

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah-

**DEPARTEMENT AMENAGEMENT ET GENIE HYDRALIQUE**

## **MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

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

**Option: Conception et ouvrage hydrotechnique**

**THEME DU PROJET :**

**L'ETUDE D'AMENAGEMENT DE OUED KEROUCHE POUR  
LA PROTECTION DE LA VILLE DE TAREK IBN ZIAD  
CONTRE LES INONDATION (W.AIN DEFLA)**

**PRESENTE PAR :**

**LEFRAS Abderaouf**

**Devant les membres du jury**

| <b>Noms et Prénoms</b> | <b>Grade</b> | <b>Qualité</b> |
|------------------------|--------------|----------------|
| M A.HADJ SADOK         | M.C.A        | Président      |
| M A ZEROUAL            | M.C.B        | Examineur      |
| M E.BOUZIANE           | M.A.A        | Examineur      |
| M E.OSMANI             | M.A.A        | Examineur      |
| M M.BOUKHELIFA         | M.A.A        | Promoteur      |

**Septembre- 2018**

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail particulièrement à mes parents*

*Mon père Abdelkader et ma mère Karima merci maman*

*merci papa pour votre soutien, votre encouragement et votre*

*confiance,*

*Mon frère Oussama*

*Ma sœur Wafa*

*Chère fedoua*

*Mes amies qui m'ont accompagnées durant ce merveilleux*

*parcours.*

## Remerciement

Je remercie tout d'abord *ALLAH* le tout puissant pour m'avoir aidé et donné le courage, la patience, la volonté et la foi afin d'achever ce modeste travail et sans Lequel il n'aurait jamais été accompli.

Je remercie infiniment mon promoteur M<sup>r</sup> : Mustapha BOUKHELIFA pour ses qualités humaines, scientifiques et d'enseignement ; Je ne pourrai jamais Oublier sa gentillesse, ses conseils précieux, ses commentaires efficaces, ses remarques, ses encouragements. Un grand merci de m'avoir donné la chance d'être votre étudiante et de réaliser ce travail.

Je tiens à remercier l'ensemble des enseignants de l'ENSH, sans exception

Pour leurs conseils durant toute ma période d'étude.

Je tiens à remercier M<sup>r</sup> A.hadj sadok , d'avoir accepté de présider mon jury de soutenance, et également les membres du jury, M<sup>r</sup> A.Zeroual, M<sup>r</sup> M.Bouziane , M<sup>r</sup> E.Osmani de l'ENSH-Blida pour le temps consacré à l'évaluation du présent mémoire.

Je tiens à remercier tout les ingénieur de la direction de de ressources en eaux de la wilaya de Aïn defla .

Enfin, mes sincères remerciements s'adressent à tous ceux qui m'ont apporté leur aide et leur appui pour mener à bien ce travail.

LEFRAS ABDERAOUF

## ملخص

يتمثل الهدف من هذه الدراسة في حماية منطقة طارق ابن زياد من الفيضانات التي تصد في كل عام خسائر بشرية ومادية. وفي هذا الإطار، قمنا بدراسة هيدرولوجية باستعمال HEC-RAS، بغية تقدير التدفقات التي بإمكانها أن تمس المناطق المعنية بالدراسة.

وللحد من الظاهرة، قمنا بوضع خريطة للمناطق الفيضية باستعمال برنامج Civil 3D و AutoCAD، ثم اقترحنا مجموعة من التدابير اللازمة لتهيئة واد الكروش.

انطلاقاً من دراسة تقنية اقتصادية، قمنا بإعادة رسم المقطع العرضي لمجرى الوادي بالطريقة التي تسمح بإخلاء مياه الفيضانات بدون أخطار.

## Résumé

Le but de cette étude est la protection de la ville de Tarek Ibn Ziad contre les inondations qui causent chaque année des pertes humaines et matérielles. Dans ce contexte, nous avons élaboré une étude hydrologique en utilisant HEC-RAS afin d'estimer les débits qui peuvent affecter les zones concernées par l'étude.

Pour réduire le phénomène, nous avons élaboré à l'aide de AutoCAD et Civil 3D une carte des zones inondables. Ensuite, on a proposé un ensemble de mesures pour l'aménagement d'oued Kerouche .

Sur la base d'une étude technico-économique, nous avons fait un reprofilage de la section du cours d'eau de manière à évacuer les eaux de la crue sans dangers.

## Abstract

The purpose of this study is to provide the protection against the floods of the town of Tarek Ibn Ziad which induce each year human and material losses. In this context, we performed a hydrological study using HEC-RAS to estimate the flows that can affect the studied areas .To reduce the phenomenon, we elaborated by AutoCAD and Civil 3D a flood map. Then, we proposed a set of measures for wadi Kherouche adjustment. On the basis of a technical and economic study we rehabilitated the river section so as to evacuate the flood waters without dangers.

# Sommaire

|   |    |
|---|----|
| Sommaire.....   | 1  |
| Introduction Générale .....   | 1  |
| ChapitreI : Présentation de la zone d'étude .....   | 2  |
| I.1 Introduction .....  | 2  |
| I.3 Position géographique du site : .....   | 2  |
| I.4 Localisation de la zone d'étude : .....   | 3  |
| I.5.Situation climatique : .....  | 5  |
| I.5.1 Climat :.....   | 5  |
| I.5.2 Température de l'aire :.....  | 5  |
| I.5.3 Vitesse du vent : .....   | 6  |
| I.6 Répartition des pluies annuelles et mensuelles sur l'ensemble du bassin versant :.....  | 6  |
| I.7 Lithologie et structure géologique : .....  | 7  |
| I.7.1 Description lithologique des différentes tranchées au niveau de l'axe du site : ..... | 10 |
| I.7.2 Stabilité des rives :.....  | 13 |
| I.7.3 Etanchéité de la fondation .....  | 13 |
| I.7.4Résultats géotechniques au laboratoire et interprétation : .....                       | 13 |
| Interprétation: .....   | 17 |
| I.8 Caractéristiques du bassin versant : .....  | 18 |
| I.8.1 Définition d'un bassin versant .....  | 18 |
| I.8.2 Caractéristiques hydrologique du bassin versant : .....                               | 18 |
| I.8.3 Caractéristiques de forme.....  | 19 |
| I.8.4 Relief.....   | 21 |
| I.9.Temps de concentration :.....   | 30 |
| I.10. Conclusion : .....  | 33 |
| Chapitre II : Etudes des précipitations maximales journalières .....                        | 34 |
| II.1. Introduction :.....   | 34 |

|   |    |
|---|----|
| II.2. Précipitation : .....   | 34 |
| II.3. Précipitation moyenne annuelle : .....  | 36 |
| II.4. Les précipitations maximales journalières .....   | 36 |
| II.5. Les Caractéristique d'Ajustement des séries pluviométrique .....  | 38 |
| II.6. Ajustement des séries pluviométrique: .....   | 38 |
| II.6.1. Choix de la loi d'ajustement : .....  | 38 |
| II.6.2. Ajustement à la loi de Gumbel : .....   | 40 |
| II.6.3. Ajustement à la loi Log-normale (Galton):.....  | 42 |
| II.6.4. Test de validité d'un ajustement : .....  | 45 |
| II.7. Calcul de l'intensité de pluie de courte durée : [03] .....   | 47 |
| II.8. Conclusion .....  | 49 |
| Chapitre III :Estimation des débits de crues des cours d'eaux .....   | 50 |
| III.1. Introduction .....   | 50 |
| III.2. Présentation du bassin versant : .....   | 50 |
| III.3. Calcul des crues :.....  | 51 |
| III.3.1. le débit de crue du bassin versant de oued kerouche.....   | 51 |
| III.3.2. Les débits des crues du sous bassin versant n°1 d'oued Kerouche : .....  | 56 |
| III.4 Construction des hydrogrammes des crues (SOKOLOVSKY) :.....   | 56 |
| III.4.1. Calcul des débits de pointe en cas de débordement de la retenue collinaire d'oued<br>Rahil affluent d'oued Kerouche :..... | 57 |
| III.5. Tronsport solide :.....  | 59 |
| III.5. Conclusion :.....  | 59 |
| Chapitre IV : Etude des écoulements dans les cours d'eaux non aménagés .....  | 60 |
| IV.1 Introduction .....   | 60 |
| IV.2 Description du réseau à simuler .....  | 60 |
| IV.3 Simulation de l'écoulement sur HEC-RAS :.....  | 61 |
| IV.4 Démarche de la simulation :.....   | 61 |

|   |    |
|---|----|
| IV. Conclusion :.....   | 69 |
| Chapitre V : Etude des variantes d'aménagement pour le système de protection contre les inondations ..... | 70 |
| V.1 Introduction .....  | 70 |
| V.2 Canalisation : .....  | 70 |
| V.3 Variante proposée : .....   | 71 |
| V.4 Première Variante : Aménagement en enrochement .....  | 72 |
| V.4.1 Choix de la formule de dimensionnement .....  | 72 |
| V.4.2 Procédé de calcul .....   | 73 |
| V.4.3 Les résultats par itération.....  | 74 |
| V.4.4 Simulation des résultats .....  | 75 |
| V.4.5 Interprétation des résultats :.....   | 76 |
| V.4.6 Devis estimatif et Quantitatif :.....   | 79 |
| V.5 deuxième Variante : Canal en béton armé.....  | 80 |
| V.5.1 Dimensionnement :.....  | 80 |
| V.5.2 Interprétation des résultats.....   | 81 |
| V.5.3 Estimation du coût de la variante : .....   | 82 |
| V.6 Choix de la variante d'aménagement : .....  | 83 |
| V.6.1 Critères d'évaluation : .....   | 83 |
| V.6.2 La variante choisit : .....   | 83 |
| V.7 Conclusion :.....   | 84 |
| Conclusion générale .....   | 85 |
| Bibliographie : .....   | 86 |

## Liste des figures

|  |    |
|--|----|
| Figure I. 1 :image présente la situation géographique de la zone d'étude.....  | 3  |
| Figure I. 2: Extrait de la carte d'état major de Theniet El Had n° NI – 31 – XXI – 1 Ouest au 1/50.000 <sup>e</sup> avec situation du village de Tarik Ibn Ziad et de l'oued Kherbouche..... | 3  |
| Figure I. 3: Photo satellite de la zone d'étude d'oued Khérouche a Tarik Ibn Ziad.....   | 5  |
| Figure I. 4: le levé géologique n°1.....   | 8  |
| Figure I. 5 : le levé géologique n°2.....  | 8  |
| Figure I. 6: le levé géologique n°3.....   | 9  |
| Figure I. 7 : Photos de la fouille F1 en rive droite près du stade.....  | 10 |
| Figure I. 8 : Vue de la fouille F2 en rive gauche de l'oued Kerouche.....  | 11 |
| Figure I. 9 :la courbe granulométrique du F1.....  | 15 |
| Figure I. 10 : la courbe granulométrique du F2.....  | 15 |
| Figure I. 11 : la courbe granulométrique du F3.....  | 16 |
| Figure I. 12: Courbe hypsométrique d'oued Kerouche.....  | 22 |
| Figure I. 13 :pente de talweg principale.....  | 29 |
| Figure II. 1 :les caractéristiques statistiques de la série par la méthode de gumbel.....  | 40 |
| Figure II. 2: ajustement graphique a la loi de gumbel des pluies annuelle sur le bassin versant d'Oued kerouche.....   | 40 |
| Figure II. 3 :les caractéristiques statistiques de la série par la methode de galton.....  | 43 |
| Figure II. 4: ajustement graphique de la loi de galton des pluies annuelle sur le bassin versant d'Oued kerouche.....  | 44 |
| Figure II. 5: comparaison des deux lois.....   | 45 |
| Figure II. 6: Précipitation et intensités maximales pour les différentes périodes de retour.....   | 47 |

|   |    |
|---|----|
| Figure III. 1: Hydrogrammes de crues d'oued kerouche.....   | 56 |
| Figure III. 2 :Hydrogrammes de crues d'oued Kerouche en tenant compte le déversement des crues de la retenue collinaire d'oued Rahil..... | 5  |
| Figure IV. 1 Décharge sauvage de déblais du chantier et ordures en tous genres sur la rive droite de l'oued à l'amont de la ville.....    | 59 |
| Figure IV. 2 Oued kerouche chargés sur HEC-RAS.....   | 61 |
| Figure IV. 3 résultat de la simulation a l'aval de oued kerouche.....   | 64 |
| Figure IV. 4 :une coupe le long de oued kerouche.....   | 64 |
| Figure IV. 5 : des coupe le long de oued kerouche.....  | 65 |
| Figure IV. 6 :résultat de la simulation a l'amont de l'oued.....  | 66 |
| Figure IV. 7 Profil en long de oued kerouche après la simulation.....   | 66 |
| Figure IV. 8 : la zone inondable de oued kerouche .....   | 67 |
| Figure V. 1 schéma type d'aménagement en enrochement.....   | 71 |
| Figure V. 2profil en travers de la section en amont de oued.....  | 75 |
| Figure V. 3Profil en travers de la section le long de oued.....   | 75 |
| Figure V. 4Vue en Plan en 3D du tronçon d'Oued kerouche aménagé.....  | 76 |

## Liste des tableaux

|  |    |
|--|----|
| Table I. 1: La distribution mensuelle de la température maximale, minimale et moyenne est donnée dans le tableau.....  | 5  |
| Table I. 2: les valeur de la vitesse de vent.....  | 6  |
| Table I. 3 : La répartition des pluies interannuelle sur l'ensemble du B.V.....  | 7  |
| Table I. 4 récapitulatif des résultats des essais physiques et mécaniques des échantillons de fouilles prélevés au niveau d'oued Kerrouche (laboratoire inzamac Algérie )..... | 17 |
| Table I. 5: les paramètres morphométriques du bassin versant.....  | 21 |
| Table I. 6: surface partielles des sous bassin par tranche d'altitudes.....  | 23 |
| Table I. 7 les différentes altitudes caractéristique du bassin.....  | 25 |
| Table I. 8: Classification du relief (O.R.S.T.O.M).....  | 25 |
| Table I.9 classification des cours d'eau de l'oued kerouche.....   | 26 |
| Table I .10 calcule de la pente .....  | 28 |
| Table I. 9: Valeurs du temps de concentration estimé par différentes formules.....   | 31 |
| Table I. 10: Récapitulatif des caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant du oued kerouche.....   | 32 |
| Table II. 1: Coordonnées Lambert des stations pluviométriques.....   | 34 |
| Table II. 2 :Pluies maximales journaliers de la station de références (070704)..   | 36 |
| Table II. 3: les caractéristique d'ajustement de la serie.....   | 37 |
| Tableaux II. 4 : Pluies fréquentielles en mm de durée (tc).....  | 47 |
| Tableau III. 1: Coordonnées UTM du bassin versant et du sous bassin n°1 d'oued kherouche du site de la retenue collinaire d'oued Rahil.....                                    | 50 |
| Tableau III. 2Débit de crues fréquentielles d'oued Kerouche (Sokolovsky).....  | 51 |
| Tableau III. 3: valeur de coefficient de ruissellement C.....  | 52 |
| Tableau III. 4: Débit de crue de oued kerouche.....  | 52 |

|  |    |
|--|----|
| Tableau III. 5 : Débit des crues fréquentielles d'oued Kerouche (Mallet-Gauthier).....   | 53 |
| Tableau III. 6: Débit de crues fréquentielles d'oued kerouche.....   | 54 |
| Tableau III. 7: les résultats finals.....  | 54 |
| Tableau III. 8 Débit des crues fréquentielles du sous bassin versant n°1 d'oued Kerouche (S=10,62 Km <sup>2</sup> ).....                   | 55 |
| Tableau III. 9Débit des crues fréquentielles d'oued Kherouche en cas de déversement des crues dans la retenue collinaire d'oued Rahil..... | 57 |
| Tableau IV. 1 : le debit d'entree de oued kerouche.....  | 62 |
| Tableau IV. 2 : coefficient de Manning choisi pour oued kerouche .....   | 62 |
| Tableau V. 1 : Aménagement proposer .....  | 70 |
| Tableau V. 2 pente et fruit de talus correspondants.....   | 72 |
| Tableau V. 3resultats de la 1 ere variante.....  | 73 |
| Tableau V. 4résultat de simulation de Oued_kerouche .....  | 74 |
| Tableau V. 5 :estimation du cout de l aménagement.....   | 77 |

## **Liste Des Planches**

**Planche N°1** : Carte Des Zone Inondables

**Planche N°2** : Coupes Types Des Aménagements

**Planche N°3** : Vue En Plan Des Aménagements

**Planche N°4** : Profile En Long d'Oued Kerouche



## Introduction Générale

L'eau sous toutes ses formes, joue des rôles multiples dans la vie humaine. Pourtant, elle est également source de graves difficultés en particulier dans les domaines de la santé et de l'environnement.

L'inondation est le débordement d'un cours d'eau hors de son lit habituel entraînant la submersion d'espace habituellement exondés. Il s'applique aussi au remplissage d'une cuvette topographique par les eaux de ruissellement local. On parle alors d'inondation pluviale. Ces phénomènes se distinguent par la vitesse de l'eau, le volume d'eau écoulé et la hauteur d'eau.

Les plus fortes crues des cours d'eau de l'Algérie se manifestent en automne et en hiver à cause des orages et des averses intenses (**B.TOUAIBIA-manuel pratique d'hydrologie ; Mars 2004**), ces fortes crues engendrent des inondations catastrophiques dont les dégâts humains et matériels ont été toujours très élevés d'où l'historique des inondation en Algérie montre que 1/3 des commune de l'Algérie sont susceptibles d'être inondées.

Dans ce mémoire nous allons faire un aménagement pour la protection contre ce phénomène pour la ville de Tarek Ibn Ziad traversée par Oued Kerouche . Pour arriver à l'aménagement final on va passer par plusieurs étapes en commençant par une présentation de la zone d'étude puis une estimation des précipitations maximales journalières, pour avoir l'hydrogramme de crues. Une fois ce dernier est estimé on va déterminer la carte des zones inondables passant par Auto cade, Hec-Ras, Autocad civil 3D à l'aide du Levé topographique de la zone d'étude. Finalement on propose un aménagement pour l'oued et l'évalue au terme quantitatif et financier

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

### I.1 Introduction

L'eau de l'Algérie se manifestent en automne et en hiver à cause des orages et des averses intenses, ces fortes crues engendrent des inondations catastrophiques dont les dégâts humains.

L'eau sous toutes ses formes, joue des rôles multiples dans la vie humaine. Pourtant, elle est également source de graves difficultés en particulier dans les domaines de la santé et de l'environnement. Les évolutions climatiques engendrent parfois des crues ou inondations et orages brutaux qui sont sans doute le risque naturel majeur qui fait le plus de victimes et de dégâts à travers le monde.

L'Algérie connaît épisodiquement des phénomènes de crues et d'inondations qui se manifestent de façon catastrophique. Par conséquent, des inondations dramatiques ne sont pas toujours liées à des situations météorologiques exceptionnelles, mais dans beaucoup de cas, elles surviennent lors d'événements pluvieux ordinaires et saisonniers.

D'après le recensement effectué par les services de la protection civile, une commune sur trois est susceptible d'être inondée partiellement ou en totalité. (**LABED Zakaria (2011.)**)

### I.3 Position géographique du site :

La commune de Tarik Ibn Ziad est située dans les monts de l'Ouarsenis ; elle s'étend sur une superficie de 406,50 kilomètres carrés.

La localité chef-lieu est à environ 630 mètres d'altitude et à 20 kilomètres au nord de Theniet El Had.

Villes et villages voisins : Youssoufia , Bordj El Emir Abdelkader et Bordj Emir Khaled.



Figure I. 1 : image presente la situation géographique de la zone d'étude

#### I.4 Localisation de la zone d'étude :

L'oued Kerouche (dénommé oued Mzirar à l'entrée du village et oued Hlil à sa sortie d'après la carte d'état major, nouvelle édition) prend sa source du côté de djebel Mekaoutou à l'Ouest du village de Tarik Ibn Ziad, à une altitude d'environ 1040 mètres et à Gâdet Moulay Abdelkader, du côté de djebel Smada et Douar El Ktarnia, au Sud-Ouest du village à une altitude d'environ 1080 m.

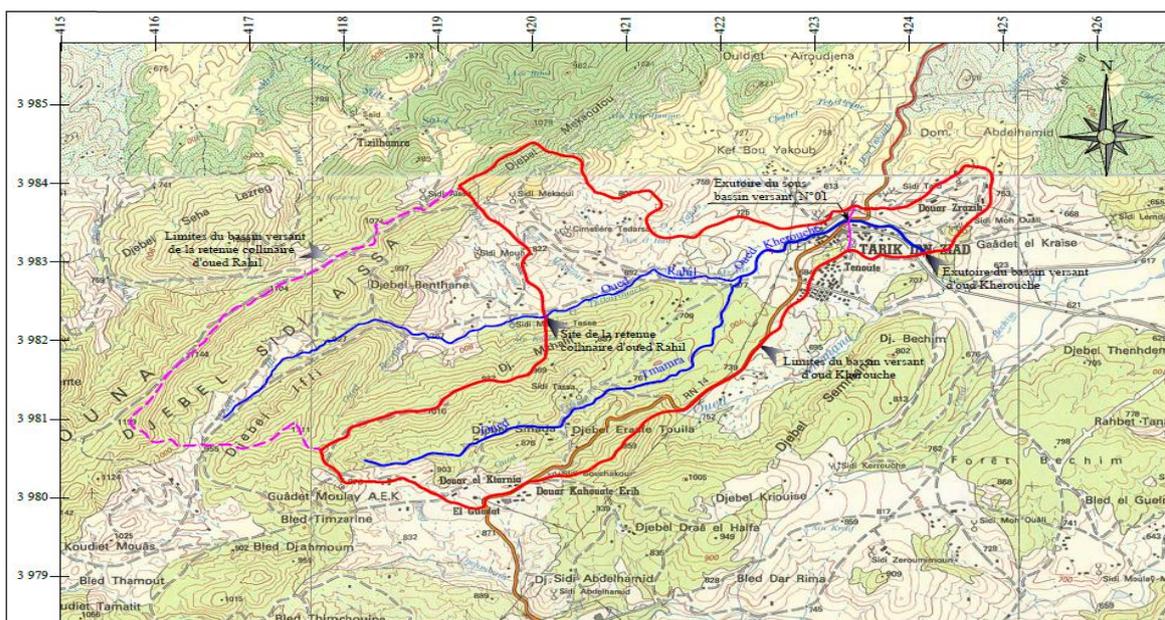


Figure I. 2: Extrait de la carte d'état major de Theniet El Had n° NI – 31 – XXI – 1 Ouest au 1/50.000<sup>e</sup> avec situation du village de Tarik Ibn Ziad et de l'oued Kherbouche

## CHAPITRE I

### Présentation de la zone d'étude

L'oued Kerouche est limité au Nord par l'oued Yahia Mebrouk et Douar Zrazih, à l'Ouest par les djebels Sidi Aïssa et Benthane bordant chaabet Yerzene, à l'Est par le barrage Deurdeur et Gâadet El Kraïse et au Sud par les djebels Semmana et Bechim qui bordent oued Semmana en rive droite.

