



## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

**Option : CONCEPTION DES OUVRAGES HYDROTECHNIQUES**

**THEME :**

**ETUDE DE PROTECTION DU CENTRE URBAIN DE LA VILLE DE  
SEGHOUANE CONTRE LES CRUES D'OUED EL-HKOM**

**Présenté par :**

**TABOUZI ABDELMALEK.**

**Devant les membres du jury**

<b>Nom et Prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
A. HADJ SADOK	Professeur	Président
I.ZAIBAK	M.A.A	Examineur
M.BOUZIANE	M.A.A	Examineur
B. BENLAOUKLI	Professeur	Promoteur

**Session Novembre 2023**

## Dédicace :

Je présente humblement ce travail en signe d'appréciation, de respect et reconnaissance À mes chers parents, Merci pour votre soutien inébranlable et votre combat acharné pour moi. C'est grâce à vous que je suis la personne que je suis aujourd'hui, et je m'efforcerai de rester une source de fierté pour vous.

**Mon cher papa "MUSTAPHA"**

"Aujourd'hui, je vais devenir ingénieur et réaliser ton rêve, papa. Que Dieu ait pitié de toi."

## Remerciements :

“Avant de présenter le contenu de ce travail, je tiens à exprimer ma reconnaissance à Dieu le Tout-Puissant pour m'avoir accordé la force et le courage de parvenir là où je suis aujourd'hui. Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué à mon parcours éducatif”

“Je souhaite adresser mes sincères remerciements en premier lieu à mon promoteur, Mr. Benlaoukli, pour son précieux soutien, sa disponibilité constante, ses commentaires avisés et ses critiques constructives. Je tiens également à remercier l'ensemble des enseignants de l'École Nationale Supérieure d'Hydraulique (E.N.S.H) qui ont joué un rôle essentiel dans ma formation”

“Je tiens à exprimer ma gratitude et mon profond respect envers les membres du jury, qui ont accepté d'évaluer ce travail. Leur expertise et leur évaluation seront d'une grande valeur pour moi”

“Je tiens à dédier ce travail à ma chère mère, Fouzia, pour son amour indéfectible et son soutien inestimable qui m'ont toujours accompagné. Mes remerciements s'étendent à ma famille, à ma voisine Souhila, à mes amis spécialement Mounia et Bilel, pour leur soutien continu”

“Je tiens à remercier chaleureusement toutes les personnes à qui j'ai sollicité de l'aide pour mener à bien ce travail dans les meilleures conditions. Ma sincère gratitude leur est adressée”

“Que cette expression de gratitude soit le reflet de ma reconnaissance envers tous ceux qui ont contribué à mon parcours éducatif”

*Abdelmalek.*

## الملخص

تواجه المدن اليوم تحديات كبيرة في مواجهة مشكلة الفيضانات، وهي مسألة تؤثر بشكل يومي على حياة المواطنين والمصالح الاجتماعية والإدارية المختلفة. في هذا السياق، تمت دراسة منطقة حضرية تعاني من مشكلة الفيضانات في مدينة سغوان (حي الزمالة) بولاية المدية عبر تقدير تدفق مياه واد الحكم. ونظرًا لتصاعد هذه المشكلة، أصبح من الضروري وضع تخطيط فعال لتسيير مجرى الوادي، مما يستلزم اختيار التهيئة المناسبة للمجرى المائي المعني. باستخدام برنامج HEC-RAS، بدأنا بتقدير تدفق المشروع أولاً، ثم قدمنا محاكاة لمجرى الوادي على مدى مائة عام لتحديد المناطق المعرضة للفيضانات. في النهاية، تم مناقشة مجموعة من الحلول المتنوعة وتم اختيار الحل الأنسب من الناحية التقنية والاقتصادية.

**الكلمات المفتاحية:** مشكلة الفيضانات، مدينة سغوان، التقنية والاقتصادية

## Résumé

Aujourd'hui, les villes sont confrontées à d'énormes défis pour faire face au problème des inondations, un problème qui affecte quotidiennement la vie des citoyens ainsi que divers intérêts sociaux et administratifs. Dans ce contexte, une étude a été menée sur une zone urbaine souffrant de problèmes d'inondations dans la ville de Seghouane (quartier d'El Z'mala) dans la wilaya de Médéa en estimant le débit du cours d'eau El Hkom. En raison de l'aggravation de ce problème, il est devenu nécessaire d'élaborer une planification efficace pour la gestion du cours d'eau, ce qui nécessite le choix de l'aménagement approprié du cours d'eau en question.

En utilisant le logiciel **HEC-RAS**, nous avons commencé par estimer le débit du premier projet, puis nous avons effectué une simulation du cours d'eau sur une période de cent ans pour déterminer les zones exposées aux inondations. En fin de compte, nous avons discuté d'un ensemble de solutions diverses et avons choisi la solution la plus appropriée d'un point de vue technique et économique.

**Mots clés :** problème des inondations, la ville de Seghouane, technique et économique.

## Abstract

Today, cities face significant challenges in addressing the issue of flooding, which daily affects the lives of citizens and various social and administrative interests. In this context, a study was conducted on an urban area suffering from flooding issues in the city of Seghouane (Z'mala district) in the state of Medea by estimating the flow of Oued El-Hkom. Given the escalation of this problem, it has become essential to develop effective planning for managing the watercourse, which necessitates choosing the appropriate configuration for the watercourse.

Using the **HEC-RAS** software, we began by estimating the flow of the initial project, then we provided a simulation of the watercourse over a hundred years to determine flood-prone areas. In the end, a variety of solutions were discussed, and the most suitable solution was chosen from a technical and economic perspective.

**Key word:** the issue of flooding, the city of Seghouane, a technical and economic.

# Table des matières :

<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES INONDATIONS</b>	<b>2</b>
<b>I.1 INTRODUCTION</b>	<b>3</b>
<b>I.2 GENERALITES SUR LES INONDATIONS</b>	<b>3</b>
<b>I.3 DEFINITION</b>	<b>3</b>
I.3.1 Inondation	3
I.3.2 Crue	3
<b>I.4 Principaux paramètres nécessaires pour évaluer la catastrophe</b>	<b>4</b>
<b>I.5 MECANISMES DE L'INONDATION</b>	<b>4</b>
<b>I.6 Type d'inondations</b>	<b>5</b>
I.6.1 Les inondations par crues torrentielles	5
I.6.2 Les inondations par débordement direct (débordement des plaines)	5
I.6.3 Les inondations par accumulation d'eau ruisselée	6
I.6.4 Les inondations par rupture d'un ouvrage artificiel hydraulique	6
I.6.5 Les inondations par submersion marine	6
<b>I.7 LES CAUSES ET ORIGINES DES INONDATIONS</b>	<b>7</b>
<b>I.8 CONSEQUENCES ENGENDREES PAR LES INONDATIONS</b>	<b>7</b>
<b>I.9 LES INONDATIONS EN ALGERIE</b>	<b>8</b>
I.9.1 Causes et types de crues catastrophiques en Algérie	9
I.9.2 Historique des inondations catastrophiques en Algérie	10
<b>I.10 PROCEDES DE PROTECTION DES AGGLOMERATIONS CONTRE LES INONDATIONS</b>	<b>13</b>
<b>I.11 Conclusion</b>	<b>14</b>
<b>CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.</b>	<b>15</b>
<b>II.1 Introduction</b>	<b>16</b>
<b>II.2 PRESENTATION DU SITE</b>	<b>16</b>
<b>II.2.1 Présentation générale de la wilaya de Médéa</b>	<b>16</b>
II.2.1.1 Situation géographique	16
II.2.1.2 Morphologie	16
II.2.1.3 Climat	16
II.2.2 Les cartes de la wilaya de médéa	17
II.2.2.1 Carte de l'hydraulique	17

II.2.2.2 Carte des risques majeurs	18
II.2.2.3 Carte Des communes de la wilaya de Médéa	19
II.2.3 Inondations à la wilaya de Médéa	19
<b>II.3 Présentation de la zone d'étude</b>	<b>20</b>
II.3.1 Caractéristique morphologique	21
II.3.1.1 Sismicité	21
II.3.1.2 Géologie	21
II.3.1.3 Situation Démographique	22
II.3.2 Historique des inondations de la ville de Seghouane	23
<b>II.4 Conclusion</b>	<b>24</b>
<b>CHAPITRE III : ETUDE HYDROLOGIQUE</b>	<b>25</b>
<b>III.1 Introduction</b>	<b>26</b>
<b>III.2 Bassin versant</b>	<b>26</b>
III.2.1 Définition	26
III.2.2 Caractéristiques morphométriques du bassin versant	27
III.2.2.1 La surface	28
III.2.2.2 Le Périmètre	28
III.2.2.3 La longueur du thalweg principal	28
III.2.2.4 Indice de capacité de Gravilius	28
III.2.2.5 Rectangle équivalent	29
III.2.2.6 Le coefficient d'allongement	29
III.2.3 Le relief	29
III.2.3.1 Répartition et Courbe hypsométrique	30
III.2.3.2 Les altitudes Caractéristique	32
III.2.3.3 Les indices de pentes	32
III.2.3.3.1 Indice de pente globale <i>I<sub>g</sub></i>	32
III.2.3.3.2 Dénivelée spécifique <i>D<sub>s</sub></i>	32
III.2.3.3.3 La pente moyenne du cours d'eau principal	33
<b>III.3 Caractéristique hydrographique du bassin</b>	<b>33</b>
III.3.1 Densité de drainage ( <i>D<sub>d</sub></i> )	33
III.3.2 Temps de concentration du bassin versant <i>t<sub>c</sub></i>	33
III.3.2.1 Formule de GIANDOTTI	34
III.3.2.2 Formule de TURAZZA	34
III.3.2.3 Formule de VENTURA	34
III.3.2.4 Formule de SOKOLOVSKY	34
III.3.3 Vitesse de ruissèlement	35
<b>III.4 . Résultats de calcul des caractéristiques du bassin versant</b>	<b>35</b>
<b>III.5 CADRE CLIMATIQUE</b>	<b>36</b>
III.5.1 Température	36
III.5.2 Vent	37
III.5.3 Evaporations	38
III.5.4 Pluviométrie	39

III.5.4.1 Période de retour	39
III.5.4.2 Répartition mensuelle des pluies	39
III.5.4.3 Analyse statistique des Pluies maximales journalières	40
III.5.4.4 Ajustement de la série pluviométrique	42
III.5.4.4.1 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL	42
III.5.4.4.2 Ajustement des pluies maximales journalières à la loi LOG-NORMALE	44
III.5.4.4.3 Comparaison entre les lois d'ajustement	45
III.5.5 Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes Fréquences	46
<b>III.6 Etude des apports liquides</b>	<b>46</b>
III.6.1 Formule de SAMIE	46
III.6.2 Formule de DERI (I)	47
III.6.3 Formule de L'A.N.R.H (DERI II)	47
<b>III.7 Caractéristiques d'écoulement</b>	<b>47</b>
III.7.1 Module de d'écoulement (Me)	47
III.7.2 Module de l'écoulement relatif ou spécifique (Mo)	47
III.7.3 Lamme d'eau écoulée (Le)	48
III.7.4 Coefficient de d'écoulement (Ce)	48
III.7.5 Coefficient de variation (Cv)	48
III.7.5.1 Formule d'OURKGUIPROVODKHOZ	48
III.7.5.2 Formule de SOKOLOVSKY	48
III.7.5.3 Formule de L'ANTONOV	48
<b>III.8 Evaluation des apports solides</b>	<b>48</b>
III.8.1 Formule de TIXERONT	49
III.8.2 Méthode d'estimation au Nord algérien	49
<b>III.9 Etude des crues</b>	<b>49</b>
III.9.1 Formule de Turazza	50
III.9.2 Formule de Giandotti	50
III.9.3 Formule de Mallet-Gautier	50
<b>III.10 Hydrogramme de crue</b>	<b>51</b>
<b>III.11 Conclusion</b>	<b>54</b>
<b>CHAPITRE IV : MODÉLISATION DU COURS D'EAU</b>	<b>55</b>
<b>IV.1 INTRODUCTION</b>	<b>56</b>
<b>IV.2 Généralités et définitions</b>	<b>56</b>
IV.2.1 Rappel de quelques notions d'hydraulique	56
IV.2.2 Type d'écoulement	57
IV.2.3 Régime d'écoulement	59
<b>IV.3 Canaux à ciel ouvert</b>	<b>61</b>
<b>IV.4 Construction du modèle</b>	<b>62</b>
IV.4.1 Dispositif et outils informatiques utilisés	63
IV.4.2 ARCGIS	64

<b>IV.5 La morphométrie de sous bassin versant par L'ARCGIS</b>	<b>65</b>
IV.5.1 HEC-RAS	65
<b>IV.6 Application d'HEC-RAS sur un Oued</b>	<b>68</b>
IV.6.1 Résultat de la simulation	72
IV.6.1.1 Le profil en long	73
IV.6.1.2 Vue en trois dimensions du tronçon modélisé	73
IV.6.1.3 Restitution de la courbe de tarage	74
IV.6.1.4 Les profiles en travers	74
<b>IV.7 La cartographie du risque d'inondation</b>	<b>76</b>
IV.7.1 Caractéristique géométriques d'oued étudiée	77
IV.7.2 La carte de l'aléa inondation	77
<b>IV.8 Conclusion</b>	<b>81</b>
<b>CHAPITRE V : ÉTUDES DES VARIANTES D'AMÉNAGEMENT</b>	<b>82</b>
<b>V.1 Introduction</b>	<b>83</b>
<b>V.2 Principe d'aménagement</b>	<b>83</b>
V.2.1 Les différents types d'aménagements	83
V.2.1.1 Reprofilage	83
V.2.1.2 Curage	83
V.2.1.3 Protection des berges	83
V.2.1.4 Réalisation des canaux	83
V.2.2 Calcul hydraulique des canaux	83
V.2.2.1 Conditions de d'écoulement uniforme	83
V.2.2.2 Formules de calcul	84
V.2.3 Choix des paramètres de dimensionnement	85
V.2.4 Solutions d'aménagement de la ville Seghouane (cité z'mala) située le long de l'oued El-Hkom	86
V.2.5 Critères d'évaluation de la variante d'aménagement	88
<b>V.3 Aménagement proposé sur le territoire de la ville de Seghouane (cité z'mala)</b>	<b>89</b>
V.3.1 Première variante : Canal en béton armé	89
V.3.2 Deuxième variante : Canal en gabillon	92
V.3.3 Une notre variante : Le redimensionnement des ouvrages franchissement	98
V.3.3.1 Calcul de la capacité des ouvrages de franchissement	98
V.3.3.1.1 Calcul de la capacité de l'ouvrage N° 1	98
V.3.3.1.2 Calcul de la capacité de l'ouvrage N°2	103
<b>V.4 Conclusion</b>	<b>105</b>
<b>CHAPITRE VI : ORGANISATION DE CHANTIER</b>	<b>106</b>
<b>VI.1 Introduction</b>	<b>107</b>
<b>VI.2 Généralités</b>	<b>107</b>
VI.2.1 Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier	107
VI.2.1.1 Maître de l'ouvrage	107

VI.2.1.2 Maître de l'ouvre	107
VI.2.1.3 Entrepreneur	107
<b>VI.2.2 Travaux préparatoires et installation de l'entreprise</b>	<b>108</b>
VI.2.2.1 Installations destinées au personnel	108
VI.2.2.2 Installations destinées au stockage des matériaux	108
VI.2.2.3 Installations destinées à la réparation des engins	108
VI.2.2.4 Installation destinée pour la préfabrication	108
<b>VI.2.3 Les Moyens de chantier</b>	<b>108</b>
VI.2.3.1 Les moyens humains	108
VI.2.3.2 Les moyens matériels	108
<b>VI.2.4 Exécution des travaux</b>	<b>109</b>
VI.2.4.1 Moyens matériels du chantier	109
<b>VI.3 Devis quantitatif et estimatif de projet</b>	<b>110</b>
<b>VI.4 La Planification</b>	<b>111</b>
VI.4.1 Définition	111
VI.4.2 Techniques de la planification	111
VI.4.3 Différentes méthodes basées sur le réseau (BENLAOUKLI,2004)	112
VI.4.4 Les étapes de la planification	113
VI.4.5 Les paramètres de calcul dans la méthode C.P.M	113
VI.4.6 Diagramme de Gantt	114
<b>VI.5 Conclusion</b>	<b>118</b>
<b>Conclusion Générale</b>	<b>120</b>

## Liste des figures :

- FIGURE I.1** : Hyétogramme et hydrogramme résultant d'un évènement pluie-débit.
- FIGURE I.2** : Le débordement de cours d'eau (plaine et torrentielles).
- FIGURE I.3** : Les inondations par ruissellement.
- FIGURE I.4** : Les submersions marines.
- FIGURE I.5** : Inondation de bab-el-oued "Alger 2001.
- FIGURE I.6** : Crue de l'oued Mzab le 01 octobre 2008 à Ghardaïa.
- FIGURE I.7** : Les inondations de la wilaya d'el Bayadh.
- FIGURE I.8** : Les zones inondées dans la wilaya d'el Bayadh.
- FIGURE II.1** : Carte hydraulique de la wilaya de Médéa.
- FIGURE II.2** : Carte des risques majeurs de la wilaya de Médéa.
- FIGURE II.3** : Carte administrative de la wilaya de Médéa.
- FIGURE II.4** : Inondation dans la wilaya de Médéa.
- FIGURE II.5** : Communes limitrophes de Seghouane.
- FIGURE II.6** : Représentation de la commune Seghouane.
- FIGURE II.7** : Représentation de l'oued El-Hkom et la ville de Seghouane (Cité z'mala).
- FIGURE II.8** : Graphe d'évaluation de population des communes étudiées.
- FIGURE II.9** : Inondation de la commune Seghouane (Cité z'mala).
- FIGURE III.1** : Schéma de principe d'un bassin versant.
- FIGURE III.2** : Réseau hydrographique des bassins versant.
- FIGURE III.3** : Différents types des bv selon le coefficient de Gravilius Kc.
- FIGURE III.4** : Carte hypsométrique.
- FIGURE III.5** : Répartition des surfaces et courbe hypsométrique du bassin.
- FIGURE III.6** : Températures mensuelles moyennes sur la période 1974-2013(station ksar el-boukhari).
- FIGURE III.7** : Vitesse de vent mensuel moyen sur la période 1974-2012 (station ksar el-boukhari).
- FIGURE III.8** : Evaporations mensuelles sur la période 1974-2013 (station ksar el-boukhari).
- FIGURE III.9** : Distribution des pluies moyennes mensuelles de la station ksar el boukhari.
- FIGURE III.10** : Graphe de variation de la  $P_{Jmax}$ .
- FIGURE III.11** : Graphe d'ajustement de la série des pluies maximales journalière à la loi de Gumbel.
- FIGURE III.12** : Graphe d'ajustement de la série des pluies maximales journalières à la loi Log-Normale.
- FIGURE III.13** : Représentation graphique de l'ajustement des lois.
- FIGURE III.14** : Hydrogramme de crue du bassin versant.
- FIGURE IV.1** : Coupe transversale d'un canal naturel.
- FIGURE IV.2** : Écoulement permanent.
- FIGURE IV.3** : Écoulement non permanent.
- FIGURE IV.4** : Variabilité des écoulements dans l'espace.

**FIGURE IV.5** : Schéma représentant les différents régimes d'écoulements.

**FIGURE IV.6** : Canaux artificiels.

**FIGURE IV.7** : Organigramme de travail.

**FIGURE IV.8** : Représentation schématique du dispositif informatique utilisé.

**FIGURE IV.9** : Composant d'un SIG.

**FIGURE IV.10** : Etape de création de la géométrie sous Arc-GIS.

**FIGURE IV.11**: Profil en travers d'une section d'oued Seghouane.

**FIGURE IV.12** : Tin (réseau irrégulier triangule) de l'oued El-Hkom.

**FIGURE IV.13** : Introduction du fichier terrain et du fichier de projection dans ras mapper.

**FIGURE IV.14** : Définition du tracé de l'oued El-Hkom et des sections en travers de l'oued.

**FIGURE IV.15** : Introduction du débit correspondant à 100 ans et 50 ans et 10 ans.

**FIGURE IV.16** : Introduction des valeurs de Manning pour le fond et les berges.

**FIGURE IV.17** : Profil en long du cours d'eau à l'état naturel pour une crue centennale.

**FIGURE IV.18** : Vue en 3d de l'oued.

**FIGURE IV.19** : Courbe de tarage du tronçon modélisé d'oued El-Hkom.

**FIGURE IV.20** : Profiles en travers.

**FIGURE IV.21** : Profiles en travers.

**FIGURE IV.22** : Profiles en travers.

**FIGURE IV.23** : Les lits mineur et majeur de cours d'eau oued El-Hkom.

**FIGURE IV.24** : Image satellitaire des surfaces inondées pour un débit de crue décennale.

**FIGURE IV.25** : Image satellitaire des surfaces inondées pour un débit de crue centennale.

**FIGURE IV.26** : La hauteur d'eau dans le cours d'eau El-Hkom, t 10 ans.

**FIGURE IV.27** : La hauteur d'eau dans le cours d'eau El-Hkom, t 100 ans.

**FIGURE V.1** : Eléments géométriques pour des sections ouvertes diverses.

**FIGURE V.2** : Coupe en travers d'un canal en gabion.

**FIGURE V.3** : Les dimensions du canal trapézoïdal.

**FIGURE V.4** : Les profils en travers d'un canal trapézoïdale pour une crue centennale.

**FIGURE V.5** : Les profils en travers d'un canal en gabion pour une crue centennale.

**FIGURE V.6** : Les sections du variante d'aménagement proposée.

**FIGURE V.7** : Une section en fond en terre et berge en gabionnage propose pour oued El-Hkom.

**FIGURE V.8** : Situation des ouvrages de franchissement.

**FIGURE V.9** : Les débits des ponceaux circulaires.

**FIGURE V.10** : Les dimensions de l'ouvrage de franchissement n°1.

**FIGURE V.11** : Ouvrage de franchissement n°1.

**FIGURE V.12** : Les résultats de simulation.

**FIGURE V.13** : Ouvrage N°1.

**FIGURE V.14** : Schéma de l'ouvrage propose.

**FIGURE V.15** : Schéma du comparaison entre l'ouvrage propose et l'ouvrage existant.

**FIGURE V.16** : Les résultats de simulation.

**FIGURE V.17** : Schéma de l'ouvrage °2.

**FIGURE V.18 :** Ouvrage de franchissement N°2.

**FIGURE V.19 :** Les résultats de simulation.

**FIGURE V.20 :** Les résultats de simulation.

**FIGURE VI.1 :** Réseau de planification des tâches avec la méthode CPM.

**FIGURE VI.2 :** Diagramme de Gantt pour la variante du gabionnage.

## Liste des tableaux :

- TABLEAU I.1** : Conséquences des inondations.
- TABLEAU I.2** : Historique des inondations catastrophiques en Algérie.
- TABLEAU II.1** : Caractéristiques climatiques.
- TABLEAU II.2** : Répartition des servitudes.
- TABLEAU II.3** : Croissance de la population de Seghouane et cite z'mala.
- TABLEAU III.1** : Paramètres morphométriques du bassin versant.
- TABLEAU III.2** : Coordonnées de la courbe hypsométrique.
- TABLEAU III.3** : Les altitudes caractéristiques.
- TABLEAU III.4** : Classification office de la recherche scientifique et technique outre-mer Orstom (Ds).
- TABLEAU III.5** : Temps de concentration du bassin versant.
- TABLEAU III.6** : Récapitulatif des caractéristiques du bassin versant.
- TABLEAU III.7** : Caractéristiques géographiques de la station pluviométrique ksar el boukhari.
- TABLEAU III.8** : Températures mensuelles moyennes sur la période 1994-2013(station ksar el-boukhari).
- TABLEAU III.9** : Les moyennes mensuelles de la vitesse des vents sur la période 1974-2014(station ksar el-boukhari).
- TABLEAU III.10** : Evaporations mensuelles sur la période 1974-2013 (station ksar el-boukhari)
- TABLEAU III.11** : Répartition mensuelle de la pluviométrie.
- TABLEAU III.12** : Pluie maximales journalière (1970-2015).
- TABLEAU III.13** : Caractéristique de la série de données avec  $n = 46$  ans.
- TABLEAU III.14** : Résultat de l'ajustement à la loi Gumbel.
- TABLEAU III.15** : Résultat de l'ajustement à la loi log-normale.
- TABLEAU III.16** : Résultats de test d'adéquation khi 2 des lois d'ajustement.
- TABLEAU III.17** : Résultats d'ajustement à la loi log normal.
- TABLEAU III.18** : Pluies de courtes durées au temps de concentration pour différentes périodes de retour.
- TABLEAU III.19** : Intensités des pluies de courtes durées au temps de concentration.
- TABLEAU III.20** : Récapitulatif des formules apports moyens annuels.
- TABLEAU III.21** : Récapitulatif des formules empiriques.
- TABLEAU III.22** : Coefficient de ruissellement.
- TABLEAU III.23** : Valeurs des débits de crue ( $m^3/s$ ) pour le bassin versant par différentes méthodes de calcul.
- TABLEAU III.24** : Valeurs des débits de crue choisies.
- TABLEAU III.25** : Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue.
- TABLEAU III.26** : Caractéristiques de l'hydrogramme de crue du bassin versant.
- TABLEAU III.27** : Calcul de l'hydrogramme de crue pour le bassin versant.
- TABLEAU IV.1** : Principaux paramètres hydrauliques pour l'ensemble des stations.
- TABLEAU V.1** : Les valeurs du coefficient de rugosité 'n'.
- TABLEAU V.2** : Revanches utilisées.
- TABLEAU V.3** : Valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés.
- TABLEAU V.4** : Paramètres du canal en béton section a.

**TABLEAU V.5** : Paramètres du canal en béton section b.

**TABLEAU V.6** : Paramètres du canal en béton section c.

**TABLEAU V.7** : Résultats de la simulation d'écoulement d'un canal trapézoïdale en béton armé.

**TABLEAU V.8** : Devis de la variante canal en béton armé.

**TABLEAU V.9** : Résultats de calcul des nombres de caisses pour la section N°a.

**TABLEAU V.10** : Résultats de calcul des nombres de caisses pour la section N°b.

**TABLEAU V.11** : Résultats de calcul des nombres de caisses pour la section N°c.

**TABLEAU V.12** : Nombre des caisses.

**TABLEAU V.13** : Résultats de la simulation d'écoulement d'un canal gabionne.

**TABLEAU V.14** : Devis de la variante (canal en gabion).

**TABLEAU VI.1** : Les engins utilisées.

**TABLEAU VI.2** : Devis total du projet.

**TABLEAU VI.3** : Liste des opérations avec leurs durées pour la réalisation d'un canal en gabion.

**TABLEAU VI.4** : Succession des taches de réalisation du canal en gabion.

## Liste des planches

**Planche N°1** : Profil en travers du Oued El-Hkom.

**Planche N°2** : Profil en long du Oued El-Hkom.

**Planche N°3** : Plan d'aménagement.

**Planche N°4** : Vue en 3D du Oued El-Hkom aménagé.

# Liste des abréviations

A : Surface ( $m^2$ ) ;

ANRH : Agence National des Ressources Hydriques ;

BV : Bassin Versant ;

Ca : Coefficient d'allongement ;

Cp : Coefficient de pointe ;

DCP : date de commencement au plus tôt ;

DCPP : date de commencement au plus tard. DFP : date de finition au plus tôt ;

Dd : Densité de drainage  $Km/Km^2$  ;

DFPP : date de finition au plus tard ;

Ds : le transport solide en ( $t/Km^2/an$ ) ;

F : Nombre de Froude ;

HEC-RAS : Hydrologic Engineering Centres River Analysis System ;

Ic : Pente moyenne du cours d'eau (%) ;

$K_c$  : Indice de compacité ;

Le : Lamme d'eau écoulée (mm)

MNT : Modèle Numérique de Terrain ;

n : Coefficient de rugosité de Manning ;

P: Périmètre (Km);

P.E.R.T: Program Evaluation and Review Technical;

Pj.max : Pluie maximal journalière (mm) ;

PPRI : Plan de prévention du risque d'inondation ;

$Q_{max}$  : Débit maximal de la crues ( $m^3/s$ ) ;

$Q_{moy}$  : Débit moyen de la crues ( $m^3/s$ ) ;

R : Rayon hydraulique (m) ;

SIG : Système d'Information Géographique ;

Sm : Surface mouillée ( $Km^2$ )

Ta : désigne la dégradation spécifique en ( $T /Km^2/an$ ) ;

$T_c$  : Temps de concentration (heures) ;

TIN : Triangulated Irregular Network ;

$T_r$  : temps de réalisation ;

$V_r$  : Vitesse de ruissellement  $m^2/s$  ;

1D : Unidimensionnel ;

2D : Bidimensionnel.

# Outils de travail

## **ArcGIS :**

ArcGIS est une suite de logiciels d'information géographique (SIG) élaborée par la société américaine ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc.). ArcGIS se compose de trois composants essentiels :

- **ArcMap** : Ce logiciel permet la manipulation et l'édition de fichiers au format géodatabase, favorisant ainsi la gestion avancée des données géospatiales.
- **ArcCatalog** : Cet outil est dédié à la gestion des données, offrant une capacité d'exploration avancée des objets édités. Il s'appuie sur un système de gestion de base de données (SGBD) pour fournir une vision complète des données géographiques.
- **ArcToolbox** : Il englobe une variété d'outils destinés à la transformation des données géospatiales, facilitant ainsi la manipulation et l'analyse avancée de ces informations.

## **Autocad :**

Il s'agit d'un logiciel de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) développé par Autodesk.

## **HEC-RAS :**

HEC-RAS représente un logiciel spécialisé en analyse hydraulique conçu pour la modélisation des écoulements à surface libre dans les canaux naturels et artificiels, tout en prenant en considération les ouvrages de franchissement. Il offre la capacité de simuler les écoulements graduellement variés en régime transitoire, et de réaliser des calculs de lignes d'eau en régime dynamique en prenant en compte la simulation des divers obstacles présents le long du cours d'eau (HEC-RAS, 2019).

## **HYFRAN :**

La calibration des fonctions de distribution est effectuée en utilisant le logiciel Hyfran, développé par l'Institut national de la recherche scientifique - Centre Eau Terre Environnement (INRSETE), tel que décrit par (Bobée et al). En 1999. Le critère d'information bayésien est employé pour identifier la distribution qui correspond le plus adéquatement aux données sous investigation.

## **GANTT :**

Le logiciel Gantt est un outil précieux dans la gestion de projet. Il tire son nom de Henry L. Gantt, un ingénieur américain qui a contribué à son développement au début du 20e siècle. Ce logiciel permet de créer des diagrammes de Gantt, qui sont des représentations visuelles des tâches d'un projet, disposées sur une échelle de temps. Chaque tâche est représentée par une barre horizontale, dont la longueur indique sa durée, et leur emplacement sur le graphique montre leur séquence chronologique. Les logiciels Gantt modernes offrent des fonctionnalités avancées telles que la planification des ressources, le suivi des progrès, et la gestion des dépendances entre les tâches, ce qui en fait un outil essentiel pour la planification et le suivi de projets de toutes tailles et de toutes natures.

# INTRODUCTION GENERALE

En Algérie, la gestion des inondations est devenue de plus en plus complexe en raison de la prolifération de constructions d'ouvrages et d'aménagements, ainsi que de l'implantation de résidences permanentes le long des rives des cours d'eau. Cette urbanisation accrue a considérablement augmenté le risque lié aux crues exceptionnelles. De surcroît, le manque de connaissances en matière d'hydrologie fluviale a entraîné la construction dans des zones inondables, permettant à de nombreux citoyens de s'installer en permanence sur des plaines inondables et d'obtenir des droits acquis en vertu des lois et règlements ultérieurs.

Certaines inondations ont provoqué des dégâts humains et matériels potentiellement catastrophiques, en particulier dans les zones urbaines. Par conséquent, il est impératif de mettre en place des aménagements visant à atténuer ces dégâts, en gardant à l'esprit que le risque zéro est inatteignable. Ce processus requiert une approche interdisciplinaire, impliquant des experts tels que les hydrologues, les hydrauliciens, les urbanistes et les gestionnaires de la ville.

Oued El-Hkom, situé dans la ville de Seghouane, au sud de la Wilaya de Médéa, est régulièrement sujet à des inondations. Il constitue la principale menace d'inondation pour la ville. Le débordement du cours d'eau se produit lorsque le débit d'eau pendant une inondation dépasse la capacité intrinsèque du cours d'eau.

Le présent projet vise à concevoir une infrastructure de protection pour la ville de Seghouane et la cité de Z'mala, dans le but de la préserver des crues de l'oued Hkom qui traverse la ville. Pour atteindre cet objectif, nous avons mis en œuvre un modèle de simulation numérique HEC-RAS pour évaluer les caractéristiques hydrauliques de l'écoulement. Le document est structuré en cinq chapitres.

# **CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES INONDATIONS**

## I.1 INTRODUCTION

Les plus fortes crues des cours d'eau (des Oueds) de l'Algérie se manifestent en automne et en hiver à cause des orages et des averses intenses (**B. TOUAIBIA ; Mars 2004**). Ces événements météorologiques, caractérisés par une brève durée (de quelques minutes à quelques heures), donnent lieu à des crues puissantes entraînant des inondations catastrophiques. Les dommages humains et matériels associés à ces crues demeurent systématiquement considérables. Ainsi, l'historique des inondations en Algérie révèle que près d'un tiers des communes du pays sont susceptibles de subir des inondations.

Dans ce premier chapitre, nous introduirons des concepts hydrologiques fondamentaux liés au risque d'inondation. Il est impératif d'aborder de manière approfondie les définitions scientifiques de termes tels que "crue", "inondation", et autres. Nous explorerons également l'historique des inondations en Algérie, mettant en évidence la fréquence et l'ampleur de ces phénomènes dévastateurs.

## I.2 GENERALITES SUR LES INONDATIONS

Les inondations représentent un phénomène naturel dévastateur qui impacte diverses nations à travers le globe. Elles résultent d'une multitude de déterminants et se voient exacerbées par des influences anthropiques, fréquemment intégrées parmi lesdits déterminants. Les conséquences induites par cette calamité, tant sur le plan humain que matériel, présentent en général des statistiques alarmantes.

## I.3 DEFINITION

### I.3.1 Inondation:

Une inondation est une submersion temporaire d'une zone habituellement sèche, par des eaux douces (fortes pluies, débordements de rivières, etc.) ou salées (submersion marine, tsunami, etc.). Elle peut être un phénomène régulier ou catastrophique et peut se produire lentement ou très rapidement selon les conditions topographiques et météorologiques de la zone affectée. L'inondation est issue de nombreux facteurs dont le plus répandu dans le monde est les crues.

### I.3.2 Crue:

Une crue est une augmentation rapide et temporaire du débit d'un cours d'eau. Elle est caractérisée par quatre paramètres :

- Le débit.
- La hauteur d'eau.
- La vitesse d'écoulement.
- La durée.

#### ❖ **Éléments descriptive d'une crue :**

Une crue est décrite par quatre éléments, qui sont :

- ✚ **Temps de concentration** : durée nécessaire à la goutte d'eau tombée au point le plus éloigné du bassin pour atteindre l'exutoire.
- ✚ **Pointe de crue** : puissance de la crue et durée de la période critique.
- ✚ **Courbe de tarissement** : retour de la rivière au niveau antérieur à la crue.

- ✚ **Fréquence de retour** : une crue centennale à chaque année, une chance sur cent (1/100) de se produire.

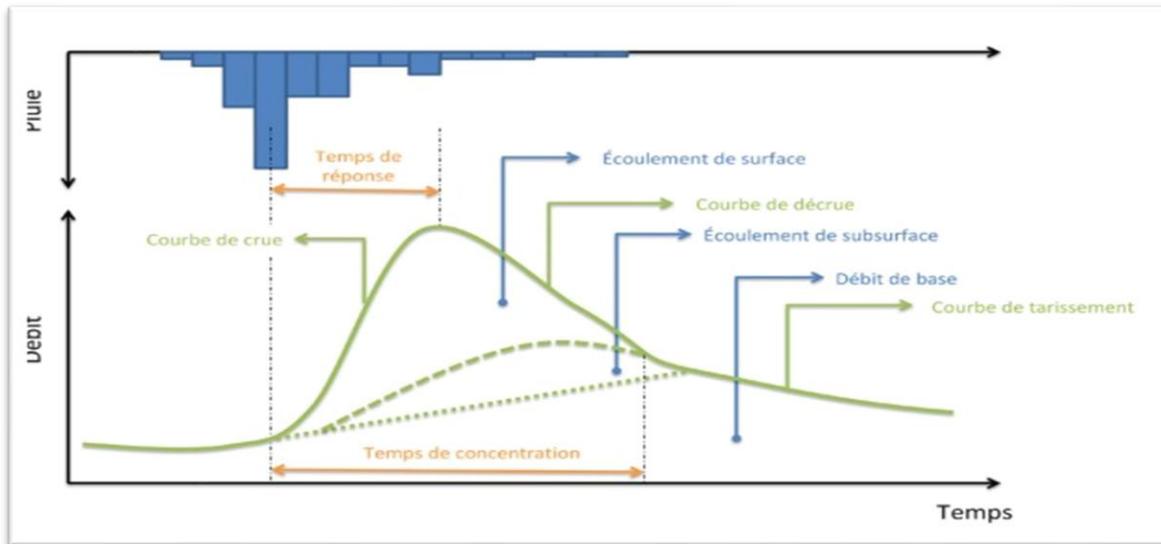


Figure I.1 : Hyétogramme et hydrogramme résultant d'un événement pluie-débit (D'après A. Musy).

#### I.4 Principaux paramètres nécessaires pour évaluer la catastrophe

- La périodicité de l'occurrence des crues.
- Les dimensions verticales et la période de maintien de l'engorgement.
- La vitesse du débit.
- La caractéristique torrentielle du cours hydrique.

La potentialité d'initiation d'un phénomène d'inondation dépend de multiples paramètres additionnels, à titre d'illustration : la distribution spatiale et temporelle des précipitations par rapport au bassin versant, les processus d'évaporation et d'évapotranspiration végétale, l'infiltration et l'absorption dans le sol, ainsi que le ruissellement, entre autres.

Les dommages infligés par les inondations sont assujettis aux éléments suivants :

- L'amplitude de la submersion.
- La durée d'immersion.
- Les vitesses de l'écoulement.
- Le volume de matériau solide en transport.
- L'érosion des berges.

#### I.5 MECANISMES DE L'INONDATION

Les inondations sont affectées par divers paramètres physiques, dont :

- Les précipitations et leur régularité.
- La topographie du terrain.
- Les dimensions du bassin versant.
- La capacité d'infiltration des sols.

Les éléments potentiels de la vulnérabilité aux inondations comprennent :

- L'anthropisation et la couverture du sol.

- L'aménagement du territoire.
- La défaillance de l'entretien des cours d'eau.

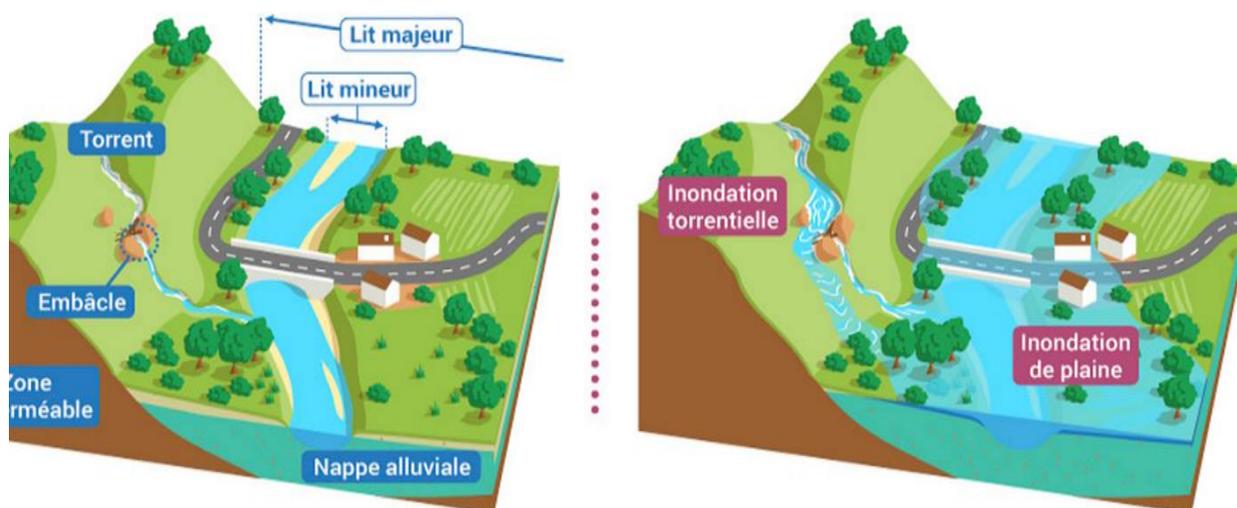
## I.6 Type d'inondations

Il existe au moins cinq types d'inondations :

### I.6.1 Les inondations par crues torrentielles :

Les crues torrentielles représentent indubitablement des événements subits et violents qui surviennent généralement en réponse à des épisodes de précipitations d'une intensité considérable. Elles se distinguent par un écoulement rapide de ces eaux, accompagné d'un transport substantiel de matériaux solides tels que des sédiments et des débris ligneux. Dans certaines portions du cours d'eau, ces matériaux ont la potentialité de provoquer des obstructions, formant ainsi des embâcles. Lorsque ces embâcles cèdent, ils déclenchent une libération subite des eaux qu'ils retenaient, engendrant ainsi d'importants dommages.

Ces crues affectent principalement les bassins montagneux et les zones méditerranéennes, en raison de leurs précipitations intensives et de leurs caractéristiques géographiques inhérentes. Cependant, même de petits bassins présentant un relief prononcé et une capacité de ruissellement substantielle peuvent être exposés à des crues torrentielles. En conséquence, il revêt une grande importance de mettre en place des mesures préventives et d'alerte pour atténuer les risques associés à ces phénomènes naturels dévastateurs.



**Figure I.2** : Le débordement de cours d'eau (plaine et torrentielles). (Source : eaufrance.fr) .

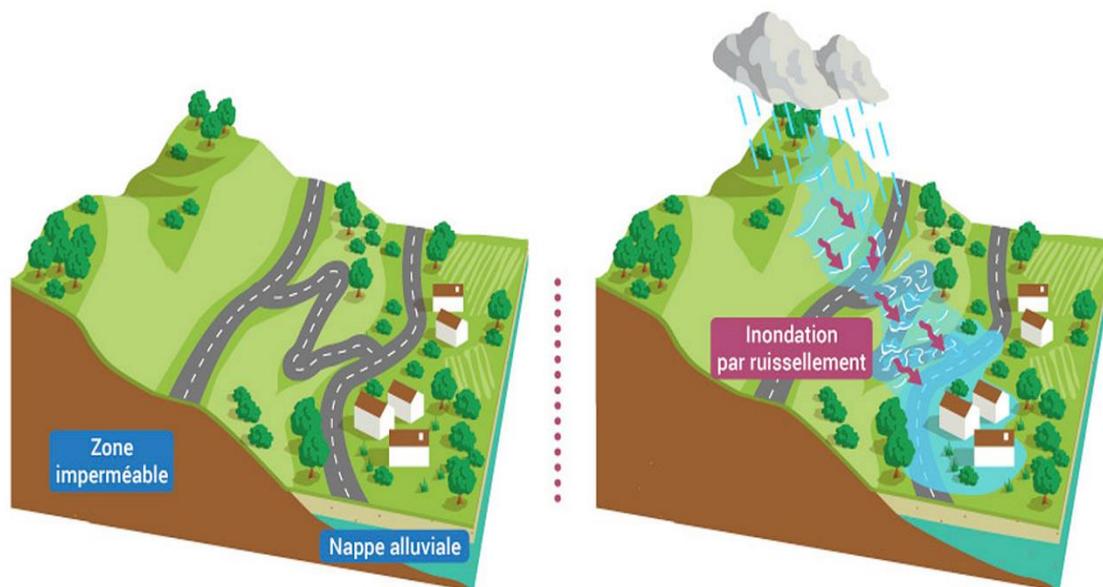
### I.6.2 Les inondations par débordement directe (débordement des plaines) :

Les inondations de plaine émergent de la persistance d'épisodes pluvieux de longue durée et d'intensité modérée. Le sol, récepteur de ces précipitations, se distingue par une capacité de ruissellement limitée, caractérisée par une lente activation. Lorsque l'accumulation d'eau dépasse cette capacité, le cours d'eau débordé de son lit mineur, provoquant l'expansion de l'écoulement vers les zones environnantes.

### I.6.3 Les inondations par accumulation d'eau ruisselée :

Les inondations se produisent en raison d'une intensification des précipitations, notamment des averses exceptionnelles ou des orages violents, qui surpassent la capacité d'infiltration du sol (capacité d'infiltration insuffisante) ainsi que la capacité du système de drainage local à éliminer rapidement l'excédent d'eau (capacité de drainage insuffisante). Cette insuffisance découle principalement de deux facteurs :

- ✓ Dans certains cas, l'intensité des précipitations excède la perméabilité du sol, ce qui entraîne une accumulation d'eau à la surface.
- ✓ Dans d'autres situations, le ruissellement se produit sur un sol déjà saturé par une nappe phréatique, ce qui limite sa capacité à absorber davantage d'eau.



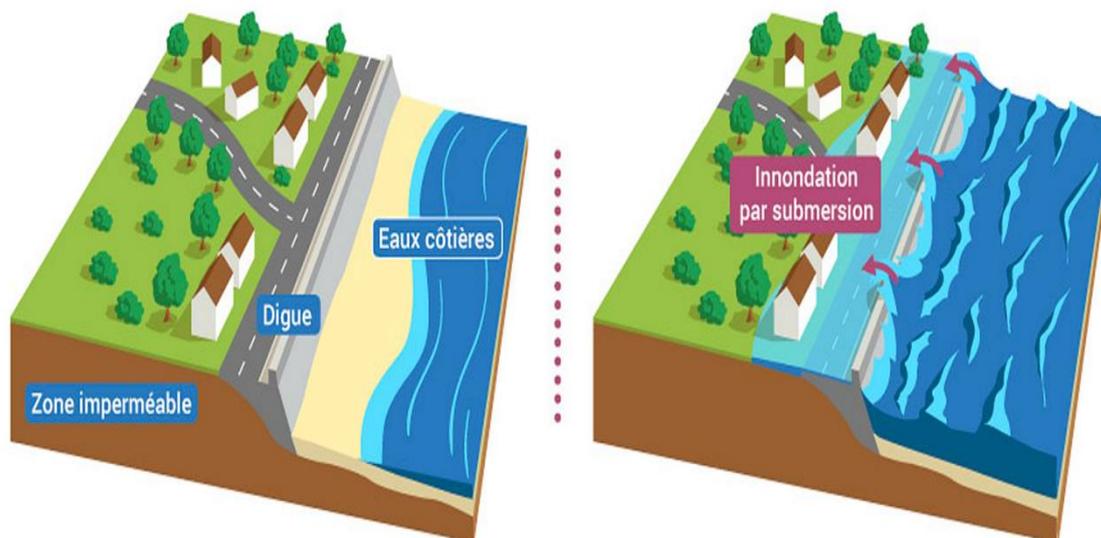
**Figure I.3 :** Les inondations par ruissellement. (Source : eaufrance.fr).

### I.6.4 Les inondations par rupture d'un ouvrage artificiel hydraulique :

Les inondations provoquées par la défaillance d'une structure constituent des événements subits et extrêmement périlleux. Cette rupture déclenche la libération brusque d'une quantité considérable d'eau, accompagnée d'une force destructrice dévastatrice, entraînant des dommages incommensurables tant en termes de pertes matérielles que de vies humaines. La prédiction de la défaillance d'une structure demeure une tâche complexe, ce qui rend la prévention de cette catastrophe encore plus difficile.

