

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Saad Dahleb Blida
Faculté de Technologie
Département de sciences de l'eau et l'environnement



MEMOIRE DE MASTER

Filière: Hydraulique

Spécialité: Ressources hydrauliques

Présenté par :
Guellal Ilham
Attou Zaki

Thème

**Gestion du risque d'inondation par la modélisation
numérique de la propagation des crues extrêmes dans
Oued El Harrach**

Devant le jury composé de:

Mr. Kara Omar
Mme. Bouzouidja Souad
Mr. Ali Haddad

MCB, Univ Blida 1
MAA, Univ Blida 1
MCA, Univ Blida 1

président
Examinatrice
promoteur

Année Universitaire 2022/2023

ملخص

في مشروع نهاية الدراسة هذا ، قمنا بتقييم مخاطر الفيضانات من خلال محاكاة أحادية الأبعاد لانتشار الفيضانات المتكررة من مستجمعات المياه في واد الحراش. للقيام بذلك ، اعتمدنا على استخدام برنامج HEC RAS لنمذجة ومحاكاة السلوك الهيدروليكي للوادي أثناء الفيضانات المتبادلة. بعد تصميم نموذج التضاريس الرقمية وإدخال البيانات والظروف الهيدروليكية عند الحدود ، قمنا بمحاكاة الفيضانات المختلفة سيناريوهات باختبار التدفق الدائم أحادي البعد ، وأظهرت المحاكاة أن الشكل الحالي للوادي لن يكون قادرًا على دعم الفيضانات المتكررة بشكل طبيعي .

Résumé

Dans ce projet de fin d'étude nous avons procédé à l'évaluation du risque d'inondation par la simulation monodimensionnelle de la propagation des crues fréquentielles provenant du bassin versant d'Oued El Harrach. Pour ce faire nous nous sommes basés sur l'utilisation du logiciel HEC RAS pour la modélisation et la simulation du comportement hydraulique de l'oued lors des crues fréquentielles. Après conception du modèle numérique du terrain et introduction des données hydrauliques et conditions aux limites, nous avons simulé les différents scénarios de crues en optant en premier lieu pour l'écoulement permanent monodimensionnel. La simulation a montré que la forme actuelle de l'oued ne pourra pas véhiculer normalement les crues fréquentielles.

Abstract

In this end-of-study project, we assessed the risk of flooding by one dimensional of the propagation of frequency floods from the Oued El Harrach watershed. To do this, we relied on the use of HEC RAS software for the modeling and simulation of the hydraulic behavior of the wadi during frequency floods. After designing the digital terrain model and introducing hydraulic data and boundary conditions, we simulated the different flood scenarios by first opting for the one-dimensional permanent flow. The simulation showed that the current shape of the wadi will not be able to normally carry the frequency floods.

Remerciements

Pour commencer nous remercions ALLAH, le tout puissant pour son aide, sa miséricorde et pour le courage qu'il nous a attribué afin de pouvoir réaliser Ce présent travail de fin d'étude Nous adressons aussi nos remerciements a notre Encadreur HADDAD ALI qui s'est donné à fond, qui était disponible et qui était fidele à tous les rendez-vous pour l'élaboration de ce mémoire. Son aide, ses conseils, nous ont facilité notre tache Nous saurons, par le présent travail, à témoigner notre reconnaissance a l'équipe pédagogique du département de science de l'eau et environnement, spécifiquement monsieur BOUZERIA et monsieur KHELFI car vous nous avez aider et nous encourager malgré vos occupations qui nous ont beaucoup donné et appris dans ce domaine et au personnel administratif pour son soutien, son guide et ses directives au cours de notre cursus universitaire. Par ailleurs, nous remercions les membres du jury qui auront à écouter, apprécier et juger ce travail.

Nous saisissons cette occasion à remercier, nos familles pour tous les sacrifices réservés à nos études et leur succès Enfin, un remerciement chaleureux pour nos amis qui partagent notre joie a chaque réussite.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail Spécialement à :

Ma chère mère Madame *Nemsi.S;*

Et mon papa Monsieur *Guellal Djilali*

Pour leurs Sacrifices, leurs patiences, leurs Aide et leur soutien
Et me voir ainsi arriver à ce Que je suis devenu Aujourd'hui
Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de
me combler.

A mon futur mari *SAMI TOUFIQUE* pour leurs conseils et leur
support dans les moments difficiles

A mes sœur **ZAHRA, LOUBNA** et **AMINA** ; a mon grand frères **FETHI** et
mon amour **ADAM**

A toute mes amis et mes collègues surtout mon binôme **ATTO .Z** et ma collègue **Meriem** et
ma chère amie **BENFARES F/Z** sa fille **Omaïma**

-GUELLA ILHAM-

Dédicace

Je dédie ce MEMOIRE à :

*Spécialement à mes très chères parents pour leurs
Sacrifices, leur amour, leurs Aide et leur soutien
Et me voir ainsi arriver à ce Que je suis devenu*

Aujourd'hui.

A mes sœurs

Samira, Amel, wafya

A ma binôme : GUELAL ILHAM

A toute mes amis :

Marouan, Housin, Fattah, Salam, Khalid, Kadi.

- ATTOU ZAKI -

Table des matières

Introduction général	12
I. Généralités sur les inondations	14
I.1 Introduction	14
I.2 Quelques définitions	14
I.3 Phénomène inondation	14
I.3.1 LES TYPES D'INONDATION :	15
I.3.2. LA FORMATION RAPIDE DE CRUES TORRENTIELLES	17
I.3.3 LE RUISSELLEMENT PLUVIAL	17
I.4 le débit de la rivière	18
I.4.1. LA CRUE :	18
I.4.2. L'ETIAGE :	18
I.5 Le lit de la rivière	18
I.5.1 LE LIT DE LA RIVIERE :	18
I.5.2 LITS DU COURS D'EAU:	19
I.6 Le processus de formation des crues	19
I.7 L'influence des facteurs naturels	20
I.8 L'aléa inondation	21
I.8.1 LA PERIODE DE RETOUR DE CRUES	21
I.8.2 LA HAUTEUR ET LA DUREE DE SUBMERSION	21
I.8.3 LA VITESSE DU COURANT	21
I.8.4 LE VOLUME DE MATIERE TRANSPORTEE	21
I.8.5 QUELQUES PRECISIONS	22
I.9 Le risque inondation	22
I.9.1 L'INFLUENCE DES FACTEURS ANTHROPIQUES	22
I.9.2 LES ATTEINTES AUX HOMMES, AUX BIENS ET AUX ACTIVITES :	23
I.9.3 LES ATTEINTES A L'ENVIRONNEMENT	23
I.9.4 QUELQUES PRECISIONS	24
I.10 Inondation en Algérie	24
I.10.1 CATASTROPHE DE BAB EL OUED	25
I.10.2 INONDATION DE SUD ALGERIE	25
I.10.3 HISTOIRE INONDATION DE REGION OUED EL HARRACH	26
I.11 Stratégies de lutte	27
I.12 Conclusion	28

II .1 Introduction	30
II. 2. Situation géographique	30
II.3 Cadre géologique	31
II4.Climatologie	32
II4.1PRECIPITATIONS	32
II. 4.2 TEMPERATURE	34
II.4.4 EVAPOTRANSPIRATION (ETP)	35
II.4.5 VITESSE DU VENT	35
II. 5.Hydrologie	35
II6. Végétation	36
II 7.Situation topographique	37
I .8 Conclusion	37
Chapitre III : Etude HYDROLOGIQUE	39
III.1.introduction	39
III.2 Le bassin versant	39
III.2.1 DEFINITIONETDELIMITATIOND'UNBASSINVERSANT	39
III.2.2 COMPORTEMENT HYDROLOGIQUE	40
III.3 Caractéristiques morphologiques du bassin versant	40
III 3.1 LA SURFACE	40
III.3.2LE PERIMETRE	41
III3.3 INDICE DE COMPACITE DE GRAVELIUS	41
III.3.4 RECTANGLE EQUIVALENT	42
II.3.5 TEMPS DE CONCENTRATION	43
III.3.6 VITESSE MOYENNE DE RUISSELLEMENT	46
III. 4 Analyse des données pluviométriques	47
III.4.1 PLUIES MAXIMALES JOURNALIERES	47
III.4.1 PLUIES MAXIMALES JOURNALIERES	48
III.4.2 L'ETUDE DES PLUIES MAXIMALES JOURNALIERES	48
III.4.3AJUSTEMENT DES PLUIES MAXIMALES JOURNALIERES	49
III.4.3.1 Choix de la loi d'ajustement	49
III.4.3.2 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON	49
III.4.3.3 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL (Méthode des moments)	51
III.4.3.4 Comparaison entre les deux lois d'ajustement	52

III.5.Pluie de courte durée.....	53
III.7.Etude de crue	54
III.8. Différentes méthodes d'évaluation des crues.....	54
III.8.1 METHODES DETERMINISTES	55
III.8.2 METHODES PROBABILISTIQUES	55
III.9. Application sur le bassin versant	55
III.11. Conclusion.....	57
IV.1 Introduction	59
IV.2 Présentation de logiciel HEC-RAS	59
IV.3 Fonctionnement De HEC-RAS.....	60
IV.3.1 GEOMETRIE DUCOURS D'EAU SIMULE.....	60
IV.3.2 CALCUL DE DEBITS, CONDITIONS AUX LIMITES ET DE CALCUL	61
IV.3.3 VISUALISATION DES RESULTATS	61
IV.3.4 OBJECTIF DU LOGICIEL.....	61
IV.4 Théorie de base de calcul du modèle HEC-RAS	62
IV.4.1 PROFILS DE LA SURFACE DE L'EAU EN ECOULEMENT PERMANENT	62
IV.4.2 EQUATION DE BASE ENTRE DEUX SECTIONS	62
Conclusion General :	85
Références bibliographiques	86

LISTE DES FIGURES

chapitre 01 généralités sur les inondations

FIGURE I.1. ALEA, ENJEUX, RISQUE MAJEUR, V VULNERABILITE. (2)	14
FIGURE I.2.PHENOMENE D'INONDATION.(2)	15
FIGURE I.3. INONDATION LENTE DE PLAIN DEBORDEMENT DE COURS D'EAU.....	15
FIGURE I.4. LES INONDATIONS PAR RUISSELLEMENT RURAL	16
FIGURE I.5. LES INONDATIONS RUISSELLEMENT URBAIN	16
FIGURE I.6. LES INONDATIONS PAR REMONTEE DE NAPPE. (5).....	17
FIGURE I.7. EMBACLE SUR UN TORRENT (4).....	17
FIGURE I.8. L'ETIAGE	18
FIGURE I.9.LITS DE COURS D'EAU	19
FIGURE I.10. LE BASSIN VERSANT.	20
FIGURE I.11.LE TRANSPORT SOLIDE.	22
FIGURE I.12.HYDROGRAMME DE CRUE	24
FIGURE I.13. INONDATION DE GHARDAÏA 1 (WIKIPEDIA).....	25
FIGURE I.14. INONDATION DE BECHAR (WIKIPEDIA).....	26

CHAPITRE 02 PRESENTATIONS DE LA ZONE D ETUDE

FIGURE II.1. INONDATION OUED EL HARRACH.....	27
FIGURE II.2. CARTE DE OUED EL HARRACH	30
FIGURE II.3. CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION D'ALGER (D'APRES AYME, 1964)	31
FIGURE II.4.CARTE PLUVIOMETRIQUE POUR L'ALGERIE DU NORD (ANRH, 1993	32
FIGURE II.5.PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES ENREGISTREES A EL HARRACH POUR LA PERIODE ALANT DE 1995 A 2004 (O.N.M., 2005).	33
FIGURE II.6.TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES ENREGISTREES A EL HARRACH POUR UNE PERIODE ALLANT DE 1995 A 2004 (O.N.M., 2005).	35
FIGURE II.7.LE RESEAU HYDROLOGIQUE DE OUED EL HARRACH	36

chapitre 03: etude hydrologique

FIGURE III.1.AJUSTEMENT A LA LOI DE GALTON.....	51
FIGURE III. 2.AJUSTEMENT A LA LOI DE GUMBEL	52
FIGURE III.3.AJUSTEMENT A LA LOI DE GALTON	53

chapitre 04: modélisation et simulation par logiciel HEC RAS

FIGURE IIII.1.FENETRE REPRESENTANT LES BARRES D'OUTILS DU LOGICIEL HEC RAS.....	60
FIGURE IIII.2.DEFINITION D'UNE SECTION DE COURS D'EAU DANS HEC-RAS	61
FIGURE IIII .3. REPRESENTATION DES LIMITES DANS L'EQUATION D'ENERGIE.....	63
FIGURE IIII.4.METHODE DE SUBDIVISION DU DEBIT PAR LE MODELE HEC-RAS	64

Introduction générale

FIGURE III.5.EXEMPLE DE CALCUL DE L'ENERGIE MOYENNE	65
FIGURE III.6.MODEL NUMERIQUE TRAIN DE LA ZONE ETUDE PAR GLOBAL MAPPER.....	70
FIGURE III.7. DELIMITATION DES SOUS BASSINS	70
FIGURE III.8. TRAIN DE SIMULATION MNT DANS RAS MAPPER (HEC RAS)	71
FIGURE III.9. MODELE HYDRAULIQUE DE LA SIMULATION LA FIGURE MONTRE UNE PARTIE AMENAGEE DE L'OUED (VILLE HARRACH)	72
FIGURE III.10. PARTIE AMENAGEE DE L'OUED (VILLE HARRACH)	72
FIGURE III.11. INTRODUCTION DES CONDITION AUX LIMITES AMONT ET AVAL	73
FIGURE III.12.INTRODUCTION DES DEBITS MAX.....	73
FIGURE III.13. RAPPORTS DE LA SIMULATION	74
FIGURE III.14. RESULTAT DE LA SECTION EN TRAVERS 22000.....	75
FIGURE III.15. RESULTAT DE LA SECTION EN TRAVERS 4499.99	75
FIGURE III.16. PARTIE AMENAGEE INONDER DE L'OUED (VILLE HARRACH)	76
FIGURE III.17.PROFILE EN LONG DE L'OUED HARRACH	76
FIGURE III.18.LES ZONES INONDEES	77
FIGURE III.19.MAGTAA LAZRAG	77
FIGURE III.20. HAMMAM EL OUANE	78
FIGURE III.21 .TAHAMOULET	78
FIGURE III. 23. BENTALHA.....	79
FIGURE III.24.BARAKI	79
FIGURE III.25.LES 3 CAVES ELHARRACH	80
FIGURE III.26. PROFILE EN LONG DE L'OUED HARRACH T=100ANS.....	80
FIGURE III.27.RESULTA DE LA SECTION EN TRAVERS 20499	81
FIGURE III.28 .SECTION EN TRAVERS 25999	81
FIGURE III.29. L'ECOULEMENT DE L'EAU DANS LE CANAL	82
FIGURE III.30. RESULTA DE LA SECTION EN TRAVERS POUR 6000M3/S	82
FIGURE III.31. SECTION RECTANGULAIRE POUR DEBIT 8000M3/S.....	83
FIGURE III.32. SECTION RECTANGULAIRE POUR DEBIT 8000M3/S.....	83

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1.PRECIPITATIONS MOYENNES ANNUELLES ENREGISTREES A EL HARRACH POUR UNE PERIODE DE 1995 - 2004 (O.N.M., 2005).	33
TABLEAU 2.PRECIPITATIONS SAISONNIERES (INDICE SAISONNIER) CALCULEES A PARTIR DES DONNEES DE L'O.N.M. 2005 POUR LA PERIODE 1995-2004	34
TABLEAU 3.TEMPERATURES MOYENNES ANNUELLES A EL HARRACH POUR UNE PERIODE ALLANT DE 1995 A 2004 (O.N.M., 2005).	34
TABLEAU 4.REPARTITION DES FORETS PAR COMMUNE DE LA REGION D'ETUDE. (NATIONALE EAU ET ENVIRONNEMENT, 1998)	36
TABLEAU 5.LA SURFACE DES SOUS BASSINS VERSANTS	40
TABLEAU 6.LE PERIMETRE DES SOUS BASSINS VERSANTS.....	41
TABLEAU 7. INDICE DE GRAVELIUS DES SOUS BASSINS VERSANTS.....	42
TABLEAU 8. LA LONGUEUR E EQUIVALENTE	43
TABLEAU 9.LARGEURS DE RECTANGLE EQUIVALENT.....	43
TABLEAU 10. TEMPS DE CONCENTRATION GIANDOTTI.....	44
TABLEAU 11.TEMPS DE CONCENTRATION VENTURA	45
TABLEAU 12.TEMPS DE CONCENTRATION.....	46
TABLEAU 13. LA VITESSE DE RUISSELLEMENT	46
TABLEAU 14. RECAPITULATIF DES CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT ET DU COURS D'EAU.....	47
TABLEAU 15. STATION PLUVIOMETRIQUE SOMAA (SOURCE ANRH)	47
TABLEAU 16. SERIES DES PLUIES MAXIMALES JOURNALIERES (1972-2019) A LA STATION.....	48
TABLEAU 17. CARACTERISTIQUES DE LA SERIE DE DONNEES.....	49
TABLEAU 18. RESULTATS D'AJUSTEMENT A LOI DE GALTON.....	50
TABLEAU 19.RESULTATS D'AJUSTEMENT A LOI GUMBEL	52
TABLEAU 20. (PLUIES DE DUREE T(H) ET PERIODE DE RETOUR ANS).....	54
TABLEAU 21. VALEUR DE F EN FONCTION DE BASSIN VERSANT	56
TABLEAU 22.TEMPS DE CONCENTRATION ET LA PLUIE DE COUTE DUREE POUR LES PERIODES DE RETOUR (10, 100, 1000,10000 ANS)	56
TABLEAU 23. VALEUR DES COEFFICIENTS D'EXPANSION ET DE CONTRACTION UTILISES PAR HEC-RAS	67

Introduction générale

Introduction générale

Les inondations sont un phénomène naturel qui est souvent dû à de fortes précipitations et peut résulter d'une augmentation du volume d'eau dans un cours d'eau, comme une rivière ou un lac, et en conséquence une partie de l'eau dépasse ses limites naturelles.

La formation des crues est pratiquement assez récente, et des tentatives pour comprendre et gérer les mécanismes d'action dans les plaines inondables sont faites depuis au moins six mille ans. Les progrès récents dans la modélisation informatique des inondations ont permis aux ingénieurs de s'éloigner de l'expérimentation et des tests d'une tendance « nœud ou rupture » pour améliorer la conception des structures d'ingénierie. Divers modèles mathématiques de crues ont été développés ces dernières années, des modèles D1 (mesure des niveaux de crue dans un chenal), Les inondations sont par définition une catastrophe naturelle qui peuvent générer des dégâts matériels et humains comme le cas dans notre pays "Algérie " (bab el oued, Ghardaïa, Bechar)

Oued Harrach est situé entre la wilaya de Blida et celle d'Alger. Des inondation historiques ont eu lieu dans la ville d'El Harrach suite au débordement des rives de Oued l'Harrach qui s'étend sur une distance de plus de 40km.

L'objectif de notre travail sera l'identification des zones inondables en Appliquant le Logiciel HEC RAS.

Chapitre 01

Généralités Sur Les Inondations

I. Généralités sur les inondations

I.1 Introduction

La plupart des inondations se produisent lorsque le volume d'eau d'une rivière ou d'un cours d'eau dépasse la capacité du lit ; Selon le cours d'eau, elle peut être : fréquente ou rare ; rapide ou lente ; plus ou moins abondante et régulière, est un phénomène exceptionnel pouvant survenir à tout moment.

De nombreux facteurs influent sur le débit d'une rivière, et donc sur les risques d'inondation. Parmi les plus importants, mentionnons la quantité et le type de précipitations, la nature et l'état du bassin versant, ainsi que le climat.

On estime que les inondations sont la catastrophe naturelle la plus meurtrière de la planète. Au cours du XXe siècle, on considère que 3,2 millions de personnes ont perdu la vie à la suite d'inondations, ce qui représente plus de la moitié des victimes de catastrophes naturelles au cours de la même période.

I.2 Quelques définitions

- L'aléa : L'aléa est un phénomène résultant de facteurs ou de processus qui échappent, au moins en partie, au contrôle humain : inondation, cyclone, glissement de terrain, éruption volcanique, séisme, tsunami.(1)
- Enjeux Ensemble de biens exposés pouvant être affectés par un phénomène naturel.
- Risque majeur : Deux critères caractérisent le risque majeur : une faible fréquence : l'homme et la société peuvent être d'autant plus enclins à l'ignorer que les catastrophes sont peu fréquentes ; une énorme gravité ; nombreuses victimes, dommages importants aux biens et à l'environnement.
- la vulnérabilité : exprime le niveau d'effet prévisible d'un phénomène naturel (un aléa) sur des enjeux (les sociétés humaines et leurs activités)



Figure I.1. Aléa, Enjeux, Risque majeur, vulnérabilité.(2)

I.3 Phénomène inondation

Les inondations sont un phénomène naturel qui se produit lorsque l'eau déborde de son lit normal et envahit les zones environnantes. Les causes des inondations peuvent être multiples, notamment des précipitations intenses Les inondations peuvent causer des dommages importants aux

Chapitre I Généralités Sur Les Inondations

infrastructures, aux habitations et aux cultures, ainsi qu'à l'environnement naturel. Les mesures de prévention et d'atténuation des inondations comprennent la construction de digues et de barrages, l'aménagement du territoire pour éviter les zones à risque et la mise en place d'un système d'alerte précoce pour permettre une évacuation rapide en cas de besoin

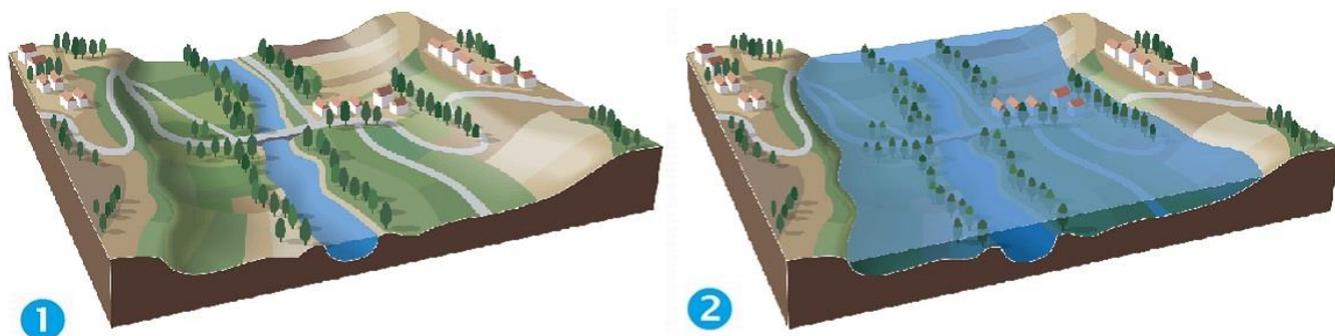


Figure I.2. Phénomène d'inondation. (2)

I.3.1 Les types d'inondation :

- **Inondation lente de plain débordement de cours d'eau :**

L'inondation lente de plaine de débordement de cours d'eau est un phénomène naturel qui se produit lorsque les cours d'eau débordent de leur lit et inondent les plaines environnantes. Ce type d'inondation est généralement causé par des précipitations abondantes, une fonte des neiges rapide ou une combinaison des deux. Les inondations lentes peuvent être dangereuses pour les populations riveraines, car elles peuvent causer des dommages aux infrastructures, aux cultures et aux habitations. Les autorités locales doivent donc être vigilantes et mettre en place des mesures préventives pour minimiser les risques liés à ce type d'inondation(3)



Figure I.3. Inondation lente de plain débordement de cours d'eau.