Pour atteindre oued Kerouche qui longe le village de Tarik Ibn Ziad, en venant de l'autoroute Est-Ouest, nous devons emprunter la route nationale n° 14 qui relie Khémis Miliana à Tissemsilt. Nous prenons la direction de Tissemsilt, traverser les villages de Bir Ould Khélifa, ensuite Bordj Emir Khaled pour atteindre enfin le village de Tarik Ibn Ziad. La distance entre Khémis Miliana et Tarik Ibn Ziad est d'environ 38 km

Pour la détermination des caractéristiques hydrologiques nécessaires au dimensionnement hydraulique des ouvrages d'évacuation des eaux de l'oued kerouche, un premier exutoire du bassin versant a été fixé sur site au niveau du pont de la RN11 à l'entrée Nord de la ville de Tarek Ibn Ziad et un deuxième exutoire à la fin de la zone d'étude, respectivement aux coordonnées suivantes :

- X1 = 422,269 Km / Y1 = 3 983,011 Km et
- X2 = 423,801 Km / Y2 = 3 982,946 Km .

La délimitation du bassin versant au droit de l'exutoire et la détermination de la surface de ce dernier ont été réalisées sur la base de la carte topographique Theniet El Had ( N° NI-31-XXI-1 Ouest, échelle 1/50.000<sup>e</sup>) et Djendel (N° NI-31-III-7 Ouest, échelle 1/50.000<sup>e</sup>), sa superficie est de 11,60 Km<sup>2</sup>.

Oued Kerouche résulte de la confluence de deux oueds en l'occurrence oued Tmamra et oued Rahil. Le bassin versant culmine à une altitude de 1066 m au Djebel Mekaoutou.



**Figure I. 3: Photo satellite de la zone d'étude d'oued Khrouche a Tarik Ibn Ziad**

## I.5.Situation climatique :

### I.5.1 Climat :

L'absence de station climatologique dans le bassin versant d'oued Kherouche, nous a amené à retenir la station climatologique de Miliana, analogue et proche du lieu d'étude, et ce afin d'estimer les différents paramètres climatiques. Cette station est gérée par l'Office National de la Météorologie (ONM d'Algérie).

### I.5.2 Température de l'aire :

**Table I. 1: La distribution mensuelle de la température maximale,minimale et moyenne est donnée dans le tableau**

| Mois                  | J    | F    | M    | A    | M    | J    | J    | A    | S    | O    | N    | D    | Anné        |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| T <sub>moy</sub> (°C) | 10.3 | 11.3 | 13.0 | 15.5 | 19.6 | 24.8 | 28.8 | 25.4 | 25.3 | 19.2 | 14.3 | 11.1 | <b>18.2</b> |
| T <sub>max</sub> (°C) | 15.7 | 17.4 | 20.1 | 22.6 | 26.5 | 32.3 | 37.2 | 36.9 | 32.9 | 26.4 | 20.5 | 16.9 | <b>25.4</b> |
| T <sub>min</sub> (°C) | 5.1  | 6.3  | 6.7  | 9.4  | 13.0 | 17.4 | 20.7 | 21.2 | 19.3 | 14.0 | 9.5  | 6.7  | <b>12.4</b> |

D'après ce tableau, la valeur de la température moyenne est de 18,2°C. La valeur maximale est enregistrée pendant les mois de juillet qui est de 37,2 °C. La valeur minimale est de 5,1 °C, enregistrée durant le mois de janvier.

Les températures moyennes mensuelles allant de novembre à avril sont inférieures à la moyenne annuelle, à comparer avec les températures des mois de mai à octobre qui sont supérieures à cette dernière.

Ceci permet de distinguer deux périodes de l'année : saison froide (de novembre à avril) et saison relativement chaude (de mai à octobre).

### I.5.3 Vitesse du vent :

Les valeurs de la vitesse du vent (valeurs mensuelles et annuelles en m/s) sont présentées dans le tableau 2

**Table I. 2: les valeur de la vitesse de vent**

| Mois           | J   | F   | M   | A   | M   | J   | J   | A   | S   | O   | N   | D   | Année      |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------|
| Vent moy (m/s) | 1.9 | 2.3 | 2.4 | 2.7 | 2.8 | 2.9 | 2.8 | 2.6 | 2.3 | 2.2 | 2.1 | 2.1 | <b>2.4</b> |

D'après le tableau la valeur moyenne annuelle de la vitesse du vent est de 2,4 m/s. Elle est maximale pendant le mois de Juin et minimale pendant le mois de Janvier

### I.6 Répartition des pluies annuelles et mensuelles sur l'ensemble du bassin versant :

Sur la base de l'effet de l'accroissement de la pluviométrie en fonction de l'altitude, la valeur de la pluie moyenne annuelle la plus probable est de l'ordre de 485 mm sur l'ensemble du bassin versant. Cette valeur est déterminée sur la base des données de la station pluviométrique de Tarek Ibn Ziad confirmée par la carte pluviométrique du Nord de l'Algérie établie par l'ANRH

**Table I. 3 : La répartition des pluies interannuelle sur l'ensemble du B.V (1968-2009)**

| Mois   | sept  | oct   | nov   | Dec   | janv  | fev   | mars  | avril | Mai   | juin  | juil | aout | annuel |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|
| P (mm) | 25.79 | 44.18 | 54.38 | 68.83 | 65.67 | 65.94 | 57.98 | 48.24 | 32.30 | 12.39 | 3.35 | 5.23 | 485    |
| P (%)  | 5.32  | 9.11  | 11.21 | 14.19 | 13.54 | 13.60 | 11.96 | 9.95  | 6.66  | 2. 5  | 0.69 | 1.08 | 100    |

La répartition inter-saisonnière de la pluie sur l'ensemble du bassin versant est caractériser par deux saisons bien marquer :

- Une période humide allant d'Octobre à Mai qui correspond à plus de 90 % du total annuel ;

-Une saison sèche allant de Juin à Septembre avec des minima en Juillet et Août durant lesquels les précipitations sont pratiquement très faibles.

### **I.7 Lithologie et structure géologique :**

L'oued Kerouche montre une succession de formations sédimentaires entre les alluvions actuelles de l'oued au niveau du lit mineur et les terrasses qui longent l'oued en bordure. Les alluvions actuelles de l'oued sont tantôt fines tantôt grossières avec principalement des limons servant de matrice pour les galets et graviers qui composent ces alluvions. Les terrasses dénotent un ensemble limono-sableux avec une fraction graveleuse plus importante en profondeur. Nous retrouvons également les schistes bleuâtres du Barrémien en rive gauche de l'oued Kerouche tout le long de l'oued et deviennent plus visibles au niveau de la brigade de gendarmerie, là où l'oued change de direction d'écoulement. (voir les photo ci-dessous).



Figure I. 4: le levé géologique n°1



Figure I. 5 : le levé géologique n°2



**Figure I. 6: le levé géologique n°3**

**I.7.1 Description lithologique des différentes tranchées au niveau de l'axe du site :**

- ❖ Fouilles F1: réalisée en rive droite de l'oued Kerouche , près du stade.(source laboratoire Inzamac Algerie)

De 0 à 1,00 m de profondeur, nous observons des alluvions grossières, constituées de gros cailloux, de gros galets, des galets de plus petit diamètre, de sable fin et des limons. La matrice est sablo-limoneuse mais en très faible proportion. La fraction caillouteuse est importante. Les éléments sont émoussés traduisant un transport fluvial. Nature calcaire des galets et graviers. Niveau d'eau à 1,0 m de profondeur.

De 1,00 à 1,20 m de profondeur, nous rencontrons des schistes bleus durs, se débitant en petites lamelles datés du Barrémo-Aptien autochtone.

Nous avons fait le prélèvement d'un (01) échantillon remanié entre 0,5 et 1,0 m de profondeur. La limite d'investigation a été établie à 1,20 m de profondeur



**Figure I. 7 : Photos de la fouille F1 en rive droite près du stade**

- ❖ **Fouille F2** : Située en rive gauche de l'oued Kerouche , en aval de F1, .(source laboratoire Inzamac Algerie)

De 0 à 0,50 m de profondeur, nous avons mis en évidence de la terre végétale constituée de limons argileux bruns. Elle recouvre une bonne partie des terrasses alluviales.

De 0,50 à 1,20 m de profondeur, nous avons mis en évidence des limons sablo-graveleux bruns, grenus et grumeleux, renfermant des racines de végétaux. En surface, les limons ne renferment ni galets ni graviers, alors qu'en profondeur, ils sont beaucoup plus présents. Ils sont de nature calcaire, émoussés et humides. Par les rejets domestiques environnants, les limons deviennent noirs et gris. Il y a présence d'eau à 1,20 m de profondeur.

De 1,20 à 1,40 m de profondeur, nous avons heurté un banc de grès peu épais appartenant probablement au flysch albien à grains très fins, de teinte brune, dur au toucher, que l'on peut voir à l'affleurement. Il s'agit du substratum.

Il y a eu prélèvement d'un (01) échantillon remanié et de trois (03) échantillons intacts paraffinés à 1,0 m de profondeur. La limite d'investigation a été établie à 1,40 m de profondeur.



**Figure I. 8** Vue de la fouille F2 en rive gauche de l'oued Kherbouche.

- ❖ **Fouille F3** : Située en rive droite d'oued Kerouche , en aval de F2. .(source laboratoire Inzamac Algérie)

De 0 à 2,50 m de profondeur, nous avons des limons sablo-graveleux bruns, d'aspect terreux, représentant des dépôts de terrasses alluviales avec un remplissage assez conséquent. En profondeur, la fraction graveleuse est plus importante qu'en surface. Les galets et graviers sont de nature calcaire, émoussés et parfois à contour anguleux et humides. Nous avons une résurgence d'eau à 2,20 m de profondeur. Nous avons pu récupérer trois (03) échantillons intacts paraffinés et un (01) échantillon remanié à 2,0 m de profondeur. La profondeur d'investigation est de 2,50 m.

### **I.7.2 Stabilité des rives :**

Les talus que l'on peut voir le long de l'oued Kerouche sont soit à l'état stable soit ils n'existent pas et l'on confond dans ce cas le lit majeur avec le lit mineur de l'oued.

Les rives ne demandent pas de traitement particulier pour un confortement éventuel. Cependant, les matériaux fins qui composent les rives de l'oued sont facilement érodables puisqu'elles ne sont pas rocheuses et que dans ce cas, elles doivent être protégées par un revêtement en dur pour qu'ils puissent résister aux plus fortes crues.

### **I.7.3 Etanchéité de la fondation**

Il est évident que par définition, les schistes et les limons constituent un matériau étanche dans le contexte hydrogéologique et que de ce fait, ils peuvent assurer une étanchéité parfaite dans le cas où une partie des rives ou talus ne serait pas recouverte par un revêtement en dur (maçonnerie ou en béton).

### **I.7.4 Résultats géotechniques au laboratoire et interprétation :**

Les différentes investigations réalisées dans le lit de l'oued Kerouche nous ont permis de définir d'un point de vue géotechnique les différentes formations lithologiques qui seront concernées par l'aménagement de l'oued. Nous avons pour cela fait un échantillonnage des dites formations que nous développons dans ce qui suit :

#### **➤ Analyse granulométrique :**

Les courbes granulométriques des échantillons F1, F2 et F3 sont semblables. Elles ont pratiquement la même allure générale. Elles commencent par des cailloux et graviers et se terminent par des limons et argiles, en passant par le gros sable et le sable fin, ce qui donne une distribution spatiale assez large et continue. Ce sont des courbes étalées et plus ou moins continues.

L'échantillon F1 prélevé en rive droite de l'oued, a une courbe granulométrique étalée et plus ou moins continue concentrée principalement dans les graviers, gros sable et sable fin. L'intérêt de la répartition dimensionnelle des éléments d'un sol permet souvent son identification géologique quand la manipulation lors de l'essai a été faite. De plus, elle offre toujours une approche

## CHAPITRE I

---

### Présentation de la zone d'étude

intéressante de ses qualités géotechniques, notamment par la connaissance de l'importance relative de la phase argileuse. Nous avons une phase graveleuse représentant pratiquement 33% de l'échantillon, 52 % de sable grossier et fin et enfin 15 % de limons et argiles. Il s'agit d'un sable graveleux

La courbe granulométrique de l'échantillon F2, en rive gauche de l'oued Kerouche, en aval de F1, est de forme étalée et continue ce qui dénote une distribution proportionnelle de tous les éléments, à savoir, les graviers et cailloux avec une proportion relativement élevée de 41 %, de 48 % de gros sable et sable fin, et 11 % de limons et d'argile. Il s'agit d'un sable graveleux.

La courbe de l'échantillon F3 ressemble beaucoup aux courbes précédentes puisqu'il s'agit pratiquement du même matériau. Elle est étalée et continue avec une légère flexion au niveau du gros sable. Elle débiterait dans les cailloux et graviers avec environ 36 %, 46 % de gros sable et sable fin et 18 % entre limons et argiles. C'est une composition lithologique typique de terrasses alluviale. Il s'agit d'un sable gravelo-limoneux.

D'après la classification USCS, que l'on peut trouver dans l'ouvrage « La pratique des sols et fondations » de Georges FILLIAT, les trois échantillons F1, F2 et F3 appartiendraient aux sols grossiers dont plus de la moitié du matériau est de dimension supérieure à l'ouverture de maille du tamis n° 200 ou 0,074 mm (voir les courbes granulométriques ci-dessous ) et plus de la moitié de la fraction grossière est de dimension plus petite que le tamis n° 04 qui correspond à une ouverture de 6 mm, correspondent au symbole de groupe **SM**. Ce sont des sables limoneux inorganiques à faible plasticité. Ils ont une ténacité à l'état sec nulle à faible. La cohésion est très faible et une possibilité de tassement et de gonflement faible à moyenne. Les caractéristiques drainantes sont médiocres à pratiquement imperméables.

La contrainte admissible du sol sera fonction du poids du canal qu'il soit en enrochement ou en maçonnerie et de l'eau qui transitera par ce canal. Cette contrainte sera faible et le tassement du sol sera amoindri.

# CHAPITRE I

## Présentation de la zone d'étude

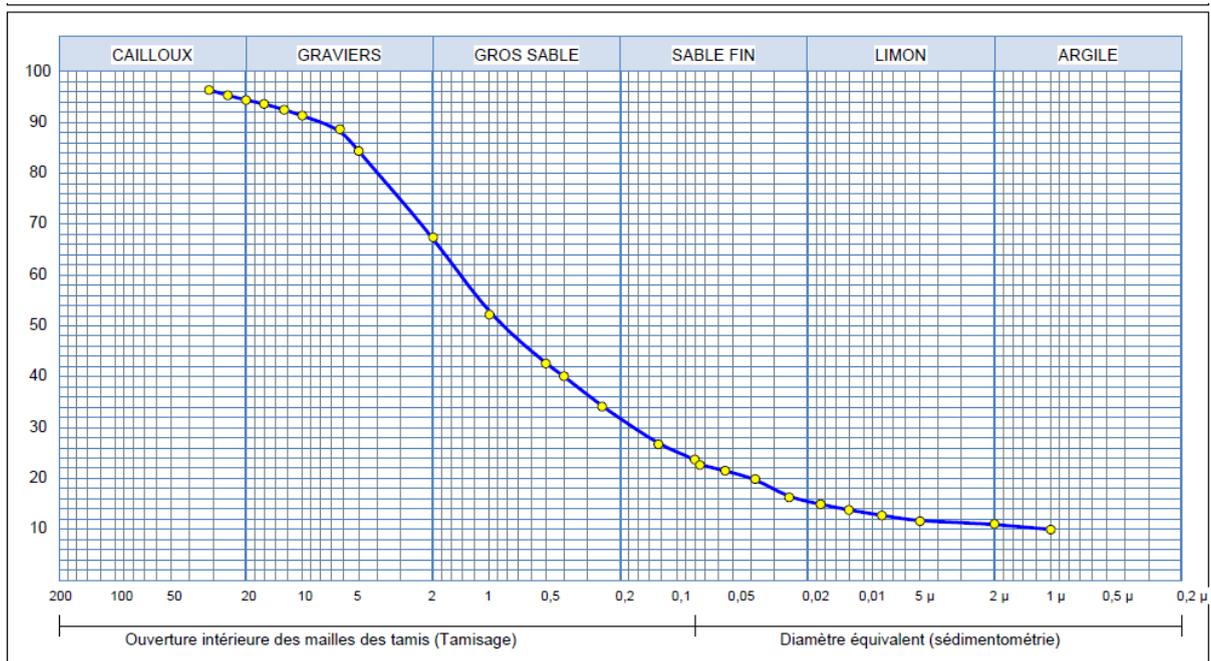


Figure I. 9 : la courbe granulometrique du F1

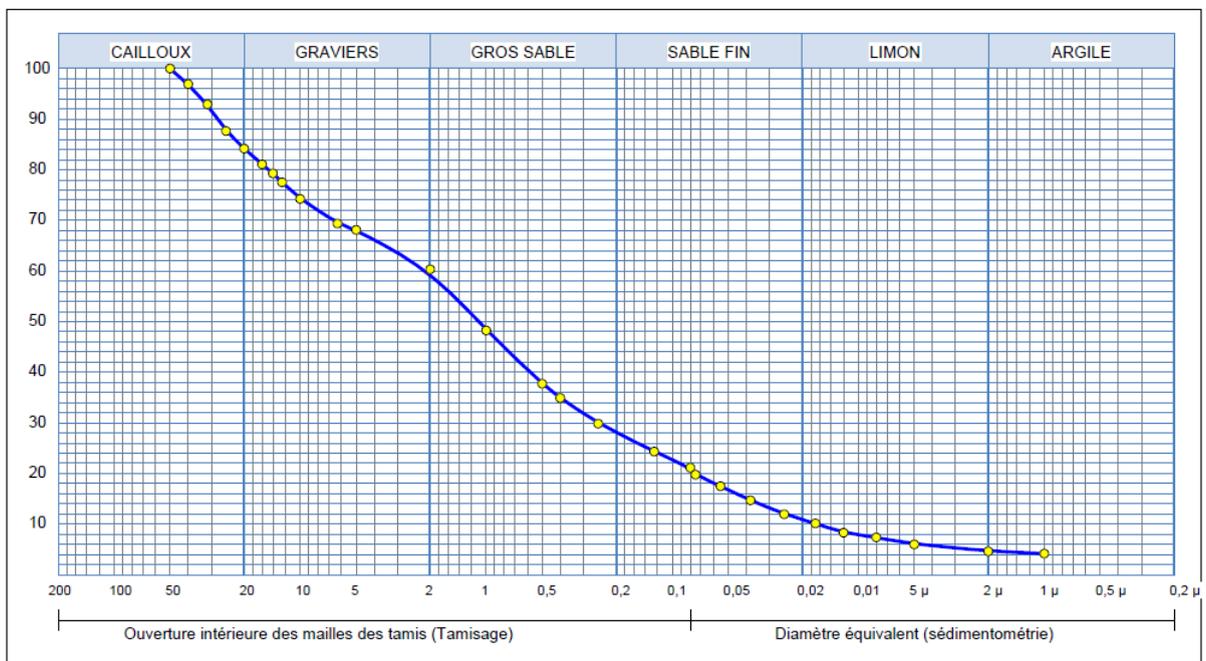


Figure I. 10 : la courbe granulometrique du F2

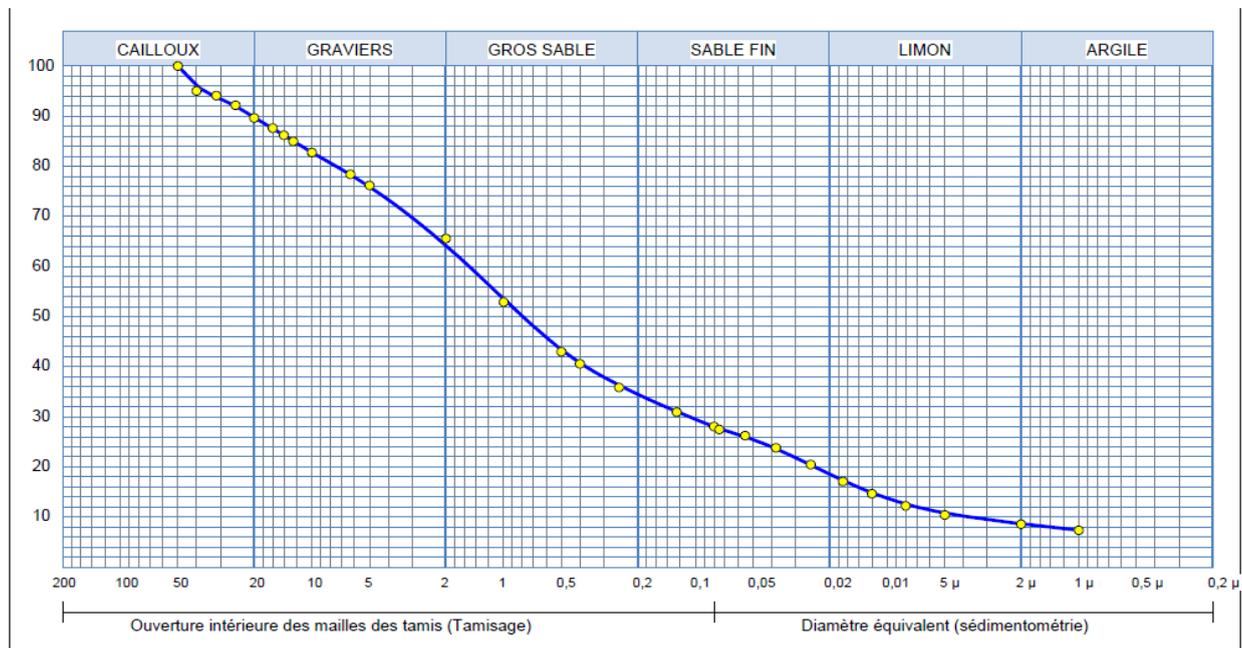


Figure I. 11 : la courbe granulométrique du F3.