### I.6.5 Les inondations par submersion marine :

Une submersion marine se manifeste comme une inondation éphémère des zones littorales, découlant de l'infiltration transitoire d'eau saline en provenance de la mer adjacente. Cette occurrence se déclenche en réponse à des conditions météorologiques ou océanographiques exceptionnelles, notamment une marée haute d'amplitude particulièrement élevée, un phénomène de surcote, ou encore une élévation substantielle du niveau de la mer due à la fonte significative des calottes glaciaires.



**Figure I.4** : Les submersions marines. (Source : eaufrance.fr).

## I.7 LES CAUSES ET ORIGINES DES INONDATIONS

Les inondations sont le résultat de multiples facteurs, parmi lesquels on peut citer :

- + Causes d'origine naturelle : Elles englobent les phénomènes météorologiques et climatiques tels que les précipitations exceptionnelles, les orages violents, les pluies torrentielles, la fonte des neiges, etc.
  - + Causes d'origine humaine directe : Ces causes se manifestent par la modification du système fluvial des cours d'eau ou de leurs caractéristiques morphologiques, comme la largeur, la longueur et la pente, résultant de la construction d'ouvrages hydrauliques, du drainage, de l'irrigation, de la dégradation des sols et de l'agriculture intensive. Ces activités accélèrent le ruissellement des eaux de surface et limitent l'infiltration dans le sol.
  - + Causes d'origine humaine indirecte : Elles sont étroitement liées à la pollution et au réchauffement climatique, qui ont altéré les conditions climatiques mondiales. Les émissions de gaz à effet de serre ont provoqué la fonte des glaciers aux pôles (nord et sud), entraînant ainsi l'élévation du niveau des océans et des cours d'eau, ainsi que la formation de cyclones d'intensité notable.
- Ces facteurs, tant d'origine naturelle qu'anthropique, contribuent de manière complexe à l'occurrence des inondations.

## I.8 CONSEQUENCES ENGENDREES PAR LES INONDATIONS

Les inondations affectent pratiquement l'ensemble des nations du globe, manifestant des influences singulièrement diversifiées. L'aléa associé à ces phénomènes engendre des répercussions substantielles sur divers pans de la société, engendrant des perturbations significatives dans les domaines de la santé et de la vie, du tissu socio-économique, ainsi que dans le cadre environnemental.

Tableau I.1 : Conséquences des inondations.

Secteurs	Conséquences
Santé et la vie	Le risque de maladies féco-orales et transmettent des agents pathogènes tels que le paludisme
	La fièvre jaune ou le choléra
	Blessures physiques
	La leptospirose
	La dengue
Environnement	Domages aux terres agricoles
	La population
	Nuisant aux animaux et aux humains
Socio-économique	La perte de grandes quantités de biens matériels
	Baisse d'emploi à long terme
	Menace le développement des villes et des villages
	Migration
	Pertes financières

## I.9 LES INONDATIONS EN ALGERIE

L'Algérie, tout comme la plupart des autres nations à travers le monde, fait périodiquement face à des phénomènes de crues et d'inondations, qui se manifestent de manière catastrophique, constituant ainsi une contrainte majeure pour les activités humaines et un obstacle au développement économique et social. Plusieurs régions du pays sont régulièrement exposées à ces catastrophes naturelles, dont les impacts sont souvent exacerbés par divers facteurs qui agissent en synergie pour aggraver les conséquences des crues.

Ces événements dramatiques entraînent fréquemment des bilans lourds en termes de pertes humaines et matérielles. Cependant, il est important de noter que ces inondations ne sont pas toujours provoquées par des conditions météorologiques exceptionnelles et surviennent fréquemment dans de nombreuses régions à la suite de précipitations saisonnières ordinaires. Les causes de telles inondations sont principalement attribuables aux activités humaines, parmi lesquelles on peut citer :

- L'urbanisation non planifiée et la colonisation des rives des cours d'eau.
  - Les insuffisances des systèmes d'assainissement et de drainage des eaux de pluie.
  - L'accumulation de débris et de déchets contribuant à l'obstruction des oueds, provoquant ainsi leur gonflement.
- Ces facteurs d'origine anthropique sont en grande partie responsables des inondations dévastatrices observées en Algérie et nécessitent une gestion appropriée pour atténuer les risques associés à ces phénomènes naturels.

### I.9.1 Causes et types de crues catastrophiques en Algérie :

L'émergence des crues majeures et leurs répercussions sur l'écosystème et les activités humaines varient en fonction des conditions géographiques, climatiques et de l'utilisation des terres qui caractérisent chaque région. Bien que la cause principale de la plupart des inondations soit l'abondance des précipitations, toutes ne sont pas attribuables à des événements météorologiques exceptionnels. D'autres facteurs, indépendants des conditions climatiques, peuvent soit exacerber les effets d'une crue, soit engendrer des phénomènes hydrauliques sur les surfaces d'eau, tels que l'accumulation de débris et de troncs d'arbres, ce qui réduit la capacité des lits des cours d'eau, entre autres.

De manière générale, les causes des inondations en Algérie peuvent être classées en trois catégories distinctes :

- Inondations liées aux phénomènes météorologiques exceptionnels, se manifestant par une intensité pluviométrique élevée (précipitations abondantes et violents orages).
- Inondations résultant de l'impact des activités humaines, notamment des problèmes liés au défaut des systèmes de drainage et de collecte des eaux de pluie, ainsi que l'encombrement des cours d'eau par des déchets, des débris et des troncs d'arbres, entre autres.
- Inondations se produisant dans des zones à topographie défavorable, comme les villes traversées par des cours d'eau (comme Seghouane et Ksar El Boukhari) ou situées en contrebas de montagnes (comme Médéa). Ces agglomérations, caractérisées par une densité de population élevée et une urbanisation désordonnée, sont particulièrement exposées aux risques d'inondation, même en cas de pluie légère.

Ces inondations peuvent être classées en deux types, en fonction de leurs caractéristiques, de leur durée et de leur étendue :

- ❑ **Inondations résultant de crues torrentielles (ou éclair)**, qui touchent de petits bassins versants de quelques dizaines de kilomètres carrés. Elles sont souvent associées à des précipitations localisées et intensives, principalement dues à des phénomènes de convection liés à des tempêtes orageuses survenant en automne et en été. Ces crues sont particulièrement dangereuses en raison de leur brusquerie et de leur rapidité. Les ruissellements peuvent se produire en moins d'une heure après les pluies, provoquant une augmentation spectaculaire des débits des cours d'eau, passant de quelques mètres cubes par seconde à des milliers de mètres cubes par seconde en seulement 2 ou 3 heures.
- ❑ **Inondations résultant de crues dans de vastes bassins versants**, qui découlent de précipitations abondantes et généralisées sur de vastes étendues et se caractérisent par leur quantité et leur durée, pouvant aller jusqu'à 10 à 15 jours. Ces crues sont massives, se déroulent lentement et sont relativement prévisibles, sauf lorsque des affluents plus courts et plus rapides en aval viennent brusquement les aggraver.

## I.9.2 Historique des inondations catastrophiques en Algérie :

Dans ce qui suit un bref aperçu, par ordre chronologique, des inondations survenues en Algérie au cours de ces quarante dernières années, de 1970 à 2011.

**Tableau I.2 :** Historique des inondations catastrophiques en Algérie. (Source : Journal El-Watan).

<b>22 Octobre 1971</b>	Fortes pluies orageuses localisées à Azazga (pluie journalière de 182.6 mm).
<b>27 au 29 Mars 1973</b>	Pluies exceptionnelles généralisées à l'est algérien (pluie journalière de 165.2 mm enregistrée à Annaba) provoquant des inondations catastrophiques dans plusieurs wilayas de l'est du pays.
<b>22 au 31 Mars 1974</b>	Pluies exceptionnelles dans les wilayas d'Alger et Tizi Ouzou (688 mm en 4 jours et 331 mm en 1 journée au col de sakamody).
<b>01 Septembre 1980</b>	Pluies orageuses violentes localisées sur un rayon de 15 km à la ville d'El Eulma provoquant des crues catastrophiques de l'Oued Djehadi.
<b>22 Août 1983</b>	Pluies orageuses très violentes à Birrine (Wilaya de Djelfa) inondant la commune à 50%.
<b>03 Février 1984</b>	Pluies abondantes généralisées sur l'ensemble de l'Est Algérien avec un foyer de maximum sur les monts de Constantine (120 mm en 3 jours) et les monts de la Medjerda (80 mm en 3 jours) ont provoqués des inondations catastrophiques dans toutes les wilayas de l'Est.
<b>29 Décembre au 01 janvier 1985</b>	Pluies exceptionnelles (plus de 250 mm en 04 jours et 195 mm en 01 journée) Généralisées sur toute la région de l'Est Algérien provoquant des inondations très catastrophiques dans les wilayas de : Jijel, Constantine, Skikda, Guelma, Annaba et El Tarf.
<b>05 juillet 1987</b>	Pluies orageuses très violentes à Batna (pluie journalière de 57 mm).
<b>15 juin 1989</b>	Pluies diluviennes Tairt (orage violent d'une durée de 15 minutes).
<b>01 septembre 1989</b>	Fortes chutes de pluies à Biskra accompagnées de grêles et d'un vent d'une rare violence engendrant le débordement des oueds Al Arab, El Mellah et El Kheddra.
<b>21 Septembre 1989</b>	Fortes pluies orageuses à M'Silla (la commune de Sidi Aïssa est particulièrement touchée).
<b>11 octobre 1989</b>	Fortes pluies orageuses à El Taraf.
<b>15 octobre 1989</b>	Orage très intense s'abat sur la ville d'Ain defla.
<b>26-27 janvier 1992</b>	Fortes pluies généralisées du 24 au 28 janvier 1992 sur plusieurs wilayas du centre du pays, engendrant des inondations catastrophiques aux wilayas : blida, Alger, Chlef, Ain defla, Médéa, etc.
<b>20 octobre 1993</b>	Pluies orageuses intenses à la ville de Oued R'hiou causant des crues violentes d'oued grigra (petit cours d'eau situé en amont de la ville d'oued R'hiou).
<b>23 septembre 1994</b>	Inondations catastrophiques dans plusieurs régions du pays le plus touchées sont : Bordj Bou Arreridj, Msila, Djelfa, Médéa, Bouira, Ain Defla et Tiaret.
<b>29 September au 02 October 1994</b>	Inondations catastrophiques dans les régions suivantes : Ghardaïa, Laghouat, Biskra, Mascara, Tissemsilt, Sidi Bel Abbes.
<b>05 October 1994</b>	Pluies orageuses dans la wilaya d'Oum El Bouaghi provoquant d'immenses dégâts à la région de Bir El Hanchir.
<b>04 Avril 1996</b>	Inondations catastrophiques dans les wilayas d'Annaba et El Tarf.

<b>05 October 1998</b>	Pluies diluviennes et inondations catastrophiques dans la wilaya de Djelfa.
<b>14 Janvier 1999</b>	Fortes chutes de pluies à l'ouest du Sahara (74 mm à Adrar) provoquant de graves inondations.
<b>23 Octobre 2000</b>	Pluies torrentielles à la wilaya de Naama engendrant des inondations catastrophiques aux régions de Ain Sefra et Mechria.
<b>10/11 November 2001</b>	Pluies diluviennes s'abattent sur Alger et inonde la région de Bab El Oued.
<b>01 October 2008</b>	Pluies violentes localisées à Gharda'ia faisant dangereusement monter le niveau de l'eau dans les cours d'eau.
<b>01-02 October 2011</b>	De fortes inondations frappent la ville d'El Bayadh par débordement de l'Oued Deffa.

❖ **11 Novembre 2001 :**

- Pluies diluviennes s'abattent sur Alger et inonde la région de Bab El Oued.
- Dégâts :
  - 733 morts et 30000 sinistrés.
  - Dégâts matériels importants.



**Figure I. 5 :** Inondation de BAB-EL-OUED "ALGER 2001 (Source : Journal El Moudjahid).

❖ **01 Octobre 2008 :**

- Pluies violentes localisées à Ghardaïa faisant dangereusement monter le niveau de l'eau dans les cours d'eau.
- Dégâts :
  - Plus de 33 morts, 84 blessés et près de 600 habitations détruites.



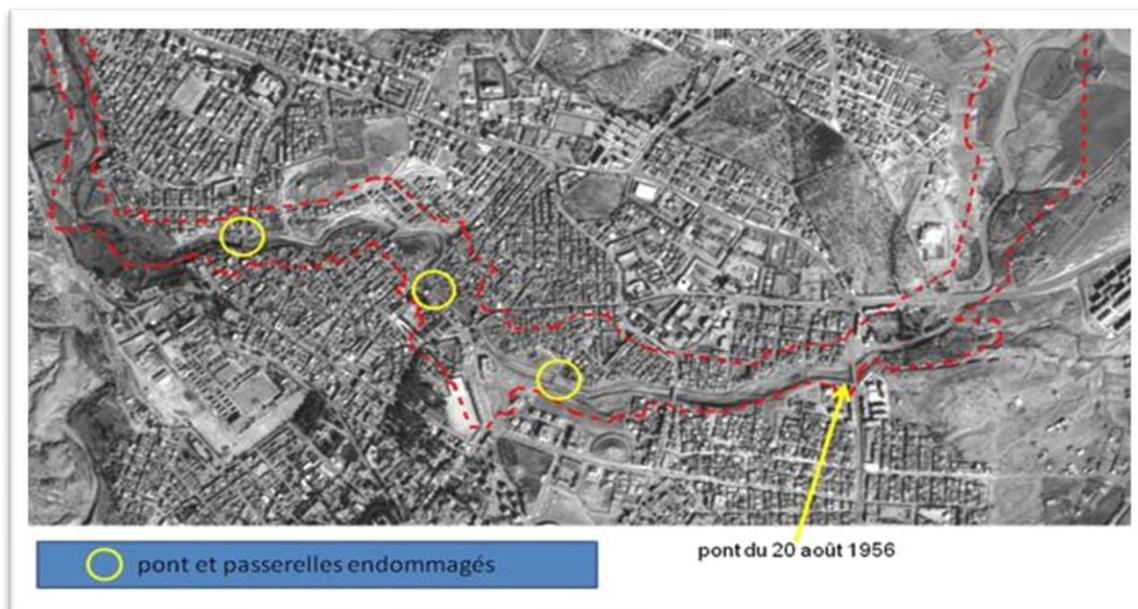
**Figure I.6 :** Crue de l'Oued Mzab le 01 octobre 2008 à Ghardaïa  
(Source : journal EL-WATAN).

❖ **01-02 Octobre 2011 :**

- De fortes inondations frappent la ville d'El Bayadh par débordement de l'Oued Deffa.
- Dégâts :  
13 morts, 400 familles sinistrées et des dégâts matériels importants.



**Figure I.7 :** Les inondations de la wilaya d'el Bayadh (Source : Journal El-Watan).



**Figure I.8** : Les zones inondées dans la wilaya d'el Bayadh. (Source : l'Agence Spatiale Algérienne « ASAL »).

- ✓ La délimitation (ligne rouge en pointillé) de la zone inondée superposée sur une image Alsat-2A à 2.5 m de résolution. Les cercles en jaune circonscrivent des traces d'impacts de l'inondation sur les infrastructures (pont et passerelle).

## I.10 PROCÉDES DE PROTECTION DES AGGLOMERATIONS CONTRE LES INONDATIONS

- Il existe au moins treize types de procédés visant à protéger les agglomérations contre les inondations, parmi lesquels nous pouvons mentionner les suivants :
  1. Réaménagement des réseaux d'assainissement.
  2. Endiguement des cours d'eau.
  3. Reboisement des zones riveraines.
  4. Réaménagement des ouvrages hydrauliques.
  5. Optimisation des systèmes de drainage des eaux.
  6. Aménagement de zones d'expansion des crues.
  7. Construction de bassins de rétention.
  8. Installation de barrages et de digues.
  9. Mise en place de canaux de dérivation.
  10. Utilisation de pompes de drainage.
  11. Élaboration de plans d'urgence.
  12. Surveillance et prévision des crues.
  13. Sensibilisation et éducation des populations riveraines.
- Ces méthodes scientifiques et techniques peuvent être mises en œuvre de manière intégrée pour réduire les risques d'inondation dans les zones urbanisées.

### **I.11 Conclusion**

Une crue hydrologique se caractérise par une augmentation anormale du débit dans le lit d'un cours d'eau, et sa force présente une variabilité significative dans l'espace et le temps. Les répercussions de ces phénomènes dans un contexte environnemental naturel demeurent relativement limitées. Cependant, en milieu urbain, il s'avère complexe de prédire avec certitude l'ampleur des dommages humains et matériels qui peuvent découler des inondations qui en résultent.

Cette problématique revêt une complexité particulière en matière de gestion. La protection des agglomérations contre ce type de catastrophe requiert la mobilisation de plusieurs disciplines afin d'approfondir l'analyse des différents paramètres contribuant à leur formation, ainsi que pour identifier des solutions appropriées.

**CHAPITRE II : Présentation de la zone  
d'étude.**

## II.1 Introduction:

Le but central de ce chapitre est d'effectuer une analyse approfondie de notre zone d'étude en recueillant une diversité d'informations essentielles. Cette approche vise à éclairer les différentes facettes de la région de Seghouane et à établir une base solide pour comprendre la problématique émergente.

## II.2 PRESENTATION DU SITE

### II.2.1 Présentation générale de la wilaya de Médéa :

#### II.2.1.1 Situation géographique:

Médéa se trouve à une distance de 90 kilomètres au sud-ouest de la capitale, Alger. Sa position géographique centrale lui confère un rôle stratégique en assurant une liaison essentielle entre la région côtière et celle des hauts plateaux. De plus, Médéa est avantageusement située à proximité de centres urbains majeurs tels qu'Alger et Blida, ce qui renforce encore davantage son emplacement privilégié.

Administrativement la wilaya de Médéa est limitée par :

- Au Nord par la wilaya de Blida.
- Au Sud par la wilaya de Djelfa
- A l'Ouest par la wilaya de Ain Defla et de Tissemsilt
- A l'Est par la wilaya de Bouira et Msila.

Médéa est desservie par 2 routes principales :

- La route nationale 1 vers Blida au Nord (par les gorges du Chiffa), qui rejoint l'autoroute A1 vers Alger ; vers la cote et le Sahara au sud.
- La route nationale 18 vers Khemis Miliana à l'Ouest.

#### FICHE TECHNIQUE DE MEDEA :

- 1- SUPERFICIE : 8740 km<sup>2</sup>
- 2- POPULATION : 861.204 habitants
- 3- DENSITE : 154 hab/km<sup>2</sup>
- 4- CHEF-LIEU WILAYA : MEDEA
- 5- CHEF-LIEU DIARA : MEDEA
- 6- CHEF-LIEU COMMUNE : MEDEA
- 7- NOMBRE DE DIARA : 19
- 8- NOMBRE DE COMMUNE : 64

#### II.2.1.2 Morphologie:

Le plateau présente une légère inclinaison vers le sud et son sommet s'élève à une altitude de 920 mètres au-dessus du niveau de la mer. Il est encerclé par des collines au nord-est, dont les altitudes varient entre 25 et 60 mètres, et est traversé par de petits cours d'eau.

La région de Médéa est caractérisée par un relief très accidenté, avec des terrains plats, en particulier au sud, où l'on observe des glissements de terrain.

#### II.2.1.3 Climat:

Le climat de MEDEA est Méditerranéen et Montagnard elle appartient à l'étage bioclimatique subhumide avec des hivers froids et des Etés chauds, La pluviométrie est caractérisée par son intensité et son irrégularité, La moyenne des températures entre les mois les plus froids et les mois les plus chauds varie entre 6,45° et 24,6°.

**Tableau II.1** : Caractéristiques climatiques.

(Source : Service statistique de la commune de Médéa).

	Printemps	Eté	Automne	Hiver
Températures C°	15/24	24/42	10/15	-2/10
Pluies (mm)	La Moyenne annuelle des précipitations 800 mm.			
Neige	Période de neige entre fin décembre et janvier de 15 jours dépends de chaque année.			
Vents	Parfois le sirocco en printemps, En été les vents de sud qui sont chaud, et les vents de nord en hiver.			

## II.2.2 Les cartes de la wilaya de médéa :

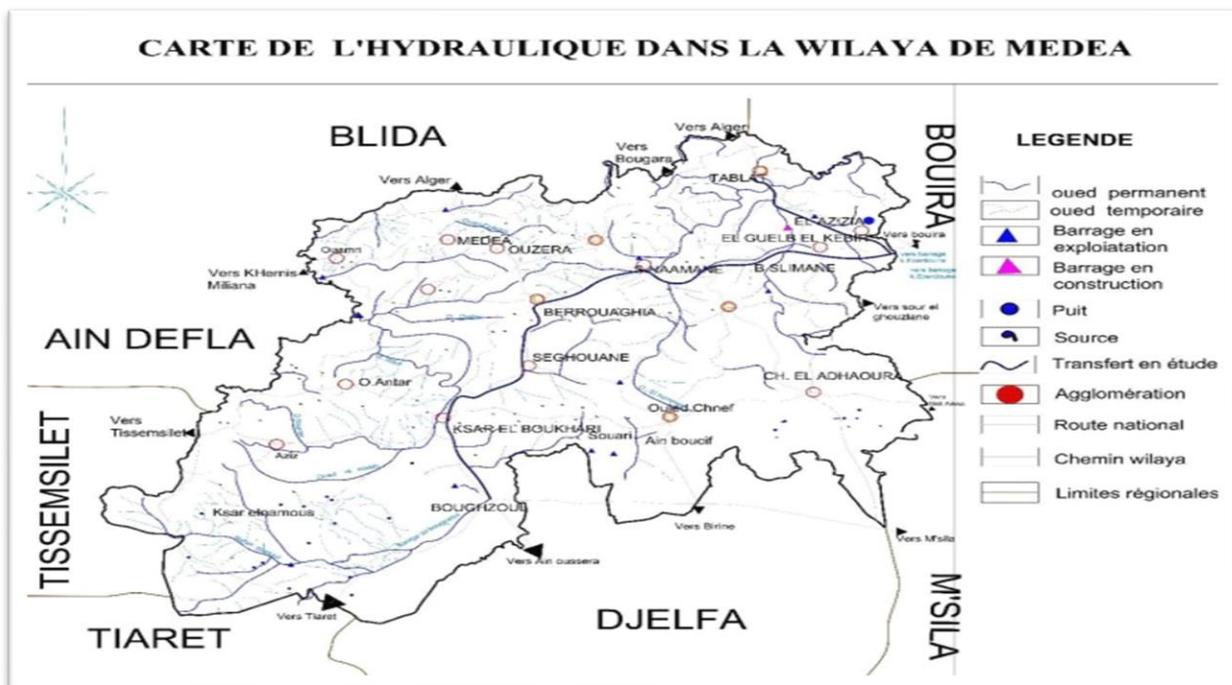
### II.2.2.1 Carte de l'hydraulique:

#### Synthèse de la carte de l'hydraulique :

Le réseau hydraulique de la région comprend plusieurs ouvrages hydrauliques d'importance significative, parmi lesquels se distinguent le barrage de Boughzoul et le barrage d'Omaria, ainsi que 21 petits barrages et 10 retenues collinaires.

Divers usages sont associés à ce réseau hydraulique :

- Les barrages ont pour principale vocation l'approvisionnement en eau potable et industrielle, ainsi que l'irrigation.
- Les retenues collinaires sont spécifiquement conçues pour l'irrigation et jouent également un rôle crucial dans certaines régions du Sud de la Wilaya en matière d'abreuvement du cheptel et de prévention des incendies.
- Les prises au fil d'eau sont exclusivement dédiées à l'irrigation.
- Les sources sont exploitées dans la Wilaya de Médéa, principalement à des fins d'irrigation.



**Figure II.1** : Carte hydraulique de la wilaya de Médéa.  
(Source : agence nationale des ressources hydrauliques).

### II.2.2.2 Carte des risques majeurs:

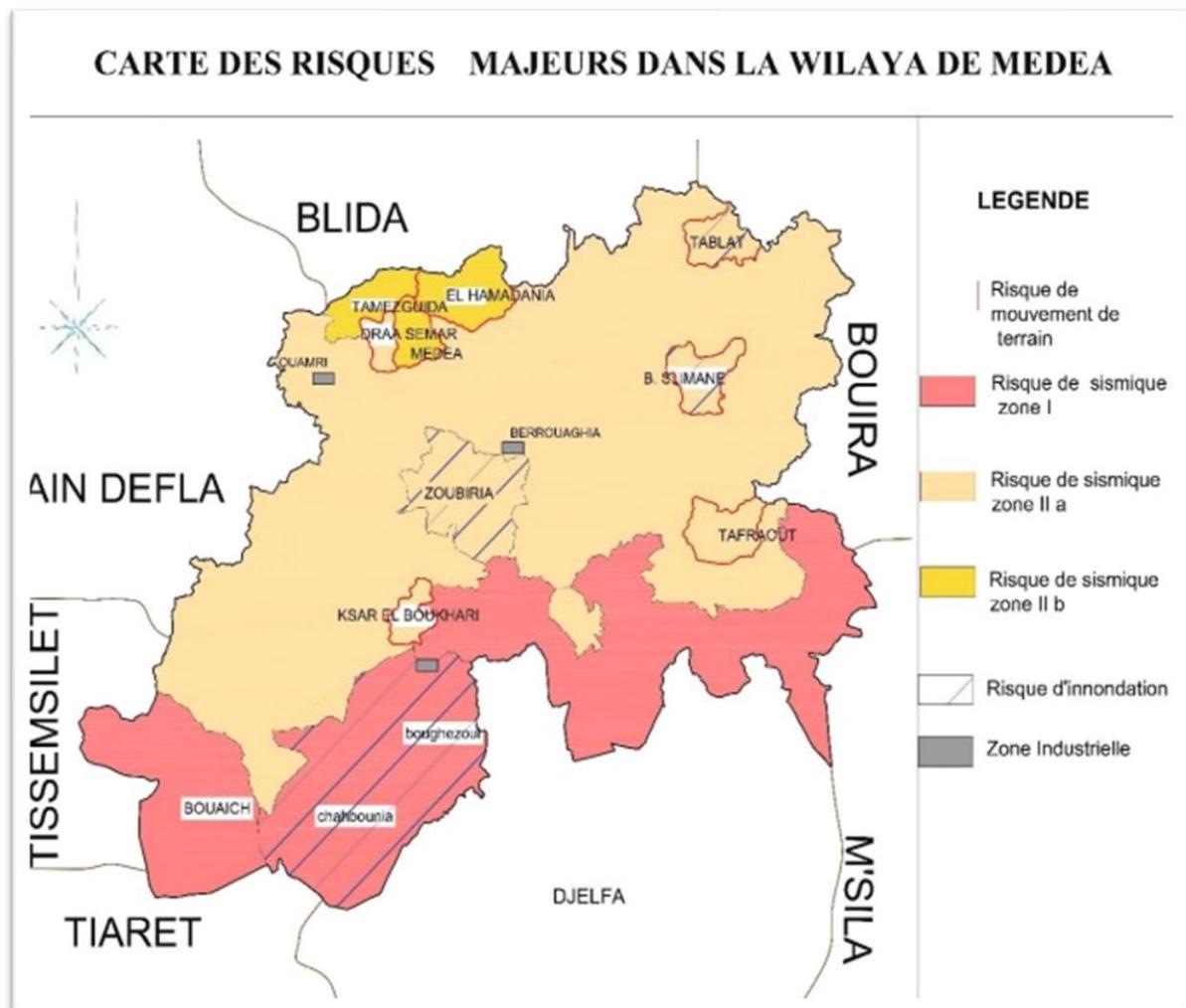
#### Synthèse de la carte des risques majeurs :

De nombreux risques sont engendrés par l'activité humaine, tels que la déforestation d'un bassin versant, les modifications des pratiques agricoles, l'imperméabilisation d'une région due à l'urbanisation et la canalisation d'un cours d'eau, augmentant ainsi le risque d'inondation.

En ce qui concerne les risques naturels, nous pouvons distinguer les éléments suivants :

- Sismicité : Les zones I présentent une sismicité faible, tandis que les zones IIa et II<sub>b</sub> affichent une sismicité moyenne.
- Risques de mouvements de terrain : Des exemples de cas de mouvements de terrain ont été observés dans les régions de Médéa, Tablat, Bouaiche Ksar el Boukhari, Beni Slimane et El Hamdania.
- Risques d'inondation : Des zones sujettes aux risques d'inondation comprennent Boughzoul, Beni Slimane, Chahbounia, Tablat, Seghouane et Ksar el Boukhari.

Il est essentiel de prendre en compte ces facteurs pour une gestion appropriée des risques naturels et anthropiques afin de prévenir les catastrophes et protéger les populations et les infrastructures.



**Figure II.2 :** Carte des risques majeurs de la wilaya de Médéa.

(Source : Plan d'aménagement de la wilaya Médéa).



- ✚ Deux personnes sont décédées suite à des inondations qui ont touché lundi soir plusieurs localités de l'est de la wilaya de Médéa.
- ✚ Ainsi, les victimes, un quinquagénaire et une fille de treize (13) ans, ont trouvé la mort à Beni-Slimane, peut-on lire dans un bilan provisoire de la protection civile. Outre cette commune cinq autres villes voisines ont été durement affectées par la furie des eaux. A savoir : Bouskène, Sidi-Naamane, El-Azzizia, El-Omaria et Souagui.
- ✚ Des dégâts matériels importants sont signalés au niveau de ces communes où plusieurs véhicules ont été endommagés.

### II.3 Présentation de la zone d'étude

La ville de Seghouane est située dans le tell central algérien à 124 km au sud d'Alger, 48 km au sud-est de Médéa, à 28 km au sud-est de Berrouaghia et à 21 km au nord de ksar el Boukhari, elle s'étend sur une surface de 75 km<sup>2</sup>. La ville de Seghouane est limitée du point de vue administratif par :

- ✓ Au nord : la ville de Zoubiria.
- ✓ Au sud : la ville de M'ftha.
- ✓ A l'est : la commune de Tlata des douairs.
- ✓ A l'ouest : la commune de Moudjbar.

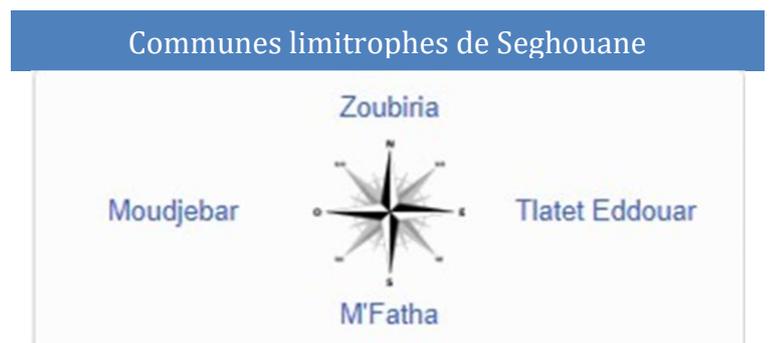


Figure II.5 : Communes limitrophes de Seghouane.

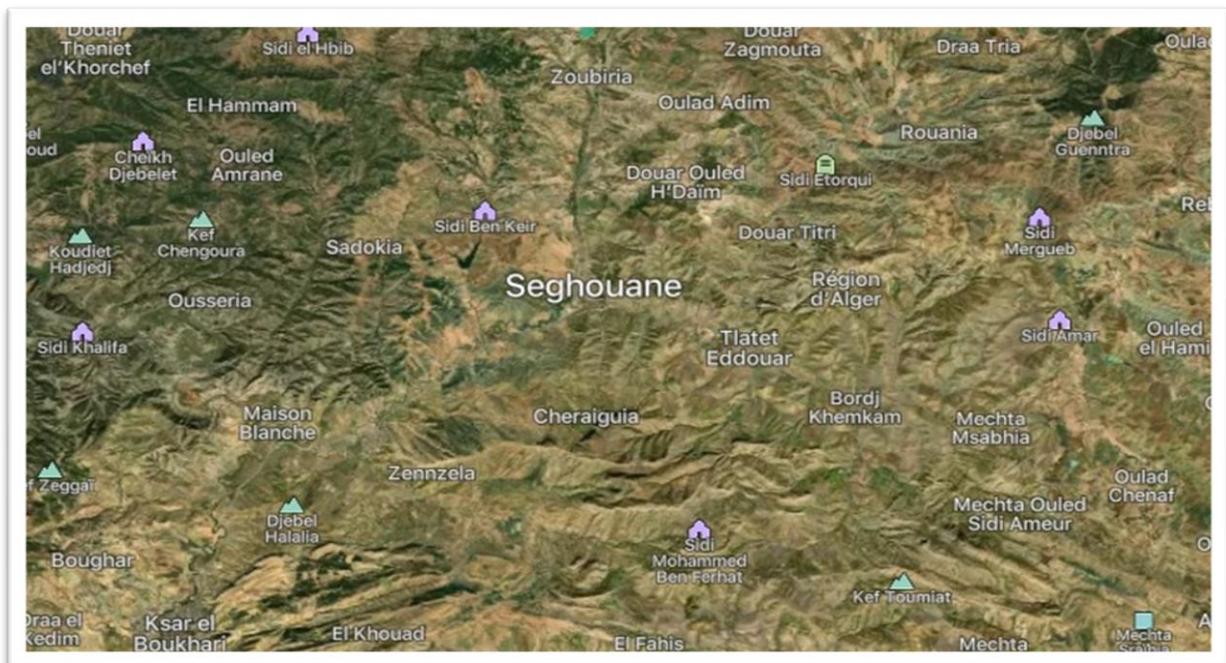


Figure II.6 : Représentation de la commune Seghouane (Source : Google Earth).



**Figure II.7 :** Représentation de l'oued El-Hkom et la ville de Seghouane (cité z'mala) (Source : Google Earth).

### II.3.1 Caractéristique morphologique:

#### II.3.1.1 Sismicité:

La région Tellienne est un espace tectoniquement complexe à vulnérabilité sismique naturelle élevée. Cette sismicité est liée aux mouvements tectoniques complexes de convergence de la plaque africaine au sud et de la plaque eurasiennne au nord. La tectonique de compression qui en découle génère de nombreuses failles actives dont l'interaction peut générer des séismes. La zone de Seghouane est classée en zone sismique II<sub>a</sub> (moyenne sismicité).

(Voir la **Figure I.11**).

#### II.3.1.2 Géologie:

Les sols de la commune appartiennent à la zone crétacée de Berrouaghia. D'après la carte géologique, l'aire d'intervention est divisée comme suit :

- Les fonds d'Oueds présentent des alluvions limoneuses formées d'argile, de limon et de matières organiques et végétales.
- Les alluvions récentes charriées par les Oueds, constituées par des éboulis et par des sables fins, (des terrasses anciennes éloignées de 20 m par rapport aux Oueds subsistent avec une composition sableuse et graveleuse avec des végétales à la base.
- Les marnes grises très sensibles à l'érosion, par l'effet du ruissellement diffus et constituant la quasi-totalité des terrains de la commune.

On observe la présence notable de dépôts de sel et de chlorure de sodium, déplacés par les eaux d'infiltration et remontant à la surface sous forme d'efflorescences. Il convient de noter que la commune de SEGHOUANE est soumise à des aléas naturels liés aux glissements de terrain, principalement constatés à la limite Sud-Est de son territoire, lesquels ont des

répercussions sur plusieurs structures constructives. De plus, on observe l'existence d'une servitude de zone inondable le long du principal Oued traversant la commune.

L'ensemble de ces contraintes géologiques couvre une superficie totale d'environ 627.04 hectares, répartie comme suit :

**Tableau II.2 :** Répartition des servitudes.

(Source : Révision du PDAU de la commune de Seghouane).

TERRAINS INNONDABLES	RISQUE TECHNOLOGIQUE	ZONES DE GLISSEMENT
396.44 ha	1 ha	229.10 ha
22.25%	9.71%	68.02%

#### Interprétation :

- ❖ Les "risques technologiques" émanent de contingences intrinsèquement liées à l'activité humaine, notamment dans les domaines des risques industriels, nucléaires et biologiques. Ils prennent leur genèse dans la manipulation, le transport ou le stockage de substances présentant des dangers avérés pour la santé humaine ou l'intégrité de l'environnement.
- ❖ Les "zones de glissement" se réfèrent à des régions spécifiques où des phénomènes de glissement de terrain peuvent se produire. Ces zones sont caractérisées par des mouvements de terrain descendant le long d'une surface inclinée en réponse à divers facteurs, tels que la saturation du sol, les conditions géologiques, les changements climatiques, ou des activités humaines.
- ❖ Les "terrains inondables" désignent des zones géographiques susceptibles de subir des inondations périodiques en raison de leur proximité avec des cours d'eau, des lacs, des zones humides ou d'autres sources d'eau. Ces terrains sont vulnérables aux crues, aux pluies abondantes ou à d'autres événements météorologiques extrêmes, ce qui peut entraîner une montée rapide du niveau de l'eau et submerger la zone.

#### II.3.1.3 Situation Démographique:

D'après PDAU de la commune Seghouane 2010, le taux d'accroissement est de 1.8 %. La population par localités est calculée par rapport à l'horizon 2050 c'est-à-dire 31 ans par la relation :

$$P_N = P_0 (1+T)^N$$

$P_N$  : population à l'horizon.

$P_0$  : population à l'année 2023.

$T$  : taux d'accroissement démographique,  $T = 1.8\%$  ;( source : DHW Médéa).

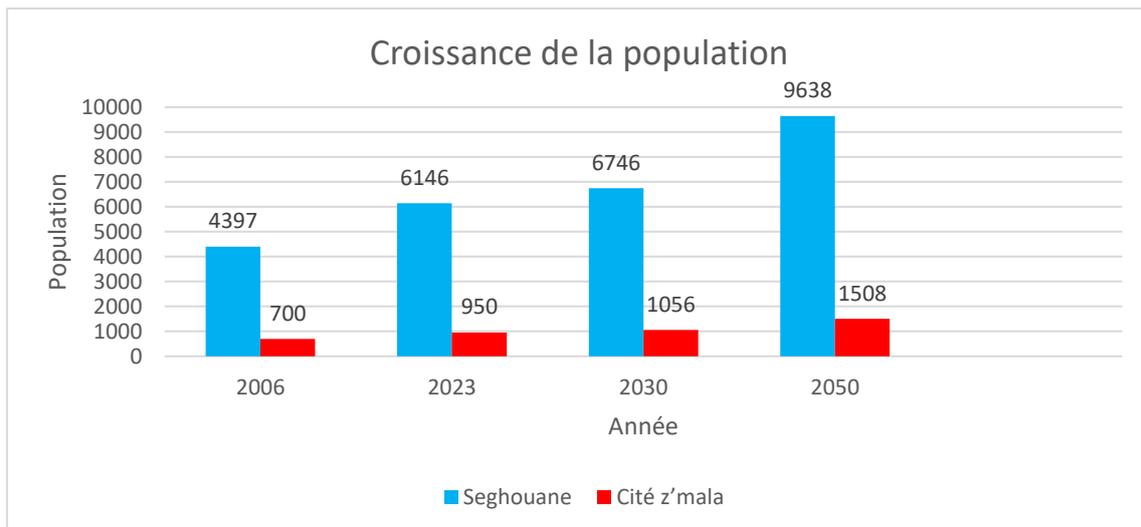
$N$  : nombre d'années séparant l'année de recensement et l'horizon de calcul.

- La population des localités d'études se caractérisent par une moyenne poussée démographique. Cette croissance démographique est certes apparente au niveau des communes avec un taux d'accroissement comme le tableau suivant :

**Tableau II.3 :** Croissance de la population de Seghouane et cité Z'mala

(Source : Révision de PDAU de la commune de Seghouane 2010).

Année	2006	2023	2030	2050
Taux d'accroissement	1.8			
Seghouane	4397	6146	6746	9638
Cité z'mala	700	950	1056	1508



**Figure II .8 :** Graphe d'évaluation de population des communes étudiées.

### II.3.2 Historique des inondations de la ville de Seghouane :

Pour apprécier l'importance de la protection de la ville de Seghouane cité z'mala contre les inondations, il y a lieu de signaler que plusieurs épisodes de crues ayant eu pour conséquence la surélévation du niveau d'eau dans oued Hkom, les récentes inondation ont rendu la localité Z'mala complètement isoler.

#### ❖ **12 septembre 2019 :**

- ✓ Inondation des lotissement 50 lots la hauteur d'eau atteindre 1.5 m.
- ✓ La sécurité urbaine de Seghouane immergé de hauteur d'eau de 1.2 m.
- ✓ Sans causer de dommages aux êtres humains ni aux biens matériels.



**Figure II.9 :** Inondation de la commune Seghouane cité z'mala.

- ❖ Les résultats issus de l'analyse de la zone d'étude mettent en lumière les causes et les facteurs aggravant les inondations, principalement attribuables à :
  - ✓ L'urbanisation inadéquate de la région, caractérisée par une utilisation inappropriée du béton et la prolifération de constructions illicites.
  - ✓ La réduction de la section mouillée du lit du cours d'eau, consécutive à l'accumulation de déblais déposés par la population dans le cours d'eau.
- ❖ La composition géologique du site, principalement constitué d'argile et de gypse, qui favorise le ruissellement des eaux.

## II.4 Conclusion

Ce chapitre offre une synthèse exhaustive des données fondamentales relatives à notre région, englobant la topographie, la géologie et la climatologie. Ces données seront utilisées comme base solide pour amorcer l'analyse de notre projet.

L'examen de la prévention des inondations repose sur une compilation étendue de données, incluant les caractéristiques spécifiques de chaque site du projet. Ces données, de nature fondamentale, constituent les éléments essentiels nécessaires à la réalisation de toute analyse de prévention des inondations.

## **CHAPITRE III: ETUDE HYDROLOGIQUE**

### III.1 Introduction

- L'hydrologie peut être définie comme la discipline scientifique qui se consacre à l'étude du cycle de l'eau dans la nature, ainsi qu'à son évolution à la surface de la Terre et dans le sol. Cette branche de la science hydrologique englobe diverses disciplines, dont certaines sont étroitement liées à la géophysique, telles que la météorologie, la climatologie, la géographie physique et la géologie. D'autres domaines plus généraux, comme la statistique mathématique, sont également mobilisés pour enrichir l'analyse hydrologique.
- Aujourd'hui, l'hydrologie revêt une importance cruciale dans l'ensemble technique de l'ingénieur, notamment pour ceux impliqués dans l'exploitation et le contrôle des ressources hydriques naturelles. Son objectif fondamental est de caractériser le comportement hydrologique des cours d'eau et de déterminer les débits de référence qui serviront de base à l'étude de projets d'aménagement hydraulique. Ceci vise à prévenir toute surestimation des débits à évacuer.
- En conséquence, les éléments suivants font l'objet d'une analyse approfondie dans le domaine de l'hydrologie :
  - ❑ La collecte et l'analyse des données hydrologiques à l'échelle du bassin versant, comprenant l'utilisation de stations pluviométriques ainsi que des méthodes adéquates pour estimer les précipitations et les débits liquides.
  - ❑ La détermination, à l'aide de méthodologies appropriées, des débits de crues pour différentes périodes de retour, telles que  $T = 10$  ans, 20 ans, 50 ans, 100 ans.

L'objectif de l'étude effectuée dans ce chapitre est de présenter, une approche hydrologique afin d'essayer de comprendre le fonctionnement hydrologique et de déterminer les différentes caractéristiques du bassin versant de la ville de Seghouane dans le but d'estimer les périodes de retours et de déterminer les débits de crue nécessaire pour la conception des aménagements requis d'Oued Hkom qui servira dans la protection contre les inondations.

### III.2 Bassin versant

#### III.2.1 Définition:

- Le bassin versant représente, en principe, l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ses effets.
- Plus précisément, le bassin versant qui peut être considéré comme un {système} est une surface élémentaire hydrologiquement close, c'est-à-dire qu'aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et que tous les excédents de précipitations s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire.
- Le bassin versant ou d'alimentation au droit d'une section de mesure. Est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de cette section. Tous les écoulements qui prennent naissance à l'intérieur de cette surface topographique passe obligatoirement par la section de mesure pour poursuivre leur trajet. **(Bénina TOUAIBIA, 2004)**

Généralement, la ligne de partage des eaux correspond à la ligne de crête. On parle alors de bassin versant topographique.

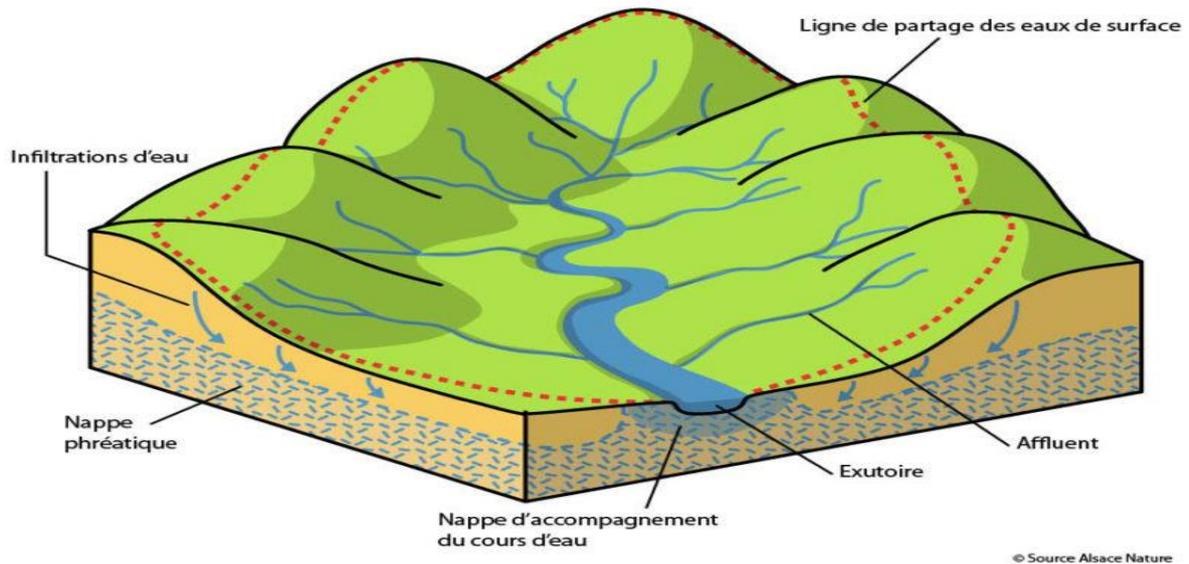


Figure III.1 : Schéma de principe d'un bassin versant (Source : Alsace Nature).

### III.2.2 Caractéristiques morphométriques du bassin versant :

Les caractéristiques morphométriques du bassin versant de la commune de Seghouane (Figure III.1) ont été obtenus grâce à un MNT (Model Numérique Terrain).

