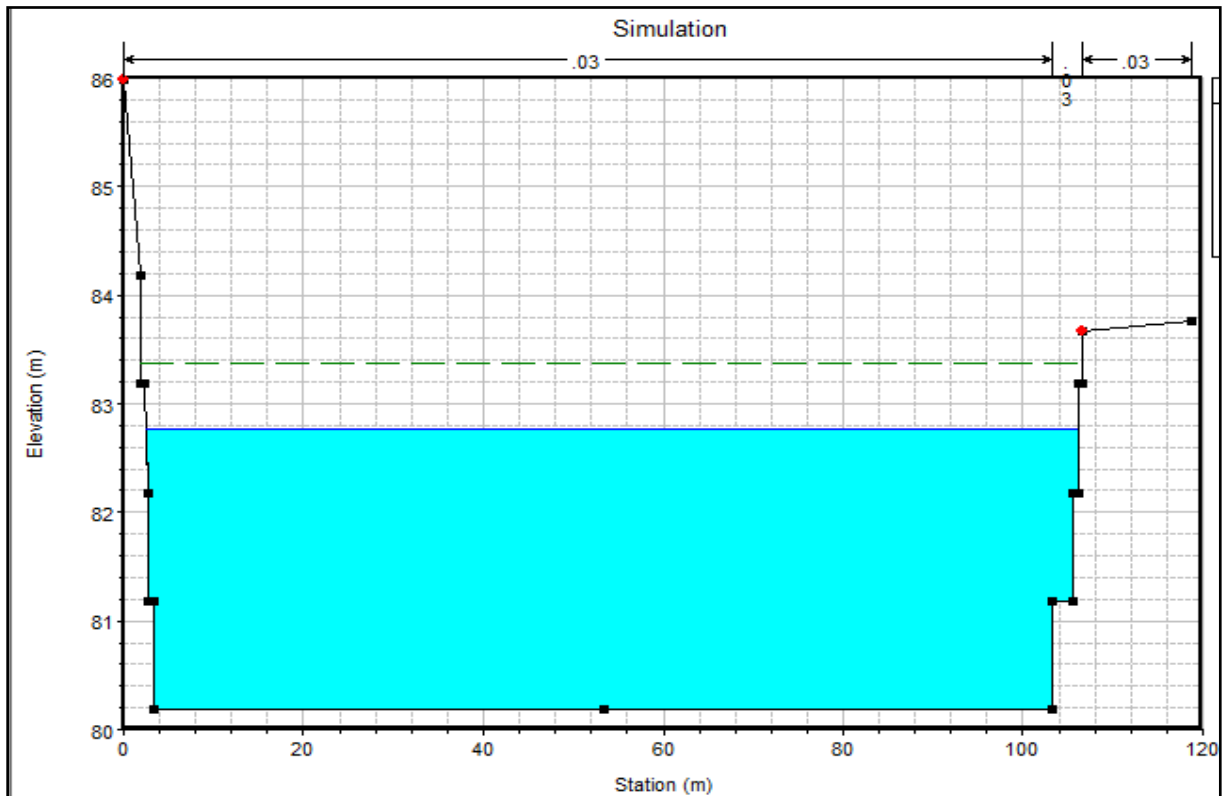


Figure V.4 : Sections aménagée tronçons 5.

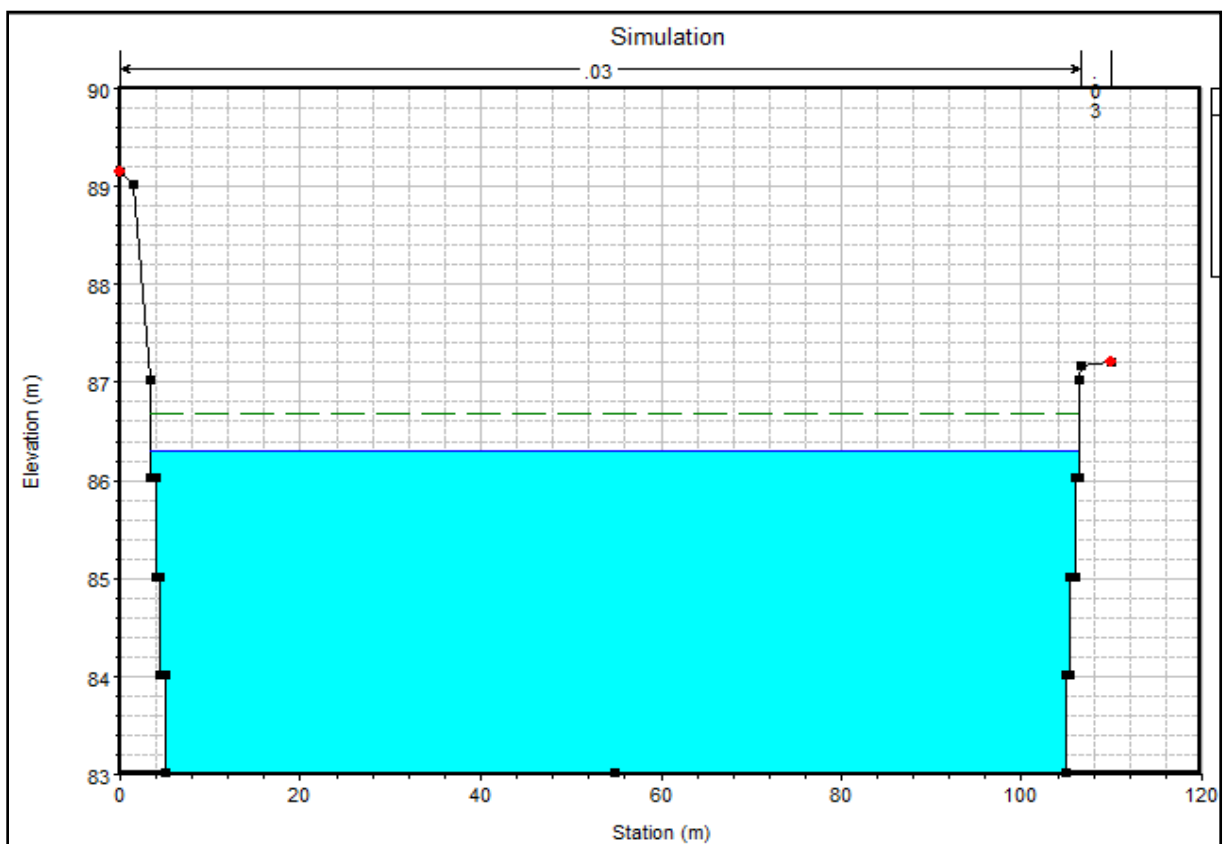


Figure V.5: Sections aménagée tronçons 4.



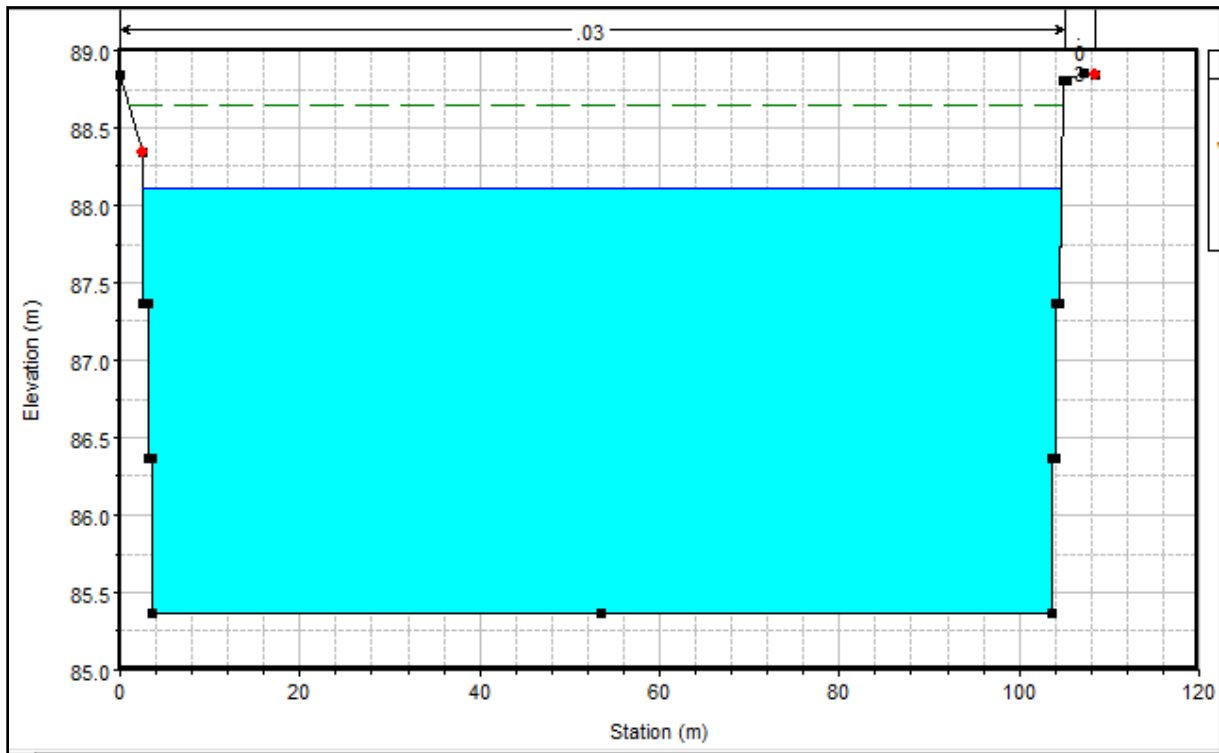


Figure V.6 : Sections aménagée tronçons 3.

**3.2.2. Canal rectangulaire Mur de soutènement :**

On propose dans cette variante un mur de soutènement pour les deux berges d'Oued tout en laissant le fond de l'oued nu avec des opérations de curage.