- **les inondations par ruissellement rural**

Les inondations par ruissellement rural se produisent lorsque les précipitations tombent sur des terres agricoles ou des zones rurales et ne peuvent pas être absorbées par le sol. L'eau s'accumule alors sur la surface du sol et peut causer des inondations dans les zones environnantes, y compris les routes, les maisons et les bâtiments. Ces inondations peuvent être causées par des pluies intenses, une fonte rapide de la neige ou une saturation du sol. Les inondations par ruissellement rural peuvent avoir un impact important sur l'agriculture, l'environnement et la sécurité publique.



Figure I.4. les inondations par ruissellement rural

- **les inondations ruissellement urbain**

Les inondations par ruissellement urbain sont des inondations qui se produisent lorsque l'eau de pluie ne peut pas être absorbée par le sol et s'accumule sur les surfaces imperméables telles que les routes, les trottoirs, les parkings et les toits. Cette eau de ruissellement peut alors causer des inondations dans les zones urbaines, entraînant des dommages matériels et des perturbations pour les habitants. Les causes de ces inondations peuvent inclure une infrastructure de drainage insuffisante ou mal conçue, une urbanisation rapide et une augmentation du volume d'eau de pluie en raison du changement climatique.



Figure I. 5. les inondations ruissellement urbain

- **les inondations par remontée de nappe:**

Les inondations par remontée de nappe sont des phénomènes hydrologiques qui se produisent lorsque la nappe phréatique, qui est la couche d'eau souterraine située sous la surface du sol, atteint ou dépasse le niveau du sol. Cela peut se produire en raison de fortes précipitations, d'une augmentation de l'irrigation ou d'une diminution de l'évapotranspiration. Les zones les plus vulnérables aux inondations par remontée de nappe sont les zones basses et plates où la nappe phréatique est proche de la surface du sol. Ces inondations peuvent causer des dommages importants aux bâtiments, aux infrastructures et aux cultures



Figure I. 6. les inondations par remontée de nappe. (5)

I.3.2. La formation rapide de crues torrentielles

Lorsque des précipitations intenses, telles des averses violentes, tombent sur tout un bassin versant, ou sur une portion de bassin versant, les eaux ruissellent et se concentrent rapidement dans le cours d'eau, engendrant des crues torrentielles brutales et violentes. Le cours d'eau transporte de grandes quantités de sédiments, ce qui se traduit par une forte érosion et un dépôt de matière transportée. Ces dernières peuvent former des barrages, appelés embâcles, qui, s'ils viennent à céder, libèrent une énergie pouvant aggraver les dégâts.

Ces types d'inondations sont rares en Essonne, elles peuvent toutefois se produire dans le cas d'orage violent localisés sur des bassins versants d'alimentation de petits ruisseaux implantés sur des coteaux présentant de fortes pentes. (4)



Figure I. 7. Embâcle sur un torrent (4)

I.3.3 Le ruissellement pluvial

L'imperméabilisation du sol par les aménagements (bâtiments, voiries, parkings, etc.) et par les pratiques culturales limite l'infiltration des précipitations et accentue le ruissellement. Ceci occasionne souvent la saturation et le refoulement du réseau d'assainissement des eaux pluviales. Il en résulte des écoulements plus ou moins importants et souvent rapides dans les rues.

Les territoires fortement urbanisés du Nord du département de l'Essonne sont particulièrement sensibles à ce dernier type d'inondations.

I.4 le débit de la rivière

I.4.1. La crue :

La crue correspond à l'augmentation de la quantité d'eau qui s'écoule dans la rivière (débit) et peut concerner l'ensemble du lit majeur de la rivière. L'importance de l'inondation dépend de trois paramètres : la hauteur d'eau, la vitesse du courant et la durée de la crue.

Ces paramètres sont conditionnés par les précipitations, l'état du bassin versant et les caractéristiques du cours d'eau (profondeur, largeur de la vallée, etc.). Ces caractéristiques naturelles peuvent être aggravées par la présence d'activités humaines.

I.4.2. L'étiage :

C'est le niveau le plus bas atteint par un cours d'eau ou une rivière pendant une période de sécheresse ou de faible débit. C'est donc le niveau minimum d'eau dans un cours d'eau, qui peut varier en fonction des saisons et des conditions climatiques. L'étiage peut avoir des conséquences sur l'environnement, notamment sur la qualité de l'eau et la survie des espèces aquatiques.



Figure I. 8. L'étiage

I.5 Le lit de la rivière

I.5.1 Le lit de la rivière :

Si la zone de fond de la rivière où l'eau s'écoule. C'est l'endroit où les sédiments sont déposés et transportés par le courant de la rivière. Le lit de la rivière peut varier en fonction des conditions météorologiques, des changements dans le débit d'eau et des activités humaines telles que l'extraction de sable et de gravier. Il est important pour l'écosystème fluvial car il fournit un habitat pour les plantes et les animaux aquatiques.

I.5.2 Lits du cours d'eau:

- **Le lit mineur** : Le lit mineur est constitué par le lit ordinaire du cours d'eau, pour le débit d'étiage ou pour les crues fréquentes (crues annuelles).
- **Le lit majeur** : Le lit majeur comprend les zones basses situées de part et d'autre du lit mineur, sur une distance qui va de quelques mètres à plusieurs kilomètres. Sa limite est celle des crues exceptionnelles.
- **Le lit moyen** : Sous certains climats, notamment méditerranéens, il peut être identifiée un lit moyen Pour les crues de période de retour de 1 à 10 ans, l'inondation submerge les terres bordant la rivière et s'étend dans le lit moyen. Il correspond à l'espace fluvial ordinairement occupé par la ripisylve, sur lequel s'écoulent les crues moyennes.



Figure I. 9. lits de cours d'eau

I.6 Le processus de formation des crues

Comprendre ce processus revient à analyser les différents facteurs concourant à la formation et à l'augmentation temporaire des débits d'un cours d'eau. En simplifiant, on distingue:

- **l'eau mobilisable** : constituée de l'eau reçue par le bassin versant.
- **le ruissellement** : qui correspond à la part de l'eau qui n'a pu s'infiltrer dans le sol. Il dépend de la nature du sol, de son occupation de surface et de l'intensité de l'épisode pluvieux.
- **le temps de concentration** : qui est défini par la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau partant du point
- **la propagation de l'onde de crue** : qui est fonction de la structure du lit et de la vallée alluviale, notamment de la pente et des caractéristiques du champ d'inondation.

I.7 L'influence des facteurs naturels

De nombreux paramètres influencent l'apparition d'une crue. Tout d'abord la quantité et surtout la répartition spatiale et temporelle des pluies, par rapport au bassin versant, sont déterminantes. Il peut s'agir de pluies répétées et prolongées de régime océanique (celles affectant par exemple les grands bassins de la Loire ou de la Seine) ou d'averses intenses de courte durée, qui touchent de petits bassins versants.

La nature et l'occupation du sol dictent l'évaporation et la consommation d'eau par les plantes. L'absorption d'eau par le sol, l'infiltration dans le sous-sol ou le ruissellement influencent fortement le temps de concentration des eaux. Enfin, la topographie du lit, la pente et la forme du bassin versant jouent également. Ainsi, pour une même quantité de pluie, une crue apparaîtra ou non.

À ces paramètres s'ajoutent des facteurs naturels aggravants, comme la fonte des neiges ou la formation et la rupture d'embâcles. Les matériaux flottants transportés par le courant peuvent en effet s'accumuler en amont des passages étroits. La rupture éventuelle de ces embâcles provoque une onde puissante et destructrice en aval. Concernant la fonte des neiges, il est rare en France que des crues importantes soient provoquées uniquement par ce phénomène, même s'il demeure un facteur aggravant.

- A. **Le débit (Q)** d'un cours d'eau en un point donné est le volume d'eau passant en ce point pendant une unité de temps; il s'exprime en m^3/s ou en l/s .
- B. **Le bassin versant** d'une rivière est son aire géographique d'alimentation en eau.
- C. **L'exutoire** est le point le plus en aval du réseau hydrographique, par lequel passent toutes les eaux de ruissellement drainées par le bassin versant.



Figure I. 10. Le bassin versant.

I.8 L'aléainondation

Quatre paramètres principaux sont nécessaires pour qualifier l'aléainondation.

I.8.1 La période de retour de crues

On associe souvent à la notion de crue la notion de période de retour (crue décennale, centennale, millénaire, etc.) : plus cette période est grande, plus les débits et l'intensité sont importants. On distingue par ordre croissant :

- **les crues fréquentes**: dont la période de retour est comprise entre un et deux ans.
- **les crues moyennes**: dont la période de retour est comprise entre dix et vingt ans.
- **les crues exceptionnelles** : dont la période de retour est de l'ordre de cent ans.
- **la crue maximale vraisemblable** : qui occupe l'intégralité du lit majeur.

Les événements les plus souvent représentés sur la carte d'aléa sont la crue décennale (Q10) et la crue centennale (Q100). L'aléa de référence servant de base à l'élaboration des documents réglementaires correspond à l'événement centennal ou au plus fort événement connu, s'il présente une fréquence supérieure à cent ans.

I.8.2 La hauteur et la durée de submersion

La hauteur de submersion peut avoir un impact important sur le bâti, notamment lorsqu'elle dépasse la cote de référence. La structure porteuse de l'habitation peut être endommagée et les sols et murs gorgés d'eau. Lorsque la durée de submersion est importante (supérieure à 24 h voire 48 h), des problèmes sanitaires peuvent survenir, l'eau étant souvent sale, contaminée par les égouts ou parfois le mazout échappé des cuves. Pour l'homme, on considère généralement que des hauteurs d'eau supérieures à 50 cm sont dangereuses. À titre d'exemple, une voiture commence à flotter à partir de 30 cm d'eau.

I.8.3 La vitesse du courant

La vitesse d'écoulement est conditionnée par la pente du lit et sa rugosité. Elle peut atteindre plusieurs mètres par seconde. La dangerosité de l'écoulement dépend du couple hauteur / vitesse. À titre d'exemple, à partir de 0,50 m / s, la vitesse du courant devient dangereuse pour l'homme, avec un risque d'être emporté par le cours d'eau ou d'être blessé par des objets charriés à vive allure

I.8.4 Le volume de matière transportée

Ce volume est communément appelé « transport solide ». Il s'agit de matériaux (argiles, limons, sables, graviers, galets, blocs, etc.) se trouvant dans les cours d'eau, et dont le transport peut s'effectuer soit par suspension dans l'eau, soit par déplacement sur le fond du lit, du fait des forces liées au courant.

➤ Le terme de transport solide

Ne comprend pas le transport des flottants (bois morts...). Chacun des trois derniers paramètres a plus ou moins d'importance selon les caractéristiques morpho dynamiques de la rivière. Par exemple, l'aléa inondation d'une rivière, dont la pente en long est faible (inférieure à 0,1 %) sera surtout caractérisé par la hauteur et la durée de submersion. L'aléa inondation d'une rivière torrentielle sera essentiellement caractérisé par une vitesse du courant élevé et un fort transport solide

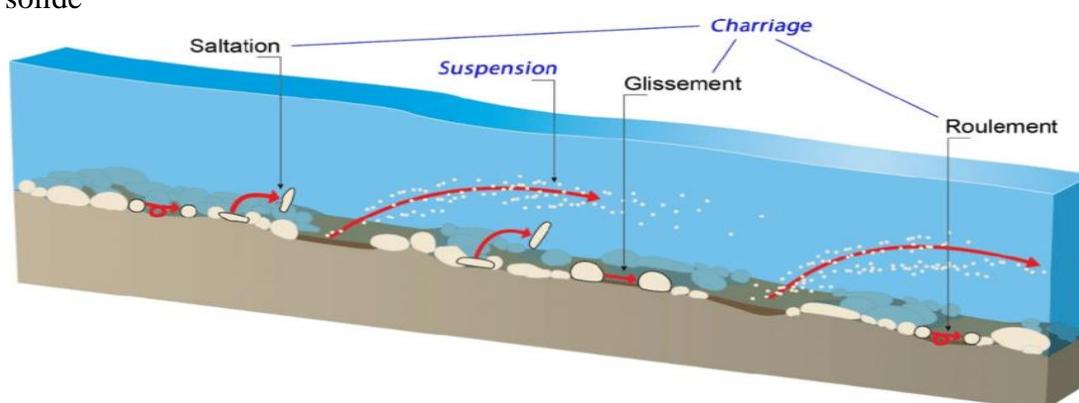


Figure I. 11. Le transport solide.

I.8.5 Quelques précisions

A. **Lapériode deretour** est l'inverse de la probabilité d'occurrence du phénomène.

Un phénomène ayant une période de retour de cent ans (phénomène centennal) a une chance sur cent de se reproduire ou d'être dépassé chaque année. Cela est vérifié à condition de considérer une très longue période. Mais elle peut aussi, sur de courtes périodes (quelques années, parfois une seule), se répéter plusieurs fois. Autrement dit, en vingt ans, un individu a une chance sur cinq de vivre la crue centennale.

B. **Morpho dynamique** : ensemble des paramètres morphologiques (tracé du cours d'eau, pente en long, etc.) et dynamiques (vitesse de montée des eaux, érosion, alluvionnement, etc.) d'une rivière.

C. **Pente en long** : pente longitudinale d'un cours d'eau.

I.9 Le risque inondation

I.9.1 L'influence des facteurs anthropiques

Les facteurs anthropiques constituent des facteurs aggravants et ont un rôle fondamental dans la formation et l'augmentation des débits des cours d'eau.

Chapitre I Généralités Sur Les Inondations

- **L'urbanisation et l'implantation d'activités dans les zones inondables**

Elles constituent la première cause d'aggravation du phénomène. En parallèle, l'augmentation du niveau de vie et le développement des réseaux d'infrastructures ont accru dans des proportions notables la valeur globale des biens et la fragilité des activités exposées (vulnérabilité).

- **La diminution des champs d'expansion des crues**

Consécutives à l'urbanisation et parfois aggravées par l'édification de digues ou de remblais, elles ont pour conséquence une réduction de l'effet naturel d'écrêtement des crues, bénéfique aux secteurs habités en aval des cours d'eau.

- **L'aménagement parfois hasardeux des cours d'eau :**

Beaucoup de rivières ont été modifiées localement sans se soucier des conséquences en amont ou en aval. Ces aménagements (suppression de méandres, endiguement, etc.) peuvent avoir pour conséquences préjudiciables l'accélération de crues en aval et l'altération du milieu naturel.

- **L'utilisation ou l'occupation des sols sur les pentes des bassins versants :**

Toute modification de l'occupation du sol (déboisement, suppression des haies, pratiques agricoles, imperméabilisation) empêchant le laminage des crues et la pénétration des eaux, favorise une augmentation du ruissellement, un écoulement plus rapide et une concentration des eaux.

I.9.2 Les atteintes aux hommes, aux biens et aux activités :

La vulnérabilité de la population est provoquée en particulier par sa localisation en zone inondable. Sa mise en danger survient surtout lorsque les délais d'alerte et d'évacuation sont trop courts ou inexistantes, lors de crues rapides ou torrentielles. Ces dernières crues sont rares dans notre département.

Le danger se traduit par le risque d'être emporté ou noyé. Lors des inondations du Sud-est des dix dernières années, plus de milliers de victimes étaient des automobilistes surpris par la crue.

L'interruption des communications peut gêner, voire empêcher l'intervention des secours. Par ailleurs, on estime que les dommages indirects (perte d'activité, chômage technique, etc.) sont souvent plus importants que les dommages directs occasionnés aux biens mobiliers et immobiliers.

I.9.3 Les atteintes à l'environnement

Les dégâts au milieu naturel sont dus à l'érosion, aux déplacements du lit ordinaire, aux dépôts de matériaux, etc. Les phénomènes d'érosion, de charriage, de suspension de matériaux et

Chapitre I Généralités Sur Les Inondations

d'alluvionnement participent à l'évolution du milieu naturel dans ses aspects positifs commémoratifs.

Pour les zones industrielles situées en zone inondable, un risque de pollution et d'accident technologique est à prendre en compte.

I.9.4 Quelques précisions

- A. **L'imperméabilisation** du bassin versant occasionne une réduction du temps de concentration et une augmentation du débit de pointe.
- B. **Le débit de pointe** se définit comme le débit maximal instantané, faisant référence à une période de retour donnée.
- C. **Le laminage** est le retardement et la diminution du volume des eaux à l'aval, grâce à un stockage temporaire naturel (zone d'expansion des crues) ou artificiel (barrage de rétention). Lorsque cela n'est pas possible, la végétalisation d'une partie des terrains (bandes enherbées par exemple) permet de freiner le ruissellement et de retenir une partie des matériaux emportés.

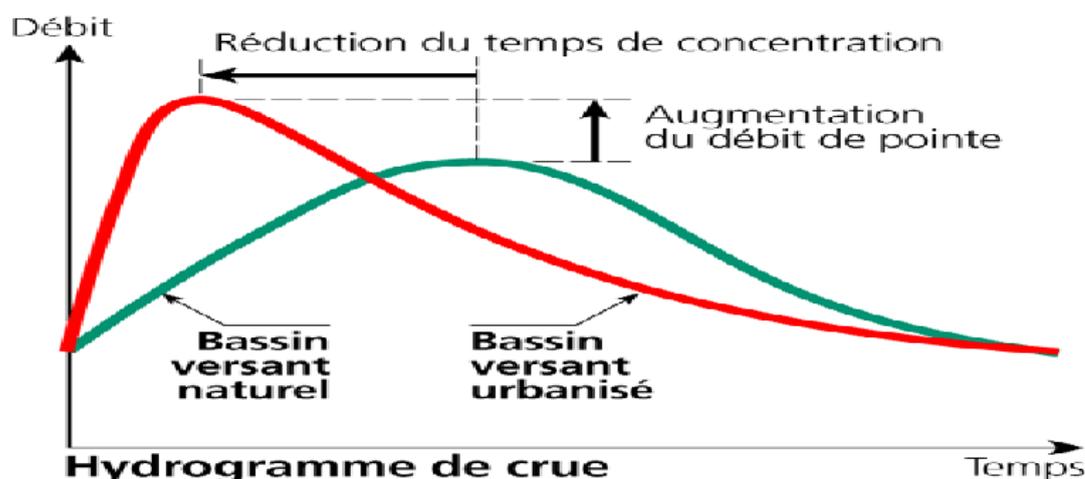


Figure I. 12. hydro gramme de crue

I.10 Inondation en Algérie

L'Algérie est l'un des pays les plus confrontés aux phénomènes de crues et des inondations qui se manifestent de façon catastrophiques telles que les inondations de Mars 1973 sur l'Est Algérien, de Janvier 1992 sur le centre Algérien, de Janvier 1999 sur l'Ouest du Sahara Algérienne, d'Octobre 2000 à Sidi Bel Abbes et de novembre 2001 sur la cote Algéroise (Inondation de Bab El Oued).

Ces événements sont imprévisibles dans le temps et dans l'espace et ils constituent une contrainte majeure pour le développement économique et social. (Oufella, 2003).

Les précipitations se caractérisent en Algérie par une très forte irrégularité tant interannuelle que saisonnière entraînent ainsi des étiages extrêmement sévères des cours d'eau et des fortes crues et des inondations engendrant des dégâts humains et matériels considérables. La genèse des crues et

Chapitre I Généralités Sur Les Inondations

leurs impacts sur l'environnement se varient d'une région à une autre en fonction des conditions géographiques, climatiques et d'occupation des sols qui les caractérisent. (Merabet, 2006).

I.10.1 CATASTROPHE DE BAB EL OUED

En secteur urbain, des orages intenses peuvent occasionner un très fort ruissellement en dehors des lits des cours d'eau proprement dit, lorsque l'imperméabilisation des sols et la conception de l'urbanisation et des réseaux d'assainissement font obstacle à l'écoulement normal des pluies intenses. Ce fut le cas des inondations de Bâb El Oued du 10 novembre 2001, Des pluies exceptionnelles et intenses, sur une étendue de 40 km², de l'ordre de 214 mm pendant 24h, ont causé 750 morts et 120 personnes disparues et plus de 10000 familles sinistrées. L'Algérie a connu la plus terrible inondation de son histoire du 10 au 14 novembre 2001. Frappant principalement Alger, cet événement météorologique extrême a fait 751 victimes dont plus de 700 à Alger, et a occasionné des dégâts estimés à 300 millions USD. Le nombre de personnes déplacées a été de 24 000 et plus de 2 700 habitations ont été sévèrement endommagées. Entre 40 000 et 50 000 personnes ont perdu leurs habitations et près de 109 routes ont été endommagées. [5]

I.10.2 Inondation de sud Algérie

Des inondations plus isolées ou de grandes envergures ont également marqué le Sud du pays; c'est ce qui s'est produit dans les régions d'Illizi, Adrar et Tamanrasset en Mars 2005, à Tindouf en Février 2006, à Béchar en Octobre 2007 et 2008 et à Ghardaïa en Octobre 2008. Des averses torrentielles et brèves engendrent une concentration des eaux ruisselées dans les lits d'oueds et torrents, le plus souvent à sec, et peuvent provoquer des débordements particulièrement destructeurs. A titre d'exemple, il a suffi d'une pluie quotidienne de 79 mm (soit la quantité enregistrée en deux ans) pour détruire 50 à 60% des infrastructures aux camps des réfugiés sahraouis à Tindouf entre le 9 et 11 février 2006. D'après l'évaluation de l'agence du Haut-commissariat des Nations Unies pour les réfugiés (HCR) à Tindouf, au moins 70% des stocks de la nourriture des familles ont été ruinés. Le Croissant Rouge Sahraoui (CRS) a lancé un appel à la communauté internationale pour des dons en tentes, médicaments, nourriture et couvertures.



Figure I. 13. inondation de Ghardaïa 1 (Wikipédia)

Suite à de très fortes intempéries qui ont duré plus de 3 jours (oueds Manar, Zouzfana et Bechar en crues), la wilaya de Béchar a subi le 18 Octobre 2007 des dommages considérables. En plus des

Chapitre I Généralités Sur Les Inondations

deux victimes emportées par les eaux, les infrastructures de base ont été fortement endommagées (lignes téléphoniques coupées, circulation automobile arrêtée, routes bloquées suite à l'effondrement de plusieurs dalots et ponts, infiltrations des eaux dans plusieurs habitations). En moins d'une année, la ville de Bechar a été frappée, encore une fois, par l'inondation du 10 Octobre 2008 causant la mort de 8 personnes et des dommages importants. Cette dernière a été la plus grande depuis 1959.



Figure I. 14. inondation de Béchar (Wikipédia)

I.10.3 Histoire Inondation de région Oued El Harrach

Avec des inondations dont on prévoit qu'elles seront plus fréquentes à l'avenir, la vallée de l'Oued El Harrach, en banlieue d'Alger, sera particulièrement exposée. Sans compter que l'urbanisation qui s'y est développée selon des modes inappropriés contribue pour beaucoup à accentuer la vulnérabilité de cette zone. Des plans d'aménagement urbain plus pertinents s'imposent donc, où l'eau excédentaire deviendrait une opportunité plutôt qu'une menace.

Selon les modèles de projection climatique, à horizon 2020, l'Algérie connaîtra une réduction des précipitations de l'ordre de 5 à 13 %, alors que la température augmentera de quelque 0,6 à 1,1 °C. Cependant, sur une période de 60 ans (1931-1990), l'analyse des données pluviométriques par la station d'Alger laisse présager une augmentation relative des précipitations au printemps (+ 16 mm), malgré une baisse générale de la pluviométrie de l'ordre de 10 %, et en été (+ 9 mm). Le scénario climatique moyen à horizon 2020 confirme ces résultats qui supposent un report de la saison des pluies au printemps-été au lieu de l'automne-printemps. De même, les inondations seraient plus fréquentes, surtout durant le printemps et l'automne. Ainsi, à l'avenir, l'événement naturel, probablement plus fréquent et plus fort, aura-t-il un impact plus grave pouvant causer des catastrophes, notamment dans la plaine orientale d'Alger et la vallée de l'Oued El Harrach, où les caractéristiques physiques, climatiques et socio-économiques déterminent un niveau de risque élevé.

