REPUBLIQUEALGERIENNEDEMOCRATIQUEETPOPULAIRE
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 :

Hoceine Abdelmalek

Thème

Contribution à l'évaluation des risques d'inondations dans la ville de Larbaa wilaya de Blida

Devant le jury composé de:

Mr. Belkacem Filali M'hamed	MCB, Univ Blida 1	**Président**
Mme. Taibi Sabrina	MCA, Univ Blida 1	**Examinatrice**
Mr. Haddad Ali	MCA, Univ Blida 1	**Promoteur**

Année Universitaire : 2024/2025

تحية وشكر

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله الذي علم الإنسان ما لم يعلم، والصلاة والسلام على أشرف المرسلين، سيدنا محمد، وعلى آله وصحبه أجمعين.

يسعدني أن أُقدّم هذا العمل المتواضع كمشروع لنهاية السنة، تحت إشراف أساتذتي الكرام في جامعة البليدة 1 – سعد دحلب، كلية علوم المياه والري والطبيعة، ضمن مساري الأكاديمي في ميدان البيئة والموارد المائية.

وإنه لمن دواعي الشرف والامتنان أن أُعبر عن خالص شكري وتقديري لكل من مشرفي الاستاذ علي حداد على مجهوداته بالإضافة الى ابي رحمة الله عليه الذي اعالني طول كامل مساري الدراسي كما اشكر اصدقائي ادريس وهشام وعائلتي وساهم من قريب أو بعيد في إنجاز هذا المشروع، راجيًا من الله تعالى أن يُكلل هذا الجهد المتواضع بالتوفيق، وأن يُسهم، ولو بالقليل، في خدمة البحث العلمي وتطوير أدوات تقييم وإدارة مخاطر الفيضانات في بلادنا.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل خطر الفيضانات في مدينة لرباعه (ولاية البليدة) من خلال النمذجة والمحاكاة الهيدروليكية لانتشار الفيضانات المتكررة لوادي جماعة باستخدام برنامج HEC-RAS مع مكونه .RasMapper بعد تصميم النموذج الرقمي للسطح وإدخال البيانات الهيدروليكية وظروف الحدود، قمنا بمحاكاة السيناريوهات المختلفة للفيضانات باختيار التدفق الدائم أحادي البعد. أظهرت النتائج أن الخصائص الهندسية الحالية للوادي لا تسمح بعبور طبيعي للفيضانات الشديدة، مما يعرض المناطق المجاورة لمخاطر الفيضانات الكبيرة. تم اقتراح حلول تقنية، بما في ذلك تصحيح محور الوادي وبناء سدود جانبية مع حماية للضفاف. ستسمح هذه الترتيبات بتقليل مخاطر الفيضانات بشكل كبير وتحسين أمان المناطق السكنية والبنية التحتية.

Résumé

Cette étude a pour objectif l'analyse du risque d'inondation dans la ville de Larabaa (w. Blida) par le biais de la modélisation et simulation hydraulique de la propagation des crues fréquentielles d'Oued Djamaa en utilisant le logiciel HEC-RAS avec sa composante RasMapper. Après la 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 pour l'écoulement permanent monodimensionnel. Les résultats ont montré que les caractéristiques géométriques actuelles de l'oued ne permettent pas un transit normal des crues extrêmes, ce qui expose les zones avoisinantes à des risques d'inondations trop importants. Des solutions techniques ont été proposées, notamment la correction de l'axe de l'oued et la construction de digues latérales avec une protection des berges en gabion. Ces aménagements vont permettre de réduire significativement les risques d'inondation et d'améliorer la sécurité des zones résidentielles et des infrastructures.

Abstract

This study aims to analyze the flood risk in the city of Larabaa (w. Blida) through the hydraulic modeling and simulation of the frequency flood propagation of Oued Djamaa using the HEC-RAS software with its RasMapper component. After designing the digital terrain model and introducing the hydraulic data and boundary conditions, we simulated the different flood scenarios by opting for one-dimensional steady flow. The results showed that the current geometric characteristics of the wadi do not allow for normal transit of extreme

floods, which exposes the surrounding areas to significant flood risks. Technical solutions have been proposed, including the correction of the riverbed axis and the construction of lateral dikes with gabion bank protection. These developments will significantly reduce the risk of flooding and improve the safety of residential areas and infrastructure.

Sommaire

تحية وشكر 1
ملخص 1
SOMMAIRE 1
LISTE DES FIGURES 1
LISTE DES TABLEAUX 1
INTRODUCTION GENERALE 1
CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES INONDATIONS 3
INTRODUCTION 3
I.1. QUELLES DEFINITIONS 3
I.2.1. L'aléa 3
I.2.2. L'enjeu 4
I.2.3. Le risque majeur : 5
I.2.4. La vulnérabilité 5
I.3. PHENOMENE D'INONDATION ET SES TYPES 5
I.3.2. Les inondations 5
I.3.2. Types d'inondation 6
1- Inondations fluviales (de crue) 6
2- Inondations pluviales (par ruissellement) 6
3- Inondations côtières 7
4- Inondations par remontée de nappe phréatique 7
5- Inondations de rupture d'ouvrage 8
I.4. LE DEBIT DE LA RIVIERE 8
I.4.1. La crue 8
I.4.2. L'étiage 9
I.5. LE LIT DE LA RIVIERE 9
I.5.1. Le lit mineur 9
I.5.2. Le lit majeur 9
I.5.3. Le lit moyen d'une rivière 9
I.6. LE PROCESSUS DE FORMATION DES CRUES 10
I.6.1. L'eau mobilisable 10
I.6.2. Le ruissellement 11
I.6.3. Le temps de concentration 11
I.6.4. La propagation de l'onde de crue 11
I.7. L'INFLUENCE DES FACTEURS NATURELS 11
I.7.1. Les précipitations et leur répartition 11
I.7.2. Le rôle du sol et de la végétation 12
I.7.3. L'INFLUENCE DE LA TOPOGRAPHIE 12
I.7.4. Facteurs naturels aggravants 12
I.7.5. Quelques précisions 12
I.8. LE RISQUE D'INONDATION 13
I.8.1. L'impact des activités humaines 13
I.8.2. Conséquences sur les populations, les biens et les activités 13
I.8.3. Impacts environnementaux 14
I.8.4. Éléments techniques et solutions d'atténuation 14

I.9. L'ALEA INONDATION 15
I.9.1. La période de retour des crues 15
I.9.2. La hauteur et la durée de submersion 15
I.9.3. La vitesse du courant 15
I.9.4. Le transport solide 15
I.9.5. Influence de la morphologie des rivières 16
I.9.6. Quelques précisions 16
I.9.7. Historique des inondations 16
I.10. CONCLUSION 21

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE 24

INTRODUCTION 24
II.1. HISTOIRE 24
II.2. DEMOGRAPHIE 24
II.3. LOCALISATION DE LA ZONE ETUDE 25
II.3.1. Situation géographique 25
II.3.2. Situation topographique 26
II.3.3. Situation géologique 27
II.4. VEGETATION 27
II.5. CLIMAT 28
II.5.1. La température 29
II.5.2. L'humidité 30
II.5.3. Le vent 30
II.6. CONCLUSION 31

CHAPITRE III : CALCUL DES CRUES FREQUENTIELLES 33

INTRODUCTION 33
III.1. LE BASSIN VERSANT 33
III.1.1. Définition et délimitation d'un bassin versant 33
III.1.2. Comportement hydrologique 35
III.2. CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DU BASSIN VERSANT 36
III.2.1. LA SURFACE 36
III.2.2. Le périmètre 37
III.2.3. Indice de compacité de Gravelius 37
III.2.4. Rectangle équivalent 38
III.2.5. Temps de concentration 38
III.2.6. Vitesse moyenne de ruissellement 40
III.3. ANALYSE DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES 40
III.3.1. L'étude des pluies maximales journalières 41
III.3.2. Ajustement des pluies maximales journalières 44
III.4. PLUIE DE COURTE DUREE 50
III.5. CARACTERISTIQUES DE L'ECOULEMENT 52
III.6. ETUDE DE CRUES 54
III.7. DIFFERENTES METHODES D'EVALUATION DES CRUES 54
III.7.1. Méthodes déterministes 55
III.8. APPLICATION SUR LE BASSIN VERSANT 55
III.9. HYDROGRAMME DES CRUES 58
III.10. CONCLUSION 60

CHAPITRE IV : MODELISATION ET SIMULATION HYDRAULIQUE PAR LOGICIEL HE-RAS 63

INTRODUCTION 63

IV.1. MATERIELS ET METHODE 63
IV.1.1. Présentation du logiciel HEC RAS 63
IV.1.2. Equations de base 63
IV.1.3. Les fichiers constituant un projet HEC-ras 66
1. Fichier Projet (.PRJ) : 66
2. Fichier Géométrie (G01 à G99) 66
3. Fichier Débit 66
4. Fichier Plan : 67
5. Fichier Simulation 67
6. Fichier Résultats 67
IV.1.4. Démarrage de HEC-RAS 67
IV.2. METHODOLOGIE 69
IV.2.1. Conception du modèle numérique du terrain (MNT) 70
IV.2.2. Tracé en plan de l'oued 70
IV.2.3. Téléchargement du Model SRTM 71
IV.2.4. Délimitation du bassin versant 72
IV.2.5. Positionnement des stations 72
IV.2.6. Profil en long d'Oued el Djemaa 72
IV.2.7. Section type de l'aménagement existant d'Oued el Djemaa 73
IV.3. INTRODUCTION DES DONNEES HYDRAULIQUES 75
IV.3.1. Introduction des conditions aux limites 76
IV.3.2. Lancement de la simulation 76
IV.3.3. Rapport de la simulation 77
IV.4. RESULTATS ET DISCUSSION 77
IV.4.1. Crues fréquentielle (T=100 ans) 77
IV.4.2. Crues fréquentielle (T=1000 ans) 82
IV.4.3. CRUES FREQUENTIELLE (T=10 000 ANS) 86
IV.5. CONCLUSION 91
IV.6. SOLUTIONS ET SUGGESTIONS 91
IV.7. SIMULATION ET COMPARAISON 95
IV.7.1. Simulation 95
IV.7.2. Comparaison 96

CONCLUSION GENERALE 100

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 101

Liste des Figures

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES INONDATION

FIGURE I. 1: L'ALEA 4
FIGURE I. 2: L'ENJEU 4
FIGURE I. 3: LE RISQUE MAJEUR 5
FIGURE I. 4: INONDATIONS FLUVIALES 6
FIGURE I. 5: INONDATIONS PLUVIALES 6
FIGURE I. 6: INONDATIONS CÔTIÈRES 7
FIGURE I. 7: INONDATIONS PAR REMONTEE DE NAPPE 7
FIGURE I. 8: BASSIN VERSANT 8
FIGURE I. 9: LIT MINEUR, LIT MOYEN, LIT MAJEUR 10
FIGURE I. 10: HYDROGRAMME DE CRUE 14
FIGURE I. 11: LE TRANSPORT SOLIDE 16
FIGURE I. 12: INONDATION DE ANNABA 18
FIGURE I. 13: INONDATION BAB EL OUED 19
FIGURE I. 14: BAB EL OUED 2001 20

CHAPITRE II : Présentation de la zone étude

FIGURE II. 1: COMMUNES LIMITROPHES DE LARBAA 25
FIGURE II. 2: VUE SATELLITE PAR GOOGLE MAPS 26
FIGURE II. 3: SITUATION TOPOGRAPHIQUE DE L'OUED DJEMAA 27
FIGURE II. 4: LA VEGETATION DE LA ZONE D'ETUDE 28
FIGURE II. 5: GRAPHE DE REPARTITION MENSUELLE DE TEMPERATURE 29
FIGURE II. 6: GRAPHE D'HUMIDITE 30
FIGURE II. 7: GRAPHE OMRO-THERMIQUE 31

Chapitre III : CALCUL DES CRUES FREQUENTIELLES

FIGURE III. 1: DELIMITATION D'UN BASSIN VERSANT 34
FIGURE III. 2: BASSIN VERSANT TOPOGRAPHIQUE ET BASSIN VERSANT REEL 35
FIGURE III. 3: BASSIN VERSANT DE LA ZONE D'ETUDE 36
FIGURE III. 4: REPRESENTATION DES OBSERVATIONS SUR PAPIER NORMALE 43
FIGURE III. 5: HISTOGRAMME DES OBSERVATIONS 43
FIGURE III. 6: AJUSTEMENT A LA LOI DE GALTON 47
FIGURE III. 7: AJUSTEMENT A LA LOI DE GUMBEL 49
FIGURE III. 8: COMPARAISON ENTRE LES DEUX LOIS D'AJUSTEMENT 50
FIGURE III. 9: COURBES DES PLUIES FREQUENTIELLES 52

Chapitre IV : Modélisation et Simulation Hydraulique par logiciel HEC-RAS

FIGURE IV. 1: VOLUME DE CONTROLE ELEMENTAIRE POUR LA DERIVATION DES EQUATIONS DE CONTINUITE ET DE VITESSE 64
FIGURE IV. 2: EXEMPLE DE SECTION AVEC HAUTEUR D'EAU 65
FIGURE IV. 3: PROJET NOUVEAU 66
FIGURE IV. 4: FENETRE PRINCIPALE DE HEC- RAS 6.6 68
FIGURE IV. 5: SCHEMA METHODOLOGIQUE 70

FIGURE IV. 6: TRACE EN PLAN D'OUED EL DJEMAA 71
FIGURE IV. 7: MODELE NUMERIQUE DU TERRAIN MNT....71
FIGURE IV. 8: EMPLACEMENT DES SECTIONS EN TRAVERS DE L'OUED 72
FIGURE IV. 9:PROFIL EN LONG D'OUED EL DJEMAA....73
FIGURE IV. 10: SECTION DU CANAL EXISTANT 74
FIGURE IV. 11: PARTIE SEMI- AMENAGEE DE L'OUED....75
FIGURE IV. 12: INTRODUCTION DE DEBITS MAX 75
FIGURE IV. 13: INTRODUCTION DES CONDITIONS AUX LIMITES AMONT ET AVAL....76
FIGURE IV. 14: LANCEMENT DE LA SIMULATION 76
FIGURE IV. 15: RAPPORT DE SIMULATION 77
FIGURE IV. 16: PROFIL EN LONG DE LA LIGNE D'EAU (Q 100 ANS)....78
FIGURE IV. 17: NIVEAU D'EAU A LA SECTION 7529....78
FIGURE IV. 18: NIVEAU D'EAU A LA SECTION 4371....79
FIGURE IV. 19: NIVEAU D'EAU A LA SECTION 5319....79
FIGURE IV. 20: NIVEAU D'EAU A LA SECTION 6756....80
FIGURE IV. 21: LE GRAND RISQUE ROUTE NATIONAL N29 80
FIGURE IV. 22:NIVEAU D'EAU A LA SECTION 2317....81
FIGURE IV. 23: LE GRAND RISQUE LES ZONES RESIDENTIELLES 81
FIGURE IV. 24: NIVEAU D'EAU A LA SECTION 1608....82
FIGURE IV. 25: PROFIL EN LONG DE LA LIGNE D'EAU (Q 1000 ANS)....82
FIGURE IV. 26: NIVEAU D'EAU A LA SECTION 7770....83
FIGURE IV. 27: IVEAU D'EAU A LA SECTION 6098 83
FIGURE IV. 28: NIVEAU D'EAU A LA SECTION 4371....84
FIGURE IV. 29: PONT DE ROUTE NATIONAL N29....85
FIGURE IV. 30: NIVEAU D'EAU A SECTION 1608....85
FIGURE IV. 31: ZONE DE RISQUE....86
FIGURE IV. 32: PROFIL EN LONG DE LA LIGNE D'EAU (Q 10000 ANS)....86
FIGURE IV. 33: NIVEAU D'EAU A LA SECTION 7770....87
FIGURE IV. 34: NIVEAU D'EAU A LA SECTION 6098....87
FIGURE IV. 35: LE RISQUE SUR CITE 5 JUILLET....88
FIGURE IV. 36: NIVEAU D'EAU A LA SECTION 782 88
FIGURE IV. 37: RISQUE SUR LES ZONES RESIDENTIELLES ET AGRICOLES....89
FIGURE IV. 38: RESULTAT DE LA SIMULATION (MNT)....90
FIGURE IV. 39: CARTE DE ZONE DE RISQUE D'INONDATION (VUE SATELLITAIRE)....91
FIGURE IV. 40: LA SECTION 5772 AVANT AMENAGEMENT....92
FIGURE IV. 41: LA SECTION 5772 APRES AMENAGEMENT....93
FIGURE IV. 42: LA SECTION 3578 AVANT AMENAGEMENT....93
FIGURE IV. 43: LA SECTION 3578 APRES AMENAGEMENT....94
FIGURE IV. 44: LA SECTION 782 AVANT AMENAGEMENT....94
FIGURE IV. 45: LA SECTION 782 APRES AMENAGEMENT 95
FIGURE IV. 46: SIMULATION (Q=900M3/S)....95
FIGURE IV. 47: RAPPORT DE SIMULATION (Q=900M3/S)....96
FIGURE IV. 48: NIVEAU D'EAU DANS LE CANAL AVANT AMENAGEMENT (SECTION 5772)....96
FIGURE IV. 49: NIVEAU D'EAU DANS LE CANAL APRES AMENAGEMENT (SECTION 5772) 97
FIGURE IV. 50:NIVEAU D'EAU DANS LE CANAL AVANT AMENAGEMENT (SECTION 3578)....97
FIGURE IV. 51: NIVEAU D'EAU DANS LE CANAL APRES AMENAGEMENT (SECTION 3578) 98
FIGURE IV. 52: NIVEAU D'EAU DANS LE CANAL AVANT AMENAGEMENT (SECTION 782)....98
FIGURE IV. 53: NIVEAU D'EAU DANS LE CANAL APRES AMENAGEMENT (SECTION 782) 99

Liste des tableaux

CHAPITRE II : Présentation de la zone étude

TABLEAU II. 1: REPARTITION MENSUELLE DE PRECIPITATION MOYENNE 28
TABLEAU II. 2: REPARTITION MENSUELLE DE TEMPERATURE 29
TABLEAU II. 3: REPARTITION MENSUELLE DES HUMIDITES 30
TABLEAU II. 4: REPARTITION MENSUELLE DE VENT 30
TABLEAU II. 5: REPARTITION MENSUELLE DE PRECIPITATION ET TEMPERATURE MOYENNE 31

Chapitre III : CALCUL DES CRUES FREQUENTIELLES

TABLEAU III. 1: LA SURFACE DES SOUS BASSINS VERSANTS 36
TABLEAU III. 2: LE PERIMETRE DES SOUS BASSINS VERSANTS 37
TABLEAU III. 3: INDICE DE GRAVELIUS DES SOUS BASSINS VERSANTS 37
TABLEAU III. 4: LA LONGUEUR E EQUIVALENTE ET LA LARGEUR DE RECTANGLE EQUIVALENT 38
TABLEAU III. 5: TABLEAU DES CALCULS 39
TABLEAU III. 6: TEMPS DE CONCENTRATION (GIANDOTTI) 40
TABLEAU III. 7: LA VITESSE DE RUISSELLEMENT 40
TABLEAU III. 8: STATION PLUVIOMETRIQUE LARBAA (SOURCE ANRH) 41
TABLEAU III. 9: SERIES DES PLUIES MAXIMALES JOURNALIERES (1990-2019) A LA STATION LARBAA 41
TABLEAU III. 10: CARACTERISTIQUES DE LA SERIE DE DONNEES 42
TABLEAU III. 11: RESULTATS D'AJUSTEMENT A LOI DE GALTON LOG NORMAL 46
TABLEAU III. 12: RESULTATS D'AJUSTEMENT A LOI GUMBEL 48
TABLEAU III. 13: (PLUIES DE DUREE T(H) ET PERIODE DE RETOUR ANS) 51
TABLEAU III. 14: LES CARACTERISTIQUES DE L'ECOULEMENT 54
TABLEAU III. 15: VALEUR DE Γ EN FONCTION DE BASSIN VERSANT 56
TABLEAU III. 16: TEMPS DE CONCENTRATION ET LA PLUIE DE COURTE DUREE POUR LES PERIODES DE RETOUR (10, 100, 1000,10000 ANS) 57
TABLEAU III. 17: LE DEBIT MAX POUR LES PERIODES DE RETOUR (10, 100, 1000,10000 ANS) 58
TABLEAU III. 18: COEFFICIENT DE FORME DE L'HYDRO GRAMME DE CRUE Δ 59
TABLEAU III. 19: LE DE MONTEE DE DECRUE ET LE TEMPS DE BASE POUR LES SEPT BASSINS VERSANTS 60

Chapitre IV : Modélisation et Simulation Hydraulique par logiciel HEC-RAS

TABLEAU IV. 1: RESULTATS POUR SIMULATION 1D POUR LE DEBIT FREQUENTIEL 90

Introduction générale

Les inondations représentent l'un des aléas naturels les plus destructeurs, souvent causées par de fortes précipitations entraînant une montée excessive des eaux dans les cours d'eau, jusqu'à dépasser leurs limites naturelles. Ce phénomène engendre régulièrement des dégâts matériels et humains considérables.

Depuis plusieurs millénaires, l'homme cherche à comprendre les mécanismes de formation et de propagation des crues, notamment dans les zones inondables. Grâce aux avancées technologiques, la modélisation hydraulique assistée par ordinateur a permis une meilleure compréhension de ces phénomènes et une optimisation de la conception des ouvrages de protection contre les inondations.

La ville de Larabaa, située au pied du bassin versant d'Oued Djamaa, est fortement exposée au risque d'inondation, devenu de plus en plus fréquent sous l'effet des changements climatiques.

Ce projet de fin d'études a pour objectif de dresser une évaluation du risque d'inondation dans la zone étudiée, à travers :

- une étude hydrologique du bassin versant ;
- une analyse du comportement hydraulique de l'oued en vis-à-vis des crues fréquentielles ;
- la modélisation unidimensionnelle de la propagation des crues à l'aide du logiciel HEC-RAS ;
- des recommandations techniques visant à réduire le risque et améliorer la gestion des crues.

Pour atteindre les objectifs fixés, le travail est structuré selon les étapes suivantes :

- **Chapitre 1 :** Présentation générale des inondations

- **Chapitre 2 :** Présentation de la zone d'étude

- **Chapitre 3 :** Estimation des débits des crues à différentes périodes de retour, en se basant sur les données disponibles du bassin versant.

- **Chapitre 4 :** Simulation hydraulique et solutions.

Modélisation et simulations unidimensionnelle de la propagation des crues dans la vallée de Larabaa à l'aide du logiciel HEC-RAS, suivi de l'analyse des résultats et de propositions d'aménagements.

CHAPITRE I :

GENERALITES SUR LES INONDATIONS

Chapitre I : Généralité sur les Inondations

Introduction

Les inondations sont l'une des catastrophes naturelles les plus répandues et les plus dévastatrices au monde, provoquant des pertes massives en vies humaines, en biens et en infrastructures. Les causes des inondations varient entre les fortes pluies, la montée des eaux, la fonte des neiges et les tempêtes maritimes, en plus des facteurs humains tels qu'une mauvaise planification urbaine et la déforestation.

Au cours des dernières décennies, les inondations sont devenues plus fréquentes, ce qui en fait l'une des menaces naturelles les plus graves auxquelles sont confrontées les sociétés humaines.

Les statistiques indiquent qu'environ 80 % des catastrophes naturelles survenues dans le monde entre 1996 et 2005 ont été causées par des facteurs climatiques ou hydrologiques, et les inondations ont représenté la plus grande part de ces catastrophes.

Entre 1973 et 1997, en moyenne 66 millions de personnes ont été touchées chaque année par des inondations, entraînant d'importants déplacements de population, la destruction des récoltes, la perturbation de l'activité économique et de graves dommages aux infrastructures.

À mesure que le changement climatique et l'élévation du niveau de la mer s'aggravent, les inondations devraient devenir plus graves à l'avenir, en particulier dans les zones côtières et les grandes villes face à l'océan. Selon une étude spécialisée, les pertes économiques résultant des inondations dans 136 des plus grandes villes côtières pourraient atteindre près de 1 000 milliards de dollars par an entre 2010 et 2050.

Cela est dû à la multiplication des tempêtes tropicales, à l'élévation du niveau de la mer et à l'expansion urbaine incontrôlée dans les zones vulnérables.

I.1. Quelles définitions

I.2.1. L'aléa

Les inondations sont une catastrophe naturelle provoquée par de fortes pluies, des débordements de rivières ou une élévation du niveau de la mer.

Les inondations deviennent une catastrophe lorsqu'elles touchent des zones peuplées ou des infrastructures faibles[1] [2].

Figure I. 1: L’aléa

I.2.2. L’enjeu

L'exposition correspond à l'ensemble des individus, des biens et des infrastructures situés dans une zone vulnérable aux phénomènes naturels, et donc susceptibles d'en subir les impacts.

Figure I. 2: L’enjeu

I.2.3. Le risque majeur :

C’est la conséquence d'un aléa d'origine naturelle ou humaine, dont les effets peuvent mettre en jeu un grand nombre de personnes, occasionnent des dégâts importants et dépassent les capacités de réaction des instances directement concernées.

Figure I. 3: Le risque majeur

I.2.4. La vulnérabilité

Mesure dans quelle mesure un système ou une population est susceptible de subir les impacts d’un aléa, c'est-à-dire le niveau de dommages prévisibles sur les enjeux. Des actions ciblées, telles que la réduction de l’intensité de l’aléa ou la limitation des dégâts, permettent de diminuer cette vulnérabilité [1][2].

I.3. Phénomène d'inondation et ses types

I.3.2. Les inondations

Les inondations sont des submersions temporaires d’une zone habituellement sèche par une accumulation d’eau, généralement due au débordement d’un cours d’eau, à des pluies intenses, à la rupture d’une digue, à une marée exceptionnelle ou à un tsunami. Elles peuvent être rapides (crues soudaines) ou lentes (montée progressive des eaux) et provoquer des dégâts importants sur l’environnement, les infrastructures et les populations.

I.3.2. Types d'inondation

La montée lente des eaux en région de plaine, qui correspond typiquement aux principales inondations que l'on peut rencontrer en Essonne.

Les inondations peuvent être classées en plusieurs types en fonction de leur origine et de leur dynamique [3] :

1- **Inondations fluviales (de crue)** : Elles surviennent lorsque le niveau d'un cours d'eau dépasse son lit habituel en raison de fortes précipitations, de la fonte des neiges ou d'un barrage rompu.

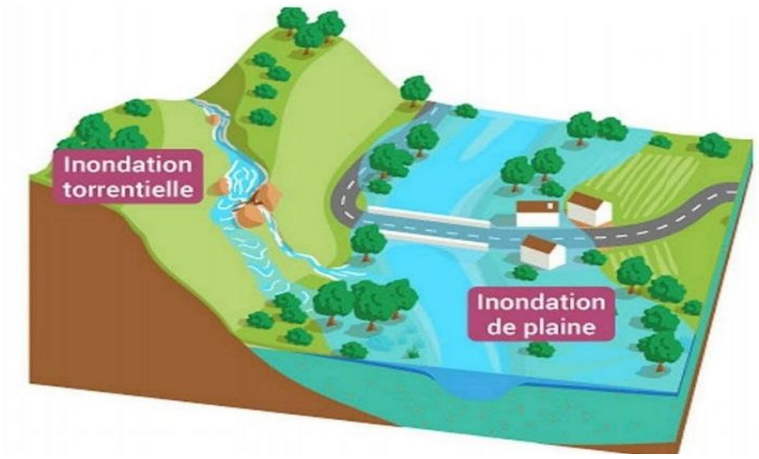

Figure I. 4: Inondations fluviales

2- **Inondations pluviales (par ruissellement)** : Elles se produisent après des pluies intenses lorsque le sol ne peut plus absorber l'eau, entraînant des accumulations en milieu urbain ou rural.

Figure I. 5: Inondations pluviales

3- **Inondations côtières** : Elles résultent d'une élévation anormale du niveau de la mer due aux tempêtes, aux ouragans ou aux tsunamis, provoquant des submersions des zones côtières.

Figure I. 6: Inondations côtières

4- **Inondations par remontée de nappe phréatique** : Elles se produisent lorsque les nappes souterraines sont saturées et remontent à la surface, souvent après une période de pluies prolongées.

Figure I. 7: Inondations par remontée de nappe

5- Inondations de rupture d'ouvrage : Elles sont causées par la défaillance d'infrastructures telles que des barrages ou des digues, libérant brutalement une grande quantité d'eau.

I.4. Le débit de la rivière

I.4.1. La crue

La crue Écouter 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. Le mot s'utilise fréquemment quand le débordement du lit mineur du cours d'eau commence à provoquer des dommages. Ce débordement provoque une inondation de zones plus ou moins éloignées des rives, en délimitant ainsi une zone inondable. La crue est suivie par une décrue.

La crue survient souvent après de fortes pluies en amont dans le bassin versant, parfois lors d'une fonte des neiges brutale ou lors d'une concomitance de fortes pluies et de fonte des neiges, plus rarement par réamorçage d'un siphon karstique, exceptionnellement quand une fracture terrestre profonde libère des nappes phréatiques. Liées à des caractéristiques météorologiques et géomorphologiques propres à chaque site, les crues sont un phénomène naturel très suivi dans l'histoire.

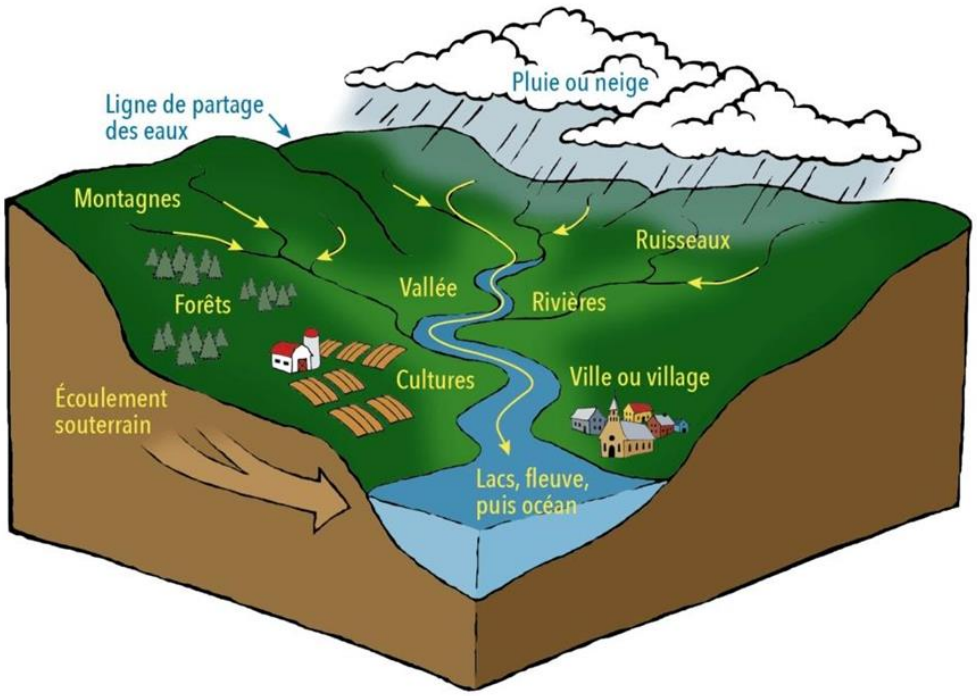

Figure I. 8: Bassin versant

I.4.2. L'étiage

Correspond à la période où le débit d'un cours d'eau est au plus bas, souvent en raison d'un manque de précipitations ou d'une forte évaporation. Ce phénomène est particulièrement marqué en été et en début d'automne, lorsque les apports en eau sont faibles

I.5. Le lit de la rivière

Une rivière s'écoule dans un espace bien défini, composé de différentes zones qui varient en fonction du débit d'eau et des crues. On distingue principalement le lit mineur et le lit majeur.

I.5.1. Le lit mineur

Le lit mineur correspond au tracé habituel du cours d'eau. C'est l'espace dans lequel la rivière s'écoule la plupart du temps, en période normale ou en basses eaux (étiage). Il peut également contenir les crues fréquentes, généralement annuelles.

I.5.2. Le lit majeur

Le lit majeur représente la zone inondable en cas de crue exceptionnelle. Il s'étend de part et d'autre du lit mineur et peut varier en largeur, allant de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres.

On distingue deux parties dans le lit majeur :

A- Le zones d'écoulement : proches du lit mineur, elles sont soumises à un courant rapide en cas de crue.

B- Les zones d'expansion des crues : situées plus loin, elles permettent un stockage temporaire de l'eau, jouant un rôle essentiel dans la régulation des crues en ralentissant leur progression vers l'aval.

Ainsi, lorsqu'on s'installe dans le lit majeur d'une rivière, on s'implante en réalité dans une partie active du cours d'eau, ce qui présente des risques d'inondation.

I.5.3. Le lit moyen d'une rivière

Dans certaines régions et pour certains cours d'eau, comme la rivière Yerres en Essonne, on distingue un lit moyen, une zone intermédiaire entre le lit mineur et le lit majeur.

Lors des crues moyennes, qui surviennent en moyenne tous les 1 à 10 ans, l'eau déborde du lit mineur et inonde les terres proches de la rivière, atteignant ainsi le lit moyen.

Cette zone est généralement recouverte de ripisylve, une végétation spécifique des berges (arbres et arbustes), qui joue un rôle important dans la stabilisation des sols et la filtration des eaux. Le lit moyen permet aussi de ralentir le courant et d'absorber une partie du débit en période de crue, contribuant ainsi à la régulation naturelle du fleuve ou de la rivière.

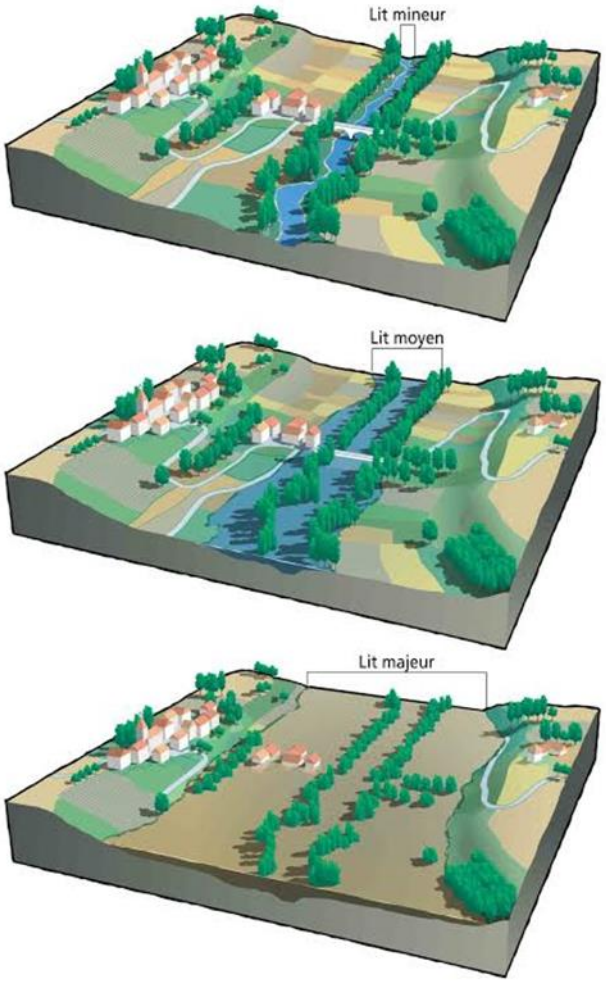

Figure I. 9: Lit mineur, Lit moyen, Lit majeur

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.

