



## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

**Option: OUVRAGE HYDROTECHNIQUE**

**THEME :**

**Etude de protection de la ville de Ghazaouet contre  
Les inondations (Oued Ghazouana)  
(Wilaya de Tlemcen)**

**Présenté par :**

**OUADFEL MOHAMMED EL AMINE**

**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
S.BELLABAS CHARIFI	M.C.B	Promotrice

Novembre 2023

## **DEDICACES**

*Je dédie ce modeste travail de fin d'étude avec des mots du cœur et une gratitude immense*

- *A ma première enseignante, ma **mère** qui m'a toujours soutenu et encouragé dans mes études. Elle n'est plus parmi nous, mais elle reste à jamais dans ma mémoire et dans mon cœur.*
- *A mon **père** bref c'est mon boss, mon roi, mon héros. Moi, je suis son gosse, son minot, su hijo. Quoi ? Il tourne tous mes problèmes en dérision J'suis une des raisons pour laquelle il peut finir en prison Quoiqu'il arrive, il accomplit sa mission.*
- *A mes sœurs Amina et Latifa et à mon frère Sedik, qui m'ont toujours soutenu, encouragé et aimé tout au long de mes études. Sans eux, je n'aurais pas pu réaliser ce travail. Ils sont ma source d'inspiration et de motivation.*
- *A mes nièce Souni, Sarsour, Mira et mes neveu Adoumi, Kemoun*
  - *A mes Amis Saboha, Hamadat, 9andsi, Patchika, Chopper Bestouch, Amela7, Hakoumna, Nori, Lahdjoudj, Trach, Psycho, Palermo, Rougé, Boulaya, Smysto, Mon Fraise, Tghadit, Zak, Chawki, Ben deddi.*

## **REMERCIEMENT**

*En premier lieu, je tiens à remercier **Dieu** tout puissant qui m'a donné la force de continuer et d'achever ce travail*

*Je voudrais tout d'abord adresser toute ma reconnaissance à la maitresse de ce mémoire, Mme **S.BELLABAS CHARIFI** pour son accueil, le temps passé ensemble et le partage de ses connaissances. Grâce aussi à ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion. Elle fut d'une aide très précieuse dans les moments les plus délicats.*

*Je remercie particulièrement ma Co-Promotrice, Mme **O.AZIEZ**, pour son soutien, sa confiance et ses encouragements. Elle a été d'une grande générosité et d'une grande disponibilité tout au long de ce projet*

*Je remercie mon colocataire **Chokri** qui a été un ami fidèle et généreux durant mes études. Il m'a transmis son savoir, son sérieux et sa créativité. Il m'a soutenu et réconforté. Je lui suis très reconnaissant et je lui souhaite bonne chance.*

*Mes remerciements et mon respect aux **membres du jury** qui me feront l'honneur d'évaluer mon travail.*

## ملخص :

الهدف من هذه المذكرة هو دراسة تهيئة وادي غزوانة الواقع في مدينة غزوات ولاية تلمسان ، للحماية من الفيضانات. تتضمن دراستنا عدة أجزاء أساسية ، أولاً ، تم تفصيل عرض لمنطقة الدراسة. تليها دراسة هيدرولوجية لتحديد تدفقات الفيضانات. ثانياً ، انتقلنا إلى التشخيص الذي يهدف إلى تحديد المشاكل الرئيسية للوادي المفروضة على الموقع ، بهدف إجراء اختيار مسبق للمتغيرات ، ثم توصلنا إلى مشروع قابل للتنفيذ يبدو أنه الأنسب لضمان حماية البلدية من الفيضانات وإدماج هذه الأحياء غير المجهزة في النسيج الحضري ، وأخيراً نحدد المدة والتكلفة لتنفيذ هذا المشروع .

الكلمات المفتاحية: فيضان ، غزاوة ، تطوير ، هيكل-راس ، نهر

## Résumé :

L'objectif de ce mémoire est d'étudier l'aménagement d'oued Ghazouana situé à la ville de Ghazaouet la wilaya de Tlemcen, pour une protection contre les inondations. Notre étude comprend plusieurs parties essentielles, en premier lieu, une présentation de la zone d'étude a été détaillée. Suivi d'une étude hydrologique pour déterminer les débits de crues. Dans un second lieu nous sommes passés au diagnostic visant relever les principaux problèmes de l'oued imposées sur le site, dans le but de faire une présélection des variantes, ensuite nous avons abouti à un projet réalisable qui paraît être le plus adapté pour garantir la protection de la commune contre les inondations et l'intégration de ces quartiers sous-équipés au tissu urbain, et finalement nous déterminons la durée et le coût pour la réalisation de ce projet.

**Mots clés :** Inondation, Ghazaouet, Aménagement, Hec-Ras, Oued

## Abstract :

The aim of this thesis is to study the development of oued Ghazouana located in the city of Ghazaouet in the province of Tlemcen, for protection against floods. Our study includes several essential parts, firstly, a presentation of the study area was detailed. Followed by a hydrological study to determine the flood flows. Secondly, we moved on to the diagnosis aimed at identifying the main problems of the oued imposed on the site, in order to make a pre-selection of the variants, then we arrived at a feasible project that seems to be the most suitable to guarantee the protection of the municipality against floods and the integration of these under-equipped neighborhoods into the urban fabric, and finally we determine the duration and the cost for the implementation of this project.

**Keywords:** Flooding, Ghazaouat, Development, Hec-Ras, River

## **SOMMAIRE :**

<b>Introduction</b> .....	1
<b>Chapitre I : Présentation de la zone d'étude</b> .....	2
I.1.Introduction: .....	2
I.2.Les données naturelles de la zone d'étude .....	2
I.2.1. La situation géographique : .....	2
I.2.2.Limitrophe : .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.2.3.Le Relief : .....	4
I.2.4. Géologie du site : .....	4
I.2.5.Stratigraphie : .....	5
I.3.Situation Climatique : .....	6
I.3.1.Température : .....	7
I.3.2. Le vent : .....	8
I.3.3.Pluviométrie : .....	8
I.4.Sols et végétation : .....	9
Conclusion : .....	10
<b>Chapitre II : Etude Des Crues</b> .....	11
II.1.Introduction : .....	11
II.2. Caractéristiques principales du bassin de Ghazouanah : .....	11
II.2.1. Bassin versant : .....	11
II.2.2. Caractéristiques géographiques du bassin versant : .....	12
II.2.3. Caractéristiques géométriques du bassin versant : .....	13
II.2.4. Caractéristiques morphologiques du bassin versant : .....	13
II.3. Les caractéristiques des écoulements dans les bassins versants : .....	23
II.3.1. Réseau hydrographique : .....	23
II.4. Etude des précipitations : .....	28
II.4.1. Pluies annuelles : .....	29
II.4.2. Pluie maximale journalière : .....	29
II.4.3. Ajustement de la série des pluies annuelles et maximales journalières enregistrée à la station de Ghazaouet : .....	31
II.5. Etude des apports : .....	35
II.5.1. Apports liquides : .....	35
II.5.2. Caractéristiques de l'écoulement : .....	36

II.6. Pluies de courte durée I.D.F (courbes : Intensité-Durée-Fréquence) :.....	37
II.7. Etude des crues : .....	40
II.7.1. Estimation du débit de crue :.....	40
II.7.2. Hydrogramme de crue :.....	43
Conclusion :.....	48
<b>Chapitre III : Simulation Des Crues</b> .....	<b>49</b>
III.1.Introduction : .....	49
III.2.Définition du logiciel HEC-RAS :.....	49
III.2.1.Les données géométriques : .....	49
III.2.2.Les données de l'écoulement et les conditions aux limites : .....	52
III.3.Calcul avant l'aménagement de l'oued : .....	53
Conclusion :.....	55
<b>Chapitre IV : Etude des variantes</b> .....	<b>56</b>
IV.1.Introduction : .....	56
IV.2. Principe d'aménagement : .....	56
IV.2.1. Les différents types d'aménagements envisageables : .....	56
IV.2.2.Les dimensionnement des canaux : .....	57
IV.2.3.Choix des paramètres de dimensionnement : .....	57
IV.2.4.Revanche des canaux :.....	58
IV.3.Etudes des variantes : .....	58
IV.3.1.Première variante : Canal trapézoïdale en béton armé : .....	59
IV.3.2.Deuxième variante : Canal rectangulaire (murs de soutènement):.....	63
IV.3.2.troisième variante : Canal en gabion : .....	67
IV.3.3.Comparaison :.....	74
Conclusion :.....	74
<b>Chapitre V : Etude technico-économique</b> .....	<b>75</b>
V.1.Introduction : .....	75
V.2.Réalisation d'un aménagement :.....	75
V.2.1.Les étapes d'exécution chantier : .....	76
V.3.Etude de variante (BETON) : .....	77
V.3.1.Avantages du revêtement en béton : .....	77
V.3.2. Inconvénients du revêtement en béton :.....	77
V.3.3.Devis quantitatif et estimatif du béton (Canal trapézoïdale) :.....	78

V.3.4.Devis quantitatif et estimatif du béton (murs de soutènement) : .....	79
V.4.Etude de variante ( GABION ) : .....	79
V.4.1.Avantages de l'aménagement en gabion :.....	79
V.4.2.Inconvénients de l'aménagement en gabion : .....	80
V.4.3.Devis quantitatif et estimatif du gabion : .....	80
V.5.Choix de variante d'aménagement : .....	81
Conclusion : .....	83

# Liste des figures

## **Chapitre I :**

Figure.I.1 : Carte de localisation du massif des Trara dans le Nord-Ouest de l'Algérie .....	2
Figure.I.2 : Situation administrative de la commune de Ghazaouet à l'échelle 1/1.000.....	3
Figure.I. 3 : Extrait de la carte géologique de la région de Tlemcen .....	6
Figure.I.4 : Température minimale, moyenne et maximale de la région de Ghazaouet (période 1970-2010).....	7
Figure.I. 5 : Carte en isohyète de la région de Tlemcen (1970/98).....	8
Figure.I. 6 : Carte d'occupation du sol.....	9

## **Chapitre II :**

Figure.II. 1 : situation des sous bassins (Arc-Gis) .....	12
Figure.II. 2 : Carte hypsométrique du bassin versant d'oued Ghazouana (Arc-Gis).....	16
Figure.II. 3 : courbe hypsométrique du sous bassin versant 1 ( Oued Taïma).....	17
Figure.II. 4 : courbe hypsométrique du sous bassin versant 2 ( Oued Tlata ).....	18
Figure.II. 5 : courbe hypsométrique du sous bassin versant 3 ( Oued Ghazouanah ) .....	19
Figure.II. 6 : Caractéristiques de la série pluviométrique .....	30
Figure.II. 7 : Représentation graphique de la loi de Gumbel. ....	32
Figure.II. 8 : Comparaison des caractéristiques de la loi de Gumbel avec caractéristiques de série pluviométrique .....	32
Figure.II. 9 : Représentation graphique de la loi Log-normal.....	33
Figure.II. 10 : Comparaison des caractéristiques de la loi de Galton avec Caractéristiques de série pluviométrique .....	34
Figure.II. 11 : Pluies de courtes durées de différentes périodes de retour .....	39
Figure.II. 12 : Intensités maximales pour différentes périodes de retour.....	39
Figure.II. 13 : Hydrogramme de crue de sous bassin 1 .....	45
Figure.II. 14 : Hydrogramme de crue de sous bassin 2.....	46
Figure.II. 15 : Hydrogramme de crue de sous bassin 3.....	47

## **Chapitre III :**

Figure.III. 1 : Fenêtre d'accueil du logiciel HEC-RAS.....	51
Figure.III. 2: Définition du tracé de l'oued et des sections.....	52
Figure.III. 3 : Définition de la crue et des conditions aux limites .....	52
Figure.III. 4 : Profil en long du cours d'eau (oued Ghezouana). ....	53
Figure.III. 5: Section en travers (8) et résultats de simulation .....	54
Figure.III. 6: Section en travers (2) et résultats de simulation .....	54
Figure.III. 7: Section en travers (22) et résultats de simulation .....	54
Figure.III. 8: Section en travers (16) et résultats de simulation .....	54

## **Chapitre IV :**

Figure.IV. 1 : Profil en travers d'Oued Ghazouana aménagé avec un canal trapézoïdale en béton armé.....	63
---	----

Figure.IV. 2: Profil en long de l'oued Ghazouana aménagé avec un canal trapézoïdale en béton armé .....	63
Figure.IV. 3 : Profil en travers d'Oued Ghazouana aménagé avec un avec un canal rectangulaire en béton armé .....	67
Figure.IV. 4 : Profil en long de l'oued Ghazouana aménagé avec un canal rectangulaire en béton armé .....	67
Figure.IV. 5 : Coupe en travers d'un canal en gabion.....	68
Figure.IV. 6 : Profil en travers d'Oued Ghazouana aménagé avec un canal en gabion. ....	71
Figure.IV. 7 : Profil en long de l'oued Ghazouana aménagé avec un canal en gabion.....	72

# Liste des tableaux

## Chapitre I :

Tableau.I. 1 : Températures moyennes mensuelles et annuelles à la station de Ghazaouet .....	7
Tableau.I. 2 : Vitesse du vent .....	8

## Chapitre II :

Tableau.II. 1: Paramètres morpho-métriques de chaque sous bassin.....	14
Tableau.II. 2 : Paramètres Hypsométriques du Sous Bassin Versant 1 ( Oued Taïma ).....	17
Tableau.II. 3 : Paramètres Hypsométriques du Sous Bassin Versant 2 ( Oued Tlata ).....	18
Tableau.II. 4 : Paramètres Hypsométriques du Sous Bassin Versant 3 ( Oued Ghazouanah )	19
Tableau.II. 5 : Les altitudes caractéristiques des sous bassins versants .....	20
Tableau.II. 6 : Classification du relief (O.R.S.T.O.M) .....	21
Tableau.II. 7 : Indice de pente globale $I_g$ des Sous Bassins Versants. ....	21
Tableau.II. 8 : résultats du calcul des pentes moyennes des sous bassins.....	22
Tableau.II. 9 : Longueurs correspondantes à chaque courbe de niveau.....	22
Tableau.II. 10 : les longueurs des cours d'eau principales.....	22
Tableau.II. 11: La densité de drainage pour les sous bassins versants.....	24
Tableau.II. 12 : La pente moyenne des cours d'eau principaux.....	24
Tableau.II. 13: Les temps de concentration Calculés Pour les Sous bassins versants par la formule de GIANDOTTI .....	25
Tableau.II. 14 : Les temps de concentration calculés pour les sous bassins versants par la formule de Turraza- Passini .....	26
Tableau.II. 15 : Les temps de concentration calculés pour les sous bassins versants par la formule Espagnole.....	27
Tableau.II. 16 : Les temps de concentration calculés pour les sous bassins versants .....	27
Tableau.II. 17 : La vitesse de ruissellement dans les sous Bassins versants .....	28
Tableau.II. 18 : Coordonnées de la station pluviométrique de Ghazaouet.....	28
Tableau.II. 19 : Série des pluies moyennes annuelles de la station de Ghazaouet.....	29
Tableau.II. 20 : Série des pluies maximales journalières de la station de Ghazaouet.....	30
Tableau.II. 21 : Résultat de l'ajustement à la loi de GUMBEL .....	31
Tableau.II. 22 : Résultat de l'ajustement à la loi Log-normal.....	33
Tableau.II. 23: Comparaison des caractéristiques des lois.....	34
Tableau.II. 24 : apports liquides et lames d'eau écoulées .....	36
Tableau.II. 25 : module d'écoulement pour chaque sous bassin.....	36
Tableau.II. 26: Modules d'écoulement relatifs .....	36
Tableau.II. 27: Coefficients de ruissèlement.....	37
Tableau.II. 28: Pluies de courtes durées de différentes fréquences et leurs intensités.....	38
Tableau.II. 29: $C$ : Coefficient d'écoulement ;.....	40
Tableau.II. 30: Les débits maximums pour les différentes sous bassins par TURAZZA.....	41
Tableau.II. 31: Les débits maximums pour les différentes sous bassins par Sokolovsky.....	42
Tableau.II. 32 : paramètre régional $C$ .....	42
Tableau.II. 33 : paramètre régional $N$ .....	42

Tableau.II. 34: Les débits maximums pour les différentes sous bassins par Formule de Fuller 2 .....	43
Tableau.II. 35: comparaison des débits des trois méthodes .....	43
Tableau.II. 36: Q avec différente période de retour calculé par la formule de Sokolovsky....	43
Tableau.II. 37: Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue $\delta$ .....	44
Tableau.II. 38: Récapitulation des résultats obtenus pour $T_m, T_{det}$ et $T_b$ .....	45
Tableau.II. 39: Hydrogrammes des crues de différentes périodes de retours SB1 .....	45
Tableau.II. 40: Hydrogrammes des crues de différentes périodes de retours SB2 .....	46
Tableau.II. 41: Hydrogrammes des crues de différentes périodes de retours SB3 .....	47

## **Chapitre IV :**

Tableau.IV. 1: Coefficient de rugosité. ....	57
Tableau.IV. 2: Vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolident. ....	58
Tableau.IV. 3: Dimensions de l'aménagement d'Oued Ghazouana (canal trapézoïdale en béton armé).....	60
Tableau.IV. 4: Paramètres d'écoulement de la variante (1) en béton armé.....	61
Tableau.IV. 5: Dimensions de l'aménagement d'Oued Ghazouana (canal rectangulaire en béton armé).....	64
Tableau.IV. 6: Paramètres d'écoulement de la variante (2) en béton armé.....	65
Tableau.IV. 7: Caractéristiques géométriques de la section gabionnée. ....	68
Tableau.IV. 8: Dimensions de l'aménagement d'Oued Ghazouana (canal en gabion).....	69
Tableau.IV. 9: Paramètres d'écoulement de la variante canal en gabion. ....	70

## **Chapitre V :**

Tableau.V. 1: devis pour les différents travaux d'aménagement pour un Canal trapézoïdale en béton .....	78
Tableau.V. 2: devis pour les différents travaux d'aménagement pour deux murs de soutènement en béton .....	79
Tableau.V. 3 : Devis pour les différents travaux d'aménagement en gabion. ....	80

## *Liste Des Planches*

**Planche n°1** : Plan de situation

**Planche n°2** : Plan des zones inondable

**Planche n°3** : Profile en long

**Planche n°4** : Profile en travers

# Introduction Générale :

Les écosystèmes dépendent de l'eau sous toutes ses formes (fleuves et rivières, lacs, marais, zones humides, nappes souterraines), qui remplit des fonctions multiples. Cependant, elle cause aussi de sérieux problèmes notamment dans les domaines de la santé et de l'environnement. Les changements climatiques provoquent parfois des crues ou inondations et orages violents qui sont, sans doute, le péril naturel majeur qui fait le plus de victimes et de dégâts à travers le monde.

Les inondations sont un danger dominant sur le territoire Algérien. Elles se produisent souvent suite aux débordements des cours d'eau habituellement à sec (les oueds) dans les plaines agricoles. Toutefois, au cours des dernières décennies, elles apparaissent de plus en plus fréquemment en zones urbaines, causant des pertes humaines et matérielles. En effet, le non contrôle de l'urbanisation des zones inondables, là où se sont développées des habitations ou des activités et la construction accrue de grands équipements et de structures routières et autoroutières, favorisent l'expansion des crues. D'ailleurs, les statistiques de la protection civile montrent qu'un tiers des communes sont susceptibles d'être inondées.

En raison de pressions économiques, sociales, foncières, les cours d'eau ont souvent été aménagés, couverts, déviés, augmentant ainsi la vulnérabilité des populations et des biens.

C'est le cas de la ville de Ghazaouet qui a connu, ces dernières années, de nombreux épisodes de crues occasionnant d'importants préjudices matériels (ruissellement urbain, débordements et défoncement des voiries, détérioration des infrastructures).

Face à cette situation alarmante, la protection de la ville et de sa population s'avère indispensable.

Notre étude est dans ce sens, du fait que la ville de Ghazaouet est traversée par Oued Ghazouana qui est à l'origine d'inondations récurrentes engendrées par des précipitations intenses. L'objet du travail sera donc dans le but d'envisager des mesures structurelles qui puissent protéger les zones occupées le long de l'Oued Ghazouana.

Pour ce faire, le travail est divisé en cinq volets : on commencera avec une présentation détaillée de la zone d'étude, puis on traitera les pluies maximales journalières pour aboutir aux pluies maximales probables qui seront incluses dans le calcul des débits. Une fois les hydrogrammes estimés et en ayant des levés topographiques détaillés, on pourra étudier les écoulements dans les cours d'eau à l'état naturel afin d'élaborer une carte d'inondation sur Oued Ghazouana et ses affluents en associant les fonctionnalités des deux logiciels Auto-Cad Civil 3D et HEC-RAS. Cela nous permettra d'identifier les zones inondables de l'Oued. Dès lors, on saura proposer des solutions sous forme de différentes variantes dont on choisira la mieux adaptée, et en faire une estimation quantitative et financière.

# Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

## Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

### I.1.Introduction:

Pour tout projet d'aménagement d'un Oued, il faut commencer par présenter le site d'étude. Cela implique de collecter les données de manière rigoureuse et d'analyser les facteurs qui causent les inondations. Notre étude a pour objectif de proposer des solutions pour protéger le site des risques de ce phénomène et pour prévenir ces catastrophes.

### I.2.Les données naturelles de la zone d'étude

#### I.2.1. La situation géographique :

La commune de Ghazaouet se situe dans la partie méridionale des Trara. Elle constitue avec Beni-saf l'armature maritime de la région extrême Ouest algérienne. Son relief est formé principalement par la vallée de Ghazouana encadrée par des falaises abruptes ou surplombent les replats de Ouled Ziri, Arcoub et Sidi Amar.

Commune côtière, située au centre des monts des Trara, elle à un relief accidenté et légèrement parallèle à la cote.

Elle constitue sur le plan topographique une rupture entre le littorale et son arrière pays.

L'isolement géographique de Ghazaouet n'est que partiellement rompu par la percée naturelle de la vallée de Ghazouanah, qui lui assure une liaison au Sud avec la ville de Nedroma et Tlemcen. Les deux villes (Ghazaouet – Nedroma), se trouvent dans le même contexte d'isolement. Elles sont bloquées au Sud par les chaînons de fillaoucène et El Goulia.



**Figure.I.1** :Carte de localisation du massif des Trara dans le Nord-Ouest de l'Algérie à l'échelle 1/1.000

Source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Trara>

## Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

La commune de « Ghazaouet » couvre une superficie de 28Km<sup>2</sup>, Elle est limitée :

- Au Nord par la mer Méditerranée,
- Au Sud par la commune de Tient,
- Au Sud – Est par la commune de Nedroma,
- A l'Ouest par la commune de Souahlia,
- A l'Est par la commune de Dar Yaghmoracene,



Figure.I.2 : Situation administrative de la commune de Ghazaouet à l'échelle 1/1.000

Source : ( DHW Tlemcen )

# Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

---

## I.2.3. Le Relief :

La forme et la qualité des sols influencent l'utilisation des terres à Ghazaouet, une commune montagneuse en Algérie. Il présente quatre types de sols et de relief différents :

### Unité de versants :

Unité prédominant le paysage montagneux notamment à l'Est et au Sud de la commune. Les sols sont hétérogènes généralement peu profonds, alternant les sols très dégradés (à sub-affleurement rocheux) aux sols peu profonds, humifères, stabilisées sans couvert forestier.

Les sols rouges sont très faiblement localisés.

### Unité de terrasses :

Couvre les terrasses alluviales formées le long de Oued Ghazouanah en discontinuité avec des sols profonds limono-argileux, non caillouteux.

### Unité de plateaux :

Elle couvre de très faible espace, et se confine sur les hautes collines avec des sols rouges (fersiallitique) à dominance argilo-sableuse, non calcaires de profondeur moyenne.

### Unité apparentée aux collines :

Cette unité se rapproche de l'unité de relief montagneux mais à déclivité relativement moins importante, avec des sols hétérogènes alternant les sols calcaires, caillouteux avec des sols rouges plus profonds. Cette unité couvre une partie de la région Ouest et Sud-Ouest de la commune.

## I.2.4. Géologie du site :

Les travaux géologique menées sur la région permettent de définir les grands traits de cette région que l'on peut diviser en 3 zones, orientées Est- Ouest (DHW- 2006).

- La zone sud comprend la chaîne de Fllaoucène, qui présente une série stratigraphique à peu près complète des schistes primaires aux calcaires du jurassique supérieur. Les épaisseurs des formations calcaires secondaires en font un petit château d'eau régional.
- La zone centrale s'appuie à l'Est sur un petit batholite de granite dit « de Nedroma » ayant servi de matériau de base à une formation de poudingue d'âge permo-triasiques (des beni Menir). C'est une roche très dure dans laquelle il est particulièrement difficile d'effectuer des captages. Quelques petites sources en sont issues. Cette formation disparaît ensuite sous des épanchements basaltiques. Vers l'Ouest se trouve un bassin

## Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

---

miocène dont seul le centre est susceptible de contenir une petite nappe (de Sidi Brahim à Bab El Assa).

- Une zone côtière, qui est en fait le déplacement vers le sud et par chevauchement sur la zone précédente, de formations originellement situées à l'emplacement de la mer actuelle. Les formations déplacées comprennent des lambeaux de trias de faciès germanique (marne, gypse, dolomie et roche verte) ayant servi de plan de glissement. Ils sont surmontés de lias calcaire (calcaires massifs parfois entrecoupés de schistes), puis de formations schisteuses attribuées au jurassique supérieur et au crétacé. De plus, quelques grès tertiaires transgressifs subsistent au voisinage même de la côte.

Enfin des épanchements basaltiques sont venus couronner l'ensemble à la suite des mouvements tectoniques. (DHW- 2006).

### I.2.5.Stratigraphie :

Sur la carte de la figure I.2 sont représentées les principales formations géologiques de la région de Ghazaouet.

Aux environs de Ghazaouet, on rencontre successivement de bas en haut :

- Le socle schisteux hercynien,
- Le jurassique inférieur : Calcaire ou calcaréo-dolomitique, qui est visible au niveau du port de Ghazaouet au lieu dit « la Grotte », et qui montre de nombreux plissements,
- les grès grossiers du Miocène : Discordant sur le Jurassique. Ces grès souvent argileux, mal lités, plus ou moins consolidés, se retrouvent de part et d'autre de la vallée de l'Oued Ghazouana surplombant la ville de Ghazaouet.
- Les couches rouges : Alluvions continentales anciennes formées par des argiles plus ou moins sableuses avec des niveaux de cailloutis roulés et de petits bancs marno-calcaires plus consolidés. Ces couches rouges peuvent passer latéralement à des sables dunaires à stratifications entrecroisées. Cette formation se situerait au-dessus des grès du miocène.
- les basaltes post-miocènes forment des coulées au-dessus du Jurassique et des couches rouges. Ces basaltes sont visibles à la sortie de la ville.
- Les alluvions sableuses anciennes forment des grès tendres à la base desquels on trouve des cinérites.
- Les alluvions récentes de l'Oued Ghazouana, argilo-sableuses, à niveaux conglomératiques souvent bien développés dans les zones de méandres.

# Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

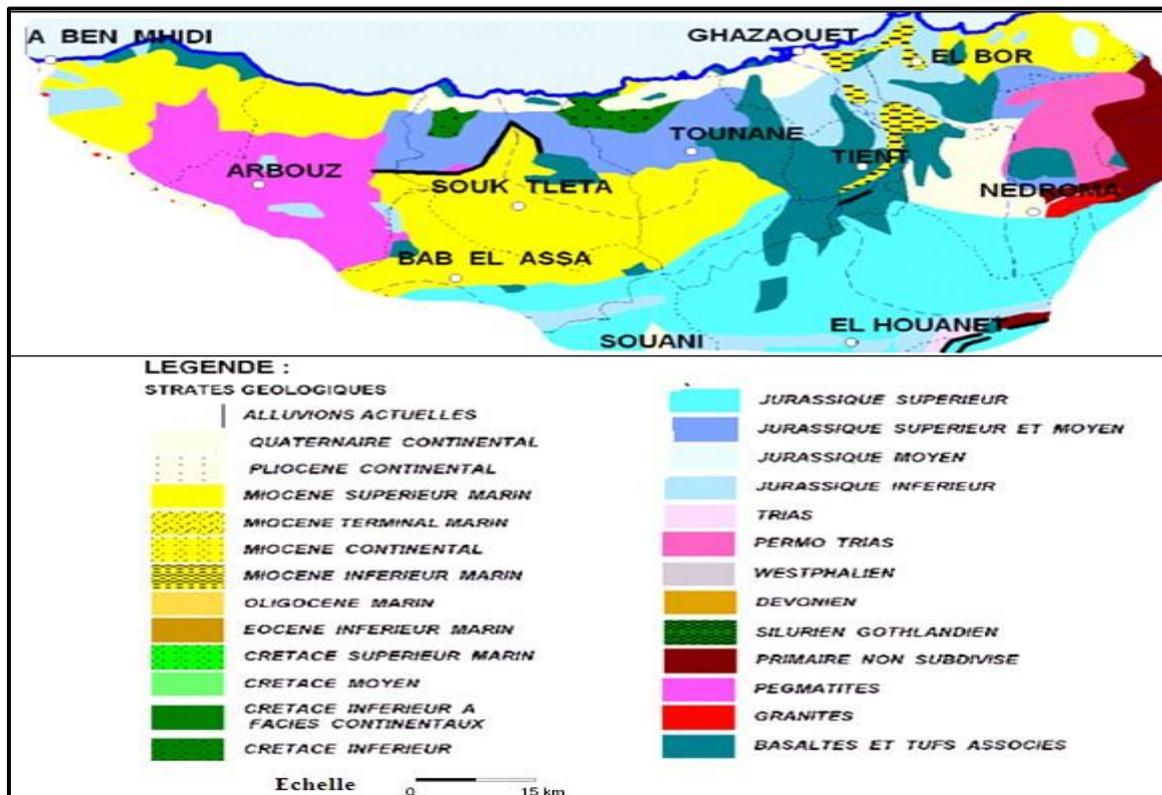


Figure.I. 3 : Extrait de la carte géologique de la région de Tlemcen. (Source : DHW Tlemcen)

## I.3.Situation Climatique :

L'étude du climat est nécessaire, elle nous informe sur la pluviométrie de la région, les températures et les vents. La région de Ghazaouet fait partie de la zone climatique méditerranéenne. Son climat oscille entre le semi aride et le humide, caractérisé par l'irrégularité de pluies et la sécheresse d'été prolongée. Les pluies dépassent rarement les 500 mm. Ces perturbations sont dues aux facteurs suivants :

- Le rôle que joue la dorsale du moyen atlas du Rif marocain.
- L'orientation Nord Ouest – Nord Est du bâti structural de l'Algérie. Une variation pluviométrique entre les régions Est et Ouest de la même latitude expliquée par le fait que la dorsale du moyen atlas bloque les mouvements ascendants accentués.

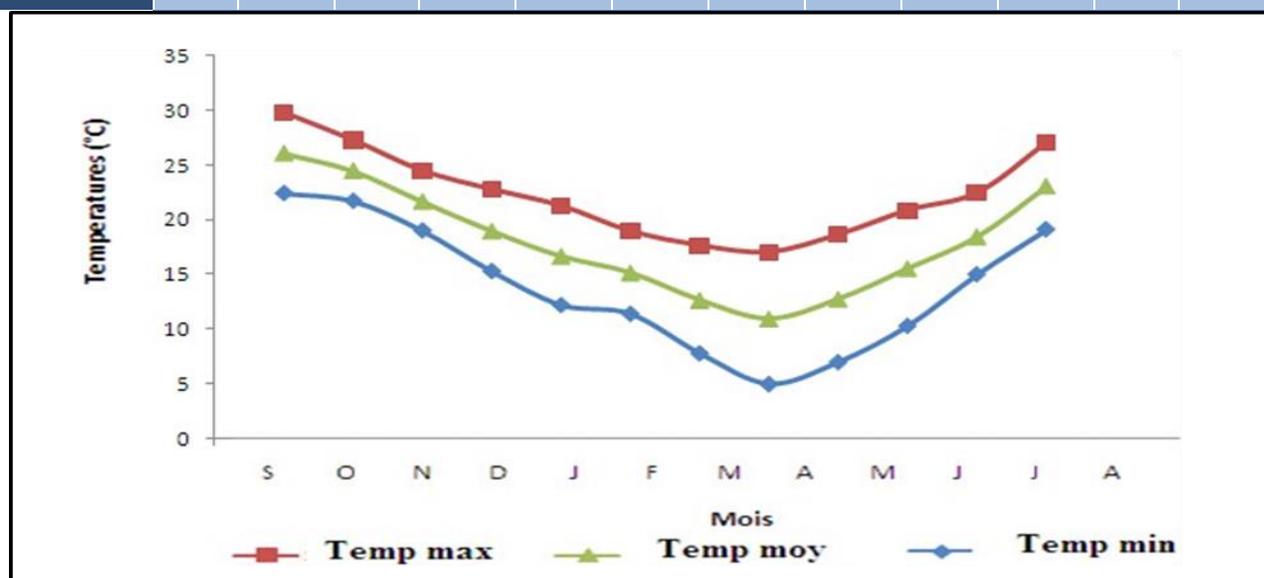
# Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

## I.3.1. Température :

La température moyenne mensuelle varie entre 5 °C et 29.8°C ; avec une moyenne annuelle est de 18.12 °C. Le tableau suivant donne les moyennes arithmétiques de la température interannuelle de la station de Ghazaouet entre (1970-2010).

**Tableau.I. 1** : Températures moyennes mensuelles et annuelles à la station de Ghazaouet (1970-2010)

Paramètre	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Min	19.1	15	10.3	7	5	7.8	11.4	12.2	15.3	19	21.7	22.4
Max	27.1	22.5	20.9	18.7	17.1	17.7	9	21.3	22.8	24.5	27.3	29.8
T° Moy	23.1	18.5	15.6	12.8	11.0	12.7	15.2	16.7	19.0	21.7	24.5	26.1



**Figure.I.4** : Température minimale, moyenne et maximale de la région de Ghazaouet (période 1970-2010).

D'après la **Figure I.4**, la région de Ghazaouet connaît une variation des températures moyennes mensuelles. Le mois de janvier est le mois le plus froid de l'année avec une température de 11°C, tandis que le mois d'août est le mois le plus chaud avec une température de 26.1°C. En outre, la température moyenne annuelle du bassin est de 18.12°C.

# Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

## I.3.2. Le vent :

Les données disponibles sont celles de la station de Ghazaouet. Elles ne reposent que sur la mesure de la vitesse (Tableau : I.2).

Tableau.I. 2 : Vitesse du vent

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
V(m/s)	2.25	2.06	1.82	1.65	1.74	1.80	1.93	2.15	2.36	2.41	2.28	2.05

La vitesse moyenne du vent dans la région étudiée est d'environ 2.04 m/s. Bien que cette valeur soit relativement constante tout au long de l'année, elle est plus élevée en été, atteignant 2.41 m/s, tandis qu'elle diminue en hiver pour atteindre 1.65 m/s en décembre

## I.3.3.Pluviométrie :

La région de Ghazaouet est caractérisée par une irrégularité spatiotemporelle de la pluviométrie avec une succession alternée des périodes sèches et humides. La carte pluviométrique de la figure1.4 montre que la région de Ghazaouet est située entre les isohyètes 300 mm et 400 mm.

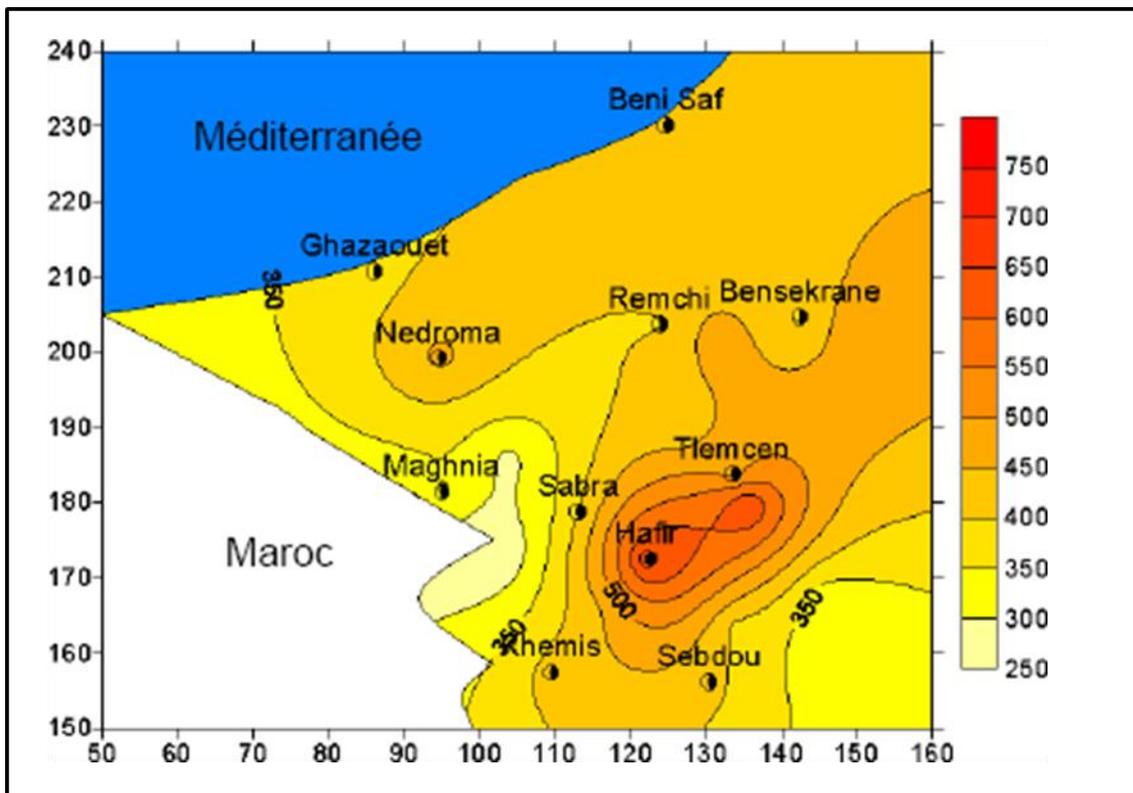


Figure.I. 5 : Carte en isohyète de la région de Tlemcen (1970/98)

(Source : BOUANANI 2004)

# Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

## I.4.Sols et végétation :

Les sols de la région de Ghazaouet peuvent être classés en trois catégories :

- Les sols calcaires, qui couvrent une grande partie du bassin et sont propices à l'arboriculture non irriguée et à l'élevage de montagne.
- Les sols constitués de croûtes calcaréo-gréseuses ou marno-gréseuses, ainsi que d'argiles de décalcification, où l'on retrouve un couvert forestier bien développé.
- Les sols qui correspondent à la partie du bassin où la pente dépasse 25%, où le couvert végétal est en cours de reboisement et les forêts claires ainsi que le couvert mort dominant. Ce type de couvert végétal protège mal la texture du sol contre les agents de l'érosion, ce qui constituerait une zone où l'activité érosive serait très importante. La végétation dans le bassin est étroitement liée à la pluviométrie .



Figure.I. 6 : Carte d'occupation du sol. (Source : DHW Tlemcen)

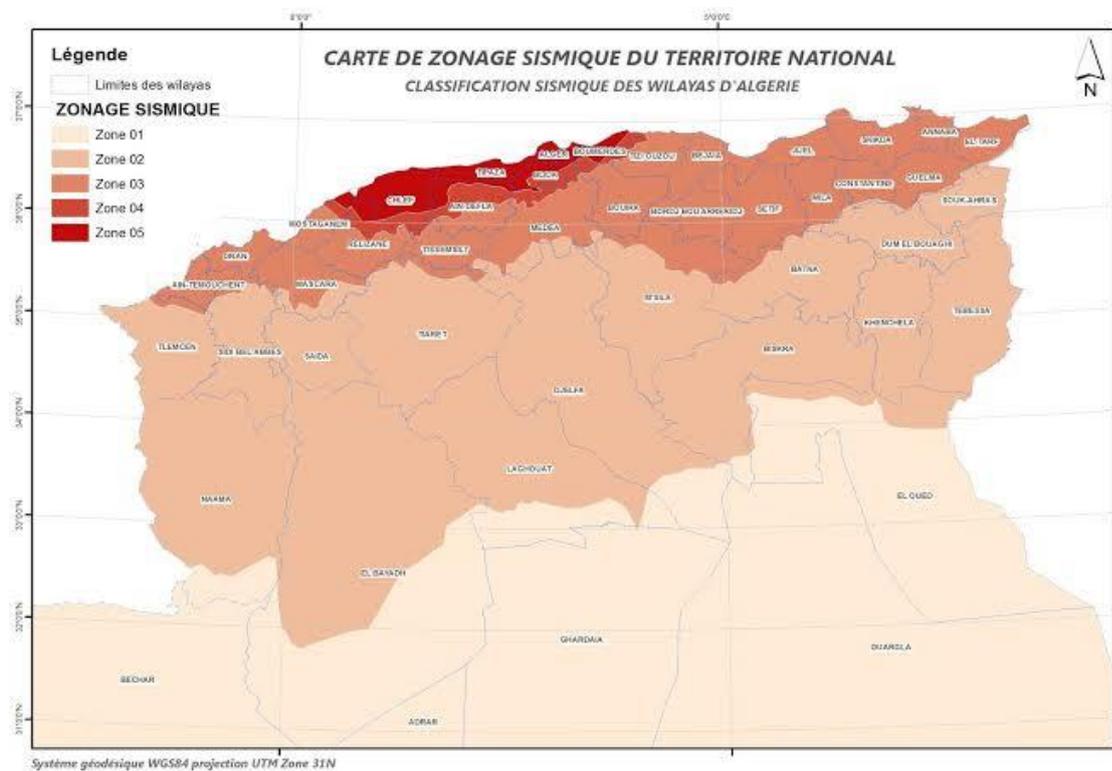
# Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

## I.5.Sismicité de la région d'étude :

En termes de sismicité, l'Algérie, compte tenu de sa localisation dans une zone à convergence de plaque est une région à forte sismicité. Au cours de son histoire, elle a subi un grand nombre de séismes destructeurs.

Le territoire national est divisé en 05 zones de sismicité croissante, définies comme suit :

- Zone 1 : sismicité négligeable ;
- Zone 2 : sismicité faible ;
- Zone 3 et 4 : sismicité moyenne ;
- Zone 5 : sismicité élevée.



Source : [researchgate.net/figure/figure-NI01](https://www.researchgate.net/figure/figure-NI01)

La figure ci-dessus montre que notre zone d'étude est classée en zone 2 ;

une zone à sismicité **Faible** .

### Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons collecté toutes les données nécessaires concernant notre région (topographie ; géologie ; climatologie) ces données nous serviront à entamer l'étude de notre projet.

## Chapitre II : Etude Hydrologique

---

### Chapitre II : Etude Hydrologique

#### II.1.Introduction :

L'étude hydrologique revêt une grande importance pour la construction de projets de conservation de l'eau. L'objectif est donc de mettre l'accent sur les paramètres hydrologiques du lit fluvial, tels que le débit des crues, la contribution du bassin (apports liquides et solides), qui constituent la base du développement des dimensions structurelles. L'hydrologie fournit aux ingénieurs des listes de contrôle et des outils d'analyse de données nécessaires au développement des éléments de conception. Le dimensionnement, la sécurité et le bon fonctionnement des ouvrages hydrauliques sont toujours liés à une bonne évaluation, non seulement du débit moyen disponible, mais surtout des débits limites.

L'objectif fondamental de ce chapitre est d'identifier les principaux paramètres hydrologiques nécessaires au prédimensionnement des ouvrages hydrauliques prévus, dans le cadre de l'étude de protection de la ville de Gazaouete, Wilaya, Tlemcen, des effets des eaux pluviales. Pour ce faire, il faut d'abord délimiter les bassins versants, puis déterminer les hydrogrammes, les réseaux hydrologiques et les courbes altimétriques. La délimitation a été réalisée à l'aide d'un SIG (Système d'Information Géographique) basé sur le modèle numérique de terrain DEM à l'aide du logiciel ArcGIS version 10.5.

#### II.2. Caractéristiques principales du bassin de Ghazouana :

Différents paramètres morphologiques du bassin, notamment forme, élévation. Éléments dans lesquels pente et topographie interviennent souvent de manière combinée. modèles de processus, il convient donc de les préciser dès le début de toute étude

##### II.2.1. Bassin versant :

En principe, un bassin versant représente l'unité géographique sur laquelle il s'appuie analyse du cycle hydrologique et de ses effets. Plus précisément, le bassin versant Peut être considéré comme un système qui est hydrologiquement une surface de base Fermé, ce qui signifie qu'aucune eau ne peut pénétrer de l'extérieur et que tout excès d'eau ne peut pas entrer. des précipitations s'évapore ou s'écoule à travers une seule section à la sortie. La forme des bassins ont un impact sur le débit. Le bassin versant de Oued Ghazouana regroupe deux sous bassins versants, le sous bassin de Oued Tlata et le sous bassin de Oued Taïma.

## Chapitre II : Etude Hydrologique

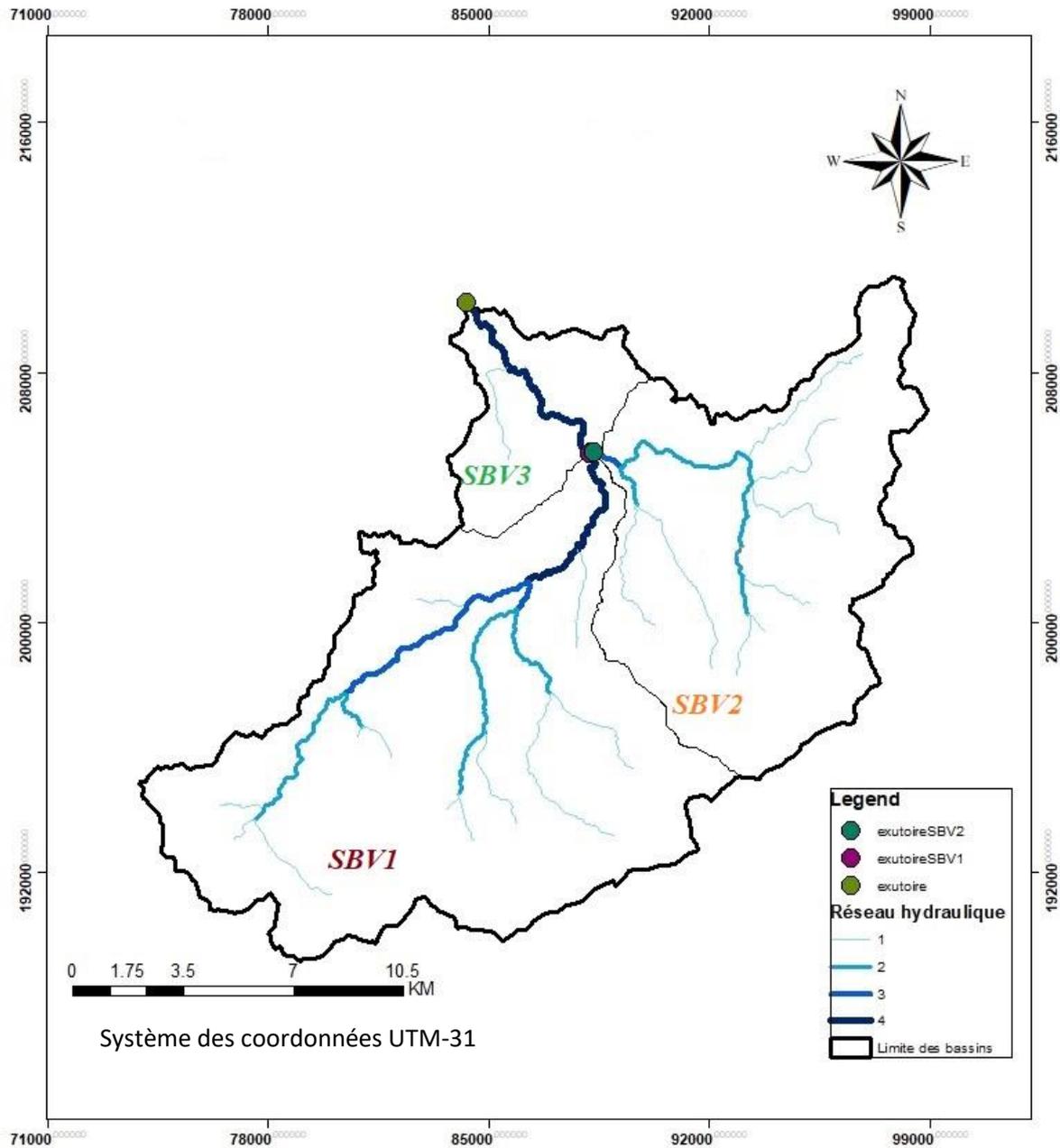


Figure.II. 1 : Carte des sous bassins de l'oued Ghazouana

### II.2.2. Caractéristiques géographiques du bassin versant :

Les coordonnées UTM (Fuseau 31) de l'exutoire au site du chemin de fer sont les suivantes :

**Longitude X = 56,59km.**

**Latitude Y = 3895,17 km.**

**Altitude Z = 0 m NGA**

## Chapitre II : Etude Hydrologique

### II.2.3. Caractéristiques géométriques du bassin versant :

Les caractéristiques géométriques du bassin versant ont été déterminées directement en utilisant le logiciel ArcGis.

Surface du bassin versant :  $S = 286 \text{ km}^2$ .

Périmètre du bassin versant :  $P = 101 \text{ Km}$ ,

Longueur du thalweg principal :  $L_{cp} = 15.22 \text{ km}$

### II.2.4. Caractéristiques morphologiques du bassin versant :

#### II.2.4.1. Indice de compacité :

L'indice de compacité  $K_c$  d'un bassin versant est défini comme le rapport de la circonférence du bassin versant à la circonférence d'un cercle de même superficie que le bassin versant et permet de déterminer la forme du bassin versant. Cela dépend de la superficie de la piscine et de son périmètre.

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} \approx 0.28 \frac{P}{S} \dots \dots \dots (\text{II.1})$$

Avec :

$K_c$  : Indice de compacité de Gravelius ;

$S$  : surface du bassin versant [ $\text{Km}^2$ ] ;

$P$  : périmètre du bassin versant [ $\text{Km}$ ] ;

#### II.2.4.2. Rectangle équivalent :

Il s'agit de transformer un véritable bassin versant en un bassin rectangulaire de même superficie, de même **périmètre** (ou même indice de compacité) et donc de même répartition en hauteur.

Si  $L$  et  $l$  représentent respectivement la longueur et la largeur du rectangle équivalent, alors :

- ✚ Le périmètre du rectangle [ $P=2(L+l)$ ] ;
- ✚ La surface du rectangle [ $S=L.l$ ].
- ✚ Le coefficient de compacité.

## Chapitre II : Etude Hydrologique

On combinant ces trois relations, on obtient :

$$L = \frac{k_c \sqrt{S}}{1.128} \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{k_c} \right)^2} \right) \dots \dots (II.2)$$

$$I = \frac{k_c \sqrt{S}}{1.128} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{k_c} \right)^2} \right) \dots \dots (II.3)$$

Le tracé des droites de niveau du rectangle équivalent est directement lié à la répartition hypsométrique cumulée. Cette dernière permet de déterminer l'altitude moyenne d'un bassin versant, qui peut être déduite de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. Le rectangle équivalent est un rectangle de même superficie et de même périmètre que le bassin réel.

### II.2.4.3 Application numérique pour les sous bassins :

Le tableau ci-dessous reprend les paramètres morphologiques du bassin versant précédemment calculés :

**Tableau.II. 1:** Paramètres morpho-métriques de chaque sous bassin.

Sous Bassins	S (km <sup>2</sup> )	P (km)	K <sub>c</sub>	L (km)	I (km)	La Forme
1	157.71	68.15	1.53	28.54	5.53	Allongé
2	101	53.69	1.51	22.40	4.51	Allongé
3	286	102	1.70	44.56	6.42	Allongé

Avec :

- ✚ S : surfaces des bassins versant [Km<sup>2</sup> ] ;
- ✚ P : périmètres des bassins versant [Km] ;
- ✚ K<sub>c</sub>: Indice de compacité de Gravelius ;
- ✚ L : La longueur du rectangle équivalent [Km] ;
- ✚ I : La largeur du rectangle équivalent [Km] ;

### II.2.4.4. Le relief :

La topographie a un impact direct sur les facteurs climatiques et un impact indirect sur la formation des courants de surface. Elle détermine en grande partie la capacité du sol en matière de ruissellement, d'infiltration et d'évaporation. L'allègement est également déterminé à l'aide des indices ou caractéristiques suivants :

- ✚ La courbe hypsométrique.

## Chapitre II : Etude Hydrologique

---

- + Les altitudes caractéristiques.
- + L'indice de pente globale.
- + L'indice de pente moyenne.

Notre but recherché est la détermination de la classe du relief.

### II.2.4.5. Les courbes hypsométriques :

Les courbes hypsométriques permettent d'avoir une vision globale de la pente du bassin et donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du sous-bassin en fonction de son élévation. Il représente, en abscisse, la superficie (ou pourcentage de superficie) du sous-bassin au-dessus (ou au-dessous) de l'élévation indiquée en ordonnée. Il représente donc la superficie ou le pourcentage de la superficie d'un sous-bassin au-dessus d'une certaine hauteur.

Les courbes hypsométriques restent un outil utile pour les comparaisons entre plusieurs sous-bassins ou entre parties d'un même sous-bassin. Ils peuvent également être utilisés pour déterminer la pluviométrie moyenne dans un bassin versant et donner une indication Caractéristiques hydrologiques et hydrauliques des bassins versants et de leurs systèmes de drainage.