L'historique des inondations prêche à croire que des événements meurtriers se seraient succédé à partir de 1846 liés aux crues de l'Oued El Harrach ou de l'un de ses confluent, Oued Djemaa et Oued Smar notamment. Les fortes pluies des régions montagneuses augmentent sensiblement le débit de l'oued dont le cours supérieur subit une forte érosion. Des volumes considérables de sédiments, graviers et objets solides divers sont alors charriés vers l'aval. Au début de l'hiver 2005, un phénomène similaire a provoqué l'effondrement du pont de Sidi Moussa qui relie Alger à Blida. L'étude d'inondabilité de l'Oued El Harrach aurait recensé parmi les facteurs aggravants la

Chapitre I Généralités Sur Les Inondations

topographie quasiment plate du terrain et sa faible perméabilité due à la présence d'une nappe peu profonde (nappe de la Mitidja) provoquant la saturation rapide du sol. Tout cela permet de confirmer l'exposition de la vallée d'El Harrach aux risques cumulés d'inondation, érosion et pollution, particulièrement les communes situées à l'embouchure de l'oued.[17]



Figure I. 15. Inondation Oued El Harrach

I .11 Stratégies de lutte

Elle est basée sur une évaluation des flux (Atlas des zones inondables) et une double approche : préventive et curative. Préventivement, les collectivités et individus peuvent chercher à restaurer des zones d'expansion de crue suffisantes. Puisqu'il y a inadéquation entre la quantité d'eau à évacuer et les capacités hydrauliques, la gestion des inondations vise aussi à

- Rétablir ou améliorer des capacités d'écoulement (entretien des berges, élimination des embâcles, curage...)
- Limiter l'imperméabilisation des sols en milieu urbain (infiltration des eaux de toitures et de ruissellement (après dépollution le cas échéant), création de noues et d'espaces verts susceptibles de servir de zone tampon). En milieu rural, des pratiques culturales plus adaptées et une gestion anticipatoire du ruissellement visant à stocker l'eau dès le haut du bassin versant, et en la freinant et l'infiltrant mieux via un réseau de talus, haies, noues, prairies et prés inondables et fossés permet de ne pas grossir les inondations en aval.

I .12 Conclusion

La crue est une forte augmentation, un accroissement du débit et de la hauteur d'eau en écoulement d'un fleuve, d'une rivière, d'un cours d'eau

Pour remédier à cette situation, l'amélioration de la prévision et de la prévention des inondations reste un outil essentiel. Une meilleure information des populations exposées et la diminution de la vulnérabilité des biens situés dans les zones inondables sont à privilégier. Cependant, si l'État et les communes ont des responsabilités dans ce domaine, chaque citoyen doit aussi contribuer à se protéger efficacement et diminuer sa propre vulnérabilité

Chapitre 02

Présentations de la zone d'étude

II Présentation de la zone étude

II .1 Introduction

Dans cette partie nous allons définir les données nécessaires concernant notre région du point de Vue géographique, topographique, climatique. Géologique,

II. 2. Situation géographique

Il s'agit du bassin de l'oued EL HARRACH, fleuve côtier de l'Algérois situé au sud d'Alger dans la partie centrale de l'Atlas Blidéen (Fig.1). Il chevauche la wilaya d'Alger au nord et celle de Blida au sud.

Oued EL HARRACH est l'un des plus grands oueds qui parcourent la plaine de la Mitidja, son bassin versant couvre une superficie de 1270 Km² et s'étale du nord au sud sur 51 Km et d'est en ouest sur 31 Km. Il englobe dans le sens sud –nord trois grands domaines physiques Différents : l'Atlas Blidéen, la plaine de la Mitidja et le Sahel (ANONYME, 1973).

Ce bassin est largement exposé aux perturbations nord – nord-ouest en provenance de la Méditerranée pour lesquelles il constitue le premier véritable obstacle vers l'intérieur

(CALVET et DOSSEUR, 1974).).

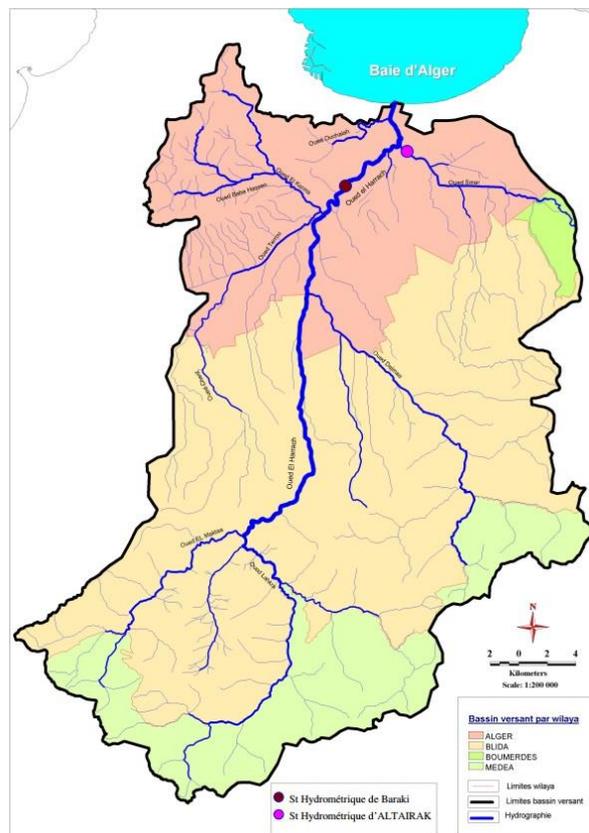


Figure II.1. carte De Oued El Harrach

II.3 Cadre géologique

Sur les pentes de l'Atlas, le trias s'offre en affleurements disséminés de marnes argileuses, bariolées, auxquelles s'associent des amas de gypse impur mêlé de traces de sel, quelques épaissements de calcaires liasiques viennent percer la couverture crétacée. Le crétacé moyen est caractérisé par des marnes schisteuses avec de rares bancs de grès. Le crétacé supérieur est largement représenté par des marnes schistoïdes où se déposent des lentilles calcaires. L'éocène supérieur offre une alternance de marnes sableuses et de bancs gréseux d'épaisseur assez réduite.

Le miocène inférieur consiste en une superposition de conglomérats, de grès plus ou moins grossiers et de marnes argileuses grisâtres.

Le pliocène continental est formé par des dépôts alluvionnaires et lacustres : graviers, siliceux avec limons rougeâtres, produits de décalcification de la molasse.

Le pliocène développe des marnes jaunes à échinides et des grès passant au faciès de la molasse. Le quaternaire constitue une portion importante du bassin de l'oued EL HARRACH ; il est constitué par des dépôts de cailloux, de sable et de limons en stratifications entrecroisées.

Les abords immédiats des oueds sont formés par des limons assez fins.

Le versant de l'Atlas, aux pentes escarpées, constitué surtout par des terrains marneux et marno-schisteux, favorise le ruissellement. La plaine de la Mitidja vient réguler le cours d'El Harrach par la rupture de pente qu'elle entraîne et les infiltrations qui se produisent dans les alluvions caillouteuses (**DIRECTION DU SERVICE DE COLONISATION ET DE L'HYDROLOGIE, 1955**)

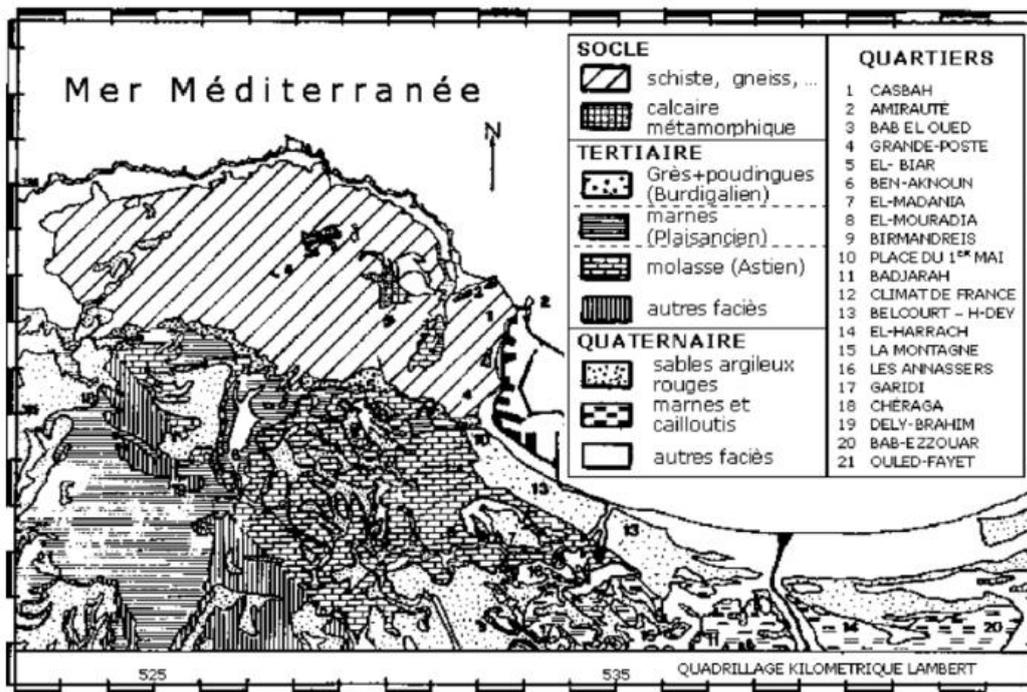


Figure II.2. Carte géologique de la région d'Alger (d'après Aymé, 1964)

Chapitre II Présentations de la zone d'étude

II.4. Climatologie

Le climat de la zone d'étude est de type méditerranéen, ce dernier est caractérisé par la sécheresse de la saison estivale, des hivers relativement humides et doux. Nous avons cherché à qualifier les conditions générales régnant dans le bassin de l'oued EL HARRACH. Ce dernier est soumis à une influence marine au nord, et par une tendance continentale subdésertique provenant de la proximité du sahel. Le bassin d'EL HARRACH, est la région de contact de ces diverses influences. La climatologie de la zone d'étude est caractérisée par les paramètres météorologiques suivants : précipitations, températures, humidité relative, vent et évapotranspiration

II.4.1 Précipitations

Les régimes pluviométriques se trouvent sous l'influence de deux groupes de facteurs :

1-Les facteurs géographiques : altitude, latitude, distance à la mer, orientation des versants.

2-Les facteurs météorologiques : masses d'air (HALIMI, 1980).

De part sa position géographique, l'Atlas Blidéen joue un rôle de barrière naturelle aux vents humides qui assurent une forte pluviosité permettant l'alimentation de l'oued ELHARRACH et ses affluents.

➤ Précipitation annuelles

Dans la région d'étude, la moyenne calculée des précipitations est de 665,9 mm ce qui la range dans la fourchette des précipitations (600 à 700 mm) indiquées sur la carte pluviométrique de l'Algérie du nord (Fig. 3). A la lecture des valeurs reportées sur le tableau ci-dessus (Tab. I), il ressort une irrégularité des totaux annuels, ces derniers varient de 1493mm en 1999, considérée comme année pluvieuse, à 280 mm en 2000, cette irrégularité des pluies est l'une des caractéristiques du climat méditerranéen.

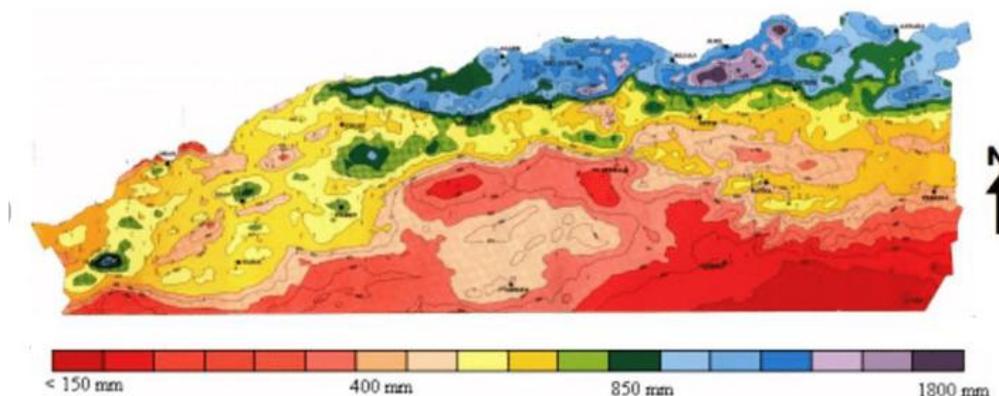


Figure II.3. Carte pluviométrique pour l'Algérie du Nord (ANRH, 1993)

Dans le cadre de cette étude, les stations météorologiques les plus proches sont celles de Dar el Beida (O.N.M.) et celle dite « fer à cheval ». Vu le manque de données de la station « fer à cheval », on s'est limité à celles fournies par la station météorologique de Dar El Beida, Cette dernière est située à 24 m d'altitude. Les données pluviométriques sont rapportées dans le tableau ci-dessous :

Chapitre II Présentations de la zone d'étude

Tableau 1. Précipitations moyennes annuelles enregistrées à El Harrach pour une période de 1995 - 2004 (O.N.M., 2005).

Précipitations	J	F	M	A	M	J	Jet	A	S	O	N	D	Total
1995	171	40	107	29	1	24	1	49	18	19	58	39	556
1996	94	232	57	161	36	32	7	4	38	86	27	34	808
1997	38	24	9	95	22	10	9	33	37	45	130	93	545
1998	29	52	37	76	151	1	0	8	22	49	103	82	610
1999	133	86	47	1	2	0	4	19	22	170	202	807	1493
2000	16	6	19	17	53	1	1	1	4	47	74	41	280
2001	126	73	0	34	14	1	0	3	45	39	49	57	441
2002	39	15	34	39	14	0	0	34	12	54	145	102	488
2003	200	133	22	87	20	0	0	28	40	38	58	110	736
2004	90	46	79	56	149	1	2	1	12	44	116	109	705
Moyenne	93.6	71	41.1	59.5	46.2	7	2.4	18	25	59	96.2	147	666

➤ Précipitations mensuelles

La répartition des précipitations moyennes mensuelles (Fig.4) indique deux saisons bien distinctes, la saison pluvieuse qui s'étale du mois d'octobre au mois de février avec le mois de décembre où la pluviosité atteint un maximum de 147,7 mm, alors que la saison sèche s'étale sur le reste de l'année avec le mois de juillet qui est le plus sec (2,4 mm)

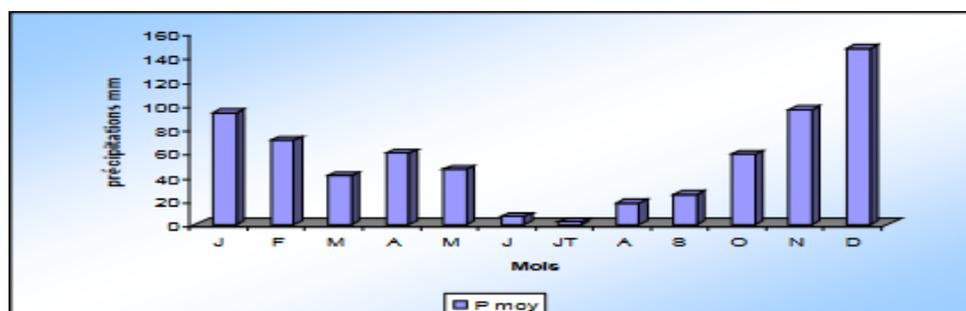


Figure II.4. Précipitations moyennes mensuelles enregistrées à EL HARRACH pour la période allant de 1995 à 2004 (O.N.M., 2005).

➤ Précipitations saisonnières

La connaissance de la répartition pluviométrique saisonnière constitue un élément important dans l'analyse du climat d'une région. La réduction des douze valeurs mensuelles à quatre valeurs saisonnières et l'arrangement des initiales des quatre saisons, par ordre décroissant des totaux saisonniers moyens correspondant, donne le régime saisonnier (PEGUY, 1970). Le régime saisonnier calculé pour la région d'étude est de type HAPE (Tab. II) dont les précipitations sont concentrées du printemps (avril) à l'automne (novembre), mais surtout l'hiver avec 46,78 % de la pluviométrie globale annuelle. L'été est la saison la plus sèche, caractérisée par un minimum de pluviométrie soit 4,11% du total pluviométrique annuel.

Chapitre II Présentations de la zone d'étude

Tableau 2. Précipitations saisonnières (indice saisonnier) calculées à partir des données de l'O.N.M. 2005 pour la période 1995-2004

Station	Total saisonnier				Indice Saisonnier
	Automne	Hiver	Printemps	Eté	
Oued el Harrach	180.3	311.7	146.8	27.4	Hape
% de la pluviométrie	27.06	46.78	22.03	4.11	

II. 4.2 Température

La température représente un facteur limitant de toute première importance car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants (RAMADE, 1987). Nous n'analyserons dans ce chapitre que les données thermiques de l'air. Quant au régime thermique de l'eau, il fera l'objet d'une analyse détaillée au chapitre II de la deuxième partie.

➤ Températures annuelles

La moyenne annuelle des températures est variable d'une année à l'autre (Tab. III). Elle est de 18,45 °C en 2003 et de 17,4 °C en 1996, la température moyenne pour les 10 années étudiées (1995-2004) est de 17,89 °C. Les températures moyennes varient en fonction de l'altitude et de l'exposition.

Tableau 3. Températures moyennes annuelles à EL HARRACH pour une période allant de 1995 à 2004 (O.N.M., 2005).

Année	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Moyenne
T min	11.98	11.97	12.56	11.51	12.8	11.8	11.6	11.45	12.6	11.9	12.01
T max	24.21	23.1	24.04	23.82	24	24.38	25	24.5	24.3	24.11	24.14
T moy	18.1	17.54	18.3	17.67	18.4	18.09	18.3	17.98	18.4	18.01	18.08

➤ Températures mensuelles:

Les températures les plus élevées sont enregistrées aux mois de juillet et août (Fig.5) avec respectivement (31.44°C et 32.7 °C). Les mois de décembre (7.29°C), janvier (6.06°C) et février (5.39°C) sont les plus frais. L'amplitude thermique est de 15.13 °C.

Chapitre II Présentations de la zone d'étude

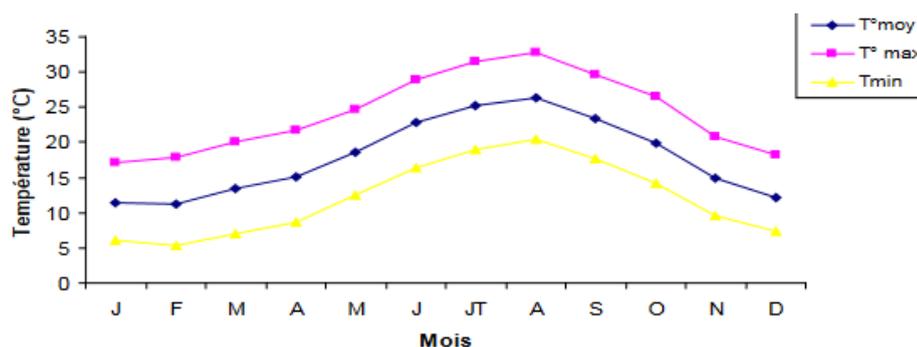


Figure II. 5. Températures moyennes mensuelles enregistrées à EL HARRACH pour une période allant de 1995 à 2004 (O.N.M., 2005).

Une des caractéristiques thermiques de la région d'étude est l'écart élevé entre les moyennes des minima (m) du mois le plus froid (février avec 5,39°C) et des maxima (M) du mois le plus chaud (août avec 32,7 °C)

II.4.4 Evapotranspiration (ETP)

La figure 7 montre que la période de forte évaporation s'étale du mois de mai au mois d'août. Au cours de ce dernier mois nous avons enregistré la valeur la plus élevée 141.4 mm. La valeur la plus faible est enregistrée au mois de février avec 52.2 mm.

II.4.5 Vitesse du vent

Les vents sont fréquents, ils sont de direction nord - ouest. Les vents les plus forts surviennent aux mois d'avril, juin et juillet avec respectivement 24.58, 25.01, et 23.84 m/s et les plus faibles au mois d'octobre avec 17.14 m/s

II. 5. Hydrologie

Oued EL HARRACH draine la région centrale de l'Atlas Mitidjien. Il est par le nombre de ses affluents, par son débit, par l'étendue de son bassin hydrographique le second oued de la Mitidja (ARAB et ZEBDI, 1983). Le réseau hydrologique est dense (Fig.6) et constitué de deux sous bassins de superficies inégales. Le premier est formé de deux sous ensembles drainant des bassins différents (environ 1/3 pour l'affluent sud-ouest (oued El Magtaa ou oued El Aach) et 2/3 de la superficie totale pour l'affluent sud-est (la confluence entre Boumaane et oued Lakhra). L'affluent sud-ouest draine la zone la plus perméable constituée en partie par les schistes de la Chiffa qui ne représentent qu'environ 10% de bassin total mais qui jouent un rôle non négligeable dans le soutien des étiages. Le reste du sous bassin est surtout constitué par du flysch indifférencié (crétacé marneux) imperméable avec une altération assez poussée et montrant en surface des décollements, des griffes et des glissements en nappes (CALVET et DOSSEUR, 1974). En plus de ces trois affluents (oued Lakhra, oued Boumaane et oued EL Mektaa) auxquels s'ajoutent d'autres petits ruisseaux de montagne tels que oued EL Baddour et oued Timamine qui constituent en s'assemblant oued EL HARRACH. Ce dernier est rejoint dans son cours inférieur par oued Djemaa, oued Smar, oued Terro et oued EL Karma qui constituent le deuxième sous bassin. Ces oueds drainent des eaux chargées de déchets provenant des unités industrielles, des rejets urbains et agricoles.

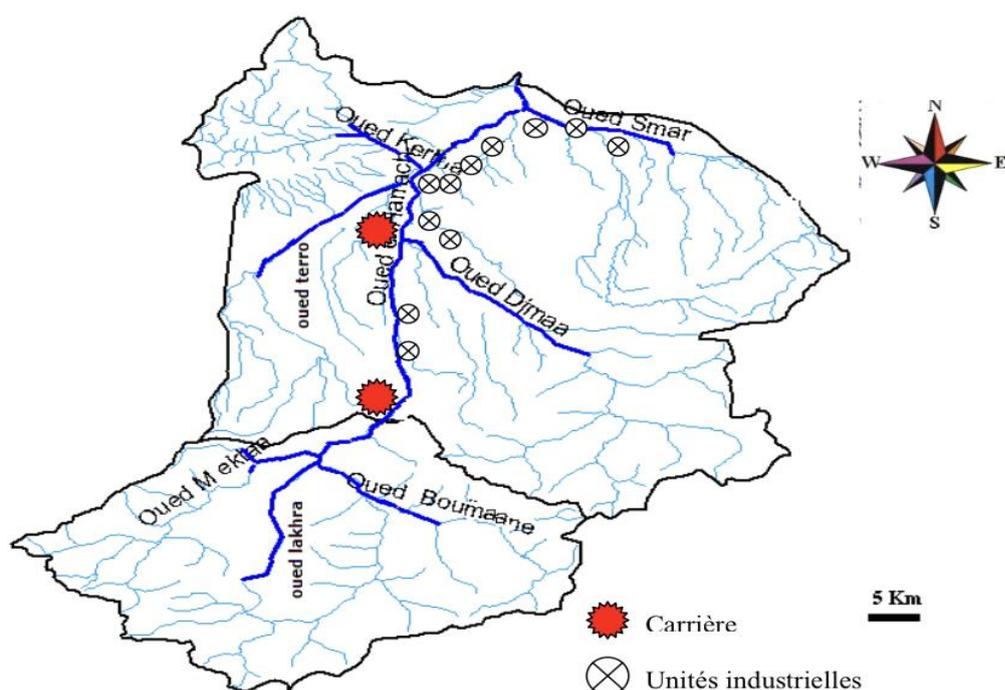


Figure II. 6. Le réseau hydrologique de Oued El Harrach

II.6. Végétation

Les forêts : En raison de l'exploitation intensive, la végétation naturelle de la plaine à presque complètement disparue. Il n'en reste que quelques vestiges sous forme de petites forêts et de petits bois isolés. Le couvert forestier ne représente que 0,81 % du total de la wilaya de Blida. Au niveau d'Oued EL HARRACH à l'amont de Hammam Melouane la végétation est très dense. Le tableau (V) résume la répartition des forêts dans la région d'étude.