**A- Calcul du Mur de soutènement en béton armé :**

**A.1. Donnée de départ :**

Densité  $\gamma$  :

Elle conditionne la valeur de la contrainte verticale  $\sigma_v$  à une profondeur Z de la surface du sol :  $\sigma_v = \gamma \cdot Z$

Elle est souvent prise entre 17 KN/m<sup>3</sup> et 20 KN/m<sup>3</sup>.

Portance du sol q :

C'est la contrainte de calcul que peut reprendre un sol sans se déformer, pour notre sol (les berges de l'oued sont de type sables et graves lâche) : q(MPa) = 0.2 à 0.4

Angle de talus naturel  $\phi$  :

C'est l'angle maximum avec l'horizontal que peut présenter un sol mis simplement en tas.  $\Phi=25^\circ$  à  $35^\circ$  (Sable lâche) et  $\Phi=40^\circ$  à  $50^\circ$  (gravier lâche).

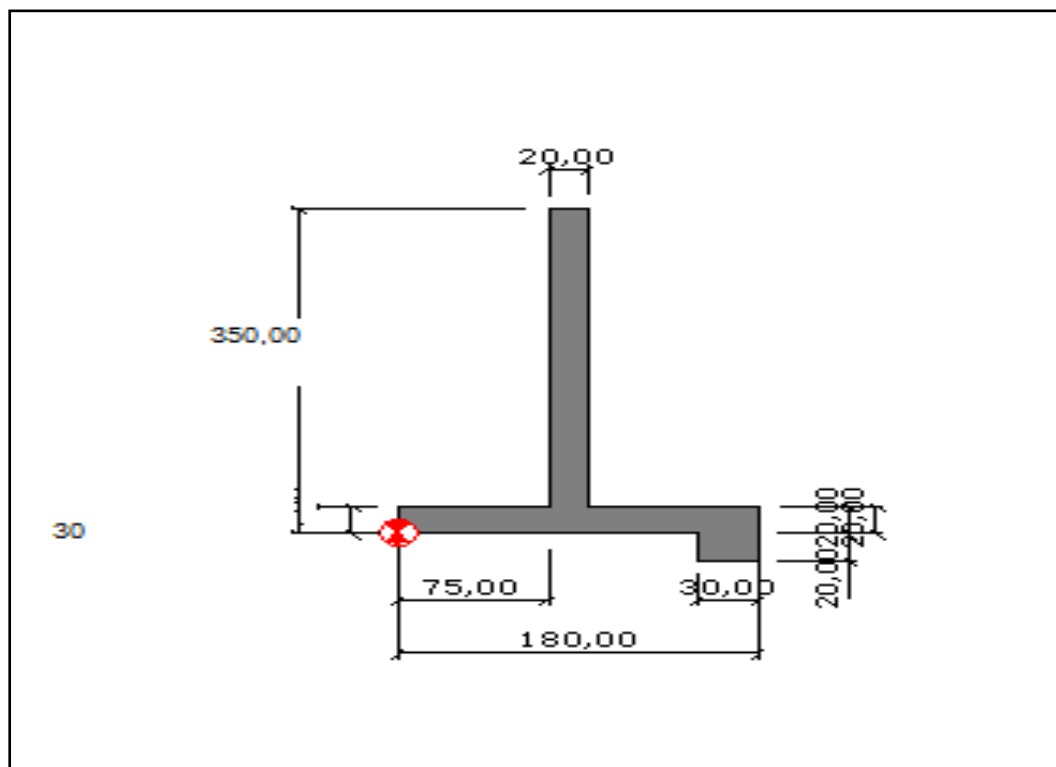
Cohésion C :

C'est la capacité qu'a un sol à s'amalgamer (coller) ; C=0 à 10 MPA (Sable lâche) et C=0 (gravier lâche).

**Tableau V.8 : Récapitulation des résultats**

Densité [kN/m3]	Angle de frottement [Deg]	Cohésion [kN/m2]	Epaisseur [cm]	Niveau [cm]	Type du sol
17,00	35,00	0,00	100,00	100,00	Sables et graves lâches

**A.2. Pré-dimensionnement :**



**Figure V.7 : Prédimensionnement du mur de soutènement.**

**Avec :**

- $15 \leq e_1 \leq 30$  cm.
- $e_2 = \frac{H}{10} \div \frac{H}{12}$
- $e_3 = 20 \div 70$  cm.
- $e_{4,5} = 20 \div 40$  cm
- $B_1 = \frac{H}{3}$  ,  $B_2 = \frac{H}{2}$  /  $B = B_1 + B_2$

**A.3. Calcul de stabilité du Mur de soutènement :**

Afin de s'assurer de pré-dimensionnement du mur, il faut faire un calcul de stabilité au :

- Renversement.
- Poinçonnement.
- Glissement.
- Tassement.

**A.3.1 calculs géotechniques :****1- Renversement :**

- **Forces horizontales** : elles sont dues à la poussée de terre et de la surcharge.
  - ✓ **La surcharge  $F_s$** :

$$F_s = A.S.H.$$

**Avec :**

- A : coefficient de poussée des terres. ( $A = \text{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$ ) ;  $A=0.27$
- S : Surcharge en t/m<sup>3</sup> ;  $S=1 \text{ t/m}^2$
- H : Hauteur du mur en m.  $H=3.5\text{m}$

$$\text{A.N: } F_s=0.945 \text{ t}$$

- ✓ **Poussée des terres  $F_t$**  :

$$F_t = \frac{A.H^2.\gamma_t}{2}$$

**Avec :**

- A : coefficient de poussée des terres. ( $A = \text{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$ )
- H : Hauteur du mur en m.  $H=3.5 \text{ m}$
- $\gamma_t$  : Poids volumique de la terre en t/m<sup>3</sup> ;  $\gamma_t=1.8 \text{ t/m}^3$

$$\text{A.N: } F_t=2.977\text{t}$$

- **Calcul des moments :**

- ✓ **Moment renversant  $M_r$**  :

Sous l'effet du moment renversant due aux forces horizontales  $F_H$ , le mur a tendance à renverser autour d'un point.

$$M_r = F_t * \frac{H}{3} + F_s * \frac{H}{2}$$

$$\text{A.N : } M_r = 5.127 \text{ t*m}$$

- ✓ **Moment stabilisateur  $M_s$**  :

Les forces verticales ont tendance à empêcher le mur de se renverser.

$$M_s = P_{se} * d_1 + P_r * d_2 + (P_s + P_t) * d_3 + P_b * d_4$$

Avec :

- Pse : Poids de la semelle /  $Pse = B \cdot e3 \cdot 1ml \cdot \gamma b = 0.9 \text{ t}$ ,  $\gamma b = 2.5 \text{ t/m}^3$  : Poids volumique du béton.
- Pr : Poids de rideau /  $Pr = \frac{e1+e2}{2} \cdot h \cdot 1 \text{ ml} \cdot \gamma b = 1.65 \text{ t}$ .
- Ps: Poids de la surcharge /  $Ps = S \cdot B2 \cdot 1 \text{ ml} = 1.75 \text{ t}$ .
- Pt : Poids des terres /  $Pt = (h \cdot B2 \cdot 1ml) \cdot \gamma t = 10.395 \text{ t}$ .
- Pb : poids de la bèche /  $Pb = e4 \cdot e5 \cdot 1ml \cdot \gamma b = 0.15 \text{ t}$

$$\text{A.N : } M_s = 53,29 \text{ (kN*m)}.$$

Pour que le mur soit stable il faut que :  $M_s \geq \beta M_r$

Avec :

- $\beta$  : Facteur de sécurité ;  $1.5 \leq \beta \leq 3$ .

La condition de stabilisation est vérifiée tel que:  $M_s = 53.29 > M_r = 9.6$ .

## 2- Glissement :

Pour que la stabilité au glissement soit vérifiée il faut que :

$$\frac{\sum F_h}{\sum F_v} \leq f$$

Avec:

- $\sum F_h$  : Résultante des forces horizontales.
- $\sum F_v$  : Résultantes des forces verticales.
- $f$  : Coefficient de frottement ;  $f = 0.2 \div 0.4$

A.N :  $0,26 < 0.4$  (kN/m) ; donc la condition est vérifiée.

## 3 - Poinçonnement :

La stabilité au poinçonnement consiste à vérifier que la contrainte maximale transmise à la fondation est admissible.

$$\sigma_1 = \frac{N}{B \cdot 100} - \frac{6 M/G}{100 \cdot B^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{B \cdot 100} + \frac{6 M/G}{100 \cdot B^2}$$

**Avec :**

- Coordonnées du point de rotation du voile G :
  - $X = 1010,66$  (cm)
  - $Z = 0,00$  (cm)
- **M** : Moment /G des forces agissant sur le mur.
- **N** : Somme des forces verticales.
- **B** : Base du mur de soutènement.

**A.N:**

- $N=44,67$  (kN/m).
- $M/G=3,40$  (kN\*m).
- $\sigma_2=0,311$  (kN/m<sup>2</sup>) =0.00311 bar.
- $\sigma_1=0,185$  (kN/m<sup>2</sup>) =0.00185 bar.

