



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Département Hydraulique Urbaine

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : **Assainissement**

THEME

**Protection contre les inondations de la ville d'El-Hadaiek
W.Skikda**

Présenté par :

M^{lle} : DOUAS Nour-El-Houda

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M ^r SALAH Boualem	Professeur	Président
M ^{me} MOKRANE Wahiba	M.A.A	Examinatrice
M ^{me} CHENITI Nawel	M.A.A	Examinatrice
M ^{me} BOUCHAMA Hassina	M.A.A	Examinatrice
M ^r BOUKHELIFA Mustapha	M.A.A	Promoteur

Septembre 2016

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail particulièrement à mes parents

Mon père Hamide et ma mère Yakouta merci maman merci papa pour votre soutien, votre

encouragement et votre confiance

Mes frères, Amar, Ahmed et Salah

Mon frère Amer et sa femme Nehla

Mes sœur Hanan et Nacira

Mes LuLu Doria, Dikra, Youssra et Chaima qui m'ont accompagnées durant ce merveilleux

parcours

Mes chères KiKi, Amina et particulièrement à Imen

Mon cher fiancé Yacine merci pour ton soutien et ton encouragement

Remerciement

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

Je remercie mon promoteur M^r : Mustapha BOUKHELIFA pour ses qualités humaines, scientifiques et d'enseignement qui font de lui l'exemple de cette école. Je ne pourrai jamais oublier sa gentillesse, ses conseils précieux, sa générosité, son esprit de recherche, ses commentaires efficaces, ses remarques, ses encouragements et son soutien. Un grand merci de m'avoir donné la chance d'être votre étudiante et de réaliser ce travail.

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

Pour leurs conseils durant toute ma période d'étude.

Je tiens à remercier M^r B.SALAH, d'avoir accepté de présider mon jury de soutenance, et également les membres du jury, M^{me} N.CHENITI, M^{me} O.MOKRANE, M^{me} H.BOUCHAMA de l'ENSH-Blida pour le temps consacré à l'évaluation du présent mémoire.

Je tiens à remercier Mr. Toufik LAOUER Mr. Mohammed Réda CHEKROUD pour leur aide et leurs conseils

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

Nour El-Houda DOUAS

ملخص :

هذه المذكرة تتضمن دراسة معمقة الغرض منها هو حماية مدينة الحدائق ضد الفيضانات الناجمة عن فيضان واد كندة غرب المدينة وواد الماجن شرق المدينة.

يتم بدء الدراسة اعتمادا على البيانات الهيدرولوجية لمنطقة الدراسة. البيانات الطبوغرافية لمنطقة الدراسة. بيانات التعمير وحالة نظام تصريف مياه الأمطار الحالية.

من أجل تحديد خصائص الحوض لدراسة هيدرولوجية وتقدير تدفقات الأودية دراسة التدفق في المجاري المائية الطبيعية للمدينة لتحديد المناطق المعرضة لخطر الفيضانات. اقتراح الحلول التي من شأنها ان تكون دراسة فنية واقتصادية لاختيار أفضل بديل والأنسب. وأخيرا تتم مناقشة البديل المختار بالتفصيل مع تحديد تكلفة المشروع.

Résumé :

L'objectif de cette étude consiste à protéger la ville d'El-Hadaiek wilaya de Skikda contre les inondations, causées par le débordement de l'oued Kounda à l'ouest de la ville et Oued El-Madjen à l'est

L'étude est basé sur Les données hydrologiques de la zone d'étude. Les données topographiques de la zone d'étude. Les données sur l'état d'urbanisation et réseau pluvial existant.

Dans le but de la détermination des caractéristiques du bassin versant, pour l'étude hydrologique, et l'estimation des débits de crues des cours d'eau. Etude d'écoulement dans les cours d'eau naturels de la ville afin de déterminer les zones à risque d'inondation. Proposer des solutions, qui font l'objet d'une étude technico-économique afin de retenir la meilleure variante et la plus adéquate. Finalement, la variante retenue est traitée en détail avec la détermination du coût de projet.

Abstract:

The purpose of this study is to protect the town of El-Hadaiek Skikda against floods caused by river flooding Kounda in the west of the city and El-Madjen in the east.

The study is based on Hydrological data of the study area. Topographic data of the study area. Data on urbanization and existing storm water system state.

In order to Determinate the characteristics of the basin for the hydrological study and estimation of flood flows of rivers. Flow study in the natural waterways of the city to determine the areas at risk of flooding.

Propose solutions that are the subject of a technical and economic study to select the best alternative and most appropriate. Finally, the chosen alternative is discussed in detail with the determination of the project

Table des matières

Dédicace	I
Remerciement	II
Résumé	III
Table de matière.....	IV
Liste des figures	X
Liste des tableaux	XII
Liste des abréviations	XV
Liste des planches	XVI
Introduction générale	XVII

Chapitre I : Présentation De La Zone D'étude

I.1. Introduction	1
I.1.1. Les inondations en Algérie	1
I.1.2. .Historique des inondations SKIKDA	1
I.2. Position géographique du site	4
I.3. Localisation de la zone d'étude	6
I.4. Situation démographique	6
I.5. Situation climatique.....	7
a) Le climat	7
b) La pluviométrie	7
c) La température	8
d) Le vent	9

I.6.	Situation hydrographique	9
I.7.	Situation géologique	11
I.7.1	Sismicité.....	12
I.8.	Situation géomorphologique.....	13
I.9.	Situation hydraulique.....	13
I.10	Bassin versant	14
I.10.1	Définition d'un bassin versant	14
I.10.2	Paramètres morpho métriques du bassin versant	14
I.10.3.	Caractéristiques de forme	14
I.10.4.	Relief	16
I.10.4.2	Altitudes caractéristiques	17
I.10.4.3	Indice de pente global I_g	18
I.10.4.4	Indice de pente de roche I_p	19
I.10.4.5	Pente Moyenne De Bassin versant(I_m)	20
I.10.5	Le réseau d'écoulement	20
I.10.5.1	Longueur du cours d'eau principale	20
I.10.5.2	Densité de drainage	21
I.10.5.3	La pente moyenne d'un cours d'eau	22
I.10.6.	Temps de concentration	22
I.10.7	vitesse moyenne de l'écoulement	23
I.11	Conclusion	24

Chapitre II : Etudes Des Précipitations Maximales Journalières

II.1.1 Les petites pluies :	25
II.1.2. Les averses:	25
II.2 Analyse des données pluviométriques	25
II.2.1 Analyse des données statistiques :	25
II.2.2 Les précipitations maximales journalières.....	26
II.3 Ajustement des séries pluviométrique.	28
II.3.1 Choix de la loi d'ajustement :	28
II.3.2 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel :	29
II.3.3 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Galton (Log normale)	33
II.4 Test de validité d'un ajustement	36
a) Test d'adéquation par statique khi ²	36
b). Graphique.....	37
II.5 Calcul de l'intensité de pluie de courte durée	37
II.6 Courbe IDF de l'ANRH	39
II.7 Conclusion	41

Chapitre III : Estimation Des Débits De Crues Des Cours D'eaux

III.1 Introduction	42
III.2 Méthodes SCS-CN (Soil Conservation Service-Curve Number)	42
III.2.1 Présentation de la méthode.....	42
III.2.2 Démarche à suivre	43
1. Division en sous bassin	44

2.	Calcul du temps de concentration et le lag time	44
A)	Temps de concentration	44
B)	temps de parcours (Lag time) :.....	45
3.	Détermination des curve-numbers	45
4.	résultats de la simulation de l'hydrogramme de crues HEC-HMS	46
III.3	Calcul des crues par la méthode de SOKOLOVOSKY.	49
III.3.1	Construction des hydrogrammes des crues (SOKOLOVOSKY)	50
A)	Pour le temps de montée :.....	50
B)	Pour la décrue :.....	51
III.4	Formule de Turazza.....	53
III.5	Modele de l'ANRH pour la détermination de l'hydrogramme de crues :.....	54
III.6	Conclusion.....	56
 Chapitre IV : Etude D'écoulement Dans Les Cours D'eaux Non Aménagés		
IV.1	Introduction.....	57
IV.2	Description du réseau à simuler	57
IV.3	Simulation de l'écoulement sur HEC-RAS	59
A.	Démarche de la simulation :	60
1.	Modélisation de la rivière :	60
2.	Modélisation de l'écoulement.....	61
3.	Mise en marche de a simulation.....	62
4.	Visualisation des résultats et constatation.....	63
IV.4	Délimitation des zones inondables.....	65

IV.5 Conclusion	67
-----------------------	----

Chapitre V : Etude Des Variantes D'aménagement Pour La Protection Contre Les Inondations

V.1 Introduction	68
V.1.1 Les différents aménagements répertoriés	68
V.2 Variantes proposées.....	69
V.3 Choix de la formule de dimensionnement.....	70
V.4 Première Variante.....	71
V.4.1 Simulation des résultats.....	72
V.5 Deuxième Variante.....	76
V.5.1 Simulation des résultats.....	77
V.6 Vitesse d'érosion	81
V.7 Critères de choix de la variante adéquate.....	82
V.7 Conclusion.....	82

Chapitre VI : Estimation Financière Et Quantitative Du Système De Protection Contre Les Inondations

VI.1. Introduction.....	83
VI.2 Estimation du cout des variantes.....	83
VI.2.1 Variante N°1	84
VI.2.2 Variante N°2	88
VI.3 variante retenue	93
VI.4 Conclusion	94

Conclusion générale

Références et bibliographie

Annexes

• Liste Des Figures

Chapitre I : Présentation De La Zone D'étude

Figure I.1 : résultat après inondation du 17 février 2015

Figure I.1 : Situation géographique de la ville d'El Hadaiek

Figure I.3 : Image satellitaire non traitée de google earth de la zone d'étude

Figure I.4 : Précipitations mensuelles moyennes sur la période 1966-2002

Figure I.5 : Températures mensuelles moyennes sur la période 1967-2002

Figure I.6 : situation hydrogéologique d'Oued Zeramena dans le bassin versant de SafSaf

Figure I.7 : extrait de la carte géologique Ramdane djamel du bassin versant safsaf

Figure I.8 carte De Micro Zonage Sismique Du Territoire National-RPA 99

Figure I.9 : courbe hypsométrique

Figure I.10 réseau hydrographique de bassin versant

Chapitre II : Etudes Des Précipitations Maximales Journalières

Figure II.1 : représentation de la droite de Gumbel

Figure II.2 : représentation de la droite de Galton

Figure II.3 comparaison des deux lois

Figure II.4 Courbes de pluies-durées-fréquences

Figure II.5 Courbes intensité-durées-fréquences

Chapitre III : Estimation Des Débits De Crues Des Cours D'eaux

Figure III.1 réseau d'écoulement sur HEC-HMS

Figure III.2 hydrogramme de crues du sous bassin versant de Oued Kounda pour une période de retour de 50 ans et une durée de 6H

Figure III.3 hydrogramme de crues du sous bassin versant d'Oued El-Madjen pour une période de retour de 50 ans et une durée de 6 H

Figure III.4 hydrogramme de crues du sous bassin versant de Oued Kounda pour une période de retour de 100 ans et une durée de 6H

Figure III.5 hydrogramme de crues du sous bassin versant d'Oued El-Madjen pour une période de retour de 100 ans et une durée de 6 H

Figure III.6 hydrogramme de sortie de l'exutoire pour T=100 et une durée de 6 H

Figure III.7 hydrogramme de crues du bassin versant d'Oued_Kounda

Figure III.8 hydrogramme de crues du bassin versant d'Oued_El-Madjen

Figure III.9 hydrogramme de crues par le modèle de l'ANRH du sous bassin d'Oued Kounda.

Figure III.10 hydrogramme de crues par le modèle de l'ANRH du sous bassin d'Oued El-Madjen

Chapitre IV : Etude D'écoulement Dans Les Cours D'eaux Non Aménagés

Figure IV.2 : Oued Kounda situé à quelque 400 m de la Daïra (BET)

Figure IV.3 : Oued Kounda a l'intérieure du Village

Figure IV.4: Oued Kounda traverse une cité en amont de la confluence avec Oued El-Madjen

Figure IV. 5: Oued El-Madjen à l'intérieure du village.

Figure IV.6: Oued kounda et Oued El-Madjen chargés sur HEC-RAS

Figure IV.7: résultat de la simulation de l'amont d'oued El-Madjen

Figure IV.8: résultat de la simulation d'oued El-Madjen_aval.

Figure IV.9 : résultat de la simulation d'oued Kounda_amont.

Figure IV.10: résultat de la simulation de l'aval d'oued Kounda.

Figure IV.11: extrait MNT du SAGA Gis

Figure IV.12: zones inondables d'oued Kounda et Oued El-Madjen

Chapitre V : Etude Des Variantes D'aménagement Pour La Protection Contre Les Inondations

Figure V.1 : profil en long d'oued Kouda

Figure V.2 : profil en travers de la section aval d'oued kounda

Figure V.3 profil en long d'oued El-Madjen

Figure V.4 section en amont d'Oued El-Madjen

Figure V.5 section en aval d'Oued El-Madjen

Figure V.6 profil en long d'oued Kounda pour la deuxième variante

Figure V.7 section amont d'oued Kounda

Figure V.8 section aval d'oued Kounda

Figure V.9 profil en long d'Oued El-Madjen aménagé par la deuxième variante

Figure V.10 section amont d'oued El-Madjen après aménagement

Figure V.11 section aval d'oued El-Madjen

- **Liste des tableaux**

Chapitre I : Présentation De La Zone D'étude

Tableau I.1 : Estimation de la population

Tableau I.2: Pluviométrie moyenne mensuelle à la station de SKIKDA Période (1966-2002).

Tableau I.3: Répartition de la température à la station d'EL Hadaiek pour la période 1967 - 2002

Tableau I.5: les paramètres morphométriques du bassin versant.

Tableau I.6 surface partielles des sous bassin par tranche d'altitudes

Tableau I.7 les différentes altitudes caractéristique du bassin

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

Tableau I.9 détermination de la pente de Roche

Tableau I.10 longueur des courbes de niveau

Tbleau I.11 caractéristiques des sous bassins

Tableau I.12 densité de drainage de chaque sous bassin

Tableau I.13 la pente moyenne des cours d'eau

Tableau I.14 le temps de concentration par la formule de Kirpich

Tableau I.15 la vitesse de ruissellement

Tableau I.16 : Caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant

Chapitre II : Etudes Des Précipitations Maximales Journalières

Tableau II.1 : Coordonnées géographiques de station météorologiques Skikda (Port)

Tableau II.2 précipitations maximale journalière

Tableau II.3: Caractéristique de la série

Tableau II.4. Calcul des paramètres d'ajustement par la loi de Gumbel :

Tableau II.5 résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL

Tableau II.6 comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon

Tableau II.7. Resultats de l'ajustement à la loi de GALTON

Tableau II.8. Comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon

Tableau II.9 Précipitation et intensités maximales pour les différentes périodes de retour

Tbleau II.10 données des cartes de l'ANRH

Tableau II .11 résultats des deux méthodes

Chapitre III : Estimation Des Débits De Crues Des Cours D'eaux

Tableau III.1 résultats du Tc et Lag

Tableau III.2 nature des surfaces et pourcentage des surfaces impérméables

Tableau III.3 Débits de crues de différentes périodes de retour et durée de pluie

Tableau III.4 Débit de crue par la formule de Sokolovsky

Tableau III.5 Résultats de calcul des débits par la méthode de Sokolovsky pour le sous bassin du Oued_El-Madjen.

Tableau III.6 Résultats de calcul des débits par la méthode de Sokolovsky pour le sous bassin du Oued_kounda.

Tableau III.6 : valeur de coefficient de ruissellement C.

Tableau III.7: Résultats de calcul de débit de crue par la formule de Turazza du sous bassin d'Oued Kounda.

Tableau III.8 : Résultats de calcul de débit de crue par la formule de Turazza du sous bassin d'Oued El-Madjen.

Tableau III.9 résultats des débits par le modèle de l'ANRH.

Tableau III.10 comparaison de résultats pour les différentes périodes de retour.

Chapitre IV : Etude D'écoulement Dans Les Cours D'eaux Non Aménagés

Tableau IV.1 : Les débits en entrée des deux Oueds _SCS-CN

Tableau IV.2 : coefficient de Manning choisi pour les deux Oueds

Chapitre V : Etude Des Variantes D'aménagement Pour La Protection Contre Les Inondations

Tableau V.1: variantes proposées pour l'aménagement

Tableau V.2: pente et fruit de talus correspondants

Tableau V.3 : resultats de la 1 ere variante

Tableau V.4: résultat de simulation de Oued_Kounda

Tableau V.5 : résultats de simulation d'Oued El-Madjen

Tableau V.6: Paramètres géométriques de la deuxième variante.

Tableau V.7: résultats de simulation d'oued_Kounda pour la deuxième variante

Tableau V.8: résultats de simulation d'oued El-Madjen pour la deuxième variante

Tableau V.9: Valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolident

Tableau V.10 : critères de choix de la variante adéquate

Chapitre VI : Estimation financière et quantitative du système de protection contre les inondations

Tableau VI.1 : quantité des matériaux utilisés pour la réalisation

Tableau VI.2 : Devis estimatif d'Oued _Kounda

Tableau VI.3 : quantité des matériaux utilisés pour Oued El_Madjen

Tableau VI.4 : devis estimatif d'Oued El-Madjen

Tableau VI.5 : quantité des matériaux utilisés pour l'aménagement d'Oued Kounda par la deuxième variante

Tableau VI.6 : Devis estimatif d'oued Kounda pour la deuxième variante

Tableau VI.7 : quantité des matériaux utilisés pour l'aménagement d'oued El-Madjen par la deuxième variante

Tableau IV.8 : devis estimatif d'oued El-Madjen pour la deuxième variante.

- **Liste Des Abréviations**

BV : bassin versant

RN : route nationale

UTM : universal transversal mercator

ANRH : agence nationale des ressources hydrauliques

RPA : règles parasismiques algérienne

ONM : Office national de la météo

BET : bureau d'étude

NGA : niveau géographique algérien

A.P.C : assemblé populaire Communal

HEC-RAS: Hydrologic Engineering Center's River Analysis System.

SAGA : Système for Automated Geoscientific Analyses

- **Liste Des Planches**

Planche N°1 : Carte Des Zone Inondables

Planche N°2 : Coupes Types Des Aménagements

Planche N°3 : Vue En Plan Des Aménagements

Planche N°4 : Profile En Long d'Oued Kounda

Introduction Générale

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

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

Les plus fortes crues des cours d'eau de l'Algérie se manifestent en automne et en hiver à cause des orages et des averses intenses, ces fortes crues engendrent des inondations catastrophiques dont les dégâts humaines et matériels ont été toujours très élevés d'où l'historique des inondation en Algerie montre que 1/3 des commune de l'Algérie sont susceptibles d'etre inondées.

Dans ce mémoire nous allons faire un aménagement pour la protection contre ce phénomène pour la ville d'El-Hadaiek traversée par Oued Kounda et Oued El-Madjen. Pour arriver à l'aménagement final on va passer par plusieurs étapes en commençant par une présentation de la zone d'étude puis une estimation des précipitations maximales journalières, pour avoir l'hydrogramme de crues grâce à l'outil HEC-hms. Une fois ce dernier est estimé on va déterminer la carte des zones inondables passant par Autocade, Hec-Ras, Autocad civil 3D et SAGA Gis à l'aide du Levé topographique de la zone d'étude. Finalement on propose un aménagement pour les deux Oueds et l'évaluer au terme quantitatif et financier.

Chapitre I

Présentation de la zone d'étude

I.1. Introduction

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

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

I.1.1. Les inondations en Algérie

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

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

I.1.2. .Historique des inondations SKIKDA [01]

Cette région a connu plusieurs inondations par le passé, dont certaines étaient fort dévastatrices, notamment celle de novembre 1957, février et décembre 1984 et également celle de décembre 1990.

On présente dans ce qui suit par ordre chronologique, un bref aperçu des inondations survenues

- 03 Février 1984 : Pluies abondantes généralisées sur l'ensemble de l'Est Algérien avec un foyer de maximum sur les monts de Constantine (120 mm en 03 jours) et les monts de la Medjerda (80 mm en 03 jours) ont provoqué des inondations catastrophiques dans toutes les wilayas de l'Est Algérien..

Dégâts:

- Jijel: 20 morts, 500 têtes de bétail emportées et dégâts évalués à 50 millions DA.
- Constantine: 1140 familles sinistrées 200 ha de cultures détruites
- Skikda : 8000 habitations envahies par les eaux.

Chapitre I : présentation de la zone d'étude

- Guelma : 03 disparus, 157 familles sinistrées, 02 ponts détruits et canalisations d'AEP détruites à 100 %.
- Khenchla: 777 familles sinistrées et pertes importantes en cheptel.
- Oum El Bouaghi: 144 maisons détruites et 429 familles sinistrées.
- 29 Décembre au 01 Janvier 1985 : Pluies exceptionnelles (plus de 250 mm en 04 jours seulement et 195 mm en une journée) généralisées sur toutes l'Est Algérien provoquant des inondations très catastrophiques dans les wilayas de: Jijel, Constantine, Skikda, Guelma, Annaba et El Tarf.
- 28 octobre 2006 : forte pluie a causé un glissement de terrain et inondations à skikda
- 31 Octobre 2011 : forte pluie sous forme d'averses Les cumuls estimés dans ces régions atteindront ou dépasseront localement les 70 mm.
- 31 Aout 2012 pluie exceptionnelle dévastatrice
- 17 février 2015 situation dramatique causée par les pluies de plusieurs maisons situées sur la route menant vers la cité Zefzef, où le niveau de l'eau a atteint plus de 1,5 m de hauteur



Figure I.1 : résultat après inondation du 17 février 2015

La commune d'EL HADAIK a connu plusieurs inondations par le passé, dont certaines étaient fort dévastatrices, notamment celle de novembre 1957, février et décembre 1984 et également celle de décembre 1990, vu le développement rapide des différents centres, et la négligence ou la sous-estimation des dangers que représentent les affluents de ces oueds (petits cours d'eau), ont conduit à une extension urbaine ne tenant pas compte des dangers que représentent ces derniers. Il est déplorable, que nous constatons que, dans certains cas, des programmes d'équipements et de logement sont implantés sur les itinéraires même des cours

Chapitre I : présentation de la zone d'étude

d'eau ; sans tenir compte d'une solution de substitution pour la prise en charge des eaux torrentielles.

Le problème de protection contre les inondations ne possède pas de solution unique, car ce sont les conditions locales qui commandent. De plus la réalisation de telle protection nécessite la réunion de certain nombre de conditions qui la plupart du temps limitent les résultats, donc il faut chercher le type de protection le mieux adapté à la zone à protéger en prenant les marges de sécurité suffisantes, car les méthodes d'études ne sont pas toujours précis.

De ce fait, l'ingénieur a besoin de s'imposer une limite au débit de crues en fonction desquels il doit concevoir les ouvrages hydrauliques, donc une étude détaillée doit être lancée au niveau de notre zone dans les chapitres suivants.

I.2. Position géographique du site [02]

La localité d'El-Hadaïek qui est le chef-lieu de la daïra est située au sud du chef-lieu de la wilaya de Skikda à six (06) kilomètres environ. Il est accessible par la route nationale N°03 qui relie Skikda à Biskra ; tandis que la RN43 qui va vers Jijel, prend naissance à l'intérieur de l'agglomération.

- Au nord par la ville de SKIKDA centre et Ain Zouit
- À l'Est par la commune de HAMADI KROUMA
- Au Sud par la commune de Ramdane Djamel.
- à l'Ouest par la commune de Bouchetata

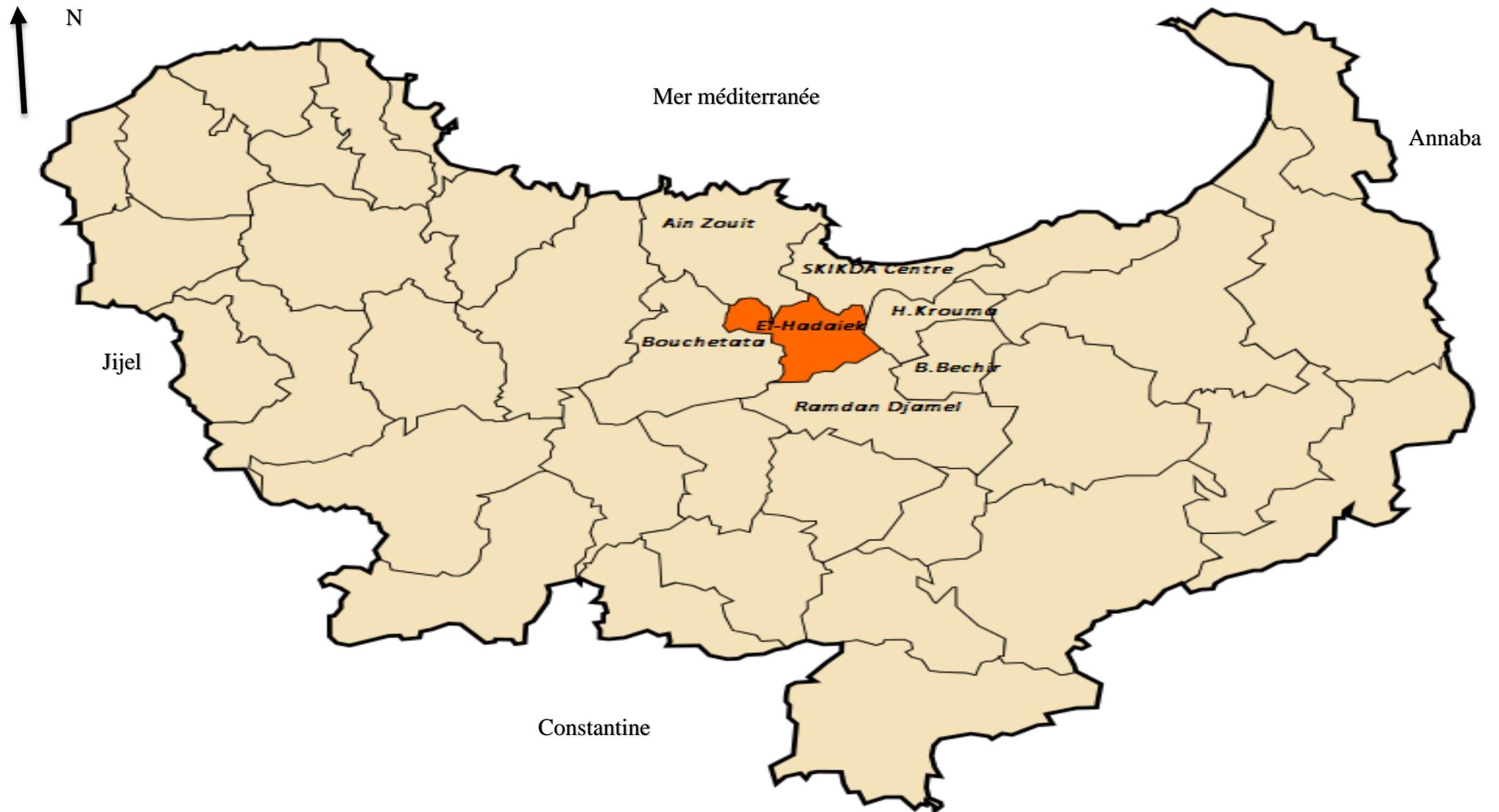


Figure I.2: Carte de la Wilaya de SKIKDA montre la situation géographique de la ville d'El Hadaiek

I.3. Localisation de la zone d'étude [02]

La localité d'El-Hadaïek est située sur les limites de la plaine d'Oued Zeramna, qui est à son tour un affluent d'Oued Safsaf.

