



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : Conception des Systèmes d'Assainissement.

THEME :

**Aménagement des centres urbains d'Essarouel et Oued Ennil
Commune d'EL Bouni (w. Annaba).**

Présenté Par :

EZZOUAOUI Khadidja .

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
KAHLERRAS Djillali	M.C.B	Président
HEBBOUCHE Abdelhamid	M.C.B	Examineur
KADI Latifa	M.A.A	Examinatrice
DERNOUNI Youcef	M.A.A	Examineur
Mustapha BOUKHELIFA	M.A.A	Promoteur

Session : Septembre 2019

Dédicace

Je remercie dieu tout puissant qui m'a éclairé le bon chemin et qui m'a guidé dans ma vie et aussi toutes les personnes aimables et serviables qui m'ont soutenu et qui ont contribué à mon enrichissement personnel

commençant par :

Ma très douce maman

Pour ses pures prières et sages conseils qui m'ont guidé toujours à prendre les bonnes décisions dans ma vie.

Ma très douce maman

Pour son immense affection, sa bienveillance et sa tendresse qu'elle m'a apportées durant toutes mes années d'études.

Mon cher papa

qui a été toujours présente par ces conseils, sa bonté et ses encouragements infinis qui m'ont fortement aidé.

Mes chers frères

Kamel, Souleimen et ma petite adorable sœur Ryma pour leur tendresse, leur immense amour et leur bienveillance infinie.

Ces dédicaces seraient incomplètes sans les avoir adressées à :

Mes meilleurs amis

Lynda, Wafa, Sabah, ghozaine, Tinhinane, qui m'ont soutenus et encouragés dans les plus difficiles moments de ma vie. Ainsi à tous les gens qui m'aime et qui ont contribué de loin ou bien de près dans la réalisation de ce modeste travail.

 *Khadija*

Remerciement

Je remercie tout d'abord ALLAH le tout puissant de m'avoir donné le courage de surmonter les moments les plus difficiles de ma vie et la volonté de mener à terme ce travail.

J'adresse mes sincères remerciements à mon encadreur Mr Mustapha Boukhelifa, pour sa disponibilité, tout au long de l'élaboration de ce mémoire de fin d'études, pour son aide, son suivi, et ses conseils judicieux qui m'ont beaucoup aidé au cours de mes recherches.

Je tiens à remercier avec plus grande gratitude président de jury M^r KAHLERRAS Djillali et mes examinateurs M^r HEBBOUCHE Abdelhamid, M^{me} KADI Latifa, M^r DERNOUNI Youcef, de m'avoir honoré par leur présence et de leur soutien et l'intérêt qu'ils vont porter à ce travail.

Je tiens à remercier vivement toute l'équipe du bureau BECE Tipasa, ainsi un grand merci à Mr Khedimallah Abderrahmane.

Merci à toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce projet, que ce soit par son amitié, ses conseils ou son soutien moral.

Ezzouacui khadidja

ملخص:

في هذا العمل قمنا بدراسة حول المجاري المائية ل" واد النيل و السروال " المتواجد بدائرة البوني ولاية عنابة، الهدف من هذه الدراسة هو تهيئة هذه المجاري المائية من اجل حماية المدينة من الفيضانات التي تنجم عن الأمطار الغزيرة. قبل الشروع في عملنا قمنا بتعريف المنطقة ا بهدف القيام بمشروع التهيئة المناسب. بعد ذلك قمنا بدراسة هيدرولوجية للمنطقة من اجل تحديد كمية التصريف كما قمنا بتشخيص أهم المشاكل و الأخطار المتعلقة بالمجاري المائية، بعدها تطرقنا إلى دراسة كاملة للمشروع مع كافة المنشآت الأساسية و الثانوية فتحصلنا على مشروع قابل للانجاز وملئم لحماية المدينة من الفيضانات و كذا إدخالها في سياق حضري ملائم وأخيرا قمنا بتحديد تكلفة انجاز هذا المشروع.

الكلمات المفتاحية: الفيضان ، المجاري المائية ، الأمطار الغزيرة ، الدراسة الهيدرولوجية ، تدفقات الفيضان ، السياق الحضري.

Résumé :

Dans ce travail, nous avons mené une étude sur cours d'eau du "Oued Ennil et Essarouel" situées dans la daïra d'El Bouni wilaya d'Annaba, Le but de cette étude est d'aménager ces cours d'eau afin de protéger la ville contre les inondations causées par les fortes pluies. Avant de commencer nos travaux, nous avons défini la zone d'étude dans le but de mener à bien le projet de réhabilitation approprié, après nous avons effectué une étude hydrologique de la zone afin de déterminer les débits de crue. Nous avons également diagnostiqué les problèmes et les dangers les plus importants liés aux cours d'eau, puis nous avons abordé une étude complète du projet avec toutes les installations de base et secondaires. Nous avons obtenu un projet réalisable et approprié pour protéger la ville des inondations ainsi que de son introduction dans un contexte urbain approprié Enfin, nous avons déterminé le coût d'achèvement de ce projet.

Mots clés : inondation, cours d'eau, aménager, fortes pluies, étude hydrologique, débits de crue, contexte urbain.

Abstract:

This work aims at conducting a study on the valleys of 'Oued Ennil and Essarouel' located in El Bouni town in Annaba. The main objective of this study is to protect this river against floods. Our research is subdivided into several basic parts. First, a presentation of the study area has been detailed. Then, we have presented the hydrologic study in order to determine the flow of risings. Next, we have diagnosed the anomalies and the constraints imposed on the site, with the aim of selecting the best alternatives. After that, we have passed to the part which consists of the realization of our project with its principal work and appendices. Finally, we have determined the cost of this project.

Key words: flood; valleys; hydrological study; flood flows; urban context.

Table des matières

Dédicaces.....	I
Remerciements	II
Abstract.....	III
Table des matières.....	IV
Liste des figures.....	VIII
Liste des tableaux	XI
Liste des planches.....	XIV
Introduction générale.....	XV
Chapitre I : Présentation de la zone d'étude.....	1
Introduction.....	2
1. Présentation du projet	2
2. Données du terrain	2
2.1 Situation géographique	2
2.2 Situation climatique	3
2.2.1 Température	3
2.2.2 Humidité de l'air	4
2.2.3 Les vents	5
2.2.4 L'insolation	5
2.2.5 La pluviométrie	6
2.2.6 L'évaporation.....	7
2.3 Sismicité :	7
2.4 CONTEXTE GEOLOGIQUE.....	8
2.5 Aperçu hydrogéologique	9
2.6 APERÇU HYDROLOGIQUE.....	10
2.6.1 Les oueds dans la région d'étude.....	10
2.6.2 Réseau d'assainissement des deux centres urbains Oued Ennil et Essarouel	10
2.6.3 Alimentation en eau potable de la zone d'étude	11
2.7 Situation démographique.....	11
2.8 Occupation des sols	11
3. Etude hydromorphologique du bassin versant	12
3.1. Caractéristiques hydromorphométriques des sous bassins versants d'Oued Ennil.....	12
3.1.1. Caractéristiques géométriques des sous bassins versants:.....	12
3.1.2 Forme	13
3.1.3 Relief.....	16
3.1.4. Réseau hydrographique	22

3.2. Caractéristique hydromorphométriques des sous bassins versants d'Essarouel.....	25
3.2.1. Caractéristiques géométriques des sous bassins versants	25
3.2.2. Forme	26
3.2.3. Relief	29
3.2.4. Réseau hydrographique	36
Interprétation	39
Conclusion.....	39
Chapitre II : Etude des précipitations maximales journalières.....	40
Introduction.....	41
1. Le réseau de mesure sur la zone d'étude	41
2. Présentation de la station pluviométrique	42
3. Etude des précipitations maximales journalières	43
3.1. Paramètres statistiques de la série	43
3.2. Ajustement à une loi statistique.....	44
3.2.1. Ajustement à la loi de Gumbel	44
3.2.2. Ajustement à la loi Log-normale (Galton)	46
3.2.3. Ajustement à la loi de GEV (loi des extrêmes généralisée)	47
3.3. Contrôle de l'Ajustement	49
3.4. Test d'adéquation du Khi2	49
4. Pluies de courte durée	50
Conclusion	53
Chapitre III : Estimation des débits de crues des cours d'eau	54
Introduction.....	55
1. Méthodes d'évaluation des crues du projet	55
1.1 La méthode TURAZZA	55
1.1.1. Présentation de la méthode	55
1.1.2. Application de la méthode	55
1.2 Méthode du Professeur Mohamed MEDDI et le Dr. Samir TOUMI	56
1.2.1. Présentation de la méthode	56
1.3 Méthode de l'ANRH	58
1.3.1. Présentation de la méthode	58
2. Estimation de la crue de projet	58
2.1. Comparaison des valeurs de débits	58
2.2. Détermination de l'hydrogramme de crues probables par la méthode de SOKOLOVSKI	59

3. Etudes des apports	71
3.1 Estimation de l'apport moyen annuel (A0)	71
4. Transport solides	72
A-Formule de TIXERONT	73
Conclusion	74
Chapitre 4 : Etude des écoulements dans les cours d'eau non aménagés.....	75
Introduction.....	76
1. Description du réseau simulé.....	76
1.1. Cours d'eau d'Essarouel	76
1.2. Cours d'eau d'Oued Ennil.....	77
2. Problématique.....	79
3. Simulation de l'écoulement sur HEC-RAS.....	80
3.1. Présentation du logiciel HEC-RAS :.....	80
3.2. Données pour l'application du code de calcul HEC-RAS.....	81
4. La démarche de la modélisation.....	81
4.1. La modélisation géométrique du réseau hydrographique.....	81
4.2. Modélisation de l'écoulement	85
4.3. Lancement de la simulation en écoulement uniforme	86
4.4. Visualisation des résultats	86
5. Identification des zones inondables.....	94
5.1. Oued Ennil	94
5.2. Essarouel.....	97
Conclusion.....	98
Chapitre 5 : Etude des variantes d'aménagements pour la protection contre les Inondation.....	99
Introduction.....	100
1. Objectif d'aménagement.....	100
1.1. Améliorer les conditions d'écoulement des eaux superficielles	100
1.2. Augmentation de la capacité du cours d'eau en envisagent plusieurs techniques d'aménagement	100
2. Proposition d'aménagement.....	101
2.1. Oued Ennil	101

2.2. Essarouel.....	107
Interprétation	118
Conclusion.....	118
Chapitre6 : Estimations quantitative et financière du système de protection contre les inondations.....	119
Introduction	120
1. Etude quantitative et financière du projet	120
1.1. Etude quantitative des travaux d'Oued Ennil.....	120
1.2. Etude estimative du prix de projet d'aménagement d'Oued Ennil	121
1.3. Etude comparative entre les deux variantes.....	121
2. Etude quantitative et financière du projet	122
2.1. Etude quantitative des travaux d'Essarouel	122
2.2. Etude estimative du prix de projet d'aménagement d'Essarouel.....	123
2.3. Etude comparative entre les deux variantes.....	123
3. Les engins utilisés.....	124
Conclusion.....	125
Conclusion générale	127
Références et bibliographie	129
Annexe	131

Listes des tableaux

Chapitre I :

Tableau I.1 : Températures moyennes mensuelles en C° (2001-2010).

Tableau I.2 : Humidité relative moyenne mensuelle en % (2001-2010).

Tableau I.3 : Vitesses moyennes mensuelles des vents en m/s.

Tableau I.4 : moyenne des insolation totales en heures à la station des salines 2001-2010.

Tableau I.5 : Répartition pluviométrique des moyennes mensuelles du poste pluviométrique d' AIN BERDA« 14-06-06 »

Tableau I.6 : L'occupation des sols des deux bassins versant Oued Ennil et Essarouel.

Tableau I.7 : Calcul des surfaces des sous bassins d'Oued Ennil.

Tableau I.8 : Périmètres des sous bassins d'Oued Ennil.

Tableau I.9 : longueurs des cours d'eau principales des sous bassins d'Oued Ennil.

Tableau I.10 : Calcul des indices de compacité des sous bassins d'Oued Ennil

Tableau I.11 : Calcul des coefficients d'allongement des sous bassins d'Oued Ennil.

Tableau I.12 : longueurs des cours d'eau principales des sous bassins d'Oued Ennil.

Tableau I.13 : Calcul des élancements des sous bassins d'Oued Ennil.

Tableau I.14:Rayon de circularité des sous bassins d'Oued Ennil.

Tableau I.15 : Calcul des longueurs et largeurs du rectangle équivalent des sous bassins d'Oued Ennil.

Tableau I.16 : Surfaces partielles du sous bassin versant « 1 » d'Oued Ennil par tranche d'altitudes.

Tableau I.17: Surfaces partielles du sous bassin versant « 2 » d'Oued Ennil par tranche d'altitudes.

Tableau I.18 : Surfaces partielles du sous bassin versant « 3 » d'Oued Ennil par tranche d'altitudes.

Tableau I.19 : Surfaces partielles du sous bassin versant « 4 » d'Oued Ennil par tranche d'altitudes.

Tableau I.20: Surfaces partielles du sous bassin versant « 5 » d'Oued Ennil par tranche d'altitudes.

Tableau I.21 : Calcul des hauteurs caractéristique des sous bassins d'Oued Ennil.

Tableau I.22: Classification O.R.S.T.O.M (type de relief).

Tableau I.23 : Les indices de pente des sous bassins d'Oued Ennil.

Tableau I.24 : Pentés moyennes des cours d'eau principaux des sous bassins d'Oued Ennil.

Tableau I.25: Densité de drainage des sous bassins d'Oued Ennil.

Tableau I.26: Temps de concentration des sous bassins d'Oued Ennil.

Tableau I.27 : La vitesse de ruissellement des sous bassins versants d'Oued Ennil.

Tableau I.28: Récapitulatif des caractéristiques hydromorphométriques des sous bassins d'Oued Ennil

Tableau I.29 : Calcul des surfaces des sous bassins versants d'Essarouel.

Tableau I.30 : Calcul des périmètres des sous bassins versants d'Essarouel.

Tableau I.31 : Calcul des longueurs des cours d'eau principales des bassins versants d'Essarouel.

Tableau I.32: Calcul des indices de compacité des sous bassins versants d'Essarouel.

Tableau I.33 : Coefficients d'allongement des sous bassins versants d'Essarouel

Tableau I.34 : facteurs de forme des sous bassins versants d'Essarouel.

Tableau I.35 : Les élancements des sous bassins versants d'Essarouel.

Tableau I.36 : Rayons de circularité des sous bassins versants d'Essarouel.

Tableau I.37 : Calcul des longueurs et largeurs du rectangle équivalent des sous bassins versants d'Essarouel.

Tableau I.38: Surfaces partielles du sous bassin versant « 1 » d'Essarouel par tranche d'altitudes.

Tableau I.39 : Surfaces partielles du sous bassin versant « 2 » d'Essarouel par tranche d'altitudes.

Tableau I.40: Surfaces partielles du sous bassin versant « 3 » d'Essarouel par tranche d'altitudes.

Tableau I.41 : Surfaces partielles du sous bassin versant « 4 » d'Essarouel par tranche d'altitudes.

Tableau I.42: Surfaces partielles du sous bassin versant « 5 » d'Essarouel par tranche d'altitudes.

Tableau I.43 : Surfaces partielles du sous bassin versant « 6 » d'Essarouel par tranche d'altitudes.

Tableau I.44 : Surfaces partielles du sous bassin versant « 7 » d'Essarouel par tranche d'altitudes.

Tableau I.45 : Surfaces partielles du sous bassin versant « 8 » d'Essarouel par tranche d'altitudes.

Tableau I.46 : Surfaces partielles du sous bassin versant « 9 » d'Essarouel par tranche d'altitudes.

Tableau I.47 : Calcul des hauteurs caractéristique des sous bassins versants d'Essarouel.

Tableau I.48: Calcul des indices de pente des sous bassins versants d'Essarouel.

Tableau I.49: Pentes moyennes des cours d'eau principales des sous bassins versants d'Essarouel.

Tableau I.50: Densité de drainage des sous bassins versants d'Essarouel.

Tableau I.51: Temps de concentration des sous bassins versants d'Essarouel.

Tableau I.52 : La vitesse de ruissèlement pour les sous bassins versants d'Essarouel.

Tableau I.53 : Récapitulatif des caractéristiques hydromorphométriques des sous bassins versants d'Essarouel.

Chapitre II :

Tableau II.1 : *Stations Pluviométriques dans la zone d'étude.*

Tableau II.2 : Caractéristiques du poste pluviométrique d'Ain Berda.

Tableau II.3 : Série d'observations des précipitations journalières maximales du poste pluviométrique d'AIN BERDA (14-06-06).

Tableau II.4 : Caractéristique de la série de données avec $N = 43$ ans.

Tableau II.5 : Quantiles théoriques de Gumbel

Tableau II.6 : Quantiles théoriques de Galton

Tableau II.7 : Quantiles théoriques calculés par la loi de GEV

Tableau II.8 : Résultats du Test de Khi^2

Tableau II.9 : Quantiles théoriques de Galton.

Tableau II.10 : Pluies et intensités de courtes durées.

Chapitre III :

Tableau III.1 : Coefficient de ruissellement de la crue considérée pour une probabilité $p\%$.

Tableau III.2: Débits maxima des crues de différentes périodes de retour par la formule de TURAZZA d'Oued Ennil.

Tableau III.3 : Débits maxima des crues de différentes périodes de retour par la formule de TURAZZA d'Essarouel.

Tableau III.4 : Fonction quantile $q(F)$.

Tableau III.5 : Calcul du débit max.

Tableau III.6 : Débit de crue pour différentes périodes de retour d'Oued Ennil.

Tableau III.7 : Débit de crue pour différentes périodes de retour d'Essarouel.

Tableau III.8: Débit de crue pour différentes périodes de retour d'Oued Ennil.

Tableau III.9: Débit de crue pour différentes périodes de retour d'Essarouel.

Tableau III.10 : Comparaison des trois approches d'Oued Ennil.

Tableau III.11 : Comparaison des trois approches d'Essarouel.

Tableau III.12: Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue « a ».

Tableau III.13: Débits de crues pour le sous bassin «1» d'Oued Ennil.

Tableau III.14: Débits de crues pour le sous bassin «2» d'Oued Ennil.

Tableau III.15: Débits de crues pour le sous bassin «3» d'Oued Ennil

Tableau III.16: Débits de crues pour le sous bassin «4» d'Oued Ennil

Tableau III.17: Débits de crues pour le sous bassin «5» d'Oued Ennil.

Tableau III.18: Débits de crues pour le sous bassin «1» d'Essarouel.

Tableau III.19: Débits de crues pour le sous bassin «2» d'Essarouel.

Tableau III.20: Débits de crues pour le sous bassin «3» d'Essarouel.

Tableau III.21: Débits de crues pour le sous bassin «4» d'Essarouel.

Tableau III.22: Débits de crues pour le sous bassin «5» d'Essarouel.

Tableau III.23: Débits de crues pour le sous bassin «6» d'Essarouel

Tableau III.24: Débits de crues pour le sous bassin «7» d'Essarouel.

Tableau III.25: Débits de crues pour le sous bassin «8» d'Essarouel.

Tableau III.26: Débits de crues pour le sous bassin «9» d'Essarouel.

Tableau III.27: Récapitulatif des apports moyens interannuels d'Oued Ennil.

Tableau III.28: Récapitulatif des apports moyens interannuels D'Essarouel.

Tableau III.29: Les apports solides d'Oued Ennil.

Tableau III.30: Les apports solides d'Essarouel.

Chapitre IV :

Tableau IV.1 : Données de débits d'Oued Ennil.

Tableau VI.2 : Données de débits d'Essarouel.

Chapitre V :

Tableau V.1 : Aménagements des cours d'eau d'Oued Ennil

Tableau V.2 : Répartitions des tronçons d'aménagement Oued 2 d'Oued Ennil.

Tableau V.3 : Propriétés géométriques d'un canal trapézoïdal

Tableau V.4 : Caractéristique de la section optimale cas d'une forme trapézoïdale.

Tableau V.5 : Dimensions du canal trapézoïdal en béton (Oued 2).

Tableau V.6 : Propriétés géométriques d'un canal rectangulaire.

Tableau V.7 : Caractéristique de la section optimale cas d'une forme rectangulaire.

Tableau V.8 : Dimensions du canal rectangulaire en béton (Oued 2).

Tableau V.9 : Répartitions des tronçons d'aménagement (Oued 3) d'Oued Ennil

Tableau V.10 : Dimensions du canal trapézoïdal en béton (Oued 3).

Tableau V.11 : Dimensions du canal rectangulaire en béton (Oued 3).

Tableau V.12 : Aménagements des cours d'eau d'Essarouel.

Tableau V.13 : Répartitions des tronçons d'aménagement de l'Oued 1 d'Essarouel.

Tableau V.14 : Dimensions du canal trapézoïdal en béton (Oued 1).

Tableau V.15 : Dimensions du canal rectangulaire en béton (Oued 1).

Tableau V.16 : Répartitions des tronçons d'aménagement (Oued 2) d'Essarouel.

Tableau V.17 : Dimensions du canal trapézoïdal en béton (Oued 2).

Tableau V.18 : Dimensions du canal rectangulaire en béton (Oued 2).

Tableau V.19 : Répartitions des tronçons d'aménagement Oued 3 d'Essarouel

Tableau V.20 : Dimensions du canal trapézoïdal en béton (Oued 3).

Tableau V.21 : Dimensions du canal rectangulaire en béton (Oued 3).

Tableau V.22 : Répartitions des tronçons d'aménagement (Oued 5) d'Essarouel.

Tableau V.23 : Dimensions du canal trapézoïdal en béton (Oued 5).

Tableau V.24 : Dimensions du canal rectangulaire en béton (Oued 5).

Tableau V.25 : Répartitions des tronçons d'aménagement Oued 7 d'Essarouel.

Tableau V.26 : Dimensions du canal trapézoïdal en béton (Oued7).

Tableau V.27 : Dimensions du canal rectangulaire en béton (Oued 7).

Tableau V.28 : Répartitions des tronçons d'aménagement Oued 9 d'Essarouel.

Tableau V.29 : Dimensions du canal trapézoïdal en béton (Oued 9).

Tableau V.30 : Dimensions du canal en rectangulaire en béton (Oued 9).

Chapitre VI :

Tableau VI.1: estimation quantitative des travaux d'Oued Ennil.

Tableau VI.2 : Etude financière du projet d'aménagement Oued Ennil.

Tableau VI.3 : Comparaison entre les deux variantes.

Tableau VI.4 : Estimation quantitative des travaux d'Essarouel.

Tableau VI.5 : Etude financière du projet d'aménagement Essarouel.

Tableau VI.6 : Comparaison entre les deux variantes.

Tableau VI.7 : Engins pour exécuté le projet

Listes des figures

Chapitre I :

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

Figure I.2: Températures moyennes mensuelles en C° (2001-2010).

Figure I.3 : Humidité relative moyenne mensuelle en % (2001-2010).

Figure I.4 : Insolations totales en heures à la station des salines 2001-2010.

Figure I.5 : la répartition des précipitations moyennes mensuelles du poste 14-06-06

Figure I.6: Extrait de la carte géologique d'Annaba (Echelle 1/50000).

Figure I. 7: Délimitation des sous bassins versants d'Oued Ennil à l'aide du logiciel Autocad.

Figure I.8 : Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB1).

Figure I.9: Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB2).

Figure I.10: Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB3).

Figure I.11 : Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB4).

Figure I.12 : Courbe hypsométrique du bassin versant (SB5).

Figure I.13: Délimitation des sous bassins versants d'Essarouel à l'aide du logiciel Autocad.

Figure I.14: Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB1).

Figure I.15 : Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB2).

Figure I.16 : Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB3).

Figure I.17 : Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB4).

Figure I.18: Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB5).

Figure I.19 : Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB6).

Figure I.20 : Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB7).

Figure I.21 : Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB8).

Figure I.22 : Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB9).

Chapitre II:

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

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

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

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

Figure II.5 : Courbe de pluies de courtes durées.

Figure II.6 : Courbes d'intensités de courtes durées.

Chapitre III:

Figure III.1 : Hydrogramme de crue SB «1» d'Oued Ennil.

Figure III.2: Hydrogramme de crue SB «2» d'Oued Ennil.

Figure III.3: Hydrogramme de crue SB «3» d'Oued Ennil.

Figure III.4: Hydrogramme de crue SB «4» d'Oued Ennil.

Figure III.5 : Hydrogramme de crue SB « 5» d'Oued Ennil.

Figure III.6 : Hydrogramme de crue SB «1» d'Essarouel.

Figure III.7 : Hydrogramme de crue SB «2» d'Essarouel.

Figure III.8 : Hydrogramme de crue SB «3» d'Essarouel.

Figure III.9 : Hydrogramme de crue SB «4» d'Essarouel.

Figure III.10 : Hydrogramme de crue SB «5» d'Essarouel.

Figure III.11 : Hydrogramme de crue SB «6» d'Essarouel.

Figure III.12 : Hydrogramme de crue SB «7» d'Essarouel.

Figure III.13 : Hydrogramme de crue SB «8» d'Essarouel.

Figure III.14 : Hydrogramme de crue SB «9» d'Essarouel.

Chapitre IV :

Figure IV. 1 : Chaâbat 02 d'Essarouel dans la partie haute de la commune (montagne) prise par BECE.

Figure IV. 2 : L'étendu du cours d'eau 03 d'Oued Ennil entre les quartiers prise par BECE.

Figure IV. 3 : Chaâbat 04 d'Oued Ennil dans la partie haute de la commune (montagne) prise par BECE.

Figure IV. 4 : Chaâbat 03 d'Oued Ennil dans la partie haute de la commune (montagne) prise par BECE.

Figure IV. 5 : Cours d'eau 05 et 02 d'Oued Ennil et Essarouel se déversant dans les communes prise par BECE

Figure IV. 6 : Logiciel HEC-RAS de Hydrologic Engineering Center.

Figure IV.7: Le maillage en tronçons des cours d'eau d'Oued Ennil.

Figure IV.8: Le maillage en tronçons des cours d'eau d'Essarouel.

Figure IV.9 : Les différentes étapes pour définir le tracé des cours d'eau.

Figure IV.10 : Exemple de section en travers dans HEC-RAS.

Figure IV.11 : Profil en travers 01 D'Oued Ennil.

Figure IV.12: Profil en travers 02 D'Oued Ennil.

Figure IV.13 : Profil en travers 03 D'Oued Ennil .

Figure IV.14 : Profil en travers 04 D'Oued Ennil.

Figure IV.15 : Profil en travers 05 D'Oued Ennil.

Figure IV.16: Profil en travers 01 D'Essarouel.

Figure IV.17 : Profil en travers 02 D'Essarouel.

Figure IV.18 : Profil en travers 03 D'Essarouel.

Figure IV.19 : Profil en travers 04 D'Essarouel.

Figure IV.20 : Profil en travers 05 D'Essarouel.

Figure IV.21 : Profil en travers 07 D'Essarouel.

Figure IV.22: Profil en travers 08D' Essarouel.

Figure IV.23: Profil en travers 09 D'Essarouel.

Figure IV.24 : Simulation du cours d'eau pour la période de retour 100 et 50 ans.

Figure IV.25: Identification des zones inondables d'Oued Ennil (Google earth).

Figure IV.26: Identification des zones inondables d'Essarouel (Google earth).

Chapitre V:

Figure V.1 : Canal à forme trapézoïdale.

Figure V.2 : Canal à forme rectangulaire.

Figure V.3 : Sections aménagée rectangulaire tronçon 3 du cours d'eau 2 Oued Ennil.

Figure V.4 : Sections aménagéetrapézoïdale tronçon 3 du cours d'eau 2 Oued Ennil.

Figure V.5: Sections aménagée rectangulaire tronçon 2 du cours d'eau 3 Oued Ennil.

Figure V.6: Sections aménagéetrapézoïdale tronçon 2. du cours d'eau 3 Oued Ennil.

Figure V.7 : Section aménagée rectangulaire tronçon 1 du cours d'eau 1 Essarouel.

Figure V.8 : Section aménagéetrapézoïdale tronçon 1 du cours d'eau 1 Essarouel.

Figure V.9 : Section aménagée trapézoïdale tronçon 2 du cours d'eau 2 Essarouel.

Figure V.10 : Section aménagée rectangulaire tronçon 2 du cours d'eau 2 Essarouel.

Figure V.11 : Section aménagée rectangulaire tronçon 2 du cours d'eau 3 Essarouel.

Figure V.12 : Section aménagée trapézoïdale tronçon 2 du cours d'eau 3 Essarouel.

Figure V.13 : Section aménagée rectangulaire tronçon 2 du cours d'eau 5 Essarouel.

Figure V.14 : Section aménagée trapézoïdale tronçon 2 du cours d'eau 5 Essarouel.

Figure V.15 : Section aménagée rectangulaire tronçon 3 du cours d'eau 7 Essarouel.

Figure V.16 : Section aménagée trapézoïdale tronçon 3 du cours d'eau 7 Essarouel.

Figure V.17 : Section aménagée rectangulaire tronçon 2 du cours d'eau 9 Essarouel.

Figure V.18 : Section aménagée trapézoïdale tronçon 2 du cours d'eau 9 Essarouel.

Figure V.19 : Visualisation en 3d de la variante d'aménagement canal rectangulaire.

Figure V.20 : Visualisation en 3d de la variante d'aménagement canal trapézoïdale.

Liste des Planches

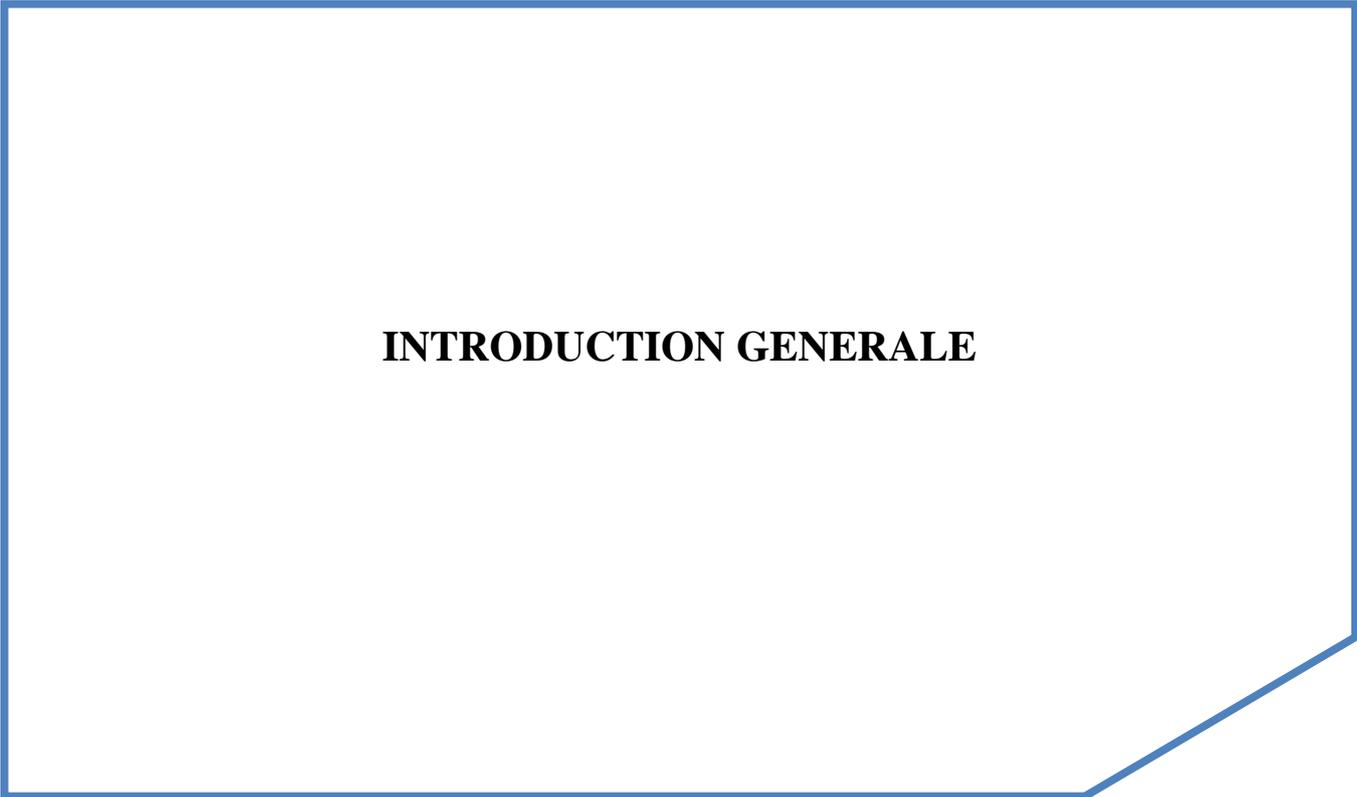
Planche N°1 : Levé topographique des centres urbains d'Essarouel et Oued Ennil commune d'El Bouni (W. Annaba).

Planche N°2 : Carte des zones inondables des centres urbains Essarouel et Oued Ennil.

Planche N°3 : Profil en long des affluents d'Essarouel.

Planche N°4 : Profil en long des Affluents d'Oued Ennil.

Planche N°5 : Variantes d'aménagement des centres urbains Essarouel et Oued Ennil.



INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Les inondations sont, par nature, des événements complexes provoquées par une série de vulnérabilité de l'homme, l'inadéquation des planifications du développement et la variabilité climatique. Les inondations normales attendues sont généralement bien accueillies dans plusieurs parties du monde, car elles fournissent un sol riche en eau, mais les inondations à l'échelle inattendues (dommageables) avec une fréquence excessive provoquent des dommages à la vie, les infrastructures et l'environnement. Au cours des dernières décennies, la tendance des inondations a changé, devenant plus fréquent, intense et imprévisible pour les communautés locales, d'autant plus que les questions de développement et la pauvreté ont amené plus de gens à vivre dans des zones vulnérables aux inondations.

Parmi tous les risques naturels en Algérie, les inondations sont considérées les plus désastreuses. Entre 2000 et 2009 l'EM-DAT enregistre 36 catastrophes parmi lesquelles 25 sont des inondations, les dégâts sont énormes, 1299 morts, 200311 sinistrés et 702 millions de dollars.

Le cadre hydrographique des deux communautés d'El Bouni Essarouel et Oued Ennil qui sont l'objet de notre étude, joue un rôle capital dans l'amplification de ce phénomène hydrologique. En effet, les communautés sont bâties dans des terrains bas tout près de la montagne, ces communautés sont fortement plus sujettes au risque des inondations.

Ce phénomène s'amplifie d'année en année, dans les dernières années le nombre d'affectés ne cesse d'accroître sur la région d'Annaba puisque pour les bassins urbanisés, les surfaces naturellement perméables sont converties en terrains imperméables causant la diminution de l'infiltration, telles surfaces engendrent un ruissellement croissant. Souvent, les surfaces lisses permettent un ruissellement de surface de plus en plus rapide et les zones de dépressions et de stockage sont réduites. De plus, les systèmes de drainage naturels sont modifiés en canaux artificiels élargis et rectilignes dont la rugosité est négligeable. Généralement ces modifications facilitent le ruissellement de surface et par conséquent le débit de pointe des crues.

Dans les villes de petite importance qui est notre cas, se situant à l'exutoire, le ruissellement généré au sein de la ville est insignifiant et ne pose pas de dégâts, la majorité des flux inondants proviennent du bassin versant qui entoure la ville qui n'ont pas fait l'objet d'une étude détaillée pour évaluer leurs influences sur les mécanismes de genèse de ruissellement dans l'hydrosystème.

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

Chapitre I

Présentation de la zone d'étude

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

Introduction :

Classiquement, dans toute étude hydrologique, une description du milieu est incontournable. En fonction du but recherché, l'étude est de plus en plus affinée de façon à faire ressortir les différents éléments explicatifs de la thématique traitée. Il faut donc, dès l'abord, développer quelques considérations générales sur la région d'étude, de manière à mieux faire comprendre sa situation et ses caractéristiques climatiques et géomorphologiques qui peuvent avoir une influence directe ou indirecte sur les modalités de l'écoulement.

La combinaison des paramètres climatiques (pluviométrie, température, vent,...) et le contexte géologique (lithologie et tectonique) et orographiques (relief) du bassin versant permettent d'apprécier le caractère torrentiel des cours d'eau lorsqu'ils débouchent dans la vallée basse dans la région étudiée. Ce qui constituera une aide à la décision dans le choix de la variante d'aménagement.

1. Présentation du projet :

La présente étude a pour objet la protection contre les inondations des agglomérations Essarouel et Oued Ennil causées par des affluents qui vont de moyenne à grande importance suite à des précipitations intenses.

Cette protection se fera par la projection des Canales pour collecter Les apports des eaux pluviales des parties hautes en amont qui traversent l'agglomération dans le sens sud nord et qui aboutissent directement dans les voies publiques créant des inondations dans la zone d'étude allant vers le milieu récepteur oued Boudjema qui traverse les deux agglomérations.

2. Données du terrain

2.1 Situation géographique :

La commune d'EL Bouni est située à l'Est de la wilaya d'Annaba à 7km, elle compte six agglomérations secondaires Sidi Salem, Chabbla, Cité premier Mai 1956, Ain Djebbar, Essarouel, Oued Ennil.

Les agglomérations d'Essarouel et Oued Ennil sont situées dans la partie Est de la commune d'El Bouni d'une distance respectivement à 5,5 km et 15,2 km.

Soit en coordonnées Lambert ;

- 36.83°N, 7.7°E Essarouel-Annaba.
- 36.83°N, 7.64°E Oued Ennil-Annaba.

Elles sont enserrées entre ;

- Le massif de Beleleita qui la longe dans sa partie Sud,
- Une voie de chemin de fer qui la délimite dans sa partie Nord,
- Le chef-lieu d'El Bouni dans sa partie Ouest,
- Le lac Fetzara dans sa partie Est.



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

2.2 Situation climatique :

La région d'étude est soumise à un climat Méditerranéen, se caractérisant par deux saisons distinctes : humide et froide en hiver, sèche et chaude en été.

2.2.1. Température :

Les relevés de températures ont été effectués à partir de deux stations climatologiques, situées près du site d'étude.

Le tableau I.1 ci-dessous illustre les différentes températures de ces stations sur dix ans.

Tableau I.1 : Températures moyenne annuelle en C° (2001-2010).

Stations	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jl	At	Moy
Les Salines	23.2	20.2	15.5	12.6	11.5	11.6	13.5	15.3	18.8	22.6	25.1	26.2	18

Source : ANRH Annaba.

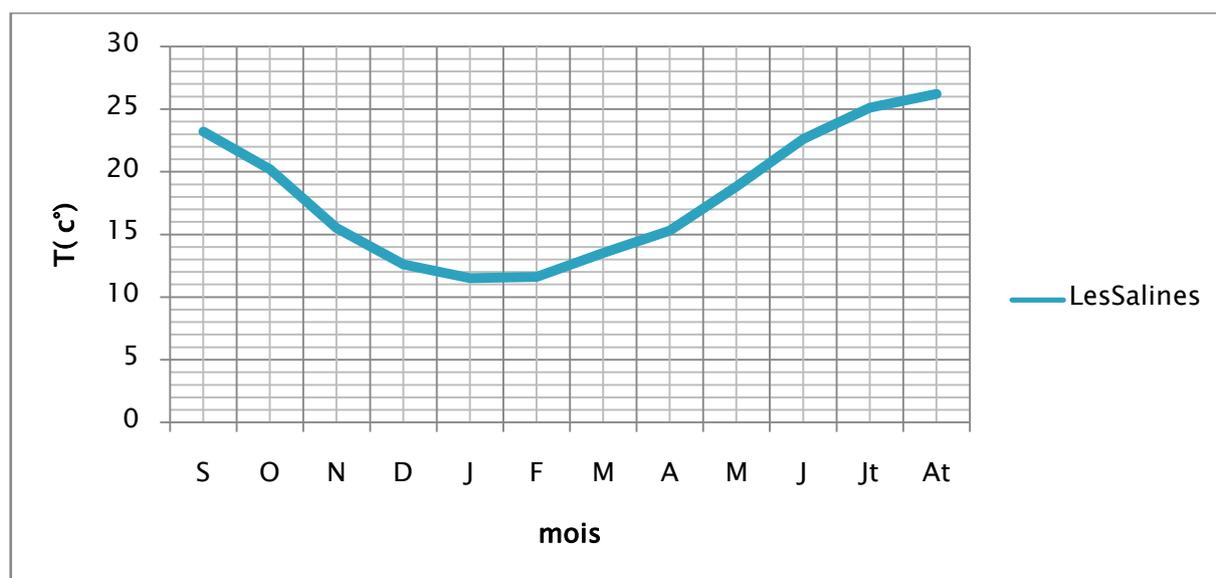


Figure I.2:Températures moyennes mensuelles en C° (2001-2010).

Les données disponibles mettent en évidence des oscillations thermiques très importantes, réparties sur deux saisons l'une chaude et l'autre froide.

La saison chaude est marquée par l'augmentation de la température caractérisée par des moyennes mensuelles supérieures à 20 C° de Juin à Septembre par fois Octobre avec un maximum au mois d'Août . Cette température provoque de fortes évaporations et donc un déficit d'écoulement.

Ces températures atteignent parfois 40 C° à 45 C° lors des journées de sirocco situées durant les mois de juillet, août et parfois septembre.

La saison froide est caractérisée par des moyennes mensuelles inférieures à 17 C° de Novembre à Mai. Les plus basses températures s'observent en Janvier, Février, le mois de Janvier est le plus froid avec parfois des journées de gel.

2.2.2. Humidité de l'air :

La variation de l'humidité au cours de l'année est peu significative au niveau de la station des Salines avec de faibles variations hivernale et estivale représentatives des plaines littorales (70,55% à 76,96%).

La station de Seraïdi, située en montagne, présente quant à elle des variations assez importantes en humidité relative entre la saison chaude et froide (58 à 79,8%).

Tableau I.2 : Humidité relative moyenne mensuelle en % (2001-2010).

Mois/Stations	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
Les Salines	76.9	76.9	74.5	74.4	75	72.6	70.7	70.5	71.4	74.1	75.5	76.2

Source : ANRH Annaba

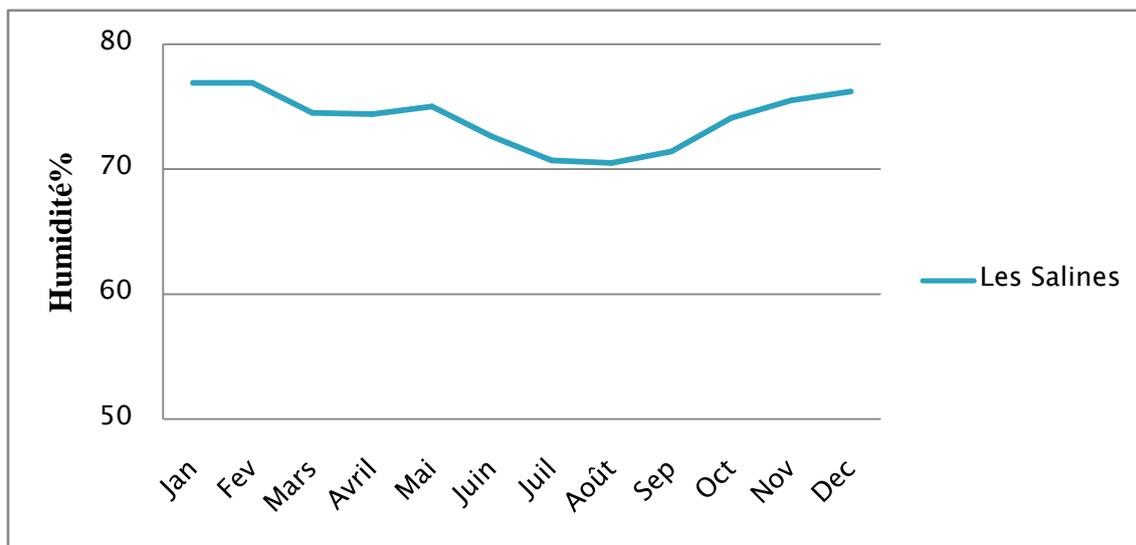


Figure I.3 : Humidité relative moyenne mensuelle en % (2001-2010).

2.2.3. Les vents :

Les vents les plus violents se manifestent en hiver et les plus faibles en été. La direction des vents prédominants est : Nord-Ouest et Sud-est.

Tableau I.3 Vitesses moyennes mensuelles des vents en m/s.

Mois \ Stations	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D
Les Salines	3.9	3.9	3.7	3.9	3.6	3.9	4.0	3.8	3.7	3.3	3.9	4.1

Source : ANRH Annaba.

2.2.4. L'insolation :

La durée d'ensoleillement moyenne à la station les salines varie de 4,8 heures en Janvier à 11,4 heures en Juillet.

Tableau I.4: moyenne des insolutions totales en heures à la station des salines 2001-2010.

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D
Moy	4.8	5.5	6.1	7.1	8.1	10.3	11.4	10.3	8.4	6.7	5.4	4.9

Source : ANRH Annaba

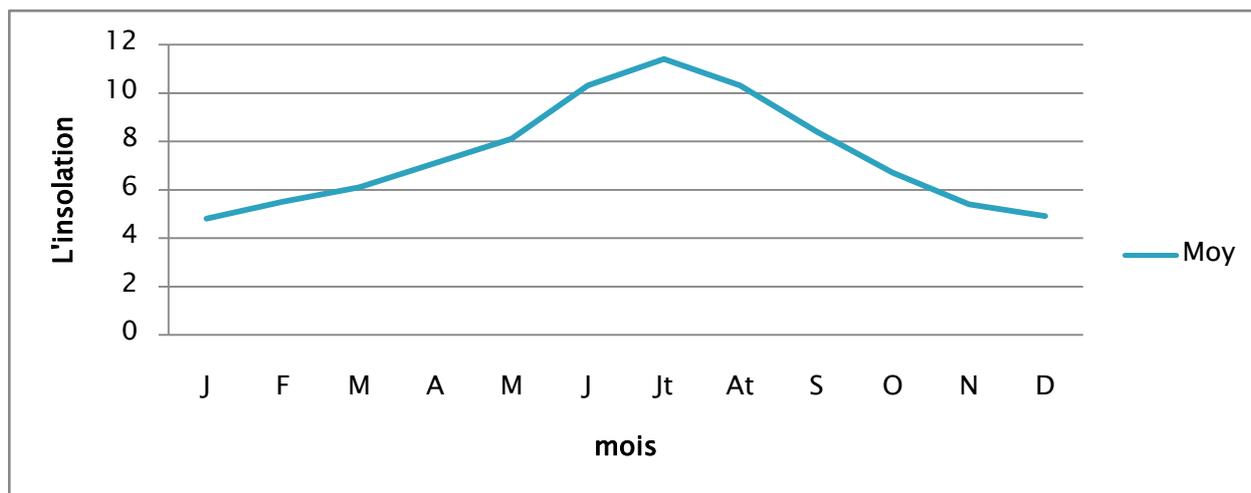


Figure I.4 : Insolations totales en heures à la station des salines 2001-2010.

2.2.5. La pluviométrie :

La pluviométrie est un facteur climatique très important. Il conditionne l'écoulement saisonnier, le régime des cours d'eaux, et l'alimentation des nappes aquifères.

A partir des données des précipitations enregistrées à la station d'Ain Berda (14-06-06), il ressort que la pluie moyenne annuelle du poste pluviométrique d'Ain Berda est de l'ordre de 694.084 mm pour une série d'observation de 43 ans (1970-2012).

Tableau I.5 : Répartition pluviométrique des moyennes mensuelles du poste pluviométrique d'AIN BERDA « 14-06-06 »

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	At	Moyenne annuelle
P(mm)	51.3	80.26	78.94	86.11	90.57	94.93	81.58	63.46	45.62	7.1	2.57	11.66	694.084

Source : ANRH Alger.

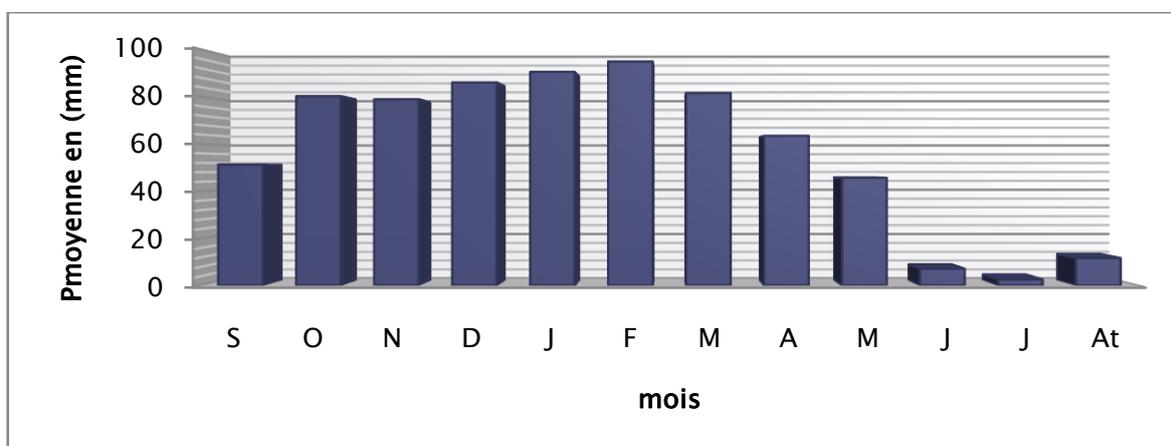


Figure I.5 : la répartition des précipitations moyennes mensuelles du poste 14-06-06

Cette répartition des pluies moyennes mensuelles nous permet de conclure que la région d'étude présente une très forte irrégularité des pluies dans l'année, avec toutefois une saison fortement pluvieuse enregistrant un pic au mois de Février en hiver (94.93mm) et une saison à très faible pluviométrie en été avec un pic sec au mois de Juillet (2.57 mm).

2.2.6. L'évaporation :

Elle dépend de plusieurs facteurs et permet de mesurer le pouvoir évaporatoire du sol, les mesures d'évaporation moyennes mensuelles et annuelle en mm à la station des salines Annaba entre (1986 1990) est donnée dans le tableau suivant :

Tableau I.6 : l'évaporation moyenne mensuelle et annuelle (mm)à la station des salines Annaba entre (1986-1990).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Ep(mm)	8.31	6.96	5.35	4.58	4.77	6.13	6.70	7.24	8.74	10.17	10.74	10.34	7.50

Source : DRE ANNABA.

2.3 Sismicité :

L'activité sismique est due principalement à la nature géologique de la région magrébine et à ses caractéristiques tectoniques à la frontière de la plaque africaine et eurasiennne,

L'Algérie a été soumise à une activité sismique intense qui a causédes pertes humaines et matérielles importantes non seulement aux individualités mais aussi aux collectivités locales en mouvement compressif permanent (tectonique des plaques).

Pour pallier à ce phénomène, on doit construire des ouvrages de telle sorte à leur fournir un degré de protection tolérable en répondant aux règles parasismiques algériennes (RPA).

En fonction de l'intensité sismique, l'Algérie est découpée en zones sismiques (voir figure I.7).

- ✓ Zone 0 : sismicité négligeable ;
- ✓ Zone I : sismicité faible ;
- ✓ Zone II.a et II.b : sismicité moyenne ;
- ✓ Zone III : sismicité élevée.

La wilaya d'Annaba est classé selon le RPA 1999(version 2003) en zone II a. C'est-a-dire une zone à moyenne séismicité.

2.4 CONTEXTE GEOLOGIQUE:

La région d'Annaba révèle des affleurements de divers types: métamorphiques, sédimentaires et quaternaire (figure I.6).

Le primaire: Représenté par le socle métamorphique. Ils sont surtout développés dans Djebel Edough et se subdivisent en quatre séries cristallophylliennes: Gneiss glanduleux, Gneiss Schisteux, Gneiss Grenatifères avec cipolins et les Gneiss feuilletés. Ces roches affleurent Sud- Ouest de Seraïdi, Bou Hamra, Belelieta.

Le Tertiaire : Présente une épaisseur importante dans la région d'Annaba avec trois systèmes. L'Eocène inférieur (série transgressive) est formée de calcaires massifs à faciès épinéritique. L'Oligocène comporte des niveaux argilo gréseux numidiens de 150m d'épaisseur qui forme le relief des montagnes du Sud de la plaine d'Annaba. Le Mio-Pliocène constitue le remplissage graveleux et sablo argileux du bassin de la plaine d'Annaba. Ces formations, d'origine continentale, incluent des horizons graveleux et des niveaux de travertins qui constituent le réservoir de la nappe profonde.

Le Quaternaire Le quaternaire joue un rôle important dans la constitution l'Algérie du nord (Annaba-La Calle) qui se présente ainsi comme un secteur jeune de l'Algérie. Le Quaternaire est décrit par trois niveaux. Le Quaternaire ancien est identifié par les formations alluviales (argiles, limons, sables, graviers et galets) de la haute terrasse (altitude variable entre 75 et 150m). Le Quaternaire moyen correspond à la basse terrasse (20 à 50m) qui est constituée par des argiles et des sables. Développée sur toute la région, cette dernière est occupée par les terres cultivées. Le Quaternaire récent correspond aux sables des cordons dunaires littoraux et aux limons alluvionnaires de la Seybouse.

Au droit de notre zone d'étude, les sables des plages actuelles des fonds des anses creusées dans le littoral depuis le rocher du lion jusqu'au cap de garde se présentent sous forme de sables Grenatifères quartzeux parfois agglomérés en grès avec débits de Bryozoaires, de Polypiers etc....

Notre région d'étude appartient au massif d'Edough qui se distingue par la série des alternances des roches cristallophylliennes (gneiss, micaschistes, etc.). Cette série, très tectonisée, se caractérise par une fissuration bien marquée le long des failles donnant naissance à un réseau hydrographique dense et à l'émergence de quelques sources. Ce sont des roches imperméables dont l'imperméabilité est liée à un sous sol formé d'argiles Nurnidiennes. Ce même type de faciès se retrouve dans le lit du Boudjemaa aux abords de Bordj Guelmara.

L'extrait de carte géologique ci-après illustre la géologie de la région.

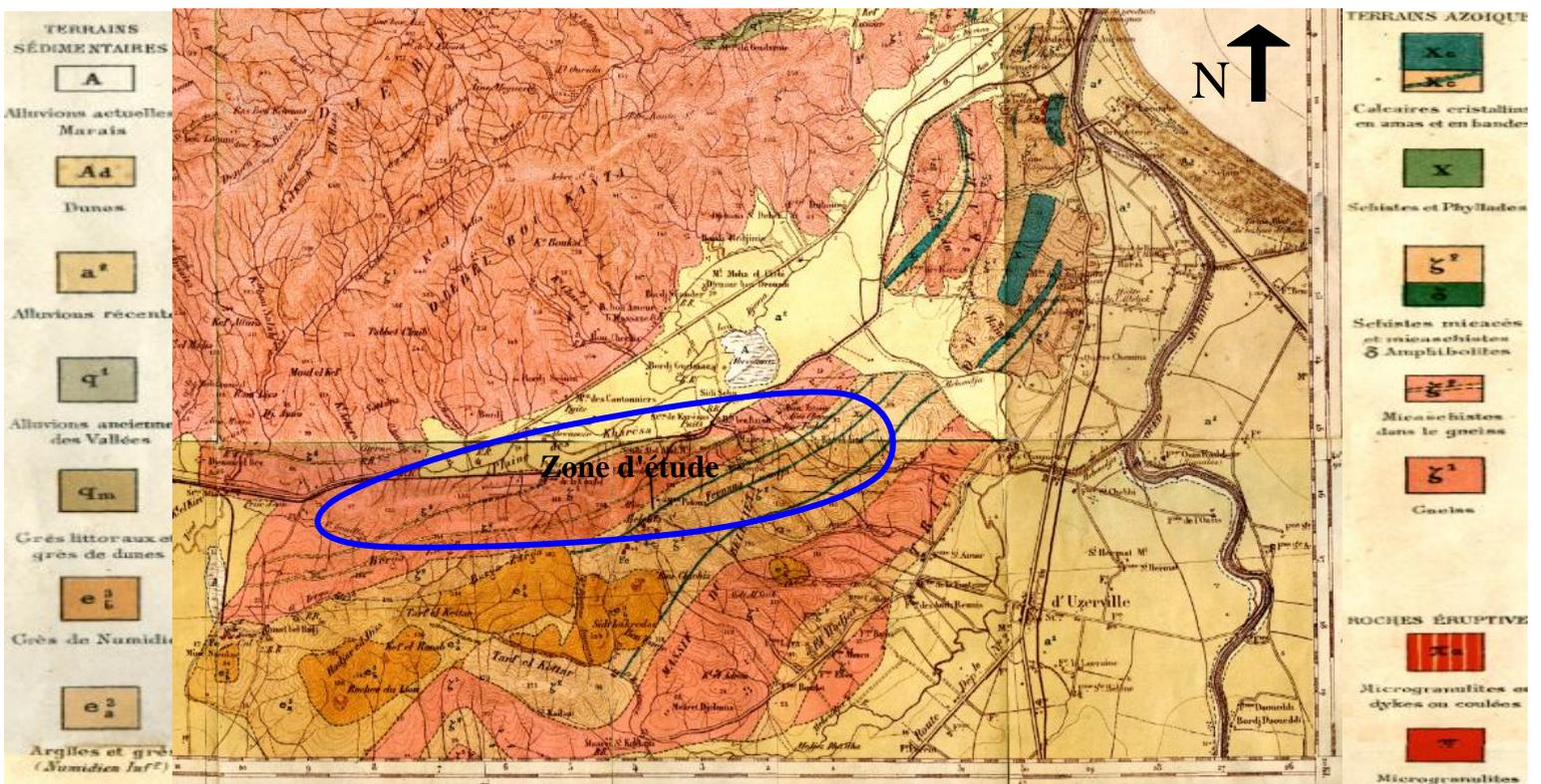


Figure I.6: Extrait de la carte géologique d'Annaba (Echelle 1/50000).