➤ **Essai de cisaillements rectiligne UU (Nonconsolidé, non drainé) :**

Le but des essais de cisaillement est de mesurer la résistance au cisaillement sous contrainte normale et d'en déduire la valeur des deux constantes, la cohésion  $C$  et l'angle de frottement interne qui représentent les caractéristiques mécaniques du milieu.

Les valeurs des essais sont reportées en annexe dans le tableau récapitulatif, avec des cohésions de 0,28 bar et 0,36 bars pour respectivement F3 et F2 et des angles de frottement de  $26^\circ$  pour F3 et  $47^\circ$  pour F2. Ce sont des matériaux sablo-limoneux.

Ces terrains composés essentiellement de sables limoneux graveleux, que l'on retrouve soit dans le lit mineur de l'oued soit sur les terrasses alluviales qui bordent l'oued Kerrouche, ont été largement compactés lors des épisodes géologiques. Ils peuvent largement supporter des canaux en béton ou en maçonnerie et garder leur stabilité surtout sur des terrains schisteux à intercalations de bancs fins de grès, sachant que leur hauteur est peu importante et la quantité de matériaux de construction (béton ou enrochement) que va supporter la rive sera moindre en raison de la faible largeur du lit de l'oued.

## CHAPITRE I

### Présentation de la zone d'étude

La contrainte admissible du sol sera fonction du poids du canal qu'il soit en béton ou en maçonnerie et de l'eau qui transitera par ce canal. Cette contrainte sera faible et le tassement du sol sera amoindri.

**Table I. 4 RECAPITULATIF DES RESULTATS DES ESSAIS PHYSIQUES ET MECANIQUES DES ECHANTILLONS DE FOUILLES PRELEVES AU NIVEAU D'OUED KEROUCHE (LABORATOIRE INZAMAC ALGERIE)**

| Référence Fouille | Profondeur (m) | Identification visuelle   | Paramètres physiques |           |           |        | Limites d'Atterberg |        | Analyse granulométrique |           |          | Equivalent de Sable |           | Cisaillement UU |  |
|-------------------|----------------|---|----------------------|-----------|-----------|--------|---------------------|--------|-------------------------|-----------|----------|---------------------|-----------|-----------------|--|
|                   |                |   | W (%)                | Gd (t/m3) | Gh (t/m3) | Sr (%) | WL (%)              | Ip (%) | < 2mm (%)               | < 80μ (%) | < 2μ (%) | ES (%)              | Cu (bars) | φ (°)           |  |
| F1                | 1,20           | Alluvions grossières avec sable graveleux, caillouteux à racines et débris de végétaux, brunâtre, à matrice limono-sableuse | 4,6                  | 1,62      | 1,7       | 19,37  | Non Mesurable       |        | 67,39                   | 23,73     | 11,04    | 16,78               | -         | -               |  |
| F2                | 1,40           | Limon sablo-graveleux avec éléments graveleux à caillouteux, brun foncé en profondeur                                       | 7,57                 | 1,80      | 1,94      | 42,48  | 23,11               | 5      | 60,33                   | 21,13     | 4,61     | -                   | 0,36      | 47              |  |
| F3                | 2,50           | Limon sablo-graveleux avec éléments graveleux à caillouteux, brun foncé en profondeur                                       | 5,05                 | 1,67      | 1,75      | 22,80  | 22,22               | 4      | 65,58                   | 28,06     | 8,56     | -                   | 0,28      | 26              |  |

### Interprétation:

D'après ses résultats et les analyses au laboratoire nous avons permis non seulement d'avoir une idée sur la géomorphologie du lit de l'oued mais également de décrire la nature des terrains qui le composent.

Il n'y a aucune disposition à prendre, qu'elle soit d'ordre géologique ou géotechnique, pour la construction d'un canal qu'il soit en béton ou en enrochement sur tout le tracé de l'oued Kerouche. Il pourra supporter un ouvrage sans pour autant entraîner des désordres dans la stabilité des sols en place.

## **I.8 Caractéristiques du bassin versant :**

### **I.8.1 Définition d'un bassin versant**

Est un espace géographique dont les apports hydriques naturels sont alimentés exclusivement par les précipitations, et dont les excès en eau ou en matières solides transportées par l'eau forment, à un point unique de l'espace, une embouchure ou un exutoire.

Il est aussi défini comme la totalité de la surface drainée par une cour d'eau et ses affluents en amont de cette section.

### **I.8.2 Caractéristiques hydrologique du bassin versant :**

Les caractéristiques hydrologiques du bassin versant représentent des facteurs très importants dans les calculs hydro-climatologiques. Ils sont souvent utilisés pour la détermination des paramètres physiques du bassin (formules empiriques).

Les paramètres physiques du bassin versant ont été déterminés à partir des cartes topographiques de THENIET EL HAD N° NI-31-XXI-1 OUEST et DJENDEL OUEST N° NJ-III-7 OUEST à l'échelle du 1/50 000<sup>e</sup>.

La surface et le périmètre du bassin versant sont des paramètres importants. Elle sont obtenue par le logiciel MAPINFO sur la carte topographique THENIET EL HAD N° NI-31-XXI-1 OUEST et DJENDEL OUEST N° NJ-III-7 OUEST à l'échelle du 1/50 000<sup>e</sup>

#### **A. Superficie :**

$$S=11.6 \text{ Km}^2$$

#### **B. Périmètre :**

$$P=22.66 \text{ Km}$$

Le bassin versant au droit de l'exutoire d'oued Kerouche dans la ville de Tarek Ibn Ziad couvre une superficie de 11.6 Km<sup>2</sup> et une longueur de talweg principal de 7.74 Km. Il est caractérisé par un indice de compacité de 1.86 qui nous renseigne sur la forme allongée du bassin versant vers le sud-ouest.

### I.8.3 Caractéristiques de forme

La forme du bassin versant influence fortement sur l'écoulement global et notamment le temps de réponse du bassin versant.

Un bassin versant allongé ne réagira pas de la même manière qu'un bassin ramassé même s'ils sont placés dans les mêmes conditions météorologiques. Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser le milieu. Mais aussi de comparer les bassins versants entre eux.

➤ **L'indice de compacité de Gravelius «  $K_C$  » :**

L'indice de compacité «  $K_C$  » définit l'allure de l'écoulement général en relation avec la forme du bassin versant. Il est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot S}} \approx 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{S}} \dots\dots\dots(I.1)$$

P : Périmètre du bassin versant en (km).

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

Si  $K_C = 1 \Rightarrow$  bassin ramassé.

Si  $K_C > 1 \Rightarrow$  bassin allongé.

Pour notre cas :  **$K_C = 1.86$**  ,  $K_C > 1$  donc c'est un bassin versant de forme **allongée**.

➤ **Coefficient d'allongement :**

Le coefficient d'allongement est déterminé par la formule suivante :

$$Kp = \frac{p^2}{s} \dots\dots\dots (I.2)$$

A.N : **Kp = 44.26**

➤ **Rectangle équivalent**

Ce paramètre permet la comparaison facile des bassins entre eux du point de vue l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement. On posera comme hypothèse que l'écoulement sur un bassin versant donne est approximativement le même, a conditions climatiques égales, que sur un rectangle de même surface, ayant le même coefficient Kc et la même répartition hypsométrique ; étant entendu que la répartition des sols et de végétation ainsi que la répartition de drainage, sont respectés dans les différents aires entre les courbes de niveau.

Le périmètre et la surface sont calculés à partir des expressions suivant :

$$L = \frac{Kc \cdot \sqrt{S}}{1.128} \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{Kc} \right)^2} \right) \dots\dots\dots (I.3)$$

$$L = \frac{Kc \cdot \sqrt{S}}{1.128} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{Kc} \right)^2} \right) \dots\dots\dots (I.4)$$

Le tableau suivant englobe les paramètres morphométriques du bassin versant calculés précédemment :

**Table I. 5: les paramètres morphométriques du bassin versant**

| Bassin | S (km <sup>2</sup> ) (surfaces) | P (km) (Périmètre) | K <sub>c</sub> | L (Km) | l (Km) |
|--------|---------------------------------|--------------------|----------------|--------|--------|
| BV     | 11.6                            | 22.66              | 1,86           | 10.10  | 1.15   |

### **I.8.4 Relief**

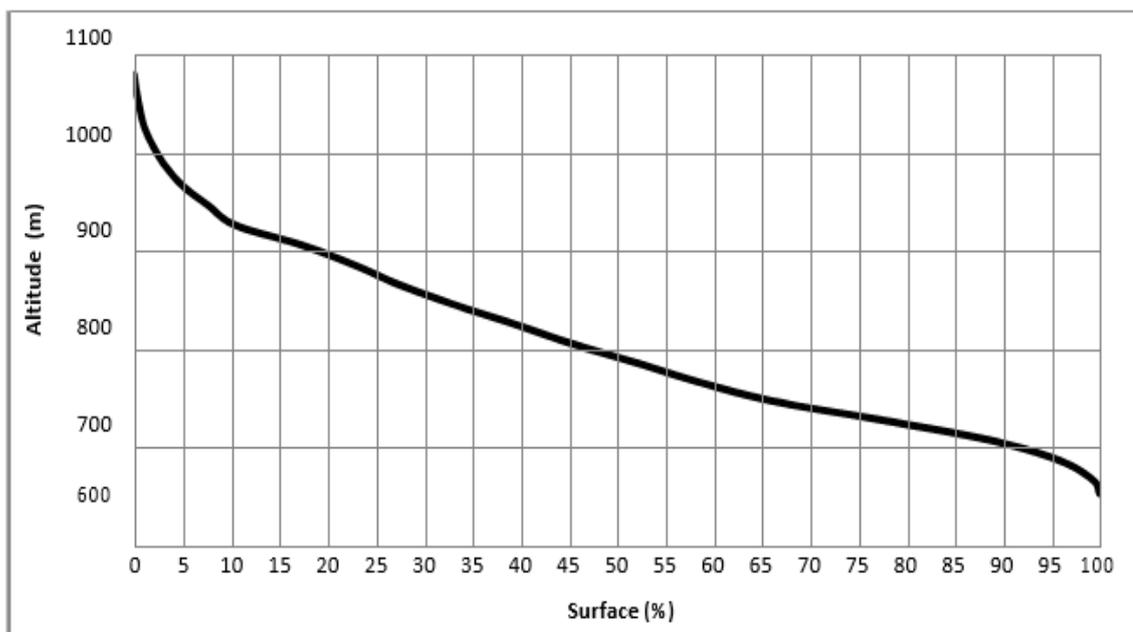
L'influence du relief sur l'écoulement se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitations, températures... etc.) et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement. Le relief se détermine lui aussi au moyen d'indices ou de caractéristiques suivants :

- La courbe hypsométrique.
- Les altitudes caractéristiques.
- L'indice de pente globale.
- Densité de drainage
- L'indice de pente moyenne.

#### **A. Courbe hypsométrique**

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonnée. Elle exprime ainsi la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude.

Les courbes hypsométriques demeurent un outil pratique pour comparer plusieurs bassins entre eux ou les diverses sections d'un seul bassin. Elles peuvent en outre servir à la détermination de la pluie moyenne sur un bassin versant et donnent des indications quant au comportement hydrologique et hydraulique du bassin et de son système de drainage.



**Figure I. 12: Courbe hypsométrique d'oued Kerouche**

CHAPITRE I

Présentation de la zone d'étude

**Table I. 6: surface partielles des sous bassin par tranche d'altitudes**

| courbes de niveau (m) | Altitude moyenne Hi (m) | surface partielle Si (km2) | surface partielle Si(%) | surfaces cumulées (%) | Si x Hi (m.Km <sup>2</sup> ) |
|-----------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 634-640               | 637                     | 0.067                      | 0.58                    | 0.58                  | 42.68                        |
| 640-660               | 650                     | 0.3952                     | 3.41                    | 3.98                  | 256.88                       |
| 660-680               | 670                     | 0.7868                     | 6.78                    | 10.77                 | 527.16                       |
| 680-700               | 690                     | 1.2398                     | 10.69                   | 21.46                 | 855.46                       |
| 700-720               | 710                     | 1.3755                     | 11.86                   | 33.31                 | 976.61                       |
| 720-740               | 730                     | 0.9341                     | 8.05                    | 41.37                 | 681.89                       |
| 740-760               | 750                     | 0.7624                     | 6.57                    | 47.94                 | 571.80                       |
| 760-780               | 770                     | 0.7985                     | 6.88                    | 54.82                 | 614.85                       |
| 780-800               | 790                     | 0.6889                     | 5.94                    | 60.76                 | 544.23                       |
| 800-820               | 810                     | 0.7317                     | 6.31                    | 67.07                 | 592.68                       |
| 820-840               | 830                     | 0.6469                     | 5.58                    | 72.64                 | 536.93                       |
| 840-860               | 850                     | 0.5371                     | 4.63                    | 77.28                 | 456.54                       |
| 860-880               | 870                     | 0.6263                     | 5.40                    | 82.67                 | 544.88                       |
| 880-900               | 890                     | 0.7873                     | 6.79                    | 89.46                 | 700.70                       |
| 900-920               | 910                     | 0.3257                     | 2.81                    | 92.27                 | 296.39                       |
| 920-940               | 930                     | 0.3066                     | 2.64                    | 94.91                 | 285.14                       |
| 940-960               | 950                     | 0.2086                     | 1.80                    | 96.71                 | 198.17                       |
| 960-980               | 970                     | 0.1459                     | 1.26                    | 97.97                 | 141.52                       |
| 980-1000              | 990                     | 0.1091                     | 0.94                    | 98.91                 | 108.01                       |
| 1000-1020             | 1010                    | 0.0575                     | 0.50                    | 99.40                 | 58.08                        |
| 1020-1040             | 1030                    | 0.0423                     | 0.36                    | 99.77                 | 43.57                        |
| 1040-1060             | 1050                    | 0.0207                     | 0.18                    | 99.95                 | 21.74                        |
| 1060-1066             | 1063                    | 0.0059                     | 0.05                    | 100.00                | 6.27                         |
| Total                 |                         | 11.60                      | H <sub>moy</sub>        |                       | 781.20                       |

L'altitude moyenne est de 781,20 m

**B. Altitudes caractéristiques :**

• **L'altitude minimale et maximale**

Elles sont obtenues directement à partir des cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire.

$$H_{\max}=1066 \text{ m NGA} \quad H_{\min}=634 \text{ m NGA}$$

• **L'altitude moyenne du bassin versant**

L'altitude moyenne est peu représentative de la réalité. Toutefois, elle est parfois utilisée dans l'évaluation de certains paramètres hydrométéorologiques ou dans la mise en œuvre de modèles hydrologiques. Elle est Définie comme suit :

$$H_{\text{moy}} = \frac{S_i \cdot H_i}{S} \dots\dots\dots (I.5)$$

Où :

- $H_{\text{moy}}$  : altitude moyenne du bassin [m]
- $S_i$  : aire comprise entre deux courbes de niveau [km<sup>2</sup>]
- $H_i$  : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m]
- $S$  : superficie totale du bassin versant [km<sup>2</sup>]

A.N :  $H_{\text{moy}}=781.20 \text{ m NGA}$

La topographie du bassin versant est représentée par la courbe hypsométrique en figure I.12, avec en abscisse le cumul des superficies partielles entre deux courbes de niveau successives exprimé en %, et en ordonnées les altitudes. Elle permet de tirer les informations suivantes :

$H_{50\%} = 774.44\text{m}$  (altitude médiane )

$H_{95\%} = 673.75 \text{ m}$

$H_{5\%}=949.7\text{m}$

**Table I. 7 les différentes altitudes caractéristique du bassin**

| Altitudes  | H max | H min | H 5%  | H 50%  | H 95%  | H moy |
|------------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| Valeur (m) | 1063  | 637   | 949.7 | 774.44 | 673.75 | 781.2 |

**C. Indice de pente global  $I_g$  :**

Il est définit comme étant le rapport entre l'altitude comprise entre 5% et 95% de la surface du sous bassin et la longueur du rectangle équivalent. On prend deux points S1, S2 sur l'axe des abscisses tels que 90% de la surface du sous bassin soit comprise entre ces deux valeurs et que 5% de la surface totale du sous bassin soit inférieure à S1 et 5% soit supérieure à S2

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \dots\dots\dots (I.6)$$

$H_{5\%}$  et  $H_{95\%}$  sont lues à partir de la courbe hypsométrique

L : longueur du rectangle équivalent.

AN :  $I_g = 27.32 \text{ m/Km}$

**Table I. 8: Classification du relief (O.R.S.T.O.M)**

|                     |                          |
|---------------------|--------------------------|
| Relief très faible  | $I_g \leq 0,002$         |
| Relief faible       | $0,002 < I_g \leq 0,005$ |
| Relief assez faible | $0,005 < I_g \leq 0,01$  |
| Relief modéré       | $0,01 < I_g \leq 0,02$   |
| Relief assez fort   | $0,02 < I_g \leq 0,05$   |
| Relief fort         | $0,05 < I_g \leq 0,1$    |
| Relief très fort    | $1.1 \leq I_g$           |

Pour notre cas ,  $I_g = 0.02732$  donc d'après le tableau notre relief est classé type assez fort.

**D. Densité de drainage :**

La densité de drainage, est définie comme étant le rapport entre la longueur totale de tous les talwegs  $L_i$  du bassin, à la surface totale  $S$ . Elle reflète la dynamique du bassin, la stabilité du chevelu hydrographique et le type de ruissellement de surface. Elle est exprimée en  $Km / Km^2$ .

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

**Table I. 9: Classification des cours d'eau de l'oued Kerouche**

| Ordre du cours d'eau | nombre | longueur (km) |
|----------------------|--------|---------------|
| 1                    | 74     | 28,45         |
| 2                    | 20     | 9,79          |
| 3                    | 4      | 6,27          |
| 4                    | 1      | 3,67          |
| Tota                 |        | 48,18         |

**$D_d=4,15 Km/Km^2$**

**E. Pente Moyenne Du Bassin versant( $I_m$ ) :**

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle est considérée comme une variable indépendante. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct (donc sur le temps de concentration  $T_c$ ) et influe directement sur le débit de pointe lors d'une averse.

$$I_m = \frac{\Delta H \cdot (0,5l_1 + l_2 + l_3 + \dots + 0,5l_n)}{S} \dots\dots\dots(I.8)$$

Où :

- **$I_m$**  : pente moyenne [%].
- **$l_i$**  : longueur totale de courbes de niveau [km].
- **$\Delta H$** : équidistance entre deux courbes de niveau [Km].
- **$S$**  : surface du bassin versant [km<sup>2</sup>].

**F. La pente moyenne d'un cours d'eau :**

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

$$I = \frac{\Delta H_{max}}{L} \dots\dots\dots(I.9)$$

Où :

- **$I$**  : Pente moyenne du cours d'eau [m/m].
- **$\Delta H_{max}$**  : Dénivellation maximale de la rivière [m].
- **$L$**  :Longueur du cours d'eau principal [km].

**Table I. 10: calcul de la pente**

| n                                    | côte (m) | dénivelée | longueur | longueur<br>r | pente<br>partie |
|--------------------------------------|----------|-----------|----------|---------------|-----------------|
| 1                                    | 634-640  | 6         | 0.742    | 0.742         | 0.81            |
| 2                                    | 640-660  | 20        | 1.256    | 1.998         | 1.59            |
| 3                                    | 660-680  | 20        | 1.049    | 3.047         | 1.91            |
| 4                                    | 680-700  | 20        | 0.917    | 3.964         | 2.18            |
| 5                                    | 700-720  | 20        | 0.672    | 4.636         | 2.98            |
| 6                                    | 720-740  | 20        | 0.53     | 5.166         | 3.77            |
| 7                                    | 740-760  | 20        | 0.432    | 5.598         | 4.63            |
| 8                                    | 760-780  | 20        | 0.851    | 6.449         | 2.35            |
| 9                                    | 780-800  | 20        | 0.424    | 6.873         | 4.72            |
| 10                                   | 800-820  | 20        | 0.442    | 7.315         | 4.52            |
| 11                                   | 820-840  | 20        | 0.267    | 7.582         | 7.49            |
| 12                                   | 840-852  | 12        | 0.158    | 7.74          | 7.59            |
| Pente moyenne du bassin versant (Im) |          |           |          |               | 8.32            |
| Pente moyenne de l'oued (I)          |          |           |          |               | 3.69            |

L'oued principal est d'une longueur de 7,74 Km. Sa pente moyenne a été calculée à partir de la coupe longitudinale de l'oued en fonction de l'altitude et de la longueur du cours d'eau. La pente moyenne est de l'ordre de 3,69 %.