Les deux principaux oueds qui traversent le village sont oueds El-Madjen et Kounda. Le premier est issu de Erd-Diss, sur les limites de la commune de Hammadi Krouma, à proximité de la carrière romaine, et le second prend naissance au environ de Sra bir-Kelb (*en amont du Cimetière des martyrs*). Oued El-Madjen débouche sur Oued Kounda, qui se déverse à son tour sur Oued Zeramna.

La longueur du thalweg principale est de 8,734 km et la pente moyenne est de l'ordre de 4%, les coordonnées du point d'exutoire du bassin versant sont déterminées à UTM de la carte topographique de SKIKDA et celle de Ramdane Djamel 1/25 000, avec les coordonnées suivantes : **X : 311,6 km ; Y : 4078,035 km ; Z : 16 m.**



Figure I.3 : Image satellitaire non traitée de google earth de la zone d'étude.

I.4. Situation démographique

La population de la commune d'EL HADAIK est répartie sur le territoire communal de manière irrégulière, la majeure partie de la population se concentre au chef-lieu dans une proportion de 60 % qui reflète également l'indice d'urbanisation. Selon les statistiques de 2008, la population est de l'ordre de 18 000 habitants, avec un taux d'accroissement de 2,8%

D'où on aura les données suivantes

Tableau I.1 : Estimation de la population

Horizon	2016	2040
Population (habitant)	22452	34926

I.5. Situation climatique**a) Le climat**

La ville de SKIKDA est de type méditerranéen subhumide. L'hiver à EL HADAIEK se caractérise par des précipitations bien plus importantes qu'en été. La classification de Köppen-Geiger est de type Csa. En moyenne la température à Skikda est de 17.2 °C. Sur l'année, Cette zone est également caractérisée par une saison pluvieuse, qui s'étale du mois de septembre qui annonce l'arrivée des premières pluies de l'automne jusqu'au mois d'avril ou parfois Mai, qui annonce la fin de la saison humide et le début de la saison sèche.

Cette zone est caractérisée aussi par une variabilité interannuelle des précipitations, ou l'on remarque qu'une grande partie des pluies tombe sur cette zone en quelques semaines sous forme d'averses.

b) La pluviométrie

Les précipitations montrent un rythme pluviométrique mensuel et annuel irrégulier d'une année à l'autre, avec une moyenne pluvieuse de 350 à 400 mm. La période humide débute du mois de novembre jusqu'à mois d'avril. La période sèche s'étale du mois de juin au mois de d'août. La pluviométrie annuelle dépasse 720 mm, les précipitations moyennes mensuelles sont représentées dans le tableau II.2 ci-après :

Tableau I.2: Pluviométrie moyenne mensuelle à la station de SKIKDA Période (1966-2002).

mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU
Moy (mm)	36.2	73.8	92.6	122.7	104.8	89.8	71.5	64.4	35.6	12.7	2.6	9.0

Source (ANRH Constantine)

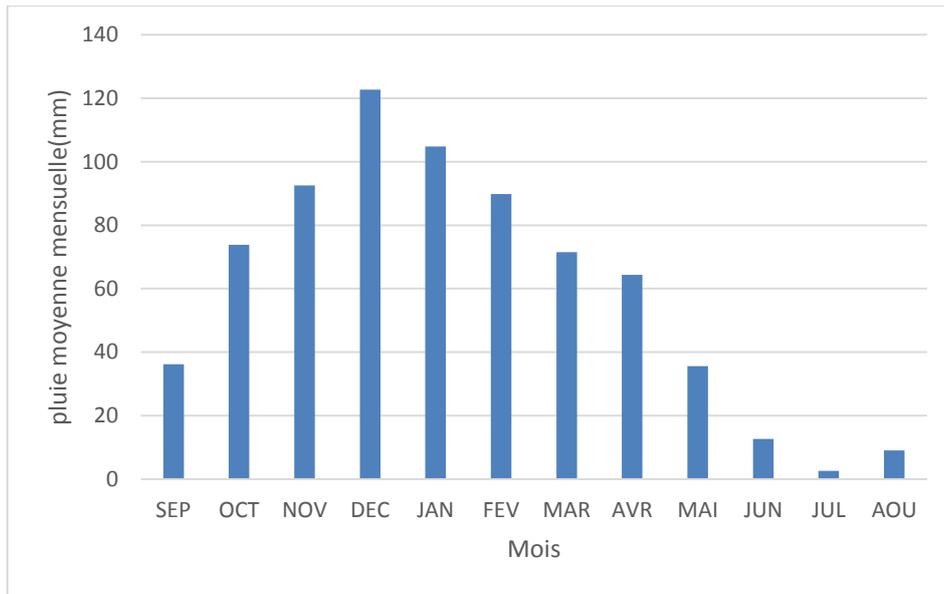


Figure I.4 : Précipitations mensuelles moyennes sur la période 1966-2002

Selon le tableau II.2, la plus grande valeur de précipitation moyenne mensuelle, correspond au mois de Décembre (122.7 mm), par contre la plus faible valeur correspond au mois de juillet avec 2.6 mm.

c) La température

Les données recueillies à la station de Skikda font ressortir une température moyenne annuelle de 19°C. Dans le tableau ci-après, nous représentons les températures moyennes mensuelles ainsi que les températures maximales et minimales pour les onze dernières années relevées à la station de Skikda.

Tableau I.3: Répartition de la température à la station d'EL Hadaiek pour la période 1967 - 2002.

mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU
Tmin °C	20.9	18.2	13.3	10.7	10.4	10.4	10.5	13.7	16.0	19.3	22.3	22.8
Tmoy °C	22.2	18.8	15.4	11.5	11.3	11.5	12.7	14.7	17.5	20.2	23.4	24.0
Tmax °C	23.3	20.1	16.6	12.8	12.9	12.8	14.2	16.0	18.3	21.1	24.7	24.4

Source : station de skikda

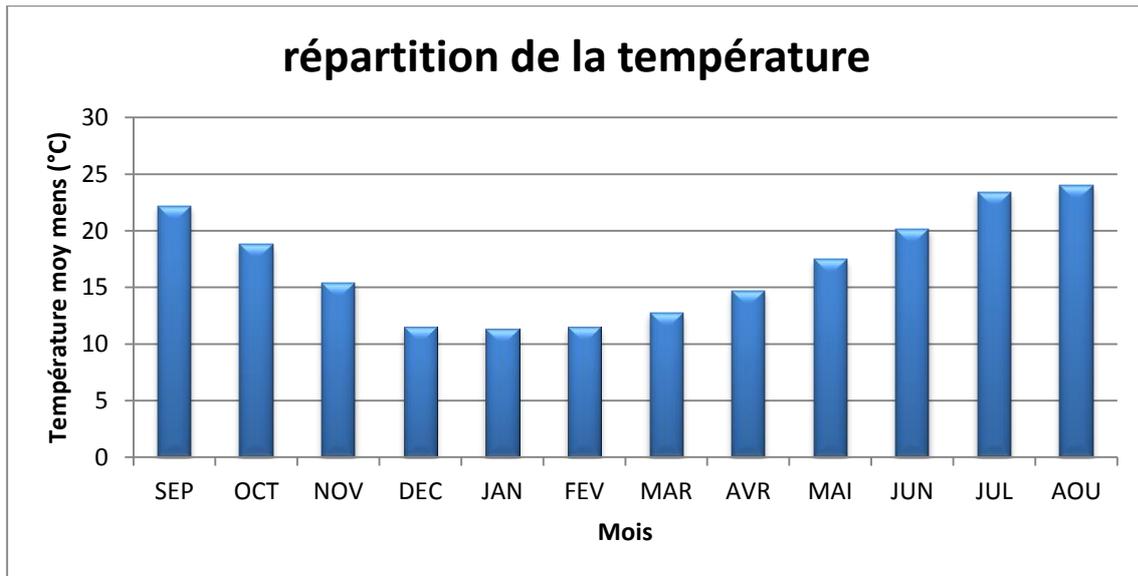


Figure I.5 : Températures mensuelles moyennes sur la période 1967-2002

La région se caractérise par un été chaud et un hiver froid, tel que la valeur moyenne annuelle est de 19°C, donc à partir des valeurs montrées dans le tableau ci-dessus, on peut distinguer deux saisons :

- Une saison froide, allant d'Octobre à Mai, avec une température moyenne inférieure à la moyenne annuelle. Le mois de Janvier représente le mois le plus froid avec une température moyenne de 11,3 °C.
- Une saison chaude, allant de juin à septembre, avec une température moyenne supérieure à la moyenne annuelle. Le mois le plus chaud est marqué par le mois de Aout avec une température moyenne de 24 °C.

d) Le vent

Cette région est caractérisée par des vents chauds et secs en Été, froids et secs en Hiver. La vitesse moyenne des vents est considérée comme « modérée » avec une moyenne de 2.9 m/s.

I.6. Situation hydrographique [03]

Le réseau hydrographique est défini comme étant l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. C'est l'une des caractéristiques les plus importantes du bassin.

Les deux principaux oueds qui traversent le village sont oueds El-Madjen et Kounda. Oued El-Madjen débouche sur Oued Kounda, qui se déverse à son tour sur Oued Zeramna.

Pour bien illustrer la situation hydrogéologique, on présente la carte suivante.

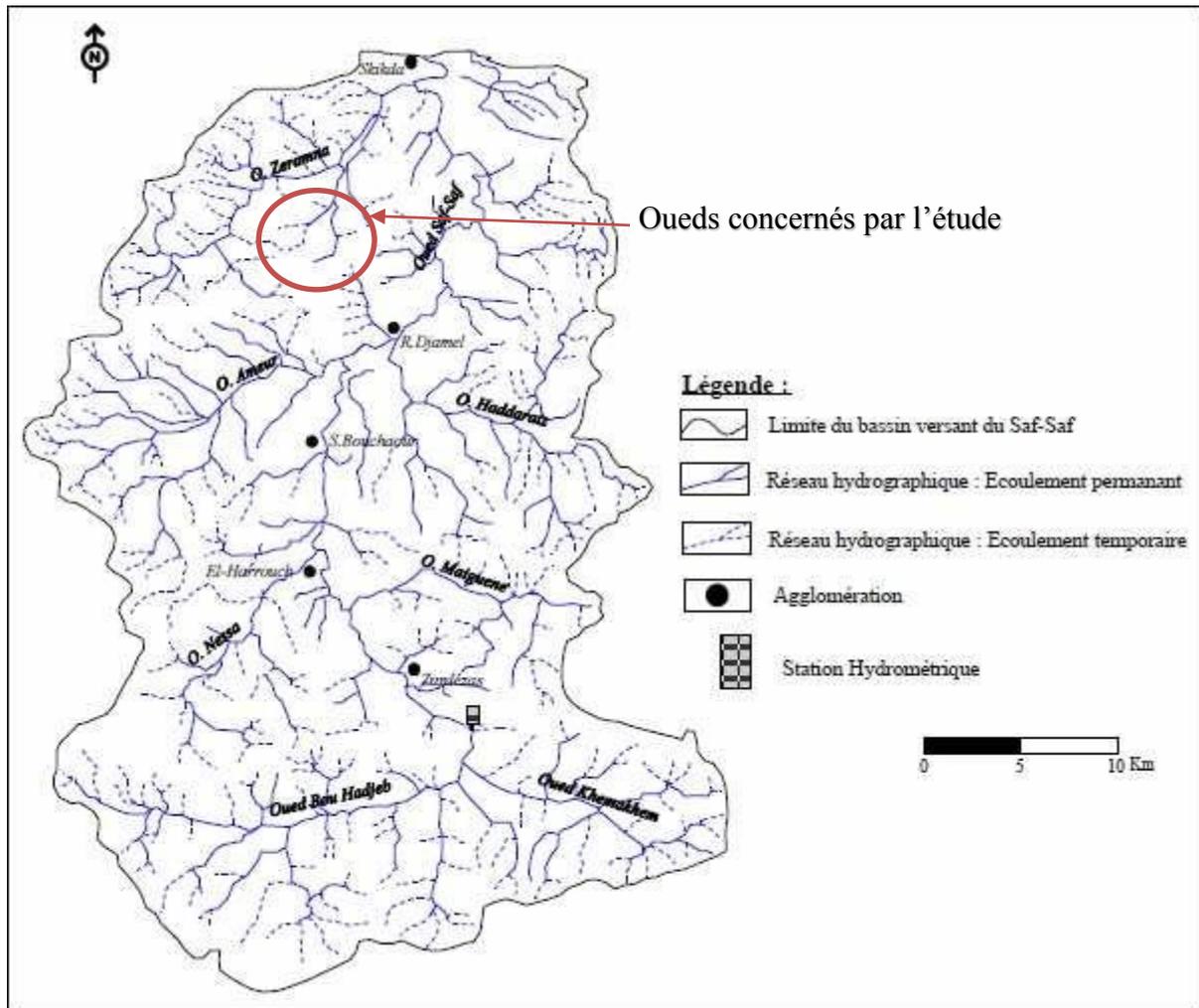


Figure I.6 : situation hydrographique d'Oued Zeramena dans le bassin versant de Saf Saf

I.7. Situation géologique [03]

La lecture de la carte géologique nous a permis d'apporter que le périmètre de l'étude présente des terrains pratiquement plats, la pente est légèrement inférieure à 2%

Une nappe superficielle à près de 2 m de profondeur est signalée.

Quelques rares lignes d'écoulement des eaux très peu profondes indiquent un très mauvais drainage des eaux de surface, et même des inondations et des stagnations des eaux à chaque période de pluie.

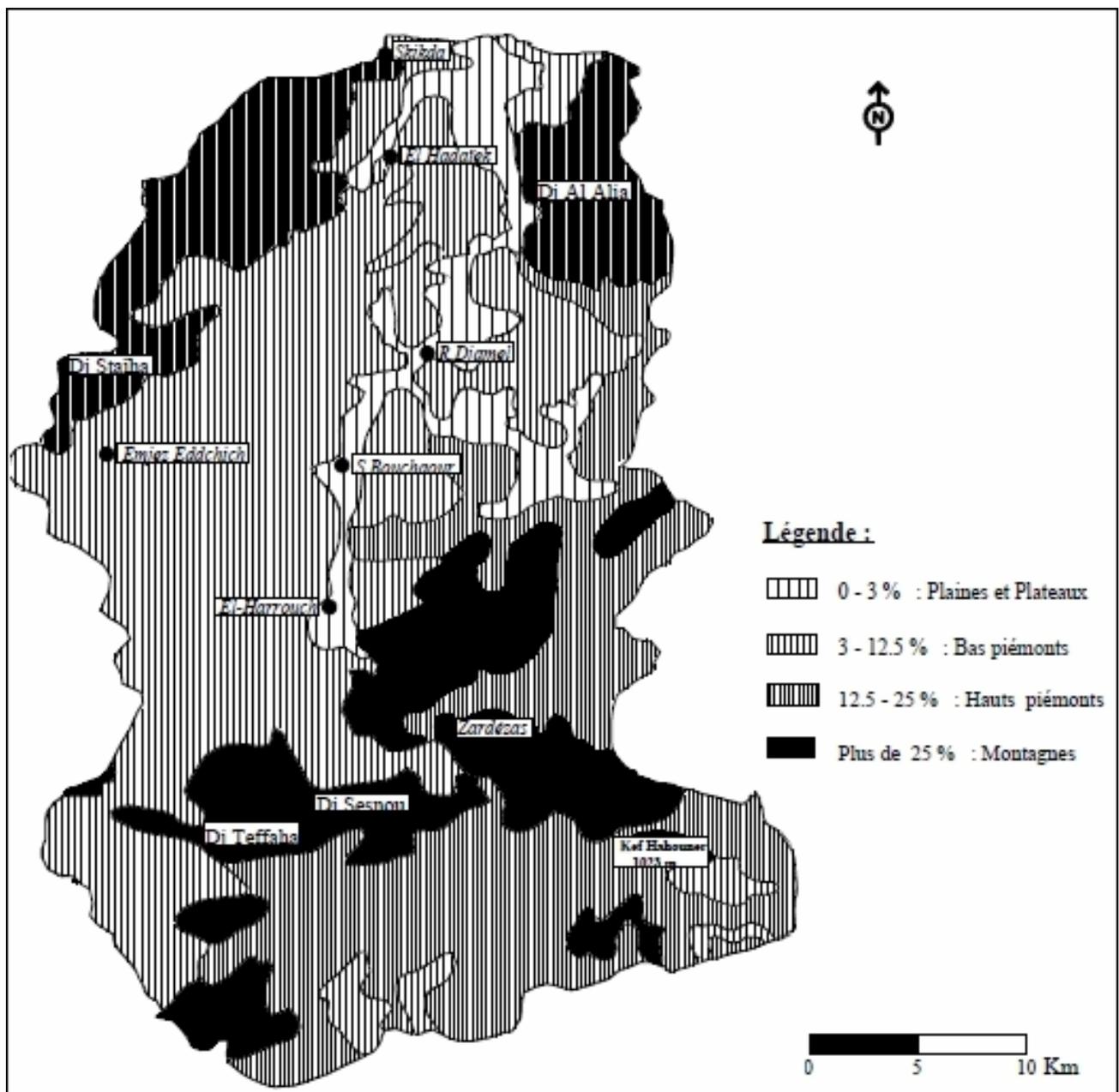


Figure I.7 : extrait de la carte géologique Ramdane djamel du bassin versant safsaf

I.7.1 Sismicité :

Les séismes ou tremblements de terre sont des secousses qui affectent l'écorce terrestre leur intensité est très variable.

Certains séismes sont des frémissements que seuls les appareils spéciaux appelés sismographes, peuvent les mettre en évidence.

- **les effets géologiques des séismes :**

Les grands séismes provoquent à la surface du sol

- L'ouverture de nombreuses fissures ;
- La formation de failles c'est à dire des cassures le long desquelles s'effectuent des déplacements de terrains, ces déplacements sont verticaux, et parfois horizontaux.
- Des modifications dans le trajet des cours d'eau.
- La sismicité est le nombre et l'intensité des séismes ayant lieu dans une région.
- La prospection sismique ou la sismique utilise des ondes issues d'explosions soit réfractées (sismique réfraction) soit réfléchit (sismique réflexion).

Le territoire national est divisé en cinq (05) zones de sismicité croissante définies sur la carte des zones sismiques.

- Zone 0 : Sismicité Négligeable.
- Zone I : Sismicité Faible.
- Zone IIa et IIb : Sismicité Moyenne
- Zone III : Sismicité Elevée. [04]

La zone d'étude, appartient à la wilaya de SKIKDA et est classée en zone "2" (sismicité moyenne) dans laquelle les règles parasismiques devront être appliquées lors de l'élaboration des projets de construction importante ou de grande envergure.

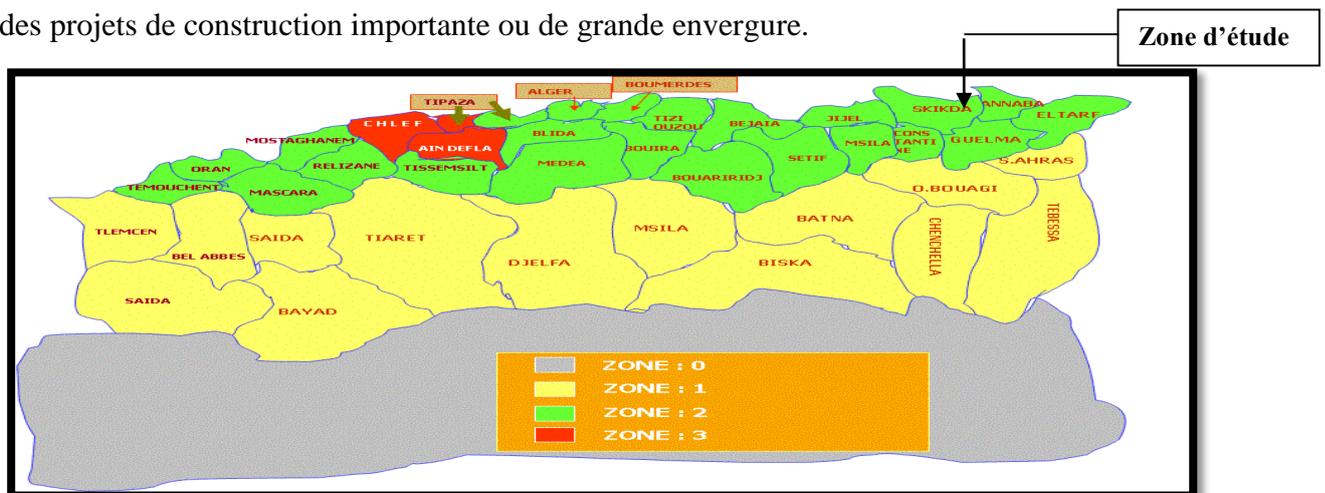


Figure I.8 carte De Micro Zonage Sismique Du Territoire National-RPA 99 (Version 2003)

I.8. Situation géomorphologique

Le relief de la commune d'EL Hadaiek est pratiquement caractérisé par :

- Les plaines qui occupent les deux tiers de la superficie
- Des zones petites peu montagneuses.

I.9. Situation hydraulique

Les eaux pluviales et les eaux usées de la ville d'El Hadaiek sont évacuées par un réseau d'assainissement d'un système unitaire. L'implantation du réseau a permis d'augmenter les pentes et les diamètres vu que l'ancien réseau était inutile pour assurer un écoulement efficace, rapide et minimiser les dépôts ainsi que la projection d'un bassin de décantation et d'un déversoir d'orage. Le branchement consiste à utiliser des conduites souterraines, de différents diamètres : $\Phi 300$ et $\Phi 400$ reliées entre elles par des regards. Ses eaux sont évacuées finalement par un collecteur principal allant vers une station de relevage avec un diamètre $\Phi 800$ pour les pomper vers la station d'épuration des eaux usées de Hamrouch Hamoudi

Au terme de cette partie, nous avons pu cerner toutes les informations nécessaires sur la région d'étude à savoir :

- La position géographique
- La démographie
- Le climat
- L'hydrogéologie
- La géologie
- sismicité
- hydraulique

En effet, celles-ci sont très utiles et nécessaires pour l'étude de protection et l'étude hydraulique de l'aménagement qui sera projeté.

I.10 Bassin versant

I.10.1 Définition d'un bassin versant

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

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

I.10.2 Paramètres morpho métriques du bassin versant [05]:

L'étude morphométrique permet une étude complémentaire du relief et une meilleure définition des paramètres physiques du bassin versant. A cet effet, en nous basant sur les cartes d'état-major à l'échelle 25 000^{ème} de Skikda et Ramdane Djamel, que nous avons scanné, nous avons défini les différentes données et paramètres physiques du bassin versant global de Oued Kounda (c.a.d. : y compris Oued El-Madjen).

A. Superficie (S)

La surface du bassin versant est le paramètre le plus important des caractéristiques. Elle est obtenue par le logiciel MAPINFO sur la carte topographique de Ramdane Djamel et SKIKDA, échelle 1/25 000 . La surface «S» d'un bassin versant s'exprime généralement en « km² ».

B. Le Périmètre (P)

Le périmètre est défini par la ligne des crêtes formant le contour du bassin versant il a été déterminé également par le logiciel cité précédemment. Le périmètre d'un bassin versant est exprimé en « Km ».

I.10.3. Caractéristiques de forme [05]

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

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

A. L'indice de compacité de Gravelius « K_C » [05]

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

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

P : Périmètre du bassin versant en (km).

S : Surface du bassin versant en (Km²).

Si K_C = 1 => bassin ramassé.

Si K_C > 1 => bassin allongé.

Pour notre cas : **K_C = 1,25**, K_C > 1 donc c'est un bassin versant de forme **allongée**.