2.5 Aperçu hydrogéologique :

Les principaux niveaux d'eau de la région d'Annaba se rencontrent dans les cipolins, les calcaires, les brèches et grès de l'éocène moyen, les grès de Numidie, les cailloutis du Pontien et surtout dans les horizons sableux du Quaternaire.

Le large développement dans les zones basses des argiles de Numidie est l'une des raisons de la vaste étendue des nappes lacustres ou laguno-lacustres des environs d'Annaba et de Tarf.

Les mouvements de sol qui ont affecté le littoral de ces régions ont contribué à freiner le drainage des oueds à pentes souvent insuffisantes.

Dans les formations quaternaires qui nous intéressent, plusieurs horizons aquifères se rencontrent, soit au-dessus du villa francmhién (l'étage le plus ancienne du quaternaire), soit plus généralement dans les sables intercalés dans les argiles marines ou lagunaires des plaines d'Annaba. Soit encore dans les limons des vallées ou au pied des dunes, aux abords de l'estuaire de la Seybouse, dans certaines parties de la grande plaine d'Annaba, ces eaux situées souvent à 5m de profondeurs, sont parfois saumâtres.

Les eaux de ces nappes phréatiques du quaternaire alimentent la multitude puits creusés dans la plaine. Au sein de ce massif cristallophyllien (métamorphique) des vallées ont été creusées dont celle de l'oued Boudjemaa. Le fond de celles-ci est aujourd'hui principalement composé de dépôts alluvionnaires du quaternaire (plaine de Kherraza, plaine de Boukhadra...) à prédominance argileuse. Ces formations argileuses expliquent que les nappes présentes (notamment celle de la plaine de Kherraza) soient captives et difficilement exploitables.

2.6 APERÇU HYDROLOGIQUE

2.6.1 Les oueds dans la région d'étude

Les bassins versant font partie du versant Sud du massif de l'Edough. De par sa situation géographique, ce massif appartient administrativement dans sa quasi-totalité au territoire de la wilaya d'Annaba, au Nord-Est de l'Algérie. Les oueds Bouhdid et Boudjemaa, les cours d'eau les plus développés, drainent, respectivement, d'Est en Ouest un territoire de l'ordre de 90 à 100 km². Sur le plan administratif, ce secteur chevauche sur les communes d'El Bouni et Annaba.

L'oued Boudjemaa est d'ailleurs parfois appelé Oued Ennil dans sa partie Amont, prend sa source en amont de la plaine de Kherraza, au niveau du centre Oued Ennil. Il est encadré au sud par les reliefs du Djebel Barka Zerga (289 m NGA), massif de Bebeleita- Bouhamra et au nord par le Djebel Bou Kanta (583 m NGA).

La plaine amont de l'oued Boudjemaa a une morphologie bien particulière, les versants sud et nord ont de fortes pentes (de 50 à 20%) qui aboutissent à une plaine à très faible pente où se créent des marécages et se déposent les sédiments issus des versants. Il serpente dans ce vaste terrain plat souvent marécageux en passant de la cote 25 dans sa partie haute à la cote 5 dans la partie la plus resserrée pour aller ensuite se jeter dans la mer après avoir parcouru une quinzaine de km. L'oued Boudjemaa est rejoint dans sa partie basse, rive gauche, par l'oued Bouhdid

2.6.2 Réseau d'assainissement des deux centres urbains Oued Ennil et Essarouel :

La localité d'Oued Ennil possède un réseau d'assainissement de type unitaire avec des diamètres allant de 300 à 500 mm, (DRE Annaba).

La localité d'Essarouel est assainie par un réseau d'assainissement mixte avec des diamètres allant de 200 à 600 mm, (DRE Annaba).

Les eaux usées sont rejetées directement dans oued Boudjemaa puisque la zone d'étude ne contient pas une station d'épuration, (DRE Annaba).

2.7 Situation démographique

Le nombre total de population d'Oued Ennil et Essarouel est de 20054habitants, soit 5971 habitants au niveau d'Oued Ennil et 14 083 habitants au niveau d'Essarouel (l'APC d'Annaba) en 2017 avec un taux d'accroissement de 1.2

2.8 Occupation des sols :

Les versants montagneux de l'oued Boudjemaa et de l'oued Bouhdid (son principal affluent) sont très peu urbanisés car relativement pentus. On y trouve donc principalement qu'un couvert végétal. Bien qu'en zone bioclimatique subhumide, la végétation présente est essentiellement constituée de maquis plus ou moins denses et de rares forêts d'eucalyptus. Ceci s'explique principalement par l'action de l'homme (incendies, défrichements, surpâturages).

La plaine de Kherraza de part son caractère marécageux et inondable est également très peu urbanisé. L'urbanisation au niveau de la plaine amont a donc lieu essentiellement en piémont des versants : Haï Oued Ennil, Kherraza, Haï Essarouel, Chabbia, cité 1^{er} mai. Les seules urbanisations sont une zone industrielle (le long de l'ancien lit de l'oued Meboudja) et la zone dite des ateliers (à l'aval de la plaine de Kherraza) et quelques habitats isolés.

Le tableau suivant présente la synthèse de l'occupation des sols pour chaque bassin versant, le pourcentage occupé par chaque classe.

Tableau I.7:L'occupation des sols des deux bassins versant Oued Ennil et Essarouel.

Nom du BV	Superficie des sous bassins Km ²	Centre urbain	Zone pavillonnaire	Habitats dispersé	Terrain agricole	Espace naturel
Oued Ennil	2.17	2%	3%	1%	20%	76%
Essarouel	0.51	24%	5%	4%	38%	30%

3. Etude hydromorphologique du bassin versant :

Les caractéristiques morphométriques et hydrographiques ont été calculées sur la carte d'état-major à l'échelle 1/50000 d'Annaba ; cette carte a permis de délimiter les bassins versants d'Oued Ennil et Essarouel en passant par les lignes de partage des eaux et les crêtes des cours d'eau à aménagés.

Le calage de ces dernières ainsi que le calcul des caractéristiques a été fait à l'aide du logiciel Autocad 2013.

3.1. Caractéristiques hydromorphométriques des sous bassins versants d'Oued Ennil:

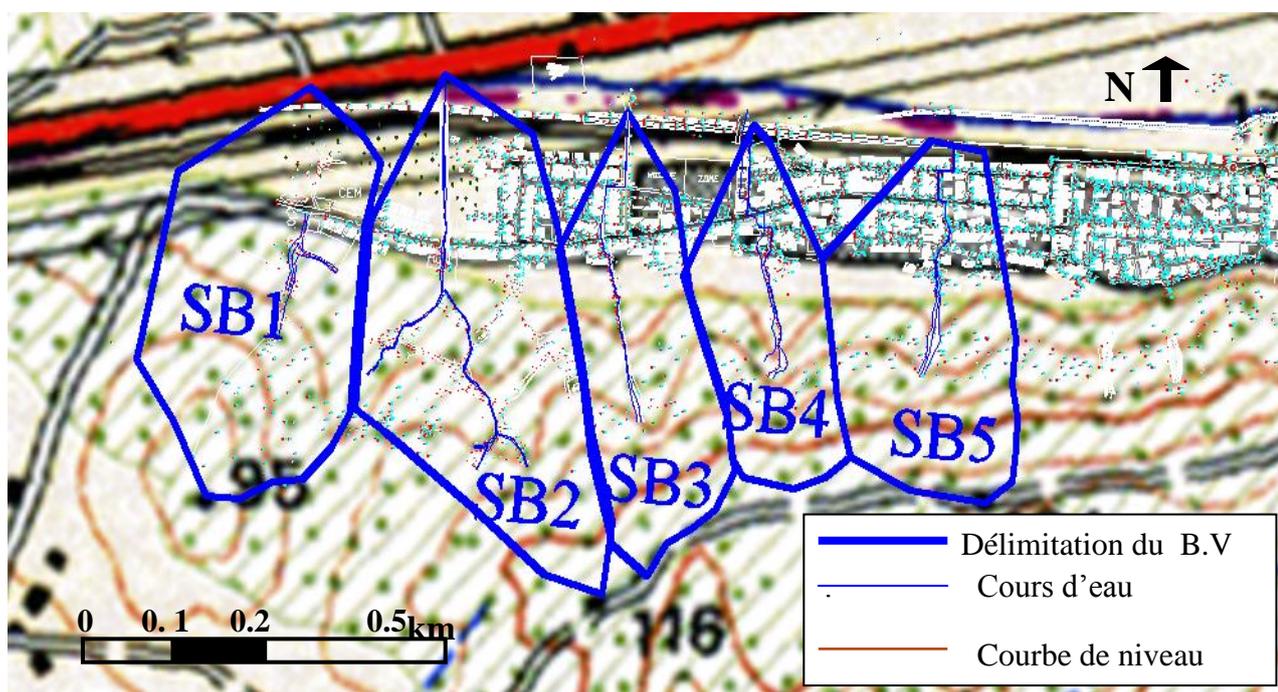


Figure I.7: Délimitation des sous bassins versants d'Oued Ennil à l'aide du logiciel Autocad.

3.1.1. Caractéristiques géométriques des sous bassins versants:

-**Surface**: C'est le paramètre le plus important du bassin qui désigne la surface topographique, elle est déterminée directement sur la carte d'état-major.

Tableau I.8 : Calcul des surfaces des sous bassins d'Oued Ennil.

Sous bassin	Surface (km ²)
SB1	0.120
SB2	0.143
SB3	0.084
SB4	0.064
SB5	0.094

-Périmètre: C'est la limite extérieure du bassin.

Tableau I.9: Périmètres des sous bassins d'Oued Ennil.

Sous bassin	Périmètre (km)
SB1	1.356
SB2	1.609
SB3	1.312
SB4	1.093
SB5	1.209

-La longueur du cours d'eau principal (L_{cp}): C'est une grandeur très utilisée dans les calculs hydrologiques, elle est définie comme étant La distance mesurée le long du cours principal du bassin, à partir de l'exutoire de ce dernier jusqu'à la fin du cours d'eau (L_{cp}).

Tableau I.10 : longueurs des cours d'eau principales des sous bassins d'Oued Ennil.

Sous bassin	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5
L_{cp} (km)	0.240	0.511	0.421	0.364	0.335

3.1.2 Forme :

La forme du bassin versant influence fortement l'écoulement global et notamment le temps de réponse du bassin versant, une forme ramassée favorise de forts débits de crues en raison du faible temps d'acheminement lié à la notion du temps de concentration.

-Indice de compacité de Gravelius K_c :

L'indice de forme K_c , appelé indice de compacité de Gravelius, est un paramètre indicateur de la forme géométrique du bassin versant, il est égal au rapport du périmètre du bassin versant considéré à celui d'un cercle qui aurait la même surface.

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} \quad \text{I.2}$$

Si :

- $K_c < 1,12$ bassin versant est ramassé.
- $K_c = 1,12$ bassin versant carrée.
- $K_c > 1,12$ le bassin versant est allongé.

Avec :

K_c : indice de Graviilius.

P : périmètre du bassin versant (Km).

S : superficie du bassin versant (Km^2).

Tableau I.11 : Calcul des indices de compacité des sous bassins d'Oued Ennil.

Sous bassin	K _C
SB1	1.094
SB2	1.199
SB3	1.278
SB4	1.216
SB5	1.111

Interprétation:

Selon les valeurs de K_C issus du Tableau I.11 ;

-Les sous bassins (SB2, SB3, SB4) sont de forme allongés alors le temps de concentration sera long, et la crue se manifestera progressivement à l'exutoire.

-Les sous bassins (SB1, SB5) sont de forme ramassée donc une concentration des eaux à l'exutoire très rapide.

-**Coefficient d'allongement C_a**: C'est le rapport entre le carré de la longueur maximale du bassin et sa superficie

$$C_a = \frac{L_c^2}{S} \quad \text{I.3}$$

Tableau I.12 : Calcul des coefficients d'allongement des sous bassins d'Oued Ennil.

Sous bassin	C _a
SB1	0.478
SB2	1.824
SB3	2.116
SB4	2.063
SB5	1.195

-**Facteur de forme R_F** : Il est défini par :

$$R_F = \frac{1}{C_a} \quad \text{I.4}$$

Tableau I.13 : longueurs des cours d'eau principales des sous bassins d'Oued Ennil.

Sous bassin	R _F
SB1	2.092
SB2	0.548
SB3	0.473
SB4	0.485
SB5	0.839

-**Élancement R_e** : l'élancement est le rapport entre le diamètre d'un cercle ayant la même superficie que le bassin et la longueur maximale du bassin.

$$R_e = \frac{D}{L_c} = 1.128 \frac{\sqrt{S}}{L_c} \quad \text{I.5}$$

Tableau I.14 : Calcul des élancements des sous bassins d'Oued Ennil.

Sous bassin	R_e
SB1	0.3915
SB2	0.4268
SB3	0.32647
SB4	0.2859
SB5	0.3462

-**Rayon de circularité R_c** : C'est le rapport entre la superficie du bassin et celle du cercle dont la circonférence est égale au périmètre du bassin.

$$R_c = \frac{4\pi S}{P^2} \quad \text{I.6}$$

Tableau I.15:Rayon de circularité des sous bassins d'Oued Ennil.

Sous bassin	R_c
SB1	0.823
SB2	0.694
SB3	0.611
SB4	0.675
SB5	0.809

-Rectangle équivalent :

C'est une transformation purement géométrique qui consiste à assimiler le bassin versant à un rectangle, cette notion permet d'établir la comparaison des bassins entre eux de point de vue de l'influence de la forme sur l'écoulement, en possédant la même superficie et le même périmètre que le bassin considéré et par conséquent le même indice de compacité.

$$L, l = \frac{K_c \sqrt{S}}{1,128} \left(1 \pm \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{K_c} \right)^2} \right) ; \text{ si } K_c \geq 1.12 \quad \text{I.7}$$

Si $K_c \leq 1.12$, le bassin a une forme circulaire et la transformation géométrique en rectangle équivalent n'est plus réalisable, le bassin sera assimilé à un carré.

Avec :

- L : longueur du rectangle équivalent en (Km).
- l : largeur du rectangle équivalent en (Km).

Tableau I.16 : Calcul des longueurs et largeurs du rectangle équivalent des sous bassins d'Oued Ennil.

Sous bassin	L (km)	l (km)
SB1	0.39	0.39
SB2	0.54	0.27
SB3	0.48	0.17
SB4	0.38	0.17
SB5	0.35	0.35

Les indices de forme obtenus pour la commun Oued Ennil nous enseignent sur une surface remarquable qui s'approche le mieux aux bassins considérés.

3.1.3 Relief

Le relief a une influence remarquable sur l'écoulement, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques (température, précipitation) varient avec l'altitude et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement. Le relief se détermine au moyen d'indices et de courbes.

✓ **Courbe hypsométrique :**

La courbe hypsométrique est tracée selon les résultats des mesures de la répartition du bassin versant par tranche d'altitude, cette courbe fournit une vue synthétique de la pente du bassin ainsi que son état d'érosion, donc du relief. 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.

La répartition des surfaces des sous bassins versants d'Oued Ennil a été déterminée à l'aide du logiciel Autocad 2013.

Les résultats obtenus sont récapitulés dans les tableaux et les courbes hypsométrique suivants :

Tableau I.17 : Surfaces partielles du sous bassin versant « 1 » d'Oued Ennil par tranche d'altitudes.

Altitudes	Altitude moyenne	Surfaces Partielles		Surfaces cumulées		Si x Hi
		Si (Km ²)	Si(%)	∑Si (Km ²)	Sci (%)	
H(m)	Hi (m)					Km ² xm
95-75	85	0.0091	7.56	0.0091	7.56	0.774
75-55	65	0.0183	15.21	0.0274	22.78	1.190
55-40	47.5	0.0302	25.10	0.0576	47.88	1.435
40-26	33	0.0627	52.12	0.1203	100	2.069
Somme		0.1203	100			5.467

La courbe hypsométrique formée à partir des données du tableau I.17 est représentée par la figure I.8 suivante:

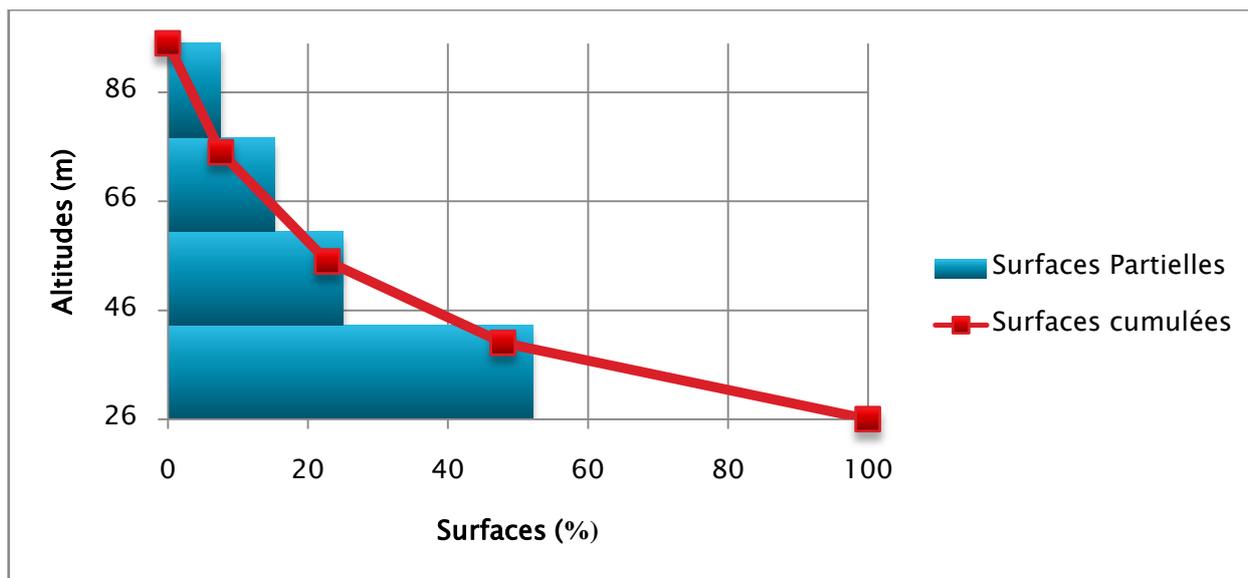


Figure I.8 : Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB1).

Tableau I.18: Surfaces partielles du sous bassin versant « 2 » d'Oued Ennil par tranche d'altitudes.

Altitudes		Surface Partielles		Surfaces cumulées		Si x Hi
H(m)	Hi (m)	Si (Km ²)	Si(%)	$\sum Si$ (Km ²)	Sci (%)	Km ² x m
116-100	108	0.0093	6.50	0.0093	6.50	1.004
100-80	90	0.0124	8.67	0.0217	15.16	1.116
80-60	70	0.0201	14.05	0.0418	29.21	1.407
60-40	50	0.0249	17.40	0.0667	46.61	1.245
40-25	32.5	0.0764	53.39	0.1431	100	2.483
Somme		0.1431	100			7.255

La courbe hypsométrique formée à partir des données du tableau I.18 est représentée par la figure I.9 suivante :

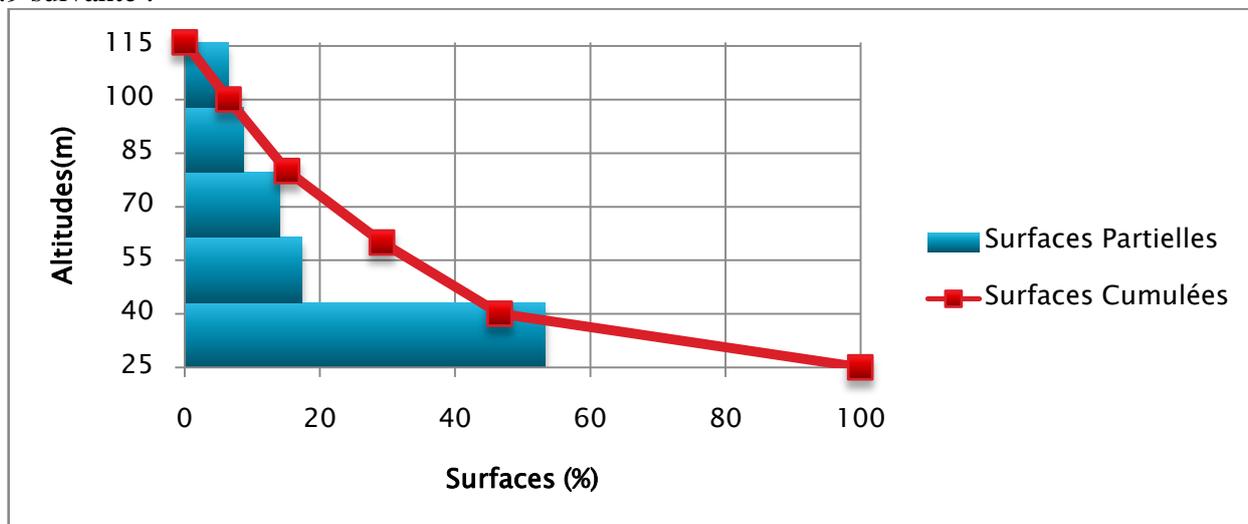


Figure I.9: Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB2).

Tableau I.19 : Surfaces partielles du sous bassin versant « 3 » d'Oued Ennil par tranche d'altitudes.

Altitudes		Surface Partielles		Surfaces cumulées		Si x Hi
H(m)	Hi (m)	Si (Km ²)	Si(%)	∑Si (Km ²)	Sci (%)	Km ² x m
117-100	108.5	0.0115	13.72	0.0115	13.72	1.248
100-80	90	0.0119	14.20	0.0234	27.92	1.071
80-60	70	0.0105	12.53	0.0339	40.45	0.735
60-40	50	0.0169	20.17	0.0508	60.62	0.845
40-21	30.5	0.033	39.38	0.0838	100	1.007
Somme		0.0838	100			4.905

La courbe hypsométrique formée à partir des données du tableau I.19 est représentée par la figure I.10 suivante :

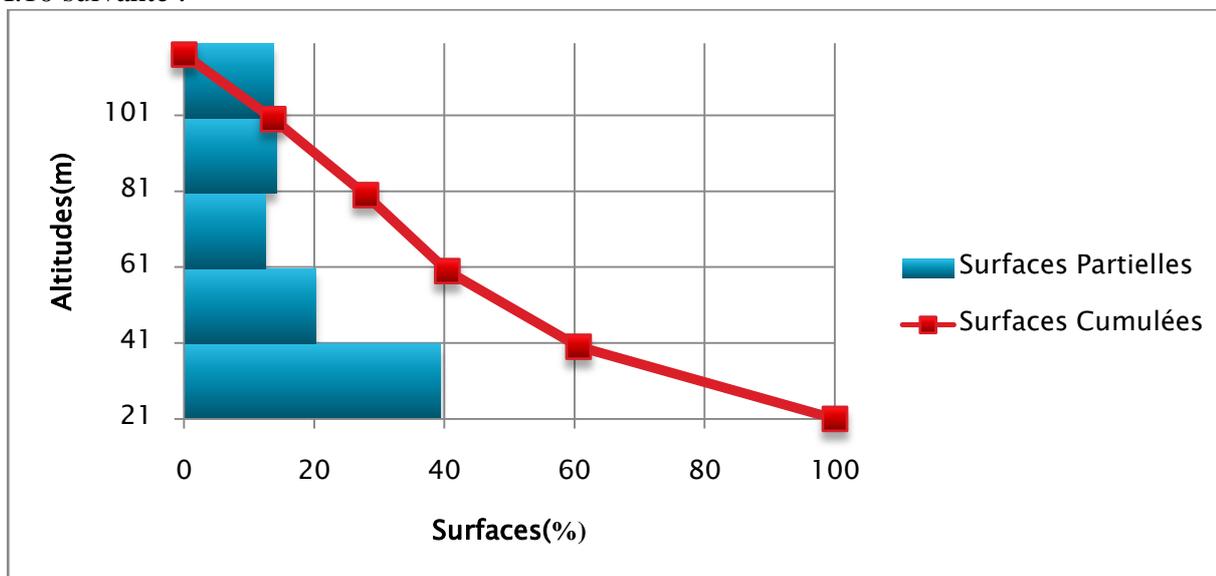


Figure I.10: Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB3).

Tableau I.20 : Surfaces partielles du sous bassin versant « 4 » d'Oued Ennil par tranche d'altitudes.

Altitudes		Surface Partielles		Surfaces cumulées		Si x Hi
H(m)	Hi (m)	Si (Km ²)	Si(%)	∑Si (Km ²)	Sci (%)	Km ² x m
120-100	110	0.0055	8.58	0.0055	8.58	0.605
100-80	90	0.0068	10.61	0.0123	19.19	0.612
80-60	70	0.0098	15.29	0.0221	34.48	0.686
60-40	50	0.0099	15.44	0.0320	49.92	0.495
40-21	30.5	0.0321	50.08	0.0641	100	0.979
Somme		0.0641	100			3.377

La courbe hypsométrique formée à partir des données du tableau I.20 est représentée par la figure I.11 suivante :

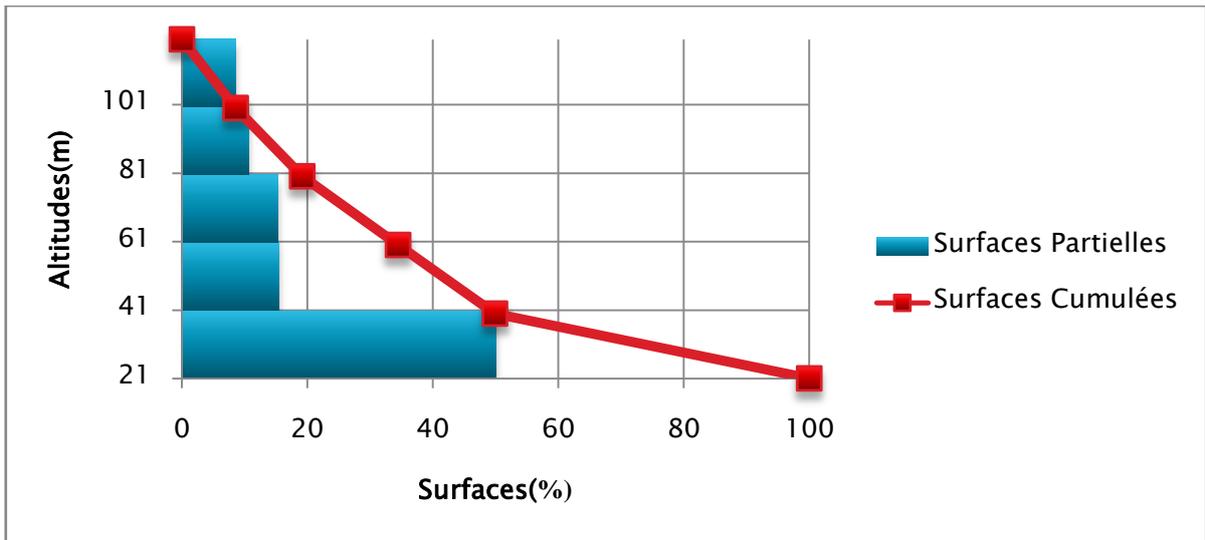


Figure I.11: Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB4).

Tableau I.21: Surfaces partielles du sous bassin versant « 5 » d'Oued Ennil par tranche d'altitudes.

Altitudes		Surface Partielles		Surfaces cumulées		Si x Hi
H(m)	Hi (m)	Si (Km ²)	Si(%)	$\sum Si$ (Km ²)	Sci (%)	
124-120	122	0.004176	4.43	0.0042	4.43	0.509
120-100	110	0.01231877	13.07	0.0165	17.50	1.355
100-80	90	0.008566	9.09	0.0251	26.59	0.771
80-60	70	0.0128433	13.63	0.0379	40.21	0.899
60-40	50	0.01536478	16.30	0.0533	56.51	0.768
40-20	30	0.04099033	43.49	0.0943	100	1.230
Somme		0.0943	100			5.532

La courbe hypsométrique formée à partir des données du tableau I.21 est représentée par la figure I.12 suivante :

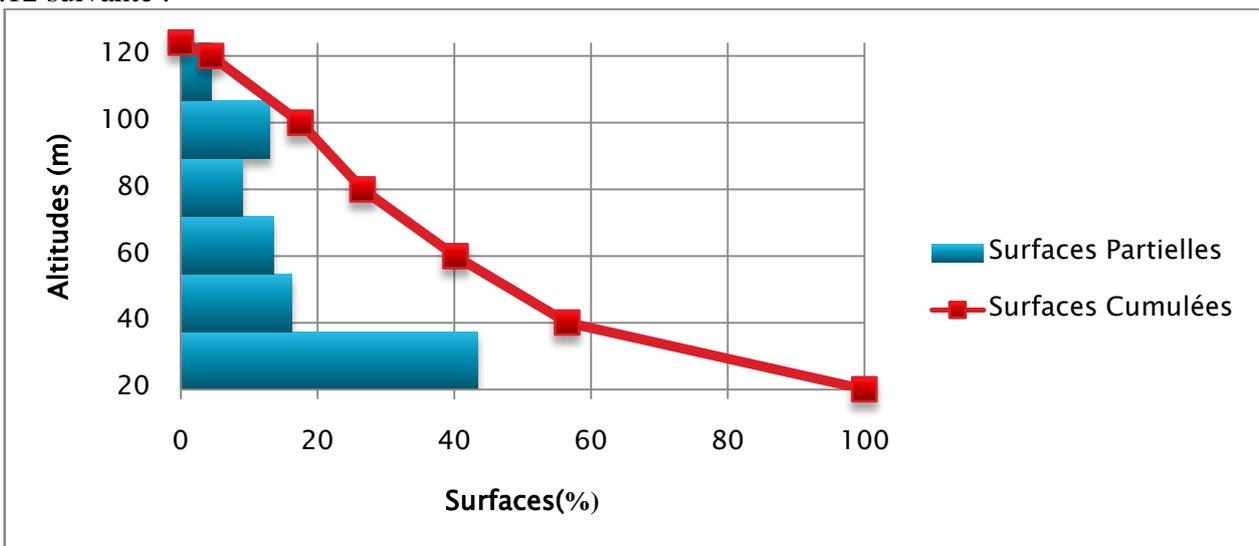


Figure I.12 : Courbe hypsométrique du bassin versant (SB5).

✓ **Les altitudes caractéristiques des bassins :**

Les altitudes caractéristiques s'obtiennent à l'aide des cartes topographiques :

- **L'altitude maximale** : représente le point le plus élevé du bassin versant.
- **L'altitude minimale** : représente le point le plus bas du bassin versant, l'exutoire.
- **L'altitude médiane (H_{50%})** : est déterminé à partir de la courbe hypsométrique correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin.
- **L'altitude à 95 % et 5 %** : sont déterminés à partir de la courbe hypsométrique
- **L'altitude moyenne H_{moy}** : est calculée par la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{\sum H_i * S_i}{S_t} \quad \text{I.8}$$

Sachant que :

$$H_i = \frac{H_{1+n} + H_n}{2} \quad \text{I.9}$$

Avec :

- H_i : Altitude moyenne ente deux courbes de niveaux consécutives en m.
- S_i : surface partielle comprise entre deux courbes de niveaux consécutives en Km².
- S_t : surface totale du bassin versant en Km².

Tableau I.22 : Calcul des hauteurs caractéristique des sous bassins d'Oued Ennil.

Hauteur Sous bassin	H _{min} (m)	H _{max} (m)	H _{5%} (m)	H _{50%} (m)	H _{95%} (m)	H _{moy} (m)
SB1	26	95	82	60.5	27	51.04
SB2	25	116	104	39.04	26	50.70
SB3	21	117	111	53.48	22	58.33
SB4	21	120	108	40	22	52.76
SB5	20	124	114	49.67	21	58.69

✓ **Les indices de pente d'un bassin :**

Le but des indices est de caractériser les pentes du bassin versant, ils se déterminent à partir de la connaissance de la répartition hypsométrique sur le bassin.

a) Indice de pente globale I_g :

Il est définit comme étant le rapport entre l'altitude comprise entre 5% et 95% de la surface dubassin et la longueur du rectangle équivalent.

L'indice de pente globale est donné par la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L_{eq}} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L_{eq}} \quad \text{I.10}$$

Avec :

- D : dénivelée entre H_{95%} et H_{5%} en (m).
- Leq : longueur du rectangle équivalent en Km.

- H95% et H5% : sont respectivement les altitudes correspondantes à S95% et S5%.

b) Indice de pente de Roche I_p :

Il se calcule par la formule suivante :

$$I_p = \sqrt{\frac{I_g}{0.8} - \frac{1}{\sqrt{L_{eq}}}} \sqrt{\sum S_i (H_i - H_{i-1})} \quad \text{I.11}$$

Avec :

L_{eq} : Longueur du rectangle équivalent du bassin versant (m).

S_i : Surface partielle (%) comprise entre deux courbes de niveau consécutives H_i et H_{i-1} (m).

c)Indice de Pente moyenne du bassin versant I_m :

L'indice de pente moyenne est donné par la formule suivante :

$$I_m = \frac{\Delta H(0.5l_1+l_2+l_3+\dots+0.5l_n)}{S} \quad \text{I.12}$$

Avec ;

ΔH : Dénivelée (m).

l_i : longueur de la courbe de niveau d'ordre 1,2,...n(m).

S : Surface du bassin versant (km²).

d) Dénivelé spécifique D_s :

Ce paramètre dépend principalement de la surface pour corrigé l'indice de pente globale(I_g), la deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M(Office de Recherche Scientifique de territoire d'Outre-mer) appliquée à tout bassin, quelle que soit sa surface, apparait dans le tableau(I.22). Elle est donnée par la formule suivante :

$$D_s = I_g \cdot \sqrt{S} \quad \text{I.13}$$

Avec :

D_s : dénivelé spécifique (m).

I_g : indice de pente globale.

S : surface du bassin versant (m²).

Tableau I.23: Classification O.R.S.T.O.M (type de relief).

Relief	Type de relief	D_s (m)
1	Très faible	$D_s < 10$
2	Faible	$10 < D_s < 25$
3	Assez faible	$25 < D_s < 50$
4	Modéré	$50 < D_s < 100$
5	Assez modéré	$100 < D_s < 250$
6	Fort	$250 < D_s < 500$
7	Très fort	$D_s > 500$

Tableau I.24 : Les indices de pente des sous bassins d'Oued Ennil.

Indices de pente Sous bassin	I _g (m/m)	I _p (m/m)	I _m (m/m)	Ds (m)	Classification du relief
SB1	0.1396	0.4178	0.102	48.4643	Assez faible
SB2	0.1442	0.4245	0.903	54.5489	Modéré
SB3	0.1842	0.4798	0.160	53.3093	Modéré
SB4	0.23	0.5362	0.185	58.2968	Modéré
SB5	0.2685	0.5793	0.215	82.3982	Modéré

3.1.4. Réseau hydrographique :

✓ **Pente moyenne du cours d'eau principal I_{cp} :**

La pente moyenne du cours d'eau principal permet de déterminer la vitesse d'écoulement vers l'exutoire. Une pente douce ou nulle laisse l'eau s'infiltrer dans le sol tant dis qu'une forte pente facilite l'écoulement superficiel. Elle est donnée par la formule suivante :

$$I_{cp} = \frac{\Delta H}{L_{cp}} \quad \text{I.14}$$

Avec :

- I_{cp}: pente moyenne du cours d'eau principal %
- ΔH: Dénivelée entre Hmax et Hmin (m).
- L_{cp} : Longueur du cours d'eau principal (Km).

Tableau I.25 : Pentes moyennes des cours d'eau principaux des sous bassins d'Oued Ennil.

Sous bassin	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5
I _{cp} (m/m)	0.29	0.18	0.23	0.27	0.31

✓ **Densité de drainage D_d :**

Chaque réseau hydrographique est caractérisé par une densité de drainage, qui est définie comme le rapport entre la somme des longueurs des lignes de courant pour un réseau hydrographiques sur la superficie du bassin versant. Elle est donnée par la formule suivante :

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S} \quad \text{I.15}$$

Elle est exprimée en (Km/Km²) donc en Km⁻¹.

Avec :

- D_d: densité de drainage en Km⁻¹.
- ΣLi : Somme des longueurs de tous les cours d'eau d'ordre en Km.
- S: surface du bassin versant Km².

Tableau I.26: Densité de drainage des sous bassins d'Oued Ennil.

Sous bassin	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5
D _d (Km/Km ²)	1.99	5.16	5.03	5.67	3.56

D'après le tableau I.26, nous constatons des valeurs élevées de la densité de drainage ce qui signifie que les bassins versants d'Oued Ennil sont bien drainés.

✓ **Temps de concentration Tc :**

Le temps de concentration Tc est la durée maximale nécessaire à une goutte d'eau, tombée au point le plus éloigné du bassin versant, d'arriver à l'exutoire.

Il existe de nombreuses formules empiriques permettant de connaître le temps de concentration. Néanmoins, nous retenons les formules de Kirpich et Van Te Chow qui nous semblent convenables pour de petits bassins. D'autant plus, elles ont été élaborées dans un contexte semblable que celui du Nord d'Algérie.

➤ Formule de KIRPICH

➤ Elle est calculée par la formule suivante :

$$T_c = 0.0195 * L_{cp}^{0.77} * I_{cp}^{-0.385} \quad \mathbf{I.16}$$

Avec:

- Lcp: longueur du talweg principale en m.
- Tc : Temps de concentration exprimé en minute.
- Icp : la pente moyenne du cours d'eau principal en (m/m).

➤ Formule de Van Te Chow

Elle est calculée par la formule suivante :

$$T_c = 60 * 0.123 * \left(\frac{L_{cp} * I_{cp}^{-0.5}}{1000} \right)^{0.64} \quad \mathbf{I.17}$$

Avec :

- Tc en minutes.
- Lcp : longueur du cours d'eau en m.
- Icp : Pente du cours d'eau principal en (m/m).

Tableau I.27: Temps de concentration des sous bassins d'Oued Ennil.

	Tc : temps de concentration (heure)				
Sous bassin	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5
KIRPICH	0.036	0.077	0.060	0.050	0.045
Van Te Chow	0.074	0.139	0.113	0.098	0.089

Parmi les résultats obtenus dans le tableau I.27, nous choisissons de prendre le temps de concentration le plus petit donnant la plus grande valeur de vitesse d'écoulement (cas d'écoulement le plus défavorable) nous optons alors pour le résultat issu de loi de KIRPICH

Vitesse moyenne de ruissellement :

C'est la vitesse moyenne de l'écoulement dans le réseau hydrographique pour atteindre l'exutoire, elle est fonction de plusieurs facteurs (Pente, étendue du lit et hiérarchisation du chevelu hydrographique), elle constitue un élément fondamental dans l'évolution spatiale des crues.

Elle est calculée par la formule suivante :

$$V_r = \frac{L_{cp}}{T_c} \quad \mathbf{I.18}$$

Avec :

- Lcp : Longueur de talweg principal en (Km).
- Tc : temps de concentration en (heure).

Tableau I.28 : La vitesse de ruissellement des sous bassins versants d'Oued Ennil.

Sous bassin	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5
Vr(Km/h)	6.716	6.646	6.991	7.235	7.469

Tableau I.29: Récapitulatif des caractéristiques hydromorphométriques des sous bassins d'Oued Ennil

Caractéristiques		Valeurs des cinq sous bassins				
Morphométrie						
Superficie (S)	Km ²	0.121	0.143	0.084	0.064	0.094
Périmètre (P)	Km	1.356	1.609	1.312	1.093	1.209
Longueur du Rectangle équivalent (L)	Km	0.392	0.539	0.482	0.375	0.346
Largeur de Rectangle équivalent (l)	Km	0.392	0.270	0.170	0.170	0.346
Indice de compacité de Gravelius (Kc)	-	1.094	1.199	1.278	1.216	1.111
Coefficient d'allongement (Ca)	-	0.478	1.8243	2.116	2.063	1.192
Relief						
Altitudes maximal (Hmax)	mNGA	95	116	117	120	124
Altitudes moyenne (Hmoy)	mNGA	51.04	50.70	58.33	52.76	58.69
Altitudes médiane (H _{50%})	mNGA	60.5	39.04	53.48	40	49.67
Altitudes minimal (Hmin)	mNGA	26	25	21	21	20
Altitudes 5 %	mNGA	82	104	111	108	114
Altitudes 95 %	mNGA	27	26	22	22	21
Indice de pente globale (Ig)	m/Km	139.6	144.2	184.2	230	268.5
Indice de pente de Roche (Ip)	m/m	0.418	0.425	0.479	0.536	0.579
Indice de pente moyenne	m/m	0.370	0.542	0.769	0.914	1.116
Dénivelée spécifique (Ds)	m	48.464	54.549	53.309	58.297	82.398
Le réseau hydrographique						
Pente moyenne du cours d'eau principale (Icp)	m/km	290	180	230	270	310
Longueur du thalweg principal (Lcp)	Km	0.24	0.511	0.421	0.364	0.335
La densité de drainage (Dd)	Km/Km ²	1.99	5.163	5.026	5.667	3.557
Temps de concentration (Tc)	h	0.036	0.077	0.060	0.050	0.045
Vitesse de ruissellement (Vr)	Km /h	6.716	6.646	6.991	7.235	7.469

3.2. Caractéristique hydromorphométriques des sous bassins versants d'Essarouel:

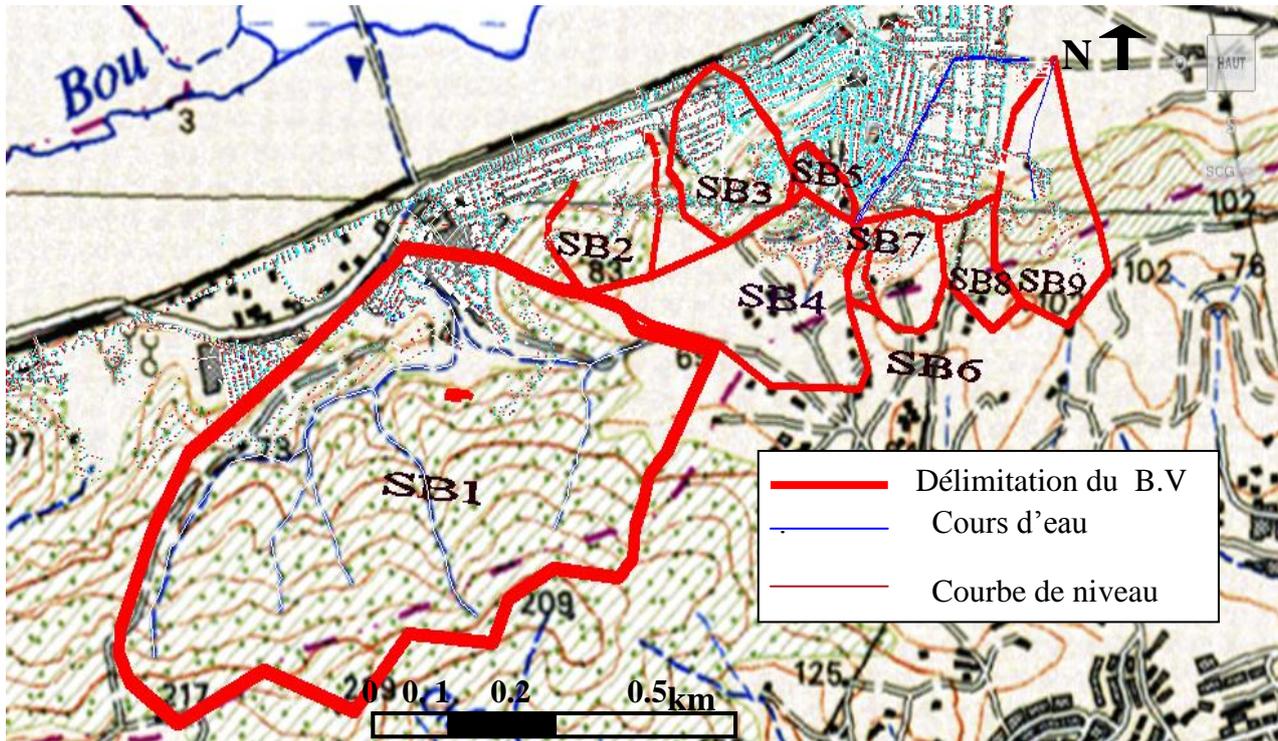


Figure I.13: Délimitation des sous bassins versants d'Essarouel à l'aide du logiciel Autocad

3.2.1. Caractéristiques géométriques des sous bassins versants :

-Surface :

Tableau I.30 : Calcul des surfaces des sous bassins versants d'Essarouel.

Sous bassin	Surface (km ²)
SB1	1.319
SB2	0.109
SB3	0.116
SB4	0.227
SB5	0.019
SB6	0.058
SB7	0.072
SB8	0.046
SB9	0.149

- Périmètre :

Tableau I.31 : Calcul des périmètres des sous bassins versants d'Essarouel.

Sous bassin	Périmètre (km)
SB1	4.948
SB2	1.287
SB3	1.285
SB4	2.273
SB5	0.6
SB6	0.896
SB7	1.018
SB8	0.973
SB9	1.64

- Longueur du cours d'eau principal L_{cp} :

Tableau I.32 : Calcul des longueurs des cours d'eau principales des bassins versants d'Essarouel.

Sous bassin	L_{cp} (km)
SB1	1.90
SB2	0.240
SB3	0.420
SB4	0.255
SB5	0.580
SB6	0.106
SB7	0.471
SB8	0.228
SB9	0.376

3.2.2. **Forme** :

- Indice de compacité de Gravelius K_c :

Tableau I.33: Calcul des indices de compacité des sous bassins versants d'Essarouel.

Sous bassin	K_c
SB1	1.215
SB2	1.098
SB3	1.062
SB4	1.344
SB5	1.213
SB6	1.047
SB7	1.074
SB8	1.273
SB9	1.199

Interprétation

Selon les valeurs de K_c obtenu du tableau I.33 ;

- Les sous bassins (SB1, SB4, SB5, SB8, SB9) sont de forme allongés, alors le temps de concentration sera long, et la crue se manifestera progressivement à l'exutoire.

-Les sous bassins (SB2, SB3, SB6, SB7) sont de forme ramassée, donc une concentration des eaux à l'exutoire très rapide.

-Coefficient d'allongement C_a :

Tableau I.34 : Coefficients d'allongement des sous bassins versants d'Essarouel.

Sous bassin	C_a
SB1	2.736
SB2	0.528
SB3	1.531
SB4	0.286
SB5	17.296
SB6	0.193
SB7	3.102
SB8	1.118
SB9	0.951

-Facteur de forme R_F :

Tableau I.35 : facteurs de forme des sous bassins versants d'Essarouel.

Sous bassin	R_F
SB1	0.366
SB2	1.896
SB3	0.653
SB4	3.496
SB5	0.058
SB6	5.185
SB7	0.322
SB8	0.894
SB9	1.052

-Elancement R_e :

Tableau I.36 : Les élancements des sous bassins versants d'Essarouel.

Sous bassin	R_e
SB1	1.296
SB2	0.373
SB3	0.385
SB4	0.538
SB5	0.157
SB6	0.271
S87	0.302
SB8	0.243
SB9	0.435

-Rayon de circularité Rc :

Tableau I.37 : Rayons de circularité des sous bassins versants d'Essarouel.

Sous bassin	Rc
SB1	0.677
SB2	0.828
SB3	0.885
SB4	0.553
SB5	0.679
SB6	0.911
SB7	0.867
SB8	0.617
SB9	0.694

- Rectangle équivalent :

Tableau I.38 : Calcul des longueurs et largeurs du rectangle équivalent des sous bassins versants d'Essarouel.

Sous bassin	L (km)	l (km)
SB1	1.696	0.78
SB2	0.373	0.373
SB3	0.385	0.385
SB4	0.877	0.26
SB5	0.205	0.09
SB6	0.272	0.272
SB7	0.302	0.302
SB8	0.356	0.13
SB9	0.549	0.27

3.2.3. Relief :

✓ Courbe hypsométrique :

Tableau I.39: Surfaces partielles du sous bassin versant« 1 » d'Essarouel par tranche d'altitudes.

Altitudes		Surface Partielles		Surfaces cumulées		Si x Hi
H(m)	Hi (m)	Si (Km ²)	Si(%)	∑Si (Km ²)	Sci (%)	Km ² x m
229-180	204.5	0.160779	12.19	0.1608	12.19	32.879
180-160	170	0.115347	8.74	0.2761	20.93	19.609
160-140	150	0.113286	8.59	0.3894	29.52	16.993
140-120	130	0.141315	10.71	0.5307	40.23	18.371
120-100	110	0.134533	10.20	0.6653	50.43	14.799
100-80	90	0.142293	10.79	0.8076	61.22	12.806
80-60	70	0.197721	14.99	1.0053	76.21	13.840
60-40	50	0.140144	10.62	1.1454	86.83	7.007
40-12.3	26.15	0.173726	13.17	1.3191	100	4.543
Somme		1.3191	100			140.848

La courbe hypsométrique formée à partir des données du tableau I.39 est représentée par la figure I.14 suivante :

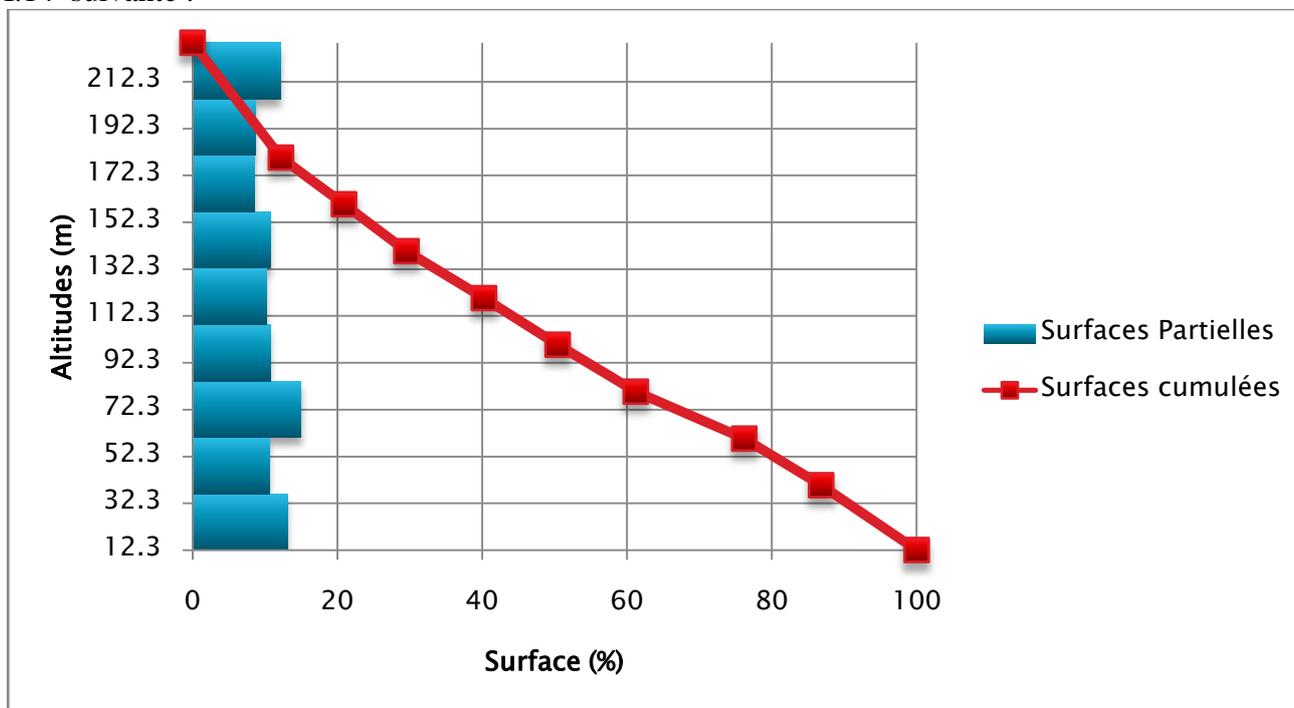


Figure I.14: Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB1).

Tableau I.40 : Surfaces partielles du sous bassin versant« 2 » d'Essarouel par tranche d'altitudes.

Altitudes		Surface Partielles		Surfaces cumulées		Si x Hi
H(m)	Hi (m)	Si (Km ²)	Si(%)	∑Si (Km ²)	Sci (%)	Km ² x m
83-80	81.5	0.0066	6.04	0.0066	6.04	0.538
80-60	70	0.0285	26.10	0.0351	32.14	1.995
60-40	50	0.0232	21.25	0.0583	53.39	1.160
40-7.4	23.7	0.0509	46.61	0.1092	100	1.206
Somme		0.1092	100			4.899

La courbe hypsométrique formée à partir des données du tableau I.40 est représentée par la figure I.15 suivante :

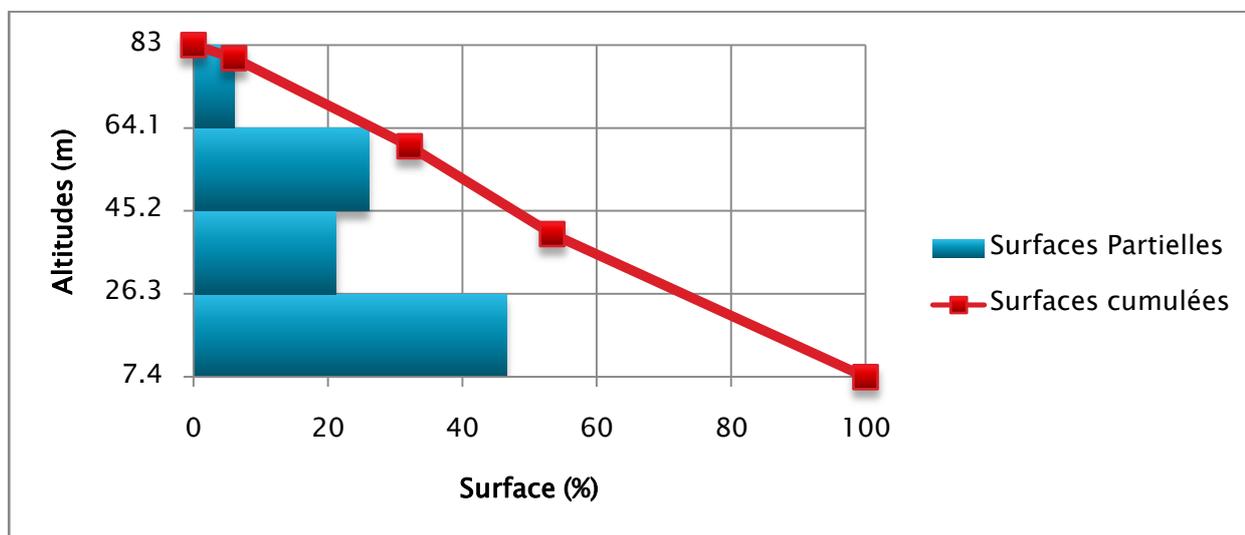


Figure I.15: Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB2).

Tableau I.41: Surfaces partielles du sous bassin versant« 3 »d'Essarouel par tranche d'altitudes.