## Chapitre II : Etude Hydrologique

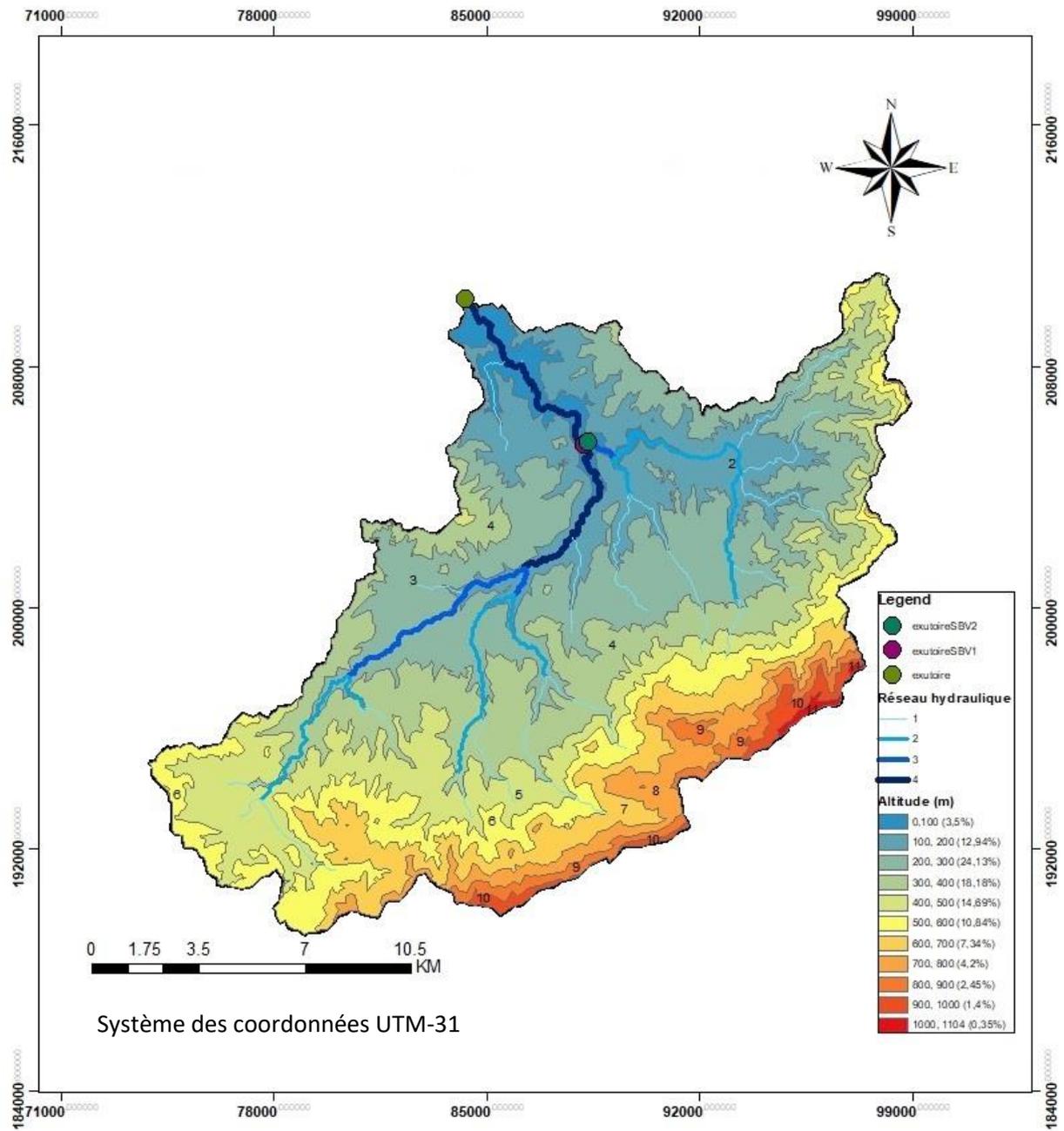
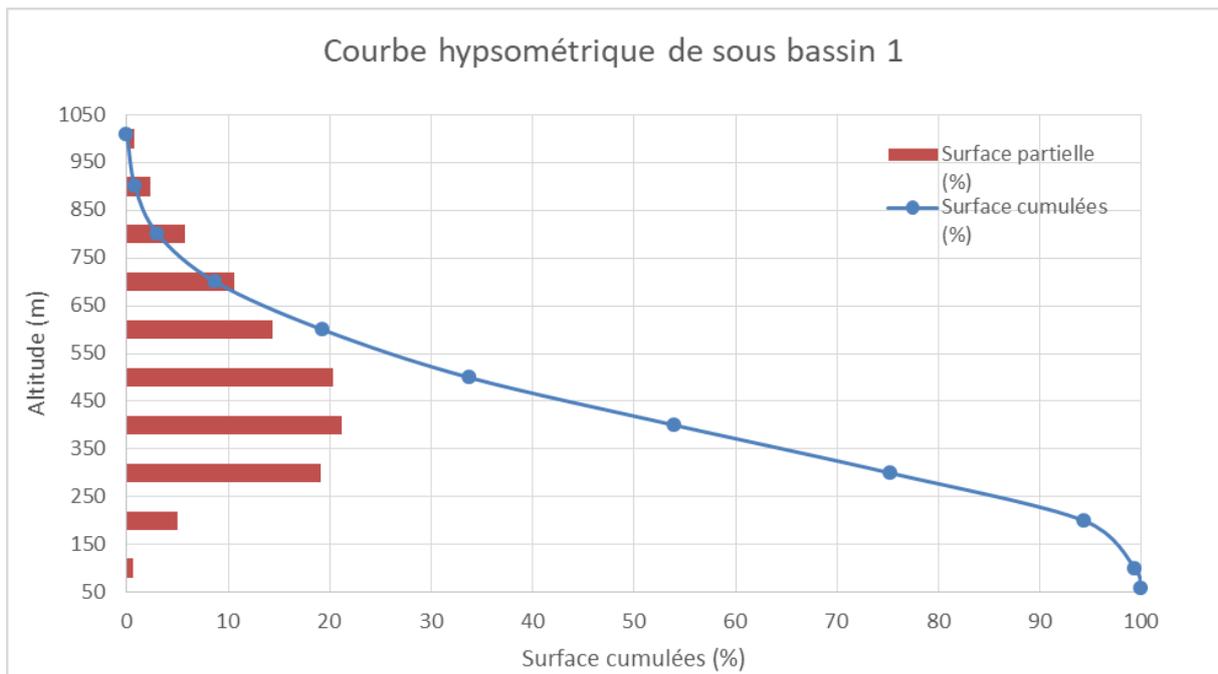


Figure.II. 2 : Carte hypsométrique du bassin versant d'oued Ghazouana (Arc-Gis)

## Chapitre II : Etude Hydrologique

**Tableau.II. 2 :** Paramètres Hypsométriques du Sous Bassin Versant 1 ( Oued Taïma )

Alt 1 (m)	Alt 2 (m)	Hi (m)	surfaces partielles (Km2)	surfaces partielles (%)	Surfaces Cummulées (Km2)	Surfaces Cummulées (%)	Hi*Si (m.Km2)
58	100	79	0.99	0.63	0,99	100	78,21
100	200	150	7.91	5.02	8,9	99.37	1186,5
200	300	250	30.13	19.10	39,03	94.36	7532,5
300	400	350	33.48	21.23	72,51	75.25	11718
400	500	450	32.01	20.30	104,52	54.02	14404,5
500	600	550	22.74	14.42	127,26	33.73	12507
600	700	650	16.69	10.58	143,96	19.31	10855
700	800	750	8.97	5.69	152,94	8.73	6735
800	900	850	3.56	2.26	156,5	3.04	3026
900	1008	954	1.23	0.78	157,73	0.78	1173,42

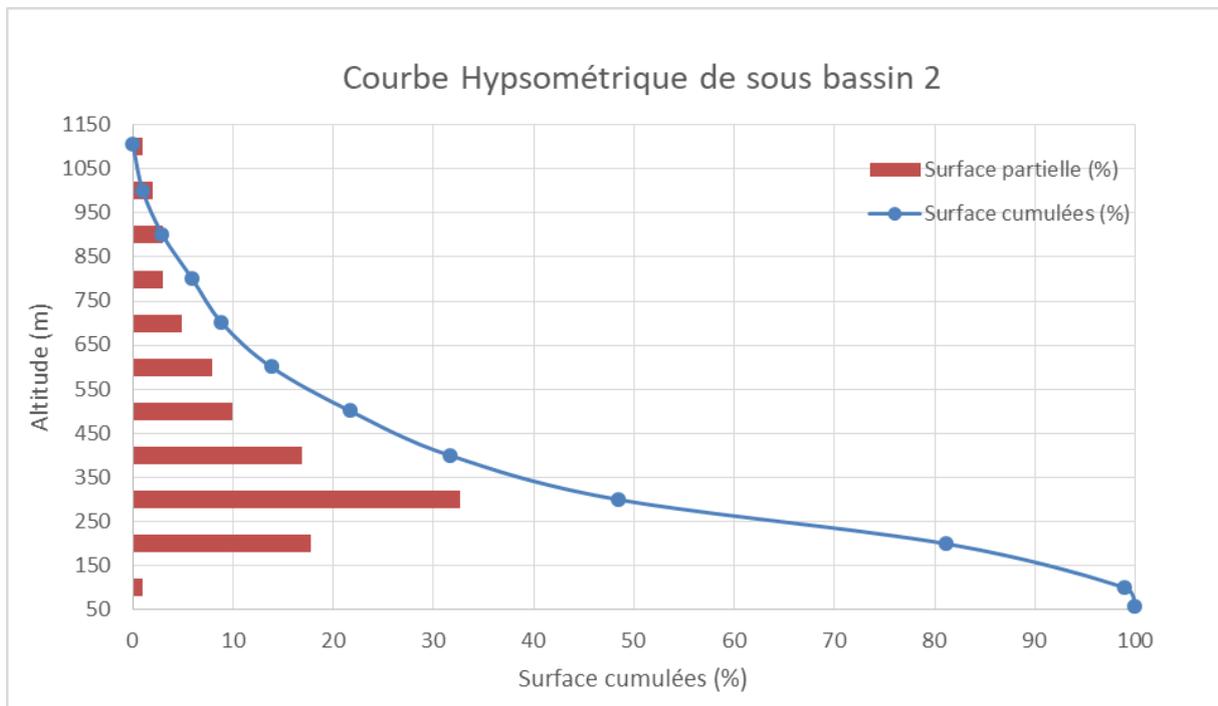


**Figure.II. 3 :** courbe hypsométrique du sous bassin versant 1 ( Oued Taïma)

## Chapitre II : Etude Hydrologique

**Tableau.II. 3** : Paramètres Hypsométriques du Sous Bassin Versant 2 ( Oued Tlata )

Alt 1 (m)	Alt 2 (m)	Hi (m)	surfaces partielles (Km2)	surfaces partielles (%)	Surfaces Cummulées (Km2)	Surfaces Cummulées (%)	Hi*Si (m.Km2)
58	100	79	1	0.99	1	100	79
100	200	150	18	17.82	19	99.01	2700
200	300	250	33	32.67	52	81.19	8250
300	400	350	17	16.83	69	48.51	5950
400	500	450	10	9.90	79	31.68	4500
500	600	550	8	7.92	87	21.78	4400
600	700	650	5	4.95	92	13.86	3250
700	800	750	3	2.97	95	8.91	2250
800	900	850	3	2.97	98	5.94	2550
900	1000	950	2	1.98	100	2.97	1900
1000	1105	1052.5	1	0.99	101	0.99	1052,5

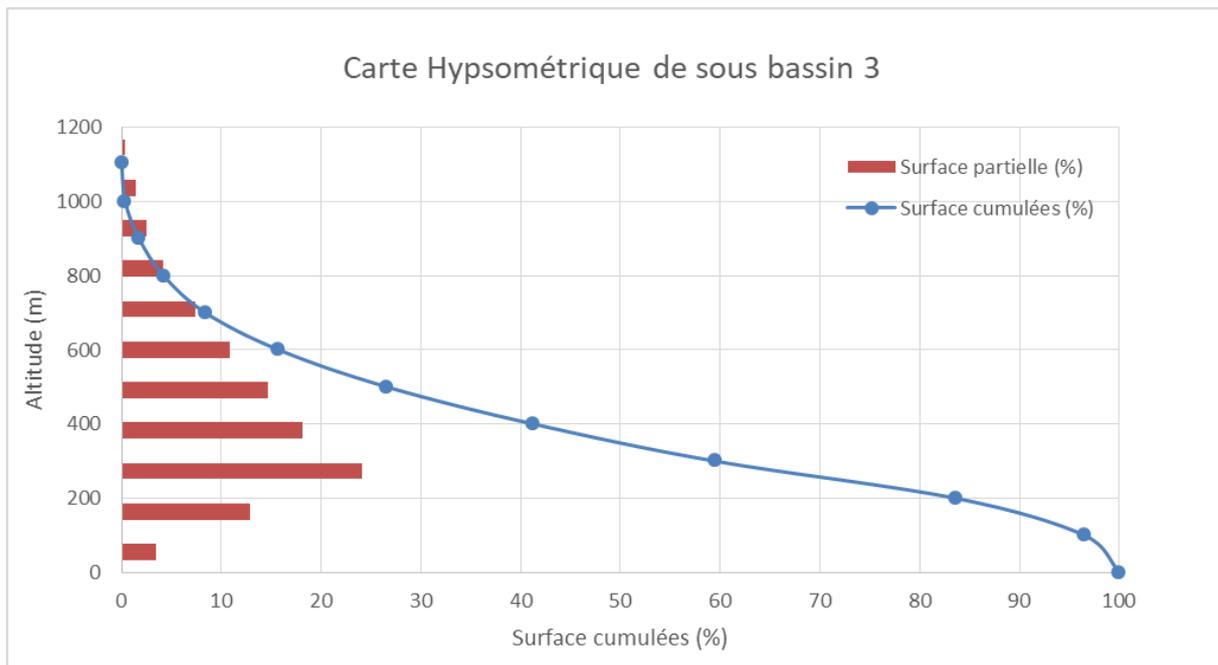


**Figure.II. 4** : courbe hypsométrique du sous bassin versant 2 ( Oued Tlata )

## Chapitre II : Etude Hydrologique

**Tableau.II. 4 :** Paramètres Hypsométriques du Sous Bassin Versant 3 ( Oued Ghazouana )

Alt 1 (m)	Alt 2 (m)	Hi (m)	surfaces partielles (Km2)	surfaces partielles (%)	Surfaces Cummulées (Km2)	Surfaces Cummulées (%)	Hi*Si (m.Km2)
0	100	50	10	3.50	10	100	500
100	200	150	37	12.94	47	96.50	5550
200	300	250	69	24.13	116	83.57	17250
300	400	350	52	18.18	168	59.44	18200
400	500	450	42	14.69	210	41.26	18900
500	600	550	31	10.84	241	26.57	17050
600	700	650	21	7.34	262	15.73	13650
700	800	750	12	4.20	274	8.39	9000
800	900	850	7	2.45	281	4.20	5950
900	1000	950	4	1.40	285	1.75	3800
1000	1104	1052	1	0.35	286	0.35	1052



**Figure.II. 5 :** courbe hypsométrique du sous bassin versant 3 ( Oued Ghazouana )

## Chapitre II : Etude Hydrologique

### II.2.4.6. Les altitudes caractéristiques :

➤ **L'altitude minimale et maximale :**

Ils sont obtenus directement à partir de cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin, tandis que l'altitude minimale est le point le plus bas, généralement à la sortie.

➤ **L'altitude moyenne :**

L'altitude moyenne est dérivée directement des courbes altimétriques ou de la lecture de cartes topographiques. Il peut être défini comme suit :

$$H_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot H_i}{S} \dots (II.5) \quad \text{Tel que : } H_i = \frac{H_{1+n} + H_n}{2} \dots (II.4)$$

Avec :

- ✚  $H_i$  : Altitude moyenne entre 02 courbes de niveaux consécutives en (m).
- ✚  $S_i$  : surface partielle comprise entre 2 courbes de niveaux consécutives en (km<sup>2</sup>).
- ✚  $S$  : surface totale du sous bassin en (km<sup>2</sup>).

➤ **L'altitude médiane :**

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point abscisse de la courbe altimétrique à 50% de la surface totale du bassin.

➤ **Résultats obtenu pour chaque sous bassins :**

**Tableau.II. 5 :** Les altitudes caractéristiques des sous bassins versants

Sous Bassins	$H_{max}$ (m)	$H_{min}$ (m)	$H_{50}$ (m)	$H_{moy}$ (m)
1	1008	58	410	438,83
2	1105	58	300	365,16
3	1105	0	370	388

➤ **L'indice de pente global :**

Elle est définie comme le rapport entre l'élévation comprise entre **5%** et **95%** de la surface du sous-bassin et la longueur rectangulaire équivalente. On prend deux points **S1**, **S2** sur l'axe des abscisses tels que **90%** de la surface du sous-bassin se situe entre ces deux valeurs, et 5% de la surface totale du sous-bassin est inférieure à **S1** et **5%** est supérieure à **S2**. Lire l'altitude correspondante sur la courbe altimétrique. L'indice de pente global est donné par la formule suivante :

$$I_g = D/L \dots (II.5)$$

Avec :

- ✚ **D** : Dénivelée entre  $H_{5\%}$  et  $H_{95\%}$  (m)
- ✚ **L** : Longueur du rectangle équivalent (Km)
- ✚  $H_{5\%}$  et  $H_{95\%}$  : sont respectivement les altitudes correspondantes à  $S_{5\%}$  et  $S_{95\%}$

## Chapitre II : Etude Hydrologique

**Tableau.II. 6** : Classification du relief (O.R.S.T.O.M)

R1	<b>Relief très faible</b>	<b><math>I_g \leq 0,002</math></b>
R2	Relief faible	$0,002 < I_g \leq 0,005$
R3	Relief assez faible	$0,005 < I_g \leq 0,01$
R4	Relief modéré	$0,01 < I_g \leq 0,02$
R5	Relief assez fort	$0,02 < I_g \leq 0,05$
R6	Relief fort	$0,05 < I_g \leq 0,1$
R7	Relief très fort	$0,1 < I_g$

➤ Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau.II. 7** : Indice de pente globale  $I_g$  des Sous Bassins Versants.

Sous Bassins	$H_{5\%}$ (m)	$H_{95\%}$ (m)	$H_{5\%}-H_{95\%}$ (m)	<b>L</b> (Km)	<b><math>I_g</math></b> (m /m)	<b>Relief</b>
1	762	190	572	28.54	0,020	Relief modéré
2	828	164	664	22.40	0,030	Relief assez fort
3	780	172	608	44.56	0,014	Relief modéré

➤ **Remarque :**

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

$$I_m = \frac{D.L}{S} \dots\dots\dots(\text{II.6})$$

Avec :

- ✚  $I_m$  : la pente moyenne exprimée en %.
- ✚  $D$  : équidistance entre deux courbes de niveau en Km
- ✚  $L$  : la longueur totale des courbes de niveau exprimée en Km.
- ✚  $S$  : la surface du bassin versant exprimée en Km<sup>2</sup>.

## Chapitre II : Etude Hydrologique

**Tableau.II. 8** : résultats du calcul des pentes moyennes des sous bassins

Sous bassins	SBV1	SBV2	SBV3
$I_m\%$	0.185	0.226	0.202

Le tableau ci-dessous présente les longueurs correspondantes à chaque courbe de niveau :

**Tableau.II. 9** : Longueurs correspondantes à chaque courbe de niveau.

Altitudes (m)	Longueur des courbes (m)			
	Sous bassins	SBV1	SBV2	SBV3
100		0.15	0.26	5.01
200		20.74	13.93	15.42
300		31.51	15.25	55.96
400		52.46	1.29	22.20
500		55.63	62.93	215.75
600		4.45	93.13	102.47
700		3.77	9.93	5.63
800		43.88	10.64	33.62
900		55.67	3.66	90.76
1000		23.19	12.76	6.73
1100		/	4.86	26.17

### II.2.4.7. Les longueurs caractéristiques d'un bassin versant :

Un bassin versant est caractérisé par les longueurs suivantes :

- **La longueur d'un bassin versant :**  
Cette longueur n'étant pas utile au calcul, elle n'est pas calculée.
- **La longueur du cours d'eau principal :**  
Selon l'aménagement du terrain, la longueur des principaux chenaux fluviaux est celle indiquée dans le tableau suivant :

**Tableau.II. 10** : les longueurs des cours d'eau principales

Les Oueds	Oued1	Oued2	Oued3
L (Km)	12.8	7.5	15.22

## Chapitre II : Etude Hydrologique

### II.3. Les caractéristiques des écoulements dans les bassins versants :

#### II.3.1. Réseau hydrographique :

Un réseau hydrologique est défini comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, participant à l'écoulement des eaux. Le réseau hydrologique est sans doute l'un des éléments les plus importants d'un bassin versant. Les réseaux hydrologiques peuvent prendre plusieurs formes.

Les différences dans les réseaux hydrologiques des bassins versants sont principalement attribuées à quatre facteurs :

- **La géologie** : Cela dépend de sa sensibilité à l'érosion.
- **Le climat** : Les réseaux hydrologiques sont denses dans les zones montagneuses très humides et tendent à disparaître dans les zones désertiques.
- **La pente du terrain** : Détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire.
- **La présence humaine** :

Le drainage des terres agricoles, la construction de barrages, la protection des berges et la régulation des débits modifient continuellement le tracé original du réseau hydrologique.

#### II.3.1.1. La densité de drainage :

La densité de drainage est une mesure exprimée en (Km/Km<sup>2</sup>) qui représente la dynamique du bassin, la stabilité de son réseau hydrographique et le mode de ruissellement de surface. Elle se définit comme le rapport entre la longueur totale de tous les talwegs ( $L_i$ ) du bassin et la surface totale ( $S$ ) de celui-ci.

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S} \dots\dots\dots(\text{II.7})$$

Avec :

- ✚  $D_d$  : densité de drainage [km/km<sup>2</sup>] ;
- ✚  $L_i$  : longueur du cours d'eau [km] ;
- ✚  $S$  : surface du bassin versant [km<sup>2</sup>].

## Chapitre II : Etude Hydrologique

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau.II. 11:** La densité de drainage pour les sous bassins versants

Sous bassins	$\sum L_i$ [km]	$S_i$ [km <sup>2</sup> ]	$D_d$ [km/km <sup>2</sup> ]
1	12.8	157.71	0.081
2	7.5	101	0.074
3	15.22	286	0.053

### II.3.1.2. Les pentes moyennes des cours d'eau :

La vitesse à laquelle l'eau atteint la sortie du bassin, également connue sous le nom de temps de concentration, est influencée par la pente moyenne du cours d'eau. Cette caractéristique détermine également le débit maximal observé. Une pente prononcée encourage un écoulement superficiel rapide, tandis qu'une pente douce ou nulle permet à l'eau de s'infiltrer partiellement ou complètement dans le sol en lui laissant plus de temps pour le faire.

Pour déterminer les pentes moyennes et partielles des cours d'eau, on se base sur le profil en long du cours principal et de ses affluents. La méthode employée pour calculer la pente longitudinale du cours d'eau implique de diviser la variation d'altitude entre les points les plus éloignés du profil par la distance totale parcourue par le cours d'eau.

$$P_{moy} = \frac{\Delta H}{\Delta L} \dots\dots( II.8)$$

Avec :

- +  $P_{moy}$  : pente moyenne du cours d'eau [m/km] ;
- +  $\Delta H$  : dénivellation entre deux points suffisamment distants [m] ;
- +  $\Delta L$  : longueur du cours d'eau principal [km].

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau.II. 12 :** La pente moyenne des cours d'eau principaux

Sous bassins	$\Delta H$ [m]	L [m]	$P_{moy}$ [m/m]	$P_{moy}$ [%]
1	908	12800	0.0709	7.09
2	1005	7500	0.134	13.4
3	1005	15220	0.0659	6.59

## Chapitre II : Etude Hydrologique

### II.3.1.3. Le temps de concentration :

Le temps de concentration de l'eau dans un bassin,  $T_c$ , est défini comme la durée maximale nécessaire pour qu'une goutte d'eau reste dans le trajet hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire du bassin. Il se compose de trois termes différents :

- $T_h$ : Le temps de humectage est le temps qu'il faut au sol pour être détrempe par l'eau qui tombe avant de s'écouler.
- $T_r$ : Le temps de ruissellement ou d'écoulement fait référence à Correspond à la durée d'écoulement de l'eau depuis la surface ou la première couche du sol vers un système de collecte (cours d'eau naturel, collecteur).
- $T_a$ : Le temps d'acheminement est le temps nécessaire à l'eau pour traverser le système de collecte et atteindre l'exutoire.

Le temps de concentration  $T_c$  est donc égal au maximum de la somme de ces trois termes, soit :

$$T_c = \max(\sum(T_h + T_r + T_a)) \dots \dots \dots (II.9)$$

Théoriquement, on estime  $T_c$  comme la durée entre la fin des précipitations nettes et la fin du ruissellement. En pratique, les temps de concentration peuvent être dérivés de mesures sur le terrain ou estimés à l'aide des formules empiriques les plus courantes.

❖ **Formule de GIANDOTTI :**

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \dots \dots \dots (II.10)$$

Avec :

- ✚ **S** : Surface du bassin versant en [Km<sup>2</sup> ] ;
- ✚ **L** : longueur du talweg principal en [Km];
- ✚ **H<sub>moy</sub>, H<sub>min</sub>**: respectivement la hauteur moyenne et minimale du B.V en [m] ;

**Tableau.II. 13:** Les temps de concentration Calculés Pour les Sous bassins versants par la formule de GIANDOTTI

Sous Bassins	S (km <sup>2</sup> )	L (km)	H <sub>moy</sub> (m)	H <sub>min</sub> (m)	T <sub>c</sub> Giandotti(h)
1	157.71	12.8	438.83	58	4.45
2	101	7.5	365.16	58	3.67
3	286	15.22	388	0	5.74

## Chapitre II : Etude Hydrologique

---

### ❖ Turraza- Passini :

$$T_c = 6.48 \frac{\sqrt[3]{L_p \cdot S}}{\sqrt{I}} \dots \dots (\text{II.11})$$

Avec :

- +  $T_c$ : Temps de concentrations en minutes.
- +  $L_p$ : Longueur du talweg principal en [Km] ;
- +  $I_{moy}$ : Pente moyenne du cours d'eau principal (m/m) ;

**Tableau.II. 14** : Les temps de concentration calculés pour les sous bassins versants par la formule de Turraza- Passini

Sous Bassins	$L_p$ (m)	$I_{moy}$ (m /m)	$T_c$ (min)	$T_c$ (h)
1	12.8	0.0709	307.57	5.13
2	7.5	0.134	161.37	2.69
3	15.22	0.0659	412.47	6.87

### ❖ Formule Espagnole :

$$T_c = 18 \cdot L_p^{0.77} \cdot I^{-0.1925} \dots \dots (\text{II.12})$$

Avec :

- +  $T_c$ : Temps de concentrations en minutes.
- +  $L_p$  : Longueur du talweg principal en [Km] ;
- +  $I_{moy}$ : Pente moyenne du cours d'eau principal (m/m) ;

## Chapitre II : Etude Hydrologique

**Tableau.II. 15** : Les temps de concentration calculés pour les sous bassins versants par la formule Espagnole

Sous Bassins	$L_p$ (Km)	$I_{moy}$ (m/m)	$T_c$ (min)	$T_c$ (h)
1	12.8	0.0709	213.34	3.56
2	7.5	0.134	332.57	2.08
3	15.22	0.0659	247.23	4.12

Le tableau ci-dessous présente le temps de concentration correspondant aux différentes formules:

**Tableau.II. 16** : Les temps de concentration calculés pour les sous bassins versants

Sous Bassins	$T_c$ Giandotti(h)	$T_c$ Turraza- Passini (h)	$T_c$ Espagnole (h)
1	4.45	5.13	3.56
2	3.67	2.69	2.08
3	5.74	6.87	4.12

❖ L'analyse des résultats nous permet de conclure ce qui suit :

On constate que les résultats obtenus par la formule **ESPAGNOLE** sont plus petits par rapport aux valeurs données par les formules de **GIANDOTTI** et **Turraza- Passini**.

On opte pour les valeurs minimales, C'est-à-dire les calculs obtenus par la formule **ESPAGNOLE**.

### II.3.1.4. Vitesse moyenne de ruissellement :

Cette vitesse est donnée par la formule :

$$V_r = \frac{L}{T_c} \dots \dots (II.13)$$

Avec :

- ✚ **L** : Longueur de talweg principal en [Km];
- ✚  **$T_c$** : temps de concentration en [heure].