I.6.1. L'eau mobilisable

Constituée de l'eau reçue par le bassin versant. L'eau mobilisable désigne la quantité d'eau qui peut être extraite et utilisée de manière durable sur une période donnée pour répondre à divers besoins, tels que l'agriculture, l'industrie et l'approvisionnement en eau potable. Son évaluation dépend de la disponibilité des ressources en eau, qu'elles soient

souterraines (nappes phréatiques) ou de surface (rivières, lacs, barrages). Elle est également influencée par des facteurs techniques et économiques qui déterminent les possibilités d'extraction et de distribution. Enfin, des contraintes environnementales doivent être prises en compte afin de préserver l'équilibre des écosystèmes et d'éviter l'épuisement des ressources en eau à long terme [4].

I.6.2. Le ruissellement

Le ruissellement est l'écoulement de l'eau à la surface du sol lorsqu'elle ne peut pas s'infiltrer. Il dépend de la nature du sol, de son occupation (végétation, surfaces imperméables) et de l'intensité des précipitations. Il peut provoquer l'érosion, la pollution de l'eau et des inondations [5].

I.6.3. Le temps de concentration

Le temps nécessaire pour qu'une goutte d'eau atteigne l'exutoire d'un bassin versant après une pluie. Il dépend de la taille et de la forme du bassin, de la pente du terrain, de la rugosité et de l'occupation du sol. Il est utilisé en hydrologie pour la gestion des eaux et la prévention des inondations [6].

I.6.4. La propagation de l'onde de crue

Est le déplacement d'une augmentation temporaire du débit et du niveau d'eau le long d'un cours d'eau après une pluie intense ou un événement soudain. Elle dépend de la pente, de la rugosité du lit, du débit initial et de l'ampleur de la crue. Sa modélisation permet d'anticiper les inondations et d'améliorer la gestion des eaux

I.7. L'influence des facteurs naturels

I.7.1. Les précipitations et leur répartition

La quantité totale de pluie est importante, mais c'est surtout sa distribution dans l'espace et dans le temps qui détermine l'apparition d'une crue. Des pluies continues et modérées, caractéristiques d'un régime océanique, peuvent affecter de grands bassins comme ceux de la Loire ou de la Seine. À l'inverse, des averses intenses et brèves, souvent localisées, concernent généralement de petits bassins versants et peuvent rapidement entraîner une montée des eaux.

I.7.2. Le rôle du sol et de la végétation

La nature du sol ainsi que son occupation influencent directement l'évaporation et la consommation d'eau par la végétation. La capacité d'infiltration du sol, son aptitude à absorber l'eau et le phénomène de ruissellement sont autant de facteurs qui modulent le temps de concentration des eaux dans un bassin versant [7].

I.7.3. L'influence de la topographie

La configuration du lit du cours d'eau, la pente et la forme générale du bassin jouent également un rôle crucial. Ainsi, pour une même quantité de pluie, certains bassins avec une topographie adaptée peuvent générer une crue, tandis que d'autres, mieux drainés ou moins inclinés, ne le feront pas.

I.7.4. Facteurs naturels aggravants

D'autres phénomènes naturels peuvent amplifier la situation. Par exemple, la formation d'embâcles de matériaux flottants le long des passages étroits peut, en cas de rupture, produire une onde de débordement particulièrement puissante en aval. De même, bien que la fonte des neiges puisse contribuer à l'augmentation du débit, en France, elle est rarement le seul facteur à l'origine d'une crue importante, agissant plutôt comme un élément aggravant.

Cette approche alternative met en lumière l'interconnexion de plusieurs paramètres naturels qui, ensemble, déterminent l'apparition et l'intensité d'une crue.

I.7.5. Quelques précisions

- 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 m3/s ou en l/s.

- Le bassin versant d'une rivière est son aire géographique d'alimentation en eau

- 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.

- La ripisylve est la végétation abondante et variée qui borde les rivières. On distingue trois étages :

-1- Arborescent (frêne, peuplier, saule blanc, etc.),

-2- Arbustif (fusain, troène, cornouiller, saules buissonnants, etc.),

-3- Herbacé (ortie, « roseaux «, etc.).

I.8. Le risque d'inondation

I.8.1. L'impact des activités humaines

Les activités humaines jouent un rôle déterminant dans l'aggravation des inondations en influençant les débits des cours d'eau. Plusieurs facteurs amplifient ce phénomène [8][9]:

-1- Urbanisation et implantation en zones inondables

Le développement urbain dans des zones à risque constitue un facteur majeur d'aggravation des inondations. L'essor économique et l'expansion des infrastructures augmentent la valeur des biens exposés, rendant les activités et les populations plus vulnérables.

-2- Réduction des zones naturelles d'expansion des crues

L'urbanisation, accentuée par la construction de digues et remblais, limite les surfaces où l'eau pourrait s'étendre naturellement. Cela réduit la capacité des crues à se dissiper progressivement et augmente les risques pour les zones situées en aval.

-3- Modification artificielle des cours d'eau

Les aménagements hydrauliques, tels que la rectification des rivières ou leur endiguement, modifient l'écoulement naturel de l'eau. Ces interventions, parfois mal anticipées, peuvent accélérer la montée des eaux en aval et perturber l'équilibre écologique des milieux aquatiques.

-4- Changements dans l'occupation des sols

Les pratiques humaines modifiant les sols des bassins versants (déforestation, suppression des haies, agriculture intensive, imperméabilisation) réduisent leur capacité d'absorption. Cela favorise un ruissellement rapide des eaux de pluie, accentuant la fréquence et l'intensité des crues.

I.8.2. Conséquences sur les populations, les biens et les activités

Les habitants situés en zones inondables sont particulièrement exposés, surtout lorsque les délais d'alerte et d'évacuation sont insuffisants. Les crues soudaines représentent un danger immédiat, en particulier pour les automobilistes surpris par la montée rapide des eaux.

Outre les pertes humaines, les inondations peuvent causer des dommages considérables aux infrastructures et perturber les réseaux de communication, retardant les secours. De plus, les conséquences économiques indirectes (perte d'activité, chômage technique) peuvent s'avérer plus lourdes que les dégâts matériels directs.

I.8.3. Impacts environnementaux

Les inondations modifient les milieux naturels en provoquant l'érosion des sols, le déplacement des lits fluviaux et le dépôt de sédiments. Ces transformations peuvent avoir des effets aussi bien positifs que négatifs sur les écosystèmes.

Dans les zones industrielles inondables, un risque accru de pollution et d'accidents technologiques doit être pris en compte, menaçant la qualité de l'eau et des sols.

I.8.4. Éléments techniques et solutions d'atténuation

L'imperméabilisation des sols accélère l'écoulement des eaux de pluie, augmentant ainsi le débit de pointe des crues. Ce débit maximal instantané, mesuré sur une période de retour donnée, est un indicateur clé pour anticiper les risques.

Le laminage des crues, qui consiste à ralentir et stocker temporairement l'eau en amont (zones naturelles d'expansion ou barrages de rétention), permet de limiter leur intensité. En l'absence de telles infrastructures, des solutions comme la végétalisation des sols (bandes enherbées) contribuent à freiner le ruissellement et à limiter l'érosion [2].

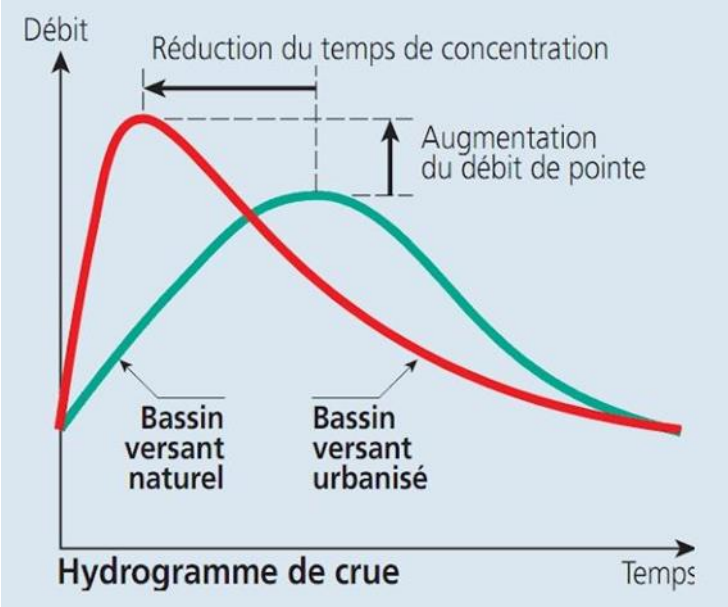

Figure I. 10: Hydrogramme de crue

I.9. l'aléa inondation

L'aléa inondation est défini par quatre paramètres essentiels :

I.9.1. La période de retour des crues

Elle désigne la fréquence à laquelle une crue d'une certaine intensité est susceptible de se produire :

- Crues fréquentes (1 à 2 ans)
- Crues moyennes (10 à 20 ans)
- Crues exceptionnelles (environ 100 ans)
- Crue maximale vraisemblable, couvrant l'intégralité du lit majeur

Les crues décennales (Q10) et centennales (Q100) sont les plus utilisées pour cartographier l'aléa. L'événement de référence pour les réglementations est souvent la crue centennale ou la plus forte crue connue si elle dépasse cette fréquence.

I.9.2. La hauteur et la durée de submersion

- Une submersion dépassant une certaine hauteur critique peut endommager les structures et provoquer des infiltrations d'eau.
- Une inondation prolongée (plus de 24 à 48 h) engendre des risques sanitaires (eaux polluées, contamination).
- Pour l'homme, 50 cm d'eau suffisent à représenter un danger, et une voiture peut flotter dès 30 cm.

I.9.3. La vitesse du courant

- Dépend de la pente et de la rugosité du lit du cours d'eau.
- Peut atteindre plusieurs mètres par seconde.
- Au-delà de 0,50 m/s, l'eau devient dangereuse, risquant d'emporter des personnes ou d'entraîner des objets menaçants.

I.9.4. Le transport solide

- Désigne les matériaux transportés par l'eau : limon, sable, graviers, galets, blocs…
- Ils se déplacent soit en suspension, soit en roulant sur le fond du lit.
- Ne comprend pas les éléments flottants comme les bois morts.

I.9.5. Influence de la morphologie des rivières

L'importance des paramètres varie selon les caractéristiques du cours d'eau :

- Rivières à faible pente (< 0,1 %) → Principalement impactées par la hauteur et la durée de submersion.
- Rivières torrentielles → L'aléa est dominé par une forte vitesse du courant et un transport solide important.

I.9.6. Quelques précisions

- La période de retour correspond à l'inverse de la probabilité annuelle e survenue. Par exemple, une crue centennale a 1 % de chance de se produire chaque année.
- Ce phénomène peut toutefois se répéter plusieurs fois sur une courte période.

En 20 ans, il y a une chance sur cinq de vivre une crue centennale.

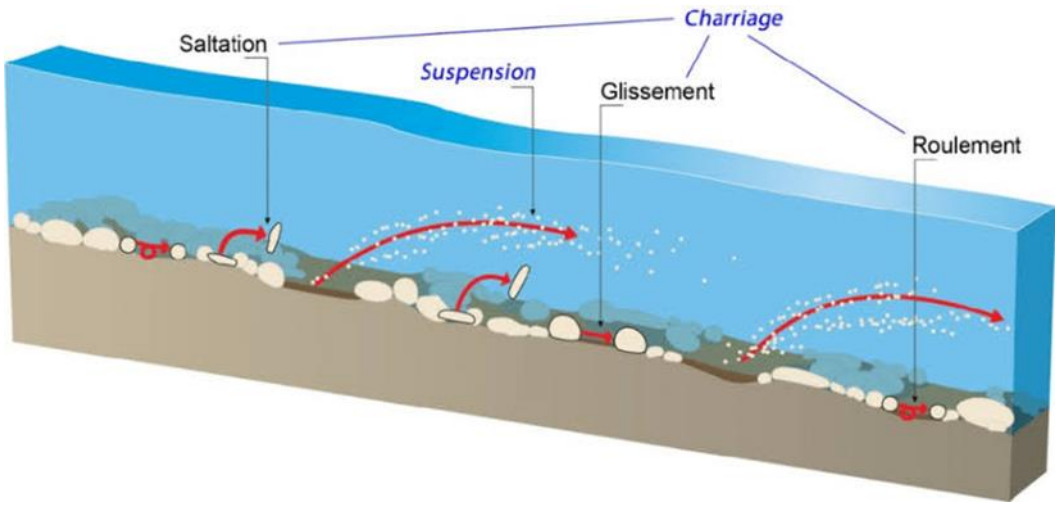

Figure I. 11: Le transport solide

I.9.7. Historique des inondations

Introduction

Les inondations en Algérie résultent d'une combinaison complexe de facteurs naturels et humains. Si elles sont souvent perçues comme des catastrophes naturelles, leur impact est considérablement aggravé par des actions humaines telles que l'urbanisation anarchique, l'encombrement des cours d'eau et l'insuffisance des infrastructures d'assainissement.

Certaines inondations, comme celles de 1969, 1973 ou encore 1984, ont marqué l'histoire du pays par leur ampleur et les dégâts causés. Cependant, de nombreux épisodes inondations surviennent à la suite de pluies saisonnières non exceptionnelles, ce qui met en

évidence la vulnérabilité accrue de certaines zones en raison d'une mauvaise gestion de l'espace urbain et des ressources hydriques.

Ainsi, les risques d'inondations ne dépendent pas uniquement des conditions météorologiques, mais aussi d'une interaction entre des facteurs topographiques, hydrologiques et anthropiques. Une gestion plus rigoureuse de l'aménagement du territoire, un entretien régulier des infrastructures et une sensibilisation accrue pourraient réduire les conséquences de ces événements.

- **Recensement des inondations catastrophiques en Algérie (1980 - 2019)**

L'Algérie a connu de nombreuses inondations catastrophiques entre 1980 et 2019, causant d'importants dégâts humains et matériels. Afin de mieux prévenir ces catastrophes, il est essentiel d'identifier les zones les plus exposées et les facteurs qui amplifient les risques.

Le recensement de ces événements permet d'établir une cartographie des régions vulnérables et de recueillir des données hydrologiques essentielles pour la gestion des risques. Ces inondations, bien que souvent déclenchées par des précipitations intenses, sont aggravées par des facteurs humains tels que l'urbanisation anarchique, le manque d'entretien des infrastructures d'évacuation et l'obstruction des cours d'eau.

L'étude de ces catastrophes vise à renforcer les stratégies de prévention et d'adaptation pour minimiser les pertes humaines et économiques à l'avenir.

- **11 Novembre 1982**

Pluies orageuses violentes localisées à Annaba aux Monts de L'Edough sur quelques Kilomètres seulement **(pluie enregistrée du 10/11 au 11/11/1982 est de 167 mm à L Edough et 160 mm à Seraidi)** et intenses **(35 mm en l'espace de 40 minutes)** à Seraidi engendrant des Fortes crues des oueds : Bouhdid, Forcha, Zied et Aneb [8].

Figure I. 12: Inondation d'annaba

- **03 Février 1984**

Pluies abondantes généralisées sur l'ensemble de l'Est Algérien avec un foyer de maximum sur les monts de Constantine **(120 mm en 03 jours)** et les monts de la Medjerda **(80 mm en 03 jours)** ont provoqué des inondations catastrophiques dans toutes les wilayas de l'Est Algérien [8].

Dégâts :

- **Jijel :** 20 morts, 500 têtes de bétail emportées et dégâts évalués à 50 millions DA.

- **Constantine :** 1140 familles sinistrées 200 ha de cultures détruites

- **Skikda :** 8000 habitations envahies par les eaux.

- **Guelma :** 03 disparus, 157 familles sinistrées, 02 ponts détruits et canalisations d'AEP Détruites à 100 %.

- **Khenchla:** 777 familles sinistrées et pertes importantes en cheptel.

- **Oum El Bouaghi:** 144 maisons détruites et 429 familles sinistrées.

- **26 - 27 Janvier 1992**

Fortes pluies généralisées du 24 au 28 janvier 1992 on a **enregistré 70 à 100 mm en mois de 12 heures** sur plusieurs régions du centre du pays Engendrant des inondations catastrophiques aux wilayas : Alger, Blida, Tipaza, Chlef, Ain Defla, Médéa... [14].

Dégâts :

- Des morts et un nombre important de blessés.

- 637 familles sinistrées (361 à Alger, 106 à Tipaza, 87 à Médéa, 36 à Ain Defla et 23 à Chlef).

Importants dégâts aux infrastructures routières et aux exploitations agricoles :

- Le pont reliant Bougara à Bouinan emporté.

- Le pont reliant L'Arbaa à Bougara endommagé.

- **La Catastrophe de Bab El Oued (10 novembre 2001)**

En milieu urbain, les orages violents peuvent entraîner un ruissellement important en dehors des lits des cours d'eau, notamment lorsque l'imperméabilisation des sols et une urbanisation mal planifiée entravent l'écoulement des eaux de pluie.

Figure I. 13: Inondation Bab El Oued

C'est précisément ce qui s'est produit lors des inondations catastrophiques de Bab El Oued le 10 novembre 2001. De fortes précipitations, atteignant **214 mm en 24 heures** sur une zone de 40 km², ont causé des pertes humaines et matérielles considérables. Cet événement tragique a coûté la vie à 750 personnes, tandis que 120 autres ont été portées disparues. Plus de 10 000 familles ont été sinistrées.

Ces inondations, survenues entre le 10 et le 14 novembre 2001, sont considérées comme les plus meurtrières de l'histoire récente de l'Algérie. Alger a été la ville la plus touchée, avec plus de 700 victimes. Le coût des dégâts matériels a été estimé à 300 millions de dollars. Environ 24 000 personnes ont été déplacées, tandis que 2 700 habitations ont été

gravement endommagées. Au total, 40 000 à 50 000 personnes ont perdu leur logement et 109 routes ont subi des dommages importants.

Cet événement tragique met en évidence les dangers d'une urbanisation incontrôlée et l'importance d'une gestion efficace des infrastructures d'assainissement pour prévenir de telles catastrophes [11].

Figure I. 14: Bab El Oued 2001

- **Décembre 2005 et Septembre 2009**

Inondation catastrophique a la wilaya d'ANNABA, Ses risques résultent de l'action combinée de facteurs physiques et de facteurs anthropiques. Les aléas climatiques, les attributs Topographiques, géologiques et hydrodynamiques et la géomorphologie des bassins font des secteurs nord et ouest de la ville des zones favorables à la stagnation des eaux et à l'accumulation des sédiments en période de crue. L'urbanisation accélérée et non contrôlée sur Les piémonts du massif de l'Edough destruction des zones boisées,

- **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.

L'une des inondations les plus importantes survenues ces dernières années, qui a causé de multiples pertes humaines et matérielles, notamment dans le secteur agricole et les terres fertiles [8] [12].

- **14 Janvier 1999**

Fortes chutes de pluies **(74 mm à Adrar)** à l'ouest du Sahara provoquant de graves inondations À Adrar [12].

Dégâts :

- 12 morts et plusieurs disparus.

- 174 habitations en tub détruites dans les localités de : Reggan, Tsabit, Timimoune et Adrar.

- **Octobre 2008**

Les inondations de Ghardaïa en Algérie en 2008 ont été l'une des catastrophes naturelles les plus dévastatrices de la région. **Plus de 80 mm de pluie one été enregistré en mois de 6 heures**. Elles ont eu lieu début octobre 2008 après de fortes pluies qui ont provoqué des crues soudaines dans la vallée du M'zab [8].

Dégâts :

- Des personnes ont perdu la vie.

- Des centaines de maisons ont été détruites ou gravement endommagées.

- Des infrastructures, y compris des routes et des ponts, ont été gravement touchées.

- Des milliers de personnes ont été déplacées.

I.10. Conclusion

Une crue, c'est quand le niveau d'un fleuve, d'une rivière ou d'un cours d'eau monte brusquement à cause d'une forte pluie ou d'autres facteurs. Pour éviter les dégâts causés par les inondations, il est essentiel d'améliorer les systèmes de prévision et de prévention.

Informer les habitants des risques et réduire la vulnérabilité des biens dans les zones inondables sont des priorités. Bien sûr, l'État et les communes ont un rôle à jouer, mais chaque personne doit aussi prendre des mesures pour se protéger et limiter les risques.

CHAPITRE II :

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Introduction

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

II.1. Histoire

La ville a été fondée par des colons français en 1845, et était auparavant connue sous le nom de Sidi Nasser d'après le saint, puis d'Arbaa Beni Moussa d'après la tribu des Beni Moussa, avant de prendre son nom actuel dans les années 1970.

La majorité de la population de l'Atlas blidéen de la confédération des Aït Moussa. À l'instar des autres confédérations voisines, les Aït Moussa sont des Sanhadjas qui se sont zénétisés avec le temps comme leur parler ; le tamazight de l'Atlas blidéen.

Avant la colonisation française, cette région portait le nom de Sidi Nacer, en référence au saint patron de la région : Sidi Nacer.

À partir de 1830 et le début de la colonisation française de l'Algérie, les premiers colons faisaient leur entrée dans la région à partir de 1831, pour créer en 1849 un centre de colonisation. Larbaa est érigée en commune de plein exercice en 1856, attachée au département d'Alger et sous la dénomination de l'Arbaa. Certaines sources affirment que le nom de l'Arbaa est tiré de son ancien nom Merabâa.

Après l'indépendance de l'Algérie, la commune porte le nom de Larbâa ou l'Arbâa (certains la nomment l'Arbâa Beni Moussa) et se voit rattachée administrativement à la Wilaya d'Alger, jusqu'au découpage de 1974 et à son rattachement à la Wilaya de Blida, nouvellement créée [8].

II.2. Démographie

Elle est considérée comme l'une des villes avec une densité de population notable. Selon les estimations précédentes, sa population était d'environ 83.815 habitants, Densité est 983 hab. /km2. La ville a une population jeune, les jeunes constituant une grande partie de la population totale, ce qui reflète un taux de croissance démographique élevé dans la région.

La ville est un centre urbain important de la région et présente une diversité culturelle et sociale. Elle a également connu une croissance remarquable au cours des dernières décennies, entraînant une expansion urbaine et le développement de ses infrastructures.

II.3. Localisation de la zone étude

II.3.1. Situation géographique

- Il est situé à 36,65° de latitude nord et 3,08° de longitude est.

- Elle est située à environ 30 km au sud-est d'Alger.

Elle est limitée au nord par la commune de Les Eucalyptus (wilaya d'Alger) au sud par la commune de ouled slama et souhane, à l'est par la commune de meftah (province de Blida), et à l'ouest par la commune de ouled slama et nord-ouest Sidi Moussa (wilaya d'Alger). Elle est traversée par la route nationale n°8, ce qui en fait un lien important entre différentes régions [16].

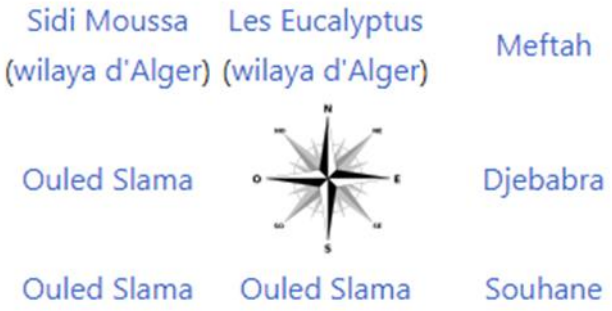

Figure II. 1: Communes limitrophes de Larbaa

- Superficie : environ 80,25 km².

- Altitude au-dessus du niveau de la mer : elle varie entre 88 mètres et 150 mètres, car

Elle est caractérisée par quelques collines basses.

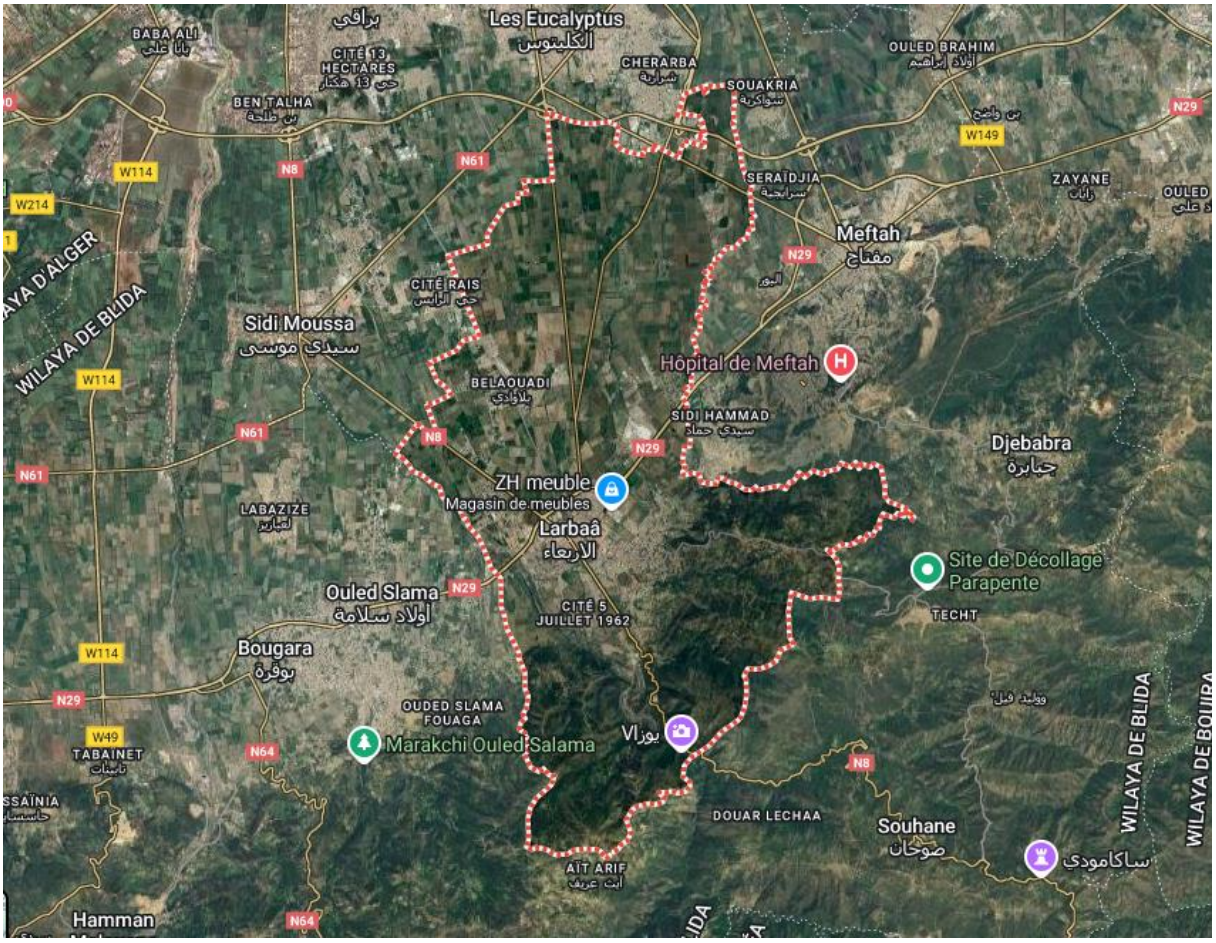

Figure II. 2: Vue satellite par Google Maps

II.3.2. Situation topographique

La ville l'araba ses alentours reposent sur un relief montagneux est définie par les coordonnées U.T.M suivantes :

$X = 541.15$; L'attitude $y = 362.95$; altitude $z = 100$.

Oued traverse la ville du haut de montagne oued el djemaa [16].

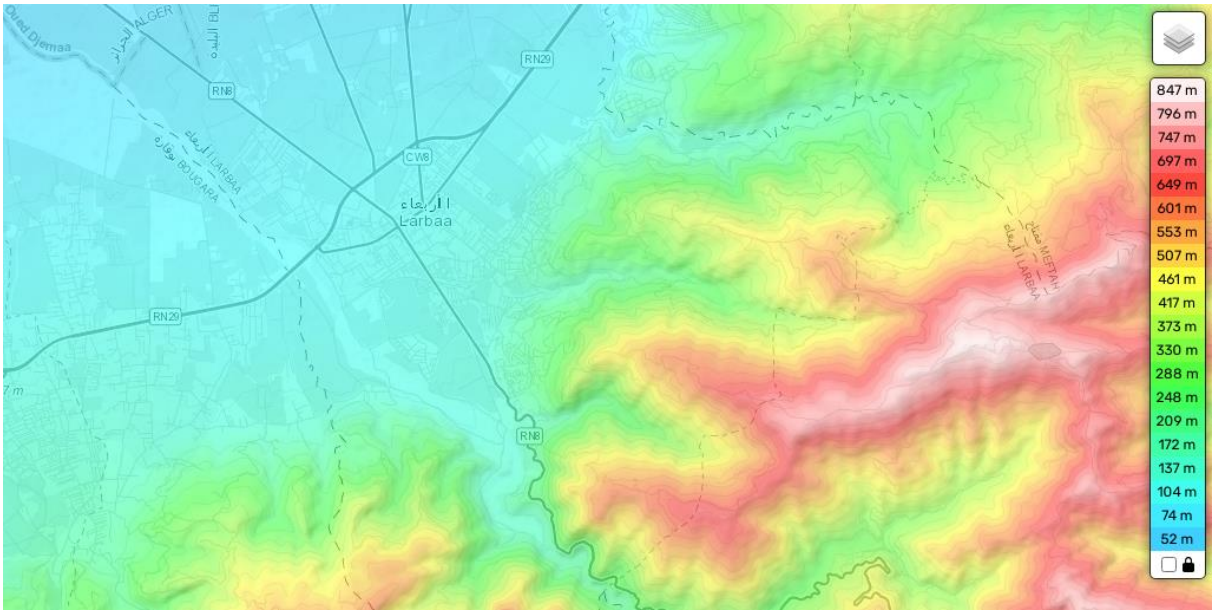

Figure II. 3: Situation topographique de l'oued djemaa

II.3.3. Situation géologique

Géologiquement, la région est située dans la chaîne de l'Atlas tellien, caractérisée par un terrain montagneux et des formations géologiques diverses. Ces caractéristiques géologiques, ajoutées au climat méditerranéen, contribuent à la diversité et à la fertilité du sol, ce qui soutient la diversité agricole de la commune.

En conclusion, on peut dire que la situation géologique de la commune d'Arbaa offre un environnement propice à l'agriculture grâce aux ressources en eau et au sol fertile, avec la nécessité de prendre en compte les risques naturels potentiels et de prendre les mesures nécessaires pour y faire face.

Risque d'inondation

De plus, la région est exposée à certains risques naturels tels que les inondations, notamment en hiver. Il est donc nécessaire de prendre des mesures préventives pour protéger la population et les biens.

II.4. Végétation

La commune de Larbaa est considérée comme l'une des communes riches en plantes et en couverture végétale, car elle appartient aux montagnes de l'Atlas de Blida, connues sous le nom de Mitidja, où sa longueur dépasse 120 km et sa largeur est de 25 km à 30 km, et elle se caractérise par l'abondance de la couverture végétale, car nous trouvons une énorme quantité de cèdres, de pins, de lièges et de chênes, en plus de l'abondance de sources et de cascades, ce

qui la rend d'une grande valeur et importance pour le rôle biologique et naturel qu'elle joue dans la continuité de la vie naturelle sous ses diverses formes, car c'est une zone qui réunit toutes les conditions de la vie naturelle et de son bon fonctionnement [16].

Figure II. 4: La végétation de la zone d'étude

II.5. Climat

Son climat est méditerranéen, caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides. En été, les températures varient entre 25 et 35 degrés Celsius, tandis qu'en hiver, elles descendent entre 5 et 15 degrés Celsius. Les précipitations tombent principalement de novembre à mars, avec une moyenne annuelle comprise entre 600 et 800 mm.

L'analyse du climat a été effectuée procéder sur la base d'une collecte de documents et d'informations au niveau de deux sources différentes, à savoir :

- L'office National de la Météorologie (ONM)[14].
- L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) [13].

Tableau II. 1: Répartition Mensuelle de Précipitation moyenne

Mois	**Jan**	**Fév**	**Mar**	**Avr**	**May**	**Jui**	**Juil**	**Aout**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Déc**
Précipitation moyenne (mm)	**60.8**	**58.2**	**47.2**	**43.7**	**34.9**	**10.9**	**2.9**	**7.5**	**24.6**	**40.1**	**60.1**	**65.9**

II.5.1. La température

Les températures jouent un grand rôle dans la détermination de la période de l'irrigation tout à fait comme les précipitations.