**Pour que le mur soit stable au poinçonnement il faut que:**

$$\frac{3\sigma_2 + \sigma_1}{H} \leq (\sigma_{sol}=1.5 \text{ bar}).$$

**A.N:**  $0.00319 \leq 1.5$  ;donc la condition est vérifiée .

#### 4. Tassement :

- Type de sol sous la fondation: uniforme
- Combinaison dimensionnante:  $1,00*PM + 1,00*P'a + 1,00*Pa + 1,00*P'T + 1,00*PT$
- Charge dimensionnante réduite:
  - $N=-44,67$  (kN/m)  $M_y=-3,40$  (kN\*m)  $F_x=-0,35$  (kN/m)
- Charge caractéristique unitaire due aux charges totales:  $q = 0,02$  (MN/m<sup>2</sup>)
- Epaisseur du sol en tassement active:  $z = 90,00$  (cm)
- Contrainte au niveau z:
  - additionnelle:  $s_{zd} = 0,00$  (MN/m<sup>2</sup>)
  - due au poids du sol:  $s_{zg} = 0,03$  (MN/m<sup>2</sup>)
- Tassement:  $S = 0,07$  (cm) <  $S_{dop} = 10,00$  (cm)

#### A.3.2 calculs en béton armé :

✓ **Données de départ :**

- Béton :  $f_{c28} = 25,00$  (MN/m<sup>2</sup>),
- Acier :  $f_e = 400,00$  (MN/m<sup>2</sup>)
- Enrobage:  $e_1 = 50,0$  (mm),  $e_2 = 50,0$  (mm)
- Agressivité du milieu: agressif
- Fissuration: préjudiciable

**1- Ferrailage du rideau :**

Le rideau est considéré comme une console encadrée à la semelle, le calcul de ferrailage se fait à l'ELU, de ce fait les charges sont obtenues en multipliant par des coefficients de sécurité.

**Rq :**  $h=3.3\text{m}$

- Forces horizontales :

$$F_t = \frac{1.35 * A * h^2 * \gamma}{2}$$

$$F_s = 1.5 * A * S * h$$

- Moment d'encastrement  $M_e$  :

$$M_e = F_t * \frac{h}{3} + F_s * \frac{h}{2}$$

- Moment d'encastrement à mi-hauteur

$$M_{h/2} = F_t * \frac{h}{6} + F_s * \frac{h}{4}$$

**2- Ferrailage de la semelle :**

Le ferrailage se fera après avoir déterminé toutes les contraintes s'exerçant sur la semelle qui sont dues aux toutes forces horizontales et verticales

- Contraintes dues aux poids des terres, surcharge, rideau et bêche.

$$\sigma_{t.s.r.b} = \frac{1.35(P_t + P_b + P_r + P_s)}{B}$$

- Contrainte due à la semelle :

$$\sigma_{se} = \frac{1.35 P_{se}}{B}$$

- Contraintes transmises au sol :

$$\sigma_1 = \frac{N}{B \cdot 100} - \frac{6 M/G}{100 \cdot B^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{B \cdot 100} + \frac{6 M/G}{100 \cdot B^2}$$

Selon le schéma statistique global des contraintes les contraintes à calculer sont :

- $\sigma A = \sigma t. s. r. b + \sigma se - \sigma 2.$
- $\sigma B = \sigma t. s. r. b + \sigma se - \sigma' B.$
- $\sigma c = \sigma se - \sigma' c.$
- $\sigma D = \sigma se - \sigma 1.$

**Avec :**

$\sigma' c, \sigma' B$  : Sont déterminer à partir du schéma statistique des contraintes  $\sigma 1, \sigma 2.$

### 3- Choix de la section ferrillé :

$$A_s = \frac{M}{\beta * d * \sigma_s}$$

**Avec :**

- $\mu = \frac{M}{b * d^2 * \sigma_{BC}} ; \alpha = \frac{1 - \sqrt{1 - 2\mu}}{0.8} ; \beta = 1 - 0.4\alpha$
- $A_s$  : section d'acier
- $\mu$  : le moment réduit
- $\sigma_s$  : contrainte de traction de l'acier
- $\sigma_{bc}$  : contrainte du béton (diagramme de contrainte)
- $b$  : largeur de la section
- $h$  : hauteur totale
- $d$  : hauteur utile (distance entre C.D.G des armatures tendues et la fibre la plus comprimée)

#### ✓ Résultats de calcul:

- **Moments :**

**Tableau V.9 :** Calcul des moments de la semelle et voile.

Position (cm)	Moments (Kn*m)	Elément
20,00	1,42	Voile
95,00	4,02	Semelle

- Ferrailage :

Tableau V.10 : Ferrailage du mur de soutènement

Espacement [cm]	Barres $\phi$ (mm)	Nombre de barres	Section d'acier [cm <sup>2</sup> /m]	Position
20,00	8,0	5	2,51	voile à gauche
15,00	10,0	5	5,24	voile à gauche (h/2)
20,00	8,0	5	2,51	voile à droite
15,00	10,0	5	5,24	voile à droite (h/2)
19,00	8,0	5	2,65	semelle gauche (-)
19,00	8,0	5	2,65	semelle droite (-)
19,00	8,0	5	2,65	semelle gauche (+)
19,00	8,0	5	2,65	semelle droite (+)

- ✓ Représentation du ferrailage :

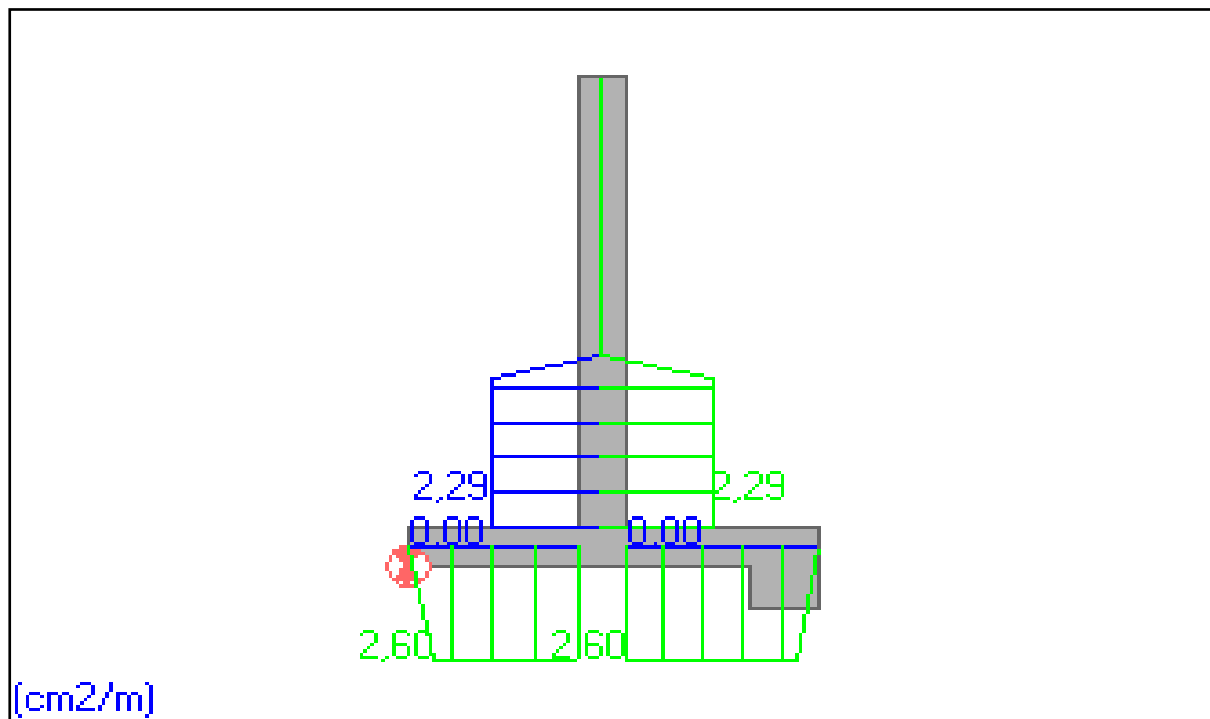


Figure V.8 : coupe sur le ferrailage du mur de soutènement



A.3.3. Visualisation des résultats pour la variante 2 sur le logiciel HEC-RAS :

D'après la simulation par HEC-RAS on voit bien que les sections aménagés pour le mur de soutènement supportent la crue cinquantenne dans les figures suivantes.

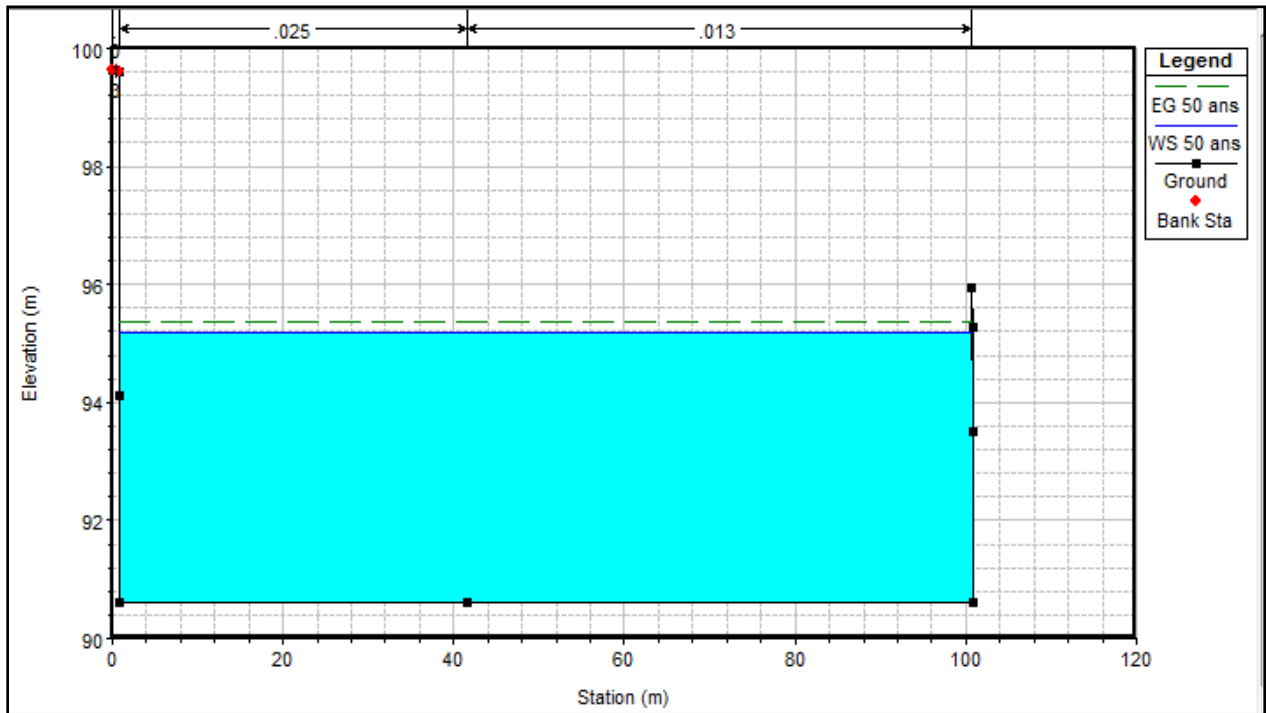


Figure V.9 : Sections aménagée tronçons1.