## Chapitre II : Etude Hydrologique

**Tableau.II. 17** : La vitesse de ruissellement dans les sous Bassins versants

Sous Bassins	$L$ (km)	$T_c$ ESPAGNOLE (h)	$V_r$ (km /h)
1	12.8	3.56	3.60
2	7.5	2.08	3.61
3	15.22	4.12	3.69

### II.4. Etude des précipitations :

En Algérie, les inondations surviennent principalement À partir des événements pluvieux extrêmes, cela nous a incité à étudier les précipitations maximales quotidiennes pour en déduire des précipitations extrêmes avec différentes périodes de retour afin de calculer les précipitations à court terme.

Nous avons choisi d'utiliser directement les données de mesures de la station météorologiques au niveau du B.V celle de Ghazaouet qui se situe a l'aval du bassin versant car cette station est proche de la zone d'étude et les données sont assez complètes et continues sur une longue période de temps.

**Tableau.II. 18** : Coordonnées de la station pluviométrique de Ghazaouet

Code	Coordonnées			Années	N
	X (km)	Y (km)	Z (m)		
(040101)	81.138	201.365	4	1971-2020	50ans

Source (A.N.R.H TLEMCEN)

## Chapitre II : Etude Hydrologique

### II.4.1. Pluies annuelles :

**Tableau.II. 19 :** Série des pluies moyennes annuelles de la station de Ghazaouet  
(Source ANRH)

Année	P (moye)	Année	P (moye)
1973	606.7	1991	412.2
1974	513.8	1992	372.1
1975	450.2	1993	315.1
1976	385.5	1994	428.1
1977	395.2	1995	288.6
1978	319.7	1996	286
1979	518.8	1997	291.23
1980	455.7	1998	317.4
1981	259.8	1999	287.5
1982	203.3	2000	294.6
1983	311.6	2001	447.7
1984	277.4	2002	329.7
1985	340.1	2003	477.9
1986	494.3	2004	283
1987	241.2	2005	308.21
1988	343.5	2006	312.2
1989	343.3	2007	272.18
1990	410.2	2008	328.87

### II.4.2. Pluie maximale journalière :

#### II.4.2.1. Estimation des pluies maximales journalières :

L'étude consiste à ajuster les séries de données de précipitations maximales quotidiennes par des lois théoriques pour déterminer l'intensité des précipitations pour une durée et une période de retour données.

Pour déterminer les précipitations maximales possibles, une série de précipitations quotidiennes maximales a été déterminée à partir des données de mesure de la station de Ghazaouet. Ce dernier fonctionnera de la manière suivante :

- Calcul des paramètres statistiques de la série ;
- Ajustement à une loi statistique (choix de la loi adéquate) ;
- Calcul des quantiles pour différentes périodes de retour ;
- Calcul des pluies et intensités de courte durée.

## Chapitre II : Etude Hydrologique

**Tableau.II. 20** : Série des pluies maximales journalières de la station de Ghazaouet

Année	Pjmax (mm)	Année	Pjmax (mm)
1971	53.9	1996	20.25
1972	103.1	1997	42.1
1973	94.5	1998	46.4
1974	57.7	1999	53.6
1975	38.7	2000	52.5
1976	60.5	2001	110.4
1977	80.7	2002	32.3
1978	50.4	2003	108.6
1979	70.3	2004	50.9
1980	67.2	2005	68.9
1981	44.3	2006	89.12
1982	36.3	2007	54.6
1983	48.4	2008	82.36
1984	33	2009	73.12
1985	52.7	2010	35.12
1986	107.3	2011	44.29
1987	22.5	2012	79.17
1988	115.3	2013	44.65
1989	58.7	2014	24.03
1990	43.1	2015	28.19
1991	43.25	2016	25.51
1992	64.5	2017	37.72
1993	37.4	2018	36.7
1994	80.3	2019	38.15
1995	20.4	2020	31.29

### II.4.2.2. Les caractéristiques de la série pluviométrique :

Les caractéristiques de la série sont déterminées à l'aide du logiciel « HYFRAN »

Titre du projet  
Protection contre l'inondation de la ville de Ghazaouet

Nombre de données [n] :	50
Minimum :	20.3
Maximum :	115
Moyenne :	55.9
Écart-type :	25.5
Médiane :	50.6
Coefficient de variation [Cv] :	0.455
Coefficient d'asymétrie [Cs] :	0.797
Coefficient d'aplatissement [Ck] :	2.62

**Figure.II. 6** : Caractéristiques de la série pluviométrique

## Chapitre II : Etude Hydrologique

### II.4.3. Ajustement de la série des pluies annuelles et maximales journalières enregistrée à la station de Ghazaouet :

L'ajustement des pluies maximales journalières sera effectué à l'aide du logiciel «HYFRAN» disponible au centre de calcul de l'E.N.S.H de Blida. Comme il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométriques, on doit choisir la méthode d'estimation la plus efficace et cela dépend de :

- La loi de probabilité.
- La taille de l'échantillon.
- Certaines caractéristiques de l'échantillon.

Toutefois, de nombreuses études comparatives, empiriques et théoriques, ont été menées afin de déterminer dans quelles circonstances une méthode d'estimation est la plus efficace pour une loi donnée. Les lois d'ajustement choisies sont :

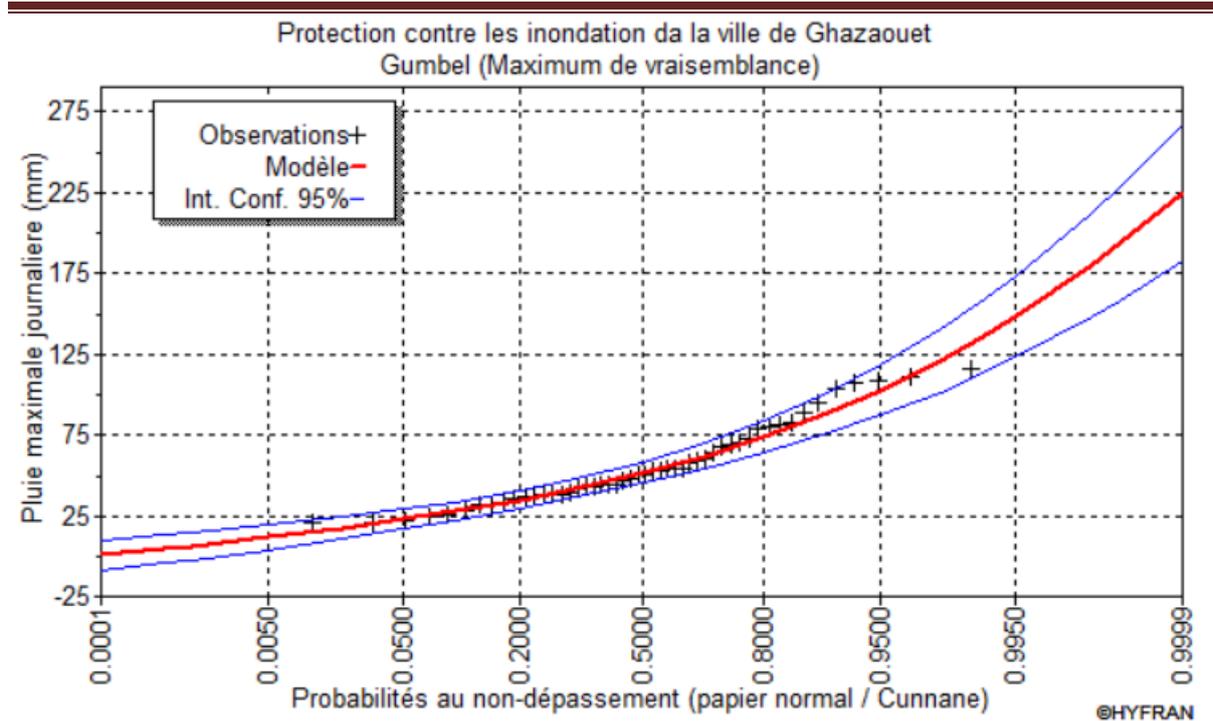
- La loi de GUMBEL (droite de GUMBEL).
- La loi de log-normale (droite de GALTON).

#### II.4.3.1. Ajustement suivant la loi de GUMBEL :

Tableau.II. 21 : Résultat de l'ajustement à la loi de GUMBEL

Période de retour (ans)	Probabilité de fréquence (q)	Pluie max jour en (mm)	Ecart type	Intervalle de confiance
100.0	0.9900	134	11.3	112 - 157
50.0	0.9800	121	9.86	101 - 140
20.0	0.9500	102	7.92	87.0 - 118
10.0	0.9000	88.4	6.46	75.7 - 101
5.0	0.8000	73.6	5.02	63.8 - 83.5
3.0	0.6667	61.9	3.99	54.1 - 69.7
2.0	0.5000	51.4	3.25	45.0 - 57.8

## Chapitre II : Etude Hydrologique



**Figure.II. 7 :** Ajustement des pluies max journalieres a la loi de Gumbel.

Titre : Protection contre l'inondation de la ville de Ghazaouet

	Caractéristiques de la population	Caractéristiques de l'échantillon
Nombre de données [n] :		50
Minimum :	Aucun	20.3
Maximum :	Aucun	115
Moyenne :	55.5	55.9
Écart-type :	25.2	25.5
Médiane :	51.4	50.6
Coefficient de variation [Cv] :	0.453	0.455
Coefficient d'asymétrie [Cs] :	1.14	0.797
Coefficient d'aplatissement [Ck] :	2.40	2.62

**Figure.II. 8 :** Comparaison des caractéristiques de la loi de Gumbel avec caractéristiques de série pluviométrique

## Chapitre II : Etude Hydrologique

### II.4.3.2. Ajustement suivant la loi log-Normale :

Tableau.II. 22 : Résultat de l'ajustement à la loi Log-normal

Période de retour (ans)	Probabilité de fréquence (q)	Pluie max jour en (mm)	Ecart type	Intervalle de confiance
100.0	0.9900	146	18.3	110 - 182
50.0	0.9800	129	14.8	100 - 158
20.0	0.9500	107	10.7	86.2 - 128
10.0	0.9000	90.8	7.94	75.2 - 106
5.0	0.8000	74.2	5.59	63.3 - 85.2
3.0	0.6667	61.5	4.16	53.4 - 69.7
2.0	0.5000	50.6	3.26	44.2 - 57.0

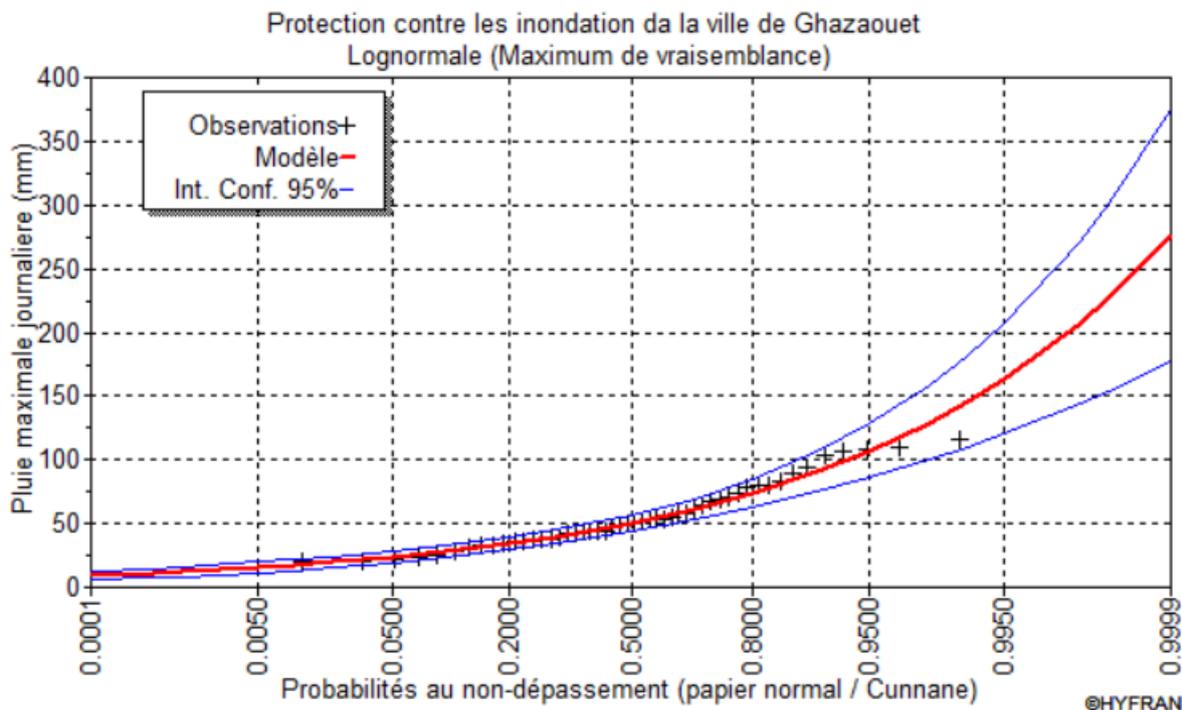


Figure.II. 9 : Ajustement des pluies max journalieres a la loi Log-normal.

## Chapitre II : Etude Hydrologique

Titre : Protection contre l'inondation de la ville de Ghazaouet		
	Caractéristiques de la population	Caractéristiques de l'échantillon
Nombre de données [n] :		50
Minimum :	0.00	20.3
Maximum :	Aucun	115
Moyenne :	56.1	55.9
Écart-type :	27.0	25.5
Médiane :	50.6	50.6
Coefficient de variation [Cv] :	0.481	0.455
Coefficient d'asymétrie [Cs] :	1.56	0.797
Coefficient d'aplatissement [Ck] :	7.59	2.62

**Figure.II. 10** : Comparaison des caractéristiques de la loi de Galton avec Caractéristiques de série pluviométrique

### II.4.3.3. Choix de la loi d'ajustement :

- **Interprétation des graphiques :**

Si on analyse les deux graphiques précédents, on remarque que la loi log-normal est mieux ajusté par rapport au valeur maximal de pluie , et afin de confirmer ce test visuel on a effectué le test d'adéquation  $\chi^2$ .

- **Test d'adéquation du  $\chi^2$  (Pearson):**

Afin de trancher sur la loi à choisir on va comparer les variables,  $\chi^2_{calculé}$  et  $\chi^2_{théorique}$  à un risque de 5% autrement dit à un seuil de signification de 95%.

**Tableau.II. 23:** Comparaison des caractéristiques des lois.

Lois statistiques	Degré de liberté	$\chi^2_{calculé}$	$\chi^2_{théorique}$
Gumbel log-normale	6	4	12.59
	6	1.84	12.59

On constate que les deux lois s'ajuste bien à la série avec  $\chi^2_{calculé}$  (log-normal) <  $\chi^2_{calculé}$  (Gumbel) donc la loi log-normal est la plus adquate

## Chapitre II : Etude Hydrologique

### II.5. Etude des apports :

Ne disposant pas de données hydrométriques pour évaluer les débits découlement dans le bassin étudié, nous avons utilisé les formules empirique la plus couramment utilisée en Algérie.

#### II.5.1. Apports liquides :

Il existe de nombreuses formules pour l'estimation des apports moyens annuels, parmi les quelles :

- **Formule de SAMIE:**

L'expérience montre qu'une relation simple peut ajuster de manière adéquate la contribution annuelle moyenne d'un bassin versant compte tenu de la pluviométrie effective :

$$L_e = P^2 (293 - 2.2\sqrt{S}) \dots (\text{II.14})$$

$$A = L_e \cdot S \dots (\text{II.15})$$

**Avec :**

✚ **P** : précipitations moyennes interannuelles en (m) ;

✚ **S** : Détection superficielle (mm) ;

- **Formule dite 'Algérienne' :**

$$L_e = P \cdot (1 - 10^{-KP^2}) \cdot 10^3 \dots (\text{II.16})$$

**Avec :**

✚ **k** =  $0.18 - 0.01 \cdot \log(S) \dots (\text{II.19})$

✚ **P** : précipitation moyenne interannuelle en (m) ;

- **Formule de l'ANRH (Sogreah 1986/89) :**

$$L_e = 720 \cdot \left(\frac{P-150}{1000}\right)^{1.85} \dots (\text{II.17})$$

$$A = L_e \cdot S \dots (\text{II.18})$$

**Avec :**

✚ **A** : Apport moyen annuel en (Hm<sup>3</sup>) ;

✚ **P** : Précipitation moyenne interannuel en (mm) ;

## Chapitre II : Etude Hydrologique

-Les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau.II. 24 : apports liquides et lames d'eau écoulées

Sous bassins	Lame d'eau écoulée en (mm)		
	SAMIE	ALGERIENNE	ANRH
SB1	34.20	16.44	39.76
SB2	34.91	16.64	39.76
SB3	32.96	16.14	39.76
Sous bassins	Apports moyens en (Hm <sup>3</sup> )		
	SAMIE	ALGERIENNE	ANRH
SB1	5.39	2.59	6.27
SB2	3.53	1.68	4.02
SB3	9.43	4.62	11.37

- **Interprétation :**

D'après les résultats obtenus, on remarque que la formule de **SAMIE** est la plus proche de la moyenne des trois formules. Donc on l'utilise pour la suite des calculs.

### II.5.2. Caractéristiques de l'écoulement :

- **Module de l'écoulement :**

Il est donné par :

$$M_e = \frac{A_0}{T} \dots \dots (II.19)$$

Avec :

- ✚ **A<sub>0</sub>** : Apport moyen annuel (l).
- ✚ **T** : Temps d'une année en secondes.

Tableau.II. 25 : module d'écoulement pour chaque sous bassin

Sous bassins	SB1	SB2	SB3
<b>M<sub>e</sub> (l/s)</b>	170.916	111.936	299.023

- **Module de l'écoulement relatif :**

$$M_0 = \frac{M_e}{S} \dots \dots \dots (III.20)$$

Avec :

- ✚ **M<sub>e</sub>**: Module de l'écoulement (l/s);
- ✚ **S** : Superficie du bassin (Km<sup>2</sup>) ;

Tableau.II. 26: Modules d'écoulement relatifs

Sous bassins	SB1	SB2	SB3
<b>M<sub>0</sub> (l/s/Km<sup>2</sup>)</b>	1.084	1.108	1.046

## Chapitre II : Etude Hydrologique

---

- **Coefficient de l'écoulement :**

Il est donnée par :

$$C_e = \frac{L_e}{P_{moy}} \dots \dots \dots (II.21)$$

**Tableau.II. 27:** Coefficients de ruissèlement

Sous bassins	SB1	SB2	SB3
$C_e$	0.81	0.68	0.6

### II.6. Pluies de courte durée I.D.F (courbes : Intensité-Durée-Fréquence) :

Il est utilisé pour estimer les inondations, la quantité de pluie qui provoque des inondations La clé est que la durée des précipitations est égale au temps de concentration, donc la formule MONTANARI pour les précipitations de courte durée est :

$$P_t = P_{j.max} \left( \frac{T}{24} \right)^b \dots \dots \dots (II.22)$$

**Avec:**

- ✚  $P_t(\%)$  : Pluie de courte durée de même fréquence que  $P_{max j}$  % (mm).
- ✚  $P_{j.max}$ : Pluie maximale journalière pour une fréquence donnée (mm).
- ✚  $T$  : Temps de l'averse égale à celui de temps de concentration en heures.
- ✚  $b$  : Exposant climatique ( $b = 0,35$  selon les études régionales de l'ANRH).

Les intensités maximales  $I_t$  de durée  $t$ (h) calculées par la relation :

$$I_t = \frac{P_{j.max}}{24} \left( \frac{T}{24} \right)^{b-1} \dots \dots \dots (II.23)$$

- Les précipitations et les intensités maximales pour les différentes durées sont représentées dans le tableau suivant

## Chapitre II : Etude Hydrologique

**Tableau.II. 28:** Pluies de courtes durées de différentes fréquences et leurs intensités.

Période de retour (ans)	100		50		20		10	
P max j (mm)	146		129		107		90.8	
durée (heure)	Pt (mm)	It (mm/h)						
1	48.00	48.00	42.41	42.41	35.18	35.18	29.85	29.85
2	61.18	30.59	54.06	27.03	44.84	22.42	38.05	19.03
2.08	62.03	29.82	54.81	26.35	45.46	21.86	38.58	18.54
3	70.51	23.50	62.30	20.77	51.68	17.23	43.85	14.62
3.56	74.87	21.03	66.15	18.58	51.79	15.41	46.56	13.08
4	77.98	19.49	68.90	17.23	57.15	14.29	48.50	12.12
4.12	78.79	19.12	69.62	16.90	57.75	14.02	49.00	11.89
5	84.32	16.86	74.50	14.90	61.79	12.36	52.44	10.49
6	89.87	14.98	79.41	13.23	65.87	10.98	55.89	9.32
7	94.86	13.55	83.81	11.97	69.52	9.93	58.99	8.43
8	99.39	12.42	87.82	10.98	72.84	9.11	61.81	7.73
9	103.58	11.51	91.52	10.17	75.91	8.43	64.42	7.16
10	107.47	10.75	94.95	9.50	78.76	7.88	66.84	6.68
11	111.11	10.10	98.18	8.93	81.43	7.40	69.10	6.28
12	114.55	9.55	101.21	8.43	83.95	7.00	71.24	5.94
13	117.80	9.06	104.09	8.01	86.34	6.64	73.26	5.64
14	120.90	8.64	106.82	7.63	88.60	6.33	75.19	5.37
15	123.85	8.26	109.43	7.30	90.77	6.05	77.03	5.14
16	126.68	7.92	111.93	7.00	92.84	5.80	78.79	4.92
17	129.40	7.61	114.33	6.73	94.83	5.58	80.48	4.73
18	132.02	7.33	116.64	6.48	96.75	5.38	82.10	4.56
19	134.54	7.08	118.87	6.26	98.60	5.19	83.67	4.40
20	136.97	6.85	121.03	6.05	100.39	5.02	85.19	4.26
21	139.33	6.63	123.11	5.86	102.11	4.86	86.65	4.13
22	141.62	6.44	125.13	5.69	103.79	4.72	88.08	4.00
23	143.84	6.25	127.09	5.53	105.42	4.58	89.46	3.89
24	146.00	6.08	129.00	5.38	107.00	4.46	90.80	3.78

## Chapitre II : Etude Hydrologique

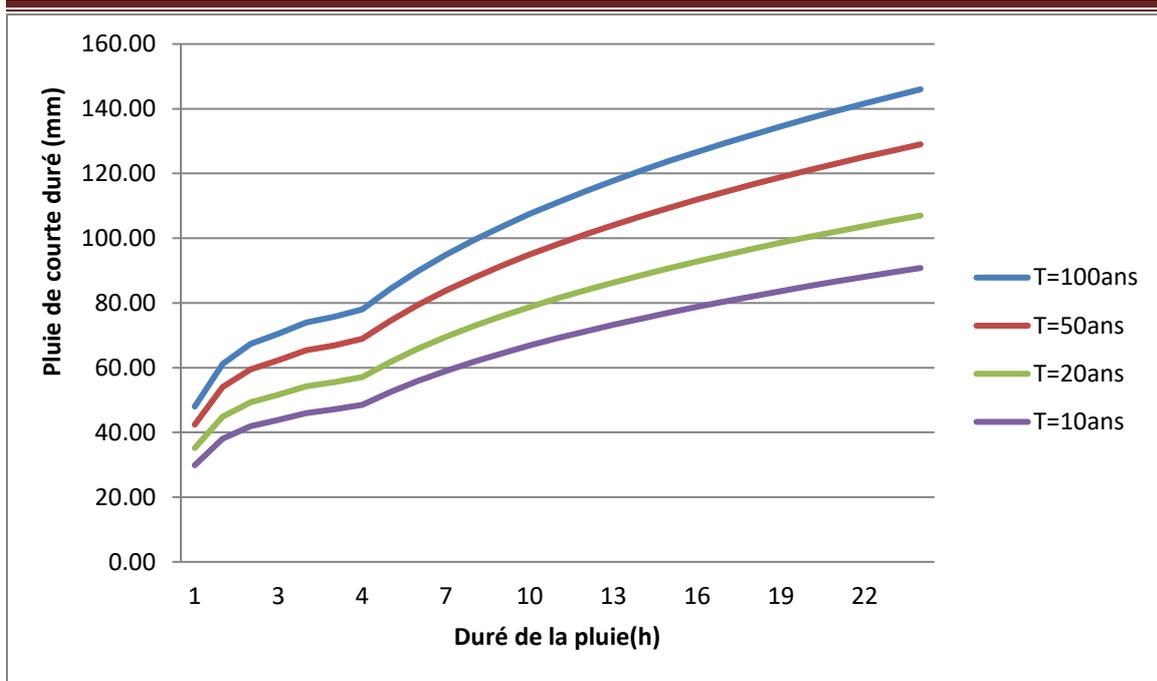


Figure.II. 11 : Pluies de courtes durées de différentes périodes de retour

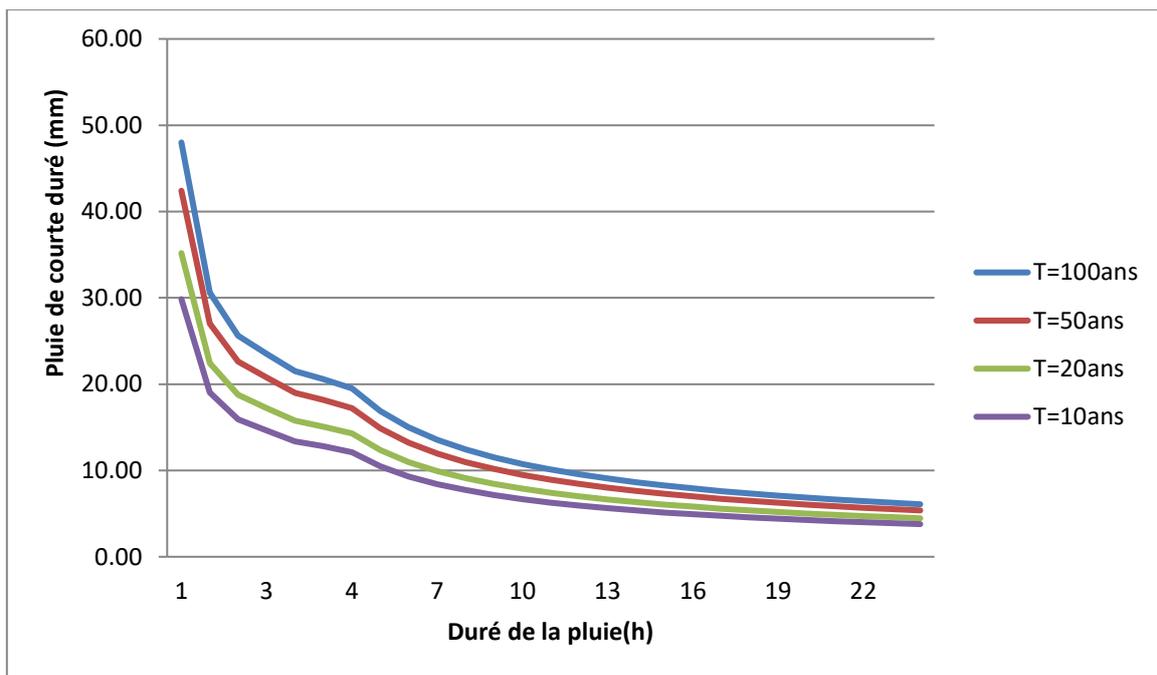


Figure.II. 12 : Intensités maximales pour différentes périodes de retour

## Chapitre II : Etude Hydrologique

### II.7. Etude des crues :

#### II.7.1. Estimation du débit de crue :

Le débit de crue est une caractéristique hydrologique qui peut être utilisée pour dimensionner différents projets hydrauliques.