Tableau II. 2: Répartition Mensuelle de Température

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	May	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Température moyenne (°C)	10	10	13	15	19	23	26	27	24	20	14	11
Température minimale moyenne (°C)	5	5	6	9	12	16	19	20	17	13	9	6
Température maximale (°C)	16	17	19	22	25	30	33	33	30	26	21	17

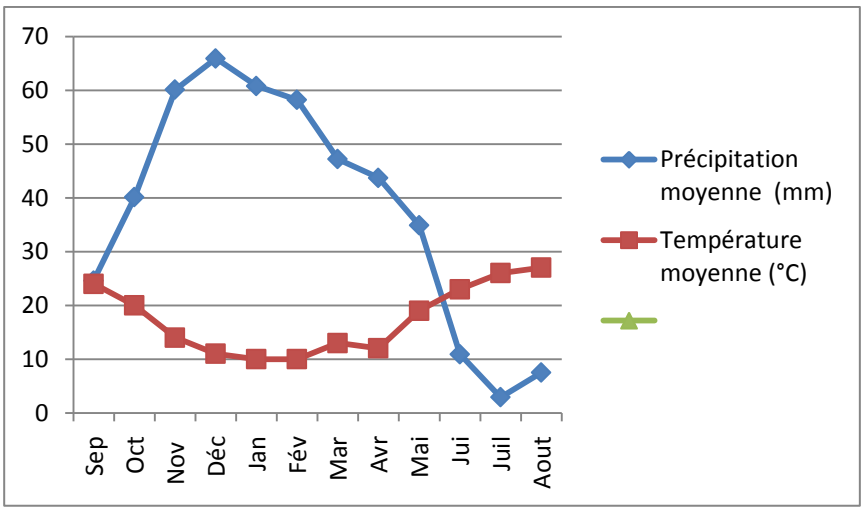

Figure II. 5: Graphe de Répartition Mensuelle de Température

II.5.2. L'humidité

Tableau II. 3: Répartition Mensuelle des Humidités

Humidité Relatives (%)												
Mois	**Jan**	**Fév**	**Mar**	**Avr**	**May**	**Jui**	**Juil**	**Aout**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Déc**
Min (%)	**50**	**44**	**52**	**38**	**35**	**30**	**28**	**29**	**33**	**37**	**40**	**42**
Moy(%)	**76**	**76**	**74**	**69**	**64**	**56**	**50**	**52**	**60**	**66**	**70**	**72**
Max(%)	**95**	**94**	**92**	**90**	**88**	**85**	**82**	**83**	**87**	**90**	**92**	**94**

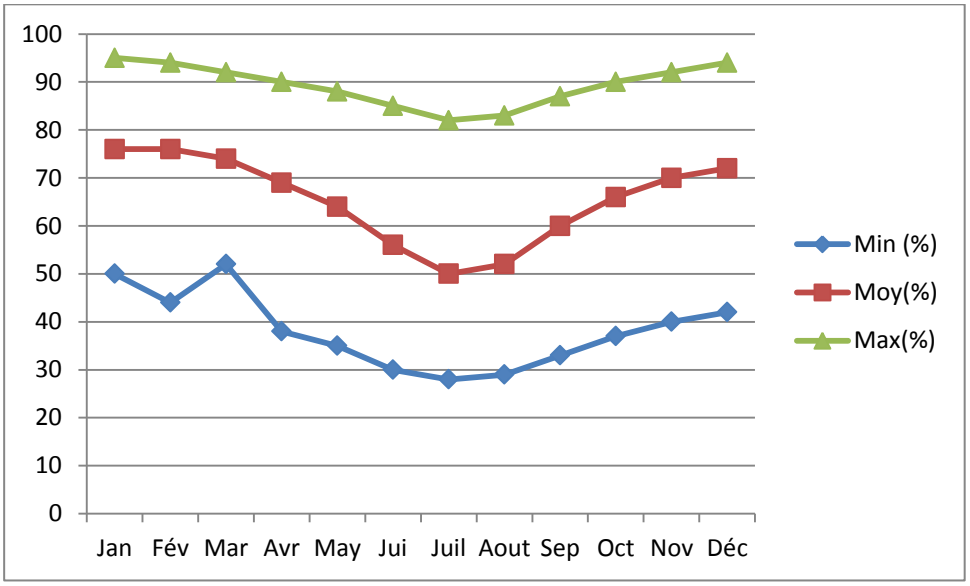

Figure II. 6: Graphe d'Humidité

II.5.3. Le vent

Tableau II. 4: Répartition Mensuelle de vent

Mois	**Jan**	**Fév**	**Mar**	**Avr**	**May**	**Jui**	**Juil**	**Aout**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Déc**
M s	**9.1**	**9.1**	**8.5**	**8.3**	**7.5**	**7.1**	**7.2**	**7.1**	**7.3**	**7.8**	**8.8**	**9.2**

La vitesse du vent atteint a ses max au mois de décembre avec 9.2 m/s

Tableau II. 5: Répartition Mensuelle de Précipitation et Température moyenne

Moi s	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout
Précipitation moyenne (mm)	24.6	40.1	60.1	65.9	60.8	58.2	47.2	43.7	34.9	10.9	2.9	7.5
Température moyenne (°C)	24	20	14	11	10	10	13	12	19	23	26	27

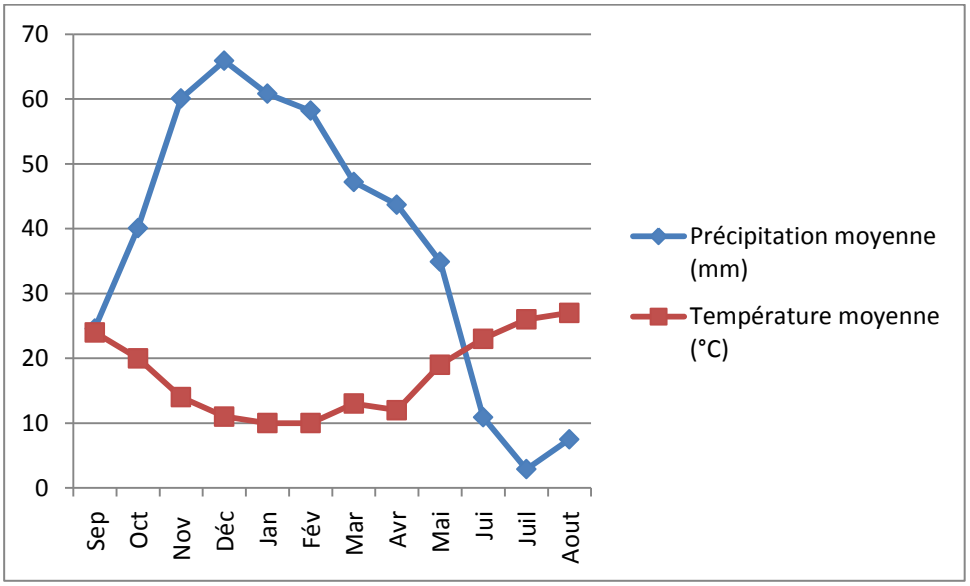

Figure II. 7: Graphe OMRO-THERMIQUE

II.6. Conclusion

Les informations recueillies sur la topographie, la géologie, la climatologie et l'hydrologie constituent une base des données riche et précieuse. Elles jouent un rôle essentiel dans l'interprétation des résultats obtenus et permettent de mieux comprendre le fonctionnement hydrologique du bassin versant. Ces éléments sont également indispensables pour orienter les étapes suivantes de l'étude, notamment la modélisation de l'écoulement et le dimensionnement des ouvrages de gestion des eaux pluviales.

Chapitre III :

CALCUL DES CRUES FREQUENTIELLES

Chapitre III : Calcul des crues fréquentielles

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.1. 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.1.1. 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, il s'agit d'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.

Chaque bassin est séparé de ceux qui l'environnent par une "ligne de partage des eaux".

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 **(Fig III. 1**). 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 (**Fig III. 2**).

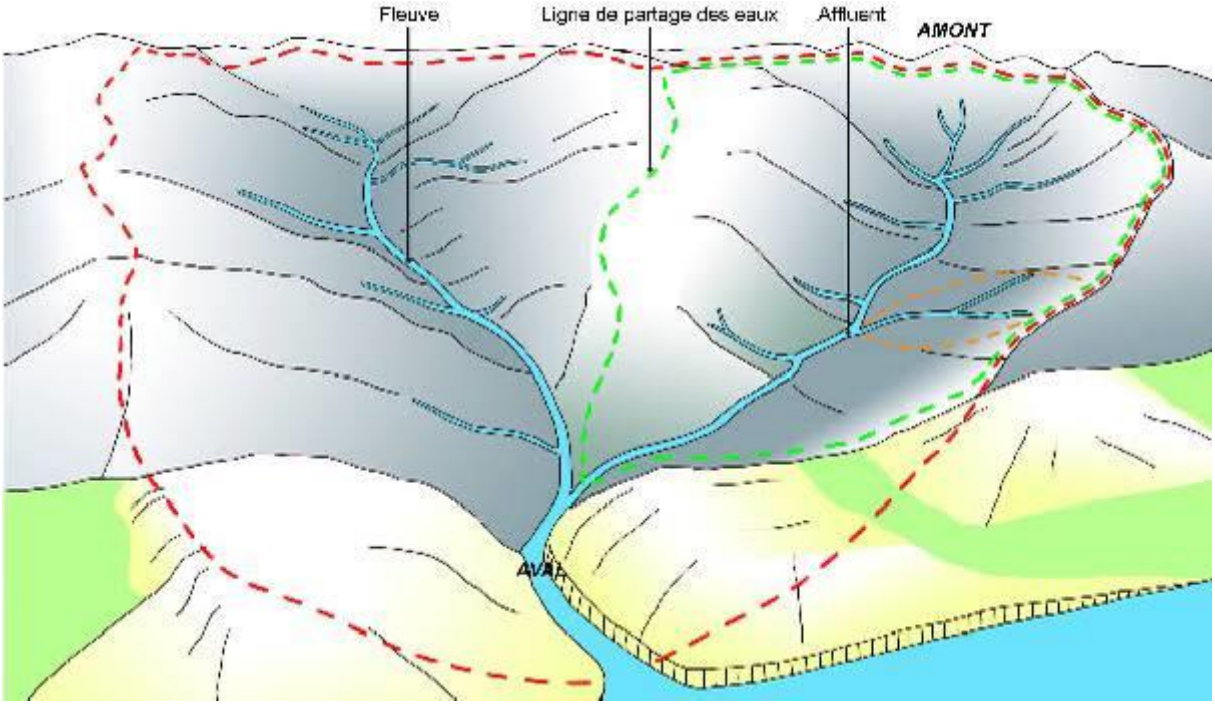

Figure III. 1: Délimitation d'un bassin versant

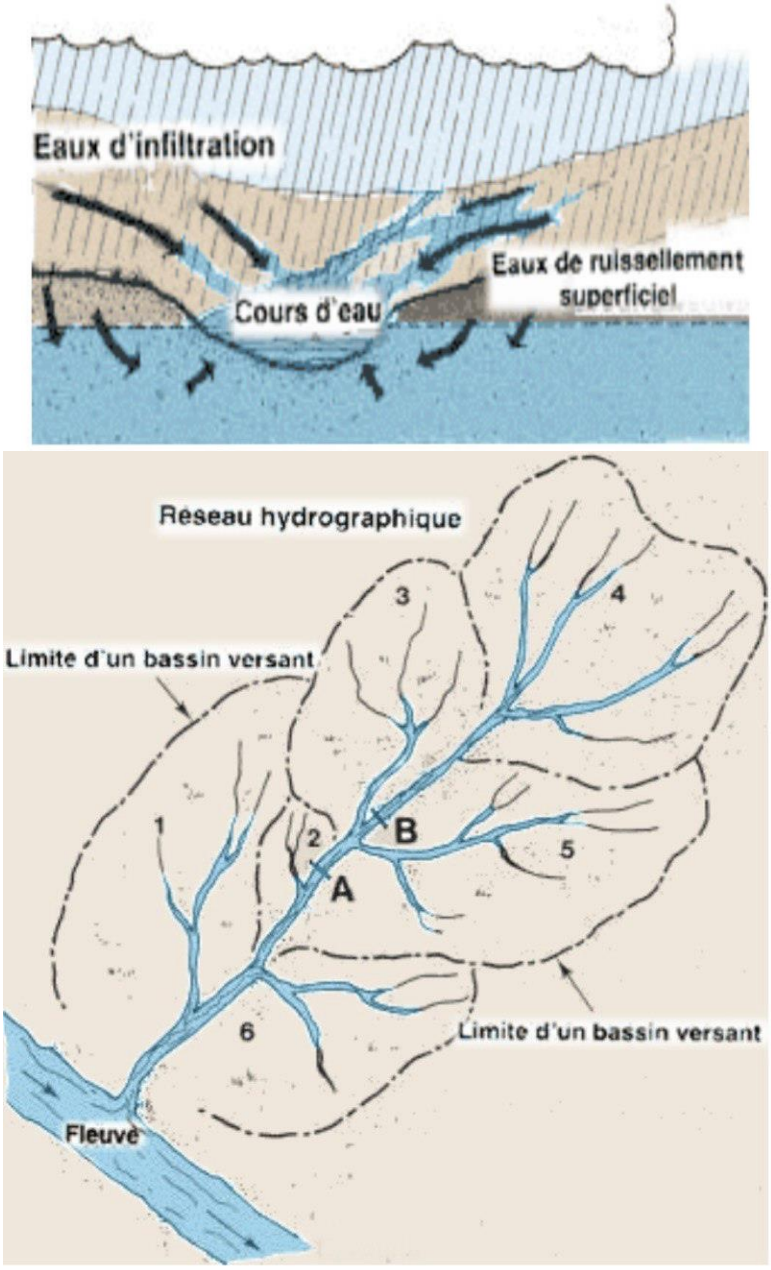

Figure III. 2: Bassin versant topographique et bassin versant réel

III.1.2. 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.2. Caractéristiques morphologiques du bassin versant

Les caractéristiques morpho métriques du bassin versant de la ville de Larbaa (Figure III.3) ont été obtenus grâce à un MNT (Model Numérique Terrain).

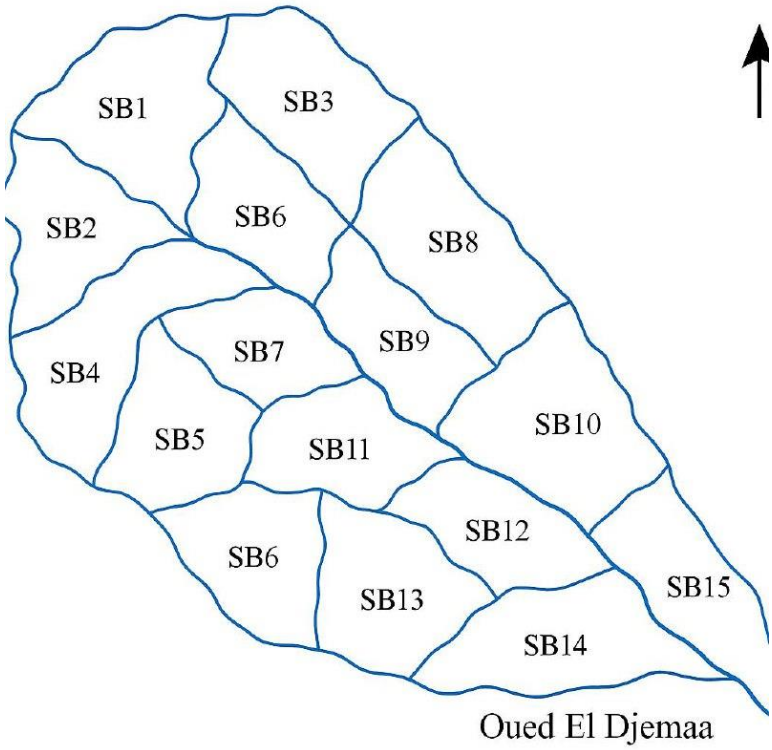

Figure III. 3: Bassin versant de la zone d'étude

III.2.1. 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 à :

Tableau III. 1: La surface des sous bassins versants

Les sous bassins	**Sbv1**	**Sbv2**	**Sbv3**	**Sbv4**	**Sbv5**	**Sbv6**	**Sbv7**	**Sbv8**
Surface (Km^2)	**5.20**	**4.85**	**6.10**	**5.80**	**4.40**	**6.30**	**4.75**	**5.10**
Les sous bassins	**Sbv9**	**Sbv10**	**Sbv11**	**Sbv12**	**Sbv13**	**Sbv14**	**Sbv15**	**BV Total**
Surface (Km^2)	**4.50**	**6.05**	**5.35**	**4.95**	**5.60**	**5.10**	**6.20**	**80.25**

III.2.2. Le périmètre

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

Tableau III. 2: Le périmètre des sous bassins versants

Les sous bassins	**Sbv1**	**Sbv2**	**Sbv3**	**Sbv4**	**Sbv5**	**Sbv6**	**Sbv7**	**Sbv8**
Périmètre (Km)	**9.2**	**8.7**	**9.6**	**9.3**	**8.1**	**9.8**	**8.6**	**9**
Les sous bassins	**Sbv9**	**Sbv10**	**Sbv11**	**Sbv12**	**Sbv13**	**Sbv14**	**Sbv15**	**BV Total**
Périmètre (Km)	**8.2**	**9.7**	**9.1**	**8.8**	**9.3**	**9**	**9.5**	**45**

III.2.3. Indice de compacité de Gravelius

L'indice de formeK_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(km^2).

Tableau III. 3: Indice de Gravelius des sous bassins versants

Les sous bassins	**Sbv1**	**Sbv2**	**Sbv3**	**Sbv4**	**Sbv5**	**Sbv6**	**Sbv7**	**Sbv8**
L'indice K_G	**1.12**	**1.10**	**1.08**	**1.08**	**1.08**	**1.09**	**1.10**	**1.11**
Les sous bassins	**Sbv9**	**Sbv10**	**Sbv11**	**Sbv12**	**Sbv13**	**Sbv14**	**Sbv15**	**BV Total**
L'indice K_G	**1.08**	**1.10**	**1.10**	**1.10**	**1.10**	**1.12**	**1.07**	**2.8**

Remarque : Tous les indices sont réalistes (entre 1.08 et 1.24), ce qui montre que les sous-bassins sont relativement peu allongés, favorisant une réaction modérée aux crues.

III.2.4. 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) :

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

$$l = \frac{Kg*\sqrt{S}}{1.128}\left(1-\sqrt{1-\left(\frac{1.128}{Kg}\right)^2}\right) \quad \text{(III.3)}$$

Tableau III. 4: La longueur e équivalente et la largeur de rectangle équivalent

Les bassins versant	**Sbv1**	**Sbv2**	**Sbv3**	**Sbv4**	**Sbv5**	**Sbv6**	**Sbv7**	**Sbv8**
L_{eq} **(Km)**	**2.60**	**2.60**	**2.72**	**2.70**	**2.60**	**2.71**	**2.62**	**2.64**
L (Km)	**2**	**1.87**	**2.24**	**2.15**	**1.69**	**2.32**	**1.81**	**1.93**
Les bassins versant	**Sbv9**	**Sbv10**	**Sbv11**	**Sbv12**	**Sbv13**	**Sbv14**	**Sbv15**	**BV Total**
L_{eq} **(Km)**	**2.59**	**2.73**	**2.68**	**2.65**	**2.27**	**2.64**	**2.71**	**42.58**
L (Km)	**1.74**	**2.22**	**2**	**1.87**	**2.06**	**1.93**	**2.29**	**1.88**

III.2.5. Temps de concentration

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

- **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 :

$T_C = [\sum (Th + Tr + Ta)]$

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 estimer à l'aide de formules souvent empiriques établies par plusieurs auteurs.

Tableau III. 5: Tableau des calculs

Auteur	**Formule**	**Temps de concentration T_C (h)**							
		Sbv1	**Sbv2**	**Sbv3**	**Sbv4**	**Sbv5**	**Sbv6**	**Sbv7**	**Sbv8**
GIANDOTTI	$\mathbf{T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{H_{moy} - H_{min}}}}$	**2.18**	**2.03**	**2.61**	**2.48**	**2.09**	**2.87**	**2.18**	**2.30**
CALIFORNIA	$\mathbf{T_c = \left(\frac{0.87 \cdot L^3}{H_{max} - H_{min}} \right)^{0,386}}$	**0.76**	**0.74**	**0.81**	**0.79**	**0.72**	**0.81**	**0.73**	**0.74**
VENTURA	$\mathbf{T_c = 1,1272 \sqrt{\frac{A}{i_{moy}}}}$	**14.72**	**14.32**	**16.10**	**15.61**	**13.74**	**15.96**	**13.93**	**14.93**
Auteur	Formule	Temps de concentration T_C (h)							
		Sbv9	**Sbv10**	**Sbv11**	**Sbv12**	**Sbv13**	**Sbv14**	**Sbv15**	
GIANDOTTI	$\mathbf{T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{H_{moy} - H_{min}}}}$	**1.94**	**2.78**	**2.33**	**2.31**	**2.75**	**2.41**	**2.24**	
CALIFORNIA	$\mathbf{T_c = \left(\frac{0.87 \cdot L^3}{H_{max} - H_{min}} \right)^{0,386}}$	**0.72**	**0.80**	**0.77**	**0.74**	**0.77**	**0.75**	**0.81**	
VENTURA	$\mathbf{T_c = 1,1272 \sqrt{\frac{A}{i_{moy}}}}$	**13.78**	**15.94**	**15.10**	**14.36**	**15.10**	**14.63**	**15.99**	

Avec :

- ✓ **A :** Surface du bassin versant en [Km2].
- ✓ **L :** longueur du talweg principale en [Km].0
- ✓ $\mathbf{H_{moy}}$**,** $\mathbf{H_{min}}$ **:** respectivement la hauteur moyenne et minimale du B.V en [m].
- ✓ $\mathbf{L_P}$ **:** Longueur du cours d'eau principal (km).
- ✓ $\mathbf{i_{moy}}$ **:** Pente moyenne du bassin versant.

On utilise la formule de Giandotti puisqu'elle tient compte de plusieurs paramètres donc elle est la plus fiable :

Tableau III. 6: Temps de concentration (Giandotti)

Le sous bassin	**Sbv1**	**Sbv2**	**Sbv3**	**Sbv4**	**Sbv5**	**Sbv6**	**Sbv7**	**Sbv8**
Le temps de concentration(h)	**2.18**	**2.03**	**2.61**	**2.48**	**2.09**	**2.87**	**2.18**	**2.30**
Le sous bassin	**Sbv9**	**Sbv10**	**Sbv11**	**Sbv12**	**Sbv13**	**Sbv14**	**Sbv15**	**Tc**
Le temps de concentration(h)	**1.94**	**2.78**	**2.33**	**2.31**	**2.75**	**2.41**	**2.24**	**7.97**

III.2.6. Vitesse moyenne de ruissellement

La **vitesse moyenne de ruissellement** (VR) permet d'estimer le temps nécessaire à l'eau pour parcourir une distance donnée dans le bassin. Elle est liée à la longueur du talweg principal et au temps de concentration retenu. Elle est donnée par la formule suivante :

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

L : Longueur de talweg principal en [Km];

T_c : temps de concentration (h).

Tableau III. 7: La vitesse de ruissellement

Le sous bassin	**Sbv1**	**Sbv2**	**Sbv3**	**Sbv4**	**Sbv5**	**Sbv6**	**Sbv7**	**Sbv8**
La vitesse de ruissellement (km/h)	**1.88**	**1.95**	**1.70**	**1.74**	**1.80**	**1.57**	**1.79**	**1.76**
Le sous bassin	**Sbv9**	**Sbv10**	**Sbv11**	**Sbv12**	**Sbv13**	**Sbv14**	**Sbv15**	**BV Total**
La vitesse de ruissellement (km/h)	**1.96**	**1.58**	**1.78**	**1.73**	**1.54**	**1.68**	**2**	**2.02**

III.3. Analyse des données pluviométriques

Dans cette partie, on exploite les données de pluies maximales journalières issues de la station de Larbaa (021403) pour effectuer une analyse statistique et déterminer les hauteurs de pluie extrêmes correspondant à différentes périodes de retour.

Tableau III. 8: Station pluviométrique Larbaa (source ANRH)

Code	Nom	Source	Coordonnée			Année	N	Pluie moyenne annuelle (mm)
			X (Km)	Y (Km)	Z (Km)			
021403	**Larbaa**	**L'ANRH**	**541.15**	**362.95**	**100**	**1990-2019**	**30**	**62.34**

III.3.1. L'étude des 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.

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

Tableau III. 9: Séries des Pluies Maximales Journalières (1990-2019) à la station Larbaa

Année	Pj max	Année	Pj max	Année	Pj max
1990	30	2001	29.6	2012	86.3
1991	80	2002	70.5	2013	60.3
1992	73	2003	43.8	2014	43.7
1993	128	2004	62	2015	51.4
1994	80	2005	39	2016	52.9
1995	72	2006	76.8	2017	49.1
1996	44	2007	47.6	2018	66.3
1997	53	2008	40	2019	42.4
1998	55	2009	56		
1999	42.8	2010	62		
2000	37	2011	38.5		

(Source : ANRH de BLIDA)

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 III. 8 suivants :

Tableau III. 10: Caractéristiques de la série de données

Caractéristiques	**Valeurs**
Année d'observation	31
Minimum	29.6
Maximum	128
Moyenne	57.1
Ecart-type	20.5
Médiane	53.0
Coefficient de variation (Cv)	0.3585
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1.48
Coefficient d'aplatissement (Ck)	5.44

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

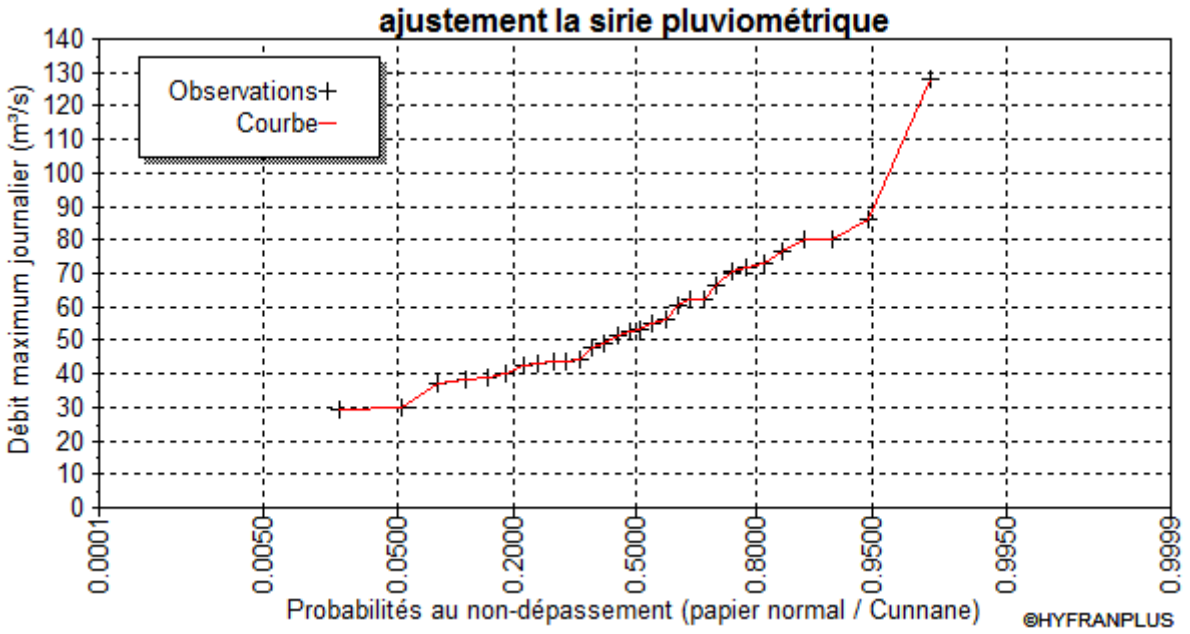

Figure III. 4: Représentation des observations sur papier normale

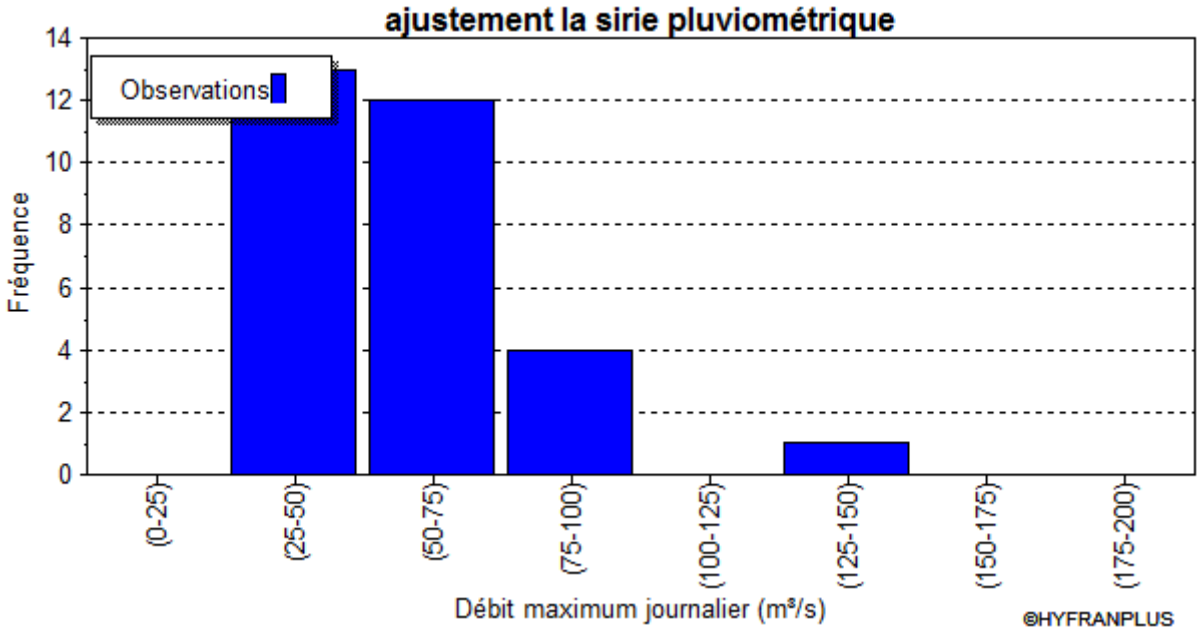

Figure III. 5: Histogramme des observations

De ces deux Figures III.4 et Figure III.5 on observe que :

De ces deux Figures, **on observe que** :

- La répartition des données sur le **papier normal (Figure III.4)** suit **approximativement une droite**, ce qui suggère que les données ne sont **pas très éloignées de la loi normale**, mais avec quelques valeurs extrêmes.
- L'**histogramme (Figure III.5)** montre une **distribution asymétrique à droite**

- Il existe des **valeurs atypiques**, ce qui indique que la **distribution log-normale ou Gumbel est plus appropriée** que la loi normale stricte.

III.3.2. Ajustement des pluies maximales journalières

A. Choix de la loi d'ajustement

L'objectif est de modéliser les pluies maximales journalières par une loi statistique capable d'estimer les hauteurs de pluie extrêmes associées à différentes périodes de retour.

Plusieurs lois peuvent être envisagées :

- **Loi normale**
- **Loi log-normale (Galton)**
- **Loi de Gumbel**

Dans cette étude, on a choisi de tester les deux lois les plus couramment utilisées en hydrologie :

1. **Loi de Galton (log-normale)**
2. **Loi de Gumbel**

Le logiciel utilisé pour l'ajustement, en alternative au logiciel HYFRAN utilisé dans le modèle de Larbaa.

Les ajustements seront évalués à l'aide :

- Des paramètres statistiques (μ, σ, α, u)
- De la représentation graphique
- Et de l'analyse visuelle de l'adéquation aux données

B. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON

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

Où :

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

$\bar{X}$: La moyenne de l´échantillon

- δi : L´écart-type de l´échantillon

- L'équation de la droite de GALTON est la suivante :

$$\text{Ln X (p\%)} = \text{Ln } (\bar{X}) + \delta.\ \text{Ln u (p\%)}$$

$Ln\ X = \sum^{41}{}_{1}\ Ln\ \bar{Xi}$ /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.
- ✓ Calculer pour chaque valeur de précipitation la fréquence expérimentale par la formule de HAZEN :

$$f(x) = \frac{\text{m} - 0.5}{\text{n}}$$

Avec :

m : Rang de précipitation.

n : Nombre d'observations (30).

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

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

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

Nombre d'observation : n = 30

- ❖ Paramètre :

Mu = 3.99, $\Delta = 0.33$

- ❖ Quantile : q= F(X) (probabilité au non dépassement), T= 1 (1-q).

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de GALTON sont représentés dans le tableau III.9 suivants :

Tableau III. 11: Résultats d'ajustement à loi de Galton log normal

Période de retour	Fréquence au non dépassement	Valeurs théoriques	Intervalle de confiance
T (ans)	Q	XT (mm)	-95%
10000.0	0.9999	185	122- 247
1000.0	0.9990	150	107– 193
100.0	0.9900	117	89.7– 144
10.0	0.9000	82.6	69.3- 95.9

Les valeurs de pluie XT ont été déterminées à partir des quantiles réduits calculés et des paramètres de la loi.

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 = 5.47

P-value : P =0.2427

Degrés de liberté : 4

Nombre de classes : 7

Conclusion : Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5%. La figure III.6 illustre l'ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON (Log normale)

Conclusion :

Le test est concluant. Puisque p>0.05 on accepte H0.

La loi de Galton est statistiquement valide pour modéliser les pluies extrêmes de la station Larbaa**.**

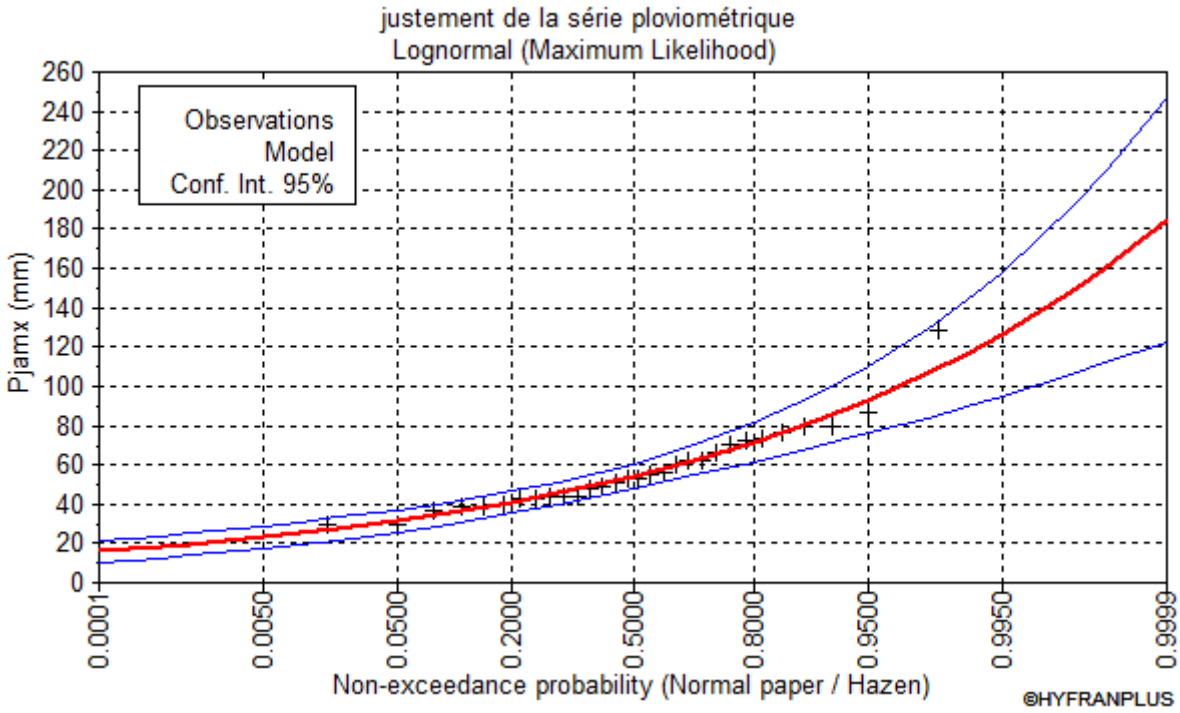

Figure III. 6: Ajustement à la loi de GALTON

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

C. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL

L'ajustement est effectué à partir à la loi de gumbel, qui permet de calculer les paramètres de la loi de Gumbel à partir : la moyenne μ et l'écart-type. 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 :

Nombre d'observations : 30

- Paramètre :

  $\mu = 48.13\, mm$

  $\alpha = 15.01\, mm$

- Quantiles

$q = F(X)$ (Probabilité au non-dépassement)

$T = 1/(1-q)$

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de GUMBEL sont représentés dans le tableau III.10 suivants :

Tableau III. 12: Résultats d'ajustement à loi Gumbel

Période de retour	**Fréquence au non dépassement**	**Valeurs théoriques**	**Intervalle de confiance**
T (ans)	Q	XT (mm)	-95%
10000.0	0.9999	186	145 – 228
1000.0	0.9990	152	120 – 184
100.0	0.9900	117	95.1– 139
10.0	0.9000	81.9	69.4 – 94.5

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.