**Tableau 4. répartition des forêts par commune de la région d'étude.
(NATIONALE EAU ET ENVIRONNEMENT, 1998)**

Communes	Sup forestier total (ha)	Espèces excisant	% en espèce
Birtouta	159	1 eucalyptus	100
Hammam Melouane	10.503	1 chêne liège 2 chêne vert 3 eucalyptus 4 pins d'alpe 5 pistachiers	02 15 03 31 49
Chebli	123	1 eucalyptus 2 pistachiers	27 73
Oueld chebel	32	1 eucalyptus	100
Tessala el merdja	95	1 eucalyptus	100

II 7.Situation topographique

Oued Harrach est une ville située dans la partie nord-est de la wilaya d'Alger, en Algérie. La ville se trouve à une altitude moyenne de 40 mètres au-dessus du niveau de la mer, et est située près de l'embouchure de l'Oued Harrach, qui se jette dans la mer Méditerranée.

La topographie de la région d'Oued Harrach est caractérisée par des collines et des montagnes, qui s'étendent le long de la côte méditerranéenne. Plusieurs sommets montagneux se trouvent à proximité de la ville, dont le plus élevé est le Mont Bouzaréah, qui culmine à une altitude de 634 mètres.

Le relief dans la région d'Oued Harrach est assez accidenté, avec des pentes raides et des vallées profondes. Les montagnes sont principalement constituées de roches sédimentaires et volcaniques, tandis que les plaines sont composées de dépôts alluviaux.

L'Oued Harrach elle-même est un fleuve qui prend sa source dans les montagnes de l'Atlas Tellien, et traverse la plaine côtière avant de se jeter dans la mer Méditerranée à l'est d'Alger. Le fleuve a un débit variable, qui dépend de la saison et des précipitations.

I .8 Conclusion

Ces informations et les facteurs (topographie, géologie, climatologie, hydrologie ex obtenus sont riches et utiles qui nous aident à analyser les résultats et sont utiles dans la prochaine étape de l'étude hydrologique

Chapitre 03

Etude Hydrologique

Chapitre III : Etude HYDROLOGIQUE

III.1.introduction

L'hydrologie peut se définir comme l'étude du cycle de l'eau et l'estimation de ses différents flux. L'hydrologie au sens large regroupe : • la climatologie, pour la partie aérienne du cycle de l'eau (précipitations, retour à l'atmosphère, transferts, etc.)

L'hydrologie de surface qui étudie le ruissellement, les phénomènes d'érosion hydrique, les écoulements fluviaux et les crues traite principalement des problèmes qualitatifs et quantitatifs des écoulements à la surface des continents. Ces problèmes se résument généralement à des prédictions (associant une certaine quantité à une date) ou à une prédétermination (associant une certaine probabilité à la grandeur) de débits ou de volume en un point ou sur une surface

III.2 Le bassin versant

Les problèmes pratiques de l'hydrologie concernent, le plus souvent, une étendue de terrain limitée au bassin d'un cours d'eau en un point déterminé. Les caractéristiques orographiques, géologiques et pédologiques de ce bassin jouent un rôle essentiel dans son comportement hydrologique. Le bassin versant et son exutoire constituent, donc un ensemble d'éléments interdépendants (surface, forme, relief, réseau hydrographique, couvert végétal, etc.) qu'il convient de préciser dès le début de toute étude. Ce milieu naturel complexe exige une étude morpho métrique permettant la mesure des facteurs caractéristiques du bassin et la quantification des paramètres physiques qui interviennent d'une façon continue dans l'écoulement. Ce chapitre expose les diverses méthodes de calcul, de mesure et de présentation employées pour décrire les principales caractéristiques physiques du bassin en question.

III.2.1 Définition et délimitation d'un bassin versant

Le bassin versant en un point ou plus précisément dans une section droite d'un cours d'eau est défini comme la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de ladite section; tous les écoulements prenant naissance à l'intérieur de cette surface doivent traverser

la section droite considérée pour suivre leur trajet vers l'aval. En d'autres termes, ils agissent dans un domaine dans lequel tous les écoulements des eaux convergent vers un même point, exutoire de ce bassin. Ainsi toute goutte d'eau qui tombe dans ce territoire délimité par des frontières naturelles se dirige vers le cours d'eau ou ses affluents, puis vers l'aval et son exutoire. Cette aire d'alimentation a des limites géographiques, qui ne tiennent pas compte des limites administratives.

Cette limite sera tracée sur une carte en courbes de niveau en suivant les lignes de crête bordant le bassin et ne traversera le cours d'eau qu'au droit de l'exutoire. On définit ainsi le bassin versant topographique ou hydrographique pour les eaux superficielles qui peut parfois différer du bassin versant réel ou hydrogéologique.

Ce dernier se définit non pas à partir des lignes de crêtes topographiques, mais à partir des lignes de crêtes piézométriques ou hauteurs du plan d'eau dans le sol chaque bassin est séparé de ceux qui l'environnent par une "ligne de partage des eaux". [5]

Chapitre III Etude Hydrologique

III.2.2 Comportement hydrologique

L'analyse du comportement hydrologique d'un bassin versant s'effectue le plus souvent par le biais de l'étude de la réaction hydrologique du bassin face à une sollicitation (la précipitation). Cette réaction est mesurée par l'observation de la quantité d'eau qui s'écoule à l'exutoire du système. La représentation graphique de l'évolution du débit Q en fonction du temps t constitue un hydrogramme de crue. La réaction du bassin versant peut également être représentée par un luminogramme qui n'est autre que la représentation de la hauteur d'eau mesurée en fonction du temps.

III.3 Caractéristiques morphologiques du bassin versant

III 3.1 La surface

La surface topographique est le paramètre le plus important, il permet de contrôler l'intensité de plusieurs phénomènes hydrologiques (apports, volumes de précipitations ou infiltrations..). La surface du bassin étudié est estimée a :

Tableau 5.la surface des sous bassins versants

Sous bassins versent	Surface	Sous bassins versent	Surface
Sbv1	35.18	Sbv12	9.42
Sbv2	22.43	Sbv13	11.39
Sbv3	60.46	Sbv14	3.57
Sbv4	54.67	Sbv15	22.31
Sbv5	47.42	Sbv16	1.50
Sbv6	45.72	Sbv17	25.01
Sbv7	125.88	Sbv18	2.35
Sbv8	84.19	Sbv19	12.09
Sbv9	23.53	Sbv20	79.82
Sbv10	69.41	Sbv21	8.85
Sbv11	67.51		

Chapitre III Etude Hydrologique

III.3.2 Le périmètre

Le périmètre correspond à la limite extérieure du bassin. Chaque bassin réagit d'une façon propre aux précipitations qu'il reçoit. Le périmètre est estimé à :

Tableau 6. le périmètre des sous bassins versants

Sous bassins versent	Périmètre	Sous bassins versent	Périmètre
Sbv1	39.28	Sbv12	34.89
Sbv2	30.50	Sbv13	28.85
Sbv3	52.12	Sbv14	16.72
Sbv4	82.03	Sbv15	60.91
Sbv5	71.17	Sbv16	7.71
Sbv6	78.89	Sbv17	41.51
Sbv7	115.48	Sbv18	9.69
Sbv8	67.56	Sbv19	26.56
Sbv9	40.30	Sbv20	68.07
Sbv10	79.39	Sbv21	25.33
Sbv11	74.43		

III.3.3 Indice de compacité de Gravelius

L'indice de forme K_G , appelé indice de compacité de Gravelius, est un paramètre indicateur de la forme du bassin versant, il enseigne aussi sur la vitesse de concentration des débits, la puissance des crues et l'importance de l'activité de l'érosion du sol.

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot S}} \approx 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Avec :

P : périmètre du bassin versant (km).

S: surface du bassin versant (km²)

Tableau 7. indice de Gravelius des sous bassins versants

Sous bassins versent	indice de Gravelius	Sous bassins versent	indice de Gravelius
Sbv1	1.85	Sbv12	3.18
Sbv2	1.80	Sbv13	2.39
Sbv3	1.88	Sbv14	2.48
Sbv4	3.11	Sbv15	3.61
Sbv5	2.89	Sbv16	1.76
Sbv6	3.27	Sbv17	2.32
Sbv7	2.88	Sbv18	1.77
Sbv8	2.06	Sbv19	2.14
Sbv9	2.33	Sbv20	2.13
Sbv10	2.67	Sbv21	2.38
Sbv11	2.54		

III.3.4 Rectangle équivalent

On suppose que l'écoulement sur un bassin versant donnée est le même que sur un rectangle de même superficie, ayant le même indice de Gravelius, la même répartition hypsométrique, la même distribution des sols et de la végétation et la même densité de drainage. Le rectangle équivalent est caractérisé par la longueur « Leq » et la largeur « l » définies respectivement par les formules suivantes (III.2, III.3) :

$$Leq = \frac{Kg \cdot \sqrt{S}}{1,128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{Kg} \right)^2} \right) \quad (III.2)$$

$$l = \frac{Kg \cdot \sqrt{S}}{1,128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{Kg} \right)^2} \right) \quad (III.3)$$

Chapitre III Etude Hydrologique

Tableau 8. la longueur e équivalente

Sous bassins versent	La longueur équivalente	Sous bassins versent	La longueur équivalente
Sbv1	17.49	Sbv12	16.76
Sbv2	13.48	Sbv13	13.48
Sbv3	23.28	Sbv14	7.84
Sbv4	39.33	Sbv15	29.48
Sbv5	33.94	Sbv16	3.38
Sbv6	37.96	Sbv17	19.31
Sbv7	55.04	Sbv18	4.26
Sbv8	30.81	Sbv19	12.20
Sbv9	18.75	Sbv20	31.24
Sbv10	37.57	Sbv21	11.83
Sbv11	35.02		

Tableau 9.largurs de rectangle équivalent

Sous bassins versent	La longueur équivalente	Sous bassins versent	La longueur équivalente
Sbv1	2.01	Sbv12	0.56
Sbv2	1.66	Sbv13	0.84
Sbv3	2.60	Sbv14	0.46
Sbv4	1.39	Sbv15	0.76
Sbv5	1.40	Sbv16	0.44
Sbv6	1.20	Sbv17	1.29
Sbv7	2.29	Sbv18	0.55
Sbv8	2.73	Sbv19	0.99
Sbv9	1.25	Sbv20	2.56
Sbv10	1.85	Sbv21	0.75
Sbv11	1.93		

II.3.5 Temps de concentration

Le temps de concentration T_c est la durée maximale nécessaire à une goutte d'eau, tombée au point le plus éloigné du bassin versant, d'arriver à l'exutoire. il est composé de trois termes différents :

Chapitre III Etude Hydrologique

- **Th** : temps d'humectation : est le temps nécessaire à l'imbibition du sol par l'eau qui tombe avant qu'elle ne ruisselle.
- **Tr** : temps de ruissellement : est le temps correspondant à la durée d'écoulement de l'eau à la surface.
- **Ta** : temps d'acheminement : est le temps mis par l'eau pour se déplacer jusqu'à l'exutoire.

Le temps de concentration est égal au maximum de :

$$T_c = [\sum (T_h + T_r + T_a)]$$

Théoriquement, Tc est la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement. Pratiquement, il peut être mesuré sur le terrain ou estimé à l'aide de formules souvent empiriques établies par plusieurs auteurs.

- **GIANDOTTI**

$$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}}$$

Tableau 10. Temps de concentration GIANDOTTI

Sous bassins versent	Giandotti	Sous bassins versent	Giandotti
Sbv1	2.96	Sbv12	12.8115759
Sbv2	2.67	Sbv13	14.8247644
Sbv3	4.65	Sbv14	11.994328
Sbv4	4.87	Sbv15	13.1887819
Sbv5	3.80	Sbv16	4.73800067
Sbv6	4.32	Sbv17	28.5345177
Sbv7	8.30	Sbv18	7.15558909
Sbv8	6.43	Sbv19	16.2548252
Sbv9	5.50	Sbv20	8.8453101
Sbv10	6.47	Sbv21	9.01211962
Sbv11	12.29		

- **CALIFORNIA**

$$T_c = \left(\frac{0.87 \cdot L^3}{H_{\text{max}} - H_{\text{min}}} \right)^{0,386}$$

Tableau III 7 Temps de concentration CALIFORNIA

Sous bassins versent	California	Sous bassins versent	California
Sbv1	1.03887749	Sbv12	1.55326267
Sbv2	1.17851074	Sbv13	2.65617874
Sbv3	1.86590687	Sbv14	2.35473865
Sbv4	2.98046055	Sbv15	4.61432546
Sbv5	2.29339589	Sbv16	0.91747182
Sbv6	2.70563121	Sbv17	6.63383749
Sbv7	5.43994594	Sbv18	0.58112062
Sbv8	3.54532445	Sbv19	3.35023435
Sbv9	2.38099157	Sbv20	3.18402919
Sbv10	4.35949617	Sbv21	1.51766271
Sbv11	5.69716982		

• Ventura
$$T_c = 1,1272 \sqrt{\frac{A}{i_{\text{moy}}}}$$

Tableau 11. Temps de concentration VENTURA

Sous bassins versent	Ventura	Sous bassins versent	Ventura
Sbv1	28.25	Sbv12	79.19
Sbv2	23.64	Sbv13	105.07
Sbv3	51.88	Sbv14	66.38
Sbv4	54.51	Sbv15	117.75
Sbv5	41.07	Sbv16	20.96
Sbv6	46.16	Sbv17	256.57
Sbv7	114.21	Sbv18	28.98
Sbv8	80.08	Sbv19	120.03
Sbv9	49.81	Sbv20	105.55

Chapitre III Etude Hydrologique

Sbv10	76.30	Sbv21	58.43
Sbv11	144.89		

Tableau 12. temps de concentration

Sous bassins versent	Giandotti	Sous bassins versent	Giandotti
Sbv1	2.96	Sbv12	79.19
Sbv2	2.67	Sbv13	12.8115759
Sbv3	4.65	Sbv14	14.8247644
Sbv4	4.87	Sbv15	11.994328
Sbv5	3.80	Sbv16	13.1887819
Sbv6	4.32	Sbv17	4.73800067
Sbv7	8.30	Sbv18	28.5345177
Sbv8	6.43	Sbv19	7.15558909
Sbv9	5.50	Sbv20	16.2548252
Sbv10	6.47	Sbv21	8.8453101
Sbv11	12.29		

- ✓ A : Surface du bassin versant en [Km²].
- ✓ L : longueur du talweg principale en [Km].
- ✓ H_{moy}, H_{min} : respectivement la hauteur moyenne et minimale du B.V en [m].
- ✓ L_P : Longueur du cours d'eau principal (km).
- ✓ i_{moy} : Pente moyenne du bassin versant.

III.3.6 Vitesse moyenne de ruissellement

Elle est donnée par la formule suivante :

$$V_R = \frac{L}{T_c}$$

L : Longueur en [Km]; T_c : temps de concentration (h).

Tableau 13. la vitesse de ruissellement

Sous bassins versent	La vitesse de ruissellement	Sous bassins versent	La vitesse de ruissellement
Sbv1	2.84909404	Sbv12	0.20450256
Sbv2	3.550884	Sbv13	0.29342793
Sbv3	2.76354975	Sbv14	0.27513004
Sbv4	4.37600069	Sbv15	0.84253421
Sbv5	4.9392207	Sbv16	0.42211898
Sbv6	4.70268636	Sbv17	0.30279117
Sbv7	4.05864008	Sbv18	0.1397509
Sbv8	3.50948472	Sbv19	0.32605703
Sbv9	2.08007687	Sbv20	1.63928679

Chapitre III Etude Hydrologique

Sbv10	4.34551806	Sbv21	0.37061204
Sbv11	1.67990421		

Tableau 14. récapitulatif des caractéristiques du bassin versant et du cours d'eau

	S	P	Kg	L	Leq	Hmin	H max	H moyenne	L	Pente	Tc			Vr
											california	Ventura	gndt	
bv1	35.18	39.28	1.85	2.01	17.49	315.76	787.9	551.84	8.43	0.056	1.04	28.2	2.96	2.849
bv2	22.43	30.5	1.8	1.66	13.48	303.15	786	544.55	9.47	0.051	1.18	23.6	2.67	3.55
bv3	60.46	52.12	1.88	2.6	23.28	303.19	670	486.6	12.85	0.029	1.87	51.9	4.65	2.76
bv4	54.67	82.03	3.11	1.39	39.33	29.22	527.9	278.54	21.33	0.023	2.98	54.5	4.87	4.38
bv5	47.42	71.17	2.89	1.4	33.94	22	693	357.5	18.78	0.036	2.29	41.1	3.8	4.94
bv6	45.72	78.89	3.27	1.2	37.96	36.25	590.1	313.2	20.32	0.027	2.71	46.2	4.32	4.7
bv7	125.88	115.48	2.88	2.29	55.04	22	435	228.5	33.68	0.012	5.44	114.2	8.3	4.06
bv8	84.19	67.56	2.06	2.73	30.81	23.18	399.5	211.34	22.56	0.017	3.55	80.1	6.43	3.51
bv9	23.53	40.3	2.33	1.25	18.75	22	160	91	11.45	0.012	2.38	49.8	5.5	2.08
v10	69.41	79.39	2.67	1.85	37.57	9.29	435	222.15	28.1	0.015	4.36	76.3	6.47	4.35
v11	67.51	74.43	2.54	1.93	35.02	14.67	99	56.835	20.64	0.004	5.7	144.9	12.29	1.68
v12	9.42	34.89	3.18	0.56	16.76	18	23	20.5	2.62	0.002	1.55	79.2	12.81	0.2
v13	11.39	28.85	2.39	0.84	13.48	13.3	19	16.15	4.35	0.001	2.66	105.1	14.82	0.29
v14	3.57	16.72	2.48	0.46	7.84	13.6	17	15.3	3.3	0.001	2.35	66.4	11.99	0.28
v15	22.31	60.91	3.61	0.76	29.48	15.78	38.5	27.14	11.11	0.002	4.61	117.7	13.19	0.84
v16	1.5	7.71	1.76	0.44	3.38	13.8	22.5	18.15	2	0.004	0.92	21	4.74	0.42
v17	25.01	41.51	2.32	1.29	19.31	9	13.17	11.085	8.64	0.0005	6.63	256.6	28.53	0.3
v18	2.35	9.69	1.77	0.55	4.26	6.45	10	8.225	1	0.004	0.58	29	7.16	0.14
v19	12.09	26.56	2.14	0.99	12.2	6.15	11.8	8.975	5.3	0.001	3.35	120	16.25	0.33
v20	79.82	68.07	2.13	2.56	31.24	14	146	80	14.5	0.009	3.18	105.6	8.85	1.64
v21	8.85	25.33	2.38	0.75	11.83	0	11	5.5	3.34	0.003	1.52	58.43	9.01	0.37

III. 4 Analyse des données pluviométriques

III.4.1 Pluies maximales journalières

Dans l'étude d'un projet d'aménagement, la première étape est l'analyse des données pluviométriques disponibles dans la station la plus proche au bassin versant de la zone d'étude, dans notre cas la station de soumâa, la série pluviométrique doit comporter les précipitations maximales journalières pour la période la plus longue possible.

Tableau 15. Station pluviométrique Somâa (source ANRH)

Code	Nom	Source	Coordonnée			Année	N	Pmoy (mm)
			X (Km)	Y (Km)	Z (Km)			

Chapitre III Etude Hydrologique

21427	DOUAR MAKLI	L'ANRH	532.5	356	177	1972- 2002	48	59.6
-------	------------------------	--------	-------	-----	-----	---------------	----	------

III.4.1 Pluies maximales journalières

Les pluies maximales journalières de rares fréquences sont des pluies génératrices des crues d'importants débits, contre lesquels il faut protéger l'ouvrage.

III.4.2 l'étude des pluies maximales journalières

L'étude consiste à faire un ajustement pour la série de données des précipitations maximales journalières.

Tableau 16. Séries des Pluies Maximales Journalières (1972-2019) à la station

année	PJ max	année	PJ max
1972	87	1988	44.8
1973	125	1989	49.8
1974	65.6	1990	49
1975	48.4	1991	90.8
1976	57.8	1992	64.9
1977	48.4	1993	70.7
1978	72.8	1994	64.3
1979	57.8	1995	82.4
1980	81.2	1996	40.8
1981	47.1	1997	59
1982	29.4	1998	46.2
1983	50.1	1999	47.2
1984	76.8	2000	36.8
1985	64.6	2001	24.7
1986	45	2002	59.5
1987	51.7		

Dans notre étude on suit les étapes suivantes :

- ✓ Classer la série des précipitations par ordre croissant.
- ✓ Calcule de la fréquence expérimentale.
- ✓ Calcule des caractéristiques empiriques de la série de donnée.
- ✓ Ajuster graphiquement la loi choisie.
- ✓ Calculer le quantile et son intervalle de confiance.

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

Tableau 17. caractéristiques de la série de données

Caractéristiques	Valeurs
Année d'observation	48
Minimum	98.8
Maximum	337
Moyenne	192
Ecart-type	53.2
Médiane	181
Coefficient de variation (Cv)	0.277
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.951
Coefficient d'aplatissement (Ck)	3.76

La représentation des observations sur du papier normale e leurs histogramme sont présentées dans les figures III.4 et III.5 respectivement :

III.4.3Ajustement des pluies maximales journalières

III.4.3.1 Choix de la loi d'ajustement

Les critères de choix d'une loi sont liés à un ajustement graphique d'abord et ensuite à un test de dispersion. L'allure des points sur du papier à probabilité permet d'accepter ou de rejeter la loi. Dans notre étude on applique la loi de GALTON (Loi Log normale) et la loi de GUMBEL (Double exponentiel) à l'aide le logiciel HYFRAN. Les caractéristiques des échantillons, les tests d'adéquation des deux lois ainsi que l'homogénéité sont calculés directement à partir de la loi.

III.4.3.2 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON

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

Ou :

$$u = \frac{\ln Xi - \ln \bar{X}}{\delta \ln X} \quad (\text{Variable réduite de gausse})$$

\bar{X} : La moyenne de l'échantillon

- δ i : L'écart-type de l'échantillon
- L'équation de la droite de GALTON est la suivante :

$$\ln X (p\%) = \ln (\bar{X}) + \delta \cdot \ln u (p\%)$$

$$\ln X = \sum^{41} \ln \bar{X}_i / N$$

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

- ✓ classer les valeurs des précipitations par ordre croissant avec attribution d'un rang 1.2.3.4.5.....n.

Chapitre III Etude Hydrologique

✓ calculer pour chaque valeur de précipitation la fréquence expérimentale par la formule de HAZEN :

$$✓ f(x) = \frac{m-0.5}{n}$$

Avec :

m : Rang de précipitation.

n : Nombre d'observations(46).

✓ Calculer la variable réduite de GALTON donnée par la formule suivante :

$$✓ u = \frac{\text{Ln } X_i - \text{Ln } \bar{X}}{\delta \text{ Ln } X}$$

➤ GALTON (log-Normale) (Maximum des vrais semblances) :

Nombre d'observation : n = 46

❖ Paramètre :

M u = 5.22242, Sigma = 0.266661

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

T= 1 (1-q).