Altitudes		Surface Partielles		Surfaces cumulées		Si x Hi
H(m)	Hi (m)	Si (Km ²)	Si(%)	∑Si (Km ²)	Sci (%)	Km ² x m
80-60	70	0.026278	22.59	0.0263	22.59	1.839
60-40	50	0.021812	18.75	0.0481	41.34	1.091
40-5	22.5	0.068246	58.66	0.1163	100	1.536
Somme		0.1163	100			4.466

La courbe hypsométrique formée à partir des données du tableau I.41 est représentée par la figure I.16 suivante :

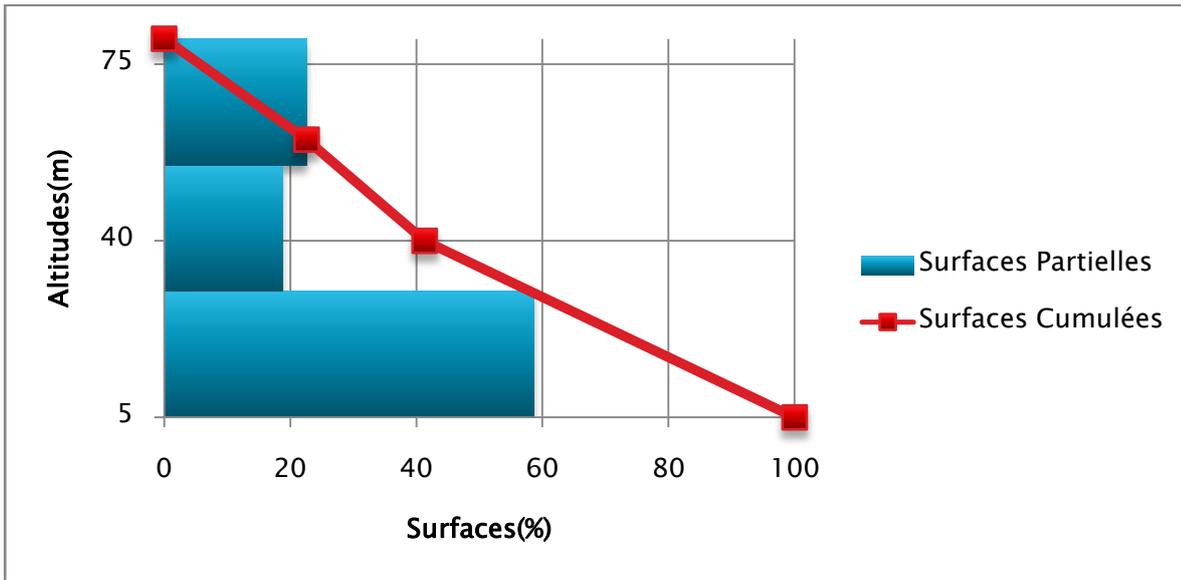


Figure I.16 : Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB3).

Tableau I.42: Surfaces partielles du sous bassin versant « 4 » d'Essarouel par tranche d'altitudes.

Altitudes		Surface Partielles		Surfaces cumulées		Si x Hi
H(m)	Hi (m)	Si (Km ²)	Si(%)	∑Si (Km ²)	Sci (%)	Km ² x m
83-60	71.5	0.1822458	80.16	0.1822	80.16	13.031
60-40	50	0.030889	13.59	0.2131	93.75	1.544
40-20	30	0.014207	6.25	0.2273	100	0.426
Somme		0.2273	100			15.001

La courbe hypsométrique formée à partir des données du tableau I.42 est représentée par la figure I.17 suivante :

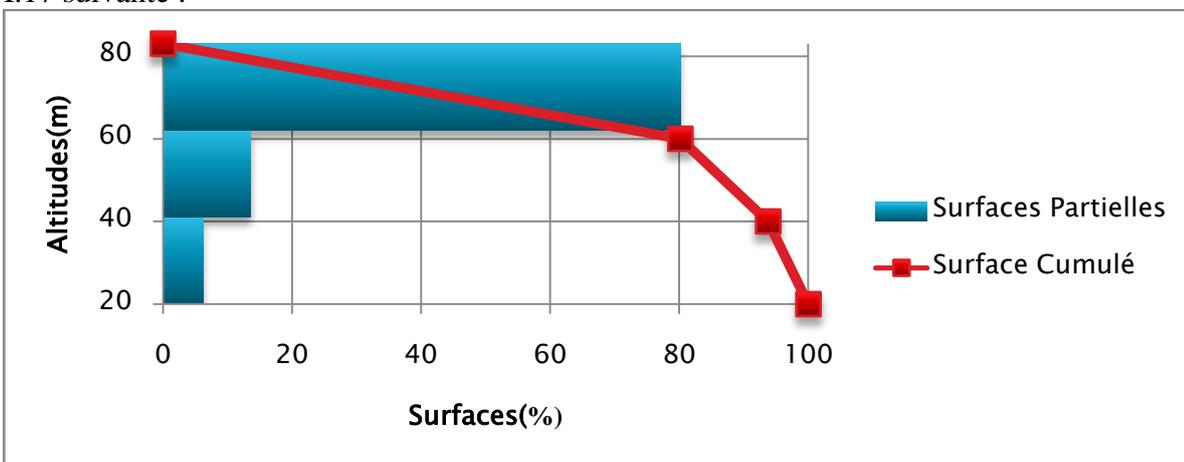


Figure I.17 : Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB4).

Tableau I.43: Surfaces partielles du sous bassin versant « 5 » d'Essarouel par tranche d'altitudes.

Altitudes		Surface Partielles		Surfaces cumulées		Si x Hi
H(m)	Hi (m)	Si (Km ²)	Si(%)	∑Si (Km ²)	Sci (%)	Km ² x m
100-60	80	0.0098	50.26	0.0098	50.26	0.784
60-40	50	0.0067	34.36	0.0165	84.62	0.335
40-20	30	0.003	15.38	0.0195	100	0.090
Somme		0.0195	100			1.209

La courbe hypsométrique formée à partir des données du tableau I.43 est représentée par la figure I.18 suivante :

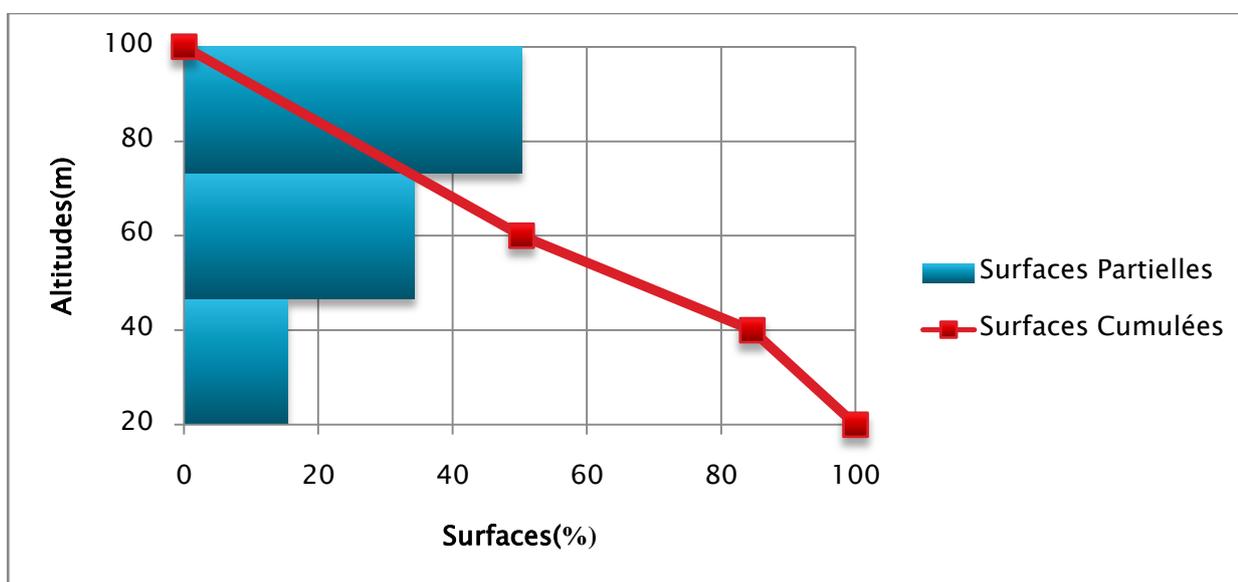


Figure I.18: Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB5).

Tableau I.44 : Surfaces partielles du sous bassin versant « 6 » d'Essarouel par tranche d'altitudes.

Altitudes		Surface Partielles		Surfaces cumulées		Si x Hi
H(m)	Hi (m)	Si (Km ²)	Si(%)	∑Si (Km ²)	Sci (%)	Km ² x m
102-80	91	0.0252	44.06	0.0252	44.06	2.293
80-60	70	0.021	36.71	0.0462	80.77	1.470
60-30	45	0.011	19.23	0.0572	100.00	0.495
Somme		0.05720	100			4.258

La courbe hypsométrique formée à partir des données du tableau I.44 est représentée par la figure I.19 suivante :

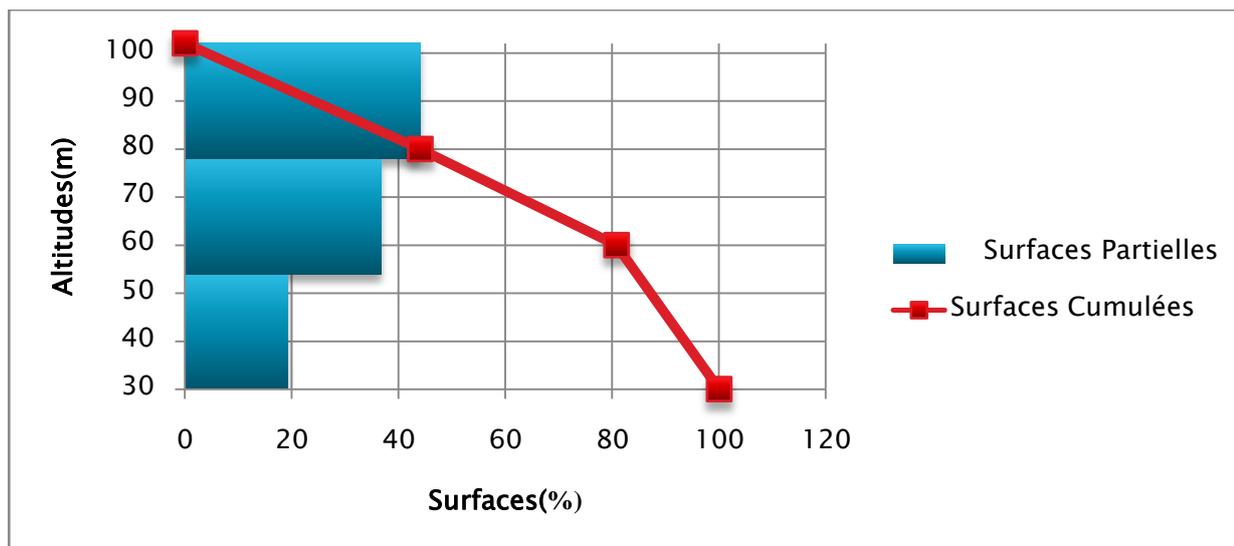


Figure I.19 : Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB6).

Tableau I.45 : Surfaces partielles du sous bassin versant « 7 » d'Essarouel par tranche d'altitudes.

Altitudes		Surface Partielles		Surfaces cumulées		Si x Hi
H(m)	Hi (m)	Si (Km ²)	Si(%)	$\sum Si$ (Km ²)	Sci (%)	Km ² x m
102-80	91	0.0265	37.06	0.0265	37.06	2.412
80-60	70	0.0272	38.04	0.0537	75.10	1.904
60-40	50	0.0152	21.26	0.0689	96.36	0.760
40-20	30	0.0026	3.64	0.0715	100	0.078
Somme		0.0715	100			5.154

La courbe hypsométrique formée à partir des données du tableau I.45 est représentée par la figure I.20 suivante :

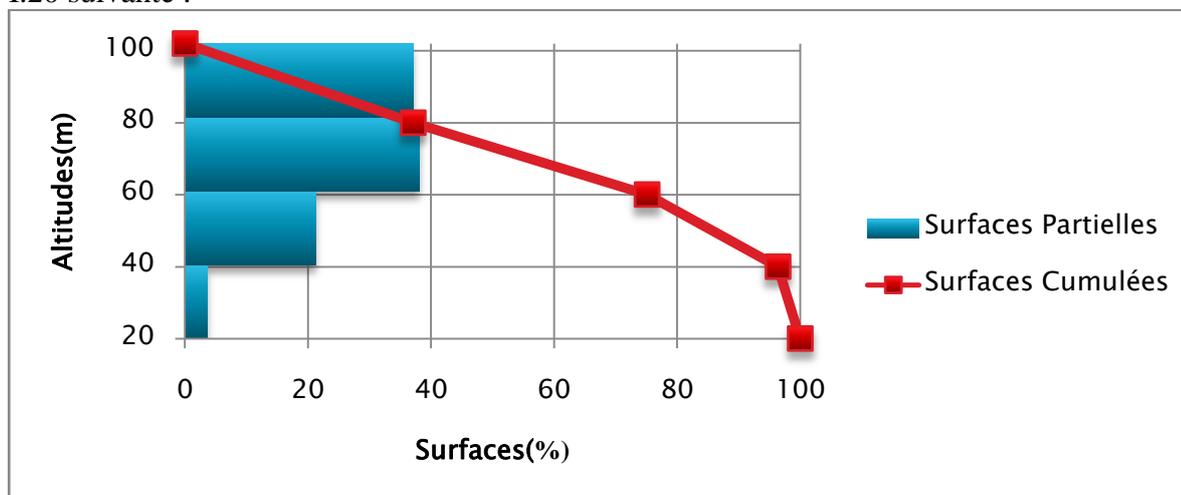


Figure I.20 : Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB7).

Tableau I.46 : Surfaces partielles du sous bassin versant « 8 » d'Essarouel par tranche d'altitudes.

Altitudes		Surface Partielles		Surfaces cumulées		Si x Hi
H(m)	Hi (m)	Si (Km ²)	Si(%)	∑Si (Km ²)	Sci (%)	Km ² x m
102-100	101	0.002	4.12	0.0020	4.12	0.202
100-80	90	0.0309	63.71	0.0329	67.84	2.781
80-45	62.5	0.0156	32.16	0.0485	100	0.975
Somme		0.0485	100			3.958

La courbe hypsométrique formée à partir des données du tableau I.46 est représentée par la figure I.21 suivante :

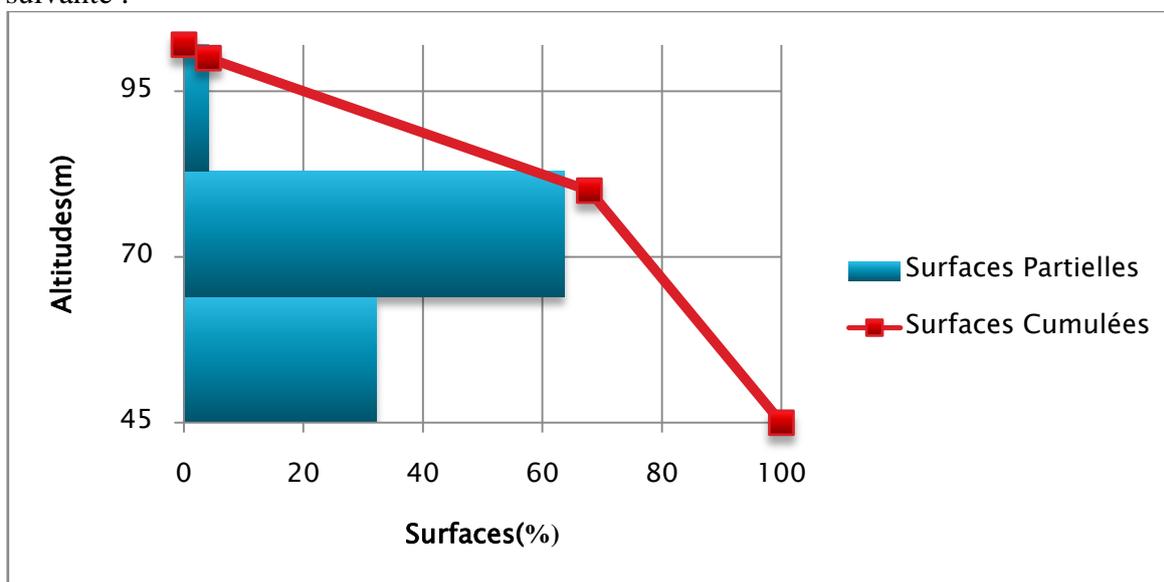


Figure I.21 : Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB8).

Tableau I.47 : Surfaces partielles du sous bassin versant « 9 » d'Essarouel par tranche d'altitudes.

Altitudes		Surface Partielles		Surfaces cumulées		Si x Hi
H(m)	Hi (m)	Si (Km ²)	Si(%)	∑Si (Km ²)	Sci (%)	Km ² x m
102-82	92	0.0016	1.08	0.0016	1.08	0.147
82-80	81	0.0479	32.19	0.0495	33.27	3.880
80-60	70	0.0175	11.76	0.0670	45.03	1.225
60-40	50	0.019	12.77	0.0860	57.80	0.950
40-20	30	0.0213	14.31	0.1073	72.11	0.639
20-6	13	0.0415	27.89	0.1488	100	0.540
Somme		0.1488	100			7.381

La courbe hypsométrique formée à partir des données du tableau I.47 est représentée par la figure I.22 suivante :

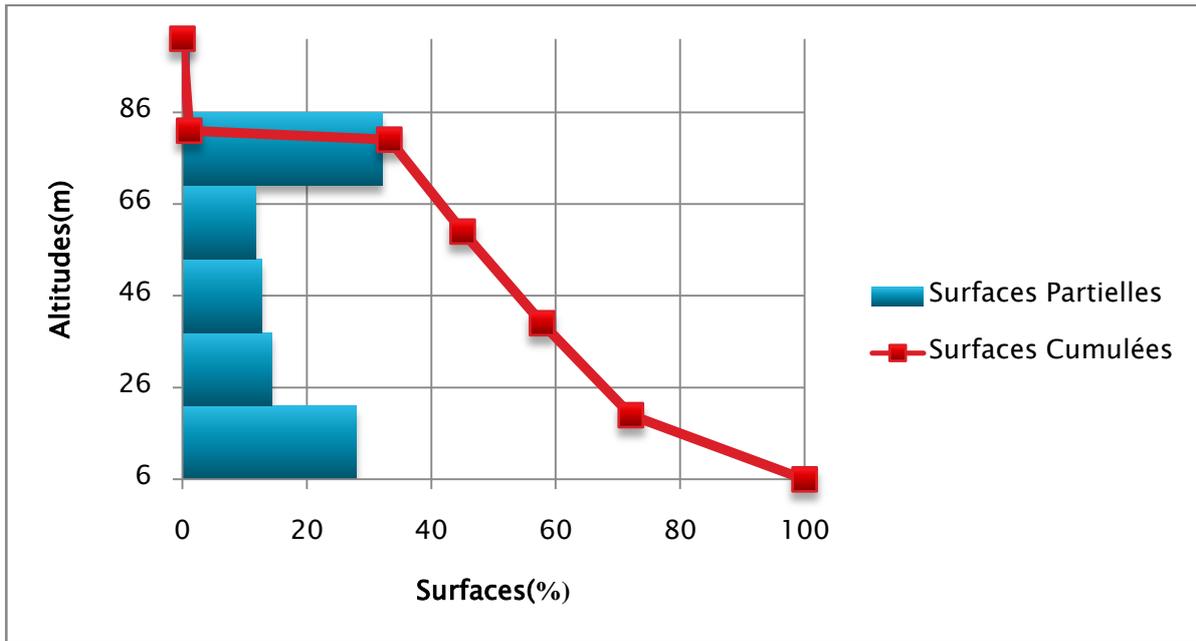


Figure I.22 : Courbe hypsométrique du sous bassin versant (SB9).

✓ **Les altitudes caractéristiques des bassins :**

Tableau I.48 : Calcul des hauteurs caractéristique des sous bassins versants d'Essarouel.

Hauteur Sous bassin	H _{min} (m)	H _{max} (m)	H _{5%} (m)	H _{50%} (m)	H _{95%} (m)	Hmoy(m)
SB1	12.3	229	209	120.65	14	87.52
SB2	7.4	83	82	45.2	9	44.87
SB3	5	80	76	42.5	7	38.40
SB4	20	83	82	51.5	21	65.98
SB5	20	100	96	60	21	61.90
SB6	30	102	100	66	32	74.44
SB7	20	102	99	61	21	72.00
SB8	45	102	99	85.8	47	81.63
SB9	6	102	82	54	7	49.60

✓ les indices de pente des sous bassins :

Tableau I.49: Calcul des indices de pente des sous bassins versants d'Essarouel.

Indices de pente Sous bassin	I_g (m/m)	I_p (m/m)	I_m (m/m)	Ds (m)	Classification du relief selon Ds
SB1	0.115	0.379	2.305	132.073	Assez modéré
SB2	0.196	0.495	0.496	64.652	Modéré
SB3	0.179	0.473	0.264	60.975	Modéré
SB4	0.069	0.294	0.113	32.912	Assez faible
SB5	0.365	0.676	0.464	50.967	Modéré
SB6	0.249	0.559	0.526	60.248	Modéré
SB7	0.258	0.568	0.653	69.108	Modéré
SB8	0.146	0.427	0.182	31.505	Assez faible
SB9	0.137	0.413	0.839	52.659	Modéré

3.2.4. Réseau hydrographique :

-Pente moyenne du cours d'eau principal I_{cp} :

Tableau I.50: Pentes moyennes des cours d'eau principales des sous bassins versants d'Essarouel.

Sous bassin	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5	SB6	SB7	SB8	SB9
$I_{cp}(m/m)$	0.11	0.32	0.18	0.25	0.14	0.68	0.17	0.25	0.26

-Densité de drainage D_d :

Tableau I.51: Densité de drainage des sous bassins versants d'Essarouel.

Sous bassin	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5	SB6	SB7	SB8	SB9
$D_d(km/km^2)$	4.522	2.198	3.627	1.492	29.82	1.819	6.586	4.904	2.528

Nous constatons des valeurs élevées de la densité de drainage ce qui signifie que les bassins versants d'Essarouel sont bien drainés.

-Temps de concentration T_c :

Tableau I.52: Temps de concentration des sous bassins versants d'Essarouel.

Sous bassin	T_c : temps de concentration (heure)								
	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5	SB6	SB7	SB8	SB9
KIRPICH	0.251	0.034	0.066	0.039	0.094	0.0137	0.0728	0.036	0.053
Van Te Chow	0.372	0.071	0.123	0.080	0.164	0.033	0.133	0.074	0.102

Chap. I:Présentation de la zone d'étude

A partir des résultats issus du tableau I.52, nous optons pour le résultat issu de loi de Kirpich car c'est la formule qui convient à des petits bassins versants avec un temps de concentration plus faible (cas plus défavorable).

-Vitesse moyenne de ruissellement Vr :

Tableau I.53 : La vitesse de ruissèlement pour les sous bassins versants d'Essarouel.

Sous bassin	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5	SB6	SB7	SB8	SB9
Vr (km/h)	7.409	6.877	6.246	6.335	6.079	7.719	6.354	6.203	7.018

Tableau I.54 : Récapitulatif des caractéristiques hydromorphométriques des sous bassins versants d'Essarouel.

Caractéristiques		Valeurs des neuf sous bassins								
Morphométrie										
Superficie (S)	Km ²	1.319	0.109	0.116	0.227	0.019	0.058	0.072	0.047	0.149
Périmètre (P)	Km	4.948	1.287	1.285	2.273	0.6	0.896	1.018	0.973	1.64
Longueur du Rectangle équivalent (L)	Km	1.696	0.373	0.385	0.877	0.205	0.272	0.302	0.356	0.549
Largeur du Rectangle équivalent (l)	Km	0.78	0.3729	0.3849	0.26	0.09	0.2724	0.3018	0.13	0.27
Indice de compacité de Gravelius (Kc)	-	1.215	1.098	1.062	1.344	1.213	1.047	1.074	1.273	1.199
Coefficient d'allongement (Ca)	-	0.047	0.528	1.531	0.286	17.296	0.193	3.102	1.118	0.951
Relief										
Altitudes maximal (Hmax)	mNGA	229	83	80	83	100	102	102	102	102
Altitudes moyenne (Hmoy)	mNGA	87.52	44.87	38.4	65.98	61.9	74.44	72	81.63	49.6
Altitudes médiane (H _{50%})	mNGA	120.65	45.2	42.5	51.5	60	66	61	85.8	54
Altitudes minimal (Hmin)	mNGA	12.3	7.4	5	20	20	30	20	45	6
Altitudes 5 %	mNGA	209	82	76	82	96	100	99	99	82
Altitudes 95 %	mNGA	14	9	7	21	21	32	21	47	7
Indice de pente globale (Ig)	m/Km	115	195.7	178.8	69	365.4	249.6	258.4	146.1	136.6
Indice de pente de Roche (Ip)	m/m	0.379	0.495	0.473	0.294	0.676	0.559	0.568	0.427	0.413
Indice de pente moyenne	m/m	2.305	0.496	0.264	0.113	0.464	0.526	0.653	0.182	0.839
Dénivelée spécifique (Ds)	m	132.073	64.652	60.975	32.913	50.967	60.248	69.108	31.506	52.659
Le réseau hydrographique										
Pente moyenne du cours d'eau principale(Icp)	m/km	110	320	180	250	140	680	170	250	260
Longueur du thalweg principal (Lcp)	Km	1.90	0.24	0.422	0.255	0.58	0.106	0.471	0.228	0.376
La densité de drainage (Dd)	Km/Km ²	4.522	2.198	3.627	1.492	29.82	1.819	6.586	4.904	2.528
Temps de concentration (Tc)	h	0.251	0.034	0.066	0.039	0.094	0.0137	0.0728	0.036	0.053
Vitesse de ruissellement (Vr)	Km /h	7.409	6.877	6.246	6.335	6.079	7.719	6.354	6.203	7.018

Interprétation :

Les sous bassins versants délimités pour les deux communes d'Oued Ennil ainsi qu'Essrouel présentent des valeurs de temps de concentration qui sont relativement faibles avec de fortes pentes, ce qui entraîne une restitution immédiate de l'eau tombée, en écoulements torrentiels. Sur les versants, ces éléments donnent aux cours d'eau en crue, une grande vitesse d'écoulement et par suite un pouvoir d'érosion important et une forte capacité de transport des sédiments.

Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'extraire toutes les données du terrain des deux bassins versants concernés par l'étude, ainsi que les caractéristiques hydromorphométriques qui sont essentielles pour connaître la morphologie du bassin versant afin de prévoir son comportement lors de la crue.

Chapitre II

Etude des précipitations maximales journalières

Chap. II: Etude des précipitations maximales journalières

Chapitre II : Etude des précipitations maximales journalières.

Introduction :

L'analyse des précipitations journalières maximales qui sont des pluies extrêmes suivant différentes périodes de retour, constitue la partie la plus importante dans une étude hydrologique, car il sert à calculer les pluies de courtes durée ainsi il rentre d'une façon directe dans le dimensionnement des ouvrages d'évacuation des crues.

1. Le réseau de mesure sur la zone d'étude:

Le réseau pluviométrique géré par l'ANRH « Agence Nationale des Ressources Hydrauliques » couvre la totalité de la région d'études, où se répartit un ensemble de stations hydrométriques et pluviométriques sur ou autour du bassin versant.

D'après les données fournies auprès de l'ANRH Alger, deux postes pluviométriques situés autour du bassin versant qui ont des séries d'observations longues.

Tableau II.1: Stations Pluviométriques dans la zone d'étude.

Stations	Code	Coordonnée (km)		Altitude (m)
		X	Y	Z
Les Salines	14-06-07	746.24	365.413	20
Ain Berda	14-06-06	937.3	383.2	130
Berrahal	03-13-02	924	403.1	750
Seraïdi	14-06-02	860.0	412.4	860
Pont Bouchet	14-06-31	950.5	402	08

Source : ANRH Alger.

- Les Salines 14-06-07 (1977-2012), 36 années consécutives complètes.
- Ain Berda 14-06-06 (1970-2012), 43 années consécutives complètes.

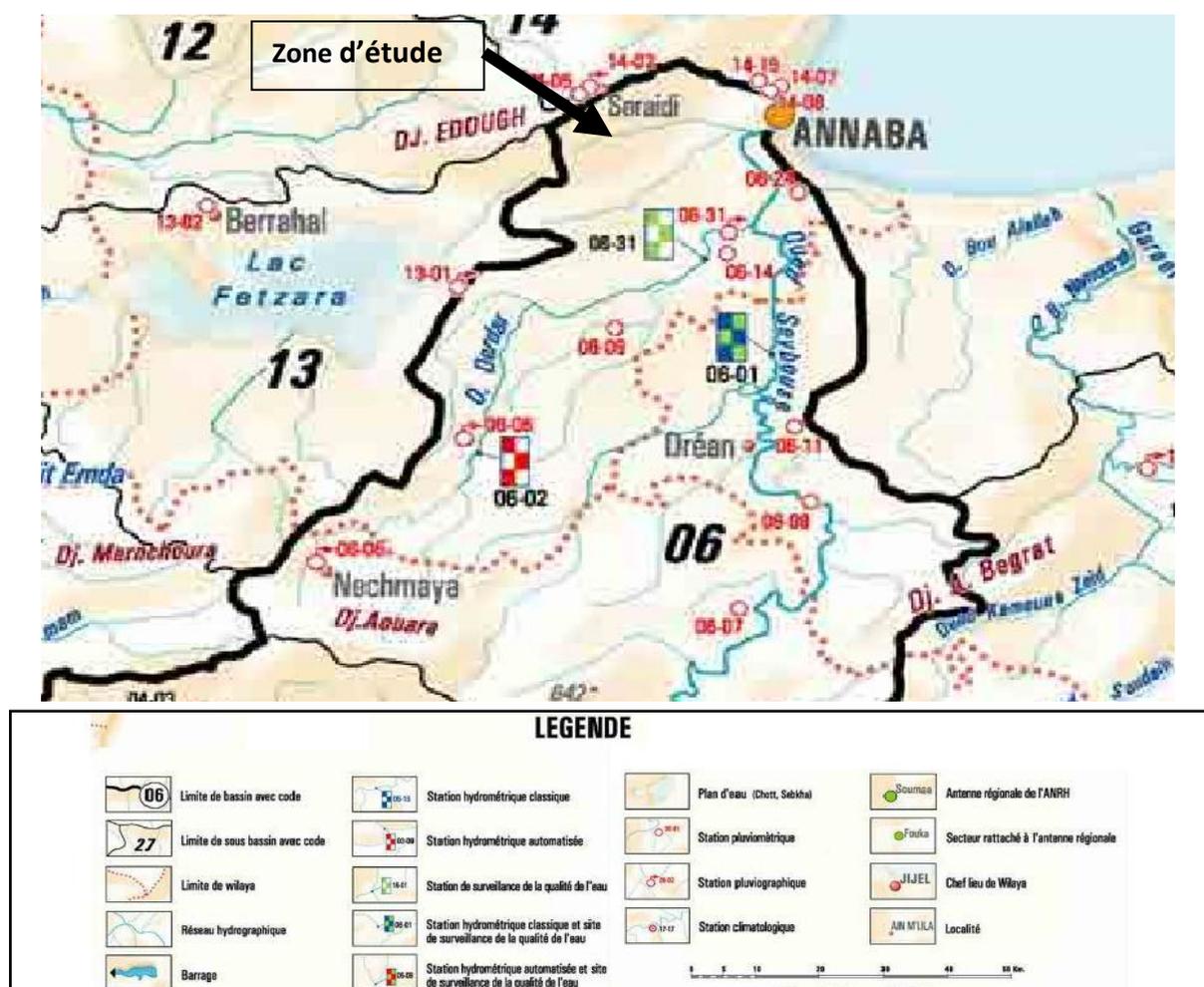


Figure II.1 : Réseau de mesure sur la zone d'étude (Extraite de la carte ANRH).

D'après l'ANRHA Alger, La région d'étude ne dispose pas de stations hydrométriques sur l'oued de Boudjemaâ qui la traverse.

2. Présentation de la station pluviométrique:

Le poste pluviométrique choisi est celui d'Ain Berda (14-06-06) puisque les données de mesure sont complètes, consécutives et d'une période longue, ainsi son emplacement par rapport à la zone d'étude est assez représentatif.

Tableau II.2 : Caractéristiques du poste pluviométrique d'Ain Berda.

Stations	Code	Coordonnée (km)			Altitude (m)	Année	Pluie moyenne annuelle (mm)
		X	Y	Z			
AIN BERDA	14-06-06	937.3	383.2	130	1970-2012	694.084	

3. Etude des précipitations maximales journalières :

Il est important d'effectuer un ajustement statistique d'une loi théorique à la série d'observations afin de déterminer les précipitations maximales journalières fréquentielles.

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

Tableau II.3: Série d'observations des précipitations journalières maximales du poste pluviométrique d'AIN BERDA(14-06-06).

Année	Pmax.jmm	Année	Pmax.j mm	Année	Pmax.j mm	Année	Pmax.j mm
1970	26.9	1984	38	1998	40.5	2012	41.5
1971	50.4	1985	33	1999	111		
1972	60.2	1986	41	2000	37		
1973	39	1987	18.5	2001	36.5		
1974	27	1988	78	2002	104.5		
1975	35.3	1989	45	2003	76.5		
1976	73	1990	54	2004	46.5		
1977	27	1991	71.5	2005	46		
1978	66.5	1992	93	2006	71		
1979	29	1993	42.5	2007	51		
1980	43.5	1994	51.5	2008	47.5		
1981	41	1995	38	2009	58		
1982	87	1996	24	2010	57.5		
1983	54	1997	52.5	2011	101		

Source : ANRH Alger.

Dans notre étude on va suivre les étapes suivantes :

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

3.1. Paramètres statistiques de la série :

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

Tableau II.4: Caractéristique de la série de données avec N = 43ans.

Caractéristiques	Valeurs
Année d'observation	43
Minimum	18.5
Maximum	111
Moyenne	52.7
Ecart-type	22.4
Médiane	46.5
Coefficient de variation (Cv)	0.425
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.980
Coefficient d'aplatissement (Ck)	3.1

3.2. Ajustement à une loi statistique:

L'ajustement d'une loi de distribution à un échantillon de données qui est une équation décrivant le comportement statistique d'un processus consiste, une fois le type de loi choisi, à estimer les paramètres de la loi de telle sorte que l'échantillon soit le plus vraisemblable possible (au sens du maximum de vraisemblance) ou qu'au moins certaines statistiques de l'échantillon (moyenne, variance par exemple) correspondent le mieux possible à celles de la loi. Ces modèles décrivent la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée.

Dans la présente étude on applique la loi de GALTON (Loi Log normale) et la loi de GUMBEL (Double exponentiel), et la loi GEV pour l'ajustement de la série des pluies maximales journalières en utilisant le logiciel HYFRAN et on établira les tests d'adéquation.

3.2.1. Ajustement à la loi de Gumbel :

Cette dernière est également appelée distribution des fréquences de valeurs extrêmes du fait qu'elle résulte de l'étude des valeurs extrêmes prises par une variable aléatoire au cours de N tirages indépendants, consiste à égaliser les moments théoriques de la distribution (qui sont fonction des paramètres) et leur estimation obtenue à partir de l'échantillon. La résolution du système permet ensuite d'obtenir les différents paramètres de la loi.

La fonction de répartition de la loi de Gumbel $F(X)$ est la suivante :

$$F(X) = e^{-e^{-\frac{(x-a)}{b}}} \quad \text{II.3}$$

$$u = \frac{x-a}{b} \quad : \text{La variable réduite de Gumbel.}$$

Avec :

a et b: Les paramètres du modèle de Gumbel.

- a: paramètre de position.
- b: paramètre de l'échelle différent de zéro et positif appelé aussi gradex.
- x: Précipitation maximale journalière (mm).

$$\text{On écrit alors ; } F(x) = e^{-e^{-u}} \quad \text{II.4}$$

$$u = -\left[\text{Ln}(-\text{Ln}F(x)) \right] \quad \text{II.5}$$

L'équation présente sous la forme :

$$x = b u + a. \quad \text{II.6}$$

Est l'équation d'une droite qui représente la loi de GUMBEL.

Il faut estimer tout d'abord la probabilité de non dépassement attribué à chaque valeur. Il existe de nombreuses formules d'estimation de la fonction de répartition à l'aide de la fréquence empirique. En classant les valeurs de la série considérée par ordre croissant permettant d'associer à chaque valeur son rang.

La fréquence expérimentale en utilisant la formule de HAZEN qui s'applique pour les lois normales et quasi normales :

$$F(x) = \frac{m - 0,5}{n} \quad \text{II.7}$$

Avec ;

m : rang de la série.

n : Taille de l'échantillon.

✓ *Gumbel (Méthode Maximum des vraisemblances) :*

-Nombre d'observation :43.

-Quantiles ;q=F(X) (probabilité au non dépassement).

-T=1/ (1-q). T : période de retour.

-Estimation des paramètres par la méthode Maximum des vraisemblances:

a=16.93

b=42.59

-Quantile :

Tableau II.5 : Quantiles théoriques de Gumbel

T (ans)	q(%)	X _T (mm)	Ecart-type	Intervalle de confiance(95%)
100	99	120	10.6	99.8-141
50	98	109	9.19	90.6-127
20	95	92.9	7.38	78.4-107
10	90	80.7	6.02	68.9-92.5

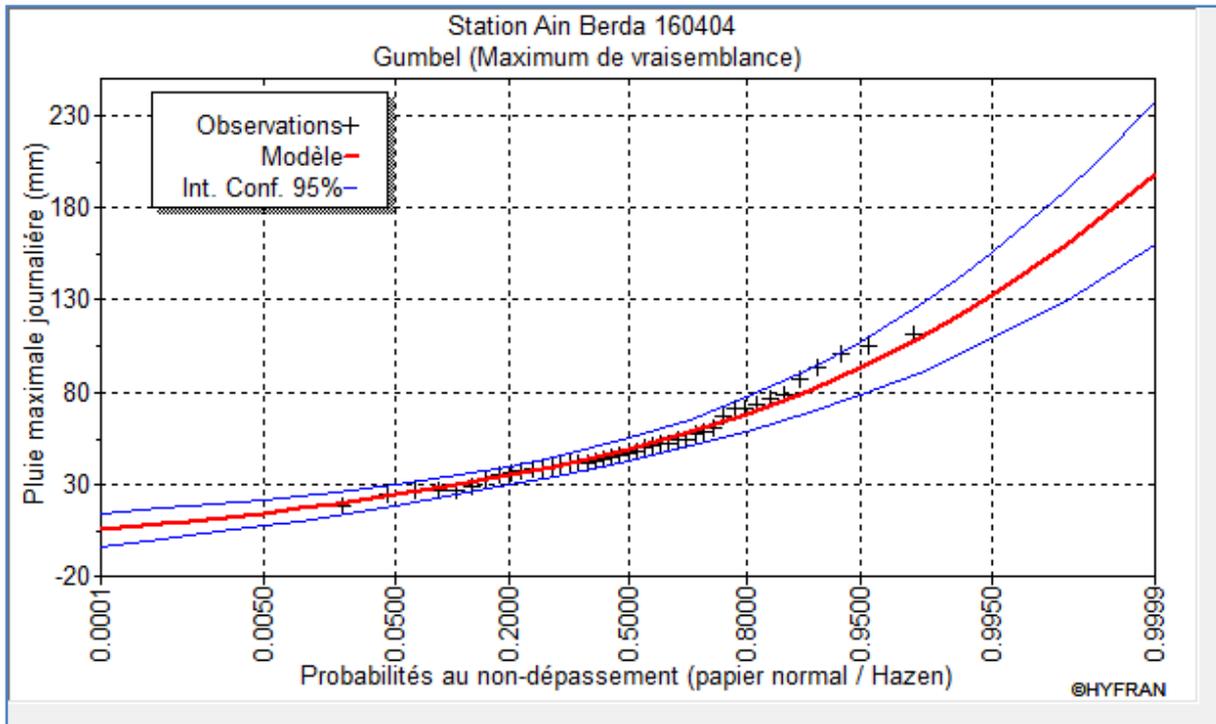


Figure II.2 :Ajustement graphique à la loi de Gumbel.

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

Le procédé d'ajustement est établi avec une représentation sur du papier log normale.

La loi de GALTON a une fonction de répartition qui s'exprime selon la fonction suivante :

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

Avec :

- $U = \frac{\ln X - \overline{\ln X}}{\delta_{\ln X}}$ (Variable réduite de gauss) II.9
- \bar{X} : La moyenne de l'échantillon.
- δ : L'écart-type de l'échantillon.

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

$$\ln X = \overline{\ln X} + \delta_{\ln X} \cdot U \quad \text{II.10}$$

✓ **GALTON (log-Normale) (Maximum des vraisemblances) :**

-Nombre d'observation : $N = 43$.

-Quantile : $q = F(X)$ (probabilité au non dépassement).

- $T = 1 / (1-q)$. T : période de retour.

Les paramètres calculés :

$$\overline{\ln X} = 3.88.$$

$$\delta_{\ln X} = 0.41.$$

Chap. II: Etude des précipitations maximales journalières

-Quantile :

Tableau II.6 : Quantiles théoriques de Galton

T(ans)	q(%)	X _T (mm)	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
100	99	127	15.5	96.4-157
50	98	113	12.7	88.4-138
20	95	95.7	9.3	77.4-114
10	90	82.3	7.03	68.5-96.1

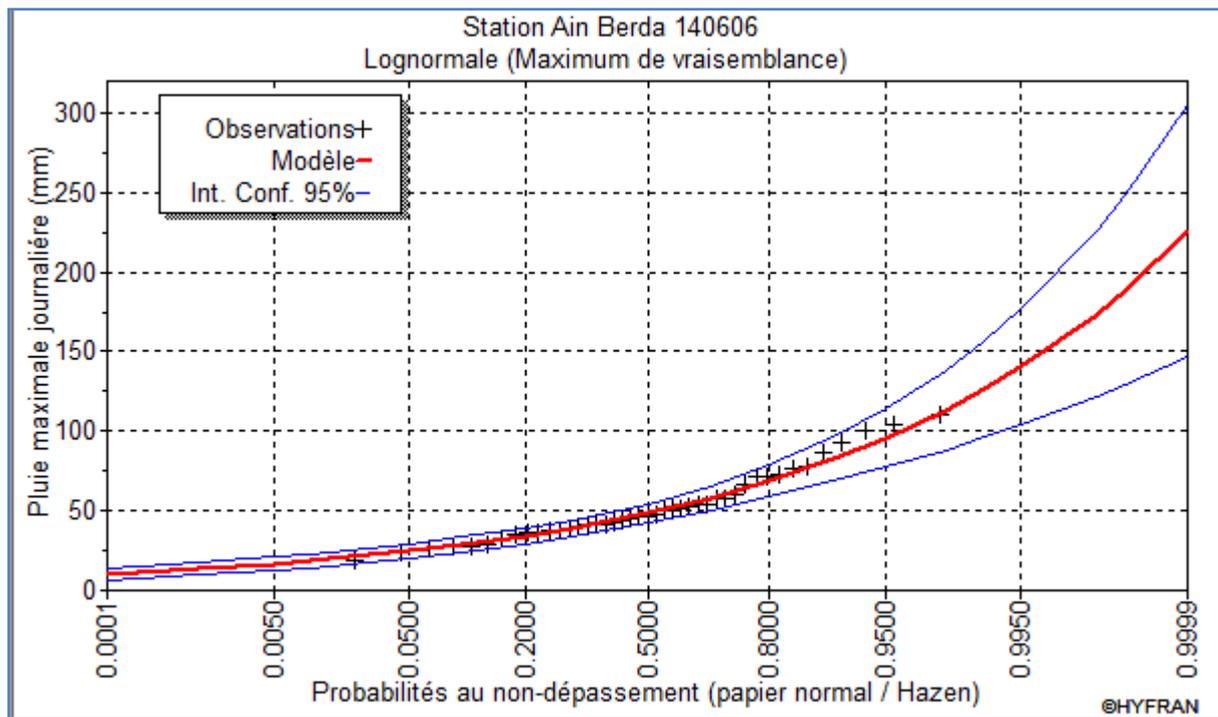


Figure II.3 : Ajustement graphique à la loi de Galton.

3.2.3. Ajustement à la loi de GEV (loi des extrêmes généralisée):

La loi des extrêmes généralisée (GEV) est une loi à trois paramètres qui peut être grossièrement considérée comme une généralisation de la loi de Gumbel.

La fonction de répartition est donnée comme suit :

$$F(x) = e^{-\left(1 - c \frac{x-a}{b}\right)^{1/c}} \quad \text{II.11}$$

Trois paramètres interviennent :
 a : paramètre de position ;
 b : paramètre de dispersion ;
 c : paramètre de forme.

La variable réduite :

$$y = -\frac{1}{c} \ln \left(1 - c \frac{x-a}{b} \right) \quad \text{II.12}$$

Chap. II: Etude des précipitations maximales journalières

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

II.13

L'équation de la droite :

$$X = a + \frac{b}{c} \{1 - [-\ln(F(x))]^c\}$$

II.14

-Estimation des paramètres par la méthode du maximum des vraisemblances :

a=16.148; c=-0.0735 ;b=42.103.

- Calcul des quantiles :

Tableau II.7 : Quantiles théoriques calculés par la loi de GEV

T (ans)	q(%)	Xt (mm)	Ecart-type	Intervalle de confiance(95%)
100	99	130	24.4	82.7-178
50	98	115	17.5	80.7-149
20	95	95.7	10.8	74.5-117
10	90	81.6	7.28	67.3-95.9

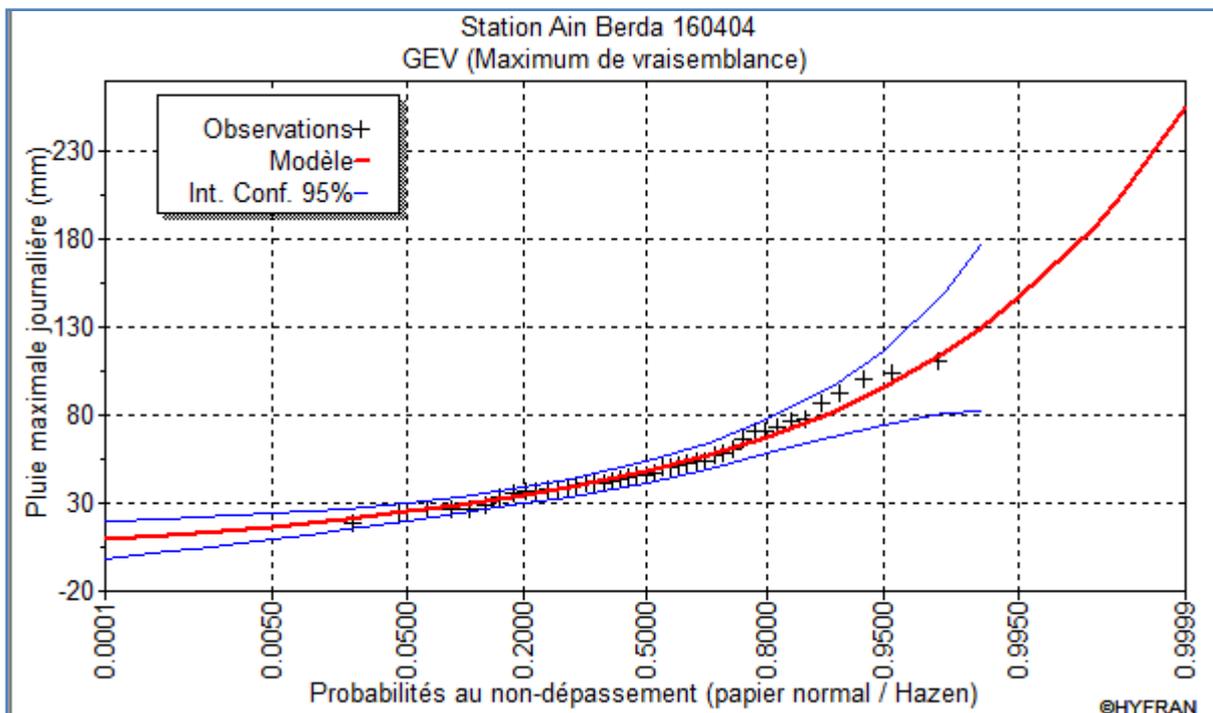


Figure II.4 : Ajustement graphique à la loi de GEV.

3.3. Contrôle de l'Ajustement :

Pour savoir si la loi d'ajustement appliquée à l'échantillon est adéquate, on peut procéder à l'examen graphique qui est insuffisant, cela à travers l'allure des points sur le graphique Gauss-logarithmique nous informe à priori d'accepter ou de rejeter la loi :

- La droite théorique qui coupe l'axe des ordonnées sur une valeur négative ne pourrait avoir un sens physique (La lame précipitée est une grandeur physique non négative) ;
- Toute sinuosité, mauvaise courbure ou cassure de pente est considérée comme un mauvais ajustement ;
- La comparaison entre les lois suivant les intervalles de confiance.

➤ Interprétation des graphiques :

À partir des trois graphiques précédents (figure II.2, II.3, II.4), on remarque que les deux lois, la loi GEV et de Gumbel donnent un mauvais Ajustement puisque la droite théorique coupe l'axe des ordonnées sur une valeur négative, tandis que l'ajustement à la loi de Gumbel apparaît être le meilleur par rapport aux deux lois précédentes, pour être persuadé de ses résultats on va effectuer un test d'adéquation.

3.4. Test d'adéquation du χ^2 :

Afin de parvenir à la loi d'ajustement la plus adéquate on va utiliser le test de χ^2 comme critère de comparaison entre le $\chi^2_{\text{théorique}}$ et $\chi^2_{\text{calculé}}$, à un risque de 5% autrement dit à un seuil de signification de 95%.

Tableau II.8 : Résultats du Test de χ^2

Lois statistiques	Degré de liberté	$\chi^2_{\text{calculé}}$	$\chi^2_{\text{théorique}}$
Gumbel	6	6.19	12.592
Galton	6	4.51	12.592
GEV	5	3.67	11.070

Interprétation :

Pour la loi Gumbel et la loi Galton le degré de liberté $\gamma = 6$.

On utilise la table de χ^2 (Livre de Mm Benina Touaibia, annexe 2) pour $\alpha = 5\%$ et $P = 1 - \alpha$ Avec $X^2_{\text{théorique}} = 12.592$.

Si : $X^2_{\text{calculé}} < X^2_{\text{théorique}}$: l'adéquation de la loi est bonne donc l'ajustement est bon pour une probabilité $P = 95\%$ pour les trois ajustements.

La loi GEV est une loi à trois paramètres vu cette raison il est souhaitable de faire le choix de la loi d'ajustement entre les deux lois Gumbel et Galton (à deux paramètres).

Le test χ^2 de la loi Galton est le plus faible, l'ajustement des pluies maximale sera pris en considération par cette loi pour l'extrapolation des pluies pour des périodes de retour données.

On prendra donc les quantiles calculés par la loi de Galton.

Tableau II.9: Quantiles théoriques de Galton.

T (ans)	q(%)	X_T (mm)	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
100	99	127	15.5	96.4-157
50	98	113	12.7	88.4-138
20	95	95.7	9.3	77.4-114
10	90	82.3	7.03	68.5-96.1

4. Pluies de courte durée :

On entend par une pluie de courte durée une période de forte pluie ininterrompue ou ce qu'on appelle une averse qui est caractérisé par son intensité c'est -à-dire la quantité de pluie tombée ΔH en un temps Δt pour chaque période de retour.

Le passage des pluies journalières maximales aux pluies de courtes durées est effectué au moyen de la formule K. Body (ANRH 1984). :

$$P_{ct} = P_{\max, j, \%} \left(\frac{t}{24} \right)^b \quad \text{II.14}$$

Avec :

- t : Durée de l'averse (h) ; $t \leq 24h$
- b : Exposant climatique, ($b= 0.6$ selon les études régionales de l'ANRH).

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

$$I_{ct} = \frac{P_{ct}}{t} \quad \text{II.15}$$

Avec :

- I_{ct} : l'intensité maximale de période t (h).
- P_{ct} : Pluies de courte durée (mm).
-

Les précipitations et les intensités maximales pour différentes durées sont représentées dans le tableau II.9 et les courbes des pluies fréquentielles ainsi que les courbes des intensités durée-fréquences sont présentées respectivement par les figures II.5 et II.6

Chap. II: Etude des précipitations maximales journalières

Tableau II.10 : Pluies et intensités de courtes durées

Quantiles	127		113		95.7		82.3	
T(années)	100		50		20		10	
Durée(h)	Pct(mm)	I _t (mm/h)						
0.25	8.212	32.847	7.307	29.226	6.188	24.752	5.322	21.286
0.5	12.447	24.894	11.075	22.149	9.379	18.758	8.066	16.132
1	18.866	18.866	16.786	16.786	14.216	14.216	12.226	12.226
2	28.595	14.298	25.443	12.722	21.548	10.774	18.531	9.265
3	36.471	12.157	32.451	10.817	27.483	9.16	23.634	7.878
4	43.342	10.836	38.564	9.641	32.660	8.17	28.087	7.022
5	49.552	9.910	44.089	8.818	37.339	7.47	32.111	6.422
6	55.280	9.213	49.186	8.198	41.656	6.94	35.823	5.971
7	60.637	8.662	53.952	7.707	45.692	6.53	39.295	5.614
8	65.695	8.212	58.453	7.307	49.504	6.19	42.572	5.322
9	70.505	7.834	62.733	6.970	53.129	5.90	45.690	5.077
10	75.106	7.511	66.827	6.683	56.596	5.66	48.671	4.867
11	79.527	7.230	70.760	6.433	59.927	5.45	51.536	4.685
12	83.789	6.982	74.552	6.213	63.138	5.26	54.298	4.525
13	87.911	6.762	78.220	6.017	66.245	5.10	56.969	4.382
14	91.908	6.565	81.777	5.841	69.257	4.95	59.559	4.254
15	95.793	6.386	85.233	5.682	72.184	4.81	62.077	4.138
16	99.575	6.223	88.598	5.537	75.034	4.69	64.528	4.033
17	103.263	6.074	91.880	5.405	77.813	4.58	66.918	3.936
18	106.866	5.937	95.086	5.283	80.528	4.47	69.253	3.847
19	110.390	5.810	98.221	5.170	83.184	4.38	71.536	3.765
20	113.840	5.692	101.291	5.065	85.783	4.29	73.772	3.689
21	117.222	5.582	104.300	4.967	88.332	4.21	75.963	3.617
22	120.540	5.479	107.252	4.875	90.832	4.13	78.114	3.551
23	123.798	5.383	110.151	4.789	93.287	4.06	80.225	3.488
24	127.000	5.292	113.000	4.708	95.700	3.99	82.300	3.429

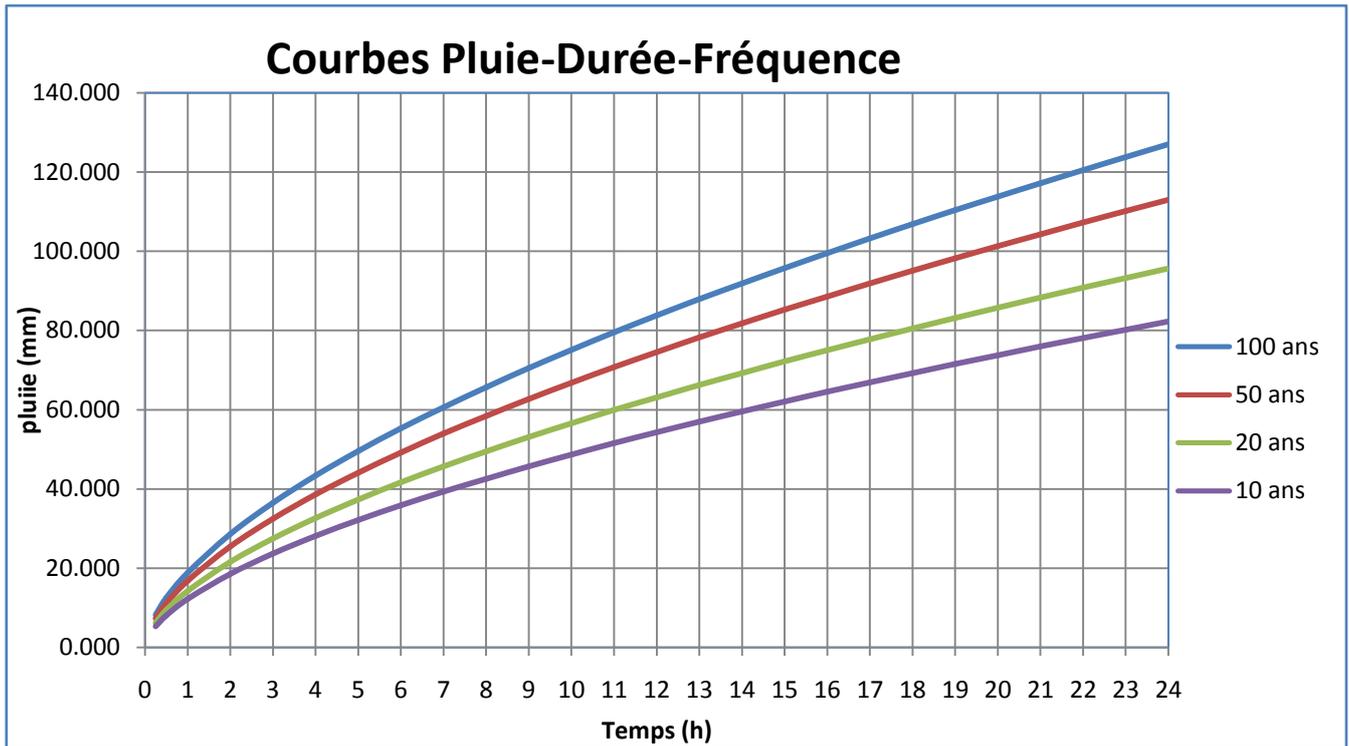


Figure II.5 : Courbe de pluies de courtes durées.