Résultat de la statistique :

X^2 = 3.7327

P-value : P = 0.2918

Degrés de liberté : 3

Nombre de classes : 6

Conclusion : Le test du Khi-deux (χ^2) a été utilisé pour évaluer l'adéquation de la loi de Gumbel aux données des précipitations annuelles maximales. Les résultats ont montré que la valeur p était supérieure à 0,05, indiquant qu'il n'existe pas de différence significative entre la distribution observée et la distribution théorique.

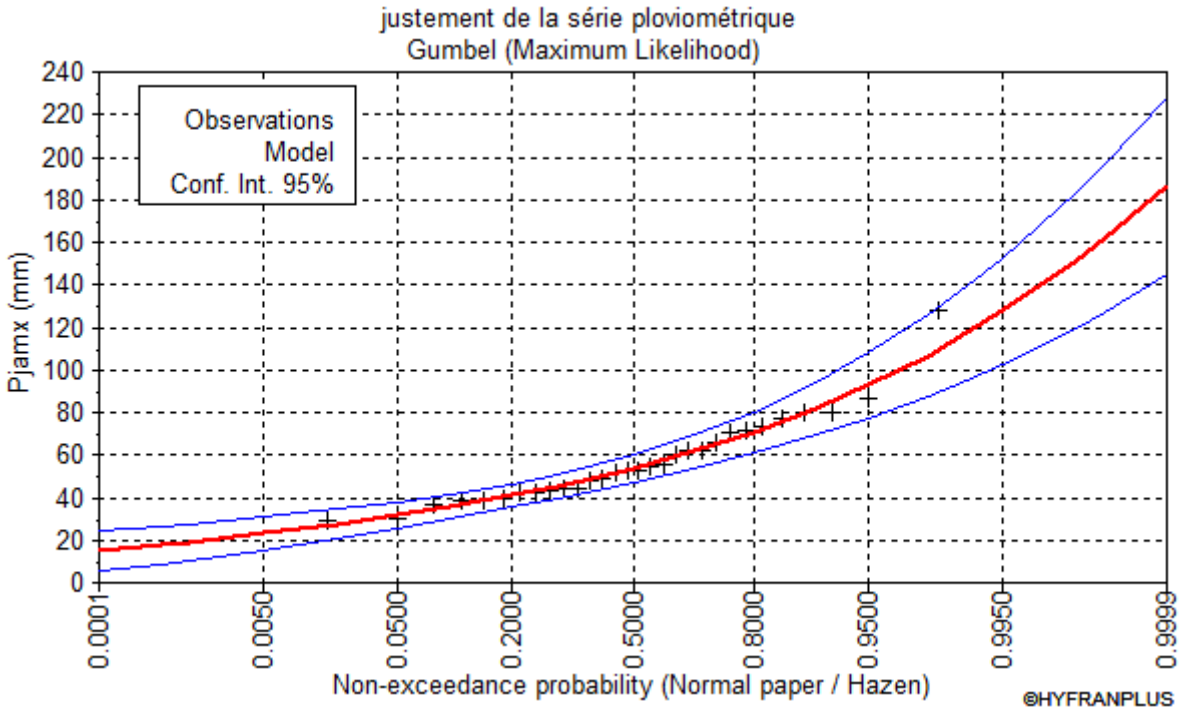

Figure III. 7: Ajustement à la loi de GUMBEL

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

D. Comparaison entre les deux lois d'ajustement

Après l'ajustement de la série des pluies maximales journalières à la **loi de Galton** (log-normale) et à la **loi de Gumbel**, il est essentiel de comparer les deux lois afin de retenir la plus représentative pour la suite de l'étude.

La figure III.8. Montre La comparaison entre les deux lois d'ajustement (Loi de Gumbel 'log normal' et loi de Galton).

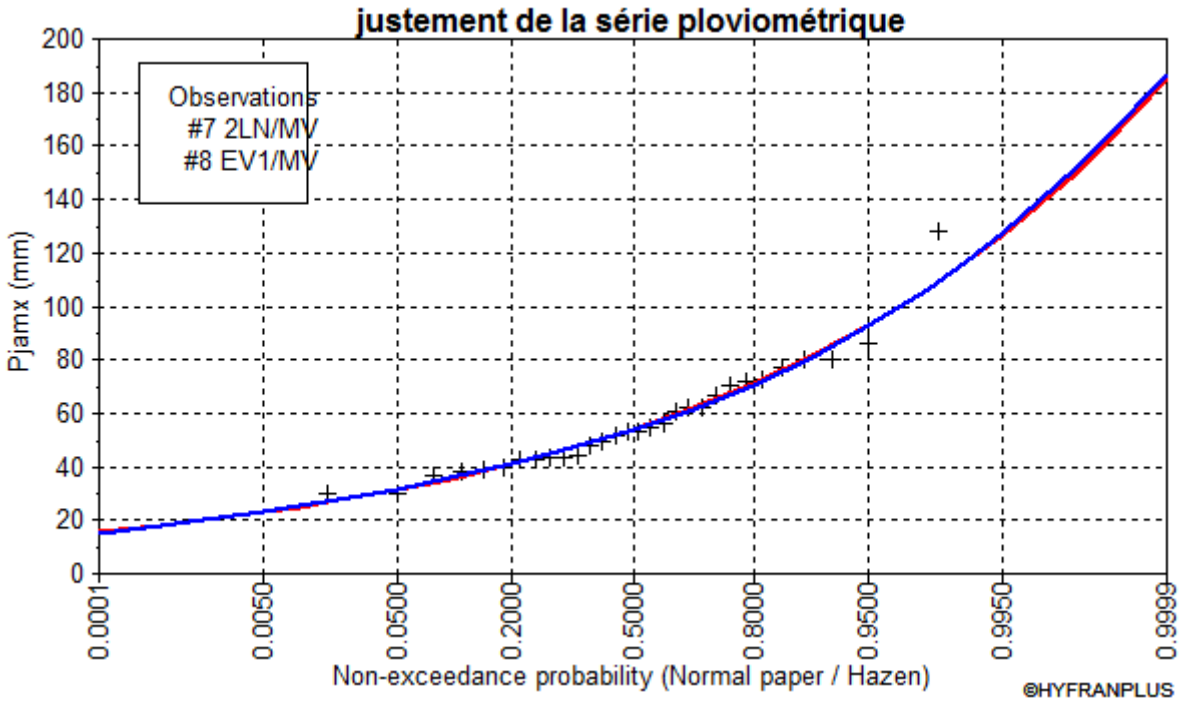

Figure III. 8: Comparaison entre les deux lois d'ajustement

Et Cette figure compare les valeurs théoriques issues des deux lois aux valeurs observées.

- La **courbe bleue** représente la loi **Galton**
- La **courbe verte** représente la loi **Gumbel**
- La **droite rouge pointillée** est la droite idéale y=x

Analyse graphique :

- Les deux lois présentent un bon ajustement global.
- Les deux courbes semblent être presque identiques.

Conclusion : Choix de la loi

Comme ils tous deux lois données presque les mêmes résultats, nous en choisi **la loi de Galton** est **retenue** pour la suite de l'étude hydrologique (détermination de Qmax, hydrogramme unitaire…).

III.4. Pluie de courte durée

Les hauteurs de pluie déterminées précédemment (XT) correspondent à une **durée de 24 heures**. Pour pouvoir estimer le **débit de pointe** lors d'une crue, il est nécessaire de transformer ces pluies journalières en **pluies de courte durée** (1h, 2h, 3h, etc.). Le passage

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

$P\text{ct} = P\text{max j } (t/24)^{e}$

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.11 et les courbes des pluies fréquentielles sont présentées par la figure III.9.

Tableau III. 13: (Pluies de durée t(h) et période de retour ans)

t(ans)	10000	1000	100	10
t(h)	**Ptc**	**Ptc**	**Ptc**	**Ptc**
0.25	**39.19**	**31.77**	**24.78**	**17.49**
1	**62.79**	**50.91**	**39.71**	**28.03**
2	**79.47**	**64.44**	**50.26**	**35.48**
3	**91.22**	**73.96**	**57.69**	**40.73**
4	**100.6**	**81.56**	**63.62**	**44.91**
5	**108.52**	**87.99**	**68.63**	**48.45**
6	**115.47**	**93.62**	**73.02**	**51.55**
7	**121.68**	**98.66**	**76.95**	**54.33**
8	**127.33**	**103.24**	**80.53**	**56.85**
9	**132.53**	**107.46**	**83.82**	**59.17**
10	**137.37**	**111.38**	**86.87**	**61.33**
11	**141.89**	**115.05**	**89.74**	**63.35**
12	**146.15**	**118.5**	**92.43**	**65.25**
13	**150.18**	**121.77**	**94.98**	**67.05**
14	**154.02**	**124.88**	**97.4**	**68.76**
15	**157.67**	**127.84**	**99.72**	**70.4**
16	**161.17**	**130.68**	**101.93**	**71.96**
17	**164.53**	**133.4**	**104.05**	**73.46**
18	**167.76**	**136.02**	**106.09**	**74.9**
19	**170.87**	**138.54**	**108.06**	**76.29**
20	**173.88**	**140.98**	**109.96**	**77.63**
21	**176.78**	**143.34**	**111.8**	**78.93**
22	**179..60**	**145.62**	**113.58**	**80.19**
23	**182.34**	**147.84**	**115.31**	**81.41**
24	**185**	**150**	**117**	**82.6**

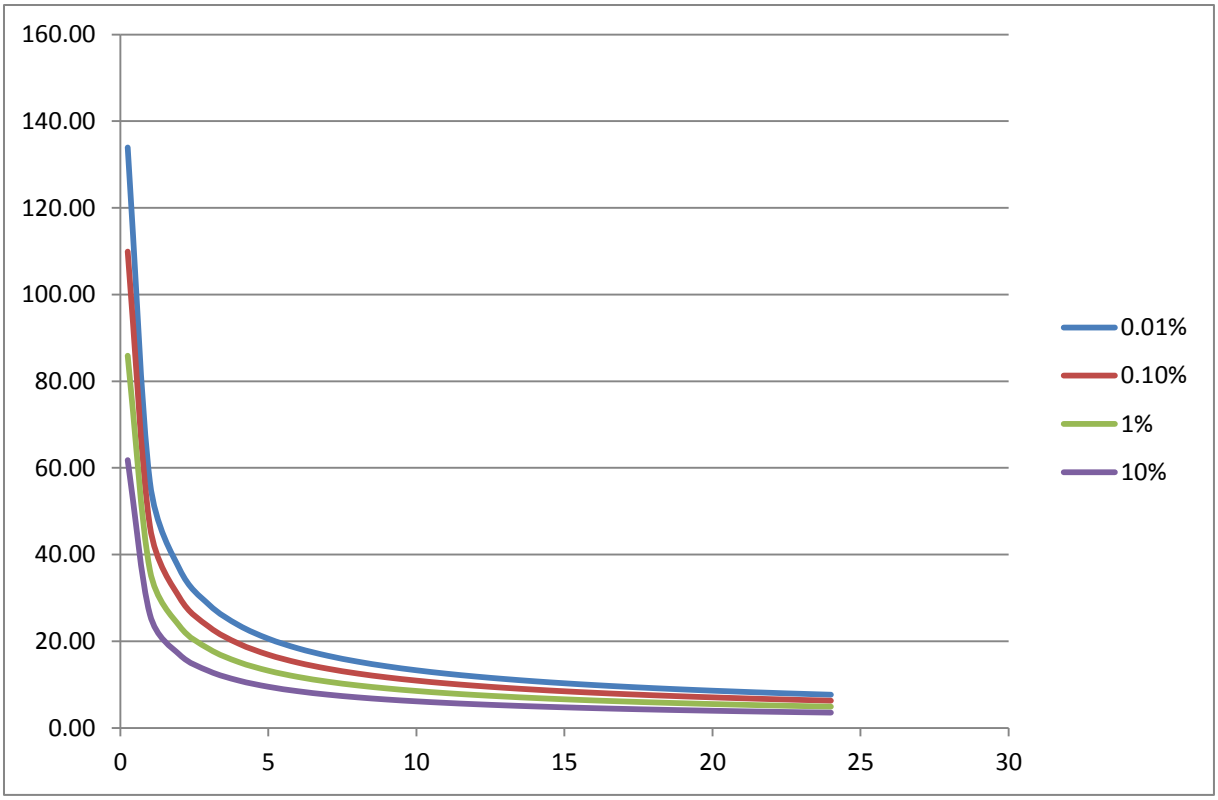

Figure III. 9: Courbes des pluies fréquentielles

III.5. Caractéristiques de l'écoulement

Ce chapitre vise à déterminer les paramètres caractéristiques de l'écoulement pour le bassin versant de **Larbaa**, en se basant sur les données climatiques et hydrologiques disponibles. Ces paramètres permettent de comprendre le comportement hydrologique du bassin, d'évaluer les risques d'inondation et d'anticiper les mesures d'aménagement nécessaires.

- Module de l'écoulement :

Il est donné par la formule suivante : $Me = A/T$

Avec :

A : Apport moyen annuel (l).

T : Temps d'une année en secondes. T=31.536*10^6 s.

- Module de l'écoulement relatif ou spécifique :

On a: $Ms = Me/S$

Avec :

Me : Module de l'écoulement (l/s).

S : Superficie du bassin (km^2).

- Lame d'eau écoulée :

On a: $Le = A / S$

Avec : A : Apport moyen annuel (l)

S : Superficie du bassin (km^2)

- Coefficient de l'écoulement :

Il est donné par :

$Ce = Le/ \bar{P}$

Avec :

$\bar{P}$: Pluie moyenne annuelle (mm).

Le : Lame d'eau écoulée (mm).

- Coefficient de variation :

Il est donné par différentes formules empiriques dont on cite :

- ✓ Formule de SOKOLOSKY :

$C = a - 0.063 log_{10}(S+1)$

Avec:

$a = 0.78 - 0.29 log_{10} Ms$

Avec :

Ms: Module de l'écoulement spécifique (l/s/km^2).

S : Surface du bassin(km^2)

- ✓ Formule d'OURKGUIPROVODKHOZ :

$Cv = 0.7 / Ms^{-0.127}$

Avec :

Ms : Module de l'écoulement spécifique (l/s/ km^2).

- ✓ Formule de l'ANTONOV :

$Cv = 0.7/(S+1000)^{0.097}$

Avec :

S : Superficie du bassin (km^2).

Les résultats obtenus sont présentés suivant :

Tableau III. 14: Les caractéristiques de l'écoulement

N° S/Bassin	Me (l/s)	Ms (l/skm^2))	Le (mm)	Ce	Cv		
					F SOKOL	F OURK	F ANTO
Sbv1	0.2548681	0.04901309	0.013211	0.000211	1.10987	0.47727	0.35799
Sbv2	0.24255369	0.05001107	0.011459	0.000183	1.10886	0.478497	0.35800
Sbv3	0.03358103	0.00550508	0.013675	0.000219	1.38147	0.36155	0.35796
Sbv4	0.25326812	0.00436669	0.01247	0.000200	1.41185	0.35107	0.35797
Sbv5	0.12597013	0.0286295	0.011452	0.000183	1.18135	0.44577	0.35802
Sbv6	0.07196821	0.0114235	0.008214	0.000131	1.28881	0.39667	0.35795
Sbv7	0.14249731	0.0299994	0.012563	0.000201	1.17374	0.44842	0.35801
Sbv8	0.23483192	0.0460454	0.014582	0.000233	1.11812	0.47350	0.35800
Sbv9	0.08235997	0.0183022	0.009111	0.000146	1.23715	0.42114	0.35802
Sbv10	0.04597018	0.007598	0.016933	0.000271	1.34106	0.37665	0.35796
Sbv11	0.0388921	0.0072695	0.01009	0.000161	1.34952	0.37454	0.35799
Sbv12	0.1314521	0.0265559	0.099576	0.00159	1.18810	0.44153	0.35800
Sbv13	0.0595517	0.0106342	0.015227	0.000244	1.30056	0.39308	0.35798
Sbv14	0.0581175	0.0113955	0.011759	0.0001886	1.29402	0.39655	0.35800
Sbv15	0.033967	0.0054784	0.008196	0.000131	1.38168	0.36133	0.35796
BV lARBAA	1.604831	0.019943	0.014582	0.000233	1.15268	0.42576	0.35550

III.6. Etude de crues

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 estimées correctement.

III.7. 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.

III.7.1. Méthodes déterministes

➢ III.7.1.1. Méthode historique

Il s'agit d'une méthode ancienne reposant principalement sur l'exploitation des archives historiques, les témoignages des populations locales et l'observation des marques laissées par les crus exceptionnels. Elle est employée en l'absence de données instrumentales sur les débits maximaux atteints lors de crus majeures.

➢ Méthodes empiriques

Divers auteurs ont développé des formules empiriques adaptées aux spécificités locales et aux problématiques rencontrées. Ces lois permettent d'établir des relations entre le débit, la superficie du bassin versant, les précipitations et la période de routeur.

❖ 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.

$$\frac{Q}{Q0} = \left(\frac{A}{A0}\right)^{1-K/10}$$

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

➢ Méthodes Probabilistiques

Cette approche consiste à analyser les débits afin d'identifier la loi de probabilité qui les caractérise (telles que celles de gumbel, Galton, Pearson 3, etc..). Elles incluent notamment la méthode du Gradex, fondée sur l'hypothèse que, lors de fortes précipitations et dans des conditions proches de la saturation des sols, toute augmentation des précipitations proportionnelles du débit. Ainsi, sur un graphique de gumbel, les courbes des fréquences des pluies et des débits apparaissent parallèles.

III.8. 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.

H_0 : Perte initiale [H_0 = 0mm].

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

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

Tableau III. 15: Valeur de γ en fonction de bassin versant

Condition	**Γ**
Surface du B.V compris entre 1 et 50 km²	$\gamma = 2$
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 γ=2 pour tous les bassins

Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux (III.14) et (III.15) suivants :

Tableau III. 16: Temps de concentration et la pluie de courte durée pour les périodes de retour (10, 100, 1000,10000 ans)

		P_{ct}(mm)			
BV	Tc(h)=Tc(min)	10000	1000	100	10
Sbv1	2.18=130.8	108.08	87.63	68.35	48.25
Sbv2	2.03=121.8	106.09	86.02	67.09	47.37
Sbv3	2.61=156.6	114.12	92.53	72.17	50.95
Sbv4	2.48=148.8	112.49	91.21	71.14	50.22
Sbv5	2.09=125.4	107.02	86.77	67.68	47.78
Sbv6	2.87=172.2	117.16	94.99	74.09	52.31
Sbv7	2.18=130.8	108.52	87.98	68.63	48.45
Sbv8	2.30=138.0	110.08	89.25	69.62	49.15
Sbv9	1.94=116.4	110.50	89.59	69.88	49.33
Sbv10	2.78=166.8	116.14	94.16	73.45	51.85
Sbv11	2.33=139.8	110.50	89.59	69.88	49.33
Sbv12	2.31=138.6	110.22	89.37	69.71	49.21
Sbv13	2.75=165.0	115.79	93.88	73.23	51.70
Sbv14	2.41=144.6	111.58	90.46	70.56	49.81
Sbv15	2.24=134.4	109.24	88.57	69.08	48.77

Pour le BV larbaa

63.18mm pour 10 ans

89.49mm pour 100 ans

114.73mm pour 1000 ans

141.50mm pour 10000 ans

Tableau III. 17: Le débit max pour les périodes de retour (10, 100, 1000,10000 ans)

	Période de retour (ans)	10000	1000	100	10
Q_{max} p%	Sbv1	57.09	46.29	36.10	25.49
	Sbv2	56.13	45.51	35.50	25.06
	Sbv3	59.07	47.89	37.35	26.37
	Sbv4	58.26	47.24	36.84	26.01
	Sbv5	49.90	40.45	31.55	22.27
	Sbv6	56.96	46.18	36.02	15.70
	Sbv7	52.36	42.45	33.11	23.38
	Sbv**8**	54.06	43.83	34.19	24.13
	Sbv**9**	56.76	45.02	35.90	25.34
	Sbv**10**	55.97	45.38	35.40	24.99
	Sbv**11**	56.19	45.56	35.53	25.08
	Sbv**12**	52.31	42.41	33.08	23.35
	Sbv**13**	52.22	42.34	33.02	23.31
	SbV**14**	52.29	42.39	33.07	23.34
	SbV**15**	66.96	54.29	42.34	29.89

Pour bv larbaa

10 ans = 140.89 m3/s

100 ans = 199.57 m3/s

1000 ans = 255.85 m3/s

10000 ans = 315.55 m3/s

III.9. Hydrogramme des crues

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

L'hydro gramme de crue est établi par la méthode de SOKOLOVSKY qui le trace à base de deux équations paraboliques, lune pour la montée de crue et l'autre pour la décrue.

La montée de la crue :

$$Qm(t) = Qmax, p * (\frac{t}{tm})^3$$

- La décrue :

$$Qd(t) = Qmax, p * (\frac{tb-t}{td})^2$$

Avec :

Q_{max} p : Débit maximum de crue (de pointe) (m3/s).

Q_m (t) : Débit instantané au moment de la montée (m/s).

Q_d (t) : Débit instantané au moment de la descente (m/s).

t_m : Temps de montée (h).

t_d: temps de descente (h).

t_b: Temps de base (h).

On a : $t_m=t_c$; $t_d=t_m * \gamma$ et $t_b = t_m + t_d$

δ : Coefficient qui dépend des caractéristiques du bassin versant.

Tableau III. 18: Coefficient de forme de l'hydro gramme de crue δ

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

Pour notre bassin δ=2,5.

Donc :

Tableau III. 19: Le de montée de décrue et le temps de base pour les sept bassins versants

BV	Tm	Td	Tb
Sbv1	**2.18**	**4.36**	**6.54**
Sbv2	**2.03**	**4.06**	**6.09**
Sbv3	**2.61**	**5.22**	**7.83**
Sbv4	**2.48**	**4.96**	**7.44**
bv5	**2.09**	**4.18**	**6.27**
Sbv6	**2.87**	**5.74**	**8.61**
Sbv7	**2.18**	**4.36**	**6.57**
Sbv8	**2.30**	**4.60**	**6.90**
Sbv9	**1.94**	**3.88**	**5.82**
Sbv10	**2.78**	**5.56**	**8.34**
Sbv11	**2.33**	**4.66**	**6.99**
Sbv12	**2.31**	**4.62**	**6.93**
Sbv13	**2.75**	**5.5**	**8.25**
Sbv14	**2.41**	**4.82**	**7.23**
Sbv15	**2.24**	**4.48**	**6.72**
BV Larbaa	**7.97**	**15.94**	**23.91**

III.10. Conclusion

Dans cette partie de l'étude, nous avons procédé à une analyse détaillée des caractéristiques morphologiques des bassins versants étudiés, en évaluant notamment les surfaces, les longueurs d'écoulement, les pentes moyennes ainsi que le réseau hydrographique. Ces paramètres nous ont permis de calculer avec précision le temps de concentration pour chaque sous-bassin, ce qui constitue une étape fondamentale dans l'estimation du ruissellement et des débits de crue. Par ailleurs, l'ajustement statistique des débits a démontré que la loi de Galton (ou loi Log-Normale) offrait la meilleure corrélation pour modéliser la distribution des crues. Grâce à cette loi, nous avons pu établir les hydro

grammes unitaires de crue pour différentes périodes de retour (10, 100, 1000 et 10000 ans), fournissant ainsi une base solide pour la prévision des crues probables. L'ensemble de ces résultats représente une étape clé dans la démarche d'évaluation du risque inondation. Ils seront intégrés dans la modélisation hydraulique à l'aide du logiciel HEC-RAS, en vue de simuler le comportement du cours d'eau en période de crue, d'identifier les zones potentiellement inondables et de proposer, à terme, des solutions d'aménagement et de protection adaptées.

Chapitre IV :

MODELISATION ET SIMULATION HYDRAULIQUE PAR LOGICIEL HE-RAS

Chapitre IV : Modélisation et simulation hydraulique par logiciel HE-RAS

Introduction

Dans ce chapitre, une modélisation hydraulique a été réalisée à l'aide de l'outil HEC-RAS afin de simuler la propagation des débits calculés le long des tronçons des cours d'eau traversant le site d'étude. Cette démarche a permis d'estimer les hauteurs maximales d'eau susceptibles d'être atteintes lors de crues. Les résultats obtenus ont servi à délimiter avec précision les zones potentiellement inondables, en vue d'évaluer les risques encourus. Enfin, des solutions techniques et d'aménagement ont été proposés pour assurer une meilleure protection du centre urbain contre les inondations.

IV.1. Matériels et Méthode

IV.1.1. Présentation du logiciel HEC RAS

Le logiciel HEC-RAS est un outil de modélisation hydraulique avancé, développé par le Corps des ingénieurs de l'armée des États-Unis, dans le but d'analyser l'écoulement de l'eau dans les rivières et les canaux. Il repose sur une modélisation unidimensionnelle, ce qui signifie qu'il simule l'écoulement le long de l'axe du cours d'eau, sans prendre en compte les variations latérales ou verticales complexes, typiques des modèles bidimensionnels ou tridimensionnels. HEC-RAS est largement utilisé dans les études de gestion des ressources en eau. Il permet de calculer les hauteurs d'eau, les vitesses d'écoulement, et de délimiter avec précision les zones inondables, ce qui en fait un outil efficace pour l'évaluation des risques et la planification des mesures de protection. Le logiciel offre une interface conviviale pour la saisie et l'analyse des données, ainsi que des fonctionnalités avancées pour la présentation des résultats sous forme de tableaux, de graphiques et de rapports exportables. Grâce au soutien continu de ses développeurs, HEC-RAS bénéficie de mises à jour régulières pour répondre aux besoins croissants des utilisateurs. Il est disponible en téléchargement gratuit sur le site officiel de l'Hydrologique Engineering Center, ce qui en fait un choix privilégié pour de nombreuses institutions publiques et bureaux d'études à travers le monde [15].

IV.1.2. Equations de base

Les équations utilisées dans le modèle reposent sur les principes de conservation de la masse et de conservation de la quantité de mouvement, connues également sous le nom

d'équations de Saint-Venant unidimensionnelles. Ces équations décrivent le comportement de l'écoulement en considérant un bilan hydrodynamique appliqué à un petit volume de contrôle le long du cours d'eau. Elles permettent de représenter de manière réaliste les variations du débit et du niveau d'eau au cours du temps et de l'espace dans un lit fluvial.,

A – Equation de la continuité liquide

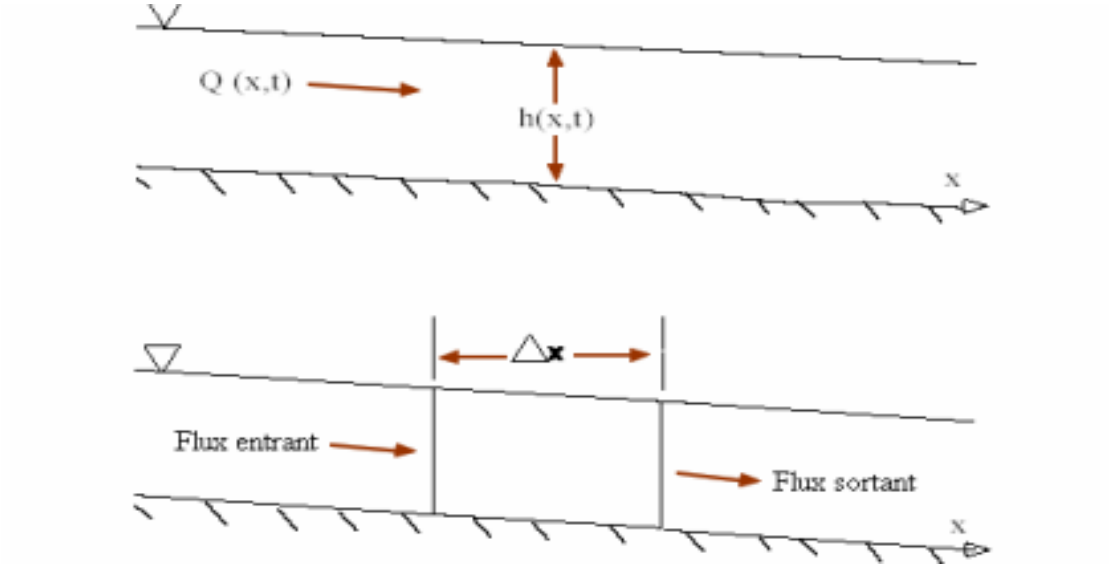

Figure IV. 1: Volume de contrôle élémentaire pour la dérivation des équations de continuité et de vitesse

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

A_t: La surface moillée

q_1 : Débit latéral entrant par unité e longueur.

B- Equation de la conservation de la quantité de mouvement

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f\right) = 0$$

S_f : Pente de frottement.

$\frac{\partial z}{\partial x}$: Pente de la hauteur d'eau (pente d'énergie).

A : section mouillée.

V : vitesse moyenne.

C- Formule de dissipation d'énergie

$$s_f = \frac{Q\backslash Q\backslash n^2}{2.208 R^{3/4} A^2}$$

R : rayon hydraulique.

s_f:la pente de la ligne d'énergie.

n : Coefficient de friction de manning

Q : Débit.

Modélisation d'un cours d'eaux avec HEC-RAS

Afin d'étudier le comportement hydraulique d'un cours d'eau sur HEC-RAS, il faut créer ce que l'on appelle un projet qui consiste un ensemble de dans lesquels on introduit les informations nécessaires pour la simulation :

-Les données géométriques.

- Les donnée de débits.

-Les conditions aux limites.

- Les conditions de simulations.

-Les résultats des simulations.

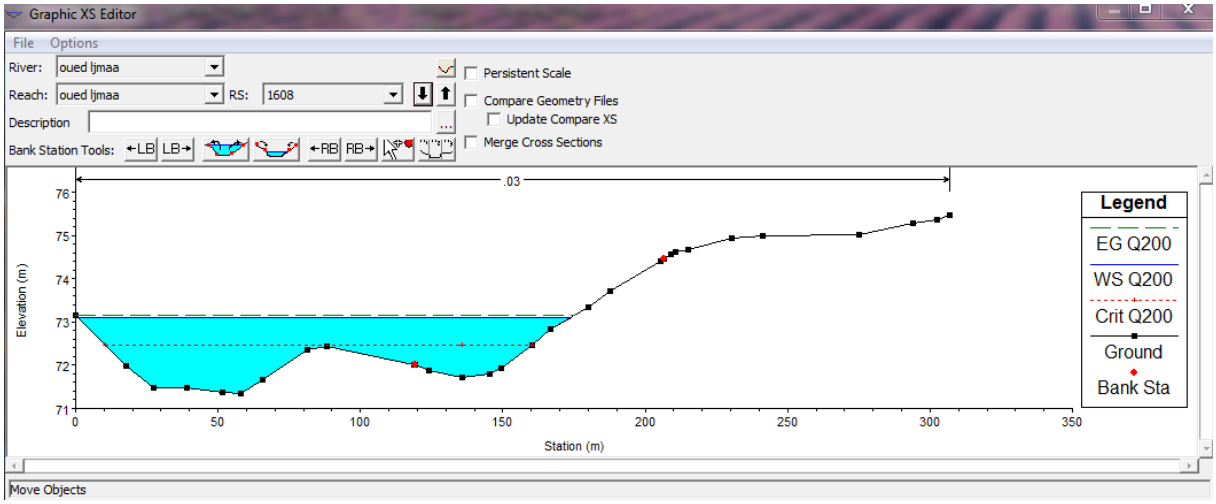

Figure IV. 2: Exemple de section avec hauteur d'eau

Ce logiciel permet de modéliser les débits et les hauteurs d'eau dans un cours d'eau. La première étape consiste à modéliser le cours d'eau. Ce modèle se constitue d'une succession de sections dans lesquelles on calcule les débits st la hauteur d'eau :

- Elles correspondent au millage du cours d'eau. Ces sections ont été mesurées et sont donc assez fidèles à la réalité.

- On peut y observer le lit majeur et le lit mineur.

Le logiciel HEC ras permet de modifier énormément d'options pour pouvoir obtenir un modèle correct. On peut notamment modifier le coefficient de Strickler de chaque section, créer des ouvrages hydrauliques (seuils…), choisir diverses conditions limites values ou conditions initiales, simuler à partir d'un hydro gramme de crue, ajouter des déversoirs, simuler des écoulements permanents ou non permanents etc.

IV.1.3. Les fichiers constituant un projet HEC-ras

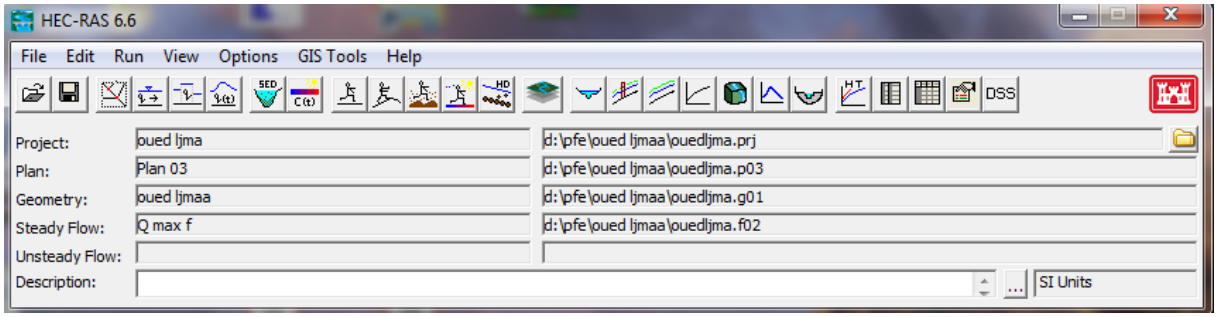

Figure IV. 3: Projet nouveau

Les fichiers d'un projet HEC-RAS et leurs fonctions Un projet HEC-RAS est composé d'un ensemble de fichiers essentiels, chacun ayant un rôle spécifique dans la gestion, la simulation et l'analyse hydraulique. Tous ces fichiers partagent un nom commun défini par l'utilisateur, mais se distinguent par leur extension, laquelle est générée automatiquement par le logiciel et ne doit pas être modifiée manuellement. Description des fichiers :

1. Fichier Projet (.PRJ) : Contient le nom du projet, sa description, le système d'unités utilisé, les paramètres par défaut définis par l'utilisateur ainsi que les liens vers tous les autres fichiers du projet. Il inclut aussi une référence au dernier plan utilisé.

2. Fichier Géométrie (G01 à G99) : Regroupe toutes les données géométriques du cours d'eau, comme le schéma du réseau, les sections transversales, les distances, les coefficients de Manning, ainsi que les structures telles que les ponts et les ponceaux. Plusieurs fichiers de géométrie peuvent être créés pour tester différents scénarios.

3. Fichier Débit : Sert à simuler les écoulements permanents. Il contient les données de débit, le nombre de profils à calculer et les conditions limites pour chaque tronçon. Chaque profil représente un ensemble de conditions d'écoulement.

4. Fichier Plan : Fait le lien entre un fichier de géométrie et un fichier de débit. Il permet de créer plusieurs scénarios d'analyse en combinant différentes configurations.