##### II.7.1.1. Méthodes empiriques :

- **Formule de TURAZZA :**

$$Q_{max} = \frac{C \times S \times P_{tc}}{3.6 \times T_c} \dots \dots \dots (II.24)$$

Avec :

- **S** : superficie (Km<sup>2</sup>) ;
- **T<sub>c</sub>** : temps de concentration (en heure) ;
- **P<sub>tc</sub>** : la pluie maximale de même fréquence pendant le temps de concentration ;

##### Coefficient de ruissellement :

Le tableau des coefficients de ruissellement recommandé par le SETRA (service des études sur le transport, les routes et leurs aménagements : organisme français) pour une période de retour décennale et pour des bassins versants de superficie supérieur à 100 km<sup>2</sup>, est comme suit :

**Tableau.II. 29:** C : Coefficient d'écoulement ;

COUVERTURE VEGETALE	MORPHOLOGIE	PENTE MOYENNE %	TERRAIN AVEC SABLE GROSSIER	TERRAIN ARGILEUX OU LIMONEUX	TERRAIN ARGILEUX COMPACT
Bois	Presque plat	0 – 5 %	0.10	0.30	0.40
	Onduleux	5 – 10 %	0.25	0.35	0.50
	Montagneux	10 – 30%	0.30	0.50	0.60
Pâturage	Presque plat	0 – 5 %	0.10	0.30	0.40
	Onduleux	5 – 10 %	0.15	0.36	0.55
	Montagneux	10 – 30%	0.22	0.42	0.60
Culture	Presque plat	0 – 5 %	0.30	0.50	0.60
	Onduleux	5 – 10 %	0.40	0.60	0.70
	Montagneux	10 – 30%	0.52	0.72	0.82

On est dans une zone boisée à relief onduleux et à terrain argilo-limoneux.

Le coefficient de ruissellement retenu est de 0,35 pour la crue décennale.

Pour les crues à période de retour supérieures : décennale à centennale, ce coefficient sera majoré en le

## Chapitre II : Etude Hydrologique

faisant varier de 0,50 à 1 selon une loi logarithmique, considérant qu'il vaut 1 pour une période de retour de 1000 ans. Soit  $C = (\log T) / 3$ .

- Les résultats sont représentés dans le tableau ci-après :

**Tableau.II. 30:** Les débits maximums pour les différentes sous bassins par TURAZZA

Sous Bassins	S [km <sup>2</sup> ]	Pj max (mm)	T <sub>c</sub> (h)	P <sub>tc</sub> (mm)	C	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /s)
1	157.71	146	3.56	74.87	0.50	460.664
2	101	146	2.08	62.03	0.50	418.338
3	286	146	4.12	78.79	0.50	759.639

- **Formule de SOKOLOVSKY :**

Le débit maximum probable est donné par la formule suivante :

$$Q_{maxp\%} = 0.28 \frac{(X_{p\%} t_c - H_0) \times a_{p\%} \times S \times f}{T_m = T_c} \dots \dots \dots \text{(II.25)}$$

Avec:

- ✚ **a<sub>p%</sub>** : coefficient de ruissellement pour la crue probable.

$$a_{p\%} = \frac{\sqrt{X_{tc\%}} - \sqrt{H_0}}{\sqrt{X_{tc\%}} + \sqrt{H_0}} \dots \dots \dots \text{(II.26)}$$

- ✚ **S** : Surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>) ;
- ✚ **f** : Coefficient de forme de la crue ;
- ✚ **T<sub>c</sub>** : Temps de concentration du bassin versant (h)
- ✚ **X<sub>p%</sub>, t<sub>c</sub>** : précipitation en mm, de probabilité **p%** correspondant à un temps **t<sub>c</sub>** ;
- ✚ **H<sub>0</sub>** : pertes initiales en mm, Au nord de l'Algérie **H<sub>0</sub> = 7 mm** ;
- ✚ **0.28** : coefficient de changement d'unité ;

Le coefficient de forme de la crue peut être calculé par la formule :

$$f = \frac{12}{4+3\gamma} \dots \dots \dots \text{(II.27)}$$

- ✚ Pour S < 50 Km<sup>2</sup> on a  $\gamma = 2$
- ✚ Pour des petits bassins non boisé, sol peu perméable, on a  $\gamma = (2 \div 2.5)$
- ✚ Pour bassin boisé, sol perméable on a  $\gamma = (3 \div 4)$

Puisque les bassins versant ont une surface supérieur à 50 Km<sup>2</sup> on prend  $\gamma = 3.75$  alors  $f=0.787$ . Les débits de crues des bassins versants par la formule de Sokolovsky sont représentés dans le tableau suivant :

## Chapitre II : Etude Hydrologique

**Tableau.II. 31:** Les débits maximums pour les différentes sous bassins par Sokolovsky

Sous Bassins	S [km <sup>2</sup> ]	Pj max (mm)	T <sub>c</sub> (h)	P <sub>tc</sub> (mm)	H <sub>0</sub> (mm)	Alpha	f	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /s)
1	157.71	146	3.56	74.87	7	0.532	0.787	352.478
2	101	146	2.08	62.03	7	0.497	0.787	292.648
3	286	146	4.12	78.79	7	0.541	0.787	594.104

- **Formule de Fuller 2 :**

$$Q_T = \frac{4}{3} \frac{N}{100} S^{0.8} \cdot (1 + 2.667S^{-0.3}) \cdot (1 + C \cdot \log T) \dots (II.28)$$

Avec :

- ✚ **Q<sub>T</sub>**: débit de pointe de période de retour T en m<sup>3</sup>/s
- ✚ **S** : Surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>) ;
- ✚ **T**: Période de retour (ans) ;
- ✚ **C**: paramètre régional variant donné dans le tableau suivant, ici c=0.8;

**Tableau.II. 32 :** paramètre régional C

Valeur de C	Régions
0,7 à 0,8	Régions humides
0,8 à 2	Régions arides
3 à 3,5	Oueds Sahariens

- ✚ **N** : paramètre régional variant tabulé, ici N= 85

**Tableau.II. 33 :** paramètre régional N

Valeur de N	Régions
80	Plaines
85	Relief accidenté
100	Montagne

## Chapitre II : Etude Hydrologique

**Tableau.II. 34:** Les débits maximums pour les différentes sous bassins par Formule de Fuller 2

Sous Bassins	S (Km2)	T(ans)	C	N	$Q_{max}$ (m <sup>3</sup> /s)
1	157.71	100	0.8	85	267.588
2	101	100	0.8	85	197.226
3	286	100	0.8	85	404.813

### II.7.1.2. Choix de la méthodes empiriques :

**Tableau.II. 35:** comparaison des débits des trois méthodes

Sous Bassins	Débit maximum (m <sup>3</sup> /s)			La moyenne
	TURAZZA	Sokolovsky	Fuller 2	
1	460.664	352.478	267.588	360.243
2	418.338	292.648	197.226	302.737
3	759.639	594.104	404.813	586.185

On constate que la méthode de **Sokolovsky** est la méthode la plus proche à la moyenne

Pour cela on va prendre le débit calculé par la formule de **Sokolovsky**

**Tableau.II. 36:** Débits avec différente période de retour calculé par la formule de Sokolovsky (m<sup>3</sup>/s)

Sous Bassins	T = 100 (ans)	T = 50 (ans)	T = 20 (ans)	T = 10 (ans)
1	352.478	293.910	202.006	170.309
2	292.648	241.975	179.426	136.178
3	594.104	496.186	375.736	289.750

### II.7.2. Hydrogramme de crue :

L'hydrogramme de crue est une identité de la crue, il détermine ses caractéristiques principales qui sont :

- Le volume.
- La durée.
- Le débit maximum (débit de pointe).

Pour tracer l'hydrogramme de crue, nous devons suivre la méthode **Sokolovsky** et le diviser en deux parties asymétriques, calculées en termes de temps de montée et de temps de décrue.

## Chapitre II : Etude Hydrologique

a) Pour le temps de montée :

$$Q_m = Q_{max} \left( \frac{T}{T_m} \right)^2 \dots \dots (II.29)$$

$T_m = T_c$  : Temps de montée.

b) Pour le temps de décrue :

$$Q_d = Q_{max} \left( \frac{T_d - T}{T_d} \right)^3 \dots \dots (II.30)$$

Avec :

- ✚  $Q_m$ : Débit instantané de la montée ( $m^3/s$ ).
- ✚  $Q_d$ : Débit instantané de la décrue ( $m^3/s$ ).
- ✚  $T_m$ : Temps de la montée de la crue (h).
- ✚  $T_d$ : Temps de la décrue (h).
- ✚  $Q_{max}$  : Débit maximum de la crue de fréquence considérée ( $m^3/s$ ).

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

$T_m = T_c$ , avec  $T_c$  qui est le temps de concentration du bassin versant (heures).

$$T_d = \delta * T_m \dots (II.31)$$

Où  $\delta$  : coefficient de forme de l'hydrogramme de crue.

**Tableau.II. 37:** Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue  $\delta$

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

On prend  $\delta=2$

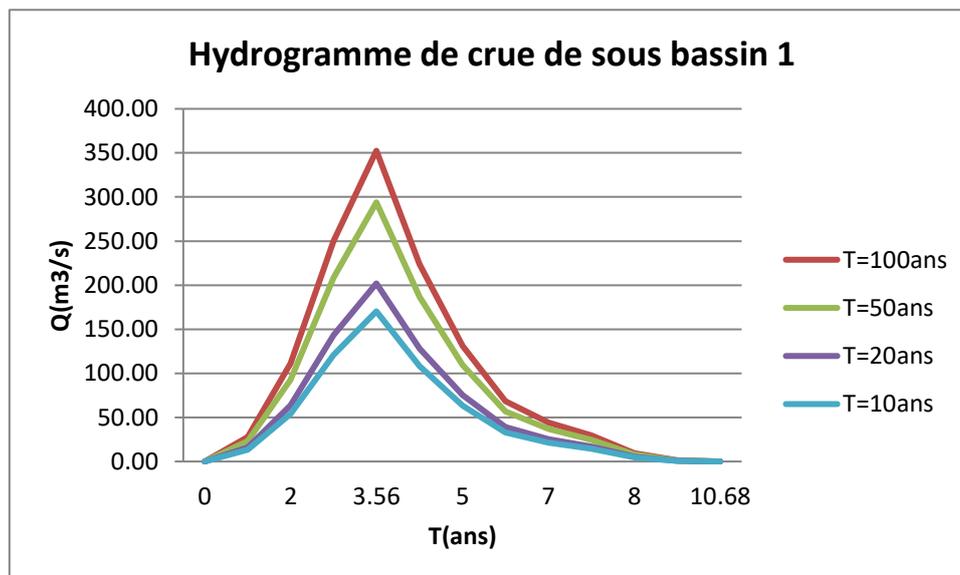
## Chapitre II : Etude Hydrologique

**Tableau.II. 38:** Récapitulation des résultats obtenus pour  $T_m$ ,  $T_d$  et  $T_b$

Sous bassins	SB1	SB2	SB3
$T_m = T_c$ (h)	3.56	2.08	4.12
$T_d$ (h)	7.12	4.16	8.24
$T_b = T_m + T_d$ (h)	10.68	6.24	12.36

**Tableau.II. 39:** Hydrogrammes des crues de différentes périodes de retours SB1

T(h)	T=100ans	T=50ans	T=20ans	T=10ans
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	27.81	23.19	15.94	13.44
2	111.25	92.76	63.76	53.75
3	250.31	208.72	143.45	120.94
3.56	352.48	293.91	202.01	170.31
4	223.84	186.65	128.29	108.16
5	131.07	109.29	75.12	63.33
6	68.29	56.95	39.14	33.00
7	44.06	36.74	25.25	21.29
7.12	29.66	24.73	17.00	14.33
8	9.30	7.76	5.33	4.50
9	1.37	1.14	0.79	0.66
10.68	0.00	0.00	0.00	0.00

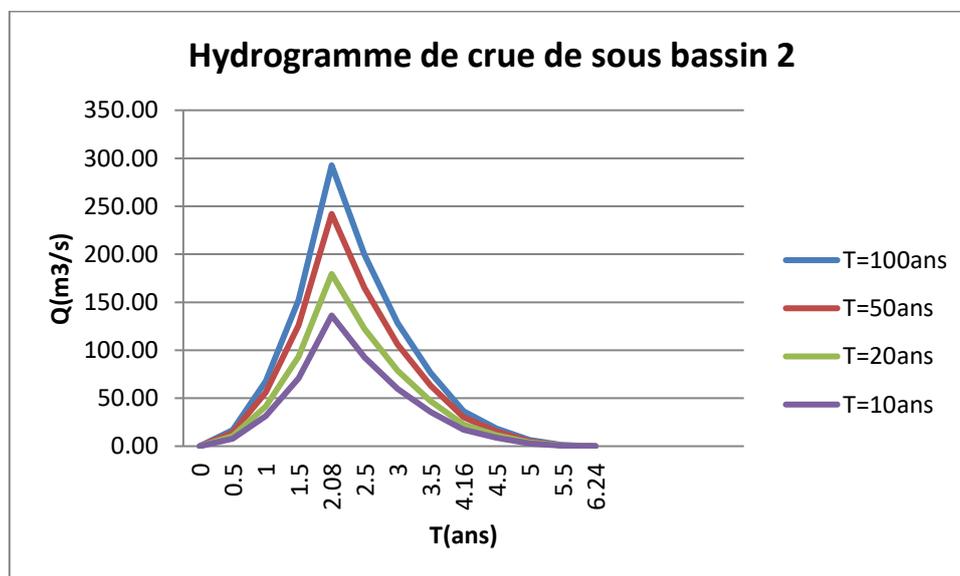


**Figure.II. 13 :** Hydrogramme de crue de sous bassin 1

## Chapitre II : Etude Hydrologique

**Tableau.II. 40:** Hydrogrammes des crues de différentes périodes de retours SB2

T(h)	T=100ans	T=50ans	T=20ans	T=10ans
0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	16.91	13.98	10.37	7.87
1	67.64	55.93	41.47	31.48
1.5	152.20	125.84	93.31	70.82
2.08	292.65	241.98	179.43	136.18
2.5	199.30	164.79	122.19	92.74
3	128.27	106.06	78.64	59.69
3.5	76.51	63.26	46.91	35.60
4.16	36.58	30.25	22.43	17.02
4.5	18.59	15.37	11.40	8.65
5	6.35	5.25	3.89	2.95
5.5	1.17	0.97	0.72	0.54
6.24	0.00	0.00	0.00	0.00

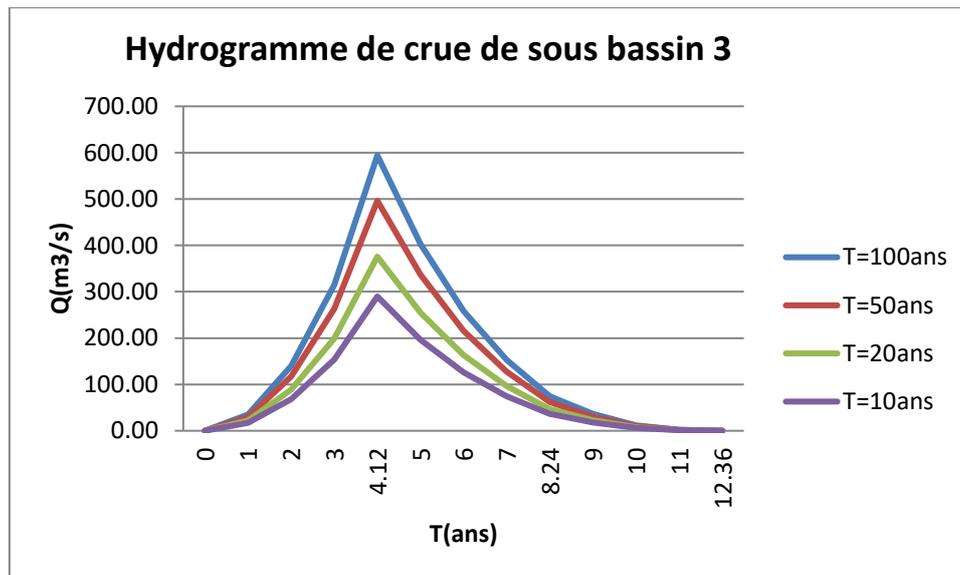


**Figure.II. 14 :** Hydrogramme de crue de sous bassin 2

## Chapitre II : Etude Hydrologique

**Tableau.II. 41:** Hydrogrammes des crues de différentes périodes de retours SB3

T(h)	T=100ans	T=50ans	T=20ans	T=10ans
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	35.00	29.23	22.14	17.07
2	140.00	116.93	88.54	68.28
3	315.00	263.08	199.22	153.63
4.12	594.10	496.19	375.74	289.75
5	402.99	336.57	254.87	196.54
6	258.01	215.48	163.18	125.83
7	152.78	127.60	96.63	74.51
8.24	74.26	62.02	46.97	36.22
9	36.12	30.16	22.84	17.61
10	11.94	9.97	7.55	5.82
11	2.02	1.69	1.28	0.99
12.36	0.00	0.00	0.00	0.00



**Figure.II. 15 :** Hydrogramme de crue de sous bassin 3

## Chapitre II : Etude Hydrologique

---

### Conclusion :

Ce chapitre vise à déterminer les caractéristiques du sous-bassin qui influence la zone inondable à aménager. Il présente les principales méthodes pour estimer les crues et choisir les méthodes adaptées pour dessiner des hydrogrammes de crue. Ces graphiques montrent l'évolution des crues dans le temps et permettent de calculer le débit optimal pour le dimensionnement.

### Chapitre III : Simulation Des Crues

#### III.1.Introduction :

Les calculs hydrauliques s'inspirent des règles des valeurs extrêmes (débit et vitesse), le canal doit donc répondre aux conditions d'évacuation rapide et continue de tous les volumes d'eau pour assurer une protection adéquate contre les crues.

L'hydraulique fluviale est la partie de l'hydraulique qui étudie l'écoulement dans des canaux artificiels ou naturels avec des surfaces libres affectées par la pression atmosphérique et inclut les changements possibles dans la forme et les dimensions de la section transversale.

L'objectif de ce chapitre est donc d'étudier l'écoulement de l'eau dans le chenal du fleuve à aménager pour assurer un contrôle régulier des crues.

#### III.2.Définition du logiciel HEC-RAS :

Le logiciel HEC-RAS VERSION 6.4.1, conçu par US ARMY CORPS OF ENGINEERS, est un outil intégré destiné à l'analyse hydraulique en régime fluvial et torrentiel, ainsi qu'au transport solide et à la simulation des phénomènes d'érosion-sédimentation. Il offre la possibilité de simuler les écoulements à surface libre et est actuellement utilisé par de nombreuses firmes d'ingénierie et organismes gouvernementaux.

L'utilisation du modèle HEC-RAS repose sur la subdivision du réseau hydrographique (ramifié) en plusieurs sections (profils en travers ou coupes) perpendiculaires à l'écoulement.

- Données nécessaire pour l'application du code de calcul HEC-RAS

##### III.2.1.Les données géométriques :

Les informations géométriques requises comprennent l'établissement de la connectivité de l'information pour le système fluvial (schéma du système fluvial), les données des sections transversales, et les informations sur les ouvrages hydrauliques existants ou prévus (ponts, levées, structures latérales, déversoirs, etc.).

L'entrée des données géométriques se déroule en deux phases distinctes :

- La création du schéma du système de rivières.  
Le schéma du système de rivières est un diagramme qui représente le réseau hydrographique de manière plus ou moins réaliste, en tenant compte des méandres (sinuosités) de la rivière. Il est dessiné segment par segment, de l'amont vers l'aval (dans le sens d'écoulement positif).

## Chapitre III : Simulation Des Crues

---

- L'entrée des informations pour les sections transversales du cours d'eau et les ouvrages hydrauliques. Ces informations comprennent :

**Les coordonnées X et Y de la section :** Chaque point de la section transversale doit être caractérisé par sa distance par rapport à un point de référence et son altitude.

**La distance à la section suivante :** C'est la longueur qui représente la distance entre la section actuelle et la prochaine section en aval. Ces distances sont déterminées pour la rive gauche, le canal principal et la rive droite.

**Les valeurs de rugosité n de Manning :** La valeur de la rugosité, ou le coefficient de Manning n, est spécifiée pour la rive gauche, le canal principal et la rive droite. Nous avons utilisé des valeurs de n en fonction des repères dans le levé topographique. Ces valeurs sont extraites du manuel d'utilisation de HEC-RAS.

**Situation des rives du canal principal (lit mineur) :** Les stations des rives du canal principal sont utilisées pour distinguer le lit mineur des deux parties du lit majeur, à savoir la rive gauche et la rive droite.

**Coefficients de contraction et d'expansion :** Les coefficients de contraction et d'expansion sont employés pour estimer la quantité de perte d'énergie qui survient en raison d'une contraction ou d'une expansion de l'écoulement.

- **Estimation de la rugosité n de Manning :**

Les valeurs de rugosité sélectionnées pour le lit (lit mineur) et les terrasses d'inondation (lit majeur) de l'oued sont généralement considérées comme étant biaisées (avec une certaine marge d'erreur) pour toute variable hydraulique ou hydrologique du modèle hydraulique étudié. Le choix d'une valeur de n est perçu comme un art plutôt qu'une science et il n'y a pas de règle stricte et précise qui permet à l'ingénieur hydraulicien de définir avec précision (avec un haut degré de confiance) la valeur de n pour une situation hydraulique donnée. Les facteurs qui influencent la rugosité des lits d'oued comprennent :

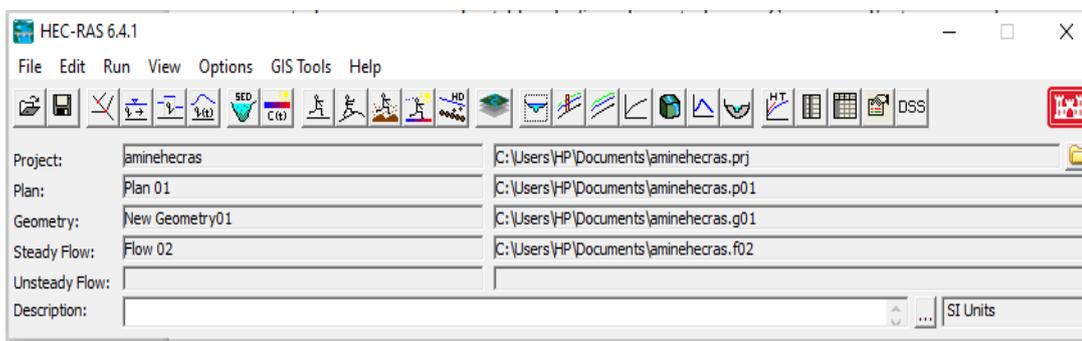
- Matériaux de lits et dimension moyenne de particules solides ;
- Irrégularités des surfaces des lits d'oued ;
- Formes des lits d'oued (comme les rides, dunes, chutes et autres) ;
- Caractéristiques d'érosion et de sédimentation ;
- Tendances à la formation de méandres ;
- Obstacles à l'écoulement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

## Chapitre III : Simulation Des Crues

Il est vraiment extrêmement complexe de prendre en compte tous ces paramètres dans une seule valeur qui représente le coefficient de rugosité de Manning. Pour estimer le coefficient  $n$  des terrasses d'inondation, l'ingénieur hydraulicien se base généralement sur les valeurs liées à la végétation, l'occupation des sols ou les deux à la fois.

Des tests de vérification doivent être effectués pour mesurer l'impact de la variation de la valeur de rugosité  $n$  sur le résultat hydraulique final. Une bonne estimation est celle qui s'écarte d'environ 20% de la "vraie" valeur de  $n$ . En plus de l'expérience acquise, tous les moyens techniques, comme les tables, la formule ou technique Cowan ou d'autres méthodes pour estimer les valeurs de  $n$  les plus probables pour le segment d'oued considéré, doivent être utilisés en tenant compte des différents ouvrages existants. Une moyenne arithmétique ou pondérée de toutes les estimations, obtenues à partir de ces techniques, peut être utilisée et appliquée comme valeur de rugosité adoptée. Par exemple, les valeurs de rugosité  $n$  des terrasses d'inondation ou même du lit mineur d'oued estimées à partir des tables, peuvent être modifiées en utilisant les observations et visites in situ des terrains et même des images aériennes récentes (ou images satellitaires Google, par exemple) montrant la densité et les changements dans la végétation locale.

Les sections géométriques introduites dans le modèle HEC-RAS sont extraites à l'aide de ras mapper extension HEC-RAS



**Figure.III. 1** : Fenêtre d'accueil du logiciel HEC-RAS

# Chapitre III : Simulation Des Crues

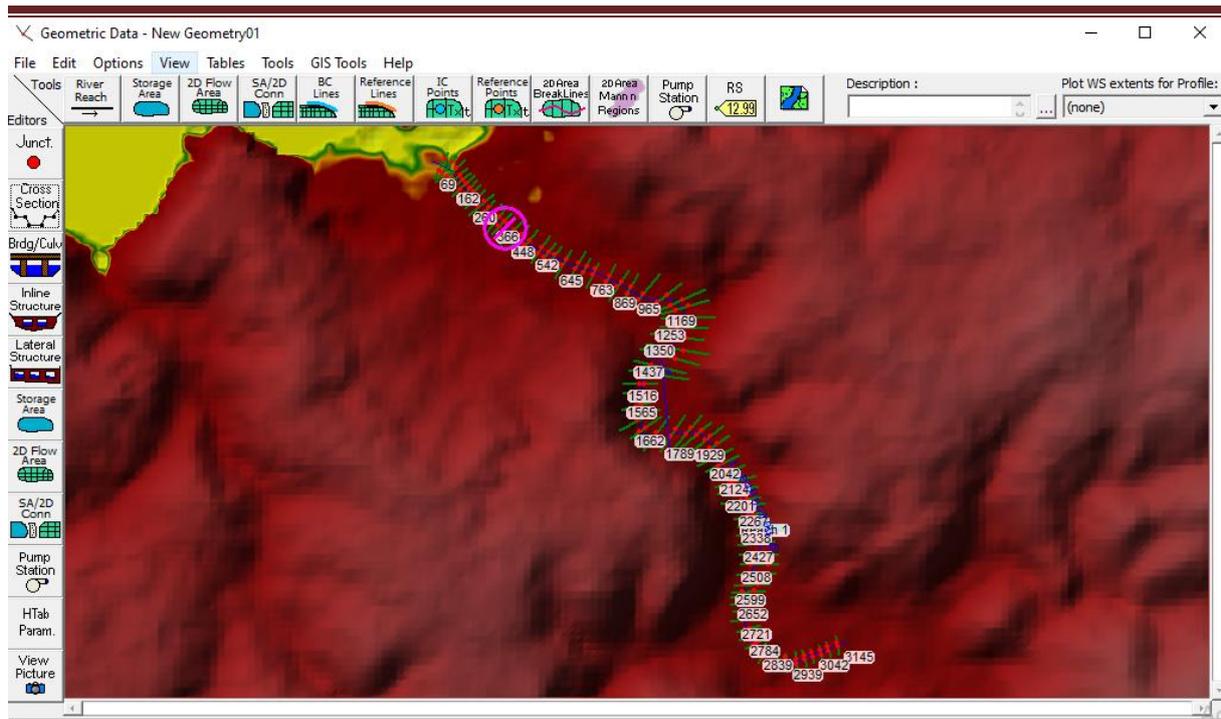


Figure.III. 2: Définition du tracé de l'oued et des sections

## III.2.2. Les données de l'écoulement et les conditions aux limites :

Après avoir entré les données géométriques de chaque section, l'étape suivante de la modélisation hydraulique avec HEC-RAS consiste à spécifier les débits d'entrée et toutes les conditions aux limites nécessaires pour pouvoir effectuer le calcul des profils de la surface de l'eau dans chaque section du système fluvial.