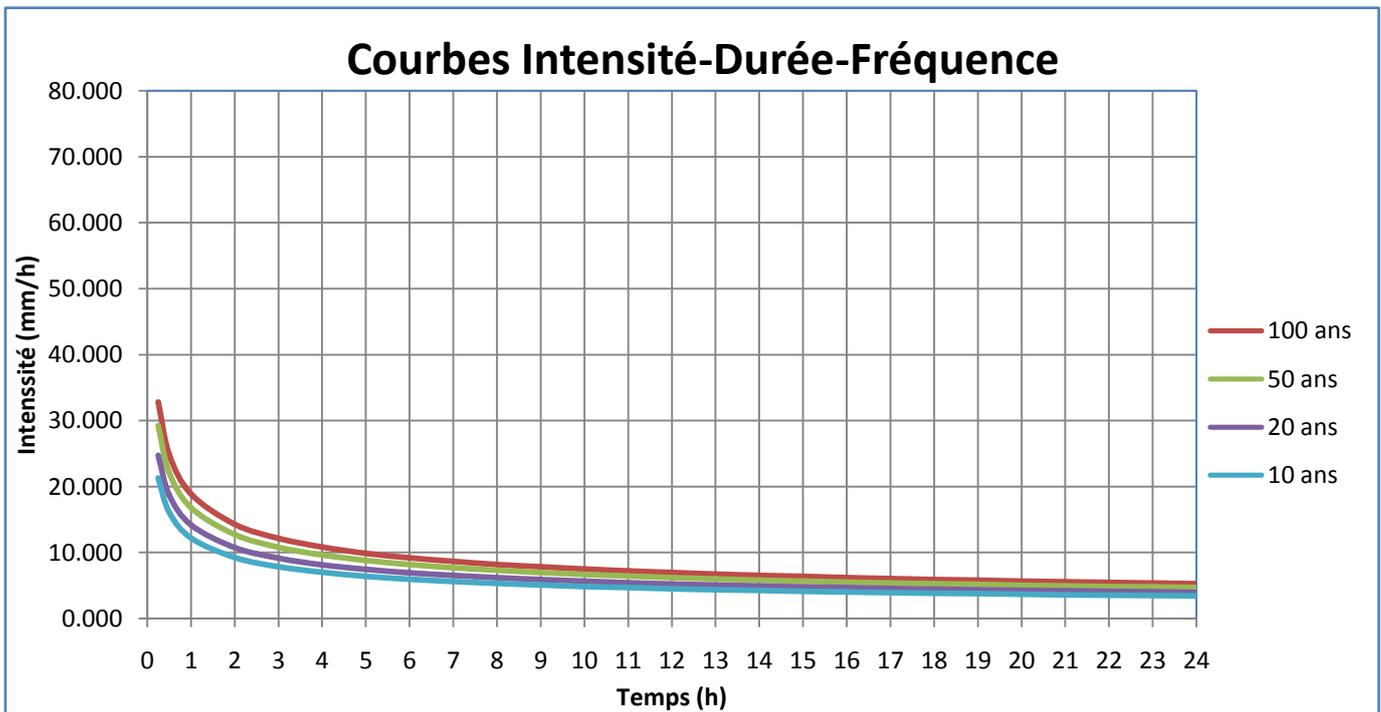


Figure II.6 : Courbes d'intensités de courtes durées.

Conclusion :

Pour des raisons de sécurité des ouvrages hydrotechniques à projeter, on a procédé à l'adoption des pluies journalières maximales de la station d'Ain Berda (14-06-06), obtenues par la méthode du maximum des vraisemblances de l'ajustement à la loi Galton qui donne une pluie maximale journalière centennale de 127mm.

Chapitre III

Estimation des débits de crues des cours d'eau

Chapitre III : Estimation des débits de crues des cours d'eau.

Introduction :

Les crues sont des écoulements variables dans lesquelles les débits atteignent des valeurs importantes.

L'estimation des débits de crues est l'étape initiale indispensable au dimensionnement des aménagements liés à la protection contre les crues (des ouvrages qui se trouvent à l'aval du bassin versant pour différents période de retour).

De nombreuses méthodes ont été établies afin de parvenir à les estimées correctement.

1. Méthodes d'évaluation des crues du projet :

L'existence de tant de méthodes de calcul des crues est due aux changements de conditions (climatiques ou régionales) et des problèmes rencontrés lors de l'estimation (la disponibilité ou non de la donnée) qui notre cas bassin non jaugé. Donc Les techniques utilisées dans la détermination des crues dépendent essentiellement des données disponibles, plus la disponibilité est importante plus les problèmes qui se posent sont moindres.

Pour notre étude on utilisera les méthodes empiriques pour la détermination des débits maxima fréquentiels, les principales lois employées sont :

- ✓ La formule de TURAZZA.
- ✓ Méthode du Professeur Mohamed MEDDI et le Dr. Samir TOUMI.
- ✓ La méthode D'ANRH.

1.1 La méthode TURAZZA:

1.1.1. Présentation de la méthode :

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

$$Q_{\max. p\%} = \frac{C_r * I_{tc} * S}{3.6} \quad \text{III.1}$$

Avec :

- $Q_{\max. p\%}$: débit maximum de la crue m^3/s .
- C_r : Coefficient de ruissellement de la crue considérée en fonction de la probabilité donnée, des études effectuées à l'A.N.R.H montrent qu'on adopte pour C_r les valeurs données dans le tableau (III.1).
- I_{tc} : Intensité des pluies pour une fréquence donnée (mm/h).
- S : Surface du bassin versant (Km^2).

Tableau III.1 : Coefficient de ruissellement de la crue considérée pour une probabilité p%.

Période de retour	100	50	20	10
Fréquence %	1	2	5	10
Cr	0.8	0.75	0.7	0.65

1.1.2. Application de la méthode :

Les résultats des débits maxima calculés par la formule de TURAZZA sont donnés par les tableaux suivants :

Chap. III: Estimation des débits de crues des cours d'eau

Tableau III.2: Débits maxima des crues de différentes périodes de retour par la formule de TURAZZA d'Oued Ennil.

Sous bassin	Surface Km ²	10			20			50			100		
		I _{tc} mm/h	Cr _p %	Q m ³ /s	I _{tc} mm/h	Cr _p %	Q m ³ /s	I _{tc} mm/h	Cr _p %	Q m ³ /s	I _{tc} mm/h	Cr _p %	Q m ³ /s
SB1	0.1205	46.21	0.65	1.005	53.74	0.7	1.259	63.45	0.75	1.593	71.31	0.8	1.91
SB2	0.1431	34.09	0.65	0.881	39.65	0.7	1.103	46.81	0.75	1.396	52.61	0.8	1.673
SB3	0.0838	37.67	0.65	0.57	43.81	0.7	0.714	51.72	0.75	0.903	58.13	0.8	1.083
SB4	0.064	40.52	0.65	0.468	49.12	0.7	0.611	55.64	0.75	0.742	62.53	0.8	0.889
SB5	0.094	42.27	0.65	0.717	49.15	0.7	0.898	58.03	0.75	1.136	65.22	0.8	1.362

Tableau III.3: Débits maxima des crues de différentes périodes de retour par la formule de TURAZZA d'Essarouel.

Sous bassin	Surface Km ²	10			20			50			100		
		I _{tc} mm/h	Cr _p %	Q m ³ /s	I _{tc} mm/h	Cr _p %	Q m ³ /s	I _{tc} mm/h	Cr _p %	Q m ³ /s	I _{tc} mm/h	Cr _p %	Q m ³ /s
SB1	1.319	21.29	0.65	5.07	24.752	0.7	6.348	29.226	0.75	8.032	32.847	0.8	9.628
SB2	0.109	47.28	0.65	0.93	54.979	0.7	1.165	64.917	0.75	1.474	72.96	0.8	1.767
SB3	0.116	36.26	0.65	0.76	42.167	0.7	0.951	49.79	0.75	1.203	55.96	0.8	1.443
SB4	0.227	44.76	0.65	1.49	52.043	0.7	2.297	61.451	0.75	2.906	69.06	0.8	3.484
SB5	0.019	31.48	0.65	0.12	36.604	0.7	0.135	43.222	0.75	0.171	48.58	0.8	0.205
SB6	0.072	67.43	0.65	0.88	78.4	0.7	1.098	92.576	0.75	1.389	104	0.8	1.664
SB7	0.058	34.83	0.65	0.37	40.5	0.7	0.457	47.82	0.75	0.578	53.75	0.8	0.693
SB8	0.149	46.21	0.65	1.24	53.74	0.7	1.557	63.45	0.75	1.97	71.31	0.8	2.361
SB9	0.046	39.59	0.65	0.33	46.03	0.7	0.412	54.36	0.75	0.521	61.09	0.8	0.624

1. 2 Méthode du Professeur Mohamed MEDDI et le Dr. Samir TOUMI:

1.2.1. Présentation de la méthode :

Pour calculer le Q_{max} dans les bassins non jaugés ainsi que pour les séries insuffisantes de mesure de débit des bassins équipés de stations hydrométriques, pour une période de retour donnée, le Professeur Mohamed MEDDI et le Dr. Samir TOUMI ont mis au point le modèle suivant pour l'une des trois régions du nord d'Algérie :

$$Q_{\max}(F) = Q_{\max} * q(F) \quad [m^3/s]$$

III.2

Avec :

- Q_{max} : débit max calculé par le modèle correspondant à la région concernée en fonction de la surface du bassin versant (S) en km² et la pente du cours d'eau principal (I_{cp}) sans unité.
- q(F) : fonction quantile correspondante (tableau III.4).

Chap. III: Estimation des débits de crues des cours d'eau

Tableau III.4: Fonction quantile q(F).

Période de retour	2	5	10	20	50	100
Région I	0.74	1.54	2.14	2.74	3.53	4.13
Région II	0.59	1.47	2.27	3.22	4.74	6.14
Région III	0.71	1.62	2.29	2.94	3.77	4.37

Tableau III.5: Calcul du débit max.

Région	Equations
Région I	$Q_{max} = 3.52 \cdot S^{0.96} \cdot I_{cp}^{0.54}$
Région II	$Q_{max} = 2.73 \cdot S^{0.35} \cdot I_{cp}^{0.44}$
Région III	$Q_{max} = 1.26 \cdot S^{0.16} \cdot I_{cp}^{-1.014}$

➤ La zone à étudier se trouve dans la région I .

Les résultats de calcul des débits de crue sont résumés dans les tableaux suivants :

Tableau III.6 : Débit de crue pour différentes périodes de retour d'Oued Ennil.

Sous bassin	Surface Km ²	Ic p	10			20			50			100		
			qF	Qmax x	Qmax F m ³ /s	qF	Qmax x	Qmax F m ³ /s	qF	Qmax x	Qmax F m ³ /s	qF	Qmax x	Qmax F m ³ /s
SB1	0.1205	0.29	2.14	0.237	0.506	2.74	0.237	0.648	3.53	0.237	0.835	4.13	0.237	0.977
SB2	0.1431	0.18	2.14	0.216	0.462	2.74	0.216	0.591	3.53	0.216	0.761	4.13	0.216	0.891
SB3	0.0838	0.23	2.14	0.147	0.315	2.74	0.147	0.404	3.53	0.147	0.519	4.13	0.147	0.608
SB4	0.064	0.27	2.14	0.124	0.265	2.74	0.124	0.339	3.53	0.124	0.437	4.13	0.124	0.512
SB5	0.094	0.31	2.14	0.193	0.414	2.74	0.193	0.529	3.53	0.193	0.682	4.13	0.193	0.798

Tableau III.7: Débit de crue pour différentes périodes de retour d'Essarouel.

Sous bassin	Surface Km ²	Icp	10			20			50			100		
			qF	Qmax	Qmax x F m ³ /s	qF	Qmax	Qmax F m ³ /s	qF	Qmax	Qmax F m ³ /s	qF	Cr _p %	Qmax x F m ³ /s
SB1	1.319	0.11	2.14	1.394	4.29	2.74	1.394	5.44	3.53	1.394	6.96	4.13	1.394	8.424
SB2	0.109	0.32	2.14	0.227	0.79	2.74	0.227	0.999	3.53	0.227	1.278	4.13	0.227	1.546
SB3	0.116	0.18	2.14	0.176	0.64	2.74	0.176	0.815	3.53	0.176	1.043	4.13	0.176	1.262
SB4	0.227	0.25	2.14	0.401	1.55	2.74	0.401	1.969	3.53	0.401	2.519	4.13	0.401	3.05
SB5	0.019	0.14	2.14	0.027	0.09	2.74	0.027	0.116	3.53	0.027	0.148	4.13	0.027	0.179
SB6	0.072	0.68	2.14	0.229	0.74	2.74	0.229	0.94	3.53	0.229	1.203	4.13	0.229	1.456
SB7	0.058	0.17	2.14	0.088	0.31	2.74	0.088	0.392	3.53	0.088	0.501	4.13	0.088	0.606
SB8	0.149	0.25	2.14	0.268	1.05	2.74	0.268	1.335	3.53	0.268	1.707	4.13	0.268	2.066
SB9	0.046	0.26	2.14	0.088	0.28	2.74	0.088	0.353	3.53	0.088	0.451	4.13	0.088	0.546

1.3 Méthode de l'ANRH

1.3.1. Présentation de la méthode :

Elle est donnée par la relation suivante :

$$Q_p = 0.000781 * S^{0.688} * P^{1.275} \quad \text{III.3}$$

Avec :

- S : surface en km².
- P : précipitation annuelle en mm.

Tableau III.8: Débit de crue d'Oued Ennil.

Sous bassin	S km ²	Q m ³ /s
SB1	0.1205	0.764
SB2	0.1431	0.860
SB3	0.0838	0.595
SB4	0.064	0.494
SB5	0.094	0.644

Tableau III.9: Débit de crue d'Essarouel.

Sous bassin	S km ²	Qm ³ /s
SB1	1.319	3.964
SB2	0.109	0.713
SB3	0.116	0.744
SB4	0.227	1.181
SB5	0.019	0.214
SB6	0.072	0.536
SB7	0.058	0.462
SB8	0.149	0.884
SB9	0.046	0.394

2. Estimation de la crue de projet:

Le choix de la crue de ce projet est une exigence de conception qui dépend essentiellement de l'importance de la structure de protection à réaliser, les travaux d'aménagement à entreprendre consistent à réaliser des ouvrages hydrauliques en mesure de véhiculer d'une période de retour donnée et leurs considérations technico-économiques.

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

2.1. Comparaison des valeurs de débits :

Les tableaux suivants montrent les débits qui en résultent de chaque approche et pour la période de retour 100 ans.

Tableau III.10 : Comparaison des trois approches d'Oued Ennil.

Débit Q (m ³ /s), T=100 ans			
SB	TURAZZA	Mr (MEDDI et TOUMI)	ANRH
SB1	1.91	0.977	0.764
SB2	1.673	0.891	0.860
SB3	1.083	0.608	0.595
SB4	0.889	0.512	0.494
SB5	1.362	0.798	0.644

Tableau III.11 : Comparaison des trois approches d'Essarouel.

Débit Q (m ³ /s), T=100 ans			
SB	TURAZZA	Mr (MEDDI et TOUMI)	ANRH
SB1	9.628	8.424	3.964
SB2	1.767	1.546	0.713
SB3	1.443	1.262	0.744
SB4	3.484	3.05	1.181
SB5	0.205	0.179	0.214
SB6	1.664	1.456	0.536
SB7	0.693	0.606	0.462
SB8	2.361	2.066	0.884
SB9	0.624	0.546	0.394

Interprétation :

D'après les valeurs de débits obtenu à partir des trois méthodes pour chaque sous bassin, et pour la période de retour 100 ans, on remarque que les deux approches (TURAZZA et celle Mohamed MEDDI et le Dr. Samir TOUMI) ne présentent pas une grande différence.

Cependant, La loi de l'ANRH a été écartée car elle ne tient pas compte de tous les paramètres du bassin versant en comparaison avec les deux lois citées qui par contre, tient compte de l'ensemble des paramètres du bassin versant,

Ainsi la loi de TURAZZA représente une surestimation du débit puisque le coefficient de ruissellement estimé est en fonction de la période de retour donc les quantiles de cette formule sont rejetés.

Donc les débits maximaux de crue qui ne semble les plus logiques à retenir sont observés par la formule du Professeur Mohamed MEDDI et le Dr. Samir TOUMI développée au nord d'Algérie, nous optons pour les débits de crues obtenus par la loi du même auteur.

2.2. Détermination de l'hydrogramme de crues probables par la méthode de SOKOLOVSKI

L'hydrogramme de crue est une courbe qui nous renseigne sur les différentes caractéristiques de la crue, la forme, la durée, le volume et le débit de pointe qui sera le débit du projet.

L'hydrogramme de crue est non symétrique, il est établi par la méthode de SOKOLOVSKI qui le trace à base de deux équations paraboliques, l'une pour la montée de crue et l'autre pour la décrue.

✓ La montée de la crue:

$$Q_m(t) = Q_{\max, p\%} * \left(\frac{t}{t_m}\right)^n \quad \text{III.4}$$

Chap. III: Estimation des débits de crues des cours d'eau

✓ La décrue :

$$Q_d(t) = Q_{\max, p\%} * \left(\frac{t_d - t}{t_m}\right)^m \quad \text{III.5}$$

Avec:

- $Q_{\max, p\%}$: Débit maximum de crue (de pointe) (m^3/s).
- $Q_m(t)$: Débit instantané au moment de la montée (m^3/s).
- $Q_d(t)$: Débit instantané au moment de la descente (m^3/s).
- t_m : Temps de montée (h), pris égal au temps de concentration du bassin versant.
- t_d : temps de descente (h), pris égal $t_d = a.t_m$.
- m, n : Exposant de la parabole, pour les crues pluviales $m = 3, n = 2$.
- a : dépend de la capacité de régulation du bassin, $a = 2.4$.
- t_b : Le temps de base.

Donc :

- $t_m = t_c = h$.
- $t_d = a.t_m$ (Sokolovski).
- $t_b = t_m + t_d = h$.

Tableau III.12: Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue « a ».

Conditions	a
Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants dénudés et faiblement perméables.	2 à 2,5
Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants brisés ou perméables, moyens cours d'eau avec terrasses de lit majeur normales.	3 à 4
Grands et moyens cours d'eau avec des terrasses de débordements étendues.	4 à 7

Les débits de crue des différentes périodes de retour du bassin versant sont représentés dans les tableaux suivants :

➤ Sous bassin «1» d'Oued Ennil.

$$T_m = T_c = 0.036 \text{ h.}$$

$$T_d = 2.4 * 0.036 = 0.086.$$

$$T_b = 0.44 + 1.1 = 0.122 \text{ h.}$$

Tableau III.13: Débits de crues pour le sous bassin «1» d'Oued Ennil.

T(heure)	Période de retour (ans)			
	10	20	50	100
0	0	0	0	0
0.02	0.15617284	0.2	0.25771605	0.30154321
0.036	0.506	0.648	0.835	0.977
0.06	0.19061763	0.24411111	0.31455676	0.36805024
0.07	0.0444225	0.05688889	0.0733059	0.08577229
0.08	0.00234259	0.003	0.00386574	0.00452315
0.086	0	0	0	0

L'hydrogramme de crue correspondant aux débits de crues obtenue est représenté par la figure (III.1)

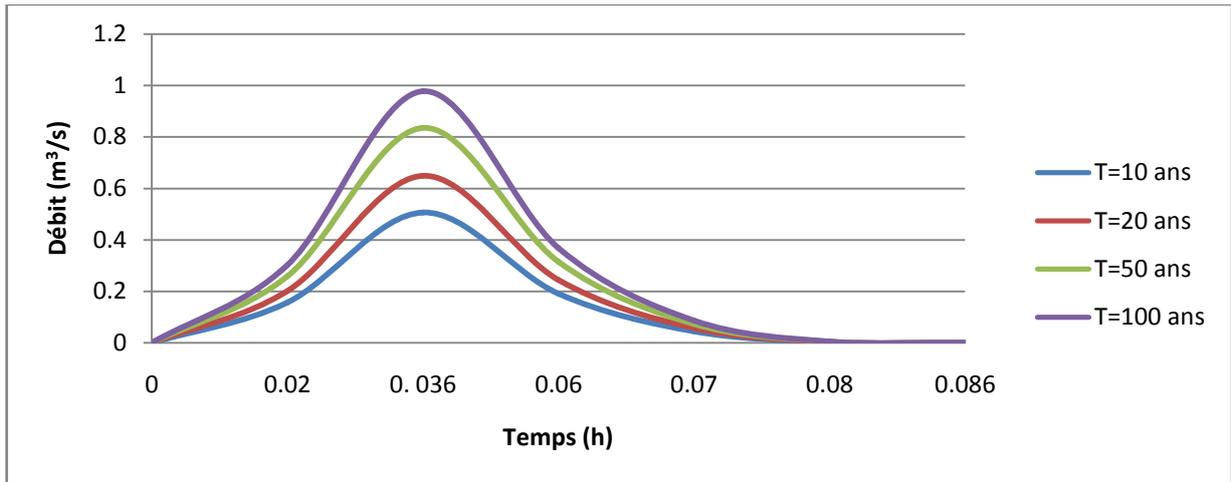


Figure III.1 : Hydrogramme de crue SB «1» d'Oued Ennil.

➤ Sous bassin « 2 » d'Oued Ennil.

$$T_m = T_c = 0.077 \text{ h.}$$

$$T_d = 2.4 * 0.077 = 0.185 \text{ h.}$$

$$T_b = 0.077 + 0.185 = 0.262 \text{ h}$$

Tableau III.14: Débits de crues pour le sous bassin «2» d'Oued Ennil.

T(heure)	Période de retour (ans)			
	10	20	50	100
0	0	0	0	0
0.02	0.03116883	0.03987182	0.05134087	0.06011132
0.04	0.12467532	0.15948727	0.20536347	0.24044527
0.077	0.462	0.591	0.761	0.891
0.12	0.27791364	0.35551291	0.45777551	0.53597631
0.16	0.01581211	0.02022718	0.02604549	0.03049478
0.185	0	0	0	0

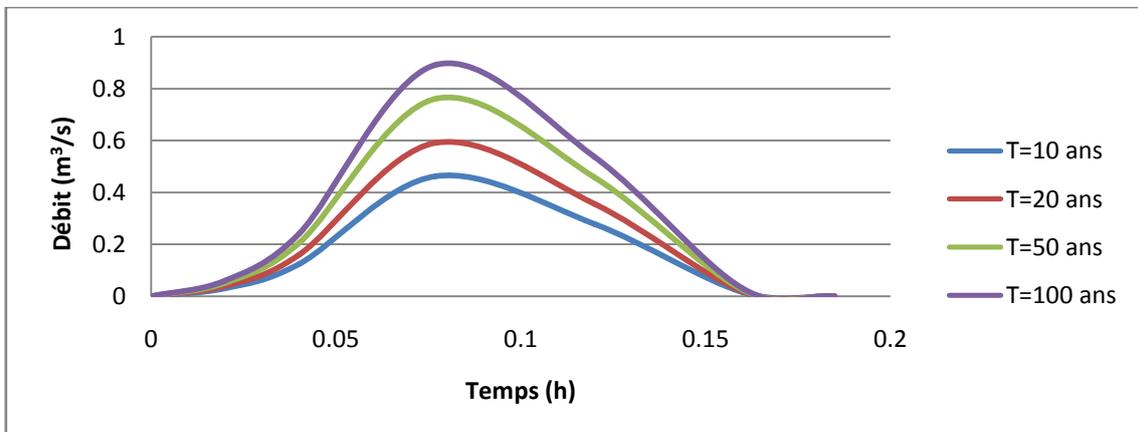


Figure III.2: Hydrogramme de crue SB «2» d'Oued Ennil.

Chap. III: Estimation des débits de crues des cours d'eau

➤ Sous bassin «3» d'Oued Ennil.

$$T_m = T_c = 0.061 \text{ h.}$$

$$T_d = 2.4 * 0.061 = 0.146 \text{ h.}$$

$$T_b = 0.061 + 0.146 = 0.207 \text{ h.}$$

Tableau III.15: Débits de crues pour le sous bassin «3» d'Oued Ennil.

T(heure)	Période de retour (ans)			
	10	20	50	100
0	0	0	0	0
0.02	0.03386187	0.04342919	0.05579145	0.06535877
0.03	0.0761892	0.09771567	0.12553077	0.14705724
0.04	0.13544746	0.17371674	0.22316582	0.2614351
0.061	0.315	0.404	0.519	0.608
0.1	0.11502189	0.14752014	0.18951226	0.22201051
0.12	0.02439165	0.03128325	0.04018814	0.04707975
0.146	0	0	0	0

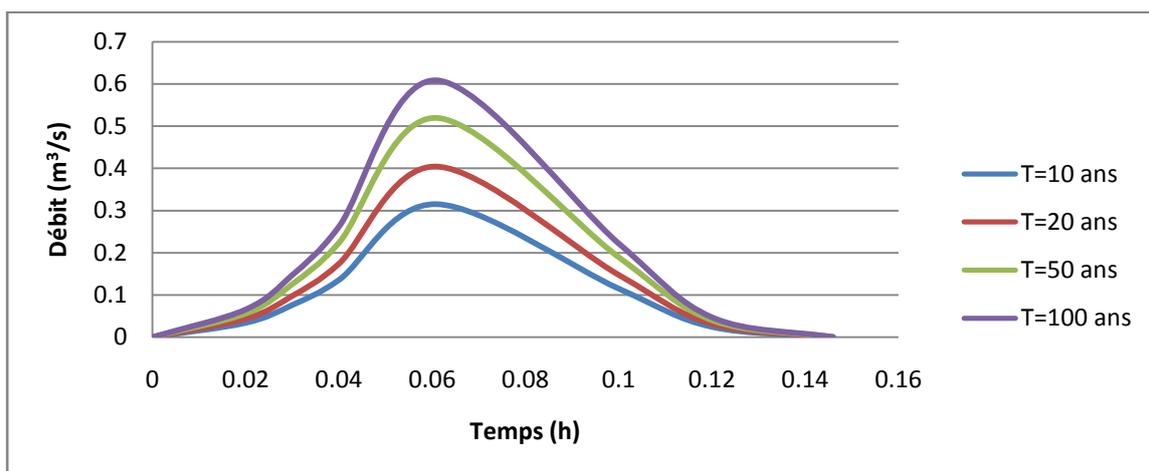


Figure III.3: Hydrogramme de crue SB «3» d'Oued Ennil.

➤ Sous bassin «4» d'Oued Ennil.

$$T_m = T_c = 0.051 \text{ h.}$$

$$T_d = 2.4 * 0.051 = 0.122 \text{ h.}$$

$$T_b = 0.051 + 0.122 = 0.173 \text{ h.}$$

Tableau III.16: Débits de crues pour le sous bassin «4» d'Oued Ennil.

T(heure)	Période de retour (ans)			
	10	20	50	100
0	0	0	0	0
0.02	0.04075356	0.05213379	0.06720492	0.07873895
0.03	0.0916955	0.11730104	0.15121107	0.17716263
0.051	0.265	0.339	0.437	0.512
0.09	0.0654614	0.08374119	0.10794955	0.12647636
0.122	0	0	0	0

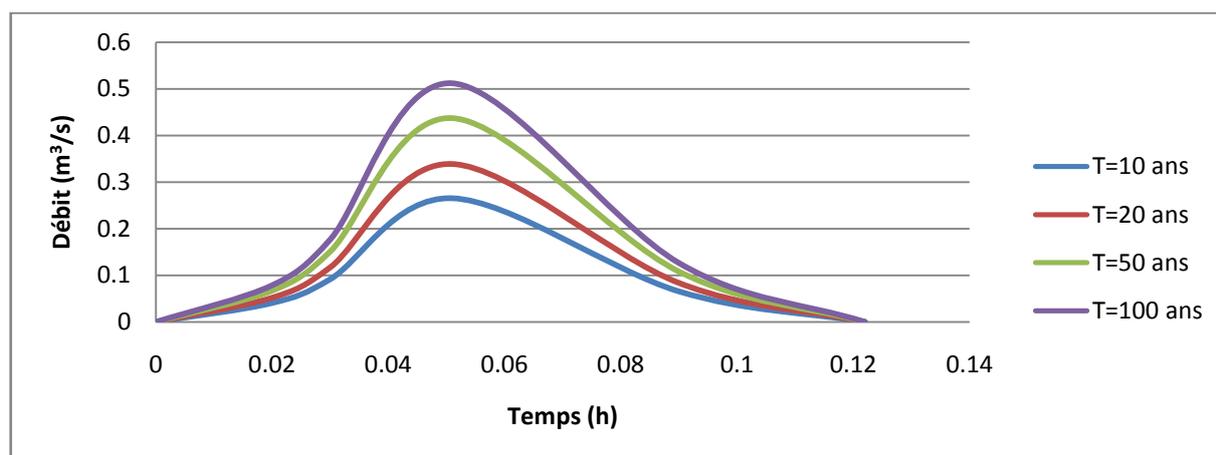


Figure III.4: Hydrogramme de crue SB «4» d'Oued Ennil.

➤ Sous bassin «5» d'Oued Ennil.

$$T_m = T_c = 0.045 \text{ h.}$$

$$T_d = 2.4 * 0.045 = 0.108 \text{ h.}$$

$$T_b = 0.045 + 0.108 = 0.153 \text{ h.}$$

Tableau III.17: Débits de crues pour le sous bassin «5» d'Oued Ennil.

T(heure)	Période de retour (ans)			
	10	20	50	100
0	0	0	0	0
0.02	0.08177778	0.10449383	0.13471605	0.15762963
0.03	0.184	0.23511111	0.30311111	0.35466667
0.045	0.414	0.529	0.682	0.798
0.07	0.24929501	0.31854363	0.41067439	0.48052517
0.09	0.026496	0.033856	0.043648	0.051072
0.108	0	0	0	0

Chap. III: Estimation des débits de crues des cours d'eau

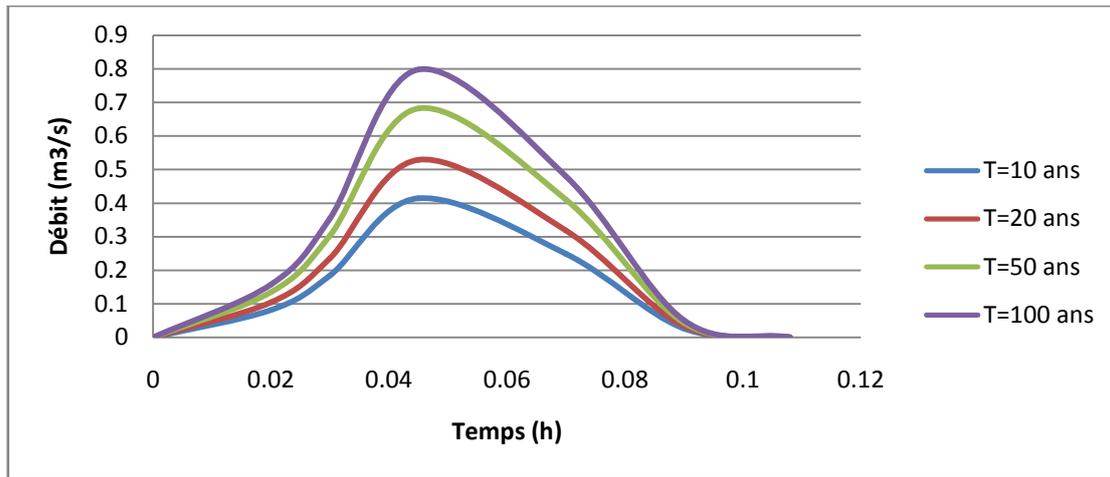


Figure III.5 : Hydrogramme de crue SB « 5 » d'Oued Ennil.

➤ Sous bassin «1» d'Essarouel :

$$T_m = T_c = 0.251 \text{ h.}$$

$$T_d = 2.4 * 0.25 = 0.602 \text{ h.}$$

$$T_b = 0.251 + 0.602 = 0.85 \text{ h.}$$

Tableau III.18: Débits de crues pour le sous bassin «1» d'Essarouel.

T(heure)	Période de retour (ans)			
	10	20	50	100
0	0	0	0	0
0.1	0.68094157	0.86347836	1.10474437	1.33712163
0.251	4.29	5.44	6.96	8.424
0.45	2.23609493	2.83551431	3.62779037	4.39087731
0.55	0.28789667	0.36507177	0.46707712	0.56532437
0.602	0	0	0	0

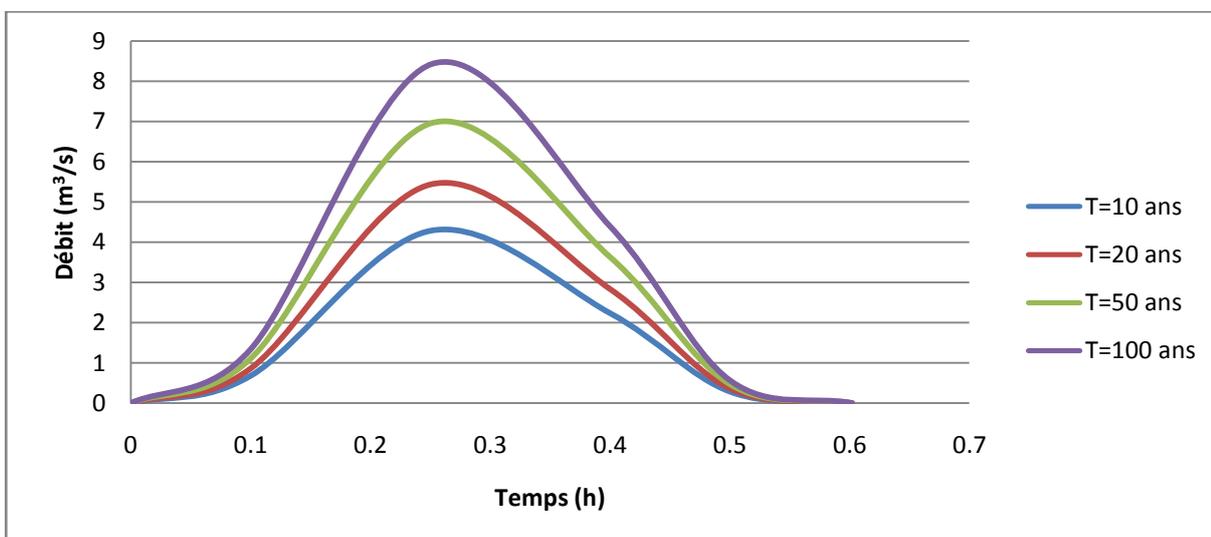


Figure III.6 : Hydrogramme de crue SB «1» d'Oued Ennil.

Chap. III: Estimation des débits de crues des cours d'eau

➤ Sous bassin «2» d'Essarouel :

$$T_m = T_c = 0.034 \text{ h.}$$

$$T_d = 2.4 * 0.034 = 0.082 \text{ h.}$$

$$T_b = 0.034 + 0.082 = 0.116 \text{ h.}$$

Tableau III.19: Débits de crues pour le sous bassin «2» d'Essarouel.

T (heure)	Période de retour (ans)			
	10	20	50	100
0	0	0	0	0
0.01	0.0683391	0.08641869	0.11055363	0.13373702
0.02	0.2733564	0.34567474	0.44221453	0.5349481
0.034	0.79	0.999	1.278	1.546
0.06	0.21402198	0.27064299	0.34622797	0.41883289
0.07	0.03473234	0.04392103	0.05618726	0.06796988
0.082	0	0	0	0

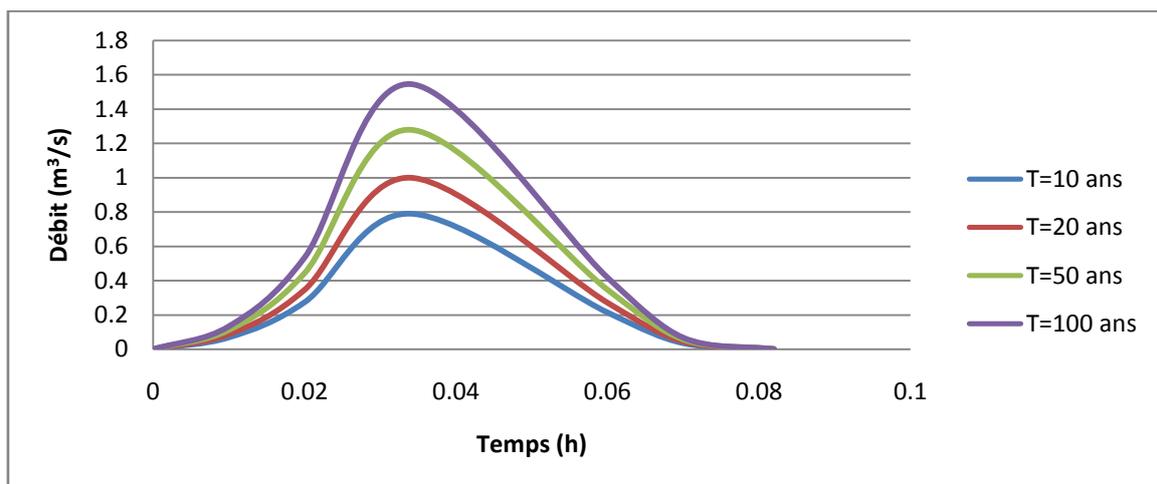


Figure III.7 : Hydrogramme de crue SB «2» d'Essarouel.

➤ Sous bassin «3» d'Essarouel :

$$T_m = T_c = 0.066 \text{ h.}$$

$$T_d = 2.4 * 0.066 = 0.16 \text{ h.}$$

$$T_b = 0.066 + 0.16 = 0.23 \text{ h.}$$

Chap. III: Estimation des débits de crues des cours d'eau

Tableau III.20: Débits de crues pour le sous bassin «3» d'Essarouel.

T (heure)	Période de retour (ans)			
	10	20	50	100
0	0	0	0	0
0.02	0.05876951	0.0748393	0.09577594	0.11588613
0.03	0.1322314	0.16838843	0.21549587	0.2607438
0.066	0.64	0.815	1.043	1.262
0.1	0.48084147	0.61232156	0.78362134	0.94815928
0.14	0.01780894	0.02267858	0.02902301	0.03511701
0.16	0	0	0	0

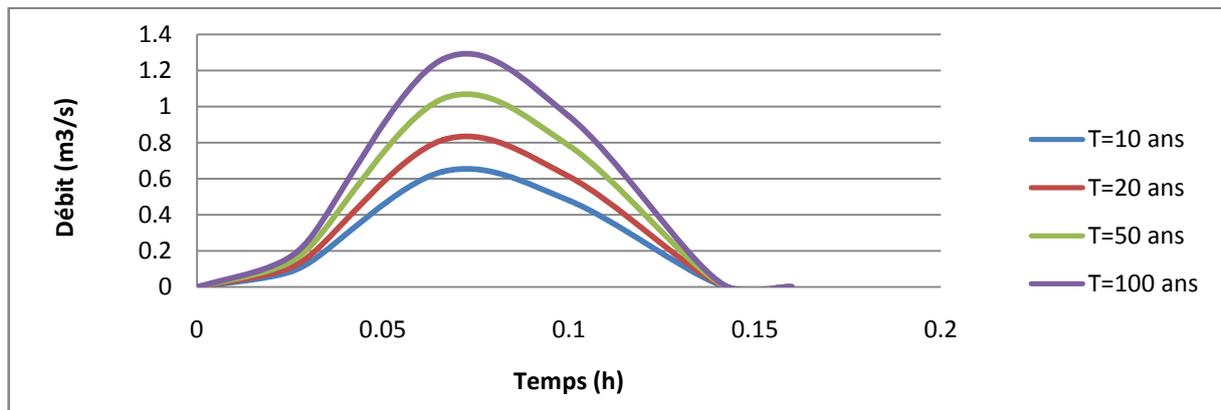


Figure III.8 : Hydrogramme de crue SB «3» d'Essarouel.

➤ Sous bassin «4» d'Essarouel :

$$T_m = T_c = 0.039 \text{ h.}$$

$$T_d = 2.4 * 0.039 = 0.094 \text{ h.}$$

$$T_b = 0.039 + 0.094 = 0.133 \text{ h.}$$

Tableau III.21: Débits de crues pour le sous bassin «4» d'Essarouel.

T (heure)	Période de retour (ans)			
	10	20	50	100
0	0	0	0	0
0.01	0.10190664	0.12945431	0.16561473	0.20052597
0.02	0.40762656	0.51781723	0.66245891	0.80210388
0.039	1.55	1.969	2.519	3.05
0.06	1.0270099	1.30463386	1.66905673	2.02089044
0.07	0.36121985	0.45886573	0.58704051	0.71078744
0.08	0.07170047	0.09108272	0.11652482	0.14108802
0.094	0	0	0	0

Chap. III: Estimation des débits de crues des cours d'eau

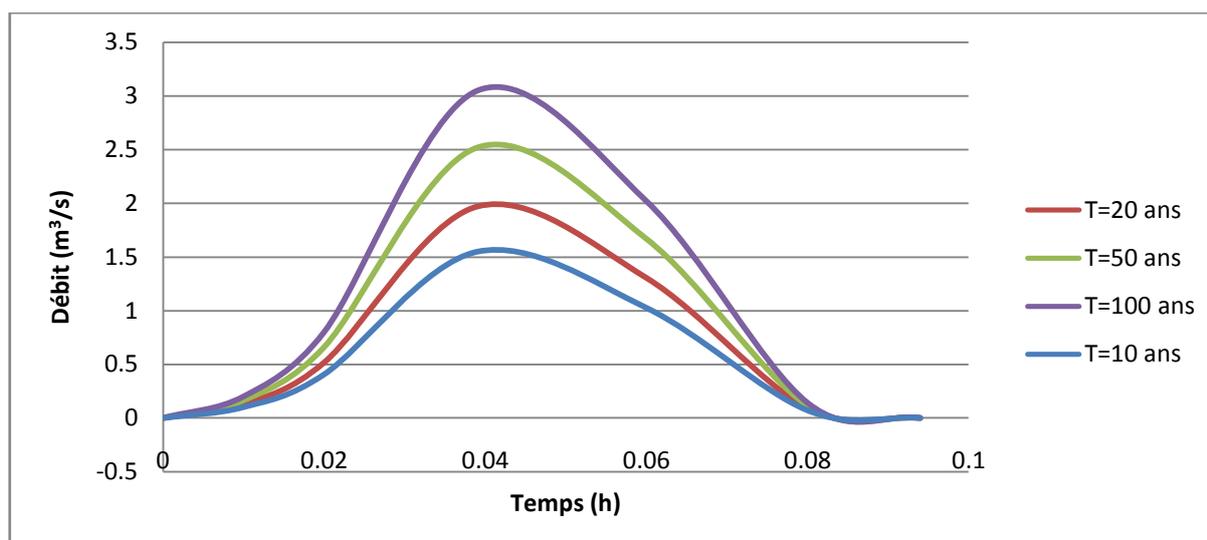


Figure III.9 : Hydrogramme de crue SB «4» d'Essarouel.

➤ Sous bassin «5» d'Essarouel :

$$T_m = T_c = 0.094 \text{ h.}$$

$$T_d = 2.4 * 0.094 = 0.226 \text{ h.}$$

$$T_b = 0.094 + 0.226 = 0.32 \text{ h.}$$

Tableau III.22: Débits de crues pour le sous bassin «5» d'Essarouel.

T (heure)	Période de retour (ans)			
	10	20	50	100
0	0	0	0	0
0.02	0.00407424	0.00525124	0.00669986	0.00810321
0.04	0.01629697	0.02100498	0.02679946	0.03241286
0.06	0.03666818	0.0472612	0.06029878	0.07292893
0.094	0.09	0.116	0.148	0.179
0.13	0.06892143	0.08883207	0.11333747	0.13707707
0.15	0.04756634	0.06130773	0.0782202	0.09460416
0.18	0.01054708	0.01359402	0.0173441	0.02097698
0.2	0.00190449	0.00245468	0.00313183	0.00378782
0.226	0	0	0	0

Chap. III: Estimation des débits de crues des cours d'eau

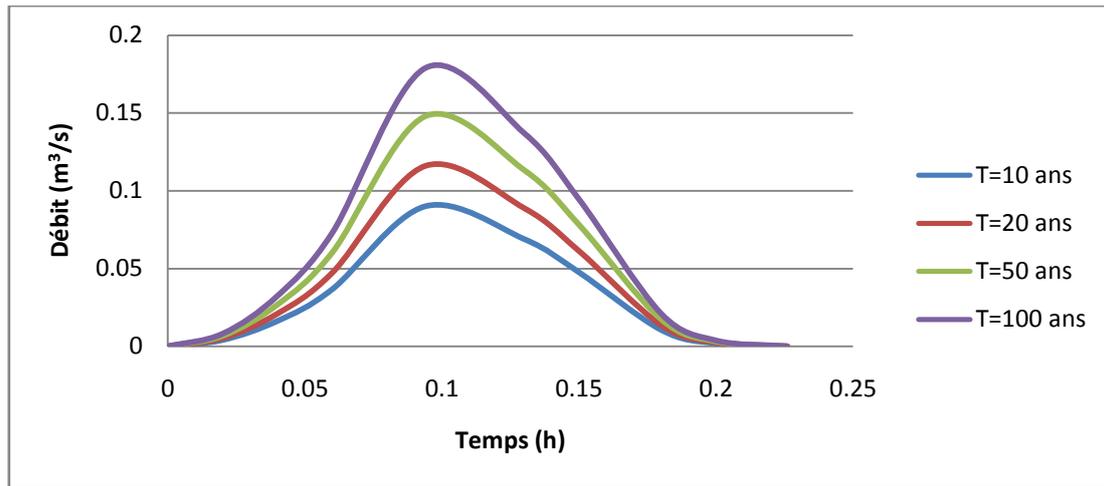


Figure III.10 : Hydrogramme de crue SB «5» d'Essarouel.

➤ Sous bassin «6» d'Essarouel :

$$T_m = T_c = 0.014 \text{ h.}$$

$$T_d = 2.4 * 0.014 = 0.034 \text{ h.}$$

$$T_b = 0.014 + 0.034 = 0.048 \text{ h.}$$

Tableau III.23: Débits de crues pour le sous bassin «6» d'Essarouel

T (heure)	Période de retour (ans)			
	10	20	50	100
0	0	0	0	0
0.005	0.09438776	0.11989796	0.15344388	0.18571429
0.014	0.74	0.94	1.203	1.456
0.025	0.19659621	0.24973032	0.31960168	0.38681633
0.026	0.1380758	0.17539359	0.22446647	0.27167347
0.028	0.05825073	0.07399417	0.09469679	0.11461224
0.03	0.00120497	0.00153063	0.00195888	0.00237085
0.032	0.00215743	0.00274052	0.00350729	0.0042449
0.034	0	0	0	0

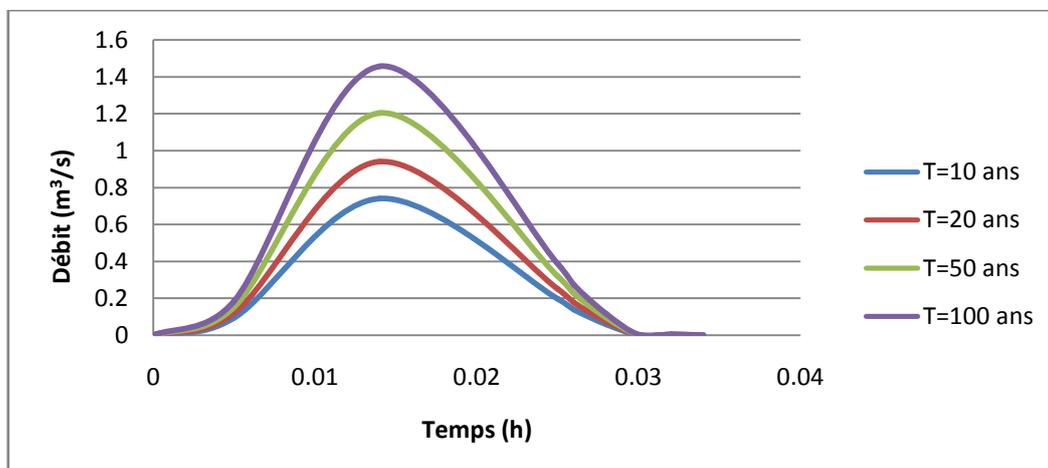


Figure III.11 : Hydrogramme de crue SB «6» d'Essarouel.

Chap. III: Estimation des débits de crues des cours d'eau

➤ Sous bassin «7» d'Essarouel :

$$T_m = T_c = 0.073 \text{ h.}$$

$$T_d = 2.4 * 0.073 = 0.175 \text{ h.}$$

$$T_b = 0.073 + 0.175 = 0.25 \text{ h.}$$

Tableau III.24: Débits de crues pour le sous bassin «7» d'Essarouel.

T (heure)	Période de retour (ans)			
	10	20	50	100
0	0	0	0	0
0.02	0.02326891	0.02942391	0.03760555	0.04548696
0.04	0.09307562	0.11769563	0.15042222	0.18194783
0.073	0.31	0.392	0.501	0.606
0.145	0.02151577	0.04320377	0.05521706	0.0667895
0.165	0.00079688	0.00100767	0.00128786	0.00155777
0.175	0	0	0	0

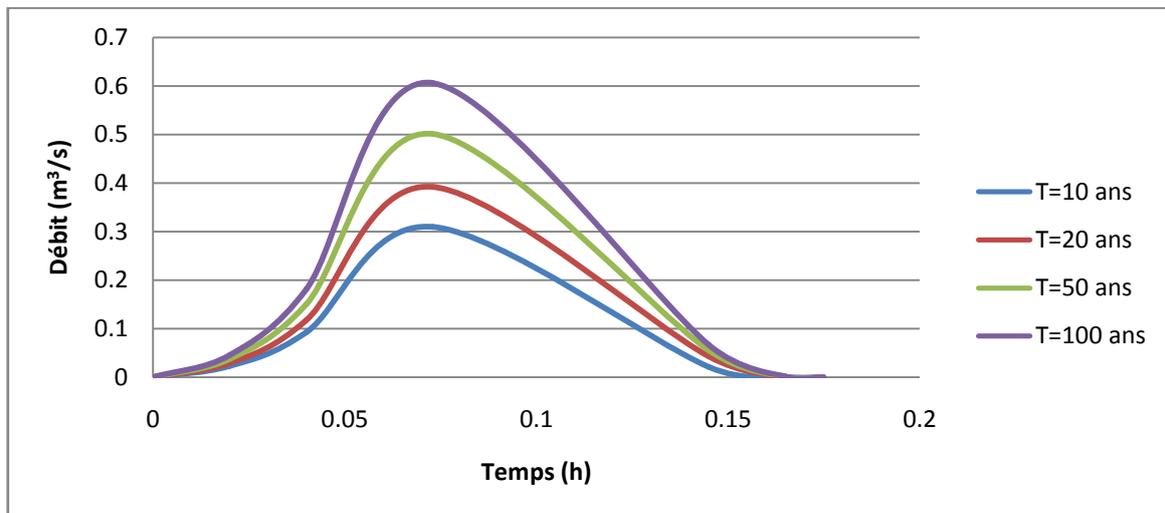


Figure III.12 : Hydrogramme de crue SB «7» d'Essarouel.

➤ Sous bassin «8» d'Essarouel :

$$T_m = T_c = 0.036 \text{ h.}$$

$$T_d = 2.4 * 0.036 = 0.086 \text{ h.}$$

$$T_b = 0.036 + 0.086 = 0.122 \text{ h.}$$

Chap. III: Estimation des débits de crues des cours d'eau

Tableau III.25: Débits de crues pour le sous bassin «8» d'Essarouel.

T (heure)	Période de retour (ans)			
	10	20	50	100
0	0	0	0	0
0.01	0.08101852	0.10300926	0.13171296	0.15941358
0.02	0.32407407	0.41203704	0.52685185	0.63765432
0.036	1.05	1.335	1.707	2.066
0.06	0.39555041	0.50291409	0.64305195	0.77829252
0.07	0.0494438	0.06286426	0.08038149	0.09728657
0.086	0	0	0	0

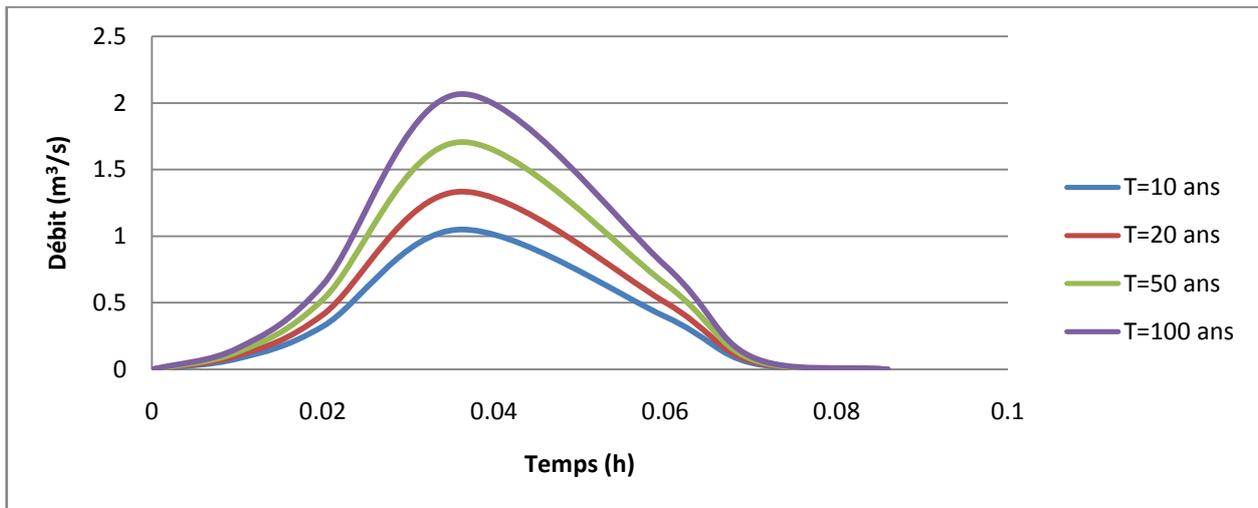


Figure III.13 : Hydrogramme de crue SB «8» d'Essarouel.

➤ Sous bassin «9» d'Essarouel :

$$T_m = T_c = 0.053 \text{ h.}$$

$$T_d = 2.4 * 0.053 = 0.127 \text{ h.}$$

$$T_b = 0.053 + 0.127 = 0.18 \text{ h.}$$

Tableau III.26: Débits de crues pour le sous bassin «9» d'Essarouel.

T (heure)	Période de retour (ans)			
	10	20	50	100
0	0	0	0	0
0.01	0.00996796	0.01256675	0.01605554	0.01943752
0.02	0.03987184	0.050267	0.06422214	0.07775009
0.03	0.08971164	0.11310075	0.14449982	0.1749377
0.053	0.28	0.353	0.451	0.546
0.1	0.03701875	0.04667006	0.05962662	0.07218656
0.127	0	0	0	0

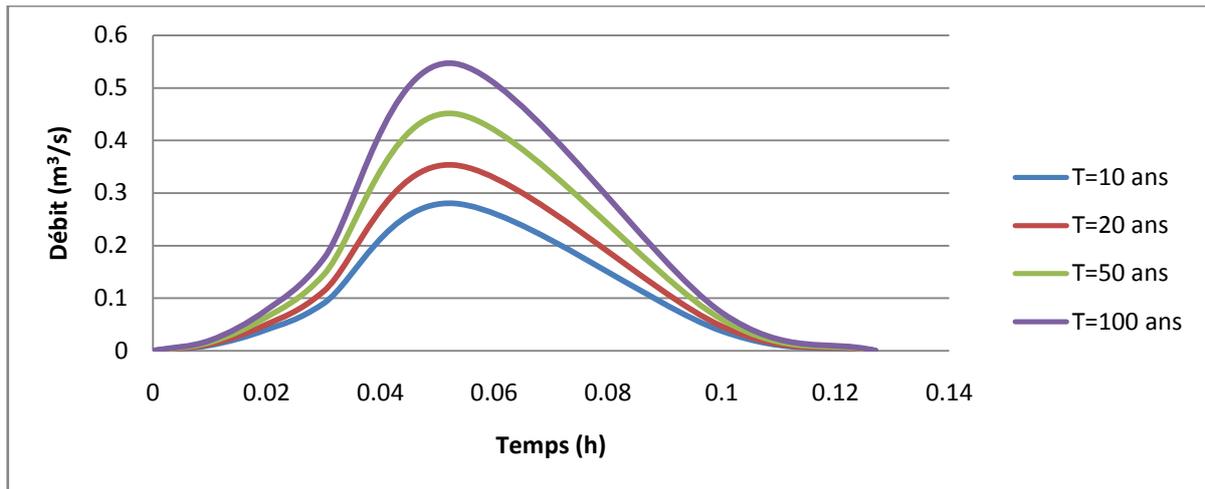


Figure III.14 : Hydrogramme de crue SB «9» d'Essarouel.