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de GALTON sont représentées dans le tableau III.12 suivant :

Tableau 18. Résultats d'ajustement à loi de Galton

Période de retour	Fréquence au non dépassement	Valeurs théoriques	Ecart-type	Intervalle de confiance
T (ans)	Q	XT (mm)	Δ	-95%
1000.0	0.9990	423	40.3	344-502
100.0	0.9900	345	26.3	293-396
50.0	0.9800	321	22.4	277-365
10.0	0.9000	261	13.9	2374-288

Test d'homogénéité : Test d'adéquation du Khi carré

❖ Hypothèses :

H0 : L'échantillon provient d'une loi Log normale

H1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi Log normale

❖ Résultats :

Résultat de la statistique : $X^2 = T = 2.52$

P-value : p =0.8660

Degrés de liberté : 6

Chapitre III Etude Hydrologique

Nombre de classes : 9

Conclusion : Nous pouvons accepter H_0 au niveau de signification de 5%. La figure III.6 illustre l'ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON (Log normale)

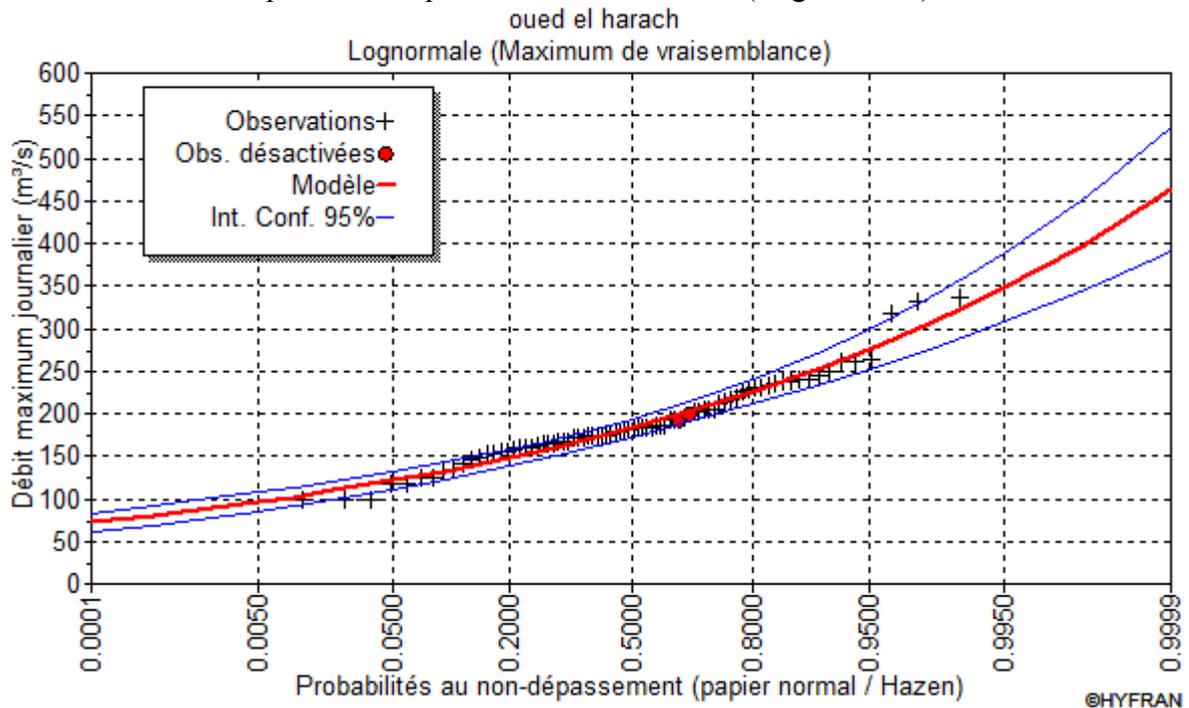


Figure III.1. Ajustement à la loi de GALTON

On observe de la figure III.6 que les données pluviométriques sont proches à la droite théorique de Galton.

III.4.3.3 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL (Méthode des moments)

Le procédé d'ajustement est identique à celui établi pour la loi de GALTON. Seule la représentation graphique change ou elle est faite sur du papier (Gumbel/Hazen). La loi de GUMBEL a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

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

Tel que:

$$y = a(x - x_0)$$

1/a : La pente de la droite de Gumbel,

y : Variable réduite de GUMBEL,

x : Précipitation maximale journalière (mm),

x_0 : Ordonnée à l'origine en (mm).

On peut écrire :

$$✓ y = -\ln(-\ln(F(x)))$$

✓ Gumbel (Méthode des moments) :

Nombre d'observations: 46

❖ Paramètre :

$$U = 168.113, \alpha = 41.4509$$

❖ Quantiles

$Q = F(X)$ (probabilité au non-dépassement)

Chapitre III Etude Hydrologique

$$T = 1 / (1 - q)$$

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de GUMBEL sont représentés dans le tableau III.13 suivant

Tableau 19. Résultats d'ajustement à loi Gumbel

Période de retour	Fréquence au non dépassement	Valeurs théoriques	Ecart-type	Intervalle de confiance
T (ans)	Q	XT (mm)	Δ	-95%
1000.0	0.9990	454	45.3	366-54.6
100.0	0.9900	359	30.8	298-419
50.0	0.9800	330	26.4	278-382
10.0	0.9000	261	16.4	229-293

Test d'homogénéité :

Test d'adéquation du Khi carré.

Hypothèses :

H0 : L'échantillon provient d'une loi Gumbel ;

H1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi Gumbel.

Résultats : Résultat de la statistique :

$$X^2 = 2.52$$

P-value : P= 0.8660

Degrés de liberté : 6

Nombre de classes : 9

Conclusion : Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5%. La figure III.7 illustre l'ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL (Méthode des moments)

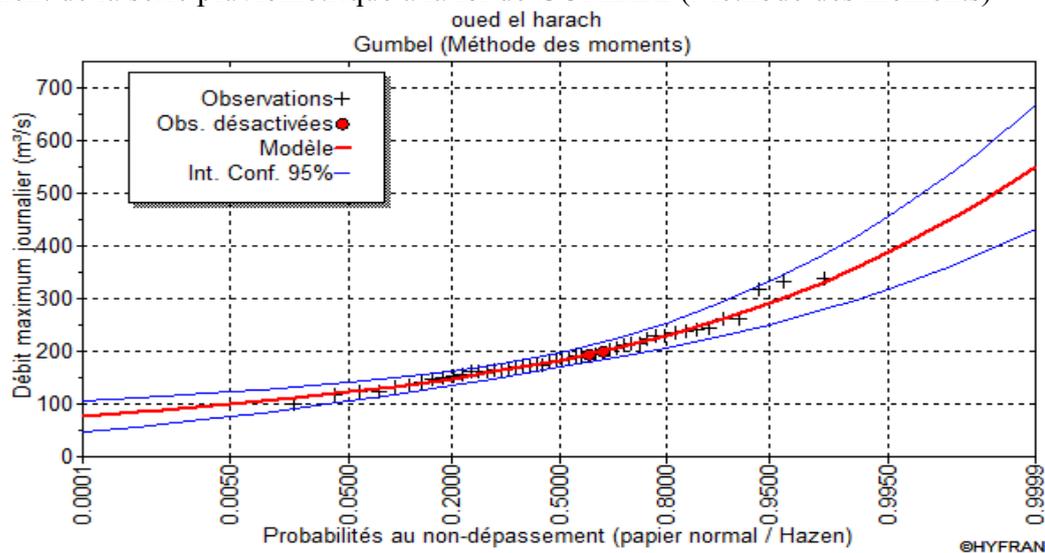


Figure III.2. Ajustement à la loi de GUMBEL

On observe que la série pluviométrique est proche à la droite théorique de Gumbel aussi

III.4.3.4 Comparaison entre les deux lois d'ajustement

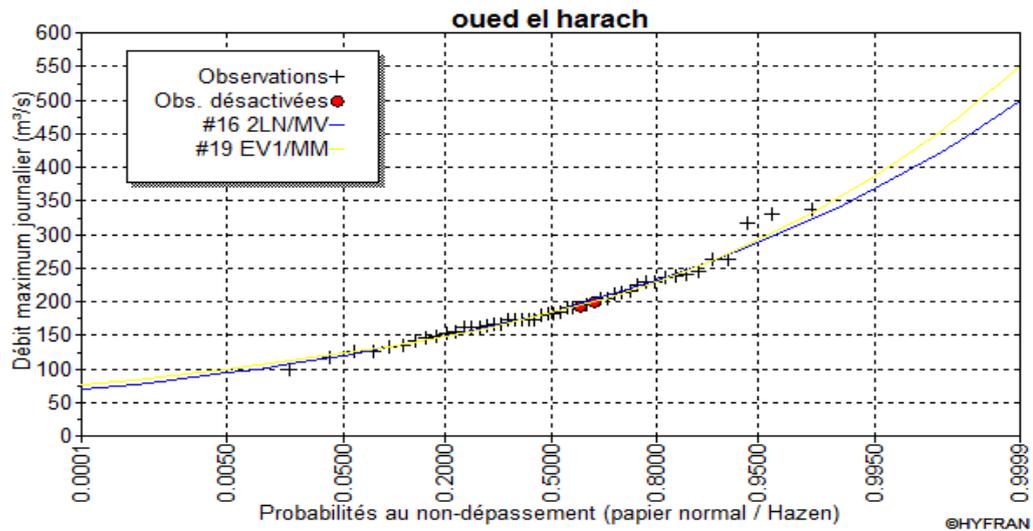


Figure III.3. Ajustement à la loi de Galton

En se référant aux graphes obtenus, par ces deux lois, celui de GUMBEL et GALTON, nous avons remarqué que l'ajustement de la loi de GALTON est le meilleur; du moment que la position des données expérimentales sont plus proches de la droite théorique. Alors on opte pour la loi de GALTON (Log normale)

III.5. Pluie de courte durée

Le passage des pluies journalières maximales aux pluies de courtes durées est effectué au moyen de la formule :

$$P_{ct} = P_{max j} (t/24)^e$$

Avec :

- t : Durée de l'averse (h)
- e : Exposant climatique, e = 0.34 selon les études régionales de l'ANRH.

Les précipitations pour différentes durées sont représentées dans le tableau III.14 et les courbes des pluies fréquentielles sont présentées par la figure III.9.

Chapitre III Etude Hydrologique

Tableau 20. (Pluies de durée t(h) et période de retour ans)

T (ans)	1000		100		50		10	
	Pt	I %	Ptc	I%	Ptc	I%	Ptc	I%
0.3	31.35	125.42	24.57	98.30	22.46	89.82	17.65	70.59
1	50.23	50.23	39.37	39.37	35.98	35.98	28.27	28.27
2	63.58	31.79	49.84	24.92	45.54	22.77	35.79	17.89
3	72.98	24.33	57.20	19.07	52.27	17.42	41.08	13.69
4	80.48	20.12	63.08	15.77	57.64	14.41	45.30	11.32
5	86.82	17.36	68.05	13.61	62.18	12.44	48.87	9.77
6	92.38	15.40	72.40	12.07	66.16	11.03	51.99	8.67
7	97.35	13.91	76.30	10.90	69.72	9.96	54.79	7.83
8	101.87	12.73	79.84	9.98	72.96	9.12	57.34	7.17
9	106.03	11.78	83.11	9.23	75.94	8.44	59.68	6.63
10	109.90	10.99	86.14	8.61	78.71	7.87	61.85	6.19
11	113.52	10.32	88.97	8.09	81.30	7.39	63.89	5.81
12	116.93	9.74	91.64	7.64	83.74	6.98	65.81	5.48
13	120.15	9.24	94.17	7.24	86.05	6.62	67.63	5.20
14	123.22	8.80	96.58	6.90	88.25	6.30	69.35	4.95
15	126.14	8.41	98.87	6.59	90.35	6.02	71.00	4.73
16	128.94	8.06	101.06	6.32	92.35	5.77	72.57	4.54
17	131.63	7.74	103.17	6.07	94.27	5.55	74.08	4.36
18	134.21	7.46	105.19	5.84	96.12	5.34	75.54	4.20
19	136.70	7.19	107.14	5.64	97.91	5.15	76.94	4.05
20	139.10	6.96	109.03	5.45	99.63	4.98	78.29	3.91
21	141.43	6.73	110.85	5.28	101.30	4.82	79.60	3.79
22	143.69	6.53	112.62	5.12	102.91	4.68	80.87	3.68
23	145.87	6.34	114.33	4.97	104.48	4.54	82.10	3.57
24	148.00	6.17	116.00	4.83	106.00	4.42	83.30	3.47

III.7. Etude de crue

L'évaluation des crues a toujours été un souci majeur dans le dimensionnement des ouvrages hydrauliques. De nombreuses méthodes ont été établies afin de parvenir à les estimer correctement.

III.8. Différentes méthodes d'évaluation des crues

L'existence de tant de méthodes de calcul des crues est due aux changements de conditions et de problèmes rencontrés lors de l'estimation ainsi que du chargé d'étude. Les techniques utilisées dans la détermination des crues dépendent essentiellement des données disponibles, plus la disponibilité est importante plus les problèmes qui se posent sont moindres. Dans ce qui suit un rappel des différentes méthodes qui ont été établies.

Chapitre III Etude Hydrologique

III.8.1 Méthodes déterministes

❖ Méthode historique :

Méthode ancienne basée essentiellement sur l'étude des archives, les enquêtes auprès des populations et la recherche des traces des crues exceptionnelles atteintes dans le passé. Elle est utilisée lorsqu'on ne dispose pas d'observations sur le débit maximum enregistré lors d'une crue exceptionnelle.

❖ Méthodes empiriques :

Des formules empiriques de différents auteurs ont été mises au point afin de répondre aux conditions et aux problèmes rencontrés. Ces lois établissent les relations entre le débit, la surface du bassin versant, la pluie et la période de retour.

❖ Courbes enveloppes :

Cette méthode permet de tracer une courbe enveloppe (Francouet Rodier) en reportant les pointes de crues maximales observées dans une région de caractéristiques homogènes en fonction de la surface du bassin versant.

$$\frac{Q}{Q_0} = \left(\frac{A}{A_0}\right)^{1-K/10}$$

K : coefficient dépendant de plusieurs facteurs climatiques et géographiques, compris entre $0 < K < 6$.

III.8.2 Méthodes Probabilistiques

Corresponds à l'analyse des débits afin de déterminer la loi de probabilité à laquelle ils répondent (GUMBEL, GALTON, PEARSON III,.. etc.).

L'utilisation de la méthode du Gradex basée sur l'hypothèse que durant des pluies fortes, alors que le sol du bassin s'approche de la saturation, chaque augmentation de la pluie tend à produire une augmentation du débit. En conséquence sur un graphique de Gumbel, les droites de répartitions des fréquences des pluies et des débits sont parallèles.

III.9. Application sur le bassin versant

Pour notre étude on utilisera la méthode empirique, par la formule de SOKOLOVSKI

• Formule de SOKOLOVSKY:

On a :

$$Q_{\max, p\%} = \frac{0.28 \cdot (P_{ct} - H_0) \cdot \alpha \cdot F \cdot S}{T_c}$$

S : Superficie du bassin [Km²].

T_c : temps de concentration[h].

P_{ct} : pluie fréquentielle de courte durée correspondant au temps de concentration.

H₀ : Perte initiale [H₀ = 0mm].

A : Coefficient de ruissellement de la crue pour une période donnée (0.7)

F : Coefficient de forme de la crue $\left[F = \frac{12}{4 + 3\gamma} \right]$

Chapitre III Etude Hydrologique

Tableau 21. valeur de γ en fonction de bassin versant

Condition	Γ
Surface du B.V compris entre 1 et 50 km ²	$\gamma = 2$
Pour un bassin boisé avec un sol peut perméable	$2 \leq \gamma \leq 2.5$
Pour un bassin boisé	$3 \leq \gamma \leq 4.$

On prend $\gamma=2.5$ pour tous les bassins
 Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux (III.17) et(III.18) suivants :

Tableau 22.temps de concentration et la pluie de coute durée pour les périodes de retour (10, 100, 1000,10000 ans)

	TC	Pct mm			
		1000	100	50	10
SOUS BASSIN					
SBV1	2.959	356.62	279.51	255.41	200.72
SBV2	2.667	227.38	197.72	180.68	141.98
SBV3	4.65	389.99	305.67	279.32	219.50
SBV4	4.874	336.43	263.69	240.95	189.35
SBV5	3.802	374.09	293.20	267.93	210.55
SBV6	4.321	317.36	248.74	227.30	178.62
SBV7	8.298	454.99	356.62	325.87	256.09
SBV8	6.428	392.83	307.90	281.35	221.10
SBV9	5.505	128.24	100.51	91.84	72.18
SBV10	6.467	1149.80	252.33	230.58	181.20
SBV11	12.29	164.80	129.17	118.03	92.76
SBV12	12.81	22.05	17.28	15.79	12.41
SBV13	14.82	23.03	18.05	16.50	12.96
SBV14	11.99	8.94	7.00	6.40	5.03
SBV15	13.19	50.74	39.77	36.34	28.56
SBV16	4.738	9.52	7.46	6.82	5.36

Chapitre III Etude Hydrologique

SBV17	28.53	26.28	20.60	18.83	14.79
SBV18	7.156	98.87	7.71	7.04	5.53
SBV19	16.25	22.30	17.48	15.97	12.55
SBV20	8.845	270.68	212.16	193.87	152.35
SBV21	9.012	29.45	23.08	21.09	16.57

III.11. Conclusion

Dans cette partie de notre étude, nous avons calculé les caractéristiques morphologiques des bassins versants, c'est-à-dire les surfaces, les océans et les pentes. Ce qui nous a permis de calculer le temps de concentration

D'une autre part on peut noter que l'ajustement le plus adéquat a été trouvé suivant la loi de "Galton" à travers lequel on a pu tracer les hydrogrammes des crues de différentes fréquences qui nous permettent de déterminer les crues probables, Nous utiliserons ces données dans le modèle de la simulation d'inondation HEC RAS.

Chapitre 04

Modélisation et simulation par logiciel HEC RAS

IV Chapitre modélisation et simulations par logiciel HEC RAS

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre nous avons fait une modélisation hydraulique par l'outil HEC-RAS a été menée pour simuler la propagation des débits calculés dans les tronçons des cours d'eau traversant le site d'étude, et en déterminer le niveau d'eau maximal Pour aboutir en fin, à la délimitation des zones Inondables et la proposition des solutions adéquates pour protéger le centre.

IV.2 Présentation de logiciel HEC-RAS

HEC-RAS, Hydraulic Engineering Centres River Analysis System (Système d'analyse des rivières du centre d'ingénierie hydrologique) est un logiciel de modélisation hydraulique destiné à simuler l'écoulement dans les cours d'eau et les canaux. Le modèle utilisé est unidimensionnel, ce qui signifie qu'il n'existe pas de modélisation directe des variations hydrauliques dues aux changements de forme de la section transversale, à la présence de coudes ou autres aspects d'un écoulement 2D ou 3D.

Le programme a été élaboré par le ministère américain de la Défense (corps des ingénieurs de l'armée des États-Unis) dans le but de gérer les rivières, les ports et autres travaux publics relevant de leur compétence, il a été largement diffusé de par le monde depuis sa publication en 1995. Développé par Hydrologique Engineering Center (HEC) en Californie, ce système permet aux ingénieurs en hydraulique d'analyser les débits dans le lit des rivières et de déterminer les zones inondables. Il intègre de nombreux moyens de saisie de données, de composants d'analyse hydraulique, de stockage de données, d'édition de rapports sous forme de tables et de graphiques

La figure ci-dessous représente un schéma général avec les déférente barres d'outils de logiciel HEC RAS [8]

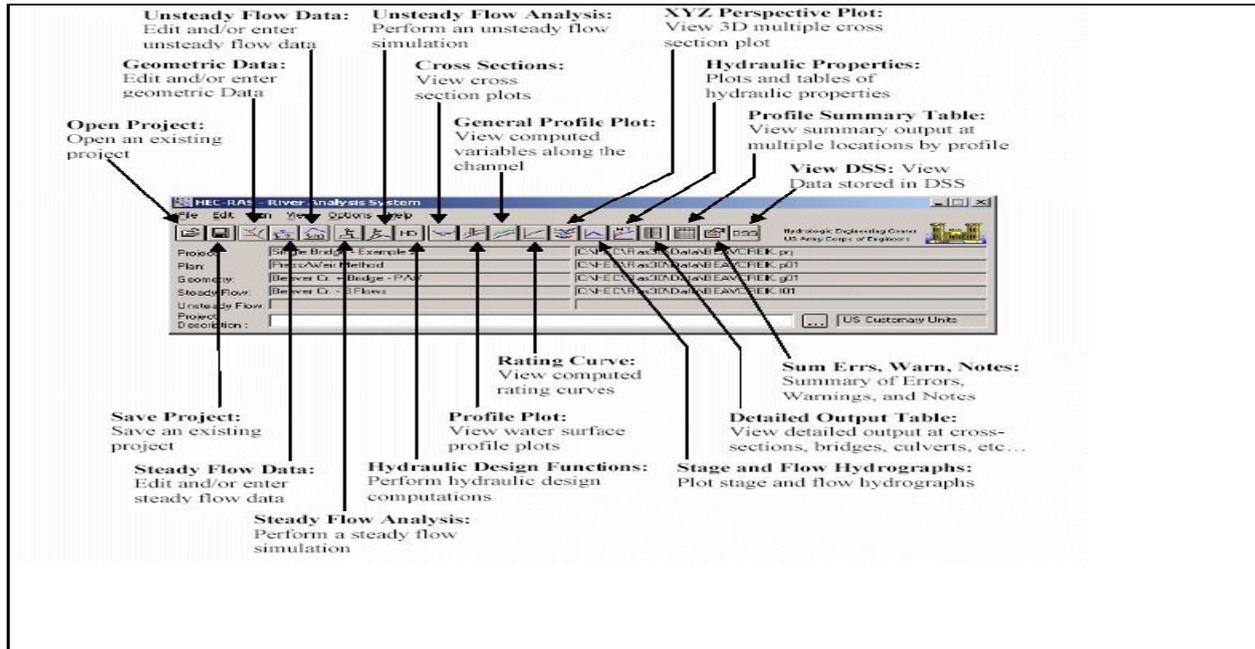


Figure III.1.fenêtre représente les barres d'outils du logiciel HEC RAS

IV.3 Fonctionnement De HEC-RAS

HEC-RAS est capable de modéliser avec une extrême finesse un large éventail de conditions d'écoulement. Le centre de contrôle, pièce maîtresse d'HEC-RAS permet de gérer et de combine les différents types de données :

- ❖ Géométrie ;
- ❖ Débits et conditions aux limites ;
- ❖ Conditions de calcul ;
- ❖ Résultats.

Un même projet peut contenir plusieurs descriptions géométriques, plusieurs jeux des débits de différentes périodes ($Q_{(T=100\text{ans})}$, $Q_{(T=10\text{ans})}$, $Q_{(T=50\text{ans})}$, $Q_{(T=10\text{ans})}$), les conditions de calcul étant des combinaisons de débits et de géométries.

IV.3.1 Géométrie du cours d'eau simulé

Les réseaux de cours d'eau sont organisés en biefs séparés par des connections où s'opèrent les additions et séparations de débits. Il est possible de simuler des réseaux ramifiés et maillés. Dans chaque bief, les profils en travers définissant la géométrie sont classés en fonction de leur position kilométrique.

Les données relatives à chaque section sont :

- ❖ Le profil en travers, défini par une série de couples distance-altitude ;
- ❖ Les coefficients de rugosité et de perte de charge ;
- ❖ La distance à la section suivante.

Une série d'options permet de placer des obstacles et des zones d'eau morte. D'autres éléments, tels que ponts, ponceaux, épis, glace peuvent également être simulé spa HEC-RAS.