B. Coefficient d'allongement :

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

$$K_p = \frac{P^2}{S} \dots\dots\dots (I.2)$$

A.N : **K_P = 19,93**

C. Rectangle équivalent [05]

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

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

$$L = \frac{K_c \cdot \sqrt{S}}{1,128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{K_c} \right)^2} \right) \dots\dots\dots (I.3)$$

$$l = \frac{K_c \cdot \sqrt{S}}{1,128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{K_c} \right)^2} \right) \dots\dots\dots (I.4)$$

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

Tableau I.5: les paramètres morphométriques du bassin versant.

Bassin	S (km ²) (surfaces)	P (km) (Périmètre)	K _c	L (Km)	l (Km)
BV	23,49	21,64	1,25	7.68	3,06

I.10.4. Relief

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

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

I.10.4.1 Courbe hypsométrique

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

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

Les résultats des surfaces partielles des sous bassin par tranche d'altitudes sont donnés par le tableau suivant :

Tableau I.6 surface partielles des sous bassin par tranche d'altitudes

N°	Côtes		Superficies partielles	Taux partiels	Superficie cumulées	Taux cumulés
	m	NGA				
1	369	350	0,133	0,6	0,133	0,6

2	350	300	0,799	3,4	0,932	4,0
3	300	250	1,231	5,2	2,163	9,2
4	250	200	3,686	15,7	5,849	24,9
5	200	150	5,611	23,9	11,459	48,8
6	150	100	5,821	24,8	17,280	73,6
7	100	50	4,259	18,1	21,539	91,7
8	50	16	1,950	8,3	23,489	100,0
Totaux			23,489	100,0	23,489	100,0

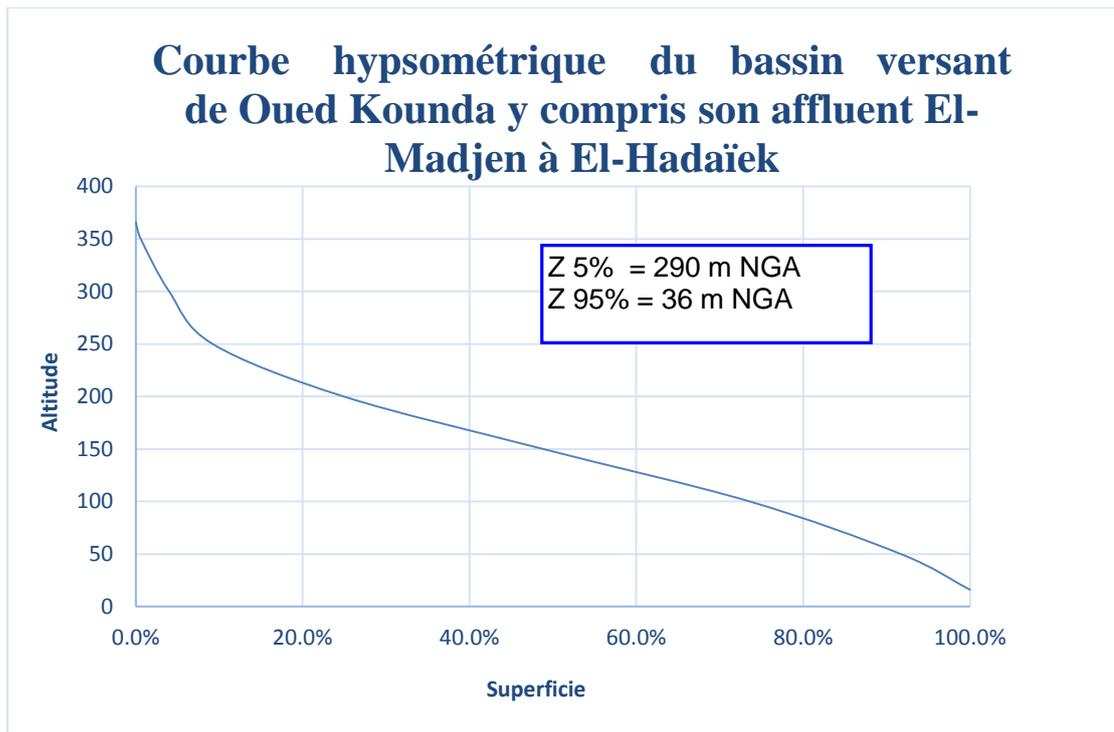


Figure I.9 : courbe hypsométrique

I.10.4.2 Altitudes caractéristiques

a) L'altitude minimale et maximale

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

$$H_{\max} = 369 \text{ m NGA} \quad H_{\min} = 16 \text{ m NGA}$$

b) L'altitude moyenne du bassin versant

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

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

Relief très faible	$I_g \leq 0,002$
Relief faible	$0,002 < I_g \leq 0,005$
Relief assez faible	$0,005 < I_g \leq 0,01$
Relief modéré	$0,01 < I_g \leq 0,02$
Relief assez fort	$0,02 < I_g \leq 0,05$
Relief fort	$0,05 < I_g \leq 0,1$
Relief très fort	$0.1 \leq I_g$

Pour notre cas, $I_g = 0.03305$ donc d'après le tableau I.8, notre relief est classé type assez fort

I.10.4.4 Indice de pente de roche I_p [05]

I_p est la moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent, et pondérée par les surfaces comprises entre 2 courbes de niveau H_i est H_{i-1} . Il est donné par la formule suivante :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sqrt{\sum S_i (H_i - H_{i-1})} \dots\dots\dots (I.8)$$

Où :

- L : longueur du rectangle (Km).
- S_i : Surface partielle (%) comprise entre 2 courbe de niveau H_i et H_{i-1} (m).

La pente roche est déterminée en se basant sur le tableau suivant :

Tableau I.9 détermination de la pente de Roche

N°	Côtes		Superficies partielles km ²	$H_i - H_{i-1}$	$S_i^* (H_i - H_{i-1})$
	m	NGA			
1	369	350	0,133	19	2,53
2	350	300	0,799	50	39,95
3	300	250	1,231	50	61,55
4	250	200	3,686	50	184,30
5	200	150	5,611	50	280,55
6	150	100	5,821	50	291,05
7	100	50	4,259	50	212,95
9	50	16	1,95	34	66,30
Totaux			23,489		33,75

AN

$I_p = 12,18$

I.10.4.5 Pente Moyenne De Bassin versant(Im) [05]

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

$$I_m = \frac{\Delta H \cdot (0,5l_1 + l_2 + l_3 + \dots + 0,5l_n)}{S} \dots\dots\dots (I.9)$$

Où :

- **Im** : pente moyenne [%].
- **li** : longueur totale de courbes de niveau [km].
- **ΔH**: équidistance entre deux courbes de niveau [Km].
- **S** : surface du bassin versant [km²].

Tableau I.10 longueur des courbes de niveau

Courbe de niveau	Longueur (KM)
350	1,33
300	2,63
250	3,14
200	7,03
150	20
100	18,8
50	10

AN

Im= 0,12

I.10.5 Le réseau d'écoulement

I.10.5.1 Longueur du cours d'eau principale

C'est la distance curviligne depuis l'exutoire jusqu'à la ligne de partage des eaux, en suivant le segment d'ordre le plus élevé lorsqu'il y a un embranchement et par extension du dernier jusqu'à la limite topographique du bassin versant. Si les deux

segments à l'embranchement sont de même ordre, on suit celui qui draine la plus grande surface, d'après le plan topographique

- la longueur du cours d'eau principal pour le sous bassin du Oued Kounda est : **L= 6,834 km.**
- la longueur du cours d'eau principal pour le sous bassin du Oued El-Madjen est : **L= 1.108 km**

Tbleau I.11 caractéristiques des sous bassins

Sous bassin	Surface km ²	L_Cours d'eau principal Km
SB1 Oued kounda	16.12	6.834
SB2 Oued El-Madjen	7.37	1.108

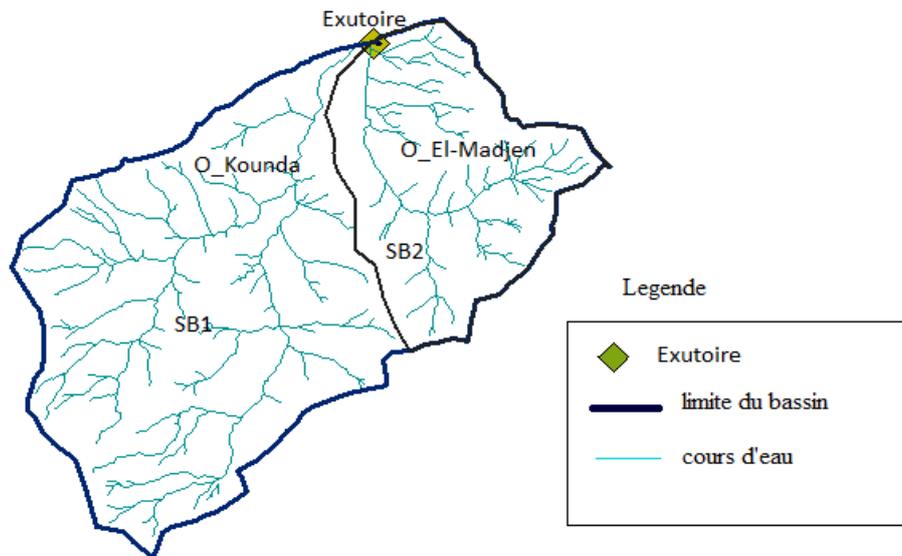


Figure I.10 réseau hydrographique de bassin versant

I.10.5.2 Densité de drainage [05] :

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

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S} \dots\dots\dots (I.10)$$

Tableau I.12 densité de drainage de chaque sous bassin

sous bassin	surface	Lp (m)	Dd
SB 1 O_kounda	16.12	6843	0.43
SB2 O_El-madjen	7.37	1108	0.150

I.10.5.3 La pente moyenne d'un cours d'eau

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

$$I = \frac{\Delta H_{max}}{L} \dots\dots\dots (I.11)$$

Où :

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

A.N :

Tableau I.13 la pente moyenne des cours d'eau

sous bassin	$H_{max}-H_{min}$ (m)	Lp (m)	I_{moy} m/Km
SB 1 O_kounda	109	6843	0.016
SB2 O_El-madjen	95	1108	0.086

I.10.6. Temps de concentration [06]

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

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

a) **Formule de Kirpich [07] :**

$$T_c = 0,000325 * \frac{L_p^{0,77}}{(Imoy)^{0,385}} \dots\dots\dots (I.11)$$

Tel que :

- **L** : La longueur du talweg principale (m).
- **Imoy** : pente moyenne du bassin versant

Tableau I.14 le temps de concentration par la formule de Kirpich

sous bassin	surface	Lp (m)	Tc_Kirpich(h)
SB 1 O_kounda	16.12	6843	1.44
SB2 O_El-madjen	7.37	1108	0.185

I.10.7 vitesse moyenne de l'écoulement [07]

Cette vitesse est donnée par la formule suivante :

$$V_R = \frac{L}{T_c} \dots\dots\dots (I.16)$$

AN

Tableau I.15 la vitesse de ruissellement

sous bassin	surface	Lp (km)	Tc_Kirpich(h)	V (m/h)
SB 1 O_kounda	16.12	6.843	1.436	4.76
SB2 O_El-madjen	7.37	1.108	0.185	6

Tableau I.16 : Caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant

Caractéristiques		valeurs	
1. Morphométrie			
Superficie (S)	Km ²	23.49	
		16.12	7.37
Périmètre (P)	Km	21.64	
Longueur de Rectangle équivalent (L _r)	Km	7.68	
Largeur de Rectangle équivalent (l _r)	Km	3.06	
Indice de compacité de Gravelius (K _C)	-	1.25	
Coefficient d'allongement (K _p)	-	19.93	
2. Le relief			
Altitudes maximal (H _{max})	m	369	
Altitudes moyenne (H _{moy})	m	149.19	
Altitudes médiane (H _{med})	m	150.3	
Altitudes minimal (H _{min})	m	16	
Altitudes 5 %	m	290.4	
Altitudes 95 %	m	36.5	
Indice de pente globale (I _g)	m/Km	33.05	
Indice de pente de Roche (I _p)	m/Km	12.18	
La pente moyenne du BV	%	0.12	
3. le réseau d'écoulement			
Pente moyenne de cour d'eau principale	%	1.6	
		8.6	
Longueur du thalweg principal (L)	Km	6.843	
		1.108	
La densité de drainage (D _d)	Km/Km ²	0.43	
		0.15	
Temps de concentration (T _c)	h	1,44	
		0.185	
Vitesse de ruissellement (V _r)	Km /h	4.76	
		6	

I.11 Conclusion

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

II.1 Introduction :

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

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

II.1.1 Les petites pluies :

La précipitation comprise entre les averses orageuses et les bruines dont la hauteur d'eau très faible n'entraîne pas de ruissellement, est la caractéristique essentielle des petites pluies.

II.1.2. Les averses:

Ces sont des pluies subites, abondantes et généralement de courte durée, variant entre quelques minutes et plusieurs dizaines d'heures, les averses sont caractérisées par un volume important et une forte intensité par minute de temps. Les mesures de ces averses sont effectuées à l'aide des appareils suivants :

- **Les pluviomètres :** qui relèvent les hauteurs d'eau tombées en 24 heures.
- **Les pluviographes :** qui enregistrent la variation de la hauteur d'eau dans le temps.

II.2 Analyse des données pluviométriques et calcul des différents paramètres de la série :

II.2.1 Analyse des données statistiques :

En général, l'analyse des données disponibles est le premier pas à franchir dans l'étude d'un projet de protection contre les inondations. Pour cela ; on a besoin d'une série pluviométrique qui comporte les précipitations maximales journalières pour la période la plus longue possible.

Chapitre II : Etudes des précipitations maximales journalières

Nous prenons comme base de calcul la série pluviométrique de la station expérimentale de Skikda (**Port**) dont l'indication de la station **355** sur une période de fonctionnement de 45 ans (de la période 1969-1970 à 2013-2014), qui nous a été fournie par l'ANRH d'Alger et représenté dans le tableau II.1.

Tableau II.1 : Coordonnées géographiques de station météorologiques Skikda (Port)

Station	Indicatif	Latitude (N)	Longitude Est	Altitude (m)
Skikda	355	36° 53'	06° 54' E	1

II.2.2 Les précipitations maximales journalières

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

Tableau II.2 précipitations maximale journalière

Années	P _{jmax} (mm)
1969-1970	68,5
1970-1971	79,5
1971-1972	107,4
1972-1973	99,5
1973-1974	132,4
1974-1975	89,9
1975-1976	102,6
1976-1977	119,2
1977-1978	110,1
1978-1979	123,4
1979-1980	114,6
1980-1981	104
1981-1982	108,1
1982-1983	118,6
1983-1984	126,8

Chapitre II : Etudes des précipitations maximales journalières

Années	P _{jmax} (mm)
1984-1985	159,8
1985-1986	96,8
1986-1987	122,6
1987-1988	105
1988-1989	100,9
1989-1990	113,4
1990-1991	127,6
1991-1992	137,3
1992-1993	130,6
1993-1994	117,3
1994-1995	146,4
1995-1996	131,1
1996-1997	104,8
1997-1998	149,2
1998-1999	115,4
1999-2000	162,5
2000-2001	120,2
2001-2002	80,9
2002-2003	143,7
2003-2004	128,8
2004-2005	121,4
2005-2006	136,1
2006-2007	141,6
2007-2008	129,4
2008-2009	84,7
2009-2010	160,6
2010-2011	151
2011-2012	125,1
2012-2013	101,3
2013-2014	149,2

Source ANRH Alger

Caractéristiques de la série (avec N = 45 ans)

Tableau II.3: Caractéristique de la série

Caractéristiques	Formules	Valeurs
La somme des $P_{\max j}$ en (mm)	$\sum_{i=1}^{N=45} X_i$	5399.3
la moyenne des $P_{\max j}$ en (mm)	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n=45} X_i}{n}$	119.98
L'écart type « σ_x »	$\sigma_x = \left[\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{45} (X_i - 119,98)^2}{45}} \right]$	22,04
Coefficient de variation « Cv »	$C_v = \frac{\sigma}{\bar{X}}$	0.183
L'exposant climatique	$b = 0.4$	

II.3 Ajustement des séries pluviométrique.

II.3.1 Choix de la loi d'ajustement :

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

Dans notre étude on va utiliser les deux lois suivantes :

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

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

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

normale), a l'aide de logiciel Hyfran, avec une comparaison des graphes de régression obtenue par les ajustements.

II.3.2 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel :

La fonction de répartition de la loi de Gumbel est :

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-x_0)}} \tag{II.2}$$

$F(x)$: Fréquence au dépassement de la valeur de x ;

α, x_0 : Coefficients d'ajustement ;

- x_0 est le paramètre de position (mode) ;

- α est le paramètre d'échelle différent de zéro et positif appelé aussi « gradex » quand il se trouve sous forme $1/\alpha$.

Par un changement de variable $y = \alpha (x-x_0)$; la loi de Gumbel s'écrit :

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \tag{II.3}$$

$y = \alpha (x-x_0)$ est la variable réduite de Gumbel.

Et l'équation de la droite de Gumbel est $x = (1/\alpha) y + x_0$.

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

$$F(x) = \frac{m - 0.5}{n} \times 100 \tag{II.4}$$

- m : Numéro d'ordre ;

- n : Taille de la série ;

- ✓ la variable de Gumbel pour chaque valeur observée ;

$$y = -[Ln(-LnF(x))] \tag{II.5}$$

- ✓ Le coefficient de corrélation entre les valeurs observées et la variable de Gumbel dont la formule générale est :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \tag{II.6}$$

Tableau II.4. Calcul des paramètres d'ajustement par la loi de Gumbel :

Chapitre II : Etudes des précipitations maximales journalières

Ordre(m)	$P_{\max,j} = x(\text{mm})$	$F (m) = \frac{m-0,5}{n}$	$Y = - \text{Ln} (-\text{Ln} (F(x)))$
1	68,5	0,011	-1,504
2	79,5	0,033	-1,224
3	80,9	0,056	-1,061
4	84,7	0,078	-0,938
5	89,9	0,100	-0,834
6	96,8	0,122	-0,743
7	99,5	0,144	-0,660
8	100,9	0,167	-0,583
9	101,3	0,189	-0,511
10	102,6	0,211	-0,442
11	104	0,233	-0,375
12	104,8	0,256	-0,311
13	105	0,278	-0,248
14	107,4	0,300	-0,186
15	108,1	0,322	-0,124
16	110,1	0,344	-0,064
17	113,4	0,367	-0,003
18	114,6	0,389	0,057
19	115,4	0,411	0,118
20	117,3	0,433	0,179
21	118,6	0,456	0,240
22	119,2	0,478	0,303
23	119,9	0,500	0,367
24	120,2	0,522	0,431
25	121,4	0,544	0,498
26	122,6	0,567	0,566
27	123,4	0,589	0,636
28	125,1	0,611	0,708
29	126,8	0,633	0,784
30	127,6	0,656	0,862
31	128,8	0,678	0,944

Chapitre II : Etudes des précipitations maximales journalières

32	129,4	0,700	1,031
33	130,6	0,722	1,123
34	131,1	0,744	1,220
35	132,4	0,767	1,325
36	136,1	0,789	1,439
37	137,3	0,811	1,564
38	141,6	0,833	1,702
39	143,7	0,856	1,858
40	146,4	0,878	2,037
41	149,2	0,900	2,250
42	151	0,922	2,514
43	159,8	0,944	2,862
44	160,6	0,967	3,384
45	162,5	0,989	4,494

La droite de Gumbel est donnée par la formule :

$$x = \left(\frac{1}{\alpha}\right)y + x_0 \quad (\text{II.6})$$

$1/\alpha$: La pente de la droite de Gumbel

$$1/\alpha = 0.78 * \sigma_x \implies 1/\alpha = 0.78 \times 22,29 = 17,19 ;$$

Donc : $1/\alpha = 17,19 \text{ mm} ;$

x_0 représente l'ordonnée à l'origine :

$$x_0 = \bar{x} - \frac{1}{\alpha} \bar{y} \quad (\text{II.7})$$

\bar{y} : Moyenne de la variable réduite de Gumbel :

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{N=45} y_i}{n} = 0.571 \text{ mm} ;$$

$$x_0 = 119,98 - 17,19 * (0.571) = 109,96 \text{ mm}$$

$$x_0 = 109,96$$

Chapitre II : Etudes des précipitations maximales journalières

Donc ; la droite de Gumbel devient :

$$x = 17,19y + 109,96$$

D'où : $P_{\max}(p\%) = 17,19 y + 109,96$

Le coefficient de corrélation $r = 0.965$.

- **Resultats de l'ajoutement par la loi de GUMBEL**

Tableau II.5 résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL

periode de retour	q	XT	écart-type	Inter de confiance
100.0	0.9900	208	13.3	182 - 234
50.0	0.9800	193	11.6	170 - 216
10.0	0.9000	157	7.59	142 - 172

- **Paramètres estimés**

U= 107,817

Alpha = 21,845

- **Résultats :**

Adéquation

Résultats du statistique khi² : $X^2_{calculé} = 5,6$

p- value P = 0.4695

Degrés de liberté : 6

Nombres des classes : 9

Tableau II.6 comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon

Gumbel méthode des moments	carac de la loi	carac de l'échantillon
minimum	Aucun	68
maximum	Aucun	162
moyenne	120	119
écart-type	28	21,9
médiane	116	119
coefficient de variation Cv	0,233	0,184
Coefficient d'asymétrie Cs	1,14	-0,0763

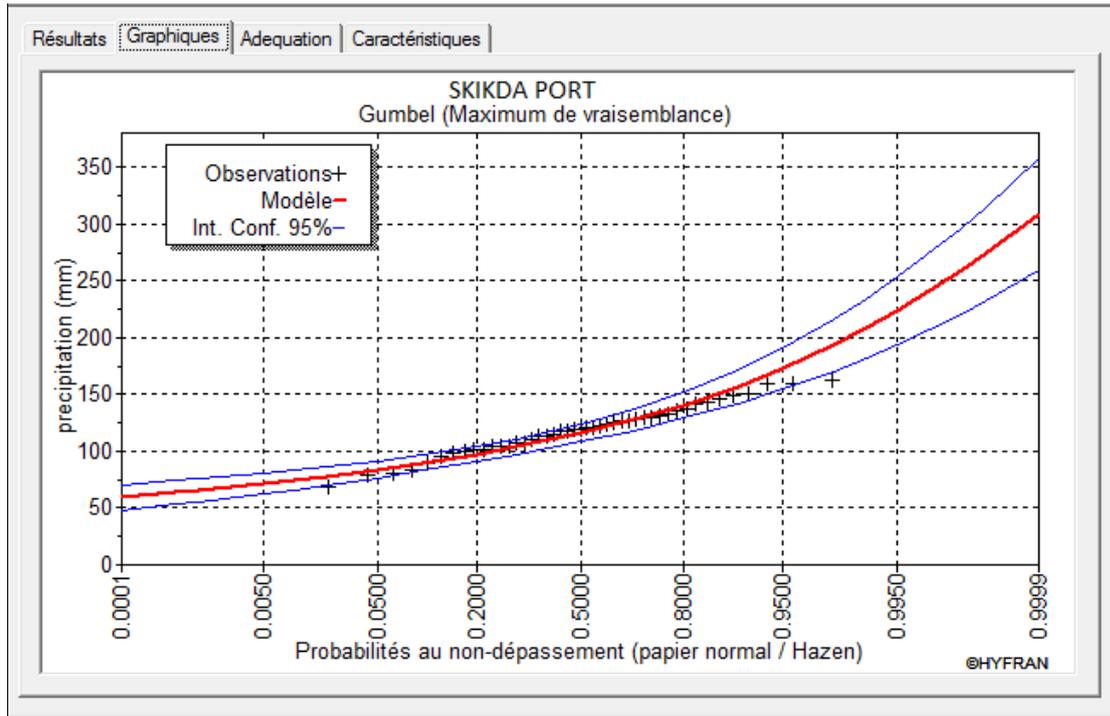


Figure II.1 : représentation de la droite de Gumbel

II.3.3 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Galton (Log normale) :

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

Sa fonction de répartition est donnée par :

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

$F(x)$: Fréquence au non dépassement.