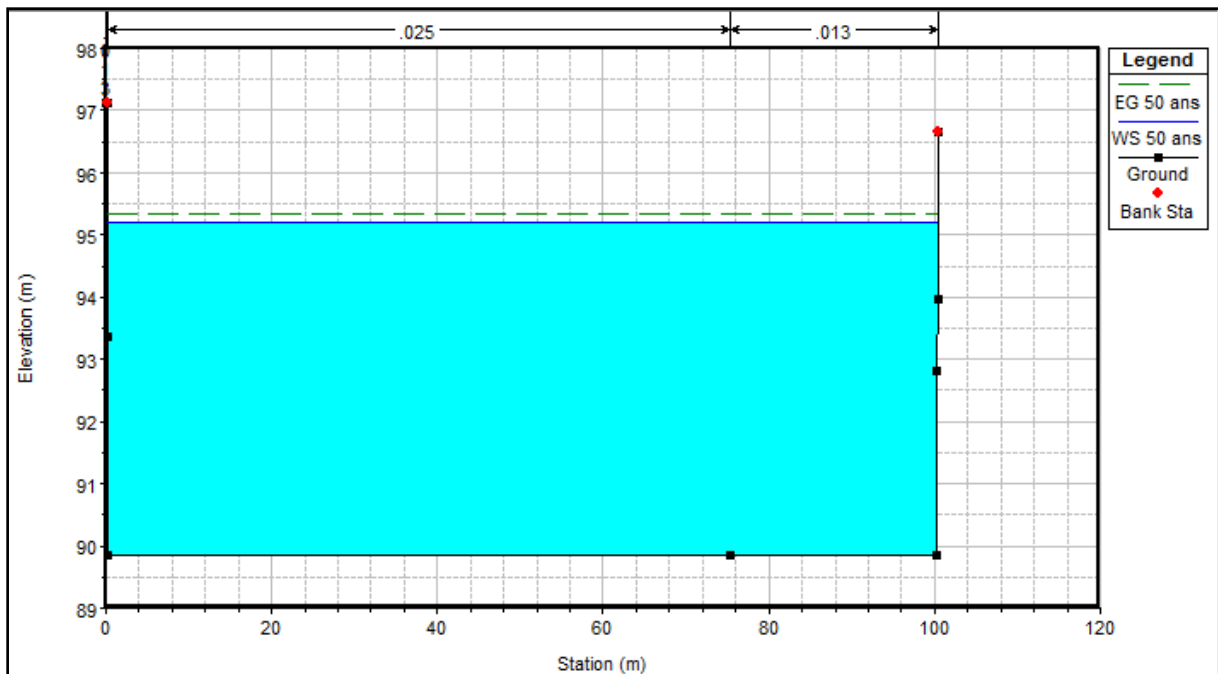


Figure V.10: Sections aménagée tronçons 6.

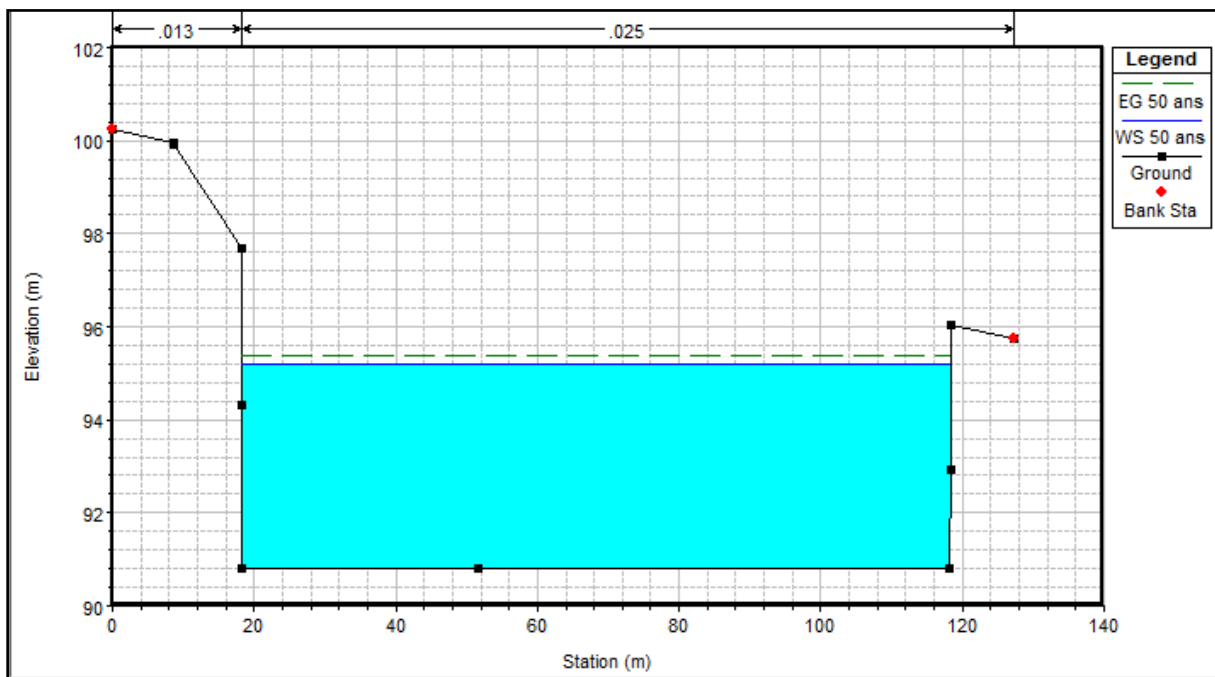


Figure V.11 : Sections aménagée tronçons3.

#### Commentaire pour les deux variantes :

D'après les résultats obtenues de simulation par le logiciel Hec-Ras, Le régime d'écoulement le long de l'oued est de type torrentiel avec un nombre de Froude  $>1$ , qui assure l'évacuation rapide de la crue vers l'exutoire. On remarque que la vitesse d'écoulement varie entre 4 et 5 m/s pour la première variante et entre 6 et 8 m/s pour la deuxième, ces vitesses sont inférieures aux vitesses limites d'érosion Tableau V.3.

La différence entre l'altitude de la ligne d'eau et celle du radier donne la hauteur d'eau en chaque section du canal, en comparant cette hauteur avec la profondeur du canal nous montre l'absence de débordement et la suffisance de la section projetée pour évacuer la crue vers l'exutoire et ce pour les deux variantes.

#### Conclusion

À partir de ce chapitre on a pu aménager Oued Rhiou pour aboutir à un système de transport dans lequel l'eau s'écoulant en surface libre est soumise à la pression atmosphérique avec un profil qui véhicule le débit maximum.

L'aménagement était fait en choisissant deux variantes jugées adéquates avec les caractéristiques de notre Oued on cite un canal mixte (recalibrage du lit naturel et le gabion) comme première variante, et le mur de soutènement comme deuxième variante.

Vu la largeur de notre oued ainsi sa longueur de 5 km, la protection de ces berges s'avère très importante face à l'ampleur des inondations récurrentes, ainsi pour le lit d'oued Rhiou on a laissé l'eau circuler naturellement car c'est le cas le plus favorable.

Ce choix de ces deux variantes a été fait tout en prenant en compte le point de vue environnemental et technique (réalisation).

## **CHAPITRE VI**

# **ODC et estimation quantitative et financière du système de protection contre les inondations**

**Introduction :**

Dans ce volet nous allons établir une évaluation quantitative et financière de la projection du système de protection contre les inondations puis procéder à un phasage des travaux. A ce stade de l'étude, nous disposons d'assez de détails pour estimer les coûts, et présenter l'organisation des chantiers. Le but ultime de cette partie est d'arriver au cout total du projet ainsi que sa durée de réalisation.

**1. Estimation du coût de la variante :**

Les estimations des prix des ouvrages et aménagements donnés :

- Prix unitaire des terrassements.
- Prix unitaire de fourniture (gabionnage).

**1.1. Coût de la première variante :****Tableau V.1 : Devis de la variante (canal mixte).**

Désignation des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Terrassement	Déblai	m <sup>3</sup>	144211	250	36,052,750
	Remblai	m <sup>3</sup>	59368	200	11,873,600
Gabion		m <sup>3</sup>	68000	4500	306,000,000
Montant HT					353,926,350
TVA 19%					67,246,006.5
Total TTC					421,172,356.5

**1.2. Coût de la deuxième variante :****Tableau V.2 : Devis de la variante (mur de soutènement).**

Désignation des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Terrassement	Déblai	m <sup>3</sup>	124912	250	31,228,000
	Remblai	m <sup>3</sup>	82636	200	16,527,200
Béton de propreté		m <sup>3</sup>	1656	6000	9,936,000
Béton armé		m <sup>3</sup>	10304	32000	329,728,000
Montant HT					387,419,200
TVA 19%					73,609,648
Total TTC					403,337,648

## 2. Choix de la variante d'aménagement :

**2.1. Critères d'évaluation :** Le choix de la variante se fera en fonction de plusieurs critères :

- **Efficacité hydraulique** : correspond au potentiel d'amélioration de la capacité hydraulique que peuvent apporter les mesures.
- **Difficultés de réalisation** : correspond au degré de difficulté de la réalisation technique.
- **Enjeux environnementaux** : ce critère tient compte de l'utilisation du sol au voisinage (zone urbaine, agricole,) et des déficits ou richesses environnementaux actuels.
- **Durabilité** : correspond à la durée de vie de l'aménagement.
- **Entretien** : correspond à l'ampleur et à la fréquence des entretiens nécessaires.
- **Coût** : correspond à l'appréciation du coût de construction.