3. Etudes des apports :

3.1 Estimation de l'apport moyen annuel (A_0) :

Les apports seront estimés à partir des formules empiriques.

a) Formule de l'A.N.R.H : on a

$$A_{\text{moy}} = 0,915 \cdot P_{\text{moy}}^{2,684} \cdot S^{0,842} \quad \text{III.6}$$

Avec ;

P_{moy} : Pluie moyenne annuelle [mm].

S : Superficie du bassin versant [Km²].

b) Formule de SAMIE :

$$Le = P_0^2 (293 - 2.2 \sqrt{S}). \quad \text{III.7}$$

$$A_0 = Le \cdot S. \quad \text{III.8}$$

Avec ;

P_{moy} : Pluie moyenne annuelle [mm].

S : Superficie du bassin versant [Km²].

Le : lame d'eau écoulée en [mm].

c) Formule de Turc :

$$A = S * Le \quad \text{III.9}$$

$$Le = P - \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad \text{III.10}$$

$$L = 300 + 25 To + 0,05 To^3 \quad \text{III.11}$$

Avec:

P : précipitation moyenne annuel ; en mm, ($P = 694.084 \text{ mm}$).

To : Température moyenne dans la zone d'étude, ($To = 12.4^\circ \text{ C}$).

S : Superficie du bassin versant [Km²].

L : Coefficient qui dépend de la température.

Le : lame d'eau écoulée en [mm].

Chap. III: Estimation des débits de crues des cours d'eau

Tableau III.27: Récapitulatif des apports moyens interannuels d'Oued Ennil.

Sous Bassin	Samie				turc			ANRH	
	S (Km ²)	P (mm)	Le mm	A Mm ³	L	Le mm	A Mm ³	Le mm	A Mm ³
SB1	0.1205	694.084	125.35	15.10	705.33	156.58	18.87	198.43	23.91
SB2	0.1431	694.084	125.32	17.93	705.33	156.58	22.41	198.49	28.40
SB3	0.0837	694.084	125.408	10.49	705.33	156.59	13.11	198.46	16.61
SB4	0.064237	694.084	125.45	8.06	705.33	156.66	10.06	198.44	12.75
SB5	0.094179	694.084	125.39	11.81	705.33	156.58	14.75	198.44	18.69

Tableau III.28: Récapitulatif des apports moyens interannuels D'Essarouel.

Sous Bassin	Samie				turc			ANRH	
	S (Km ²)	P (mm)	Le mm	A Mm ³	L	Le mm	A Mm ³	Le mm	A Mm ³
SB1	1.319	694.084	124.59	164.47	705.33	156.61	206.731459	198.486	261.99
SB2	0.109	694.084	125.37	13.79	705.33	156.62	17.2285575	198.48	21.83
SB3	0.116	694.084	125.36	15.04	705.33	156.58	18.789685	198.51	23.82
SB4	0.227	694.084	125.23	28.80	705.33	156.60	36.0182425	198.49	45.65
SB5	0.019	694.084	125.56	2.51	705.33	156.67	3.13348602	198.23	3.96
SB6	0.058	694.084	125.45	7.53	705.33	156.67	9.40045806	198.42	11.91
SB7	0.072	694.084	125.44	8.78	705.33	156.59	10.9615855	198.47	13.89
SB8	0.046	694.084	125.47	6.27	705.33	156.56	7.82809948	198.57	9.93
SB9	0.149	694.084	125.32	18.79	705.33	156.64	23.4955296	198.49	29.77

Interprétation :

Vu les 3 résultats obtenus par différentes méthodes, on opte pour le résultat donné par la méthode d'ANRH pour Oued Ennil et Essarouel, car elle est plus adoptée à notre pays, ainsi elle donne des résultats maximum pour une bonne estimation de la crue probable.

4. Transport solides

Les crues des oueds de la région se caractérisent, compte tenu de leurs volumes d'apports et des grandes vitesses en montagne, par leur extrême violence et leur force de charriage de matériaux solides). Aussi tout aménagement il doit prendre en considération le travail de l'érosion et de l'alluvionnement dû aux crues.

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

Chap. III: Estimation des débits de crues des cours d'eau

A-Formule de TIXERONT :

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

$$E_s = a \times L_e^{0,15} \quad \text{III.12}$$

Où :

ES : taux d'abrasion (t/km²/an)

Le : lame d'eau ruisselée en (mm)

A: Apport moyen annuel m³.

S : Superficie du bassin km².

a : coefficient empirique qui varie en fonction de la perméabilité du terrain

a = 1400 (perméabilité faible) pour les sous-bassins.

S : surface en km²

En tenant compte du poids spécifique moyen des sédiments $\gamma=1.4 \text{ T/m}^3$.

$$Q_s = \frac{E_s \cdot S}{\gamma} \quad \text{III.13}$$

Les résultats des apports solides sont résumés dans le tableau ci - dessus

Tableau III.29: Les apports solides d'Oued Ennil.

SB	S (km ²)	A Mm3	Le mm	Es (T/Km ² /an)	Qs (m ³ /an)
SB1	0.120	23.91	198.43	3095.77837	266.458
SB2	0.143	28.40	198.49	3095.9073	316.446
SB3	0.084	16.61	198.46	3095.83622	185.087
SB4	0.064	12.75	198.44	3095.80189	142.046
SB5	0.094	18.69	198.44	3095.78974	208.256

Tableau III.30: Les apports solides d'Essarouel.

SB	S (km ²)	A Mm3	Le mm	Es (T/Km ² /an)	Qs (m ³ /an)
SB1	1.319	261.99	198.486	3095.88139	2918.97
SB2	0.109	21.83	198.48	3095.90129	243.25
SB3	0.116	23.82	198.51	3095.96101	265.37
SB4	0.227	45.65	198.49	3095.93245	508.62
SB5	0.019	3.96	198.23	3095.30376	44.22
SB6	0.058	11.91	198.42	3095.74202	132.67
SB7	0.072	13.89	198.47	3095.86717	154.79
SB8	0.046	9.93	198.57	3096.09237	110.57
SB9	0.149	29.77	198.49	3095.91722	331.71

Conclusion :

Un mauvais choix de la méthode d'estimation implique un surdimensionnement ou sous dimensionnement donc on peut avoir des risques d'inondation ou des coûts élevés des ouvrages. L'objectif de ce chapitre est de présenter les principales méthodes utilisées pour l'estimation des débits crues ainsi que choisir la méthode adéquate pour tracer les hydrogrammes de crues qui nous permettent de voir leur évolution dans le temps et d'obtenir le débit optimal pour l'utiliser dans le dimensionnement afin de réaliser un aménagement adéquat.

Chapitre IV

Etude des écoulements dans les cours d'eau non aménagés

Chapitre IV : Etude des écoulements dans les cours d'eau non aménagés.

Introduction

Ce chapitre décrit en premier lieu, l'état actuel des cours d'eau des deux centres urbains Oued Ennil et Essarouel et permet, en deuxième partie, sera consacrée à l'établissement d'un modèle du réseau des cours d'eau afin de s'approcher le plus de la réalité sur le terrain et de simuler les différentes crues déterminées précédemment en tout point dans les cours d'eau en introduisant les données hydrologiques suivant les critères morphométriques de la zone d'étude avec le logiciel HEC RAS (version 4.1.0). La base de données nécessaire à l'application de ce modèle sera générée par le logiciel AUTOCAD CIVIL 3D, qui est un outil informatique puissant qui donne des résultats précis en chaque section transversale définie par l'utilisateur.

La finalité de ce chapitre est de connaître l'effet de la morphologie de la zone d'étude sur les inondations en localisant les zones de débordement et de ce fait orienter la réflexion vers la proposition d'aménagements adéquats.

1. Description du réseau simulé

Avant le choix des variantes, on doit passer d'abord à une analyse du site pour but de bien connaître l'état des chaâbats et leurs caractéristiques dans le cas des crues fréquentiels qui s'impose, afin de déterminer les points de débordement ou en général la délimitation de la zone inondable, pour envisager les solutions les plus adéquates pour le projet de protection.

Nous allons essayer de présenter l'état naturel de ces affluents. Des observations du terrain nous ont permis de faire un premier diagnostic de l'état de ces cours d'eau afin de repérer les problèmes qui l'affectent et d'établir l'état général en recueillant les informations qui pourront orienter les modalités d'exécution du projet.

Les photos ci-après représentent une vue générale sur l'état des cours d'eau

1.1. Cours d'eau d'Essarouel :

Les cours d'eau d'Essarouel se caractérisent par des pentes fortes en montagnes et faible dans la commune (partie basse) favorisant ainsi des inondations catastrophiques lors des pluies intenses.

✓ Cours d'eaux 1, 2,3 :

Ces derniers traversent la commune prenant naissance au sein de la montagne jusqu'à la confluence avec l'oued Boudjamaa, causant des inondations au niveau des points noirs (points où se manifestent le débordement du cours d'eau), ce débordement est causé principalement par le changement de la pente de forte en faibles, les débordements influencent ainsi la circulation des gens et la vie quotidienne.

✓ Cours d'eaux 4,5,6,7,8,9:

Ils serpentent la partie sud –Est de la ville causant de fortes inondations surtout aux habitants localisés Just après la montagne, donc cette zone d'habitat est particulièrement sensible, les totalités de ces cours d'eaux se déversent dans l'Oued Boudjemâa.

Remarque :

BECE : Bureau d'étude de construction en eau.



Figure IV. 1: Chaâbat 02 d'Essarouel dans la partie haute de la commune (montagne) prise par le BECE le 5/11/2018



Figure IV.2 : L'étendu du cours d'eau 03 d'Oued Ennil entre les quartiers prise par BECE 5/11/2018

1.2. Cours d'eau d'Oued Ennil :

La totalité des cours d'eau d'Oued Ennil sont caractérisés par un changement de pente brusques causant des stagnations de volumes d'eau très importants à l'aval dans la partie basse de la commune zone urbanisée influençant ainsi la vie humaine et économique surtout lors des fortes averses, les cours d'eau traversent la commune et allant au point de rejet qui est l'Oued de BOUDJEMAA.



Figure IV. 3 : Chaâbat 04 d'Oued Ennil dans la partie haute de la commune (montagne) prise par BECE le 5/11/2018



Figure IV. 4 : Chaâbat 03 d'Oued Ennil dans la partie haute de la commune (montagne) BECE le 5/11/2018

Ces affluents non aménagés et d'une forte pente sont incapable de gérer les crues exceptionnelles causant des débordements lors de fortes averses au niveau des habitats ainsi que la submersion des terres cultivables.

- **Représentation de la situation lors du débordement des cours d'eau :**



FigureIV. 5 : Cours d'eau 05 et 02 d'Oued Ennil et Essarouel se déversant dans les communes prise par BECE le 21/12/2018

2. Problématique

La problématique du phénomène des inondations de la zone d'étude est liée principalement aux points qui sont présentéci-dessous:

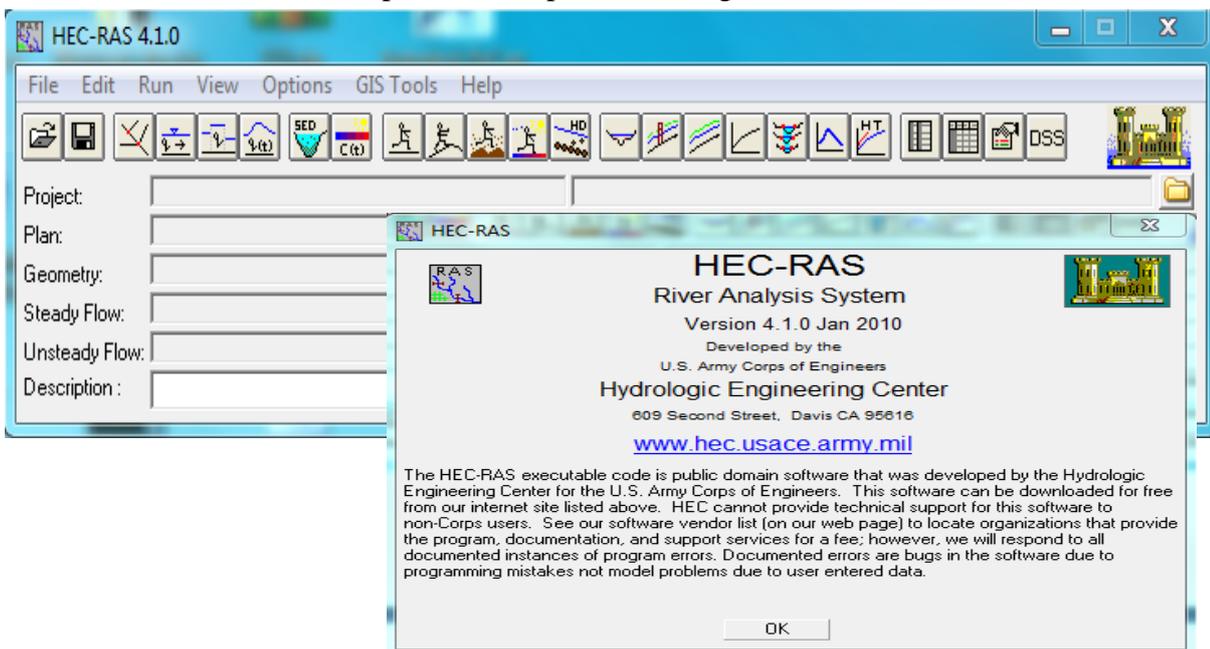
- ❖ Relief accidenté avec des pentes fortes favorisant des crues brusques et violentes.
- ❖ Transport solide très important causant le débordement des cours d'eaux surtout a la partie basse de la ville.
- ❖ Cours d'eaux non aménagés développer au cours du temps de plus en plus avec la forte intensité de pluie ainsi que la morphologie du terrain naturel.
- ❖ Constructions des habitations en dessus de ces cours d'eau causant une contrainte contre la circulation naturelle de ces eaux vers oued Boudjema.
- ❖ Des pentes faibles dans la partie basse de la ville causant une stagnation de l'eau ainsi des inondations lors des averses.

3. Simulation de l'écoulement sur HEC-RAS

Afin de lancer la simulation de l'écoulement sur HEC-RAS pour localiser l'inondabilité des zones à risques il suffit de l'informer de la géométrie du cours d'eau sous forme de profils en travers le long de ce même cours d'eau, ainsi que les estimations de débits de crue pour différentes périodes de retour, obtenues par la méthode du Professeur Mohamed MEDDI et le Dr. Samir TOUMI et les conditions aux limites.

3.1. Présentation du logiciel HEC-RAS :

Pour le calcul de la hauteur normale, la hauteur critique, la vitesse critique et déterminer la zone inondable, on utilise le modèle HEC-RAS (4.1.0), c'est un logiciel d'analyses hydrauliques désigné à modéliser les écoulements à surface libre permanent ou non permanent dans les canaux naturels et artificiels avec la prise en compte des ouvrages de franchissement.



FigureIV.6 : Logiciel HEC-RAS de Hydrologic Engineering Center.

Il permet de simuler les écoulements graduellement variés en régime transitoire et d'effectuer les calculs de lignes d'eau en régime dynamique en simulant les différents obstacles le long du cours d'eau et garde en général les topographies extraites des données du système géographique. Le temps de calcul d'HEC –RAS pour une simulation est plus rapide.

La modélisation de l'Oued se base sur les profils en travers, tient compte de tous les ouvrages existant, et permet d'évaluer les pertes par la formule de frottement au fond de Manning-Strickler et par des formules de contraction/expansion de l'écoulement.

Dans le modèle HEC-RAS, la topographie du tronçon de l'Oued est définie par des profils en travers qui, dans le cadre d'une modélisation hydraulique doivent respecter six règles simples :

- Etre perpendiculaires aux écoulements.
- Ne jamais se croiser.
- Considérer toute la largeur du lit majeur.
- Décrire le profil en long.
- Permettre la modélisation des ouvrages hydrauliques.
- Prendre en compte les contractions et les élargissements des écoulements.

3.2. Données pour l'application du code de calcul HEC-RAS :

- Les données géométriques relatives à chaque section
 - La section en travers, définie par une série de couples distance-altitude;
 - Les coefficients de rugosité lits mineur et majeur;
 - Les trois distances principales à la section suivante : rive gauche, rive droite, axe du lit mineur.

- Les données hydrométriques

Après avoir saisi les données géométriques de chaque section, l'étape suivante de la modélisation hydraulique par HEC-RAS est de spécifier les débits d'entrée et toutes les conditions aux limites nécessaires pour pouvoir exécuter le calcul des profils de la surface de l'eau en chaque section du système de rivière.

▪ Données d'écoulement

Les données d'écoulement sont saisies de l'amont à l'aval pour chaque tronçon de chaque cours d'eau. Une valeur d'écoulement (le débit de pointe d'une crue) est écrite à l'extrémité en amont du système de rivière.

▪ Condition aux limites

Les conditions aux limites de chaque tronçon sont nécessaires pour établir la hauteur initiale de la surface de l'eau aux extrémités du système de rivière (amont et aval). Cette hauteur est nécessaire afin que le programme commence les calculs.

Pour l'introduction de la hauteur d'eau en amont et en aval. HEC-RAS nous donne les choix suivant :

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

Les sources et le choix judicieux de toutes ces données sont présentés en détails dans la partie calcul.

4. La démarche de la modélisation

La démarche de modélisation comprend quatre étapes :

4.1. La modélisation géométrique du réseau hydrographique :

Les données géométriques nécessaires, consiste à l'établissement de la connectivité de l'information pour le système de rivière (schéma de système de rivière), les données des sections transversales, et les données d'ouvrage hydrauliques existants ou projetés (ponts, levées, structures latérales, déversoirs, etc.).

La réalisation de la géométrie des cours d'eau consiste à implémenter des profils en travers représentatifs, sur lesquels on calcul la hauteur d'eau et d'autres caractéristiques de l'écoulement, elle correspond au maillage de la rivière.

Pour la collecte des données géométriques du réseau hydrographique nous avons utilisé le logiciel AUTOCAD CIVIL 3D (version 2017) pour la génération automatique des profils en travers représentatifs de la géométrie d'Essarouel et Oued Ennil à partir du modèle numérique de terrain (MNT) de la zone d'étude qui est reconnus par HEC-RAS. Cela nous a permis de gagner en temps et en précision.

Le maillage de la rivière est réalisé à l'aide de logiciel AUTOCAD CIVIL 3D pour couvrir la totalité de la zone inondable et cela par :

- Création d'un fichier point puis une surface à partir du modèle numérique de terrain (MNT)
- Etablissement des axes des cours d'eau sur les cours d'eau des deux communes.
- Tabulation des axes créés et constitution des profils en travers représentatifs d'une largeur précise suivant la morphologie du cours d'eau à l'aide de l'outil tabulation sur CIVIL 3D.

Les tronçons sont illustrés dans les figures suivantes :

❖ Oued Ennil :

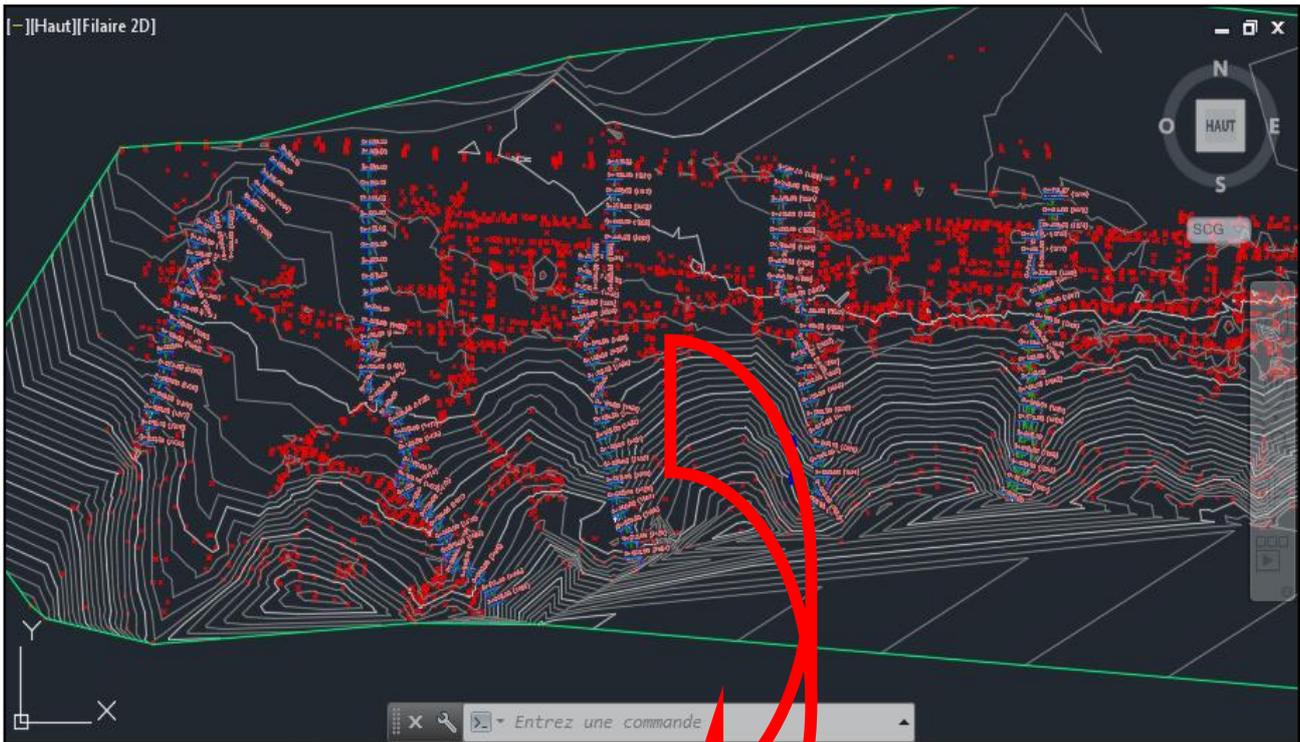
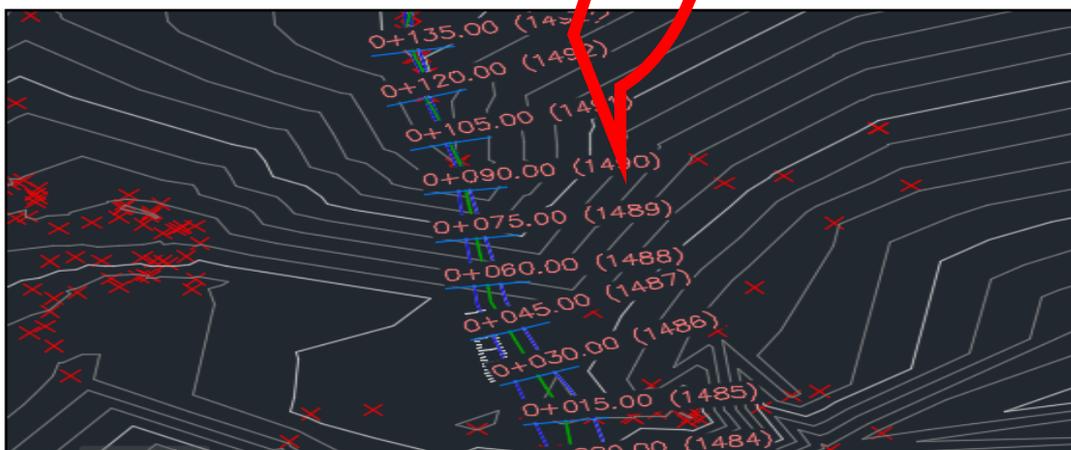


Figure IV.7: Le maillage en tronçons des cours d'eau d'Oued Ennil.



❖ Essarouel :

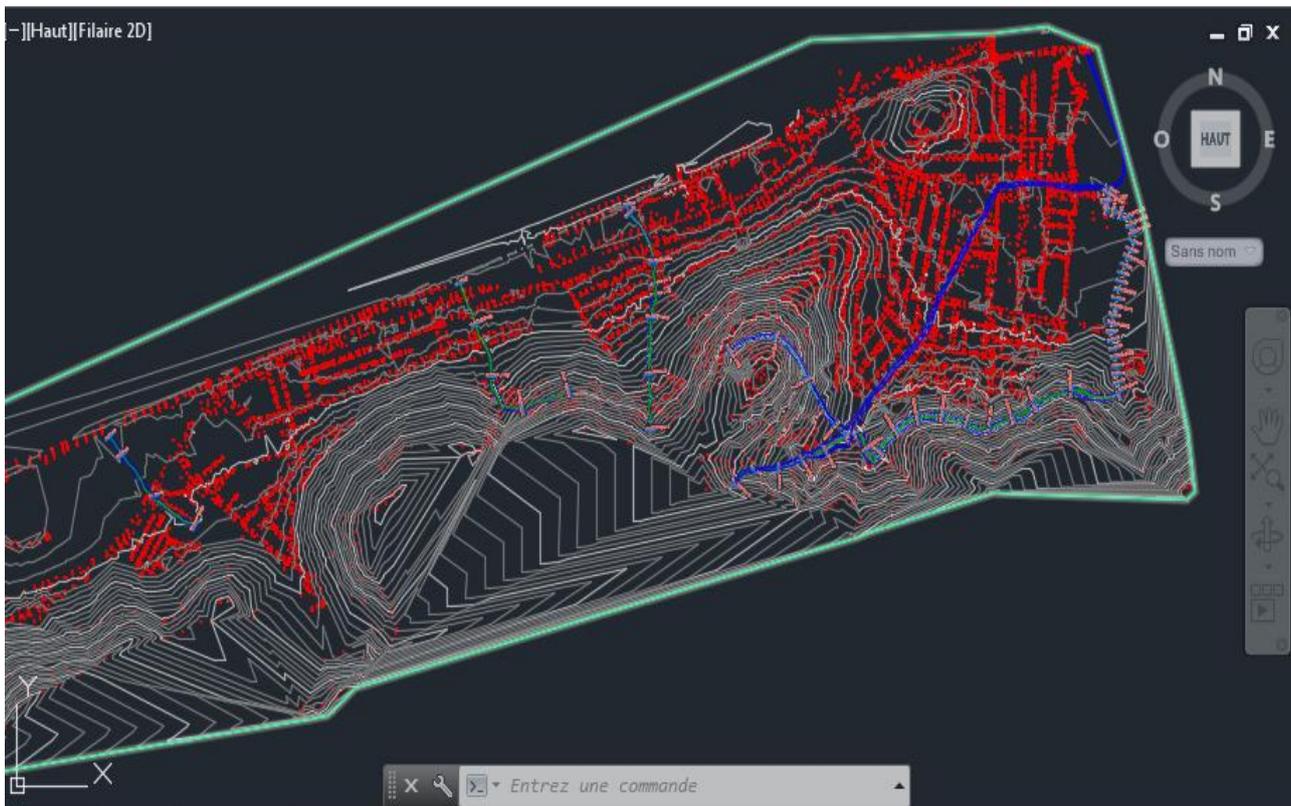
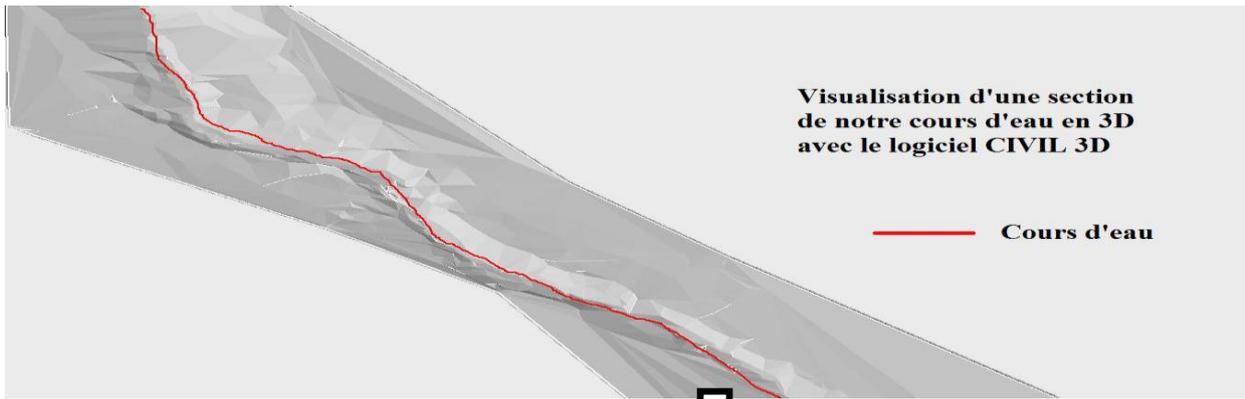


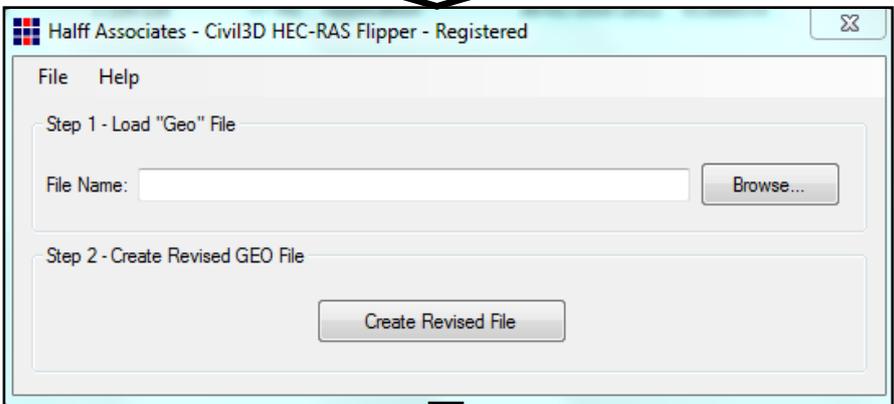
Figure IV.8: Le maillage en tronçons des cours d'eau d'Essarouel.

- Le fichier .géo à présent, ne peut pas être utilisé car il comporte une anomalie. En effet, Le CIVIL 3D suppose que les sections hydrauliques sont de droite à gauche en regardant dans la direction de la station croissante. Nous au tant que hydrauliciens, on suppose qu'une section transversale dans un modèle hydraulique est de gauche à droite en regardant vers l'aval, cela fait que Civil 3D exporte un modèle hydraulique « retourné », selon la nomenclature standard de modélisation HEC-RAS. Pour corriger ce problème et inverser le fichier .géo on fait appel un programme écrit par HALFF Associates nommé « Civil3D ras flipper ».
- Importation du fichier .géo depuis Autocad Civil 3D vers le logiciel de simulation hydraulique HEC-RAS (Le fichier à présent est prêt pour l'utilisation dans le logiciel HEC RAS).

L'ensemble des tâches de cette partie est décrit dans le schéma suivant :



Exportation du fichier .geo vers Civil 3D RAS Flipper pour l'inverser



Exportation du fichier .geo inversé

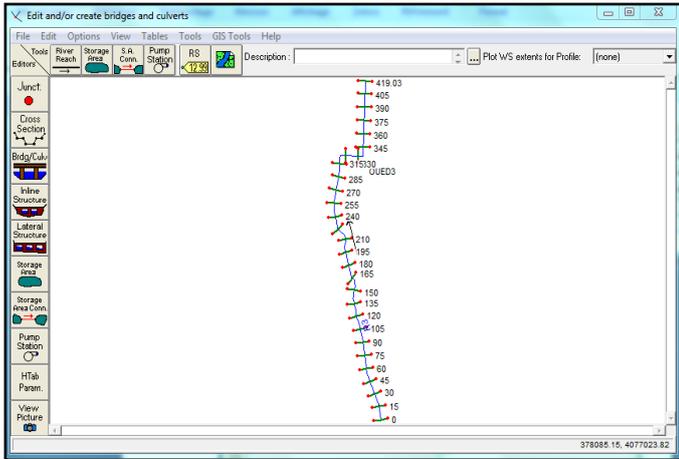


Figure IV.9 : Les différentes étapes pour définir le tracé de nos cours d'eaux.

- Le choix de coefficient de frottement

On se basant sur les informations collectées de la région d'étude et les photos satellitaires de Google Earth. On a va estimer le coefficient de Manning, nous prenons le coefficient de Manning homogène égale à 0.04 (Lit naturel, terrain friable), pour le lit mineur et les berges gauche et droite des affluents pour les deux communes d'Essarouel et d'Oued Ennil.

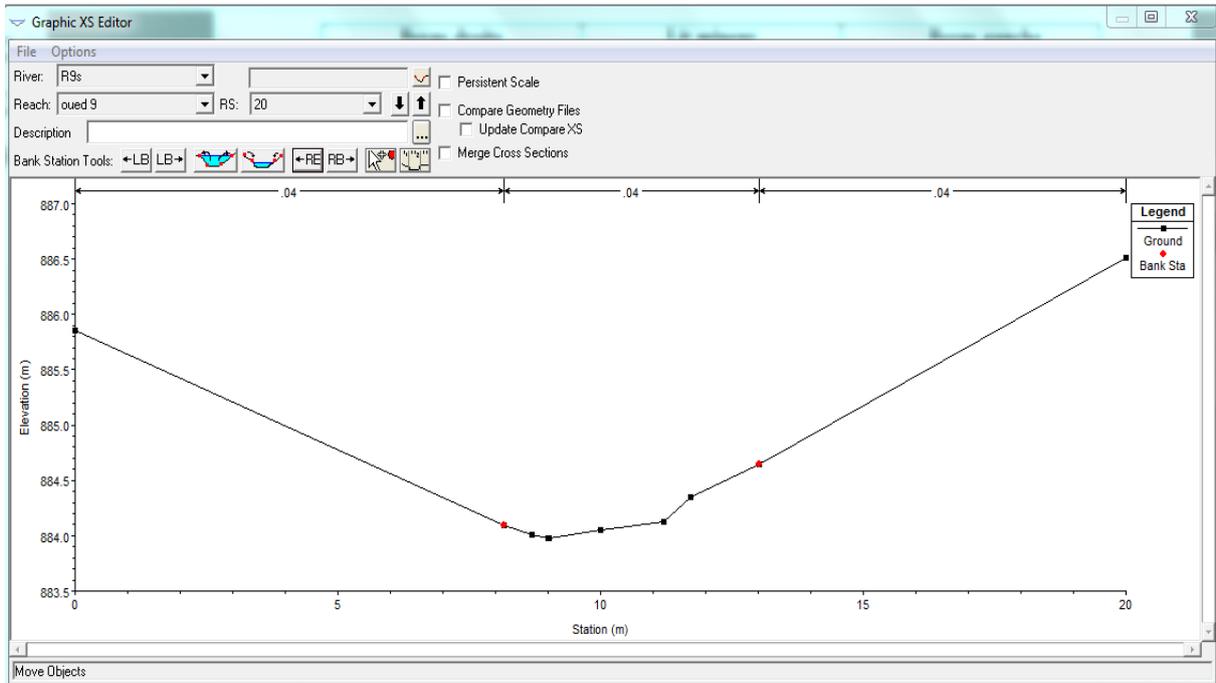


Figure IV.10 : Exemple de section en travers dans HEC-RAS.

4.2. Modélisation de l'écoulement :

La deuxième étape de la modélisation consiste à introduire les données suivantes :

- Un débit à l'entrée ;
- Les conditions aux limites.

Pour les conditions à l'entrée, les débits disponibles ont été présentés dans le chapitre III, quant aux conditions aux limites, nous allons choisir la hauteur critique, puisque on ne dispose pas d'information comme la courbe de débit-hauteur, ou bien de mesures complètes qui pourraient nous permettre d'utiliser les autres alternatives.

Pour ce faire nous allons considérer la crue de la pluie centennale. Les données de débits utilisées sont les suivantes :

Tableau IV.1 : Données de débits d'Oued Ennil.

Affluent	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5
Q (m ³ /s), T=100 ans	0.977	0.891	0.608	0.512	0.798

Tableau IV.2 : Données de débits d'Essarouel.

Affluent	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5	SB6	SB7	SB8	SB9
Q(m ³ /s), T=100ans	8.424	1.546	1.262	3.05	0.179	1.456	0.606	2.066	0.546

4.3. Lancement de la simulation en écoulement uniforme :

La troisième étape du travail consiste à choisir le type du régime pour plusieurs débits simultanément, soit en régime torrentiel, soit en régime fluvial, ou mixte.

Pour notre cas on a supposé un régime mixte et un écoulement uniforme permanent puis on a lancé la simulation pour un débit de 100 ans.

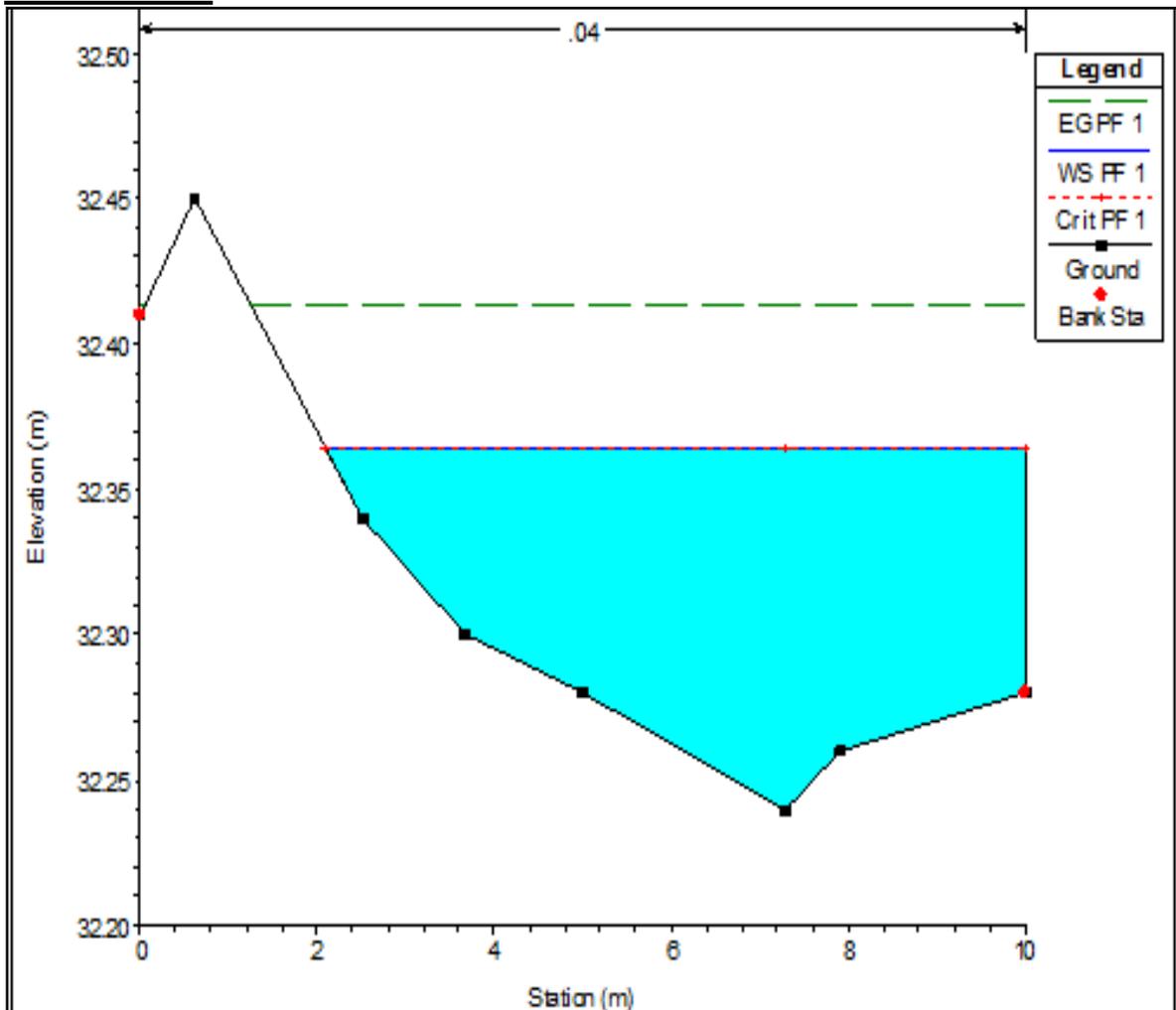
4.4. Visualisation des résultats :

La dernière étape consiste à visualiser les résultats de calcul pour les profils des zones inondables selon le débit considéré et les vitesses d'écoulement ainsi que les lignes d'eau et d'énergie par le logiciel HEC -RAS sous forme de graphe et tableau qui seront illustrés par chaque tronçon dans les figures suivantes :

➤ **Résultat de simulation à l'état naturel (avant l'aménagement) :**

✓ **Oued Ennil :**

- **Cours d'eau 01 :**



FigureIV.11 : Profil en travers 01 D'Oued Ennil.

- Cours d'eau 02 :

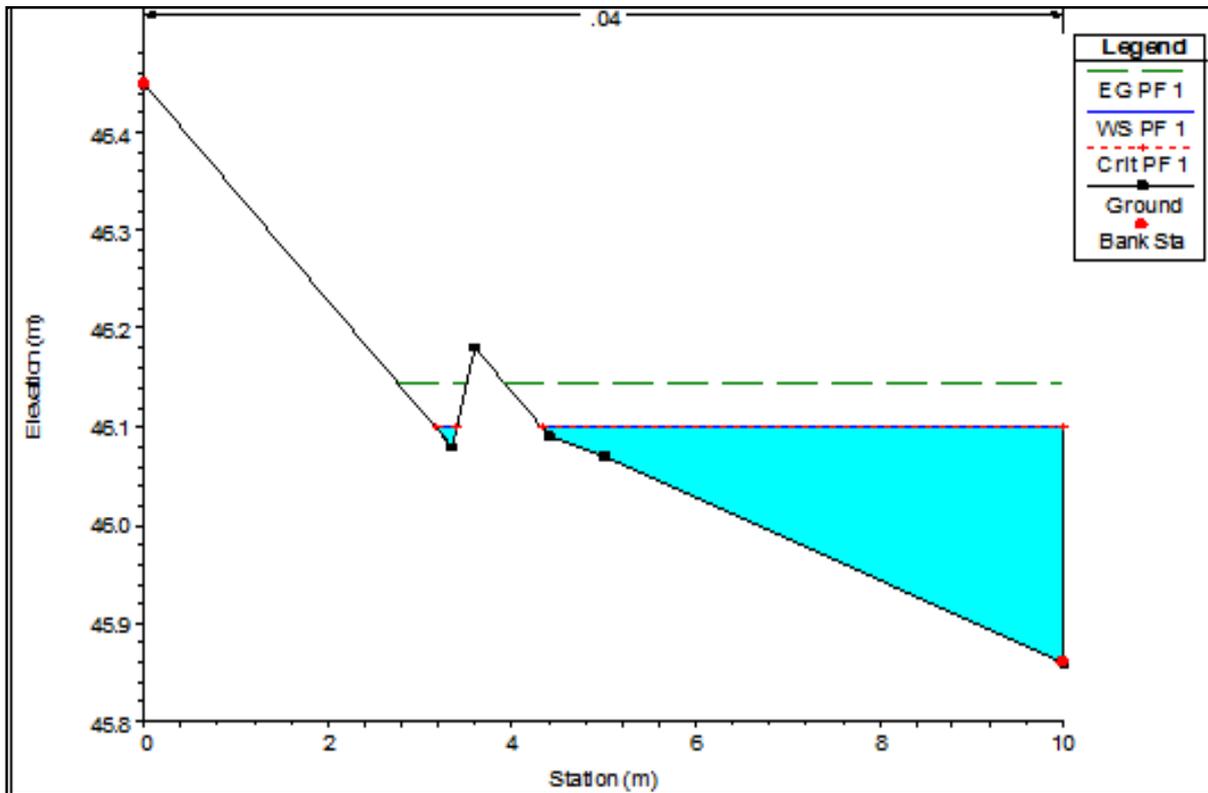


Figure IV.12: Profil en travers 02 D'Oued Ennil .

- Cours d'eau 03 :

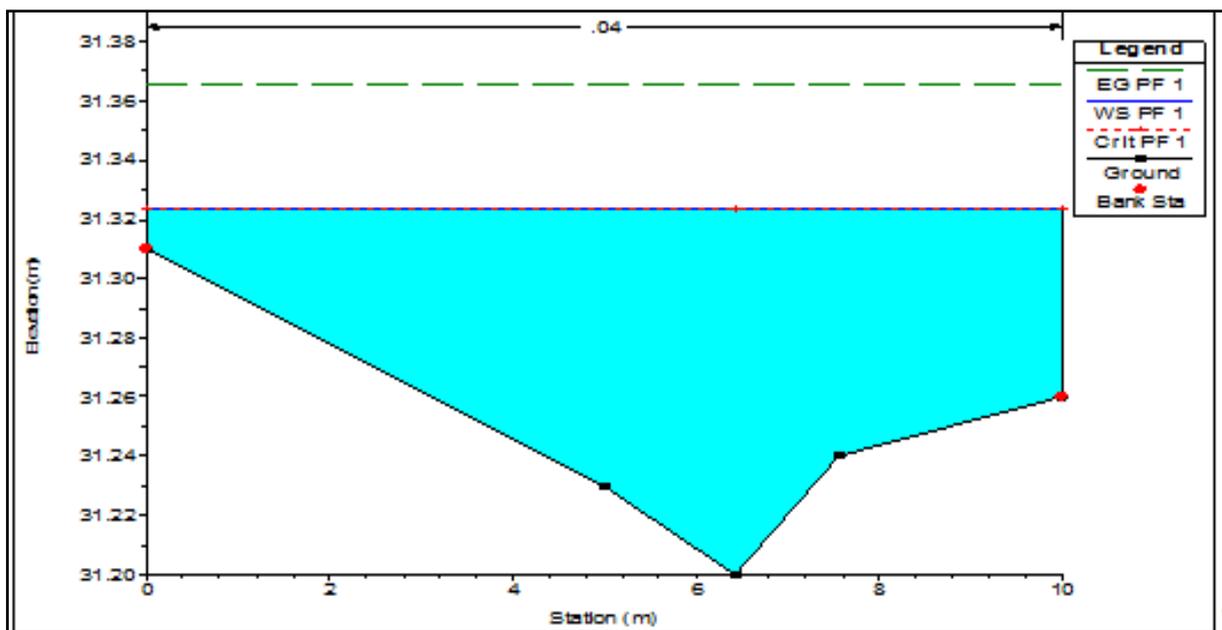


Figure IV.13 : Profil en travers 03 D'Oued Ennil.

- Cours d'eau 04 :

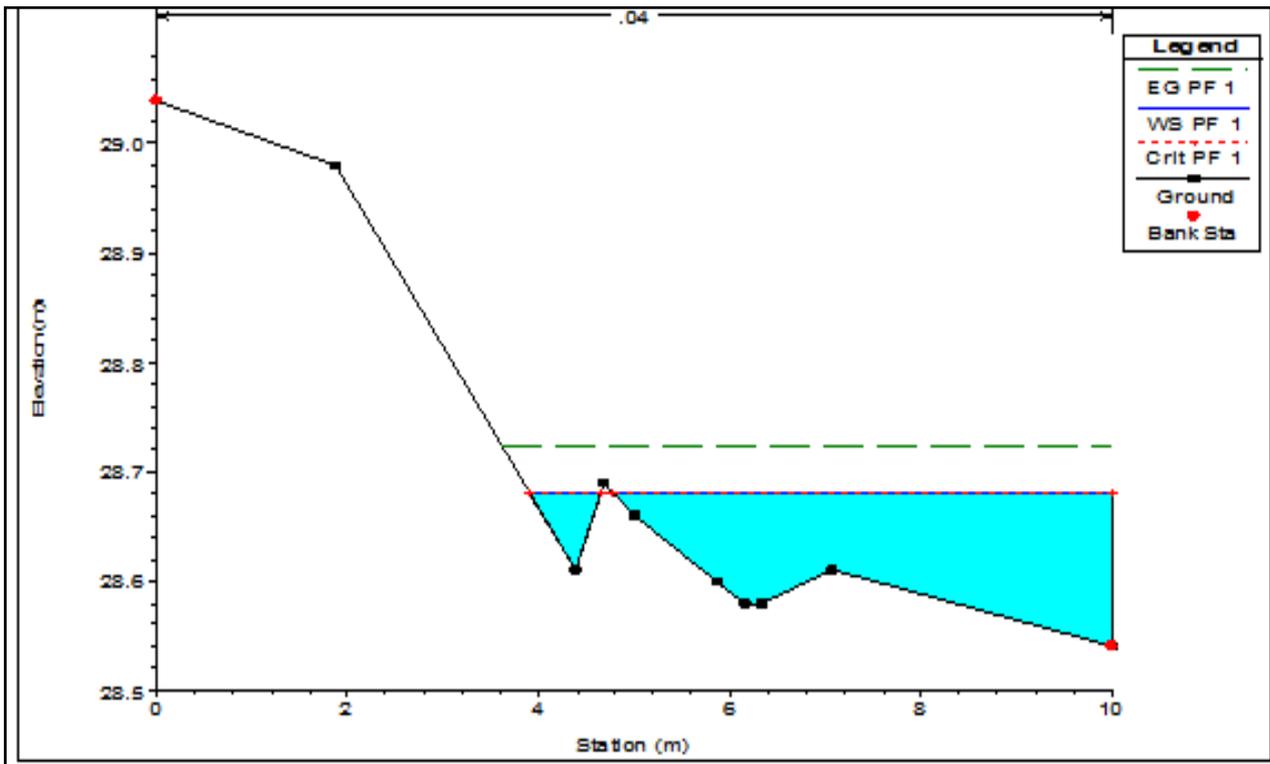


Figure IV.14: Profil en travers 04 D'Oued Ennil.

- Cours d'eau 5 :

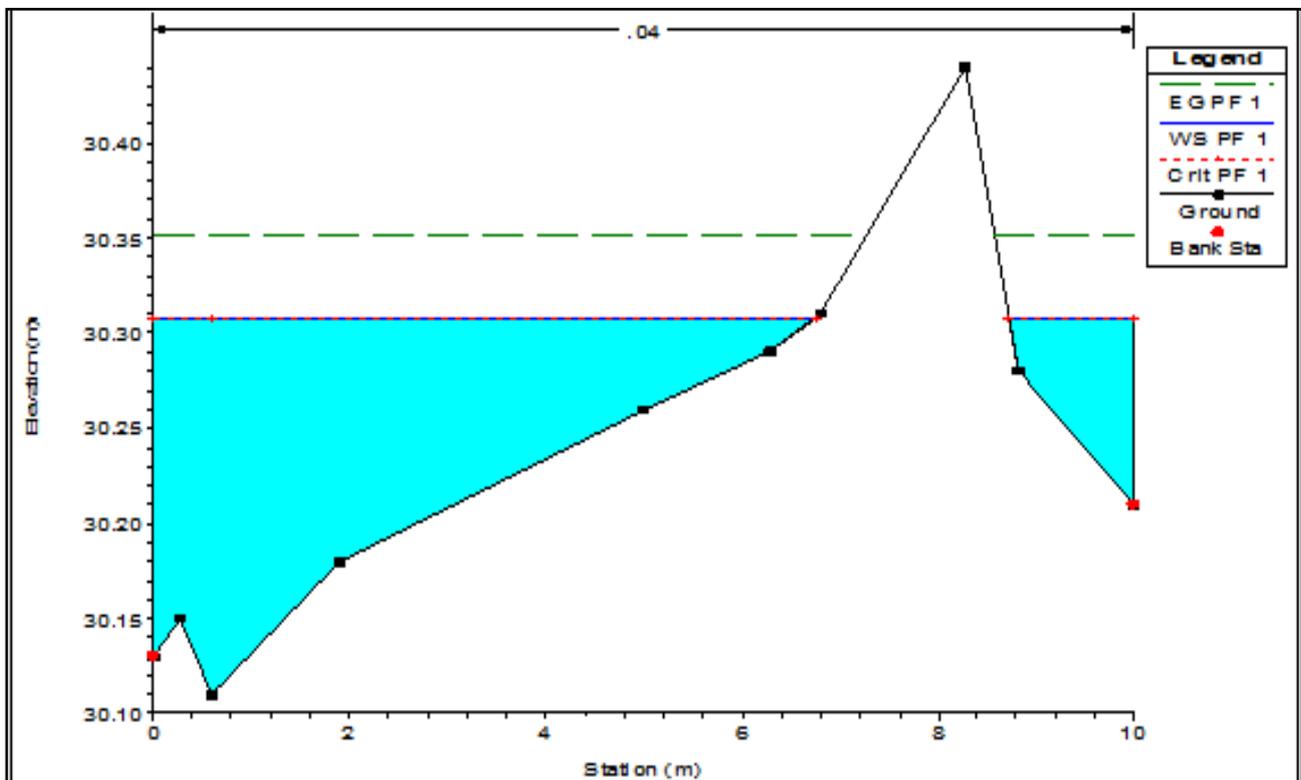


Figure IV.15 : Profil en travers 05 D'Oued Ennil.

✚ Commentaire

D'après les figures ci-dessus et les tableaux représentés en annexes, on remarque que la hauteur d'eau varie dans la plupart des cours d'eau et une fluctuation de vitesse et pente plus ou moins faible en aval. Nous pouvons conclure que sur les parties hautes des tronçons, le lit naturel supporte la crue centennale, or on remarque une stagnation des volumes d'eau dans la partie basse (l'altitude du lit naturel de la rivière < altitude de la ligne d'eau).

Donc nos cours d'eau débordent tout le long de leur parcours dans la ville, et par suite il y a toujours des risques d'inondations des habitations exposées, ce qui nous amène à la détermination des zones vulnérables via la carte d'inondabilité.

✓ **Essarouel :**

- **Cours d'eau 01 :**

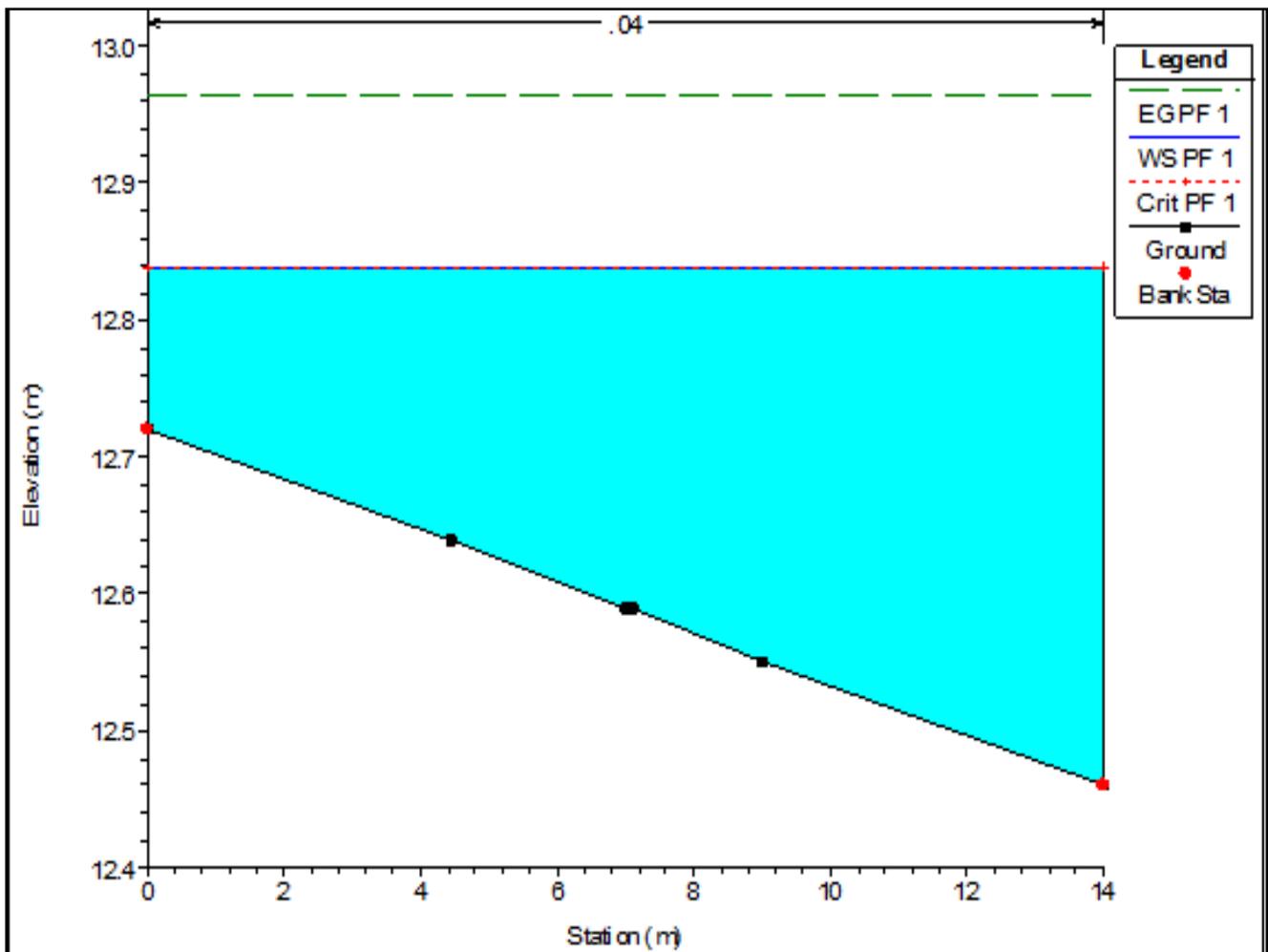


Figure IV.16: Profil en travers 01 D'Essarouel.