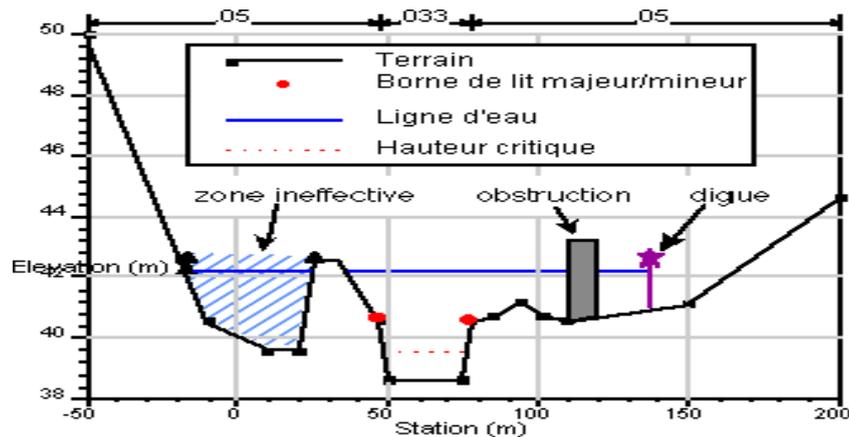


Figure III.2. définition d'une section de cours d'eau dans HEC-RAS [8]

IV.3.2 calcul de Débits, conditions aux limites et de calcul

Les calculs peuvent être effectués pour plusieurs débits simultanément, soit en régime torrentiel, soit en régime fluvial, ou pour les deux régimes d'écoulements. Dans ce dernier cas, HEC-RAS utilise l'équation de quantité de mouvement pour déterminer les changements de régime torrentiel fluvial, caractérisés par un ressaut. [8]

IV.3.3 Visualisation des Résultats

Tous les résultats obtenus peuvent être consultés sous forme graphique (profil en long, sections ; courbes ; hauteur ; débit, vue3D) ainsi que sous forme de tableaux ,exportables, via les procédures standard de copier-coller, vers tout tableur ou traitement de texte

IV.3.4 Objectif du logiciel

L'objectif principal de ce programme est tout à fait simple, il est conçu pour exécuter le calcul hydraulique unidimensionnel pour tous les réseaux de canaux naturels et artificiels par le calcul des hauteurs de la surface de l'eau en toute section d'intérêt pour un ensemble de données d'écoulement en régime permanent et par des hydrogrammes de propagation des crues pour la simulation de l'écoulement en régime non permanent.

HEC-RAS est un logiciel basé sur le modèle 1D de Saint Venant permanent ou non-

permanent de calcul de l'alignement de l'eau en gradient varié. Il résout « l'équation de l'énergie unidimensionnelle », les pertes étant évaluées par la formule de frottement au fond de Manning-Strickler et par des formules de contraction/expansion de l'écoulement. Pour les situations rapidement variées telles que les ressauts hydrauliques, les écoulements à proximité des ponts, et les confluences de rivière, l'équation de l'énergie est remplacée par l'équation de quantité de mouvement. [8]

IV.4 Théorie de base de calcul du modèle HEC-RAS

IV.4.1 Profils de la surface de l'eau en écoulement permanent

Comme il a été indiqué précédemment le modèle HEC-RAS est capable d'exécuter des calculs unidimensionnels de profil de la surface de l'eau pour l'écoulement permanent graduellement varié dans les canaux naturels ou artificiels. Les profils de la surface de l'eau en régime d'écoulement sous critique (fluvial), supercritiques, et mixtes peuvent être calculés. Pour faire ces calculs plusieurs étapes sont incluses :

IV.4.2 Equation de base entre deux sections

Les profils de la surface de l'eau sont calculés entre deux sections comme c'est indiqué dans la figure suivante en résolvant l'équation d'énergie qui est écrite sous la forme suivante :

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

Où: Y : Profondeur de l'eau au niveau des sections Z_1, Z_2 : côte du canal principal

V_1, v_2 : vitesses moyennes (débit total/surface totale d'écoulement)

α_1, α_2 : coefficients de pondération de vitesse égale à 1

g : accélération de la gravité

h_e : perte totale d'énergie

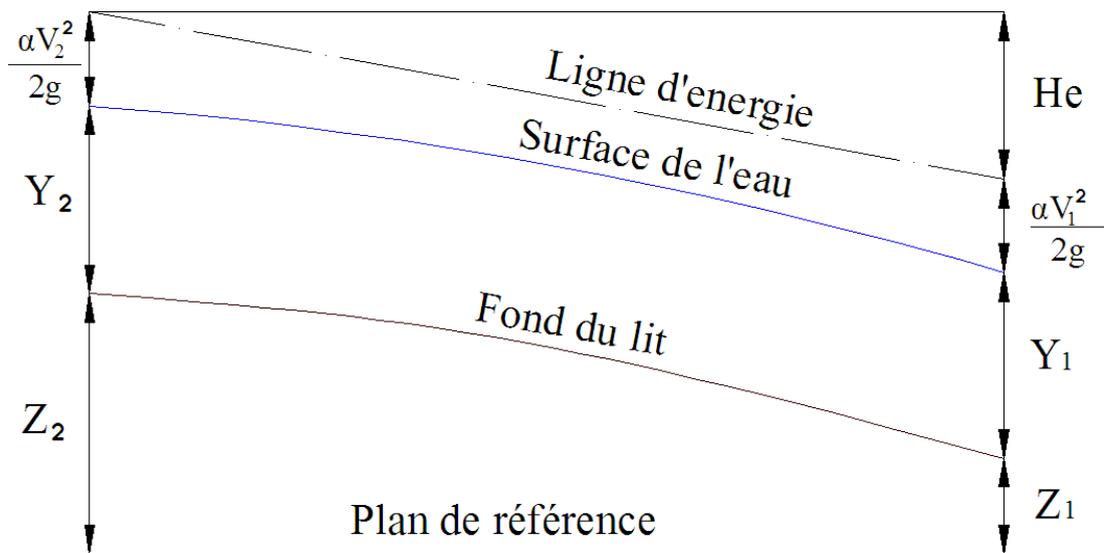


Figure III.3. Représentation des limites dans l'équation d'énergie

La perte totale d'énergie (He) entre deux sections est liée aux pertes de frottement et aux pertes de contraction ou d'expansion. L'équation de la perte totale d'énergie est calculée par la formule suivante:

$$H_e = L * S_f + C \left[\frac{\alpha V_2^2}{2g} - \frac{\alpha V_1^2}{2g} \right]$$

Où:

L : longueur de la distance entre deux sections

S_f : angle de frottement représentatif entre deux sections

C : coefficient de pertes de contraction ou d'expansion

La longueur de la distance mesurée entre deux sections L , est calculée comme suit:

$$L = \frac{L_{lob} \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}}$$

ou :

L_{lob}, L_{ch} : Longueur des distances entre deux sections de calcul indiquées pour l'écoulement dans la berge gauche, le canal principal, et la berge droite.

$\bar{Q}_{lob}, \bar{Q}_{ch}$: Moyen arithmétique des débits entre deux sections pour la berge gauche, le canal principal, et la berge droite.

IV.4.2 Subdivision d'une section transversale pour le calcul du débit:

La détermination du transport total et du coefficient de vitesse pour une section exige que l'écoulement soit subdivisé en unités pour lesquelles la vitesse est uniformément distribuée. L'approche utilisée dans HEC-RAS est de subdiviser l'écoulement dans les surfaces des rives en utilisant les points d'arrêt des valeurs de la rugosité comme base de la subdivision (endroit du changement du coefficient de rugosité) comme c'est montré dans la figure (V-2).

Le flux est calculé dans chaque subdivision sous la forme suivante en fonction de n (Equation de Manning):

$$Q = K * S_f^{1/2}$$

$$K = \frac{1}{n} * A * R_h^{2/3}$$

Où: □

K: flux pour la subdivision

n : coefficient de rugosité de Manning pour une subdivision (n dépend de la nature des parois) A: surface d'écoulement pour une subdivision

R : rayon hydraulique pour une subdivision (surface/périmètre mouillé)

Le programme cumule tous les débits dans les rives pour obtenir un flux pour la rive gauche et un autre pour la rive droite. Le débit total d'une section de calcul est obtenu en additionnant les débits des trois subdivisions (gauche, canal, droite). [8]

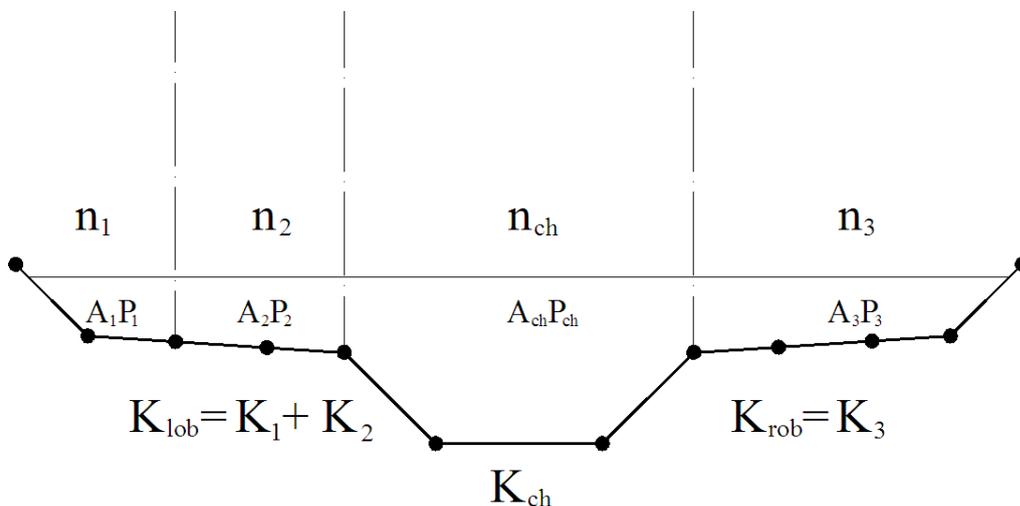


Figure III. 4. Méthode de subdivision du débit par le modèle HEC-RAS

IV.4.3 Evaluation de l'énergie cinétique moyenne

Puisque le logiciel HEC-RAS est un programme de calcul unidimensionnel des profils de la surface de l'eau, seule une surface d'eau et une énergie moyenne sont calculées en chaque section. Pour un niveau donné de la surface d'eau, l'énergie moyenne est obtenue en considérant les énergies correspondantes aux trois parties de la section de calcul (rive gauche, canal principal, rive droite). [3]

Le schéma suivant montre comment obtenir l'énergie moyenne pour une section de calcul:

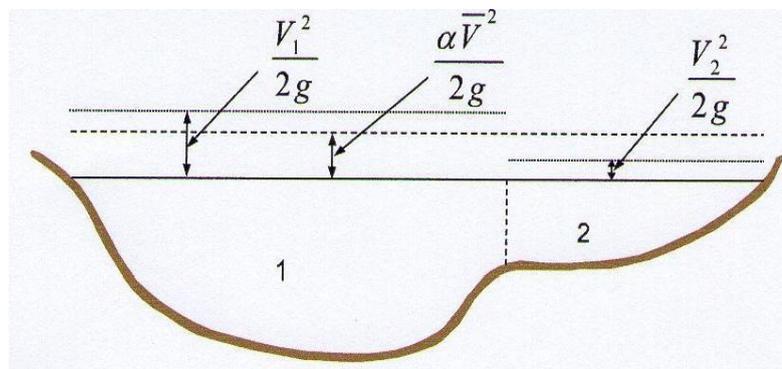


Figure III.5. Exemple de calcul de l'énergie moyenne

V_1 : vitesse moyenne de la surface

V_2 : vitesse moyenne de la surface 2

Pour calculer l'énergie cinétique moyenne il est nécessaire d'obtenir le coefficient de pondération α de la vitesse qui est calculé en se basant sur le flux dans les trois éléments d'écoulement : la rive gauche, le canal principal, la rive droite. Il peut également être écrit en termes de transport et de surface comme c'est indiqué dans l'équation suivante:

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \left[\frac{K_{lob}^3}{A_{lob}^2} + \frac{K_{ch}^3}{A_{ch}^2} + \frac{K_{rob}^3}{A_{rob}^2} \right]}{K_1^3}$$

Où:

α : coefficient de pondération de la vitesse

A_t : surface totale d'écoulement de la section totale de calcul(m^2)

A_{lob} , A_{ch} , A_{rob} : Surface d'écoulement de la rive gauche de canal principal et de la rive droite respectivement (m^2).

K : flux total(m^3/s)

K_{lob} , K_{ch} , K_{rob} : Débit k de la rive gauche, du canal principal et de la rive droite (m^3/s)

IV.4.4 Evaluation de la perte hydraulique(de frottement):

La perte de frottement est évaluée dans HEC-RAS comme le produit S_f et L , où S_f est la pente représentative de frottement pour un tronçon et L est la distance entre deux sections définies par l'équation n°42. La pente de frottement (pente du gradient d'énergie)en chaque section est calculée{partir de l'équation de Manning comme suit:

$$S_f = \left(\frac{Q}{K}\right)^2$$

Équation de débit moyen entre deux sections de calcul(c'est l'équation de défaut employée par le programme)

$$\bar{S}_f = \left[\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2}\right]^2$$

IV.4.5 Evaluation des pertes de contraction et d'expansion

Les pertes de contraction et d'expansion dans HEC-RAS sont évaluées par l'équation suivante :

$$h_{ce} = C \left[\frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right]$$

Avec:

C =coefficient d'Expansion ou de Contraction dont ces valeurs sont représentées par le tableau suivant:

Tableau 23. Valeur des coefficients d'expansion et de contraction utilisés par HEC-RAS

	Coefficient de Contraction	Coefficient d'Expansion
Aucune pert de transition calculée	0.0	0.0
Transition progressive	0.1	0.3
Sections typiques de Pont	0.3	0.5
Transitions brusques	0.6	0.8

Lorsque le changement de la section transversal de la rivière est petit, et le régime d'écoulement est fluvial, les coefficients de contraction et d'expansion prennent les valeurs de 0.1 et 0.3 respectivement. Par contre, Lorsque le changement effectif de la section transversal est brusque comme celui des ponts les coefficients de contraction et d'expansion prennent souvent les valeurs de 0.3 et 0.5.

IV.4.6 Calcul du profil de la surface d'eau

La hauteur inconnue de la surface de l'eau en une section donnée est déterminée par une solution itérative des équations 41-42:

$$WS_2 = WS_1 + \frac{1}{2g} (\alpha_1 V_1^2 - \alpha_2 V_2^2) + h$$

WS: niveau (profil) de la surface de l'eau (m)

IV.4.7 Détermination de la profondeur critique

La profondeur critique pour une section transversale sera déterminée si l'une des conditions suivantes est satisfaisante:

- Le régime d'écoulement torrentiel a été spécifié.
- Le contrôle de nombre de Froude pour un profil sous-critique (Fluvial) indique que la profondeur critique doit être déterminée pour vérifier le régime d'écoulement lié à l'altitude équilibrée.
- Le programme n'a pas pu équilibrer l'équation d'énergie en dessous de la tolérance spécifique avant d'atteindre le nombre maximum d'itérations.

La perte totale d'énergie pour une section transversale est définie par:

$$H = WS + \frac{\alpha V^2}{2g}$$

Avec:

H = perte totale d'énergie

WS : niveau de la surface de l'eau

$\frac{\alpha V^2}{2g}$: Perte de vitesse

La profondeur critique de la surface de l'eau est atteinte lorsque la perte totale d'énergie est au minimum.

IV.4.7 Cas du régime d'écoulement non permanent

Les lois physiques qui régissent l'écoulement d'eau dans un canal sont : le principe de la conservation de la masse et le principe de la conservation de la quantité de mouvement. Ces lois sont exprimées mathématiquement sous forme d'équations différentielles partielles, qui sont désignées ci-après sous le nom d'équations de continuité et de la quantité de mouvement.

IV.5 Equation de continuité

Considérons le volume élémentaire représenté sur la figure suivante, la distance x est mesurée le long du canal. Au point médian du volume, l'écoulement et toute la surface d'écoulement sont dénotés $Q(x, t)$ et A_T . La surface totale d'écoulement est la somme de la surface active du canal et de la zone de stockage.

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_1 = 0$$

Avec q_1 est l'apport latéral par unité de longueur

IV.6 MATERIELS AND METHODES

IV.6.1 Etude hydrologique

Afin de répondre aux objectifs de l'étude, nous avons procédé tout d'abord, à une étude hydrologique basée sur le traitement statistique des données pluviométriques, et le calcul le temps de concentration et les débits fréquentielle pour différentes période de retour par la formule empiriques SOKOLOVSKI .

IV.6.2 Etude hydraulique :

Afin d'élaborer un modèle hydraulique qui simule la propagation de l'onde de crue le long des tronçons étudiés, Nous avons adopté méthodologie basée sur le couplage entre Globale Mapper et HEC-RAS L'ensemble de ces outils constitue un dispositif informatique intégré et cohérent permettant de :

- Télécharger model numérique de train MNT à l'aide globale mapper (figure IV.6)

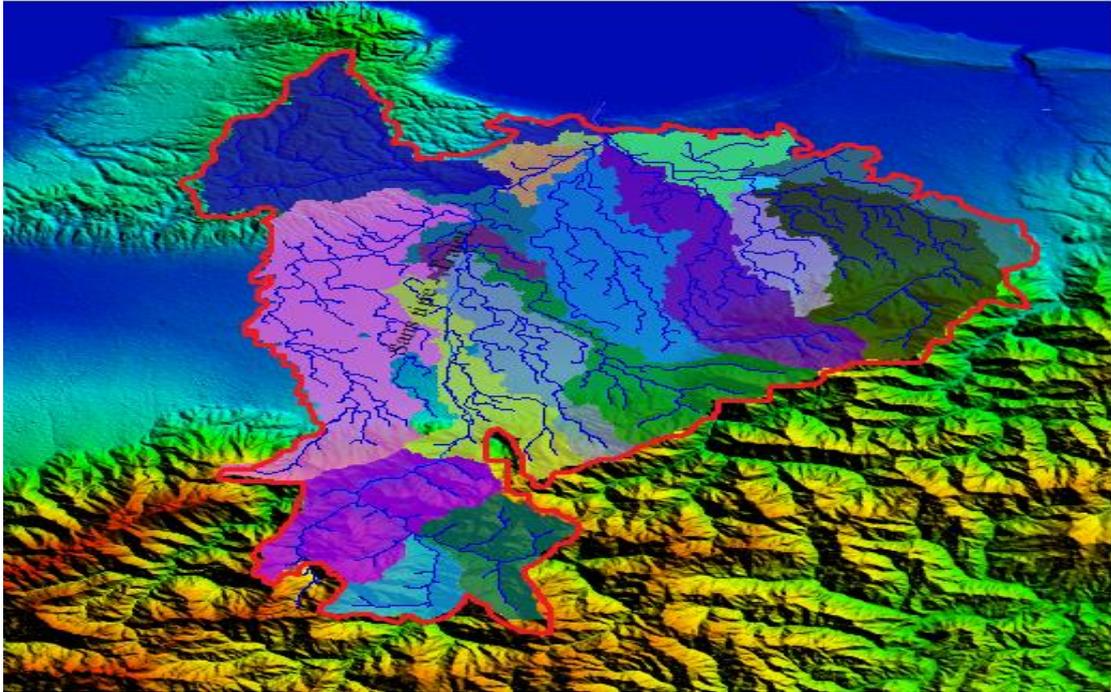


Figure III.6. model numérique terrain de la zone étude par global mapper

- délimitation du bassin versant

Afin de pouvoir délimiter notre bassin versant nous avons utilisé le logiciel Global Mapper qui se base sur la délimitation de la surface des sous bassins qui contribuent à l'écoulement dans le cours d'eau principal qu'est Oued el Harrach.

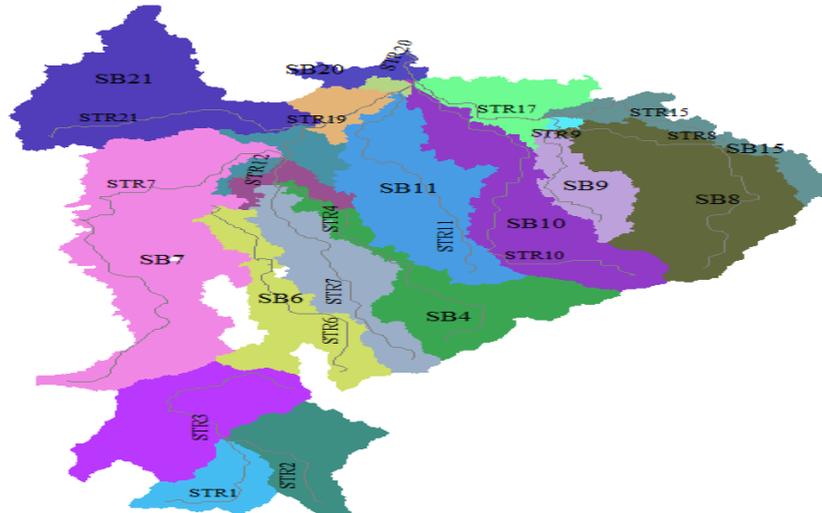


Figure III.7. Délimitation des sous bassins

Chapitre IV Modélisation et simulation par logiciel HEC RAS

- exporter le MNT dans HEC-RAS avec outil ras mapper

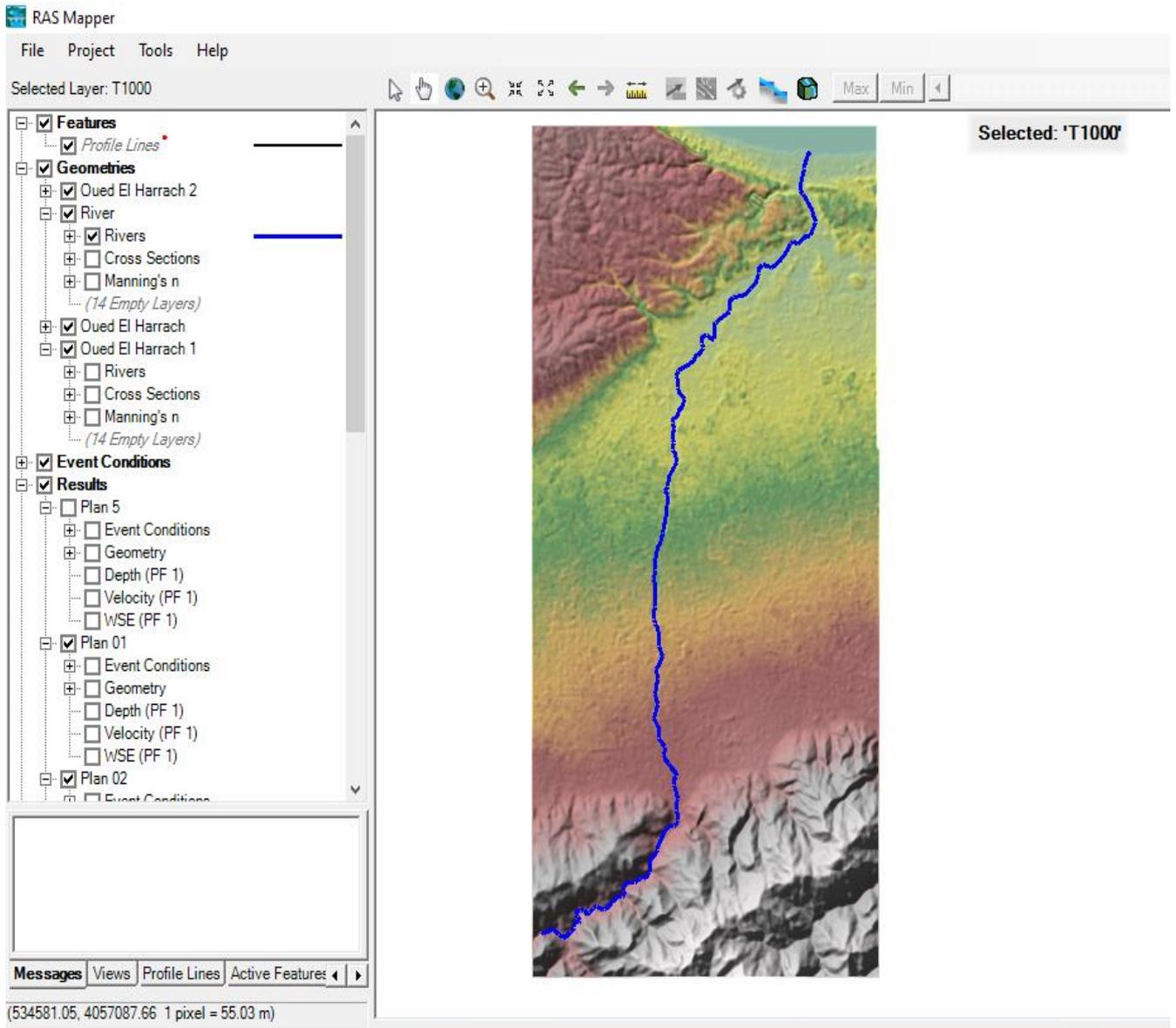


Figure III.8. train de simulation MNT dans ras Mapper (HEC RAS)