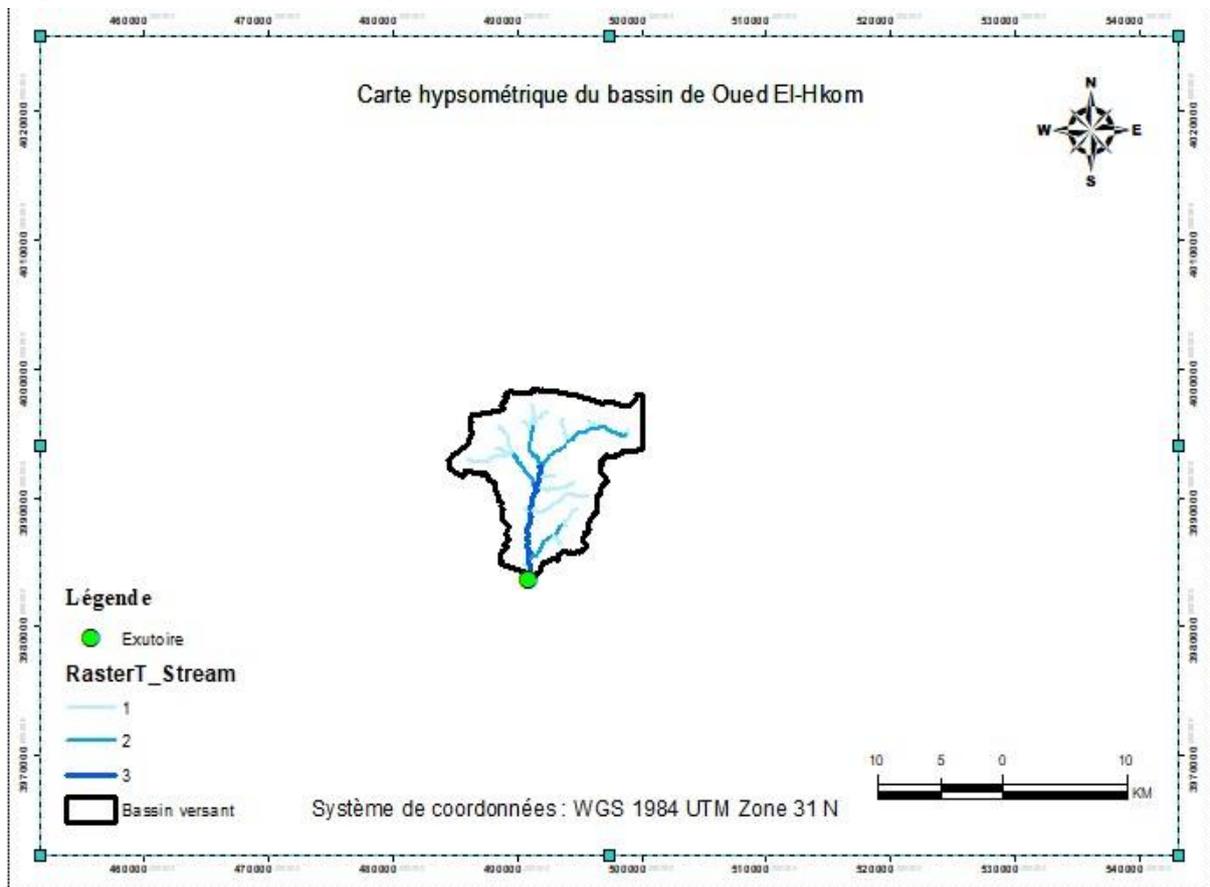


Figure III.2 : Réseau hydrographique des bassins versant (Source : Arc-GIS).

**III.2.2.1 La surface:**

La surface topographique d'un bassin versant est en effet un paramètre essentiel pour comprendre et gérer les phénomènes hydrologiques qui s'y produisent. Elle influence directement l'écoulement des précipitations, les infiltrations dans le sol, le ruissellement, et d'autres aspects importants de la gestion de l'eau.

Il est important de prendre en compte cette valeur de surface topographique lors de l'analyse et de la gestion des ressources en eau dans le bassin versant étudié.

$$S = 127.701 \text{ km}^2;$$

**III.2.2.2 Le Périmètre:**

Le périmètre correspond à la limite extérieure du bassin. Chaque bassin réagit d'une façon propre aux précipitations qu'il reçoit. Ces caractéristiques hydrologiques sont fonctions d'une part du climat qu'il subit et d'autre part de son propre milieu physique.

$$P = 60.80 \text{ km}$$

**III.2.2.3 La longueur du thalweg principal :**

**L = 20.004 km** ; (déterminer en utilisant le logiciel ArcGIS).

**III.2.2.4 Indice de capacité de Gravilius :**

L'indice de forme  $K_c$ , également connu sous le nom d'indice de compacité de Gravilius, est un paramètre hydrologique essentiel pour l'évaluation de la morphologie d'un bassin versant. Cet indicateur joue un rôle crucial dans les domaines de l'hydrologie et de la géomorphologie.

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

Avec :

A : Superficie du bassin ( $\text{Km}^2$ ) ;

P : Périmètre du bassin (Km) ;

$K_c$  : Indice de compacité de Gravilius.

$$K_c = 1.51$$

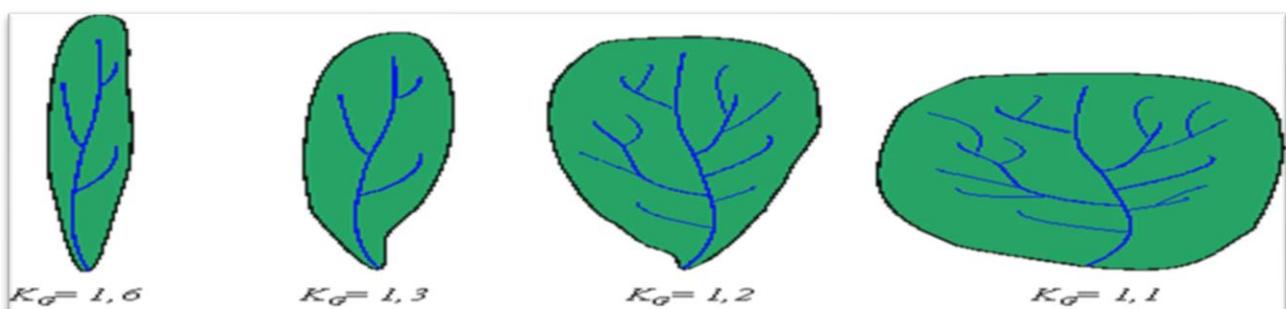
❖  $K_c = 1.51 > 1$  alors le bassin versant est de forme allongée.

Pour :

$K_c = 1.3$  : bassin compacte ;

$1 < K_c < 1.3$  : bassin moins compacte ;

$K_c > 1.3$  : bassin allongé.



**Figure III.3:** Différents types des BV selon le coefficient de Gravilius  $K_c$  (Source : Musy et al, 2003).

En effet, il existe une corrélation positive entre l'indice de compacité ( $K_c$ ) et le temps de concentration ( $T_c$ ), ce qui peut avoir un impact sur l'ampleur des crues dans un bassin versant donné. Un  $K_c$  élevé indique que le bassin versant a une configuration plus étendue, ce qui se traduit par un allongement du temps nécessaire à l'acheminement de l'eau vers le point de sortie. Cela peut potentiellement réduire la gravité des crues.

### III.2.2.5 Rectangle équivalent:

Le concept du "rectangle équivalent" est une précieuse méthode en géomorphologie utilisée pour normaliser la comparaison entre différents bassins versants. Il met l'accent sur la configuration géométrique de ces bassins et son impact sur leur régime hydrologique. Cette approche repose sur la création d'un rectangle fictif, spécialement conçu pour avoir la même aire et le même périmètre que le bassin versant réel en question.

Pour déterminer les dimensions de ce rectangle équivalent, les équations établies dans l'étude de ROCHE en 1963 sont utilisées conformément aux principes géomorphologiques.

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

**Avec :** «  $L$  » : La longueur et «  $l$  » : La largeur en (km).

$$L = 1.51 \frac{\sqrt{127.70}}{1.128} \left\{ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{1.51} \right)^2} \right\}, l = 1.21 \frac{\sqrt{127.70}}{1.128} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{1.51} \right)^2} \right\}$$

$L=25.18 \quad , \quad l=5.07$

### III.2.2.6 Le coefficient d'allongement:

Il est donné par la relation suivante :

$$C_a = \frac{L_{cp}^2}{A}$$

**Avec :**

- $L_{cp}$  : La longueur du talweg principal (km).
- $A$  : la surface du bassin versant ( $km^2$ ).

$$C_a = 3.13$$

- Les résultats des paramètres morphométriques du bassin versant de la région d'étude sont résumés dans le tableau suivant :

• **Tableau III.1 :** Paramètres morphométriques du bassin versant.

Bassin Versant (A)	Surface ( $km^2$ )	Périmètre (km)	$k_c$	L (km)	l (km)	$C_a$
	127.70	60.80	1.51	25.18	5.07	3.13

### III.2.3 Le relief:

Le relief exerce une influence significative sur le phénomène d'écoulement, car de multiples paramètres hydrométéorologiques présentent des variations substantielles en fonction de l'altitude et de la morphologie du bassin versant. Parmi ces paramètres, la pente se révèle être un facteur déterminant qui agit sur la vitesse d'écoulement. La caractérisation du relief s'effectue à travers l'utilisation d'indices topographiques et de courbes altimétriques. La carte géographique représente fidèlement la topographie de la zone d'étude.

### III.2.3.1 Répartition et Courbe hypsométrique:

La courbe hypsométrique représente graphiquement la distribution altimétrique au sein d'un bassin versant ou d'une région géographique donnée, dérivant des données altimétriques obtenues à partir du Plan de situation. Elle constitue un instrument précieux pour appréhender la topographie et le relief d'une zone en présentant les altitudes en fonction de la surface, indiquant ainsi le pourcentage de la superficie totale situé à une altitude donnée. À titre d'exemple, elle peut révéler que 20% de la superficie totale se trouve à une altitude inférieure à 100 mètres, 40% entre 100 et 200 mètres, et ainsi de suite.

Les courbes hypsométriques se révèlent d'une utilité multidisciplinaire :

- ❖ Comparaison de bassins versants.
  - ❖ Analyse hydrologique approfondie.
  - ❖ Étude du comportement hydrologique.
  - ❖ Planification et gestion judicieuse des ressources en eau.
- La courbe hypsométrique demeure un outil incontournable pour appréhender la topographie et les caractéristiques hydrologiques d'une région, revêtant une importance capitale dans divers domaines, notamment la gestion des ressources hydriques et l'aménagement du territoire.

**Tableau III.2 :** Coordonnées de la courbe hypsométrique.

Altitude(m)	Élévation H <sub>i</sub> (m)	Surfaces partielles (Km <sup>2</sup> )	Surfaces partielles (%)	Surfaces cumulées (%)
654 – 750	654	21.67	17	100
750 – 800	750	22.37	18	83
800 - 850	800	25.15	20	66
850 – 900	850	21.54	17	46
900 – 950	900	18.09	14	29
950 - 1000	950	9.87	8	15
1000 - 1050	1000	4.89	4	7
1050 -1100	1050	2.31	2	3
1100 - 1150	1100	1.10	1	1
1150 - 1229	1150	0.69	1	1
Total	1229	127.68	100	0

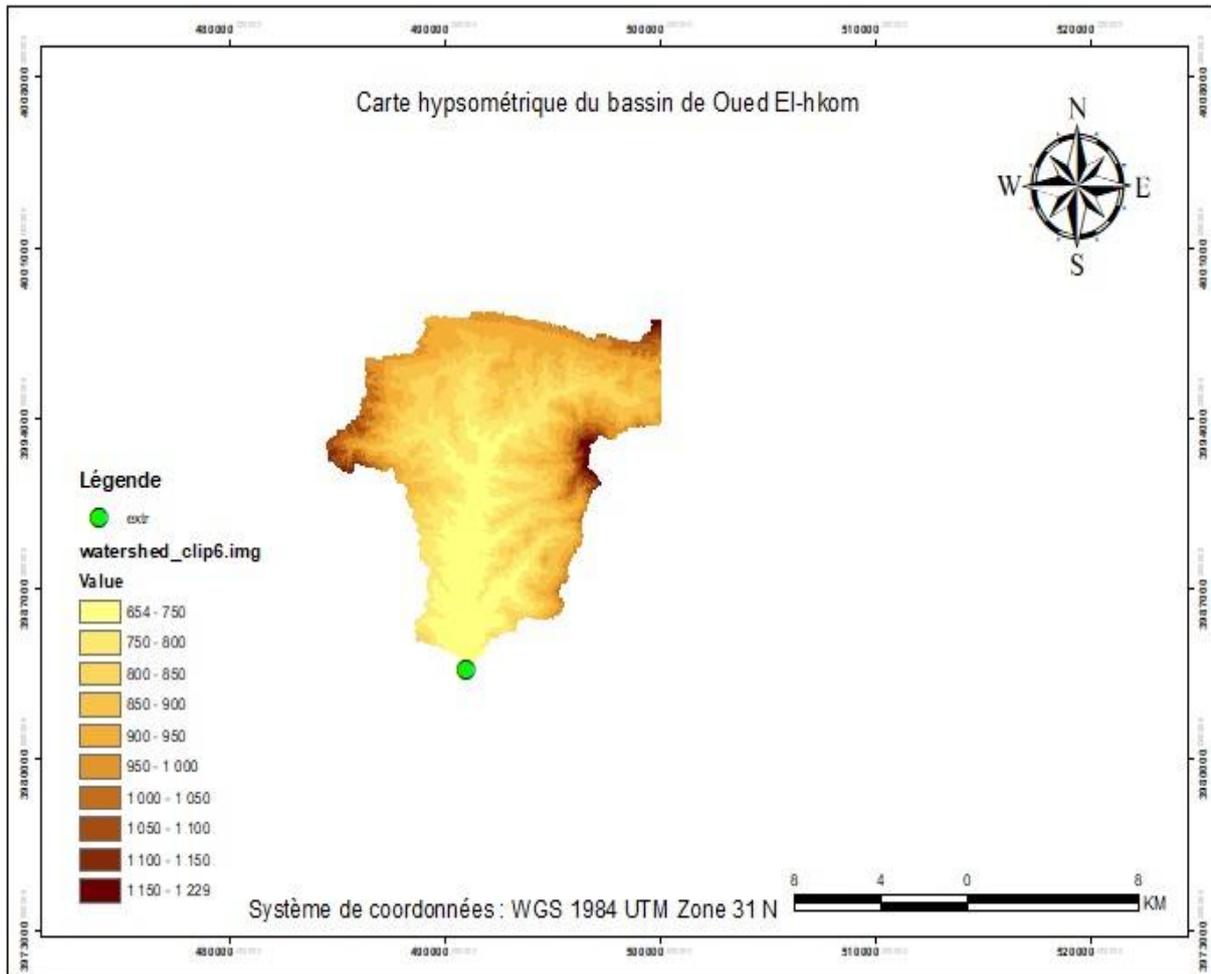


Figure III.4 : Carte hypsométrique (Source : ARC-GIS).

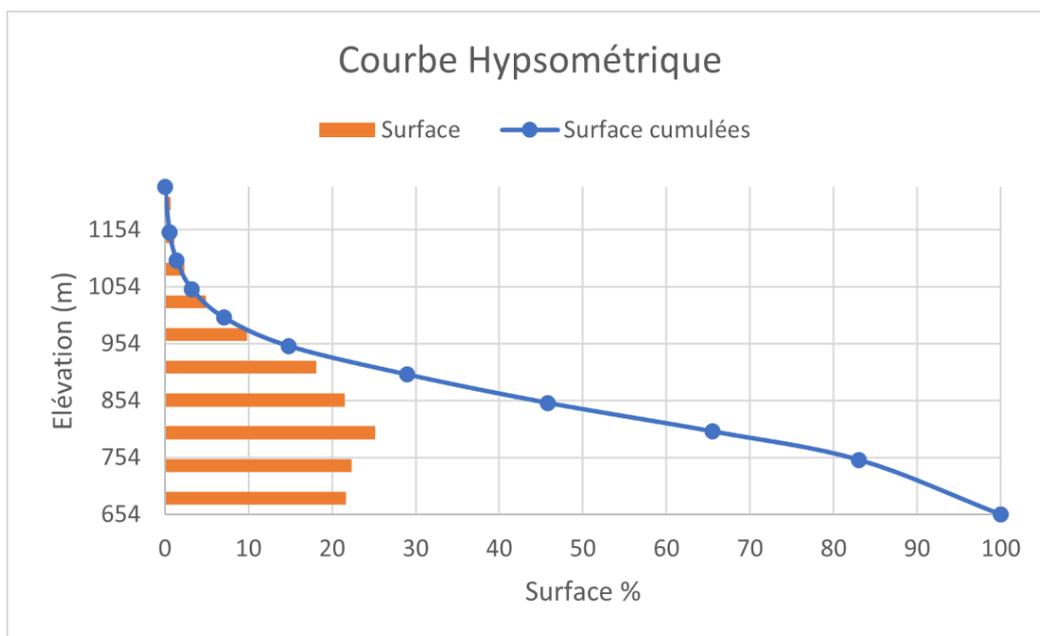


Figure III.5 : Répartition des surfaces et courbe hypsométrique du bassin.

### III.2.3.2 Les altitudes Caractéristique:

L'altitude moyenne ( $H_{moy}$ ) est calculée par la formule :

$$H_{moy} = \frac{\sum S_i \times H_i}{S} \quad \text{Avec} \quad H_i = \frac{H_{n-1} + H_n}{2}$$

$H_i$  : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau consécutives  $n-1$  et  $n$  en (m).

$S_i$  : Surface partielle comprise entre deux courbes de niveau consécutives  $n-1$  et  $n$  en ( $\text{km}^2$ ).

$S$  : Surface totale du bassin versant en ( $\text{Km}^2$ )

#### Avec :

##### L'altitude médiane « $H_{50\%}$ » :

C'est la projection du point qui correspond à 5% de la surface cumulée sur la courbe hypsométrique.

##### L'altitude médiane « $H_{95\%}$ » :

C'est la projection du point qui correspond à 95% de la surface cumulée sur la courbe hypsométrique.

##### L'altitude médiane « $H_{5\%}$ » :

C'est la projection du point qui correspond à 50% de la surface cumulée sur la courbe hypsométrique.

- Les résultats de calculs sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau III.3 :** Les altitudes caractéristique.

$H_{min}$	$H_{max}$	$H_{moy}$	$H_{50\%}$	$H_{95\%}$	$H_{5\%}$
654	1229	817.32	850	680	1040

### III.2.3.3 Les indices de pentes:

#### III.2.3.3.1 Indice de pente globale $I_g$ :

Cet indice représente la pente moyenne de 90% de la superficie du bassin, il est obtenu à partir de la courbe hypsométrique, en prenant en compte la dénivelée (D) entre les altitudes  $H_{5\%}$  –  $H_{95\%}$ .

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L}$$

#### Avec :

- $H_{5\%}$  –  $H_{95\%}$  : Altitude de fréquence correspondante au 5% et 95% de la surface total (m).
- $L$  : Longueur du rectangle équivalent (km).

$$I_g(\text{m/km}) = 14.30$$

#### III.2.3.3.2 Dénivelée spécifique $D_s$ :

Puisque l'indice de pente globale décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente. La dénivelée spécifique  $D_s$  ne présente pas cet inconvénient (Bénina, 2004).

La dénivelée spécifique est définie par la formule suivante :

$$D_s = I_g * \sqrt{S_{bv}}$$

Avec :

- $D_s$  : Dénivelée spécifique (m) ;
- $I_g$  : Indice de pente globale (m/m) ;
- $S$  : Superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

La dénivelée spécifique «  $D_s$  » permet d'utiliser la classification de l'O.R.S.T.O.M. qui permet de définir les différents types de relief des bassins versants. La dénivelée spécifique est définie comme suit :

**Tableau III.4 :** Classification Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre- Mer ORSTOM ( $D_s$ ).

R1	$D_s < 10$ m	Relief très faible
R2	$10 \text{ m} < D_s < 25$ m	Relief faible
R3	$25 \text{ m} < D_s < 50$ m	Relief assez faible
R4	$50 \text{ m} < D_s < 100$ m	Relief modéré
R5	$100 \text{ m} < D_s < 250$ m	Relief assez fort
R6	$250 \text{ m} < D_s < 500$ m	Relief fort
R7	$500 \text{ m} < D_s$	Relief très fort

$$D_s = 161.60 \text{ m}$$

- ✚ Cela implique que le relief du bassin versant ; est un Relief assez fort,  $100 \text{ m} < D_s < 250$  m (selon O.R.S.T.O.M).

#### III.2.3.3.3 La pente moyenne du cours d'eau principal :

Elle exprime le rapport entre dénivelée et la longueur comprise entre 2 points suffisamment éloigné sur le cours d'eau principale.

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

$\Delta H$ : Dénivelée entre 2 points suffisamment distants (m).

$\Delta L$  : distance entre 2 Points (km).

$$I_c = 0.0288 = 2.88\%$$

### III.3 Caractéristique hydrographique du bassin

#### III.3.1 Densité de drainage ( $D_d$ ) :

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

Avec :

$L_i$  : Longueur totale des cours d'eau d'ordre  $i$  [Km].

$n$  : L'ordre le plus élevé dans la classification.

$$D_d = 0.16$$

#### III.3.2 Temps de concentration du bassin versant $t_c$ :

Le temps de concentration est un paramètre fondamental en hydrologie, utilisé pour évaluer la réaction d'un bassin versant face à des précipitations, c'est-à-dire sa réponse hydrologique. Il représente la période requise pour que les eaux de ruissellement parcourent la distance la plus longue depuis le point hydrauliquement le plus éloigné du bassin versant jusqu'à sa sortie.

Il est important de noter que le point hydrauliquement le plus éloigné n'est pas nécessairement celui qui présente la plus grande distance linéaire jusqu'à la sortie.

Le temps de concentration joue un rôle crucial dans certaines méthodes d'analyse visant à calculer le débit de pointe d'une zone. Le débit de pointe se produit lorsque toutes les parties du bassin de drainage contribuent aux eaux de ruissellement du site.

Plusieurs méthodes sont disponibles pour estimer le temps de concentration, parmi lesquelles on peut citer la formule de Giandotti et Turazza et Ventura, Sokolovsky. Ces méthodes de mesure du temps de concentration sont détaillées ci-dessous. Il convient de noter que ces méthodes ne sont pas exhaustives, mais elles sont particulièrement adaptées à l'évaluation du temps de concentration dans un contexte urbain.

#### III.3.2.1 Formule de GIANDOTTI:

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

Avec :

S : surface du bassin versant( km<sup>2</sup>) ;

L<sub>CP</sub>: Longueur du cours d'eau principale (km) ;

t<sub>c</sub> : temps de concentration exprimé en heure (h) ;

H<sub>moy</sub> : altitude moyenne (m) ;

H<sub>min</sub> : altitude minimale (m).

#### III.3.2.2 Formule de TURAZZA:

$$t_c = 0.108 \frac{\sqrt[3]{S * L}}{\sqrt{I}}$$

Avec :

t<sub>c</sub>: Temps de concentration (h) ;

S : Surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>) ;

L : Longueur du cours d'eau principal (Km) ;

I : Pente moyenne du cours d'eau (m/m).

#### III.3.2.3 Formule de VENTURA:

$$t_c = 0,1272 * \frac{\sqrt{S}}{\sqrt{I}}$$

Avec :

t<sub>c</sub>= Temps de concentration (h) ;

I : Pente du bassin versant (m/m) ;

S : Surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

#### III.3.2.4 Formule de SOKOLOVSKY:

$$t_c = 4 \times \left[ \frac{(S * L)^{0.333}}{\sqrt{I}} \right]^{0.75}$$

Avec :

t<sub>c</sub>: Temps de concentration (h) ;

L : Longueur du thalweg principal (Km) ;

S : Superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>) ;

I : Pente du bassin versant (m/km).

**Tableau III.5 :** Temps de concentration du bassin versant.

Les formules	$t_c$ (H)
Formule de GIANDOTTI	7.35
Formule de TURAZZA	8.70
Formule de VENTURA	8.47
Formule de SOKOLOVSKY	19.09

- Quant la formule GIANDOTTI est recommandée pour les grands bassins versants (surface supérieure à 100 Km<sup>2</sup>).

**Donc on prend la valeur qui est estimée par la formule de GIANDOTTI pour le Bassin.**

$$t_c = 7.35 H$$

III.3.3 Vitesse de ruissèlement:

$$V_r = \frac{L}{t_c}$$

$V_r$ : Vitesse de ruissèlement (Km/h) ;

L : Longueur du thalweg principal (Km) ;

$t_c$ : Temps de concentration (h).

$$V_r(\text{BV A}) = 2.72(\text{km/h})$$

### III.4 . Résultats de calcul des caractéristiques du bassin versant

**Tableau III.6 :** Récapitulatif des caractéristiques du bassin versant.

		Symbole	Unité	BV
Surface		S	km <sup>2</sup>	127.70
Périmètre		P	Km	60.80
Longueur du Thalweg Principal		L	Km	20
Indice de compacité		Kc	-	1.51
Coefficient d'allongement		Ca	-	3.13
Rectangle équivalent	Longueur	Lr	Km	25.18
	Largeur	lr	Km	5.07
Altitude	Max	H <sub>max</sub>	M	1229
	Moy	H <sub>moy</sub>	M	817.32
	Médiane	H <sub>med</sub>	M	850
	Min	H <sub>min</sub>	M	654
Indice de pente globale		Ig	m/km	0.14
Dénivelée spécifique		Ds	M	158.21
Indice de pente Moyenne		Ic	%	0.0288
Densité de drainage		Dd	Km/km <sup>2</sup>	0.16
Temps de concentration		Tc	h	7.35
Vitesse de ruissèlement		Vr	Km/h	2.72

### III.5 CADRE CLIMATIQUE

La maîtrise des eaux dans une région est extrêmement liée aux phénomènes qui régissent l'écoulement superficiel et souterrain, les conditions climatiques, plus que d'autres facteurs, jouent un rôle déterminant dans le régime des cours d'eau.

La zone d'étude est des hauts plateaux caractérisés par un climat de type méditerranéen. Son régime climatique dépend de deux paramètres principaux : la précipitation météorologique et la température. Les précipitations constituent une composante fondamentale en hydrologie.

#### LA LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DE STATION :

La disponibilité des données météorologiques et la représentativité de station, nous ont amené à Sélectionner une station comme indiqué dans le tableau suivant.

La série d'observation contient des années lacunaires ce qui nécessite un traitement préalable. Il est donc utile de faire une corrélation avec d'autres séries de station se trouvant au voisinage du bassin versant objet d'étude, pour avoir une série plus longue que possibles.

**Tableau III.7 :** Caractéristique géographique de la station pluviométrique KSAR EL BOUKHARI (Source : ANRH).

Station	Code	Coordonnée X	Coordonnée Y	Z(m)	Année d'observation
KSAR EL BOUKHARI	011301	503.8	287.9	630	46

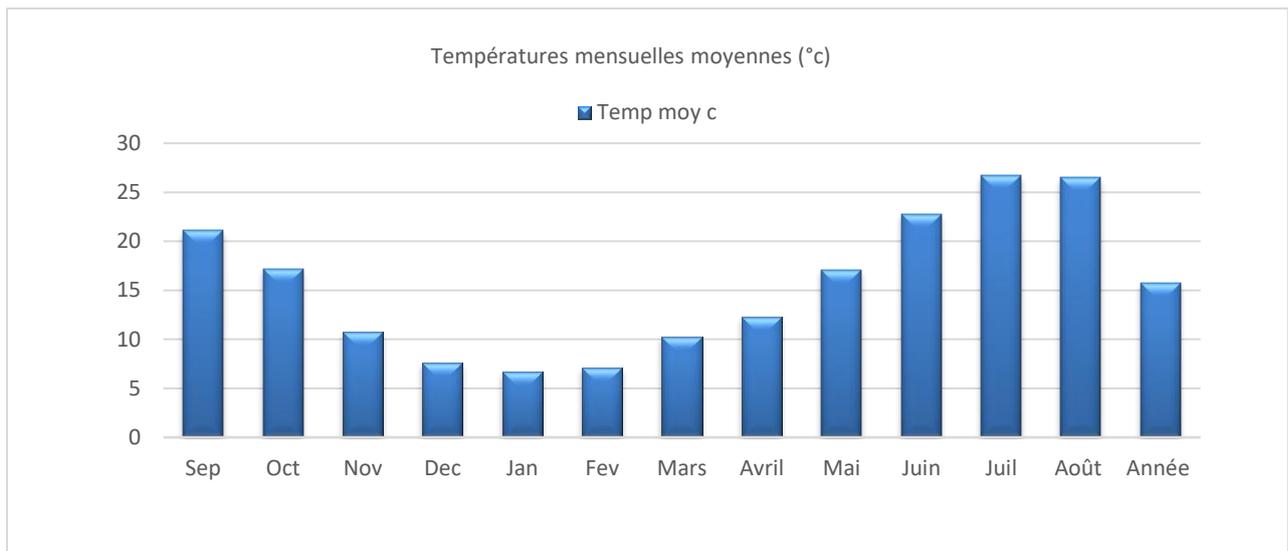
- Les coordonnées X et Y sont références dans le système Lambert (KM).

#### III.5.1 Température:

La température est variable d'un mois à un autre, mais l'ensemble présente toujours un maximum et un minimum. De manière générale le climat de la région est caractérisé par un été chaud et un hiver froid. Les valeurs moyennes de la Température en (°c) sont données dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III.8 :** Températures mensuelles moyennes sur la période 1974-2013(Station Ksar El-Boukhari) (Source : ANRH).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
Temp moy c	21.1	17.2	10.7	7.6	6.7	7.1	10.3	12.3	17.1	22.8	26.7	26.5



**Figure III.6 :** Températures mensuelles moyennes sur la période 1974-2013(Station Ksar El-Boukhari).

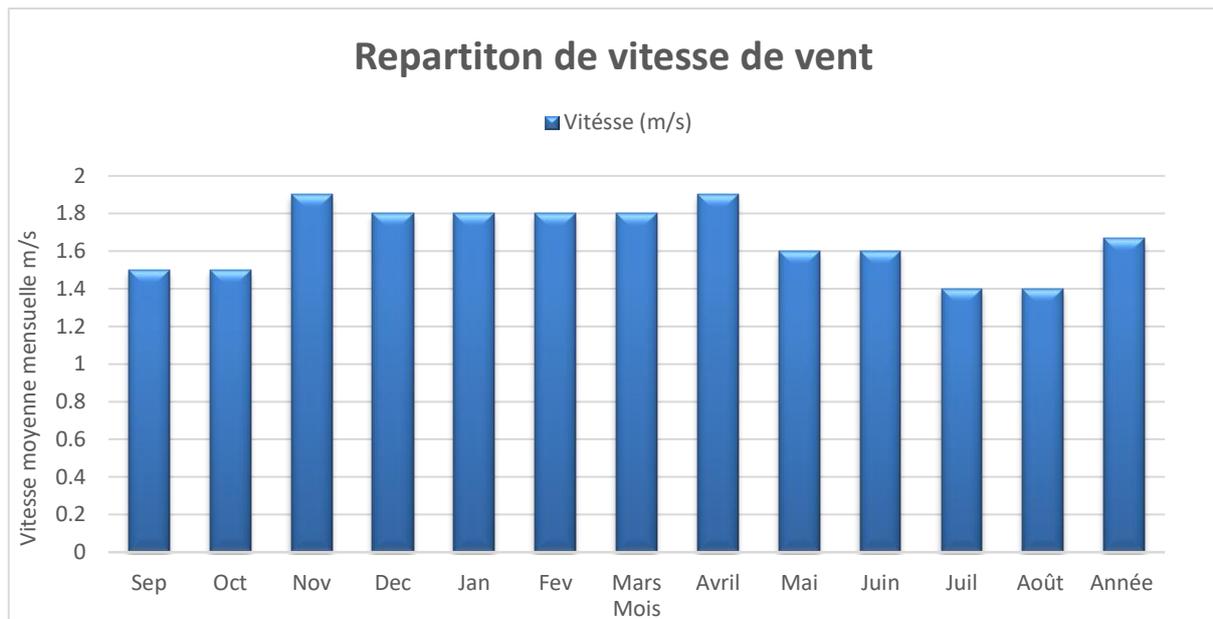
D'après la figure le climat de la région est caractérisé par un été chaud et un hiver froid. La température varie entre 7 °C en janvier vers et 27 °C en juillet, avec une moyenne qui atteint 20 °C. La saison chaude s'étend de Mai à Octobre, et la période froide s'étend entre Novembre et Avril, mois pendant lesquels la température est inférieure à la moyenne.

### III.5.2 VENT:

Les moyennes mensuelles des vitesses des vents de la station de Ksar El-Boukhari, sont récapitulées ci-dessous (pour période 1995-2014) :

**Tableau III.9 :** Les moyennes mensuelles de la vitesse des vents sur la période 1974-2014(Station Ksar El-Boukhari) (Source : ANRH).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
Vitesse (m/s)	1.5	1.5	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.6	1.6	1.4	1.4



**Figure III.7 :** Vitesse de vent mensuel moyen sur la période 1974-2012  
(Station Ksar El-Boukhari).

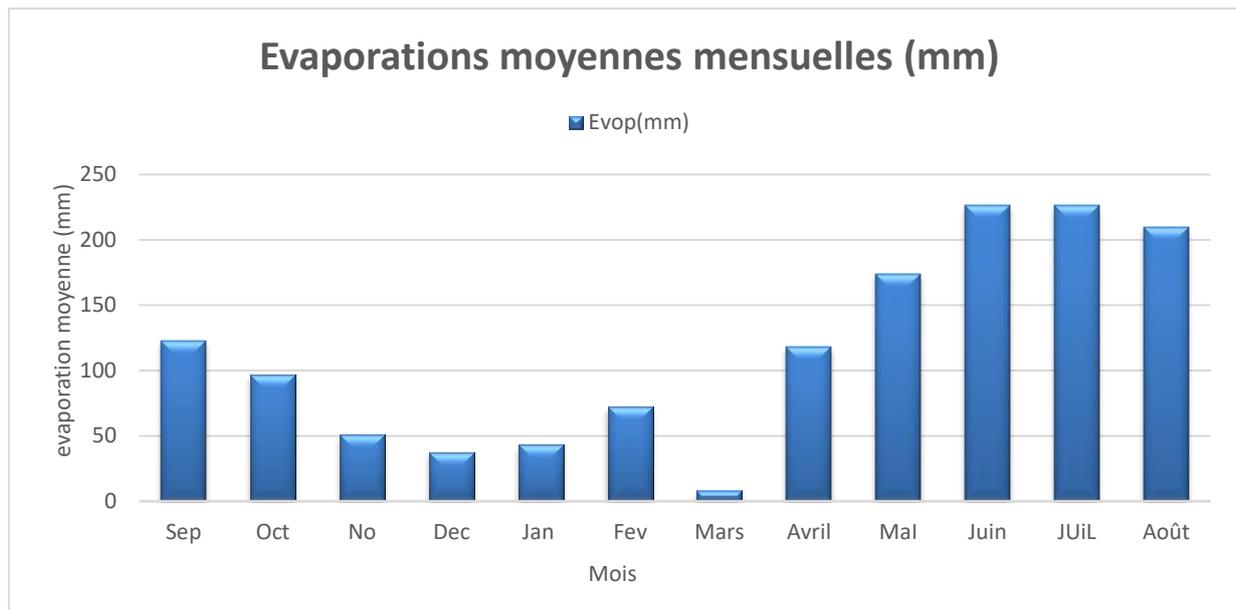
Le tableau présente la répartition mensuelle de la vitesse des vents montre la vitesse des vents varie entre 1.4m/s et 1,6 m/s en septembre. Octobre, mai, juin, juillet et aout, et avec une moyenne qui atteint 1,8 m/s pendant les mois de décembre jusqu'à avril.

### III.5.3 Evaporations:

L'évaporation est la transformation de l'eau en vapeur d'eau par un processus spécifiquement physique. L'évaporation est exprimée généralement en mm/jour, mm/mois ou mm/an. La détermination de l'évaporation du plan d'eau du Médéa sera estimée d'après les mesures effectuées sur l'évaporomètre au niveau de la station de Médéa Le tableau ci-dessous donne les valeurs moyennes de l'évaporation mensuelle.

**Tableau III.10 :** Evaporations mensuelles sur la période 1974-2013 (Station Ksar El-Boukhari) (Source : ANRH).

MOIS	Sep	Oct	No	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Année
Evap(mm)	122.7	96.9	50.9	37.7	43.5	72.1	8.1	118.0	174.1	226.1	226.17	210.2	1271.2
%	9.65	7.62	4.00	2.98	2.97	3.42	5.67	6.38	9.28	13.70	17.79	16.54	100



**Figure III.8 :** Evaporations mensuelles sur la période 1974-2013 (Station Ksar El-Boukhari).

Le graphique représentatif de l'évaporation prend presque la même allure avec l'évolution de la température. Ceci ben sûr est dû à la relation exponentielle existante entre ces deux paramètres. L'évolution de l'évaporation adapte une valeur minimale de 37,7 mm enregistrée pendant la période froide, et une valeur maximale de 226,17 mm mesurée durant la période chaude. Le taux moyen de l'évaporation peut atteindre 120 mm.

### III.5.4 Pluviométrie:

#### III.5.4.1 Période de retour:

Par définition la probabilité est le rapport du nombre d'événements favorables au nombre total d'événements. Souvent à un événement est associée une durée. La fréquence peut alors se définir également comme étant le nombre d'événement favorables sur le nombre total de durées. On définit alors la période de retour  $T$  au temps de récurrence (exprimée en années) comme l'inverse de la fréquence au non-dépassement  $F$ . C'est le délai statistique au-delà duquel les débits résultants de la pluie seront plus importants que les débits calculés. C'est à dire que le réseau d'évacuation sera insuffisant pour une période statistique plus importante que la période choisie pour les calculs.

Valeurs reconnues son 5 ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans, 100 ans. Pour un bassin très important et comportant une forte densité de population ou d'équipements spéciaux, il sera nécessaire d'effectuer les calculs pour une période de retour d'insuffisance jusqu'à 100 ans.

#### III.5.4.2 Répartition mensuelle des pluies:

Les précipitations constituent un phénomène physique qui décrit le transfert d'eau, dans sa phase liquide (pluie) ou solide (neige, grêle) entre l'atmosphère et le sol.

La vapeur d'eau de l'atmosphère se transforme en liquide lorsqu'elle atteint le point de rosée ; soit par refroidissement ou par augmentation de la pression.

Ce changement est occasionné par un des phénomènes suivants :

- ✚ Condition thermique lorsqu'une masse d'air et en contact avec une surface plus froide ;

- ✚ Changement soudain de pression atmosphérique produit à l'approche d'un cyclone ;
- ✚ Mélange de deux masses d'air ayant des températures différentes.

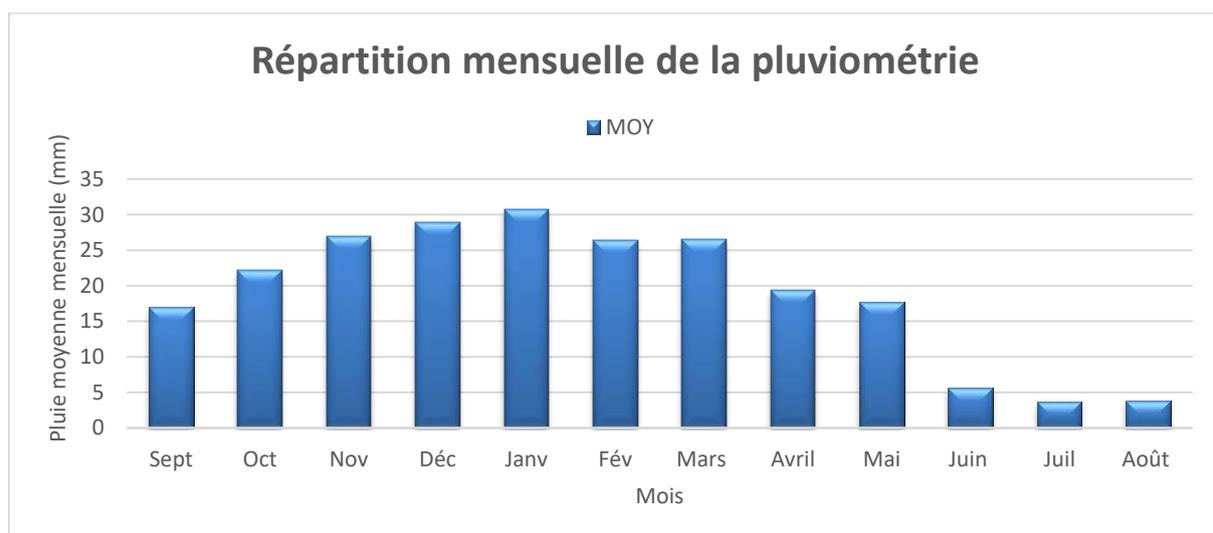
La zone d'étude se caractérise principalement par un climat continental à hiver froid humide et a été chaud et sec. La moyenne pluviométrique calculée sur une période de 46 ans (1970 à 2015).

**Tableau III.11** : Répartition mensuelle de la pluviométrie

Source d'information : ANRH(BLIDA).

MOIS	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
<b>MAX</b>	47.3	101.4	166.5	71.6	147	60.2	156.7	44.7	125	23.1	43.4	17.5
<b>MOY</b>	16.97	22.13	27.04	28.88	30.74	26.42	26.49	19.37	17.73	5.6	3.74	3.88
<b>MIN</b>	0	3.5	2.4	8.8	0	0	1.3	4.9	0	0	0	0

- ☐ L'analyse des moyennes de précipitations mensuelles présentées dans la figure III.9, montre une moyenne de 18 Mm/mois. Selon cette moyenne, l'année hydrologique est caractérisée par deux périodes distinctes :



**Figure III.9** : Distribution des pluies moyennes mensuelles de la station KSAR EL BOUKHARI.

- Une période humide et pluvieuse, répartie sur sept mois à partir d'octobre jusqu'au mois d'avril, en atteignant son maximum en mois de Janvier (31 mm).
- Une période sèche de quatre mois, de mai jusqu'à septembre, où la zone d'étude ne reçoit en moyenne que 5 mm, soit 2.17% de la pluie moyenne annuelle, avec un minimum enregistré au mois de juillet (3.74 mm).

#### III.5.4.3 Analyse statistique des Pluies maximales journalières :

L'estimation des pluies maximales journalières fréquentielles constitue une étape cruciale dans la gestion des risques liés aux crues et dans la protection des collectivités et des biens contre les inondations. Ce processus repose sur une combinaison de données historiques, d'analyses statistiques, et de modélisation hydrologique, visant à une meilleure compréhension et à une anticipation accrue des phénomènes météorologiques extrêmes.

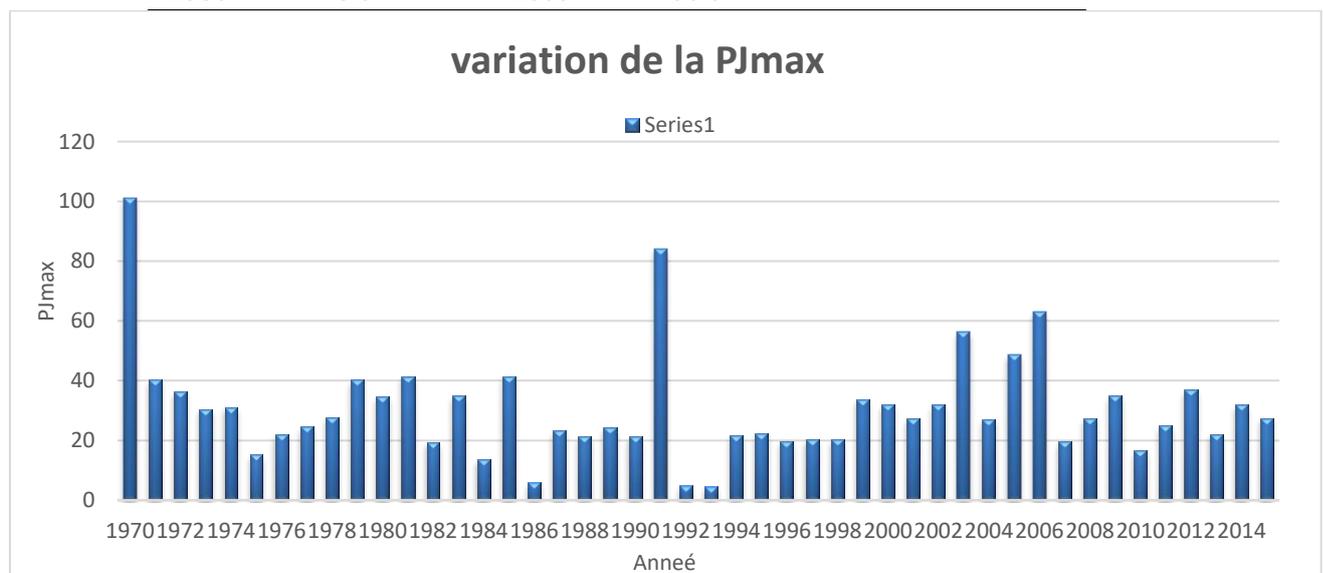
Le procédé d'ajustement se déroule comme suit :

- La série des précipitations est d'abord classée en ordre croissant.
- Ensuite, la fréquence expérimentale est calculée.
- Les caractéristiques empiriques de la série de données sont calculées.
- Un ajustement graphique de la loi choisie est réalisé.
- Enfin, le quantile et son intervalle de confiance sont calculés.

**Remarque :** L'exposant climatique pour notre région ( $b=0.39$ ) est donné par l'ANRH de Blida.

**Tableau III.12 :** Pluie maximales journalière (1970-2015)  
(Source : ANRH).

Année	Pmax, j (mm)	Année	Pmax, j (mm)	Année	Pmax, j (mm)
1970	101.2	1987	23.2	2004	27.1
1971	40.4	1988	21.4	2005	48.5
1972	36.3	1989	24.4	2006	63.1
1973	30.5	1990	21.3	2007	19.6
1974	31.1	1991	84.2	2008	27.4
1975	15.2	1992	4.8	2009	35
1976	21.9	1993	4.5	2010	16.5
1977	24.6	1994	21.7	2011	25
1978	27.8	1995	22.3	2012	37
1979	40.3	1996	19.8	2013	22.1
1980	34.5	1997	20.2	2014	32
1981	41.4	1998	20.3	2015	27.5
1982	19.5	1999	33.7		
1983	35	2000	32		
1984	13.7	2001	27.3		
1985	41.4	2002	32		
1986	5.9	2003	56.3		



**Figure III.10 :** Graphe de variation de la  $P_{Jmax}$ .

### III.5.4.4 Ajustement de la série pluviométrique :

L'analyse vise à effectuer une calibration de la série chronologique des débits maximums quotidiens en utilisant une distribution théorique, dans le but de déterminer l'intensité de précipitation correspondante pour une durée et une période de retour spécifiques.

Les caractéristiques empiriques de la série de données ont été obtenues au moyen du logiciel HYFRAN et sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau III.13 :** Caractéristique de la série de donnée avec N = 46 ans.

<b>Nombre des données</b>	47
<b>Minimum</b>	4.50
<b>Maximum</b>	101
<b>Moyenne</b>	30.7
<b>Ecart type</b>	17.9
<b>Médiane</b>	27.4
<b>Coeff de variation [Cv]</b>	0.583
<b>Coeff d'asymétrie [Cs]</b>	2.00
<b>Coeff d'aplatissement [Ck]</b>	7.70

#### • Choix de la loi d'ajustement

Il convient de souligner que diverses techniques d'ajustement peuvent générer des issues divergentes lorsqu'appliquées à un même ensemble de données, et la sélection de la méthode la plus appropriée peut s'avérer une entreprise complexe. Il est souvent préconisé de recourir à plusieurs approches et de confronter les résultats obtenus afin de fonder une décision éclairée. En définitive, le choix de la méthode d'ajustement doit découler d'une compréhension approfondie des données et des objectifs de l'analyse.

#### III.5.4.4.1 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL :

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

$$F(y) = e^{-e^{-y}}$$

Tel que :

- $Y = a(x - x_0)$
- $1/a$  : la pente de la droite de GUMBEL
- $Y$  : variable réduite de GUMBEL
- $X$  : précipitation maximale journalière (mm)
- $X_0$  : ordonnée à l'origine en (mm)
- On peut écrire :  $y = -\ln(-\ln(F(x)))$

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

- Classer les valeurs des précipitations par ordre croissant avec attribution d'un rang 1, 2, 3, ..., n.
- Calculer pour chaque valeur de précipitation la fréquence expérimentale par la **Formule de HAZEN** :

$$F(x) = \frac{m-0.5}{n}$$

$m$  : rang de précipitation

$n$  : nombre d'observations

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

$Y = -\ln(-\ln(F(x)))$

- Calculer les paramètres d'ajustement « a » et « x0 »
- Représenter graphiquement les couples (xi. yi) sur papier GUMBEL.