### 2.2. La variante choisit:

Les deux variantes ont la capacité d'évacuer le débit de crue sans débordement mais d'un point de vue financier, les deux variantes : mur de soutènement est rejetée car le coût est plus élevé donc la projection d'un canal mixte ou bien un recalibrage du lit naturel avec recouvrement des berges par des pierres paraît plus économique.

On opte pour la variante d'un canal mixte car :

- Le gabion est une solution solide et durable.
- La simplicité de la réalisation.
- Une bonne perméabilité qui permet un drainage naturel suffisant.
- Le gabion diminue la vitesse d'eau et dispersé l'énergie.
- Formant une belle harmonie avec la nature.

## 3. La planification :

### 3.1. Définition de la planification :

C'est l'activité qui consiste à déterminer et à ordonnancer les tâches du projet et à déterminer les profils nécessaires à leur réalisation. Autrement dit, C'est une méthode dont dispose le cadre opérationnel pour rendre son travail efficace, elle consiste :

- L'installation des postes de travail ;
- L'observation instantanée ;
- L'analyse des tâches ;
- Le chronométrage ;
- La définition des objectifs et des attributions ;
- La simplification des méthodes ;
- La stabilisation des postes de travail.

### 3.2. Techniques de la planification :

Il existe deux principales méthodes de planification à savoir :

- Méthodes basées sur le réseau ;
- Méthodes basées sur le graphique ;

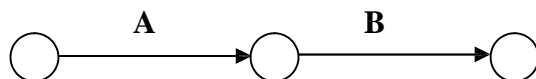
#### 3.2.1. Méthodes basées sur le réseau :

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 et la durée de réalisation.

On distingue deux types de réseaux :

##### a. Réseau à flèches :

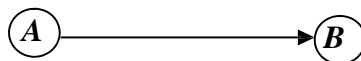
L'opération est représentée par une flèche et la succession des opérations par des nœuds.



L'opération A précède l'opération B

##### b. Réseau à nœuds :

L'opération est représentée par un nœud et la succession des opérations par des flèches.



L'opération (B) ne peut commencer que si l'opération(A) est complètement achevée.

#### 3.2.1.1. Construction du réseau :

Pour construire un réseau, il convient d'effectuer les six (6) opérations suivantes :

##### a. Etablissement d'une liste des tâches :

Il s'agit dans cette première phase de procéder à un inventaire très précis et détaillé de toutes les opérations indispensables à la réalisation d'un projet.

##### b. Détermination des tâches antérieures :

Après avoir dressés la liste des tâches à effectuer, il n'est pas toujours facile de construire un réseau car il n'est pas aisé de dire si les tâches antérieures doivent être successives ou convergentes.

##### c. Construction des graphes partiels.

##### d. Regroupement des graphes partiels.

##### e. Détermination des tâches de début de l'ouvrage et de fin de l'ouvrage.

##### f. Construction du réseau.

### 3.2.2. Méthodes basées sur le graphique :

#### 3.2.2.1. Méthode linéaire (ligne of balance technic) :

Cette méthode est destinée à la planification des projets de construction dont les travaux sont répétitifs.

#### 3.2.2.2. Méthode à barres :

Cette technique consiste à déterminer deux réseaux et un diagramme à barres (plan de travail).

### 3.3. Les étapes de la planification :

La planification est le processus de la ligne de conduite des travaux à réaliser, elle comprend des étapes suivantes :

- **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 du 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.

### 3.4. Estimation des durées :

L'estimation de la durée des tâches ne se fait que lorsque les tâches ont été analysées. L'opération d'estimation des durées a un impact important sur la qualité du planning final et elle doit être conduite dans le respect de principes rigoureux.

Au préalable, il faut faire admettre les hypothèses suivantes qui simplifient l'estimation :

- Toutes les tâches se réaliseront, dans des conditions normales ;

Cette hypothèse consiste à estimer les durées des tâches sans présupposer une quelconque "criticité" ou pression particulière sur les délais. Ces sont les conditions habituelles de travail qui doivent servir d'étalon à l'estimation des durées. Cela suppose aussi que chaque durée de tâche est estimée sans qu'on se soucie de toutes les perturbations imaginables qui pourraient en déranger le bon déroulement. Par contre, "conditions normales" veut bien dire que l'environnement dans lequel la tâche se déroulera de façon tout-à-fait prévisible est bien pris en compte.

- Chaque tâche se réalisera avec les moyens habituels ;

Cela signifie que la durée de la tâche est estimée sur la base des moyens habituellement affectés à ce type de tâche (qualité et quantité). Donc ne pas faire de supposition sur toute mise en œuvre de moyens exceptionnels que la criticité de la tâche pourrait justifier.

- Les moyens nécessaires à l'ensemble des tâches sont infinis;

Elle résulte tout simplement de la considération que chaque tâche est estimée endurée sans qu'on puisse à ce stade à voir si les moyens à y affecter seront indisponibles puisque déjà affectés à une autre tâche. Et par voie de conséquence, supposer que chaque tâche disposera des moyens nécessaires revient à considérer provisoirement qu'ils sont illimités.

### 3.5. Choix de la méthode de calcul :

Le choix de la méthode de calcul repose essentiellement sur le type d'ouvrage construire. Il est préférable dans le cas où les opérations se suivent comme dans notre cas d'opter pour la méthode C.P.M.

#### 3.5.1. Les paramètres de la méthode C.P.M :

Les paramètres indispensables dans l'exécution de cette méthode sont les suivants :

DCP	TR
DFP	DCPP
DFPP	MT

Avec:

- **DCP** : date de commencement au plus tôt;
- **TR** : temps de réalisation;
- **DFP** : date de finition au plus tôt;
- **DCPP** : date de commencement au plus tard;
- **DFPP** : date définition au plus tard;
- **MT** : marge totale ;

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{DFP} = \text{TR} \\ \text{DCPP} = \text{DFPP} - \text{TR} \end{array} \right.$$

#### 3.5.2. Chemin critique (C.C) :

C'est le chemin qui donne la durée totale du projet (DTR) reliant les opérations possédant la marge totale nulle (0).

Donc, pour retrouver un chemin critique il suffit de vérifier la double condition suivante :

$$\text{C.C} \iff \text{MT} = 0 \quad \text{et} \quad \sum \text{TR} = \text{DTP}$$

### 3.6. Elaboration du réseau selon la méthode CPM :

La méthode du CPM est une méthode de planification, elle a pour objectif de réduire le temps et le coût de réalisation de projet et augmenter le rendement du travail. Pour la construction du réseau il faut d'abord établir les différentes tâches des travaux. Ces derniers sont reportés dans le tableau suivant :



**Tableau VI.3 : Liste des opérations avec leurs durées.**

Les travaux	Opération	Durée (jours)
Installation de chantier	A	15
Travaux de terrassements sur tronçon 1 et 2	B	35
Compactage sur tronçon 1 et 2	C	20
Pose de gabions sur tronçon 1 et 2	D	90
Travaux de terrassement sur tronçon 3 et 4	E	60
Compactage sur tronçon 3 et 4	F	35
Pose de gabions sur tronçon 3 et 4	G	155
Compactage sur tronçon 5 et 6	H	70
Compactage sur tronçon 5 et 6	I	40
Pose de gabions sur tronçon 5 et 6	J	170
Déménagement du chantier	K	15

Dans le tableau suivant on présente chaque tache avec celles qu'elle précède dans le phasage des travaux :

**Tableau VI.4 : Succession des taches.**

Opération	Durée	Précède
A	15	B
B	35	C
C	20	D,E
D	90	K
E	60	F
F	35	G,H
G	155	K
H	70	I
I	40	J
J	170	K
K	75	-