5. Fichier Simulation : Généré automatiquement par HEC-RAS lors du lancement d'une simulation. Il contient les paramètres techniques nécessaires à l'exécution de la simulation d'un plan donné.

6. Fichier Résultats : Contient tous les résultats issus de la simulation, comme les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement. Chaque fichier de résultats correspond à un plan spécifique.

IV.1.4. Démarrage de HEC-RAS

Le démarrage de HEC-RAS se fait de deux manières :

- Par double - clic sur l'icône

placé sur le Desktop (Bureau),
- Via le menu Démarrer et choix du programme HEC-RAS.

Menu de HEC-RAS

Suite au démarrage de HEC-RAS, la fenêtre principale de HEC-RAS s'affiche illustrée à la, sans toutefois les données qui y sont inscrites. Elle comporte une barre de menu qui est située dans le haut de la fenêtre, ainsi qu'une barre de boutons située juste au-dessous. Ces deux éléments importants sont présentés un peu plus loin. Parmi les autres éléments de la fenêtre principale, on retrouve des espaces prévus pour afficher les données présentement utilisées, soit le titre du Projet en cours, une description du Plan, de la géométrie et des données de débits utilisées. Le nom et le chemin du fichier de chacun de ces éléments sont indiqués dans la deuxième colonne.

La barre de menu comprend toutes les fonctions disponibles de HEC-RAS. Le menu File permet d'ouvrir, de créer et de sauvegarder un Projet (fichiers avec l'extension .prj). Les autres options permettent de modifier le titre du Projet ou d'effacer tous les fichiers reliés à un projet. Utiliser cette dernière option avec précaution.

Outre le menu File, le menu Edit est également important et permet de spécifier les données de base décrivant le système hydrographique devant être modélisé ainsi que les conditions de débit dans ce système.

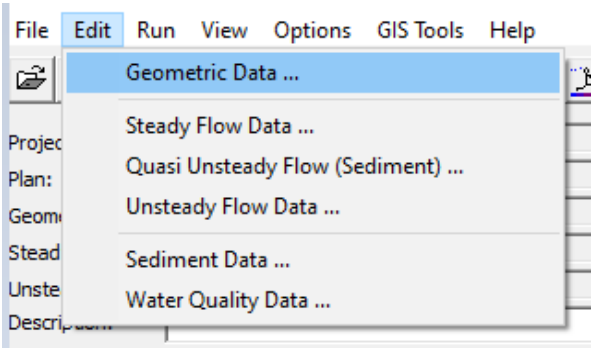

Figure IV. 4: Fenêtre principale de HEC- RAS 6.6

a. Barre de menu HEC-RAS

La création d'un projet de modélisation avec HEC-RAS commence principalement par la définition de la géométrie du cours d'eau à analyser. Cette étape s'effectue à travers l'insertion de sections transversales, et sera abordée plus en détail dans la section 3.2. Pour ce faire, on utilise l'option Géométrique Data, qui permet de saisir toutes les informations géométriques du cours d'eau. Ces données sont ensuite enregistrées dans des fichiers portant l'extension. G* (où ** correspond à une numérotation séquentielle). Une autre fonctionnalité importante accessible via le menu Edit est Steady Flow Data. Elle sert à définir les valeurs de débit à modéliser ainsi que les conditions aux limites de l'écoulement. Le terme Profile désigne ici l'ensemble des niveaux d'eau obtenus pour une configuration de débit donnée. Les données saisies à cette étape sont stockées dans les fichiers correspondants. D'autres options comme Unsteady Flow Data (pour les écoulements non permanents) et Sédiment Data (relatif au transport de sédiments) sont également disponibles. Enfin, le menu Run joue un rôle central dans la gestion des simulations. Il propose trois choix : Steady Flow Analysais, Unsteady Flow Analysais et Hydraulique Design. C'est dans ce menu qu'on définit le Plan, lequel établit le lien entre la géométrie choisie, les régimes d'écoulement modélisés et les débits simulés.

b. Barre de bouton HEC-RAS :

Finalement, la barre de bouton constitue un accès aux fonctions utilisées le plus couramment dans HEC-RAS. En plaçant le curseur de la souris au-dessus d'un bouton, la description est affichée dans la barre de titre de la fenêtre ainsi que dans un élément textuel. L'icône utilisé est aussi représentatif de cette fonction. Elles ont pour la plupart été abordées précédemment ou seront vus ultérieurement lors de la réalisation d'un exemple. Fait à noter, les éléments de la barre de boutons sont placés dans un ordre logique de réalisation d'un Projet avec HEC-RAS, mais ce ne sont pas toutes ces fonctions qui doivent nécessairement être

utilisées dans un projet. Finalement, dans le coin inférieur droit de la fenêtre principale, le système d'unité utilisé est indiqué en permanence.

IV.2. METHODOLOGIE

La modélisation s'avère un outil fondamental pour connaitre la répartition et l'ampleur géographique du phénomène. Notre schéma de modélisation et de mesure de l'ampleur d'inondation est fondé sur la base de deux études :

- L'étude hydrologique a pour objectif l'estimation des débits de pointes correspondant aux différentes périodes de retour (10, 100, 1000,10000 ans) au niveau de la zone du projet. Les débits adoptés seront d'une importance capitale pour le dimensionnement des ouvrages projetés sur l'oued el djemaa. Elle comprend plusieurs étapes :

- Trouver des laisses de crues passés et recueillir les témoignages.
- Ajustement par loi de Galton des pluies maximales journalières et détermination des (Pj max pour une période T allant de 10 à 100).

Cette méthode s'applique à des bassins de quelques dizaines à plusieurs milliers de kilomètres carrés, qui sont homogènes pluviomètriquement.

- Estimation des débits de crue ;
- Estimation du débit de pointe ;
- Estimation des temps de concentration en appliquant les formules empiriques ;
- Estimation de l'hydro gramme de crues.

- **L'étude hydraulique** est de la simulation d'un modèle d'oued el djemaa. Elle commence par apporter les éléments de bases nécessaires au fonctionnement du modèle hydraulique, et identifier des zones à risques d'inondations dans le bassin. L'identification des processus est faite comme suit :

- Identification de la géométrie d'un cours d'eau
- Identification des débits et les conditions aux limites.
- Visualisation des résultats sous forme graphique ainsi que sous forme des tableaux.

  Le schéma suivant présente les différentes étapes à suivre.

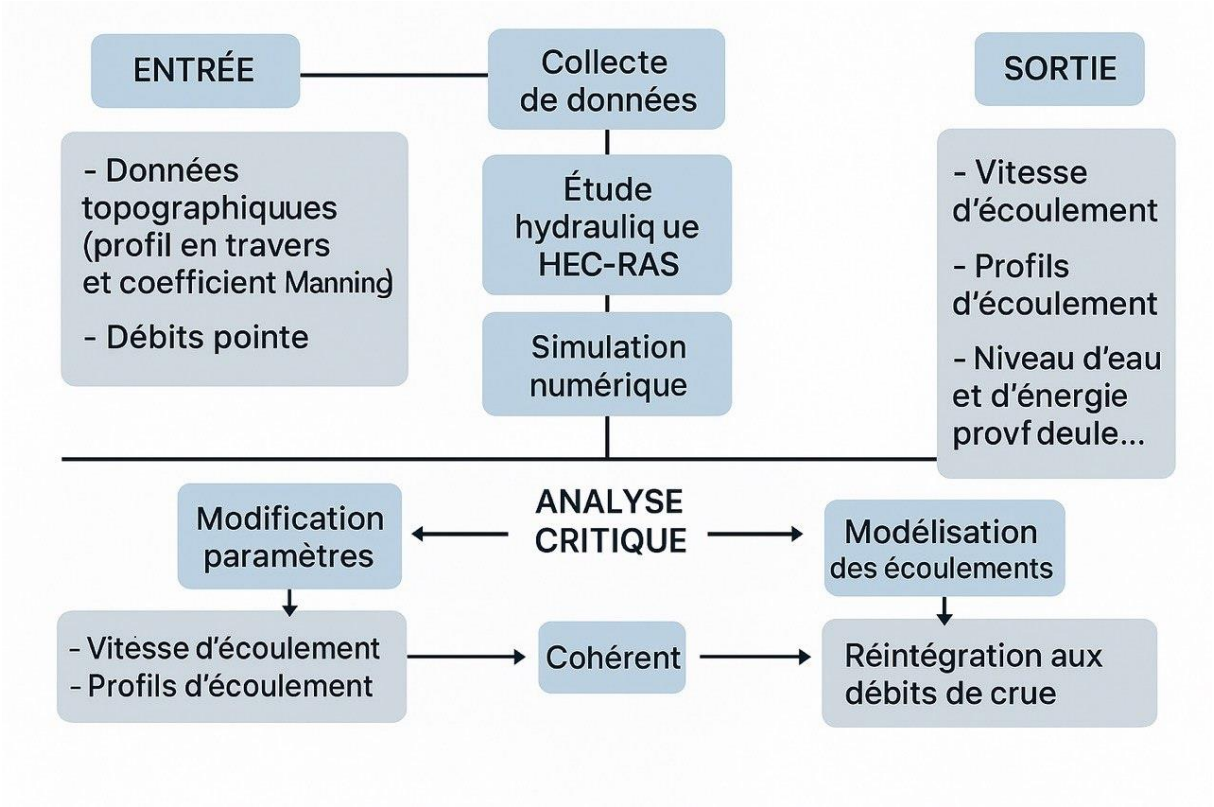

Figure IV. 5: Schéma méthodologique

IV.2.1. Conception du modèle numérique du terrain (MNT)

Afin de pouvoir concevoir le modèle numérique de la zone d'étude, nous avons procédé comme suit :

IV.2.2. Tracé en plan de l'oued

Pour ce faire nous avons fait appel à Google Earth afin de tracer l'axe de Oued Sidi El djemaa objet de notre étude Comme montré sure la figure IV.6. Puis, nous avons enregistré le tracé de l'oued sous extension « .kmz » afin de pouvoir l'exploiter par le logiciel Global Mapper.

Figure IV. 6: Tracé en plan d'Oued el Djemaa

IV.2.3. Téléchargement du Model SRTM

En utilisant le logiciel Global Mapper, nous avons téléchargé le modèle numérique du terrain (MNT) de notre zone d'étude comme le montre la figure IV.7.

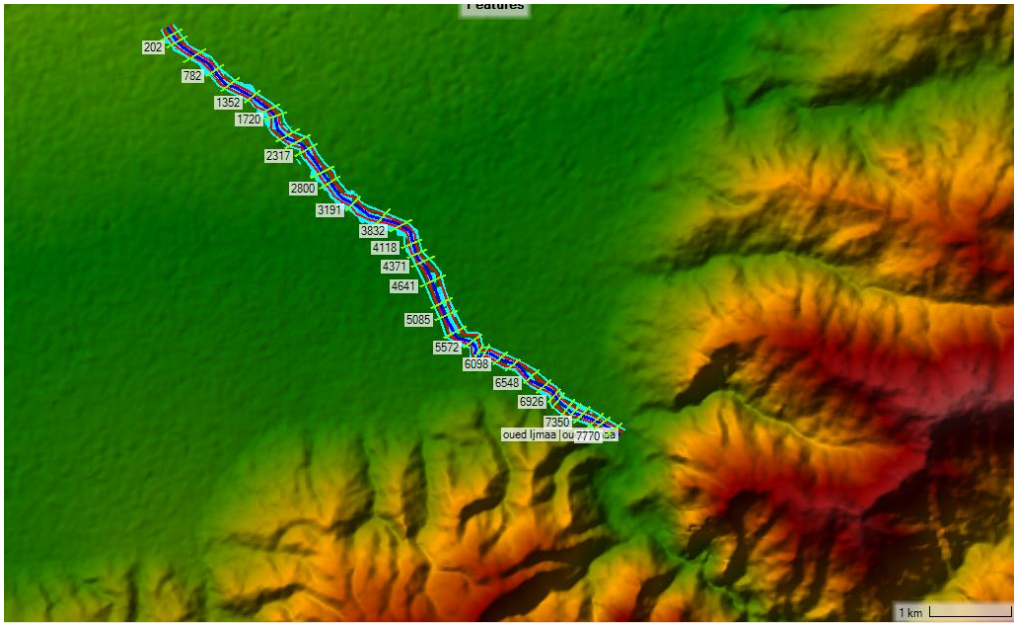

Figure IV. 7: Modèle Numérique du terrain MNT

IV.2.4. 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 djemaa.

IV.2.5. Positionnement des stations

En ouvrant Ras Mapper à partir du logiciel HEC RAS 6.6, nous avons chargé en premier lieu le MNT du terrain et le tracé en plan de l'oued, générés auparavant par Global Mapper. Sur le tracé de l'oued nous avons procédé à l'emplacement automatique des stations (section en travers de l'oued) avec une distance régulière de 100 m à 150 m. La numérotation des sections est de 0 à 7770 de l'aval vers l'amont.

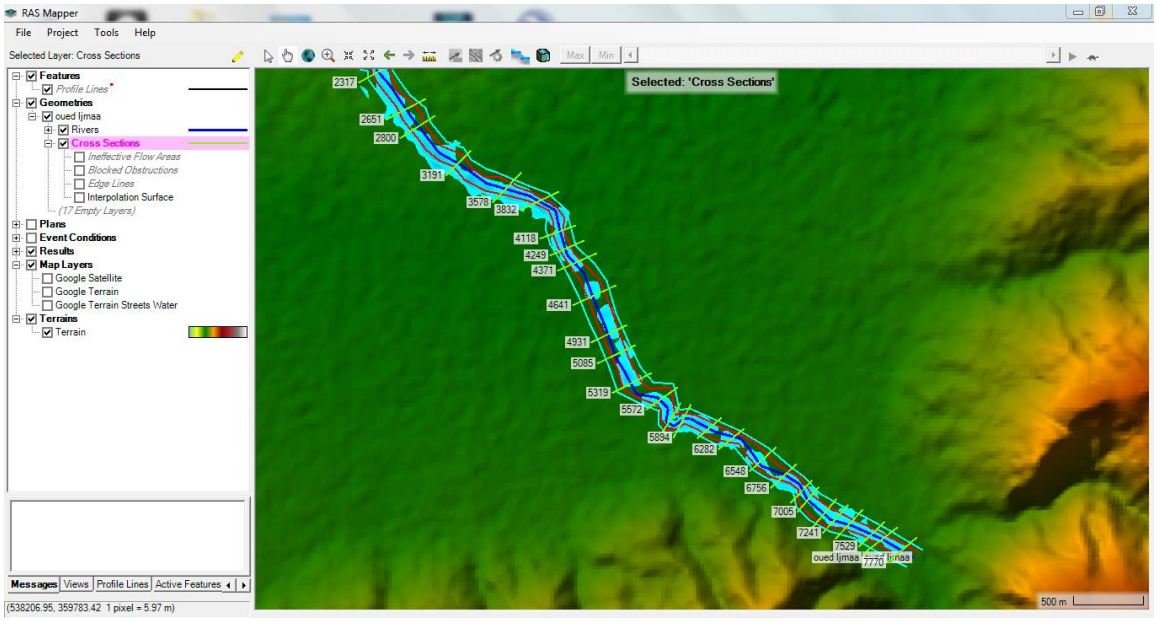

Figure IV. 8: Emplacement des sections en travers de l'oued

IV.2.6. Profil en long d'Oued el Djemaa

Après avoir placé les sections en travers sur l'axe en plan de l'oued nous générons le profil en long de l'oued.

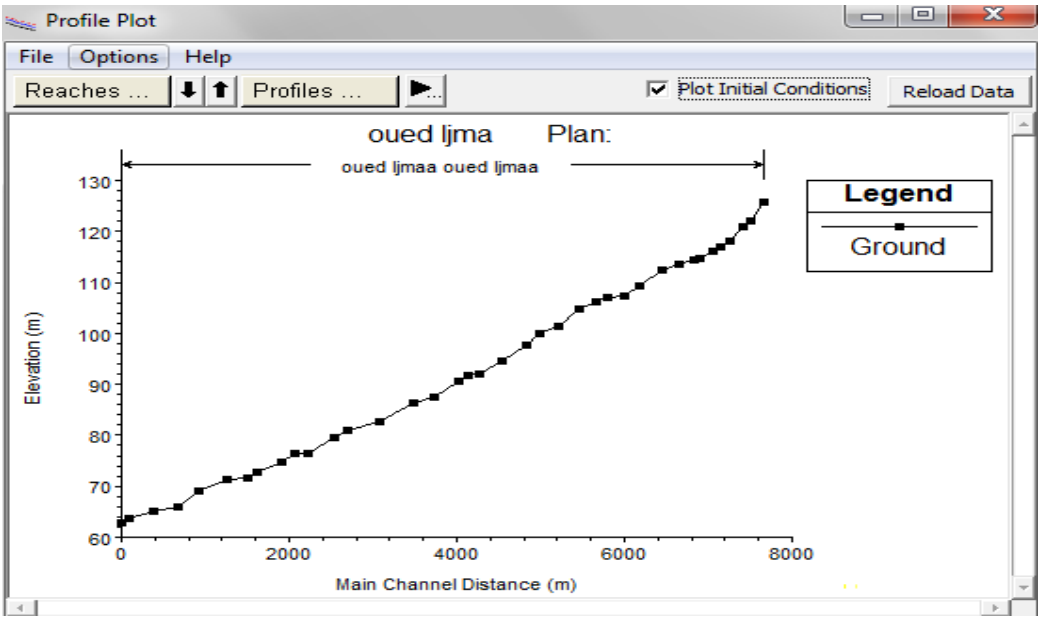

Figure IV. 9:Profil en long d'Oued el Djemaa

IV.2.7. Section type de l'aménagement existant d'Oued el Djemaa

Une seule partie d'Oued el Djemaa est partiellement aménagé (préparée) avec un canal dans la section opposée au pont, qui a été améliorée pour prendre une forme quelque peu trapézoïdale comme montré dans la Figure IV.10. L'aménagement couvre, selon notre numérotation de section, la section numéro 4249 jusqu'à la section 4118 en allant de l'aval vers l'amont.

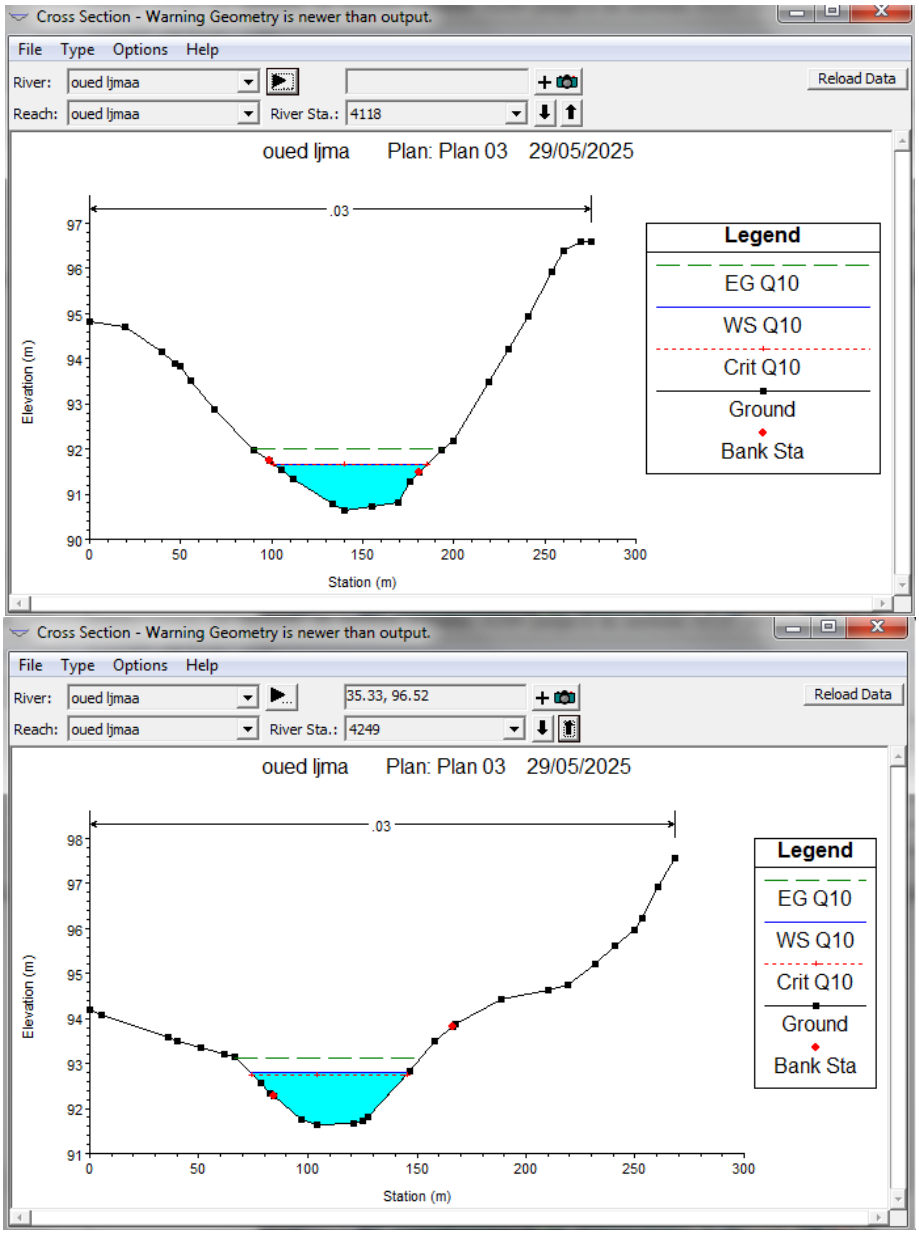

Figure IV. 10: Section du canal existant

La figure IV.11 Montre la section semi- aménagée de l'oued en forme de trapèze.

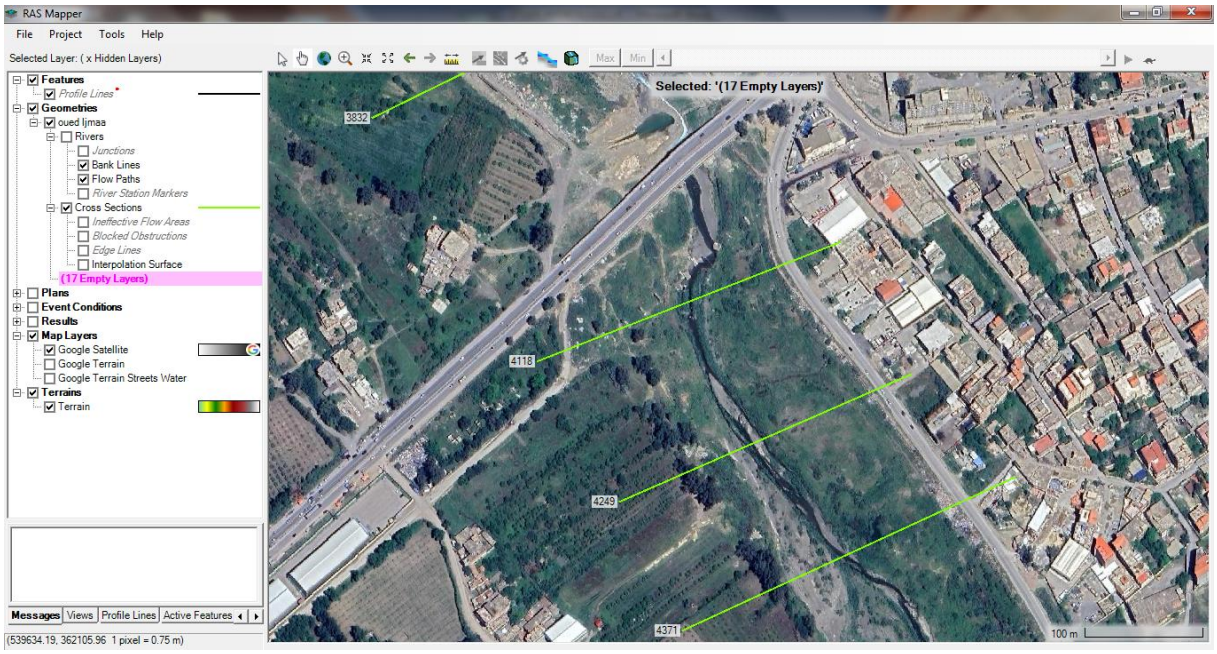

Figure IV. 11: Partie semi- Aménagée de l'oued

IV.3. Introduction des données hydrauliques

Apres finalisation de la partie conception du modèle numérique du terrain, nous nous sommes passés à l'introduction des données hydrauliques relatives aux crues fréquentielles de périodes de retour 10, 100, 1000 et 10 000 ans à savoir les débits max générés par chaque sous bassin. Nous considérons que l'écoulement est permanent.

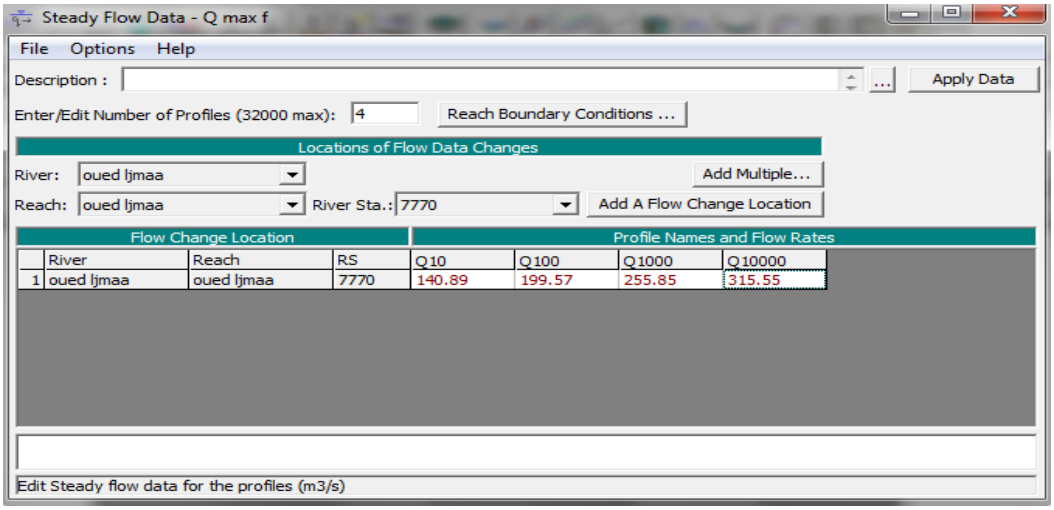

Figure IV. 12: Introduction de débits max

IV.3.1. 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 à la pente géométrique du cours d'eau.

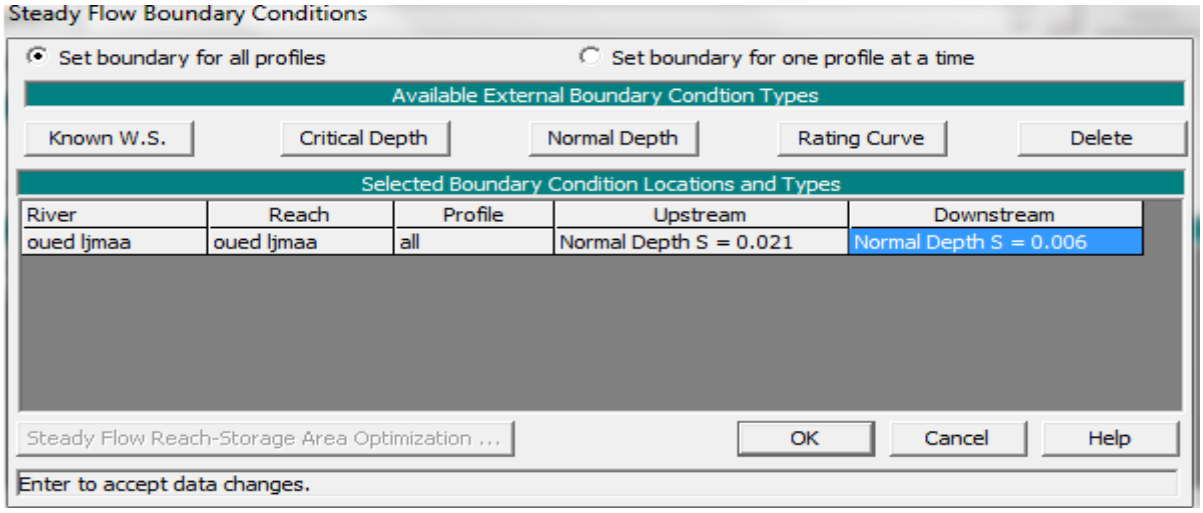

Figure IV. 13: Introduction des conditions aux limites amont et aval

IV.3.2. Lancement de la simulation

Après avoir terminé l'introduction des données hydrauliques et conditions aux limites nous lançons la simulation de l'écoulement en régime mixte.

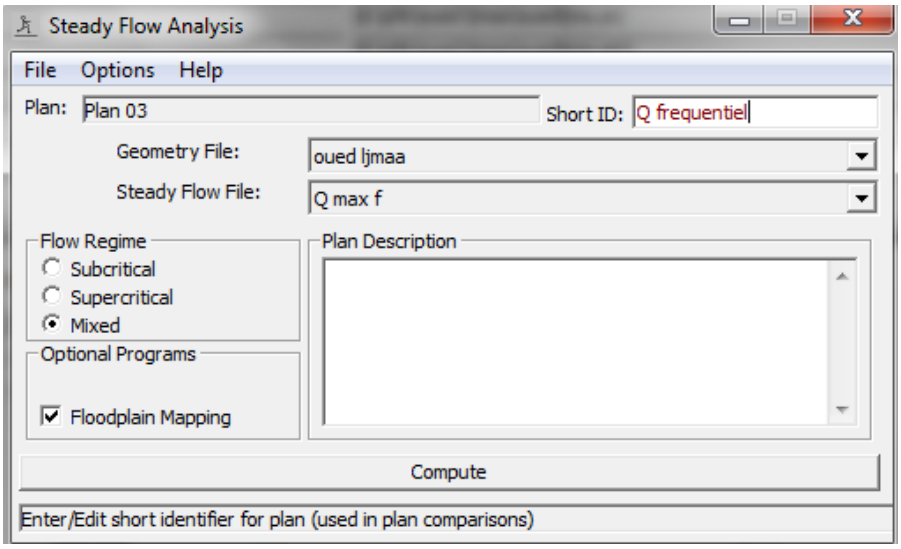

Figure IV. 14: Lancement de la simulation

IV.3.3. Rapport de la simulation

Un rapport est émis par le logiciel qui montre que le processus de simulation a été effectué sans erreurs.

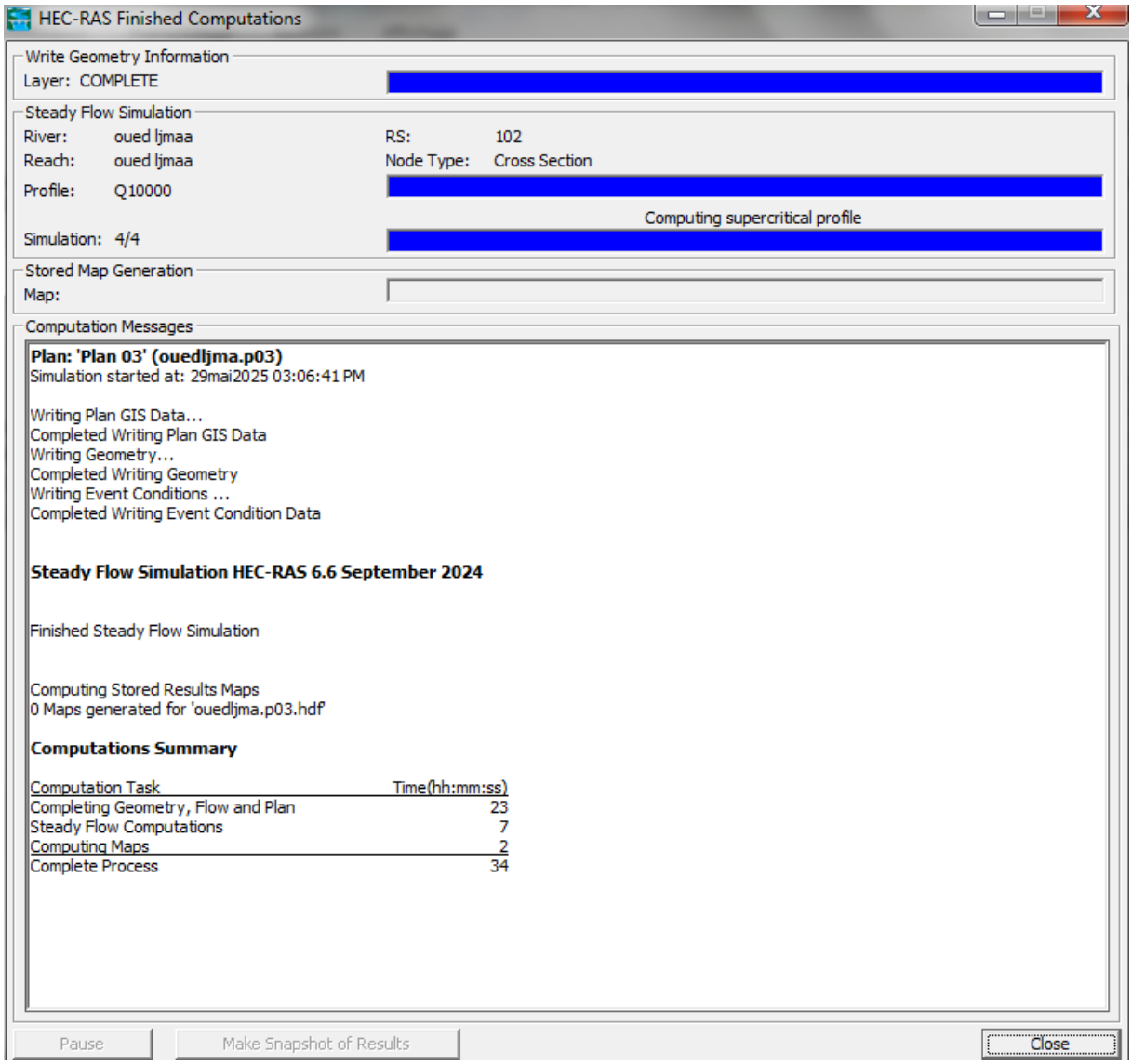

Figure IV. 15: Rapport de simulation

IV.4. Résultats et discussion

La simulation hydraulique du comportement de l'ouvrage existant a été faite en tenant compte les débits max des crues fréquentielles de différente période de retour.