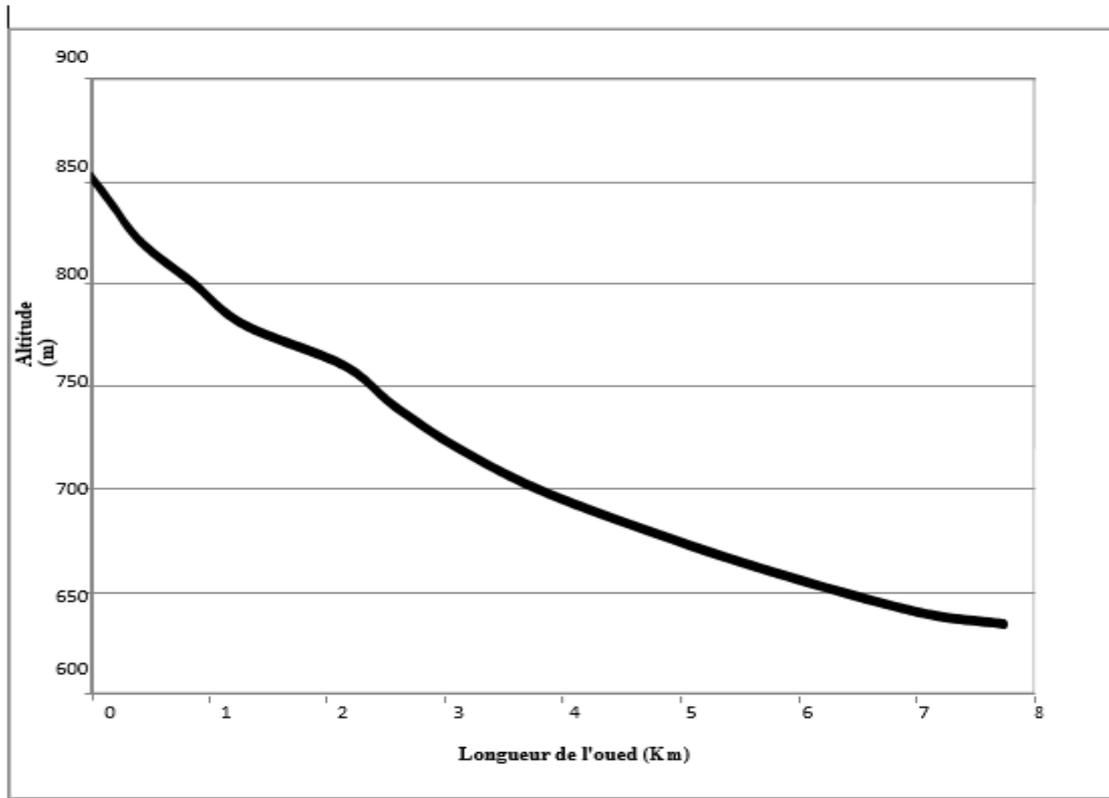


Figure I. 13 :pente de talweg principale

## I.9. Temps de concentration :

Le temps de concentration des eaux sur un bassin versant se définit comme le maximum de durée nécessaire de la goutte d'eau la plus éloignée pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier.

Pour la définition du temps de concentration, et en absence de formule spécifique pour la région nous avons appliqué la formule empirique qui se rapproche au mieux de notre contexte.

L'estimation de temps de concentration a été faite sur la base des formules empiriques suivantes :

### 1. Formule de Sokolovsky :

Formule qui lie le temps de concentration à la longueur du cours d'eau et la vitesse d'écoulement

$$T_c = L / 3.6 * V \dots\dots\dots(I.10)$$

Avec :

- L : longueur du cours d'eau (Km).

V : vitesse moyenne de l'écoulement en crue qui est fonction de la taille du cours d'eau et de la nature du relief. Pour les petits cours d'eau  $V \approx 1 - 1.5$  (m/s).

### 2. Formule de S.C.S :

Formule qui lie le temps de concentration à la longueur du talweg principal et sa dénivelée

$$T_c = \frac{(0.87 * L^3)^{0.385}}{H_{max} * H_{min}} \dots\dots\dots(I.11)$$

Avec :

L : longueur de talweg principal (km)

Hmax : altitude maximale de bassin versant (m).

Hmin: altitude minimale de bassin versant (m).

**3. Formule de Kirpich :**

Formule basée sur la longueur de l'oued ainsi que sa pente, ces deux caractéristiques sont très liées à la valeur de temps de concentration.

$$T_c = 0,000325 * \frac{L_p^{0,77}}{(I_{moy})^{0,385}} \dots\dots\dots(I.12)$$

Avec :

I : Pente du cours d'eau principal.

Les résultats de calcul par les différentes méthodes sont récapitulés dans le tableau

**Table I. 11: Valeurs du temps de concentration estimé par différentes formules**

| <b>Formules</b>       | <b>Valeurs (h)</b> |
|-----------------------|--------------------|
| Formule de Sokolovsky | 2.15 ~ 1.43        |
| Formule de S.C.S      | 0.97               |
| Formule de Kirpich    | 1.30               |

La formule la plus utiliser pour le calcul de temp de concentration est celle de Kirpich qui nous donne un Tc=1.3h

**Table I. 12: Récapitulatif des caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant du oued kerouche**

| <b>Caractéristiques Hydromorphométriques</b> | <b>Valeurs</b>        |
|--|-----------------------|
| - Superficie                                 | 11,60 Km <sup>2</sup> |
| -Périmètre                                   | 22,66 Km              |
| -Indice de compacité                         | 1,86                  |
| -Altitude                                    |                       |
| Minimale                                     | 634,00 m              |
| Moyenne                                      | 781,20 m              |
| Maximale                                     | 1 066,00 m            |
| -Longueur du thalweg principal               | 7,74 Km               |
| -Temps de concentration                      | 1,30 heure            |
| -Pente du thalweg principal                  | 3,69 %                |

### **I.10. Conclusion :**

Dans ce chapitre on a fait une présentation de la zone d'étude pour connaître ses caractéristiques et on a déterminé les caractéristiques du bassin versant, et calculé les paramètres morphométriques, afin de mieux connaître la nature et la morphologie de la zone d'études et ainsi justifier et analyser des résultats afin de simuler une réponse a la crue.

## Chapitre II : Etudes des précipitations maximales journalières

### II.1. Introduction :

L'hydrologie est l'une des sciences les plus anciennes que l'on connaisse, mais son évolution a été extrêmement lente dans l'histoire de l'humanité. On peut expliquer cette lenteur par le fait que l'épanouissement d'une discipline a toujours été fonction des besoins du moment et des problèmes particuliers que son ignorance peut engendrer.

L'hydrologie est la science qui étudie les eaux terrestres, leur origine, leur mouvement et leur repartitions sur notre planète, leurs propriétés physiques et chimiques, leurs interactions

### II.2. Précipitation :

L'étude des précipitations constitue un élément essentiel pour l'analyse des ressources en eaux.

Cette étude est basée sur les données des stations pluviométriques disponibles et se localisant à l'alentour et à l'intérieur du bassin versant d'Oued Kerouche (Station : Tarik Ibn Ziad, code ANRH 01 16 07)

Ces données pluviométriques collectées au niveau de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H) se présentent sous forme de totaux mensuels et annuels ainsi que des pluies maximales journalières.

Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques des stations pluviométriques prises en considération dans l'étude.

**Table II. 1: Coordonnées Lambert des stations pluviométriques**

| Code   | Nom                | X(km)  | Y(Km)  | Z (m) | Période d'observation | P <sub>moy</sub> (mm) |
|--------|--------------------|--------|--------|-------|-----------------------|-----------------------|
| 011605 | Teniet El Had      | 439,80 | 285,65 | 1150  | 1966-2009             | 550,10                |
| 061803 | Sidi Mokrefi       | 463.20 | 304.25 | 425   | 1968-2009             | 412.70                |
| 011607 | Tarik Ibn Ziad     | 450,15 | 299,50 | 660   | 1968-2009             | 484,30                |
| 011903 | Toutia El Hassania | 429,95 | 294,45 | 850   | 1975-2009             | 450,30                |

## CHAPITRE II

---

### Etude des précipitations maximales journalières

### II.3. Précipitation moyenne annuelle :

Le passage de la pluie ponctuelle à la pluie sur l'ensemble du bassin versant étudié se fait généralement par analyse de la pluie et de l'altitude. Il faut choisir une station proche du site avec une altitude correspondant ou proche à l'altitude moyenne du bassin versant ( $H_{\text{moy}} = 781,20 \text{ m}$ ). Dans notre cas, l'altitude de la station pluviométrique proche de l'altitude moyenne du bassin versant est celles des stations Tarek Ibn Ziad (011607) avec une altitude  $Z = 660 \text{ m}$ , et la station de Toutia el Hassania (011903) avec une altitude  $Z = 850 \text{ m}$ .

En analysant la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord établie par l'ANRH (période 1929-1960 et 1969-1989), on remarque que le bassin versant étudié est arrosé d'une quantité de pluie entre 500 et 600 mm. Par rapport à celles des stations Tarek Ibn Ziad (011607), Toutia el Hassania (011903), Teneit el Had (011605) et Sidi Mokrefi (011606) qui sont respectivement 484,30mm, 450,30 mm, 550,10 mm et 412,70 mm.

La valeur de la pluie moyenne de la station pluviométrique de Teniet El Had se rapproche de la valeur obtenue à partir de la carte de l'ANRH, pour le bassin versant étudié. Mais l'effet de l'orographie locale sur les précipitations et la présence de la station **Tarek Ibn Ziad** à l'intérieur du bassin versant d'oued Kerouche nous amène à retenir cette dernière comme station de référence pour la suite de l'étude.

### II.4. Les précipitations maximales journalières

L'étude consiste à faire un ajustement pour la série de données des précipitations maximales journalières par une loi théorique afin de déterminer une intensité de pluie de durée et de période de retour.

CHAPITRE II

Etude des précipitations maximales journalières

**Table II. 2 :Pluies maximales journaliers de la station de références (070704)**

| Années        | sept        | oct         | nov         | dec         | janv        | fev         | mars        | avril       | mai         | juin        | juil        | aout        | annuel       |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| 1968          | 0           | 0           | 16.3        | 58.3        | 13.5        | 36.5        | 13.5        | 15.9        | 9.7         | 23.5        | 1.3         | 2.1         | 58           |
| 1969          | 15.3        | 26.4        | 12.6        | 81.4        | 14          | 11.2        | 24.2        | 13.4        | 10.8        | 6           | 0           | 0           | 81           |
| 1970          | 0           | 0           | 0           | 11.5        | 22.5        | 16.3        | 22.4        | 13.3        | 43.7        | 0           | 2           | 0           | 43           |
| 1971          | 28.5        | 3           | 34.6        | 26.2        | 108.        | 23          | 11.4        | 12.8        | 8           | 0           | 0           | 6.8         | 108.2        |
| 1972          | 9.4         | 84.8        | 38.2        | 14.8        | 30.8        | 39          | 12.6        | 68          | 1.2         | 20.1        | 0           | 0           | 84           |
| 1973          | 27          | 0           | 6.4         | 18.8        | 4.2         | 14.6        | 26.4        | 42.8        | 0           | 8.2         | 0           | 0           | 42           |
| 1974          | 10.8        | 13.5        | 14.6        | 0           | 10.7        | 26.5        | 22.6        | 62.7        | 16.8        | 16.7        | 0           | 0           | 62           |
| 1975          | 3.2         | 0           | 20.7        | 5.4         | 16          | 53          | 3.5         | 4           | 9.4         | 6           | 1           | 1           | 5            |
| 1976          | 1.5         | 3           | 19.2        | 3.2         | 7.3         | 1.5         | 7           | 13.5        | 15          | 5.5         | 0           | 1.6         | 19           |
| 1977          | 1           | 19.5        | 32.5        | 33.1        | 19.7        | 4.5         | 21.5        | 16          | 22.5        | 0           | 0           | 0.4         | 33           |
| 1978          | 0           | 37.6        | 21.9        | 3.2         |             | 24.2        | 38.7        | 10.1        | 10.5        | 3.7         | 7.9         | 0           | 38           |
| 1979          | 101.        | 23.8        | 10.2        | 8.1         | 31.7        | 13.1        | 44.2        | 15.9        | 12.4        | 0           | 0           | 8           | 101.6        |
| 1980          | 9.1         | 4.5         | 4.8         | 52.8        | 3.7         | 39.3        | 8.2         | 11.3        | 14.1        | 0.6         | 0           | 6.1         | 52           |
| 1981          | 3.4         | 1.1         | 0           | 21.6        | 22.1        | 9.5         | 7.9         | 21.8        | 17.5        | 5.5         | 0           | 0.2         | 22           |
| 1982          | 18.4        |             | 26.2        | 53.5        | 0           | 9.5         | 10.7        | 4           | 1           | 0           |             | 0           | 53           |
| 1983          | 0           | 2.2         | 40.2        | 21          |             |             | 16.9        | 15.2        | 14.1        | 22.4        | 0           | 0           | 40           |
| 1984          | 0           | 80.6        | 24.7        | 17.1        | 12.7        | 12          | 21.1        | 2.9         | 23.9        | 0           | 0           | 0           | 80           |
| 1985          | 15.8        | 6           | 22.5        | 20.5        | 45.1        | 15.5        | 39.8        | 3.5         | 8           | 7.2         | 0           | 0           | 45           |
| 1986          | 12          | 13.1        | 33.5        | 24          | 23.4        | 55.9        | 6.1         | 1.5         | 1.9         | 5.6         | 13.1        | 6           | 55           |
| 1987          | 8           | 11          | 25.2        | 6.7         | 16.1        | 6.5         | 23.7        | 10.6        | 19.8        | 8           | 0           | 0           | 25           |
| 1988          | 2.5         | 26.4        | 8.6         | 25.1        | 2.4         | 6.1         | 57.6        | 14.4        | 5.7         | 26.9        | 8           | 26.2        | 57           |
| 1989          | 8.5         | 4.5         | 9.4         | 8           | 19          | 0           | 19.7        | 16          | 15.3        | 4.2         | 28.9        |             | 28           |
| 1990          |             |             | 12.4        | 19.2        | 18.8        | 18.3        | 40.6        | 5.2         | 8.1         | 3           | 0           | 4.2         | 40           |
| 1991          | 0           | 23          | 5.1         | 4.8         | 65.9        | 5           | 11.9        | 25.4        | 18.6        | 7.1         | 6.5         | 0           | 65           |
| 1992          | 5.5         | 7           | 9.2         | 17.1        | 3.7         | 14.2        | 8           | 10.6        | 25          | 0           | 0           | 0           | 2            |
| 1993          | 12.6        | 7.3         | 6           | 19          | 16          | 15.3        | 0           | 8.8         | 2.1         | 0           | 0           | 0           | 1            |
| 1994          | 81          | 15.7        | 11.2        | 47          | 44.6        | 17.5        | 17          | 9.2         | 5.8         | 13.6        | 0           | 0           | 8            |
| 1995          | 27.2        | 20.5        | 14          | 8.5         | 14.6        | 20.2        | 24.6        | 25          | 10.4        | 22.9        | 10          | 3.8         | 27           |
| 1996          | 0.8         | 16.7        | 10.7        | 5           | 20.2        | 8.9         | 0           | 40          | 23.5        | 0           | 0           | 0           | 4            |
| 1997          | 39.6        | 43.5        | 24          | 17.2        | 9.2         | 7.5         | 5           | 17.6        | 45          | 0           | 0.6         | 4.8         | 4            |
| 1998          | 12.6        | 17.4        | 8           | 2.7         | 15          | 41.8        | 37          | 1.2         | 5.7         | 0           | 0           | 1           | 41           |
| 1999          | 6.5         | 8           | 10.5        | 19.6        | 3.6         | 0           | 3.2         | 8.4         | 6.5         | 0           | 0           | 0           | 19           |
| 2000          | 8.7         | 28          | 45.1        | 17          | 43.7        | 11.6        | 0           | 28.6        | 7.8         | 0           | 0           | 2.1         | 45           |
| 2001          | 13          | 13.2        | 19          | 13.7        | 8.2         | 11          | 14          | 15          | 20.3        | 3           | 0           | 5.8         | 20           |
| 2002          | 2.7         | 18          | 24.5        | 10.2        | 47.9        | 69          | 2.9         | 19.2        | 5.6         | 9.8         | 1.7         | 3.2         | 6            |
| 2003          | 10.9        | 13          | 22.3        | 23.1        | 19.5        | 20.4        | 30.8        | 12          | 15.1        | 3           | 0           | 10.7        | 30           |
| 2004          | 14          | 48          | 34.2        | 15          | 25.5        | 15          | 10.8        | 17.7        | 2           | 29.2        | 0           | 0           | 4            |
| 2005          | 6.4         | 28.5        | 19.1        | 32.7        | 14.3        | 24.9        | 12.5        | 12.6        | 52          | 19          | 0           | 0.3         | 5            |
| 2006          | 28          | 2           | 1           | 17.3        | 5.7         | 17          | 59.5        | 19.3        | 11.8        | 1.9         | 4.7         | 4.8         | 59           |
| 2007          | 11.2        | 32.3        | 72          | 13.5        | 7.8         | 8.3         | 8.2         | 6.2         | 12.3        | 6.6         | 4.8         | 0           | 7            |
| 2008          | 6.2         | 13.6        | 38.8        | 35.7        | 15.2        | 8           | 25.1        | 24.9        | 7.7         | 0           | 0           | 4.3         | 38           |
| 2009          | 13.2        | 6.8         | 12.8        | 44.1        | 32.4        | 36.2        | 29.2        | 9.8         | 16          | 3.8         | 2           | 32          | 44           |
| <b>Moyenn</b> | <b>13.7</b> | <b>17.2</b> | <b>19.5</b> | <b>21.3</b> | <b>20.3</b> | <b>18.7</b> | <b>19.0</b> | <b>16.8</b> | <b>13.8</b> | <b>6.98</b> | <b>2.20</b> | <b>3.22</b> | <b>49.38</b> |

N=42

## II.5. Les Caractéristique d'Ajustement des séries pluviométrique

Table II. 3: les caracteristique d'ajustement de la serie

| Caractéristiques                    | Formules  | Valeurs |
|-------------------------------------|---|---------|
| La somme des $P_{\max j}$ en (mm)   | $\sum_{i=1}^{N=42} X_i$   | 2074.1  |
| la moyenne des $P_{\max j}$ en (mm) | $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n=42} X_i}{n}$                                   | 49.38   |
| L'écart type « $\sigma_x$ »         | $\sigma_x = \left[ \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{42} (X_i - 49.38)^2}{42}} \right]$ | 21.7    |
| Coefficient de variation « Cv »     | $C_v = \frac{\sigma}{\bar{X}}$  | 0.439   |
| L'exposant climatique               | $b = 0.4$   |         |

## II.6. Ajustement des séries pluviométrique:

### II.6.1. Choix de la loi d'ajustement :

Comme il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométrique, l'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de la loi de probabilité, de la taille de l'échantillon et de certaines caractéristiques de l'échantillon. Toutefois, de nombreuses études comparatives, autant empiriques que théoriques, ont été menées afin de déterminer dans quelles circonstances une méthode d'estimation est la plus efficace pour une loi donnée

Dans notre étude on va utiliser les deux lois suivantes :

1. Loi de Gumbel.
2. Loi de Galton.

L'ajustement des pluies maximales journalières sera traité par logiciel "**Hyfran**".

On a effectué l'ajustement de la série des pluies maximales journalières dans notre cas les deux lois suivantes. La loi de Gumbel (doublement exponentielle), Galton (log normale la série )

### II.6.2. Ajustement à la loi de Gumbel :

La distribution statistique de Gumbel ou bien la loi doublement exponentielle est souvent utilisée pour décrire le comportement statistique des valeurs extrêmes.

La fonction de répartition est 
$$F(x) = \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-a}{b}\right)\right) \quad (\text{II. 1})$$

Telle que  $u = \frac{x-a}{b}$  La variable réduite de Gumbel.

$a$  et  $b$  : Les paramètres du modèle de Gumbel

On écrit alors 
$$F(x) = \exp(-\exp(-u)) \quad (\text{II. 2})$$

avec 
$$u = -\ln[-\ln(F(x))] \quad (\text{II. 3})$$

L'avantage d'utiliser la variable réduite est que l'expression d'un quantile est alors linéaire.

$$x = a + bu \quad (\text{II. 4})$$

En pratique il s'agit essentiellement d'estimer la probabilité de non dépassement  $F(x_i)$  qu'il convient

d'attribuer à chaque valeur  $x_i$ . Il existe de nombreuses formules d'estimation de la fonction de répartition

à l'aide de la formule empirique. Elles reposent toutes sur un tri de la série par valeurs croissantes permettant d'associer à chaque valeur son rang  $r$ .

$$q = \frac{r - 0.5}{N} \quad (\text{II. 5})$$

Où  $r$  est le rang dans la série de données classée par valeurs croissantes,  $n$  est la taille de l'échantillon.

Enfin à l'aide de l'ajustement il est alors possible d'estimer les pluies maximales pour des périodes de retour données.

Les principales caractéristiques statistiques de la série des pluies annuelles sont :

## CHAPITRE II

### Etude des précipitations maximales journalières

A l'aide de l'logiciel hyfran on obtient les résultat dans la figure II.1 .