La variable réduite est de la forme :

$$u = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma_x} \quad (\text{II.9})$$

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

Procédé d'ajustement :

- 1- Classement des valeurs par ordre décroissant (fréquence au non dépassement) ;
- 2- Calcul de la fréquence expérimentale par la formule de Henri;
- 3- Calcul des caractéristiques empiriques de la série initiale ;
- 4- Calcul des caractéristiques de la série transformée en $\overline{\text{Log}x}$ et $\sigma_{\text{Log}x}$
- 5- Report des valeurs sur papier gauss-logarithmique ;
- 6- Détermination de la droite de Galton $\text{Log}x = \overline{\text{Log}x} + u\sigma_{\text{Log}x}$
- 7- Détermination de la valeur extrême soit graphiquement sur la droite, soit analytiquement par : $x_p\% = 10^{\text{Log}x_p\%}$ D'où :

$$x_p\% = 10^{\overline{\text{Log}x} + u_p\sigma_{\text{Log}x}} \quad (\text{II.10})$$

Calcul des paramètres d'ajustement par la loi de Galton :

$$\overline{\text{Log}x} = \frac{\sum \text{Log}x_i}{N} \Rightarrow \overline{\text{Log}x} = \frac{93,116}{45}, \text{ d'où : } \overline{\text{Log}x} = 2,06\text{mm}$$

$$\sigma_{\text{Log}x} = 0,14$$

$$\overline{\text{Log}x} = 2,06\text{mm}$$

• **Résultats de l'ajustement**

Tableau II.7. Résultats de l'ajustement à la loi de GALTON

Période de retour	probabilité	XT	Ecart type	Inter de confiance
100.0	0.9900	183	10.2	163 - 203
50.0	0.9800	174	8.89	156 - 191
10.0	0.9000	150	5.84	138 - 161

Paramètre :

Mu : 4,76

Sigma : 0.193

Quantiles :

q = F(X) (probabilité au non dépassement)

T = 1/ (1-q)

Chapitre II : Etudes des précipitations maximales journalières

Log normale (Maximum de vraisemblance)

Résultats :

Adéquation

Résultats du statistique χ^2 : $\chi^2_{calculé}$ 1,2

p- value $P = 0.9769$

Degrés de liberté : 6

Nombres des classes : 9

Tableau II.8. Comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon

GALTON	carac de la loi	carac de l'échantillon
minimum	0,0	68
maximum	Aucun	162
moyenne	119	119
écart-type	23,2	21,9
médiane	117	119
coefficient de variation Cv	0,195	0,184
Coefficient d'asymétrie Cs	0,592	-0,0763

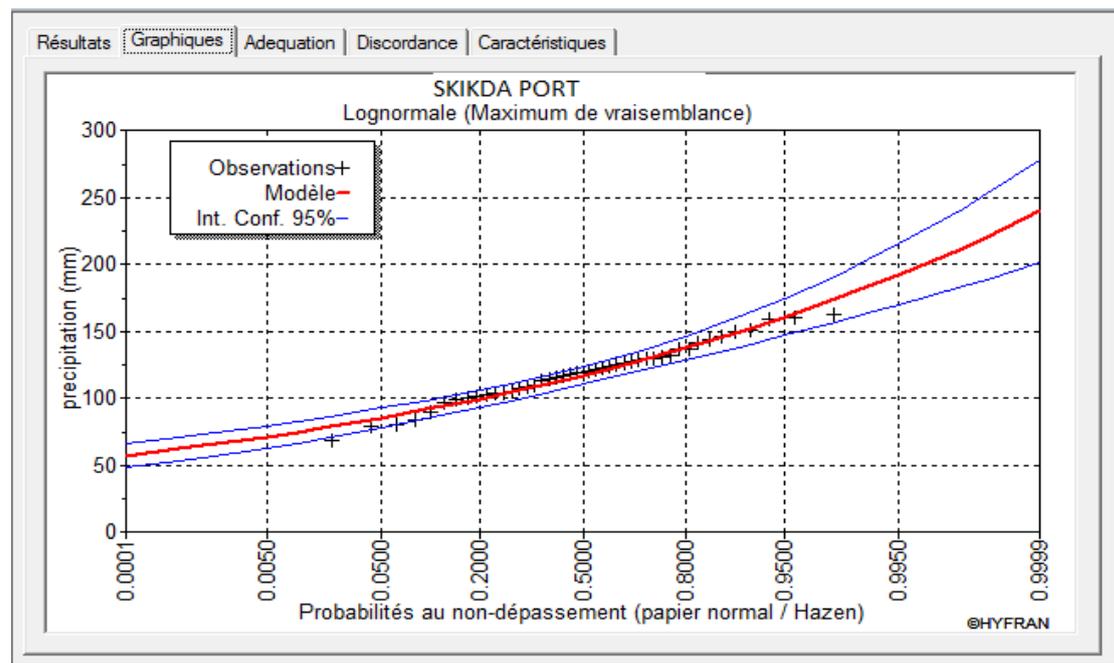


Figure II.2 : représentation de la droite de Galton.

II.4 Test de validité d'un ajustement : [2]

a) Test d'adéquation par statique khi²

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

Le test d'adéquation du Khi² effectué à l'aide du logiciel Hyfran pour les 2 lois a donné les résultats suivants :

➤ **pour la loi Gumbel :**

khi² : X²calculé = 5,6

p- value P = 0.4695

Degrés de liberté : 6

Nombres des classes : 9

Sur la table de Pearson (annexe 1), **X² théorique =12,56**

➤ **Pour la loi Log-Normale (Galton)**

Khi² : X²calculé = 1,2

p- value P = 0.9769

Degrés de liberté : 6

Nombres des classes : 9

Sur la table de Pearson (annexe 1), **X² théorique =12.56**

X² calculé < X² théorique donc l'ajustement des lois sont bon pour une probabilité soit 95 %

En utilisant les deux lois Gumbel et Galton, on constate que les droites d'ajustement sont bien ajustées par rapport aux nuages de points expérimentaux.

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

b). Graphique

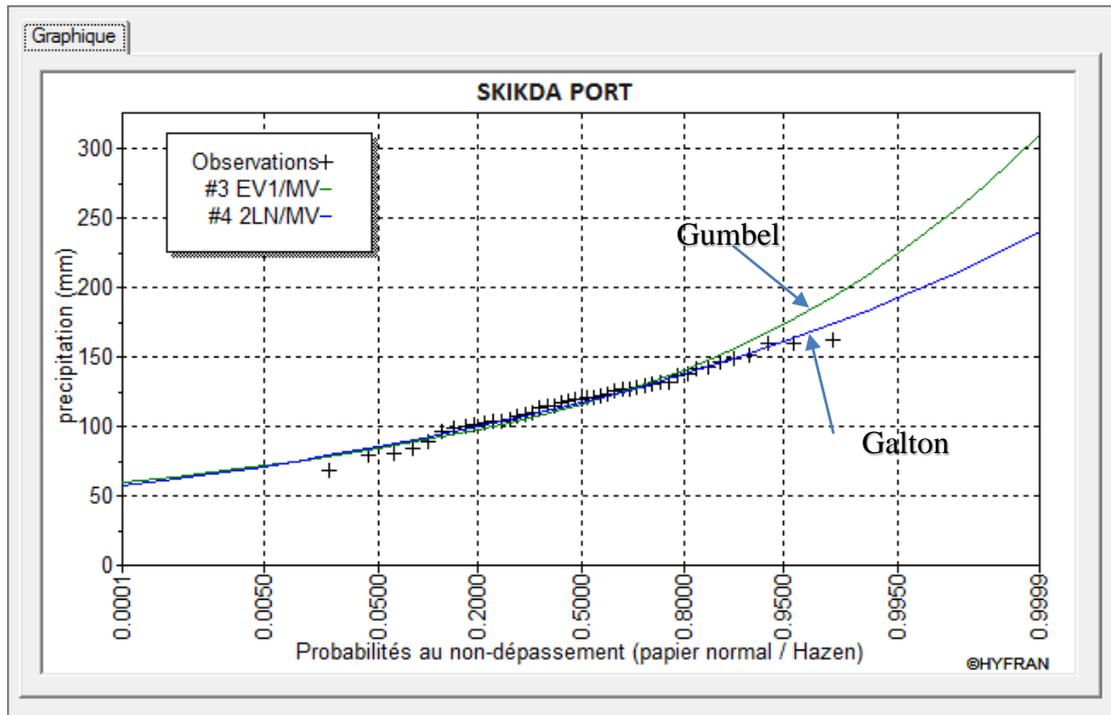


Figure II.3 comparaison des deux lois

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

II.5 Calcul de l'intensité de pluie de courte durée : [03]

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

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

Avec : t : durée de l'averse.
 b : exposant climatique ($b = 0.40$)

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

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

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

Chapitre II : Etudes des précipitations maximales journalières

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

Tableau II.9 Précipitation et intensités maximales pour les différentes périodes de retour

période de retour	100 ans		50 ans		10 ans	
	pct(mm)	It(mm/h)	pct(mm)	It(mm/h)	pct(mm)	It(mm/h)
T(h)						
0,25	29,481	117,924	28,031	112,125	24,165	96,659
0,5	38,900	77,801	36,987	73,975	31,886	63,771
1	51,329	51,329	48,805	48,805	42,073	42,073
2	67,730	33,865	64,399	32,199	55,516	27,758
3	79,655	26,552	75,738	25,246	65,291	21,764
4	89,370	22,342	84,975	21,244	73,254	18,313
5	97,714	19,543	92,908	18,582	80,093	16,019
6	105,106	17,518	99,937	16,656	86,152	14,359
7	111,791	15,970	106,293	15,185	91,632	13,090
8	117,924	14,741	112,125	14,016	96,659	12,082
9	123,613	13,735	117,534	13,059	101,322	11,258
10	128,934	12,893	122,593	12,259	105,683	10,568
11	133,944	12,177	127,357	11,578	109,790	9,981
12	138,688	11,557	131,867	10,989	113,679	9,473
13	143,200	11,015	136,158	10,474	117,377	9,029
14	147,509	10,536	140,254	10,018	120,909	8,636
15	151,636	10,109	144,179	9,612	124,292	8,286
16	155,602	9,725	147,949	9,247	127,542	7,971
17	159,421	9,378	151,581	8,917	130,673	7,687
18	163,108	9,062	155,086	8,616	133,695	7,428
19	166,674	8,772	158,477	8,341	136,618	7,190
20	170,129	8,506	161,762	8,088	139,450	6,973
21	173,482	8,261	164,950	7,855	142,198	6,771
22	176,740	8,034	168,048	7,639	144,869	6,585
23	179,911	7,822	171,063	7,438	147,468	6,412
24	183	7,625	174	7,25	150	6,25

II.6 Courbe IDF de l'ANRH

Cette méthode est faite à titre comparatif entre les lois précédentes d'où on nous allons prendre les résultats de l'étude de synthèse des précipitations extrêmes sur l'Algérie du nord faite par l'ANRH bien que la méthode appliquée ici est celle du Gradex (un paramètre de la loi log-normale), nous travaillerons avec les pluies de courtes durées.

A partir des cartes données par l'ANRH on a pu saisir les données suivantes pour obtenir les courbes IDF

Tbleau II.10 données des cartes de l'ANRH

Pluie journalière décennale : Pj10 (mm)	75
Gradex des pluies journalières : (mm)	14
Coefficient de Montana :g	0,61
Coefficient correctif de Weiss : Kw	1,15

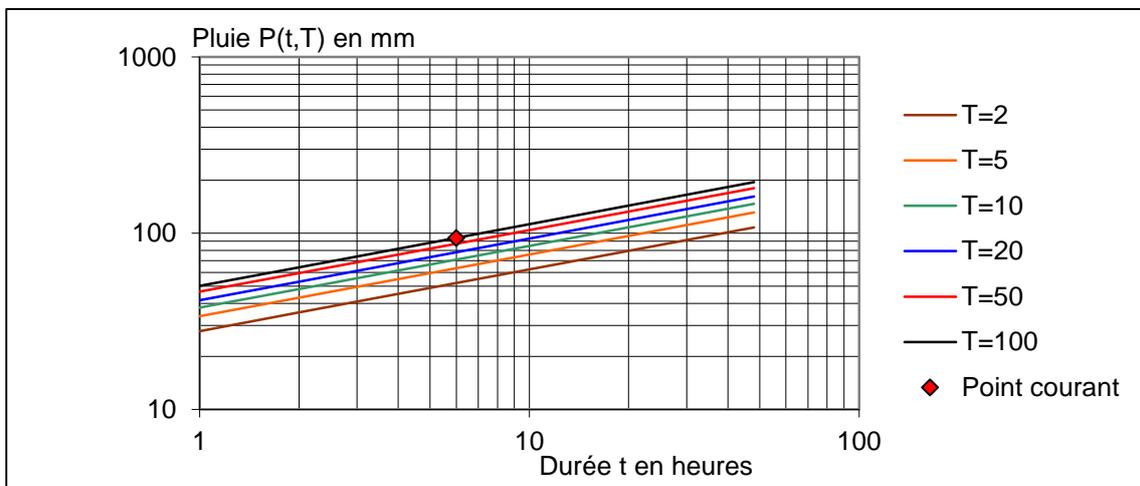


Figure II.4 Courbes de pluies-durées-fréquences

Chapitre II : Etudes des précipitations maximales journalières

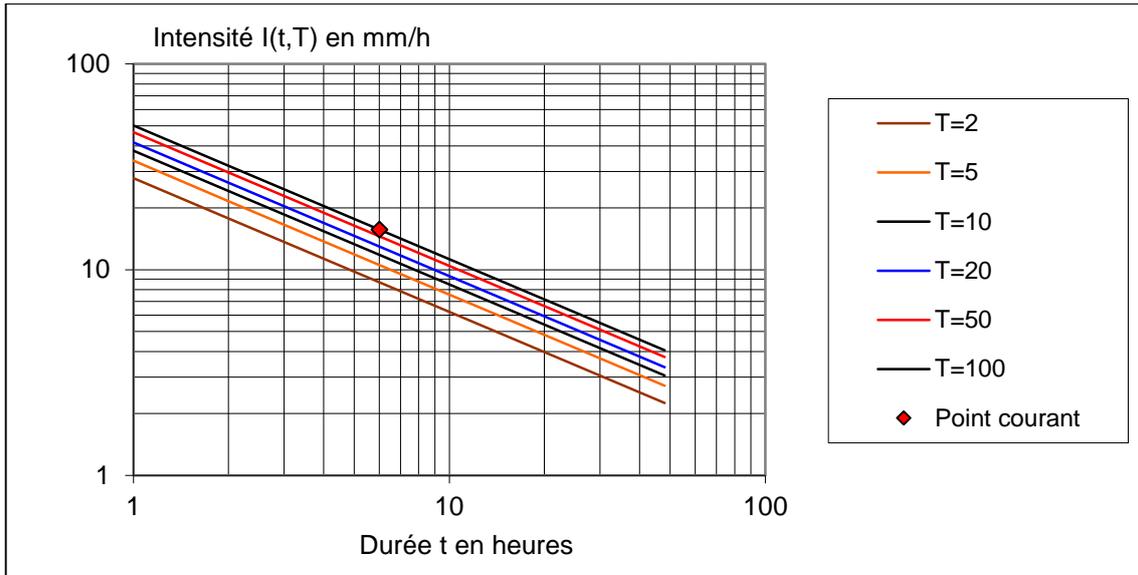


Figure II.5 Courbes intensité-durées-fréquence

- **Comparaison des résultats :**

Tableau II .11 résultats des deux méthodes

T (ans)	Pluies (mm)		Intensité (mm/h)	
	ANRH	P-courte durée	ANRH	P- courte durée
10	71	86,15	11,8	14,35
50	87	99,93	14,9	16,65
100	94	105,106	15,7	17,518
E % T=100	10.56		10.38	

- **Interprétation :**

On remarque que les résultats de deux méthodes sont proches et présentent une erreur de 10%, malgré les différences constatées entre les deux méthodes, on peut dire que les résultats obtenus par la méthode de l'ANRH sont aussi exploitables. Pour notre cas on va travailler par les résultats trouvés par le calcul des pluies de courtes durées.

II.7 Conclusion

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

D'après la comparaison faite par Hyfan On a opté pour la loi de Galton d'où on a remarqué que les données pluviométriques s'ajustent bien à cette loi, cet ajustement nous a aidé à calculer les pluies de courtes durées, et comparer les résultats avec la méthode de l'IDF faite par l'ANRH.

Chapitre III

Estimation des débits de crues dans les cours d'eaux

III.1 Introduction

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

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

Les méthodes utilisées sont les suivantes :

- La méthode SCS-CN (Soil Conservation Service-Curve Number).
- La méthode empirique de Sokolovsky.
- La méthode empirique de Turazza.
- Le modèle ANRH de prédétermination de crues du Nord d'Algérie.

III.2 Méthodes SCS-CN (Soil Conservation Service-Curve Number) : [08]

III.2.1 Présentation de la méthode

La méthode SCS-CN (Soil Conservation Service-Curve Number), dite des "*curve numbers*" est une méthode initialement proposée par le service de conservation des ressources naturelle des Etats Unis, sur la base de résultats de mesures pluvio-hydrométriques pratiquées sur plusieurs bassins versants. Elle a été appliquée par plusieurs bureaux d'études au contexte méditerranéen. Cette méthode **empirique** est issue de la modélisation des inondations et a été adoptée par beaucoup de modèles hydrologiques. Les *curve numbers*, permettant d'estimer le **ruissellement**, sont ajustés en fonction de l'état hydrique du sol.

Avant tout, on suppose qu'un épisode pluvieux de période de retour engendre un ruissellement de même période de retour. Les seules données nécessaires à la transformation sont les caractéristiques (P_t) de la pluie choisie et les caractéristiques géométriques et physiques du bassin versant (temps de concentration, surface, pente du cours d'eau...).

La précipitation totale est séparée en trois composantes : ruissellement direct (Q) , eau retenue (F) et infiltration initiale (Ia). [09]

$$P=F+Q+I_a..... III.1$$

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

En posant (S) comme le potentiel maximum de rétention, elle démarre du concept qui stimule que la proportion d'eau pouvant être ruisselée par unité de celle pouvant être stockée est égale à la proportion d'eau ruisselée par l'unité de celle qui est stockée [09]

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P-Ia} \dots \dots \dots \text{III.2}$$

A partir des deux équations précédentes on aura :

$$\frac{(P-Ia)-Q}{S} = \frac{Q}{P-Ia} \dots \dots \dots \text{III.3}$$

Ce qui équivaut à

$$Q = \frac{(P-Ia)^2}{(P-Ia)+S} \dots \dots \dots \text{III.4}$$

Après plusieurs études, une relation empirique qui lie la rétention potentielle et l'infiltration initiale a été établie. [02]

$$Ia=0,2S \dots \dots \dots \text{III.5}$$

Donc

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)} \dots \dots \dots \text{III. 6}$$

Selon une étude sur plus de 4000 types de sols, le SCS a estimé S en fonction du CN

curve number représentatif de la géologie, du couvert végétal, et de l'humectation initiale.

Trois paramètres permettant de le déterminer à partir des tables de CN

$$S = \frac{100}{CN - 10} \dots \dots \dots \text{III. 7}$$

Et le temps de base de l'hydrogramme de crue est :

$$T = 2,67 * \left(\frac{t_{averse}}{2} + 0,6Tc\right) \dots \dots \dots \text{III.8}$$

L'application de cette méthode se fait via le logiciel HEC-HMS qui permet de générer directement l'hydrogramme de crues

III.2.2 Démarche à suivre [10]

Les paramètres à déterminer sont :

- Les surfaces
- Les curve-numbers

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

- Le pourcentage des surfaces imperméable
- Temps de parcours

Pour calculer ces paramètres on doit tout d'abord

- Diviser les surfaces de la région d'études en petites surfaces homogènes (selon le degré d'urbanisation)
- Calcul du temps de concentration de chaque sous bassin ainsi que le temps de parcours.
- Affecter les CN selon le type de surfaces (y a des tableaux en annexe)
- Définir ton réseau d'affluents à modéliser sur HEC-HMS
- Définir les temps de concentration selon la formule adéquate et le temps de parcours
- Choisir la méthode sur HEC-HMS
- Simulations selon la période de retour et la durée de pluie.

1. Division en sous bassin

Le bassin versant est divisé en deux sous bassin

2. Calcul du temps de concentration et le lag time

A) Temps de concentration

Le calcul du temps de concentration se fait par la formule de Kirpich et celle de California, car ces formules s'adaptent mieux avec la méthode de SCS-CN et les petits bassins.

- formule de Kirpich :

$$Tc = 0,000325 * \frac{Lp^{0,77}}{(Imoy)^{0,385}} \dots \dots \dots \text{III.9}$$

Formule de California :

$$Tc = 0,87 * \frac{Lp^3}{(Hmax_Hmin)^{0,386}} \dots \dots \dots \text{III.10}$$

- Tc : temps de concentration.
- Lp : longueur du cours d'eau principal dans le bassin(Km).
- Imoy : pente moyenne dans le bassin (m/m).
- Hmax : Hauteur maximale dans bassin(m).
- Hmin : Hauteur minimale dans bassin(m).

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

B) temps de parcours (Lag time) :

Le temps de parcours est estimé à :

$$\text{Lag} = 0,6T_c \dots \dots \dots \text{III.11}$$

Tableau III.1 résultats du T_c et Lag time

Sous bassin	S (km ²)	Kirpich(h)	Lag (min)
O_kounda	16.12	1.4	52
O_El-Madjen	7.37	0.19	7

3. Détermination des curve-numbers

Les curve-numbers sont déterminés à partir des tables (voire annexes)

La détermination des surfaces imperméables nous a aidé à déterminer les curve-numbers , les résultats de calcul sont donnés par le tableau suivant :

Tableau III.2 nature des surfaces et pourcentage des surfaces imperméables

Type	S (km ²)	CN	CN*Si
hab dispersé	0,25	77	19,25
zone agricole	0,43	79	33,97
hab dispersé	0,124	77	9,548
hab dense	0,84	90	75,6
couvert végétal	0,9	76	68,4
couvert végétal	9,07	76	689,32
couvert végétal vergers	2,42	76	183,92
zone agricole	0,66	79	52,14
hab dispersé	0,07	77	5,39
S_{imp}	14,764	Cn pondéré	77,048
S_{imp}%	62,85		

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

4. résultats de la simulation de l'hydrogramme de crues HEC-HMS

La simulation est faite sur des événements pluvieux de différentes périodes de retour, et durée de pluie.

- T=10 ans (6H et 24H)
- T=50 ans (6H et 24H)
- T=100 ans (6H et 24H)

Le tableau suivant résume les résultats trouvés

Tableau III.3 Débits de crues de différentes périodes de retour et durée de pluie

Q (m3/s) 6H				
Sous bassin	CODE	100 ans	50 ans	10 ans
SB_Oued_Kounda	1	152,3	143,4	120,1
SB_Oued_El-Madjen	sb2	199,7	188	157,4
exutoire	exutoire	239,8	225,6	188,9

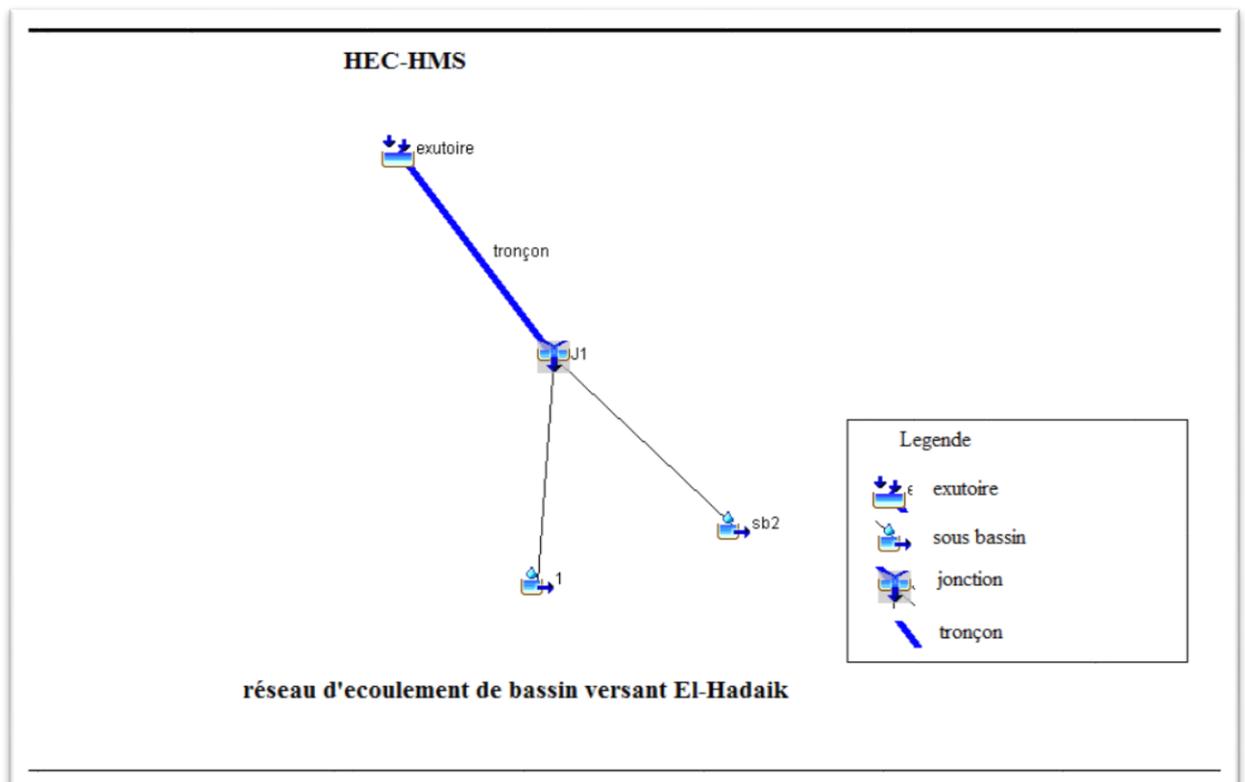


Figure III.1 réseau d'écoulement sur HEC-HMS

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

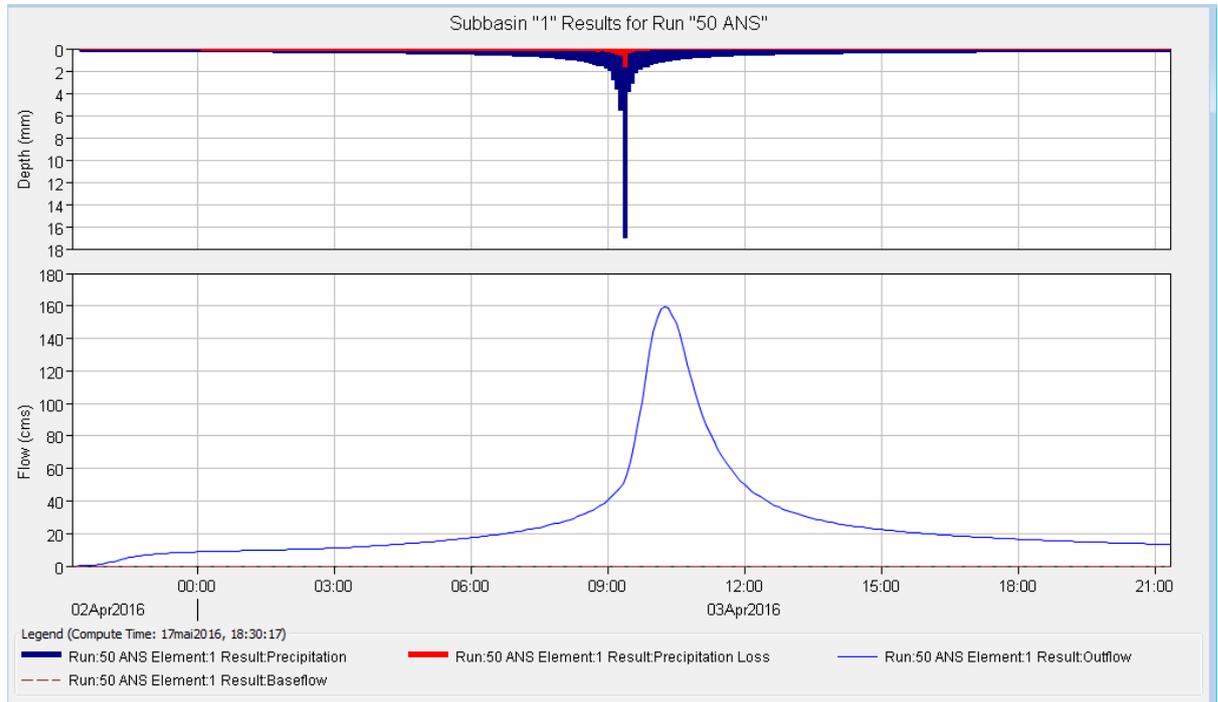


Figure III.2 hydrogramme de crues du sous bassin versant de Oued Kounda pour une période de retour de 50 ans et une durée de 6H.