IV.4.1. Crues fréquentielle (T=100 ans)

Le résultat de calcul de la ligne d'eau est représenté sur le profil suivant :

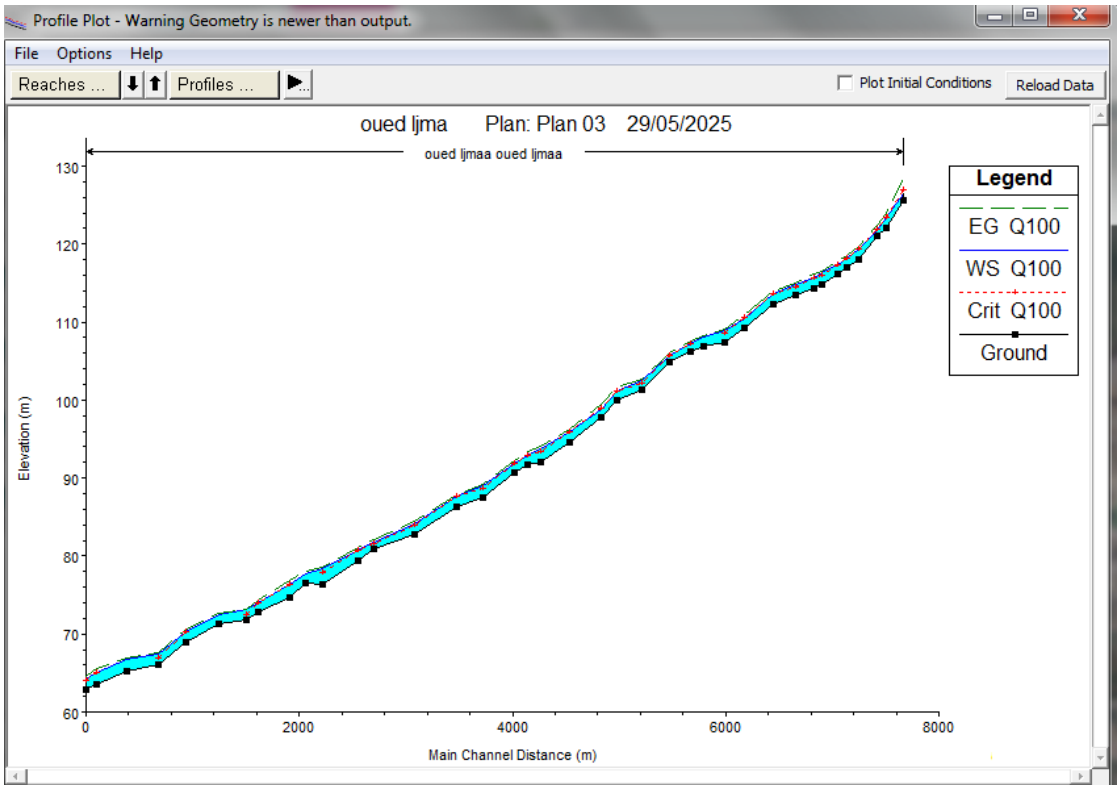

Figure IV. 16: Profil en long de la ligne d'eau (Q 100 ans)

De la section N°7770 jusqu'à la section 7150 : l'oued véhicule correctement la crue fréquentielle de période de retour 100 ans. Avec une légère remontée du niveau d'eau, il n'y a pas lieu de s'inquiéter.

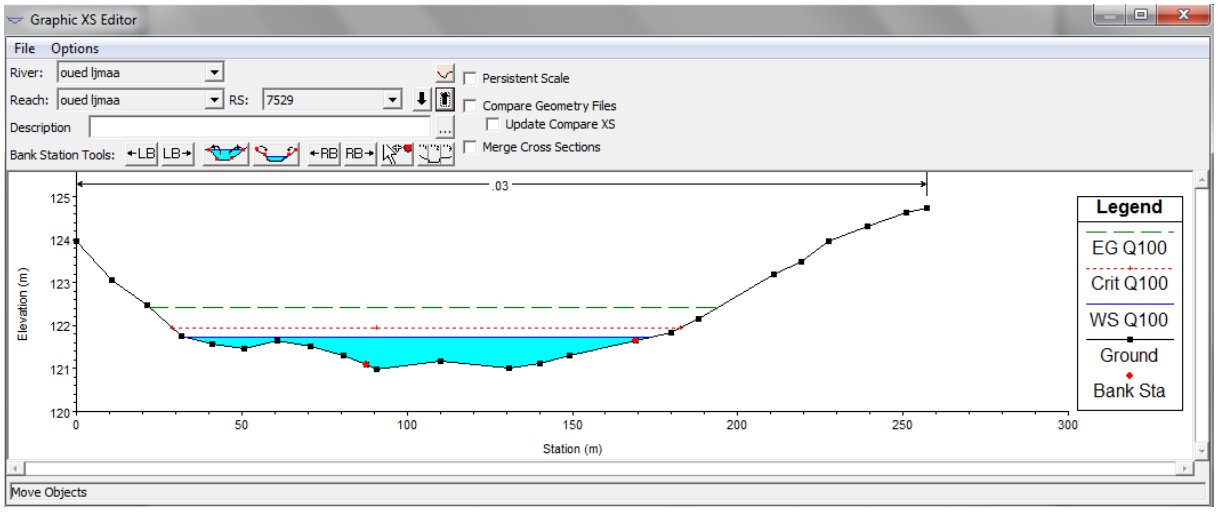

Figure IV. 17: Niveau d'eau à la section 7529

De la section 7005 à la section 4118 : On a constaté une expansion de la section mouillée au niveau de stations 4371,5319 et 6756 avec une hauteur de remplissage de plus de 1.5m. dans ce cas, il y a un risque d'inondation pour les habitants vivant aux bords des rives de l'oued Figure IV.18.19.20

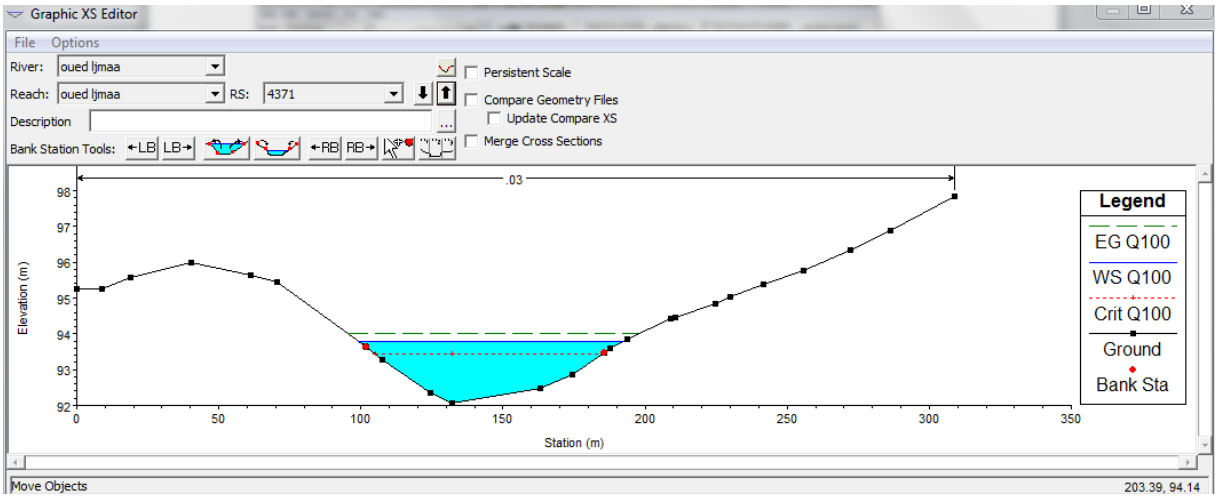

Figure IV. 18: Niveau d'eau à la section 4371

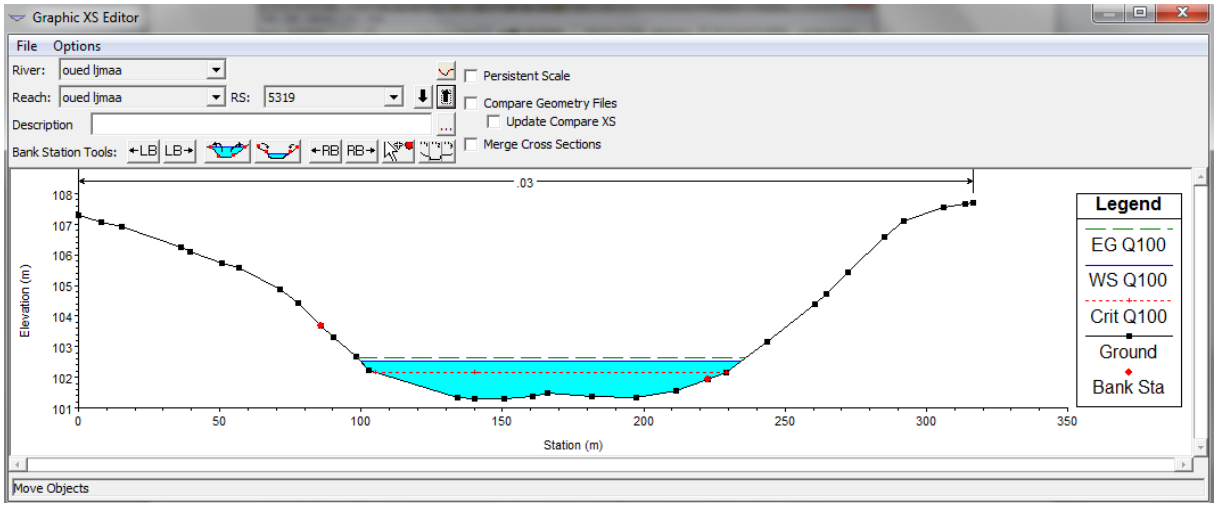

Figure IV. 19: Niveau d'eau à la section 5319

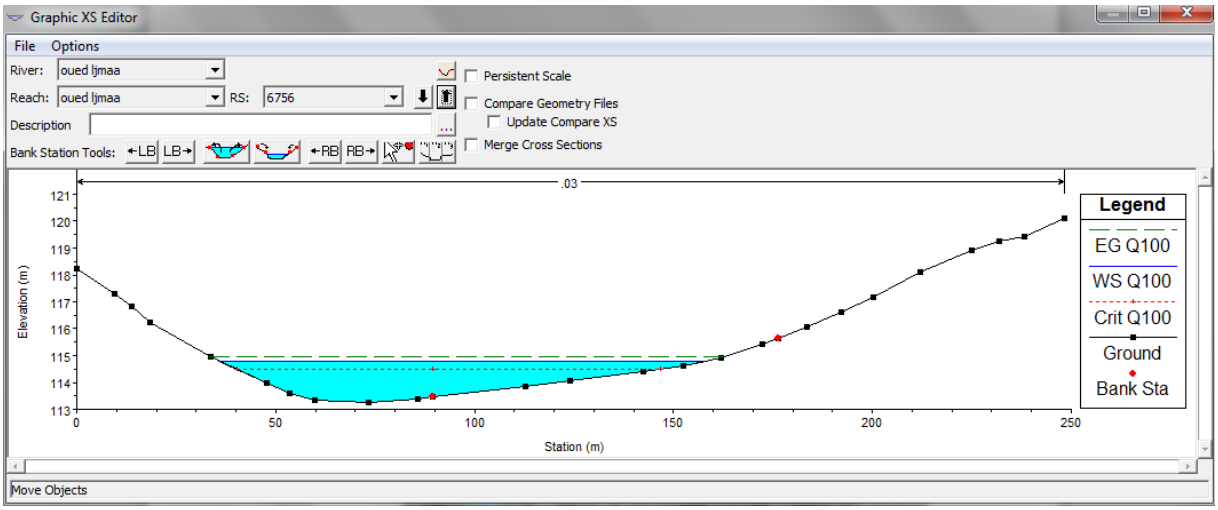

Figure IV. 20: Niveau d'eau à la section 6756

De la section 3832 à la section 2317 : On constate le débordement du lit de l'oued, on constate également que la route nationale n29 et les zones humaines entourant la vallée sont clairement exposées aux inondations et on enregistre une largeur max de la section mouillée au niveau de station 3832 dépassant les 40 m et une hauteur de remplissage de plus de 2.5m.

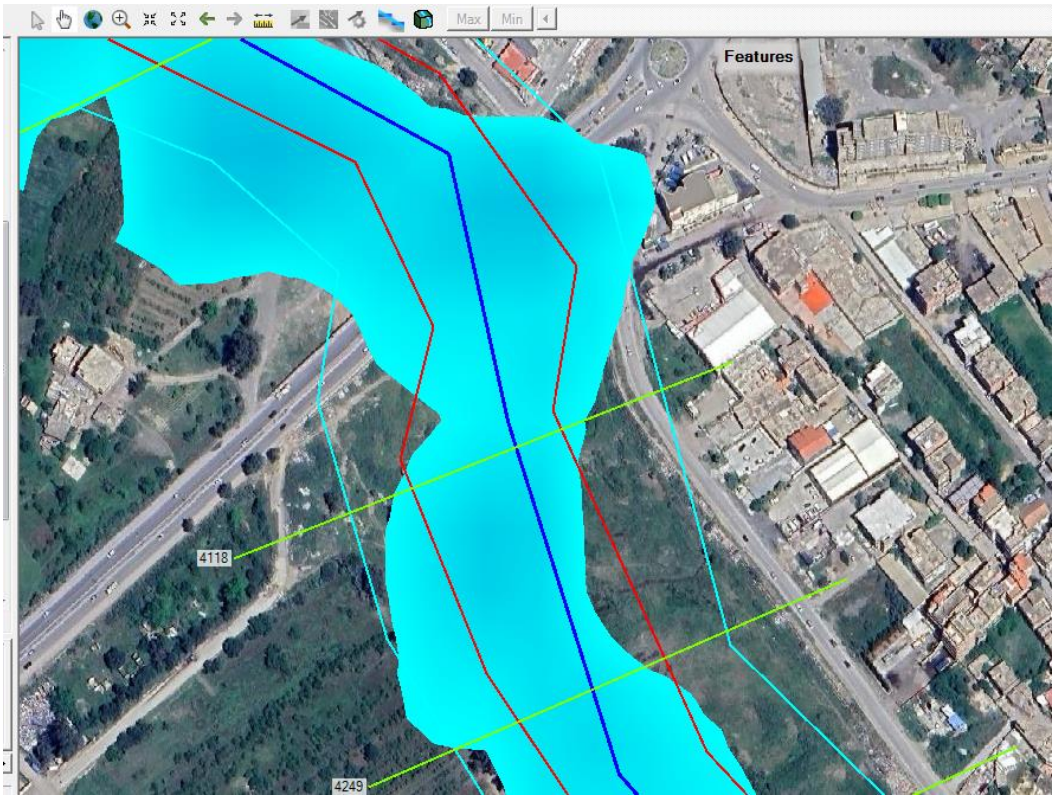

Figure IV. 21: Le grand risque route national n29

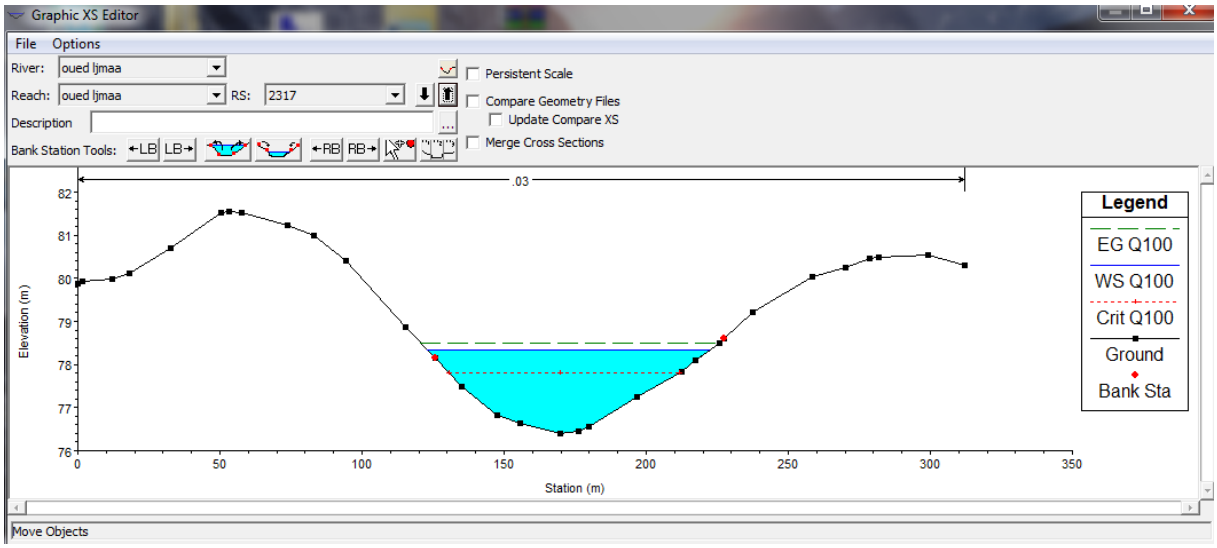

Figure IV. 22:Niveau d'eau à la section 2317

De la section 2165 à la section 102 : On constate le débordement du lit de l'oued et les terres agricoles sont très vulnérables aux inondations, car il s'agit d'une zone semi-agricole. On ne trouve pas de grands complexes résidentiels de long des berges de l'oued.

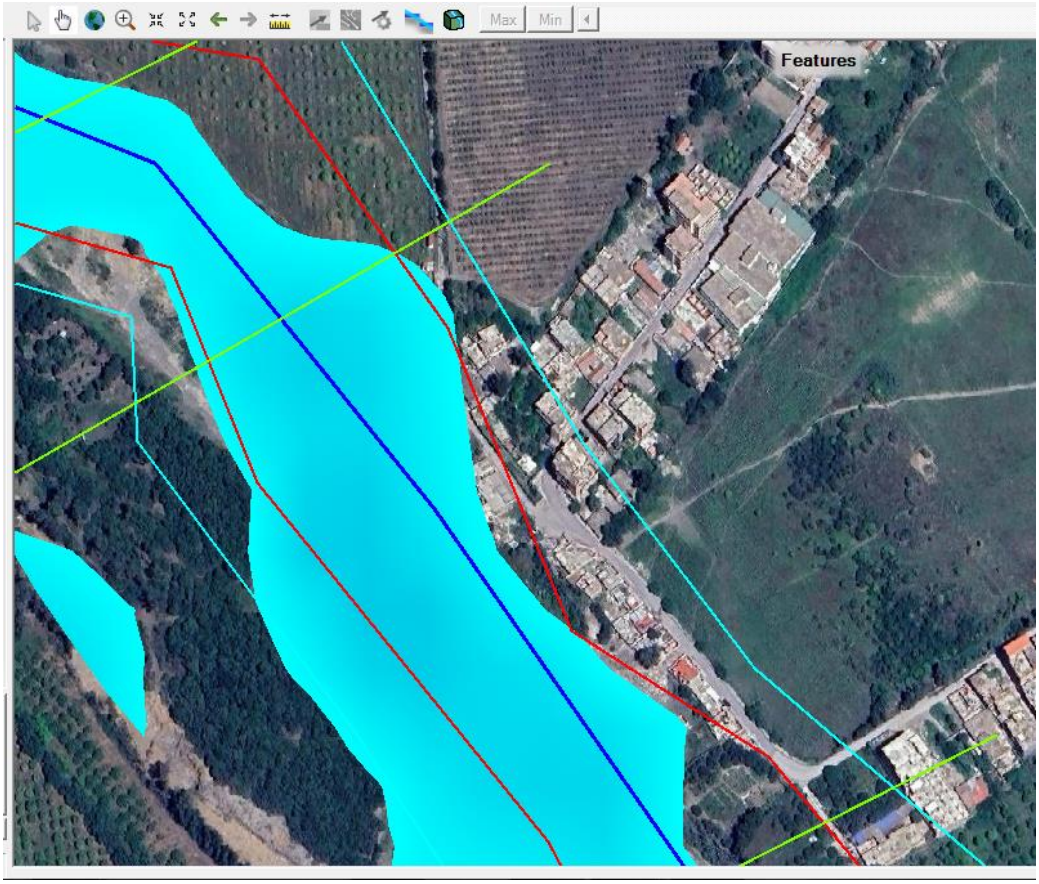

Figure IV. 23: Le grand risque les zones résidentielles

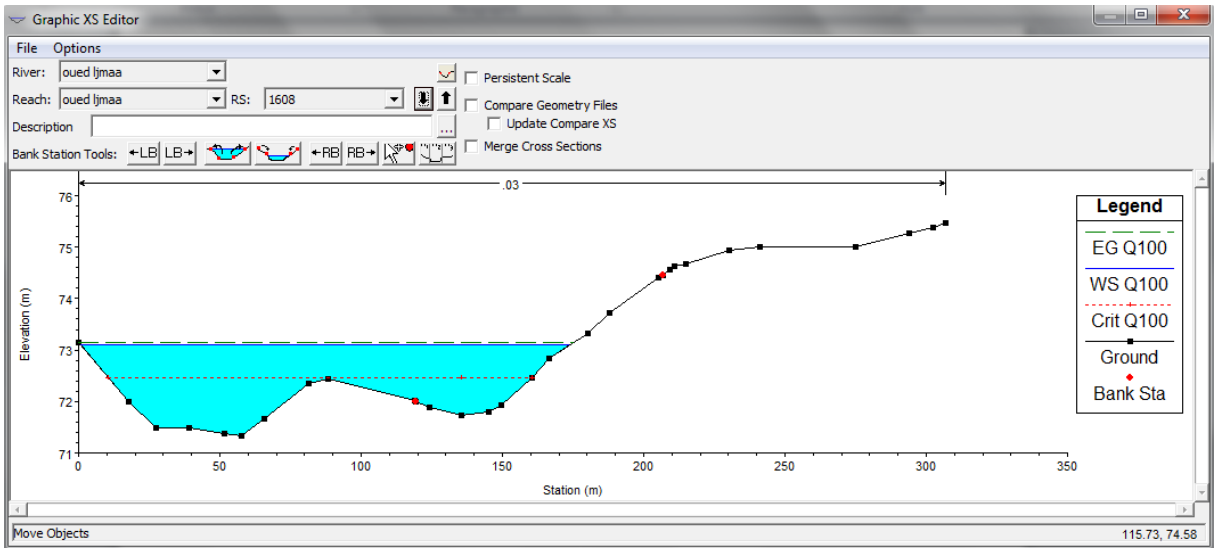

Figure IV. 24: Niveau d'eau a la section 1608

IV.4.2. Crues fréquentielle (T=1000 ans)

Le résultat de calcul de la ligne d'eau est représenté sur le profil suivant :

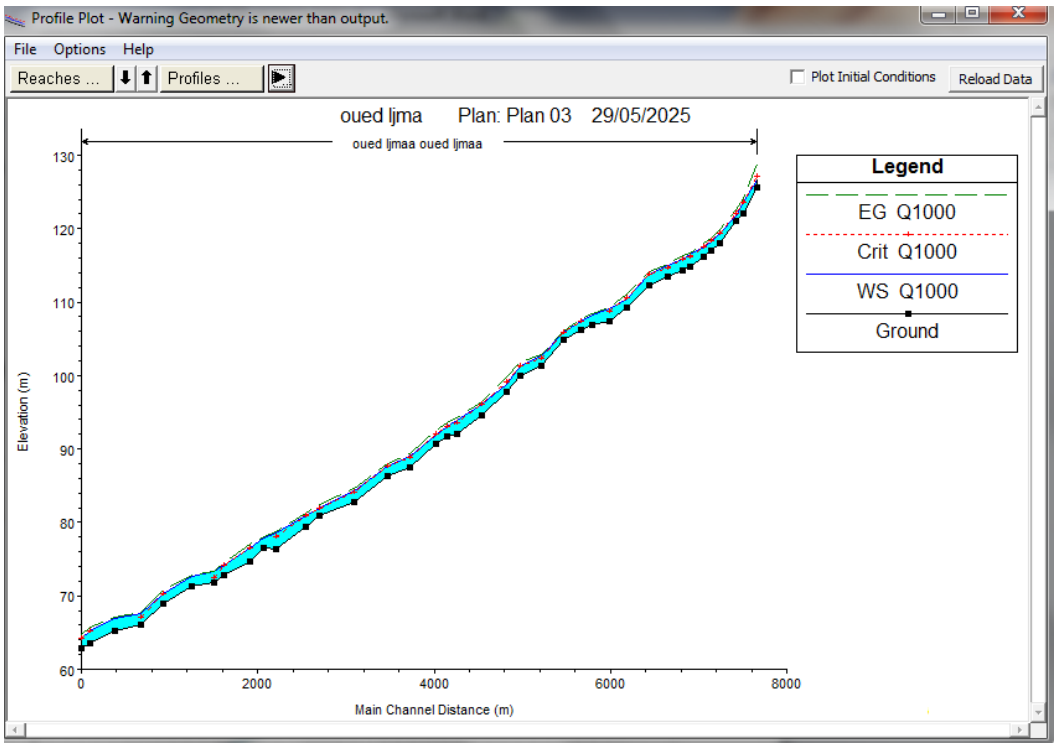

Figure IV. 25: Profil en long de la ligne d'eau (Q 1000 ans)

De la section N°7770 jusqu'à la section 7150 : l'oued véhicule correctement la crue fréquentielle de période de retour 1000 ans.

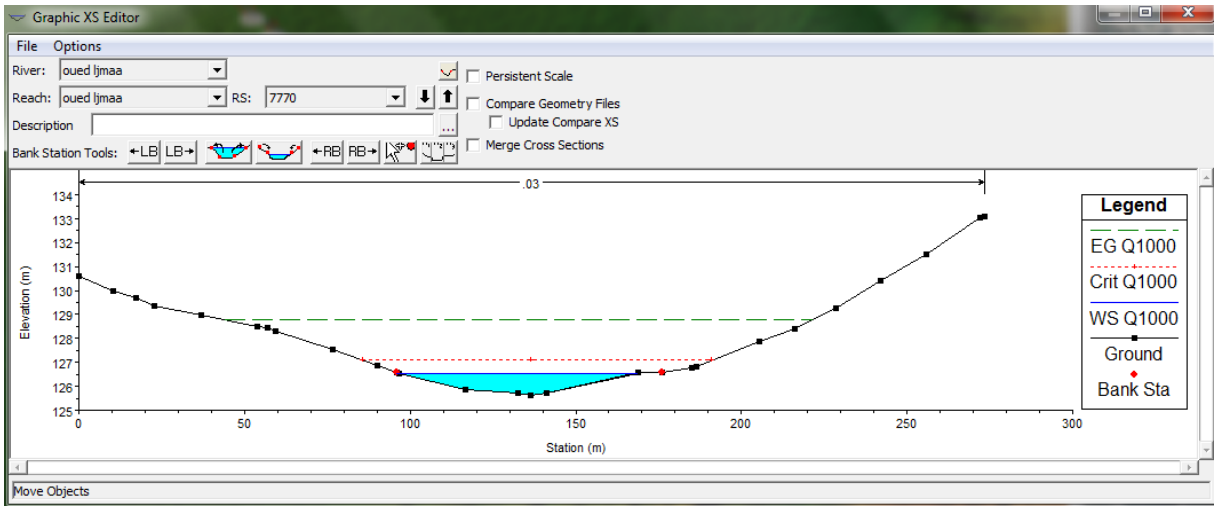

Figure IV. 26: Niveau d'eau à la section 7770

De la section 7005 à la section 4118 : On constate le débordement du lit de l'oued et on enregistre une largeur de la section mouillée au niveau de station 6098 dépassant les 45 m et augmentation significative sur la section 4371. Dans ce cas Il y a un risque d'inondation pour les riverains l'oued Figure IV 26.27.

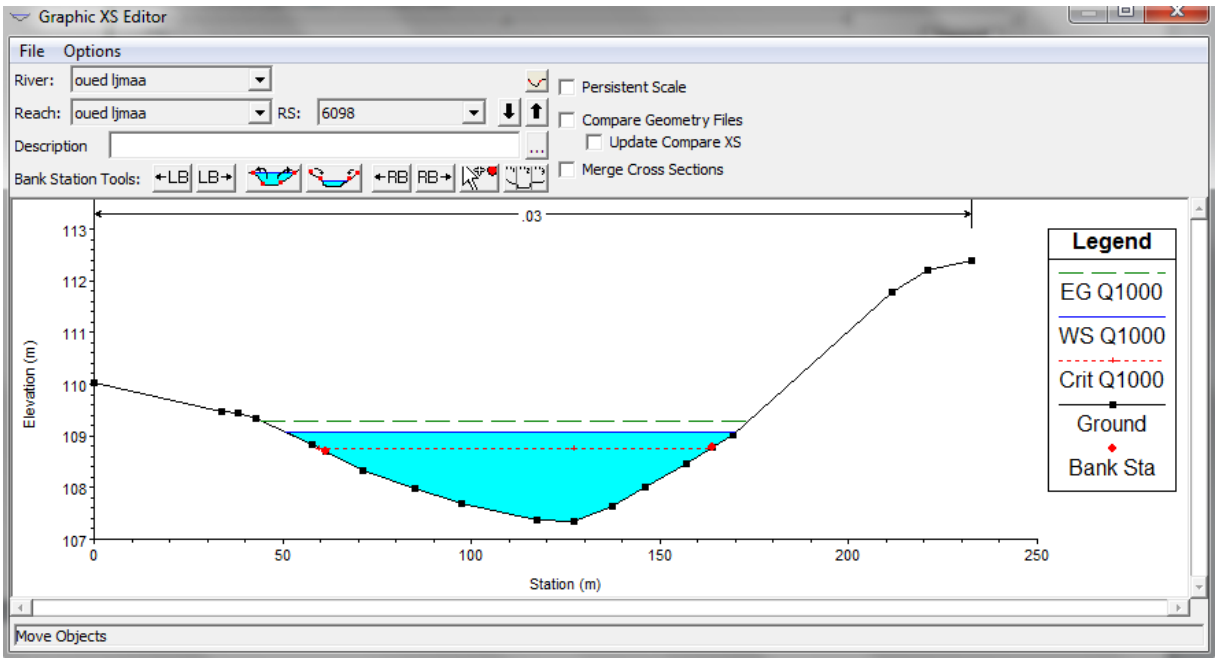

Figure IV. 27: iveau d'eau à la section 6098

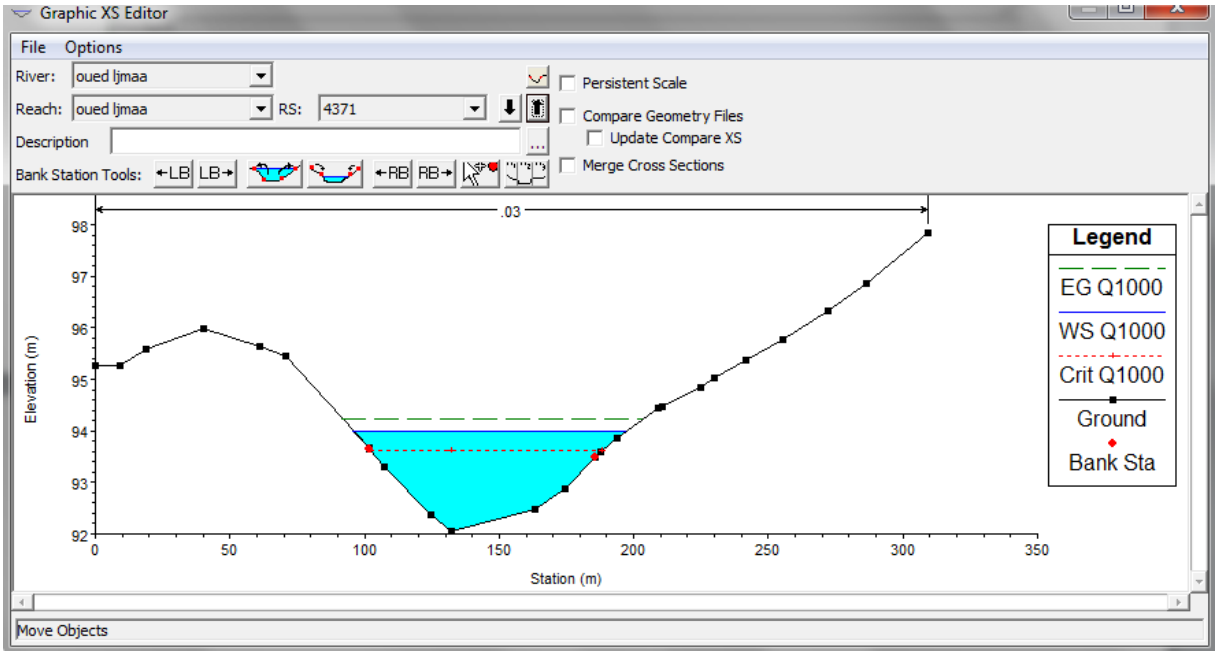

Figure IV. 28: Niveau d'eau à la section 4371

De la section 3832 à la section 102 : Dans cette partie de l'oued, nous avons enregistré un réel risque d'inondation qui pourrait provoquer la coupure de la circulation routière au niveau de la route nationale RN29 reliant Larabaa à Blida. Ainsi l'ouvrage d'art (pont) assurant la liaison entre les deux rives de l'oued sera mis en danger et pourrait s'effondrer sous l'effet du courant liquide induit par cette crue figure IV 28.29.30.