### a. Données d'écoulement :

Les données d'écoulement sont saisies de l'amont à l'aval pour chaque tronçon. Une valeur d'écoulement est écrite à l'extrémité en amont du système de rivière. Le débit appliqué de  $594.104 \text{ m}^3/\text{s}$  est le résultant de la simulation hydrologique retenue en utilisant la formule Sokolovsky pour le débit de 100 ans.

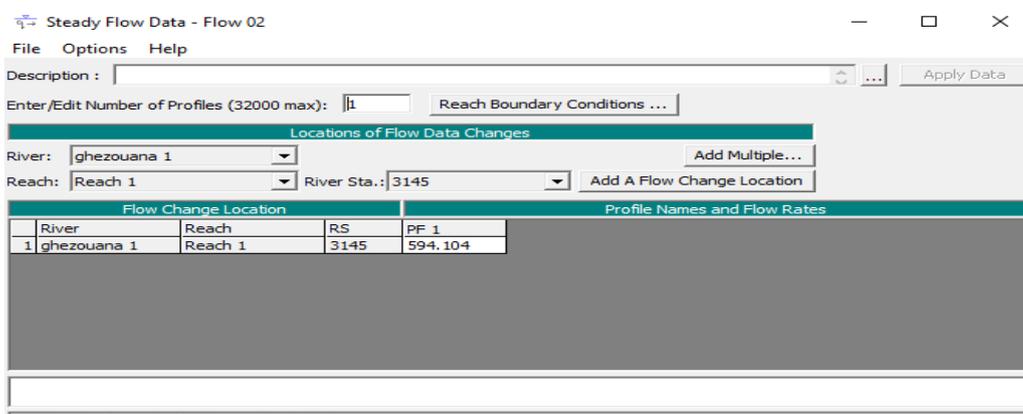


Figure.III. 3 : Définition de la crue et des conditions aux limites

## Chapitre III : Simulation Des Crues

### b. Condition aux limites :

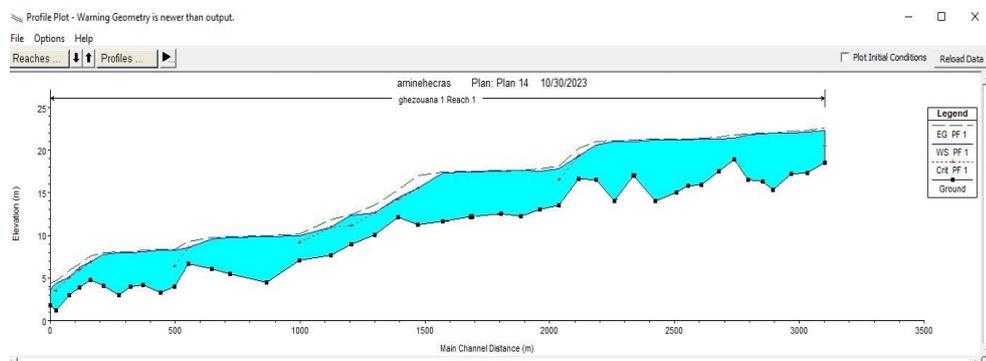
Les calculs peuvent être effectués simultanément sur plusieurs flux, soit dans le régime d'écoulement du courant-jet, dans le régime d'écoulement de la rivière, ou pour les deux régimes d'écoulement. Dans ce dernier cas, HEC-RAS utilise l'équation du moment pour déterminer modifications des conditions de débit des rivières.

### III.3.Calcul avant l'aménagement de l'oued :

Pour un ruisseau hydrographique naturel, la forme du lit est souvent très compliquée. Ce ruisseau doit faire passer un flux qui change selon le temps. En général, celui-ci peut changer d'un an à l'autre d'une façon très différente selon les pluies mesurées. En se basant sur les données locales de la ville on fait l'opération de certaines sections de l'oued là où il y a des débordements pendant les fortes tombées de pluie. Pour savoir la zone débordante pour le flux de projet, on a utilisé les résultats de simulation par le logiciel HEC-RAS, pour 83 sections qui ont été prises en compte dans notre étude, les résultats numériques des paramètres hydrauliques pour la fréquence centenaire sont donnés dans le tableau en annexe.

#### a. Résultats de la simulation :

Ci-dessous on présente le plan des cours d'eau en trois dimensions, leurs profils en longs du modèle géométrique et les sections en travers du oued.



**Figure.III. 4 :** Profil en long du cours d'eau (oued Ghezouana).

# Chapitre III : Simulation Des Crues

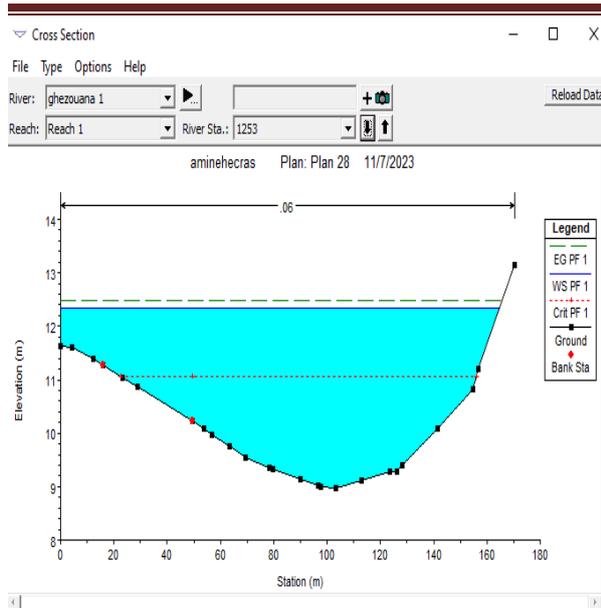


Figure.III. 5: Section en travers (8) et résultats de simulation

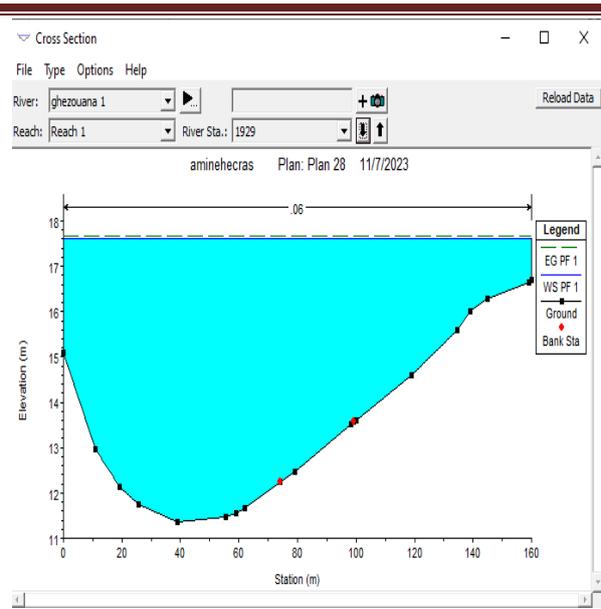


Figure.III. 6: Section en travers (2) et résultats de simulation

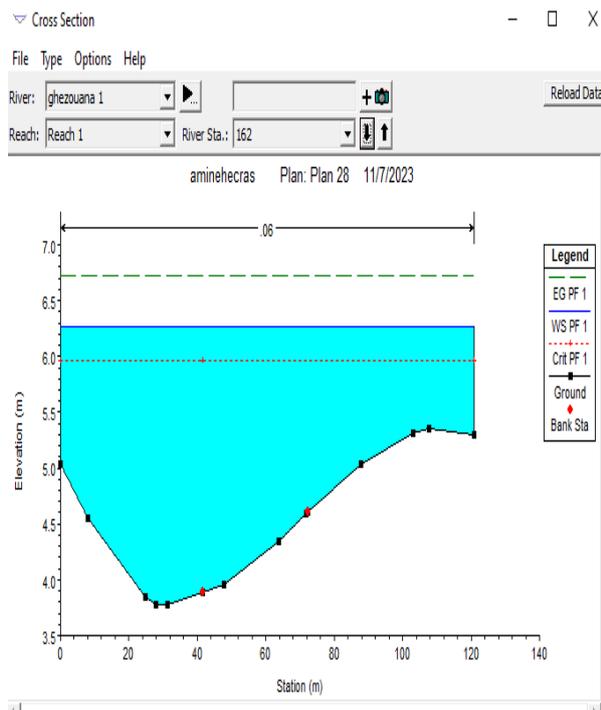


Figure III.7 : Section en travers (22) et résultats de simulation

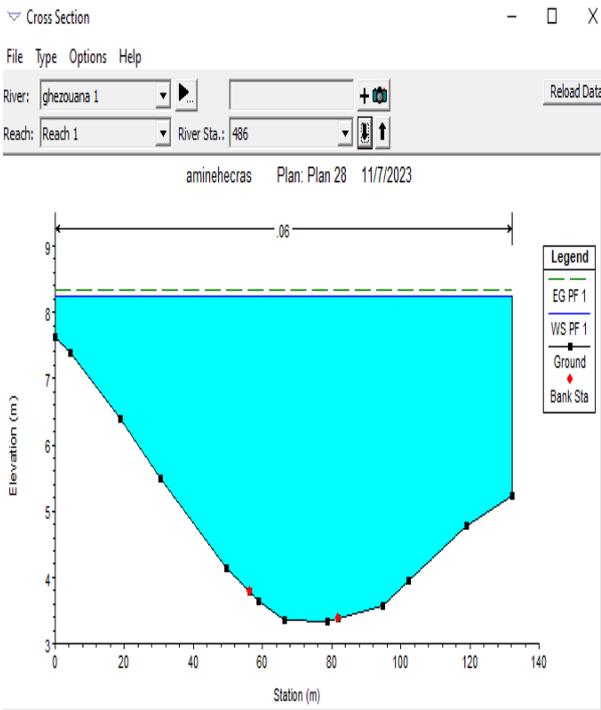


Figure III.8 : Section en travers (16) et résultats de simulation

## Chapitre III : Simulation Des Crues

---

### Interprétation :

- ✚ La vitesse d'écoulement moyenne dans l'Oued est entre **0.91 m/s** et **4.84 m/s**.
- ✚ La hauteur d'eau moyenne varie entre **1.86 m** et **7.15 m**.
- ✚ Le nombre de Froude varie entre **0.12** et **0.99**

### Conclusion :

D'après notre étude et le diagnostic mené sur le site de notre projet, oued **Ghazouana** nécessite un aménagement, vu que il présente un risque de débordement en certaines sections.

### Chapitre IV : Etude des variantes (Calcul hydraulique et dimensionnement)

#### IV.1.Introduction :

Dans ce chapitre, on va proposer différentes variantes Afin de protéger la ville de Ghazaouet contre les inondations, l'étude et le calcul des variantes sont nécessaires et sont présentés dans ce chapitre

#### IV.2. Principe d'aménagement :

##### IV.2.1. Les différents types d'aménagements envisageables :

###### IV.2.1.1.Curage :

Qui donne une meilleure amélioration des conditions de courant suite à l'enlèvement de tous les obstacles et les dépôts gênant le courant des eaux dans le ruisseau pour réduire la rugosité et augmenter la débitante.

###### IV.2.1.2.Recalibrage :

Qui donne la possibilité d'agrandir et d'approfondir les sections des ruisseaux pour accroître leur capacité de sortie des eaux et garantir une section mouillée correspondant aux critères de protections voulues.

###### IV.2.1.3. Réalisation des canaux :

Donne la possibilité de restaurer le passage initial de l'oued. Cette solution est nécessaire dans le cas où le lit de l'oued et son domaine hydraulique ont été totalement occupé des constructions ou par la route.

###### IV.2.1.4.Protection des berges :

Qui inclut tout ouvrage ayant pour but de garder la solidité des terres malgré l'action de l'eau. Les berges sont en effet touchées par des courants dérangeants créés par les crues. Pareillement, les terres tombent à cause de l'infiltration de l'eau après le retrait de la crue. La protection des berges est aussi nécessaire près de certains ouvrages.

## Chapitre IV : Etude des variantes

### IV.2.1.5.Création des canaux périphériques :

De transfert des eaux vers les oueds permettant de les rendre vers des zones situées hors des aires à protéger. Cette déviation pourrait toucher une partie ou la totalité des eaux d'un oued vers un autre.

### IV.2.2.Les dimensionnement des canaux :

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

$$Q = \frac{1}{n} R_h^{2/3} \cdot S_m \cdot I^{1/2} \dots\dots(IV.1)$$

- ✚ Q : débit de dimensionnement (m<sup>3</sup>/s).
- ✚ n : rugosité du canal.
- ✚  $S_m$  : section mouillée du canal en (m<sup>2</sup>).
- ✚ I : pente du tronçon de cours d'eau (pente du fond) en (m/m).
- ✚  $R_h$  : rayon hydraulique en (m) tel que :

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} \dots\dots(IV.2)$$

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

#### IV.2.3.1.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, nous avons choisis sept pentes

#### IV.2.3.2.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.IV. 1: Coefficient de rugosité.

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

Source : Ransom.com

## Chapitre IV : Etude des variantes

### IV.2.3.3. Vitesse d'érosion :

Pour empêcher les cassures du fond et des berges des canaux par l'action dynamique d'un courant d'eau, la vitesse de celui-ci ne doit pas dépasser la vitesse limite maximale. Les valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés sont données dans le tableau que trouve dans l'annexe.

**Tableau.IV. 2:** Vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolident.

Lit	Vitesse (m/s)
Pavage de pierre à une couche	2.5 - 4.0
Gabions	4.0 - 6.0
Revêtement en béton	6.0 - 10
Béton amélioré	>10

Source : mecaflux.com

### IV.2.4. Revanche des canaux :

Dans les canaux à surface libre, il faut toujours avoir une marge de sécurité au-dessus de la ligne d'eau calculée pour prendre en compte l'accumulation de dépôt solide, de croissance de la végétation, des vagues causées par le vent, etc. Pour le dimensionnement du canal.

$$R=0.6m + 0.05v\sqrt[3]{h}.....(IV.3)$$

On opte pour la valeur de revanche égale à 0.55m

### IV.3. Etudes des variantes :

Dans cette étude, les variantes proposées pour l'aménagement du cours d'eau sont :

- ✚ Un canal en béton armé de forme trapézoïdale.
- ✚ Un canal en béton armé de forme rectangulaire
- ✚ Un canal en gabion

On fera un calcul hydraulique de chaque version en vérifiant l'état de courant par une simulation avec HEC-RAS pour chaque partie du ruisseau, et une description des versions d'aménagement proposées pour pouvoir choisir la version la plus adaptée d'un point de vue technico-économique.

## Chapitre IV : Etude des variantes

---

### IV.3.1. Première variante : Canal trapézoïdale en béton armé :

La première variante proposée consiste à projeter un canal trapézoïdal en béton armé. Pour le fruit de talus, nous choisissons  $m = 1$  pour la facilité technique de réalisation d'un angle de  $45^\circ$  sur le terrain. Un canal en béton présente :

- Une durée de vie plus importante.
- Une forme étroite bien adoptée à la ville.
- Les meilleures caractéristiques hydrauliques.

Une durée de réalisation très courte, et assure une meilleure protection

## Chapitre IV : Etude des variantes

### IV.3.1.1. Dimensionnement :

Les résultats de calcul sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau.IV. 3:** Dimensions de l'aménagement d'Oued Ghazouana (canal trapézoïdale en béton armé).

Tronçons	Section départ	Section arrivée	Longueur (m)	Pente projet (%)	Fruit de talus	Largeur du fond b (m)	Hauteur du canal H (m)
1	25	26	77	0.005	1	50	2.33
2	24	25	79	0.005	1	50	2.31
3	23	24	135	0.005	1	50	2.3
4	22	23	99	0.005	1	50	2.28
5	21	22	100	0.005	1	50	2.28
6	20	21	79	0.005	1	50	2.28
7	19	20	87	0.005	1	50	2.27
8	18	19	97	0.005	1	50	2.29
9	17	18	84	0.005	1	50	2.3
10	16	17	126	0.005	1	50	2.27
11	15	16	131	0.015	1	50	2.36
12	13	14	71	0.005	1	50	2.46
13	12	13	93	0.005	1	50	2.67
14	11	12	57	0.005	1	50	2.94
15	10	11	56	0.005	1	50	2.64
16	9	10	70	0.005	1	50	2.74
17	8	9	50	0.005	1	50	2.5
18	7	8	46	0.005	1	50	2.43
19	6	7	60	0.005	1	50	2.39
20	5	6	53	0.005	1	50	2.35
21	4	5	45	0.005	1	50	2.36
22	3	4	42	0.005	1	50	2.33
23	2	3	51	0.005	1	50	2.31
24	1	2	24	0.005	1	50	2.3
25	0	1	0	0.005	1	50	2.3

## Chapitre IV : Etude des variantes

### IV.3.1.2. Les paramètres d'écoulement :

Les résultats de la simulation seront représentés dans le tableau suivant :

**Tableau.IV. 4:** Paramètres d'écoulement de la variante (1) en béton armé.

Profils	Debit( m3/s)	vitesse (m/s)	Froude	Tirant d'eau (m)	Section Mouillée (m2)	Périmètre mouillé (m)	Rayon hydraulique (m)	Remarque
1	594.1	6.46	1.58	1.78	91.93	55.02	1.67	Régime Torrentiel
2	594.1	6.53	1.6	1.76	91	54.97	1.66	Régime Torrentiel
3	594.1	6.58	1.62	1.75	90.32	54.94	1.64	Régime Torrentiel
4	594.1	6.63	1.64	1.73	89.62	54.9	1.63	Régime Torrentiel
5	594.1	6.65	1.64	1.73	89.4	54.89	1.63	Régime Torrentiel
6	594.1	6.65	1.64	1.73	89.32	54.88	1.63	Régime Torrentiel
7	594.1	6.67	1.65	1.72	89.07	54.87	1.62	Régime Torrentiel
8	594.1	6.65	1.63	1.74	89.4	54.62	1.64	Régime Torrentiel
9	594.1	6.65	1.62	1.75	89.36	54.2	1.65	Régime Torrentiel
10	594.1	6.69	1.66	1.72	88.82	54.86	1.62	Régime Torrentiel
11	594.1	6.35	1.53	1.81	93.63	55.11	1.7	Régime Torrentiel
12	594.1	7.96	2.14	1.45	74.62	54.1	1.38	Régime Torrentiel
13	594.1	5.98	1.41	1.91	99.29	55.41	1.79	Régime Torrentiel
14	594.1	5.38	1.2	2.12	110.51	56	1.97	Régime Torrentiel
15	594.1	5.44	1.22	2.09	109.14	55.93	1.95	Régime Torrentiel
16	594.1	5.2	1.15	2.19	114.18	56.19	2.03	Régime Torrentiel

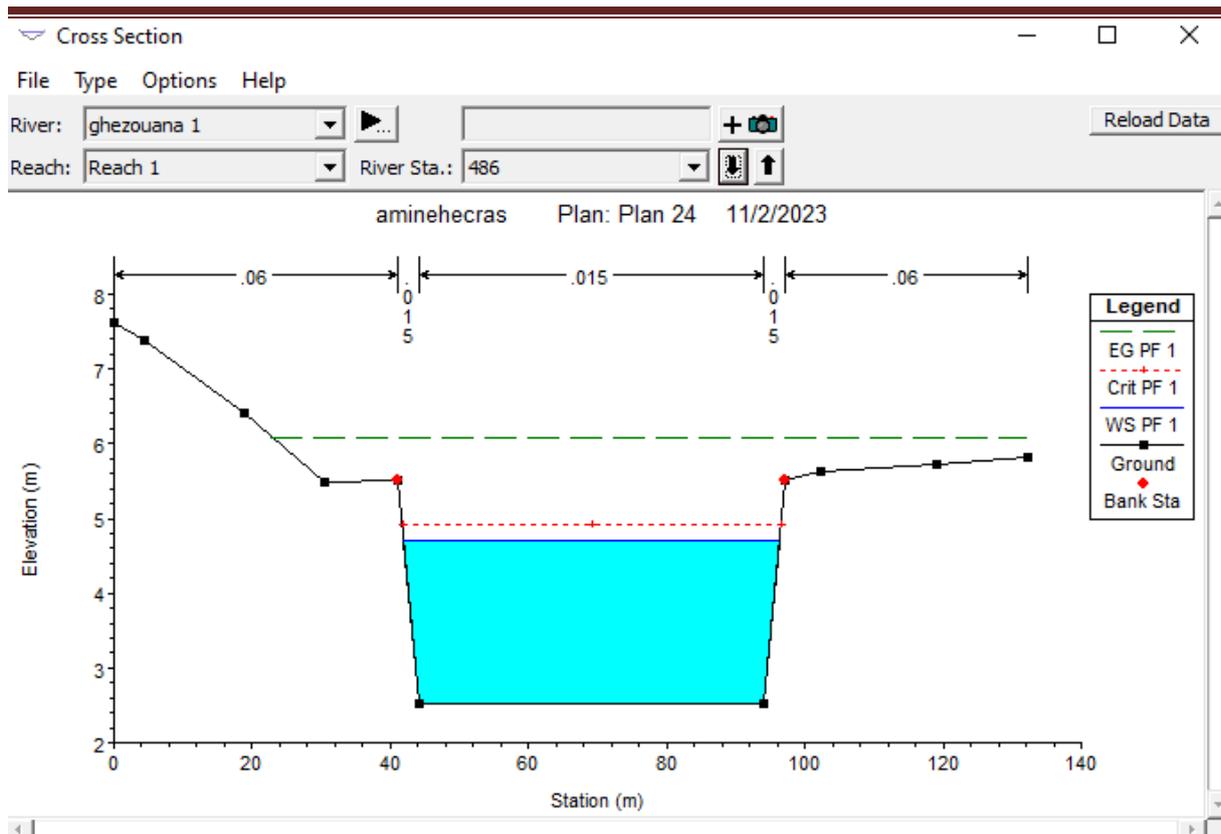
## Chapitre IV : Etude des variantes

17	594.1	5.87	1.37	1.95	101.23	55.51	1.82	Régime Torrentiel
18	594.1	6.08	1.44	1.88	97.78	55.33	1.77	Régime Torrentiel
19	594.1	6.23	1.49	1.84	95.38	55.2	1.73	Régime Torrentiel
20	594.1	6.36	1.54	1.8	93.41	55.1	1.7	Régime Torrentiel
21	594.1	6.4	1.54	1.81	92.82	54.63	1.7	Régime Torrentiel
22	594.1	6.49	1.58	1.78	91.53	54.73	1.67	Régime Torrentiel
23	594.1	6.54	1.6	1.76	90.87	54.97	1.65	Régime Torrentiel
24	594.1	6.57	1.61	1.75	90.45	54.94	1.65	Régime Torrentiel
25	594.1	6.58	1.62	1.75	90.32	54.94	1.64	Régime Torrentiel

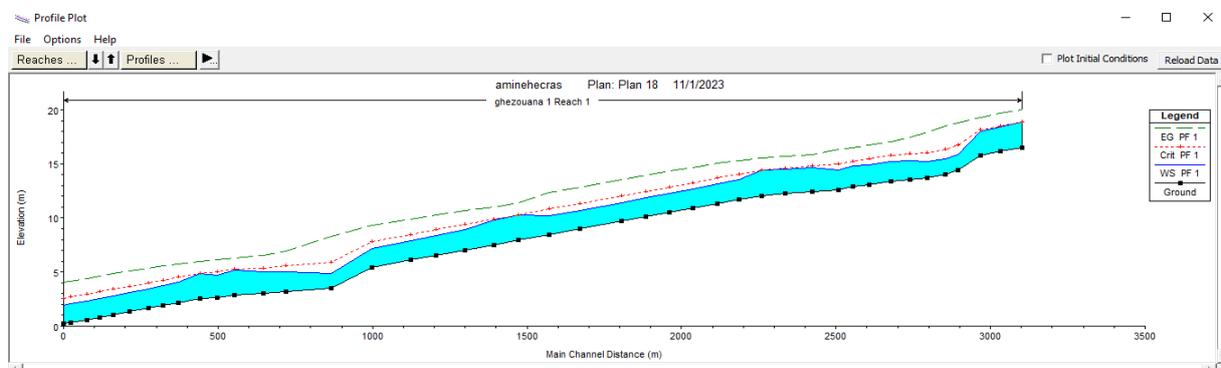
- **Interprétation des résultats :**

Les résultats de simulations ont montré un régime **torrentiel** le long d'oued Ghazouana, et une vitesse varie de **4.74 m/s** à **7.96 m/s** et hauteur du canal varie de **2.27 m** à **3 m**, cette valeur de vitesse reste admissible pour un béton armé.

## Chapitre IV : Etude des variantes



**Figure.IV. 1 :** Profil en travers d'Oued Ghazouana aménagé avec un canal trapézoïdale en béton armé



**Figure.IV. 2:** Profil en long de l'oued Ghazouana aménagé avec un canal trapézoïdale en béton armé

### IV.3.2. Deuxième variante : Canal rectangulaire (murs de soutènement):

La première variante proposée consiste à projeter un canal rectangulaire en béton armé, plus précisément deux murs de soutènement au long du canal

Un canal en béton présente :

- Une durée de vie plus importante.
- Une forme étroite bien adoptée à la ville.

## Chapitre IV : Etude des variantes

- Les meilleures caractéristiques hydrauliques.

Une durée de réalisation très courte, et assure une meilleure protection

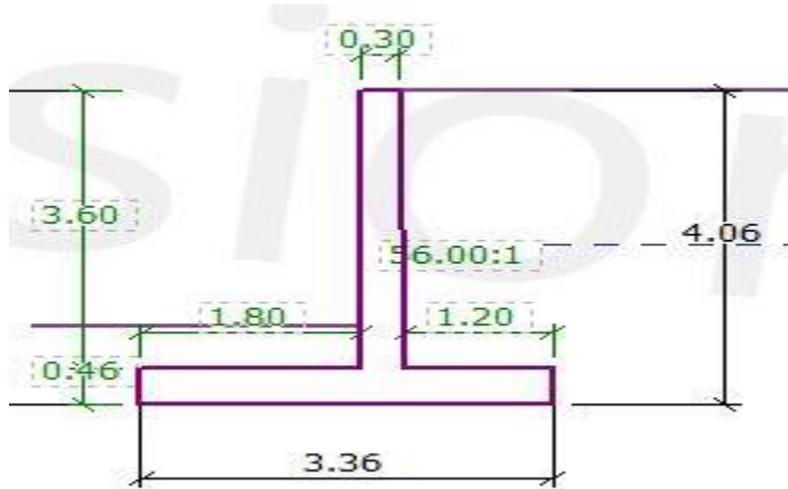


Figure IV. 3 : Coupe en travers d'un mur de soutènement

Source : GEO5

### IV.3.2.1. Dimensionnement :

Les résultats de calcul sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau.IV. 5: Dimensions de l'aménagement d'Oued Ghazouana (canal rectangulaire en béton armé).