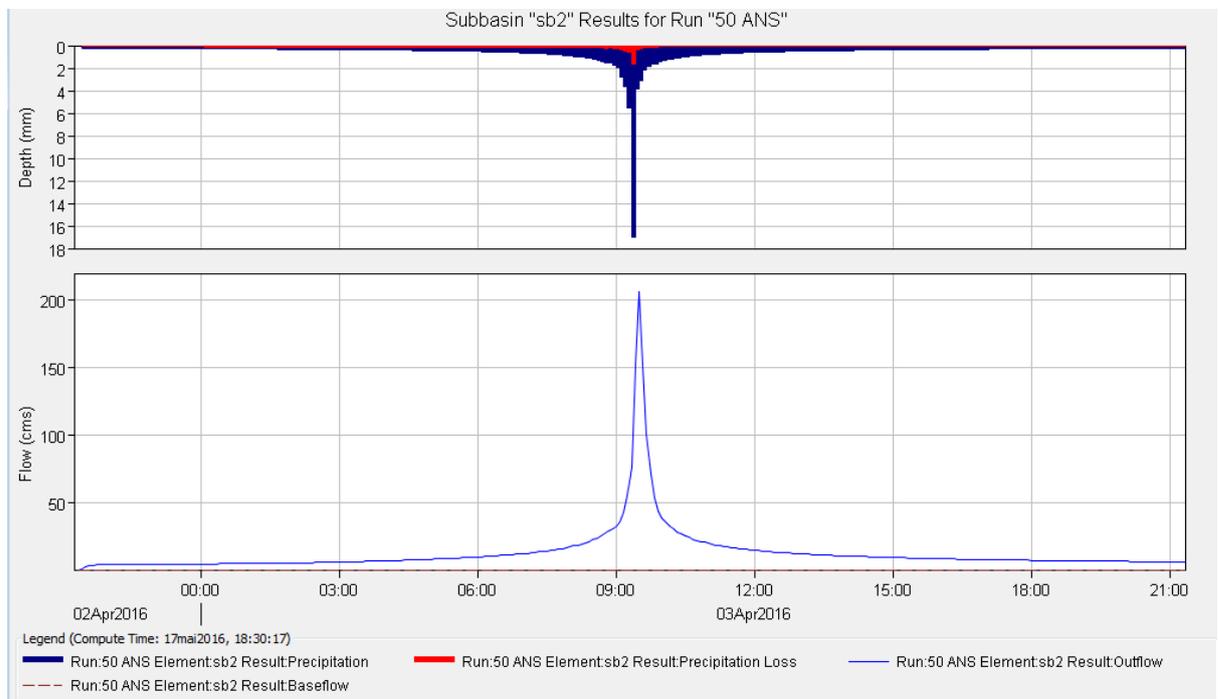


Figure III.3 hydrogramme de crues du sous bassin versant d'Oued El-Madjen pour une période de retour de 50 ans et une durée de 6 H.

Chapitre III : Estimation des débits de crues des cours d’eaux

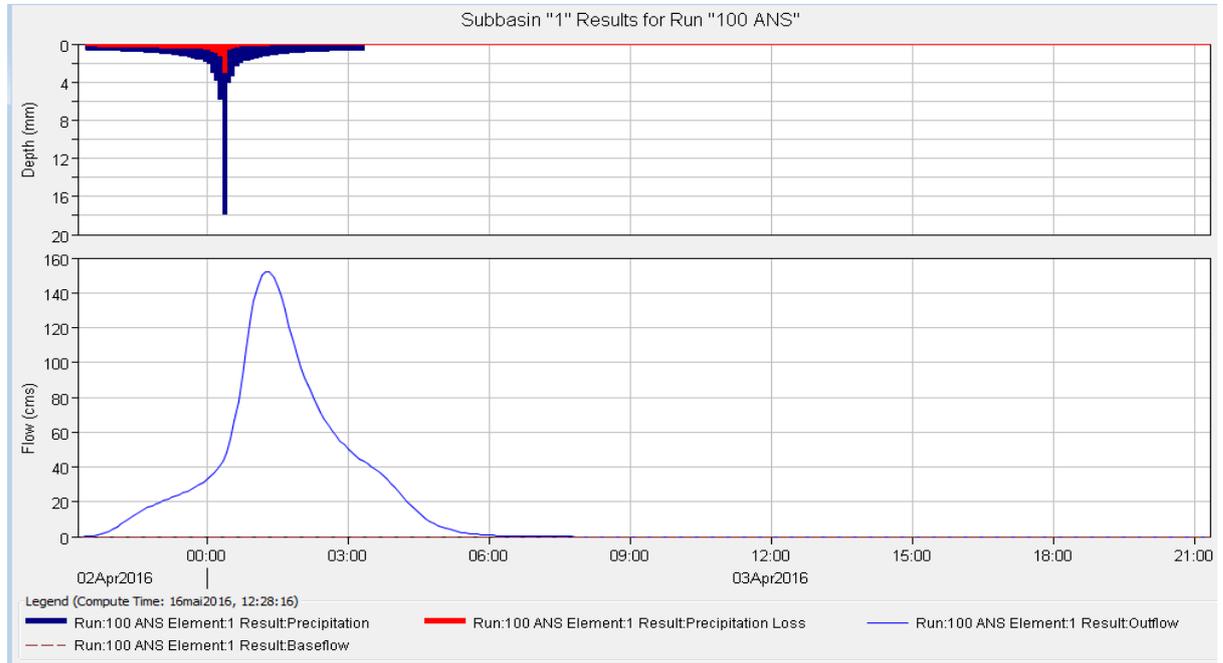


Figure III.4 hydrogramme de crues du sous bassin versant de Oued Kounda pour une période de retour de 100 ans et une durée de 6H.

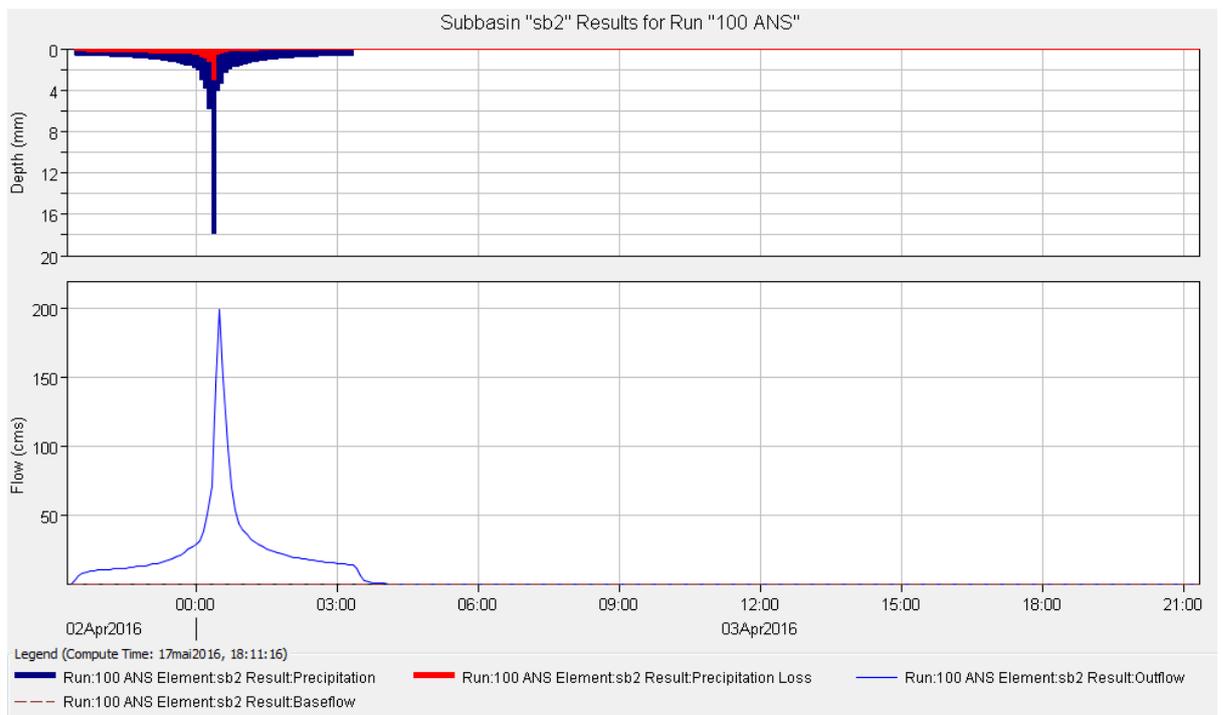


Figure III.5 hydrogramme de crues du sous bassin versant d’Oued El-Madjen pour une période de retour de 100 ans et une durée de 6 H.

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

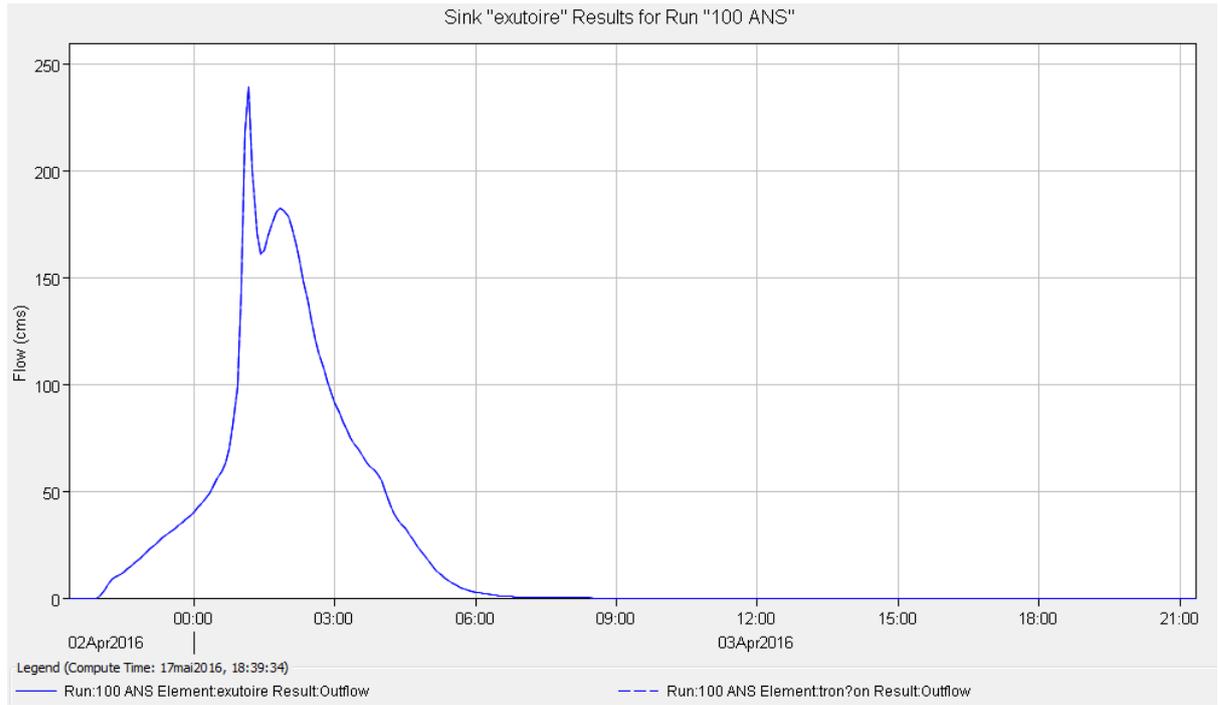


Figure III.6 hydrogramme de sortie de l'exutoire pour T=100 et une durée de 6 H

III.3 Calcul des crues par la méthode de SOKOLOVOSKY.[03]

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

$$Q_{\max, p\%} = 0,28 \cdot \frac{P_{tc p\%} \cdot \alpha_{p\%} \cdot S \cdot f}{t_m = t_c} \dots \dots \dots \text{III.12}$$

- $\alpha_{p\%}$: Coefficient de ruissellement pour la crue probable.
- S : Surface du bassin versant en Km².
- f : Coefficient de forme de la crue.
- H_0 : la perte d'eau initial ($H_0=7\text{mm}$) .
- T_c : temps de concentration du bassin versant en h.
- 0.28 : coefficient de changement d'unité.
- $P_{tc p\%}$: Lamé d'eau précipitée pour une probabilité donnée et une durée égale au temps

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

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

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

$$f = \frac{12}{4 + 3\gamma} \dots \dots \dots \text{III.13}$$

Pour $S \leq 50 \text{ Km}^2$ on a $\gamma = 2$

- Pour des petits bassins non boisé. sol peu perméable. on a : $\gamma = 2 \div 2.5$
- Pour bassin boisé. sol perméable on a : $\gamma = 3 \div 4$

Si on prend $\gamma = 2$ alors :

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

AN : Les résultats de calculs sont représentés dans les tableaux suivants :

Tableau III.4 Débit de crue par la formule de Sokolovsky

	T	S (km ²)	tc	p p%,tc	ap%	Q max,p%(m3/s)
Sous bassin Oued Kounda	100	16.12	1.440	59.39	0.49	104.20
	50	16.12	1.440	56.47	0.48	96.88
	10	16.12	1.440	48.68	0.45	77.82
SB Oued El-Madjen	100	7.37	0.184	26.08	0.32	99.87
	50	7.37	0.184	24.80	0.31	91.01
	10	7.37	0.184	21.38	0.27	68.38

III.3.1 Construction des hydrogrammes des crues (SOKOLOVSKY)

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

A) Pour le temps de montée :

$$Q_{\max} = Q_{\max p} [t/t_m]^n \dots \dots \dots \text{III.14}$$

B) Pour la décrue :

$$Q_{\max} = Q_{\max p} [t_d - t/t_d]^m \dots\dots\dots\text{III.15}$$

- $T_m=T_c$: Temps de montée.
- $T_d = \delta T_m$ (Sokolovsky).
- δ : Coefficient qui dépend des caractéristiques du bassin versant on le prend égale à 2 .

$$\delta = 2$$

Les résultats de calcul sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.5 Résultats de calcul des débits par la méthode de Sokolovsky pour le sous bassin du Oued_El-Madjen.

T (h)	Q (m3/s)		
	100 ans	50 ans	10 ans
0.0	0.0	0.0	0.0
0.050	7.375	6.720	5.049
0.100	29.498	26.881	20.197
0.150	66.372	60.483	45.444
0.184	99.870	91.010	68.380
0.200	58.552	53.358	40.090
0.250	34.415	31.362	23.564
0.300	18.034	16.434	12.347
0.350	7.904	7.203	5.412
0.400	2.524	2.300	1.728
0.450	0.391	0.356	0.268
0.500	0.00	0.00	0.00
0.520	0.00	0.00	0.00

Tableau III.6 Résultats de calcul des débits par la méthode de Sokolovsky pour le sous bassin du Oued_kounda.

T (h)	Q (m3/s)		
	100 ans	50 ans	10 ans
0	0.000	0.000	0.000
0.25	3.141	2.920	2.346

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

0.5	12.563	11.680	9.382
0.75	28.266	26.280	21.110
1.00	50.251	46.721	37.529
1.44	104.200	96.880	77.820
1.5	97.82	90.95	72.68
1.75	74.04	68.84	55.01
2	54.47	50.64	40.47
2.25	38.69	35.97	28.75
2.5	26.30	24.45	19.54
2.75	16.88	15.69	12.54
3	10.03	9.33	7.45
3.25	5.34	4.97	3.97
3.5	2.41	2.24	1.79
3.75	0.81	0.75	0.60
4	0.14	0.13	0.11
4.25	0.00	0.00	0.00
4.32	0.00	0.00	0.00

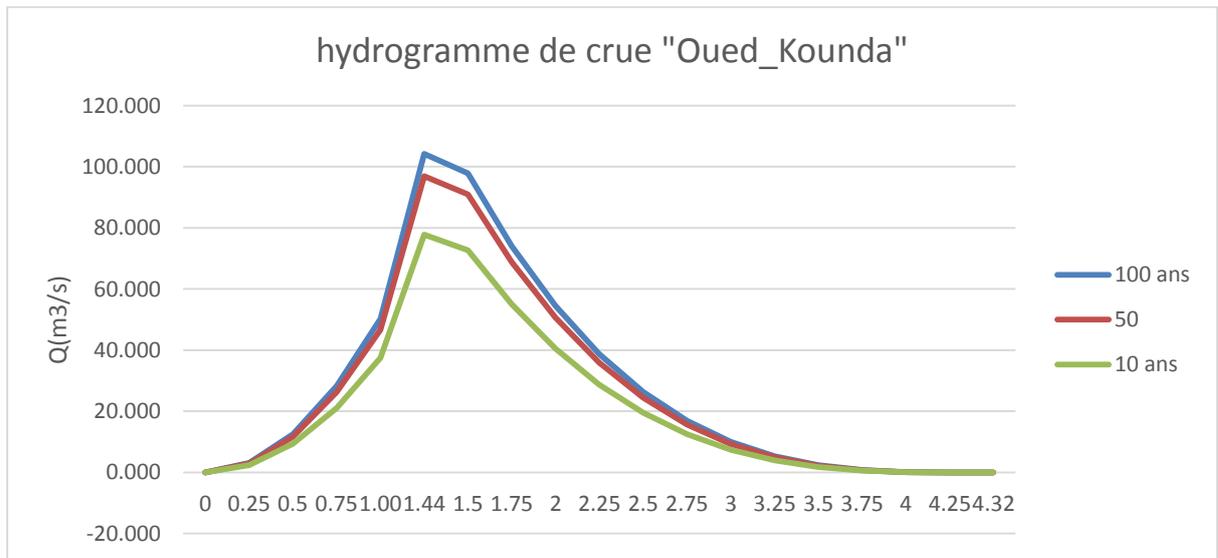


Figure III.7 hydrogramme de crues du bassin versant d'Oued_Kounda.

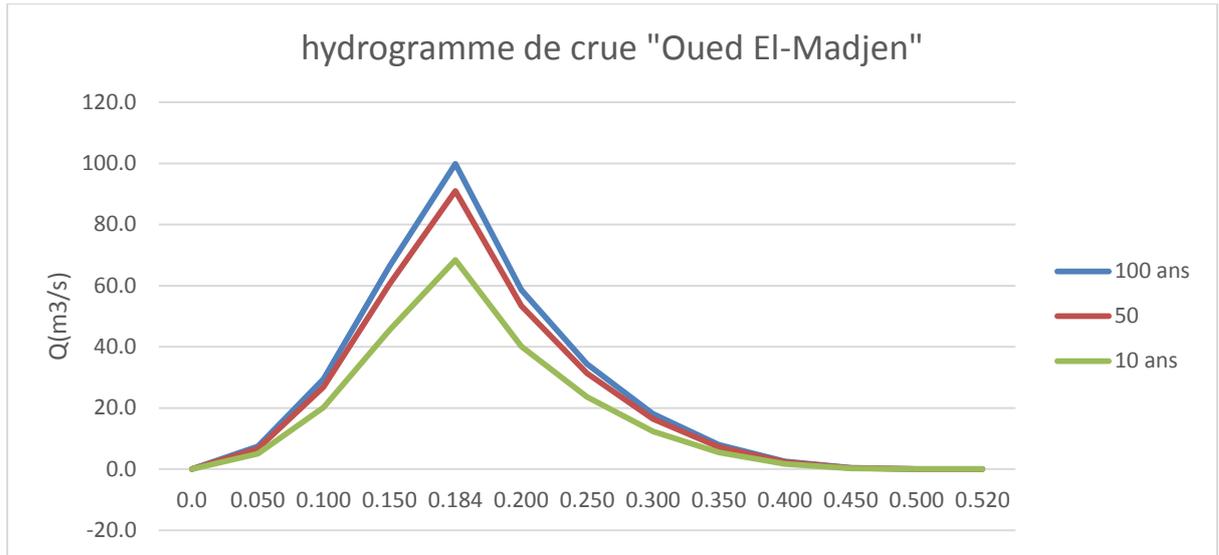


Figure III.8 hydrogramme de crues du bassin versant d'Oued_El-Madjen

III.4 Formule de Turazza [11]

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

$$Q_{\max, p\%} = \frac{c \cdot \bar{i}_{tc} \cdot S}{3.6} \dots\dots\dots\text{III.16}$$

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

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

Tableau III.6 : valeur de coefficient de ruissellement C.

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

Tableau III.7: Résultats de calcul de débit de crue par la formule de Turazza du sous bassin d'Oued Kounda.

Oued Kounda			
T ans	100	50	10
P (mm)	183	174	150
I (mm/h)	41.243	40.06	35.35
C	0.700	0.680	0.600
Q (m3/s)	129.274	125.580	110.806

Tableau III.8 : Résultats de calcul de débit de crue par la formule de Turazza du sous bassin d'Oued El-Madjen.

Oued El Madjen			
T ans	100	50	10
P (mm)	183	174	150
I (mm/h)	142.199	141.97	125.27
C	0.700	0.680	0.600
Q (m ³ /s)	203.779	197.957	174.668

III.5 Modele de l'ANRH pour la détermination de l'hydrogramme de crues :

Le modèle de l'ANRH pour la construction de l'hydrogramme de crues est basé sur l'application des résultats de l'étude, de synthèse de crues sur l'Algérie du nord. Il sera utilisé pour comparer entre les résultats des autres méthodes, sachant que la zone que nous travaillons sur est pratiquement non jaugée.

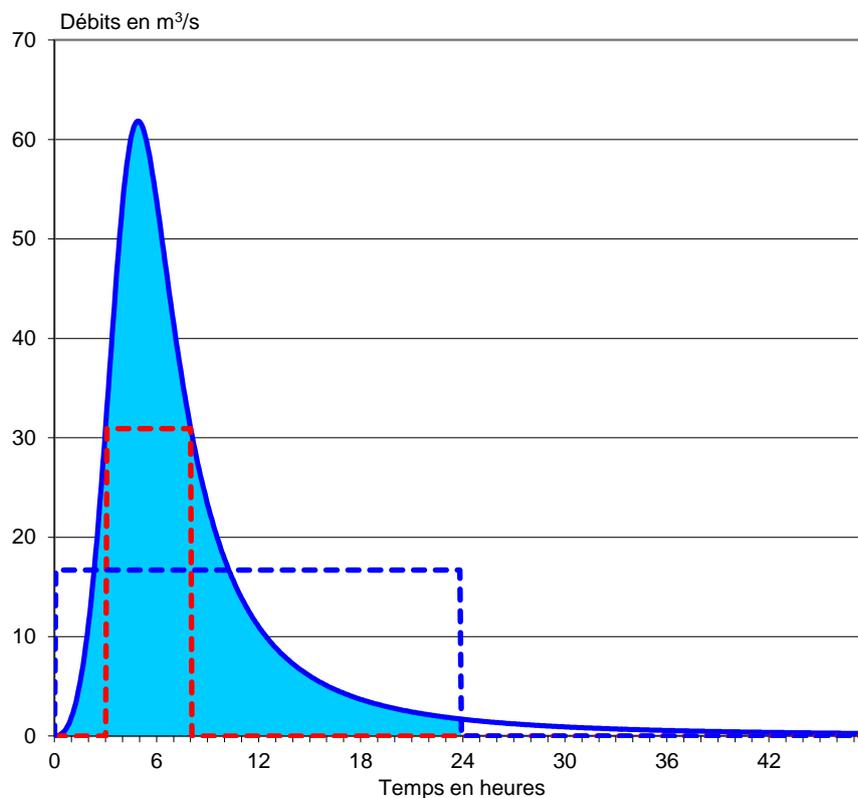


Figure III.9 hydrogramme de crues par le modèle de l'ANRH du sous bassin d'Oued **Kounda**

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

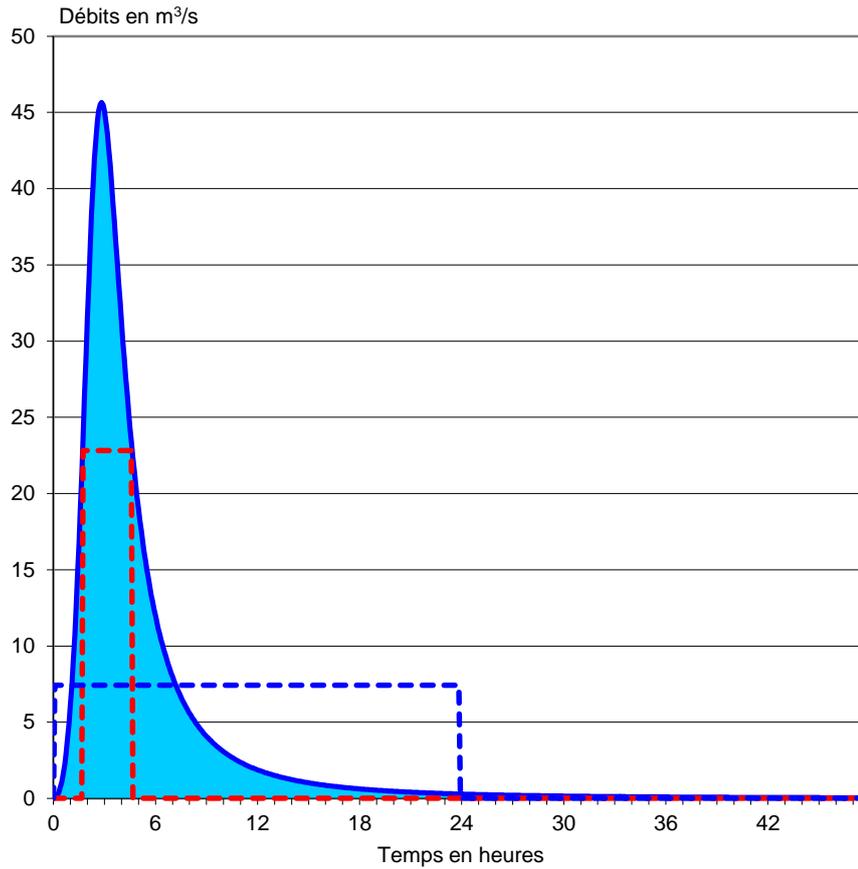


Figure III.10 hydrogramme de crues par le modèle de l'ANRH du sous bassin d'Oued El-Madjen

Tableau III.9 résultats des débits par le modèle de l'ANRH.