Quantiles :

- $q = F(X)$  (probabilité au non-dépassement)
- $T = 1 / (1-q)$

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.14 : Résultat de l'ajustement à la loi GUMBEL (Source : HYFRAN).

Période de retour	Probabilité de fréquence (non dépassement)	Valeurs théoriques $P_{j\max}$	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
10000.0	0.9999	151	20.2	112 – 191
2000.0	0.9995	129	16.7	95.8 – 161
1000.0	0.9990	119	15.2	89.1 – 149
200.0	0.9950	96.5	11.8	73.3 – 120
100.0	0.9900	86.8	10.3	66.5 – 107
50.0	0.9800	77.0	8.88	59.6 - 94.4
20.0	0.9500	64.0	6.95	50.4 - 77.7
10.0	0.9000	54.0	5.51	43.2 - 64.8
5.0	0.8000	43.5	4.08	35.5 - 51.5

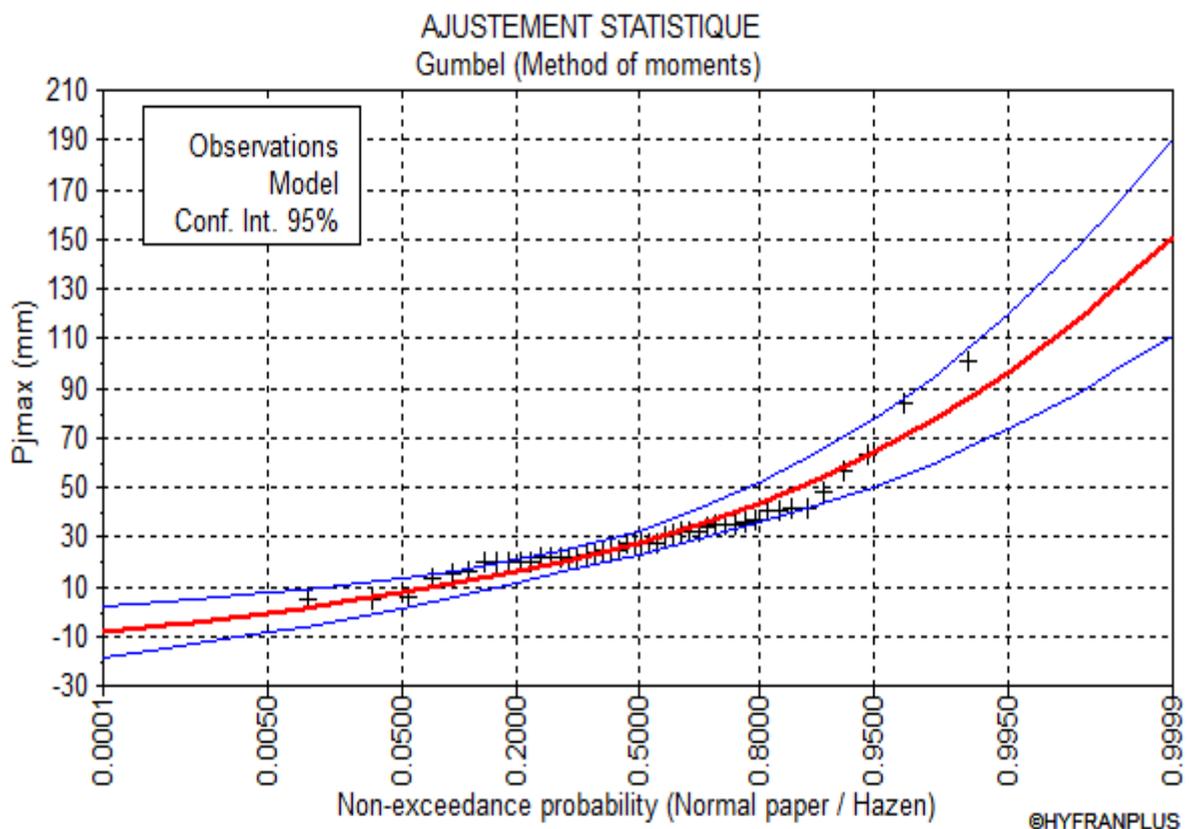


Figure III.11 : Graphe d'ajustement de la série des pluies maximales journalière à la loi de Gumbel (Source : HYFRAN).

III.5.4.4.2 Ajustement des pluies maximales journalières à la loi log-normale :

La loi de Log-Normal est utilisée pour ajuster des séries de données pluviométriques. L'ajustement consiste à déterminer les paramètres de la distribution log-normale qui correspondent le mieux aux données observées. Cette distribution est caractérisée par deux paramètres principaux : la moyenne logarithmique  $\mu$  et l'écart type logarithmique  $\sigma$ .

La formule de la loi de Log-Normal est définie comme suit

$$F(x) = \frac{1}{x * \sigma * \sqrt{2\pi}} * e^{\left(\frac{-(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)}$$

Où :

- X : précipitation maximale journalière (mm).
- $\mu$  : est la moyenne logarithmique de x.
- $\sigma$  : est l'écart type logarithmique de x.
- $\pi$  : est une constante mathématique .

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.15 : Résultat de l'ajustement à la loi log-normale (Source : HYFRAN).

Période de retour	Probabilité de fréquence (non dépassement)	Valeurs théoriques $P_{j\max}$	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
10000.0	0.9999	244	61.3	124 – 364
2000.0	0.9995	189	42.7	105 – 273
1000.0	0.9990	168	35.9	97.1 – 238
200.0	0.9950	123	22.8	78.4 – 168
100.0	0.9900	106	18.2	70.3 – 142
50.0	0.9800	90.0	14.1	62.3 – 118
20.0	0.9500	70.4	9.61	51.6 - 89.3
10.0	0.9000	56.6	6.79	43.3 - 69.9
5.0	0.8000	43.5	4.49	34.7 - 52.3

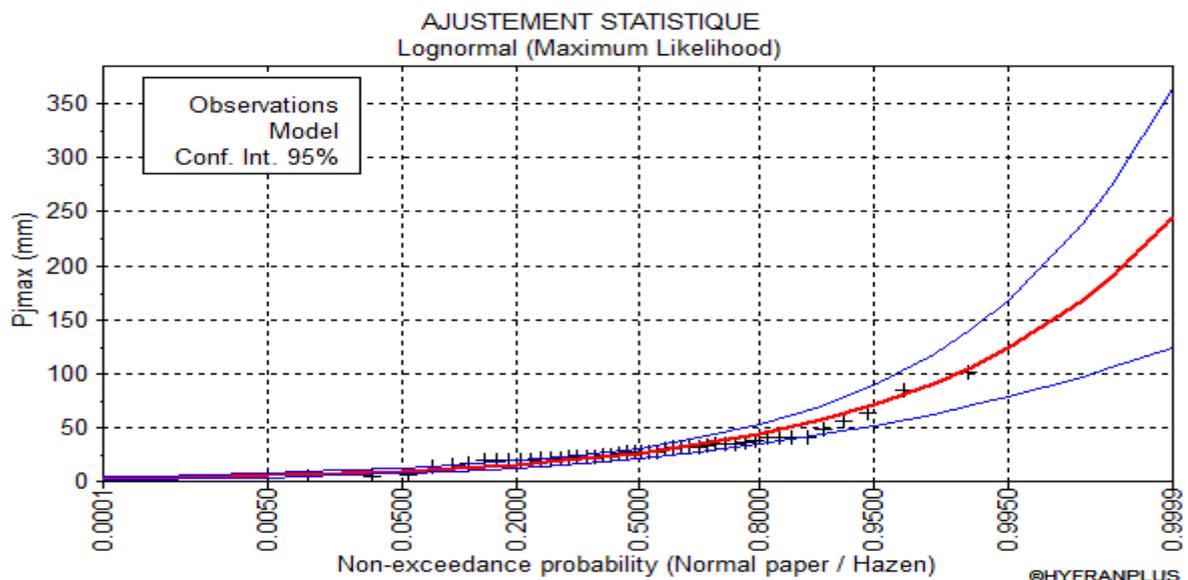


Figure III.12 : Graphe d'ajustement de la série des pluies maximales journalières à la loi Log-Normale (Source : HYFRAN).

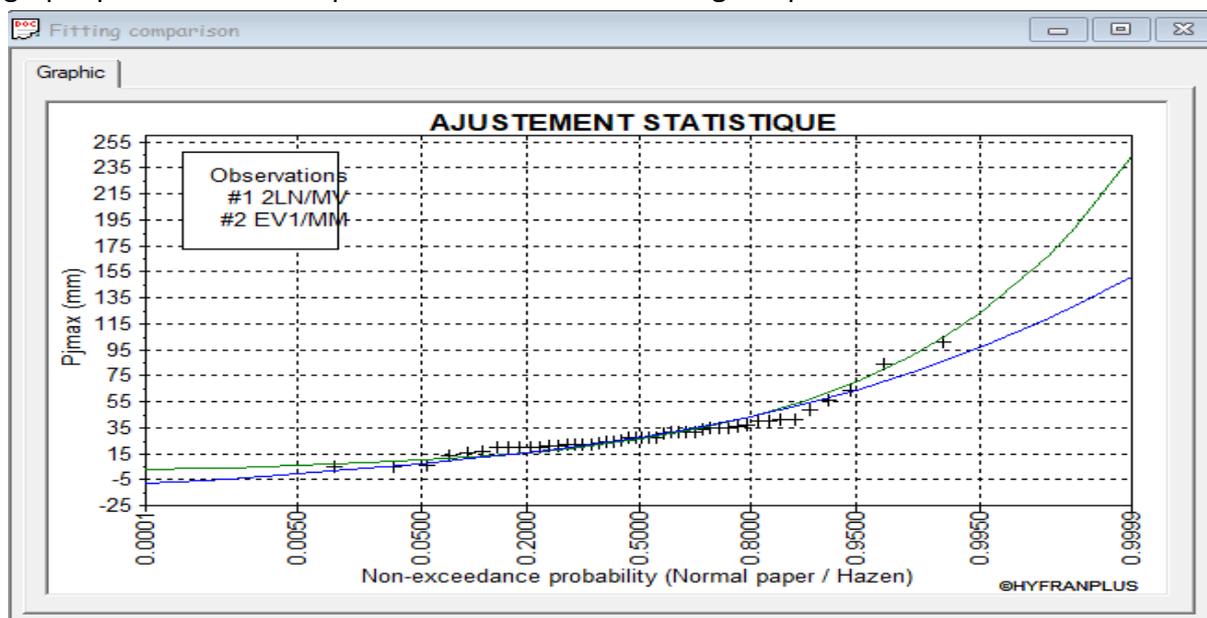
**Le test D'adéquation de khi carré ( $\chi^2$ ) :**

**Tableau III.16 :** Résultats de test d'adéquation khi 2 des lois d'ajustement.

Lois de distribution	$\chi^2$	P
Gumbel	11.52	0.0735
Log -Normale	11.91	0.0639

**III.5.4.4.3 Comparaison entre les lois d'ajustement :**

La comparaison entre les lois d'ajustement va être faite en se basant sur le logiciel « Hyfran » et cela en traçant sur un même graphe les deux lois d'ajustement Gumbel et log normal. Le graphique obtenu la comparaison est illustré dans la figure qui suit :



**Figure III.13 :** Représentation graphique de l'ajustement des lois (Source : HYFRAN).

**Interprétation :**

On remarque que l'ajustement de la loi log normal, les meilleures positions des données expérimentales sont plus proches de la courbe théorique et donc on opte pour cette loi.

**Conclusion :**

La loi d'ajustement adoptée est la loi Log normal.

**Tableau III.17 :** Résultats d'ajustement à la loi Log normal (Source : HYFRAN).

T(ans)	PJ max			
	Log - normal	q	Ecart-type	Intervalle de confiance
5	<b>43.5</b>	0.8	4.49	70.3 – 142
10	<b>56.6</b>	0.9	6.79	62.3 – 118
20	<b>70.4</b>	0.95	9.61	51.6 - 89.3

50	<b>90</b>	0.98	14.1	43.3 - 69.9
100	<b>106</b>	0.99	18.2	34.7 - 52.3

### III.5.5 Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes Fréquences :

Pour une période donnée la quantité de pluie tombée dans un temps donné « T » est donnée par la formule de BODY. (ANRH 1984).

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

Avec :

- $P_{cd}$  : Pluie de courte durée (mm).
- $P_{j \max p \%}$  : Pluie maximale journalière pour chaque fréquence (mm).
- $t$  : durée de l'averse.
- $D$  : l'épisode pluvieux.
- $b$  : exposant climatique ( $b=0.19$  donné par l'ANRH).

#### • Intensités moyennes maximales à différentes Fréquences :

La détermination des intensités moyennes maximales pour différentes périodes de retour se fait par le biais de la formule :

$$I_t = \frac{P_c}{t}$$

Avec :

$I_t$  : l'intensité maximale de période  $t$  (h).

$P_{ct}$  : Pluies de courte durée (mm)

**Tableau III.18 :** Pluies de courtes durées au temps de concentration pour différentes périodes de retour.

Pluie de courtes durées au temps de concentration					
T	5	10	20	50	100
$P_{cd}$	28.08	36.53	45.44	58.09	68.42

**Tableau III.19 :** Intensités des pluies de courtes durées au temps de concentration pour différentes périodes de retour.

Intensité de pluies de courte durée au temps de concentration					
T	5	10	20	50	100
$I_{tc}$	3.82	4.97	6.18	7.90	9.31

## III.6 Etude des apports liquides

### Apports moyens annuels :

La fonction de production est déjà prête après notre travail dans l'étude climatique de zone d'étude. Le tour maintenant à la fonction du transfert. Pour la détermination du débit de pointe probable de ruissellement des différentes périodes de retour, différentes formules empiriques ont été sélectionnées pour le calcul, par manque d'observation.

#### III.6.1 Formule de SAMIE:

$$A_0 = L_e * S$$

$$L_e = P^2 * (293 - 2.2\sqrt{S})$$

Où :

$L_e$  : la lame d'eau écoulée, en mm ;

$P$  : Précipitation moyenne annuelle, en  $P = 0.229$  m ;

$S$  : Superficie du bassin versant, en  $km^2$  ;

$A_0$  : Apport moyen annuel en  $m^3$ .

### III.6.2 Formule de DERI (I):

$$A_0 = 0.915 * p^{2.684} * S^{0.842}$$

$S$  : surface du bassin versant( $km^2$ ) ;

$P$  : pluie moyenne annuelle (mm).  $P = 0.229$  m =229 mm ;

$A_0$  : Apport moyen annuel ( $m^3$ ).

### III.6.3 Formule de L'A.N.R.H (DERI II) :

$$A_0 = 0.513 * P^{2.683} * D_d^{0.5} * S^{0.842}$$

Où

$P$  : Pluviométrie moyenne annuelle en m ;

$A_0$  : Apport moyen annuel en  $m^3$  ;

$S$  : Superficie du bassin versant en  $km^2$  ;

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

**Tableau III.20** : Récapitulatif des formules Apports moyens annuels.

Formule de	Apport liquide ( $m^3$ )	
SAMIE	$L_e$	14.06
	$A_0$	$17.95 * 10^5$
DERI (I)	$A_0$	$11.71 * 10^4$
L'A.N.R.H	$A_0$	$26.304 * 10^3$
Moyenne	$A_0$	$64.61 * 10^4$

## III.7 Caractéristiques d'écoulement

### III.7.1 Module de d'écoulement ( $M_e$ ):

Il est donné par :

$$M_e = \frac{A_0}{T}$$

$A_0$  : Apport moyen annuel [litres] ;

$T$  : Temps d'une année en [secondes] " $T = 31\ 536\ 000$  secondes".

$$M_e [L/s] = 56.92$$

### III.7.2 Module de l'écoulement relatif ou spécifique ( $M_0$ ) :

On a :

$$M_0 = \frac{M_e}{S}$$

$M_e$  : Module de l'écoulement [l/s] ;

$S$  : Superficie du bassin [ $km^2$ ].

$$M_0 (L/s.km^2) = 0.45$$

III.7.3 lame d'eau écoulée ( $L_e$ ):

On a : 
$$L_e = \frac{A_0}{S}$$

$A_0$  : Apport moyen annuel [litres] ;

$S$  : Superficie du bassin.

$$L_e = 14.06 \text{ mm}$$

III.7.4 Coefficient de d'écoulement ( $C_e$ ):

Il est donné par : 
$$C_e = \frac{L_e}{P_{moy}}$$

$P_{moy}$  : Pluie moyenne annuelle en [mm] ;

$L_e$  : lame d'eau écoulée en [mm].

$$C_e = 0.061$$

III.7.5 Coefficient de variation ( $C_v$ ):

Pour le calcul du coefficient de variation  $C_v$  et en absence d'une série d'observation, on doit utiliser les formules empiriques.

## III.7.5.1 Formule d'OURKGUIPROVODKHOZ:

On a : 
$$C_v = \frac{0.7}{M_0^{-0.127}}$$

$M$  : Module de l'écoulement relatif [ $l/s/km^2$ ].

## III.7.5.2 Formule de SOKOLOVSKY:

On a : 
$$C_v = a - 0.063 \times \log_{10}(S + 1)$$

Avec : 
$$a = 0.78 - 0.29 \times \log_{10}(M_0)$$

## III.7.5.3 Formule de L'ANTONOV:

On a : 
$$C_v = \frac{0.7}{(S+1000)^{0.097}}$$

$S$  : Superficie du bassin en [ $km^2$ ].

**Tableau III.21** : Récapitulatif des Formules empiriques.

Formule		$C_v$
D'OURKGUIPROVODKHOZ ( $C_v$ )		0.63
SOKOLOVSKY ( $C_v$ )	$a$	0.88
	( $C_v$ )	0.74
L'ANTONOV ( $C_v$ )		0.35
Moyenne		0.57

- On prend la valeur de la formule de d'OURKGUIPROVODKHOZ parce qu'elle est proche à la valeur moyenne.

## III.8 Evaluation des apports solides

Le manque de données de mesure du transport solide nous ramène à accepter toute méthode empirique qui nous permet l'ordre de grandeur acceptable de l'écoulement solide.

### III.8.1 Formule de TIXERONT:

C'est la formule la plus utilisée en Algérie pour l'évaluation du taux d'abrasion :

$$E_s = a \times L_e^{0.15}$$

- Où :
- $E_s$  : taux d'abrasion (t/km<sup>2</sup>/an) ;
  - $L_e$  : lame d'eau ruisselée en (mm) ;
  - $\alpha$  : coefficient empirique qui varie en fonction de la perméabilité du terrain ;
  - $\alpha = 75$  (perméabilité moyenne à élevée).

En tenant compte du poids spécifique moyen des sédiments  $\gamma=1.4$  T/m<sup>3</sup>.

$$E_s = 111.49 \text{ (T/km}^2\text{/ans)}$$

### III.8.2 Méthode d'estimation au Nord algérien

$$D_s = 328.624.Q^{-0.234} . S^{-0.197}$$

Avec :

- S : Surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>) ;
- Ds : le transport solide en (t/Km<sup>2</sup> /an) ;
- Q: Débit maximum (m<sup>3</sup>/s).

On aura alors :

$$D_s = 32.41 \text{ T/KM}^2\text{/AN.}$$

## III.9 Etude des crues

L'évaluation des crues est en effet un élément crucial dans la conception et le dimensionnement des ouvrages hydrauliques tels que les barrages, les digues, les canaux, et les systèmes de drainage. La capacité de prévoir avec précision les débits des crues est essentielle pour garantir la sécurité des infrastructures et la gestion des ressources en eau.

Il existe plusieurs méthodes et approches pour évaluer les crues, chacune ayant ses avantages et ses inconvénients. Voici quelques-unes des méthodes couramment utilisées :

- ✚ Méthode statistique : Cette approche repose sur l'analyse des données historiques des précipitations et des débits pour estimer la probabilité de survenue de crues de différentes intensités. Les méthodes statistiques telles que la méthode des moments, la méthode de Gumbel, et la méthode de Pearson III sont souvent employées.
- ✚ Méthode hydrologique empirique : Ces méthodes sont basées sur l'expérience et les observations locales. Elles utilisent des relations empiriques pour estimer les débits de crue en fonction de données géographiques, telles que la superficie du bassin versant, le type de sol, et les caractéristiques climatiques.
- ✚ Modélisation numérique : Les modèles numériques, tels que les modèles pluie-débit, utilisent des équations mathématiques complexes pour simuler le comportement des bassins versants en réponse aux précipitations. Ces modèles tiennent compte de la topographie, de la géologie, de la végétation, et d'autres facteurs pour estimer les débits de crue.
- ✚ Télédétection et systèmes d'information géographique (SIG) : Les technologies de télédétection, telles que les images satellites, peuvent fournir des données sur les

précipitations et les caractéristiques du bassin versant. Les SIG sont utilisés pour analyser ces données et produire des cartes des risques d'inondation.

- ✚ Données en temps réel : Les systèmes de surveillance des précipitations et des débits en temps réel permettent de suivre les conditions météorologiques et hydrologiques actuelles et d'alerter en cas de risque de crue soudaine.

L'évaluation des crues est un domaine en constante évolution, et les chercheurs travaillent continuellement à améliorer les méthodes et les outils disponibles. Il est important de noter que la fiabilité des estimations de crue dépend de la qualité des données disponibles et de la précision des modèles utilisés. De plus, le changement climatique peut avoir un impact significatif sur les régimes de crues, ce qui nécessite une adaptation constante des méthodes d'évaluation des crues.

➤ **Application sur le bassin versant :**

Pour notre étude on utilisera la méthode empirique, les principales lois employées sont :

### III.9.1 Formule de Turazza:

Cette formule utilise l'intensité moyenne maximale de précipitations déterminées sur un intervalle de référence égal au temps de concentration du bassin versant. (EMI, 1999)

$$Q_{\max, p\%} = \frac{c \times \bar{i}_{tc} \times A}{3.6}$$

Avec :

A : Surface du bassin versant.

$\bar{i}_{tc}$  : Intensité moyenne maximale des précipitations pendant une durée égale au temps de concentration en mm/h.

C : coefficient de ruissellement de la crue considérée pour une probabilité P%.

**Tableau III.22** : Coefficient de ruissellement.

Période de retour (ans)	5	10	20	50	100
Coefficient de ruissellement	0,6	0,65	0,70	0,75	0,80

### III.9.2 Formule de Giandotti:

Le débit maximum probable est donné par la formule suivante :

$$Q_{\max, p\%} = \frac{170 \times S \times P_{tc\%} \sqrt{h_{\text{moy}} - h_{\text{min}}}}{4\sqrt{S} + 1,5L}$$

Avec :

$Q_{\max, p\%}$  : Débit fréquentiel maximum en m<sup>3</sup> /s dont la fréquence est la même que celle de la pluie de courte durée  $P_{tc}$  (en m).

S : Surface du bassin versant en Km<sup>2</sup> ;

L : Longueur du talweg principale en Km ;

$h_{\text{moy}}$  : Altitude moyenne en m ;

$h_{\text{min}}$  : Altitude minimale en m.

### III.9.3 Formule de Mallet-Gautier:

La formule est donnée comme suit :

$$Q_{maxp\%} = 2K \log(1 + 20P) \frac{S}{\sqrt{L}} \sqrt{1 + 4 \log T - \log S}$$

T : Période de retour en années.

$\bar{P}$  : Pluie moyenne annuelle (m).

K : Paramètres constants dépendants de la taille du bassin versant K=3 par l'ANRH.

L : Longueur du thalweg principale.

**Tableau III.23 :** Valeurs des débits de crue (m<sup>3</sup>/s) pour le bassin versant par différentes méthodes de calcul.

Période de retour (ans)	5	10	20	50	100
Formule de Giandotti (m <sup>3</sup> /s)	103.59	134.77	167.64	214.31	252.41
Formule de Turazza (m <sup>3</sup> /s)	81.30	114.59	153.45	210.17	264.20
Formule de Mallet-Gautier	166.28	217.61	258.95	305.13	335.86
Moyenne	48.34	83.16	127.62	195.66	259

## Conclusion :

Pour assurer la protection de notre ouvrage on a utilisé le calcul par les formules empiriques qui dépendent des paramètres bien déterminés. On recommande d'adopter un débit de projet centennal 335.86 m<sup>3</sup>/s base de dimensionnement de l'aménagement. Donc :

$$Q = 335.86 \text{ m}^3/\text{s}.$$

**Tableau III.24 :** Valeurs des débits de crue choisies.

T (ans)	5	10	20	50	100
Débit	166.28	217.61	258.95	305.13	335.86

## III.10 Hydrogramme de crue

L'hydrogramme constitue un instrument fondamental pour définir la configuration temporelle d'une crue. Il se révèle être un moyen graphique de représenter la fluctuation du débit d'eau au fil du temps lors d'un événement de crue. Comme précédemment mentionné, la méthode de Sokolovski représente l'une des approches empiriques qui se destinent à la modélisation de l'hydrogramme d'une crue. Cette approche s'appuie sur une approximation de l'hydrogramme par deux courbes paraboliques, ce qui permet d'obtenir divers paramètres cruciaux pour caractériser la crue.

- **La montée de la crue :**  $Q = Q_{max} p \left[ \frac{t}{t_m} \right]_{max}^n$
- **La décrue :**  $Q = Q_{max} p \left[ \frac{t_d - t}{t_d} \right]_{max}^m$

Avec :

- $t_m$  : temps de montée de la crue ;  $t_m = t_c$  ;
- $t_d$  : temps de la décrue ;  $t_d = 4 t_m$  ;
- $m, n$  : puissance des équations  $m = 3, n = 2$ .

Pour les crues d'averses, c'est à dire les crues engendrées par la pluie, cette méthode prend :

- ✓  $T_m = T_c$  (pour les petits bassins versants), avec  $T_c$  qui est le temps de concentration du bassin versant (heures).
- ✓  $T_d = \delta * t_m$ .
- ✓  $\delta$  : coefficient de forme de l'hydrogramme de crue.

**Tableau III.25** : Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue.

Description du cours d'eau	Valeur de $\delta$
Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants dénudés et faiblement perméables.	2,0 – 2,5
Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants brisés ou perméables, moyens cours d'eau avec terrasses de lit majeur normales.	3,0 – 4,0
Grands et moyens cours d'eau avec des terrasses de débordements étendues.	4,0 – 7,0

Pour notre bassin, On prend  $\delta=4$ .

**Tableau III.26** : Caractéristiques de l'hydrogramme de crue du bassin versant.

Période de retour	5	10	20	50	100
$Q_{max}$	166.28	217.61	258.95	305.13	335.86
$T_m$	7.35				
$T_d$	29.4				
$T_b$	36.75				

- ❖ Les débits de crue des différentes périodes de retour du bassin versant sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.27 : Calcul de l'hydrogramme de crue pour le bassin versant.

Période de retour	5	10	20	50	100
$Q_{\max}$ (m <sup>3</sup> /s)	166.28	217.61	258.95	305.13	335.86
0	0	0	0	0	0
1	3.08	4.03	4.79	5.65	6.22
2	12.31	16.11	19.17	22.59	24.87
3	27.7	36.25	43.14	50.83	55.95
4	49.25	64.45	76.69	90.37	99.47
5	76.95	100.7	119.83	141.21	155.43
6	110.81	145.01	172.56	203.34	223.81
7.35	166.28	217.61	258.95	305.13	335.86
8.35	149.88	196.15	233.42	275.04	302.74
9.35	134.6	176.15	209.62	246.99	271.87
10.35	120.4	157.56	187.49	220.93	243.18
11.35	107.23	140.33	166.98	196.76	216.6
12.35	95.05	124.4	148.03	174.43	191.99
13.35	83.84	109.72	130.56	153.85	169.34
14.35	73.54	96.25	114.53	134.95	148.55
15.35	64.13	83.92	99.87	117.68	129.53
16.35	55.55	72.7	86.51	101.94	112.2
17.35	47.78	62.52	74.4	87.67	96.5
18.35	40.76	53.34	63.48	74.8	82.33
19.35	34.47	45.11	53.68	63.25	69.62
20.35	28.86	37.77	44.95	52.96	58.3
21.35	23.9	31.28	37.22	43.85	48.27
22.35	19.54	25.57	30.43	35.85	39.46
23.35	15.74	20.6	24.52	28.89	31.8
24.35	12.78	16.33	19.43	22.89	25.2
25.35	9.69	12.69	15.1	17.79	19.58
26.35	7.36	9.63	11.46	13.51	14.87
27.35	5.43	7.11	8.46	9.97	10.98
28.35	3.88	5.08	6.04	7.12	7.83
29.35	2.65	3.47	4.13	4.87	5.36
30.35	1.72	2.24	2.67	3.15	3.46
31.35	1.03	1.35	1.6	1.89	2.08
32.35	0.56	0.73	0.87	1.02	1.13
33.35	0.26	0.34	0.4	0.47	0.52
34.35	0.09	0.12	0.14	0.17	0.18
35.35	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04
36.75	0	0	0	0	0

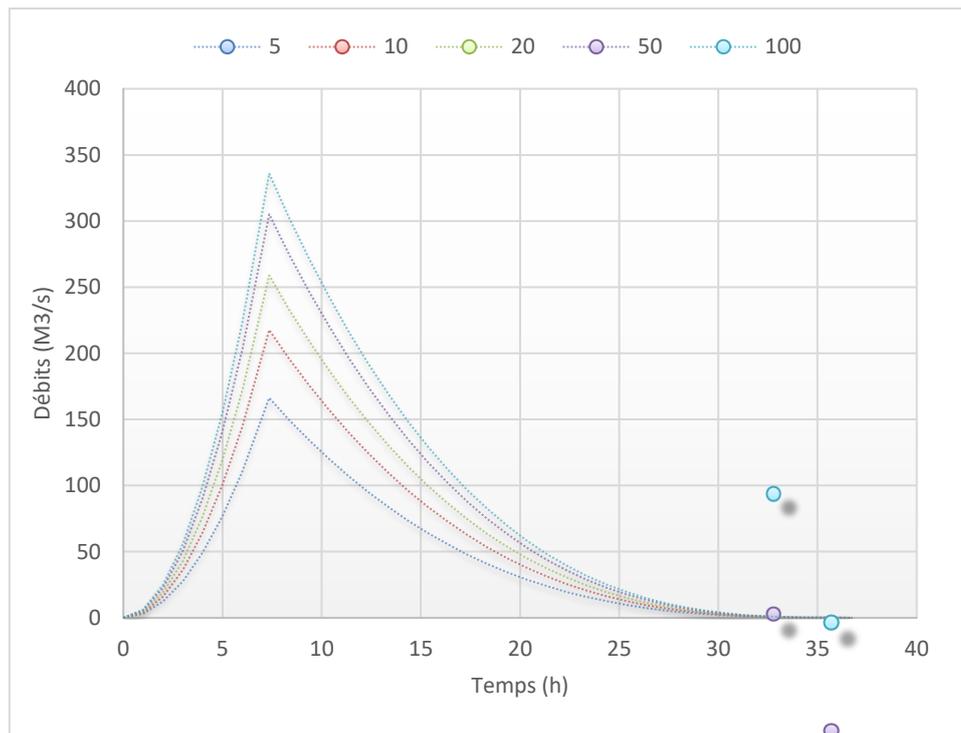


Figure III.14 : Hydrogramme de crue du bassin versant.

### III.11 Conclusion

L'étude hydrologique revêt une importance capitale et représente une phase extrêmement délicate dans le cadre de toute étude visant à la protection contre les inondations. Le choix et la validation des débits de crue constituent le fondement essentiel sur laquelle repose toute modélisation hydraulique des cours d'eau. Ces données permettent de prédire les inondations et de déterminer le type d'aménagements nécessaires, ainsi que leurs coûts de mise en œuvre. Les conclusions tirées de ce chapitre sont les suivantes :

- L'étude hydromorphologique du bassin versant révèle que notre bassin présente une forme relativement allongée, caractérisée par un relief assez fort et un temps de concentration assez court, ce qui favorise la survenue de crues ;
- Le débit de crues a été estimé à 335.86 m<sup>3</sup>/s en utilisant une méthode d'analogie basée sur les caractéristiques de notre bassin versant. Cette estimation nous a permis de calculer la lame d'eau équivalente, qui s'élève à 14.06 mm. Par la suite, nous avons effectué une série d'ajustements en se basant sur une série pluviométrique provenant de la station météorologique de Ksar el Boukhari. Cette démarche a été cruciale pour déterminer les débits maximaux associés à différentes périodes de retour. Et donc établir l'hydrogramme de crue du projet pour la période de retour 100 ans car il s'agit d'une étude d'aménagement ;
- Le transport solide a été évalué à 111,49 tonnes par kilomètre carré par ans.

## **CHAPITRE IV: MODÉLISATION DU COURS D'EAU**

## IV.1 INTRODUCTION

Dans le cadre de ce chapitre, nous procéderons à une analyse approfondie de la dynamique de l'écoulement hydrique à l'intérieur des canaux des oueds à aménager au sein de notre zone d'étude. De plus, nous nous attarderons sur la délimitation des secteurs sujets aux inondations. L'ensemble de ces approches contribuera à l'élaboration d'un programme d'aménagement du cours d'eau en stricte conformité avec nos spécifications et exigences de nature scientifique.

## IV.2 Généralités et définitions

L'hydraulique à surface libre se distingue de l'hydraulique en charge par la présence d'une surface libre, c'est-à-dire une surface où l'écoulement est en contact direct avec l'atmosphère. Dans ce contexte, le gradient de pression n'est plus le principal moteur de l'écoulement, car c'est la gravité qui joue un rôle prépondérant. L'hydraulique fluviale se concentre principalement sur l'étude des écoulements dans les types suivants d'environnements :

- ✓ Cours d'eau tels que les rivières et les fleuves.
- ✓ Systèmes d'évacuation tels que les réseaux d'assainissement pluvial.
- ✓ Aménagements hydrauliques variés, y compris les usines de production d'électricité, les ports, et d'autres infrastructures similaires.

Ces écoulements se caractérisent par une faible profondeur d'eau par rapport à la longueur de l'écoulement, ce qui les qualifie souvent d'écoulements filaires ou unidimensionnels, dépendant principalement des coordonnées spatiales ( $x$ ) et du temps ( $t$ ).

### IV.2.1 Rappel de quelques notions d'hydraulique :

- 1. Bief :** Un bief se définit comme un segment uniforme en termes de pente et de caractéristiques d'écoulement.
- 2. Type de cours d'eau :** Les cours d'eau sont classifiés en fonction de leur pente ( $I$ ), qui varie généralement de 3 à 6.
- 3. Section d'écoulement (ou section mouillée)  $S$  :** Il s'agit de la partie de la section du canal délimitée par les parois et la surface libre de l'eau.
- 4. Périmètre mouillé  $P$  :** Le périmètre mouillé représente la longueur de la surface d'écoulement en contact avec le lit (fond et berges), déduction faite de la largeur au miroir.
- 5. Largeur au miroir  $B$  :** La largeur au miroir désigne la largeur de la section d'écoulement au niveau de la surface libre, où la pression du fluide est égale à celle de l'atmosphère.
- 6. Hauteur d'écoulement :** La hauteur d'écoulement est la hauteur moyenne de l'eau, définie comme  $h = S / B$ .
- 7. Hauteur normale  $h_n$  :** Cette hauteur correspond à un écoulement permanent uniforme dans un bief et dépend du débit  $Q$ , de la rugosité  $K$ , et de la pente moyenne  $I$ .
- 8. Rayon hydraulique :** Le rayon hydraulique est une caractéristique définie comme  $R = S / P$ .
- 9. Débit  $Q$  :** Le débit représente la quantité d'eau traversant la section d'écoulement par unité de temps.
- 10. Vitesse moyenne  $V$  :** La vitesse moyenne est calculée comme  $V = Q / S$ .

**11. Coefficient de rugosité :** Ce coefficient traduit la rugosité des parois du canal (noté C pour le coefficient de Chézy ou K pour le coefficient de Manning-Strickler).

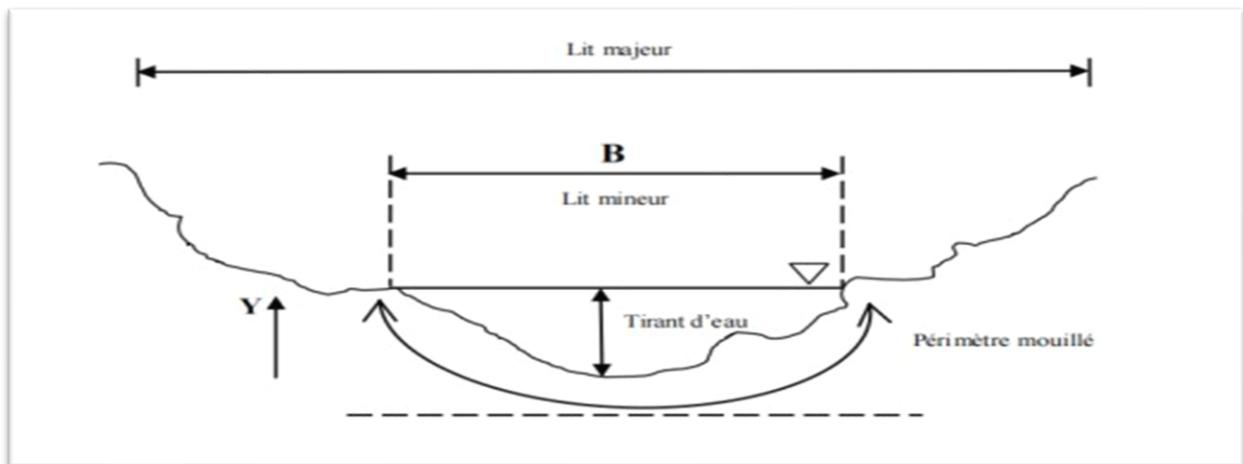
**12. Lit mineur :** Le lit mineur est la zone généralement occupée par le cours d'eau, en contraste avec le lit majeur, qui correspond à la zone historiquement inondée. Le niveau des plus hautes eaux (PHE) représente la cote maximale atteinte par la surface libre d'un cours d'eau.

**13. Lit majeur :** Il désigne la zone occupée par le cours d'eau lors des crues, y compris les zones inondées. Le lit d'étiage ou chenal d'étiage correspond à la partie du cours d'eau occupée pendant les étiages.

**14. La berge ou rive :** La berge est le talus qui sépare le lit mineur du lit majeur.

**15. L'étiage :** Il correspond aux niveaux d'eau les plus bas d'un cours d'eau, généralement observés en été. Le débit d'étiage représente donc le débit minimal d'un cours d'eau. Le débit de plein bord est le débit atteint lorsque la rivière déborde de son lit mineur. Pendant une crue, le débit de pointe désigne le débit maximal atteint.

**16. Tirant d'eau :** Le tirant d'eau est la profondeur maximale mesurée dans une section d'écoulement.



**Figure IV.1 :** Coupe transversale d'un canal naturel. (Source: Graf W. H, Altinakar M. S, 2000).

#### IV.2.2 Type d'écoulement:

##### ❖ Variable dans le temps :

##### 1. Écoulement stationnaire (permanent) :

L'écoulement est considéré comme permanent lorsque les vitesses moyennes et ponctuelles ( $V$  et  $U$ ), ainsi que la profondeur  $h$  ou  $dh$ , demeurent invariables dans le temps en tous points de l'espace dans toutes les directions. En conséquence, le débit reste constant entre les différentes sections du canal, sans apport latéral.

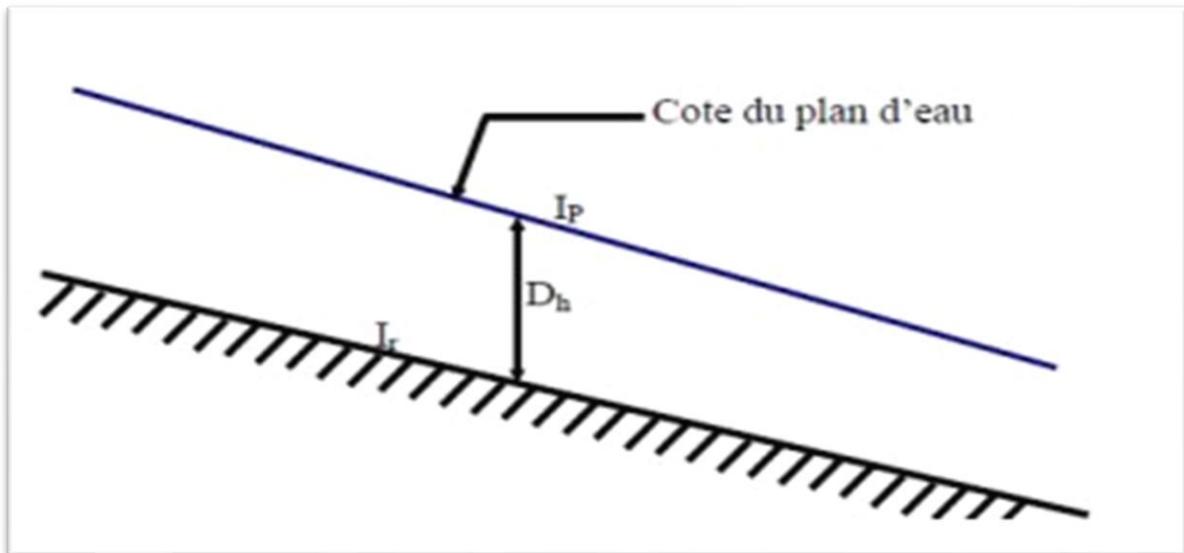


Figure IV.2 : Écoulement permanent. (Source : Graf W. H, Altinakar M. S, 2000).

### 2. Écoulement non stationnaire (non permanent) :

L'écoulement est transitoire lorsque la profondeur d'eau  $dh$  ainsi que les autres paramètres tels que ( $V$  et  $U$ ) présentent des variations temporelles entraînant ainsi une non-constance du débit.

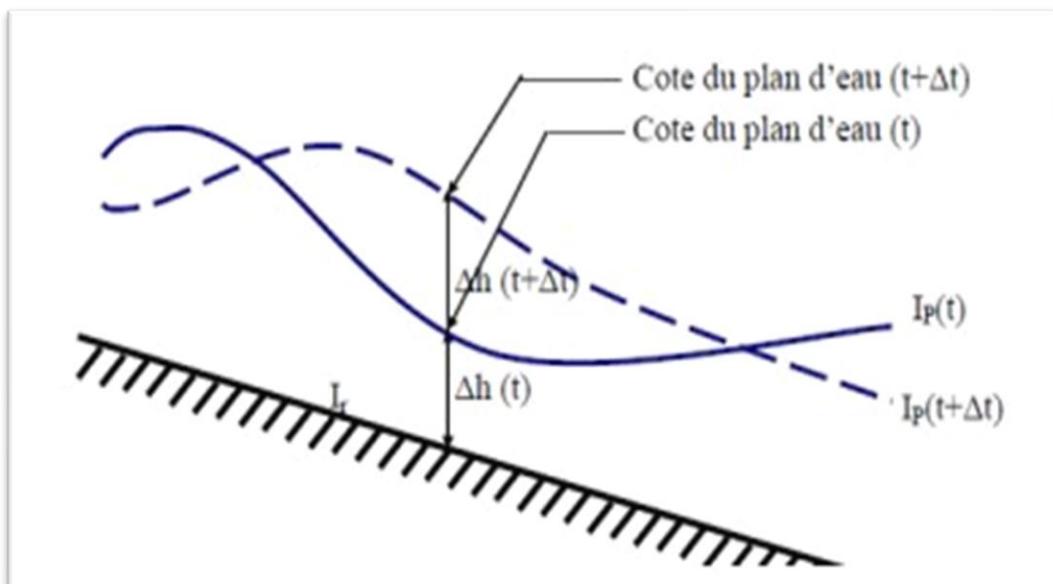


Figure IV.3 : Écoulement non permanent. (Source: Graf W. H, Altinakar M. S, 2000).

### ❖ Variabilité dans l'espace :

#### 1. Écoulement uniforme :

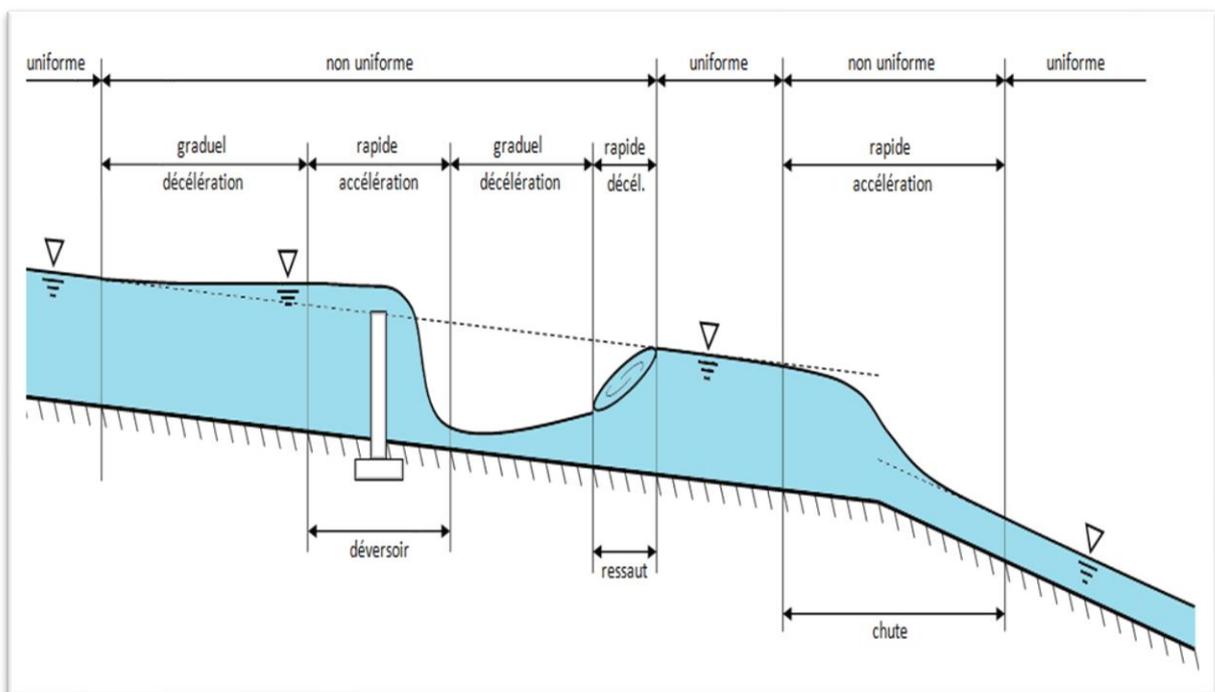
L'écoulement uniforme est caractérisé par deux conditions essentielles : la permanence et la continuité. On qualifie l'écoulement d'uniforme lorsque la profondeur, la pente, la vitesse et la section transversale demeurent invariables sur une distance spécifique du canal.

## 2. Écoulement non uniforme :

L'écoulement devient non uniforme lorsque la profondeur de l'écoulement subit des variations le long du canal ouvert. Cet état peut être permanent ou transitoire et peut être catégorisé en tant qu'écoulement tranquille, rapide ou critique. Les distinctions sont les suivantes :

- ✚ **Écoulement non uniforme graduellement varié** : Il s'agit d'un régime d'écoulement où la variation de la profondeur dans la direction de l'écoulement est très faible. Plus précisément, si l'on considère une longueur d'écoulement  $x$  et une variation de profondeur  $h$ , cette variation est minime.
- ✚ **Écoulement non uniforme rapidement varié** : Dans ce régime d'écoulement, la variation de la profondeur dans la direction d'écoulement est très significative. Ceci se produit notamment lorsque l'on s'approche d'une singularité ou en présence d'un ressaut hydraulique, ce qui entraîne une transition vers un régime rapidement varié de l'écoulement.