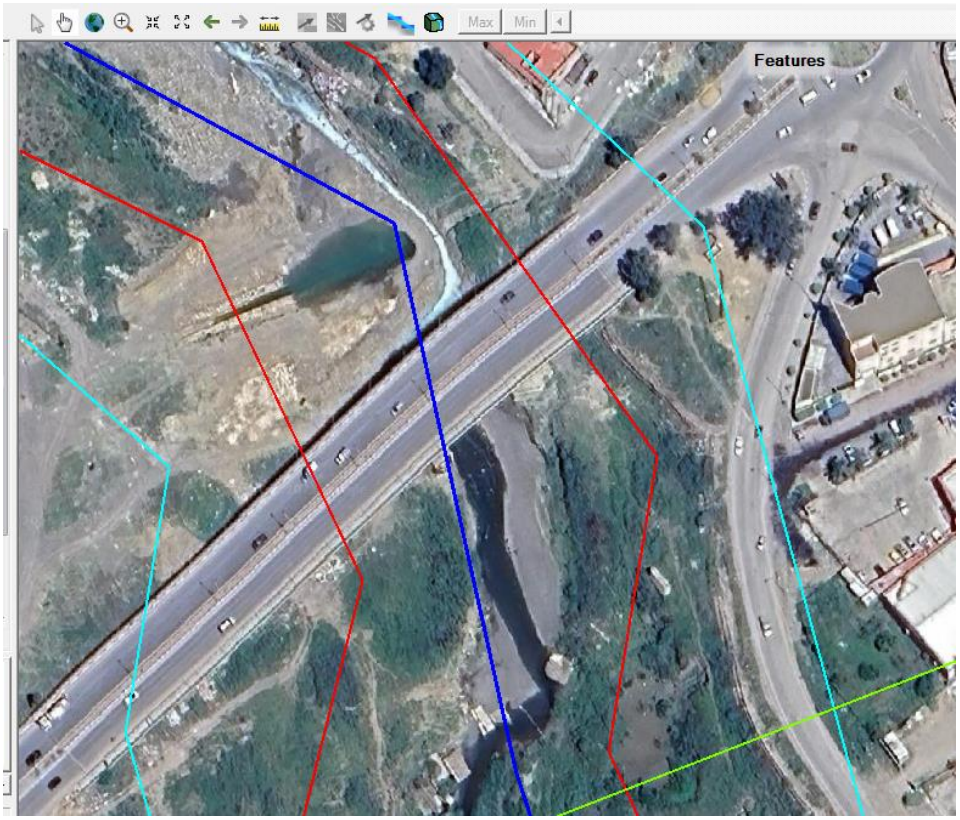

Figure IV. 29: Pont de route national n29

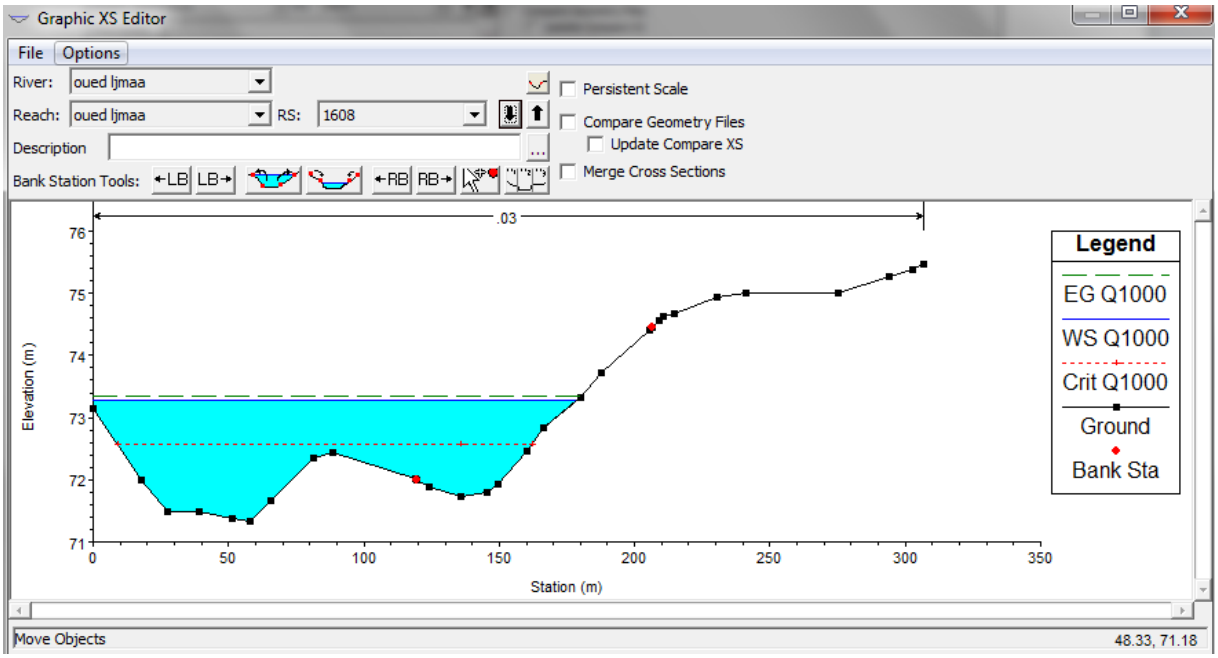

Figure IV. 30: Niveau d'eau a section 1608

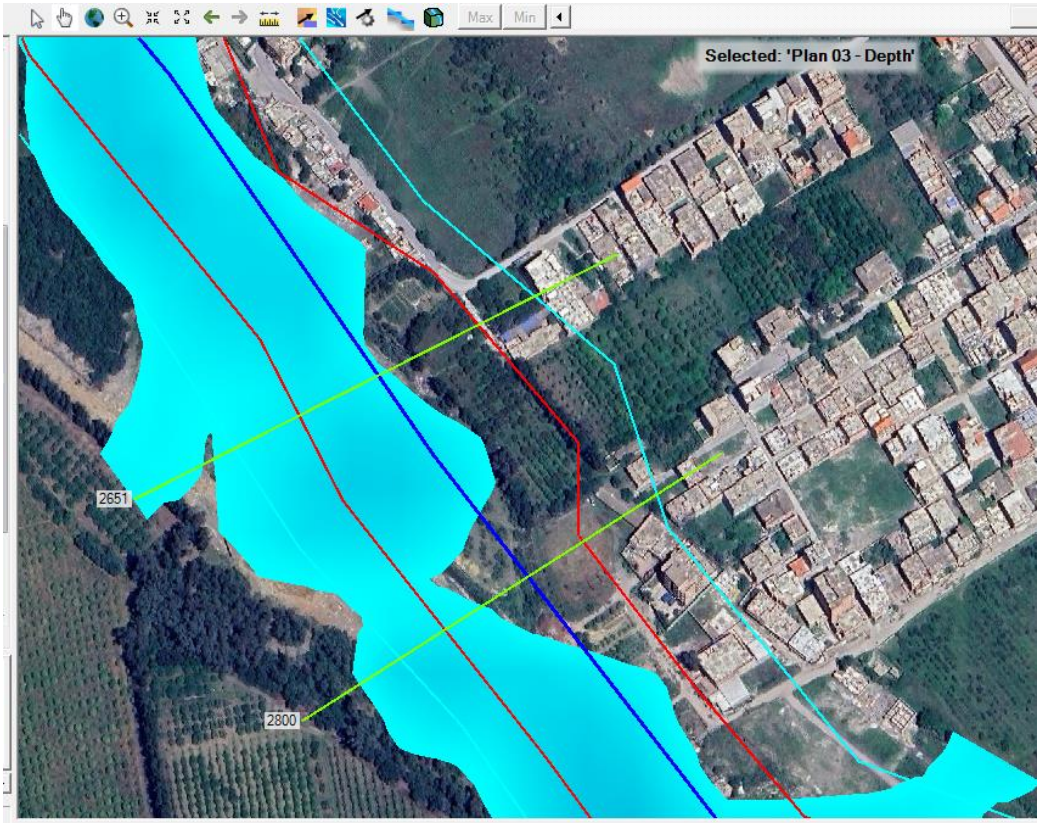

Figure IV. 31: Zone de risque

IV.4.3. Crues fréquentielle (T=10 000 ans)

Le résultat de calcul de la ligne d'eau est représenté sur le profil suivant :

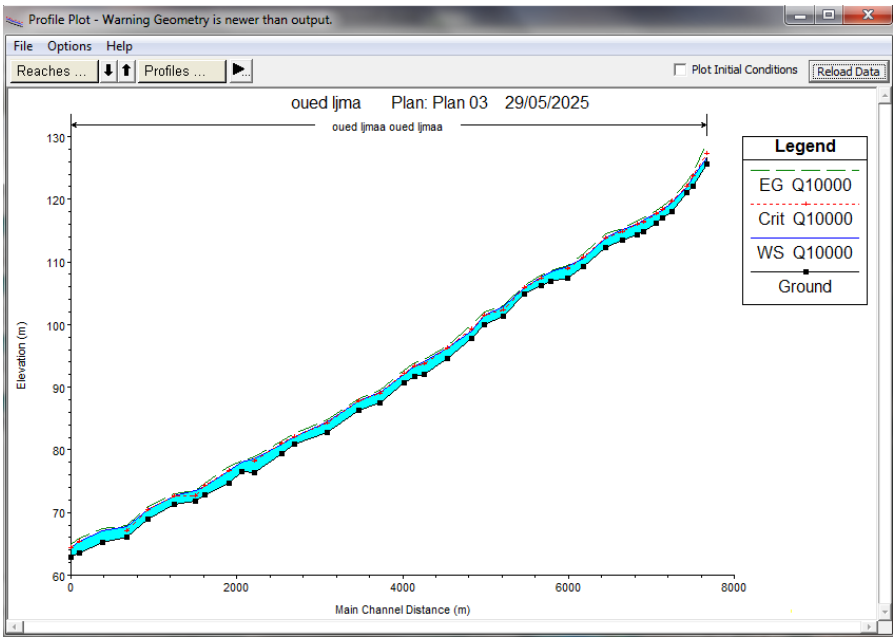

Figure IV. 32: Profil en long de la ligne d'eau (Q 10000 ans)

De la section N°7770 jusqu'à la section 7150 : la montée des eaux dans la section 7770 et 7241 qui constitue un danger pour les habitants vivant sur les rives de la vallée.

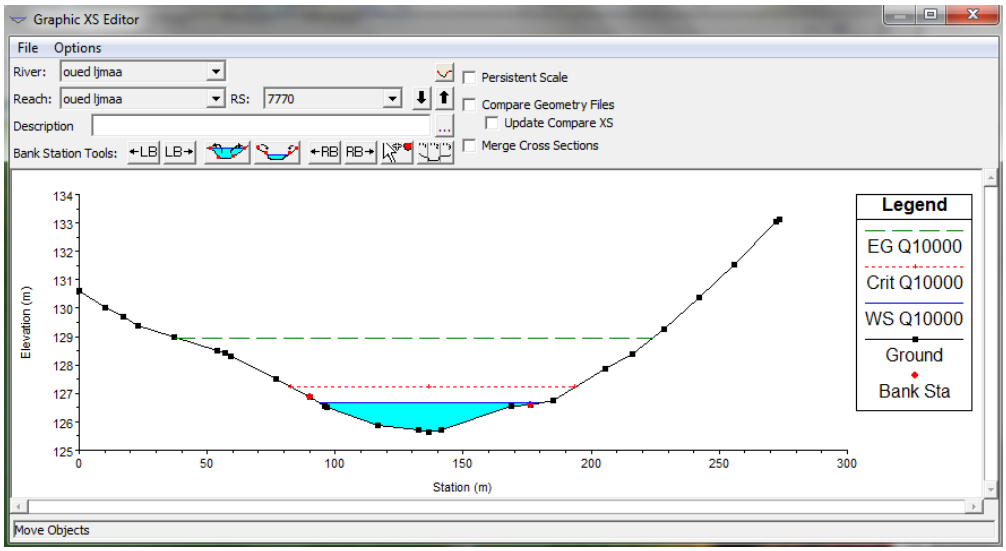

Figure IV. 33: Niveau d'eau à la section 7770

De la section 7005 à la section 4118 : On a enregistré une largeur de la section mouillée au niveau de station 6756 dépassant les 50m et une hauteur de remplissage de plus de 2m. dans ce cas Il y a un risque pour les habitants qui vivant dans la cité 5 juillet 1962.

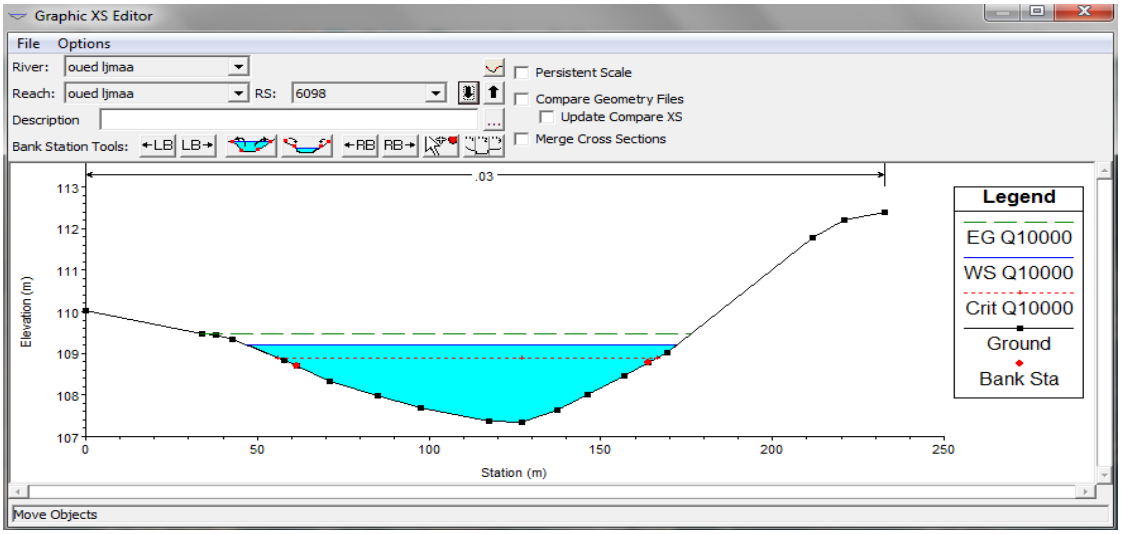

Figure IV. 34: Niveau d'eau à la section 6098

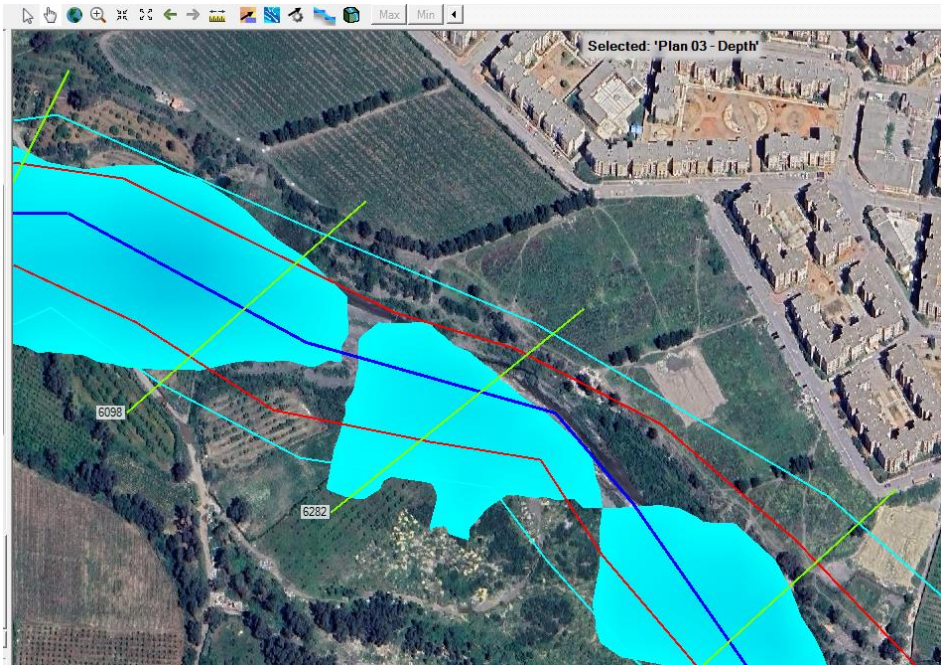

Figure IV. 35: Le risque sur cité 5 juillet

De la section 3832 à la section 102 : On constate le débordement du lit de l'oued et on enregistre une largeur max 55m de la section mouillée au niveau de 3578 et 2651.1608.702. Ce que nous voyons sue les photos est un véritable avertissement d'inondations potentielles dans les zones résidentielles et agricoles et un danger pour usagers de route national RN29 sur le pont.

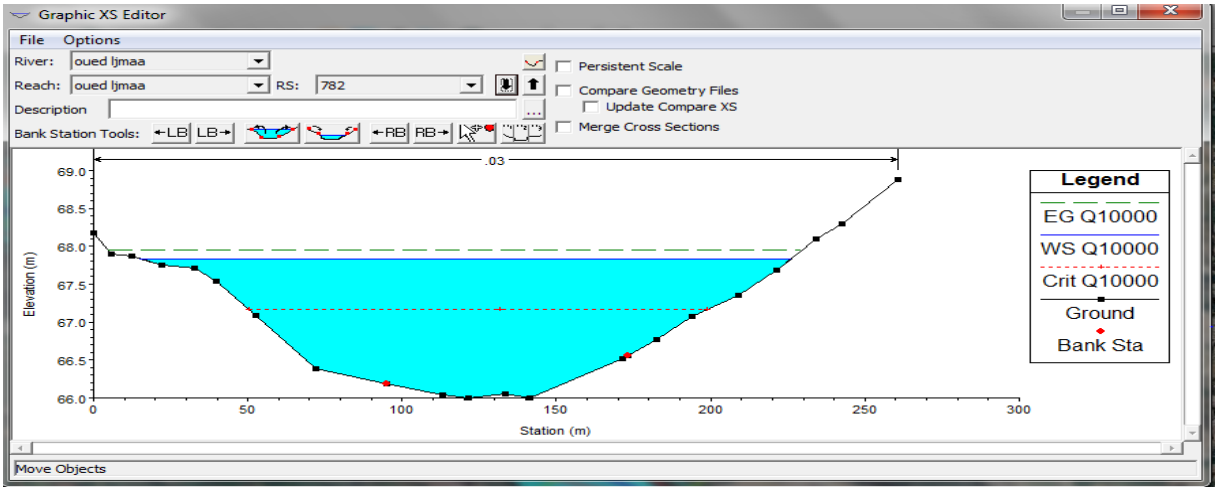

Figure IV. 36: Niveau d'eau à la section 782

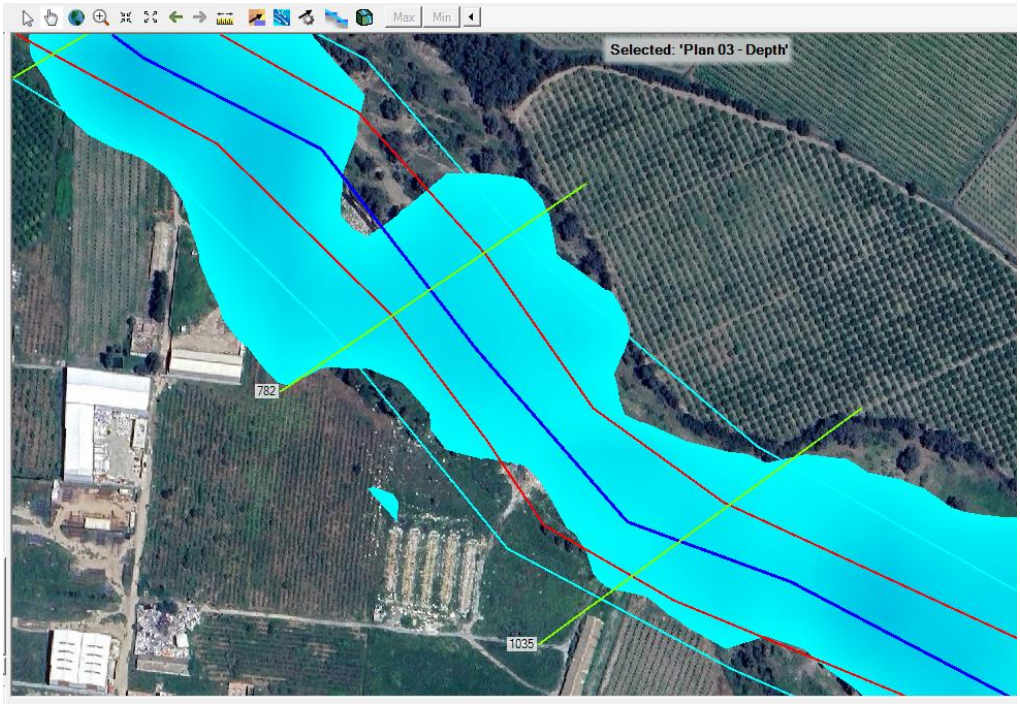

Figure IV. 37: Risque sur les zones résidentielles et agricoles

Résultat de la simulation :

Tableau IV.1 de résultats pour simulation 1D pour le débit fréquentiel

Tableau IV. 1: Résultats pour simulation 1D pour le débit fréquentiel

HEC-RAS Plan: Plan 08 River: oued ljmaa Reach: oued ljmaa Profile: Max WS

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
oued ljmaa	7529	Max WS	416.74	120.98	122.42		122.76	0.005379	2.81	166.51	172.10	0.81
oued ljmaa	7350	Max WS	414.00	118.02	119.48	119.90	120.64	0.020919	4.80	90.08	117.59	1.54
oued ljmaa	7241	Max WS	411.26	117.07	119.03		119.20	0.001954	1.88	239.44	204.97	0.50
oued ljmaa	7155	Max WS	409.03	116.10	117.74	117.95	118.64	0.014103	4.21	97.17	88.52	1.28
oued ljmaa	7005	Max WS	405.97	114.81	117.13		117.34	0.002014	2.18	208.98	148.76	0.52
oued ljmaa	6926	Max WS	404.36	114.37	116.08	116.23	116.90	0.011334	4.03	102.06	93.65	1.17
oued ljmaa	6756	Max WS	400.52	113.46	115.46		115.67	0.002181	1.77	203.42	145.71	0.51
oued ljmaa	6548	Max WS	395.95	112.32	114.04	114.07	114.65	0.008397	3.49	116.38	107.00	1.01
oued ljmaa	6282	Max WS	392.20	109.24	110.67	110.92	111.51	0.015958	4.30	104.14	144.74	1.35
oued ljmaa	6098	Max WS	389.14	107.35	109.46		109.74	0.002800	2.37	172.60	141.06	0.61
oued ljmaa	5894	Max WS	385.49	106.96	108.36		108.77	0.006860	2.88	139.35	149.91	0.89
oued ljmaa	5772	Max WS	229.92	106.22	107.97		108.05	0.001028	1.26	190.71	161.99	0.36
oued ljmaa	5572	Max WS	380.06	104.80	105.90	106.01	106.45	0.012539	3.47	118.99	157.81	1.17
oued ljmaa	5319	Max WS	373.09	101.28	104.64		104.67	0.000151	0.84	469.52	188.84	0.16
oued ljmaa	5085	Max WS	367.63	99.95	101.31	101.68	102.48	0.024026	5.03	77.03	87.56	1.64
oued ljmaa	4931	Max WS	365.89	97.77	99.36	99.41	99.94	0.008980	3.44	110.17	109.09	1.03
oued ljmaa	4641	Max WS	361.78	94.63	96.17	96.30	96.79	0.014165	3.49	103.78	127.75	1.23
oued ljmaa	4371	Max WS	356.97	92.05	94.18		94.54	0.003653	2.69	137.71	109.63	0.69
oued ljmaa	4249	Max WS	353.64	91.64	93.97		94.19	0.002122	2.18	185.20	160.03	0.53
oued ljmaa	4118	Max WS	350.49	90.64	91.95	92.26	92.94	0.019198	4.44	81.13	101.14	1.46
oued ljmaa	3832	Max WS	341.28	87.53	89.69		89.80	0.001289	1.63	238.07	185.81	0.41
oued ljmaa	3578	Max WS	332.85	86.38	87.74	87.88	88.28	0.011368	3.36	110.03	172.56	1.12
oued ljmaa	3191	Max WS	324.83	82.74	84.39		84.78	0.006718	2.86	116.43	112.82	0.88
oued ljmaa	2800	Max WS	318.32	80.87	82.24		82.62	0.004336	1.76	120.60	98.53	0.66
oued ljmaa	2651	Max WS	315.74	79.43	80.81	81.01	81.40	0.012627	3.76	99.00	160.40	1.20
oued ljmaa	2317	Max WS	242.31	76.40	78.64		78.77	0.001518	1.65	147.93	109.63	0.44
oued ljmaa	2165	Max WS	301.81	76.47	78.21		78.34	0.002752	1.72	186.14	211.01	0.56
oued ljmaa	2010	Max WS	179.08	74.75	77.02		77.15	0.001427	1.60	112.00	80.35	0.43
oued ljmaa	1720	Max WS	290.66	72.77	74.31		74.62	0.006289	2.71	120.43	141.16	0.85
oued ljmaa	1608	Max WS	287.37	71.73	74.13		74.16	0.000212	0.65	380.00	198.50	0.17
oued ljmaa	1352	Max WS	277.97	71.25	74.08		74.11	0.000172	0.82	409.61	224.24	0.16
oued ljmaa	1035	Max WS	209.65	69.02	70.22	70.24	70.60	0.010026	2.83	78.72	120.53	1.02
oued ljmaa	782	Max WS	261.93	66.00	67.66		67.76	0.001232	1.54	198.71	186.08	0.40
oued ljmaa	479	Max WS	247.90	65.22	67.24		67.38	0.001324	1.70	160.29	131.93	0.42
oued ljmaa	202	Max WS	232.79	63.61	65.11	65.16	65.62	0.010707	3.29	73.43	83.67	1.09
oued ljmaa	102	Max WS	238.01	62.85	64.25	64.24	64.68	0.008074	2.98	83.57	97.27	0.96

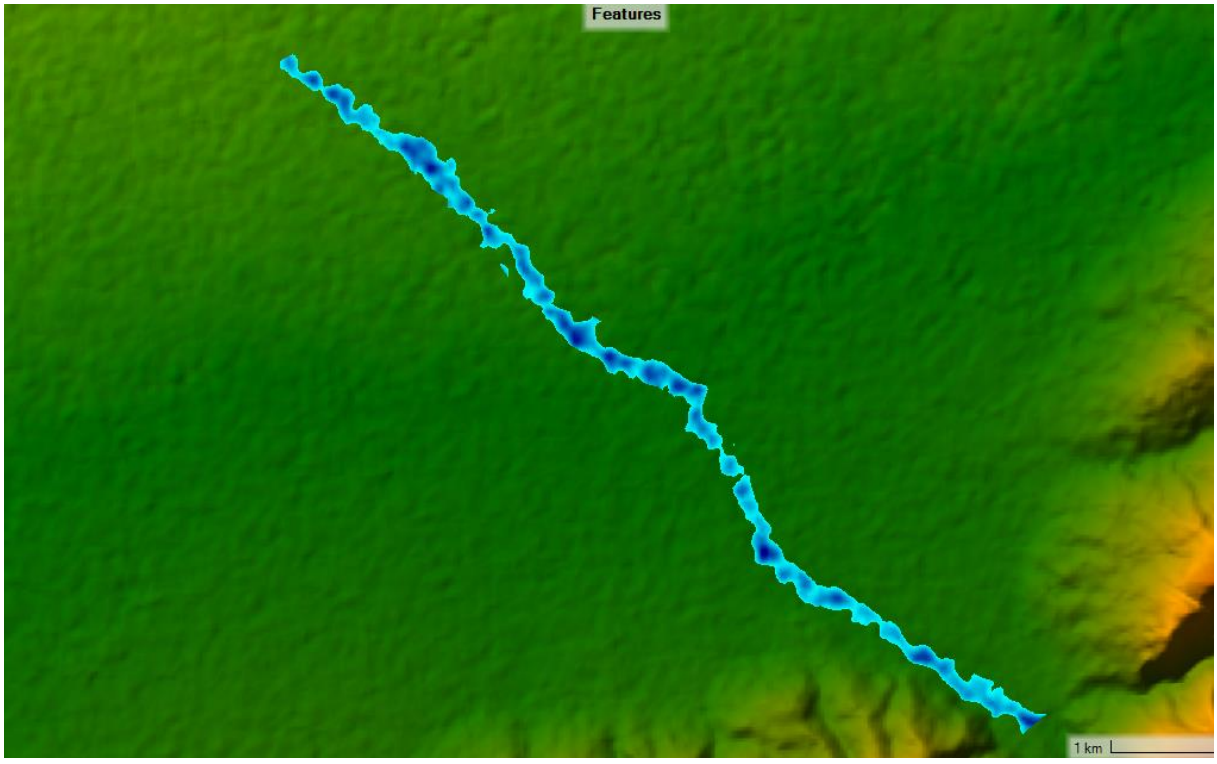

Figure IV. 38: Résultat de la simulation (MNT)

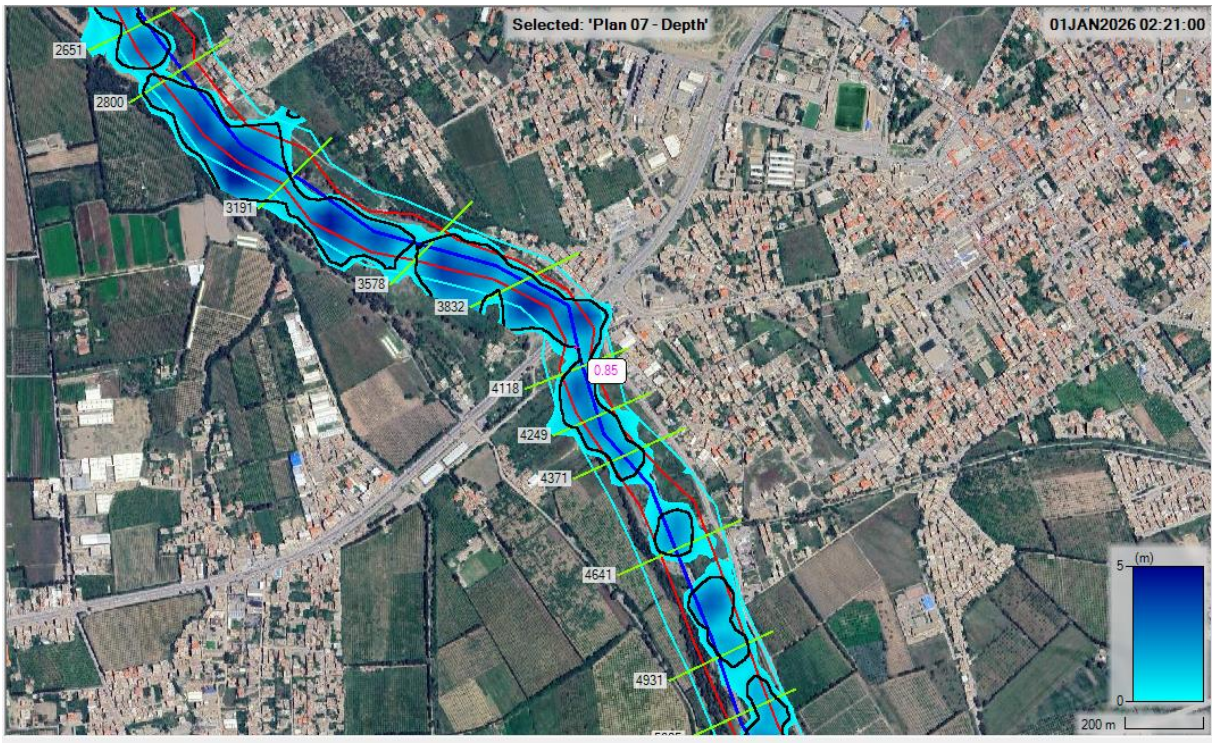

Figure IV. 39: Carte de zone de risque d'inondation (vue satellitaire)

IV.5. Conclusion

Lors de l'exécution de la simulation hydraulique de la propagation des crues fréquentielles le long de l'oued, nous avons constaté que de nombreuses zones de la vallée et de ses rives sont exposées au risque d'inondation récurrent dont l'ampleur et directement lié à la fréquence de la crue simulée.

De ce fait, il y a lieu de proposer des solutions techniques afin d'y remédier et protéger la ville de Larabaa contre le risque d'inondation provenant principalement de l'oued Djamaa.

IV.6. Solutions et suggestions

Dans le cadre de la protection de la zone urbaine située dans la ville de larbaa au niveau d'oued el Djemaa, traversée par la route nationale RN29 et bordant la localité de Ben Dali Ali, implantée directement sur les rives de l'oued Djemaa, un aménagement hydraulique global du cours d'eau a été proposé.

L'étude de l'aménagement proposé a débuté par une étude approfondie des points bas de l'oued, afin de préserver ses caractéristiques hydrauliques naturelles. Une analyse détaillée des berges a ensuite été menée pour identifier les zones vulnérables à l'érosion des berges. Sur la base de cette analyse, des ouvrages de protection en gabion ont été projetées le long du

tronçon étudié. Ces ouvrages, projetés de part et d'autre de l'oued, sont dimensionnés pour résister à des pressions hydrodynamiques élevées, notamment en période de crue.

Les dispositifs mis en place tiennent compte des spécificités topographiques et hydrauliques du site, et ont été conçus conformément aux normes techniques en vigueur, garantissant ainsi une protection efficace contre les risques d'inondation tout en maintenant l'écoulement naturel du cours d'eau en conditions normales.

En plus, l'aménagement ainsi proposé, permet de gagner de l'espace qui pourrait être remblié et utilisé comme espace de loisir ou pour toute fin utile.