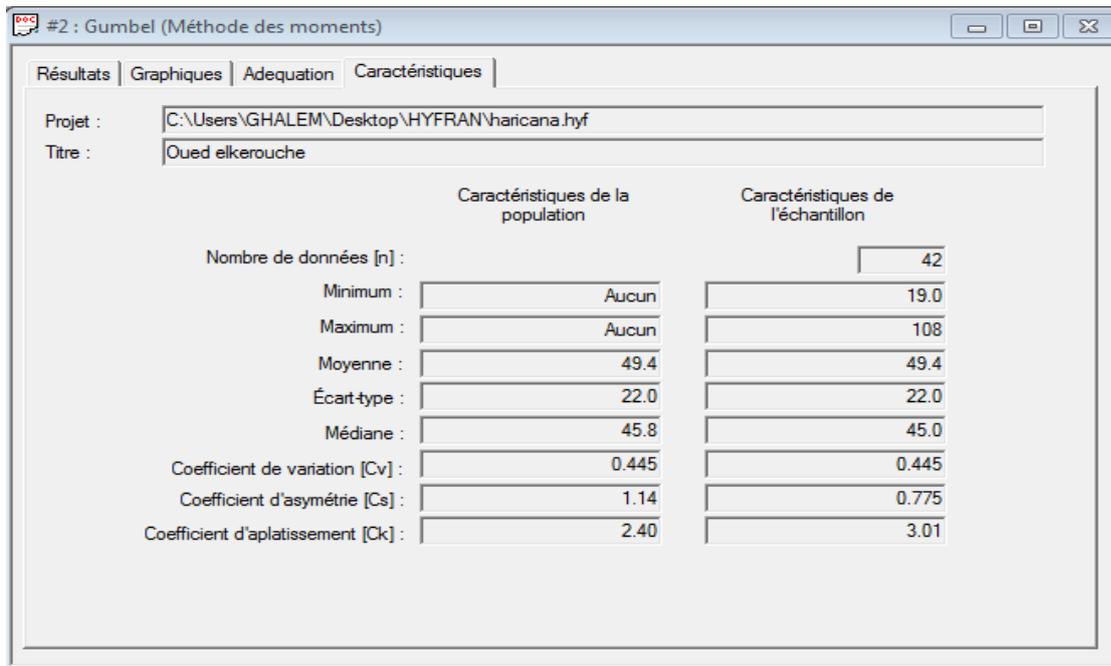


Figure II. 1 :les caractéristiques statistiques de la série par la methode de gumbel

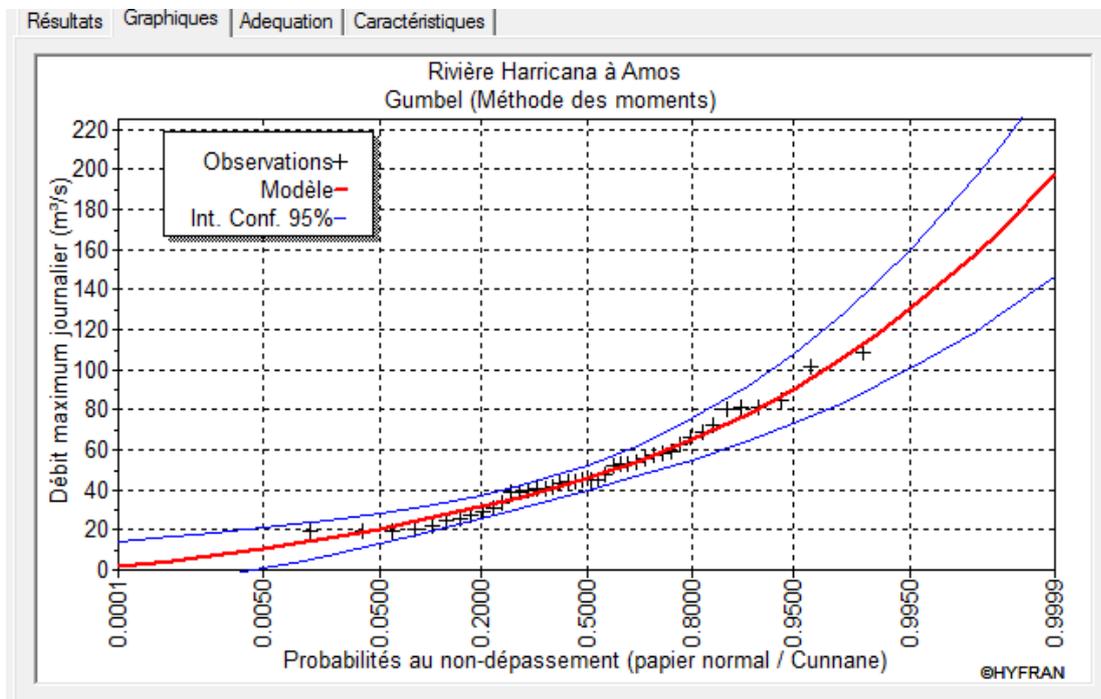


Figure II. 2: ajustement graphique a la loi de gumbel des pluies annuelle sur le bassin versant d'Oued kerouche.

**II.6.3. Ajustement à la loi Log-normale (Galton):**

La loi de Galton s'appelle également loi log-normale ou loi gaussio-logarithmique car son expression est proche de celle de la loi normale à une anamorphose près de type logarithmique sur la variable.

La fonction de répartition est donnée par la représentation suivante :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} \cdot du \tag{II.6}$$

Identique à celle de la loi normale, mais dans laquelle on passe par un changement de variable de  $x$  en  $\ln(x)$ ,

$$u = \frac{\ln x - \overline{\ln x}}{\sigma_{\ln x}} \tag{II.7}$$

Donc l'équation de la droite présentée sur le papier Gausso-logarithmique sera

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

Une variable aléatoire  $x$  a une distribution log normale lorsque  $y = \ln x$  est normale. La loi de Galton résulte de la loi normale mais rendue dissymétrique par un changement de variables.

Sa fonction de répartition est donnée par

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{1}{2}u^2} du \tag{II.8}$$

$F(x)$  : Fréquence au non dépassement.

et La variable réduite est de la forme :

$$u = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma_x} \tag{II.9}$$

Et l'équation de la variable réduite présentée sous la forme  $\overline{\text{Log}x} + u\sigma_{\text{Log}x}$  est l'équation d'une droite sur papier gauss-logarithmique avec en abscisse l'échelle gaussienne et en ordonnée l'échelle logarithmique.

• **Procédé d'ajustement :**

1- Classement des valeurs par ordre décroissant (fréquence au non dépassement) ;

2- Calcul de la fréquence expérimentale par la formule de Henri;

3- Calcul des caractéristiques empiriques de la série initiale ;

4- Calcul des caractéristiques de la série transformée en  $\overline{\text{Log}x}$  et  $\sigma_{\text{Log}x}$

5- Report des valeurs sur papier gauss-logarithmique ;

6- Détermination de la droite de Galton  $\text{Log}x = \overline{\text{Log}x} + u\sigma_{\text{Log}x}$

7- Détermination de la valeur extrême soit graphiquement sur la droite, soit analytiquement

par :  $x_{p\%} = 10^{\text{Log}x_{p\%}}$

D'où :

$$x_{p\%} = 10^{\overline{\text{Log}x} + u_{p\%}\sigma_{\text{Log}x}} \quad (\text{II.10})$$

Les caractéristiques de la série sont présentée dans la figure suivante

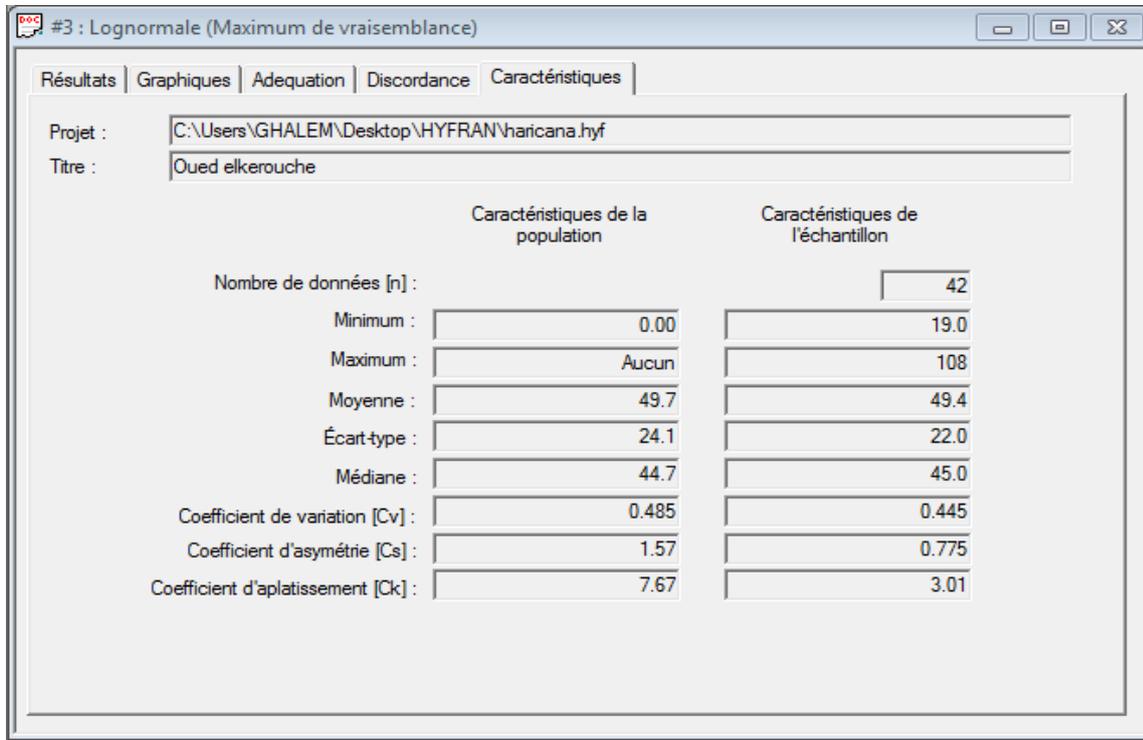


Figure II. 3 :les caractéristiques statistiques de la série par la methode de galton

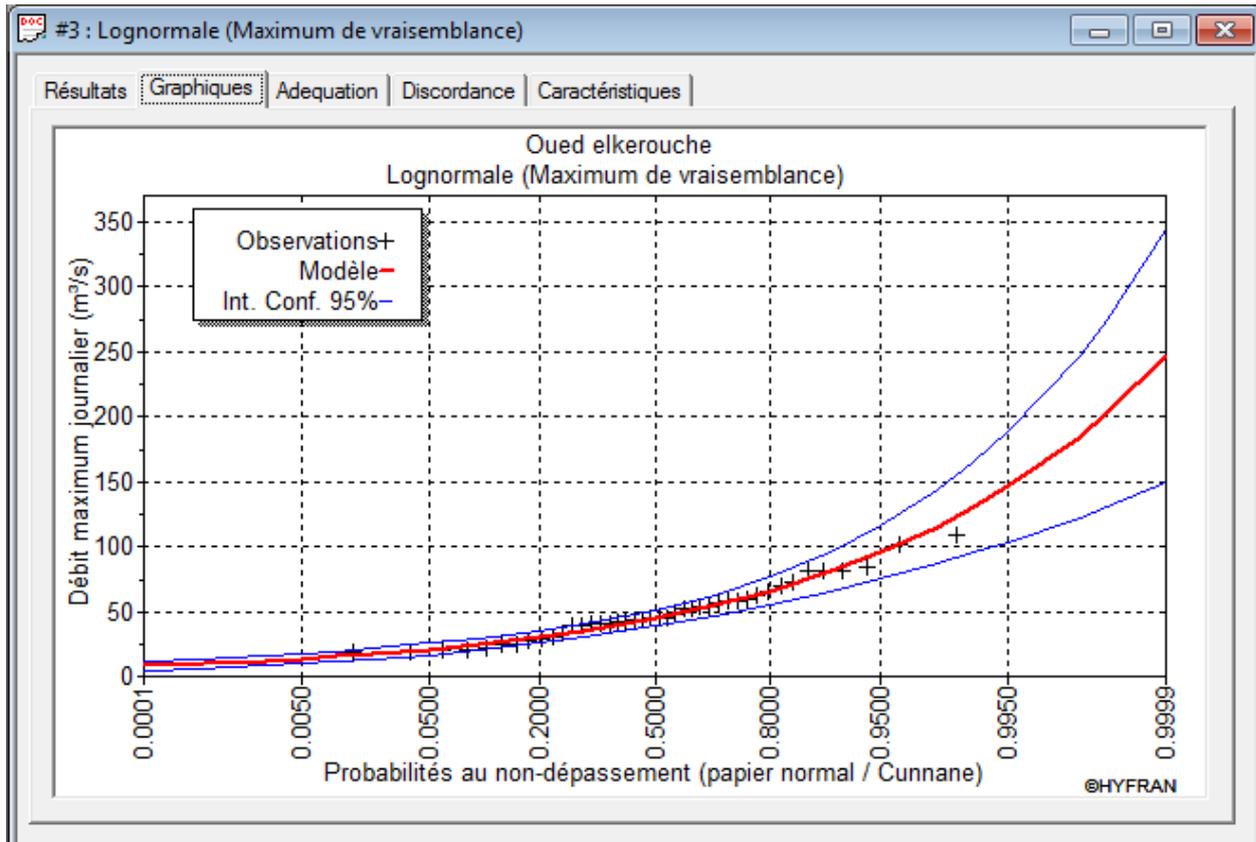


Figure II. 4: ajustement graphique de la loi de galton des pluies annuelle sur le bassin versant d'Oued kerouche.

#### II.6.4. Test de validité d'un ajustement :

##### a) Test d'adéquation par statique khi<sup>2</sup>

La loi choisie pour ajuster la distribution statistique de l'échantillon, ne représente qu'approximativement l'échantillon étudié, l'erreur commise en adoptant une loi donnée est une erreur d'adéquation. Il convient par conséquent de comparer l'adéquation de ces lois afin d'adopter le meilleur ajustement. L'un des tests le plus employé, est le test du Khi carré « $\chi^2$ ».

Le test d'adéquation du Khi<sup>2</sup> effectué à l'aide du logiciel Hyfran pour les 2 lois a donné les résultats suivants :

##### ➤ pour la loi Gumbel :

khi<sup>2</sup> : X<sup>2</sup>calculé = 10.19

p- value P = 0.07

Degrés de liberté : 5

Nombres des classes : 8

Sur la table de Pearson ,  $X^2$  théorique =11.07

➤ Pour la loi Log-Normale ( Galton)

Chi<sup>2</sup> :  $X^2$ calculé = 9.81

p- value P = 0.08

Degrés de liberté : 5

Nombres des classes : 8

Sur la table de Pearson ,  $X^2$  théorique =11.07

$X^2$  calculé <  $X^2$  théorique donc l'ajustement des lois sont bon pour une probabilité soit 95 % En utilisant les deux lois Gumbel et Galton, on constate que les droites d'ajustement sont bien ajustées par rapport aux nuages de points expérimentaux.

D'après la comparaison qui fait par Hyfran On a opté pour **la loi de Galton**.

.b) Graphique :

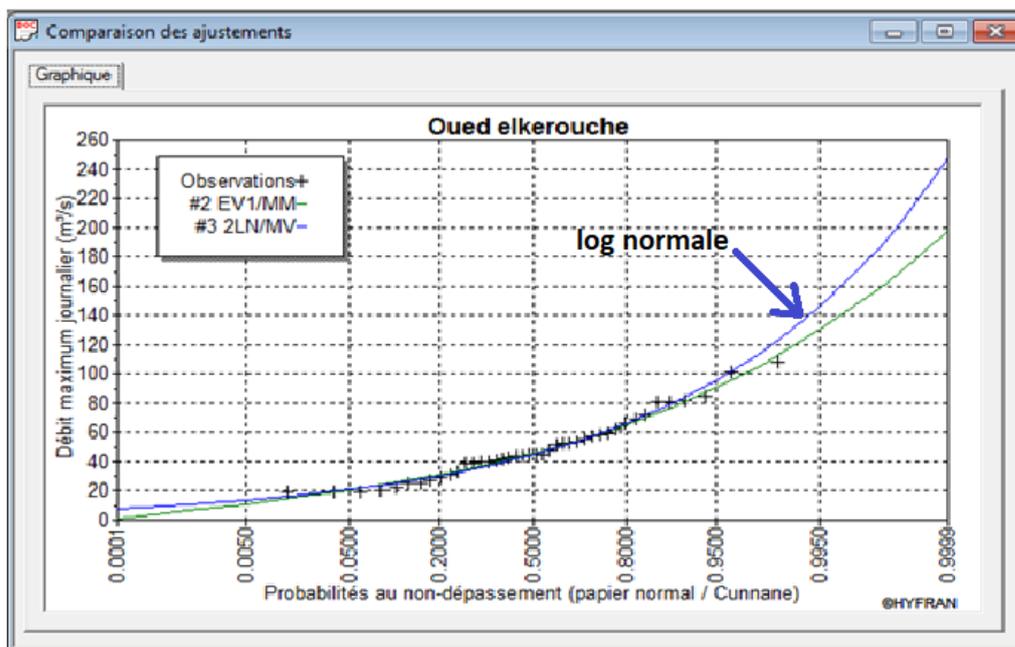


Figure II. 5: comparaison des deux lois

La visualisation des courbes est aussi un indicateur fiable sur le modèle à choisir, cela confirme le résultat du test qui privilégie une adéquation à **la loi Log-normale**.

### II.7. Calcul de l'intensité de pluie de courte durée : [03]

Le passage des pluies journalières maximales aux pluies de courtes durées est effectué au moyen de la formule K. Body (ANRH, 1984), Après avoir classé la série pluviométrique par l'ordre décroissant.

$$P_{tc} = P_{\max j} \left( \frac{t}{24} \right)^b \dots\dots\dots (II.11)$$

*Avec :*  $t$  : durée de l'averse.

$b$  : exposant climatique ( $b = 0.40$ )

Les intensités maximales de période  $t$  (h) et période de retour  $T$  (ans) sont calculées par la relation :

$$I_t = \frac{P_{ct}}{t} \dots\dots\dots(II.12)$$

- $I_t$  : l'intensité maximale de période t (h).
- $P$  : Pluies de courte durée (mm).
- $I$  : Intensité maximale (mm/h).

**Figure II. 6: Précipitation et intensités maximales pour les différentes périodes de retour.**

| Durée<br>de<br>l'averse<br>(h) | Période de retour (ans) |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
|--------------------------------|-------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                | 5                       |              | 10           |              | 20           |              | 50           |              | 100          |              | 1000         |              |
|                                | p%                      | Intensité    | p%           | Intensité    | p%           | Intensité    | p%           | Intensité    | p%           | Intensité    | p%           | Intensité    |
|                                | (mm)                    | (mm/h)       | (mm)         | (mm/h)       | (mm)         | (mm/h)       | (mm)         | (mm/h)       | (mm)         | (mm/h)       | (mm)         | (mm/h)       |
| <b>0</b>                       | 0.00                    | -            | 0.00         | -            | 0.00         | -            | 0.00         | -            | c            | -            | 0.00         | -            |
| <b>0.25</b>                    | 13.33                   | 53.30        | 16.29        | 65.17        | 19.28        | 77.11        | 23.26        | 93.04        | 26.36        | 105.45       | 37.44        | 149.75       |
| <b>0.5</b>                     | 16.98                   | 33.97        | 20.77        | 41.53        | 24.57        | 49.14        | 29.65        | 59.29        | 33.60        | 67.20        | 47.72        | 95.43        |
| <b>0.75</b>                    | 19.57                   | 26.10        | 23.93        | 31.91        | 28.32        | 37.75        | 34.17        | 45.55        | 38.72        | 51.63        | 54.99        | 73.32        |
| <b>1</b>                       | 21.65                   | 21.65        | 26.47        | 26.47        | 31.31        | 31.31        | 37.79        | 37.79        | 42.83        | 42.83        | 60.82        | 60.82        |
| <b>1.30</b>                    | <b>23.73</b>            | <b>18.25</b> | <b>29.01</b> | <b>22.32</b> | <b>34.33</b> | <b>26.41</b> | <b>41.42</b> | <b>31.86</b> | <b>46.94</b> | <b>36.11</b> | <b>66.67</b> | <b>51.28</b> |
| <b>3</b>                       | 31.80                   | 10.60        | 38.88        | 12.96        | 46.00        | 15.33        | 55.50        | 18.50        | 62.91        | 20.97        | 89.33        | 29.78        |
| <b>4</b>                       | 35.17                   | 8.79         | 43.00        | 10.75        | 50.87        | 12.72        | 61.38        | 15.35        | 69.57        | 17.39        | 98.80        | 24.70        |
| <b>6</b>                       | 40.53                   | 6.75         | 49.55        | 8.26         | 58.63        | 9.77         | 70.74        | 11.79        | 80.18        | 13.36        | 113.86       | 18.98        |
| <b>12</b>                      | 51.66                   | 4.30         | 63.16        | 5.26         | 74.72        | 6.23         | 90.16        | 7.51         | 102.19       | 8.52         | 145.12       | 12.09        |
| <b>24</b>                      | 65.84                   | 2.74         | 80.50        | 3.35         | 95.24        | 3.97         | 114.92       | 4.79         | 130.25       | 5.43         | 184.97       | 7.71         |

Les valeurs des pluies fréquentielles de courte durée correspondant au temps de concentration (tc) du bassin versant d'oued Kerouche sont présentées dans le tableau II.5

**Tableaux II. 4 : Pluies fréquentielles en mm de durée (tc)**

| Période de retour (ans) | Valeurs (mm) |
|-------------------------|--------------|
| 5                       | 23.73        |
| 10                      | 29.01        |
| 20                      | 34.33        |
| 50                      | 41.42        |
| 100                     | 46.94        |
| 1000                    | 66.67        |

## **II.8. Conclusion**

Dans ce chapitre on a pu analyser des données pluviométriques dans quelles circonstances une méthode d'estimation est la plus efficace pour une loi donnée. Pour notre étude on a utilisé deux lois, la loi Gumbel et la loi Galton (Log-normale) et l'ajustement des pluies maximales journalières a été traité par le logiciel "Hyfran".

D'après la comparaison faite par Hyfan On a opté pour la loi de Galton d'où on a remarqué que les données pluviométriques s'ajustent bien à cette loi.

## Chapitre III : Estimation des débits de crues des cours d'eaux

### III.1. Introduction

L'importance de l'étude des crues nous oblige de bien faire les calculs pour le dimensionnement d'un ouvrage se trouvant à l'aval d'un bassin versant donné ou d'une partie de ce dernier, d'où les techniques utilisées pour la détermination des crues dépendent des données disponibles. Presque chaque problème qui se produit est unique du aux variations des conditions et des données

Dans ce but, des méthodes plus ou moins complexes ont été développées. Dans notre travail on a opté de travailler avec des approches différentes et de choisir celle qui conviendra le mieux à notre contexte.