Le schéma suivant résume les variabilités des écoulements dans l'espace :



**Figure IV.4** : Variabilité des écoulements dans l'espace. (Source: Graf W. H, Altinakar M. S, 2000).

### IV.2.3 Régime d'écoulement:

L'écoulement à surface libre est caractérisé par le déplacement d'un fluide où une interface libre existe entre la masse liquide et l'atmosphère environnante. Dans ce contexte, la pression généralement prédominante est équivalente à la pression atmosphérique. Cette forme d'écoulement se produit sous l'influence de la force gravitationnelle, induite par la présence d'une inclinaison ou d'une pente.

❖ **Le nombre de Reynolds :**

Le nombre de Reynolds, un paramètre adimensionnel crucial dans l'étude hydraulique des canaux, représente la proportion entre les forces d'inertie et les forces de frottement.

$$Re = \frac{V D}{\mu}$$

- V : est la vitesse moyenne ;
- D : le diamètre hydraulique égal à 4R ;
- R : étant le rayon hydraulique ;
- $\mu$  le coefficient de viscosité cinématique ; Pour des canaux de largeur infinie, on aura  $R = h$  ;
- h étant le tirant d'eau.

Le rôle du nombre de Reynolds est de permettre la distinction entre les écoulements comme suit :

- Écoulement laminaire  $Re' < 580$  ;
- Écoulement turbulent  $Re' > 2320$  ;
- Transition  $580 < Re' < 2000$ .

❖ **Le nombre de Froude :**

Le nombre de Froude, pour les écoulements à surface libre, s'écrit :

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gH}}$$

- V : Vitesse moyenne de l'écoulement ;
- H : Profondeur hydraulique ;
- g : Accélération gravitationnelle.

Le nombre de Froude permet de classer les écoulements de la manière suivante :

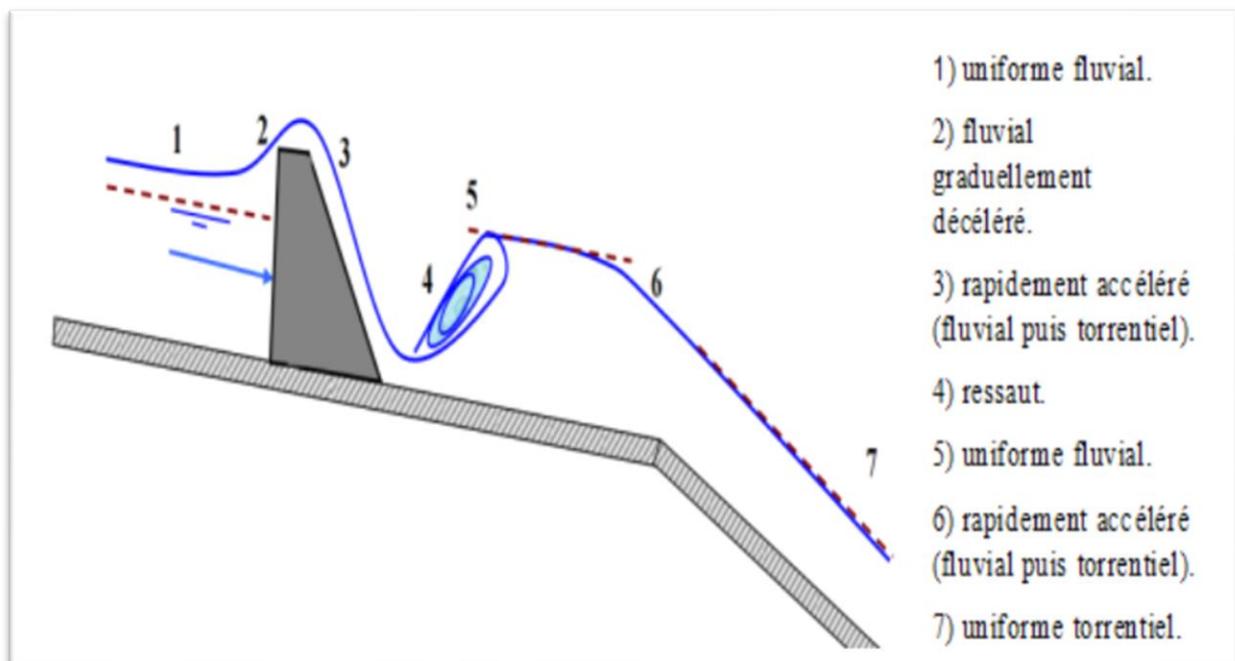
- ❑ Écoulement subcritique ( $Fr < 1$ ) : Dans ce cas, la vitesse de l'écoulement est inférieure à la vitesse des ondes de surface, ce qui signifie que l'écoulement est dominé par la gravité. Cela se produit généralement dans les rivières à faible pente et les canaux où la vitesse de l'eau est relativement lente par rapport à la profondeur de l'eau.
- ❑ Écoulement critique ( $Fr = 1$ ) : Lorsque le nombre de Froude est égal à 1, l'écoulement est dit critique. Cela se produit lorsque la vitesse de l'écoulement est égale à la vitesse des ondes de surface, ce qui peut se produire dans certains cas spécifiques, notamment dans les chutes d'eau.
- ❑ Écoulement supercritique ( $Fr > 1$ ) : Dans ce cas, la vitesse de l'écoulement est supérieure à la vitesse des ondes de surface, ce qui signifie que la force d'inertie domine sur la gravité. Les écoulements supercritiques se produisent généralement dans des rivières à forte pente ou des canaux où l'eau s'écoule rapidement.

Le nombre de Froude est un concept important en hydraulique et en mécanique des fluides, car il permet de comprendre le comportement des écoulements en fonction des forces gravitationnelles et inertielles qui agissent sur eux.

**Par conséquent**, les paramètres du nombre de Reynolds,  $Re'$ , et du nombre de Froude,  $Fr$ , engendrent quatre régimes d'écoulement distincts :

- Fluvial - Laminaire  $Fr < 1$  et  $Re' < 580$  ;

- Fluvial - Turbulent  $Fr < 1$  et  $Re' > 2320$  ;
- Torrentiel - Laminaire  $Fr > 1$  et  $Re' < 580$  ;
- Torrentiel - Turbulent  $Fr > 1$  et  $Re' > 2320$ .



**Figure IV.5 :** Schéma représentant les différents régimes d'écoulement. (Source : Degoutte 2006).

### IV.3 Canaux à ciel ouvert

Un canal est défini comme un système de transport au sein duquel un fluide s'écoule, et dont la surface libre est exposée à la pression atmosphérique.

#### Type des canaux :

On distingue deux types de canaux :

**Les canaux naturels** se définissent comme les cours d'eau préexistants à l'état naturel sur ou sous la surface terrestre, incluant les ruisseaux, les torrents, les rivières, les fleuves et les estuaires. Leurs caractéristiques géométriques et hydrauliques présentent généralement une notable irrégularité intrinsèque.

**Les canaux artificiels** sont des cours d'eau façonnés par l'activité humaine. Parmi ces canaux, on retrouve les canaux à ciel ouvert construits au niveau du sol, tels que les canaux de navigation, d'adduction, d'évacuation, d'irrigation et de drainage, ainsi que les canaux couverts où les liquides n'occupent pas l'intégralité de la section, notamment les tunnels hydrauliques, les aqueducs, les drains et les égouts. Les canaux artificiels se distinguent par leurs propriétés hydrauliques généralement plus uniformes. L'application de la théorie hydraulique conduit fréquemment à des résultats satisfaisants dans leur modélisation et leur gestion.

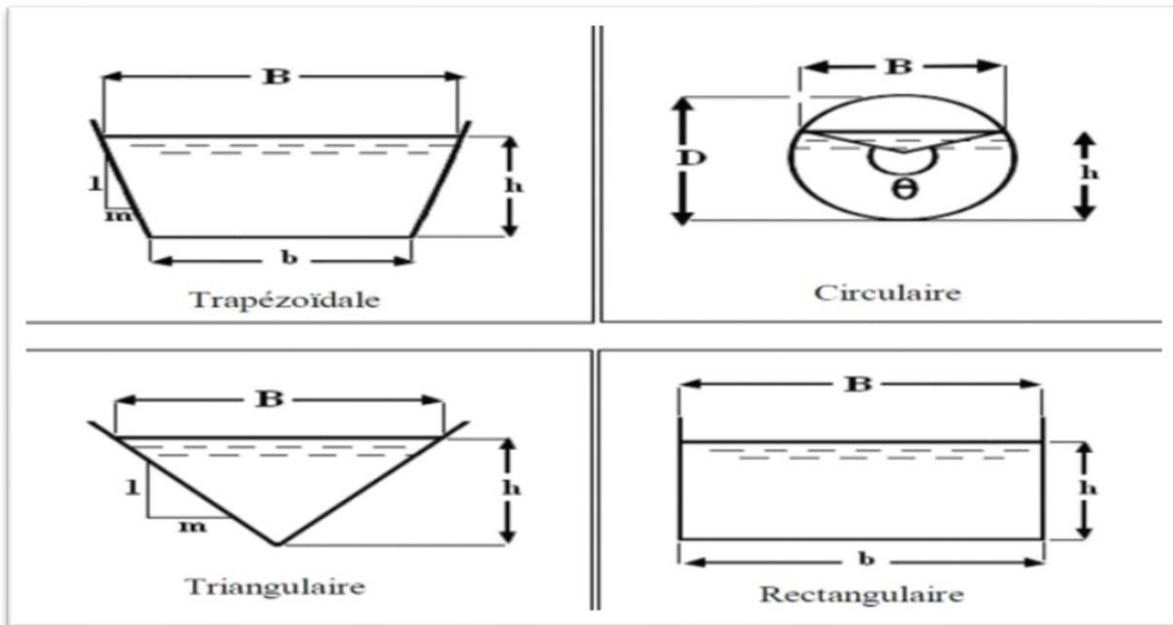


Figure IV.6 : Canaux artificiels (Source : TOUMI Abdelouaheb, 2016).

#### IV.4 Construction du modèle

Cette section se concentrera sur l'explication du système informatique employé, y compris les logiciels, les outils, les documents numériques, et elle abordera également la méthodologie de travail adoptée.

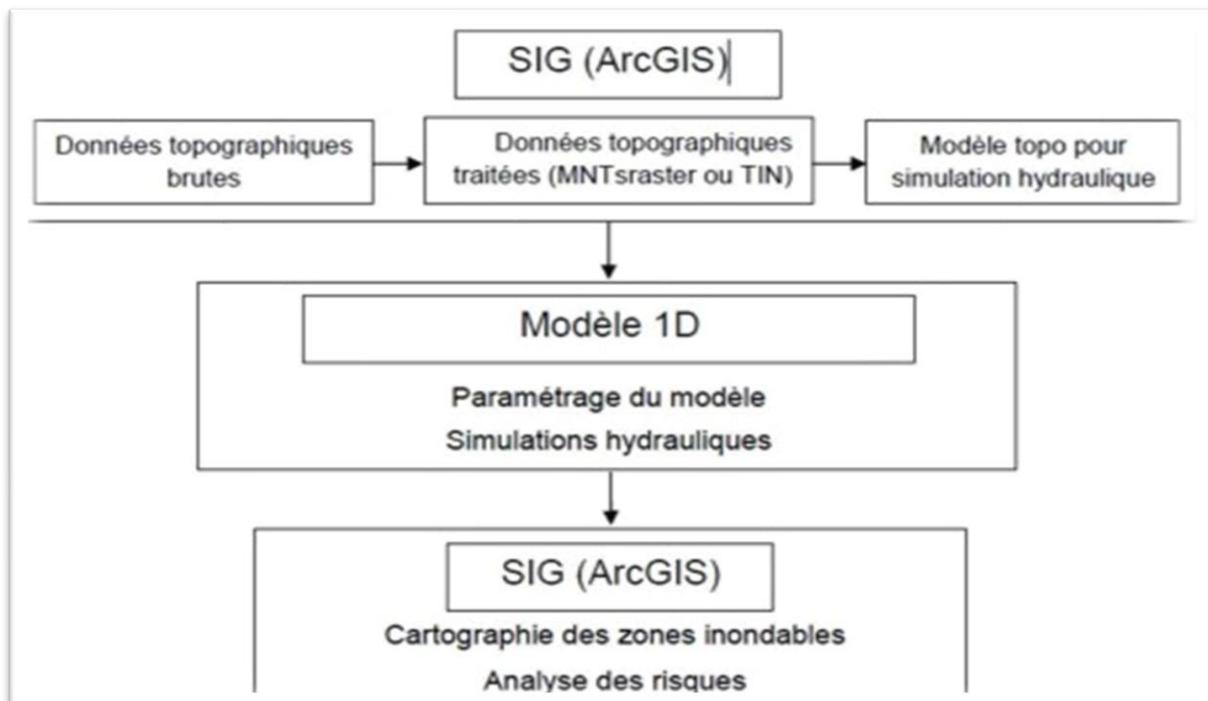


Figure IV.7 : Organigramme de travail. (Source : Storymaps.arcgis)

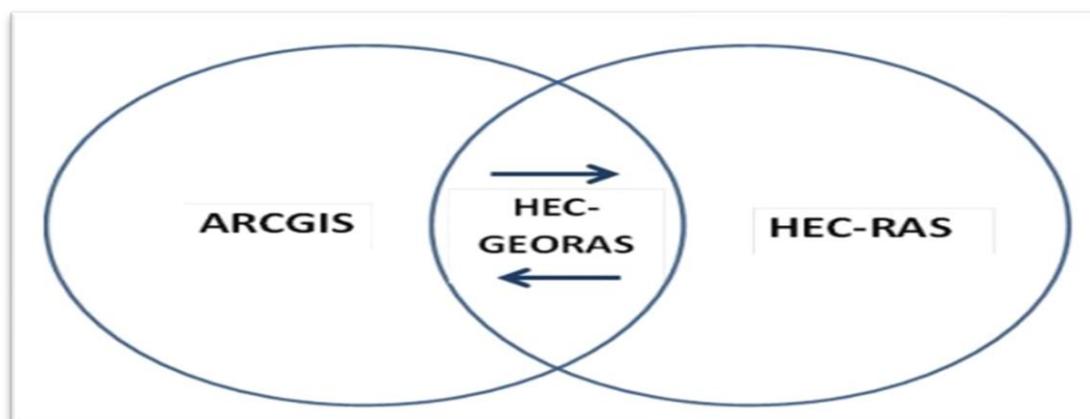
#### IV.4.1 Dispositif et outils informatiques utilisés

Il convient tout d'abord de noter que nous avons délibérément opté pour l'utilisation d'un code informatique unidimensionnel qui a déjà fait ses preuves en matière de calcul hydraulique. Il s'agit du code HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center, River Analysis System), développé par le Corps des ingénieurs de l'armée américaine, et disponible en tant que logiciel gratuit depuis 1995. Ce logiciel a déjà démontré son efficacité dans ce type d'analyses, et de nombreuses entreprises et laboratoires le considèrent comme l'outil de choix pour une première approche (K. DEBIANE en 2000 et R. CHAMPREDONDE en 2006). HEC-RAS permet d'analyser les débits et les niveaux d'eau dans les cours d'eau, tout en déterminant les zones susceptibles d'être inondées. Il offre de nombreuses fonctionnalités pour la collecte de données, l'analyse hydraulique, le stockage de données et la présentation sous forme de tableaux et de graphiques (CHACHOUA en 2009). Nous disposons de la version gratuite HEC-RAS 6.4.1, disponible sur le site officiel HEC-RAS. En complément du code HEC-RAS, nous avons également utilisé le logiciel bien connu ARCGIS, leader en matière de systèmes d'information géographique. L'interopérabilité entre ces deux programmes est assurée par une extension développée par le Corps des ingénieurs de l'armée américaine, appelée HEC-GEORAS, conçue pour fonctionner avec ARCGIS.

Cette combinaison forme un système informatique cohérent qui permet dans un premier temps de préparer les données géométriques nécessaires (prétraitement), puis d'effectuer les calculs requis (simulation), et enfin d'exploiter les résultats obtenus (post-traitement).

**Les domaines où les Systèmes d'Information Géographique (SIG) trouvent application sont divers et multiples. Parmi les exemples les plus courants, on peut mentionner :**

- ✚ Réaménagement urbain (gestion cadastrale, planification routière, infrastructures d'assainissement).
- ✚ Gestion des situations d'urgence civile (prévention et gestion des catastrophes).
- ✚ Gestion des flux hydrologiques et hydrauliques (régulation des écoulements de surface).
- ✚ Géologie appliquée (cartographie, évaluation des risques, enquête sur l'amiante environnemental, exploration minière).
- ✚ Biologie (analyse des mouvements des populations animales).
- ✚ Télécommunications (déploiement d'infrastructures d'antennes mobiles).



**Figure IV.8 :** Représentation schématique du dispositif informatique utilisé.

## IV.4.2 ARCGIS:

- ❖ **ArcGIS** est un système complet qui englobe la collecte, l'organisation, la gestion, l'analyse, la communication et la diffusion d'informations géographiques. En tant que première plateforme mondiale pour le développement et l'utilisation des systèmes d'information géographique (SIG), ArcGIS est largement adopté à travers le monde pour mettre en œuvre la connaissance géographique dans les domaines du gouvernement, des entreprises, de la science, de l'éducation et des médias. ArcGIS permet la publication des données géographiques, les rendant ainsi accessibles et exploitables par un large public.
- ❖ Élaboré par ESRI (Environmental Systems Research Institute), ArcGIS est un logiciel qui occupe une place prépondérante dans le domaine de la gestion de l'information spatiale. Il offre une multitude d'options et de possibilités d'analyse et de traitement de données grâce à des extensions particulièrement riches, telles que Spatial Analyst et 3D Analyst. (US ACE, 2010).



Figure IV.9 : Composant d'un SIG. (Source : ArcGIS Online).

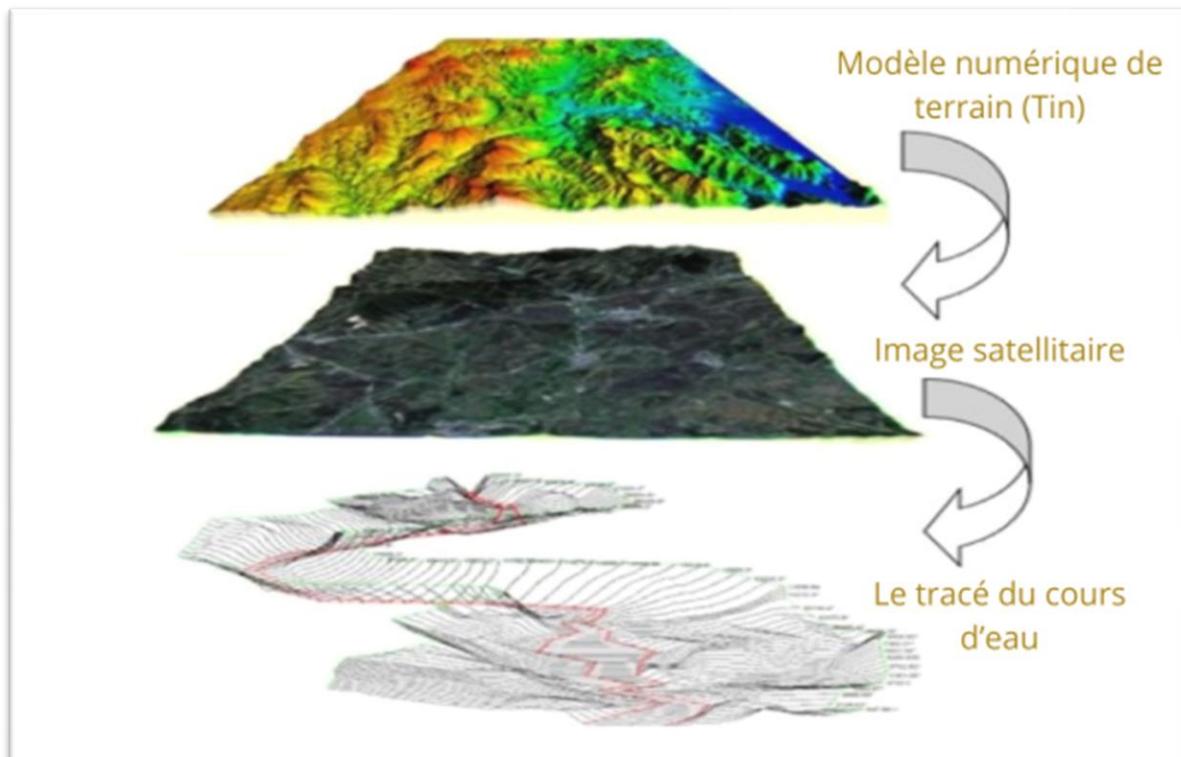


Figure IV.10 : Etape de création de la géométrie sous ArcGIS. (Source : ArcGIS Online).

### IV.5 La morphométrie de sous bassin versant par L'ARCGIS

Les premières tentatives visant à quantifier la géomorphologie des bassins versants et à délimiter manuellement leurs contours sur les cartes topographiques ont marqué les débuts de la recherche en hydrologie. Ces analyses préliminaires ont posé les bases pour de nombreuses études ultérieures dans ce domaine. De nos jours, l'informatique offre des moyens considérablement améliorés pour réaliser ces tâches, notamment la délimitation des bassins versants, la mesure de leurs caractéristiques géométriques, de leur hypsométrie, de leurs pentes, ainsi que l'analyse de la structure de leur réseau hydrographique.

À cet égard, les logiciels de Systèmes d'Information Géographique, tels qu'ArcGIS, offrent des outils puissants pour effectuer des calculs et des mesures hydromorphologiques à partir de données de cartes de Modèle Numérique de Terrain (MNT).

#### ❑ Outils requis :

**Carte :** MNT.

**Logiciels :** Global Mapper et ArcGIS 10.8.2.

**Fichiers et applications :** Fichier de projection et l'application Esrihydrology.

- **Global Mapper :** Il dépasse sa simple fonction de visualisation, ayant la capacité d'afficher une variété de formats tels que des images raster, des données d'altitude et des données vectorielles largement utilisées. (Découper la carte MNT, La fonction Fill, La fonction Flow Direction, Désigner un exutoire ...etc.)

#### IV.5.1 HEC-RAS:

Nous avons opté pour l'utilisation du logiciel HEC-RAS développé par le Hydrologic Engineering Center du U.S Army Corps of Engineers pour modéliser les écoulements dans les oueds. Ce

logiciel présente l'avantage d'être librement accessible sur Internet et est largement répandu dans ce domaine.

**HEC-RAS** est un logiciel intégré destiné à l'analyse hydraulique, conçu spécifiquement pour la simulation des écoulements à surface libre. Il offre une interface graphique permettant la création, la modification, et la visualisation des données d'entrée, ainsi que l'observation des résultats obtenus. Il est actuellement largement utilisé par de nombreuses entreprises d'ingénierie et organismes gouvernementaux.

La version 6.1 de HEC-RAS permet de modéliser à la fois les écoulements permanents et non permanents, ainsi que le transport de sédiments, en offrant des fonctionnalités avancées pour faciliter la conception d'ouvrages hydrauliques.

#### ❖ Montage du modèle :

La conception du modèle implique la fidèle conversion des données physiques obtenues sur le terrain, notamment celles liées à l'oued, aux Champs d'expansion ou d'écrêtement, ainsi qu'aux Ouvrages de franchissement, en un modèle numérique structuré, comprenant des éléments tels que les nœuds, les branches, les profils en travers, et les ouvrages de franchissement. La création de ce modèle s'est déroulée en plusieurs étapes méthodiques :

- ✚ La première étape consiste à saisir les données topographiques, telles que les profils en long en coordonnées Lambert, les profils en travers, ainsi que les distances partielles inter-profils qui définissent les emplacements des axes des profils en travers et leurs extrémités.
- ✚ La deuxième étape englobe la modélisation des coefficients de rugosité, comme définis dans les sections pertinentes. Ces coefficients ont été augmentés aux endroits correspondants aux méandres et autres singularités rencontrées le long de l'oued, afin de prendre en compte la perte d'énergie supplémentaire lors de l'écoulement.
- ✚ La phase suivante implique la caractérisation des ouvrages enjambant les divers cours d'eau.
- ✚ Enfin, la dernière étape consiste à définir le lit mineur et les champs d'épandage de chaque cours d'eau pris en compte dans cette étude. Une fois le modèle assemblé, une interpolation a été réalisée entre chaque paire de profils successifs.

Ces étapes rigoureuses permettent de créer un modèle numérique précis pour représenter de manière adéquate les caractéristiques et le comportement des cours d'eau étudiés.

#### ❖ Création de la rivière :

Pour générer un modèle hydrodynamique d'un cours d'eau dans HEC-RAS, l'utilisateur doit fournir des profils en travers à des intervalles plus ou moins réguliers. Cette phase du travail est souvent considérée comme la plus exigeante, car elle nécessite la tabulation de multiples profils.

Pour effectuer ces calculs et obtenir une solution convergente, le logiciel exige un espacement limité entre les sections transversales. Par exemple, un intervalle de 100 mètres est généralement considéré comme approprié. Cette disposition permet ensuite d'interpoler de

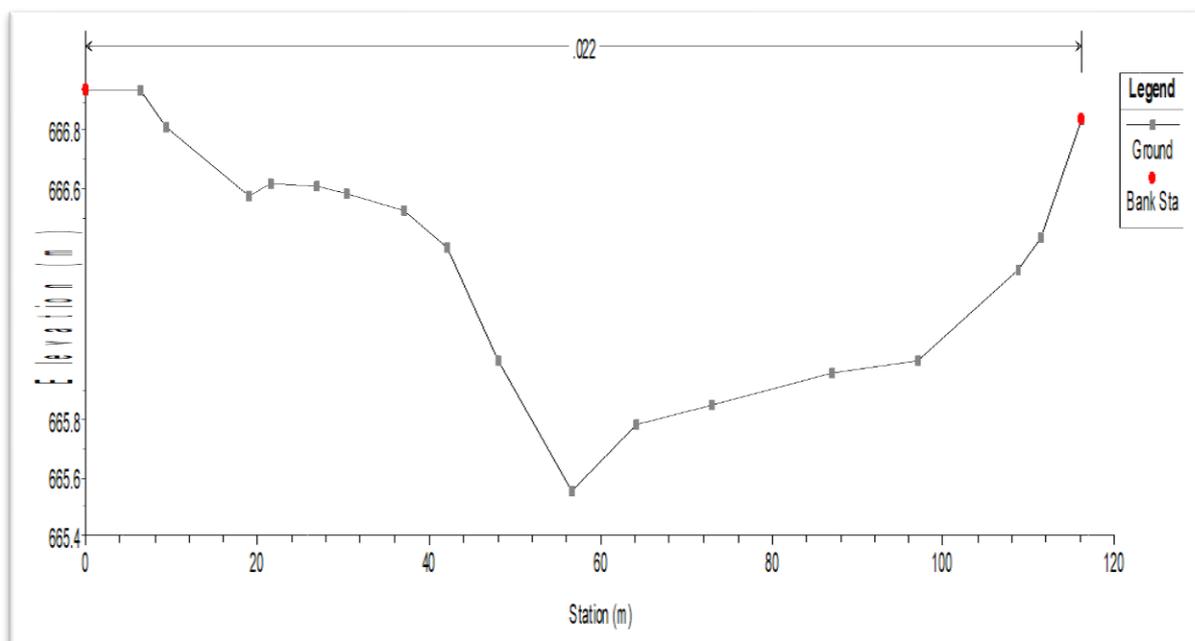
nouvelles sections entre les sections existantes, créant ainsi un modèle fluviométrique détaillé. Cette approche nous offre la possibilité de disposer d'un modèle de cours d'eau précisément exploitable. Il est important de noter que HEC-RAS prend en compte toutes les irrégularités présentes dans les sections transversales pour garantir une modélisation fidèle de la réalité hydrodynamique.

#### ❖ Rugosité :

Il est envisageable de caractériser trois distinctes zones de rugosité : le lit mineur ainsi que les deux côtés du lit majeur. Dans cette démarche, nous avons opté pour des coefficients de Manning de 0,02 et 0,022 pour le canal naturel correspondant aux lits mineur et majeur, tandis que la valeur retenue pour les ouvrages en béton armé demeure à 0,015.

#### ✚ Définition des " levées "

Par défaut, HEC-RAS utilise toute la largeur du profil pour faire passer le débit. Nous avons ainsi la possibilité de définir des " points hauts " qui confinent l'écoulement, mais qui peuvent être submergés (comme ponts, ouvrage busés).



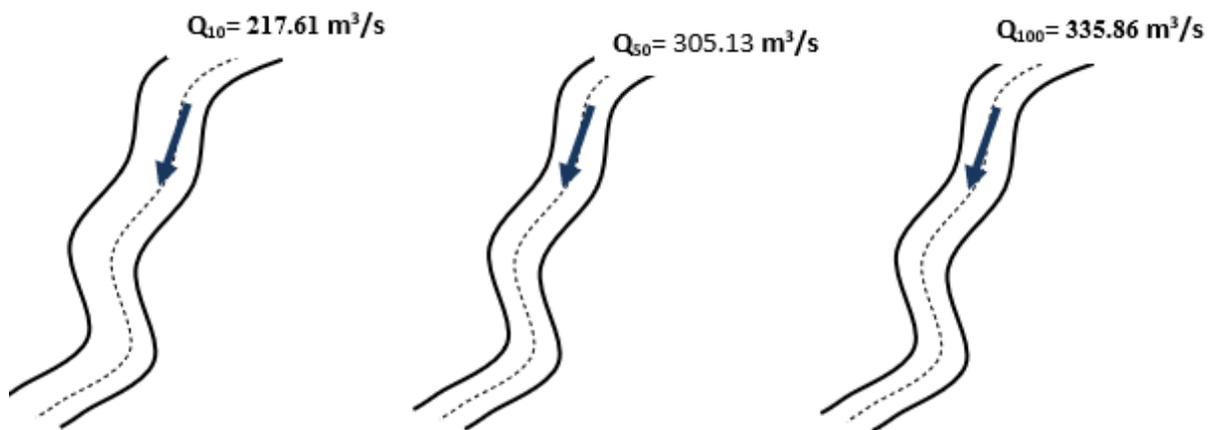
**Figure IV.11:** Profil en travers d'une section d'oued Seghouane. (Source : HEC-RAS).

#### ✚ Étude stationnaire

Dans le cadre d'une analyse hydrologique stationnaire, nous avons entrepris l'évaluation des débits de pointe de crues à l'aide de diverses méthodes pour toutes les sections de l'Oued Hkom. L'objectif principal de cette simulation est de cartographier les zones susceptibles de subir des débordements de l'Oued.

À titre d'illustration, nous avons pris en considération trois débits de crue correspondant à différentes périodes de retour pour l'Oued Hkom, conformément aux spécifications suivantes

:



#### ❖ Principe de calcul :

HEC-RAS, un logiciel d'hydrodynamique, est compétent pour résoudre des problèmes unidimensionnels relatifs aux écoulements d'eau. La détermination de la ligne de l'eau se réalise en résolvant l'équation de l'énergie par le biais d'une méthode itérative connue sous le nom de "méthode par pas standard". Cette ligne de niveau est déduite de l'équation de la conservation de la charge hydraulique, qui est dérivée de l'équation de la quantité de mouvement.

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Avec :

- Y : Hauteur d'eau
- Z : Côte du fond
- V : Vitesse moyenne sur une section
- $\alpha$  : Coefficient de pondération
- G : Gravité
- He : Perte de charge

### IV.6 Application d'HEC-RAS sur un Oued

➤ **Pour appliquer le modèle HEC-RAS, il est impératif de disposer d'une base de données complète relative au site d'étude, comprenant les éléments suivants :**

1. Profil en travers, caractérisé par une série de couples de données distance-altitude.
2. Distance à la section suivante, mesurée depuis les rives et l'axe du canal.
3. Coefficients de contraction et d'expansion appropriés.
4. Paramètres relatifs à l'écoulement ainsi que les conditions aux limites associées.

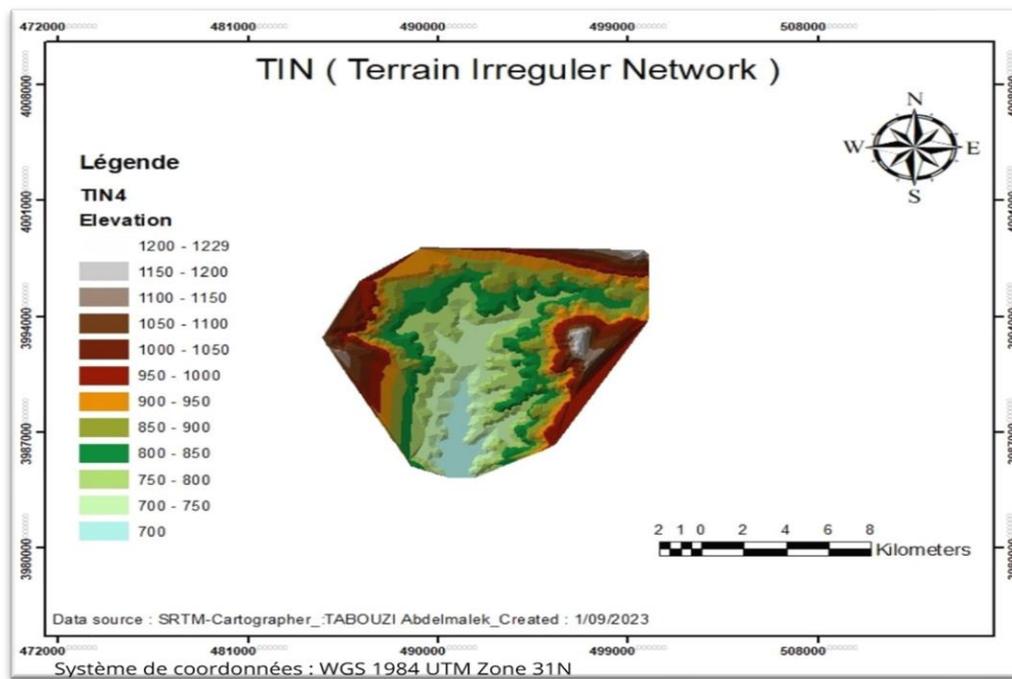
➤ **Les données géométriques :**

Les données géométriques requises englobent la création de la connectivité de l'information pour le système hydrographique (schéma de système hydrographique), les données relatives

aux sections transversales, ainsi que les données relatives aux ouvrages hydrauliques existants ou en projet (tels que les ponts, les écluses, les structures latérales, les déversoirs, etc.). Nous avons élaboré les profils en travers en respectant rigoureusement les étapes qui seront exposées ultérieurement.

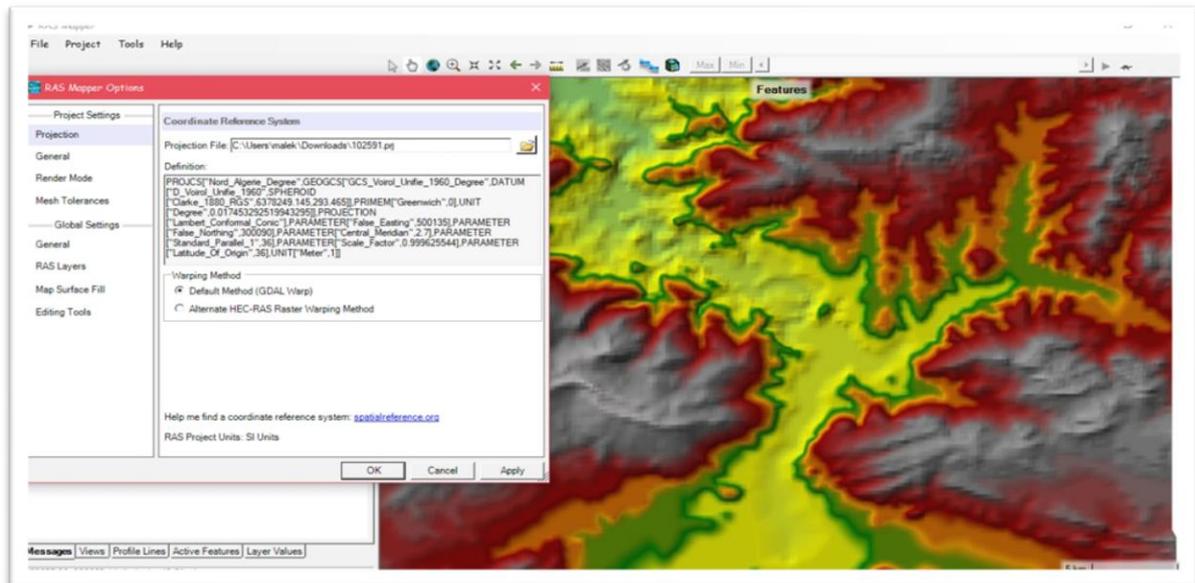
➤ **Construction du TIN (Terrain Irregular Network) :**

Le modèle numérique de terrain (TIN) offre une représentation précise du relief extérieur et peut être facilement ajusté en fonction de la variabilité topographique inhérente au terrain. Nous générerons un TIN en utilisant le logiciel ArcGIS dans le but de visualiser le flux hydraulique dans RAS MAPPER, d'établir la carte de profondeur, la carte de vitesse, et d'autres paramètres scientifiques pertinents. La figure III.12 montre le TIN établi :



**Figure IV.12 :** TIN (réseau irrégulier triangulé) de l'Oued El-Hkom. (Source : ARC-GIS).

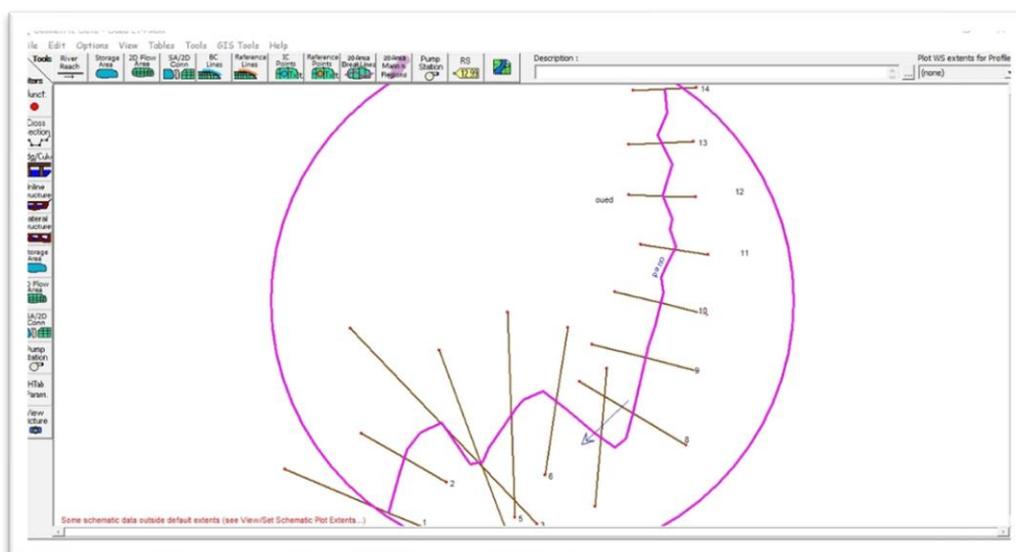
- Après avoir généré notre modèle numérique de terrain (TIN), nous procédons à son exportation vers le logiciel HEC-RAS, en utilisant un fichier de projection au format ESRI (PRJ). Ce fichier renferme des données relatives à un système de coordonnées spécifique adapté à notre zone d'étude, nécessaire pour que RAS MAPPER puisse mener à bien la simulation. L'importation du TIN depuis Imagine Image vers RAS MAPPER est alors effectuée, tout en préservant l'intégrité des données scientifiques.



**Figure IV.13** : Introduction du fichier terrain et du fichier de projection dans RAS Mapper.  
(Source : HEC-RAS).

- Après la réussite de l'importation, nous traçons l'axe de l'oued, le lit mineur ainsi que le lit majeur ainsi que les sections en travers.

Les sections transversales tirées à partir du RAS MAPPER sont représentées dans la figure IV.14 :

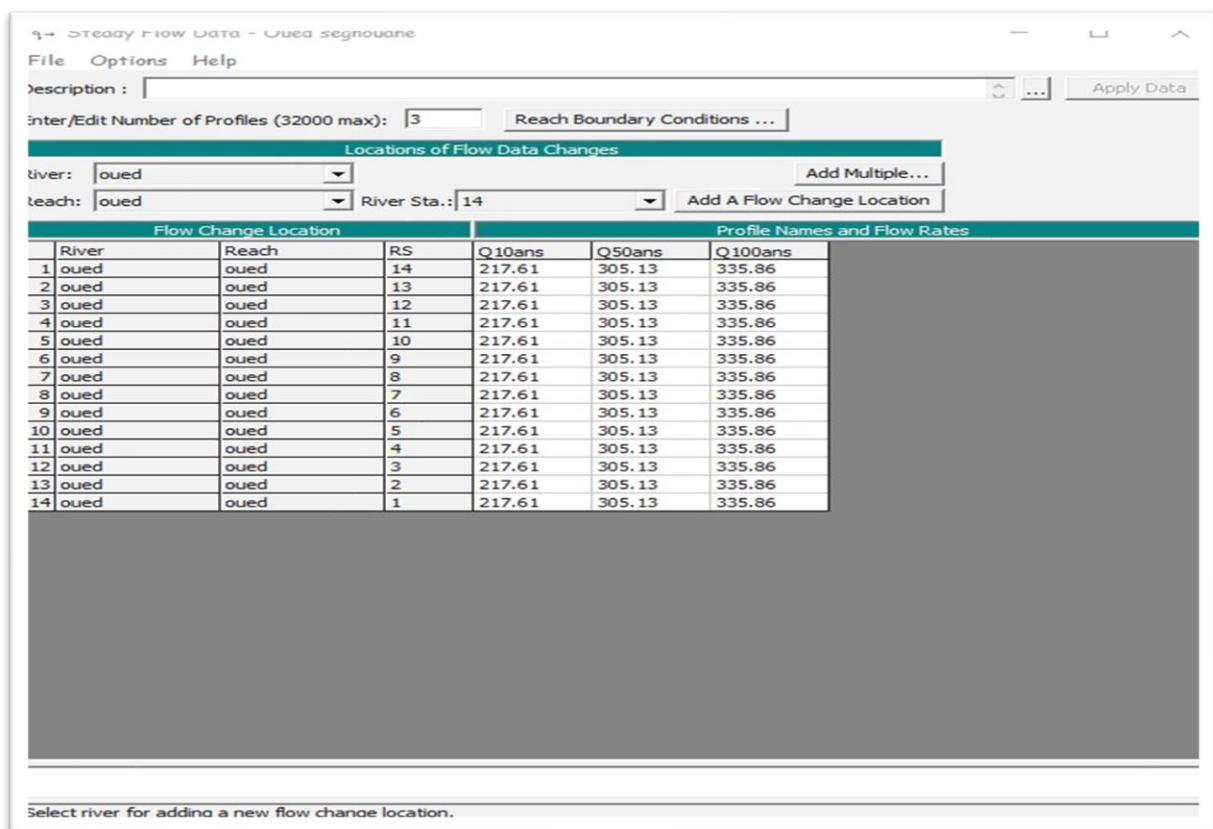


**Figure IV.14** : Définition du tracé de l'oued El-Hkom et des sections en travers de l'oued.  
(Source : HEC-RAS).

➤ **Les données de l'écoulement et les conditions aux limites :**

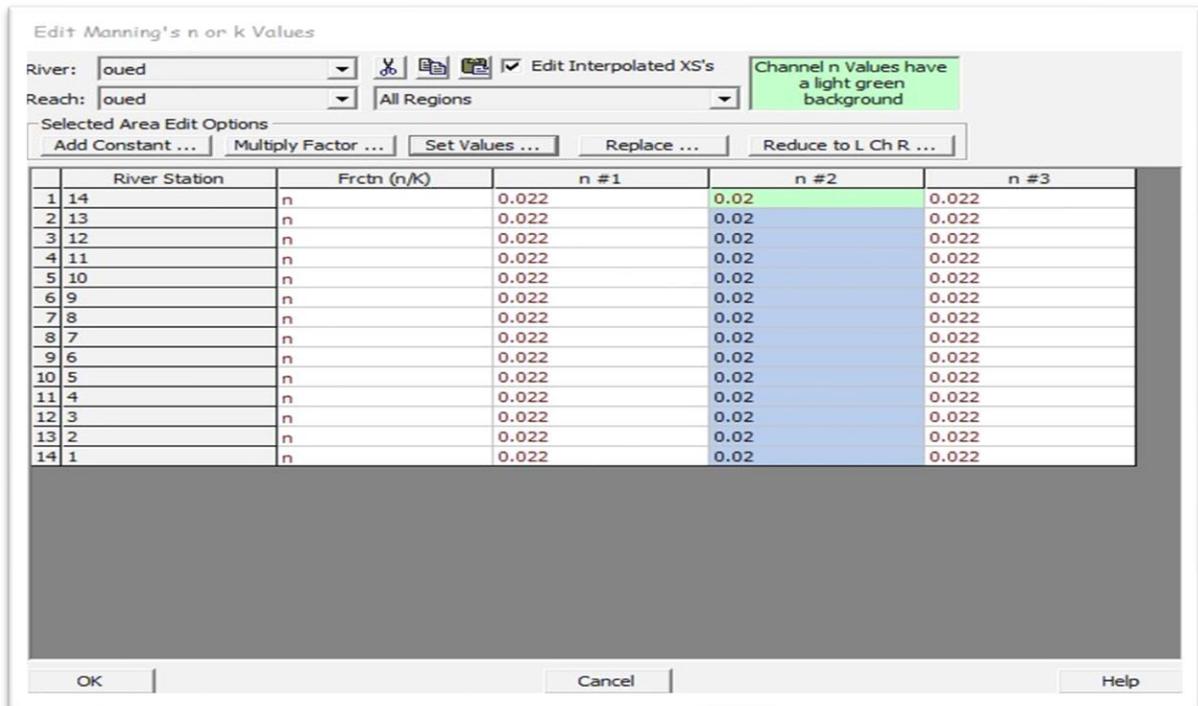
Après avoir saisi les données géométriques de chaque section, l'étape suivante de la modélisation hydraulique par HEC-RAS consiste à définir les débits d'entrée ainsi que toutes les conditions aux limites requises pour permettre l'exécution du calcul des profils de la surface de l'eau le long de chaque section du système fluvial. Les conditions aux limites revêtent une importance cruciale dans la modélisation hydraulique. En effet, dans le contexte d'un écoulement permanent, il est impératif d'établir les conditions limites amont, aval, ou les deux, afin de fixer les élévations de la surface de l'eau aux extrémités de chaque tronçon du cours d'eau. C'est seulement à ce moment que HEC-RAS peut entamer ses calculs hydrauliques.

- ❖ Introduire les données de débit correspondants à chaque période de retour désirée (10 ans -50ans-100ans) en créant les profils nécessaires. **Figure IV.15**



Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates		
River	Reach	RS	Q10ans	Q50ans	Q100ans
1	oued	14	217.61	305.13	335.86
2	oued	13	217.61	305.13	335.86
3	oued	12	217.61	305.13	335.86
4	oued	11	217.61	305.13	335.86
5	oued	10	217.61	305.13	335.86
6	oued	9	217.61	305.13	335.86
7	oued	8	217.61	305.13	335.86
8	oued	7	217.61	305.13	335.86
9	oued	6	217.61	305.13	335.86
10	oued	5	217.61	305.13	335.86
11	oued	4	217.61	305.13	335.86
12	oued	3	217.61	305.13	335.86
13	oued	2	217.61	305.13	335.86
14	oued	1	217.61	305.13	335.86

**Figure IV.15 :** Introduction du débit correspondant à 100 ans et 50 ans et 10 ans. (Source : HEC-RAS).



**Figure IV.16** : Introduction des valeurs de Manning pour le fond et les berges. (Source : HEC-RAS).

#### ➤ Simulation :

Après avoir introduire les données géométriques, hydrométrique et les conditions aux limites, nous devons choisir un régime fluvial, torrentiel ou mixte pour effectuer le calcul. Dans notre cas on suppose un régime mixte et on lance la simulation.