T (ans)	Debit par la methode de l'ANRH (m3/s)		
	100	50	10
SB O_Kounda	62	54	37
SB O_El-M	46	40	49

- **Comparaison des différentes méthodes**

Tableau III.10 comparaison de résultats pour les différentes périodes de retour.

	T	Débit (m3/s)		
		100 ans	50 ans	10 ans
SB Oued_kounda	SCS-CN	152,3	143.4	120,1
	SOKOLOVSKY	104.20	96.88	77.82
	TURAZZA	129.27	125.58	110.80
	ANRH	62	54	37
SB_Oued_El- medjen	SCS-CN	199,7	188	157,4
	SOKOLOVSKY	99.87	91.01	68.38
	TURAZZA	203.77	197.95	174.66
	ANRH	46	40	49

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

- **Interprétation et comparaison :**

D'après le tableau de comparaison entre les quatre approches on remarque que les résultats de la méthode de SCS-CN et celle de Turazza ne présentent pas une grande différence pour les trois périodes de retour ($T=100$ ans, $T=50$ ans et $T=10$ ans), pour la méthode de Sokolovsky on constate que les valeurs sont éloignées par rapport à celle de l'ANRH, qui donne des résultats trop faibles par rapport aux trois méthodes. Pour notre cas on va travailler par l'approche de SCS-CN.

III.6 Conclusion

L'estimation des débits de crues et l'hydrogramme de crues a été faite par plusieurs approches. Ces approches et ces méthodes donnent des résultats différents et parfois des résultats proches l'un de l'autre

Pour notre cas pour qu'on puisse avoir un résultat représentatifs on cherche toujours la méthode qui demande moins d'estimation et se base sur des données réelles du terrain c'est pour cela on a choisi la méthode de SCS-CN

Chapitre IV

Etude des écoulements dans les cours d'eaux non aménagés

IV.1 Introduction

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

IV.2 Description du réseau à simuler

L'étude concernera Oued Kounda sur une longueur de 960.0 ml, ainsi que son affluent Oued El-Madjen, de son débouché jusqu'au limite du périmètre urbain, soit sur 1220.0ml.

Oued El-Madjen rejoint Oued Kounda au point de coordonnées **X : 311,6 km ; Y : 4078,035**



Figure IV.1 : Oued Kounda situé à quelque 400 m de la Daïra (BET)

Pour le lit d'Oued Kounda l'existence de quelque végétation n'a pas empêché de réaliser le levé topographique. Tronçon en amont de la confluence avec Oued El-Madjen.



Figure IV.2: lit d’Oued Kounda

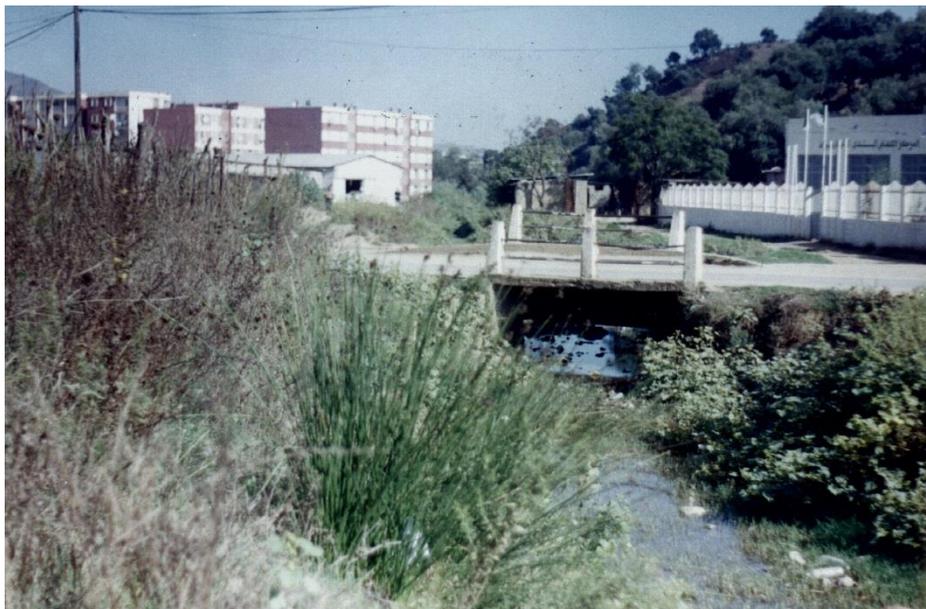
Ponceau de la route reliant la RN 3 à l’intérieur du village. Lit et berges bien entretenus. Tronçon en amont de la confluence avec Oued el madjen.



Figure IV.2 : Oued Kounda a l’intérieure du Village



Figure IV.3: Oued Kounda traverse une cité en amont de la confluence avec Oued El-Madjen



FigureIV. 4: Oued El-Madjen à l'intérieure du village.

IV.3 Simulation de l'écoulement sur HEC-RAS : [12]

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

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

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

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

A. Démarche de la simulation :

Cette démarche se fait en quatre étapes :

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

1. Modélisation de la rivière :

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

Pour charger les profils nous avons utilisé le logiciel AutoCad Civil 3D, qui présente l'avantage de générer automatiquement des fichiers de géométrie à partir du levé topographique, reconnus par HEC-RAS nous donnant les profils transversaux de l'amont à l'aval espacés de 20 mètres. Mais avant de passer à HEC-RAS on passe d'abord à HEC-RAS Flipper pour inverser le sens d'écoulement pour que le logiciel HEC-RAS puisse lire l'écoulement de l'amont à l'aval et pas le contraire Cela nous a permis de gagner en temps et en précision.



Figure IV.5: Oued kounda et Oued El-Madjen chargés sur HEC-RAS

2. Modélisation de l’écoulement

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

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

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

Tableau IV.1 : Les débits en entrée des deux Oueds _SCS-CN

Sous bassin	Débit (m ³ /s)
SB Oued_Kounda	152,3
SB Oued_El-Madjen	199,7

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

Pour le choix de coefficient de Manning des deux berges (gauche et droite) et du lit, on fait le choix en se basant sur la visualisation de la nature des berges et du lit comme la montre les figures ci-dessus.

Pour notre cas on a choisi le même coefficient pour les rives et le lit vu la végétation dense des deux Oued.

Tableau IV.2 : coefficient de Manning choisi pour les deux Oueds

	Rive gauche	Lit mineur	Rive droite
Oued_Kounda	0.027	0.027	0.027
Oued_El-Madjen	0.027	0.027	0.027

Il nous reste l'introduction des conditions aux limites de chaque tronçon, autrement dit, la hauteur d'eau en amont et en aval. HEC-RAS nous donne les choix suivant : [12]

- **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.
- Dans notre cas, 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.

3. Mise en marche de a simulation

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

4. Visualisation des résultats et constatation

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

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

- **Oued El-Madjen**

On remarque que la hauteur d'eau varie entre 1.4 à 4 m le long d'Oued El Madjen, et arrive par endroits jusqu'à 5 à 6 m Et la grande fluctuation de vitesse 1.4 à 4.5 m/s et pour une exception dans deux sections elle atteint 6 et 7 m/s.

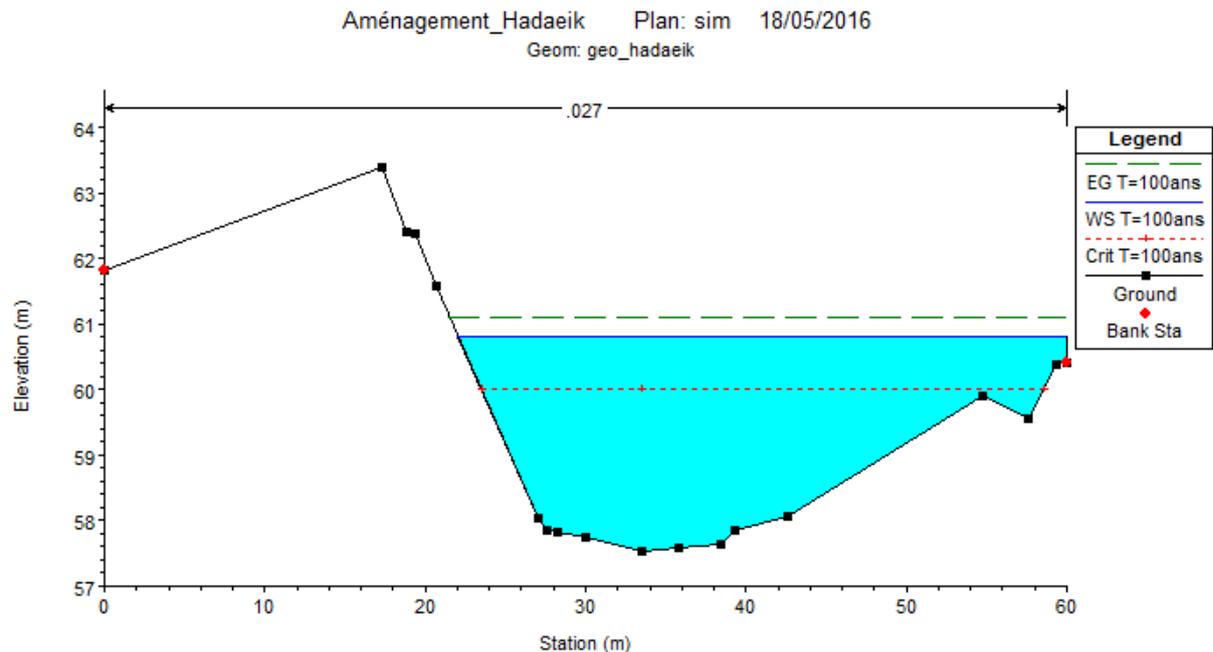


Figure IV.6: résultat de la simulation de l'amont d'oued El-Madjen

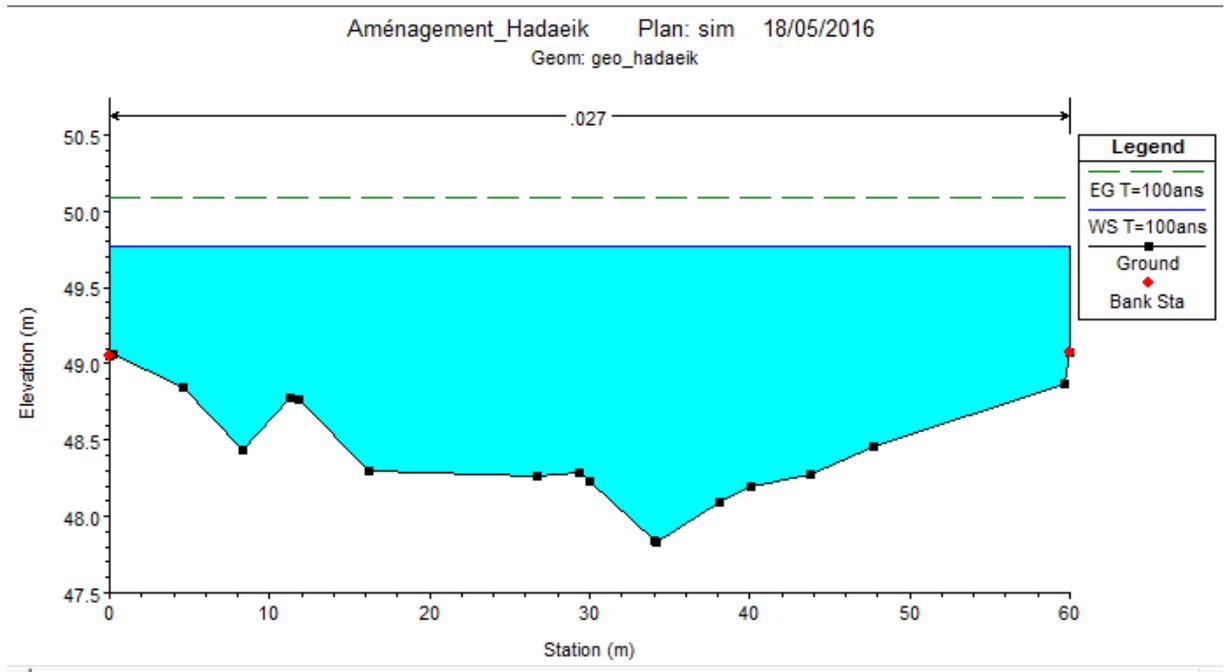


Figure IV.7: résultat de la simulation d'oued El-Madjen_aval.

- **Oued Kounda**

On remarque que la hauteur d'eau varie entre 1 à 4 m le long de l'oued. Et la grande fluctuation de vitesse 1 à 4.5 m/s et pour une exception dans deux sections elle atteint 5 m/s.

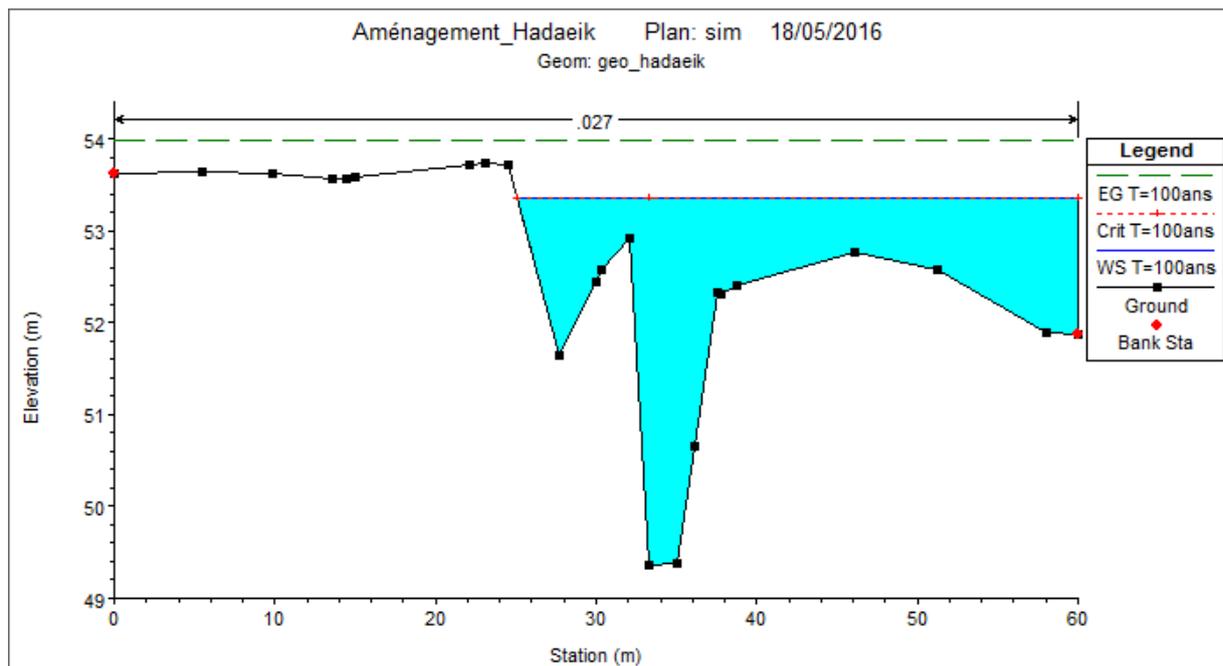


Figure IV.8 : résultat de la simulation d'oued Kounda_amont.

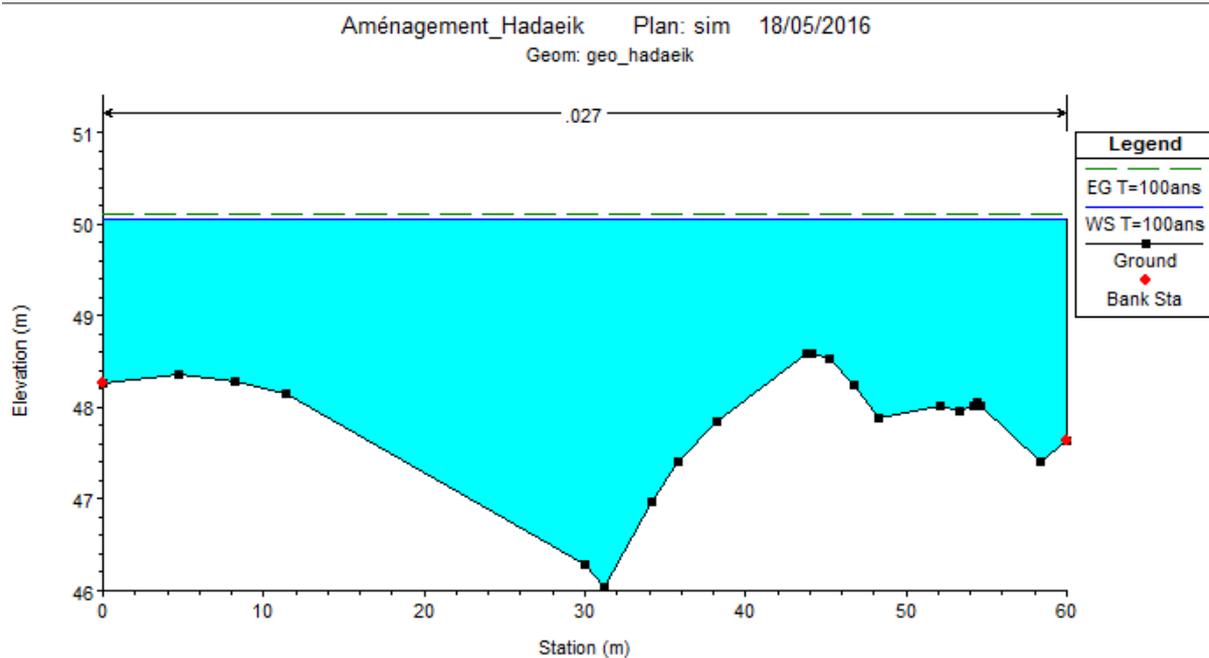


Figure IV.9: résultat de la simulation de l'aval d'oued Kounda.

Nous pouvons conclure que les deux oueds ne peuvent pas supporter la crue centennale, donc il y a toujours des risques d'inondations tant qu'on a des ouvrages ou bien des habitations exposées, ce qui nous amène à la détermination des zones vulnérables via la carte des zones inondables (planche N°1).

IV.4 Délimitation des zones inondables

Après avoir calculé les profils d'inondation avec HEC-RAS, notre objectif dans cette partie est la délimitation des plaines inondables. Pour ce faire, nous avons besoin d'obtenir la surface du sol existante de Civil 3D à HEC-RAS. Alors nous allons exporter le sol existant à partir de Civil 3D comme un fichier dont l'extension est exécutable sur HEC-Ras. Cette conversion nécessitera SAGA GIS. Une fois converti, le fichier de surface sera utilisé pour effectuer des délimitations des zones inondables.

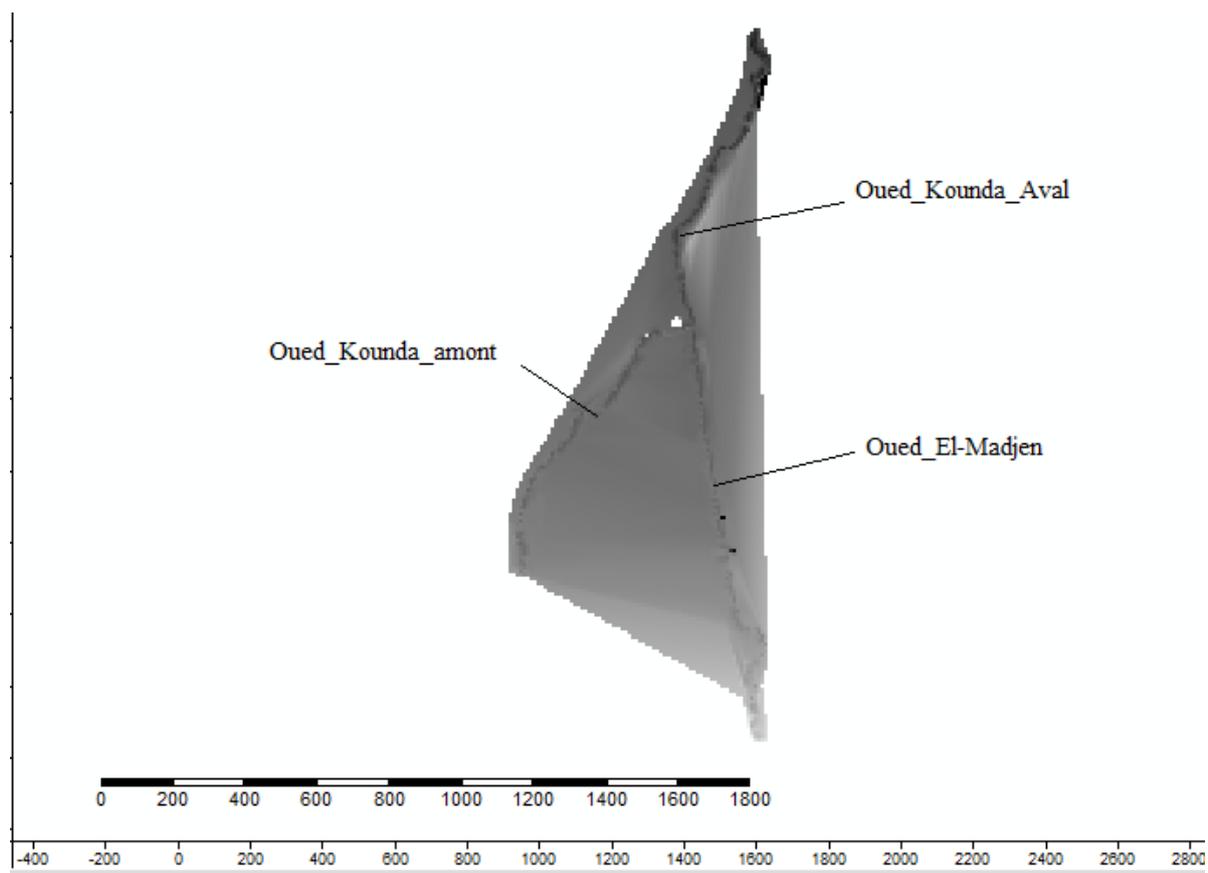


Figure IV.10: extrait MNT du SAGA Gis



Figure IV.11: zones inondables d'oued Kounda et Oued El-Madjen

La figure ci-dessus montre les zones à risque d'inondation dans la ville d'el Hadaiek :

- Dans la partie Est qui est traversée par oued El-Madjen on a des pacs, centre culturel, des hangars, des bâtiments, abattoir, et des boutiques sont touchés la crue.
- Dans la partie Ouest qui est traversée par oued Kounda tous les vergers qui situent le long de la route nationale N 3 aussi que la route sont touchés par l'inondation, ainsi que différentes types de construction.

IV.5 Conclusion

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

Chapitre V

Etude des variantes d'aménagement pour le système de protection contre les inondations

V.1 Introduction

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

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

Ces aménagements répondaient souvent à des objectifs légitimes

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

V.1.1 Les différents aménagements répertoriés [13]

- **Canalisation :**

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

- **Dragage**

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

- **Couverture du cours d'eau**

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

- **Endiguement**

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

- **Rectification**

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

Chapitre V : Etude des variantes d'aménagement pour la protection contre les inondations

- **Recalibrage**

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

V.2 Variantes proposées

Les variantes proposées font l'objet d'une étude comparative, dans le but d'évaluer le cout et la pertinence de chacune, afin de choisir la meilleure sur le plan technico économique qui va satisfaire ces fonctionnalités pour lesquelles est destinée, toute en préservant l'aspect environnemental et en assurant l'esthétique.

Parmi ces schémas une variante sera retenue et fera l'objet d'une étude détaillée, dans le chapitre à suivre. Cette variante garantira la protection de la localité contre les crues de l'oued.

Il faut surtout que les solutions, soient réalisables du point de vue technique et économique et qu'elles soient, bien adaptées avec le terrain et ses conditions aussi bien topographiques que géologiques.