Tronçons	Section départ	Section arrivée	Longueur (m)	Pente projet (%)	Largeur du fond b (m)	Hauteur du canal H (m)
1	25	26	77	0.005	50	2.68
2	24	25	79	0.005	50	3.22
3	23	24	135	0.005	50	3.24
4	22	23	99	0.005	50	3.22
5	21	22	100	0.005	50	3.22
6	20	21	79	0.005	50	3.23
7	19	20	87	0.005	50	3.23
8	18	19	97	0.005	50	3.23
9	17	18	84	0.005	50	3.26
10	16	17	126	0.005	50	3.37
11	15	16	131	0.015	50	2.98
12	13	14	71	0.005	50	3.61
13	12	13	93	0.005	50	3.22

## Chapitre IV : Etude des variantes

14	11	12	57	0.005	50	3.23
15	10	11	56	0.005	50	3.23
16	9	10	70	0.005	50	3.23
17	8	9	50	0.005	50	3.22
18	7	8	46	0.005	50	3.24
19	6	7	60	0.005	50	3.22
20	5	6	53	0.005	50	3.22
21	4	5	45	0.005	50	3.22
22	3	4	42	0.005	50	3.23
23	2	3	51	0.005	50	3.25
24	1	2	24	0.005	50	3.26
25	0	1	0	0.005	50	2.99

### IV.3.2.2. Les paramètres d'écoulement :

Les résultats de la simulation seront représentés dans le tableau suivant :

**Tableau.IV. 6:** Paramètres d'écoulement de la variante (2) en béton armé.

Profils	Debit( m3/s)	vitesse (m/s)	Froude	Tirant d'eau (m)	Section Mouillée (m2)	Périmètre mouillé (m)	Rayon hydraulique (m)	Remarque
1	594.1	5.59	1.22	2.13	106.28	54.25	1.96	Régime Torrentiel
2	594.1	4.44	0.87	2.67	133.7	55.35	2.42	Régime Fluvial
3	594.1	4.42	0.86	2.69	134.48	55.38	2.43	Régime Fluvial
4	594.1	4.46	0.87	2.67	133.3	55.33	2.41	Régime Fluvial
5	594.1	4.45	0.87	2.67	133.65	55.35	2.41	Régime Fluvial
6	594.1	4.43	0.87	2.68	133.97	55.36	2.42	Régime Fluvial
7	594.1	4.43	0.86	2.68	134.25	55.37	2.42	Régime Fluvial
8	594.1	4.43	0.86	2.68	134.13	55.37	2.42	Régime Fluvial
9	594.1	4.38	0.85	2.71	135.67	55.43	2.45	Régime Fluvial

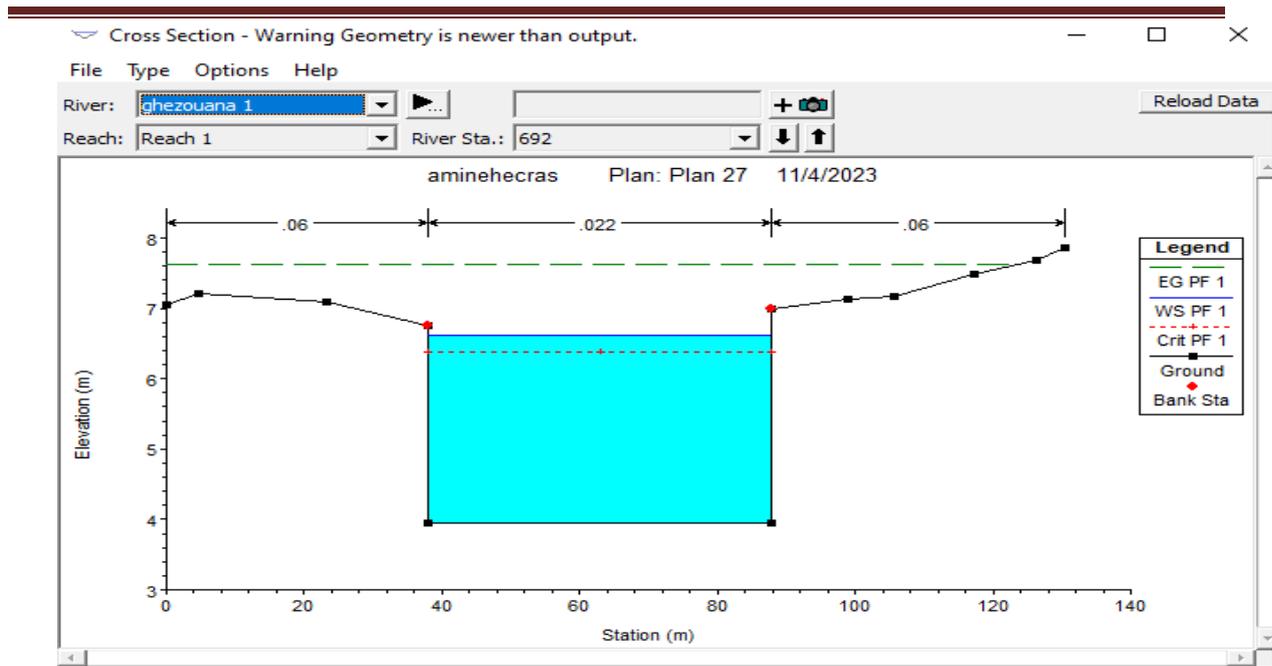
## Chapitre IV : Etude des variantes

10	594.1	4.22	0.8	2.82	140.81	55.63	2.53	Régime Fluvial
11	594.1	4.89	1	2.43	121.56	54.86	2.22	Régime Fluvial
12	594.1	3.89	0.71	3.06	152.83	56.11	2.72	Régime Fluvial
13	594.1	4.46	0.87	2.67	133.29	55.33	2.41	Régime Fluvial
14	594.1	4.43	0.86	2.68	134.15	55.37	2.42	Régime Fluvial
15	594.1	4.44	0.87	2.68	133.76	55.35	2.42	Régime Fluvial
16	594.1	4.44	0.87	2.68	133.96	55.36	2.42	Régime Fluvial
17	594.1	4.45	0.87	2.67	133.53	55.34	2.41	Régime Fluvial
18	594.1	4.42	0.86	2.69	134.27	55.37	2.42	Régime Fluvial
19	594.1	4.44	0.87	2.67	133.69	55.35	2.42	Régime Fluvial
20	594.1	4.45	0.87	2.67	133.45	55.34	2.41	Régime Fluvial
21	594.1	4.45	0.87	2.67	133.5	55.34	2.41	Régime Fluvial
22	594.1	4.43	0.86	2.68	134.22	55.37	2.42	Régime Fluvial
23	594.1	4.41	0.86	2.7	134.8	55.39	2.43	Régime Fluvial
24	594.1	4.38	0.85	2.71	135.49	55.42	2.44	Régime Fluvial
25	594.1	4.88	1	2.44	121.63	54.87	2.22	Régime Fluvial

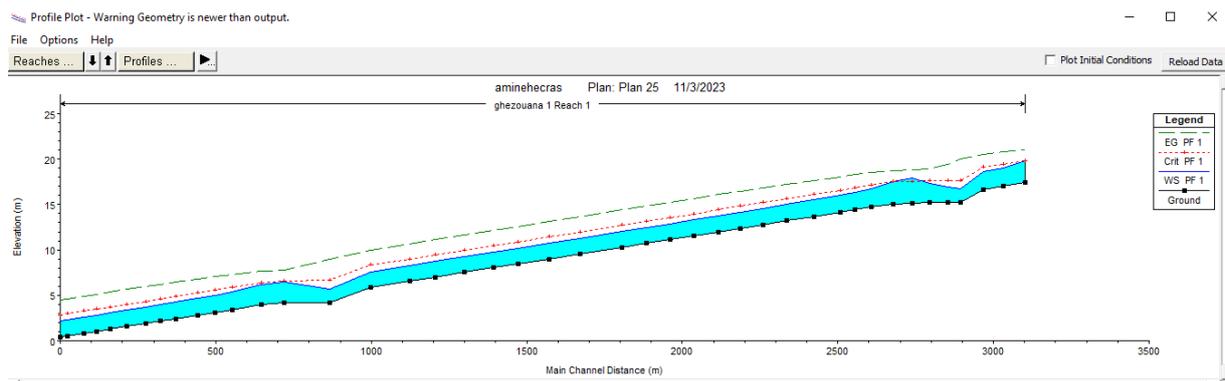
- **Interprétation des résultats :**

Les résultats de simulations ont montré un régime Fluvial le long d'oued Ghazouana, et une vitesse varie de **3.89 m/s** à **5.59 m/s** et hauteur du mur varie de **2.68 m** à **3.65 m**, cette valeur de vitesse reste admissible pour un béton armé.

## Chapitre IV : Etude des variantes



**Figure.IV. 3 :** Profil en travers d'Oued Ghazouana aménagé avec un canal rectangulaire en béton armé



**Figure.IV. 4 :** Profil en long de l'oued Ghazouana aménagé avec un canal rectangulaire en béton armé

### IV.3.2.troisième variante : Canal en gabion :

Le canal gabionné sont utilisés surtout pour faire les revêtements et les protections contre les affouillements. Ils ont des dimensions différentes, dont les plus fréquent sont  $2.0 \times 1.0 \times 0.5$  et  $2.0 \times 1.0 \times 1.0$ . Les canaux en gabion, sont posés d'une façon spéciale ; les sacs sont disposés de manière à créer un escalier qui assure la solidité des berges.

#### IV.3.2.1.Avantages des structures en gabion :

- ✓ Adaptabilité des ouvrages, la flexibilité des gabions permet à l'ouvrage de suivre les mouvements du terrain, qui peuvent arriver au pied des organes de dissipation d'énergie, des bajoyers et des protections contre les affouillements
- ✓ Simplicité de mise en œuvre, certains types de barrages ou de seuils en gabions peuvent être construits sur deux ans, sans danger majeur de destruction pendant la saison des

## Chapitre IV : Etude des variantes

pluies intermédiaire. La rehausse éventuelle de l'ouvrage est possible assez aisément. D'autre part, les formes géométriques sont, par nature, relativement faciles

- ✓ Possibilité de réaliser des ouvrages entièrement déversant bien moins chers que leurs équivalents en béton.

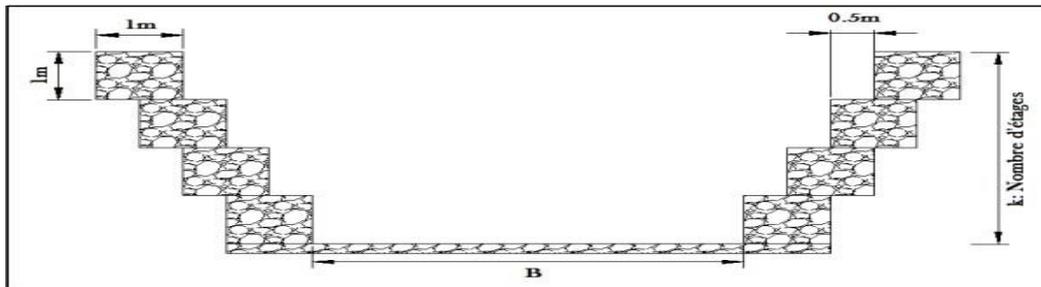


Figure.IV. 5 : Coupe en travers d'un canal en gabion

Tableau.IV. 7: Caractéristiques géométriques de la section gabionnée.

caractéristique	Section $S_m(m^2)$	$P_m(m)$	Rayon hydraulique
relations	$k(k - \frac{1}{2}) + bk$	$b+3k-1$	$0.5k(k - 1) + bkb + 3k - 1$

K : nombre d'étages ; b : base canal

On fixe la largeur de la base puis on calcule le nombre d'étage qui puisse évacuer le débit de crue.

## Chapitre IV : Etude des variantes

### IV.3.2.2. Dimensionnement :

Les dimensions de l'aménagement sont résumées dans le tableau ci-après :

**Tableau.IV. 8:** Dimensions de l'aménagement d'Oued Ghazouana (canal en gabion).

Tronçons	Section départ	Section arrivée	Longueur (m)	Pente projet (%)	Largeur du fond b (m)	Hauteur du canal H (m)
1	25	26	77	0.005	50	3.19
2	24	25	79	0.005	50	3.19
3	23	24	135	0.005	50	3.2
4	22	23	99	0.005	50	3.2
5	21	22	100	0.005	50	3.2
6	20	21	79	0.005	50	3.2
7	19	20	87	0.005	50	3.21
8	18	19	97	0.005	50	3.21
9	17	18	84	0.005	50	3.26
10	16	17	126	0.005	50	3.35
11	15	16	131	0.015	50	2.92
12	13	14	71	0.005	50	3.8
13	12	13	93	0.005	50	3.21
14	11	12	57	0.005	50	3.24
15	10	11	56	0.005	50	3.29
16	9	10	70	0.005	50	3.3
17	8	9	50	0.005	50	3.2
18	7	8	46	0.005	50	3.2
19	6	7	60	0.005	50	3.2
20	5	6	53	0.005	50	3.2
21	4	5	45	0.005	50	3.2
22	3	4	42	0.005	50	3.21
23	2	3	51	0.005	50	3.23
24	1	2	24	0.005	50	3.25
25	0	1	0	0.005	50	2.92

## Chapitre IV : Etude des variantes

**Tableau.IV. 9:** Paramètres d'écoulement de la variante canal en gabion.

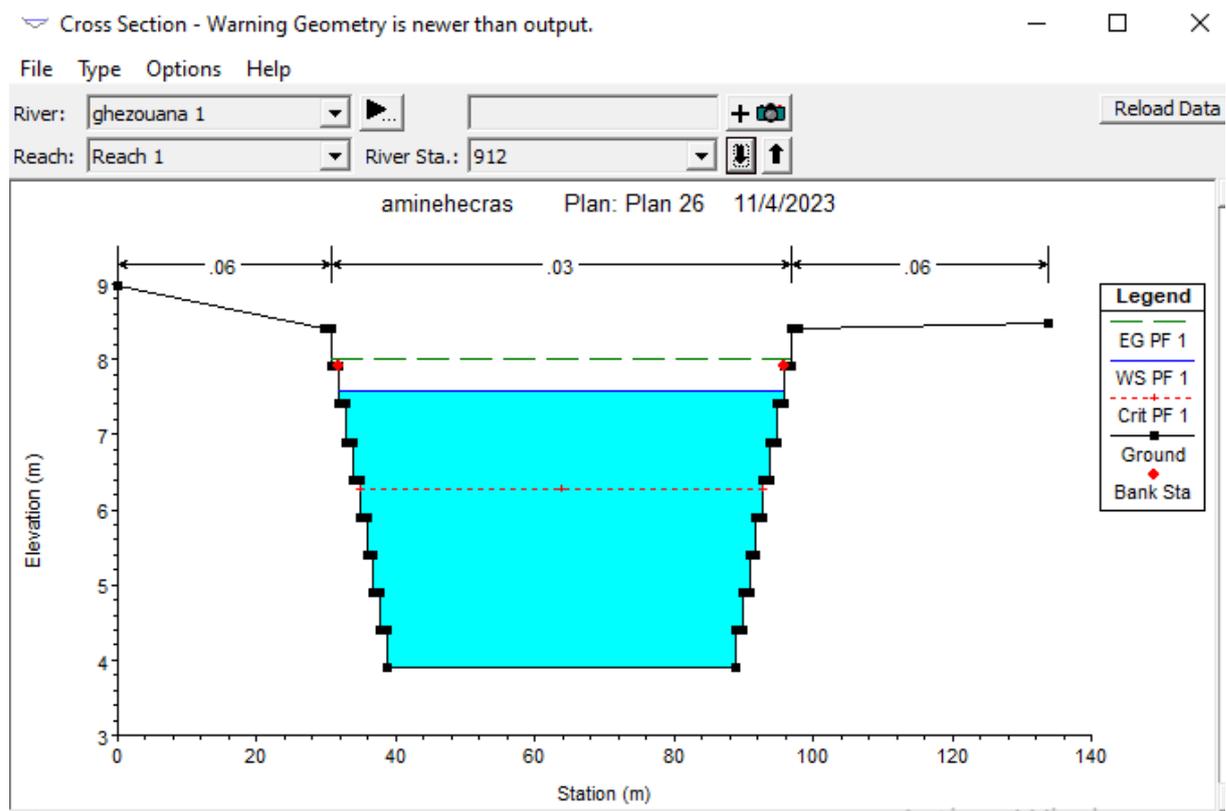
Profils	Debit( m3/s)	vitesse (m/s)	Froude	Tirant d'eau (m)	Section Mouillée (m2)	Périmètre mouillé (m)	Rayon hydraulique (m)	Remarque
1	594.1	4.14	0.86	2.64	143.41	65.4	2.19	Régime Fluvial
2	594.1	4.15	0.85	2.64	143.13	64.45	2.22	Régime Fluvial
3	594.1	4.13	0.85	2.65	143.88	65.3	2.2	Régime Fluvial
4	594.1	4.12	0.85	2.65	144.18	65.31	2.21	Régime Fluvial
5	594.1	4.13	0.86	2.65	144.02	66.15	2.18	Régime Fluvial
6	594.1	4.12	0.85	2.65	144.11	65.3	2.21	Régime Fluvial
7	594.1	4.11	0.85	2.66	144.4	65.31	2.21	Régime Fluvial
8	594.1	4.11	0.85	2.66	144.56	65.32	2.21	Régime Fluvial
9	594.1	4.02	0.82	2.71	147.73	65.42	2.26	Régime Fluvial
10	594.1	3.89	0.78	2.8	152.78	65.59	2.33	Régime Fluvial
11	594.1	4.65	1	2.37	127.74	62.75	2.04	Régime Fluvial
12	594.1	3.27	0.62	3.25	181.55	69.49	2.61	Régime Fluvial
13	594.1	4.11	0.85	2.66	144.39	65.31	2.21	Régime Fluvial
14	594.1	4.06	0.83	2.69	146.29	65.38	2.24	Régime Fluvial
15	594.1	3.97	0.8	2.74	149.56	65.49	2.28	Régime Fluvial
16	594.1	3.96	0.8	2.75	149.94	65.5	2.29	Régime Fluvial
17	594.1	4.13	0.85	2.65	143.72	65.29	2.2	Régime Fluvial
18	594.1	4.13	0.85	2.65	143.84	65.29	2.2	Régime Fluvial
19	594.1	4.13	0.85	2.65	143.76	64.3	2.24	Régime Fluvial

## Chapitre IV : Etude des variantes

20	594.1	4.12	0.85	2.65	144.03	65.3	2.21	Régime Fluvial
21	594.1	4.13	0.85	2.65	144.02	65.3	2.21	Régime Fluvial
22	594.1	4.12	0.85	2.66	144.35	65.31	2.21	Régime Fluvial
23	594.1	4.07	0.83	2.68	145.86	65.36	2.23	Régime Fluvial
24	594.1	4.04	0.83	2.7	146.92	65.4	2.25	Régime Fluvial
25	594.1	4.69	1	2.37	127.23	62.73	2.03	Régime Fluvial

- Interprétation des résultats :**

Les résultats de simulations ont montré un régime torrentiel le long d’oued Ghazouana, et une vitesse varie de **3.27 m/s** à **4.69 m/s**, cette valeur de vitesse reste admissible pour un gabion



**Figure.IV. 6** : Profil en travers d’Oued Ghazouana aménagé avec un canal en gabion.

## Chapitre IV : Etude des variantes

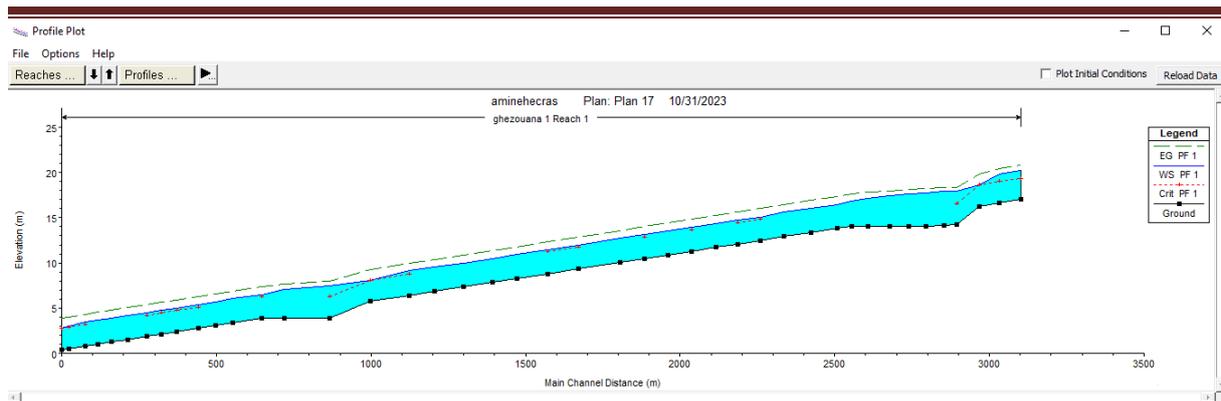


Figure.IV. 7 : Profil en long de l'oued Ghazouana aménagé avec un canal en gabion.

### IV.3.3.Etude de la stabilité de gabion :

#### IV.3.3.1.Logiciel GEO5 :

Geo5 est un logiciel spécialisé dans le domaine du génie civil et de la géotechnique. Il est utilisé pour concevoir et analyser des structures et des projets liés à la géotechnique. Le logiciel Geo5 propose une gamme d'outils et de modules pour les ingénieurs et les concepteurs, couvrant diverses applications, notamment l'analyse de la stabilité géotechnique, la conception des fondations, les murs de soutènement, l'analyse des charges sismiques et des vibrations. C'est un outil essentiel pour les ingénieurs civils et géotechniciens, offrant des analyses et des conceptions précises et actualisées pour répondre aux besoins en constante évolution du génie civil et de la géotechnique.

#### IV.3.3.2.Calcul de stabilité de mur en gabion :

Nous obtenons la stabilité grâce au logiciel GEO5 :

Données de base	
Poids volumique :	$\gamma = 20.00$ [kN/m <sup>3</sup> ]
Etat de contraintes :	effectives
Angle de frottement interne :	$\varphi_{ef} = 30.00$ [°]
Cohésion du sol :	$c_{ef} = 5.00$ [kPa]
Angle de frot. structure-sol :	$\delta = 10.00$ [°]
Pression au repos	
Sol :	pulvérulent
Soulèvement hydraulique	
Calcul soulèvem. hydraulique :	standard
Poids volumique du sol saturé :	$\gamma_{sat} = 20.00$ [kN/m <sup>3</sup> ]

Figure IV. 8 : Caractéristiques géotechniques du sol

## Chapitre IV : Etude des variantes

Remplissage		
Poids volumique :	$\gamma =$	18.00 [kN/m <sup>3</sup> ]
Angle de frottement interne :	$\varphi =$	30.00 [°]
Cohésion :	$c =$	0.00 [kPa]
Treillis métallique		
Résistance du maillage à la traction :	$R_t =$	40.00 [kN/m]
Distance entre les barreaux verticaux :	$v =$	1.00 [m]
Capacité portante du joint :	$R_s =$	40.00 [kN/m]

Figure IV. 9 : Caractéristiques géotechniques du gabion

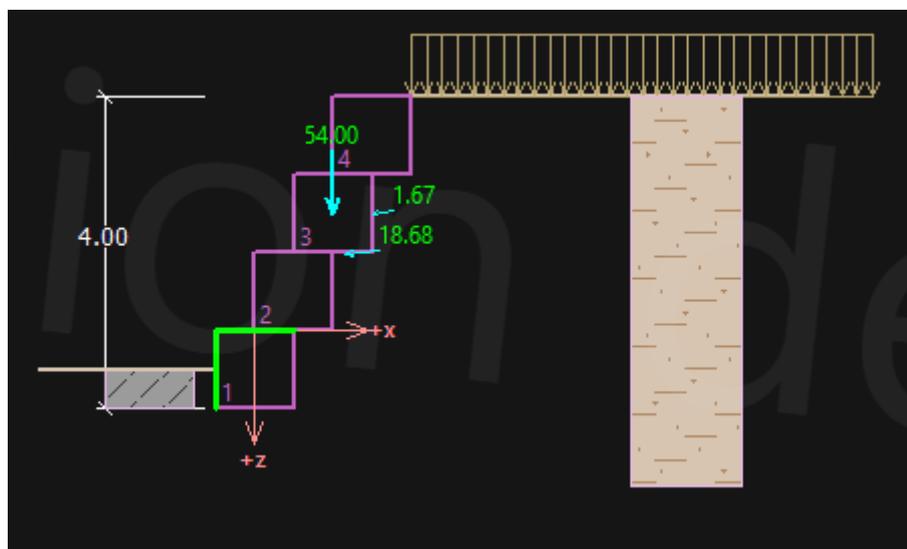


Figure IV. 10 : géométrie du mur en gabion

Dimensionnement		
RENVERSEMENT	ADMISSIBLE	(54.1%)
GLISSEMENT	ADMISSIBLE	(92.3%)
PRESSION LATÉRALE	ADMISSIBLE	(13.0%)
JOINT ENTRE LES BLOCS	ADMISSIBLE	(13.0%)

Figure IV. 11 : Les résultats obtenu pour la stabilité

La stabilité du canal en gabion a été vérifiée à l'aide du logiciel GEO5, en prenant en considération les conditions de stabilité requises.

## Chapitre IV : Etude des variantes

---

### IV.3.4.Comparaison :

Le régime de courant pour le revêtement en béton est torrentiel sur toutes longueurs de l'oued tandis que le régime devient fluvial pour le gabion.

La vitesse en revêtement en béton est plus forte par rapport au gabion mais la hauteur du plan d'eau est plus grande en gabion.

On remarque que les deux types d'aménagement ont pu retenir une crue centenaire en terme de vitesse et hauteur de l'eau mais le revêtement en béton est plus efficace en temps de sortie de la crue.

### Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenté et calculé 3 variantes pour l'aménagement d'oued Ghazouana et vérifié leur capacité hydraulique pendant une crue.

On a remarqué à la fin que les 3 variantes ont la capacité de retenir une crue centenaire sans danger de débordement ou d'érosion.

### Chapitre V : Etude technico-économique.

#### V.1.Introduction :

Après la réalisation de l'étude hydraulique précédemment on va faire dans ce chapitre étude technico-économique pour faire le choix final de la variante à réaliser.

#### V.2.Réalisation d'un aménagement :

Un projet d'aménagement d'un oued réussit si on connaît bien le site, si on conçoit une structure adaptée, si on réalise le canal d'aménagement avec les bonnes ressources, et si on organise le chantier de manière économique et efficace. Nous devons suivre plusieurs mesures importantes pour y arriver.

- ❖ Nous devons déterminer de manière précise les méthodes de réalisation, y compris les procédures permettant de mettre en œuvre les techniques modernes de construction de manière à obtenir un rendement élevé.
- ❖ Il est crucial de choisir minutieusement, en termes de quantité et de qualité, le personnel à affecter, car nous savons que le coût de la main-d'œuvre a un impact significatif sur le coût global du projet.
- ❖ Une répartition efficace des tâches est nécessaire, en mettant l'accent sur la concentration d'une main-d'œuvre spécialisée dans des domaines spécifiques pour garantir une réalisation optimale.
- ❖ En ce qui concerne les postes de travaux stabilisés, il est important d'adopter progressivement la mécanisation pour améliorer l'efficacité et la productivité du chantier. La réalisation d'un projet d'aménagement d'un oued dépend non seulement de la conception initiale, mais aussi d'une réalisation méticuleuse, planifiée et coordonnée. Une organisation adquate du chantier est essentielle pour garantir la qualité et la sécurité de l'ouvrage.