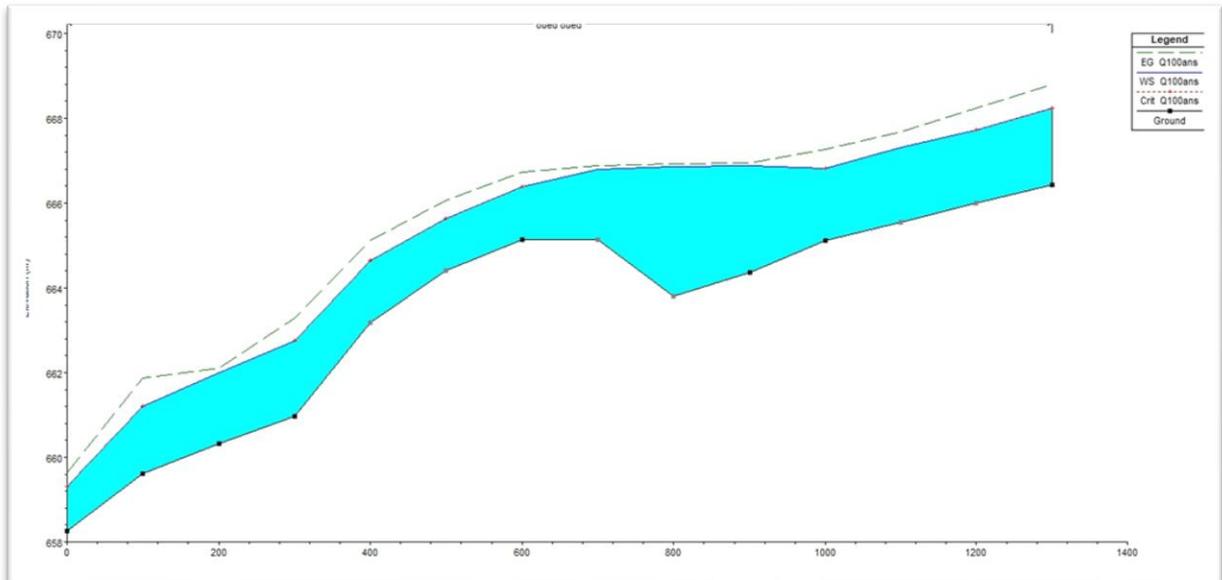
1. Le débit centennale calculé dans la partie hydrologique qui est de 335.86 m<sup>3</sup>/s ;
2. La pente normale qui est égale à 0.0039 ;
3. Le choix de coefficient de frottement (coefficient de Manning) : Le frottement au fond du lit est caractérisé par un coefficient de rugosité n (coefficient de Manning inverse du coefficient de Strickler  $k = 1/n$ ).

#### IV.6.1 Résultat de la simulation:

L'encodage des données géométriques relatives aux sections transversales et aux débits de pointe pour différentes périodes de retour, ainsi que l'établissement des conditions limites dans le logiciel HEC-RAS, a permis d'effectuer les calculs et d'extraire divers résultats scientifiques. Parmi ces résultats, nous pouvons mentionner la représentation en profil du tronçon simulé, l'évolution du niveau d'eau pour chaque période de retour sur les profils, une visualisation tridimensionnelle du niveau d'eau dans le tronçon d'étude, des tables descriptives et la courbe de tarage.

**IV.6.1.1 Le profil en long:**

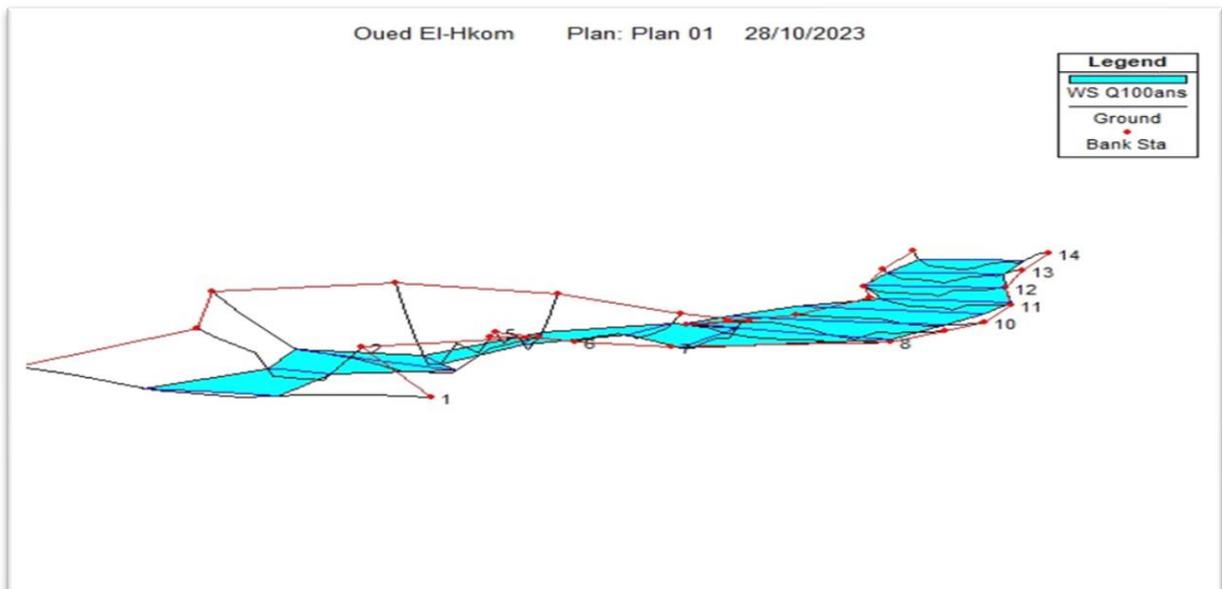
La ligne d'eau constitue une représentation en coupe transversale du segment d'analyse, mettant en évidence le niveau de la surface aquatique de l'Oued ainsi que le niveau d'eau correspondant à une période de retour centennale.



**Figure IV.17 :** Profil en long du cours d’eau à l’état naturel pour une crue centennale. (Source : HEC-RAS).

**IV.6.1.2 Vue en trois dimensions du tronçon modélisé :**

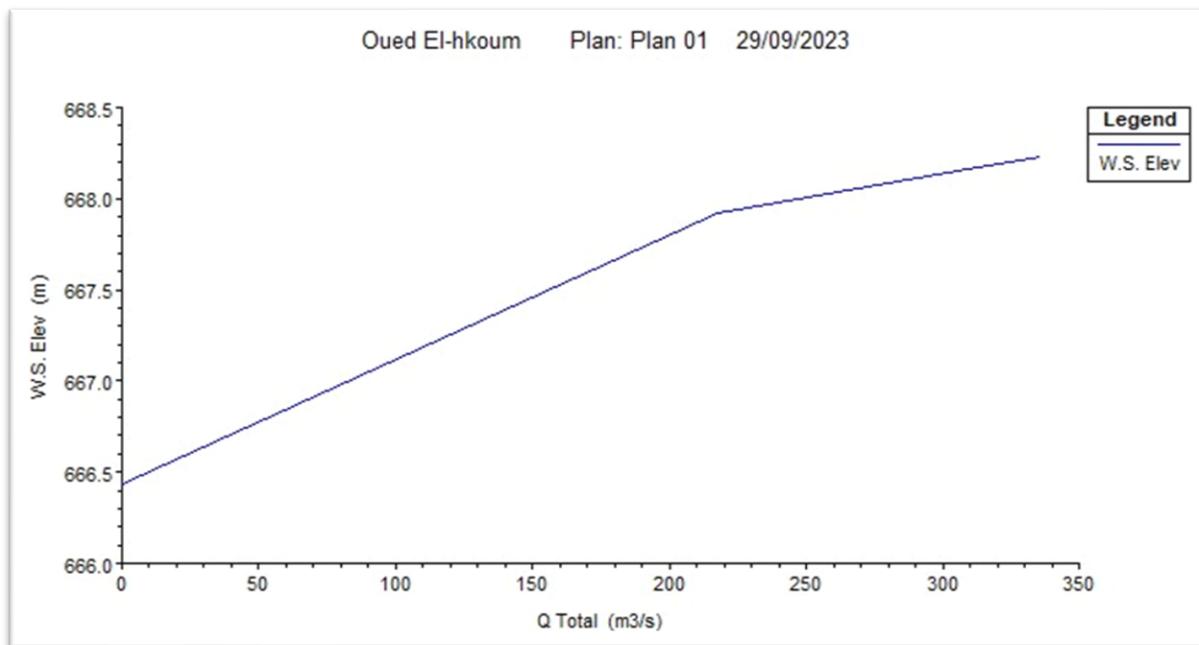
HEC-RAS offre une perspective tridimensionnelle qui simplifie l'observation de l'évolution des débits de crue associés à différentes périodes de retour.



**Figure IV.18 :** Vue en 3D de l’Oued. (Source : HEC-RAS).

**IV.6.1.3 Restitution de la courbe de tarage :**

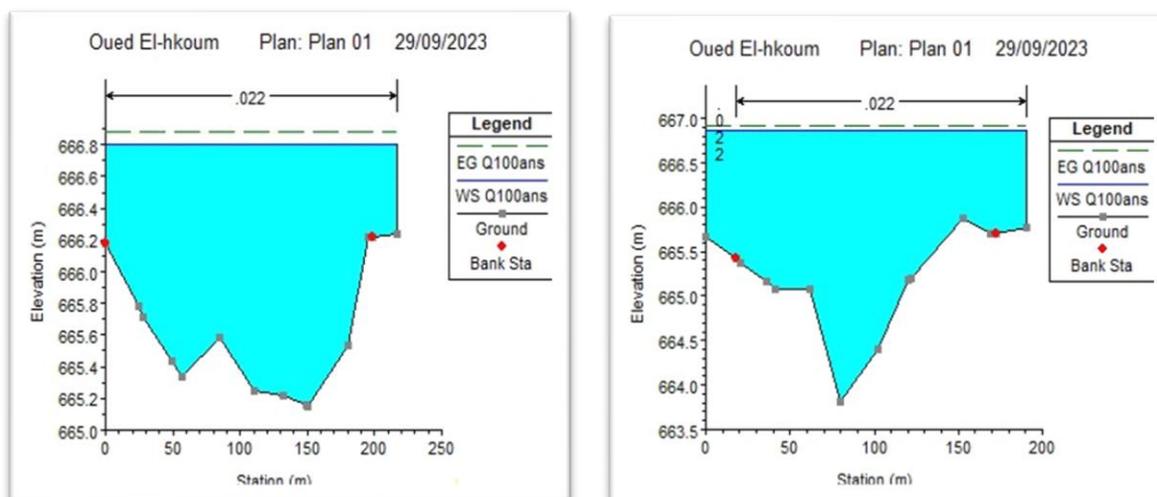
HEC-RAS a permis de générer une représentation de la variation de la hauteur d'eau (en mètres) en fonction du débit (en mètres cubes par seconde).



**Figure IV.19 :** Courbe de tarage du tronçon modélisé d’Oued El-Hkom. (Source : HEC-RAS).

**IV.6.1.4 Les profiles en travers:**

L'utilisation de cette fonction d'affichage des résultats par profil transversal a facilité l'acquisition d'un niveau maximal de données détaillées à chaque point sélectionné le long du tracé du cours d'eau. Cette observation a permis de constater que pratiquement toutes les sections sont susceptibles d'être submergées.



**Figure IV.20 :** Profils en travers. (Source : HEC-RAS).

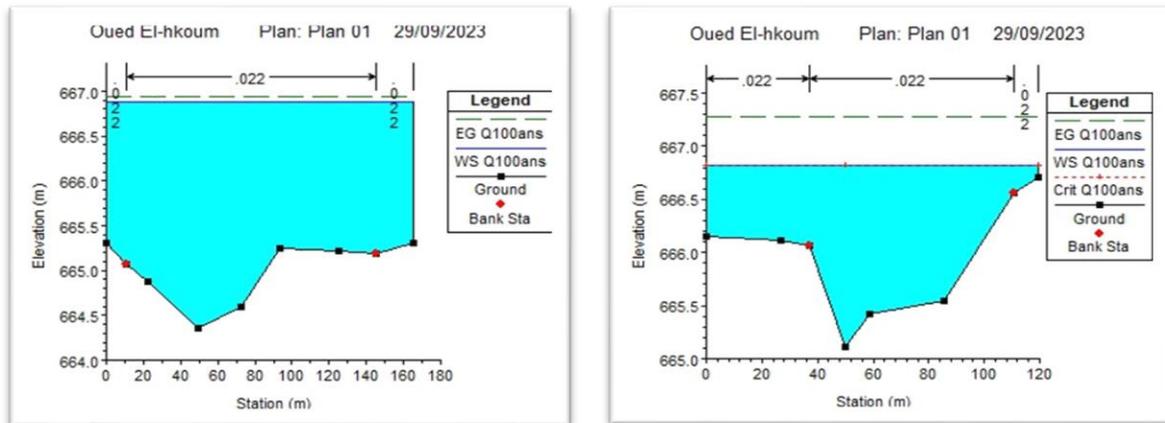


Figure IV.21 : Profils en travers. (Source : HEC-RAS).

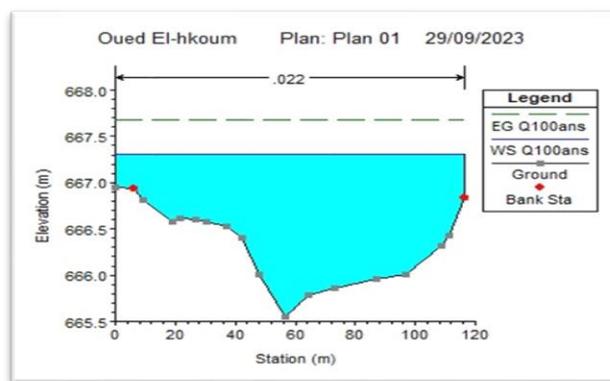


Figure IV.22 : Profils en travers. (Source : HEC-RAS).

Le logiciel offre également la capacité de générer des résumés tabulaires exhaustifs des paramètres hydrauliques, que ce soit pour un barrage, un autre ouvrage, une surface de stockage, chaque station (profil en travers), ou pour l'ensemble des stations simultanément.

Tableau IV.1 : Principaux paramètres hydrauliques pour l'ensemble des stations (Source : Logiciel HEC-RAS).

REACH	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch. El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Ele	E.G. SLOPE	VelCh nl	Flow Area	Top Width	Froude
			M3/s	m	M	m	M	m/m	m/s	M2	m	
Oued	14	Q100ans	335.86	666.44	668.23	668.23	668.79	0.004590	3.32	101.31	90.53	1.00
Oued	13	Q100ans	335.86	666.00	667.72	667.72	668.26	0.004731	3.48	96.39	98.74	1.13
Oued	12	Q100ans	335.86	665.55	667.31	667.19	667.68	0.003289	2.71	123.99	116.16	0.84
Oued	11	Q100ans	335.86	665.11	666.82	666.82	667.28	0.004820	3.01	111.75	119.40	0.99
Oued	10	Q100ans	335.86	664.36	666.89	665.71	666.95	0.000233	1.06	317.24	165.10	0.24
Oued	9	Q100ans	335.86	663.81	666.87		666.92	0.000253	1.03	327.14	190.88	0.25
Oued	8	Q100ans	335.86	665.14	666.80		666.88	0.000585	1.26	266.82	216.65	0.36
Oued	7	Q100ans	335.86	665.13	666.39	666.39	666.72	0.005445	2.57	130.92	195.69	1.00
Oued	6	Q100ans	335.86	664.42	665.63	665.62	666.08	0.004994	3.31	101.39	127.29	1.19
Oued	5	Q100ans	335.86	663.18	664.66	664.66	665.20	0.004911	3.85	87.27	115.62	1.41
Oued	4	Q100ans	335.86	660.97	662.75	662.75	663.74	0.004751	5.29	63.47	83.48	1.94
Oued	3	Q100ans	335.86	660.32	662.00	661.56	662.10	0.000925	1.37	245.06	248.14	0.44
Oued	2	Q100ans	335.86	659.62	661.20	661.20	661.87	0.004401	3.61	93.08	70.85	1.01
Oued	1	Q100ans	335.86	658.26	659.30	659.30	660.67	0.005568	5.95	56.42	144.23	3.04

- **Min Ch. El** : Altitude du radier du canal ;
- **Vel chnl** : Vitesse d'écoulement ;
- **W.S Elev** : Altitude du plan d'eau calculé ;
- **Flow alea** : Section mouillée ;
- **Top Width** : Largeur au miroir ;
- **E.G Elev** : Altitudes de la ligne d'énergie ;
- **Froude chl** : Nombre de Froude ;
- **E.G slope** : Pente de la ligne d'énergie.

### IV.7 La cartographie du risque d'inondation

Après avoir effectué les calculs des profils d'inondation à l'aide du logiciel HEC-RAS, notre objectif dans cette étape est de délimiter les zones inondables le long de l'Oued. Pour ce faire, nous devons obtenir les hauteurs d'eau à différents emplacements du cours d'eau.

La simulation de l'état naturel du cours d'eau, en considérant la crue centennale, a été réalisée à l'aide du logiciel HEC-RAS dans le but de déterminer les points de débordement ou, plus généralement, de délimiter les zones sujettes aux inondations.

La délimitation des zones inondables sera réalisée à l'aide de RAS MAPPER, une fonctionnalité du logiciel HEC-RAS. L'utilisation de RAS MAPPER nous permettra de générer des cartes présentant les éléments suivants :

- L'impact potentiel des inondations,
- La probabilité de survenance des inondations,
- Le niveau actuel de maîtrise des risques liés aux inondations.

La création d'une cartographie des risques peut répondre à divers objectifs, tous aussi importants les uns que les autres. Ces objectifs comprennent notamment :

- La mise en place d'un contrôle interne ou d'un processus de gestion des risques adapté,
- L'aide à la direction dans l'élaboration de sa stratégie et dans la prise de décisions,
- L'orientation du plan d'audit interne en mettant en lumière les processus où les risques majeurs sont concentrés,
- La préservation de la réputation et de l'image de l'organisation.

La cartographie des risques est un outil puissant pour la gestion interne. Sa création nécessite une méthodologie minutieuse, ce qui permet une détection systématique des risques majeurs.

La gestion du risque peut être définie comme la combinaison des actions entreprises par une organisation pour se préparer à faire face à une crise potentielle et faciliter la prise de décision. Cette démarche comporte trois étapes principales :

- **La prévision** : Il s'agit de la mise en place de mesures pour anticiper un événement aléatoire afin d'améliorer sa gestion.

- **La protection et la prévention** : Le risque peut être défini comme le produit de sa gravité par sa probabilité, et des actions sont entreprises pour réduire ces deux composantes du risque.

### IV.7.1 Caractéristique géométriques d'oued étudiée:

Les principaux termes sont :

- **Lit** : désigne tout l'espace occupé, en permanence ou temporairement, par un cours d'eau.
- **Lit mineur** : lit du cours d'eau en écoulement normal.
- **Lit majeur** : lit qu'occupe le cours d'eau lors des crues, incluant les zones inondées.
- **Lit d'étiage ou chenal d'étiage** : partie du cours d'eau occupé lors des étiages.
- **Plaine d'inondation** : zone de terrain inondée lors du chenal du cours d'eau lorsque le Cours d'eau est en crue.

La figure ci-dessous représente le lit mineur et majeur de cours d'eau oued Hkom :



**Figure IV.23** : les lits mineur et majeur de cours d'eau oued El-Hkom. (Source : HEC-RAS « Ras-Mapper »).

### IV.7.2 La carte de l'aléa inondation :

Cette cartographie reflète les zones présentant une propension variable à l'occurrence d'inondations, en raison du débordement des cours d'eau. Elle repose sur une conjonction entre la fréquence des inondations et le phénomène de submersion.

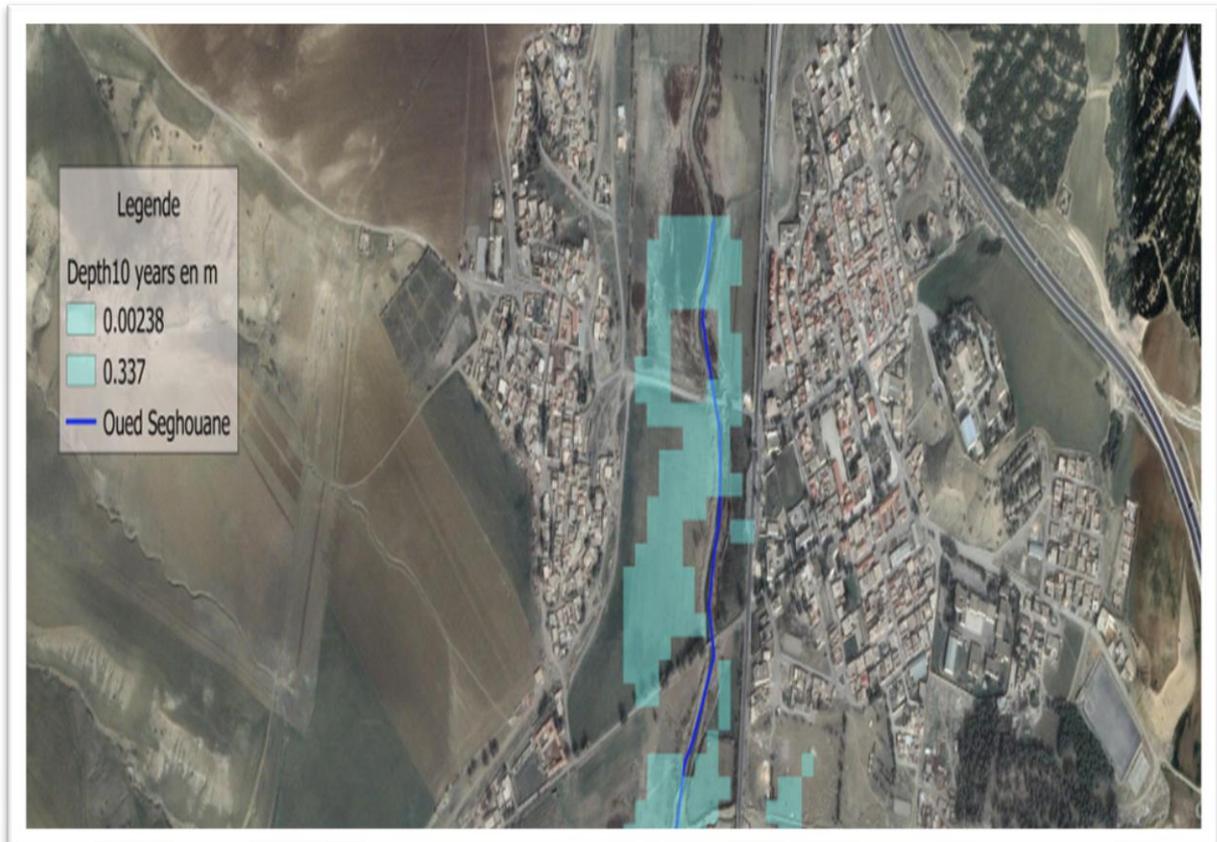
#### Carte des profondeurs :

La caractérisation d'une inondation par submersion repose principalement sur son étendue et sa profondeur. Cette évaluation requiert l'utilisation de modèles hydrauliques ou la création numérique des profils altimétriques des cours d'eau, tant mineurs que majeurs. En conséquence, on peut distinguer trois catégories de submersion en fonction de leurs caractéristiques de profondeur :

- ❑ Submersion de faible ampleur : caractérisée par une profondeur inférieure à 0,5 mètre

- ❑ Submersion de moyenne ampleur : se manifestant avec une profondeur comprise entre 0,5 et 1 mètre ;
- ❑ Submersion de grande ampleur : marquée par une profondeur excédante 1 mètre.

Les deux figures III.24 et III.25 suivantes permettent d'avoir une vue d'ensemble des inondations. Nous constatons, à première vue, que c'est surtout lors des crues de  $Q_{100}$  que les inondations sont importantes. Nous pouvons identifier les principales zones de débordement et les profondeurs d'eau atteints. De manière générale, l'idéal serait d'écrêter les débits supérieurs à  $Q_{10}$ .

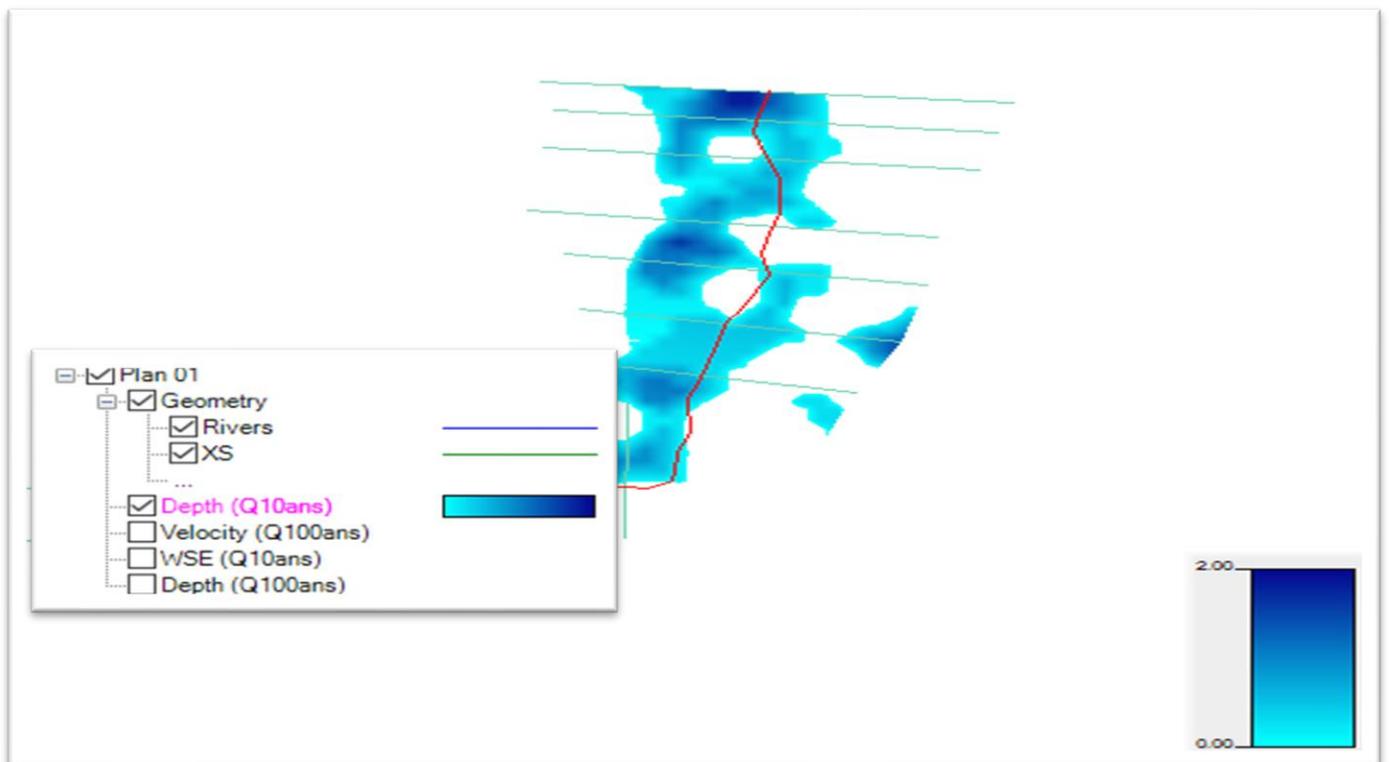


**Figure IV.24** : Image satellitaire des surfaces inondées pour un débit de crue décennale.

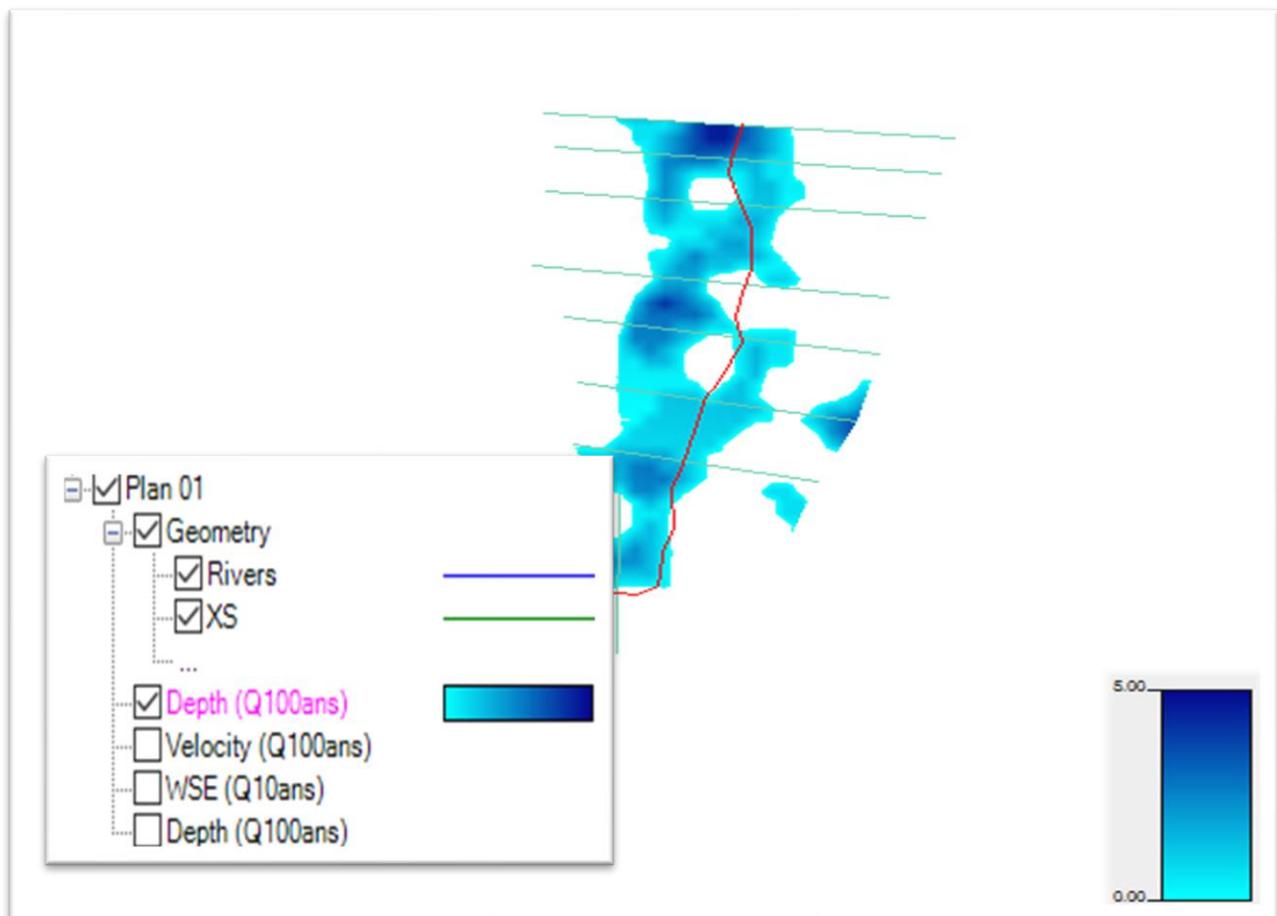
(Source : HEC-RAS « Ras-Mapper »).



**Figure IV.25 :** Image satellitaire des surfaces inondées pour un débit de crue centennale.  
(Source : HEC-RAS « Ras-Mapper »).



**Figure IV.26 :** La hauteur d'eau dans le cours d'eau El-Hkom, T 10 ans.



**Figure IV.27 :** La hauteur d'eau dans le cours d'eau El-Hkom, T 100 ans.

- ✓ La cartographie de l'aléa inondation par une approche de modélisation hydraulique révèle une expansion de la zone inondable depuis la crue centennale caractérisée par un débit de 335.86 m<sup>3</sup>/s dans l'oued Hkom. Lors de cette crue exceptionnelle, l'eau commence à occuper le lit majeur de l'oued et à pénétrer au cœur de la ville de Seghouane. Cette inondation est principalement attribuable au rétrécissement du cours d'eau causé par les deux ouvrages de franchissement.

#### Interprétation :

Selon les résultats de la simulation on constate observations suivantes :

- La vitesse d'écoulement varie entre 1.03 et 3.85m/s.
- La hauteur d'eau variée entre 0.74 et 3.96m.
- La variation du régime d'écoulement le long de l'Oued. Cette constatation est confirmée par les valeurs du nombre de Froude qui variant entre 0.24 et 3.04.
- Sur la simulation tridimensionnelle effectuée à l'aide du logiciel HEC-RAS, il est observé que l'écoulement d'eau ne s'étend pas sur la totalité de la longueur du cours d'eau.

### IV.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons entrepris la modélisation des cours d'eau à des fins d'aménagement. Cette modélisation nous a permis de déterminer plusieurs paramètres cruciaux, tels que la vitesse d'écoulement et le nombre de Froude. Plus significativement, elle nous a permis de définir la topographie de notre zone d'étude et d'identifier les diverses zones inondables à l'aide du logiciel HEC-RAS. Cette démarche a été essentielle pour élaborer une carte des profondeurs, nous permettant ainsi d'évaluer les niveaux d'eau à différents endroits.

L'analyse des zones inondables au moyen de simulations effectuées à l'aide du logiciel HEC-RAS pour le cours d'eau révèle de manière explicite l'impératif d'initier des aménagements dans le lit de l'oued El-Hkom. Ces aménagements se révèlent essentiels non seulement en vue de la préservation des vies humaines et des actifs matériels, mais également pour la sauvegarde de l'intégrité environnementale.

## CHAPITRE V: ÉTUDES DES VARIANTES D'AMÉNAGEMENT

## V.1 Introduction

L'objectif de cette étude réside dans l'assurance d'une protection efficace de la ville qui borde l'Oued El-Hkom à l'encontre des risques d'inondation. Cette protection implique la sélection des solutions d'aménagement les plus optimales, en se basant sur les résultats préalablement obtenus dans les chapitres antérieurs, tout en prenant en considération les caractéristiques naturelles de la zone.

Les diverses options d'aménagement seront soumises à un examen minutieux afin de garantir la sécurité de la ville de Seghouane et de la cité Z'mala face aux crues de l'Oued El-Hkom, en assurant une évacuation adéquate des eaux de crue vers un exutoire. Cette démarche sera réalisée en respectant les contraintes relatives à l'écoulement, à la stabilité des berges, et en tenant compte des répercussions potentielles sur l'environnement. Ainsi, le choix de la meilleure variante sera déterminé au terme d'un processus d'évaluation rigoureux.

## V.2 Principe d'aménagement

### V.2.1 Les différents types d'aménagements:

#### V.2.1.1 Reprofilage:

La modification et l'homogénéisation du profil en long d'un cours d'eau, également connues sous le nom de "rectification de la pente fluviale", sont entreprises dans le but d'améliorer sa capacité d'écoulement. Cette opération de reprofilage implique l'uniformisation de la pente du cours d'eau, ce qui nécessite l'élimination de la végétation riparienne et la suppression des embâcles présents dans le lit.

#### V.2.1.2 Curage:

L'objectif consiste à réaliser la décanulation fluviale afin de réduire l'accumulation sédimentaire, ce qui contribuera à atténuer la rugosité hydraulique et augmenter la capacité d'écoulement.

#### V.2.1.3 Protection des berges:

En conséquence d'une crue majeure, les rives de l'oued seront exposées à des écoulements turbulents d'eau, induisant ainsi l'érosion suivie du transport de certaines fractions du sol, ainsi que le phénomène de glissement de terrain induit par les infiltrations d'eau post-crue. Cela exige la mise en place d'infrastructures visant à préserver la stabilité des sols.

#### V.2.1.4 Réalisation des canaux:

L'objectif consiste à revitaliser le lit de l'oued en utilisant une diversité de matériaux provenant de structures variées.

### V.2.2 Calcul hydraulique des canaux:

Dans le contexte d'un écoulement à variation lente, il est possible d'assumer que dans chaque section, la pente de la courbe de charge correspond à celle d'un régime uniforme.

#### V.2.2.1 Conditions de d'écoulement uniforme:

— Le débit de l'eau dans chaque section des tronçons proposés est constant ;

- Le canal est prismatique ;
- La profondeur h du courant est constante en sa longueur ;
- La pente de chaque section est constante ;
- La rugosité des parois est constante ;
- Les résistances locales sont absentes.

**V.2.2.2 Formules de calcul:**

La formule de calcul principale pour un écoulement permanent uniforme est la formule de Chézy. La vitesse moyenne du courant est sous la forme suivante :

$$V = C \times \sqrt{RI}$$

En utilisant le produit suivant :

$$Q = V \times S$$

On obtient:

$$Q = C \times S \times \sqrt{RI}$$

Avec :

- C : Coefficient de Chézy (m<sup>0.5</sup>/s) ;
- Rh : Rayon hydraulique étant la surface mouillée S<sub>m</sub> sur le périmètre mouillé P<sub>m</sub> ;
- n : Coefficient de rugosité ;
- I : Pente de fond du canal (radier).

**Détermination de coefficient de Chézy :**

En utilisant les formules empiriques pour la détermination du coefficient de Chézy :

**1. Formule d'AGROSKINE :**

$$C = \frac{1}{n} + 17,72 \log (R_h)$$

- C : Coefficient de Chézy (m<sup>0.5</sup>/s) ;
- Rh : Rayon hydraulique ;
- n : Coefficient de rugosité.

**2. Formule de PAVLOVSKY :**

$$C = \frac{1}{n} \times R_h^{\frac{1}{y}}$$

— y : est l'exposant déterminé soit d'après la relation complète :

$$M = 2,5 \times \sqrt{n} - 0,13 - 0,75 \times \sqrt{R_h} \times (\sqrt{n} - 0,1)$$

**3. Formule de BAZIN :**

$$C = \frac{87}{1 + \frac{mb}{\sqrt{R_h}}}$$

— mb : Coefficient de BAZIN, m<sub>b</sub> est entre 0,06 et 1.75 m<sup>0.75</sup>.

**4. Formule de MANING-STRICKLER :**

$$C = \frac{1}{n} \times R_h^{\frac{1}{6}}$$

La formule de MANING-STRICKLER permet de transformer la formule de Chézy pour obtenir :

$$V = K_s \times R_h^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{I}$$

Avec :

— K<sub>s</sub> : coefficient de rugosité de STRICKLER (m<sup>1/3</sup>/s).

Cette formule est la plus utilisée pour le dimensionnement, pour toutes les formes géométriques pour des sections ouvertes diverses. Elle est donnée par la relation suivante :

$$Q = \frac{1}{n} \times R_h^{\frac{2}{3}} \times S_m \times \sqrt{I}$$

Avec :

- 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).

La figure suivante donne les formules des éléments géométriques pour cinq différents types de section de canaux :

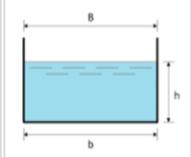
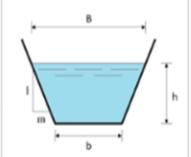
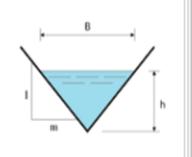
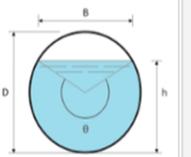
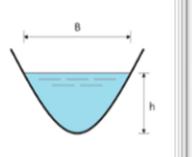
					
	Rectangle	Trapèze	Triangle	Cercle	Parabole
Largeur, B	b	$b + 2 \times mh$	$2 \times mh$	$(\sin \frac{\theta}{2}) \cdot D$ ou $\frac{3S}{2h}$	
Surface, S	$b \times h$	$(b + mh) \cdot h$	$m \times h^2$	$2\sqrt{h \cdot (D - h)}$	$\frac{2}{3} Bh$
Périmètre mouillé, P	$b + 2h$	$b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + m^2}$	$2h \cdot \sqrt{1 + m^2}$	$\frac{1}{2} \theta \cdot D$	$B + \frac{8h^2}{3B}$
Rayon hydraulique, R <sub>h</sub>	$\frac{bh}{b + 2h}$	$\frac{(b + mh) \cdot h}{b + 2h \cdot \sqrt{1 + m^2}}$	$\frac{mh}{2 \cdot \sqrt{1 + m^2}}$	$\frac{1}{4} \left[ 1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right] D$	$\frac{2B^2 h}{3B^2 + 8h^2}$
Profondeur hydraulique, D <sub>h</sub>	h	$\frac{(b + mh)h}{b + 2 \times mh}$	$\frac{1}{2}h$	$\left[ \frac{\theta - \sin \theta}{\sin \frac{\theta}{2}} \right] \frac{D}{8}$	$\frac{2}{3}h$

Figure V.1 : Éléments géométriques pour des sections ouvertes diverses (Graf, 2000).

### V.2.3 Choix des paramètres de dimensionnement :

❖ **La pente du projet :**

Le choix de la pente du projet relève d'une grande importance avant de procéder au calcul hydraulique. Pour notre cas, la pente est 0.39 %.

❖ **Le coefficient de rugosité :**

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

Tableau V.1 : Les valeurs du coefficient de rugosité 'n', (Chen et Cotton, 1986).

Caractéristiques du lit ou du revêtement	Valeur de la rugosité n
Canal avec revêtement en béton.	0.015
Canal en terre	0.022
Canal en pierre	0.025
Canal en gabion	0.030

❖ **Marge de sécurité dans les canaux (Revanche) :**

Dans le contexte des canaux à surface libre, une perte inattendue de charge hydraulique entraîne une augmentation de la hauteur de la surface libre, créant ainsi un risque potentiel de débordement. Par conséquent, il est impératif de toujours prévoir une marge de sécurité au-dessus du niveau d'eau calculé. Cette marge de sécurité doit prendre en compte divers facteurs, tels que l'accumulation de sédiments, la croissance de la végétation et les perturbations causées par les vagues induites par le vent, entre autres.

En règle générale, l'ampleur de cette marge de sécurité varie en fonction de la taille du canal. Elle peut osciller entre 0,30 mètre pour les canaux de petite taille et atteindre de 0,60 à 1,20 mètres pour les canaux de plus grande envergure. Toutefois, il est impératif de rester conscient des circonstances particulières susceptibles de nécessiter des ajustements à ces valeurs, comme souligné par Lencastre en 2008.

**Tableau V.2 :** Revanches utilisées (Degoutte, 2012).

Débit (m <sup>3</sup> /s)	Q < 0.75	0.75 < Q < 1.5	1.5 < Q < 1.8	Q < 8.5
Revanche (m)	0.45	0.6	0.75	0.9

❖ **Vitesse d'érosion :**

Afin éviter les 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 ci-dessous (Degoutte, 2012).

**Tableau V.3 :** Valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés (Degoutte, 2012).

Lit	Vitesse (m/s)
Pavage de pierre à une couche	2.50-4.00
Gabions	4.00-6.00
Revêtement en béton	6.00-10.00
Béton amélioré	10.00

**V.2.4 Solutions d'aménagement de la ville Seghouane (cité z'mala) située le long de l'oued El-Hkom :**

En se basant sur les résultats de la simulation de l'oued El-Hkom à son état naturel et les observations effectuées, nous envisageons deux variantes dans le but de protéger la ville de Seghouane (Cité Z'mala) contre les inondations. Ces solutions doivent non seulement être techniquement et économiquement réalisables, mais aussi bien adaptées aux caractéristiques topographiques et géologiques du terrain.

Dans cette étude, nous proposons deux variantes pour la création du canal de protection :

- ❖ Réalisation d'un canal en béton de forme trapézoïdale.
- ❖ Réalisation d'un canal avec des murs en gabions.

Nous entreprendrons un calcul hydraulique pour chaque variante, en évaluant le régime d'écoulement à l'aide de simulations réalisées avec HEC-RAS pour chaque tronçon du cours d'eau. De plus, nous fournirons une description détaillée des aménagements proposés pour permettre la sélection de la variante la plus appropriée du point de vue technico-économique.

### ❑ Canal en béton armé :

Cette proposition de variante implique la construction d'un canal trapézoïdal en béton armé. Pour la pente du talus, nous choisissons un coefficient  $m$  égal à 1, pour des raisons de facilité technique afin de créer un angle de 45 ° sur le terrain.

#### **Les canaux en béton présentent plusieurs avantages :**

- Une durée de vie plus longue ;
- Une forme étroite, particulièrement adaptée en milieu urbain ;
- Les meilleures propriétés hydrauliques ;
- Une durée de construction très courte, garantissant une meilleure protection.

La modélisation de ces canaux est réalisée à l'aide du logiciel FLOW MASTER. Grâce à cet outil, nous pouvons déterminer les caractéristiques de notre canal, puis nous le simulons ensuite sur HECRAS, un logiciel spécialisé en hydraulique.

### ❑ Canal en gabillon :

Les matelas en gabions sont principalement utilisés pour créer des revêtements et des protections anti-affouillement. Ils sont disponibles en différentes dimensions, parmi lesquelles les plus courantes sont (2.0×1.0×0.5) et (2.0×1.0×1.0). Les canaux en gabion sont mis en place de manière spéciale, avec les sacs disposés de manière à former un escalier, assurant ainsi la stabilité des berges.

#### **Les avantages des structures en gabion sont les suivants :**

- Flexibilité des ouvrages : Les gabions sont flexibles, ce qui leur permet de s'adapter aux déformations du terrain, notamment autour des dispositifs de dissipation d'énergie, des bajoyers et des protections contre les affouillements.
  - Facilité de mise en œuvre : Certains types de barrages ou de seuils en gabions peuvent être construits sur une période de deux ans, sans risque majeur de destruction pendant la saison des pluies intermédiaire. La surélévation éventuelle de ces ouvrages est également envisageable relativement facilement. De plus, les formes géométriques des gabions sont naturellement simples.
  - Possibilité d'ouvrages totalement déversants : Les structures en gabion offrent la possibilité de réaliser des ouvrages totalement déversants qui sont généralement moins coûteux que leurs équivalents en béton.
- ❖ En résumé, les structures en gabion combinent la flexibilité, la facilité de mise en œuvre et la capacité à créer des ouvrages économiques, ce qui en fait une option attrayante pour les revêtements et les protections dans divers environnements.

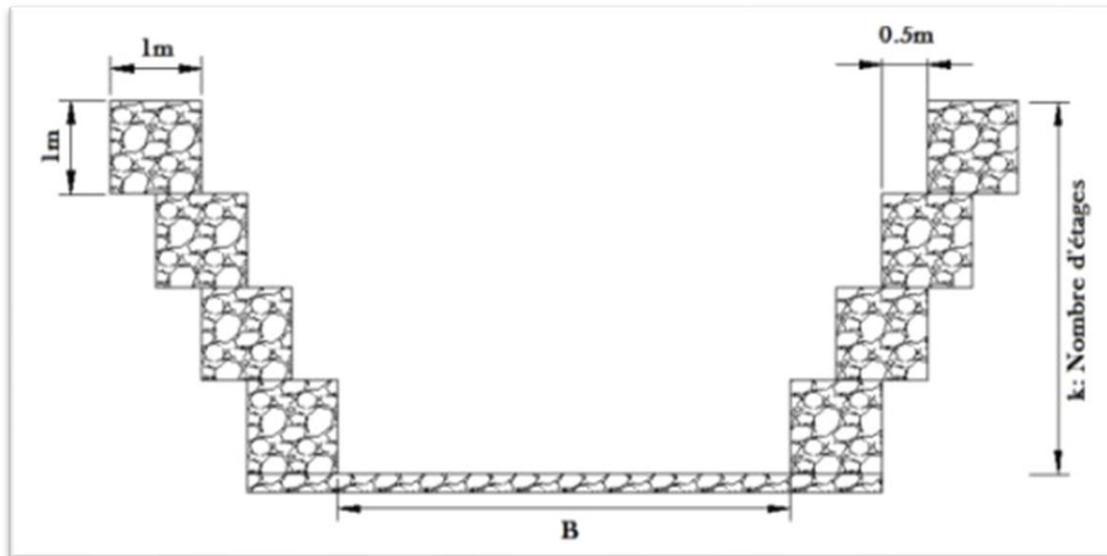


Figure V.2 : Coupe en travers d'un canal en gabion.