- crée les sections en travers dans notre canal pour monodimensionnelle

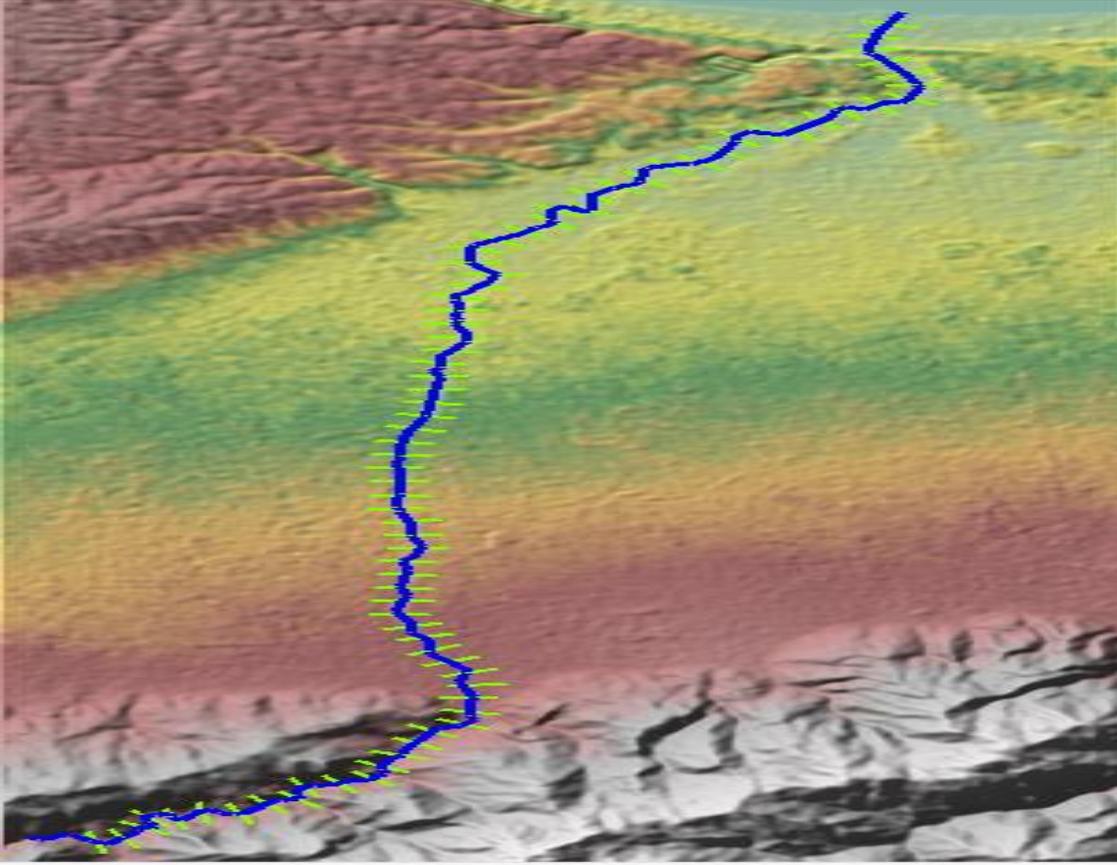


Figure III.9. modèle hydraulique de la simulation La figure montre une partie aménagée de l'oued (ville Harrach)



Figure III.10. Partie aménagée de l'oued (ville Harrach)

Chapitre IV Modélisation et simulation par logiciel HEC RAS

Introduction des conditions aux limites

Les conditions aux limites sont indispensables pour la résolution des équations qui régissent l'écoulement par hypothèse nous considérons que l'écoulement est normal dans les deux section amont et aval de notre domaine d'étude donc la pente hydraulique est égale a la pente géométrique du cours d'eau

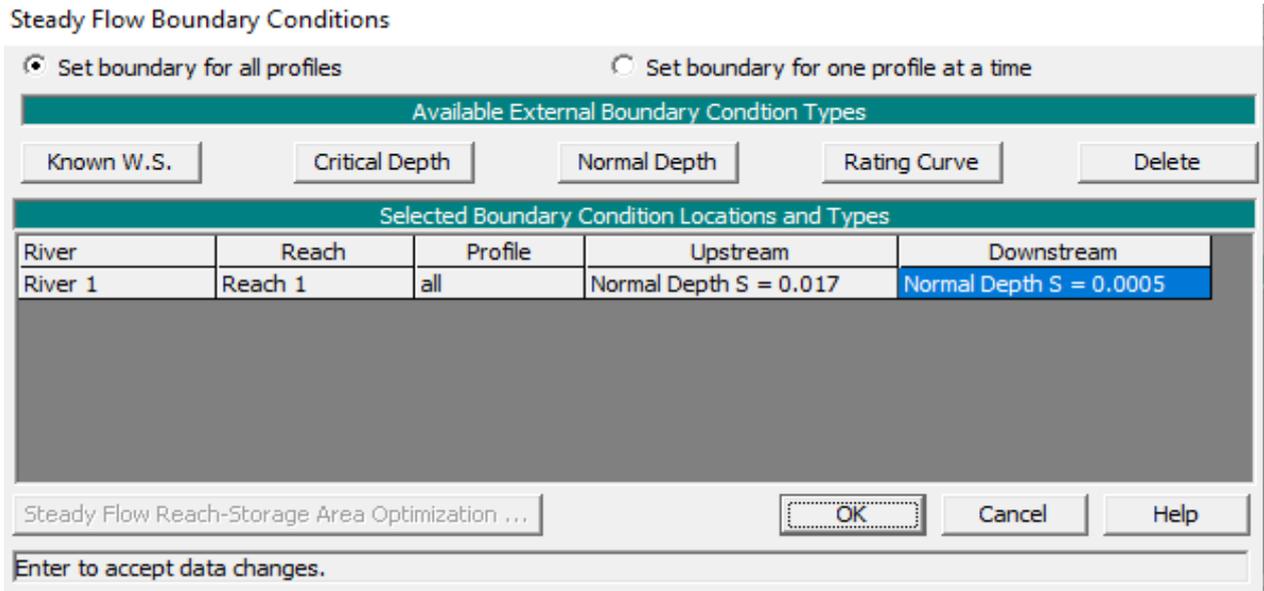


Figure III.11. Introduction des condition aux limites amont et aval

Introduction des données hydraulique

Après finalisation de la partie conception du modelé numérique du terrain nous sommes passés à l'introduction des données hydraulique relatives aux crues fréquentielles de période de retour 100 et 1000ans à savoir les débits max générés par chaque sous bassin.

Flow change location		profile names and flow rates			
	River	Reach	Rs	T100	T1000
1	oued	oued harrach	40816	782.9	947
2	oued	oued harrach	21011.2	1031.64	1291.34
3	oued	oued harrach	18344.3	1324.84	1665.43
4	oued	oued harrach	15685	1605.81	2023.9
5	oued	oued harrach	13.195.8	1969.43	2487.83
6	oued	oued harrach	9818.06	2199.05	2780.82
7	oued	oued harrach	4213.39	2335.93	3044.49
8	oued	oued harrach	3627	3087.58	3939.33

Figure III.12. Introduction des débits max

Rapport de la simulation :

La simulation a été réussie dans le programme sans des problèmes.

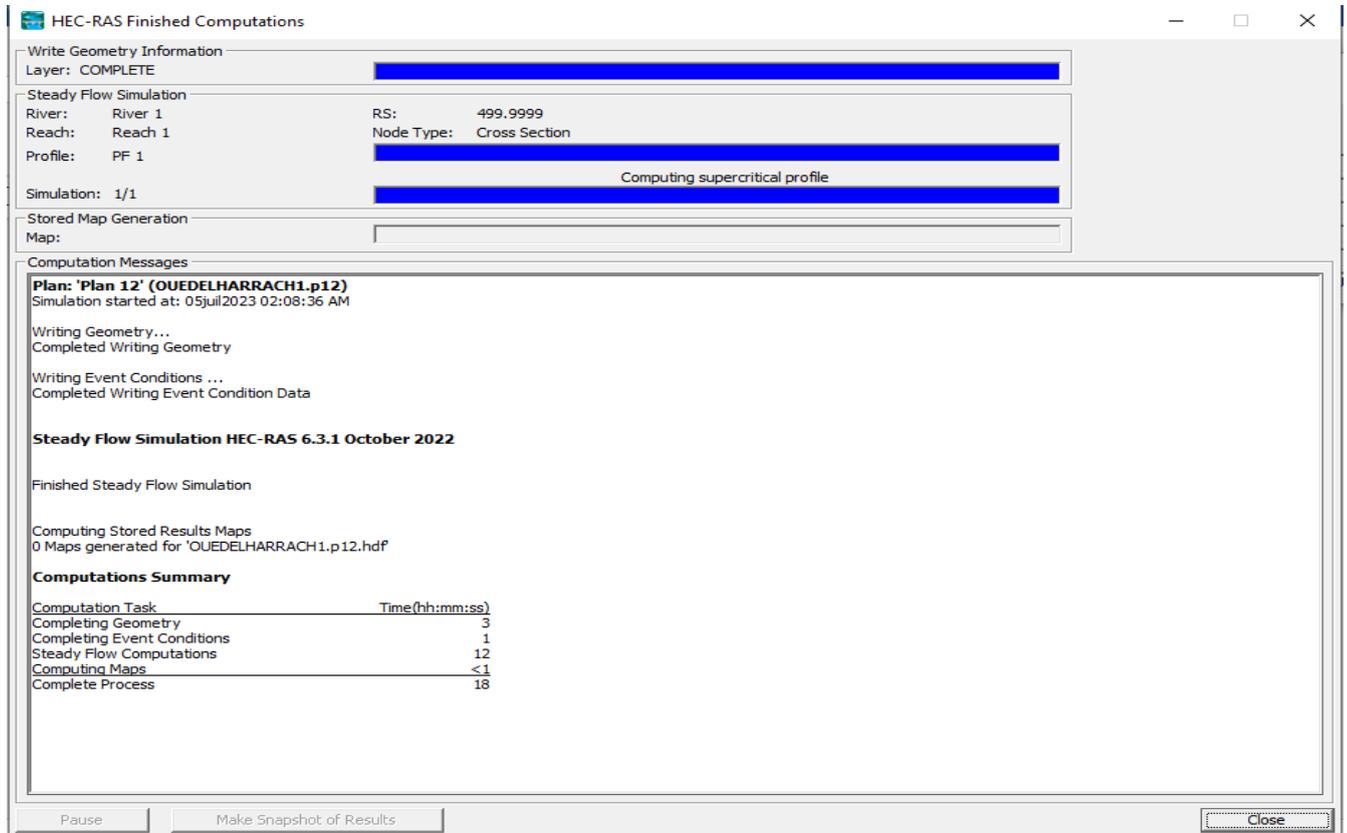


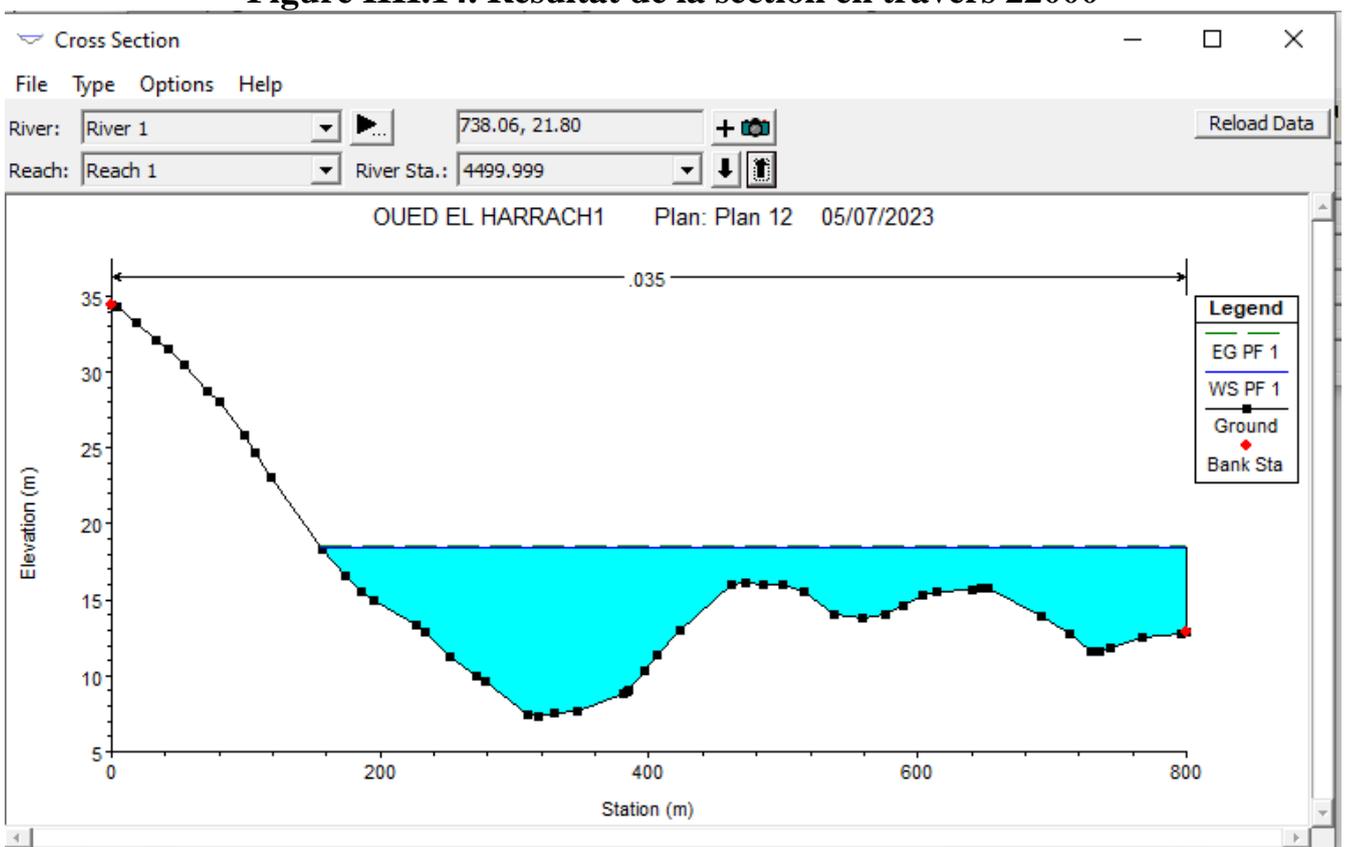
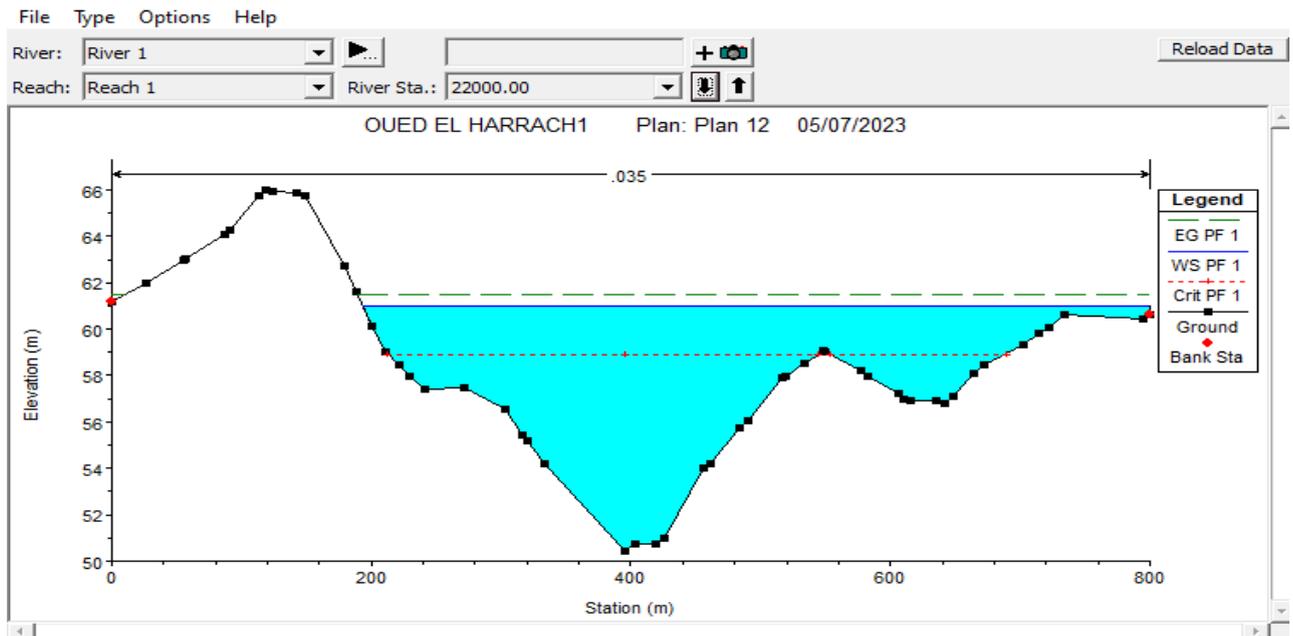
Figure III.13. Rapports de la simulation

Crue fréquentielle T=1000 :

Résultats et discussion :

- *un débordement de l'écoulement de l'eau
- *l'eau dépasse les limites d'oued et la hauteur (Figure 13)
- *nous avons remarqué que les petites surfaces aménagées au niveau de la capitale (Alger) ne supportent pas l'écoulement de l'eau (Figure 15)

Chapitre IV Modélisation et simulation par logiciel HEC RAS



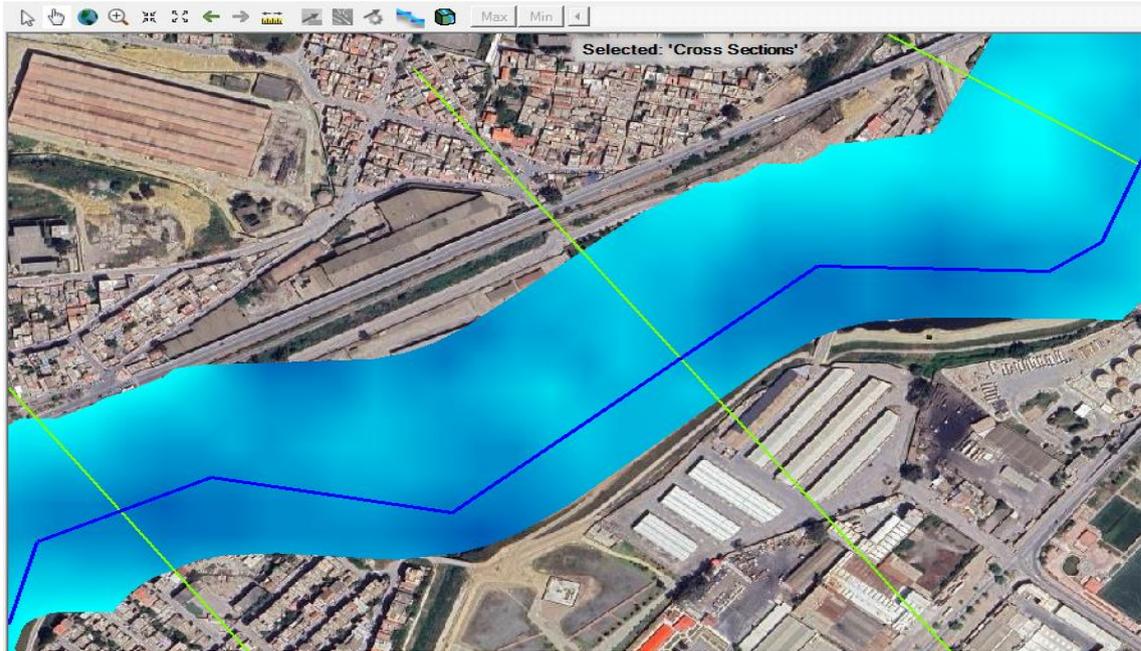


Figure III.16. Partie aménagée inonder de l'oued (ville Harrach)

*Les résultats de calcul de la ligne d'eau est représenté sur le profile suivant (Figure 16à

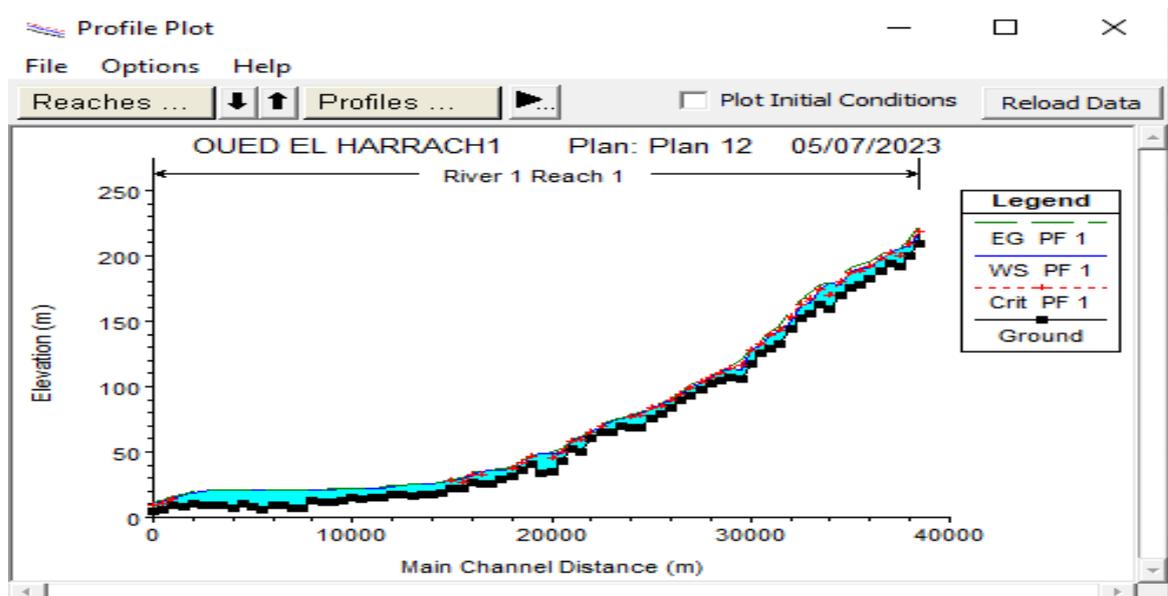


Figure III.17. Profile en long de l'oued Harrach

Les resulta final :

- Après la simulation que nous avons réalisée nous avons découvert que les zones (Figure 17) a été endommagée par l'inondation les résultats de notre étude indiquent clairement que les zones (Figure 17) a été touchée par les crues.
- Résultats de la simulation dans les zones qui ont été inondées par la crue (Figure 18, 19, 20, 21, 22,23)

LES ZONES INONDEES	LES SECTIONS
MAGTAA LAZRAG	(39000,38499)
HAMMAM MELOUANE	(35000,34000)
TAHAMOULET	(31999,29500)
BENTALHA	(15000,12999.)
BARAKI	(11000,7000)
LES 3 CAVES (EL HARRACH)	(5999,3999)

Figure III.18.les zones inondees

- **De la section 39000 à la section 38499** : on constate le débordement de lit de l'oued et on enregistre une largeur max de la station mouillée au niveau de la station 39000 dépassant les 170m et une hauteur de remplissage de plus de 8m