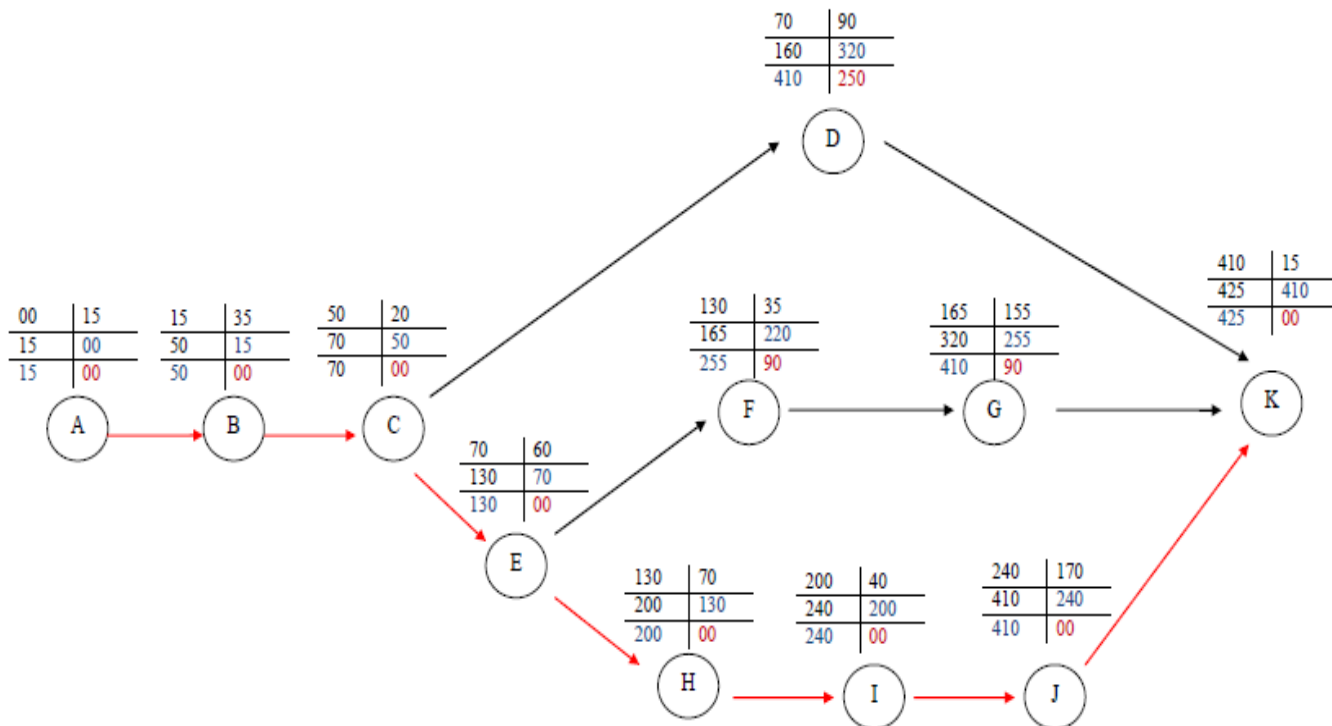
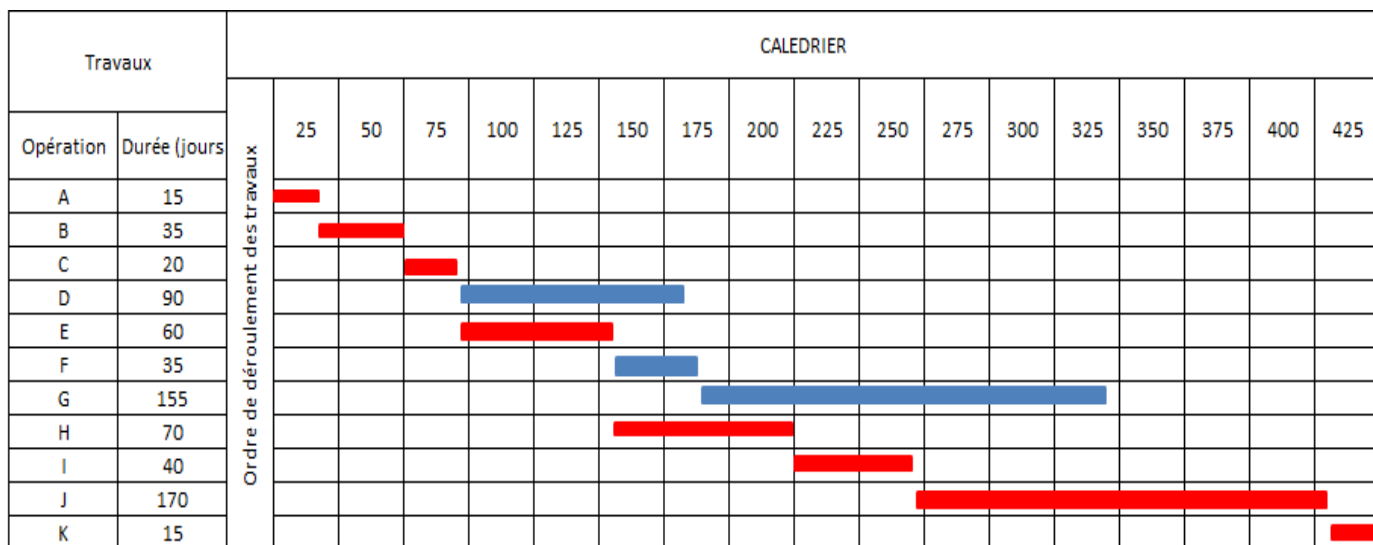


Figure VI.1 : Réseau de planification des taches par la méthode CPM.



Figures VI.2 : Diagramme de Gantt.

#### 4. Organisation de chantier :

##### 4.1. Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier :

L'équipe de réalisation d'un projet est composée principalement par :

###### 4.1.1. Maître de l'ouvrage :

C'est une personne physique ou morale pour laquelle s'exécutent les travaux, il définit le but à atteindre et assure le financement. Le maître de l'ouvrage doit assumer certaines responsabilités, par exemple :

- Gérer la réalisation du projet.
- Transmettre l'information pertinente relative au projet.
- Remplir les obligations établies par les documents contractuels.
- Assurer la coordination et la cohésion de l'équipe de projet, la bonne conduite des contrats et la réalisation des travaux.
- Prendre possession du projet.

###### 4.1.2. Maître d'oeuvre :

C'est une personne physique ou morale c'est un conseiller technique désignée par le maître d'ouvrage pour réaliser un ou plusieurs tâches de la mission de construction, son rôle est :

- Diriger les travaux.
- S'assurer la faisabilité du projet.
- Contrôler la conformité des ouvrages.

###### 4.1.3. L'entreprise :

Personne physique ou morale, titulaire d'un marché de travaux conclu avec le maître d'ouvrage, chargé de :

- Réaliser un ouvrage de qualité par le contrôle de la qualité de son travail.
- Gérer les coûts et les travaux.
- Elaborer le planning d'exécution des travaux.
- Répondre aux obligations établies par les documents contractuels
- Réaliser les travaux définis dans son contrat.
- Respecter les délais.

##### 4.2. Définitions des engins utilisés :

Le matériel utilisé est le matériel classique des chantiers de travaux publics. L'utilisation de gros engins mécaniques va réduire considérablement le prix et le temps des terrassements

Tableau VI. 5 : Engins utilisés

Taches	Engins	Actions
Travaux de préparation	Dozers	Enlever les obstacles et les herbes
	Pelles	
	Camions	
	Chargeurs	
Terrassement	Pelles	Donner la forme exacte du canal
	Niveleuse	
	Camions	
	Dozers	
	Chargeurs	
Compactage	Dumpers	Consolider les berges de l'oued pour éviter l'affaissement
	Compacteurs à pieds de mouton	
	Tous types de compacteurs à rouleaux lisses	

### Conclusion :

L'exécution d'un ensemble de travaux par gestion rationnelle de temps ; demande conjointement des moyens humains, techniques et matériels, afin d'aboutir à un but ultime qui est la livraison du projet dans les délais prévus, sans sortir des couts d'investissement initiaux.

A l'issue de ce volet nous avons pu estimer le cout global du projet d'aménagement d'Oued Rhiou et de ses affluents qui est de 421,172,356.5 DA pour un délai de réalisation de 15 mois.

# **Conclusion générale**

## **Conclusion générale**

En Algérie, le débordement fréquent de plusieurs cours d'eau cause des inondations suite à des aléas hydrométéorologiques extrêmes. Ces inondations deviennent de plus en plus insupportables tant sur le plan humain que matériel.

Le but de l'étude que nous avons faite est la protection de chef lieu de la commune de Ammi moussa contre les effets indésirables des crues. Cette zone est considérée comme zone à haut risque d'inondation présentant un degré de vulnérabilité élevé compte tenu de sa situation géographique.

Dans l'optique d'une démarche fiable aboutissant à un système d'aménagement invulnérable, au préalable une description plus au moins détaillée de la zone d'étude a été abordée dans tous ses aspects, ensuite, une étude hydrologique qui a servi comme élément de base afin établir les courbe IDF et les hydrogrammes de crue pour différentes période de retour. Ensuite, une simulation a été initiée à l'aide des deux logiciel Autocad civil 3D et le code HEC-RAS pour reproduire le comportement du système étudié dans son aspect structurel et fonctionnel avant et après le dimensionnement, et en fin une étude quantitative et financière a fin d'évaluer le cout du projet et choisir la variante d'aménagement la plus adéquate techniquement et économiquement.

Notre objectif consiste à déterminer le débit maximum qui transite par cette ville à travers l'Oueds Rhiou, Ce dernier a été l'objet d'un aménagement en gabion avec un recalibrage du terrain naturel après avoir choisi une période de retour de 50 ans.

Le projet de réalisation de l'aménagement s'étale sur un délai de 61 semaines pour un cout de 421,172,356.5 DA

# **Référence bibliographique**

- ❖ **LAHLAH Salah**, 2004. Les inondations en Algérie.
- ❖ **Touaibia.B**, Manuel pratique d'hydrologie, Mars 2004.
- ❖ **Roche P.A., Miquel J., Gaume E.** (2012). Hydrologie quantitative, processus, modèles et aide à la décision. Collection Ingénierie et développement durable.
- ❖ **Anctil F., Rousselle J., Lauzon N.** (2005). Hydrologie. Cheminements de l'Eau. Presses Internationales Polytechniques.
- ❖ **HINGRAY B., PICOUET C. & MUSY A.** (2009). Hydrologie, Une science pour l'ingénieur, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 600 p.
- ❖ **Eric Gaume et al**, 2010. Bayesian MCMC approach to regional flood frequency analyses involving extraordinary flood events at ungauged sites.
- ❖ **Eric Gaume**, 2018. Flood frequency analysis: The Bayesian choice.
- ❖ **U.S. Army Corps of Engineers (2010a)**. HEC-RAS River Analysis System Hydraulic reference manual, Hydrologic Engineering Center, CPD-69, Version 4.1.
- ❖ **U.S. Army Corps of Engineers (2010b)**. HEC-RAS River Analysis System – User's Manual, Hydrologic Engineering Center, CPD-68, Version 4.1.
- ❖ **Bensidi Ahmed L'Hachimi**, Etude d'aménagement d'oued Reghaia et ses affluents pour la protection contre les inondations des communes de Reghaia et ouled hadadj (W.Alger), Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique. Blida.
- ❖ **Medjek Said et Tizi Nourddine**, 2016. Etude d'aménagement d'oued El-Kseur (W.Bejaia). Université Abderrahmane MIRA de Bejaia.
- ❖ **Malika El-Hamoudi**, 2017. Etude de protection contre les inondations du centre de Malal dans la province de Taza. Université Sidi Mohammed Ben Abdellah.