- Cours d'eau 02 :

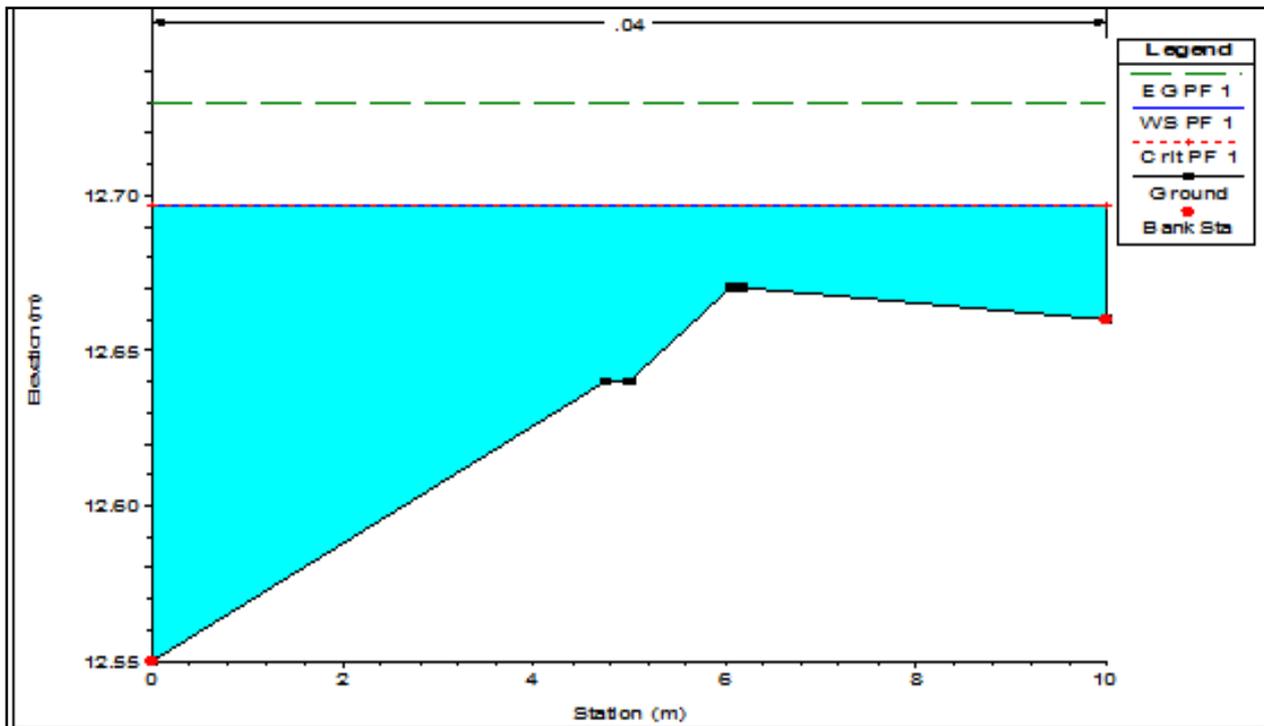


Figure IV.17 : Profil en travers 02 D'Essarouel.

Cours d'eau 03 :

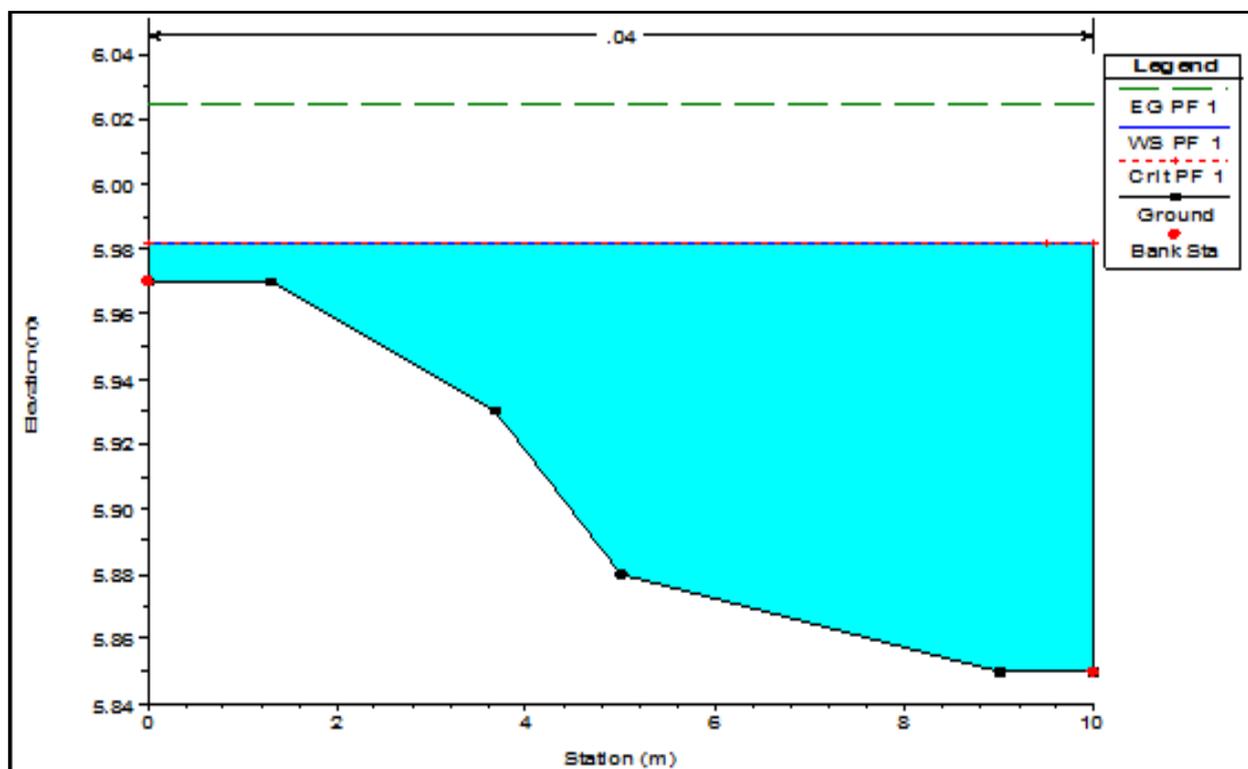


Figure IV.18 : Profil en travers 03 D'Essarouel.

- Cours d'eau 04 :

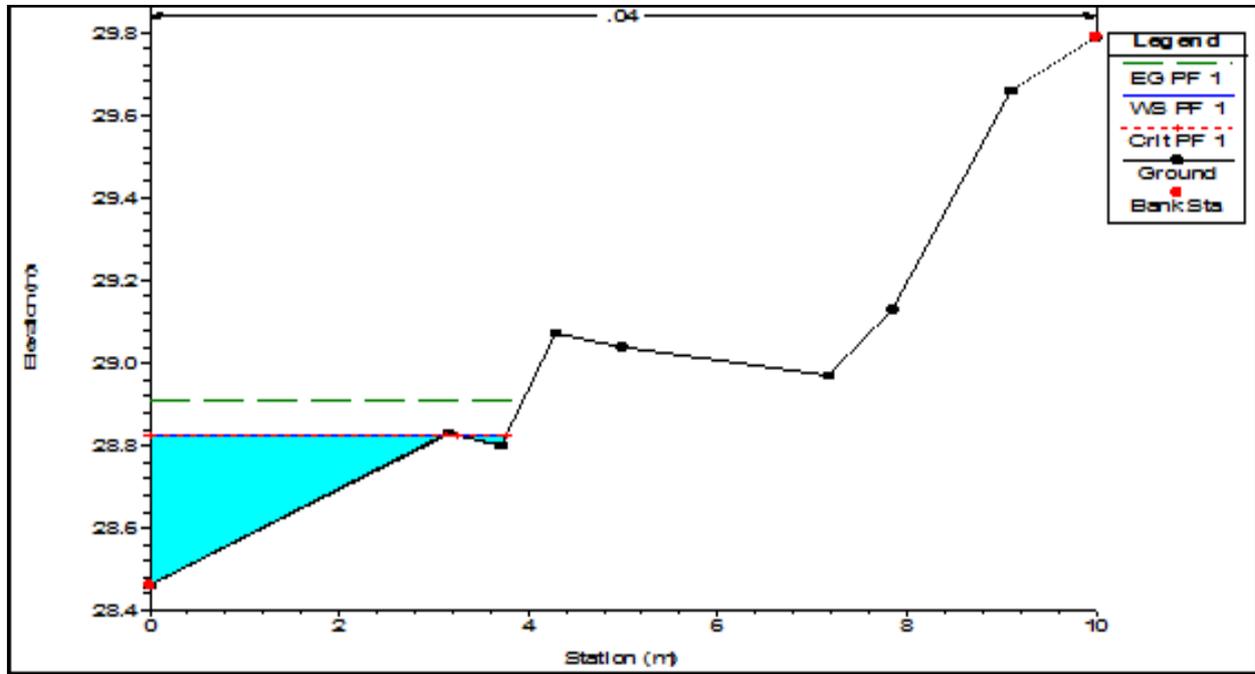


Figure IV.19 : Profil en travers 04 D'Essarouel.

- Cours d'eau 05 :

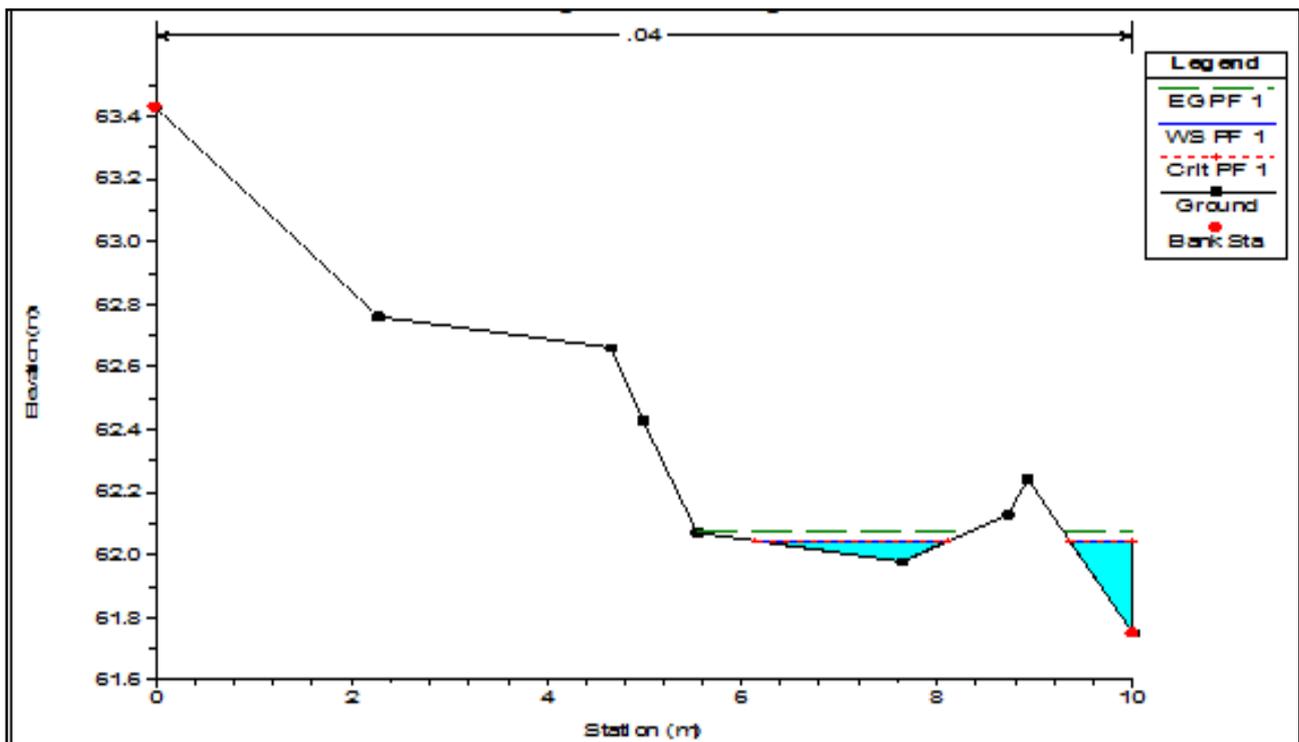


Figure IV.20 : Profil en travers 05 D'Essarouel.

- Cours d'eau 07 :

- Nous avons simulé le cours d'eau 07 et 06 ensemble puisque ils appartiennent au même tronçon.

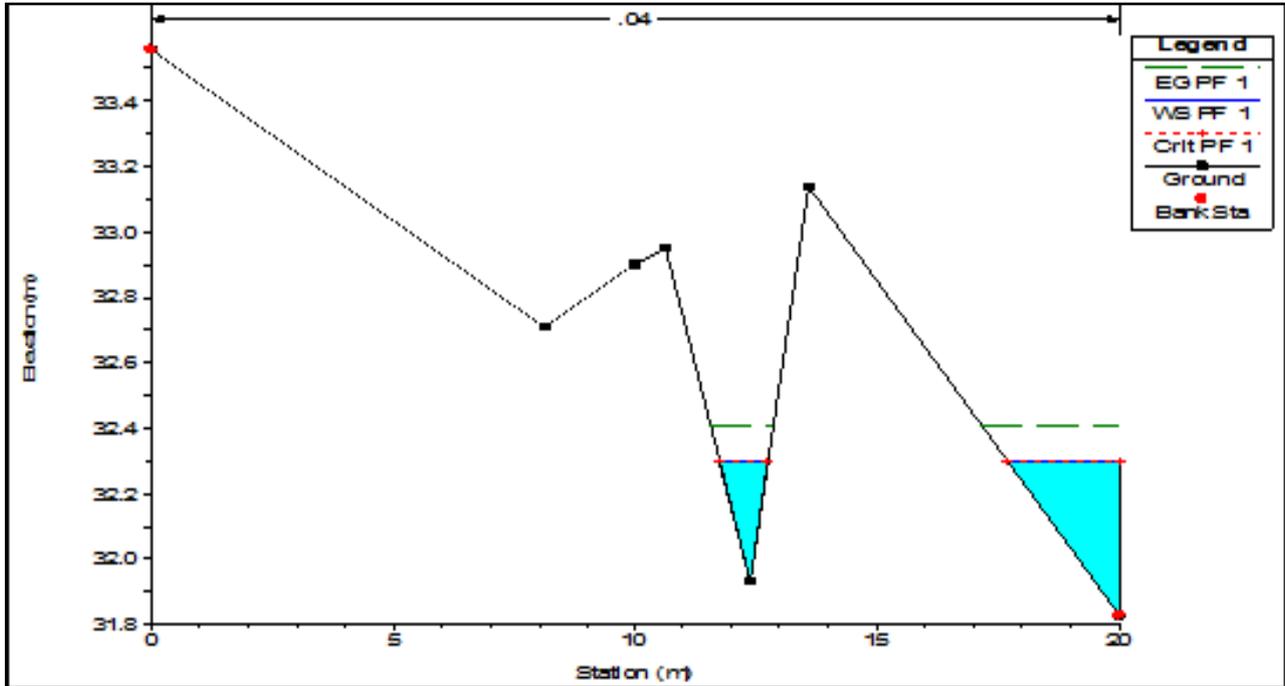


Figure IV.21 : Profil en travers 07 D'Essarouel

- Cours d'eau 08 :

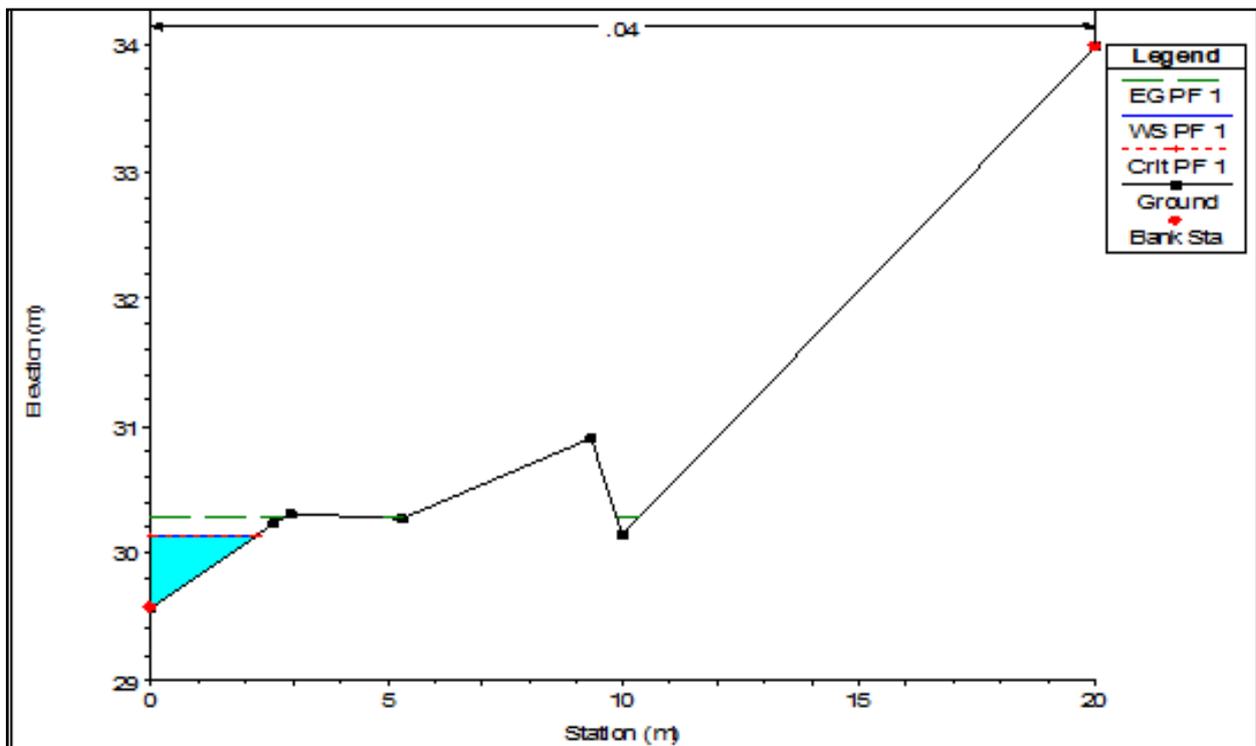


Figure IV.22: Profil en travers 08 D'Essarouel.

- Cours d'eau 09 :

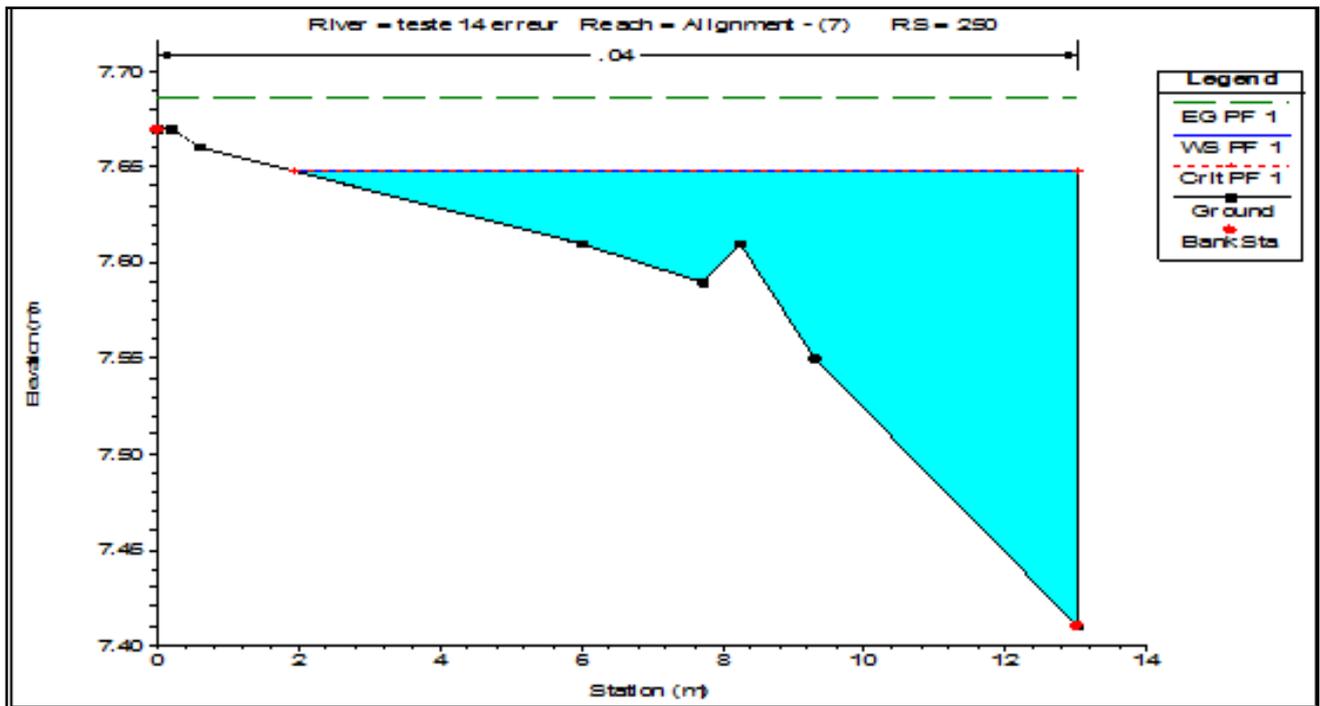


Figure IV.23: Profil en travers 09 D'Essarouel.

✚ Commentaire

D'après les figures citées ci-dessus et les tableaux représentés en annexes, on remarque que la hauteur de niveau d'eau est grande par rapport à la hauteur du lit naturel de la rivière dans la plupart des cours d'eau avec des pentes et vitesses peu faibles en aval. Nous pouvons conclure que le lit naturel des cours d'eau pour la crue centennale cause des débordements provoquant ainsi des risques d'inondations, ce qui constitue un risque économique et social néanmoins pour les habitations exposées à ce risque, ce qui nous amène à la détermination des zones vulnérables via la carte d'inondabilité.

❖ **Justification du choix de la période de retour $T=100$ ans :**

On a choisi la période de retour de $T=100$ ans pour la simulation des cours d'eau pour l'ensemble des deux communes d'Oued Ennil et Essarouel or au niveau de l'Algérie on retient plus souvent la période de retour de $T=50$ ans pour entamer l'aménagement puisque c'est un choix plus économique et faisable dans le terrain naturel c'est-à-dire on élimine la possibilité d'avoir un surdimensionnement des ouvrages hydrotechniques.

Mais dans notre cas il n'y a pas une grande différence pour les résultats de la simulation des cours d'eau entre la période de retour $T=50$ ans et $T=100$ ans et cela pour les deux communes.

La figure ci-dessous montre vivement cette justification :

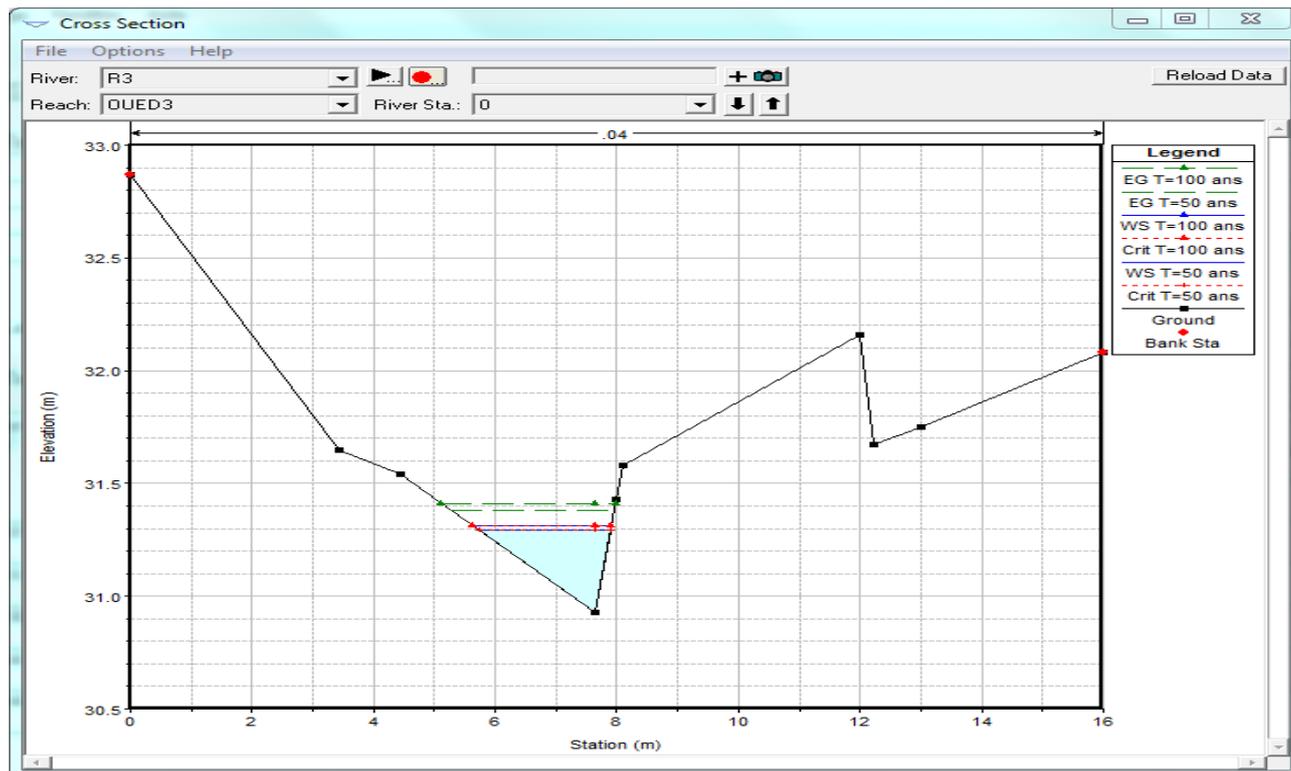


Figure IV.24 : Simulation du cours d'eau pour la période de retour 100 et 50 ans

5. Identification des zones inondables

5.1.Oued Ennil :

La Figure IV.25 permet d'avoir une vue d'ensemble des inondations. Nous pouvons ainsi nous apercevoir que, à première vue, les inondations sont importantes pour la crue centennale.

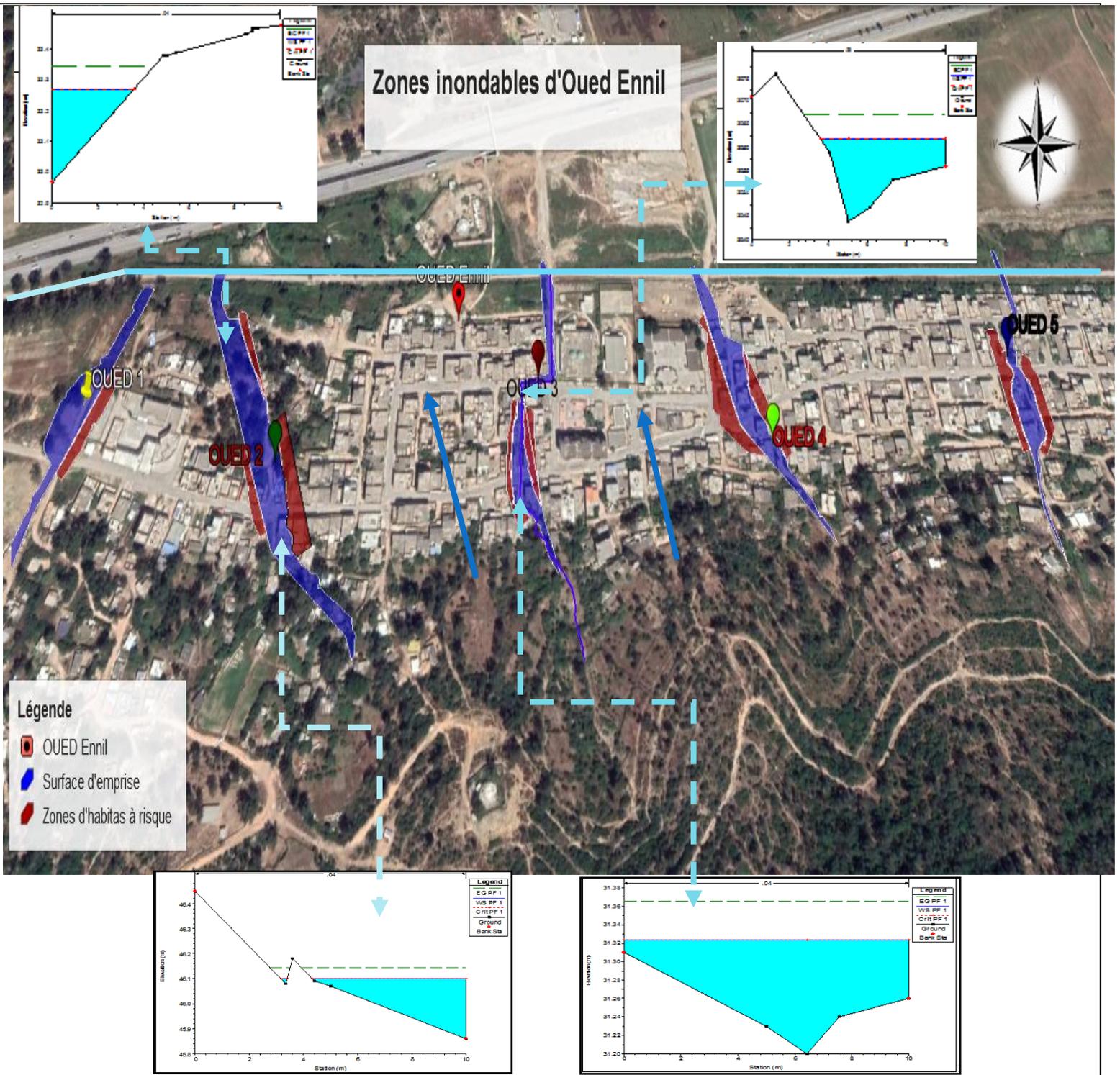


Figure IV.25 : Identification des zones inondables d'Oued Ennil (Google earth).

Commentaire

D'après cette figure (**Figure IV.25**) l'aménagement des cours d'eau d'Oued Ennil sera fait sur toute la longueur du lit naturel pour couvrir toutes les zones inondables.

Il y a des débordements des eaux sur les deux rives d'Oued Ennil à l'aval des cours d'eaux. Cette inondation a plusieurs causes parmi elles on cite ; les cours d'eau sont à section très faibles par endroits ainsi les habitations qui pourraient constituer une barrière à l'écoulement des eaux par un encombrement fort du lit majeur dans cette zone (remblais).

Les habitations situées au près des cours d'eaux juste avant leurs confluence avec Oued Boudjemaa et après la montagne peuvent être inondées pour une crue centennale car ces habitations sont non seulement trop proches des cours d'eau mais aussi ils possèdent un changement brusque de la pente favorisant le ruissèlement et contribuent à l'accumulation des grandes quantités d'eaux dans la partie basse de la commune.

5.2. Essarouel

La Figure IV.26 mis en évidence l'inondation des zones habitées en plusieurs points, et ce, pour la crue centennale. Les zones à risque sont présentées sur la carte des zones inondables jointe.

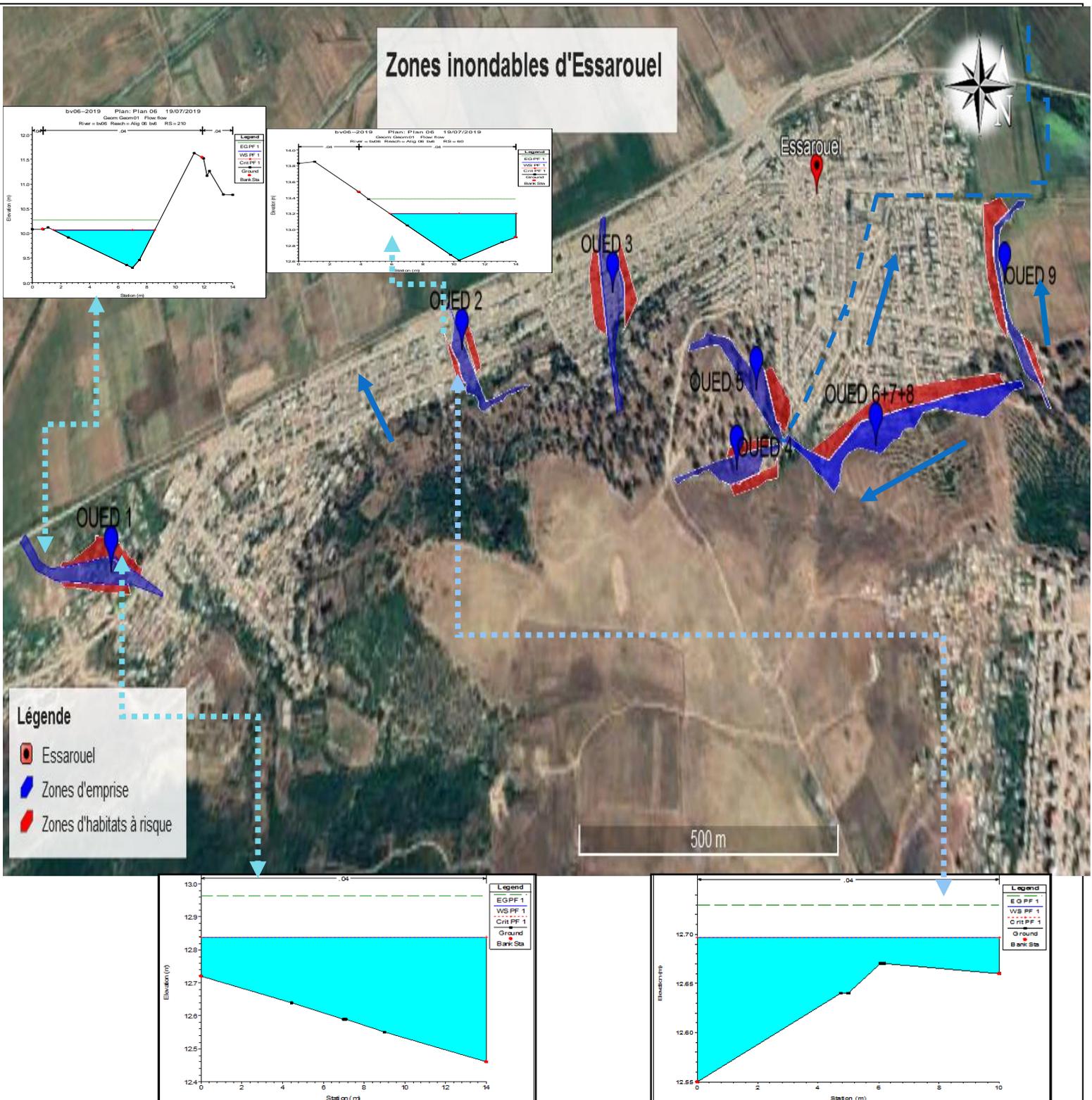


Figure IV.26 : Identification des zones inondables d'Essarouel (google earth)

Commentaire

D'après la figure (**Figure IV.26**) ; à l'amont de la commune d'Essarouel, on observe la présence d'une zone d'habitats située tout au bord du lit de l'Oued Boudjema. Cette zone est fortement inondable par l'oued aux points de confluence avec les cours d'eau qui la traverse avec des vitesses faibles.

Les cours d'eau 1, 2 et 3 d'Essarouel débordent vers des habitations situées à l'aval. Les inondations sont essentiellement dues à un positionnement des constructions trop proches du cours d'eau et à un transport solide fort à l'intérieure de la commune.

On note des inondations en rive gauche des cours d'eau 4, 6, 7 et 8 d'Essarouel ainsi que des débordements en divers endroits. Les causes de ces inondations sont doubles, le lit de l'oued est assez étroit en termes de capacité et les habitations sont construites trop proches de la montagne.

Il existe de nombreuses habitations en bordure du cours d'eau 9 et 5. Celles situées en rive gauche sont particulièrement vulnérables et très proches du lit majeur de la rivière (cours d'eau 9). En effet, si le lit naturel permet de transiter les crues courantes, il n'est pas suffisant pour laisser passer sans contrainte des crues plus importantes, c'est-à-dire la crue centennale. En générant de faibles vitesses et des débordements en différents endroits des cours d'eau.

Conclusion

Ce chapitre nous a permis, d'une part, de modéliser l'écoulement sur les cours d'eaux des deux communes ainsi connaître leur comportement quand ils seront soumis à une crue centennale, d'une part, de localiser les zones envahies par les inondations.

Comme nous avons constaté que la majorité de la surface au voisinage des cours d'eaux a été inondée par la crue centennale.

À ce titre, le prochain chapitre sera consacré à l'étude des aménagements structurels adéquats, pour faire face aux dégâts catastrophes sociales et économiques.

Chapitre V

Etude des variantes d'aménagements pour la protection contre les inondations

Chapitre V : Etude des variantes d'aménagements pour la protection contre les Inondations.

Introduction

La présente étude d'aménagement des cours d'eau d'Oued Ennil et Essarouel devra mettre un terme aux inondations répétées aux lieux habités en l'état actuel du bassin versant.

Dans ce chapitre et une fois que le débit de la crue est déterminé, et après avoir constaté les risques d'inondations générées par la crue centennale on passe à la conception et le dimensionnement des ouvrages de protection suivant des schémas d'aménagement des deux communes qui seront proposés.

Le choix des tracés du chemin d'écoulement est fait de manière à répondre aux normes de sécurité et sans que les constructions avoisinantes ou les terrains agricoles n'en soient affectés et cela en sélectionnant les meilleures solutions d'aménagements réalisables au point de vue technique et économique.

1. Objectif d'aménagement

Les objectifs recherchés dans cette étude d'aménagement sont :

- Améliorer les conditions d'écoulement des eaux superficielles afin d'éviter tout débordement sur les routes et submersion des terres agricoles ;
- Proposer des ouvrages adéquats à l'écoulement des eaux superficielles en période de crue pour protéger le voisinage du cours d'eau du risque d'inondation ;

1.1. Améliorer les conditions d'écoulement des eaux superficielles :

La maîtrise ruissellements est à prendre en compte sur tous le bassin versant, et tous les types d'espaces exposées au risque. Il doit être favorisé les phénomènes d'infiltration au travers la végétation forestière pratiques culturales, et une maîtrise de l'urbanisation et de l'imperméabilisation.

1.2. Augmentation de la capacité du cours d'eau en envisagent plusieurs techniques d'aménagement :

❖ **Le recalibrage des cours d'eau :**

C'est une technique s'appliquant aux tronçons des cours d'eau dont la section est jugée insuffisante, elle permet d'élargir et d'approfondir les sections des cours d'eau pour augmenter leur capacité d'évacuation des eaux et assurer une section mouillée répondant aux critères de protections désirées.

❖ **Curage :**

Il permet une nette amélioration des conditions d'écoulement suite à l'élimination de tous les obstacles et les dépôts entravant l'écoulement des eaux dans le cours d'eau pour diminuer la rugosité et accroître la débitante.

❖ **Reprofilage**

C'est une opération qui consiste en la modification et l'homogénéisation du profil en long du cours d'eau (pente), toujours dans le but d'accroître sa capacité d'évacuation. Autrement dit, le reprofilage consiste à uniformiser la pente du cours d'eau, en modifiant la zonation du profil en long. Cette opération nécessite la suppression de la végétation rivulaire et des embâcles du lit.

❖ **Réalisation des canaux :**

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

❖ **Protection des berges :**

Qui comprend tout ouvrage visant à maintenir la stabilité des terres en dépit de l'action de l'eau. Les berges sont en effet attaquées par des courants perturbateurs générés par les crues. De même, les terres glissent par suite de l'infiltration de l'eau après le retrait de la crue. La protection des berges est également nécessaire au voisinage de certains ouvrages.

2. Proposition d'aménagement

Les eaux des sous bassins N°1 jusqu'à Sb 14, sont des cours d'eau non aménagés avec leurs évacuations vers le milieu récepteur. Pour cela la projection des aménagements est primordiale.

2.1. Oued Ennil :

Les cours d'eau d'Oued Ennil se ressemblent du point de vue direction d'écoulement car tous les cours d'eau prennent naissance à la montagne allant vers le point de rejet Oued Boudjema. Dans ce cas on va proposer de faire l'aménagement pour deux cours d'eau d'Oued Ennil (2 et 3) puisque le même procédé de calcul se répète à chaque fois et cela à partir de la carte des zones inondables (**Figure IV.25**), Dans notre projet on va considérer deux variantes d'aménagement, les mesures à prendre de l'amont vers l'aval de chaque affluent, sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau V.1 : Aménagements des cours d'eau.

Variante	Aménagement
Variante 1	- projection d'un canal Trapézoïdal en béton avec une largeur égale à la largeur moyenne de l'Oued
Variante 2	- projection d'un canal Rectangulaire en béton avec une largeur égale à la largeur moyenne de l'Oued

A. Oued 2

A partir du profil en long généré par HEC RAS on peut constater que le cours d'eau 2 d'Oued Ennil est subdivisé en trois tronçons comme le **Tableau V.2** montre.

Tableau V.2 : Répartitions des tronçons d'aménagement Oued 2 d'Oued Ennil.

Tronçons	Longueurs (m)	Pente (m/m)
1	00-100	0.005
2	100-405	0,0045
3	405-504.33	0,001

A.1. Etude des variantes :

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

A.1.1 Variante N°1 :

a. Canal en béton d'une forme trapézoïdale :

Le calcul se fera par la formule de « Manning Strickler », dont la formulation est la suivante :

$$Q = \frac{1}{n} R_h^{\frac{2}{3}} \cdot S_m \cdot \sqrt{I} \quad \text{V.1}$$

Avec ;

Q : Débit de dimensionnement [m³/s] ;

n : Coefficient de Manning représentant la rugosité pris 0.013 pour le béton ;

I : Pente du canal (m/m) ;

R : Rayon hydraulique ; avec : $R_h = \frac{S_m}{P_m}$ V.2

S_m : Section mouillée du canal (forme trapézoïdale en m²) ; avec : $S_m = (b + m \cdot h) \cdot h$

P_m : Périmètre mouillé, pour une forme trapézoïdale en [m], se calcul ainsi :

$$P_m = b + 2h\sqrt{1 + m^2} \quad \text{V.3}$$

M : Fruit du talus.

b : Largeur en m

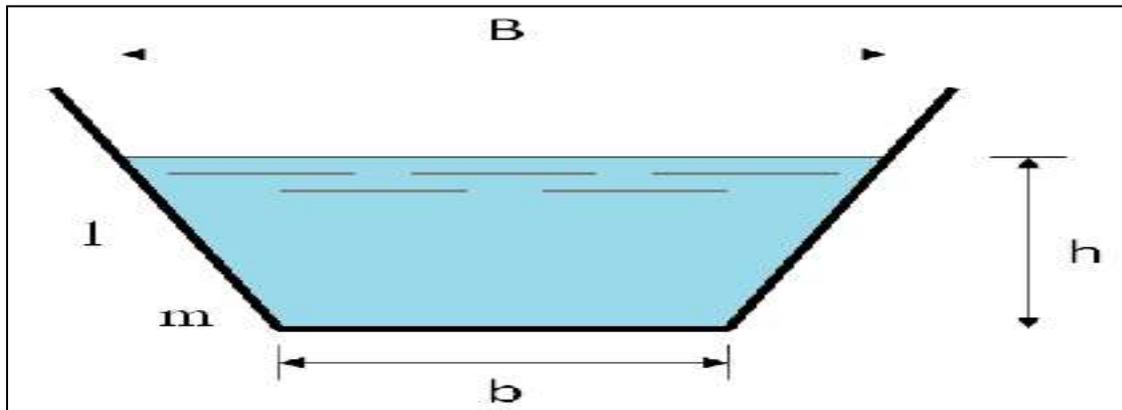


Figure V.1 : Canal à forme trapézoïdale.

Tableau V.3 : Propriétés géométriques d'un canal trapézoïdal

Forme	Section mouillée S	Périmètre mouillée P	Rayon hydraulique	Largeur B
	$(b + m \cdot h) \cdot h$	$b + 2h\sqrt{1 + m^2}$	$\frac{(b + m \cdot h) \cdot h}{b + 2h\sqrt{1 + m^2}}$	$b + 2mh$

Tableau V.4 : Caractéristique de la section optimale cas d'une forme trapézoïdale.

Caractéristique	Base	Fruit de talus	Base	Rayon hydraulique
	$b = f(m, h)$	m	$b = f(h)$	$R = f(h)$
Relation	$2h\sqrt{m^2 + 1} - 2mh$	$1/\sqrt{3}$	$\frac{2}{\sqrt{3}}h$	$\frac{1}{2}h$

En remplaçant les formules du tableau (V.3) dans la formule (V.4):

$$\frac{n \cdot Q}{\sqrt{I}} = \frac{[(b + mh)h]^{5/3}}{[b + 2h\sqrt{1 + m^2}]^{2/3}} \quad \text{V.4}$$

Les termes n, Q, I étant connus, nous procédons à un calcul itératif en fixant b suivant la largeur moyenne du lit naturel et en choisissant a priori un fruit de talus égale à $1/\sqrt{3}$ pour la section avantageuse ou bien $m = 1$ pour la facilité technique de réalisation d'un angle de 45° sur le terrain.

Section avantageuse :Le profil de meilleure conductivité est le profil qui véhicule le débit maximum, pour un canal de pente J_f et de coefficient de rugosité n , la section qui véhicule le débit maximum Q_{max} est celle pour laquelle, le rayon hydraulique R_h est maximal et la section S est minimale.

On fixe La largeur de fond qui est tirée à partir de levé topographique et on procède au calcul itératif, Nous procédons à la variation de h jusqu'à l'obtention d'une égalité entre les deux termes de l'équation précédente. Nous rajouterons à cette hauteur une marge de sécurité (revanche) estimée à $1/4 * h$.

Le Tableau V.5 est obtenu après calculs itératifs :

Tableau V.5 : Dimensions du canal trapézoïdal en béton (Oued 2).

Tronçons	Q (m3/s)	n	M	b (m)	h (m)	I (m\m)
1	0.891	0.013	$1/\sqrt{3}$	0.3	0.7	0.005
2	0.891	0.013	$1/\sqrt{3}$	0.3	0.8	0,0045
3	0.891	0.013	$1/\sqrt{3}$	0.3	1	0,001

A.1.2. Variante N°2 :

a. Canal en béton d'une forme rectangulaire:

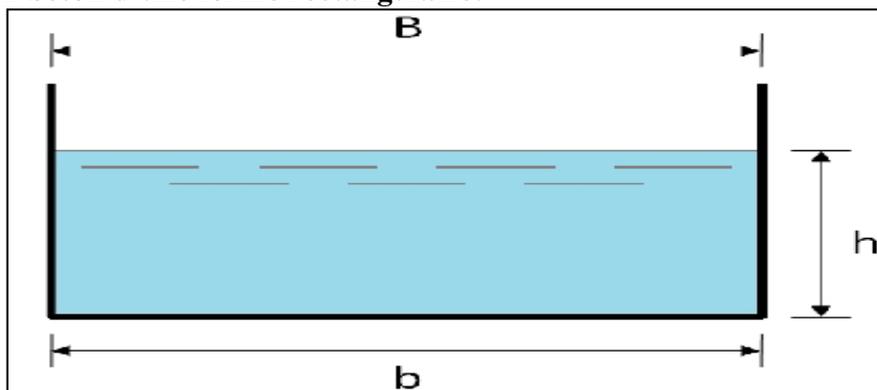


Figure V.2 : Canal à forme rectangulaire.

Avec ;

h : tirant d'eau maximum (pour Q max), en m.

B : La largeur supérieure du canal, en (m).

b : La largeur inférieure du canal, en (m).

B = b parce que m = 0.

- On définit la surface mouillée Sm et le périmètre mouillé Pm par :

$$S_m = h \times b \quad \mathbf{V.5}$$

$$P_m = b + 2xh. \quad \mathbf{V.6}$$

Tableau V.6 : Propriétés géométriques d'un canal rectangulaire.

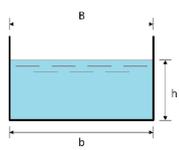
Forme	Largeur, B	Surface, S	Périmètre mouillé, P	Rayon hydraulique, Rh	Profondeur Hydraulique, Dh
	b	b x h	b + 2h	$\frac{b \times h}{b + 2h}$	h

Tableau V.7 : Caractéristique de la section optimale cas d'une forme rectangulaire.

Désignation	Expression
b (m)	2h
S (m ²)	h. b
P (m)	b + 2h = 4h
Rh(m)	$\frac{S}{P} = \frac{h}{2}$

En remplaçant les formules du tableau (V.6) dans la formule (V.7) :

$$\frac{Q \cdot n}{\sqrt{I}} = \frac{(b \cdot h)^{5/3}}{(b + 2h)^{2/3}} \quad \mathbf{V.7}$$

Les termes n, Q, I étant connus, nous procédons à un calcul itératif par la formule de Manning Strickler en fixant b suivant la largeur moyenne du lit naturel.

Le Tableau V.2 est obtenu après calculs itératifs :

Tableau V.8 : Dimensions du canal rectangulaire en béton (Oued 2).

Tronçons	Q (m3/s)	n	b (m)	h (m)	I (m/m)
1	0.891	0.013	1	0.5	0.005
2	0.891	0.013	1	0.6	0,0045
3	0.891	0.013	1	0.8	0,001

A partir de logiciel HEC-RAS on peut visualiser les sections après aménagement, la Figure V.3 montre les sections du tronçon 3 on remarque bien que la section supporte la crue centennale

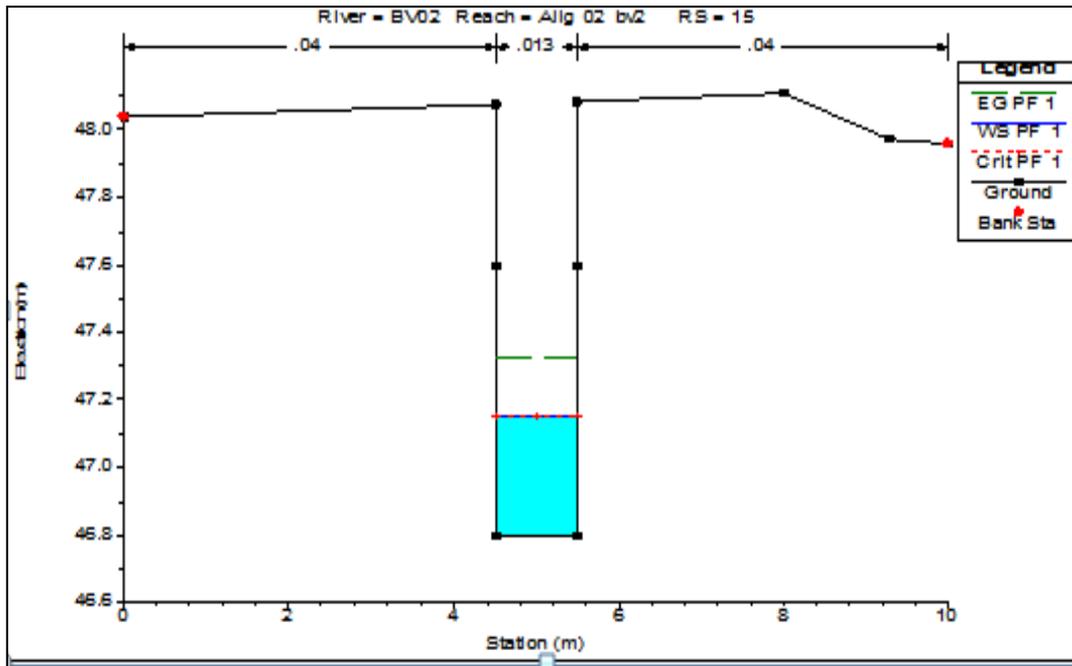


Figure V.3 : Sections aménagée rectangulaire tronçon 3 du cours d'eau 2 Oued Ennil

Ainsi pour la galerie trapézoïdale on voit quelle supporte aussi la crue de la période de retour centennale

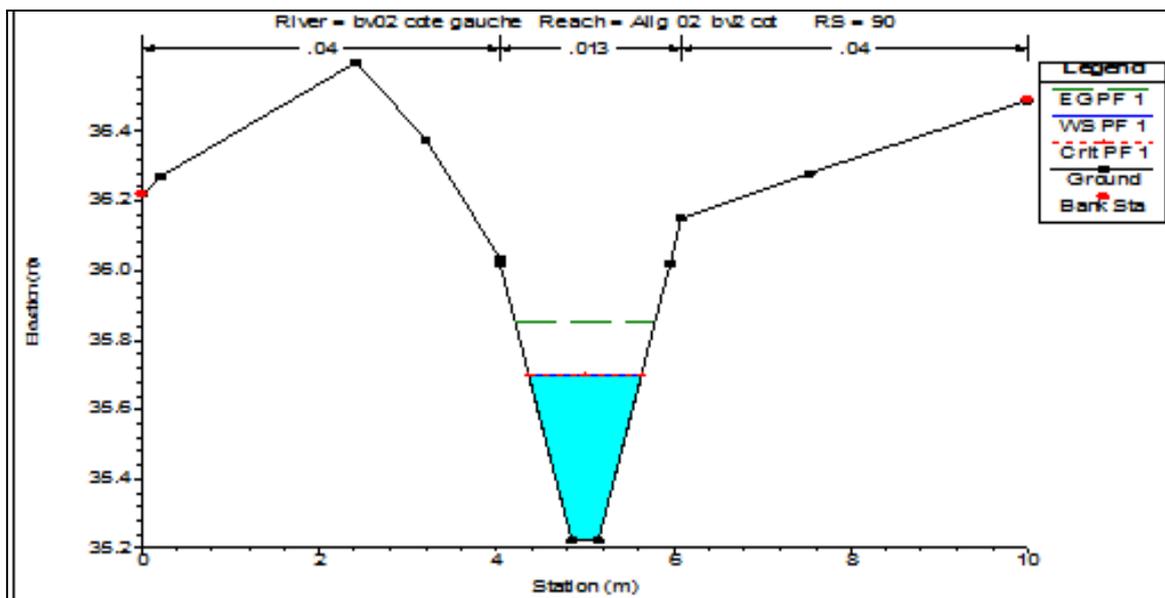


Figure V.4 : Sections aménagée trapézoïdale tronçon 3 du cours d'eau 2 Oued Ennil

B. Oued 3

A partir du profil en long généré par HEC RAS on peut constater que le cours d'eau 3 d'Oued Ennil est subdivisé en deux tronçons comme le **Tableau V.9** montre.

Tableau V.9 : Répartitions des tronçons d'aménagement (Oued 3) d'Oued Ennil.

Tronçons	Longueurs (m)	Pente (m/m)
1	00-100	0.0025
2	100-260	0,0006

B.1. Etude des variantes :

B.1.1. variante N°1 :

a. Canal en béton d'une forme trapézoïdale :

Le Tableau V.10 est obtenu après calculs itératifs :

Tableau V.10 : Dimensions du canal trapézoïdal en béton (Oued 3).

Tronçons	Q (m3/s)	n	M	b (m)	h (m)	I (m\m)
1	0.608	0.013	$1/\sqrt{3}$	0.6	0.5	0.0025
2	0.608	0.013	$1/\sqrt{3}$	0.6	0.8	0,0006

B.2.2. variante N°2 :

a. Canal en béton d'une forme rectangulaire:

Le Tableau V.11 est obtenu après calculs itératifs :

Tableau V.11 : Dimensions du canal rectangulaire en béton (Oued 3).

Tronçons	Q (m3/s)	n	b (m)	h (m)	I (m\m)
1	0.608	0.013	1	0.5	0.0025
2	0.608	0.013	1	0.8	0,0006

A partir de logiciel HEC-RAS on peut visualiser les sections après aménagement, les Figures V.5 et V.6 montrent les sections du tronçon 2 pour les deux variantes, on remarque bien que la section supporte la crue centennale.