Tableau 10: variantes proposées pour l'aménagement

Oued	Aménagement proposé
Oued_Kounda	Variante 1 : projection d'un canal trapézoïdal en béton sur une longueur de 955 ml avec la projection de deux dalots a l'aval de l'Oued de 10 m et 11,5 m de l'aval vers l'amont
	Variante 2 : variante en pierre maçonnées sur les berges et le radier en béton sur une longueur de 955 ml
Oued_El-Madjen	Variante 1 : Projection d'un canal trapézoïdal en béton sur une longueur de 1230 ml et projection d'un dalot de 12 m
	Variante 2 : variante en pierre maçonnées sur les berges et le radier en béton sur une longueur de 1230 ml

V.3 Choix de la formule de dimensionnement

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

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

Où les différents paramètres sont :

Q : débit de dimensionnement.

n : Rugosité du canal, égale à 0.014 pour un béton brute.

R_h : Rayon hydraulique, avec :

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

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

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

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

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

m : Fruit du talus, pris dans notre calcul égale à 1, voir la facilité de la réalisation d'une angle avec 45°, et son rapprochement à la valeur donnant la section optimale.

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

Tableau 11: pente et fruit de talus correspondants

Oued	tronçon	Longueur(m)	Pente %	Fruit de talus
Oued_Kounda	AB	393.5	0.43	0.5
	BC	540	0.43	1
Oued_El-Madjen	AD	425	0.38	0.5
	DE	562.6	0.83	0.5
	EF	125	1.47	0.5
	EG	105	3.4	0.5

V.4 Première Variante

• **Procédé de calcul**

On remplaçant dans la formule (V.1), les termes S, R_h par leurs relations, après un développement et une simplification on aura la formule suivante :

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

Les termes **Q, n, I, m** sont connus, on procède au calcul itératif à l'aide de l'Excel, dont on fixe b et on varie h jusqu'à l'obtention d'une égalité entre les deux termes de l'équation (V.5). On ajoutant à la valeur de h qui satisfera l'égalité, une marge de sécurité de 0.5 m.

Pour la confirmation des résultats on a choisi le travail avec le logiciel Hydraulics toolbox qui nous a aidé à trouver les dimensions des canaux

• **Résultats d'itération**

Tableau 12 : resultats de la 1 ere variante

Oued	tronçon	Longueur(m)	Pente %	Fruit de talus	b	h	H
Oued_Kounda	AB	398	0.43	0.5	5	3.33	3.83
	BC	540	0.43	1	5	2.88	3.38
El-Madjen	AD	425	0.38	0.5	6	3.65	4.15
	DE	562.6	0.83	0.5	6	2.877	3.377
	EF	125	3.8	0.5	5	2.7	3.2
	EG	105	4.8	0.5	5	2.1	2.6

• **Remarque**

Les deux oueds traversent la ville ce qui nous a obligé de projeter deux dalots dimensionnés à l'aide de Hydraulics Toolbox qui permet de donner la hauteur H une fois la largeur b est fixé :

1. **Dalot N°1** : un canal rectangulaire en béton de 10 m, de longueur 6 m de largeur et d'une hauteur de 4.25 m ce dalot coupe le tronçon AB après 154 m du canal trapézoïdale.
2. **Dalot N°2** : un canal rectangulaire en béton de 12 m de longueur, 6m de largeur et 4.25 de hauteur, ce dalot est projeté à la fin du tronçon AB ç_à_d il sépare les deux tronçons AB et BC de Oued Kounda.

Chapitre V : Etude des variantes d'aménagement pour la protection contre les inondations

- 3. Dalot N°3** : un canal rectangulaire en béton projeté à Oued El-Madjen, de 12 m, de longueur 6 m de largeur et d'une hauteur de 3.7 m ce dalot sépare les deux tronçons AD et DE.

V.4.1 Simulation des résultats

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

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

La simulation sur HEC-Ras des tronçons aménagés a donné plusieurs obstacles, a cause des paramètres mal déterminés comme la confluence des deux Oueds. Ces problèmes nous a conduit à créer un nouveau tracer en se basant sur les pentes des deux Oueds et du nombre de tronçon.

Les résultats de simulation des deux oueds sont donnés par le tableau suivant :

A. Oued Kounda

Tableau 13: résultat de simulation de Oued_Kounda

tronçon	Q (m ³ /s)	Prof_critique (m)	V (m/s)	Froude	remarque
au point C	152	8.25	6.25	0.98	fluvial
au point A	152	4.12	10.29	2.02	torentiel

- Interprétation des résultats :**

On remarque que la profondeur critique est de 8.25m à l'amont et la vitesse de 6.225m/s ces paramètres donnent un nombre de Froude égale à $0.98 < 1$ donc le régime est fluvial.

A l'aval de oued_kounda la hauteur critique est 4.12m et la vitesse 10.29m/s et le nombre de froude égale à $2.02 > 1$ donc le régime est torentiel.

Chapitre V : Etude des variantes d'aménagement pour la protection contre les inondations

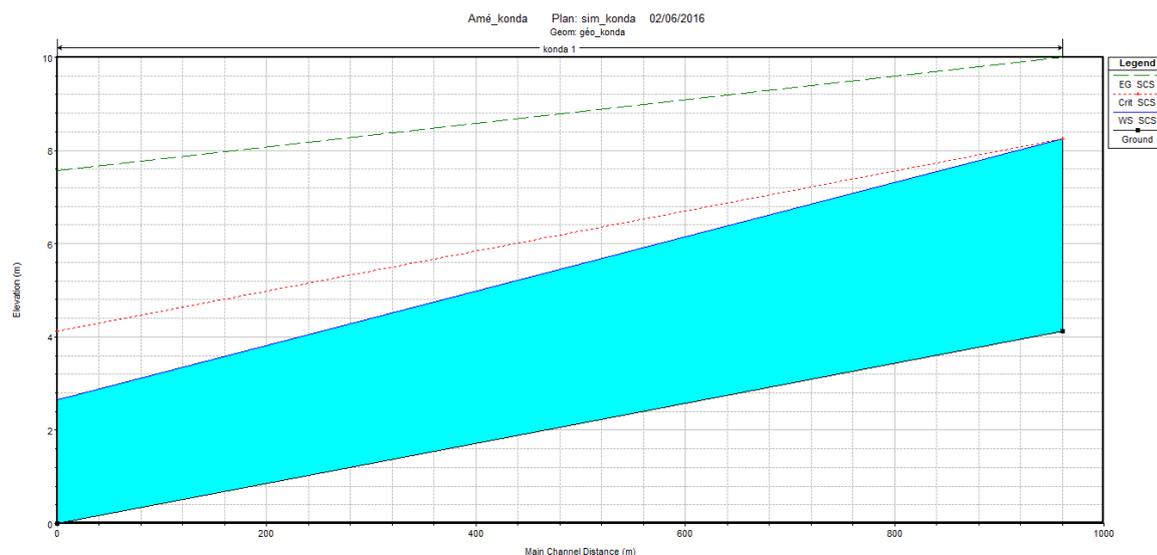


Figure V.1 : profil en long d'oued Kounda

Chapitre V : Etude des variantes d'aménagement pour la protection contre les inondations

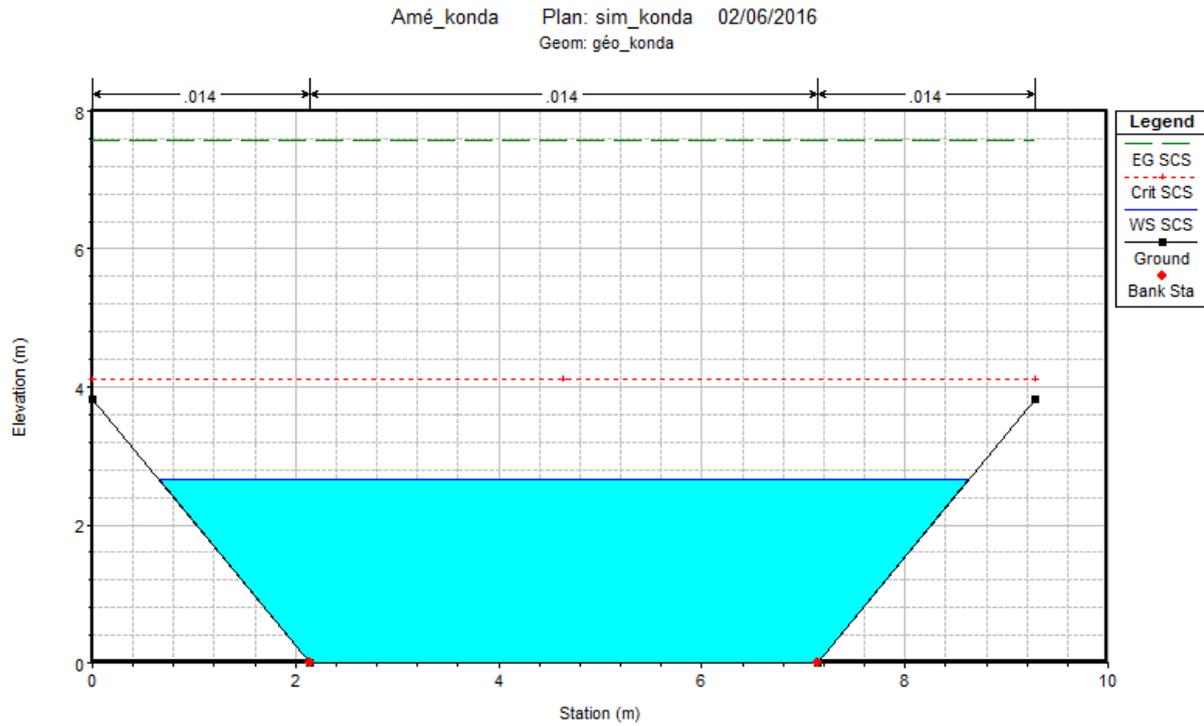


Figure V.2 : profil en travers de la section aval d'oued kouda

B. Oued El-Madjen

Tableau 14 : résultats de simulation d'Oued El-Madjen

tronçon	Q (m ³ /s)	Hc (m)	V (m/s)	Froude	remarque
AD	200	10.38	7.19	1.07	TOR
DE	200	9.17	9.29	1.53	TOR
EF	200	6.03	10.7	2.04	TOR
FG	200	4.28	9	1.75	TOR

- Interprétation des résultats :**

Pour Oued El-Madjen le changement de la pente joue un rôle importants dans les résultats trouvés par HEC-Ras d'où on remarque que la profondeur critique varie de 4.28 à 110.38 m et la vitesse de 7 à 10m/s, ce qui donne un régime torrentiel de l'amont à l'aval.

Chapitre V : Etude des variantes d'aménagement pour la protection contre les inondations

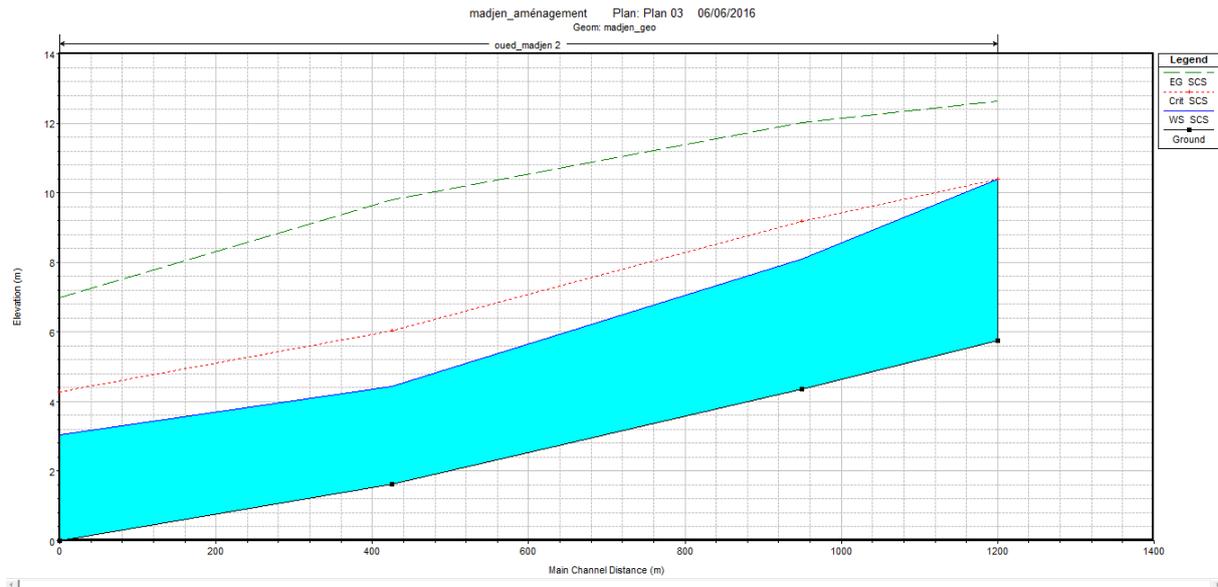


Figure V.3 profil en long d'oued El-Madjen

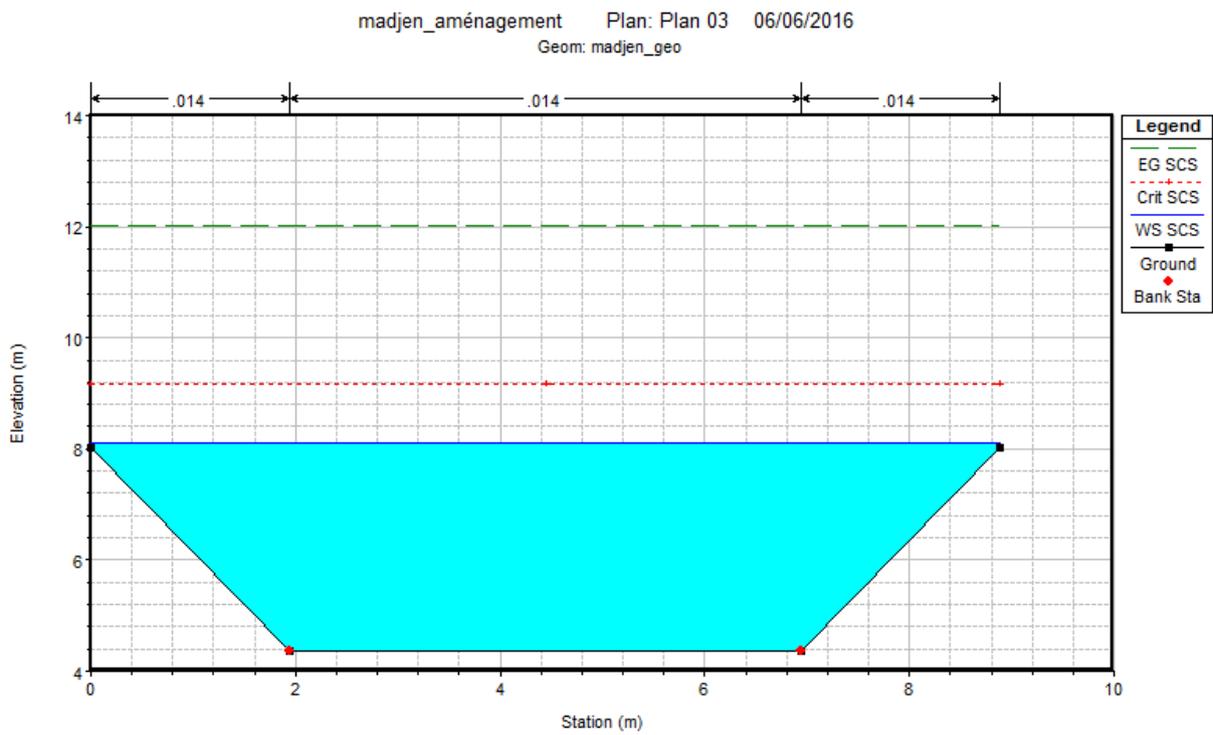


Figure V.4 section en amont d'Oued El-Madjen.

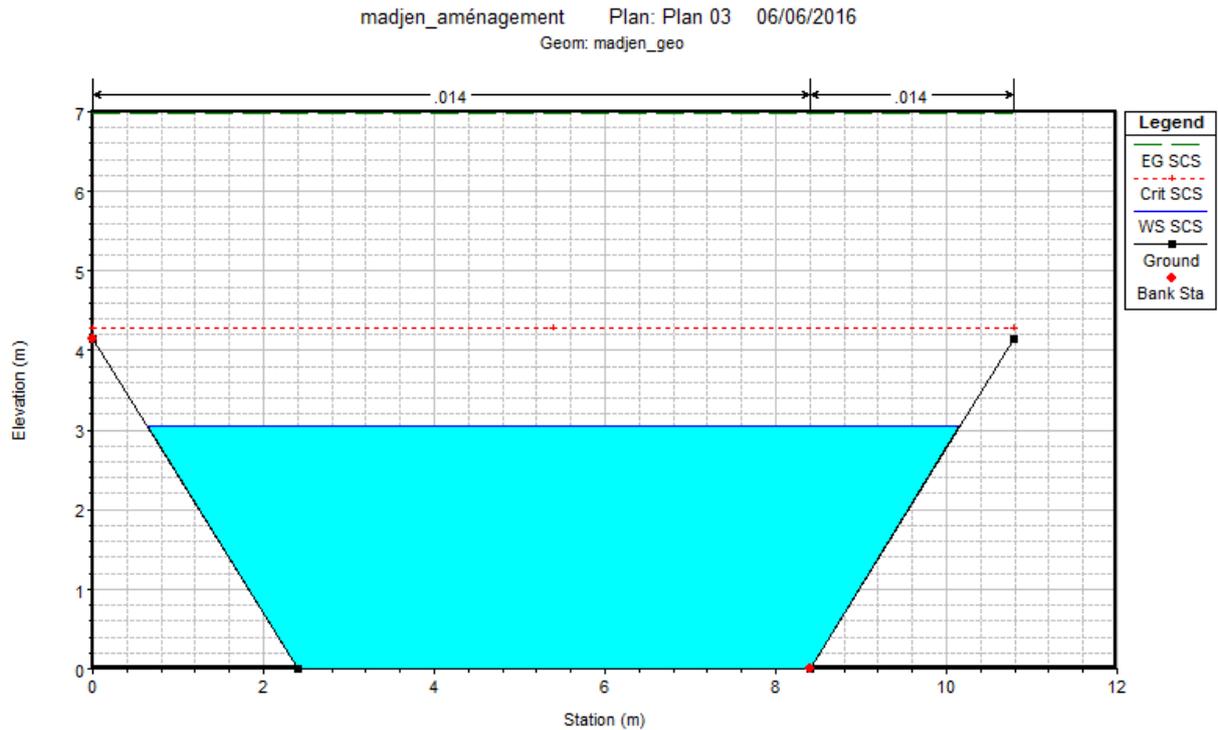


Figure V.5 section en aval d'Oued El-Madjen.

Remarque :

Dans la section en amont il y a une légère augmentation de la hauteur d'eau et cette variation revient au changement presque de la pente de 4.8% à 3.8% dans une distance de 120m et qui cause aussi le régime torrentiel dans toutes les sections de l'oued.

V.5 Deuxième Variante

- **Canal trapézoïdal mixte en pierres maçonnées et en béton**

Dans cette variante nous proposons un canal trapézoïdal mixte, dont le radier sera revêtu en béton armé et les berges en pierres maçonnées.

De même que les variantes précédentes ce canal sera connecté en amont à un ouvrage d'entrée qui va diriger les eaux vers ce canal.

Le débit de dimensionnement est estimé à 152 m³/s pour Oued Kounda et 200 m³/s pour Oued El-Medjen, le coefficient de rugosité est de 0.018.

Tableau 15: Paramètres géométriques de la deuxième variante.

Oued	tronçon	Longueur(m)	Pente %	N	Fruit de talus	b	h	H
Oued_Kounda	AB	398	0.43	0.018	0.5	6	3.46	3.96
	BC	540	0.43	0.018	1	6	3	3.5
El-Madjen	AD	425	0.38	0.018	0.5	6	4.2	4.7
	DE	562.6	0.83	0.018	0.5	6	3.35	3.85
	EF	125	3.8	0.018	0.5	6	2.1	2.6
	EG	105	4.8	0.018	0.5	6	1.96	2.46

- **Remarque**

Dans cette variante la procédure de calcul est la même que la première, la projection des dalots se fait dans les mêmes endroits et le dimensionnement est fait à l'aide de Hydraulics Toolbox qui permet de donner la hauteur H une fois la largeur b est fixé :

V.5.1 Simulation des résultats

Les résultats de simulation du canal trapézoïdale en pierre maçonnées sur les berges et en béton au lit, nous ont permis de connaître le régime de l'écoulement, la vitesse en chaque section ainsi la nouvelle capacité de l'oued aménagé et sa réponse vis-à-vis de la crue de projet.

Les résultats de simulation des deux oueds sont donnés par le tableau suivant :

- **Oued Kounda**

Tableau 16: résultats de simulation d'oued_Kounda pour la deuxième variante

tronçon	Q (m3/s)	Prof_critique (m)	V (m/s)	Froude	remarque
B	152	8.04	6.13	0.99	fluv
A	152	3.99	8.75	1.65	tor

- **interprétation des résultats**

La simulation des données de la deuxième variante a montré un régime fluvial à l'amont et un régime torrentiel à l'aval. La vitesse est élevée par rapport à un canal mixte en pierres maçonnées et en béton, ces valeurs de vitesse mettent les berges en risque d'érosion.

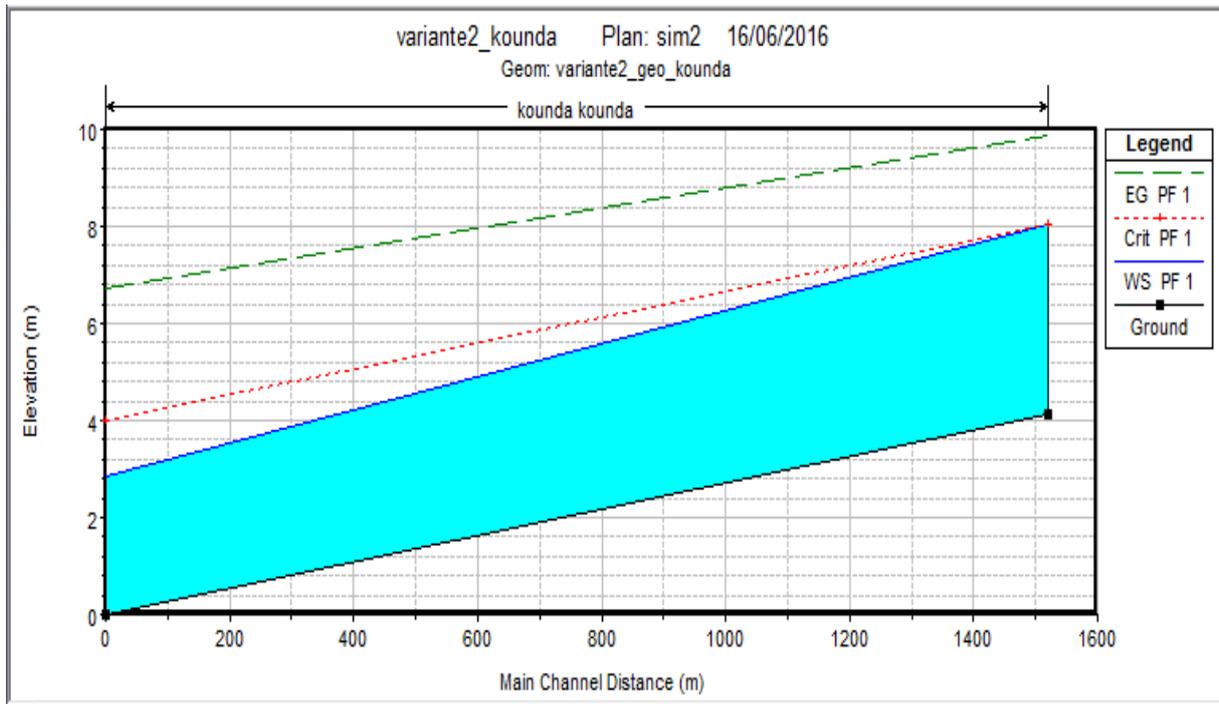


Figure V.6: profil en long d'oued Kounda pour la deuxième variante.