# **Annexes**

**Annexe 01****Tableau n° 1 : Résultats de la simulation à l'état naturel sur HEC-RAS pour la période de retour 50 ans:**

Station	Débit	Fond du canal (m)	Altitude ligne d'eau (m)	Cote d'énergie	La pente d'énergie (m/m)	La vitesse (m/s)	Surface inondée	S <sub>m</sub> (m)	Nombre de Froude
93	903	90.63	96.76	96.88	0.00022853	1.56824	583.03	138.84	0.244084
92	903	90.50	96.66	96.86	0.00038448	2.02128	452.71	108.92	0.316195
91	903	90.42	96.53	96.83	0.00057563	2.51012	376.1	92.99	0.387291
80	903	90.14	95.2	96.65	0.0036861	5.42641	174.19	60.63	0.936959
89	903	90.06	94.55	96.39	0.00584192	5.99866	150.53	53.6	1.142619
88	903	89.98	94.81	96.11	0.00460081	5.05946	178.48	68.99	1.004057
87	903	89.85	95.28	95.62	0.00074224	2.57276	350.98	94.22	0.425494
86	903	89.81	95.37	95.55	0.00038041	1.87654	483.81	130.03	0.309596
85	903	89.72	95.4	95.52	0.00022899	1.54223	590.09	154.6	0.243743
84	903	89.52	95.36	95.5	0.00026937	1.65964	550.98	155.35	0.263906
83	903	89.35	95.33	95.49	0.00035948	1.75854	520.98	158.6	0.298384
82	903	89.23	95.26	95.46	0.00053868	1.99934	459.31	160	0.35879
81	903	89.01	95.17	95.42	0.00065388	2.23274	416.22	147.77	0.396619
80	903	88.87	95.18	95.38	0.00050462	1.9761	456.89	143.85	0.349101
79	903	88.70	95.18	95.35	0.000283	1.88091	500.96	111.46	0.277572
78	903	88.50	95.18	95.34	0.00029263	1.77894	519.36	128.78	0.274047
77	903	88.43	95.2	95.3	0.00011322	1.382	667.91	111.77	0.180829
76	903	88.12	95.18	95.29	0.00013456	1.48219	624.26	110.17	0.196518
75	903	87.84	95.06	95.27	0.00028245	2.06016	449.33	85.22	0.281593
74	903	87.66	93.19	95.07	0.00426148	6.28846	150.6	39.96	1.017804
73	903	87.51	92.21	94.73	0.00772427	7.02393	128.56	44.11	1.313314
72	903	87.47	92.05	94.27	0.00698183	6.81156	140.53	53.14	1.259881
71	903	87.33	90.11	93.59	0.02021636	8.29277	110.98	72.38	1.985961
70	903	87.28	90.06	92.41	0.01433142	6.79012	133.99	91.39	1.665259
69	903	87.15	91.59	91.93	0.00074471	2.66259	358.06	100.84	0.434901
68	903	87.13	91.44	91.87	0.00102551	2.96675	317.02	96.52	0.503953
67	903	87.06	91.46	91.8	0.00081175	2.71815	361.51	114.46	0.45135
66	903	86.84	91.45	91.75	0.00069247	2.53383	383.44	114.4	0.417426
65	903	86.76	91.33	91.7	0.00085015	2.84273	342.59	101.27	0.464138
64	903	86.52	91.33	91.65	0.00069017	2.66194	375.39	112.36	0.421948
63	903	86.59	91.24	91.61	0.0009211	2.77253	345.81	112.37	0.475675
62	903	86.60	90.46	91.46	0.00384641	4.66163	213.61	103.11	0.925209
61	903	86.36	89.24	91.08	0.01110919	6.13742	152.01	97.95	1.476691
60	903	86.38	89.23	90.5	0.00624581	5.13452	186.92	108.49	1.138524
59	903	86.28	89.92	90.17	0.00091051	2.2575	415.16	180.9	0.450373
58	903	86.06	89.78	90.11	0.00129629	2.57407	354.83	149.88	0.531297
57	903	86.01	89.84	90.02	0.00069637	1.88072	483.03	202.64	0.389098
56	903	85.88	89.84	89.98	0.00043852	1.64117	555.46	203.58	0.316249
55	903	85.72	89.84	89.95	0.00036055	1.53009	594.53	208.2	0.288717
54	903	85.74	89.84	89.93	0.00022824	1.37414	664.18	194.73	0.236347
53	903	85.65	89.68	89.9	0.00056666	2.10276	434.69	132.98	0.369613
52	903	85.34	89.58	89.87	0.00076458	2.38487	385.6	123.3	0.427035
51	903	85.17	89.39	89.8	0.00132231	2.87995	321.41	120.15	0.54922
50	903	85.00	89.26	89.73	0.00154705	3.06478	302.18	116.41	0.591195

49	903	84.88	88.67	89.57	0.00365514	4.19894	215.05	92.26	0.877874
48	903	84.78	88.89	89.34	0.00123646	2.95176	305.92	98.72	0.535237
47	903	84.60	88.69	89.25	0.0019482	3.30302	273.39	104.93	0.6532
46	903	84.42	88.77	89.1	0.00077349	2.53958	367.6	119.54	0.431516
45	903	84.30	88.58	88.99	0.00111482	2.86378	325.52	110.45	0.509305
44	903	84.12	88.52	88.88	0.00096877	2.64925	343.18	109.65	0.476046
43	903	83.98	88.51	88.81	0.0007736	2.48616	373	112.22	0.428758
42	903	83.89	88.49	88.76	0.00075843	2.37211	390.18	124.09	0.421435
41	903	83.76	88.45	88.72	0.00069059	2.3046	391.83	115.3	0.399051
40	903	83.56	88.5	88.67	0.00032185	1.86153	493.86	115.1	0.286741
39	903	83.45	88.49	88.65	0.0002672	1.84549	512.61	112.24	0.270482
38	903	83.10	88.36	88.55	0.00034267	2.01864	470.73	109.1	0.30361
37	903	83.00	88.39	88.52	0.00019439	1.62544	590.7	127.28	0.232511
36	903	82.72	88.4	88.5	0.0001544	1.47078	644.38	132.38	0.207968
35	903	82.62	88.39	88.49	0.00014233	1.42248	657.06	130.58	0.200085
34	903	82.48	88.28	88.47	0.00034067	1.97199	462.84	105.98	0.299994
33	903	82.21	87.64	88.38	0.00164624	3.82495	239.37	66.09	0.636154
32	903	82.16	87.77	88.23	0.00105031	3.01999	299.01	80.22	0.499314
31	903	81.87	87.9	88.13	0.00038761	2.1498	430.77	100.36	0.317007
30	903	81.66	87.88	88.11	0.00028864	2.12542	424.86	95.6	0.286942
29	903	81.47	87.82	88.12	0.00021582	2.01258	430.86	95.11	0.26895
28	903	81.37	87.87	88.07	0.00022785	1.98411	455.12	94.01	0.258808
27.4	Culvet								
27	903	81.28	87.93	88.03	0.00014057	1.44476	640.35	123.29	0.197544
26	903	81.28	87.92	88.02	0.00016827	1.46019	633.98	134.62	0.211474
25	903	81.18	87.64	87.95	0.00052764	2.52492	370.63	81.84	0.37342
24	903	81.01	87.56	87.92	0.00058555	2.6467	341.18	70.36	0.383653
23	903	80.89	87.44	87.88	0.00080104	2.9211	309.13	71.34	0.447928
22	903	80.67	87.58	87.79	0.00029902	2.06888	449.55	87.02	0.287315
21	903	80.34	87.61	87.76	0.00016471	1.71013	539.71	87.12	0.21814
20	903	80.28	87.59	87.75	0.00019145	1.78859	518.76	87.56	0.232863
19	903	80.15	87.21	87.7	0.00086053	3.17989	295.8	67.36	0.473172
18	903	80.03	87.35	87.59	0.00038444	2.1715	415.84	84.67	0.312774
17	903	79.82	87.37	87.54	0.00025105	1.88571	512.73	109.28	0.264712
16	903	79.80	87.36	87.53	0.00028578	1.79779	510.33	114.21	0.270919
15	903	79.72	87.37	87.48	0.0001855	1.51813	603.63	124.31	0.221099
14	903	79.60	87.38	87.47	0.00011349	1.32009	712.01	131.76	0.180204
13	903	79.40	87.38	87.46	0.0001016	1.2456	746.13	136.97	0.166981
12	903	79.10	87.22	87.44	0.00028057	2.08607	450.49	91.92	0.268719
11	903	78.97	85.68	87.26	0.00447241	5.59324	164.04	54.78	0.955253
10	903	78.76	82.51	86.58	0.02182177	8.93574	101.05	52.82	2.062141
9	903	78.59	85.16	85.54	0.0008241	2.72479	337.74	98.72	0.445017
8	903	78.40	84.38	85.4	0.00290216	4.47421	201.99	67.18	0.799768
7	903	78.13	84.65	85.16	0.00122618	3.15976	286.91	93.64	0.534143
6	903	77.94	84.56	85.09	0.00138483	3.23453	279.18	83.73	0.563906
5	903	77.61	84.8	84.95	0.00023523	1.70908	528.35	106.61	0.245055
4	903	77.45	84.69	84.93	0.00034199	2.18476	418.58	82.54	0.306557
3	903	76.30	84.2	84.71	0.00091862	3.34484	286.32	64.33	0.489277
2	903	77.10	81.91	83.52	0.00394032	5.76361	164.02	50.15	0.969571
1	903	76.90	81.70	82.75	0.00394032	4.02368	139.89	58.73	0.988563