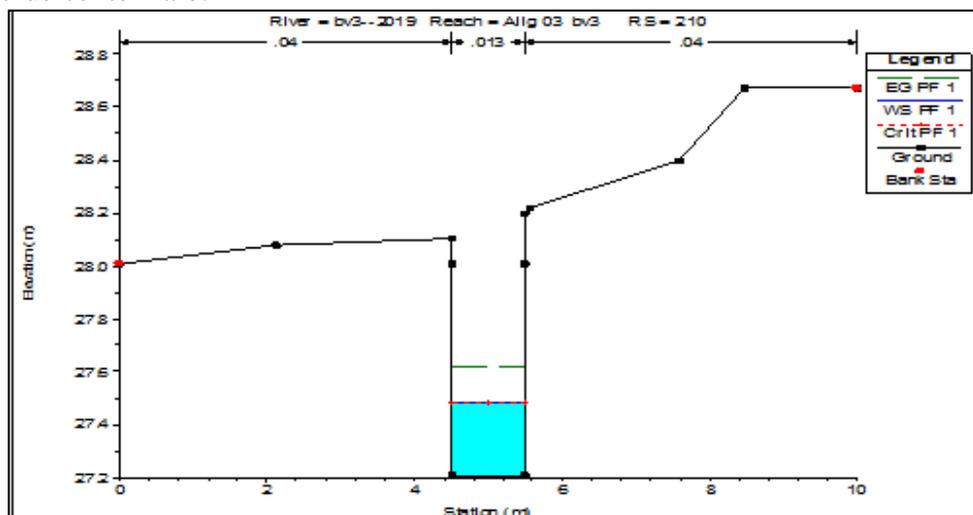


Figure V.5: Sections aménagée rectangulaire tronçon 2 du cours d'eau 3 Oued Ennil

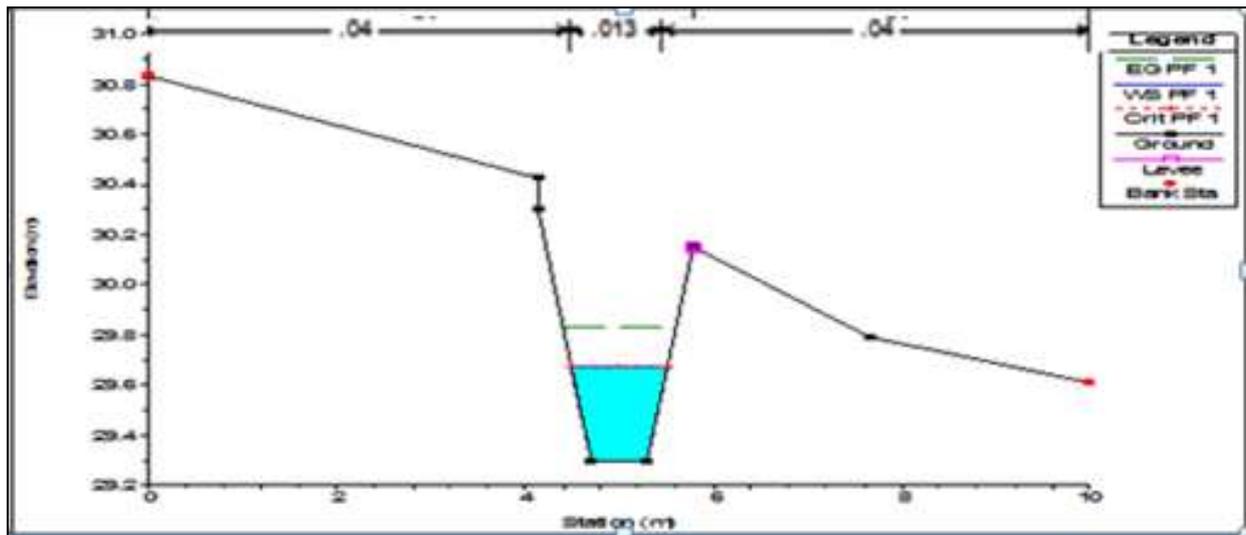


Figure V.6: Sections aménagée trapézoïdale tronçon 2. du cours d'eau 3 Oued Ennil.

2.2. Essarouel

A partir de la carte des zones inondables (Figure IV.26), on va proposer de faire l'aménagement pour les cours d'eau d'Essarouel (1, 2, 3, 5, 7,9).

Dans notre projet on va considérer deux variantes d'aménagement, les mesures à prendre de l'amont vers l'aval de chaque affluent, sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau V.12 : Aménagements des cours d'eau.

Variante	Aménagement
Variante 1	- Projection d'un canal en béton avec une largeur égale à la largeur moyenne de l'oued.
Variante 2	-Projection d'un canal rectangulaire en béton avec une largeur égale à la largeur moyenne de l'Oued.

A. Oued 1

Les deux variantes seront projetées à l'amont vers l'aval en traversent la ville sous un pont. A partir du profile en long générer par HEC RAS on peut constater que le cours d'eau 1 d'Essarouel est composé d'un tronçon comme le Tableau V.13 montre.

Tableau V.13 : Répartitions des tronçons d'aménagement de l'Oued 1 d'Essarouel.

Tronçons	Longueurs (m)	Pente (m/m)
1	00-241.65	0,001

A.1. Etude des variantes

A.1.1. variante N°1 :

a. Canal en béton d'une forme trapézoïdale :

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

Tableau V.14 : Dimensions du canal trapézoïdal en béton (Oued 1).

Tronçons	Q (m ³ /s)	n	M	b (m)	h (m)	I (m\m)
1	8.424	0.013	1/√3	3	1.5	0.001

A.1.2. variante N°2 :

a. Canal en béton d'une forme rectangulaire :

Après calculs itératifs on obtient le tableau suivant :

Tableau V.15 : Dimensions du canal rectangulaire en béton (Oued 1).

Tronçons	Q (m ³ /s)	n	b (m)	h (m)	I (m\m)
1	8.424	0.013	6	1.5	0,001

A partir de logiciel HEC-RAS on peut visualiser les sections après aménagement, la Figure V.7 montre les sections du tronçon 1 on remarque bien que la section supporte la crue de centennale.

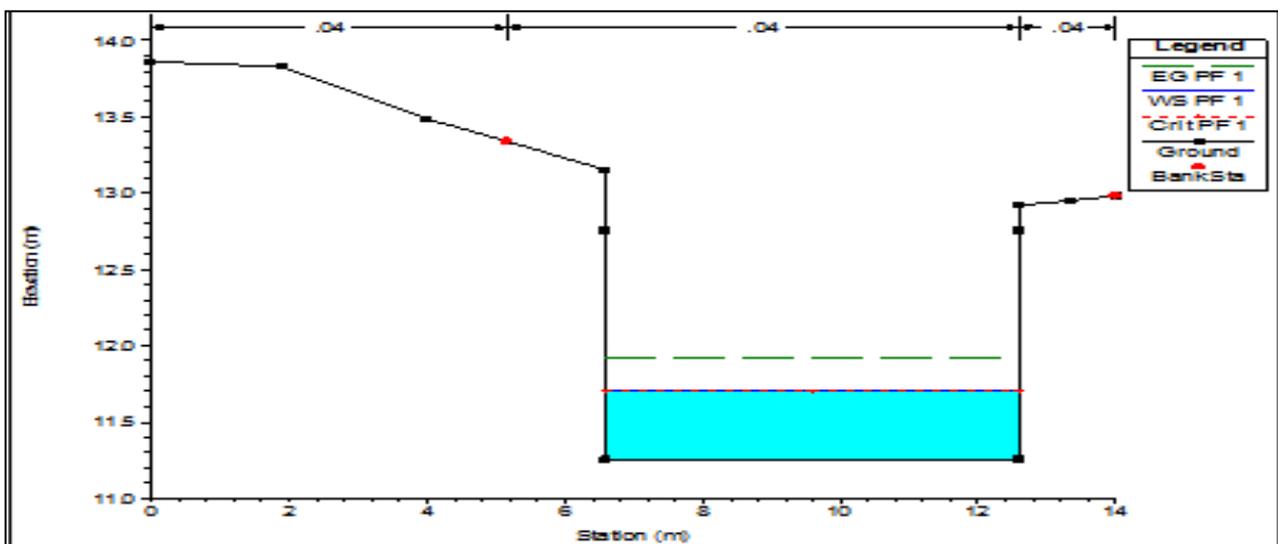


Figure V.7 : Section aménagée rectangulaire tronçon 1 du cours d'eau 1 Essarouel

La Figure V.8 montre que la section trapézoïdale assure une bonne évacuation de la crue centennale.

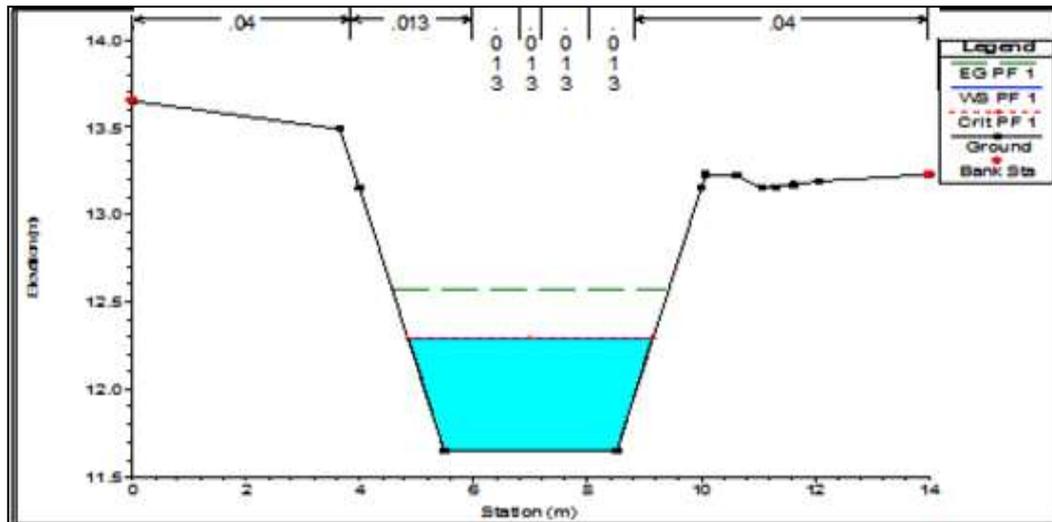


Figure V.8 : Section aménagée trapézoïdale tronçon 1 du cours d'eau 1 Essarouel

B. Oued 2

Les deux premières variantes seront projetées de l'amont vers l'aval.

A partir du profil en long généré par HEC RAS on peut constater que le cours d'eau 2 d'Essarouel est composé de deux tronçons comme le **Tableau V.16** montre.

Tableau V.16 : Répartitions des tronçons d'aménagement (Oued 2) d'Essarouel.

Tronçons	Longueurs (m)	Pente (m/m)
1	00-250	0,01
2	250-420	0.002

B.1. Etude des variantes

B.1.1 variante N°1 :

a. Canal en béton d'une forme trapézoïdale :

On fixe la largeur de la base b puis on calcule la hauteur qui puisse évacuer le débit de crue. Les dimensions du canal sont calculées à l'aide de la formule de Manning Strickler dont le tableau suivant récapitule les résultats de calcul :

Tableau V.17 : Dimensions du canal trapézoïdal en béton (Oued 2).

Tronçons	Q (m ³ /s)	n	M	b (m)	h (m)	I (m/m)
1	1.546	0.013	$1/\sqrt{3}$	0.6	0.6	0.01
2	1.546	0.013	$1/\sqrt{3}$	0.6	1	0.002

B.1.2. variante N°2 :

a. Canal en béton d'une forme rectangulaire :

Le Tableau V.18 est obtenu après calculs itératifs :

Tableau V.18 : Dimensions du canal rectangulaire en béton (Oued 2).

Tronçons	Q (m ³ /s)	n	b (m)	h (m)	I (m/m)
1	1.546	0.013	1	0.6	0,01
2	1.546	0.013	1	1	0.002

A partir du logiciel HEC-RAS on peut visualiser les sections après aménagement, la Figure V.9 montre la section du tronçon 2 on remarque bien que la section supporte la crue de centennale.

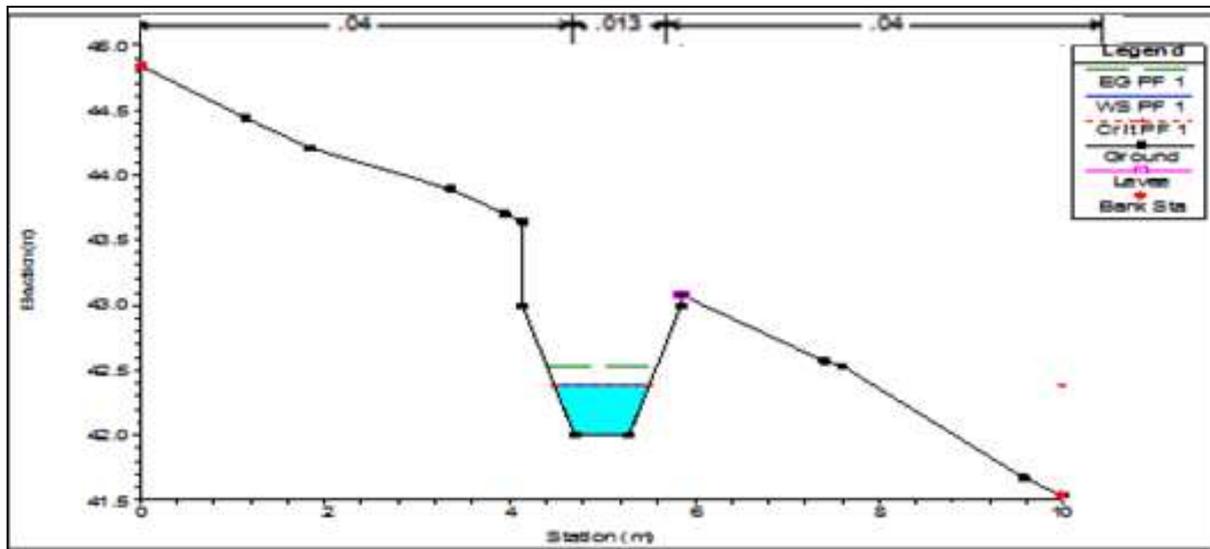


Figure V.9 : Section aménagée trapézoïdale tronçon 2 du cours d'eau 2 Essarouel

La galerie rectangulaire assure une évacuation du crue donc pas de risque d'inondation sur les habitations au voisinage de cette galerie (Figure V.10).

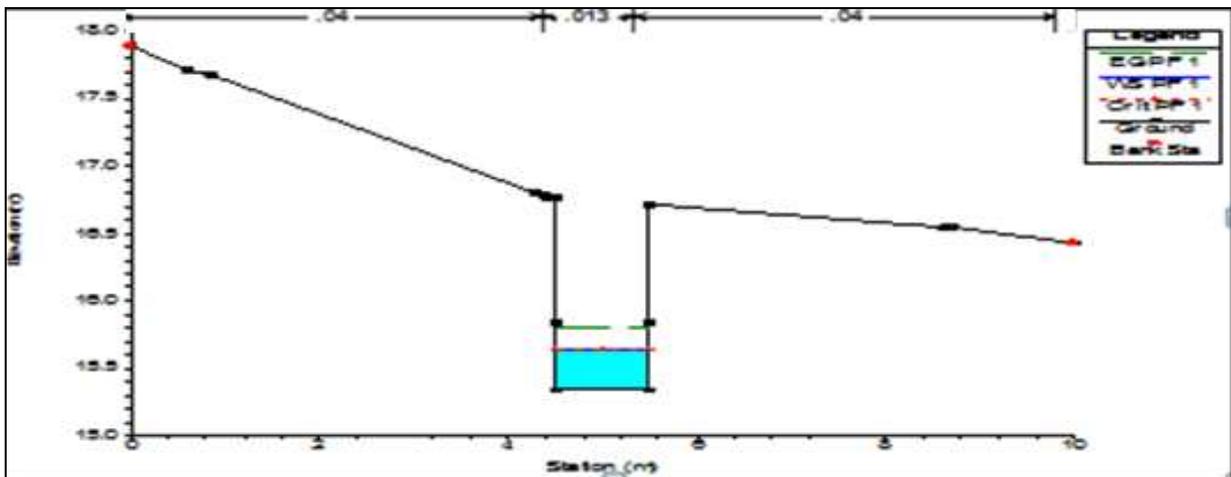


Figure V.10 : Section aménagée rectangulaire tronçon 2 du cours d'eau 2 Essarouel

C. Oued 3

Les deux variantes à réaliser seront projetées de l'amont vers l'aval en traversant la ville par une buse allant au le milieu récepteur.

A partir du profile en long générer par HEC RAS on peut constater que le cours d'eau 3 d'Essarouel est composé de deux tronçons comme le **Tableau V.19** montre.

Tableau V.19 : Répartitions des tronçons d'aménagement Oued 3 d'Essarouel.

Tronçons	Longueurs (m)	Pente (m/m)
1	00-100	0,001
2	100-260	0.0002

C.1. Etude des variantes

C.1.1. variante N°1 :

a. Canal en béton d'une forme trapézoïdale :

Le Tableau V.20 est obtenu après calculs itératifs :

Tableau V.20 : Dimensions du canal trapézoïdal en béton (Oued 3).

Tronçons	Q (m³/s)	n	M	b (m)	h (m)	I (m/m)
1	1.262	0.013	1/√3	1	0.8	0.001
2	1.262	0.013	1/√3	1	1	0.0002

C.1.2. variante N°2 :

a. Canal en béton d'une forme rectangulaire.

Le Tableau V.21 est obtenu après calculs itératifs :

Tableau V.21 : Dimensions du canal rectangulaire en béton (Oued 3).

Tronçons	Q (m³/s)	n	b (m)	h (m)	I (m/m)
1	1.262	0.013	3	0.6	0,001
2	1.262	0.013	3	1.5	0.0002

A partir de logiciel HEC-RAS on peut visualiser les sections après aménagement, les Figures V.11 et V.12 montrent les sections du tronçon 2 on remarque bien que la section supporte la crue centennale.

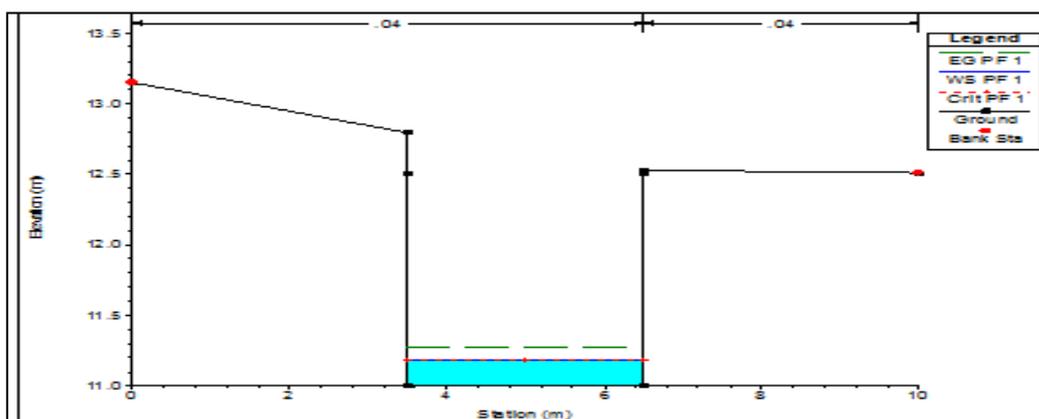


Figure V.11 : Section aménagée rectangulaire tronçon 2 du cours d'eau 3 Essarouel

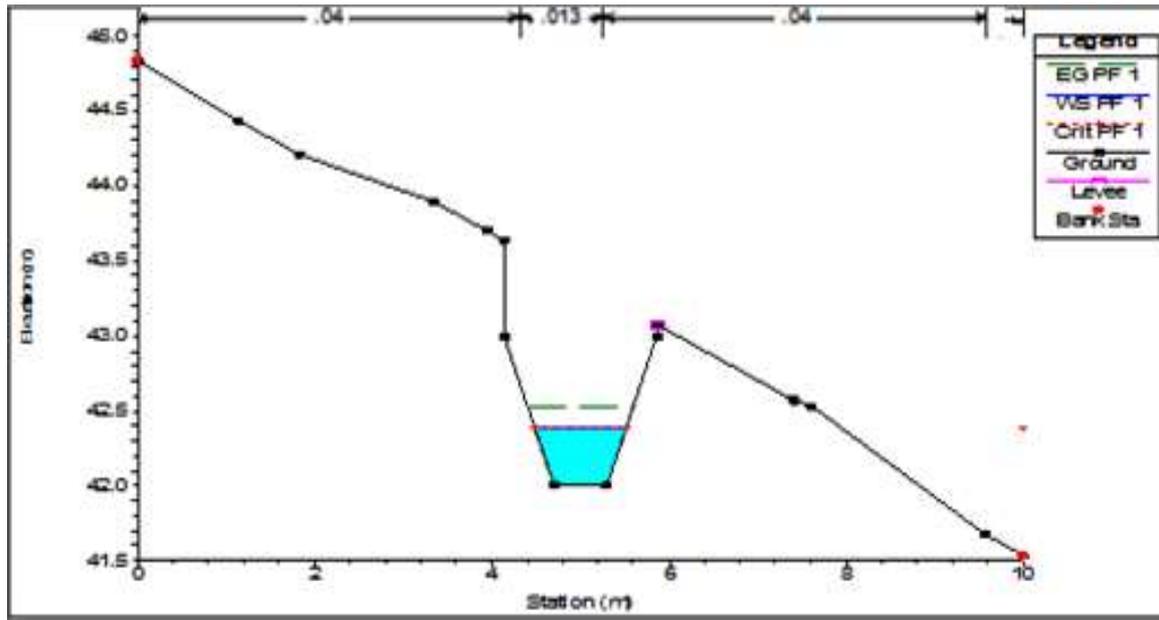


Figure V.12 : Section aménagée trapézoïdale tronçon 2 du cours d'eau 3 Essarouel

D. Oued 5

A partir du profil en long généré par HEC RAS on peut constater que le cours d'eau 5 d'Essarouel est composé de deux tronçons comme le **Tableau V.22** montre.

Tableau V.22 : Répartitions des tronçons d'aménagement (Oued 5) d'Essarouel.

Tronçons	Longueurs (m)	Pente (m/m)
1	00-180	0,006
2	180-259.17	0.001

D.1. Etude des variantes

D.1.1. variante N°1 :

a. Canal en béton d'une forme trapézoïdale :

On fixe la largeur de la base b puis on calcule le nombre la hauteur qui puisse évacuer le débit de crue.

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

Tableau V.23 : Dimensions du canal trapézoïdal en béton (Oued 5).

Tronçons	Q (m ³ /s)	n	M	b (m)	h (m)	I (m/m)
1	0.179	0.013	$1/\sqrt{3}$	1	0.3	0.006
2	0.179	0.013	$1/\sqrt{3}$	1	0.5	0.001

D.1.2. variante N°2 :

a. Canal en béton d'une forme rectangulaire.

Le Tableau V.24 est obtenu après calculs itératifs :

Tableau V.24 : Dimensions du canal rectangulaire en béton (Oued 5).

Tronçons	Q (m ³ /s)	n	b (m)	h (m)	I (m/m)
1	0.179	0.013	1	0.4	0,006
2	0.179	0.013	1	0.5	0.001

A partir de logiciel HEC-RAS on peut visualiser les sections après aménagement, les Figures V.13 et V.14 montrent les sections du tronçon 2, on remarque bien que la section supporte la crue centennale.

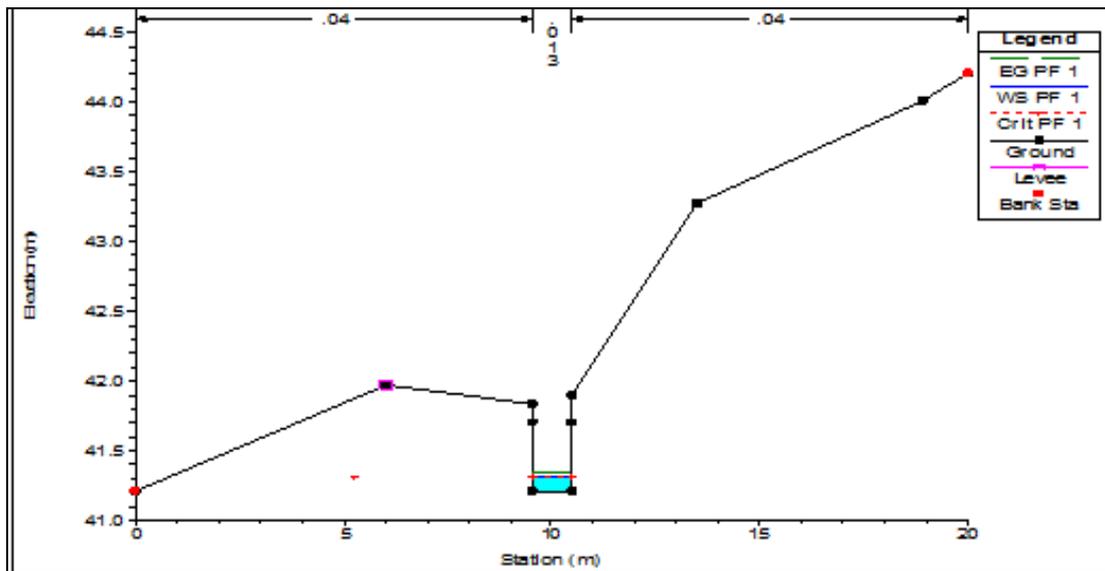


Figure V.13 : Section aménagée rectangulaire tronçon 2 du cours d'eau 5 Essarouel

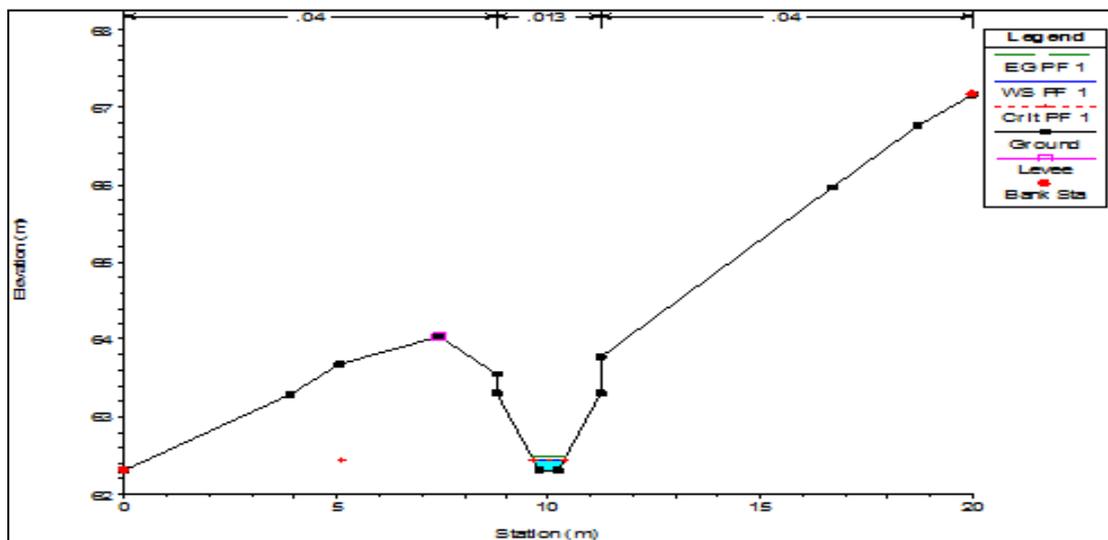


Figure V.14 : Section aménagée trapézoïdale tronçon 2 du cours d'eau 5 Essarouel

E. Oued 7

A partir du profile en long généré par HEC RAS on peut constater que le cours d'eau 7 d'Essarouel est subdivisé en 3 tronçons comme le **Tableau V.25** montre.

Tableau V.25 : Répartitions des tronçons d'aménagement Oued 7 d'Essarouel.

Tronçons	Longueurs (m)	Pente (m/m)
1	00-100	0,022
2	100-360	0.01
3	360-438.21	0.001

E.1. Etude des variantes

E.1.1. variante N°1 :

a. Canal en béton d'une forme trapézoïdale:

On fixe la largeur de la base b puis on calcul la hauteur qui puisse évacuer le débit de crue. Le Tableau V.26 est obtenu après calculs itératifs :

Tableau V.26 : Dimensions du canal trapézoïdal en béton (Oued7).

Tronçons	n	M	b (m)	h (m)	I (m\m)
1	0.013	0.57	0.6	0.6	0,022
2	0.013	0.57	0.6	0.8	0.01
3	0.013	0.57	0.6	1.28	0.001

E.1.2. variante N°2 :

a. Canal en béton d'une forme rectangulaire.

Le Tableau V.27 est obtenu après calculs itératifs :

Tableau V.27 : Dimensions du canal rectangulaire en béton (Oued 7).

Tronçons	n	b (m)	h (m)	I (m\m)
1	0.013	3	0.6	0,022
2	0.013	3	0.7	0.01
3	0.013	3	1.5	0.001

A partir de logiciel HEC-RAS on peut visualiser les sections après aménagement, la Figure V.15 et V.16 montrent les sections du tronçon3, on remarque bien que la section supporte la crue centennale.

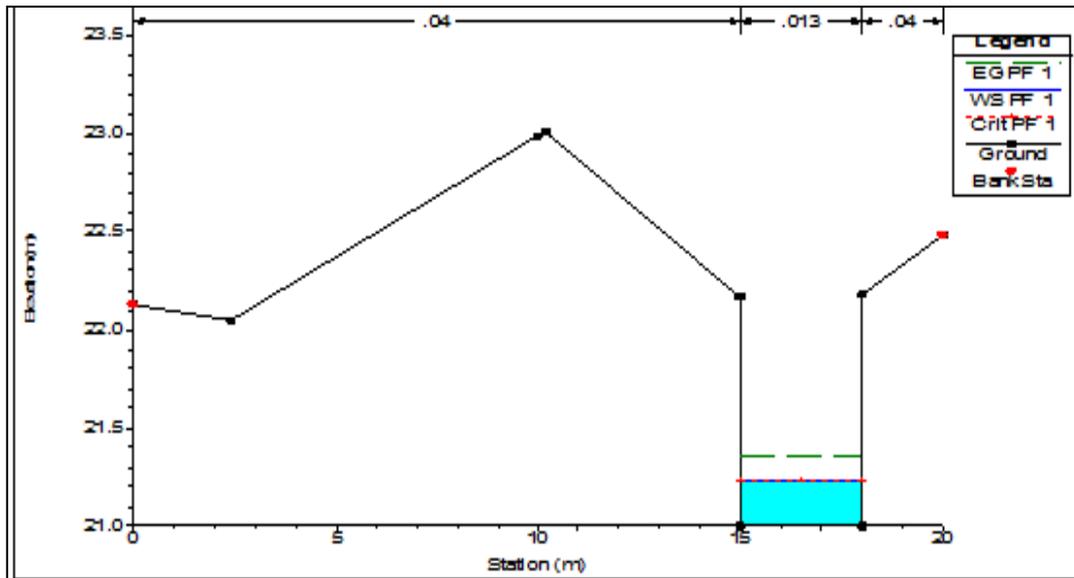


Figure V.15 : Section aménagée rectangulaire tronçon 3 du cours d'eau 7 Essarouel

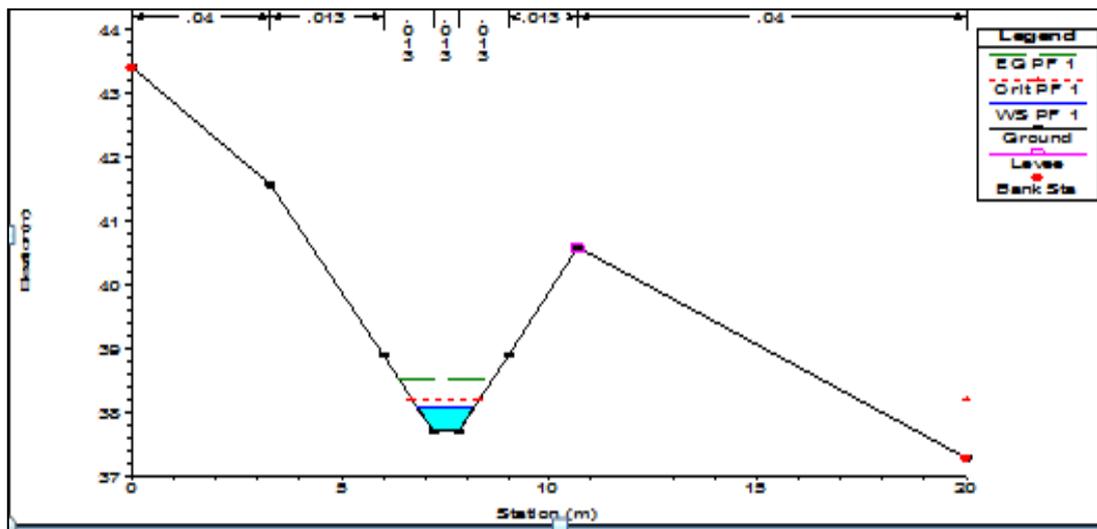


Figure V.16 : Section aménagée trapézoïdale tronçon 3 du cours d'eau 7 Essarouel

F. Oued 9

A partir du profil en long généré par HEC RAS on peut constater que le cours d'eau 9 d'Essarouel est subdivisé en deux tronçons comme le **Tableau V.28** montre.

Tableau V.28 : Répartitions des tronçons d'aménagement Oued 9 d'Essarouel.

Tronçons	Longueurs (m)	Pente (m/m)
1	00-200	0,002
2	200-419.6	0.00025

F.1. Etude des variantes :

F.1.1. variante N°1 :

a. Canal en béton d'une forme trapézoïdale :

Le Tableau V.28 est obtenu après calculs itératifs :

Tableau V.29 : Dimensions du canal trapézoïdal en béton (Oued 9).

Tronçons	Q (m ³ /s)	n	M	b (m)	h (m)	I (m\m)
1	0.546	0.013	0.57	0.5	0.7	0,002
2	0.546	0.013	0.57	0.5	1	0.00025

F.1.2. variante N°2 :

a. Canal en béton d'une forme rectangulaire.

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

Tableau V.30 : Dimensions du canal en rectangulaire en béton (Oued 9).

Tronçons	Q (m ³ /s)	n	b (m)	h (m)	I (m\m)
1	0.546	0.013	2	0.5	0,002
2	0.546	0.013	2	1	0.00025

A partir de logiciel HEC-RAS on peut visualise les sections après aménagement, la Figure V.17 et V.18 montrent les sections du tronçon 2, on remarque bien que la section supporte la crue centennale.

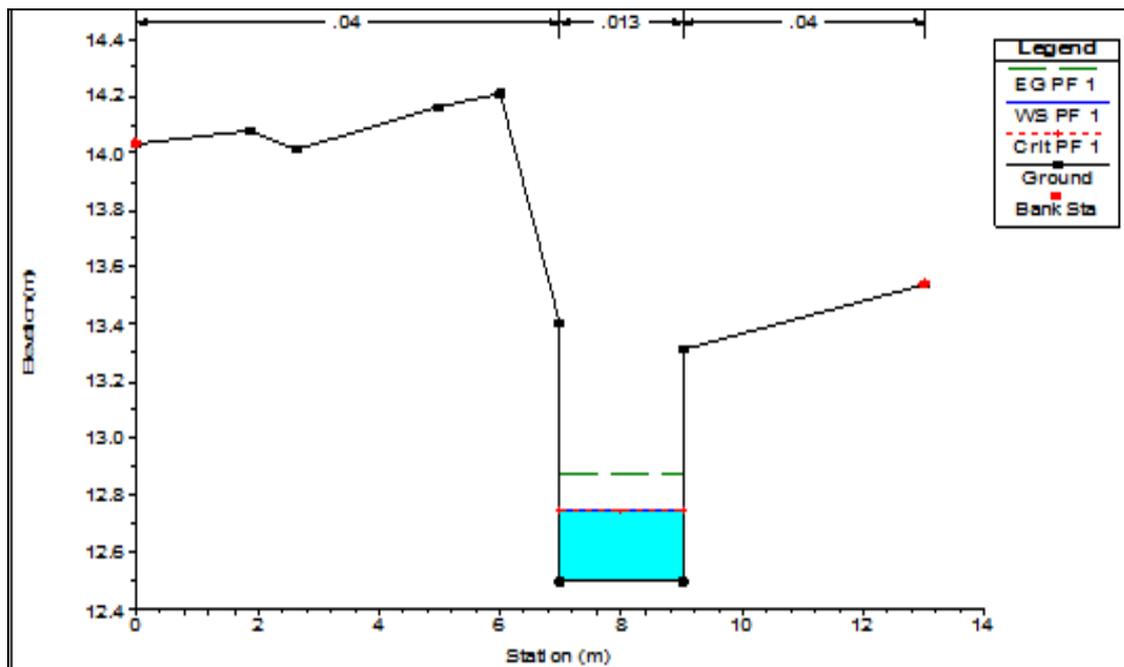


Figure V.17 : Section aménagée rectangulaire tronçon 2 du cours d'eau 9 Essarouel

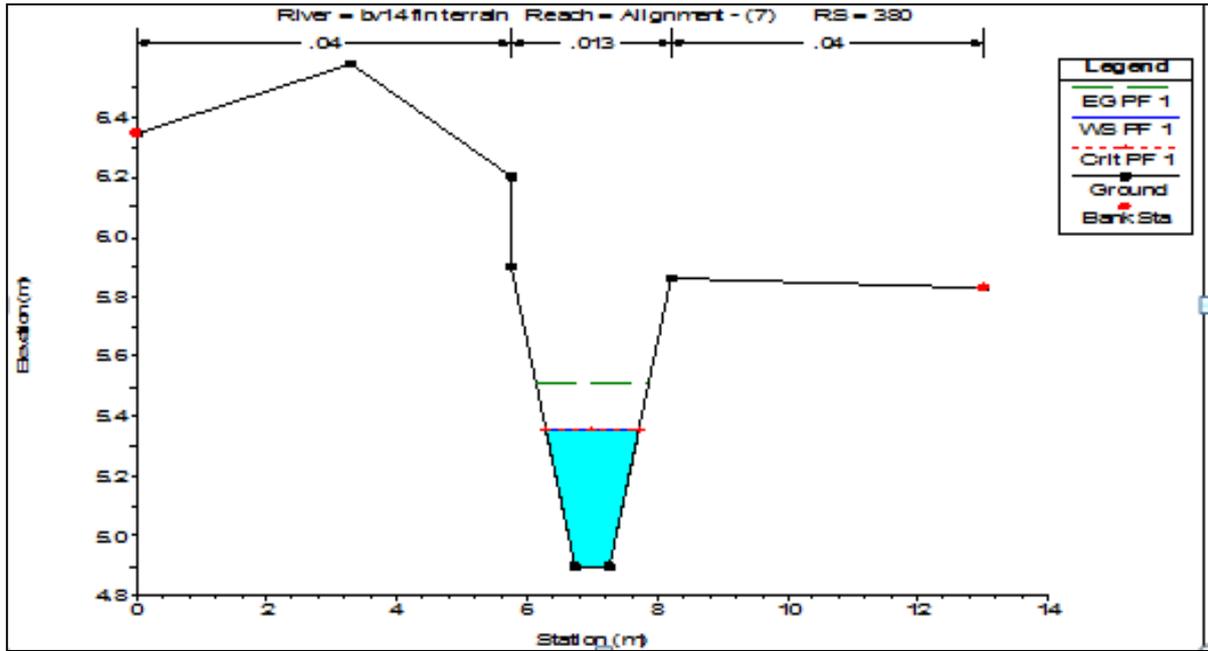


Figure V.18 : Section aménagée trapézoïdale tronçon 2 du cours d'eau 9 Essarouel

✚ Visualisation en 3d des variantes choisies en aménagement.

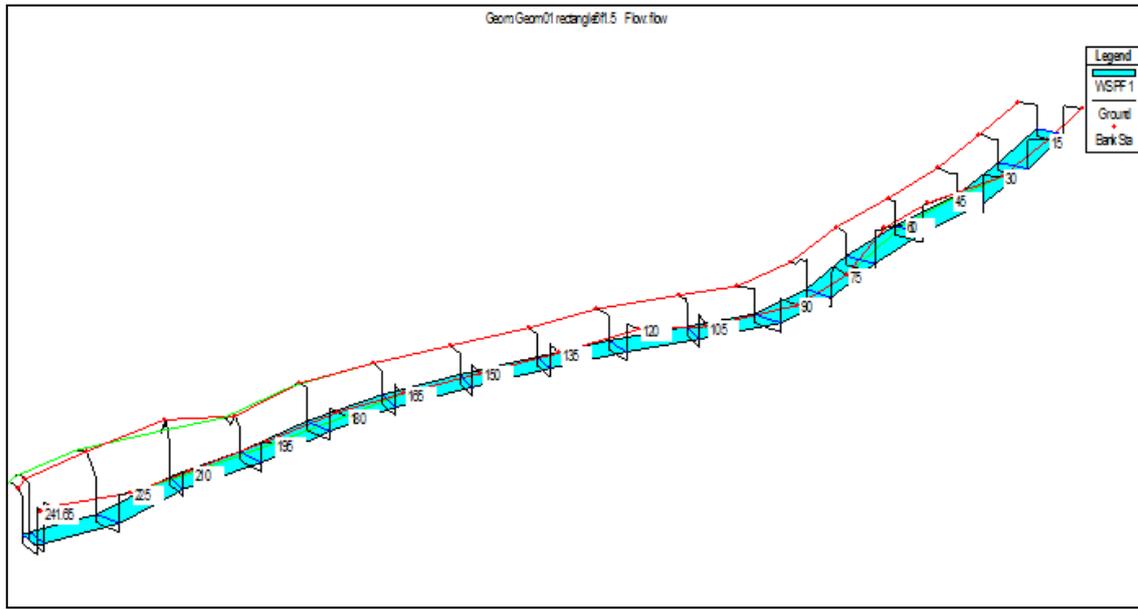


Figure V.19 : Visualisation en 3d de la variante d'aménagement canal rectangulaire.

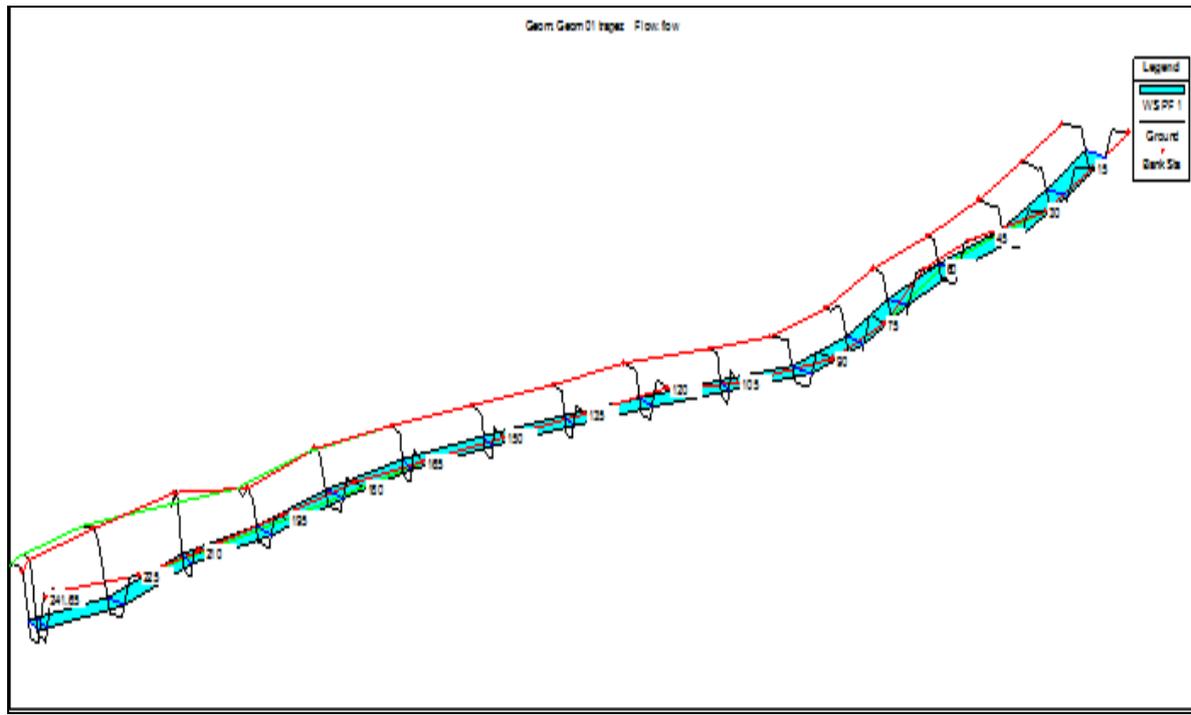


Figure V.20 : Visualisation en 3d de la variante d'aménagement canal trapézoïdale.

Interprétation :

A partir des tableaux représentés en annexes, qui présentent les résultats de calcul pour les deux variantes d'aménagement on constate que :

Le régime d'écoulement le long des cours d'eau est de type torrentiel avec un nombre de Froude d'une gamme (1- 2). L'intérêt d'un tel régime est l'évacuation rapide de la crue vers l'exutoire (Oued de Boudjemaa dans notre cas) et l'empêchement de dépôt de sédiments.

La vitesse d'écoulement sur l'ensemble des sections transversale oscille entre 1 et 3 m/s. Ces vitesses n'impliquent pas le risque d'érosion du lit et parois des canaux en béton du moment qu'elles sont inférieures aux vitesses limites admissibles qui sont de l'ordre de 10 m/s. La différence entre l'altitude de la ligne d'eau et celle du radier donne la hauteur d'eau en chaque section du canal. La comparaison de cette hauteur avec la profondeur du canal nous montre l'absence de débordement et la suffisance de la section projetée pour évacuer la crue vers l'exutoire.

Conclusion

Dans ce chapitre on a aménagé nos cours d'eau pour les deux communes de telle façon à avoir un système de transport dans lequel l'eau s'écoulant en surface libre est soumise à la pression atmosphérique avec un profil qui véhicule le débit maximum.

Le dimensionnement des canaux (trapézoïdaux, et rectangulaires) s'est fait par la méthode itérative, on remarque que le régime d'écoulement est torrentiel dans la majeure partie des canaux composant le projet.

La fiabilité des canaux aménagés dépendent de ces caractéristiques hydrauliques et du type de construction ainsi que son inspection et son entretien continu.

Chapitre VI

**Estimations quantitative et financière du système de protection
contre les inondations.**

Chapitre VI : Estimations quantitative et financière du système de protection contre les inondations.

Introduction :

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

1. Etude quantitative et financière du projet :

Pour faire la comparaison entre les variantes proposées il faut connaitre le coût de réalisations de ces derniers,les Tableauxci-dessousnous donnent l'estimation de coût de réalisations du projet.

1.1. Etude quantitative des travaux d'Oued Ennil

Après avoir effectué une simulation sur un canal trapézoïdal et rectangulaire en béton, le logiciel HEC-RAS nous a permis d'avoir les volumes du terrassement suivants :

Volume de remblai, Volume de déblai

TableauVI.1 : estimation quantitative des travaux d'Oued Ennil.

N°	Désignation des travaux	Unité	Quantité
1	Travaux de terrassement		
1.1	exécution de déblai	m ³	10 432,91
1.2	excavation des bassins	m ³	2 734,19
1.3	exécution de remblai	m ³	2 012,45
2	travaux des lits		
2.1	lit de gravier (14 / 25 mm)	m ³	640,72
2.2	lit de béton de propreté dosé à 150 kg/m3	m ³	640,72
3	travaux de béton armé		
3.1	exécution des canaux	canaux trapézoïdaux	m ³ 535,72
		canaux rectangulaires	m ³ 1 338,85

1.2. Etude estimative du prix de projet d'aménagement d'Oued Ennil :

Tableau VI.2 : Etude financière du projet d'aménagement Oued Ennil.

N°	Désignation des travaux		Unité	Quantité	Prix /U (D.A)	Montant (D.A)
1	exécution de déblai		m ³	10 432,91	200	2086582
2	excavation des bassins		m ³	2 734,19	200	546838
1	exécution de remblai		m ³	2 012,45	220	442739
2	lit de gravier (14 / 25 mm)		m ³	640,72	1 000	640720
4	lit de béton de propreté dosé à 150 kg/m ³		m ³	640,72	6 000	3844320
5	exécution des canaux	canaux trapézoïdaux	m ³	535,72	30 000	15000160
		canaux rectangulaires	m ³	1 338,85	28 000	40165500
Montant HT						62726859
TVA 19%						11918103.2
Total TTC						74644962.2

1.3. Etude comparative entre les deux variantes

A partir du tableau VI.2 si on prend le cout de réalisation des deux variantes à part on obtient les résultats suivants :

Tableau VI.3 : Comparaison entre les deux variantes.

Variante	Coût (DA)	Note			
	Coût de réalisations	Coût	Environnement	Entretien et Opération	Stabilités
Variante N°1 rectangulaire	24364984.6	→	→	→	→
Variante N°2 Trapézoïdale	54311739.2	→	→	→	→

Bon (Vert)

Moyen (Orange)

Mauvais (Rouge)

✚ Interprétation :

Après cette comparaison il est bien clair que la variante N°1 est la meilleur de point de vue - technico-économique et environnemental  on opte pour le canal rectangulaire en béton.

2.1. Etude quantitative des travaux d'Essarouel :

TableauVI.4 : Estimation quantitative des travaux d'Essarouel.

N°	Désignation des travaux	Unité	Quantité
1	Travaux de terrassement		
1.1	exécution de déblai	m ³	506539,78
1.2	excavation des bassins	m ³	97153.66
1.3	exécution de remblai	m ³	54219,35
2	travaux des lits		
2.1	lit de gravier (14 / 25 mm)	m ³	640,72
2.2	lit de béton de propreté dosé à 150 kg/m ³	m ³	640,72
3	travaux de béton armé		
3.1	exécution des canaux	canaux trapézoïdaux	m ³ 7852.23
		canaux rectangulaires	m ³ 22968.55

2.2. Etude estimative du prix de projet.

Tableau VI.5 :Etude financière du projet d'aménagement Essarouel.

N°	Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix /U (D.A)	Montant (D.A)	
1	exécution de déblai	m ³	506539,78	200	101307956	
2	excavation des bassins	m ³	97153.66	200	19430732	
1	exécution de remblai	m ³	54219,35	220	11928257	
2	lit de gravier (14 / 25 mm)	m ³	640,72	1 000	640720	
	lit de béton de propreté dosé à 150 kg/m3	m ³	640,72	6 000	3844320	
	exécution des canaux	canaux trapézoïdaux	m ³	7852.23	30 000	219862440
		canaux rectangulaires	m ³	22968.55	28 000	689056500
Montant HT					1046070925	
TVA 19%					198753476	
Total TTC					1244824401	

2.3. Etude comparative entre les deux variantes

A partir du tableau VI.4 si on prend le cout de réalisation des deux variantes à part on obtient les résultats suivants :

Tableau VI.6 :Comparaison entre les deux variantes.

Variante	Coût (DA)	Note			
		Coût	Environnement	Entretien et Opération	Stabilités
Variante N°1 rectangulaire	424847166	→	→	→	→
Variante N°2 trapézoïdale	983188097	→	→	→	→

Bon (Vert)

Moyen (Orange)

Mauvais (Rouge)

✚ Interprétation :

Après cette comparaison il est bien clair que la variante N° 2 la meilleur de point de vue environnemental → on opte pour le canal trapézoïdale.

3. Les engins utilisés

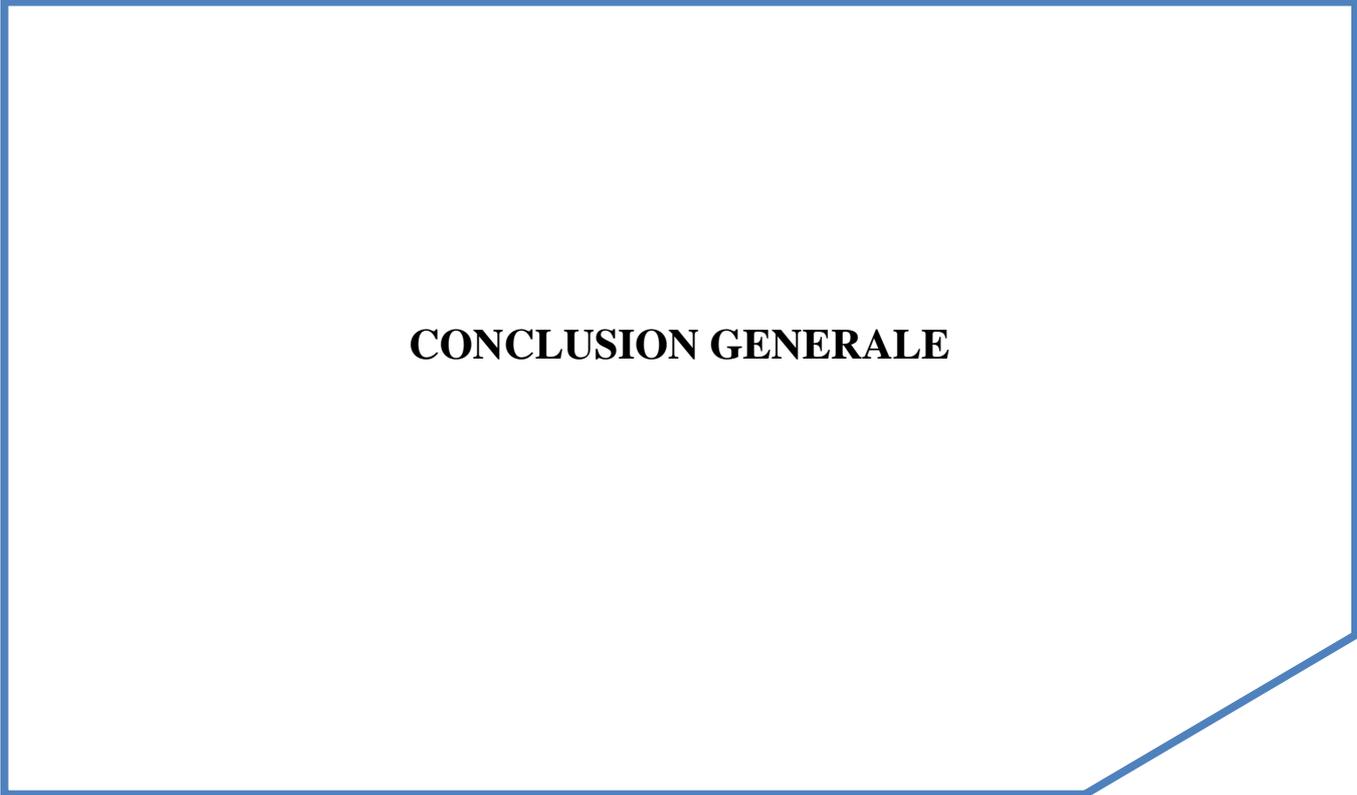
Le matériel utilisé est le matériel classique des chantiers de travaux publics. L'utilisation degros engins mécaniques va réduire considérablement le prix et le temps des terrassements.

Tableau VI.7 : Engins pour exécuté le projet

Tache	Engins	Actions
Travaux de préparation	Dozers	Enlever les obstacles et les herbes
	Chargeurs	
	Pelles	
	Camions	
Terrassement	Pelles	Donner la forme exacte du canal
	Chargeurs	
	Dozers	
	Niveleuse	
	Camions	
	Dumpers	
Compactage	Tous types de compacteurs à rouleaux lisses	Consolider les berges de l'oued pour éviter l'affaissement
	Compacteurs à pieds de mouton	Compacter le fond de l'oued
Coulage	Bétonneuse	Produire du béton
	Pompe à béton	Couler le béton

Conclusion :

Au terme de ce chapitre, nous avons pu estimer le cout du projet d'aménagements pour les deux communes Essarouel et Oued Ennil et cela on désignant la bonne variante d'aménagement tout en prenant en compte le volet économique et environnemental afin de contribuer à une gestion bonne du projet présent.



CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'étude que nous avons faite a pour but et pour objectif l'aménagement hydraulique des cours d'eau des communes d'Essarouel et Oued Ennil.

Afin de répondre aux exigences de l'étude proposer nous avons commencé par la détermination des failles que présentent ces cours d'eau là, au moyen d'une simulation hydraulique au préalable à l'aide des deux logiciels AutoCad Civil 3D et HEC-RAS qui nous ont permis de visualiser les l'ampleur des débordements et l'incapacité des cours d'eau à contenir le débit centennale, et ceux après avoir déterminé leurs débit de crue à partir de la formule établie par Méthode du Professeur Mohamed MEDDI et le Dr. Samir TOUMI qui nous avons jugé la plus précise parmi les méthodes choisie pour le calcul des débits de crue.

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.

Ensuite un aménagement en béton a été adopté pour remédier à ce problème et la forme trapézoïdale et rectangulaire ont été celles choisis pour la conception du canal.

L'étude quantitative et financière a été faite afin d'évaluer le cout du projet et choisir la variante d'aménagement qui s'adapte le mieux pour répondre aux exigences économiques et environnementales.

Références bibliographiques.

Références bibliographiques

B.TOUAIBIA, Mars 2004. Manuel pratique d'hydrologie

BENNIS.S ,2009. « Hydraulique et hydrologie », 2ème Edition, École de technologie supérieure Canada.

CHOCAT B. & E92, 1997. Encyclopédie de l'hydrologie urbaine, Tec & Doc, Paris, 1136 p.

HEC-RAS Users Manuel, January 210.US Army corps of engineers Hydrologic Engineering Center Version4.1.

HINGRAY B., PICOUET C. & MUSY A. (2009).Hydrologie, Une science pour l'ingénieur, Pressespolytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 600 p.

LABED Zakaria ,2011. Etude de protection de la ville d'Ain Toriki (W. Ain Defla) contre les inondations.