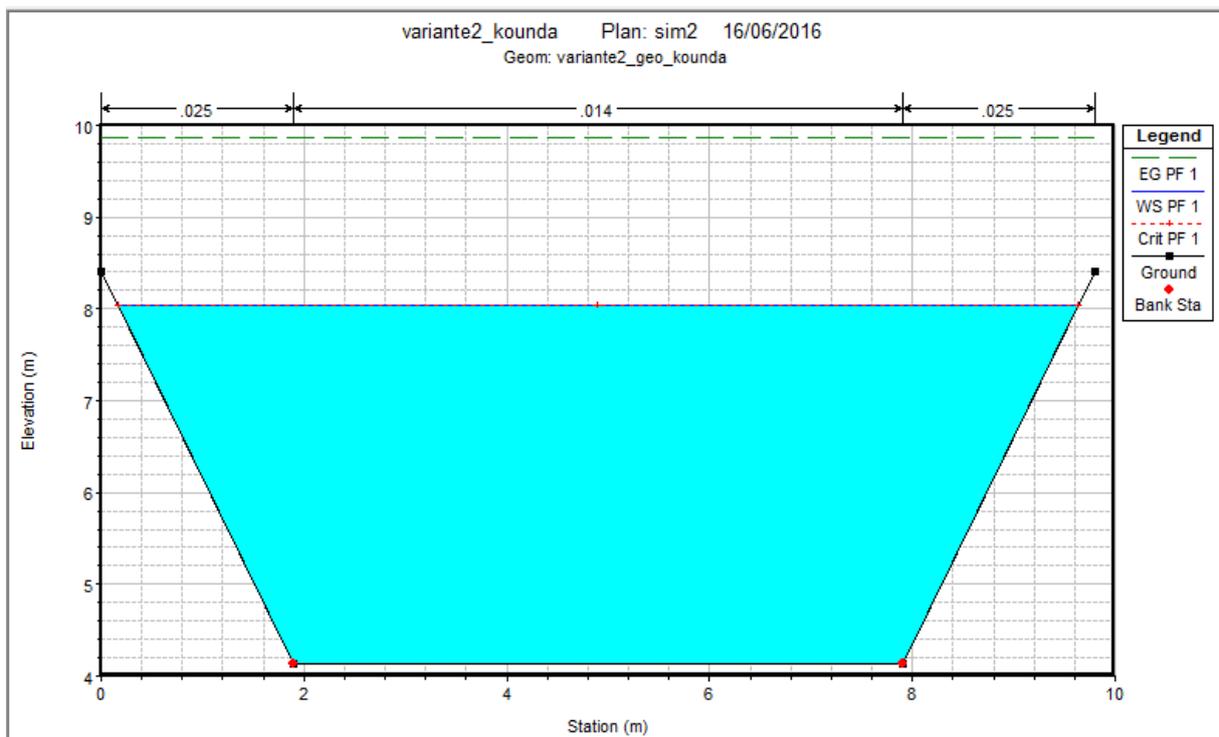
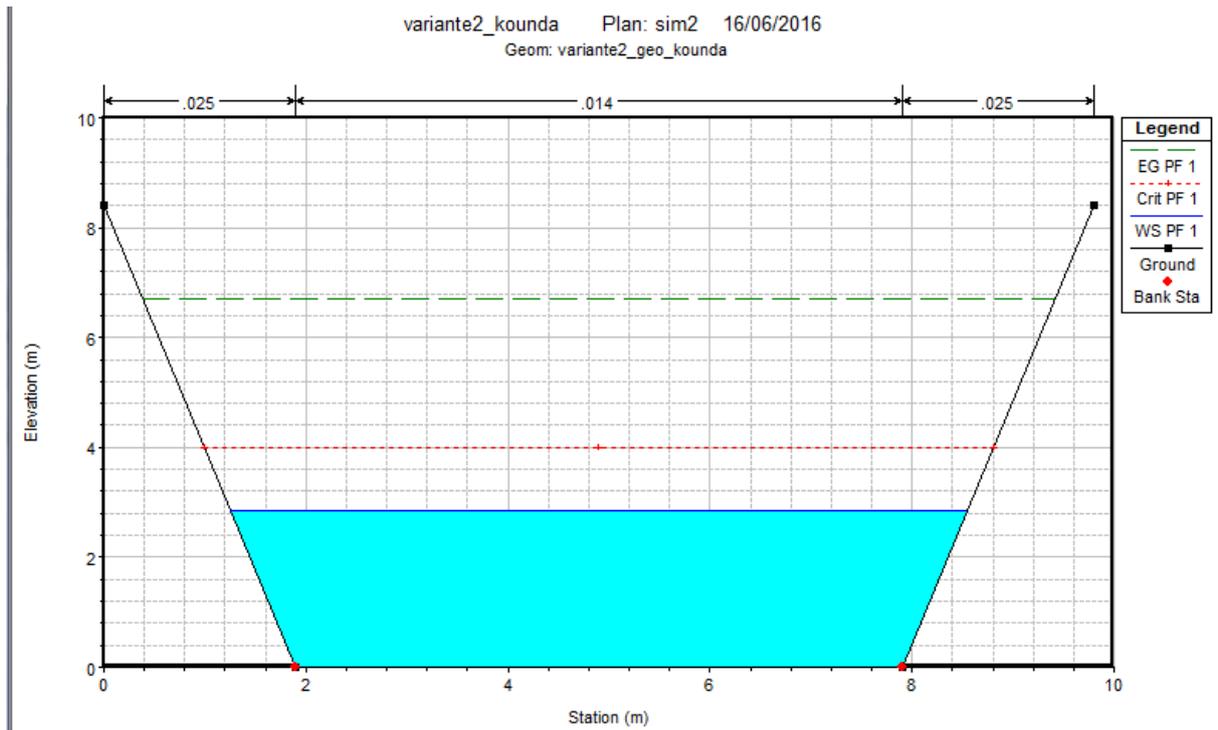


Figure V.7 section amont d'oued Kounda



FigureV.8 section aval d'oued Kounda

- Oued El-Madjen

Tableau 17: résultats de simulation d'oued El-Madjen pour la deuxième variante

Oued	section	Q (m3/s)	Hc	V (m/s)	Fr	Remarque
El-Madjen	G	200	10.35	6.89	1.03	tor
El-Madjen	F	200	9.93	7.66	1.12	tor
El-Madjen	E	200	8.97	9.4	1.64	tor
El-Madjen	D	200	6.25	10.19	1.84	tor
El-Madjen	A	200	4.64	9.76	1.73	tor

- interprétation des résultats

Les résultats de simulations ont montré un régime torrentiel le long d'oued El-Madjen, et une vitesse varie de 6 m/s à 10.19 m/s, cette valeur de vitesse reste admissible pour un béton amélioré, mais pour les berges qui sont en pierre maçonnée ces valeurs ne poseront pas un risque d'érosion des berges vue que ces valeurs appartiennent à l'amont de l'oued sur une section de 230ml.

Chapitre V : Etude des variantes d'aménagement pour la protection contre les inondations

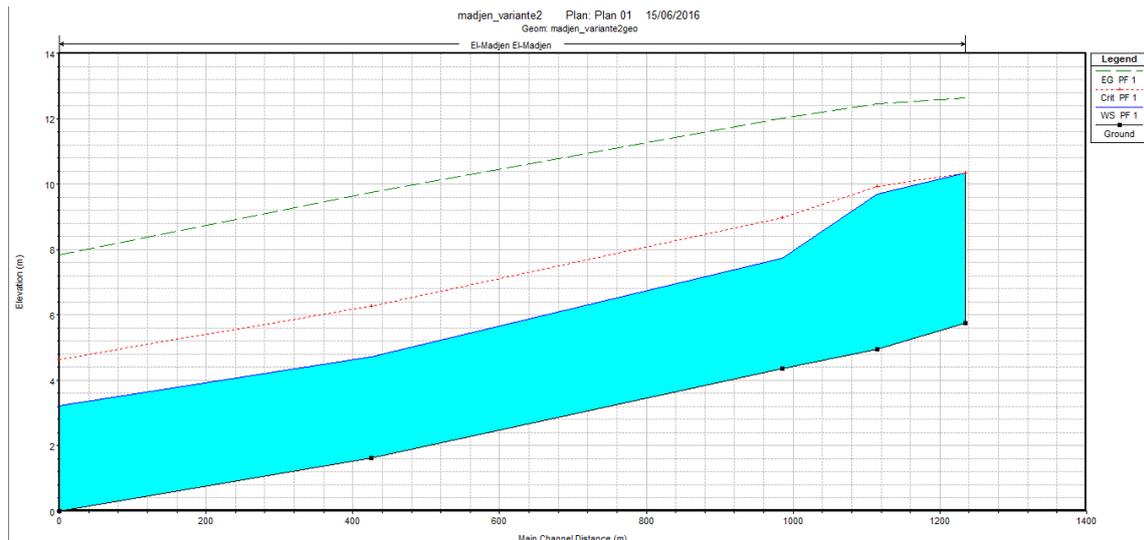
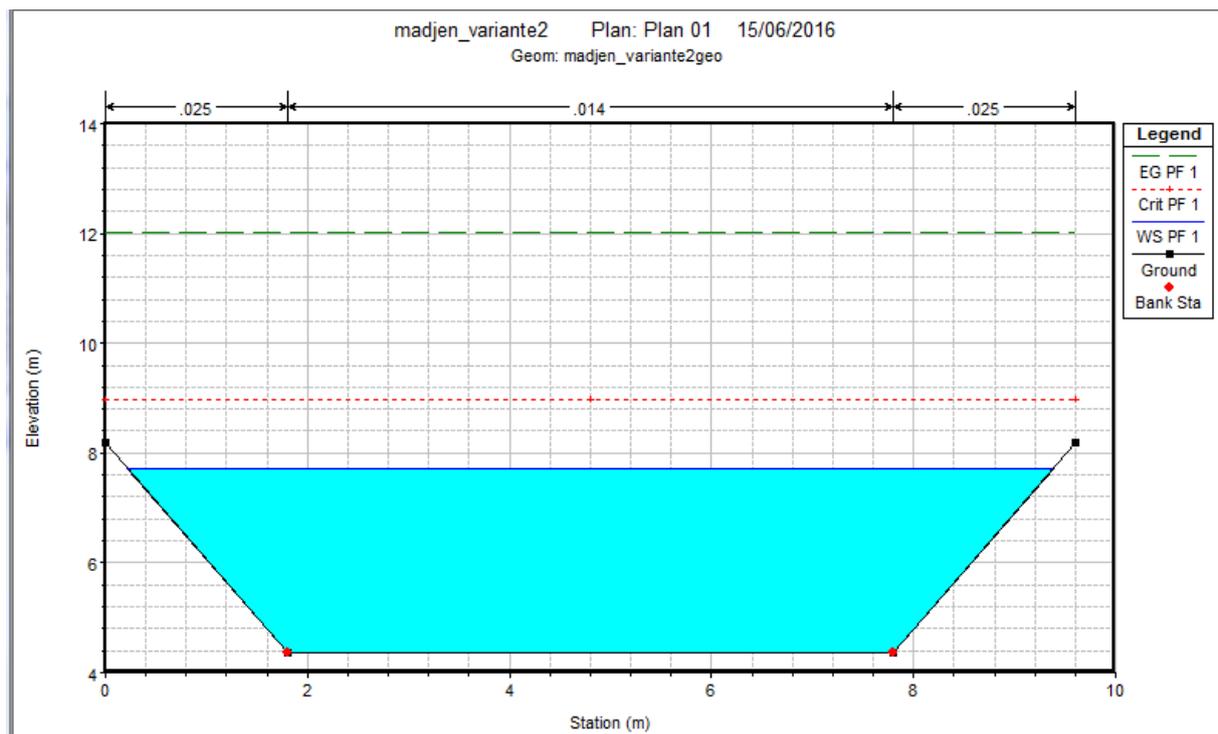


Figure V.9 profil en long d'Oued El-Madjen aménagé par la deuxième variante

Le profil en long montre un léger débordement a l'amont de l'oued vu le changement de pente sur une distance de 230 ml.



FigureV.10 section amont d'oued El-Madjen après aménagement.

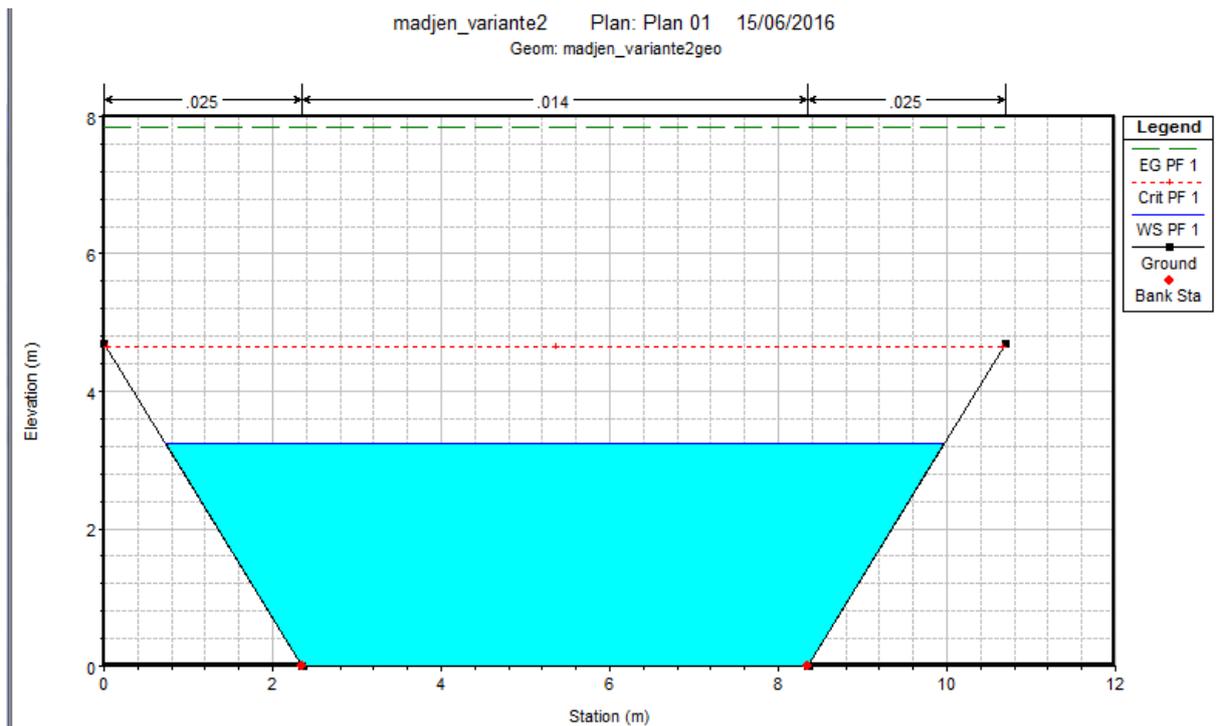


Figure V.11 section aval d'oued El-Madjen

V.6 Vitesse d'érosion

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

Tableau V.18: Valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés [07]

Lit	Vitesse V_{er} (m/s)
Revêtement en branches	1.5-2.0
Pavage de pierre à une couche	2.5-4.0
Pavage de pierre à deux couches	3.5-5.0
Gabions	4.0-6.0
Revêtement en béton	6.0-10.0
Béton amélioré	>10

V.7 Critères de choix de la variante adéquate.

Tableau V.10 : critères de choix de la variante adéquate

Variantes	Espérance de vie	Autres caractéristiques importantes
Canal en Béton	Estimée à 50 ans	Convient à toutes les dimensions de canaux et à toutes les conditions topographiques climatiques, et d'exploitation, coulage des en usine pourrait être plus économique. Prix de revient relativement élevé.
Canal Mixte En Pierres Maçonnées Sur Les Berges Et Un Lit En Béton	Peut- être la même que le béton, si toute fois il est convenablement construit et entretenu.	Méthodes demandant beaucoup de main d'œuvres, il est essentiel que les matériaux de construction soient disponibles sur place ou au voisinage.

D'après les résultats de simulation de HEC-Ras et la comparaison faite dans le tableau ci-dessus on remarque que la deuxième variante présente un risque d'érosion des berges et difficile à réaliser dans une zone urbaine, tandis que la première variante présente un risque minimum d'érosion et des résultats mieux que la deuxième.

V.7 Conclusion

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

Le dimensionnement des canaux (trapézoïdaux, et dalots projetés) s'est fait à l'aide du programme Hydraulics Toolbox et manuellement par la méthode itérative, on remarque que le régime d'écoulement est torrentiel dans la majeure partie des canaux composant le projet.

Chapitre VI

Estimation quantitative et financière du système de protection contre les inondations

Chapitre VI : Estimation financière et quantitative du système de protection contre les inondations

VI.1. Introduction

L'estimation financière et quantitative du système de protection est une démarche visant à gérer pour le bon déroulement d'un projet. Elle nous permet d'avoir une idée sur le coût et le délai de réalisation. Pour notre projet nous allons présenter un plan d'estimation financière propre à l'aménagement des tronçons des deux oueds (Kounda et El-Madjen) qui traversent la ville, qui consiste à la définition et le choix final de la variante et des matériaux utilisés pour la réalisation et l'exécution des travaux dans les meilleures conditions et dans les plus brefs délais.

VI.2 Estimation du cout des variantes

La détermination des paramètres de l'écoulement de chaque variante, nous a permet de conclure sur la convenance de chaque solution proposée pour l'aménagement de l'oued **Kounda et El-Madjen**.

Dans cette partie on procède à l'évaluation du coût des deux variantes, à partir des résultats des quantités de déblais et de remblais données par le simulateur HEC-RAS.

Une appréciation du devis de notre projet nécessite une estimation des travaux de génie civil, à partir des dimensions de notre canal pour chaque variante.

Les différentes quantités des matériaux à utiliser pour chaque variante, on va le multiplier par leur prix unitaire afin d'obtenir le coût total du projet.

VI.2.1 Variante N°1 : Canal trapézoïdal en béton

A. Oued Kounda

Tableau 19: quantité des matériaux utilisés pour la réalisation

tronçons	Nature	Dimensionnement du canal			Berges	Quantité /Radier		Quantité /berges
		B(m)	L(m)	H(m)	berge	béton de propreté	Béton	béton
AB	canal trapézoïdal en béton	5	398	3.83	4.42	199	398	263.98
BC		5	540	3.38	3.90	270	540	316.09
Dalot 1		6	10	4.25	4.25	6	12	6.375
Dalot 2		6	12	4.25	4.25	7.2	14.4	7.65
					TOTAL	482.2	964.4	594.09

Remarque :

Pour Oued Kouda le radier est composé d'une couche du béton de propreté de 5 cm et une autre en béton armé de 20 cm, pour les berges on a mis une couche du béton armé de 15 cm

Chapitre VI : Estimation financière et quantitative du système de protection contre les inondations

Tableau 20: Devis estimatif d'Oued _Kounda

travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Déblais	m ³	3966	900	3569400
Remblais	m ³	11559	1500	17338500
Béton	m ³	1558.49	32000	49871819.94
Béton de propreté	m ³	482.2	4000	1928800
				72,708,519.94

Remarque : Les volumes de remblais et de déblais sont donnés par le logiciel Hec-Rac après la proposition de la variante, le prix unitaire de chaque tâche est donné par un site Algérien agréé

B. Oued El_Madjen

Tableau 21: quantité des matériaux utilisés pour Oued El_Madjen

tronçon	Nature	Dimensionnement du canal			Berges	radier		berge
		B(m)	L(m)	H(m)	berge	b de pro	Béton	béton m3
AD	canal trapézoïdal	6	425	4.15	4.79	255	510	305.44
DE		6	562.6	3.377	3.90	337.56	675.12	329.02
EF		5	125	3.2	3.69	62.5	125	69.27
FG		5	105	2.6	3.00	52.5	105	47.28
DALOT	en béton	6	12	3.7	3.7	7.2	14.4	8.88
					total	714.76	1429.52	759.90

Remarque : Oued EL-Madjen a été aménagé de la même manière qu'Oued Kounda

Tableau 22: devis estimatif d'Oued El-Madjen

travaux	Unité	Quantité	prix u(DA)	Montant (DA)
Déblais	m ³	1825	900	1642500
Remblais	m ³	17806	1500	26709000
Béton	m ³	2189.42	32000	70061310
Béton de propreté	m ³	714.76	4000	2859040
				101,271,850

Remarque : Les résultats de déblais et de remblais sont donnés par le logiciel HEC-Ras

- **Cout total du projet**

Les résultats du tableau 2 et 4 donnent le cout de l'aménagement des deux Oueds par un canal trapézoïdal en béton avec projection de trois dalots

- Le montant total du projet est **173 980 370.32 DA**
- Le montant total arrondi du projet est **174 000 000 DA.**

VI.2.2 Variante N°2 : Canal mixte en pierres maçonnées sur les berges et un radier en béton

A. Oued Kounda

Tableau 23 : quantité des matériaux utilisés pour l'aménagement d'Oued Kounda par la deuxième variante

N° de profils	Nature	Dimensionnement du canal			radier		berges		Béton de propreté	Paroi du dalot	
		B(m)	L(m)	H(m)	berge	Pierre m	Béton	gravier			pierre mç
AB	mixte	6	398	3.96	4.43	477.6	238.8	88.10555	352.42	0	0
BC		6	540	3.5	4.95	648	324	133.64318	534.57	0	0
Dalot 1		6	10	4.25	4.25	0	12	0	0.00	6	8.5
Dalot 2		6	12	4.25	4.25	0	14.4	0	0.00	7.2	10.2
						1125.6	589.2	221.74873	886.99	13.2	18.7

Remarque : l'aménagement pour cette variante est fait comme suit :

- **Radier :** une couche du béton de 10 Cm et une couche de 20 cm de pierre maçonnée.
- **Les berges :** un lit de gravier de 5 cm et une couche de pierre maçonnée de 20 cm.
- **Les dalots :** ces ouvrages gardent le même type des matériaux pour les deux variantes en béton

Tableau 24: Devis estimatif d'oued Kounda pour la deuxième variante

TRAVAUX	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Déblais	m ³	7732	900	6958800
Remblais	m ³	11559	1500	17338500
Béton	m ³	607.90	32000	19452800
B de propreté	m ³	13.2	4000	52800
Pierres. Maçonnées	m ³	2012.59	1000	2012594.928
gravier	m ³	221.748732	1600	354797.9713
				46 170 292.9

Remarque : Les pierres maçonnées utilisées ont une épaisseur de 20 cm.

B. Oued El-Madjen

Tableau 25: quantité des matériaux utilisés pour l'aménagement d'oued El-Madjen par la deuxième variante

tronçon	Nature	Dimensionnement du canal			radier		berges		Béton De propreté	Paroi Du Dalot	
		B(m)	L(m)	H(m)	berge	Pierre m	Béton	gravier			Pierre mç
AD	mixte	6	425	4.7	5.25	510	255	111.6636446	446.65	0	0
DE		6	562.6	3.85	4.30	675.12	337.56	121.08364	484.33	0	0
EF		6	125	2.6	2.91	150	75	18.16805232	72.67	0	0
FG		6	105	2.46	2.75	126	63	14.43940896	57.76	0	0
DALOT		6	12	3.7	3.7	1461.12	14.4	265.35	1061.42	2.22	8.88

Remarque : Oued El-Madjen est aménagé de la même manière qu'Oued Kounda.

Tableau 26: devis estimatif d'oued El-Madjen pour la deuxième variante.

travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Déblais	m ³	6966	900	6269400
Remblais	m ³	11559	1500	17338500
Béton	m ³	23.28	32000	744960
B de prop	m ³	2.22	4000	8880
Pierres.maç	m ³	2522.54	1000	2522538.984
gravier	m ³	265.35	1600	424567.5935
				27308846.58

Remarque : Les résultats de déblais et de remblais sont donnés par le logiciel HEC-Ras

- **Cout total du projet**

Les résultats du tableau 6 et 8 donnent le cout de l'aménagement des deux Oueds par un canal trapézoïdal en béton avec projection de trois dalots

- Le montant total du projet est **73 479 139.48 DA**
- Le montant total arrondi du projet est **74 000 000 DA.**

Chapitre VI : Estimation financière et quantitative du système de protection contre les inondations

VI.3 variante retenue

Dans ce chapitre on a pu estimer le cout du projet de l'aménagement des deux oueds pour les deux variantes proposées, pour la protection contre les inondations de la ville d'El HadaieK.

Comme le montre le chapitre V la variante choisie est celle en béton

Un canal en béton présente la solution la plus favorable par rapport à un canal en pierres maçonnées. Il présente les avantages suivants :

- Vitesse d'écoulement conséquente
- Résistance au choc
- Rapidité de réalisation et maintenance.

Sur le plan financière la variante N°2 est la plus économique avec un montant de **74000000 DA**. On constate que le coût de la première variante (en béton armé) est plus élevé que la deuxième (en pierre maçonnées) cela dû aux dimensions du canal et la quantité des matériaux, donnant des quantités des travaux de terrassement importante.

Pour l'aménagement on va choisir la variante N°1, constitué par un canal en béton armé malgré leur coût le plus élevé de **174000000 DA** par rapport à la deuxième variante qui nécessite :

- La disponibilité de la matière locale et une main-d'œuvre qualifiée.

Par contre un canal en béton présente :

- Une durée de vie plus importante.
- Une forme étroite bien adoptée à la ville.
- es caractéristiques hydrauliques meilleurs.
- une durée de réalisation très courte, et assure une meilleure protection.

VI.4 Conclusion

L'étude technico-économique nous a permis de sélectionner la meilleure variante celle d'un canal trapézoïdal en béton, afin de protéger les localités de la ville d'El-Hadaiek contre les inondations et assurer une évacuation rapide du flux de la crue vers l'exutoire.

Le coût du projet du système de protection contre les inondations de la ville d'El-Hadaiek est **174 000 000 DA**

Conclusion Générale

L'importance de l'eau en tant que support de vie et de facteur régulateur du développement d'un pays est universellement reconnue. La protection des sites urbains contre les crues et les inondations est une nécessité indispensable afin de réduire les risques humains, matériels et économiques.

En effet, qui dit protection contre l'inondation, dit sauvegarde du patrimoine, de l'architecture et de la vie humaine.

C'est pour ces multiples raisons qu'on a traité ce sujet qui, pour la moindre négligence et pour un minimum d'inattention, risque de porter atteinte à l'homme et à l'environnement dans lequel il évolue.

A travers cette étude, on a pris conscience de la nécessité d'entretenir Oued Kounda et Oued El-Madjen qui traversent la ville d'El-Hadaiek, pour mettre fin du problème d'inondation.

On a scindé notre travail en trois étapes essentielles.

Nous avons d'abord estimé le débit de crue maximal à évacuer par les cours d'eau à travers l'estimation de l'hydrogramme de crues grâce à l'outil Hec-hms.

En second lieu nous avons déterminé les zones susceptibles à être inondées, par la simulation de l'écoulement dans les cours d'eau non aménagés par le logiciel HEC-ras en se basant sur le modèle de Saint-Venant monodimensionnel et à l'aide d'Autocad, Autocade civil 3d et SAGA Gis

Finalement nous avons choisi un aménagement adéquat après une analyse technico-économique pour choisir la variante finale qui répond à notre objectif d'étude.

En effet, la variante choisie comprend un aménagement, par un canal trapézoïdal en béton sur une longueur de 1230 ml pour Oued El-Madjen et 960 ml pour Oued Kounda, aussi la réalisation de 3 dalots du même type de construction

Le coût de ce projet est estimé à **174 000 000 DA**, et comme tout projet celui-ci se doit d'être suivi afin de garantir un meilleur service et une longévité acceptable.