**Annexe 02****Tableau n° 1 : Résultats de la simulation à l'état naturel sur HEC-RAS pour la période de retour 20 ans:**

Station	Débit	Fond du canal (m)	Altitude ligne d'eau (m)	Cote d'énergie (m)	La pente d'énergie (m/m)	La vitesse (m/s)	Surface inondée (m <sup>2</sup> )	S <sub>m</sub> (m)	Nombre de Froude
	m <sup>3</sup> /s	m	m		m/m	m/s	m <sup>2</sup>	m	
93	625	90.63	95.79	95.89	0.00025306	1.40724	449.16	136.16	0.246964
92	625	90.50	95.7	95.86	0.00040759	1.80422	350.61	104.81	0.314273
91	625	90.42	95.59	95.83	0.00060205	2.26206	290.36	89.41	0.383968
80	625	90.14	94.37	95.66	0.00418095	5.05513	125.81	52.58	0.965498
89	625	90.06	94.41	95.38	0.00317621	4.3693	143.04	51.88	0.839896
88	625	89.98	93.9	95.17	0.00470105	4.98331	125.42	50.27	1.007026
87	625	89.85	94.16	94.49	0.00102017	2.51518	248.49	88.66	0.47955
86	625	89.81	94.23	94.41	0.00051485	1.83511	341.97	119.78	0.344912
85	625	89.72	94.26	94.37	0.00031072	1.47721	425.37	141.75	0.270478
84	625	89.52	94.22	94.35	0.0003663	1.5999	391.76	129.74	0.293468
83	625	89.35	94.17	94.33	0.00043779	1.74698	362.65	121.29	0.320685
82	625	89.23	94.05	94.29	0.00092759	2.15215	291.46	121.56	0.44806
81	625	89.01	93.91	94.22	0.0013071	2.4684	252.81	110.08	0.52732
80	625	88.87	93.91	94.15	0.00086908	2.12365	289.03	113.41	0.43581
79	625	88.70	93.94	94.1	0.00038761	1.79226	362.6	111.46	0.308576
78	625	88.50	93.92	94.08	0.00045786	1.7774	356.93	128.78	0.325817
77	625	88.43	93.93	94.05	0.00023193	1.50799	424.8	112.54	0.242659
76	625	88.12	93.95	94.03	0.00010835	1.19966	531.62	106.93	0.17182
75	625	87.84	93.93	94.02	0.00013781	1.30897	488.77	107.03	0.192407
74	625	87.66	93.83	94	0.00029451	1.84374	346.86	81.53	0.27847
73	625	87.51	92.3	93.83	0.00440907	5.68667	115.76	37.87	1.006968
72	625	87.47	91.57	93.51	0.00723619	6.17367	101.24	40.36	1.244344
71	625	87.33	91.87	93.1	0.00410971	5.06269	130.98	52.57	0.959145
70	625	87.28	89.69	92.54	0.02088922	7.48566	83.5	56.86	1.960571
69	625	87.15	90.85	91.33	0.00181823	3.08429	210.04	100.03	0.630271
68	625	87.13	90.97	91.21	0.00066289	2.23154	295.39	100.84	0.398346
67	625	87.06	90.86	91.16	0.00091699	2.48452	260.26	96.52	0.462289
66	625	86.84	90.85	91.1	0.0007636	2.33657	291.48	114.46	0.424747
65	625	86.76	90.84	91.06	0.00062892	2.14469	313.44	114.4	0.386187
64	625	86.52	90.76	91.02	0.0007338	2.3694	284.44	101.27	0.419666
63	625	86.59	90.75	90.97	0.00059894	2.23578	309.83	112.36	0.383024
62	625	86.60	90.67	90.94	0.00084435	2.35402	281.67	112.37	0.441952
61	625	86.36	90.01	90.8	0.00389846	4.12348	166.56	103.11	0.901801
60	625	86.38	88.81	90.4	0.01273745	5.71183	113.68	86.71	1.526821
59	625	86.28	88.98	89.81	0.00473722	4.11339	160.45	108.49	0.971052
58	625	86.06	89.28	89.5	0.00120362	2.13955	301.56	171.87	0.493399
57	625	86.01	89.14	89.43	0.00154296	2.41747	262.02	139.94	0.558356
56	625	85.88	89.17	89.33	0.00094987	1.80439	348.75	197.42	0.43268
55	625	85.72	89.17	89.28	0.0004992	1.49935	421.24	195.9	0.324605
54	625	85.74	89.16	89.26	0.0004034	1.38078	455.77	202.96	0.293534
53	625	85.65	89.16	89.23	0.00022342	1.18366	533.5	193.24	0.225964
52	625	85.34	89.05	89.21	0.00054208	1.80254	350.74	131.25	0.34993
51	625	85.17	88.97	89.17	0.00072405	2.05217	310.34	120.22	0.40307

50	625	85.00	88.78	89.11	0.00141645	2.5764	248.9	117.74	0.548258
49	625	84.88	88.65	89.03	0.00172204	2.76979	231.31	114.57	0.600316
48	625	84.78	87.99	88.84	0.00531234	4.09945	152.46	90.52	1.008263
47	625	84.60	88.11	88.48	0.00144952	2.71979	229.8	95.25	0.558934
46	625	84.42	87.67	88.34	0.00376684	3.64596	171.42	93.89	0.861274
45	625	84.30	87.83	88.13	0.00107889	2.45026	258.69	109.38	0.486816
44	625	84.12	87.58	88.02	0.00195904	2.97768	214.3	110.11	0.638719
43	625	83.98	87.52	87.89	0.00164498	2.69253	233.31	109.65	0.585651
42	625	83.89	87.49	87.79	0.00123027	2.49312	258.14	112.22	0.513446
41	625	83.76	87.42	87.72	0.00142426	2.50139	257.03	124.09	0.543901
40	625	83.56	87.36	87.64	0.00117233	2.34849	266.13	115.3	0.493425
39	625	83.45	87.42	87.57	0.00039435	1.71274	370.21	115.1	0.304671
38	625	83.10	87.41	87.55	0.00030739	1.66792	392.02	112.24	0.277953
37	625	83.00	87.27	87.43	0.00042233	1.86359	351.97	109.1	0.321868
36	625	82.72	87.3	87.4	0.00022193	1.47175	451.32	127.28	0.238362
35	625	82.62	87.3	87.38	0.00016913	1.30968	499.19	132.38	0.209044
34	625	82.48	87.3	87.37	0.00015197	1.25297	513.85	130.58	0.198662
33	625	82.21	87.19	87.35	0.0004025	1.80824	348.83	103.66	0.312853
32	625	82.16	86.52	87.25	0.00246603	3.79185	166.63	63.93	0.740032
31	625	81.87	86.65	87.07	0.00123756	2.90151	215.41	70.07	0.528225
30	625	81.66	86.77	86.97	0.00047365	1.9935	318.1	97.13	0.337474
29	625	81.47	86.77	86.94	0.00028969	1.83652	340.32	88.89	0.277029
28	625	81.37	86.77	86.92	0.00023696	1.78569	351.78	89.56	0.237089
27.4	Culvert								
27	625	81.28	86.77	86.91	0.00021487	1.68268	371.43	90.9	0.24296
26	625	81.28	86.8	86.88	0.00014674	1.27382	501.72	123.29	0.195503
25	625	81.18	86.79	86.87	0.00019631	1.33007	481.78	134.62	0.219912
24	625	81.01	86.55	86.8	0.00059263	2.29849	282.11	79.74	0.381625
23	625	80.89	86.49	86.77	0.00060118	2.34252	266.81	68.55	0.379004
22	625	80.67	86.36	86.72	0.00092343	2.68243	233	69.17	0.466515
21	625	80.34	86.48	86.64	0.00030034	1.81152	354.95	85.19	0.278871
20	625	80.28	86.51	86.61	0.00014542	1.43459	444.5	85.7	0.199644
19	625	80.15	86.49	86.6	0.00017528	1.51512	423.01	86.6	0.216754
18	625	80.03	86.15	86.56	0.00093039	2.89318	225.64	64.6	0.476661
17	625	79.82	86.28	86.46	0.00039342	1.91869	325.74	82.34	0.307926
16	625	79.80	86.28	86.42	0.00027993	1.69937	393.17	109.28	0.268665
15	625	79.72	86.26	86.4	0.00034415	1.64664	384.78	114.21	0.285581
14	625	79.60	86.26	86.36	0.0002064	1.35359	466.07	124.31	0.224708
13	625	79.40	86.28	86.34	0.00011515	1.1433	565.95	131.76	0.174789
12	625	79.10	86.27	86.33	0.00010148	1.08307	594.1	136.97	0.161903
11	625	78.97	86.15	86.31	0.00025896	1.78091	355.32	80.54	0.252407
10	625	78.76	84.7	86.15	0.00528583	5.33054	117.25	41.12	1.007629
9	625	78.59	82.02	85.46	0.02448886	8.20964	76.13	49.69	2.117126
8	625	78.40	84.13	84.47	0.00099524	2.60363	240.05	78.18	0.474298
7	625	78.13	83.22	84.31	0.00397119	4.62459	135.15	51.44	0.910696
6	625	77.94	83.51	84.01	0.00162779	3.13638	199.27	70.55	0.595693
5	625	77.61	83.38	83.92	0.00174869	3.2629	191.55	67.65	0.61898
4	625	77.45	83.65	83.77	0.00026524	1.54186	405.35	106.61	0.252401
3	625	76.30	83.56	83.75	0.00034747	1.92927	327.27	79.45	0.299215
2	625	77.10	83.11	83.55	0.00099272	3.09027	218.03	61.68	0.494552
1	625	76.90	81.16	82.46	0.00407574	5.15333	126.76	48.83	0.956653