Les méthodes utilisées sont les suivantes :

- La méthode empirique de Sokolovsky.
- La méthode empirique de Turazza.
- Le modèle ANRH de prédétermination de crues du Nord d'Algérie.
- La méthode empirique de MALLET-GAUTHIER .

### III.2. Présentation du bassin versant :

Le bassin versant d'oued Kerouche fait partie du grand bassin versant de Cheliff code ANRH (01), et du sous bassin versant (16), non loin de la confluence avec oued Deurdeur. Dont la superficie est de 11,60 Km<sup>2</sup>, il culmine à une altitude de 1066 m au Djebel Mekaoutou, avec un coefficient de compacité de 1,86.

Il est situé dans le territoire de la commune de Tarek Ibn Ziad

Suite a l'existence de la retenue collinaire d'oued Rahil dans le bassin versant d'Oued Kerouche nous avons devisé celui-ci en deux sous bassin, à savoir :

1. sous bassin 1 du projet de protection de Tarek Ibn Ziad contre les inondations.
2. sous bassin 2 de la retenue collinaire d'oued Rahil existante.

Les coordonnées UTM de l'exutoire du bassin versant d'oued kerouche et de son sous bassin versant n°1 et du site de la retenue collinaire d'oued Rahil sont représentées dans le tableau ci-dessous ;

**Tableau III. 1: Coordonnées UTM du bassin versant et du sous bassin n°1 d'oued kherouche du site de la retenue collinaire d'oued Rahil.**

| Site   | X(Km)  | Y(Km)    | Z (m) |
|--|--------|----------|-------|
| Oued Kerouche (exutoire)                     | 423,80 | 3 982,95 | 635   |
| Oued Kerouche (exutoire sous bassin versant) | 423,14 | 3 983,38 | 647   |
| Retenue collinaire                           | 419,78 | 3 981,21 | 722   |

### III.3. Calcul des crues :

#### III.3.1. le débit de crue du bassin versant de oued kerouche

##### A. la méthode de SOKOLOVOSKY.

La méthode de Sokolovsky, Le débit maximum probable est donnée par la formule suivante :

$$Q_{\max, p\%} = 0,28 \cdot \frac{P_{tc\ p\%} \cdot \alpha_{p\%} \cdot S \cdot f}{t_m = t_c} \dots\dots\dots(III.1)$$

- $\alpha_{p\%}$ : Coefficient de ruissellement pour la crue probable.
- $S$  : Surface du bassin versant en Km<sup>2</sup>.
- $f$  : Coefficient de forme de la crue.
- $T_c$ : temps de concentration du bassin versant en h.
- 0.28 : coefficient de changement d'unité.
- $P_{tc\ p\%}$  : lame d'eau précipitée pour une probabilité donnée et une durée égale au temps

$$\alpha_{p\%} = \frac{\sqrt{P_{tc\ p\%}} - \sqrt{H_0}}{\sqrt{P_{tc\ p\%}} + \sqrt{H_0}}$$

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

$$f = \frac{12}{4 + 3\gamma} \dots\dots\dots(III.2)$$

Pour  $S \leq 50 \text{ Km}^2$  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 :  $\gamma = 3 \div 4$

Si on prend  $\gamma = 2$  alors :

$$f = \frac{12}{4 + 3\gamma} = 1.2$$

**Tableau III. 2Débit de crues fréquentielles d'oued Kerouche (Sokolovsky)**

| <b>Période de</b>                | <b>5</b> | <b>10</b> | <b>20</b> | <b>50</b> | <b>100</b> | <b>1000</b> |
|----------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|
| <b><math>\alpha_p\%</math></b>   | 0,27     | 0.3       | 0.35      | 0.4       | 0.45       | 0.5         |
| <b><math>P_{tc f}\%</math></b>   | 23.73    | 29.01     | 34.33     | 41.42     | 46.94      | 66.67       |
| <b><math>Q_{max}(m^3/</math></b> | 26.04    | 32.05     | 42.87     | 56.34     | 69.46      | 120.06      |

**B. Formule de Turazza**

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

$$Q_{\max, P\%} = \frac{C \cdot \bar{i}_{tc} \cdot S}{3.6} \dots \dots \dots (III.3)$$

$\bar{i}_{tc}$  : Intensité moyenne maximale des précipitations pendant une durée égale au temps de concentration en (mm/h). Ce paramètre est calculé dans le Tableau de courbe IDF.

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

**Tableau III. 3: valeur de coefficient de ruissellement C.**

|                   |     |      |      |     |      |     |
|-------------------|-----|------|------|-----|------|-----|
| Fréquence %       | 1   | 2    | 5    | 10  | 20   | 50  |
| Période de Retour | 100 | 50   | 20   | 10  | 5    | 2   |
| C                 | 0.7 | 0.68 | 0.65 | 0.6 | 0.55 | 0.5 |

**Tableau III. 4: Débit de crue de oued kerouche**

| Oued kerouche |               |               |               |              |
|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| T ans         | 100           | 50            | 10            | 5            |
| P (mm)        | 46.94         | 41.42         | 29.01         | 23.73        |
| I (mm/h)      | 36.11         | 31.86         | 22.32         | 18.25        |
| C             | 0.700         | 0.680         | 0.600         | 0.55         |
| Q (m3/s)      | <b>81.448</b> | <b>69.808</b> | <b>43.152</b> | <b>32.34</b> |

**C. Formule de MALLET-GAUTHIE**

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

**Q<sub>max p%</sub>** : Débit maximum pour une fréquence donnée (m<sup>3</sup> /s) ;

**P<sub>moy</sub>** : Pluie moyenne annuelle (m) ;

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

**L** : Longueur du talweg principal (Km) ;

**K** : Constante dépendant des caractéristiques du bassin :

K (1-3) ;

On prend **K** = 2                      **A** = 20

**T** : Période de retour (an).

Les résultats de calcul des débits de crues pour le bassin versant d'Oued Kherouche sont présentés dans le tableau

**Tableau III. 5 : Débit des crues fréquentielles d'oued Kerouche (Mallet-Gauthier)**

| <b>T<br/>(années)</b>      | <b>5</b> | <b>10</b> | <b>20</b> | <b>50</b> | <b>100</b> | <b>1000</b> |
|----------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|
| <b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b> | 28.37    | 34.06     | 38.92     | 44.54     | 48.36      | 59.31       |

**D. Méthode fréquentielle ANRH**

Le débit de pointe moyen annuel est calculé par la relation de Bennie/Athkins :

$$Q_p = 0,000781 * S^{0,688} * P^{1,275} \dots \dots \dots \text{(III.5)}$$

**Q<sub>p</sub>** : Débit de pointe annuel (m<sup>3</sup>/s). Pour Oued Kerouche, le débit de crue moyen annuel est égal à :

$$Q_p = 0.000781 \cdot S^{0.688} \cdot P_{\text{an}}^{1.275} = 0.000781 * (11,60)^{0.668} * (485)^{1.275} = 10,67 \text{ m}^3/\text{s}$$

### CHAPITRE III

#### Estimation des débits de crues des cours d'eaux

Avec:

- P : pluie moyenne annuelle reçue par le bassin versant (mm).
- S : surface du bassin versant en Km<sup>2</sup>.

$$Q_{pt} = 10.67e^{0.95U}$$

**Tableau III. 6: Débit de crues fréquentielles d'oued kerouche**

| T ans | 5     | 10    | 20    | 50    | 100   | 1000   |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| u     | 0.84  | 1.28  | 1.64  | 2.05  | 2.32  | 3.09   |
| Qf%   | 23.70 | 36.00 | 50.68 | 74.81 | 96.68 | 200.93 |

**Tableau III. 7: les résultats finals**

| Période de retour | 5            | 10           | 20           | 50           | 100          | 1000          |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Mallet-Gautier    | 28.37        | 34.06        | 38.92        | 44.54        | 48.36        | 59.31         |
| Sokolovsky        | <b>26.04</b> | <b>32.05</b> | <b>41.87</b> | <b>56.34</b> | <b>69.46</b> | <b>120.06</b> |
| ANRH              | 23.70        | 36.00        | 50.68        | 74.81        | 96.68        | 200.93        |
| Turaza            | <b>32.34</b> | <b>43.15</b> | -            | <b>69.80</b> | <b>81.44</b> | -             |

D'après les résultat des déférente méthodes on opte le débit de la méthode de sokolovsky

**III.3.2. Les débits des crues du sous bassin versant n°1 d'oued Kerouche :**

Les valeurs des débits des crues des sous bassins versants sont déterminées à partir de la méthode Sokolovsky

**Tableau III. 8 Débit des crues fréquentielles du sous bassin versant n°1 d'oued Kerouche (S=10,62 Km<sup>2</sup>)**

| Période de                           | 5     | 10    | 20    | 50    | 100   | 1000  |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| αp%                                  | 0,27  | 0.3   | 0.35  | 0.4   | 0.45  | 0.5   |
| P <sub>tc f</sub> %                  | 23.73 | 29.01 | 34.33 | 41.42 | 46.94 | 66.67 |
| Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /s) | 17.58 | 23.88 | 32.98 | 45.47 | 57.97 | 91.49 |

**III.4 Construction des hydrogrammes des crues (SOKOLOVSKY) :**

La méthode de Sokolovsky divise l'hydrogramme en deux parties non symétriques, une est calculée à partir du temps de montée et l'autre à partir du temps de décrue, chacune a sa propre équation.

**A) Pour le temps de montée :**

$$Q_{max} = Q_{max p} [t/t_m]^n \dots\dots\dots(III.5)$$

**B) Pour la décrue :**

$$Q_{max} = Q_{max p} [t_d - t/t_d]^m \dots\dots\dots(III.6)$$

- T<sub>m</sub>=T<sub>c</sub> : Temps de montée.
- T<sub>d</sub> = □ T<sub>m</sub> (Sokolovsky).
- δ : Coefficient qui dépend des caractéristiques du bassin versant on le prend égale à 2  
.δ =2

Pour des crues pluviales nous avons m = 2 et n = 3

Le temps de montée est généralement assimilé au temps de concentration : t<sub>m</sub> = t<sub>c</sub>

Le temps de décrue : t<sub>d</sub>= 2 t<sub>m</sub>

On aura donc  $t_m = 1,30$  heures et  $t_d = 2,60$  heures.

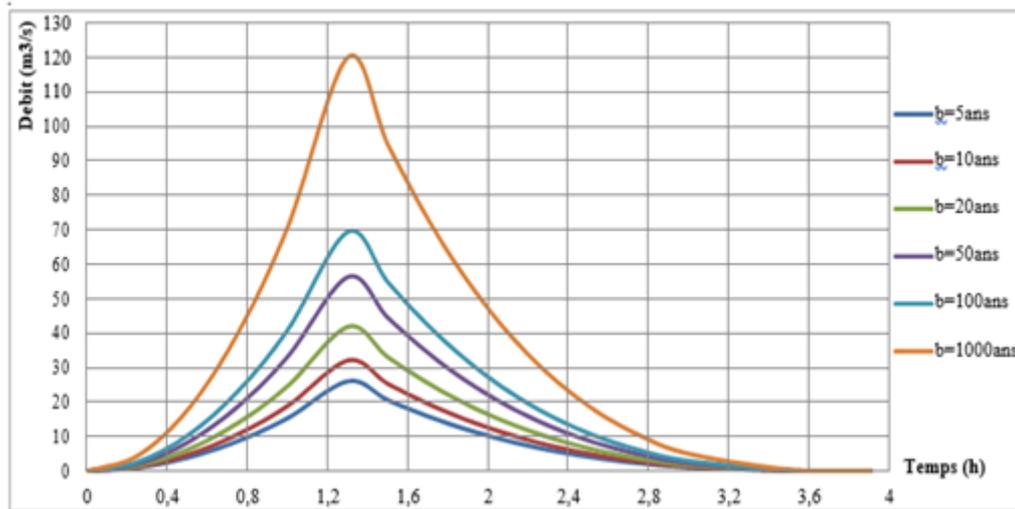


Figure III. 1: Hydrogrammes de crues d'oued kerouche

### III.4.1. Calcul des débits de pointe en cas de débordement de la retenue collinaire d'oued Rahil affluent d'oued Kerouche :

L'existence de la retenue collinaire d'oued Rahil en amont de oued kerouche nous contraint à tenir compte des débits de crues déversés par l'évacuateur de crues de cette dernière pour l'estimation du débit de pointe de notre projet d'étude.

Selon la documentation du projet de la retenue collinaire d'oued Rahil mise à notre disposition par l'A.P.C de Tarek Ibn Ziad, les résultats de l'étude sont :

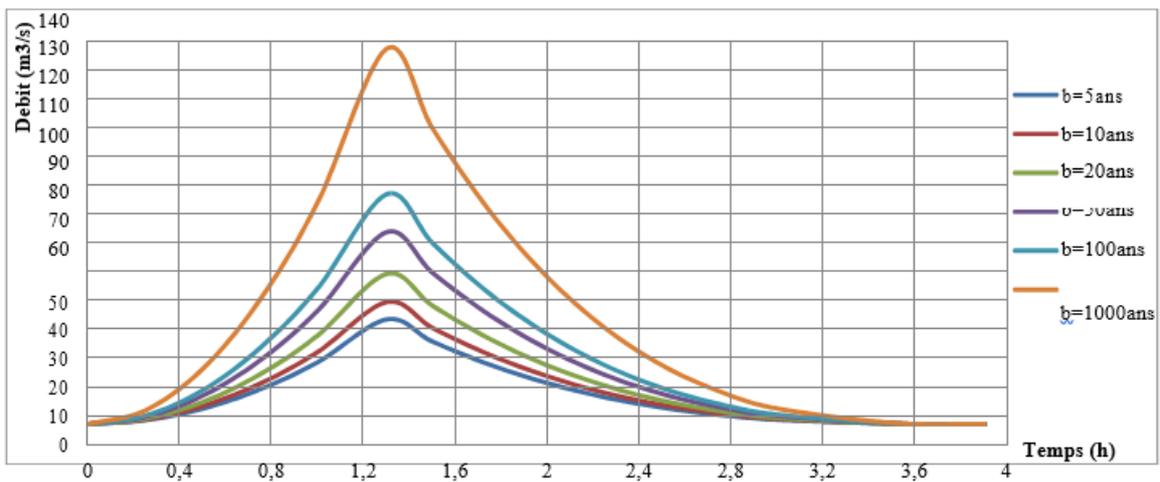
- La crue de projet de fréquence centennale est de l'ordre  $Q_{1\%} = 19,30 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Le débit maximum laminé (déversé) correspondant à la crue centennale est  $Q_{\text{dév}} = 10,31 \text{ m}^3/\text{s}$ , pour une largeur du seuil déversant de :  $b = 6 \text{ m}$  et une lame d'eau écoulée de :  $h_d = 0,88 \text{ m}$ .

Alors dans ce cas le débit centennial d'oued Kerouche sera de l'ordre :

$$Q_{K1\%} = 69,46 + 10,31 = 79,77 \text{ m}^3/\text{s}.$$

**Tableau III. 9** Débit des crues fréquentielles d'oued Kherouche en cas de déversement des crues dans la retenue collinaire d'oued Rahil

| Période de retour                        | 5     | 10    | 20    | 50    | 100   | 1000   |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Débit du bassin versant d'oued Kherouche | 36.35 | 42.36 | 52.18 | 66.65 | 79.77 | 130.37 |
| Débit du sous bassin versant             | 35.22 | 40.98 | 50.38 | 64.22 | 76.77 | 125.19 |



**Figure III. 2** Hydrogrammes de crues d'oued Kerouche en tenant compte le déversement des crues de la retenue collinaire d'oued Rahil.

### III.5. Transport solide :

**Formule de Tixeront :**

Cette formule a été établie à partir de 32 bassins versants algériens et 9 bassins tunisiens. Elle tient compte de la répartition du bassin versant en fonction de sa perméabilité :

$$Ta = \alpha Lr^{0.15} \dots\dots\dots(III.6)$$

Ta : Taux d'abrasion en T/km<sup>2</sup>.an.

Lr : Lane ruisselée en mm. Calculé par la formule de Mallet –Gautier :

$$Lr = 0.6P(1 - 10^{-0.36 P^2}) = 51.55 \text{ mm} \dots\dots\dots(III.7)$$

P : pluviométrie moyenne en (m)

a : Coefficient caractérisant la perméabilité du bassin versant

Pour les bassins versants à perméabilité moyenne à faible  $\alpha = 350$ .

Cette formule donne une valeur de **Ta = 632,27 T/Km<sup>2</sup>.an**

### III.5. Conclusion :

L'estimation des débits de crues et l'hydoramme de crues a été faite par plusieurs approches. Ces approches et ces méthodes donnent des résultats différents et parfois des résultats proches l'un de l'autre Pour notre cas pour qu'on puisse avoir un résultat représentatifs on cherche toujours la méthode qui demande moins d'estimation et se base sur des données réelles c'est pour cela on a choisi la methode de skolovski .

## Chapitre IV : Étude des écoulements dans les cours d'eaux non aménagés

### IV.1 Introduction

Dans cette étape on va construire un système qui s'approche de la réalité, pour étudier le comportement de l'écoulement dans les cours d'eaux non aménagés. Pour simuler les différentes crues déterminées précédemment, et déterminer les zones submergées par les eaux. Le but est d'obtenir une carte des zones inondables du secteur d'étude.

### IV.2 Description du réseau à simuler

L'étude concernera Oued Kerouche sur une longueur de 2 Km telle que les coordonnées de l'exutoire de oued kerouche est :  $X=423.8$ ,  $Y=3982.95,635$ .



**Figure IV. 1 Décharge sauvage de déblais du chantier et ordures en tous genres sur la rive droite de l'oued à l'amont de la ville**

### **IV.3 Simulation de l'écoulement sur HEC-RAS :**

Nous allons à présent mener une étude plus locale sur l'inondabilité des zones à risques. Pour cela, nous disposons de la réponse hydrologique en tout point du bassin versant, ainsi que les estimations de débits de crue pour différentes périodes de retour, obtenues par la méthode SOKOLOVSKY

La simulation sera donc lancée sur le logiciel HEC-RAS, l'application du modèle HEC-RAS nécessite une banque de données bien fournie concernant les tronçons de l'oued considérés.

- Les données géométriques relatives à chaque section :
  - Le profil en travers, défini par une série de couples distance-altitude.
  - Les trois distances principales à la section suivante : rive gauche, droite et axe de lit mineur.
- Les données hydrométriques à savoir le débit de projet et les conditions aux limites.

### **IV.4 Démarche de la simulation :**

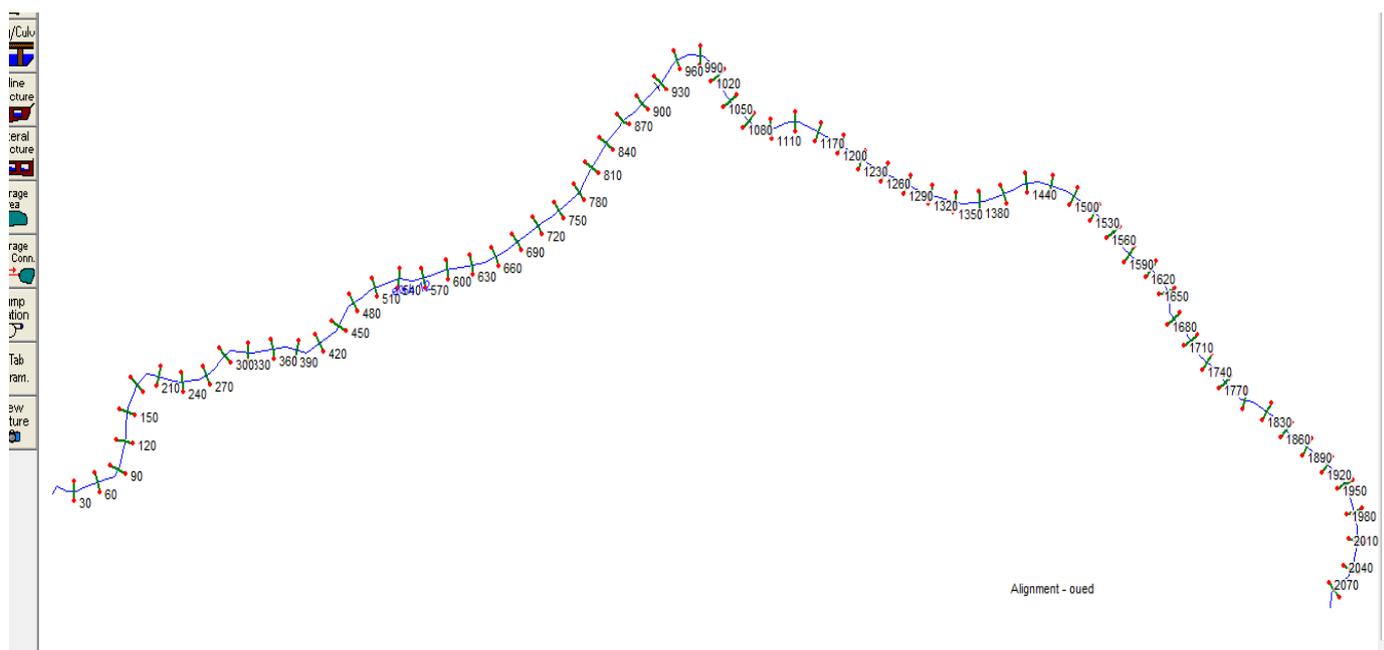
Cette démarche se fait en quatre étapes :

- Modélisation de la rivière.
- Modélisation de l'écoulement.
- Mise en marche de la simulation.
- Visualisation des résultats et constatation.

### 1) Modélisation de la rivière :

Dans ce projet, nous avons utilisé le levé topographique fourni par le bureau d’étude. La réalisation de la géométrie de oued kerouche consiste à implémenter des profils en travers représentatifs, sur lesquels on calcule la hauteur d’eau et d’autres caractéristiques de l’écoulement.