Correction de l'axe de l'oued

Voici les sections les plus importantes qui ont été corrigées et améliorées via le logiciel HEC-RAS :

Section 5772

<u>Avant aménagement :</u>

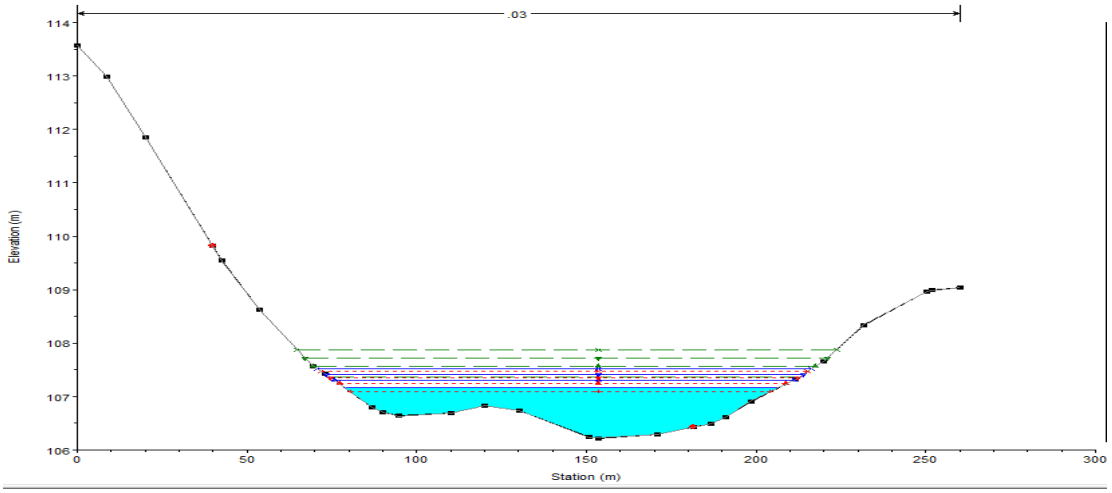

Figure IV. 40: La section 5772 avant aménagement

Après aménagement :

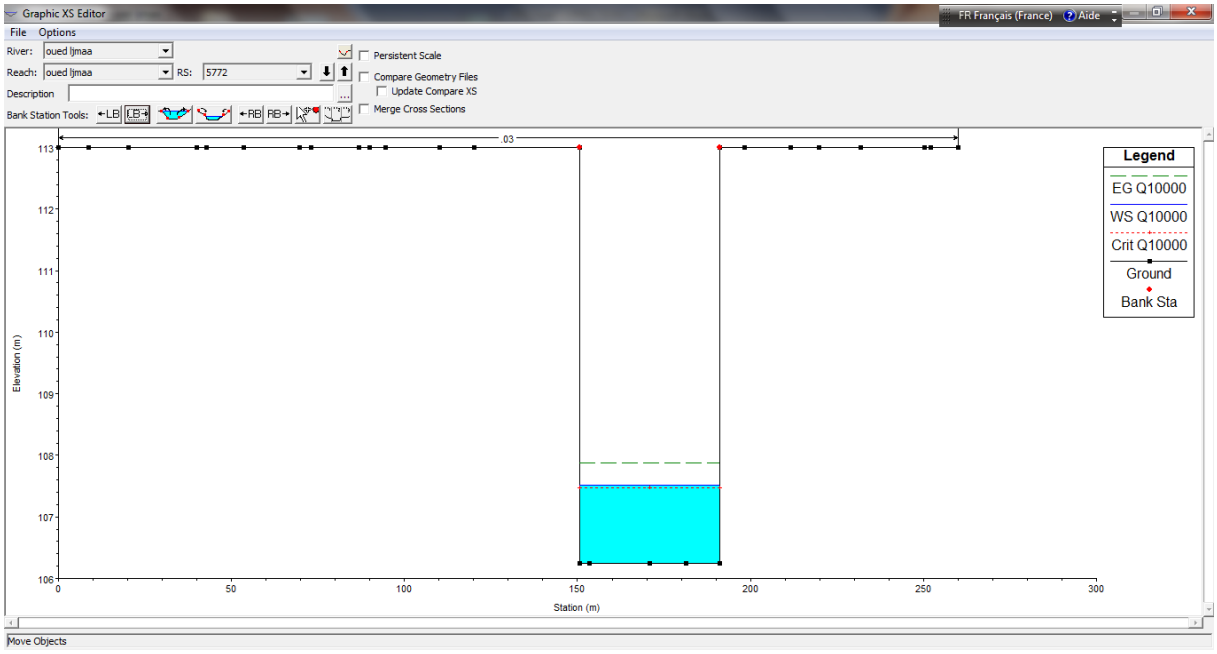

Figure IV. 41: La section 5772 après aménagement

Section 3578

Avant aménagement :

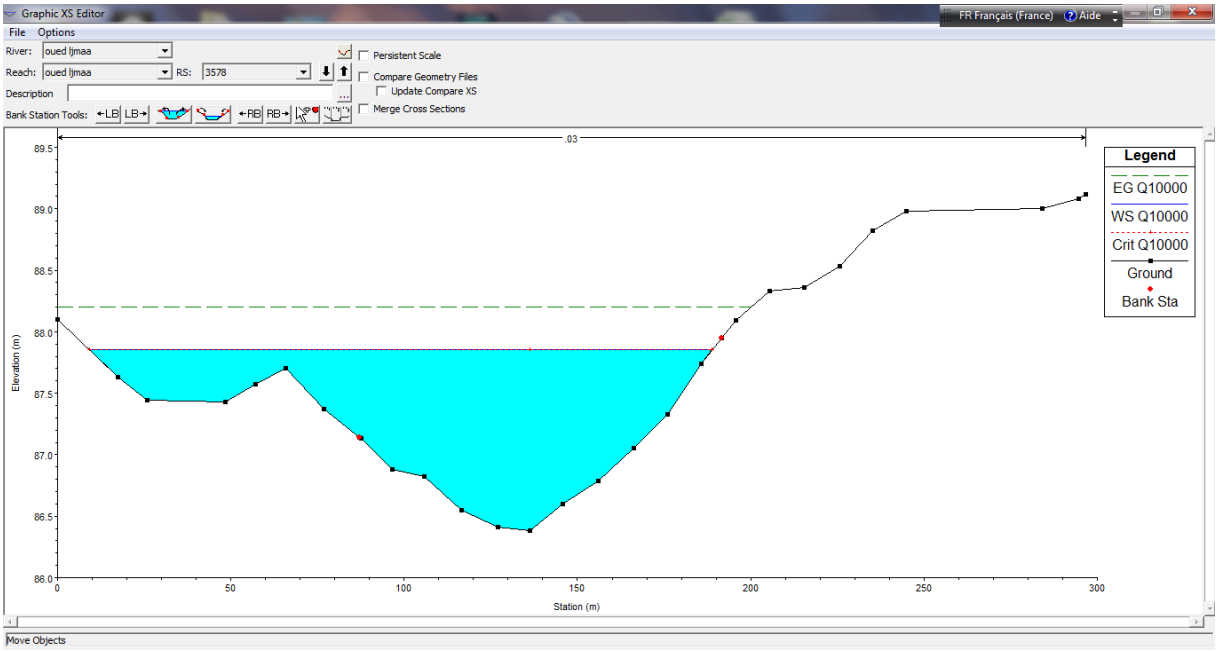

Figure IV. 42: La section 3578 avant aménagement

Après aménagement :

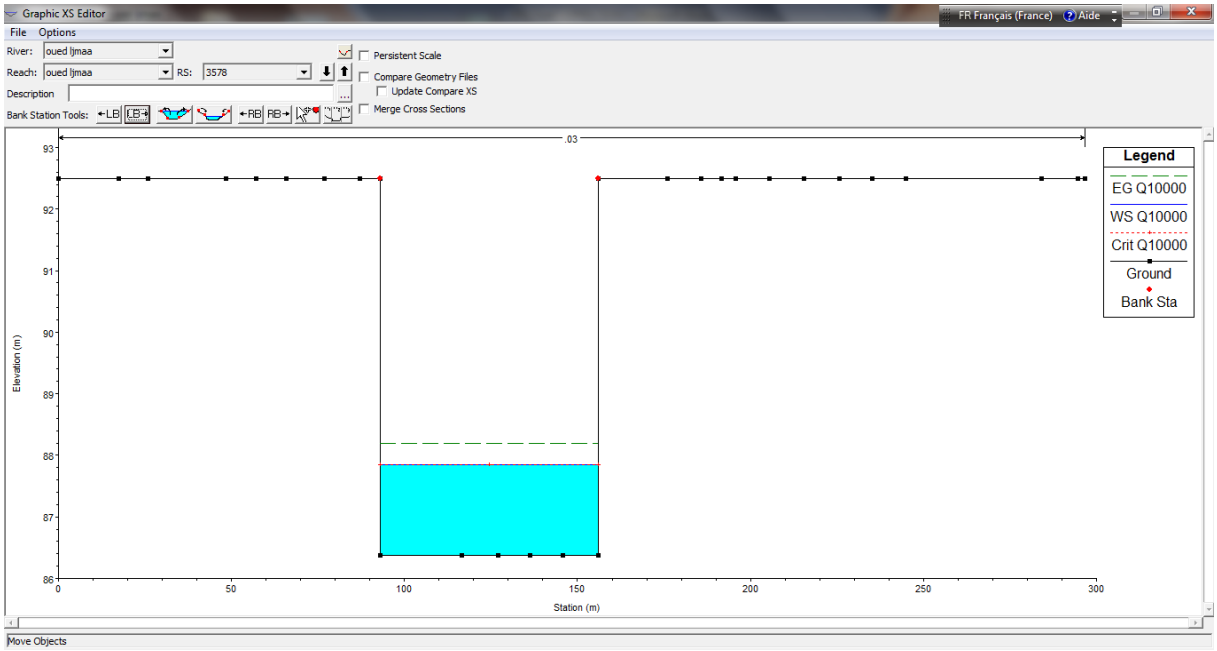

Figure IV. 43: La section 3578 après aménagement

Section 782

Avant aménagement :

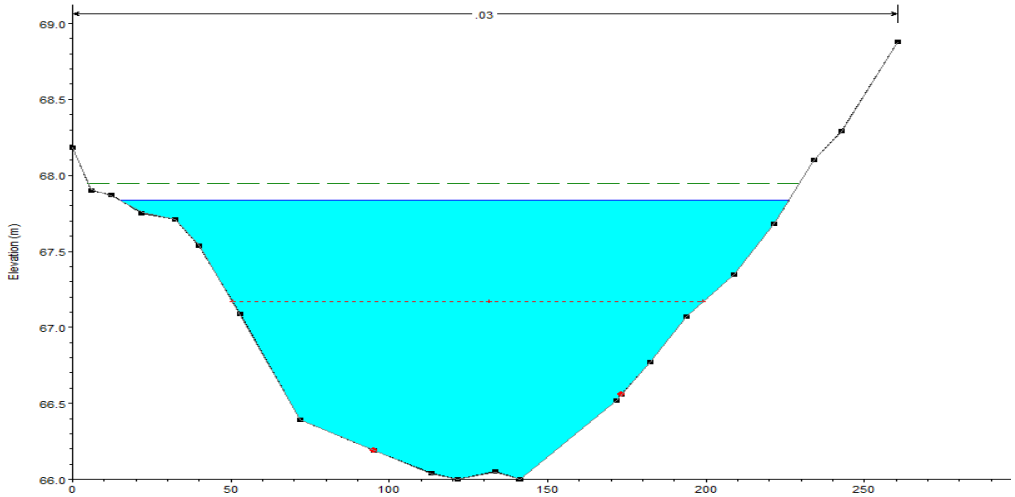

Figure IV. 44: La section 782 avant aménagement

Apres aménagement :

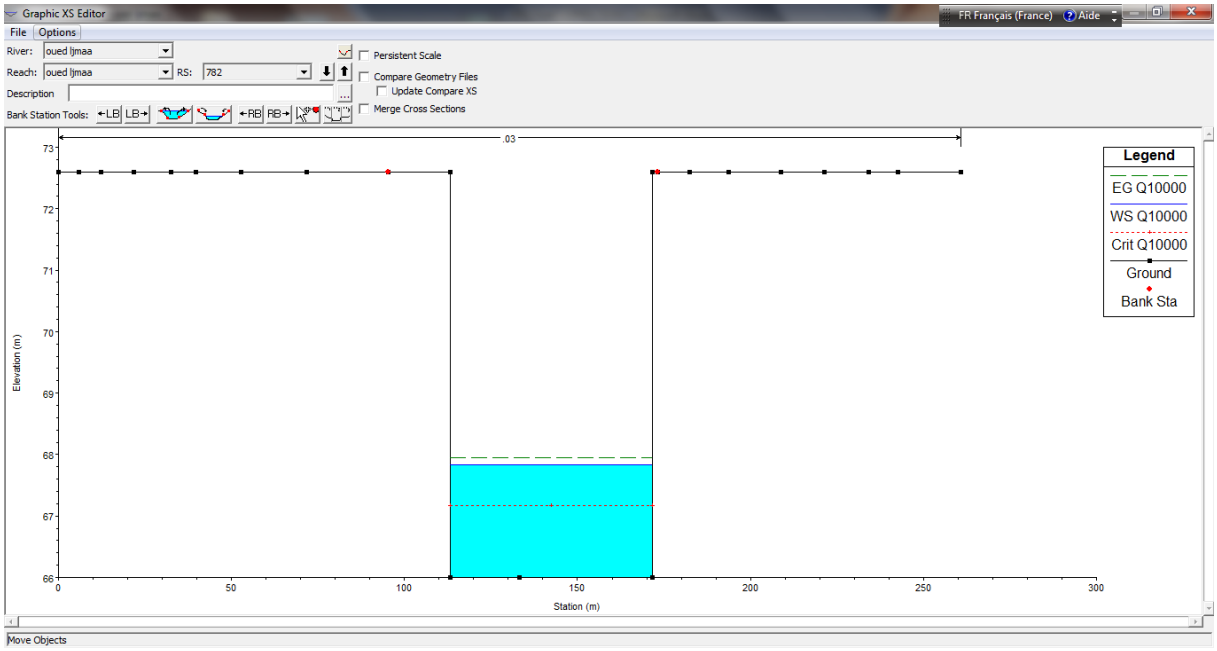

Figure IV. 45: La section 782 après aménagement

IV.7. Simulation et Comparaison

Afin de vérifier l'efficacité du dispositif de protection mis en place, une simulation hydraulique sera réalisée en considérant un débit de pointe de **Q = 900 m³/s.** Les résultats obtenus seront comparés entre la situation **avant aménagement** et **après aménagement**, afin d'évaluer l'impact réel des travaux sur la réduction du risque d'inondation et sur le comportement hydraulique de l'oued.

IV.7.1. Simulation

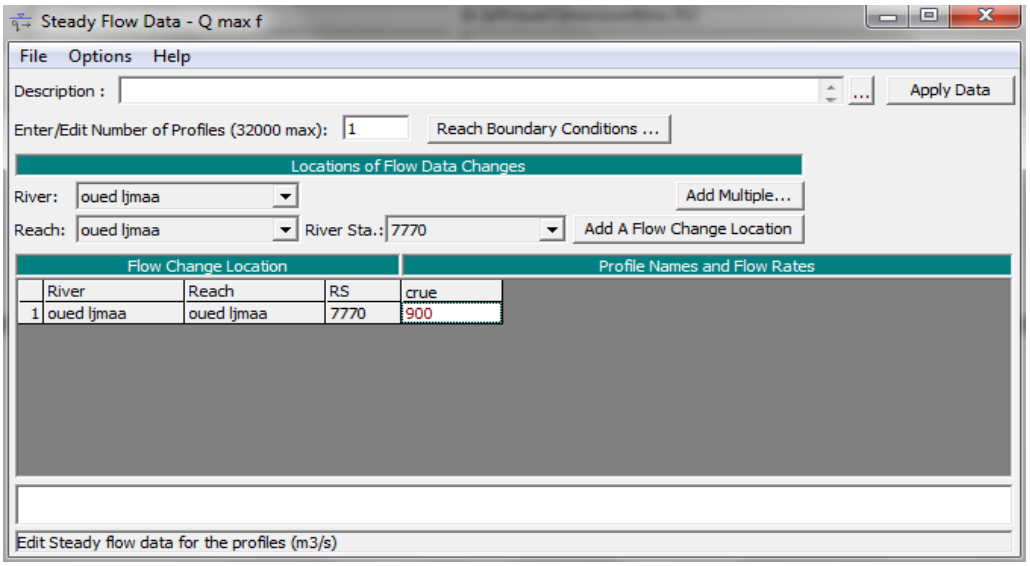

Figure IV. 46: Simulation (Q=900m3/s)

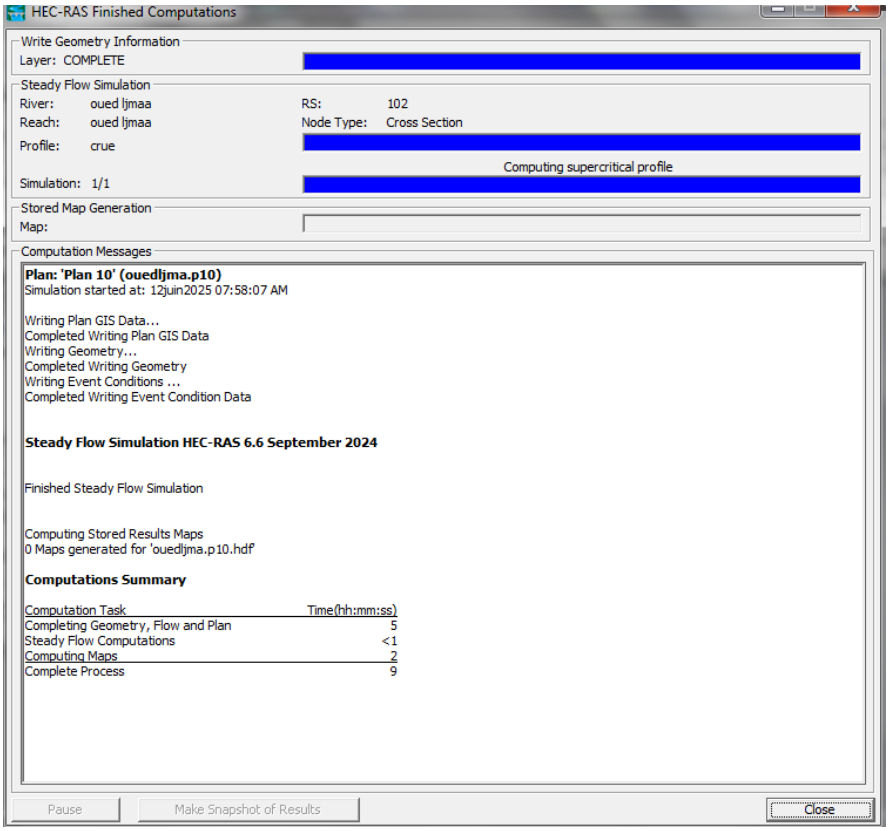

Figure IV. 47: Rapport de simulation (Q=900m3/s)

Suite à la simulation hydraulique réalisée avec un débit de pointe de **Q = 900 m³/s**, une comparaison détaillée sera effectuée entre la situation **avant l'aménagement** et **après l'aménagement.**

IV.7.2. Comparaison

Section 5772

<u>Avant aménagement :</u>

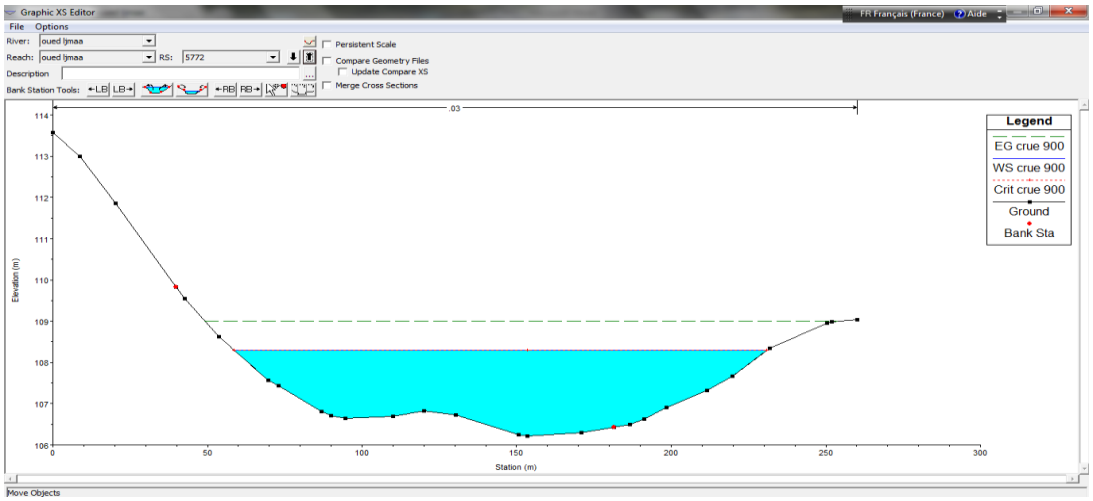

Figure IV. 48: Niveau d'eau dans le canal avant aménagement (section 5772)

Après aménagement :

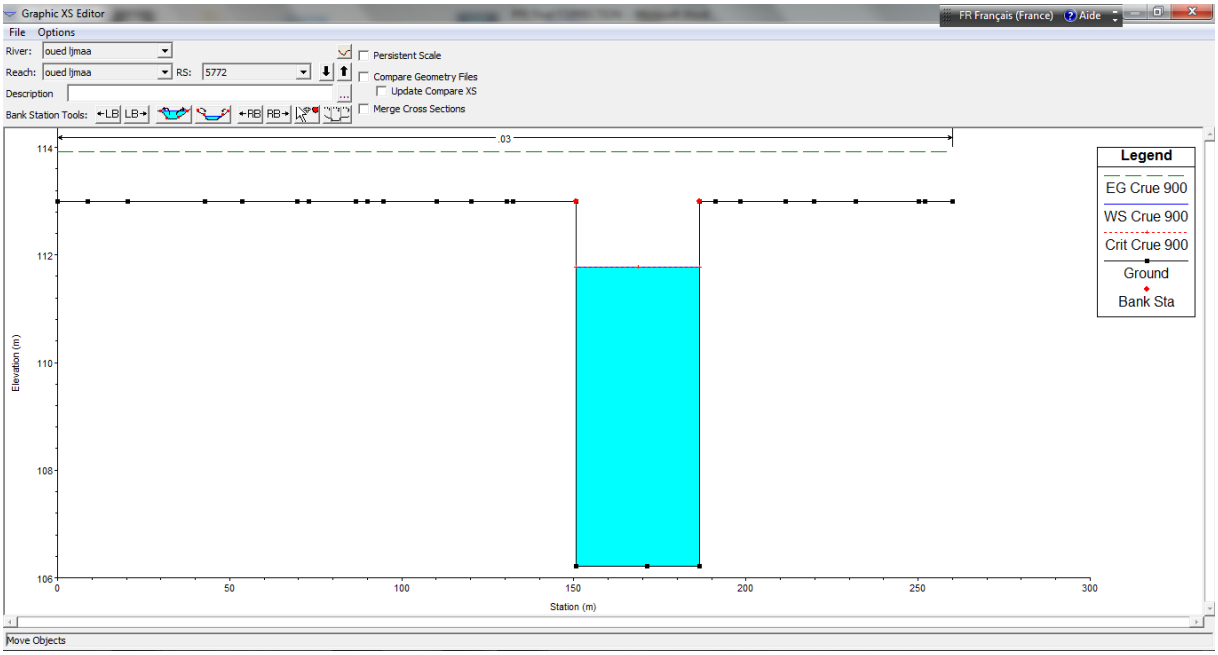

Figure IV. 49: Niveau d'eau dans le canal après aménagement (section 5772)

Section 3578

Avant aménagement :

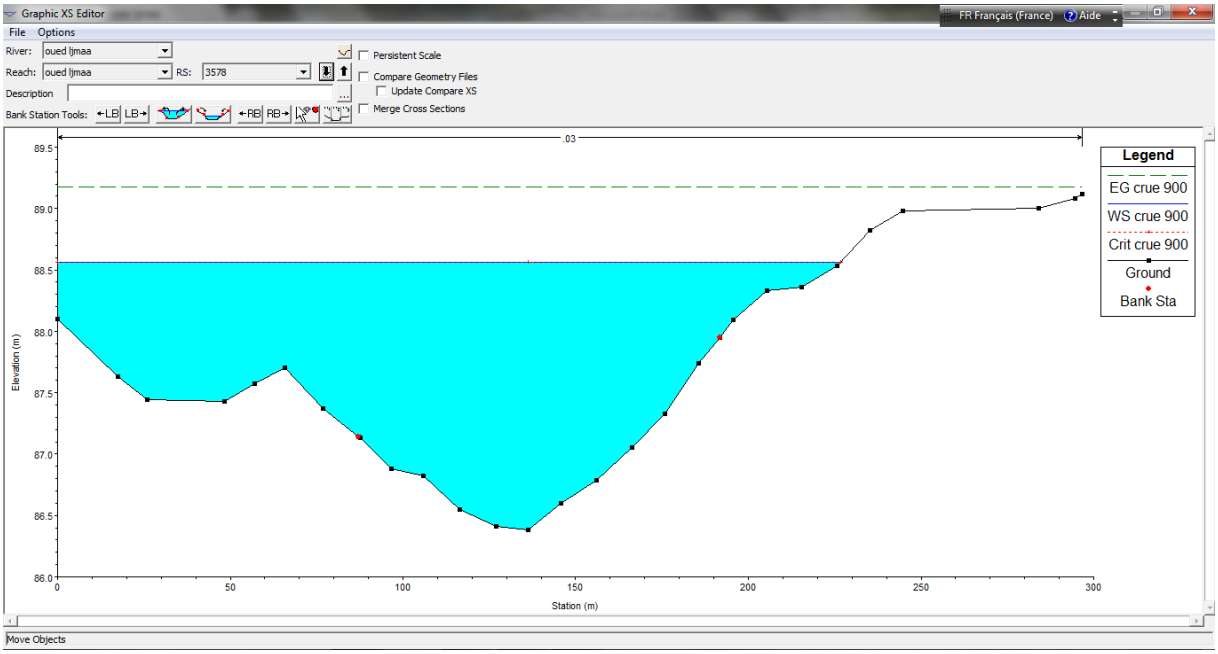

Figure IV. 50:Niveau d'eau dans le canal avant aménagement (section 3578)

Après aménagement :

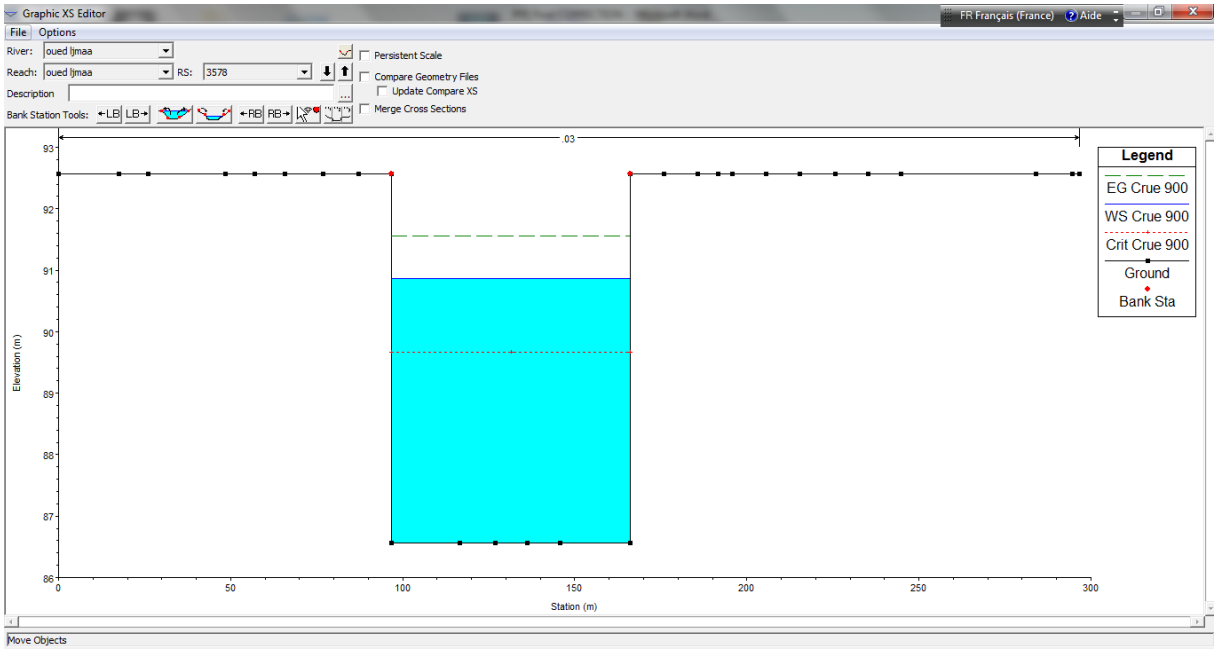

Figure IV. 51: Niveau d'eau dans le canal après aménagement (section 3578)

Section 782

Avant aménagement :

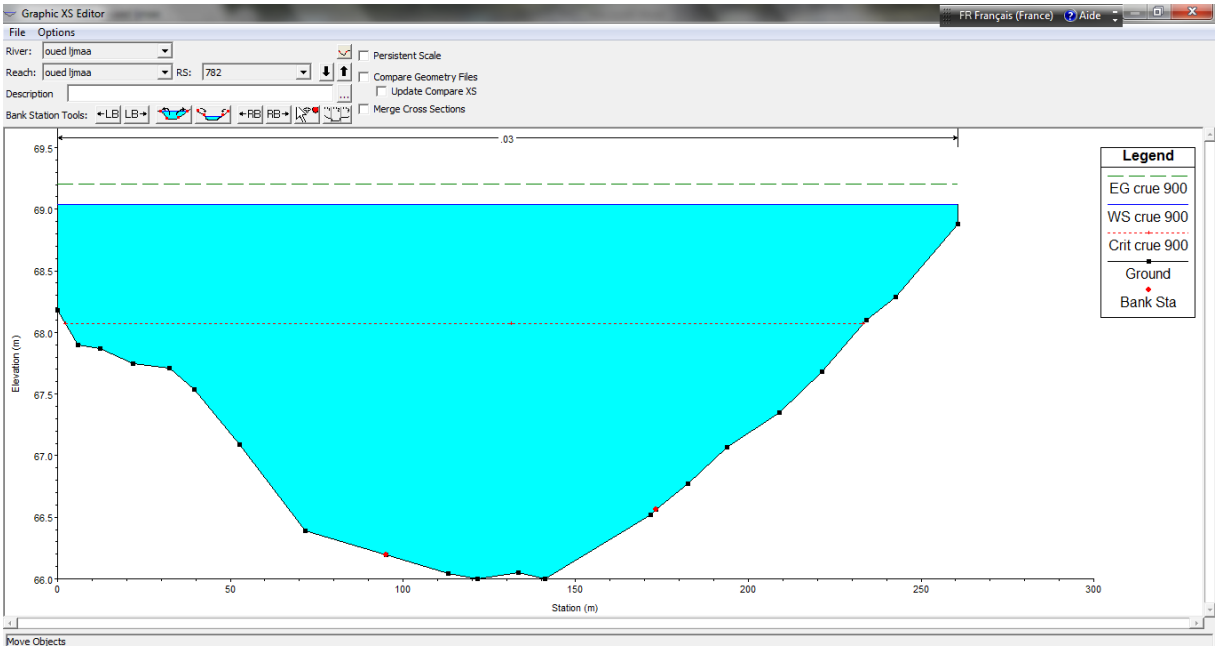

Figure IV. 52: Niveau d'eau dans le canal avant aménagement (section 782)

Après aménagement :

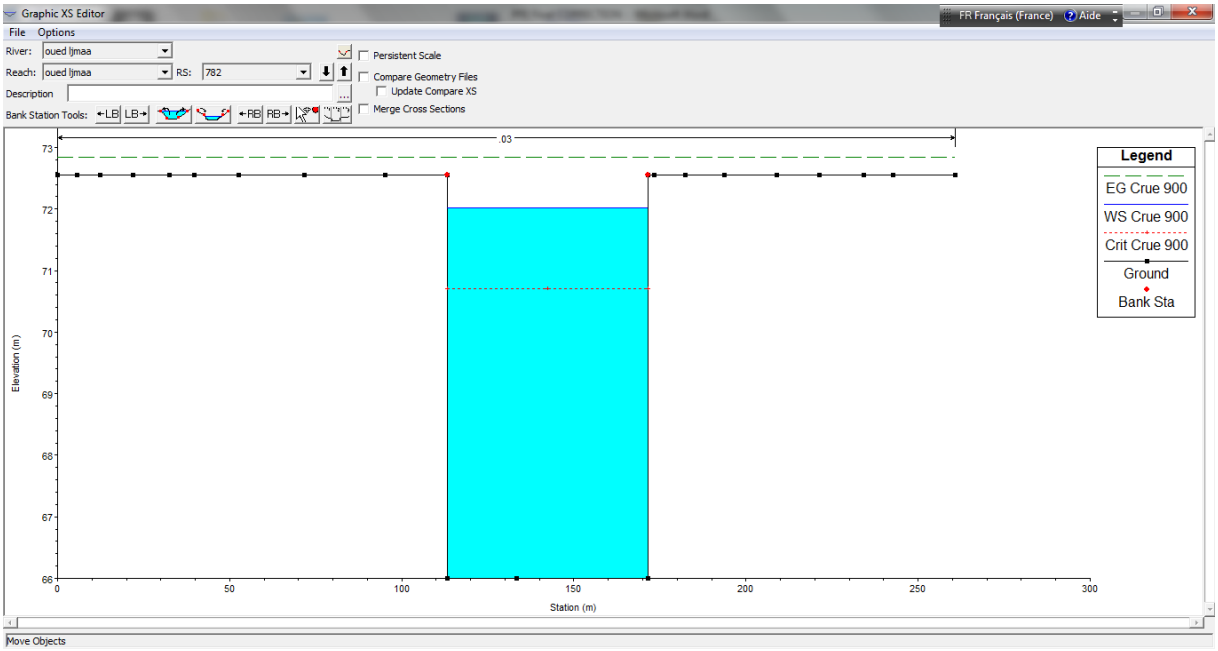

Figure IV. 53: Niveau d'eau dans le canal après aménagement (section 782)

Les résultats de l'analyse montrent que les travaux réalisés ont contribué de manière significative à la réduction de l'impact des crues récurrentes.

En dépit de la vitesse élevée de l'écoulement lors des épisodes de crue, le lit de l'oued a conservé sa forme et sa capacité d'écoulement sans altération notable. Cette intervention technique a permis d'éliminer plusieurs risques potentiels qui menaçaient la zone, ce qui a considérablement renforcé la sécurité des zones résidentielles ainsi que des infrastructures stratégiques, notamment la route nationale longeant les rives de l'oued.

Conclusion générale

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un projet de fin d'études et vise à analyser le comportement hydraulique de l'Oued El Djemaa à Larbaa face aux crues fréquentes générées par son bassin versant, en s'appuyant sur des techniques de modélisation et de simulation unidimensionnelle.

Dans un premier temps, une revue bibliographique a été effectuée afin de mieux comprendre la genèse des inondations, les risques associés ainsi que les méthodes de modélisation applicables. Ensuite, la zone d'étude, la région de Larbaa, régulièrement touchée par des crues ayant causé des dommages matériels a été présentée, et les données nécessaires ont été collectées et analysées.

Une étude hydrologique a permis de déterminer les débits de crue, constituant la base pour la modélisation hydraulique.

À l'aide du logiciel HEC-RAS (en mode d'écoulement permanent 1D), une simulation a été réalisée. Les résultats ont montré que le lit actuel de l'oued est insuffisant pour transporter efficacement les crues fréquentielles, ce qui expose les zones riveraines à un risque important d'inondation. Sur la base de ces résultats, nous avons proposé une solution technique qui consiste à corriger en premier lieu l'axe de l'oued afin de minimiser les méandres et assurer un écoulement normal le long de l'oued. En second lieu, Nous avons proposé un aménagement des berges qui consiste à réaliser des digues le long de l'oued avec une protection en gabion afin d'assurer leur stabilité face aux effets du courant liquide. Ceci dit, un reprofilage des sections en travers était indispensable afin d'éviter tout risque de débordement provenant des crues extrêmes. la mise en place de digues latérales protégées par du gabion capables de résister à des pressions hydrauliques élevées, la protection des berges contre l'érosion, le maintien d'un écoulement naturel avec une marge de sécurité supplémentaire, et la réduction du risque d'infiltration vers les zones habitées.

L'aménagement ainsi proposé, améliorera la sécurité des zones résidentielles et des infrastructures adjacentes, en particulier la route nationale longeant l'oued et permettra de gagner un énorme espace le long de l'oued qui pourra servir aux loisirs ou autres fins utiles.

À travers cette modeste contribution, nous espérons avoir apporté un éclairage utile dans le domaine de la modélisation et de la gestion des risques d'inondation, tout en nourrissant la réflexion auprès des chercheurs et des décideurs locaux.

Références bibliographiques

[1]. Ministère de la Transition Écologique et Solidaire. (2019). Le risque inondation en France : Comprendre pour mieux prévenir. https://www.ecologie.gouv.fr

[2]. DREAL Île-de-France. (2020). Les différents types d'inondation. https://www.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr

[3]. ONEMA (Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques). (2016). L'eau mobilisable : définition et enjeux. https://www.ofb.gouv.fr

[4]. BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières). (2017). Gestion des ressources en eau. https://www.brgm.fr

[5]. Agence de l'eau Seine-Normandie. (2015). Le ruissellement : causes et conséquences. https://www.eau-seine-normandie.fr

[6]. École des Ponts ParisTech. (2012). Hydrologie générale. Cours interne.

[7]. Météo-France. (2023). Les précipitations en France. https://meteofrance.com

[8]. Wikipédia. (Consulté en 2024). Inondation. https://fr.wikipedia.org/wiki/Inondation

[9]. PPRi Essonne. (2021). Plan de Prévention du Risque Inondation – Essonne. https://www.essonne.gouv.fr

[10]. CEREMA. (2020). Aménagement et prévention des risques naturels. https://www.cerema.fr

[11]. Le Jeune Indépendant. (2001). Bab El Oued, la catastrophe du siècle. Alger.

[12]. Ageron, C. (1984). Les inondations en Algérie. Revue de Géographie, 48(2), 213–228.

[13]. ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques). (2020). Base de données hydrologiques de l'Algérie.

[14]. ONM (Office National de la Météorologie). (2022). Climat de la wilaya de Blida.

[15]. HEC-RAS. (2023). Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (Version 6.6). US Army Corps of Engineers.

[16]. Wilaya de Blida. (2021). Monographie de la commune de Larbaa.