## Chapitre V : Etude technico-économique.

---

### V.2.1. Les étapes d'exécution chantier :

#### V.2.1.1. Réalisation de l'ouvrage :

Pour le cas de béton, la réalisation consiste essentiellement les étapes suivantes :

- Piquetage d'implantation pour le terrassement : Marquage précis du site pour délimiter l'emplacement de la future structure.
- Exécution des déblais et des remblais : Déplacement de la terre pour créer les niveaux et les pentes requis.
- Exécution de la couche de gravier (d = 10 cm) : Pose d'une couche de gravier de 10 centimètres d'épaisseur.
- Exécution de la couche de béton de propreté (d = 10 cm) : Application d'une couche de béton de propreté de 10 centimètres d'épaisseur.
- Exécution de béton armé (d = 15 cm) : Construction des parois en béton armé avec une épaisseur de 15 centimètres.
- Ferraillage des parois : Installation de l'armature en acier pour renforcer les parois en béton.
- Coffrage des parois : Mise en place du coffrage pour donner forme aux parois de béton.
- Bétonnage des parois : Remplissage du coffrage avec du béton pour former les parois.
- Décoffrage des parois : Retrait du coffrage après que le béton ait durci.
- Ferraillage de la dalle : Pose de l'armature en acier pour renforcer la dalle de béton.
- Coffrage de la dalle : Création du coffrage pour contenir le béton de la dalle.
- Bétonnage de la dalle : Remplissage du coffrage avec du béton pour créer la dalle.
- Décoffrage de la dalle : Retrait du coffrage après que le béton de la dalle ait pris.

## **Chapitre V : Etude technico-économique.**

---

### **V.3. Etude de variante (BETON) :**

Dans les projets d'aménagement d'oueds, l'emploi de revêtement en béton est fréquent, surtout dans les zones urbaines. Ces revêtements, conçus pour résister aux forces hydrauliques et protéger les rives contre les détériorations dues aux variations de l'eau, offrent des solutions durables pour la gestion efficace des cours d'eau.

#### **V.3.1. Avantages du revêtement en béton :**

1. Durabilité exceptionnelle, assurant une protection à long terme contre l'érosion et les intempéries.
2. Résistance robuste aux forces hydrauliques, réduisant les risques d'affouillement des berges.
3. Faible entretien nécessaire une fois le revêtement installé, ce qui réduit les coûts à long terme.
4. Possibilité de conception personnalisée, offrant des options esthétiques et fonctionnelles pour s'adapter aux besoins du projet.
5. Stabilité accrue des rives, ce qui permet de prévenir les glissements de terrain et les perturbations des écosystèmes.

#### **V.3.2. Inconvénients du revêtement en béton :**

1. Prix élevé de réalisation par rapport à d'autres alternatives comme le gabion par exemple.
2. Impact possible sur l'habitat aquatique en diminuant la diversité des substrats disponibles.
3. Modification des caractéristiques hydrauliques naturelles, pouvant provoquer des conséquences imprévues sur l'écosystème fluvial.

Bien que le revêtement en béton soit une solution solide pour la protection et la stabilisation des berges des oueds, le coût de réalisation et l'impact sur l'écosystème local doit être soigneusement pris en compte.

## Chapitre V : Etude technico-économique.

### V.3.3. Devis quantitatif et estimatif du béton (Canal trapézoïdale) :

**Tableau.V. 1:** devis pour les différents travaux d'aménagement pour un Canal trapézoïdale en béton

Désignation Des Travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
<b>Terrassement</b>				
Déblais en terrain de toute nature	m <sup>3</sup>	30000	250	7 500 000
Remblai compacté	m <sup>3</sup>	3200	2 400	7 680 000
<b>Génie civil</b>				
Béton de propreté	m <sup>3</sup>	11200	9 250	103 600 000
Béton armé	m <sup>3</sup>	33600	40 000	1 344 000 000
<b>TOTAL HT</b>				1 462 780 000
<b>TVA 19%</b>				277 928 200
<b>TOTAL TTC</b>				1 740 708 200

(Source Algérie prix construction )

## Chapitre V : Etude technico-économique.

### V.3.4. Devis quantitatif et estimatif du béton (murs de soutènement) :

Tableau.V. 2: devis pour les différents travaux d'aménagement pour deux murs de soutènement en béton

Désignation Des Travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
<b>Terrassement</b>				
Déblais en terrain de toute nature	m <sup>3</sup>	25000	250	6 250 000
Remblai compacté	m <sup>3</sup>	2700	2 400	6 480 000
<b>Génie civil</b>				
Béton de propreté	m <sup>3</sup>	2824	9 250	26 122 000
Béton armé	m <sup>3</sup>	10166.4	40 000	406 656 000
<b>TOTAL HT</b>				432 778 000
<b>TVA 19%</b>				82 227 820
<b>TOTAL TTC</b>				515 005 820

(Source : Algérie prix construction )

### V.4. Etude de variante ( GABION ) :

La technique du gabion, un procédé de génie civil ancien de plusieurs siècles, est très employée dans la gestion des rivières et des oueds. Cette méthode consiste à utiliser des gabions, des cages en fil de fer remplies de roches, de galets ou de sable, pour la construction de revêtements de rives et de structures de contrôle des eaux.

#### V.4.1. Avantages de l'aménagement en gabion :

1. Utilisation de ressources locales pour réaliser à faible coût.
2. Mise en œuvre facile.
3. Protection efficace contre l'érosion.
4. Le gabion est souple et s'adapte aux mouvements naturels du cours d'eau.
5. Le gabion favorise un drainage naturel et s'intègre avec l'environnement grâce à l'utilisation de pierres naturelles.

## Chapitre V : Etude technico-économique.

### V.4.2. Inconvénients de l'aménagement en gabion :

1. Manque de cailloux de diamètres adaptés.
2. Stabilité faible, surtout pendant les crues.
3. Modification du régime hydraulique le long de la zone d'encrochement.
4. Les zones amont et aval de la ligne d'encrochement sont très sensibles, exposant toute la structure à un risque élevé d'érosion en cas de passage de l'eau derrière les blocs en amont.

Les gabions sont des aménagements avantageux pour les oueds, car ils sont flexibles, faciles à mettre en œuvre et durables. Ils protègent et stabilisent les berges contre l'érosion. Mais ils peuvent aussi présenter un risque de stabilité et demander une surveillance continue. Le choix d'utiliser des gabions dans un projet d'aménagement d'oued doit se faire en fonction des besoins spécifiques du site.

### V.4.3. Devis quantitatif et estimatif du gabion :

**Tableau.V. 3** : Devis pour les différents travaux d'aménagement en gabion.

Désignation Des Travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
<b>Terrassement</b>				
Déblais en terrain de toute nature	m <sup>3</sup>	35000	250	8 750 000
Remblai compacté	m <sup>3</sup>	3700	2 400	8 880 000
<b>Génie civil</b>				
Gabion pour les talus	m <sup>3</sup>	16000	7500	120 000 000
<b>TOTAL HT</b>				137 630 000
<b>TVA 19%</b>				26 149 700
<b>TOTAL TTC</b>				163 779 700

(Source : Algérie prix construction )

## Chapitre V : Etude technico-économique.

### V.5.Choix de variante d'aménagement :

Nous avons effectué une analyse et une comparaison du point de vue hydraulique dans le chapitre précédent et une analyse technico-économique dans ce chapitre, ce qui nous a permis de choisir la réalisation d'un **canal en gabion**. Ce choix s'est imposé car cette variante offre une capacité hydraulique optimale avec un coût le plus faible, elle est stable, durable et résistante aux crues exceptionnelles.

### V.6.Planification

#### V.6.1.Définition :

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

- ◆ L'installation des postes de travail.
- ◆ L'observation instantanée.
- ◆ L'analyse des tâches.
- ◆ Le chronométrage.
- ◆ La simplification des méthodes.

#### V.6.2.Elaboration du réseau selon la méthode CPM :

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

**Tableau.V. 4 :** Liste des opérations avec leurs durées.

Désignation d'opération	Code	Durée(Jours)
Installation du chantier	A	15
Travaux de terrassement sur oued ghazouana sur le trançon 1	B	10
Compactage sur trançon1	C	12
Pose de gabion sur le trançon 1	D	18
Travaux de terrassement sur oued ghazouana sur le trançon 2	E	12
Compactage sur trançon 2	F	18
Pose de gabion sur le trançon 2	J	20
Travaux de terrassement sur oued ghazouanai sur le trançon 3	H	10
Compactage sur trançon 3	I	12
Pose de gabion sur le trançon 3	G	18
Déménagement du chantier	K	15

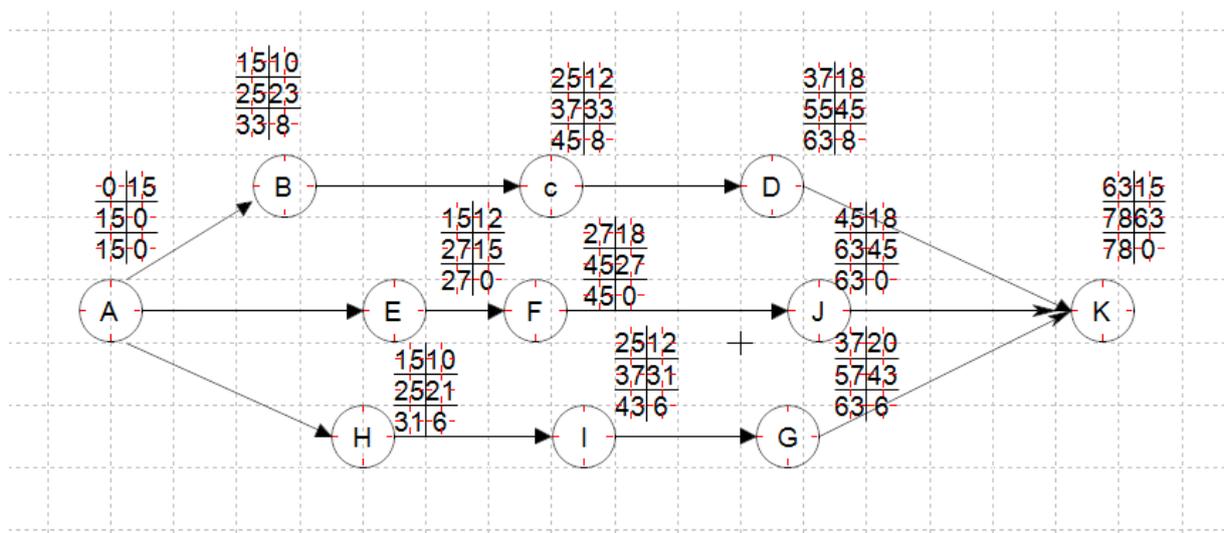
## Chapitre V : Etude technico-économique.

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

**Tableau.V. 5 : Succession des tâches**

operation	Précède	Durée (Jours)
A	B,E,H	15
B	C	10
C	D	12
D	E	18
E	F	12
F	J	18
J	K	20
H	I	10
I	G	12
G	K	18
I	G	15

Après la définition des successions des tâches on peut maintenant dessiner le réseau à nœuds de notre projet



**Figure.V. 1 : Réseau à nœuds**

# Chapitre V : Etude technico-économique.

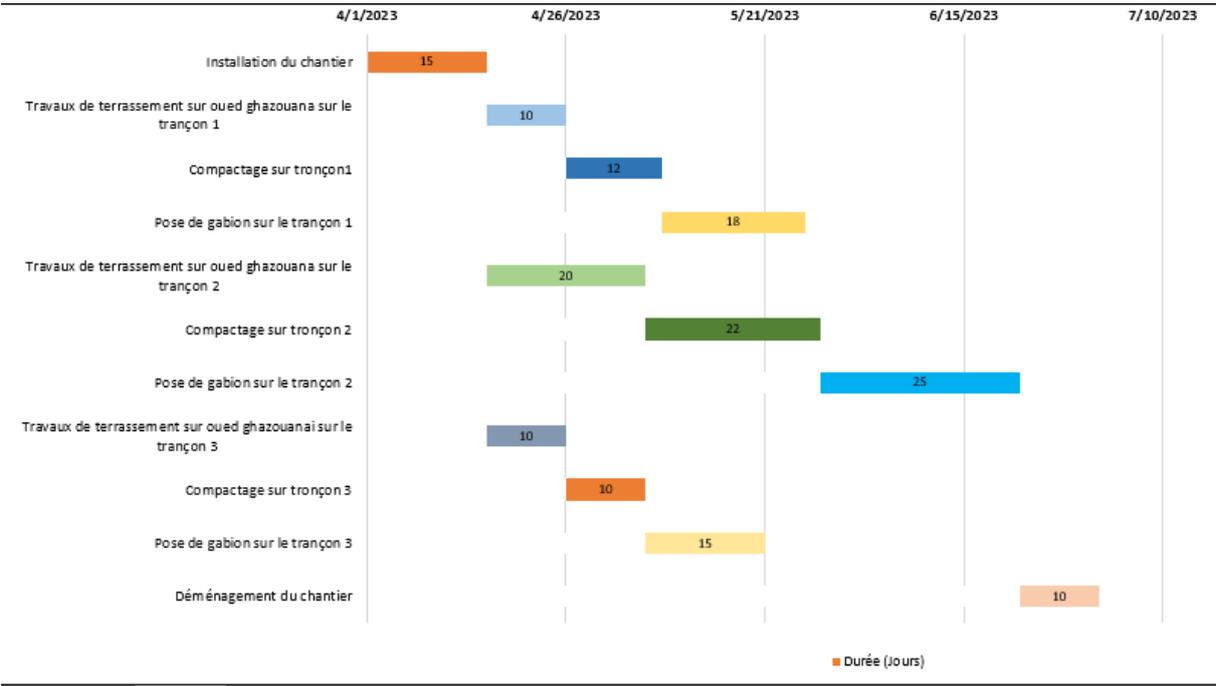


Figure.V. 2 : Diagramme de Gantt

### Conclusion :

Ce chapitre présente une étude technico-économique des variantes proposées en exposant les avantages, les inconvénients et le coût estimatif de chacune d’elles. Nous avons sélectionné la variante basée sur cette étude qui consiste en un aménagement en gabion

### Conclusion Générale :

Cette étude nous a fait prendre conscience de l'importance d'assurer la maintenance de l'Oued Ghazouana qui traverse la ville de Ghazaouet, afin de prévenir le risque d'inondation et de protéger les biens des habitants. Nous avons abordé tous les aspects liés à la réalisation de ce projet.

Après avoir présenté la zone d'étude, nous avons calculé le débit maximal de crue que doit évacuer ce cours d'eau. Ensuite, nous avons réalisé une analyse technico-économique pour sélectionner la solution d'aménagement la plus adaptée à notre objectif d'étude.

Pour déterminer les zones inondables, nous avons eu recours au logiciel HEC-RAS qui utilise le modèle de Saint-Venant monodimensionnel. L'entretien de l'aménagement s'effectue de l'amont à l'aval de la ville avec trois types de canaux qui tiennent compte des facteurs influençant un écoulement torrentiel.

Ce projet a un coût estimé en DA, et comme tout projet il nécessite un entretien et un suivi réguliers pour assurer un service optimal et une durée de vie satisfaisante.

Trois variantes sont proposées, mais après une analyse technico-économique nous en avons écarté deux variantes inadéquates pour ne retenir que la solution qui consiste à réaliser un canal en gabion.

## *Références Bibliographique*

1. **Ambroise B.** Dynamique de cycle de l'eau dans un bassin versant. 2<sup>ème</sup> Ed. Edition HGA:Bucarest- (1998).
2. **Bachi .M** : Problématique du Risque Inondation en milieu urbain ; cas de l'agglomération de Sidi Bel Abbés (2011).
3. **CTH** : «Etude de la protection de la ville de Ghazaouet contre les inondation ; Etude de l'aménagement d'oued Ghazouana- Wilaya de Tlemcen(2011).
4. **Degoutte, G., 2006.** Aide mémoire d'hydraulique a surface libre, Edition ENGREF
5. **TOUAÏBIA, B., 2004.** Manuel pratique d'hydrologie.

# ANNEXE

**Annexe 01 : Précipitation mensuelles à la station 040101 (1971-2010) à la station de Ghazaouet**

Années	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuelle
1971	5.7	6.9	170.8	111.2	55.8	40.9	105	33.1	32.3	2.8	0.3	0	564.8
1972	114.8	23.6	33.1	59	69.2	74	141.5	112.2	3.2	0	0	0	630.6
1973	42.2	11.8	23.2	194.7	0	167.5	119.7	46.2	0.1	1.3	0	0	606.7
1974	15.1	87.1	3.9	0	8.2	71.9	89	200.8	20.6	0.5	0	16.7	513.8
1975	7.6	6.6	34.8	14.9	56.2	89.2	28.5	129.9	62.3	9.9	0	10.3	450.2
1976	22	62	14.4	64.5	87.6	26.4	68.9	8.5	23.2	3.7	4.3	0	385.5
1977	0	36.9	111.4	15.3	82.2	12.9	49.8	71.2	14.7	0	0	0.8	395.2
1978	7.7	54	22.8	33.5	11.7	140	14.3	19.7	8.7	0.7	6.6	0	319.7
1979	10.3	132.9	28.6	100.2	20	66.8	117	22.7	20.3	0	0	0	518.8
1980	0.2	20.6	52.1	177.4	19.6	45.7	10.6	59.1	1.6	67.5	0	1.3	455.7
1981	3.5	0.7	0	17	11	43.4	3.8	70.6	105.7	0	0	4.1	259.8
1982	2.1	66.2	32.9	33.3	0	35.3	11.2	11.3	3.5	0	0	7.5	203.3
1983	0	0	44	105.2	22.3	48.8	16.9	3.2	71.2	0	0	0	311.6
1984	1	3.6	56.9	17.3	45.9	10.9	37.7	36.7	67.4	0	0	0	277.4
1985	2.5	0	12.2	28.7	39.9	118.3	79.1	50.4	6.4	2.6	0	0	340.1
1986	38.7	29.2	216.8	60	43.1	73.7	1	3.3	7.7	0.8	10.3	9.7	494.3
1987	35.1	33	32.5	26.3	20.9	23.5	4.9	21.8	32.3	10.9	0	0	241.2
1988	6.2	9.3	57.7	7.8	36.2	20.8	162	23	18.7	1.2	0	0.6	343.5
1989	13.4	7.6	17.3	18.8	169.9	0	35.1	69.2	12	0	0	0	343.3
1990	35.2	21	43.9	38.4	10.3	93.1	136.5	4.3	23.3	0	0	6.2	412.2
1991	16.4	30.5	31.8	48.34	19.2	25.1	88.9	23.9	124.3	34.5	0.2	0	412.2
1992	1.4	11.5	47.7	37.6	3.5	85.2	17.3	39.2	92	35.3	1.4	0	372.1
1993	7.6	37.1	80.7	4.3	67.7	60.8	26.6	11.9	16.9	0	1.5	0	315.1
1994	25.3	15.2	22.7	11.2	20.2	125.4	177	15	1.4	13.9	0.2	0.6	428.1
1995	13	21	14.8	27.7	59.9	47.5	36.4	25.3	20.8	0	1.7	20.5	288.6
1996	42.2	7.8	55.982	44.4	103	0	1.6	50.1	11.3	0	1	3.6	288.6
1997	46.9	5.7	48.8	61.4	11.1	30.6	44.2	19.5	7.4	3.1	0.1	12.2	291
1998	5.3	1.4	72.6	3.8	101.9	70.3	57.4	0	3.8	0.9	0	0	317.4
1999	24.4	26.8	115.8	79.3	1.6	0	12.4	11	16.2	0	0	0	287.5
2000	10	74.3	73.8	28	37.2	59.1	4.2	0	8	0	0	0	294.6
2001	22.1	17.4	153.3	31.8	3.2	6.7	40.3	77.6	49.9	0	0	45.4	447.7
2002	0	18.3	76.4	19.5	79.3	91	16.2	21.8	5	2.2	0	0	329.7
2003	0.3	43.4	69	63.9	47.6	40	147.8	25.1	34.4	3.5	0	2.9	477.9
2004	0	30.5	30.7	58.8	12.1	52.7	77.4	16.7	3	0	0	1.1	283
2005	5.2	29	45	49	35.2	60.61	28.4	24.1	31.2	11.7	0	0	308.21
2006	13.4	16.3	39.6	65	29.6	39.8	55.8	24.2	9	19.50	0	0	312.2
2007	8	28	53	28.79	33.5	63.19	30.2	20.7	0	3.2	3.5	0	272.18
2008	0	45	53	56.9	41.4	19.5	42.6	32.5	19.37	12.9	1.2	4	328.87
2009	21.3	29.6	19	44.7	89	65	55	0	22.3	5.3	0	0	368.11
2010	1.72	13	16	51.9	30.2	37.4	38.2	6.5	0	0	0	3.8	198.72
Pluies moyennes	17	28.1	56	48.3	40.5	55.8	58.2	39.2	27.3	5.7	0.8	4.2	379.4

## Annexe 02 : logiciel HEC-RAS

### 1. Modèle HEC-RAS

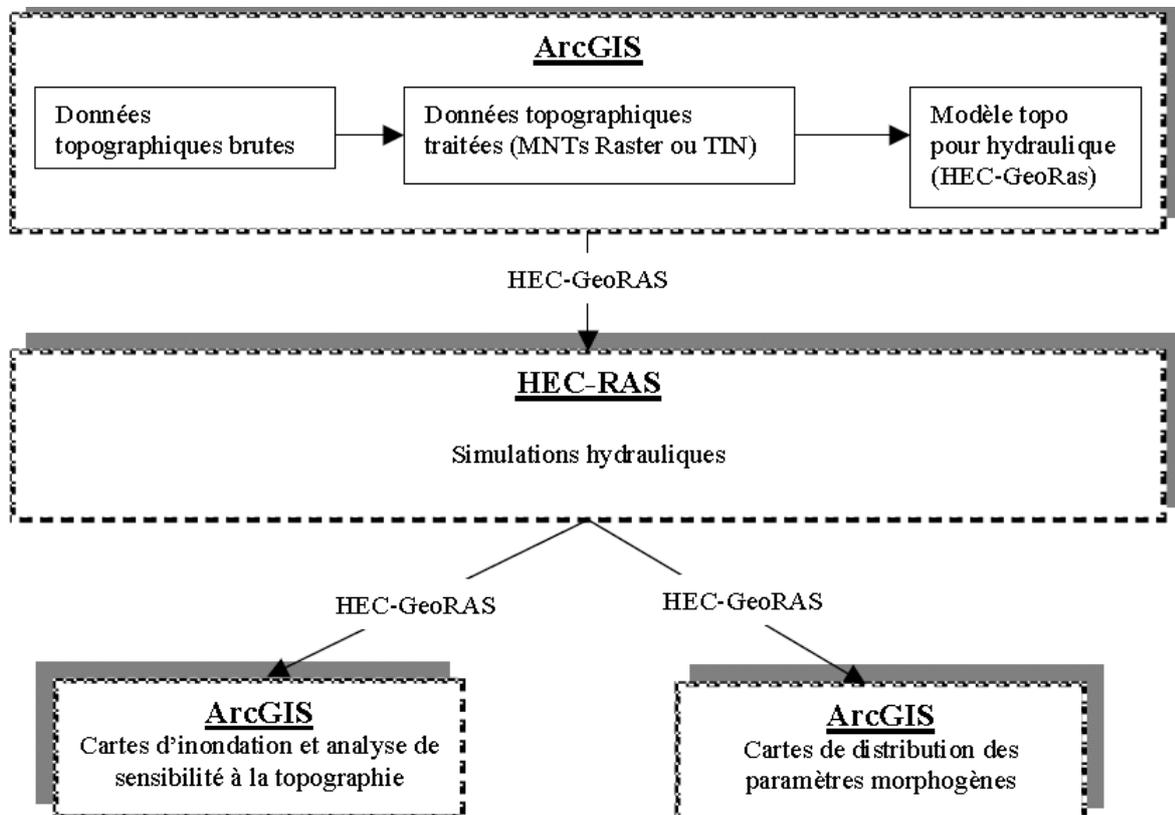
Le modèle HEC-RAS (the Hydrologic Engineering Center River Analysis System) <sup>□</sup> est un modèle unidimensionnel conçu par ; Hydrologic Engineering Centre de l'US Corp Engineers pour modéliser l'écoulement surface libre permanent et non permanent.

HEC-RAS est conçu principalement pour exécuter trois tâches :

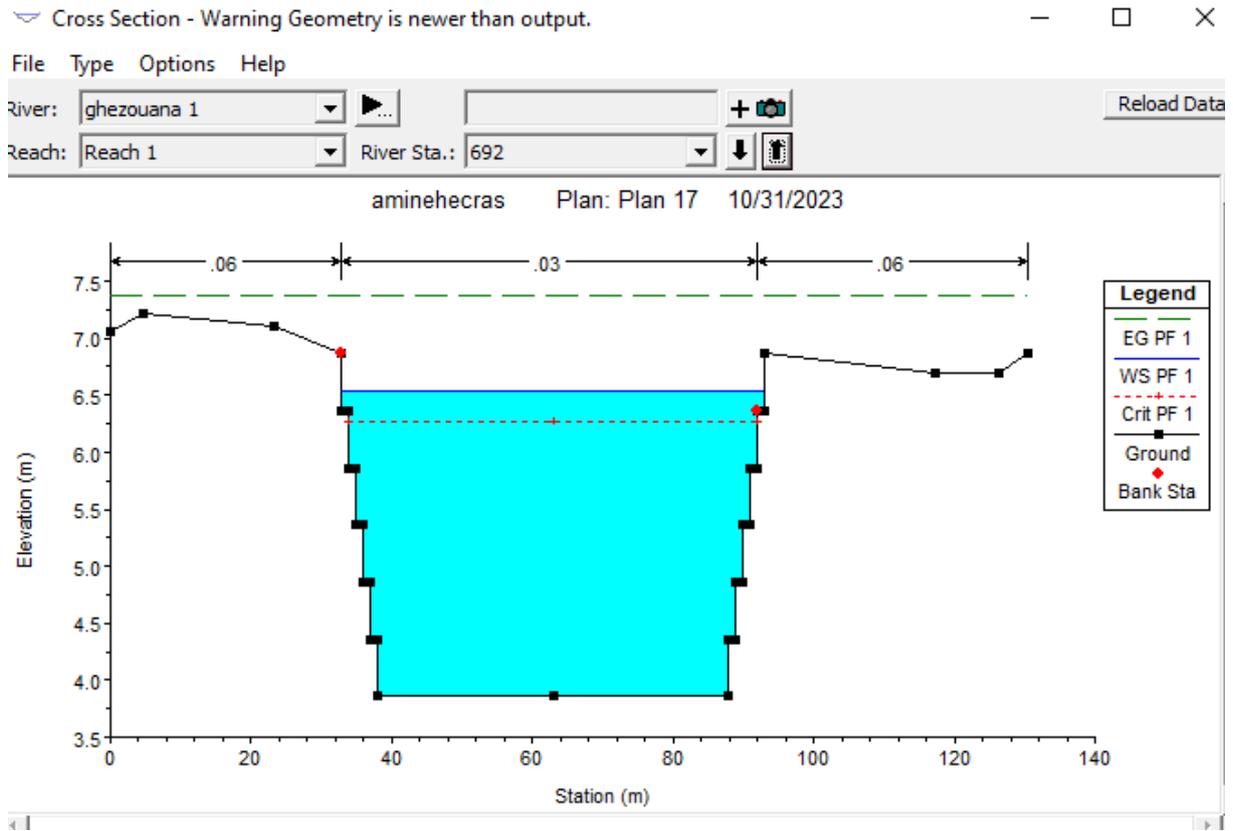
1. calcul des hauteurs d'eau dans un régime permanent.
2. simulation de l'écoulement non permanent
3. calcul de la capacité de transport solide

Les trois composants peuvent se présenter dans la même géométrie. En plus le système comporte plusieurs caractéristiques hydrauliques qui peuvent être appelés une fois les lignes d'eau sont calculées.

Le modèle est en développement continu. La version actuel est HEC-RAS 4.0 caractérisé, en comparaison avec les versions précédentes, par l'amélioration de calcul de transport solide et d'autres fonctionnalités sur la qualité des eaux



### Annexe 03 : Profils en travers d'Oued Ghazouana aménagé avec un canal en gabion.



### Annexe 04 : Caractéristique du mur de soutènement