Pour charger les profils nous avons utilisé le logiciel AutoCad Civil 3D, qui présente l’avantage de générer automatiquement des fichiers de géométrie à partir du levé topographique, reconnus par HEC-RAS nous donnant les profils transversaux de l’amont à l’aval espacés de 30 mètres et respectons le sens d’écoulement Cela nous a permis de gagner en temps et en précision.



**Figure IV. 2 Oued kerouche chargés sur HEC-RAS**

## 2) Modélisation de l'écoulement

Sous l'hypothèse d'écoulement mixte, les conditions aux limites imposées pour la résolution du calcul hydraulique sont :

- ❖ Un débit en entrée.
- ❖ Coefficient de Manning
- ❖ Une hauteur critique sera calculée en aval et en amont.

Pour les conditions en entrée, les débits disponibles ont été présentés dans le chapitre III.

### ❖ Le débit d'entrée d'oued kerouche

**Tableau IV. 1 : le debit d'entree de oued kerouche**

| Sous bassin      | Débit centennale (m <sup>3</sup> /s) |
|------------------|--------------------------------------|
| SB Oued_Kerouche | 79.77                                |

### ❖ Le choix de coefficient de Manning :

Pour le choix de coefficient de Manning des deux berges (gauche et droite) et du lit, on fait le choix en se basant sur l'analyse granulométrique qui nous affirme que notre sol appartiendrait aux sol grossier ou y a la présence des Caillaux , gravier et du sable .

ce sol correspond a un coefficient de Manning égale a 0.025 .

Pour notre cas on a choisi le même coefficient pour les rives et le lit.

**Tableau IV. 2 : coefficient de Manning choisi pour oued kerouche :**

|               | Rive gauche | Lit mineur | Rive droite |
|---------------|-------------|------------|-------------|
| Oued_Kerouche | 0.025       | 0.025      | 0.025       |

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

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

### 3) Mise en marche de la simulation

Après avoir introduit les données géométrique et hydrométrique de oued kerouche, les calculs peuvent être effectués pour plusieurs débits simultanément, soit en régime torrentiel, soit en régime fluvial, ou pour les deux régimes d'écoulement. Pour notre cas on fait le choix de régime d'écoulement, supposé mixte, et on lance la simulation

### 4) Visualisation des résultats et constatation

Après avoir lancé le calcul sous HEC-RAS, nous pouvons obtenir de nombreux résultats. En outre, nous pouvons obtenir les profils des zones inondables selon le débit considéré. Et les vitesses d'écoulement ainsi que les lignes d'eau et d'énergie .

Nous pouvons ainsi observer la variation de la vitesse d'écoulement sur le lit mineur et les deux rives suivant chaque profil en travers. Nous remarquerons que la vitesse est très fluctuante.

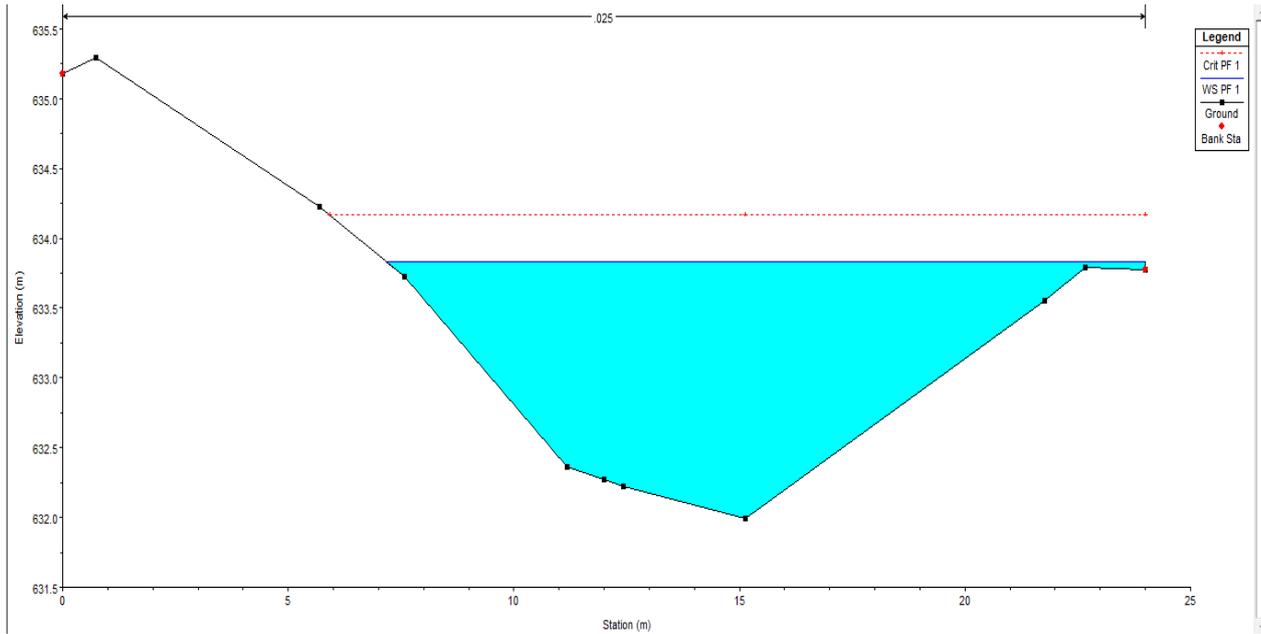


Figure IV. 3 résultat de la simulation a l'aval de oued kerouche

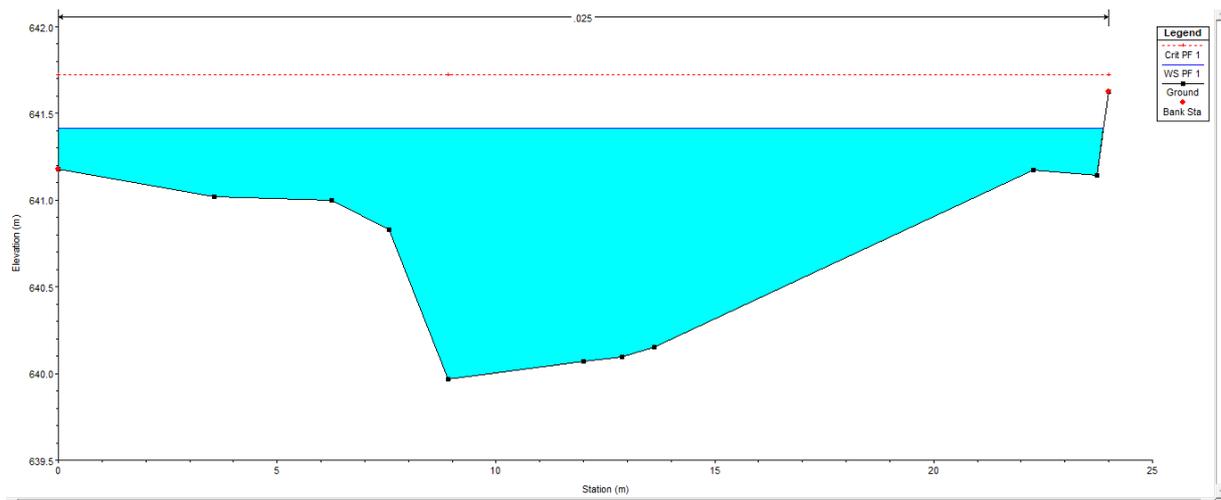


Figure IV. 4 :une coupe le long de oued kerouche

# CHAPITRE IV

## Etude des écoulement dans les cours d'eau non aménagés

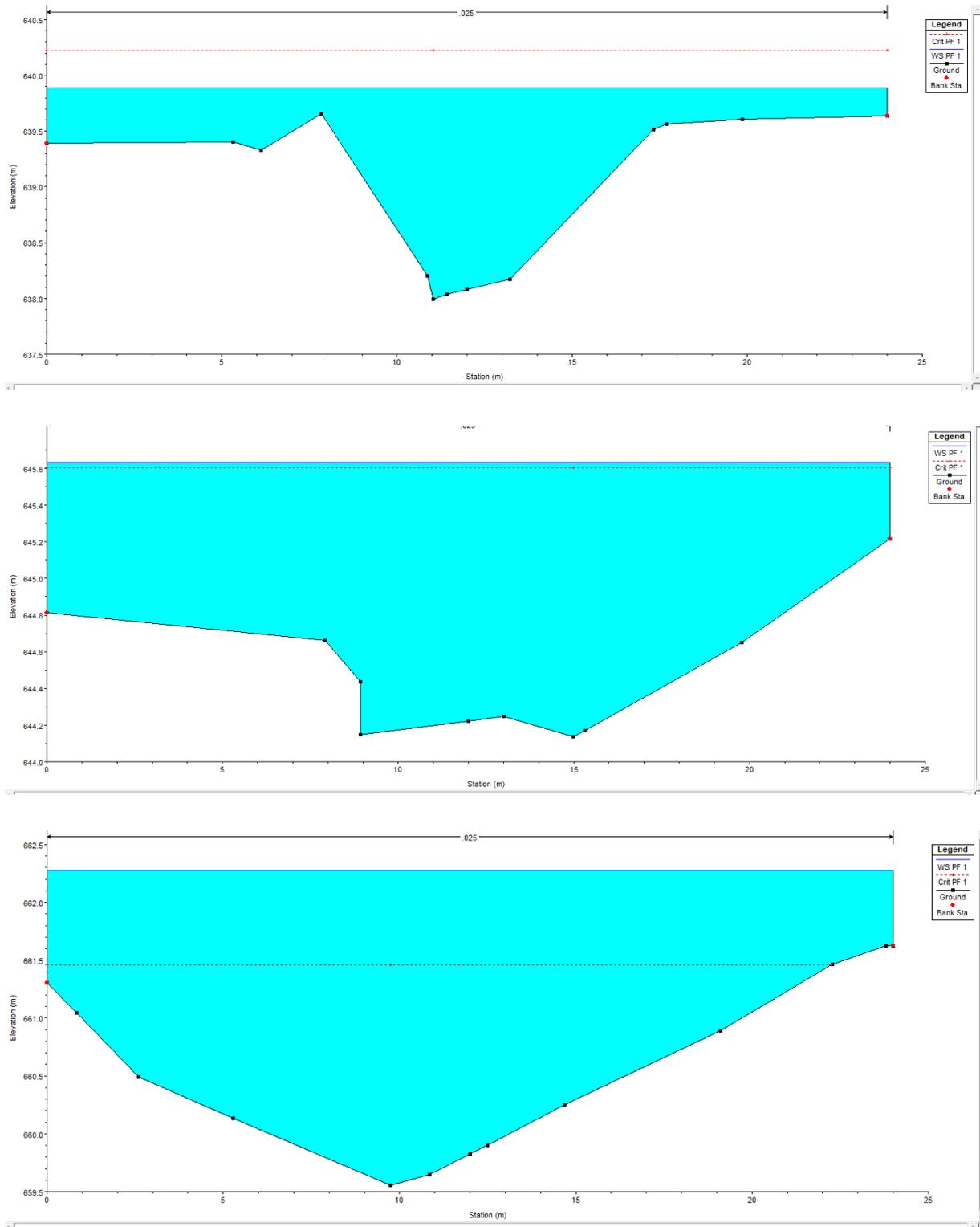


Figure IV. 5 : des coupe le long de oued kerouche

## CHAPITRE IV

### Etude des écoulement dans les cours d'eau non aménagés

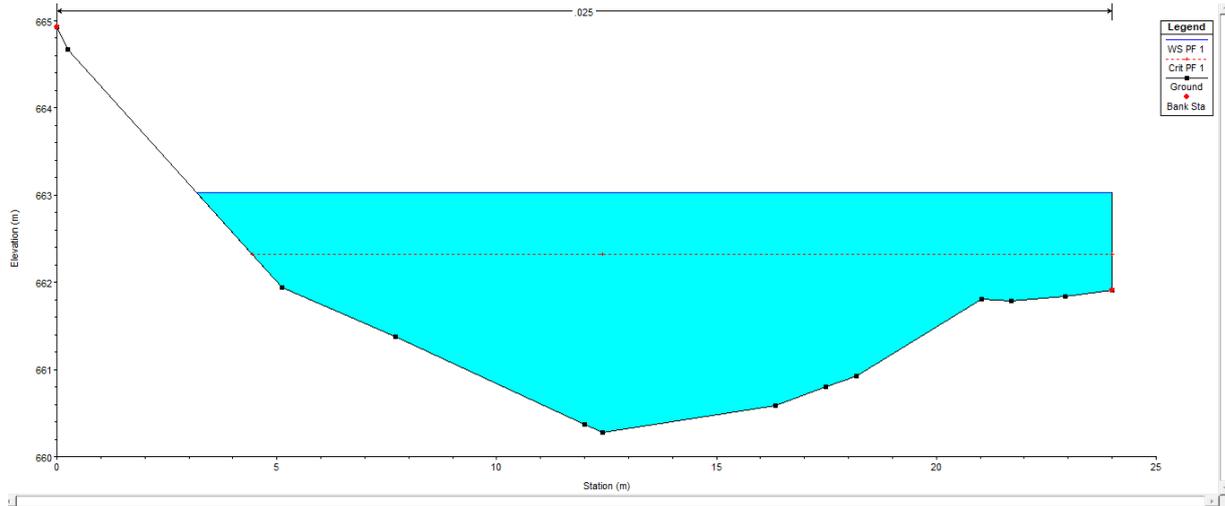


Figure IV. 6 :résultat de la simulation a l'amont de l'oued

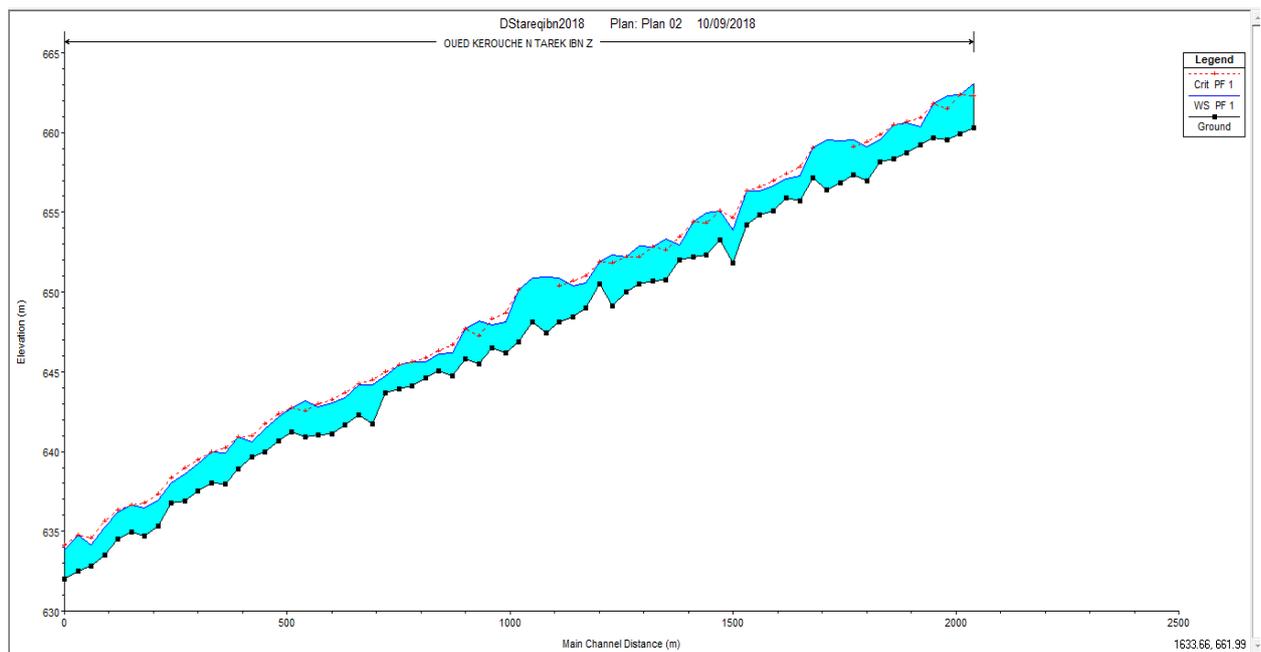
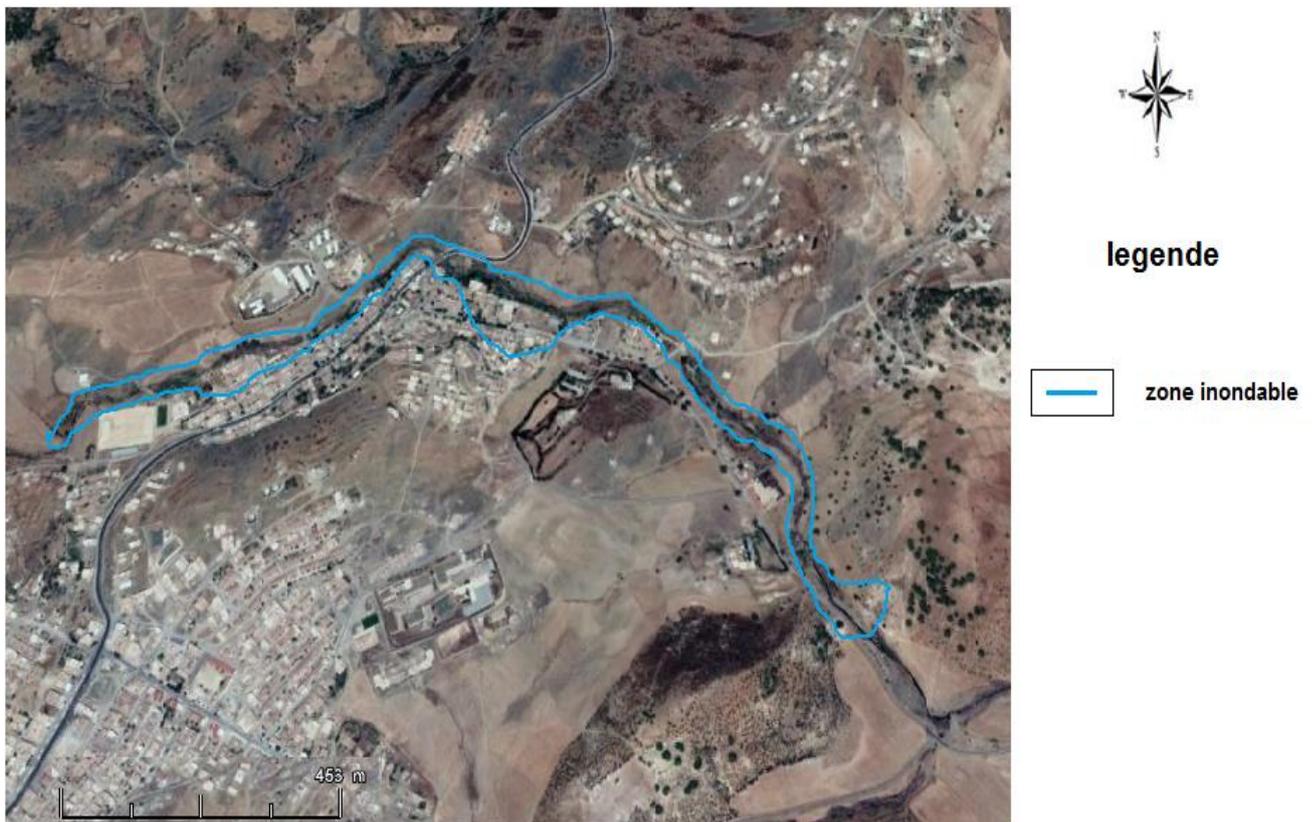


Figure IV. 7 Profil en long de oued kerouche après la simulation

Après avoir calculé les profils d'inondation avec HEC-RAS, notre objectif dans cette partie est la délimitation des plaines inondables où nous avons basé sur les résultats de la simulation précédente avec utilisation de l'application RAS-Mapper intégré dans HEC-RAS version 5.3.0.



**Figure IV. 8 : la zone inondable de oued kerouche .**

#### **IV. Conclusion :**

Cette étape nous a permis de bien connaître la situation de notre zone d'étude, sa réponse vis-à-vis des inondations et de localiser les différentes zones envahies par l'inondation occasionnée par la crue centennale.

## Chapitre V : Etude des variantes d'aménagement pour le système de protection contre les inondations

### V.1 Introduction

Le but de cette étude, est de bien protéger la ville de Tarek ibn ziad contre les inondations. Cette protection consiste à sélectionner les meilleures solutions d'aménagements compte tenu des conditions naturelles.

Sur la base des résultats obtenus à partir des chapitres précédents, et en fonction de l'analyse de notre zone d'étude, des schémas d'aménagement d'Oued Kerouche seront proposés.

Ces aménagements répondaient souvent à des objectifs légitimes

- Protéger les terres cultivables et les habitations contre les inondations.
- Lutter contre l'érosion des berges.
- Faciliter la navigation fluviale
- Produire de l'énergie, irriguer, alimenter en eau potable.
- Les différents aménagements répertoriés

### V.2 Canalisation :

La Canalisation est une machine hydraulique aménagée par l'homme dont le concepteur doit assurer la permanence d'une alimentation en eau suffisante à sa fonction, au milieu d'un environnement plus ou moins difficile. La modification se fait sur les caractéristiques géométriques et hydrauliques d'un cours d'eau, par curages, creusement, rectifications...

- **Dragage**

Le dragage est un approfondissement du lit mineur par prélèvement de ses matériaux. Creuser le lit mineur c'est dans tous les cas augmenter la pente et donc accélérer le courant.

- **Couverture du cours d'eau**

La couverture du cours d'eau est la chenalissations poussée à l'extrême, notamment en milieu urbain avec la couverture ou la mise sous tuyau complète du cours d'eau sur des linéaires pouvant être très importants.

- **Endiguement**

L'endiguement est l'augmentation de la hauteur des berges pour éviter le débordement des eaux, et pour préserver le maximum d'espace pour l'agriculture et l'urbanisation.