➤ Les caractéristiques d'une section gabionnée sont les suivantes :

1. Section  $S_m$  ( $m^2$ ):

$$S_m = 0.5k(k - 1) + bk$$

2. Périmètre  $P_m$  (m) :

$$P_m = b + 3k - 1$$

3. Rayon hydraulique  $R_h$  (m) :

$$R_h = \frac{0.5k(k - 1) + bk}{b + 3k - 1}$$

Avec : K est le nombre d'étages (On fixe la largeur de la base puis on calcule le nombre d'étage qui peut évacuer le débit de crue).

### V.2.5 Critères d'évaluation de la variante d'aménagement :

Le choix de la variante sera déterminé en fonction de plusieurs paramètres scientifiques :

- **Efficacité hydraulique** : il s'agit du potentiel d'amélioration de la capacité hydraulique que peuvent offrir les mesures envisagées ;
- **Complexité de la mise en œuvre** : cela concerne le degré de complexité technique de la réalisation ;
- **Impacts environnementaux** : ce critère prend en considération l'utilisation du sol dans les environs (qu'il s'agisse de zones urbaines, agricoles, etc.) ainsi que les déficits ou les richesses environnementales existantes ;
- **Durabilité** : il s'agit de la durée de vie prévue de l'aménagement ;
- **Maintenance** : cela englobe l'ampleur et la fréquence des travaux d'entretien nécessaires ;
- **Coût** : il s'agit de l'évaluation du coût de construction.

### V.3 Aménagement proposé sur le territoire de la ville de Seghouane (cité z'mala)

❖ La dimension linéaire de l'oued que nous avons analysée s'élève à 1 721 mètres.

#### V.3.1 Première variante : Canal en béton armé :

❑ La première variante proposée consiste à projeter un canal trapézoïdal en béton armé.

#### + Dimensionnement :

Le calcul des caractéristiques du canal est fait à l'aide du logiciel Canal 21, Les résultats du calcul hydraulique du canal trapézoïdal sont présentés ci-dessous :

❖ **Section N°A** : (avant l'ouvrage de franchissement N°1)

Tableau V.4 : paramètres du canal en béton section A.

Trançon	Section	Longueur (m)	Pente du projet (%)	Fruit de talus	Largeur du fond (m)	La largeur au miroir (m)	Hauteur du canal
Oued El-Hkom	A	360.6	0.0039	1	18	27.88	4

❖ **Section N°B** : (entre les deux ouvrages de franchissement)

Tableau V.5 : paramètres du canal en béton section B.

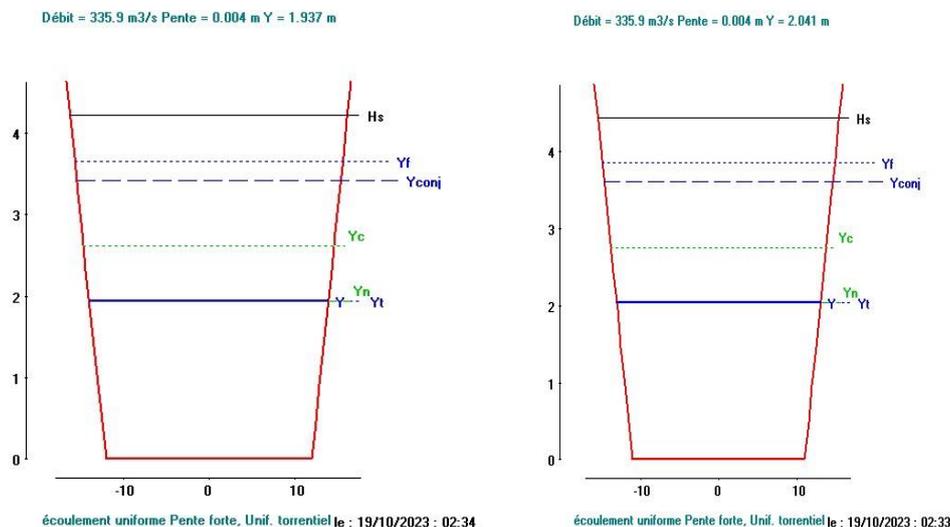
Trançon	Section	Longueur (m)	Pente du projet (%)	Fruit de talus	Largeur du fond (m)	La largeur au miroir (m)	Hauteur du canal
Oued El-Hkom	B	263.4	0.0039	1	22	30	4

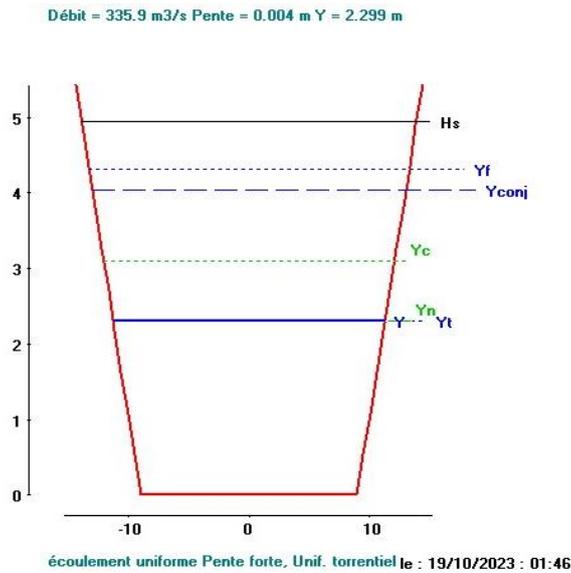
❖ **Section N°C** : (après l'ouvrage de franchissement N°2)

Tableau V.6 : paramètres du canal en béton section C.

Trançon	Section	Longueur (m)	Pente du projet (%)	Fruit de talus	Largeur du fond (m)	La largeur au miroir (m)	Hauteur du canal
Oued El-Hkom	C	265.94	0.0039	1	24	32	4

**Les dimensions du canal sont représentées par les figures suivant :**





**Figure V.3 :** Les dimensions du canal trapézoïdal (Source : Canal 21).

**Paramètres d'écoulement :**

Les résultats de la simulation sont représentés dans le tableau ci-dessus :

**Tableau V.7 :** Résultats de la simulation d'écoulement d'un canal trapézoïdale en béton armé (Source : HECRAS).

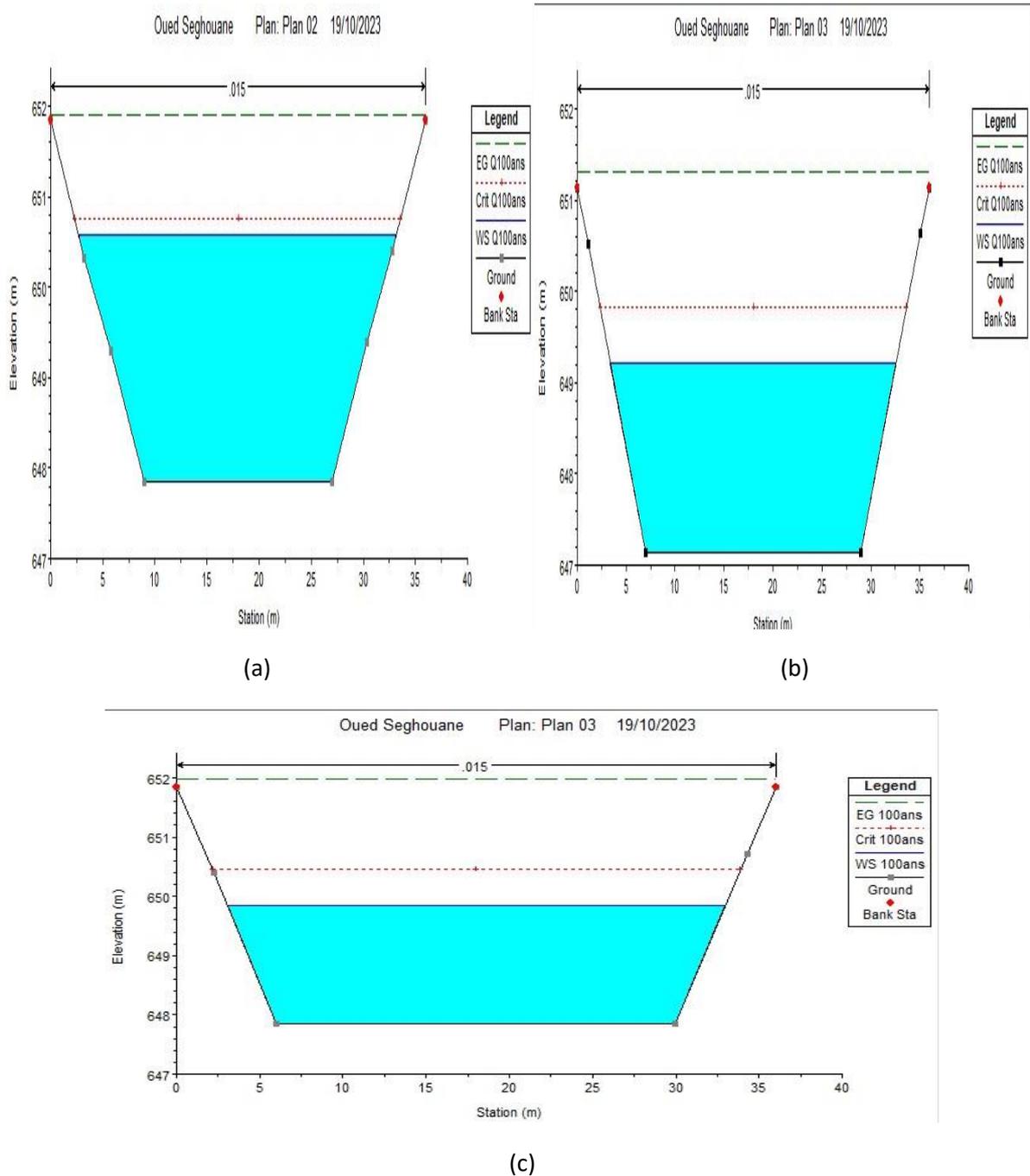
REACH	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch. El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Ele	E.G. SLOPE	VelCh nl	Flow Area	Top Width	Froude
			m <sup>3</sup> /s	m	m	m	m	m/m	m/s	m <sup>2</sup>	m	
Oued	14	Q100ans	335.86	654.00	659.15	656.66	659.36	0.000161	2.01	167.26	40.99	0.32
Oued	13	Q100ans	335.86	653.75	658.33	656.23	658.86	0.000235	2.76	144.25	40.99	0.49
Oued	12	Q100ans	335.86	653.21	657.81	655.98	657.23	0.000486	2.94	120.36	40.99	0.56
Oued	11		Culvert									
Oued	10	Q100ans	335.86	652.75	656.20	655.41	656.75	0.000777	3.29	102.13	40.99	0.67
Oued	9	Q100ans	335.86	651.42	656.42		656.65	0.000180	2.10	160.30	40.24	0.34
Oued	8	Q100ans	335.86	651.10	656.41	653.90	656.60	0.00143	1.94	172.77	40.24	0.30
Oued	7		Culvert									
Oued	6	Q100ans	335.86	650.70	653.49	653.49	654.89	0.001561	5.23	64.27	32.38	1.00
Oued	5	Q100ans	335.86	649.99	651.65	652.55	654.62	0.007877	7.64	43.97	28.98	1.98
Oued	4	Q100ans	335.86	649.28	651.19	651.84	653.38	0.004923	6.56	51.23	29.72	1.59
Oued	3	Q100ans	335.86	648.56	650.53	651.12	652.57	0.004397	6.32	53.16	29.92	1.51
Oued	2	Q100ans	335.86	647.85	649.83	650.41	651.85	0.004325	6.28	53.44	29.94	1.50
Oued	1	Q100ans	335.86	647.13	649.11	649.69	651.13	0.004346	6.29	53.36	29.94	1.51

- Min Ch. El : Altitude du radier du canal ;
- Vel chnl : Vitesse d'écoulement ;
- W.S Elev : Altitude du plan d'eau calculé ;
- Flow area : Section mouillée ;
- Top Width : Largeur au miroir ;
- E.G Elev : Altitudes de la ligne d'énergie ;
- Froude chl : Nombre de Froude ;
- E.G slope : Pente de la ligne d'énergie.

❑ De point de vue technique, le canal de forme trapézoïdale en béton armé assure une bonne protection.

✚ **Les sections en travers :**

Pour une crue centennale de  $335.86 \text{ m}^3/\text{s}$ , nous remarquons que notre canal assure une protection et que l'eau ne déborde pas. La **Figure V.4** : montre quelques sections aménagées avec un canal en béton.



**Figure V.4 :** Les profils en travers d'un canal trapézoïdale d'une crue 100 ans.

## ✚ Estimation du coût de la variante :

Devis de la variante canal en béton armé est déterminé à partir des quantités des terrassements et des volumes de remblai et le déblai calculés par HEC-RAS et une épaisseur de 30 cm pour le béton Armé. Pour le béton de propreté on prend une épaisseur de 10 cm.

**Tableau V.8 :** Devis de la variante canal en béton armé.

Désignations des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (Da)	Montant (DA/mL)
Terrassement	Déblais	m <sup>3</sup>	60512.366	600	36 307 419.6
	Remblais	m <sup>3</sup>	8659.12	250	2 164 780
Béton de propreté		m <sup>3</sup>	5043	6000	30 258 000
Béton armé		m <sup>3</sup>	42857.46	32000	1 371 438 720
<b>Montant Totale</b>					<b>1 440 168 919</b>

## Conclusion :

Bien que cette variante démontre une efficacité notable en matière de protection et présente des avantages hydrauliques plus rentables, sa mise en œuvre demeure une entreprise ardue, et son coût reste considérable, sans prendre en compte les impératifs liés à la démolition des zones urbaines.

### V.3.2 Deuxième variante : Canal en gabillon :

#### ✚ Dimensionnement :

Afin de dimensionner ce canal, nous avons supposé la largeur du canal  $b(m)$ , tel que le coefficient de Manning  $n= 0.03$  pour les gabions ainsi la pente du canal  $I= 0.0039$ , puis on a calculé le nombre des caisses  $K$  pour un débit centennale de  $Q=335.86 \text{ m}^3/\text{s}$  pour chaque section.

#### ❖ Section N°A : (avant l'ouvrage de franchissement N°1)

Pour une largeur de fond de canal  $B_1=18 \text{ m}$ , pente  $i = 0.39\%$  et rugosité de  $n = 0.03$  pour une longueur  $360.6 \text{ m}$  nous avons le **Tableau V.9**.

**Tableau V.9 :** Résultats de calcul des nombres de caisses pour la section N°A.

K étages	Q(m <sup>3</sup> /s)	Section mouillée (m <sup>2</sup> )	Périmètre mouillé (m <sup>2</sup> )	Rayon hydraulique
4	368.522	78	29	2.690
3	200.241	57	26	2.192
2	105.746	37	23	1.609
1	34.928	18	20	0.900
0	0.000	0	17	0.000

#### ❖ Section N°B : (entre les deux ouvrages de franchissement)

Pour une largeur de fond de canal  $B_2= 22 \text{ m}$ , pente  $i = 0.39\%$  et rugosité de  $n = 0.03$  pour une longueur  $263.4 \text{ m}$  nous avons le **Tableau V.10** :

**Tableau V.10** : Résultats de calcul des nombres de caisses pour la section N°B.

K étages	Q(m <sup>3</sup> /s)	Section mouillée (m <sup>2</sup> )	Périmètre mouillé (m <sup>2</sup> )	Rayon hydraulique
4	393.201	94	33	2.848
3	250.272	69	30	2.300
2	131.681	45	27	1.667
1	43.216	22	24	0.917
0	0.000	0	21	0.000

❖ **Section N°C** : (après l'ouvrage de franchissement N°2)

Pour une largeur de fond de canal  $B_3 = 24$  m, pente  $i = 0.39\%$  et rugosité de  $n = 0.03$  pour une longueur 265.94 m nous avons le **Tableau V.11** :

**Tableau V.11** : Résultats de calcul des nombres de caisses pour la section N°C.

K étages	Q(m <sup>3</sup> /s)	Section mouillée (m <sup>2</sup> )	Périmètre mouillé (m <sup>2</sup> )	Rayon hydraulique
3	352.635	75	32	2.344
2	144.701	49	29	1.690
1	47.364	24	26	0.923
0	0.000	0	23	0.000

**Remarque :**

Nous avons décidé de diviser la longueur précédant la section A en trois segments distincts :

- ❑ **Section 1** : Cette section couvre une longueur totale de 104 mètres, et elle est conçue comme la zone d'ouvrage de réception.
- ❑ **Section 2** : S'étendant sur une longueur de 416 mètres, cette partie consiste en un canal en gabion comportant deux rangées de gabions. La largeur de ce canal est de 23 mètres.
- ❑ **Section 3** : Avec une longueur de 287,12 mètres, cette section est constituée d'un canal en gabion avec trois rangées de gabions. La largeur de ce canal est de 20 mètres.

Cette décision a été prise après l'analyse d'une simulation 3D effectuée à l'aide du logiciel HEC-RAS. Les résultats de cette simulation ont indiqué que, sur la longueur avant la station A, il n'y avait pas de débordement d'eau.

**✚ Le nombre des caisses :**

Il s'agit de déterminer le nombre de caisses nécessaires dans chaque section pour garantir un débit de dimensionnement de 335.86 mètres cubes par seconde, tout en assurant que le débit réel soit supérieur à ce débit de dimensionnement.

**Tableau V.12** : Nombre des caisses.

Les sections	La largeur (m)	K étages
Section N°A	18	4
Section N°B	22	4
Section N°C	24	3

**✚ Paramètres d'écoulement :**

Les résultats de la simulation par HEC-RAS sont représentés dans le **Tableau V.13** :

**Tableau V.13** : Résultats de la simulation d'écoulement d'un canal gabionné (Source : HECRAS).

REACH	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch. El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Ele	E.G. SLOPE	VelCh nI	Flow Area	Top Width	Froude
			m <sup>3</sup> /s	m	m	m	m	m/m	m/s	m <sup>2</sup>	m	
Oued	14	Q100ans	335.86	654.00	659.80	656.80	659.25	0.000847	2.17	154.47	36.00	0.34
Oued	13	Q100ans	335.86	653.72	659.11	656.32	658.64	0.000913	2.33	144.27	36.00	0.39
Oued	12	Q100ans	335.86	653.21	657.43		657.92	0.000977	2.54	132.13	36.00	0.47
Oued	11		Culvert									
Oued	10	Q100ans	335.86	652.75	656.84	655.62	657.25	0.001918	2.82	118.91	36.00	0.50
Oued	9	Q100ans	335.86	651.42	656.47		656.76	0.001253	2.36	142.36	40.24	0.40
Oued	8	Q100ans	335.86	651.10	656.24	653.94	656.51	0.001159	2.30	145.93	40.24	0.39
Oued	7		Culvert									
Oued	6	Q100ans	335.86	650.70	653.99	653.54	655.02	0.004234	4.50	74.67	28.00	0.80
Oued	5	Q100ans	335.86	649.99	653.45		654.25	0.004311	3.96	84.88	28.00	0.73
Oued	4	Q100ans	335.86	649.28	652.74		653.54	0.004307	3.96	84.91	28.00	0.73
Oued	3	Q100ans	335.86	648.56	652.06		652.84	0.004137	3.90	86.02	28.00	0.71
Oued	2	Q100ans	335.86	647.85	651.44	650.64	651.17	0.003785	3.79	88.53	28.00	0.68
Oued	1	Q100ans	335.86	647.13	649.92	649.92	651.22	0.008538	5.06	66.42	26.00	1.01

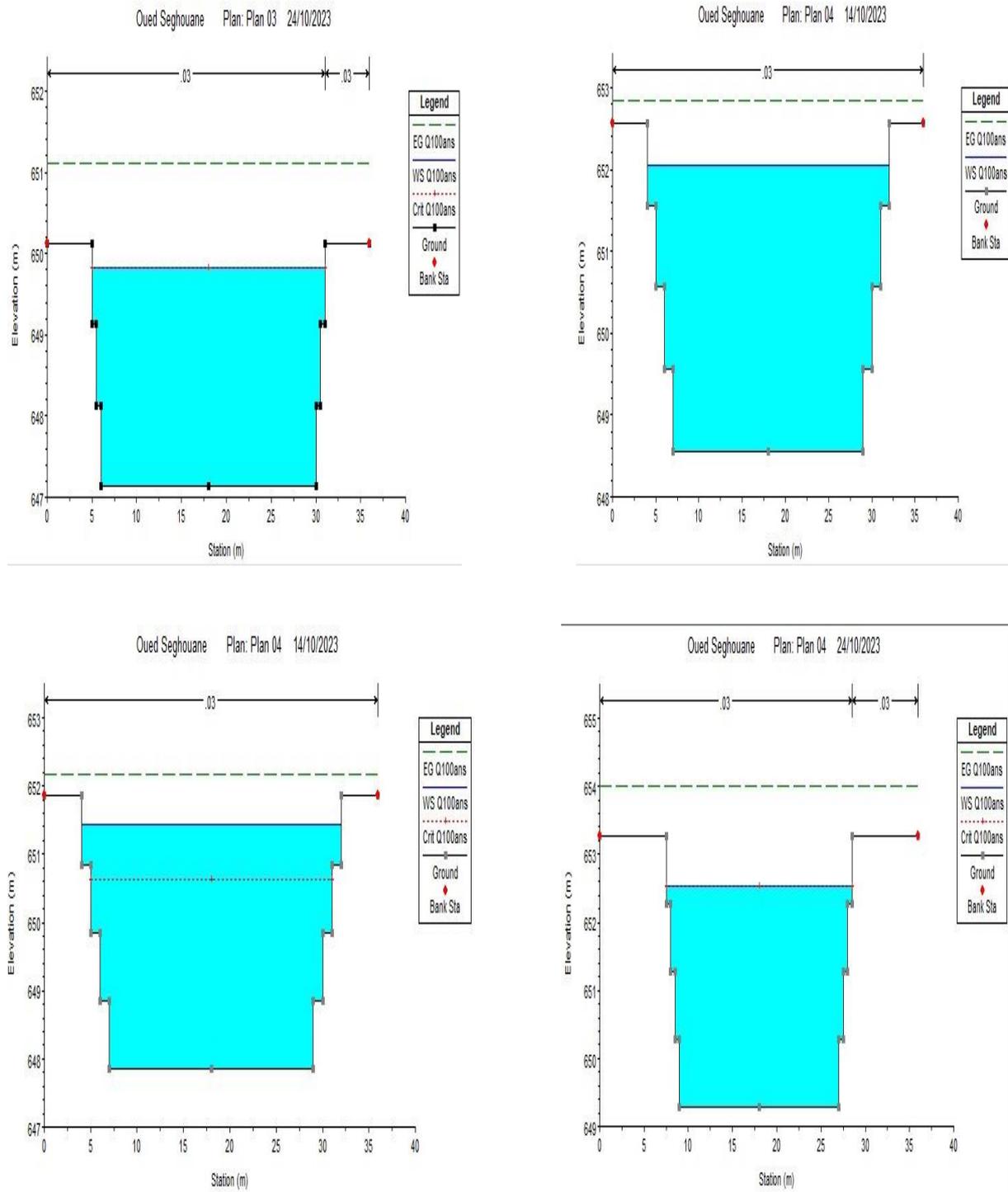
- Min Ch. El : Altitude du radier du canal ;
- Vel chnl : Vitesse d'écoulement ;
- W.S Elev : Altitude du plan d'eau calculé ;
- Flow area : Section mouillée ;
- Top Width : Largeur au miroir ;
- E.G Elev : Altitudes de la ligne d'énergie ;
- Froude chl : Nombre de Froude ;
- E.G slope : Pente de la ligne d'énergie.

Du point de vue technique, le canal gabionné assure une bonne protection pour le trançon.

#### Section en travers :

Pour une crue centennale de 335.86 m<sup>3</sup>/s, nous remarquons que notre canal assure une protection et que l'eau ne déborde pas.

La figure suivante montre quelques sections aménagées en gabion :



**Figure V.5 :** Les Profils en travers d'un canal en gabion pour une crue centennale.

☐ Nous remarquons que l'eau ne déborde pas des deux limites du canal gabionné.

## Estimation du coût de la variante :

Le tableau 5.18 résume le coût de réalisation d'un canal en gabion.

**Tableau V.14 :** Devis de la variante (canal en gabion).

Désignations des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (Da)	Montant (DA/mL)
Térassage	Déblais	m <sup>3</sup>	49896.516	600	29937909.6
	Remblais	m <sup>3</sup>	7233.15	250	1808287.5
Gabillons		m <sup>3</sup>	35908	5000	179540000
<b>Montant Totale</b>					<b>211286197.1</b>

## Conclusion :

Cette option offre une protection adéquate à notre segment, tout en présentant un coût minimal en comparaison avec l'alternative du canal trapézoïdal en béton armé.



**Figure V.6 :** Les sections du variante d'aménagement proposée.



Figure V.7 : Une section en fond en terre et berge en gabionnage proposé pour Oued Hkoum.

### V.3.3 Une notre variante : Le redimensionnement des ouvrages franchissement

Les ponts et les ponceaux sont des ouvrages d'art aménagés pour franchir un cours d'eau ou un obstacle. Toute fois les ponts sent souvent des ouvrages de portée supérieure, qui reposent sur des culées et peuvent comporter plus d'une travée, ce qui nécessite alors la construction d'une ou de plusieurs piles. Les ponceaux sont plus économiques à aménager que les ponts et c'est ce qui explique leur popularité.

Sur la rivière Oued Hkom sont ériges deux ouvrages hydrauliques aux point indiqués dans la **Figure V.8**.



**Figure V.8** : Situation des ouvrages de franchissement.

#### V.3.3.1 Calcul de la capacité des ouvrages de franchissement :

##### V.3.3.1.1 Calcul de la capacité de l'ouvrage N° 1 :

Un ponceau est une structure hydraulique aménagée sous un remblai qui permet le passage de l'eau tout en permettant aux humains, animaux, machines et équipements de traverser le cours d'eau.

Techniquement, un ponceau est essentiellement une structure hydraulique. À ce titre, la mise en place d'un tel ouvrage doit se faire en respectant les principes de base de l'hydraulique des ponceaux.

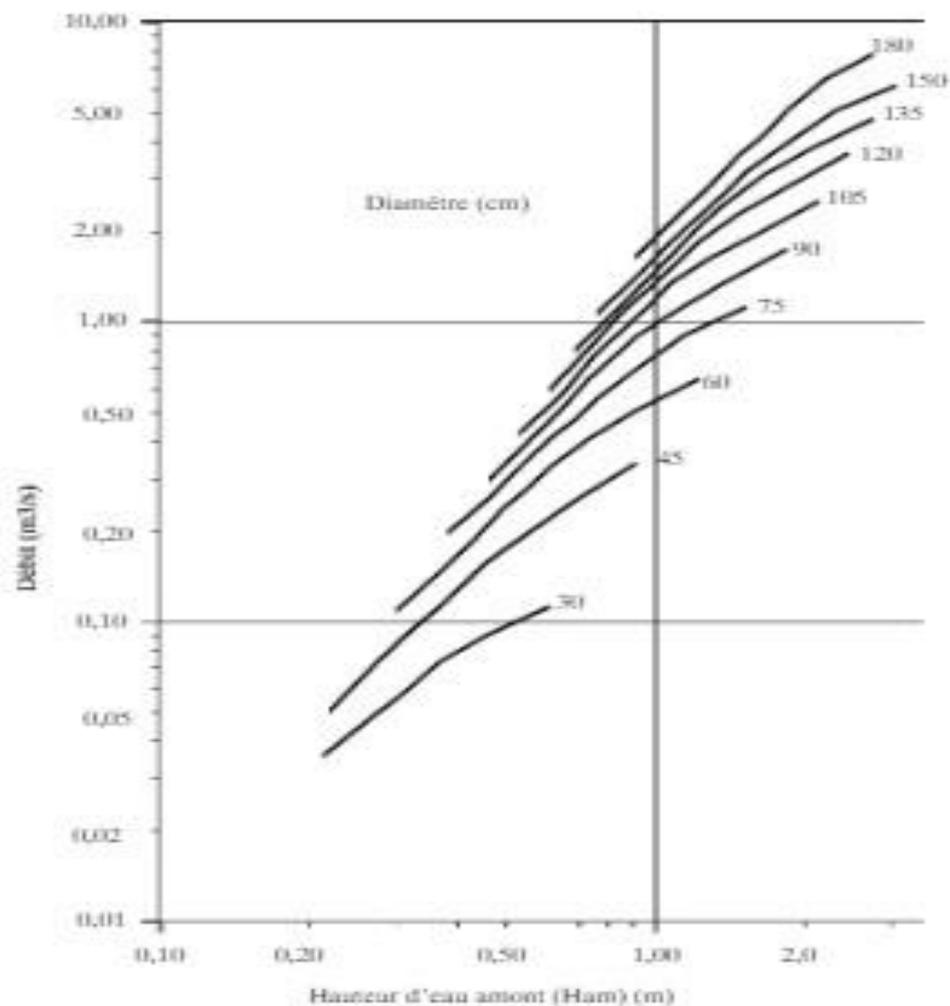
Le diamètre des ponceaux est déterminé en fonction d'un débit de conception. Toutefois, le ponceau doit aussi permettre un bon support des charges, une résistance à l'abrasion

et à la corrosion en plus de tenir compte du profil de la route et du cours d'eau tout en minimisant les coûts de construction et d'entretien.

Le ponceau à tuyaux parallèles, favorise souvent l'accumulation de débris et il augmente les risques d'embâcles. Si l'on aménage ce type d'ouvrage, on doit donc prévoir des travaux de dégagement des tuyaux.

De point de vue Hydraulique, les écoulements dans les ponceaux sont classifiés en deux grandes catégories : l'écoulement avec "contrôle à l'entrée" et l'écoulement avec "contrôle à la sortie". Dans notre cas l'écoulement est considéré être contrôlé à l'entrée.

Pour un ponceau de type et de matériel donné opérant avec contrôle à l'entrée, son débit est fonction de la hauteur d'eau à l'entrée (Ham) et de son diamètre. La **Figure V.9** présente les débits des ponceaux circulaires. Elle a été construite à partir de l'abaque du Ministère de transport du Québec.



**Figure V.9** : Les débits des ponceaux circulaires (Source : L'abaque du Ministère de transport du Québec).

Selon cet abaque, le débit que peut véhiculer une conduite circulaire et où le niveau de l'eau à l'entrée est au niveau de la route, le débit est de 1,5 m³/s. Le débit total que peut faire passer raisonnablement l'ouvrage 1 est de :

$$Q = 13 \times 1.5 = 22.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ce débit correspond à un évènement d'une période de retour inférieur à une 2 années.

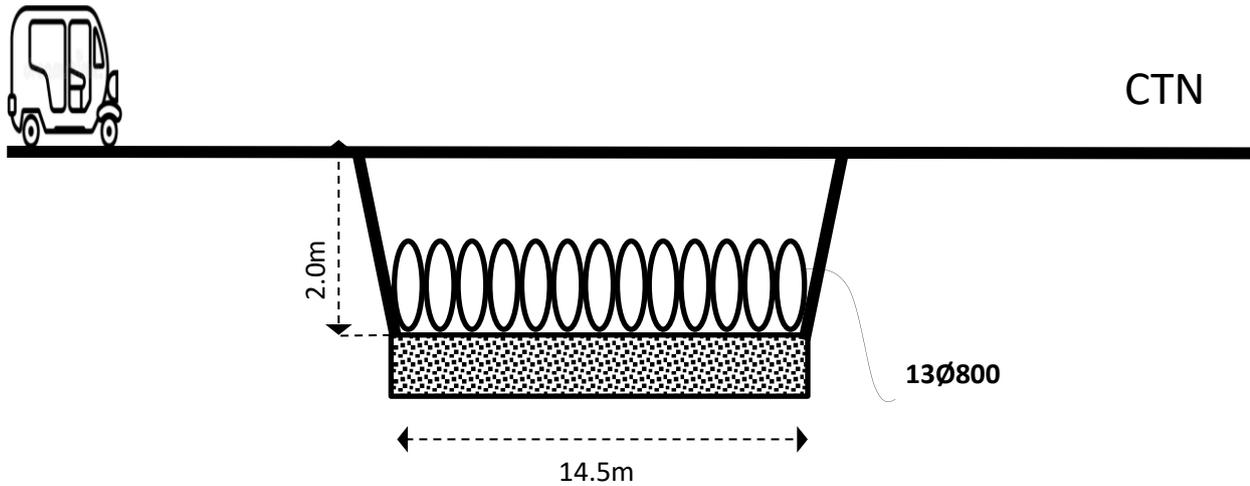


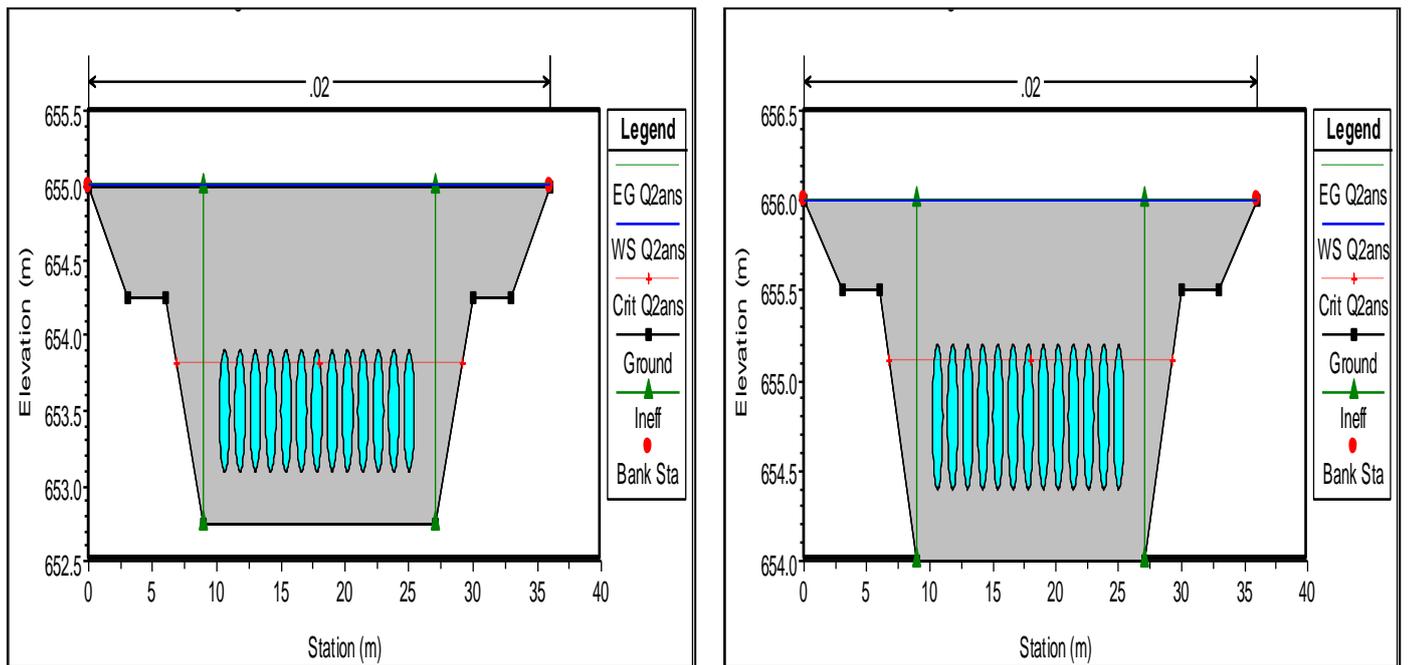
Figure V.10 : Les dimensions de l'ouvrage de franchissement N°1.



Figure V.11 : Ouvrage de franchissement N°1.

## CHAPITRE V : ÉTUDES DES VARIANTES D'AMENAGEMENT

- ❖ Les résultats de simulation en utilisant le modèle HEC-RAS donne un débit maximal, que peut véhiculer cet ouvrage, de  $19 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ce résultat est très proche de celui de l'abaques.
- ❖ Capacité =  $19 \text{ m}^3/\text{s}$  - Période de retour,  $T = 2 \text{ ans}$ .



Vue en aval de l'ouvrage

Vue en amont de l'ouvrage

Figure V.12 : Les résultats de simulation (Source : HEC-RAS).

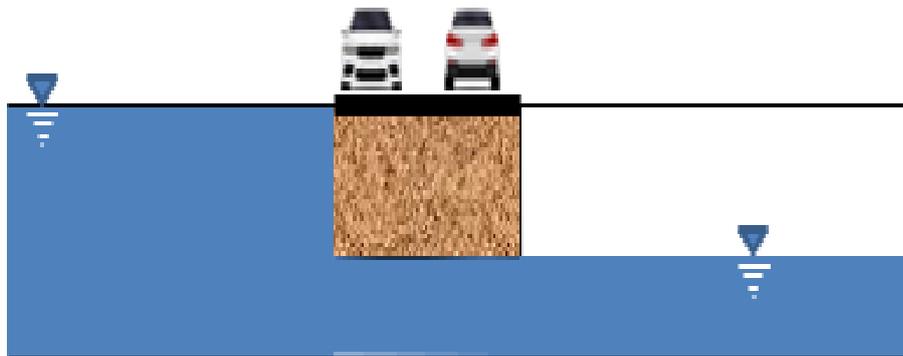


Figure V.13 : Ouvrage N°1.

- L'ouvrage ne répond pas aux normes ni de construction ni hydrauliques.
- C'est un point d'étranglement hydraulique qui cause les inondations.

**Cet ouvrage doit impérativement être remplacé :**

L'ouvrage de remplacement est dans la **Figure IV.13** :

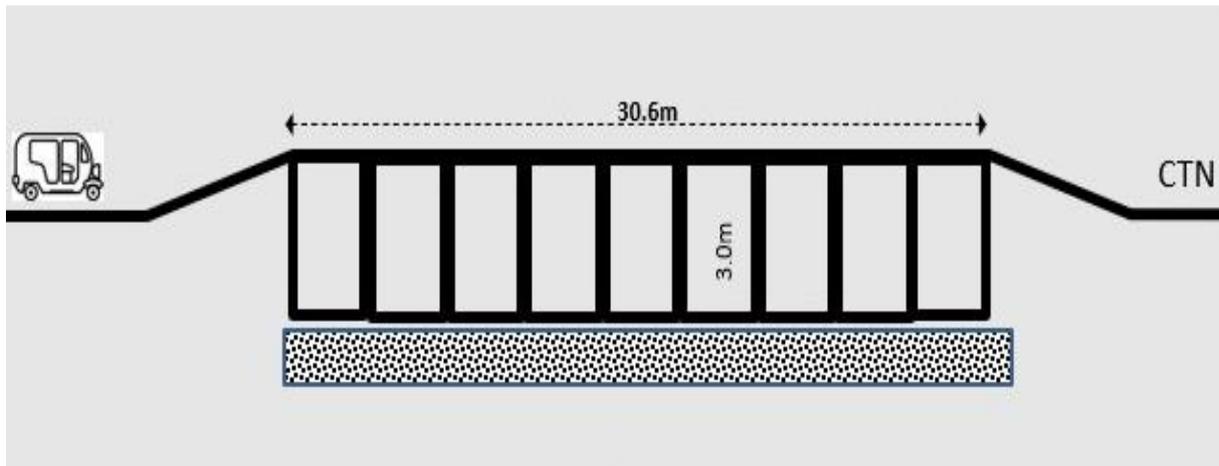


Figure V.14 : Schéma de l'Ouvrage proposé.

La comparaison de l'ouvrage proposé avec l'ouvrage existant :

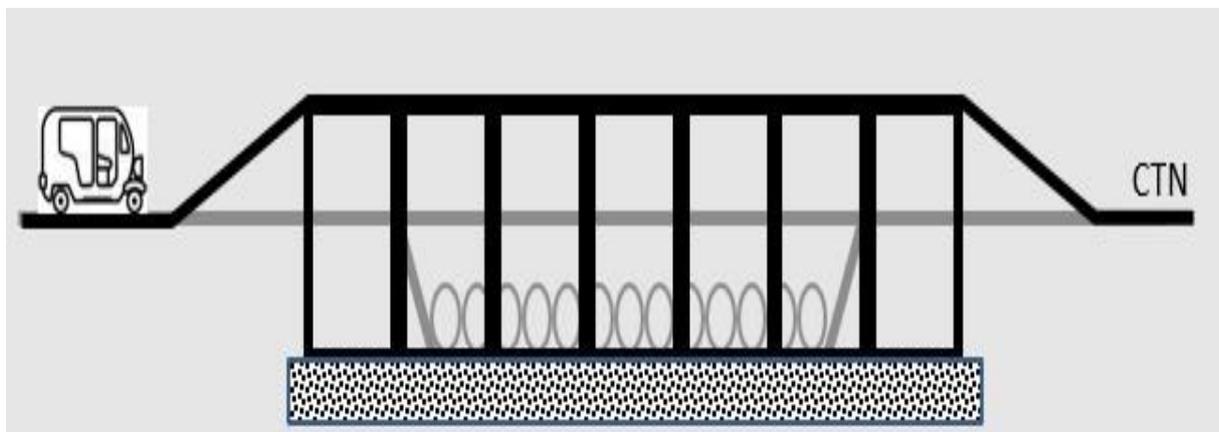
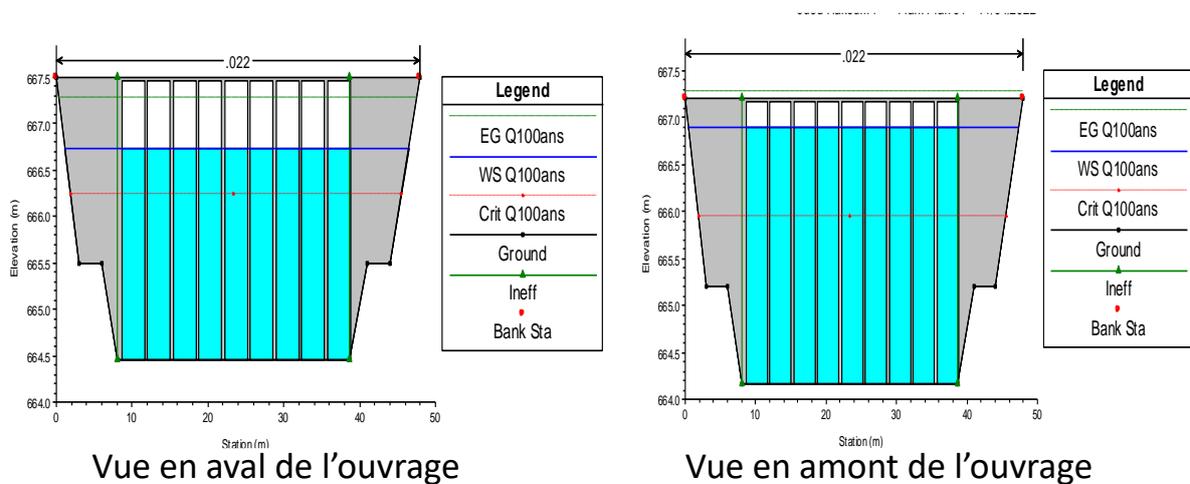


Figure V.15 : Schéma du Comparaison entre l'ouvrage proposé et l'ouvrage existant.

Résultat de simulation de l'ouvrage proposé :



Capacité =  $335.86 \text{ m}^3/\text{s}$  - Période de retour,  $T = 100$  ans.

### V.3.3.1.2 Calcul de la capacité de l'ouvrage N°2 :

- ❑ La deuxième structure est un pont de 20.5 m de portée libre et de 1 m de hauteur d'écoulement. La hauteur libre a été réduite sous l'effet de la sédimentation.
- ❑ Le désavantage majeur de ce pont est la hauteur de sa poutre (retombée) qui entrave l'écoulement. Ce pont aurait dû être surélevé d'au moins un (1) mètre sur le niveau du terrain naturel ce qui aurait donné plus de capacité à cet ouvrage.

La poutre du pont existant obstrue l'écoulement et réduit la surface disponible !!!

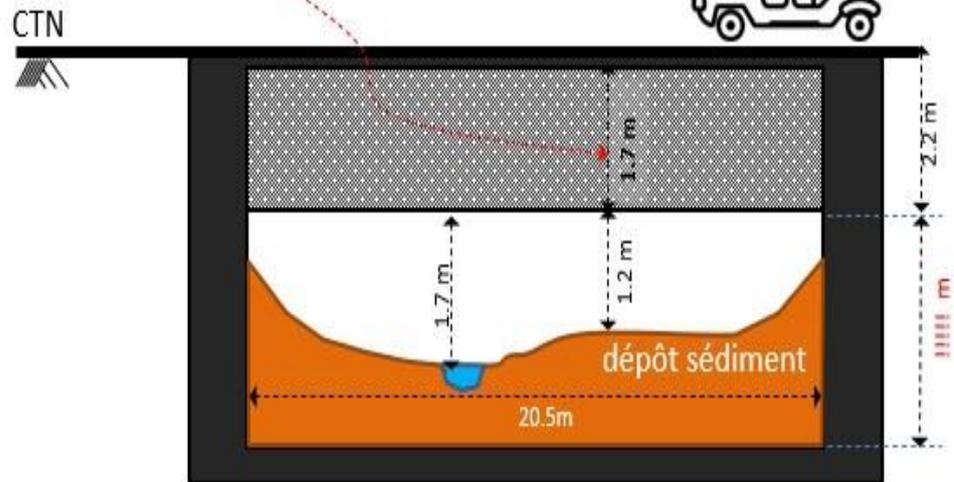


Figure V.17 : Schéma de l'ouvrage N°2.

- ❑ La hauteur d'écoulement a été additivement réduite par le dépôt des sédiments au cours des années.



Figure V.18 : Ouvrage de franchissement N°2.

La modélisation via HEC-RAS donne une capacité actuelle à cet ouvrage :

- ❖ Pour la hauteur d'écoulement de 1 m actuelle la capacité est de  $85 \text{ m}^3/\text{s}$ .

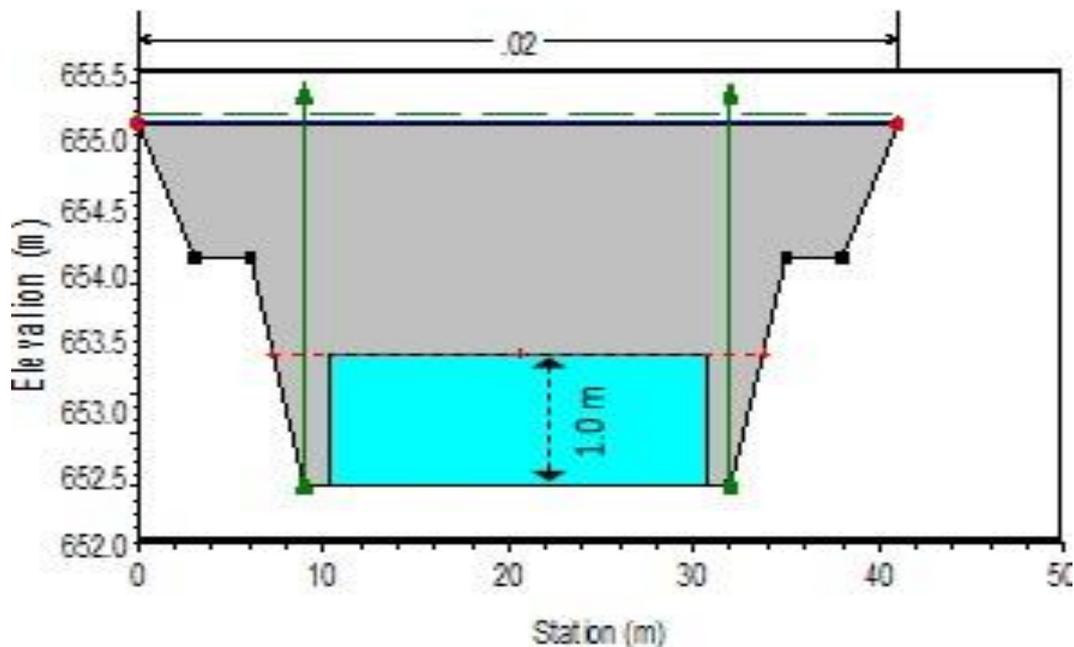


Figure V.19 : Les résultats de simulation (Source : HEC-RAS).