Mémoire d'ingénieur d'Etat en Hydraulique. Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique. Blida. Algérie. 149p

Roche P.A., Miquel J., Gaume E. (2012). Hydrologie quantitative, processus, modèles et aide à la décision. Collection Ingénierie et développement durable.

THOURET.J.C, D.ERCOLE.R. 1996. Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain : effets, facteurs et réponses sociales. Cahier Sciences humaines 32 (2) 96: 407-422, 17p.

VINET.F, 2010. Le risque inondation. Diagnostic et gestion. Lavoisier, 315p.

YAHIAOUI.A, 2012. Inondations Torrentielles Cartographie des Zones Vulnérables en Algérie du Nord (Cas de l'oued Mekerra, Wilaya de Sidi Bel Abbes). Thèse de doctorat en hydraulique, Ecole Nationale Polytechnique, 210p.

Annexes

I- Annexe 1

A. résultats de la simulation HEC-RAS pour quelques cours d'eau des deux communes :

Avec ;

- Min channelevation : **Cote du Fond**
- W.S. Elévation : **Elévation des eaux**
- Crit W.S : **Cote critique**
- E.G. Elev: **cote d'énergie**
- E.G. Slope : **pente de la ligne d'énergie**
- Vel Chnl : **vitesse.**
- Flow Area: **Surface mouillée.**
- Top Width : **Largeur mouillée**
- Froud : **Nombre de froude.**

A.1. Avant l'aménagement:

Tableau I.1.: Résultats de la simulation du premier cours d'eau d'Essarouel à l'état naturel.

Station	profile	Q(m3/s)	Min Ch El(m)	W.S. Elev(m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev(m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl(m/s)	Flow Area(m2)	Top Width(m)	Froud
241.65	T=100ans	8.424	7.5	11		11	0.024672	0.012425	73.07	10.1	0.99
240	T=100ans	8.424	7.5	10.94		10.94	0.024958	0.012993	68.4	10.1	0.92
225	T=100ans	8.424	7.53	10.97		10.97	0.025188	0.012129	70.18	10.1	0.98
210	T=100ans	8.424	8.5	10.94		10.94	0.025077	0.01283	66.28	10.0	0.9
195	T=100ans	8.424	9.00	10.00		10.00	0.0251	0.12405	67.34	9.7	0.89
180	T=100ans	8.424	9.61	10.05		10.05	0.025096	0.12112	68.63	9.7	0.75
165	T=100ans	8.424	10.04	10.48		10.48	0.025097	0.13639	58.95	9.7	0.80
150	T=100ans	8.424	10.43	10.87		10.87	0.025095	0.15218	52.28	8.00	1.00
135	T=100ans	8.424	10.72	11.16		11.16	0.025099	0.17232	47.28	7.99	1.23
120	T=100ans	8.424	10.77	11.21		11.21	0.025096	0.18794	43.26	7.99	1.26
105	T=100ans	8.424	10.77	11.21		11.21	0.025097	0.20429	39.54	7.99	1.16
90	T=100ans	8.424	10.84	11.28		11.28	0.025095	0.22327	35.96	12.1	0.70
75	T=100ans	8.424	10.84	11.28		11.28	0.025099	0.24398	32.63	12.1	0.53
60	T=100ans	8.424	11.11	11.55		11.55	0.025096	0.2645	29.89	12.1	0.48
45	T=100ans	8.424	11.26	11.7		11.7	0.025097	0.25418	31.26	12.1	0.62
30	T=100ans	8.424	11.65	12.09		12.09	0.025095	0.22671	35.74	11.8	1.55
15	T=100ans	8.424	11.94	12.38	12.38	12.38	0.025095	0.25399	31.02	11.6	1.36
0	T=100ans	8.424	12.2	12.64	12.64	12.64	0.025099	0.24857	33.74	11.6	1.34

Tableau I.2.: Résultats de la simulation du deuxième cours d'eau d'Oued Ennilà l'état naturel.

Station	profile	Q(m3/s)	Min Ch El(m)	W.S. Elev(m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev(m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl(m/s)	Flow Area (m2)	Top Width h(m)	Froud
212.05	T=100ans	0.891	32.08	32.43		32.43	0.052	0.16	56.48	2.25	0.51
210	T=100ans	0.891	32.08	32.43		32.43	0.0136	0.26	57.53	2.25	0.62
195	T=100ans	0.891	32.99	33.34		33.34	0.0168	0.28	57.8	2.25	0.72
180	T=100ans	0.891	33.45	33.8	33.8	33.8	0.030928	0.3	50.2	3	0.9
165	T=100ans	0.891	34.04	34.39	34.39	34.39	0.028922	2.59	3.45	5.11	1.01
150	T=100ans	0.891	34.3	34.65	34.65	34.65	0.028617	2.95	5	5.64	1
135	T=100ans	0.891	35.78	36.13	36.13	36.13	0.023856	3.03	5.42	5.78	1
120	T=100ans	0.891	36.81	37.16		37.16	0.032596	0.02	5.44	5.66	1
105	T=100ans	0.891	39.18	39.53		39.53	0.012585	0.01	1560.68	65.7	0.96
90	T=100ans	0.891	40.11	40.46		40.46	0.029962	0.01	1585.62	65.7	0.86
75	T=100ans	0.891	41.12	41.47		41.47	0.028171	0.01	1591.75	65.7	0.91
60	T=100ans	0.891	41.9	42.25		42.25	0.028237	2.60	6.4	8.3	0.9
45	T=100ans	0.891	42.85	43.2		43.2	0.01456	2.55	3.5	5.28	1
30	T=100ans	0.891	45.06	45.41		45.41	0.02575	2.83	5.21	6.36	1
15	T=100ans	0.891	46.8	47.15		47.15	0.02575	2.92	5.64	6.61	1.01
0	T=100ans	0.891	46.97	47.32		47.32	0.02455	2.56	250.1	11.8	1.04
15	T=100ans	0.891	11.94	12.38	12.38	12.38	0.02266	0.04	250.24	11.6	1.05
0	T=100ans	0.891	12.2	12.64	12.64	12.64	0.02026	0.06	256.57	11.6	1.09

A.2. Après aménagement :**Tableau I.1.:** Résultats de la simulation du deuxième cours d'eau d'Oued Ennil (canal rectangulaire).

Station	profile	Q(m3/s)	Min Ch El(m)	W.S. Elev(m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev(m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl(m/s)	Flow Area (m2)	Top Width h(m)	Froud
212.1	T=100ans	0.891	32.08	32.43	32.43	32.61	0.004	1.86	0.35	1	1
210	T=100ans	0.891	32.08	32.43	32.43	32.61	0.00485	1.87	0.35	1	1.01
195	T=100ans	0.891	32.99	33.34	33.34	33.52	0.004833	1.86	0.35	1	1.01
180	T=100ans	0.891	33.45	33.8	33.8	33.98	0.004837	1.86	0.35	1	1.01
165	T=100ans	0.891	34.04	34.39	34.39	34.57	0.004836	1.86	0.35	1	1.01
150	T=100ans	0.891	34.3	34.65	34.65	34.83	0.004836	1.86	0.35	1	1.01
135	T=100ans	0.891	35.78	36.13	36.13	36.31	0.004836	1.86	0.35	1	1.01
120	T=100ans	0.891	36.81	37.16	37.16	37.34	0.004835	1.86	0.35	1	1.01
105	T=100ans	0.891	39.18	39.53	39.53	39.71	0.004835	1.86	0.35	1	1.01
90	T=100ans	0.891	40.11	40.46	40.46	40.64	0.004838	1.86	0.35	1	1.01
75	T=100ans	0.891	41.12	41.47	41.47	41.65	0.004835	1.86	0.35	1	1.01
60	T=100ans	0.891	41.9	42.25	42.25	42.43	0.004835	1.86	0.35	1	1.01
45	T=100ans	0.891	42.85	43.2	43.2	43.38	0.004837	1.86	0.35	1	1.01
30	T=100ans	0.891	45.06	45.41	45.41	45.59	0.004837	1.86	0.35	1	1.01
15	T=100ans	0.891	46.8	47.15	47.15	47.33	0.004835	1.86	0.35	1	1.01
0	T=100ans	0.891	46.97	47.32	47.32	47.5	0.004835	1.86	0.35	1	1.01

Tableau I.2: Résultats de la simulation du premier cours d'eau d'Essarouel (canal rectangulaire).

Station	profile	Q(m3/s)	Min Ch El(m)	W.S. Elev(m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev(m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl(m/s)	Flow Area (m2)	Top Widht h(m)	Froud
241.65	T=100ans	8.424	7.5	7.94	7.94	8.16	0.024672	2.07	2.64	6	1
240	T=100ans	8.424	7.5	7.94	7.94	8.16	0.024958	2.08	2.63	6	1
225	T=100ans	8.424	7.53	7.97	7.97	8.19	0.025188	2.09	2.62	6	1.01
210	T=100ans	8.424	8.5	8.94	8.94	9.16	0.025077	2.09	2.63	6	1.01
195	T=100ans	8.424	9	9.44	9.44	9.66	0.0251	2.09	2.63	6	1.01
180	T=100ans	8.424	9.61	10.05	10.05	10.27	0.025096	2.09	2.63	6	1.01
165	T=100ans	8.424	10.04	10.48	10.48	10.7	0.025097	2.09	2.63	6	1.01
150	T=100ans	8.424	10.43	10.87	10.87	11.09	0.025095	2.09	2.63	6	1.01
135	T=100ans	8.424	10.72	11.16	11.16	11.38	0.025099	2.09	2.63	6	1.01
120	T=100ans	8.424	10.77	11.21	11.21	11.43	0.025096	2.09	2.63	6	1.01
105	T=100ans	8.424	10.77	11.21	11.21	11.43	0.025097	2.09	2.63	6	1.01
90	T=100ans	8.424	10.84	11.28	11.28	11.5	0.025095	2.09	2.63	6	1.01
75	T=100ans	8.424	10.84	11.28	11.28	11.5	0.025099	2.09	2.63	6	1.01
60	T=100ans	8.424	11.11	11.55	11.55	11.77	0.025096	2.09	2.63	6	1.01
45	T=100ans	8.424	11.26	11.7	11.7	11.92	0.025097	2.09	2.63	6	1.01
30	T=100ans	8.424	11.65	12.09	12.09	12.31	0.025095	2.09	2.63	6	1.01
15	T=100ans	8.424	11.94	12.38	12.38	12.6	0.025095	2.09	2.63	6	1.01
0	T=100ans	8.424	12.2	12.64	12.64	12.86	0.025099	2.09	2.63	6	1.01

Tableau I.3. Résultats de la simulation du premier cours d'eau d'Essarouel (canal trapézoïdale).

Station	profile	Q(m3/s)	Min Ch El(m)	W.S. Elev(m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev(m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl(m/s)	Flow Area (m2)	Top Widht h(m)	Froud
241.65	T=100ans	8.424	7.5	8.15	8.15	8.42	0.022654	2.33	2.35	4.29	1
240	T=100ans	8.424	7.5	8.14	8.14	8.42	0.02273	2.33	2.35	4.29	1.01
225	T=100ans	8.424	7.53	8.17	8.17	8.45	0.02271	2.33	2.35	4.29	1.01
210	T=100ans	8.424	8.5	9.14	9.14	9.42	0.022715	2.33	2.35	4.29	1.01
195	T=100ans	8.424	9	9.64	9.64	9.92	0.022715	2.33	2.35	4.29	1.01
180	T=100ans	8.424	9.61	10.25	10.25	10.53	0.022713	2.33	2.35	4.29	1.01
165	T=100ans	8.424	10.04	10.68	10.68	10.96	0.022715	2.33	2.35	4.29	1.01
150	T=100ans	8.424	10.43	11.07	11.07	11.35	0.022715	2.33	2.35	4.29	1.01
135	T=100ans	8.424	10.72	11.36	11.36	11.64	0.022715	2.33	2.35	4.29	1.01
120	T=100ans	8.424	10.77	11.41	11.41	11.69	0.022715	2.33	2.35	4.29	1.01
105	T=100ans	8.424	10.77	11.41	11.41	11.69	0.022715	2.33	2.35	4.29	1.01
90	T=100ans	8.424	10.84	11.48	11.48	11.76	0.022714	2.33	2.35	4.29	1.01
75	T=100ans	8.424	10.84	11.48	11.48	11.76	0.022715	2.33	2.35	4.29	1.01
60	T=100ans	8.424	11.11	11.75	11.75	12.03	0.022715	2.33	2.35	4.29	1.01
45	T=100ans	8.424	11.26	11.9	11.9	12.18	0.022713	2.33	2.35	4.29	1.01
30	T=100ans	8.424	11.65	12.29	12.29	12.57	0.022713	2.33	2.35	4.29	1.01
15	T=100ans	8.424	11.94	12.58	12.58	12.86	0.022714	2.33	2.35	4.29	1.01
0	T=100ans	8.424	12.2	12.84	12.84	13.12	0.022713	2.33	2.35	4.29	1.01

Tableau I.4: Résultats de la simulation du deuxième cours d'eau d'Essarouel (canal rectangulaire).

Station	profile	Q(m3/s)	Min Ch El(m)	W.S. Elev(m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev(m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl(m/s)	Flow Area (m2)	Top Width h(m)	Froud
270	T=100ans	1.546	12.85	13.16	13.16	13.31	0.044662	1.75	0.31	1	1.01
260	T=100ans	1.546	13.88	14.18	14.18	14.34	0.045291	1.75	0.3	1	1.01
250	T=100ans	1.546	15.34	15.65	15.65	15.8	0.044691	1.75	0.31	1	1.01
240	T=100ans	1.546	15.34	15.65	15.65	15.8	0.044651	1.75	0.31	1	1.01
230	T=100ans	1.546	16.55	16.86	16.86	17.01	0.044664	1.75	0.31	1	1.01
220	T=100ans	1.546	17.09	17.4	17.4	17.55	0.044658	1.75	0.31	1	1.01
210	T=100ans	1.546	18.46	18.77	18.77	18.92	0.044654	1.75	0.31	1	1.01
200	T=100ans	1.546	18.92	19.23	19.23	19.38	0.044661	1.75	0.31	1	1.01
190	T=100ans	1.546	19.27	19.58	19.58	19.73	0.044652	1.75	0.31	1	1.01
180	T=100ans	1.546	20.05	20.36	20.36	20.51	0.044666	1.75	0.31	1	1.01
170	T=100ans	1.546	21.69	22	22	22.15	0.044662	1.75	0.31	1	1.01
160	T=100ans	1.546	21.64	21.94	21.94	22.1	0.04529	1.75	0.3	1	1.01
150	T=100ans	1.546	24.07	24.38	24.38	24.53	0.044066	1.74	0.31	1	1
140	T=100ans	1.546	26.98	27.29	27.29	27.44	0.044816	1.75	0.31	1	1.01
130	T=100ans	1.546	29.3	29.6	29.6	29.76	0.045857	1.76	0.3	1	1.02
120	T=100ans	1.546	31.52	31.83	31.83	31.98	0.044912	1.75	0.31	1	1.01
110	T=100ans	1.546	34.2	34.51	34.51	34.66	0.044148	1.74	0.31	1	1
100	T=100ans	1.546	37.42	37.73	37.73	37.88	0.043904	1.74	0.31	1	1
90	T=100ans	1.546	38.4	38.79	38.79	38.94	0.044922	1.75	0.31	1	1.01
80	T=100ans	1.546	39.64	40.28	40.28	40.43	0.042751	1.72	0.31	1	0.98
70	T=100ans	1.546	40.18	40.94	40.94	41.09	0.04287	1.72	0.31	1	0.99
60	T=100ans	1.546	41.54	42.67	42.67	42.82	0.043523	1.73	0.31	1	0.99
50	T=100ans	1.546	42.89	43.91	43.91	44.06	0.043826	1.73	0.31	1	1
40	T=100ans	1.546	43.82	44.96	44.96	45.11	0.043608	1.73	0.31	1	0.99
30	T=100ans	1.546	44.41	45.31	45.31	45.46	0.0433	1.73	0.31	1	0.99
20	T=100ans	1.546	45.25	47.21	47.21	47.36	0.044072	1.74	0.31	1	1
10	T=100ans	1.546	46.22	46.45	46.53	46.72	0.095981	2.28	0.23	1	1.5
0	T=100ans	1.546	45.92	47.57	47.57	47.72	0.044239	1.74	0.31	1	1
12	T=100ans	1.546	33.61	33.83	33.83	33.93	0.003145	1.39	0.48	2.43	1
10	T=100ans	1.546	34.01	34.23	34.23	34.33	0.003121	1.39	0.48	2.43	1
8	T=100ans	1.546	34.41	34.63	34.63	34.73	0.003135	1.39	0.48	2.43	1
6	T=100ans	1.546	34.81	35.03	35.03	35.13	0.003117	1.39	0.48	2.43	1
5	T=100ans	1.546	35.01	35.23	35.23	35.33	0.003139	1.39	0.48	2.43	1
4	T=100ans	1.546	35.21	35.43	35.43	35.53	0.00312	1.39	0.48	2.43	1
2	T=100ans	1.546	35.61	35.83	35.83	35.93	0.003117	1.39	0.48	2.43	1
0	T=100ans	1.546	36.01	36.23	36.23	36.33	0.003117	1.39	0.48	2.43	1

Tableau I.5: Résultats de la simulation du deuxième cours d'eau d'Essarouel (canal trapézoïdale).

st	profile	Q(m ³ /s)	Min Ch El(m)	Elev(m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev(m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl(m/s)	Flow Area (m ²)	Top Widht h(m)	Froud
270	T=100ans	1.546	12.85	13.23	13.23	13.38	0.03826	1.73	0.31	1.03	1.01
260	T=100ans	1.546	14.07	14.68	14.68	14.83	0.038092	1.73	0.31	1.03	1.01
250	T=100ans	1.546	15.34	15.72	15.72	15.87	0.037484	1.72	0.31	1.03	1
240	T=100ans	1.546	15.8	16.18	16.18	16.33	0.038469	1.73	0.31	1.03	1.01
230	T=100ans	1.546	16.55	16.93	16.93	17.08	0.03821	1.73	0.31	1.03	1.01
220	T=100ans	1.546	17.3	17.68	17.68	17.83	0.038273	1.73	0.31	1.03	1.01
210	T=100ans	1.546	18.46	18.84	18.84	18.99	0.037935	1.72	0.31	1.03	1
200	T=100ans	1.546	18.92	19.3	19.3	19.45	0.03847	1.73	0.31	1.03	1.01
190	T=100ans	1.546	19.27	19.65	19.65	19.8	0.038212	1.73	0.31	1.03	1.01
180	T=100ans	1.546	20.5	20.88	20.88	21.03	0.038285	1.73	0.31	1.03	1.01
170	T=100ans	1.546	21.8	22.18	22.18	22.33	0.038265	1.73	0.31	1.03	1.01
160	T=100ans	1.546	21.74	22.58	22.58	22.73	0.037625	1.72	0.31	1.03	1
150	T=100ans	1.546	24	24.38	24.38	24.53	0.038164	1.73	0.31	1.03	1.01
140	T=100ans	1.546	26.98	27.36	27.36	27.51	0.03828	1.73	0.31	1.03	1.01
130	T=100ans	1.546	29.3	29.68	29.68	29.83	0.039165	1.74	0.31	1.03	1.02
120	T=100ans	1.546	31.52	31.9	31.9	32.05	0.036677	1.7	0.31	1.04	0.99
110	T=100ans	1.546	34.2	34.58	34.58	34.73	0.036475	1.7	0.32	1.04	0.98
100	T=100ans	1.546	37.49	38.38	38.38	38.53	0.038189	1.73	0.31	1.03	1.01
90	T=100ans	1.546	38.4	38.88	38.88	39.03	0.036464	1.7	0.32	1.04	0.98
80	T=100ans	1.546	39.64	40.38	40.38	40.53	0.038475	1.73	0.31	1.03	1.01
70	T=100ans	1.546	40.18	40.88	40.88	41.03	0.037883	1.72	0.31	1.03	1
60	T=100ans	1.546	41.54	42.38	42.38	42.53	0.038443	1.73	0.31	1.03	1.01
50	T=100ans	1.546	42.89	43.88	43.88	44.03	0.038059	1.73	0.31	1.03	1
40	T=100ans	1.546	43.82	44.88	44.88	45.03	0.038474	1.73	0.31	1.03	1.01
30	T=100ans	1.546	44.41	45.68	45.68	45.83	0.038145	1.73	0.31	1.03	1.01
20	T=100ans	1.546	45.25	47.28	47.28	47.43	0.03833	1.73	0.31	1.03	1.01
10	T=100ans	1.546	46.31	46.61	46.69	46.88	0.081588	2.28	0.23	0.95	1.46
0	T=100ans	1.546	45.92	47.38	47.38	47.53	0.037869	1.72	0.31	1.03	1

Tableau I.6: Résultats de la simulation du troisième cours d'eau d'Essarouel (canal rectangulaire).

St	profile	Q(m ³ /s)	Min Ch El(m)	W.S. Elev(m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev(m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl(m/s)	Flow Area (m ²)	Top Widht h(m)	Fro ud
260	T=100ans	1.262	10	10.18	10.18	10.27	0.033739	1.35	0.54	3	1.02
250	T=100ans	1.262	11	11.18	11.18	11.27	0.032322	1.34	0.54	3	1
240	T=100ans	1.262	12.5	12.68	12.68	12.77	0.032438	1.34	0.54	3	1
230	T=100ans	1.262	13.5	13.68	13.68	13.77	0.032147	1.33	0.55	3	1
220	T=100ans	1.262	14.5	14.68	14.68	14.77	0.032317	1.34	0.54	3	1
210	T=100ans	1.262	15.5	15.68	15.68	15.77	0.032142	1.33	0.55	3	1
200	T=100ans	1.262	16.5	16.68	16.68	16.77	0.03219	1.33	0.55	3	1
190	T=100ans	1.262	17.5	17.68	17.68	17.77	0.034879	1.37	0.53	3	1.04
180	T=100ans	1.262	19.5	19.68	19.68	19.77	0.032169	1.33	0.55	3	1
170	T=100ans	1.262	20.5	20.68	20.68	20.77	0.032527	1.34	0.54	3	1
160	T=100ans	1.262	21	21.18	21.18	21.27	0.0324	1.34	0.54	3	1
150	T=100ans	1.262	22.5	22.68	22.68	22.77	0.032649	1.34	0.54	3	1.01
140	T=100ans	1.262	24	24.18	24.18	24.27	0.032674	1.34	0.54	3	1.01
130	T=100ans	1.262	25	25.18	25.18	25.27	0.032359	1.34	0.54	3	1
120	T=100ans	1.262	26	26.18	26.18	26.27	0.032344	1.34	0.54	3	1
110	T=100ans	1.262	27.5	27.68	27.68	27.77	0.03214	1.33	0.55	3	1
100	T=100ans	1.262	29	29.18	29.18	29.27	0.032142	1.33	0.55	3	1
90	T=100ans	1.262	30	30.18	30.18	30.27	0.032293	1.34	0.55	3	1
80	T=100ans	1.262	32	32.18	32.18	32.27	0.032144	1.33	0.55	3	1
70	T=100ans	1.262	34	34.18	34.18	34.27	0.033299	1.35	0.54	3	1.01
60	T=100ans	1.262	35	35.18	35.18	35.27	0.032142	1.33	0.55	3	1
50	T=100ans	1.262	37	37.18	37.18	37.27	0.032224	1.33	0.55	3	1
40	T=100ans	1.262	39	39.18	39.18	39.27	0.032585	1.34	0.54	3	1
30	T=100ans	1.262	40.5	40.68	40.68	40.77	0.032151	1.33	0.55	3	1
20	T=100ans	1.262	42.5	42.68	42.68	42.77	0.033176	1.35	0.54	3	1.01
10	T=100 ns	1.262	44	44.18	44.18	44.27	0.03317	1.35	0.54	3	1.01
0	T=100ans	1.262	47.5	47.68	47.68	47.77	0.032635	1.34	0.54	3	1.01
14	T=100ans	1.262	33.21	33.43	33.43	33.53	0.003141	1.39	0.48	2.43	1
12	T=100ans	1.262	33.61	33.83	33.83	33.93	0.003145	1.39	0.48	2.43	1
10	T=100ans	1.262	34.01	34.23	34.23	34.33	0.003121	1.39	0.48	2.43	1
8	T=100ans	1.262	34.41	34.63	34.63	34.73	0.003135	1.39	0.48	2.43	1
6	T=100ans	1.262	34.81	35.03	35.03	35.13	0.003117	1.39	0.48	2.43	1
5	T=100ans	1.262	35.01	35.23	35.23	35.33	0.003139	1.39	0.48	2.43	1
4	T=100ans	1.262	35.21	35.43	35.43	35.53	0.00312	1.39	0.48	2.43	1
2	T=100 ns	1.262	35.61	35.83	35.83	35.93	0.003117	1.39	0.48	2.43	1
0	T=100ans	1.262	36.01	36.23	36.23	36.33	0.003117	1.39	0.48	2.43	1

Tableau I.7: Résultats de la simulation du troisième cours d'eau d'Essarouel (canal trapézoïdale).

Station	profile	Q(m3/s)	Min Ch El(m)	W.S. Elev(m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev(m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl(m/s)	Flow Area (m2)	Top Widht h(m)	Froud
260	T=100ans	1.262	21.19	21.31	21.31	21.35	0.009074	0.9	0.13	1.16	0.87
250	T=100ans	1.262	23.23	23.28	23.28	23.3	0.059395	0.66	0.17	5.64	1.2
240	T=100ans	1.262	24	24.11	24.11	24.17	0.004626	1.05	0.11	1	1.01
230	T=100ans	1.262	24.12	24.24	24.24	24.29	0.003392	0.95	0.12	1	0.87
220	T=100ans	1.262	25.49	25.6	25.6	25.66	0.004629	1.05	0.11	1	1.01
210	T=100ans	1.262	30	30.12	30.12	30.17	0.003391	0.95	0.12	1	0.87
200	T=100ans	1.262	30.94	31.05	31.05	31.09	0.011961	0.83	0.14	1.48	0.86
190	T=100ans	1.262	31.52	31.63	31.63	31.69	0.004491	1.04	0.11	1	1
180	T=100ans	1.262	33.7	33.8	33.8	33.87	0.005446	1.11	0.1	1	1.1
170	T=100ans	1.262	34.71	34.8	34.8	34.85	0.023392	0.96	0.12	1.63	1.13
160	T=100ans	1.262	37.96	38.06	38.06	38.1	0.019596	0.9	0.13	1.67	1.03
150	T=100ans	1.262	41.21	41.31	41.31	41.34	0.019778	0.87	0.13	1.76	1.01
140	T=100ans	1.262	43.32	43.42	43.42	43.46	0.017413	0.95	0.12	1.45	1.05
130	T=100ans	1.262	44.79	44.9	44.9	44.94	0.013475	0.96	0.12	1.28	1
120	T=100ans	1.262	46.64	46.74	46.74	46.79	0.014668	0.95	0.12	1.35	1.01
110	T=100ans	1.262	48.41	48.51	48.51	48.55	0.016651	0.94	0.12	1.44	1.03
100	T=100ans	1.262	50.77	50.87	50.87	50.92	0.016661	1.03	0.11	1.28	1.11
90	T=100ans	1.262	53.26	53.36	53.36	53.41	0.015695	1	0.12	1.3	1.07
80	T=100ans	1.262	55.16	55.26	55.26	55.31	0.013901	0.99	0.12	1.25	1.03
70	T=100ans	1.262	56.56	56.68	56.68	56.71	0.010302	0.86	0.13	1.32	0.86
60	T=100ans	1.262	58.69	58.79	58.79	58.84	0.014201	0.99	0.12	1.25	1.05
50	T=100ans	1.262	59.48	59.59	59.59	59.63	0.012984	0.97	0.12	1.24	1.01
40	T=100ans	1.262	60.14	60.25	60.25	60.29	0.012897	0.97	0.12	1.25	1
30	T=100ans	1.262	61.09	61.19	61.19	61.24	0.01441	0.98	0.12	1.28	1.04
20	T=100ans	1.262	62.31	62.41	62.41	62.46	0.018605	1.01	0.11	1.38	1.12
10	T=100ans	1.262	62.52	62.62	62.62	62.67	0.017054	1.05	0.11	1.26	1.14
0	T=100ans	1.262	62.22	62.53	62.53	62.6	0.016525	1	0.10	1.25	1.12

Tableau I.8: Résultats de la simulation dusixième cours d'eau d'Essarouel (canal trapézoïdale).

Station	profile	Q(m3/s)	Min Ch El(m)	W.S. Elev(m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev(m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl(m/s)	Flow Area (m2)	Top Widht h(m)	Froud
56.46	T=100ans	1.456	22.29	22.51	22.51	22.61	0.003117	1.39	0.48	2.43	1
56	T=100ans	1.456	22.41	22.63	22.63	22.73	0.003119	1.39	0.48	2.43	1
55	T=100ans	1.456	22.66	22.88	22.88	22.98	0.003128	1.39	0.48	2.43	1
54	T=100ans	1.456	22.91	23.13	23.13	23.23	0.003146	1.39	0.48	2.43	1
52	T=100ans	1.456	23.41	23.63	23.63	23.73	0.003117	1.39	0.48	2.43	1
50	T=100ans	1.456	24.41	24.63	24.63	24.73	0.003092	1.4	0.48	2.3	0.98
48	T=100ans	1.456	24.91	25.14	25.14	25.25	0.003396	1.48	0.45	2.05	1.01
46	T=100ans	1.456	25.41	25.63	25.63	25.74	0.003369	1.44	0.46	2.21	1.01
45	T=100ans	1.456	25.66	25.88	25.88	25.98	0.003301	1.43	0.47	2.3	1.01
44	T=100ans	1.456	25.91	26.13	26.13	26.23	0.003039	1.38	0.48	2.38	0.98
42	T=100ans	1.456	26.41	26.63	26.63	26.73	0.003105	1.39	0.48	2.43	1
40	T=100ans	1.456	26.91	27.12	27.12	27.23	0.003379	1.43	0.47	2.42	1.04
38	T=100ans	1.456	27.41	27.63	27.63	27.73	0.003085	1.38	0.48	2.44	0.99
36	T=100ans	1.456	27.91	28.13	28.13	28.23	0.003023	1.38	0.49	2.44	0.98
35	T=100ans	1.456	28.16	28.37	28.37	28.48	0.003215	1.4	0.48	2.43	1.01
34	T=100ans	1.456	28.41	28.63	28.63	28.73	0.003076	1.39	0.48	2.41	0.99
32	T=100ans	1.456	28.91	29.13	29.13	29.23	0.002951	1.36	0.49	2.44	0.97
30	T=100ans	1.456	29.41	29.63	29.63	29.73	0.003118	1.39	0.48	2.43	1
28	T=100ans	1.456	29.91	30.13	30.13	30.23	0.003147	1.39	0.48	2.43	1
26	T=100ans	1.456	30.41	30.63	30.63	30.73	0.003124	1.39	0.48	2.43	1
25	T=100ans	1.456	30.66	30.88	30.88	30.98	0.003123	1.39	0.48	2.43	1
24	T=100ans	1.456	30.91	31.13	31.13	31.23	0.003123	1.39	0.48	2.43	1
22	T=100ans	1.456	31.41	31.63	31.63	31.73	0.003119	1.39	0.48	2.43	1
20	T=100ans	1.456	31.91	32.13	32.13	32.23	0.003145	1.39	0.48	2.43	1
18	T=100ans	1.456	32.41	32.63	32.63	32.73	0.003119	1.39	0.48	2.43	1
16	T=100ans	1.456	32.81	33.03	33.03	33.13	0.003138	1.39	0.48	2.43	1
15	T=100ans	1.456	33.01	33.22	33.22	33.33	0.003218	1.4	0.48	2.43	1.01
14	T=100ans	1.456	33.21	33.43	33.43	33.53	0.003141	1.39	0.48	2.43	1
12	T=100ans	1.456	33.61	33.83	33.83	33.93	0.003145	1.39	0.48	2.43	1
10	T=100ans	1.456	34.01	34.23	34.23	34.33	0.003121	1.39	0.48	2.43	1
8	T=100ans	1.456	34.41	34.63	34.63	34.73	0.003135	1.39	0.48	2.43	1
6	T=100ans	1.456	34.81	35.03	35.03	35.13	0.003117	1.39	0.48	2.43	1
5	T=100ans	1.456	35.01	35.23	35.23	35.33	0.003139	1.39	0.48	2.43	1
4	T=100ans	1.456	35.21	35.43	35.43	35.53	0.00312	1.39	0.48	2.43	1
2	T=100ans	1.456	35.61	35.83	35.83	35.93	0.003117	1.39	0.48	2.43	1
0	T=100ans	1.456	36.01	36.23	36.23	36.33	0.003117	1.39	0.48	2.43	1

Tableau I.9: Résultats de la simulation duseptième cours d'eau d'Essarouel (canal trapézoïdale).

Station	profile	Q(m ³ /s)	Min Ch El(m)	W.S. Elev(m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev(m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl(m/s)	Flow Area (m ²)	Top Widht h(m)	Froud
56.46	T=100ans	4.128	22.29	22.51	22.51	22.61	0.003117	1.39	0.48	2.43	1
56	T=100ans	4.128	22.41	22.63	22.63	22.73	0.003119	1.39	0.48	2.43	1
55	T=100ans	4.128	22.66	22.88	22.88	22.98	0.003128	1.39	0.48	2.43	1
54	T=100ans	4.128	22.91	23.13	23.13	23.23	0.003146	1.39	0.48	2.43	1
52	T=100ans	4.128	23.41	23.63	23.63	23.73	0.003117	1.39	0.48	2.43	1
50	T=100ans	4.128	24.41	24.63	24.63	24.73	0.003092	1.4	0.48	2.3	0.98
48	T=100ans	4.128	24.91	25.14	25.14	25.25	0.003396	1.48	0.45	2.05	1.01
46	T=100ans	4.128	25.41	25.63	25.63	25.74	0.003369	1.44	0.46	2.21	1.01
45	T=100ans	4.128	25.66	25.88	25.88	25.98	0.003301	1.43	0.47	2.3	1.01
44	T=100ans	4.128	25.91	26.13	26.13	26.23	0.003039	1.38	0.48	2.38	0.98
42	T=100ans	4.128	26.41	26.63	26.63	26.73	0.003105	1.39	0.48	2.43	1
40	T=100ans	4.128	26.91	27.12	27.12	27.23	0.003379	1.43	0.47	2.42	1.04
38	T=100ans	4.128	27.41	27.63	27.63	27.73	0.003085	1.38	0.48	2.44	0.99
36	T=100ans	4.128	27.91	28.13	28.13	28.23	0.003023	1.38	0.49	2.44	0.98
35	T=100ans	4.128	28.16	28.37	28.37	28.48	0.003215	1.4	0.48	2.43	1.01
34	T=100ans	4.128	28.41	28.63	28.63	28.73	0.003076	1.39	0.48	2.41	0.99
32	T=100ans	4.128	28.91	29.13	29.13	29.23	0.002951	1.36	0.49	2.44	0.97
30	T=100ans	4.128	29.41	29.63	29.63	29.73	0.003118	1.39	0.48	2.43	1
28	T=100ans	4.128	29.91	30.13	30.13	30.23	0.003147	1.39	0.48	2.43	1
26	T=100ans	4.128	30.41	30.63	30.63	30.73	0.003124	1.39	0.48	2.43	1
25	T=100ans	4.128	30.66	30.88	30.88	30.98	0.003123	1.39	0.48	2.43	1
24	T=100ans	4.128	30.91	31.13	31.13	31.23	0.003123	1.39	0.48	2.43	1
22	T=100ans	4.128	31.41	31.63	31.63	31.73	0.003119	1.39	0.48	2.43	1
20	T=100ans	4.128	31.91	32.13	32.13	32.23	0.003145	1.39	0.48	2.43	1
18	T=100ans	4.128	32.41	32.63	32.63	32.73	0.003119	1.39	0.48	2.43	1
16	T=100ans	4.128	32.81	33.03	33.03	33.13	0.003138	1.39	0.48	2.43	1
15	T=100ans	4.128	33.01	33.22	33.22	33.33	0.003218	1.4	0.48	2.43	1.01
14	T=100ans	4.128	33.21	33.43	33.43	33.53	0.003141	1.39	0.48	2.43	1
12	T=100ans	4.128	33.61	33.83	33.83	33.93	0.003145	1.39	0.48	2.43	1
10	T=100ans	4.128	34.01	34.23	34.23	34.33	0.003121	1.39	0.48	2.43	1
8	T=100ans	4.128	34.41	34.63	34.63	34.73	0.003135	1.39	0.48	2.43	1
6	T=100ans	4.128	34.81	35.03	35.03	35.13	0.003117	1.39	0.48	2.43	1
5	T=100ans	4.128	35.01	35.23	35.23	35.33	0.003139	1.39	0.48	2.43	1
4	T=100ans	4.128	35.21	35.43	35.43	35.53	0.00312	1.39	0.48	2.43	1
2	T=100ans	4.128	35.61	35.83	35.83	35.93	0.003117	1.39	0.48	2.43	1
0	T=100ans	4.128	36.01	36.23	36.23	36.33	0.003117	1.39	0.48	2.43	1

Tableau I.10: Résultats de la simulation du huitième cours d'eau d'Essarouel (canal rectangulaire).

Station	profile	Q(m ³ /s)	Min Ch El(m)	W.S. Elev(m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev(m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl(m/s)	Flow Area (m ²)	Top Widht h(m)	Froud
180.53	T=100ans	2.066	19.64	20.15	20.15	20.33	0.003212	1.86	0.57	1.62	1
180	T=100ans	2.066	19.89	20.41	20.41	20.58	0.003094	1.83	0.58	1.63	0.98
170	T=100ans	2.066	22.85	23.36	23.36	23.54	0.003216	1.86	0.57	1.62	1
160	T=100ans	2.066	24.59	25.1	25.1	25.28	0.003146	1.84	0.57	1.63	0.99
150	T=100ans	2.066	26.44	26.95	26.95	27.13	0.00327	1.87	0.56	1.62	1.01
140	T=100ans	2.066	27.8	28.31	28.31	28.49	0.003264	1.87	0.56	1.62	1.01
130	T=100ans	2.066	29.57	30.08	30.08	30.26	0.003228	1.86	0.57	1.62	1
120	T=100ans	2.066	31.19	31.7	31.7	31.88	0.003284	1.87	0.56	1.62	1.01
110	T=100ans	2.066	32.4	32.91	32.91	33.09	0.003316	1.88	0.56	1.61	1.02
100	T=100ans	2.066	32.91	33.42	33.42	33.6	0.003232	1.86	0.57	1.62	1
90	T=100ans	2.066	33.34	33.85	33.85	34.03	0.003279	1.87	0.56	1.62	1.01
80	T=100ans	2.066	34.69	35.2	35.2	35.38	0.003315	1.88	0.56	1.61	1.02
70	T=100ans	2.066	35.8	36.31	36.31	36.49	0.003329	1.88	0.56	1.61	1.02
60	T=100ans	2.066	36	36.51	36.51	36.69	0.00326	1.87	0.56	1.62	1.01
50	T=100ans	2.066	36	36.51	36.51	36.69	0.00326	1.87	0.56	1.62	1.01
40	T=100ans	2.066	36	36.51	36.51	36.69	0.003261	1.87	0.56	1.62	1.01
30	T=100ans	2.066	36	36.51	36.51	36.69	0.00326	1.87	0.56	1.62	1.01
20	T=100ans	2.066	36	36.51	36.51	36.69	0.003331	1.88	0.56	1.61	1.02
10	T=100ans	2.066	36.46	36.98	36.98	37.15	0.003091	1.83	0.58	1.63	0.98
0	T=100ans	2.066	37.85	38.36	38.36	38.54	0.003179	1.85	0.57	1.63	1

Tableau I.11: Résultats de la simulation du huitième cours d'eau d'Essarouel (canal trapézoïdale)

Annexes

Station	profile	Q(m3/s)	Min Ch El(m)	W.S. Elev(m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev(m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl(m/s)	Flow Area (m2)	Top Widht h(m)	Froud
180.53	T=100ans	2.066	19.64	20.15	20.15	20.33	0.003212	1.86	0.57	2	1
180	T=100ans	2.066	19.89	20.41	20.41	20.58	0.003094	1.83	0.58	2	0.98
170	T=100ans	2.066	22.85	23.36	23.36	23.54	0.003216	1.86	0.57	2	1
160	T=100ans	2.066	24.59	25.1	25.1	25.28	0.003146	1.84	0.57	2	0.99
150	T=100ans	2.066	26.44	26.95	26.95	27.13	0.00327	1.87	0.56	2	1.01
140	T=100ans	2.066	27.8	28.31	28.31	28.49	0.003264	1.87	0.56	2	1.01
130	T=100ans	2.066	29.57	30.08	30.08	30.26	0.003228	1.86	0.57	2	1
120	T=100ans	2.066	31.19	31.7	31.7	31.88	0.003284	1.87	0.56	2	1.01
110	T=100ans	2.066	32.4	32.91	32.91	33.09	0.003316	1.88	0.56	2	1.02
100	T=100ans	2.066	32.91	33.42	33.42	33.6	0.003232	1.86	0.57	2	1
90	T=100ans	2.066	33.34	33.85	33.85	34.03	0.003279	1.87	0.56	2	1.01
80	T=100ans	2.066	34.69	35.2	35.2	35.38	0.003315	1.88	0.56	2	1.02
70	T=100ans	2.066	35.8	36.31	36.31	36.49	0.003329	1.88	0.56	2	1.02
60	T=100ans	2.066	36	36.51	36.51	36.69	0.00326	1.87	0.56	2	1.01
50	T=100ans	2.066	36	36.51	36.51	36.69	0.00326	1.87	0.56	2	1.01
40	T=100ans	2.066	36	36.51	36.51	36.69	0.003261	1.87	0.56	2	1.01
30	T=100ans	2.066	36	36.51	36.51	36.69	0.00326	1.87	0.56	2	1.01
20	T=100ans	2.066	36	36.51	36.51	36.69	0.003331	1.88	0.56	2	1.02
10	T=100ans	2.066	36.46	36.98	36.98	37.15	0.003091	1.83	0.58	2	0.98
0	T=100ans	2.066	37.85	38.36	38.36	38.54	0.003179	1.85	0.57	2	1
220	T=100ans	2.066	7.8	8.05	8.05	8.17	0.003558	1.56	0.49	2	1
210	T=100ans	2.066	8	8.25	8.25	8.37	0.003558	1.56	0.49	2	1
200	T=100ans	2.066	8	8.25	8.25	8.37	0.003552	1.56	0.49	2	1
190	T=100ans	2.066	8.2	8.45	8.45	8.57	0.003532	1.55	0.49	2	1
180	T=100ans	2.066	8.8	9.05	9.05	9.17	0.003533	1.55	0.49	2	1
170	T=100ans	2.066	8.8	9.05	9.05	9.17	0.003535	1.55	0.49	2	1
160	T=100ans	2.066	9.5	9.75	9.75	9.87	0.003564	1.56	0.49	2	1
150	T=100ans	2.066	10.2	10.45	10.45	10.57	0.003534	1.55	0.49	2	1
140	T=100ans	2.066	10.8	11.05	11.05	11.17	0.003577	1.56	0.49	2	1
130	T=100ans	2.066	11.3	11.55	11.55	11.67	0.003575	1.56	0.49	2	1
120	T=100ans	2.066	11.7	11.95	11.95	12.07	0.003532	1.55	0.49	2	1
110	T=100ans	2.066	12.3	12.55	12.55	12.67	0.003533	1.55	0.49	2	1
100	T=100ans	2.066	12.5	12.75	12.75	12.87	0.003562	1.56	0.49	2	1
90	T=100ans	2.066	13.5	13.75	13.75	13.87	0.003575	1.56	0.49	2	1
80	T=100ans	2.066	14	14.25	14.25	14.37	0.003555	1.56	0.49	2	1
70	T=100ans	2.066	15	15.25	15.25	15.37	0.003547	1.56	0.49	2	1
60	T=100ans	2.066	15.6	15.85	15.85	15.97	0.003533	1.55	0.49	2	1
50	T=100ans	2.066	16.3	16.55	16.55	16.67	0.003568	1.56	0.49	2	1
40	T=100ans	2.066	16.5	16.75	16.75	16.87	0.00354	1.55	0.49	2	1
30	T=100ans	2.066	17	17.25	17.25	17.37	0.003534	1.55	0.49	2	1
20	T=100ans	2.066	17.5	17.75	17.75	17.87	0.003536	1.55	0.49	2	1
10	T=100ans	2.066	18	18.25	18.25	18.37	0.003556	1.56	0.49	2	1
0	T=100ans	2.066	19	19.25	19.25	19.37	0.003532	1.55	0.49	2	1

Tableau I.12: Résultats de la simulation d'une neuvième course d'eau d'Essarouel (canal rectangulaire).

Station	profile	Q(m3/s)	Min Ch El(m)	W.S. Elev(m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev(m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl(m/s)	Flow Area (m2)	Top Width h(m)	Froud
419.67	T=100ans	0.546	4.5	4.75	4.75	4.87	0.003558	1.56	0.49	2	1
410	T=100ans	0.546	4.5	4.75	4.75	4.87	0.003532	1.55	0.49	2	1
400	T=100ans	0.546	4.6	4.85	4.85	4.97	0.003533	1.55	0.49	2	1
390	T=100ans	0.546	4.8	5.05	5.05	5.17	0.003537	1.55	0.49	2	1
380	T=100ans	0.546	4.9	5.15	5.15	5.27	0.003554	1.56	0.49	2	1
370	T=100ans	0.546	5	5.25	5.25	5.37	0.003543	1.56	0.49	2	1
360	T=100ans	0.546	5	5.25	5.25	5.37	0.003578	1.56	0.49	2	1
350	T=100ans	0.546	5	5.25	5.25	5.37	0.003534	1.55	0.49	2	1
340	T=100ans	0.546	5.1	5.35	5.35	5.47	0.003574	1.56	0.49	2	1
330	T=100ans	0.546	5.2	5.45	5.45	5.57	0.003564	1.56	0.49	2	1
320	T=100ans	0.546	5.3	5.55	5.55	5.67	0.003533	1.55	0.49	2	1
310	T=100ans	0.546	5.4	5.65	5.65	5.77	0.003562	1.56	0.49	2	1
300	T=100ans	0.546	5.5	5.75	5.75	5.87	0.003534	1.55	0.49	2	1
290	T=100ans	0.546	5.8	6.04	6.04	6.17	0.003738	1.58	0.49	2	1.03
280	T=100ans	0.546	6	6.25	6.25	6.37	0.003562	1.56	0.49	2	1
270	T=100ans	0.546	6.1	6.35	6.35	6.47	0.003533	1.55	0.49	2	1
260	T=100ans	0.546	6.2	6.45	6.45	6.57	0.003537	1.55	0.49	2	1
250	T=100ans	0.546	6.6	6.85	6.85	6.97	0.003533	1.55	0.49	2	1
240	T=100ans	0.546	7	7.24	7.24	7.37	0.003738	1.58	0.49	2	1.03
230	T=100ans	0.546	7.2	7.45	7.45	7.57	0.003536	1.55	0.49	2	1
220	T=100ans	0.546	7.8	8.05	8.05	8.17	0.003558	1.56	0.49	2	1
210	T=100ans	0.546	8	8.25	8.25	8.37	0.003558	1.56	0.49	2	1
200	T=100ans	0.546	8	8.25	8.25	8.37	0.003552	1.56	0.49	2	1
190	T=100ans	0.546	8.2	8.45	8.45	8.57	0.003532	1.55	0.49	2	1
180	T=100ans	0.546	8.8	9.05	9.05	9.17	0.003533	1.55	0.49	2	1
170	T=100ans	0.546	8.8	9.05	9.05	9.17	0.003535	1.55	0.49	2	1
160	T=100ans	0.546	9.5	9.75	9.75	9.87	0.003564	1.56	0.49	2	1
150	T=100ans	0.546	10.2	10.45	10.45	10.57	0.003534	1.55	0.49	2	1
140	T=100ans	0.546	10.8	11.05	11.05	11.17	0.003577	1.56	0.49	2	1
130	T=100ans	0.546	11.3	11.55	11.55	11.67	0.003575	1.56	0.49	2	1
120	T=100ans	0.546	11.7	11.95	11.95	12.07	0.003532	1.55	0.49	2	1
110	T=100ans	0.546	12.3	12.55	12.55	12.67	0.003533	1.55	0.49	2	1
100	T=100ans	0.546	12.5	12.75	12.75	12.87	0.003562	1.56	0.49	2	1
90	T=100ans	0.546	13.5	13.75	13.75	13.87	0.003575	1.56	0.49	2	1
80	T=100ans	0.546	14	14.25	14.25	14.37	0.003555	1.56	0.49	2	1
70	T=100ans	0.546	15	15.25	15.25	15.37	0.003547	1.56	0.49	2	1
60	T=100ans	0.546	15.6	15.85	15.85	15.97	0.003533	1.55	0.49	2	1
50	T=100ans	0.546	16.3	16.55	16.55	16.67	0.003568	1.56	0.49	2	1
40	T=100ans	0.546	16.5	16.75	16.75	16.87	0.00354	1.55	0.49	2	1
30	T=100ans	0.546	17	17.25	17.25	17.37	0.003534	1.55	0.49	2	1
20	T=100ans	0.546	17.5	17.75	17.75	17.87	0.003536	1.55	0.49	2	1
10	T=100ans	0.546	18	18.25	18.25	18.37	0.003556	1.56	0.49	2	1
0	T=100ans	0.546	19	19.25	19.25	19.37	0.003532	1.55	0.49	2	1

Tableau I.13: Résultats de la simulation d'un évènement de crue d'eau d'Essarouel (canal Trapézoïdale).

Station	profile	Q(m3/s)	Min Ch El(m)	W.S. Elev(m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev(m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl(m/s)	Flow Area (m2)	Top Widht h(m)	Froud
419.67	T=100ans	0.546	4.5	4.96	4.96	5.11	0.003421	1.76	0.44	1.41	1.01
410	T=100ans	0.546	4.5	4.96	4.96	5.11	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
400	T=100ans	0.546	4.6	5.06	5.06	5.21	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
390	T=100ans	0.546	4.8	5.26	5.26	5.41	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
380	T=100ans	0.546	4.9	5.36	5.36	5.51	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
370	T=100ans	0.546	5	5.46	5.46	5.61	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
360	T=100ans	0.546	5	5.46	5.46	5.61	0.003424	1.76	0.44	1.41	1.01
350	T=100ans	0.546	5	5.46	5.46	5.61	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
340	T=100ans	0.546	5.1	5.56	5.56	5.71	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
330	T=100ans	0.546	5.2	5.66	5.66	5.81	0.003422	1.76	0.44	1.41	1.01
320	T=100ans	0.546	5.3	5.76	5.76	5.91	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
310	T=100ans	0.546	5.4	5.86	5.86	6.01	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
300	T=100ans	0.546	5.5	5.96	5.96	6.11	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
290	T=100ans	0.546	5.8	6.26	6.26	6.41	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
280	T=100ans	0.546	6	6.46	6.46	6.61	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
270	T=100ans	0.546	6.1	6.56	6.56	6.71	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
260	T=100ans	0.546	6.2	6.66	6.66	6.81	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
250	T=100ans	0.546	6.6	7.06	7.06	7.21	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
240	T=100ans	0.546	7	7.46	7.46	7.61	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
230	T=100ans	0.546	7.2	7.66	7.66	7.81	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
220	T=100ans	0.546	7.8	8.26	8.26	8.41	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
210	T=100ans	0.546	8	8.46	8.46	8.61	0.003422	1.76	0.44	1.41	1.01
200	T=100ans	0.546	8	8.46	8.46	8.61	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
190	T=100ans	0.546	8.2	8.66	8.66	8.81	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
180	T=100ans	0.546	8.8	9.26	9.26	9.41	0.003424	1.76	0.44	1.41	1.01
170	T=100ans	0.546	8.8	9.26	9.26	9.41	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
160	T=100ans	0.546	9.5	9.96	9.96	10.11	0.003422	1.76	0.44	1.41	1.01
150	T=100ans	0.546	10.2	10.66	10.66	10.81	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
140	T=100ans	0.546	10.8	11.26	11.26	11.41	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
130	T=100ans	0.546	11.3	11.76	11.76	11.91	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
120	T=100ans	0.546	11.7	12.16	12.16	12.31	0.003424	1.76	0.44	1.41	1.01
110	T=100ans	0.546	12.3	12.76	12.76	12.91	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
100	T=100ans	0.546	12.5	12.96	12.96	13.11	0.003422	1.76	0.44	1.41	1.01
90	T=100ans	0.546	13.5	13.96	13.96	14.11	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
80	T=100ans	0.546	14	14.46	14.46	14.61	0.003424	1.76	0.44	1.41	1.01
70	T=100ans	0.546	15	15.47	15.47	15.6	0.00951	1.59	0.48	1.87	1
60	T=100ans	0.546	15.6	16.06	16.06	16.21	0.003375	1.75	0.44	1.42	1
50	T=100ans	0.546	16.3	16.76	16.76	16.91	0.003435	1.76	0.44	1.41	1.01
40	T=100ans	0.546	16.5	16.96	16.96	17.11	0.00342	1.76	0.44	1.41	1.01
30	T=100ans	0.546	17	17.46	17.46	17.61	0.003424	1.76	0.44	1.41	1.01
20	T=100ans	0.546	17.5	17.96	17.96	18.11	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
10	T=100ans	0.546	18	18.46	18.46	18.61	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01
0	T=100ans	0.546	19	19.46	19.46	19.61	0.003423	1.76	0.44	1.41	1.01

II- Annexe2

Figure II.1 : Les limites géographiques des trois zones identifiées pour le calcul du débit maximum par Meddi et al. 2017.

TABLE DU χ^2

La table donne la probabilité α pour que χ^2 égale ou dépasse une valeur donnée, en fonction du nombre de degrés de liberté v .
Exemple : avec $v = 3$, pour $\chi^2 = 0,11$ la probabilité $\alpha = 0,99$.

α	0,99	0,975	0,95	0,90	0,10	0,05	0,025	0,01	0,001
v									
1	0,0002	0,001	0,004	0,016	2,71	3,84	5,02	6,63	10,83
2	0,02	0,05	0,10	0,21	4,61	5,99	7,38	9,21	13,82
3	0,11	0,22	0,35	0,58	6,25	7,81	9,35	11,34	16,27
4	0,30	0,48	0,71	1,06	7,78	9,49	11,14	13,28	18,47
5	0,55	0,83	1,15	1,61	9,24	11,07	12,83	15,09	20,51
6	0,87	1,24	1,64	2,20	10,64	12,59	14,45	16,81	22,46
7	1,24	1,69	2,17	2,83	12,02	14,07	16,01	18,48	24,32
8	1,65	2,18	2,73	3,49	13,36	15,51	17,53	20,09	26,12
9	2,09	2,70	3,33	4,17	14,68	16,92	19,02	21,67	27,88
10	2,56	3,25	3,94	4,87	15,99	18,31	20,48	23,21	29,59
11	3,05	3,82	4,57	5,58	17,28	19,68	21,92	24,73	31,26
12	3,57	4,40	5,23	6,30	18,55	21,03	23,34	26,22	32,91
13	4,11	5,01	5,89	7,04	19,81	22,36	24,74	27,69	34,53
14	4,66	5,63	6,57	7,79	21,06	23,68	26,12	29,14	36,12
15	5,23	6,26	7,26	8,55	22,31	25,00	27,49	30,58	37,70
16	5,81	6,91	7,96	9,31	23,54	26,30	28,85	32,00	39,25
17	6,41	7,56	8,67	10,09	24,77	27,59	30,19	33,41	40,79
18	7,01	8,23	9,39	10,86	25,99	28,87	31,53	34,81	42,31
19	7,63	8,91	10,12	11,65	27,20	30,14	32,85	36,19	43,82
20	8,26	9,59	10,85	12,44	28,41	31,41	34,17	37,57	45,31
21	8,90	10,28	11,59	13,24	29,62	32,67	35,48	38,93	46,80
22	9,54	10,98	12,34	14,04	30,81	33,92	36,78	40,29	48,27
23	10,20	11,69	13,09	14,85	32,01	35,17	38,08	41,64	49,73
24	10,86	12,40	13,85	15,66	33,20	36,42	39,36	42,98	51,18
25	11,52	13,12	14,61	16,47	34,38	37,65	40,65	44,31	52,62
26	12,20	13,84	15,38	17,29	35,56	38,89	41,92	45,64	54,05
27	12,88	14,57	16,15	18,11	36,74	40,11	43,19	46,96	55,48
28	13,56	15,31	16,93	18,94	37,92	41,34	44,46	48,28	56,89
29	14,26	16,05	17,71	19,77	39,09	42,56	45,72	49,59	58,30
30	14,95	16,79	18,49	20,60	40,26	43,77	46,98	50,89	59,70

Figure II.1 : table de χ^2 .