- **Rectification**

La rectification (recouplement des méandres) de très nombreux cours d'eau naturellement sinueux ou méandriques ont été artificiellement rectifiés sur longues distances, généralement pour en augmenter

- **Recalibrage**

Le principe du recalibrage consiste à augmenter la débitance du lit mineur en augmentant la section d'écoulement par élargissement du lit, approfondissement ou les deux.

### V.3 Variante proposée :

Nous allons proposer deux variante dans le but de protégé la ville de Tareq Ibn Ziad contre les inondations mais aussi Il faut surtout que la solution soient réalisables du point de vue technico - économique et qu'elles soient, bien adaptées avec le terrain et ses conditions aussi bien topographiques que géologiques.

**Tableau V. 1 : Aménagement proposer**

| Oued          | Aménagement proposé  |
|---------------|--|
| Oued Kerouche | Variante 1 : protection en enrochement avec un canal trapézoïdale. |
| Oued Kerouche | Variante 2 : protection en béton armé avec un canal trapézoïdal    |

## V.4 Première Variante : Aménagement en enrochement

### V.4.1 Choix de la formule de dimensionnement

Dans ce calcul on va opter pour la formule de « Manning Strickler », dont la formulation est la suivante :

$$Q = \frac{1}{n} * R_h^{\frac{2}{3}} * S * I^{1/2} \dots\dots\dots(V.1)$$

Où les différents paramètres sont :

Q : débit de dimensionnement.

n : Rugosité du canal, avec n=0.025 pour enrochement .

$R_h$  : Rayon hydraulique, avec :

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

S : Section du canal, pour une forme trapézoïdale  $S_m$  vaut :

$$S_m = (b + m * h) * h \dots\dots\dots(V.3)$$

$P_m$  : Périmètre mouillé, pour une forme trapézoïdale  $P_m$  se calcule ainsi :

$$P_m = b + 2 * h \sqrt{1 + m^2} \dots\dots\dots(V.4)$$

**m** : Fruit du talus, pris dans notre calcul égale à 1.5.

**I** : Pente du canal, représente la pente du radier après l'aménagement, les valeurs distribuées aux différents tronçons, sont récapitulées dans le tableau suivant :

Les résultats de calcul pour les différents tronçons sont donnés dans le tableau suivant

**Tableau V. 2 pente et fruit de talus correspondants**

| Oued          | Tronçon | Longueur(m) | Pente % | Fruit de talus |
|---------------|---------|-------------|---------|----------------|
| Oued kerouche | 1       | 570         | 1.6     | 1.5            |
|               | 2       | 600         | 1.3     | 1.5            |
|               | 3       | 450         | 1.5     | 1.5            |
|               | 4       | 450         | 1.1     | 1.5            |

**V.4.2 Procédé de calcul**

On remplaçant dans la formule (V.1), les termes S, R<sub>h</sub> par leurs relations, après un développement et une simplification on aura la formule suivante :

$$\frac{Q*n}{\sqrt{I}} = \frac{[(b+m*h)*h]^{5/3}}{[b+2*h*\sqrt{1+m^2}]^{2/3}} \dots\dots\dots(V.5)$$

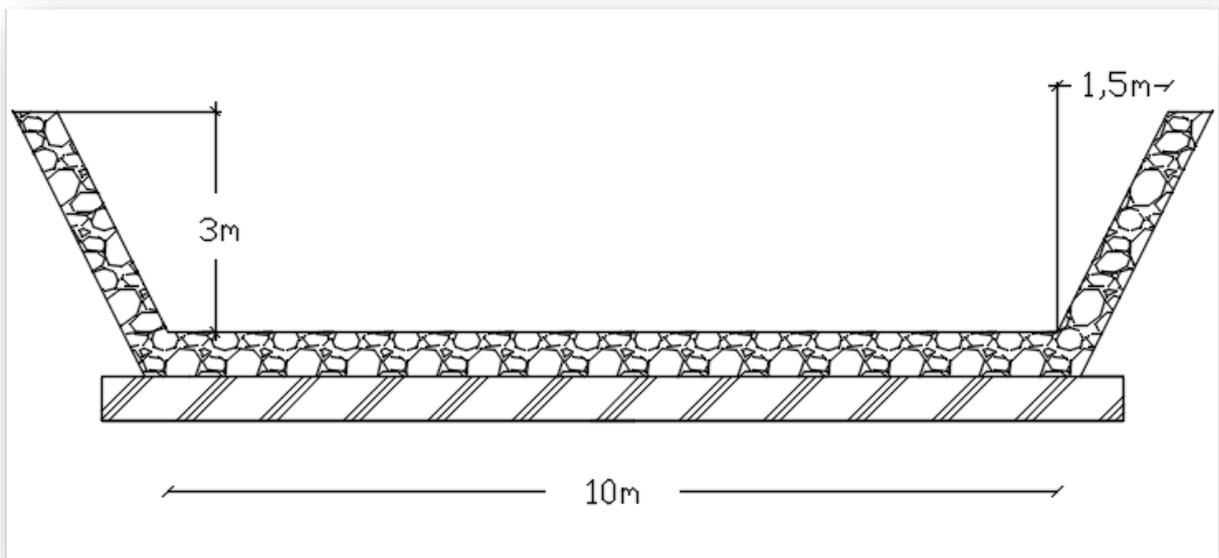
Les termes **Q, n, I, m** sont connus, on procède au calcul itératif à l'aide de l'Excel, dont on fixe b et on varie h jusqu'à l'obtention d'une égalité entre les deux termes de l'équation (V.5) On ajoutant à la valeur de h qui satisfera l'égalité, une marge de sécurité de 0.7 m.

**V.4.3 Les résultats par itération**

**Tableau V. 3 resultats de la 1 ere variante**

| Oued          | tronçon | Longueur(m) | Pente % | Fruit talus | B  | h   | H   |
|---------------|---------|-------------|---------|-------------|----|-----|-----|
| Oued kerouche | 1       | 750         | 1.6     | 1.5         | 10 | 2.  | 2.7 |
|               | 2       | 600         | 1.3     | 1.5         | 10 | 2.2 | 2.9 |
|               | 3       | 450         | 1.5     | 1.5         | 10 | 2.1 | 2.8 |
|               | 4       | 450         | 1.1     | 1.5         | 10 | 2.3 | 3   |

d'après le tableaux ci-dessus on a opté de travaillée par une basse de 10m et une hauteur de 3m le long de tout l'oued pour assurer l'écoulement torrentiel qui nous assure la protection de la ville .



**Figure V. 1 schéma type d'aménagement en enrochement**

#### **V.4.4 Simulation des résultats**

Après avoir déterminé les dimensions de chaque variante, on procède au calcul des différents paramètres hydrauliques, à l'aide de simulateur HEC-Ras.

Les résultats de simulation des Oueds en canal trapézoïdale, nous permet de connaître le régime de l'écoulement, la vitesse en chaque section ainsi la nouvelle capacité de l'oued aménagé et sa réponse vis-à-vis de la crue de projet.

Les résultats de simulation de oued kerouche sont donnés par le tableau suivant :

**Tableau V. 4résultat de simulation de Oued\_kerouche**

| Tronçon | Débit<br>Q<br>(m <sup>3</sup> /s) | Vitesse<br>(m/s) | Froude | Hauteur<br>critique | Remarque         |
|---------|-----------------------------------|------------------|--------|---------------------|------------------|
| 1       | 79.77                             | 6.03             | 1.77   | 3                   | Regime torentiel |
| 2       | 79.77                             | 4.06             | 1.01   | 2.9                 | Regime torentiel |
| 3       | 79.77                             | 5.03             | 1.37   | 2.7                 | Regime torentiel |
| 4       | 79.77                             | 3.39             | 0.77   | 2.1                 | Regime fluviale  |

#### **V.4.5 Interprétation des résultats :**

On remarque que la profondeur critique est de 2.1 m à l'amont et la vitesse de 3.39m/s < Vadm ces paramètres donnent un nombre de Froude égale à 0.77 < 1 donc le régime est fluvial. A l'aval de oued\_kerouche la hauteur critique est 3m et la vitesse 6.03m/s < Vadm et le nombre de froude égale à 1.77 > 1 donc le régime est torentiel.

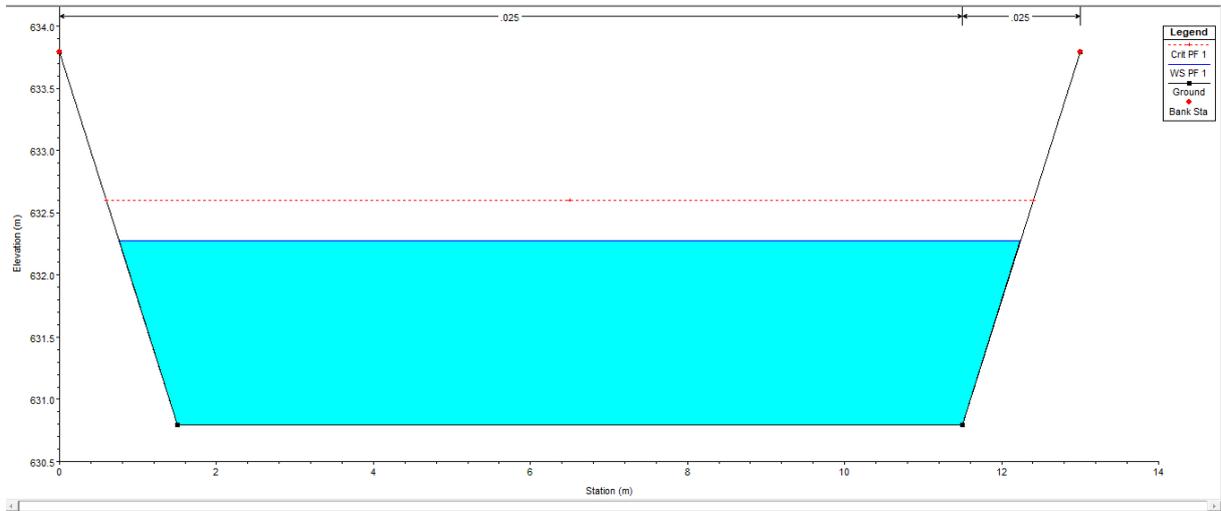


Figure V. 2 profil en travers de la section en amont de oued



Figure V. 4 Vue en Plan en 3D du tronçon d'Oued kerouche aménagé.



**V.4.6 Devis estimatif et Quantitatif :**

L'estimation financière et quantitative du système de protection est une démarche visant à gérer pour le bon déroulement d'un projet. Elle nous permet d'avoir une idée sur le coût et le délai de réalisation. Pour notre projet nous allons présenter un plan d'estimation financière propre à l'aménagement d'oued kerouche.

**Tableau V. 5 :estimation du cout de l aménagement**

| Désignation des travaux | Unité          | Quantité | Prix unitaire (DA) | Montant (DA)    |
|-------------------------|----------------|----------|--------------------|-----------------|
| Déblai                  | m <sup>3</sup> | 14915    | 250                | <b>3728750</b>  |
| Remblai                 | m <sup>3</sup> | 2728     | 200                | <b>545600</b>   |
| Enrochement             | m <sup>3</sup> | 11200    | 3500               | <b>39200000</b> |
| Géotextile              | m/l            | 2016.7   | 1100               | <b>2218370</b>  |
| TOTAL                   |                |          |                    | <b>45692720</b> |

## V.5 deuxième Variante : Canal en béton armé

La deuxième 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.
- les meilleures caractéristiques hydrauliques.
- une durée de réalisation très courte.

### V.5.1 Dimensionnement :

Les résultats de calcul sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau V. 6 résultats de la 2 emme variante**

| Oued          | Tronçon | Longueur(m) | Pente % | Fruit de talus | B | h    | H   |
|---------------|---------|-------------|---------|----------------|---|------|-----|
| Oued kerouche | 1       | 750         | 1.6     | 1              | 8 | 1.39 | 2.1 |
|               | 2       | 600         | 1.3     | 1              | 8 | 1.48 | 2.2 |
|               | 3       | 450         | 1.5     | 1              | 8 | 1.42 | 2.1 |
|               | 4       | 450         | 1.1     | 1              | 8 | 1.55 | 2.3 |

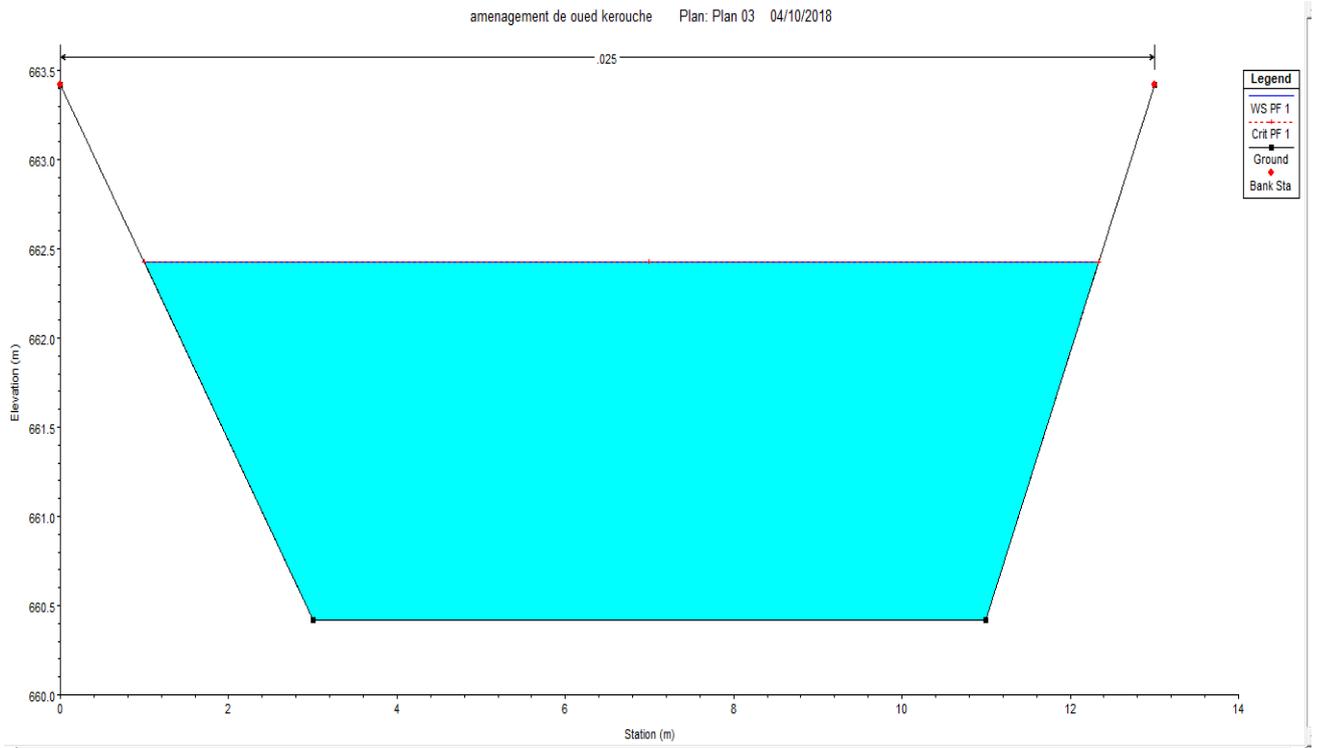
Les Paramètres d'écoulement de la variante canal en béton armé :Les résultats de la simulation seront représentés dans le tableau suivant :

**Tableau V. 4résultat de simulation de Oued\_kerouche**

| Tronçon | Débit<br>Q<br>(m <sup>3</sup> /s) | Vitesse<br>(m/s) | Froude | Hauteur<br>critique | Remarque          |
|---------|-----------------------------------|------------------|--------|---------------------|-------------------|
| 1       | 79.77                             | 6.10             | 1.77   | 3.2                 | Régime torrentiel |
| 2       | 79.77                             | 5.69             | 1.6    | 3                   | Régime torrentiel |
| 3       | 79.77                             | 5.97             | 1.72   | 2.7                 | Régime torrentiel |
| 4       | 79.77                             | 5.37             | 1.48   | 2.4                 | Régime torrentiel |

### V.5.2 Interprétation des résultats

Les résultats de simulations ont montré un régime torrentiel le long d'oued Kerouche, et une vitesse varie de 5.3 m/s à 6.10 m/s , cette valeur de vitesse reste admissible pour un béton armé.



### V.5.3 Estimation du coût de la variante :

On prend une épaisseur de 15 cm pour le béton et pour le béton de propreté on prend une épaisseur de 5 cm. l'estimation du cout de la variante est donnée dans le tableau suivant :

| Désignation des travaux | Unité          | Quantité | Prix unitaire (DA) | Montant (DA)     |
|-------------------------|----------------|----------|--------------------|------------------|
| Déblai                  | m <sup>3</sup> | 19860.6  | 250                | <b>4965000</b>   |
| Remblai                 | m <sup>3</sup> | 3518     | 200                | <b>703600</b>    |
| Béton de propreté       | m <sup>3</sup> | 2015     | 6000               | <b>12090000</b>  |
| Béton armé              | m <sup>3</sup> | 4890     | 30000              | <b>146700000</b> |
| Total                   |                |          |                    | <b>164458600</b> |

## V.6 Choix de la variante d'aménagement :

### V.6.1 Critères d'évaluation :

Le choix de la variante se fera en fonction de plusieurs critères :

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

### V.6.2 La variante choisit :

Les deux variantes semblent pouvoir évacuer le débit de crue sans débordement mais d'un point de vue financier, la variante : canal en béton armé sera rejetée car le coût est plus élevé donc la projection d'un canal en enrochement paraît plus économique.

On opte pour la variante d'un canal en enrochement car :

- ◆ Enrochement est une solution solide et durable.
- ◆ Plus économique
- ◆ La simplicité de la réalisation.
- ◆ Une bonne perméabilité qui permet un drainage naturel suffisant.
- ◆ Formant une belle harmonie avec la nature.

## V.7 Conclusion :

Dans ce chapitre on a aménagé oued kerouche de telle façon à avoir un système de transport dans lequel l'eau s'écoule et la surface libre est soumise à la pression atmosphérique avec un profil qui véhicule le débit maximum.

Le dimensionnement du canal trapezoidale se fait à l'aide du programme HEC-RAS et manuellement par la méthode itérative, on remarque que le régime d'écoulement est torrentiel dans la majeure partie des canaux composant le projet

L'étude technico-économique nous a permet d'estimer le cout du projet d'aménagement :un canal trapézoïdal en enrochement , afin de protéger les localités de la ville de Trek Ibn Ziad contre les inondations et assurer une évacuation rapide du flux de la crue vers l'exutoire.

Le cout du projet du système de protection contre les inondations de la ville de Tarek Ibn Ziade est **45692720.DA**

## Conclusion générale

Une étude concrète d'un quelconque cours d'eau requiert un maximum de données climatiques, hydrologiques et topographiques dans le but de faire la représentation la plus proche de l'état naturel de l'oued. Afin de pouvoir traiter l'aspect réel du problème d'inondation sur la zone en question, et ainsi donner des solutions mieux adaptées au contexte. Et aussi de prévenir différents scénarios d'évènements soit en matière de phénomènes naturels, ou bien de mesures que l'on pourrait envisager ; ce que l'on saura faire aisément, une fois tous les aspects représentés d'une manière détaillée, avec des simulations de l'écoulement à l'aide de différents outils informatiques et différents logiciels.

En termes de débit de crue, c'est difficile de faire le choix de l'approche qui pourrait nous donner des résultats significatifs sur lesquels on va se baser. Ainsi, il devient insensé de prendre une méthode qui ne s'adapte pas à notre situation. Il faut que la méthode choisie soit plus proche des données réelles.

Donc, au terme de ce travail, on peut dire que même avec des outils modernes puissants, tels que le logiciel AutoCad Civil 3D qui permet d'exporter une infinité de profils en travers vers le logiciel de simulation hydraulique HEC-RAS, la représentation parfaite d'un cours d'eau relève de l'impossible. Reste, cependant, que la représentation élaborée peut fournir largement les outils visés comme la carte de vulnérabilité aux inondations.

Alors, il a été constaté, que beaucoup d'endroits de la région d'étude sont susceptibles d'être inondés après l'adoption du scénario de la crue centennale, telles que les habitations proches du cours d'eau; ce qui a permis de proposer une solution à la mesure du problème. Donc, l'aménagement proposé par enrochement permet une évacuation rapide de la crue.

## **Bibliographie :**

- \* « La pratique des sols et fondations » de Georges FILLIAT.
- \* Taïbi R. Analyses fréquentielle des débits. Essais de régionalisation « eaux et sols d'Algérie » n°8, Mai 1996 ANRH Alger.
- \* Etude méthodologique sur l'hydrologie des retenues collinaires et mise au point d'outils de calcul pratique de l'usage des directions de l'hydraulique de la wilaya. Résumé et synthèse des principaux résultats et conclusion de l'étude SOGREAH 1986/1989.
- \* Touat M. Etudes hydrologiques de retenues collinaires. Etude de faisabilité. « Eaux et sols d'Algérie » n° 1. 1988. ANRH. Alger.
- \* B.TOUAIBIA, Manuel pratique d'hydrologie , Mars 2004.
- \* José Llamas, Hydrologie générale principe et applications, 2<sup>eme</sup> édition, gaëten morin éditeur, 1998.
- \* Richard H. McCuen, Hydrologic analysis and design, 2<sup>nd</sup> edition, Pearson Education, 1998.
- \* Mohamed Meddi, Abdelkader Khaldi et Hind Meddi / Modelling Soil Erosion, Sediment Transport and Closely Related Hydrological Processes (Proceedings of a symposium held at Vienna, July 1998). IAHS Publ. no. 249, 1998
- \* HEC-RAS Users manuel. US Army corps of engineers Hydrologic Engineering Center, version 4.1 january 2010.
- \* Armando LENCASTRE, Hydraulique Générale, 2eme édition, éditions EYROLLES, 1996.
- \* bureaux d'étude HYDRO PROJET .
- \* W. Berolo, J.P. Laborde Statistiques des précipitations journalières extremes sur les Alpes-Maritimes. Conceil général des Alpes Maritimes, Janvier 2013.