- ❖ Pour la hauteur d'écoulement de 2 m (avec un mètre de curage) la capacité est de  $292.7 \text{ m}^3/\text{s}$ . Période de retour, presque :  $T = 50 \text{ ans}$

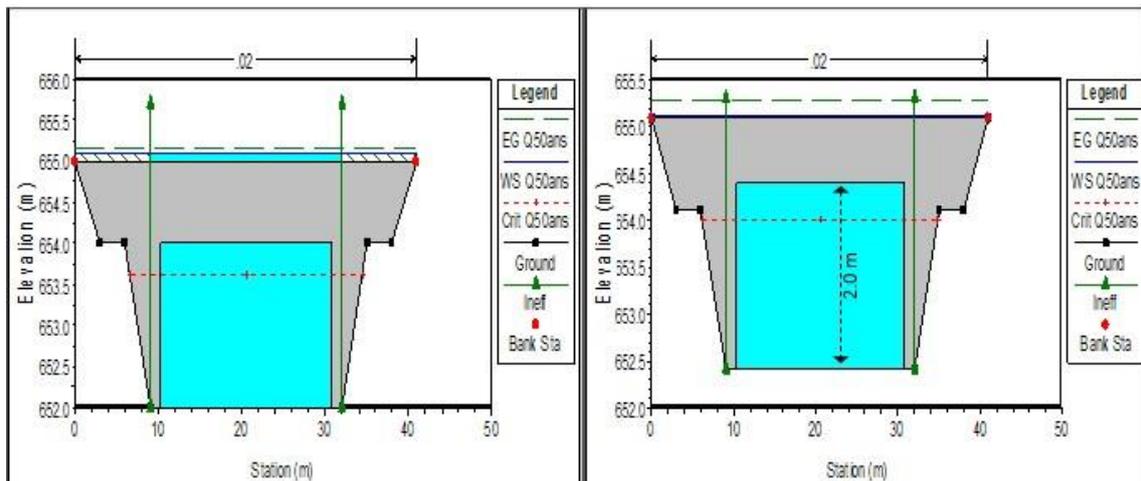


Figure V.20 : Les résultats de simulation (Source : HEC-RAS).

- ❖ Pour faire passer un débit centenaire, le curage doit se faire sur une hauteur de 2 m, pour une hauteur d'écoulement libre de 3.0 m. Cette solution est pratiquement impossible. Elle produit un terrassement sur toute la longueur de la rivière de 2 m et la maintenir ainsi.
- ❑ Donc on propose le curage sur une profondeur moyenne de 1 m uniquement.

### V.4 Conclusion

- ❖ Dans le cadre de cette étude, deux options d'aménagement ont été examinées du point de vue technique et économique en vue de protéger les zones urbaines et agricoles de la ville de Seghouane ainsi que la cité Z'mala contre les risques d'inondation. Par la suite, une analyse technico-économique approfondie a été réalisée afin de déterminer la solution la plus appropriée. Le choix final s'est orienté vers la mise en place d'un canal en gabion, principalement en raison de la présence de méandres. Cette option vise à réduire l'évolution du méandre au fil du temps en limitant l'érosion sur les côtés extérieurs du canal tout en réduisant les dépôts de sédiments sur les côtés intérieurs.
- ❑ Opter pour le gabionnage garantit les avantages suivants :
  - Une solution robuste et de longue durée.
  - Une exécution simple et facile.
  - Une excellente perméabilité favorisant un drainage naturel adéquat.
  - Les gabions réduisent la vitesse de l'eau et dissipent son énergie.
  - Ils créent une esthétique harmonieuse en accord avec l'environnement naturel.
- ❖ Il est nécessaire de réaliser un curage à une profondeur de 1 mètre pour l'ouvrage de franchissement N°2 et de maintenir cette profondeur.
- ❖ Il est impératif de revoir la structure du site de franchissement N°1.

## **CHAPITRE VI: Organisation de Chantier**

## VI.1 Introduction

L'organisation d'un chantier est l'ensemble des stratagèmes conçus en vue de l'exécution optimale d'un travail, visant à réduire les coûts de production en créant un environnement propice à l'efficacité tant pour les travailleurs que pour les machines, en vue d'accroître la productivité.

Une reconnaissance minutieuse du site du chantier revêt une importance cruciale pour élaborer un planning technologique des équipements et assurer leur utilisation judicieuse dans les différentes phases opérationnelles. Cela permet de répondre aux contraintes spatiales et temporelles imposées par le marché. Par conséquent, une gestion adéquate du chantier contribue sensiblement à la réduction du coût global de la construction afin de prévenir des dépenses excessives.

La construction de ces ouvrages peut présenter des défis considérables. Quels que soient les obstacles rencontrés, une connaissance précise de l'organisation du chantier demeure impérative. Afin d'atteindre ces objectifs, il est essentiel de :

- Définir de manière précise les méthodes d'exécution et les procédures permettant la mise en œuvre des techniques modernes de construction à haut rendement.
- Répartir et coordonner les tâches en faisant appel à une main-d'œuvre spécialisée.
- Structurer de manière appropriée les postes de travail, en privilégiant une mécanisation de plus en plus avancée.
- Déterminer la quantité et la qualité de la main-d'œuvre à employer, sachant que le coût de la main-d'œuvre exerce une influence significative sur le coût de revient.

## VI.2 Généralités

### VI.2.1 Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier :

#### VI.2.1.1 Maître de l'ouvrage:

Une entité ou un individu à l'origine et à la tête d'un projet. Cette entité ou personne détermine la nécessité de mettre en place le projet et assume la responsabilité de mobiliser les ressources nécessaires pour sa réalisation.

#### VI.2.1.2 Maître de l'œuvre:

Ce sont des professionnels, qu'ils soient architectes, ingénieurs ou consultants, qui sont désignés par le propriétaire du projet. Leur rôle consiste à transformer la conception et les exigences du propriétaire en une installation spécifique, conformément aux objectifs budgétaires, en élaborant des plans détaillés et des spécifications. Ils sont chargés de concevoir le projet et, dans certains cas, de superviser le processus de construction.

#### VI.2.1.3 Entrepreneur:

Une entreprise de construction est mandatée par le propriétaire pour réaliser et finaliser la construction d'une installation particulière (projet). Cette entreprise s'engage à fournir le personnel, la main-d'œuvre, les ressources, les matériaux, les équipements, les outils et autres accessoires nécessaires pour satisfaire pleinement les exigences des documents contractuels.

Le contractant est chargé de mener à bien toutes les étapes du projet et de garantir la réalisation des objectifs fixés par le propriétaire.

## VI.2.2 Travaux préparatoires et installation de l'entreprise :

### VI.2.2.1 Installations destinées au personnel:

Créer un environnement sûr et hygiénique pour accueillir le personnel du chantier et les parties prenantes lors des réunions de chantier, tout en favorisant la communication entre les intervenants et en assurant le stockage approprié des matériaux et équipements sensibles. En général, les installations de chantier comprennent des bureaux, un réfectoire, des sanitaires, des hébergements, un magasin et des caravanes. L'emplacement de ces installations est idéalement situé à proximité d'un accès du chantier, en évitant autant que possible la zone de travail de la grue. Ces éléments peuvent être disposés de manière superposable ou intégrés dans le bâtiment en construction.

### VI.2.2.2 Installations destinées au stockage des matériaux :

Organisez le stockage des matériaux, éléments préfabriqués et matériels à proximité des entrées sécurisées sur le site de construction pour prévenir les vols de matériaux.

### VI.2.2.3 Installations destinées à la réparation des engins :

La surface d'influence doit englober les édifices, le site de bétonnage, les zones de préfabrication, les espaces dédiés au renforcement structurel, ainsi que les zones de stockage spécifiquement destinées aux équipements de levage tels que les grues à tour, les grues à montage rapide et les grues automotrices. Cette zone revêt une importance cruciale dans la logistique des matériaux et des équipements, permettant ainsi leur transfert efficace entre divers postes de travail et leurs emplacements de mise en œuvre respectifs.

### VI.2.2.4 Installation destinée pour la préfabrication :

Nous positionnons l'aire de préfabrication à proximité des futurs bâtiments à construire afin de produire des éléments préfabriqués tels que des acrotères, des poteaux, des poutres et des pédales non précontraintes. De plus, nous réalisons la fabrication des coffrages en bois sur place.

## VI.2.3 Les Moyens de chantier:

### VI.2.3.1 Les moyens humains:

Pour garantir la réalisation réussie de l'ouvrage, il est essentiel de recruter du personnel qualifié, en spécifiant clairement leurs compétences et qualifications, tant pour la construction que pour la réalisation des études préliminaires.

### VI.2.3.2 Les moyens matériels:

Pour la documentation complète de l'ensemble du matériel requis pour le chantier, il est impératif de spécifier les marques, la quantité d'équipements affectés au chantier, leurs performances, leurs capacités de puissance, ainsi que leurs catégories respectives. Cette catégorisation comprend le matériel de terrassement général, le matériel spécifique au type d'oued concerné, ainsi que le matériel spécifique à des tâches particulières, et leurs modes d'intervention conformément à la séquence des opérations de construction.

- Dans la phase de préparation des travaux, des équipements tels que des doseurs, des pelles, des camions et des chargeurs seront employés pour l'élimination des obstacles et la suppression de la végétation indésirable.
- Lors de la phase de terrassement, des pelles, des dumpers, des doseurs, une niveleuse, des camions, etc., seront utilisés pour sculpter précisément le canal conformément aux spécifications requises.
- En ce qui concerne le compactage, il sera nécessaire d'utiliser des compacteurs à pieds de mouton ainsi que divers types de compacteurs à rouleaux lisses. Ces équipements serviront à consolider les berges de l'oued afin de prévenir tout affaissement ultérieur, assurant ainsi la stabilité et la durabilité de la structure.

#### VI.2.4 Exécution des travaux

Les principales étapes à effectuer dans notre projet se dérouleront de la manière suivante :

1. Préparation du site de construction.
2. Retrait de la couche arable et préparation de la surface de travail.
3. Excavation de la tranchée.
4. Compactage du sol.
5. Installation des gabions.
6. Redimensionnement des ouvrages de franchissement.
7. Clôture du chantier et retrait du matériel.

##### VI.2.4.1 Moyens matériels du chantier

Tableau VI.1 : Les Engins utilisées.

Taches	Engins	Image de l'engins	Actions
Travaux de Préparation et Terrassement	Camions		Transport
	Chargeurs		Enlever les obstacles et les herbes
	Pelles		
	Niveleuse		De réalisation et nettoyage de fossés et de talus
	Dumpers		
Compactage	Tous types de compacteurs		Consolider les berges de l'oued pour éviter l'affaissement.

### VI.3 Devis quantitatif et estimatif de projet

Les estimations des prix des aménagements et des ouvrages donnés :

- ❖ Prix unitaire des terrassements.
- ❖ Prix unitaire de fourniture et pose de (Gabion).

Le tableau suivant donne les montants de réalisation de la variante choisi :

**Tableau VI.2** : Devis total du projet.

Désignation des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaires (DA)	Montant (DA)
Terrassement	Déblai	M <sup>3</sup>	15689.23	600	29937909.6
	Remblai	M <sup>3</sup>	2546.86	250	1808287.5
Pose de gabion		M <sup>3</sup>	35908	5000	179540000
Montant Total					211286197.1
TVA (19%)					40144377.449
<b>Montant Total + TVA</b>					<b>251430574.549</b>

Le montant total du projet revient à « 251430574 DA » ; "Deux cents cinquante et un millions, quatre cents trente milles, cinq cent soixante-quatorze dinars Algériens."

## VI.4 La Planification

### VI.4.1 Définition:

L'activité en question implique l'identification et la séquence des tâches nécessaires pour mener à bien un projet, ainsi que la détermination des compétences requises pour les accomplir. En d'autres termes, c'est un outil que le gestionnaire de projet utilise pour optimiser son efficacité. Les objectifs du planning comprennent les éléments suivants :

- Mise en place des postes de travail.
- Surveillance en temps réel.
- Analyse des tâches.
- Évaluation des délais.
- Amélioration des méthodes de travail.

### VI.4.2 Techniques de la planification:

Il existe deux principales méthodes de planification à savoir :

#### Méthodes basées sur le réseau :

Un réseau constitue une représentation graphique d'un projet, permettant de définir les relations entre les différentes opérations, qu'elles soient séquentielles, simultanées, ou convergentes, tout en précisant la durée de leur exécution. Il est possible de distinguer deux catégories de réseaux à cet égard.

- **Réseau à flèches** : L'opération est symbolisée par une flèche, et la séquence d'opérations est représentée par des nœuds.



- **Réseau à nœuds** : L'opération est symbolisée par un nœud, et la séquence d'opérations est représentée par des flèches.



L'opération A précède l'opération B.

- Le tracé graphique demeure inextricablement lié au réseau, étant donné que ce dernier constitue simplement un instrument computationnel permettant d'obtenir des réponses aux interrogations qui nous sont soumises. Le graphique, en revanche, se révèle être une modalité d'interprétation des données issues du réseau, offrant une présentation visuelle plus aisément appréhendable et compréhensible.

#### **Construction du réseau :**

Pour élaborer un réseau, il est nécessaire de suivre les six étapes suivantes, conformément aux principes de la gestion de projet :

1. **Élaboration d'un recensement exhaustif des activités** : Cette première phase consiste à réaliser une énumération minutieuse et détaillée de toutes les opérations essentielles à la concrétisation d'un projet.
2. **Identification des tâches préalables** : Une fois la liste des activités établie, la construction d'un réseau peut s'avérer complexe, car il est nécessaire de déterminer si les tâches préalables doivent être séquentielles ou convergentes.
3. Création de graphes partiels.
4. Agrégation des graphes partiels.
5. Identification des tâches de début et de fin du projet.
6. Construction du réseau.

#### **VI.4.3 Différentes méthodes basées sur le réseau (BENLAOUKLI,2004) :**

##### **Méthode C.P.M (Méthode française) :**

L'objectif de cette méthode est de réduire les temps de réalisation d'un ouvrage en tenant compte de trois phases.

- **1ère phase** : l'effectif nécessaire pour effectuer le travail considéré ;
- **2ème phase** : analyser systématiquement le réseau, heure par heure, jour par jour, selon l'unité de temps retenu ;
- **3ème phase** : adapter le réseau aux conditions ou contraintes fixées par l'entreprise.

##### **Méthode P.E.R.T (Program Evaluation and Review Technical):**

C'est-à-dire technique d'ordonnancement des tâches et contrôle des programmes, c'est une méthode consistant à mettre en ordre sous forme de réseau plusieurs tâches qui grâce à leur chronologie et leur dépendance concourent toutes à l'obtention d'un produit fini.

##### **Méthodes basées sur le graphique :**

- **Méthode linéaire (ligne of balance technic)** : Cette méthode est destinée à la planification des projets de construction dont les travaux sont répétitifs ;
- **Méthode à barres** : Cette technique consiste à déterminer deux réseaux et un diagramme à barres (plan de travail)

#### VI.4.4 Les étapes de la planification :

La planification est un processus de gestion des travaux à accomplir, et elle comporte plusieurs étapes cruciales :

- **Collecte des données :**

La première étape consiste à rassembler toutes les informations pertinentes pour le projet.

- **Analyse des données :**

L'élaboration d'une synthèse des informations recueillies, basée sur des études comparatives, permet une utilisation appropriée du plan de réalisation du projet.

- **Décomposition du projet :**

Cette phase revêt une grande importance, car chaque projet peut être analysé de différentes manières. Il s'agit d'attribuer à chaque tâche un responsable et de définir ses besoins en termes de ressources matérielles.

- **Relations entre les tâches :**

Il existe deux types de relations essentielles entre les tâches lors de la réalisation du projet. La première est basée sur une séquence logique, tandis que la seconde repose sur une séquence préférentielle.

- **Choix de la méthode de calcul (BENLAOUKLI, 2004) :**

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.

#### VI.4.5 Les paramètres de calcul dans la méthode C.P.M

Les paramètres indispensables dans l'exécution de cette méthode sont les suivants : DCP, tr, DFP, DCP, DFPP et MT.

DCP	TR
DFP	DCPP
DFPP	MT

Avec :

- Tr : temps de réalisation ;
- DCP : date de commencement au plus tôt ;
- DCP : date de commencement au plus tard. DFP : date de finition au plus tôt ;
- DFPP : date de finition au plus tard ;
- MT : marge totale, intervalle de temps nécessaire pour le déroulement de l'opération.

Tels que :

$$\mathbf{DFP = DCP + tr \text{ et } DCP = DFPP - tr}$$

**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).

- Pour identifier un chemin critique, il vous faut simplement vérifier les deux conditions suivantes.

$$\left. \begin{array}{l} MT = 0 \\ Tr = DTP \end{array} \right\}$$

#### VI.4.6 Diagramme de Gantt:

Le diagramme de Gantt, un instrument largement employé en gestion de projet, se présente comme l'un des moyens les plus efficaces pour représenter de manière visuelle l'état d'avancement des diverses activités composant un projet. La colonne initiale du diagramme énumère exhaustivement toutes les tâches à exécuter, tandis que l'en-tête linéaire reflète les unités de temps les plus appropriées à la planification du projet, que ce soit en jours, semaines, mois, etc. Chaque tâche se manifeste sous forme d'une barre horizontale dont la position et la longueur sont des indicateurs de la date de commencement, de la durée et de la date de clôture. En somme, ce diagramme offre une vue d'ensemble instantanée des éléments suivants :

- La totalité des tâches requises ;
- Les dates de commencement et de fin de chaque tâche ;
- La durée de chaque tâche ;
- Les éventuels chevauchements entre les tâches et leur durée ;
- Les dates de début et de fin du projet dans son ensemble.

Pour résumer, un diagramme de Gantt liste de manière exhaustive toutes les tâches nécessaires à la réalisation du projet, tout en spécifiant les délais associés (le calendrier).

Le Critical Path Method (CPM) est une technique de planification visant à minimiser à la fois le délai et le coût de la réalisation d'un projet, tout en maximisant l'efficacité du travail. Pour créer le réseau de planification, la première étape consiste à établir la liste des diverses tâches impliquées dans le projet. Ces tâches sont ensuite consignées dans le tableau ci-dessous :

Le **Tableau VI.3** résume la liste des tâches pour la réalisation de la variante de gabionnage.

**Tableau VI.3** : Liste des opérations avec leurs durées pour la réalisation d'un canal en gabion.

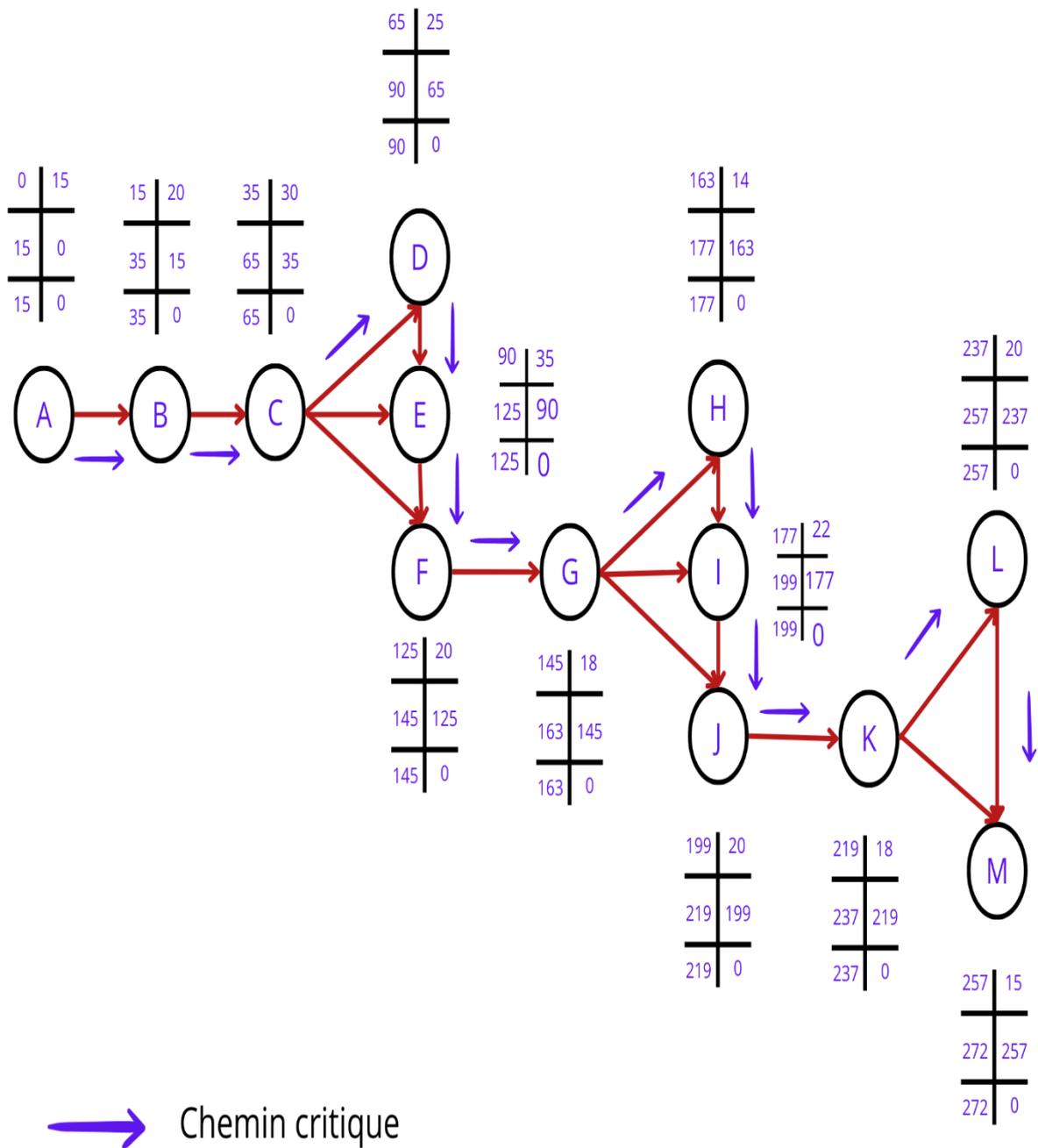
Désignation d'opération	Code	Durée (jours)
Installation du chantier	A	15
Travaux de terrassement sur le trançon 1	B	45
Compactage du trançon 1	C	30
Reconstitution de l'ouvrage N°1.	D	25
Pose de gabillon sur le trançon 1	E	35
Travaux de terrassement sur le trançon 2	F	20
Compactage du trançon 2	G	18
Le curage pour l'ouvrage N°2	H	14
Pose de gabillon sur le trançon 2	I	22
Travaux de terrassement sur le trançon 3	J	20
Compactage du trançon 3	K	18
Pose de gabillon sur le trançon 3	L	20
Déménagement du chantier	M	15

Dans le tableau suivant on présente chaque tache avec celles qu'elle précède.

**Tableau VI.4** : Succession des tâches de réalisation du canal en gabion.

Opérations	Succède	Précède	Durée (jours)
A	B	-	15
B	C	A	45
C	D, E, F	B	30
D	E	C	25
E	F	C, D	35
F	G	C, E	20
G	H, I, J	F	18
H	I	G	14
I	J	G, H	22
J	K	G, I	20
K	L, M	J	18
L	M	K	20
M	-	K, L	15

Le réseau de planification des tâches avec la méthode CPM de la variante du gabionnage est représenté par **la Figure Vi.1** :



**Figure VI.1 :** Réseau de planification des tâches avec la méthode CPM de la variante du gabionnage.

Le diagramme de Gantt est montré par la **Figure VI.2:**

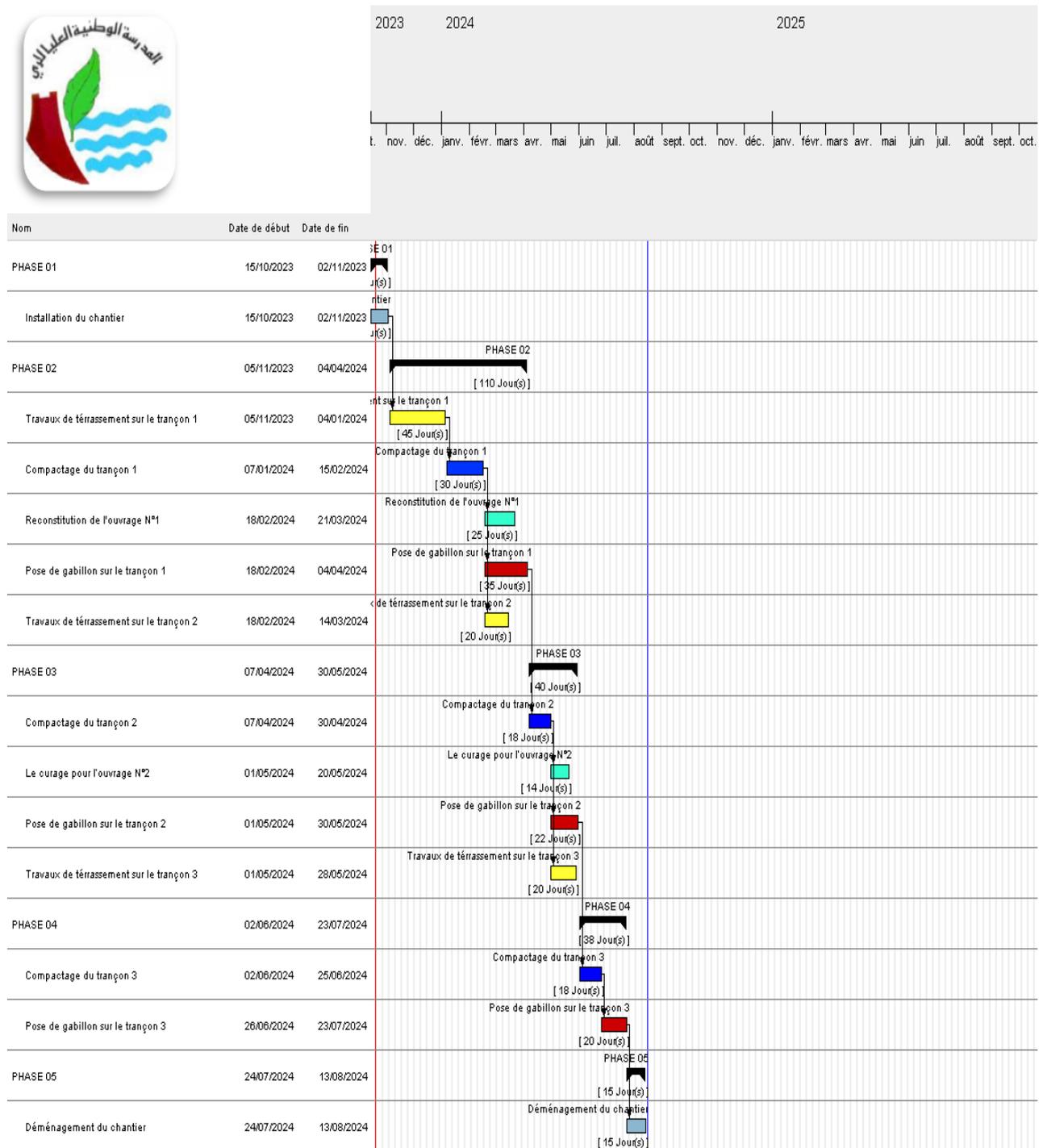


Figure VI.2 : Diagramme de Gantt pour la variante du gabionnage.

Le chemin critique pour le projet de réalisation d'un canal en gabion est le suivant : ABCDEFGHIJKLM. La durée totale du projet est de 9 mois et 28 jours.

### VI.5 Conclusion

L'accomplissement d'un ensemble de tâches par une gestion méthodique du temps nécessite simultanément la mobilisation de ressources humaines, techniques et matérielles en vue de parvenir à un objectif ultime, à savoir la livraison du projet conformément aux échéances prévues, tout en maintenant les coûts d'investissement initiaux. À la conclusion de cette phase, nous avons été en mesure d'évaluer le coût global du projet d'aménagement de la ville de Seghouane à 251 430 574 DA.

## Conclusion Générale

L'objectif de cette étude était d'analyser l'état actuel d'Oued El-Hkom et d'évaluer sa capacité à gérer une crue centennale, tout en proposant des aménagements nécessaires pour augmenter les débits du cours d'eau et rectifier les dysfonctionnements, dans le but de protéger les zones environnantes contre les inondations.

La première étape de cette recherche consistait à recueillir divers documents et données essentiels, tels que des données topographiques et pluviométriques, pour déterminer les crues potentielles dans le bassin versant.

Ensuite, nous avons étudié les caractéristiques Hydromorphométriques du bassin versant en créant divers types de cartes à l'aide du logiciel "Arc-GIS". Nous avons également déterminé les quantités de pluie maximales journalières grâce à l'analyse des données pluviométriques via le logiciel "Hyfran plus".

En raison du manque de données sur les débits provenant du bassin voisin, nous avons opté pour le calcul des débits de pointe de crue centennale en utilisant des formules empiriques. Nous avons ajusté les données hydrométriques de la station de KSAR EL BOUKHARI à une distribution log-normale, ce qui nous a permis de déterminer le débit pour une période de retour de 100 ans, entre autres. Nos résultats ont abouti à un débit de crue de 335,86 m<sup>3</sup>/s pour une période de retour centennale. En utilisant le logiciel "HEC-RAS", nous avons réalisé une simulation hydraulique de l'écoulement et produit une carte des zones inondables dans le secteur de Seghouane, nous permettant d'identifier les tronçons à risque en vue d'aménagements.

Nous croyons avoir apporté une contribution significative à la problématique des inondations dans la ville de Seghouane, car nos simulations avec le modèle HEC-RAS ont montré que, grâce aux aménagements proposés, la crue centennale peut être gérée sans causer de dégâts majeurs. Nous estimons avoir atteint un bon contrôle sur le cours d'eau pour prévenir les problèmes d'inondations.

En phase finale, deux options d'aménagement ont été proposées et à la suite d'une étude technico-économique, nous avons choisi une variante impliquant la construction d'un canal en gabion. Le coût total du projet a été estimé à 251 430 574 DA, avec un délai d'exécution de 9 mois et 28 jours.

En conclusion, un ouvrage est considéré comme réussi lorsqu'il répond aux besoins et aux objectifs définis dans l'étude. Toutefois, comme pour tous les ouvrages construits, sans une inspection régulière et une maintenance continue, ces structures se dégradent et perdent en efficacité, ne garantissant plus une protection adéquate contre les inondations. Ainsi, construire pour protéger sans entretenir et inspecter régulièrement ne constitue jamais une solution définitive.

## Références bibliographique

- [1] U.S. Army Corps of Engineers (2010). HEC-RAS River Analysis System Hydraulic reference manual, Hydrologic Engineering Center, CPD-69, Version 6.4.1.
- [2] BENLAOUKLI, B. (2004) La Planification des Travaux par les Méthodes d'Ordonnement Modernes-MOM, Polycoié ENSH Blida.
- [3] GUIDE METHODOLOGIQUE., 18 juin 2001 : planification et suivi d'un projet.
- [4] Abdelaziz LOUAMRI (09 avril 2013) : thèse de doctorat en sciences. Le bassin-versant de la seyhouse (Algérie orientale): hydrologie et aménagement des eaux.
- [5] Dr. TOUMI ABDELOUAHEB, 2016 : Hydraulique à surface libre. Traité de Université 08 Mai 1945 de Guelma, Algérie.
- [6] M. E. Saidi (2013) : Apport des logiciels de SIG dans la morphométrie des bassins versants. L'exemple d'ArcGIS.
- [7] Sarl aqua engineering (2015) : étude d'aménagement oued BOUATI MAHMOUD Sarl aqua engineering rue MOULOUD DEROUN SOUK-AAHRAS.
- [8] Degoutte, G., (2006). « Diagnostic, "aménagement et gestion des rivières- hydraulique et morphologie fluviales appliquées » ». Tec & doc -Lavoisier.
- [8] MEDDI M., TOUMI S. and ASSANI A.A. (2017). Application of the L-moments approach to the analysis of regional flood frequency in Northern Algeria. Int. J. Hydrology Science and Technology, Vol. 7, No. 1, 2017.
- [9] Abdul Razzak Rumane. 23 Aug 2016, Construction Management Delivery System from: Handbook of Construction Management, Scope, Schedule, and Cost Control CRC Press.
- [10] Ketrouti, K. (2014). Application de modèles hydrologiques dans l'estimation des crues extrêmes en Algérie. Thèse de doctorat, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, Algérie.
- [11] José VAZQUEZ., 2006 : HYDRAULIQUE A SURFACE LIBRE. Traité de ECOLE NATIONALE DU GENIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT DE STRASBOURG.

## Références sitographiques

<https://www.arcgis.com/apps/mapviewer/>

<https://www.infoclimat.fr/>

<https://fr.climate-data.org>

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

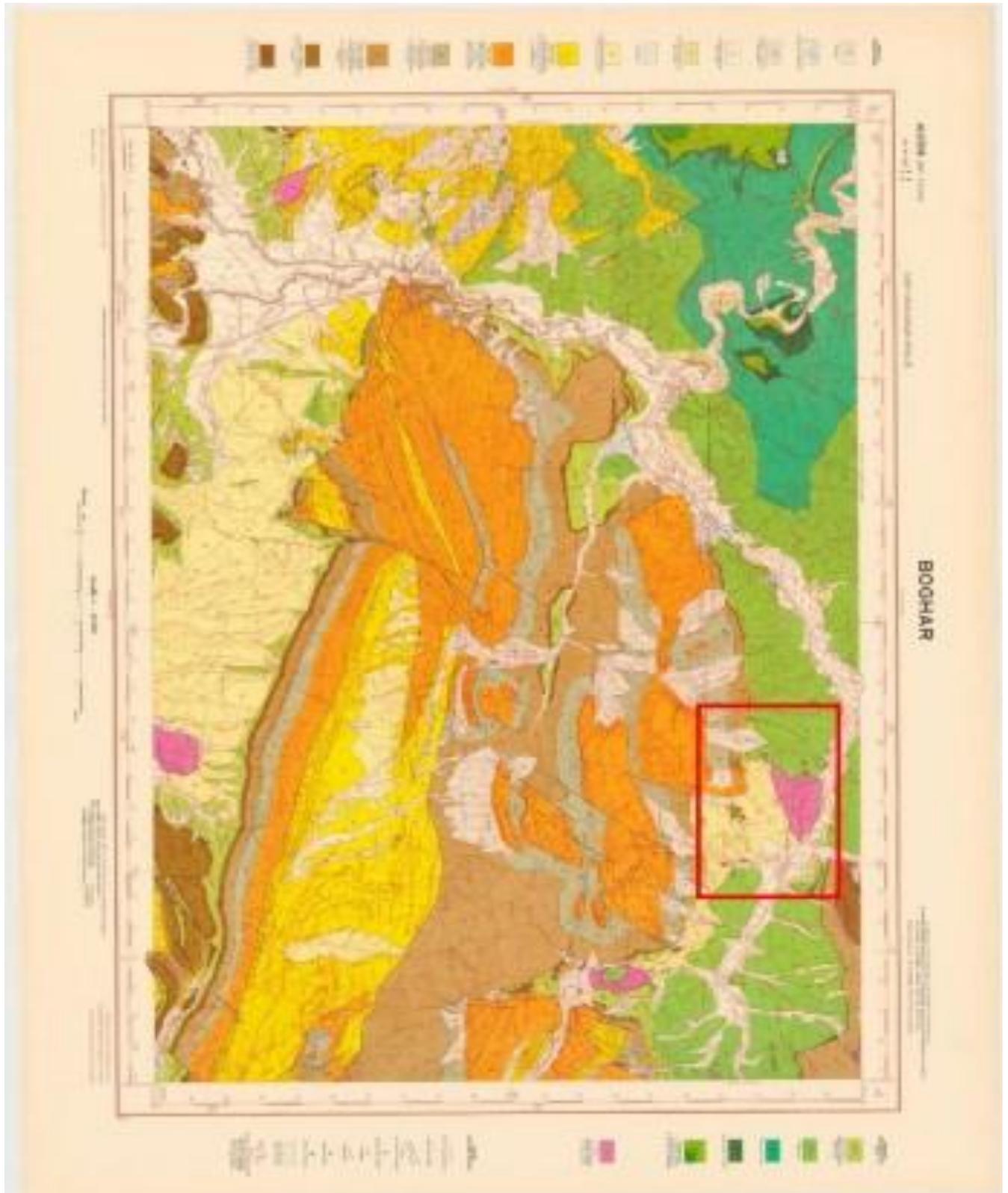
<https://www.eaufrance.fr/>

<https://www.youtube.com/watch?v=BE1ZaaBemwc>

# Annexes

## Annexe N°1 :

### Carte géologique détaile de la zone





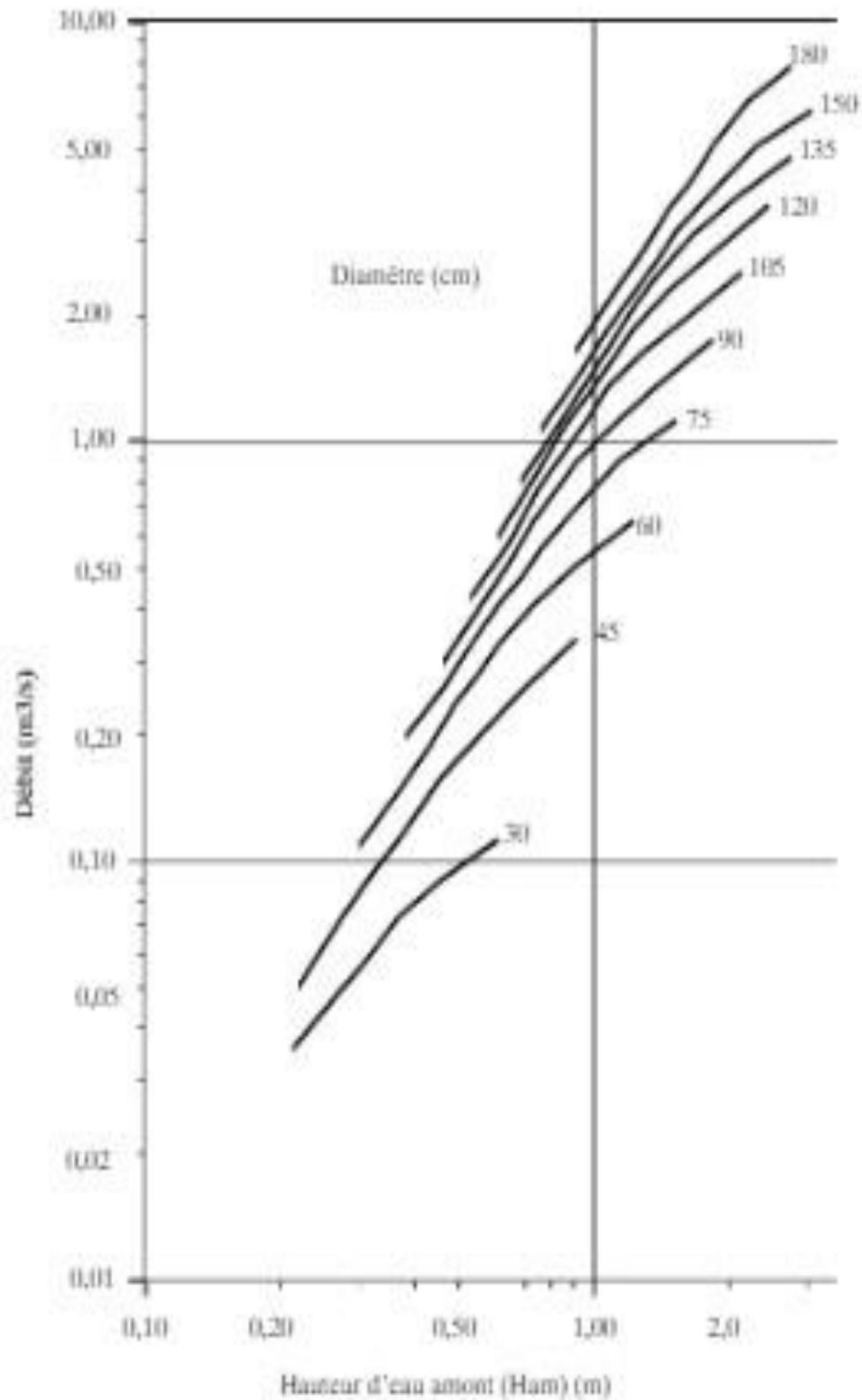
Annexe N°3 :

Série pluviométrique de la station ksar el boukhari

Année	Pmax, j (mm)	Année	Pmax, (mm)	j	Année	Pmax, (mm)	j
1971	40.4	1988	21.4		2005	48.5	
1972	36.3	1989	24.4		2006	63.1	
1973	30.5	1990	21.3		2007	19.6	
1974	31.1	1991	84.2		2008	27.4	
1975	15.2	1992	4.8		2009	35	
1976	21.9	1993	4.5		2010	16.5	
1977	24.6	1994	21.7		2011	25	
1978	27.8	1995	22.3		2012	37	
1979	40.3	1996	19.8		2013	22.1	
1980	34.5	1997	20.2		2014	32	
1981	41.4	1998	20.3		2015	27.5	
1982	19.5	1999	33.7				
1983	35	2000	32				
1984	13.7	2001	27.3				
1985	41.4	2002	32				
1986	5.9	2003	56.3				

Annexe N°4 :

Les débits des ponceaux circulaires (source : L'abaque du Ministère de transport du Québec).



Annexe N°5 :

Valeur de rugosité de Manning's

Valeurs du coefficient n de Manning				
Nature des surfaces	Etats des parois			
	Parfait	Bon	Assez bon	Mauvais
<b>A) Canaux artificiels</b>				
Ciment lissé	0,01	0,011	0,012	0,013
Mortier de ciment	0,011	0,012	0,013	0,015
Aqueducs en bois raboté	0,01	0,012	0,013	0,014
Aqueducs en bois non raboté	0,011	0,013	0,014	0,015
Canaux revêtus de béton	0,012	0,014	0,016	0,018
Moëllons bruts	0,017	0,02	0,025	0,03
Pierres sèches	0,025	0,03	0,033	0,035
Moëllons dressés	0,013	0,014	0,015	0,017
Aqueducs métalliques à section demi-circulaire lisse	0,011	0,012	0,013	0,015
Aqueducs métalliques à section demi-circulaire plissée	0,0225	0,025	0,0275	0,030
Canaux en terre droits et uniformes	0,017	0,020	0,0225	0,025
Canaux avec pierres, lisses et uniformes	0,025	0,030	0,033	0,035
Canaux avec pierres, rugueux et irréguliers	0,035	0,040	0,045	-
Canaux en terre à larges méandres	0,0225	0,025	0,0275	0,030
Canaux en terre dragués	0,025	0,0275	0,030	0,033
Canaux à fond en terre, côtés avec pierres	0,028	0,030	0,033	0,035
<b>B) Cours d'eau naturels</b>				
1) Propres, rives en ligne droite	0,025	0,0275	0,030	0,033
2) Idem 1 avec quelques herbes et pierres	0,030	0,033	0,035	0,040
3) Avec méandres, avec quelques étangs et endroits peu profonds, propres	0,035	0,040	0,045	0,050
4) Idem 3, l'eau à l'étiage, pente et sections plus faibles	0,040	0,045	0,050	0,055
5) Idem 3, avec quelques herbes et pierres	0,033	0,035	0,040	0,045
6) Idem 4, avec pierres	0,045	0,050	0,055	0,060
7) Zones à eau coulant lentement avec herbes ou fosses très profondes	0,050	0,060	0,070	0,080
8) Zones avec beaucoup de mauvaises herbes	0,075	0,100	0,125	0,150

## Annexe N°6 :

### Pluies de courtes durées et l'intensités de pluies de courte durée pour différentes périodes de retour.

t	pcd 100 ans	it 100ans	pcd 50 ans	it 50ans	pcd 20ans	it 20ans	pcd 10 ans	it 10 ans	pcd 5 ans	it 5ans
1	32.7060206	32.70602059	27.76926277	27.7692628	21.72173443	21.7217344	17.46378081	17.4637808	13.42181034	13.4218103
2	42.2677183	21.13385914	35.88768534	17.9438427	28.07214498	14.0360725	22.56936656	11.2846833	17.34571458	8.67285729
3	49.1091673	16.36972243	41.69646279	13.8988209	32.61589978	10.8719666	26.22244215	8.74081405	20.15329035	6.71776345
4	54.6248054	13.65620134	46.37955173	11.5948879	36.27911602	9.06977901	29.16758476	7.29189619	22.41678334	5.60419583
5	59.3262104	11.86524207	50.37131069	10.0742621	39.40155859	7.88031172	31.67795761	6.33559152	24.3461335	4.8692267
6	63.4663713	10.57772856	53.88654171	8.98109028	42.1512504	7.0252084	33.88864734	5.64810789	26.04516183	4.3408603
7	67.1914449	9.598777849	57.04934005	8.14990572	44.62526155	6.37503736	35.87769607	5.12538515	27.57384769	3.9391211
8	70.5945219	8.824315231	59.93874497	7.49234312	46.88541829	5.86067729	37.69481072	4.71185134	28.9703934	3.62129918
9	73.7390324	8.193225819	62.60861239	6.95651249	48.97384791	5.44153866	39.37386068	4.37487341	30.26082932	3.36231437
10	76.6703959	7.66703959	65.09750596	6.5097506	50.92071577	5.09207158	40.93909819	4.09390982	31.46379455	3.14637945
11	79.4223987	7.220218063	67.43411209	6.13037383	52.74846102	4.79531464	42.40856383	3.85532398	32.59315418	2.96301402
12	82.0209447	6.835078721	69.64042471	5.80336873	54.47428777	4.53952398	43.79608932	3.64967411	33.65953861	2.80496155
13	83.9699834	6.459229492	71.73372613	5.51797893	56.11171466	4.31628574	45.11254332	3.47019564	34.67130096	2.66702315
14	86.3682753	6.169162518	73.72787609	5.26627686	57.67158308	4.11939879	46.36664208	3.31190301	35.63514011	2.54536715
15	89.0802591	5.938683942	75.63418228	5.04227882	59.16273814	3.94418254	47.56549685	3.17103312	36.55652143	2.43710143
16	91.2330301	5.702064384	77.46200672	4.84137542	60.59250304	3.78703144	48.71499534	3.04468721	37.43996992	2.33999812
17	93.302613	5.488389002	79.21919974	4.65995293	61.96701846	3.64511873	49.8200745	2.93059262	38.28927987	2.25231058
18	95.2968472	5.294269289	80.91241744	4.4951343	63.29149098	3.51619394	50.8849203	2.82694002	39.10766843	2.17264825
19	97.2224449	5.116970783	90	4.73684211	64.57037848	3.39844097	51.91311679	2.7322693	39.89789011	2.09988895
20	99.0852032	4.954260159	84.12894609	4.2064473	65.80753116	3.29037656	52.90775943	2.64538797	40.66232394	2.0331162
21	100.890168	4.804293711	85.66146333	4.0791173	67.00630021	3.1907762	53.8715425	2.56531155	41.40304061	1.97157336
22	102.641762	4.665534625	87.14866565	3.96130298	68.16962291	3.09861922	54.80682751	2.49121943	42.12185506	1.91462978
23	104.343886	4.536690679	88.59386514	3.85190718	69.30009006	3.01304739	55.71569741	2.42242163	42.82036815	1.86175514
24	106	4.416666667	90	3.75	94.3	3.92916667	56.6	2.35833333	43.5	1.8125
7.35	68.4154238	9.30822092	58.08856734	7.90320644	45.43816823	6.18206371	36.53125457	4.97023872	28.07614088	3.81988311