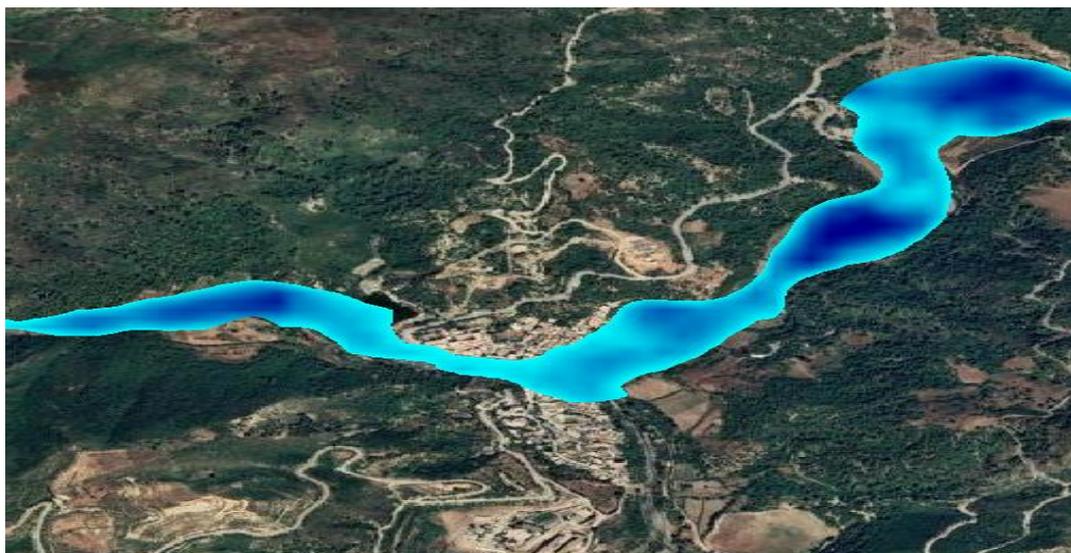


Figure III.19.MAGTAA LAZRAG

Chapitre IV Modélisation et simulation par logiciel HEC RAS

- De la section 39000 à la section 38499 : on constate le débordement de lit de l'oued et on enregistre une largeur max de la station mouillée au niveau de la station 39000 dépassant les 170m et une hauteur de remplissage de plus de 8m
- De la section 35000 à la section 34000 : on constate le débordement de lit de l'oued et on enregistre une largeur max de la station mouillée au niveau de la station dépassant les 106m et une hauteur de remplissage de plus de 7m



Figure. III. 20 HAIMMAM EL OUANE

- De la section 31999 à la section 29500 : on constate le débordement de lit de l'oued et on enregistre une largeur max de la station mouillée au niveau de la station 0 dépassant les 205m et une hauteur de remplissage de plus de 4m

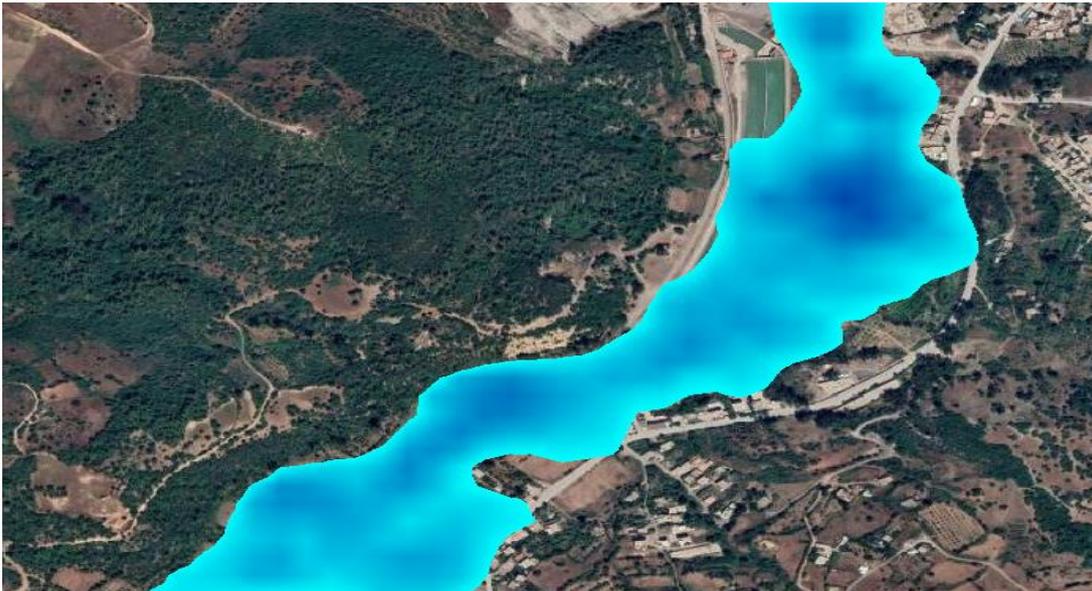


Figure III. 21 .TAHAMOULET

Chapitre IV Modélisation et simulation par logiciel HEC RAS

- De la section 15000 à la section 12999 : on constate le débordement de lit de l'oued et on enregistre une largeur max de la station mouillée au niveau de la station 0 dépassant les 445m et une hauteur de remplissage de plus de 5m



Figure III.22. BENTALHA

- De la section 11000 à la section 7000 : on constate le débordement de lit de l'oued et on enregistre une largeur max de la station mouillée au niveau de la station 39000 dépassant les 454.4m et une hauteur de remplissage de plus de 10m

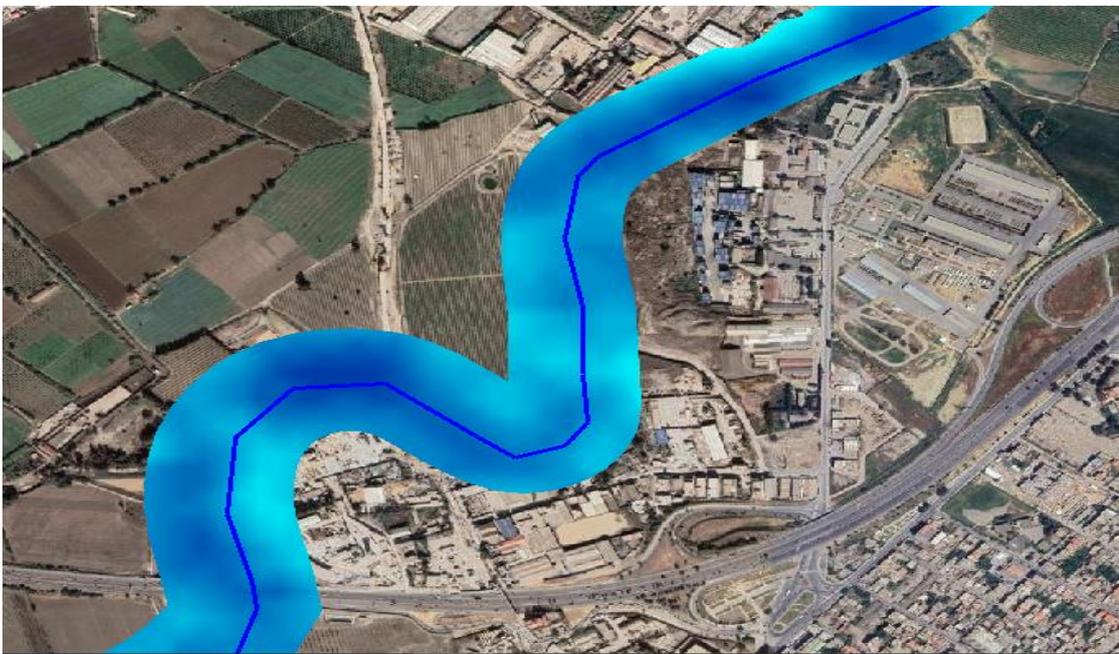


Figure III.23. BARAKI

- De la section 5999 à la section 3999 : on constate le débordement de lit de l'oued et on enregistre une largeur max de la station mouillée au niveau de la station 0 dépassant les 604m et une hauteur de remplissage de plus de 14m

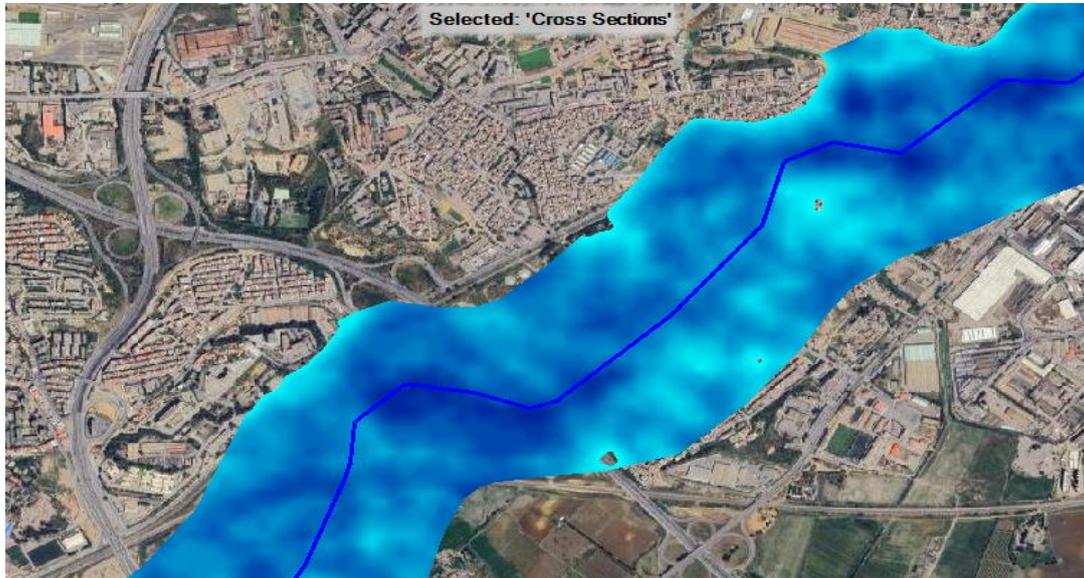


Figure III.24.les 3 caves ELHARRACH

Crue fréquentielle T=100 :

Le résultat de calcul de la ligne d'eau est représenté sur le profile suivants :

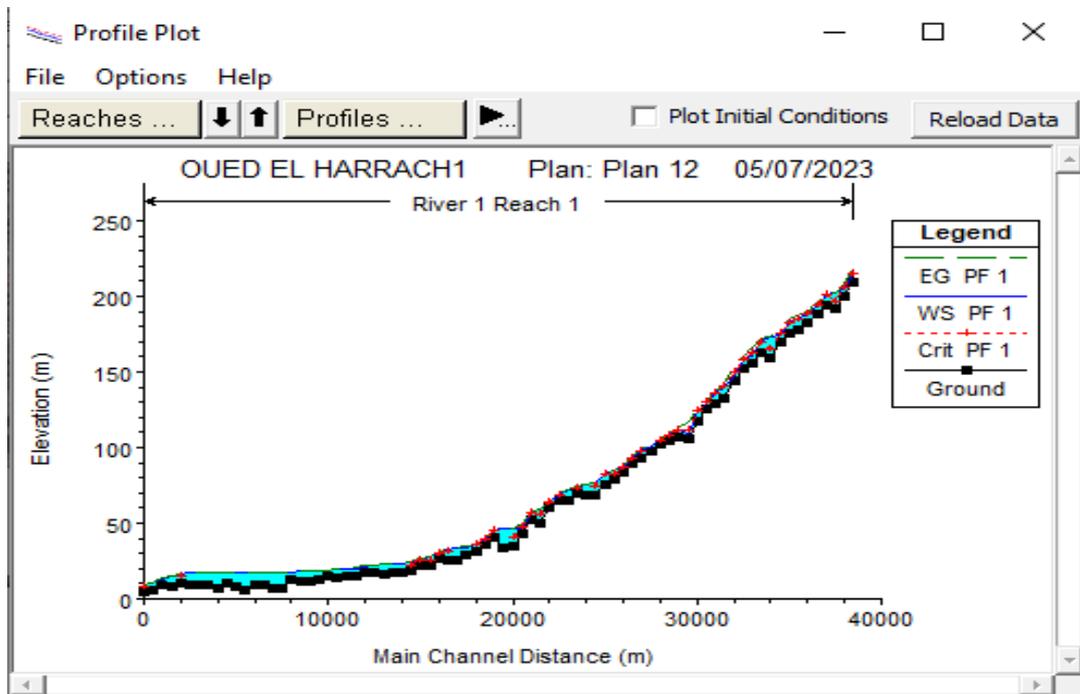


Figure III.25. profile en long de l'oued Harrach T=100ans

De la section 20499 : on constate le débordement de lit de l'oued et on enregistre une largeur max de la station mouillée au niveau de la station 20499 dépassant les 126.35m et une hauteur de remplissage de plus de 5m

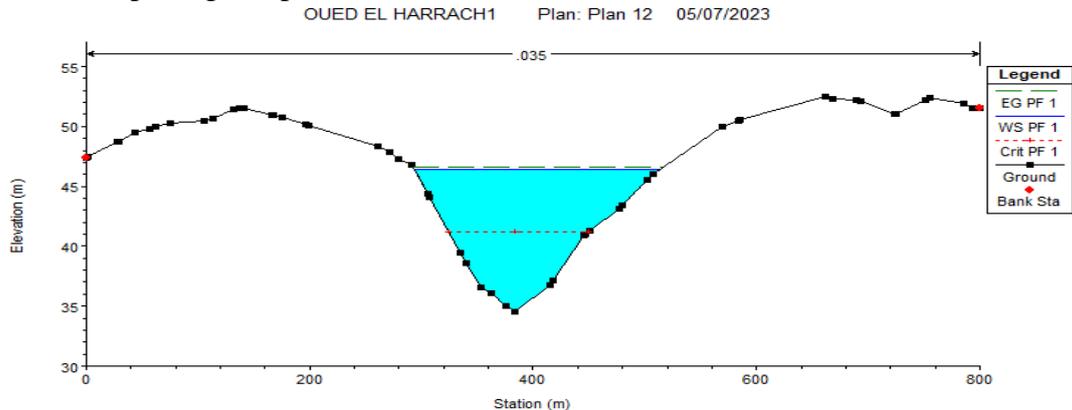


Figure III.26. Résulta de la section en travers 20499

De la section 25999 : on constate le débordement de lit de l'oued et on enregistre une largeur max de la station mouillée au niveau de la station 25999 dépassant les 156.7m et une hauteur de remplissage de plus de 6m

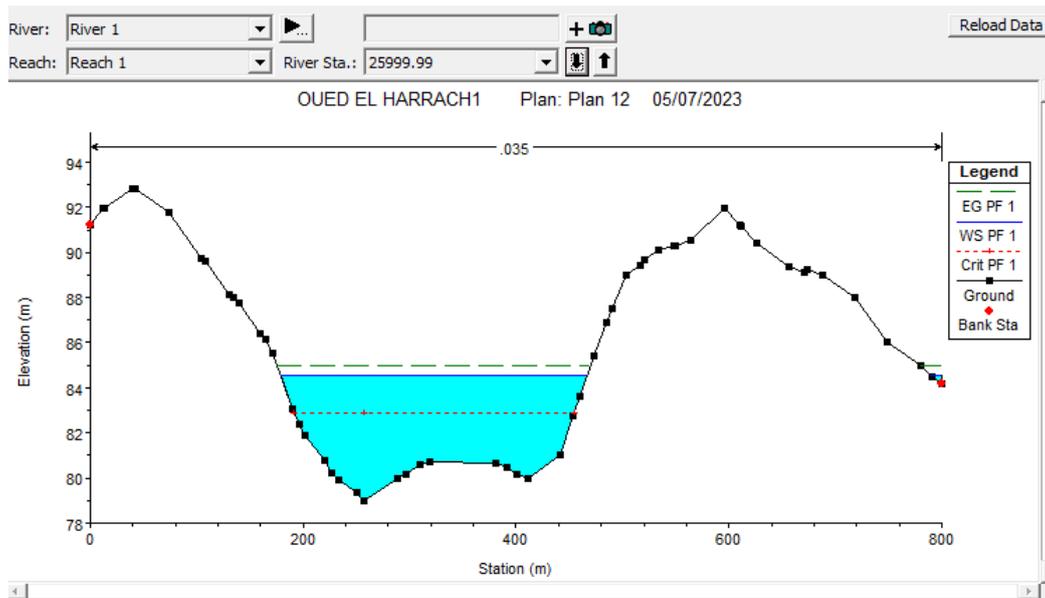


Figure III. 27 .section en travers 25999



Figure III.28. l'écoulement de l'eau dans le canal

Simulation débits 6000 m³/s et 8000m³/s :

Nous avons fait cette simulation pour connaitre leur alea en cas d'inondation soudaine

Résulta de la simulation :

*Les sections ne supportent pas les débits 6000m³ et 8000m³. (Figure28)(Figure29)

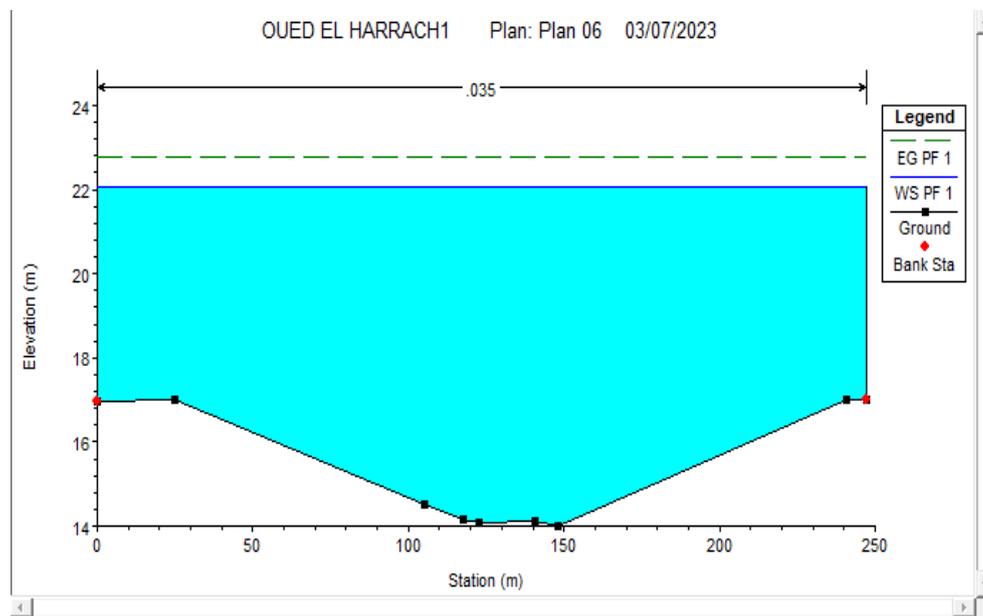


Figure III.29. Résulta de la section en travers pour 6000m³/s

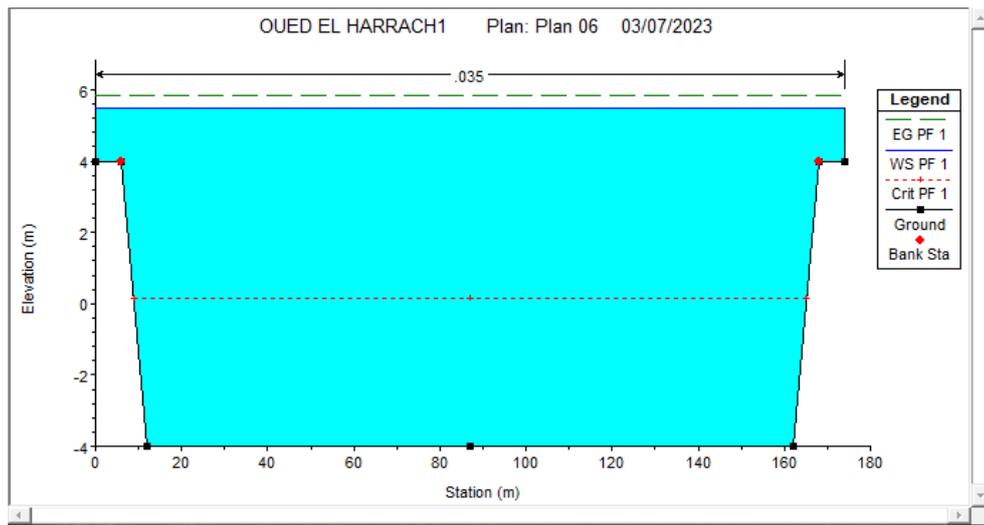


Figure III.30. section rectangulaire pour débit 8000m³/s



Figure III.31. section rectangulaire pour débit 8000m³/s

Résultats :

Notre étude a révélé que les débits de 8000 m³/s et 6000 m³/s sont extrêmement dangereux pour les villes proches de l'Oued Harrach.

Conclusion

Dans cette étude nous avons essayé calibré le model monodimensionnel et bidimensionnelle plusieurs fois avec 0.5 second et 0.2 second mais même problème avec les résultat .

la simulation elle a marché mais les résultat de débits son pas logique problème de stabilitéde model.

Conclusion General

Conclusion General :

Notre étude a utilisé le logiciel HEC-RAS pour évaluer les conséquences potentielles d'une inondation sur oued El Harrach. En utilisant différentes valeurs, nous avons pu simuler les scénarios de crue et déterminer les zones susceptibles d'être endommagées en cas d'inondation. Les résultats de notre étude ont confirmé que ces valeurs étaient appropriées, et qu'une inondation est susceptible de se produire, entraînant des dommages dans certaines zones.

Après avoir terminé notre étude, nous avons pu identifier les zones à risque le long de oued El Harrach. Ces zones incluent les zones basses, les zones proches des rives et les zones où le débit de la rivière est plus élevé. Les habitations, les infrastructures et les terres agricoles situées dans ces zones sont particulièrement vulnérables aux inondations.

Il est essentiel de prendre des mesures de prévention et de gestion des inondations pour minimiser les dommages potentiels. Les autorités compétentes devraient envisager la construction de digues, de canaux de dérivation ou d'autres systèmes de protection pour réduire les risques d'inondation le long oued El Harrach. De plus, la sensibilisation des résidents et l'élaboration de plans d'évacuation d'urgence sont également cruciales pour garantir la sécurité de la population en cas de crue.

En conclusion, notre étude met en évidence la probabilité d'une inondation le long de oued El Harrach, ainsi que les zones qui seront potentiellement touchées. Il est impératif de prendre des mesures préventives pour minimiser les dommages et protéger les communautés vivant le long de la rivière. En mettant en œuvre des mesures de prévention et de gestion des inondations appropriées, nous pourrions atténuer les risques et assurer la sécurité de la population.

Références bibliographiques

- [1]:ANRH.blida
- [2]:HEDDID houda .MERAKE Meriem : contribution a la gestion des risques d'inondation par application de la méthode diondiabilité mémoire de master 2018.2019
- [3]:Global mapper : version 18.0
- [4]: ONM : L'office National de la Météorologie
- [5]: Madame maou. A cour hydrologie
- [6]:Mr. Belkacemi Mahfoud Mr. Benaouf Mokrane : ETUDE D'AMENAGEMENT DE COURS D'EAU IBOUHATHMANE DANS LA COMMUNE DE BEIAIA EN VUE D'UNE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS
- [7]:River Analysis System HEC-RAS : Version 6.0: Hydraulic Reference Manual, et application GUIDE. US Army Corps of Engineers. Mars 2008.
- [8]:River Analysis System HEC-RAS : Version 6.0: User's Manuel Hydrology Engineering Center (HEC). US Army Corps of Engineers.
- [9] : consulte le <http://www.youtube.com/watch>
- [10] : consulté le <http://video-aol.com/video-detai>
- [11] :www.wilayadeblida.dz/
- [12]:www.googlemap.com
- [13]:www.googleEarth.com
- [14]:www.prim.net
- [15]: www.blidanostalgiepagespers.fr
- [16] www.wikipidia.com