الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

NATIONAL HIGHER SCHOOL FOR HYDRAULICS
"The MujahidAbdellah ARBAOUI"

المدرسة الوطنية العليا للري
"المجاهد عبد الله عرباوي"
ⵓⵢⵙⵔⵙ ⵓⵢⵏⵓⵍ ⵉⵎⵉⵣⵙⵏ ⵏ ⵜⵎⵙⵓⵍⵉⵜ

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : AMENAGEMENT ET OUVERAGE HYDROTECHNIQUE

THEME :

ETUDE DE PROTECTION DE LA COMMUNE D'OUZELLAGUEN CONTRE LES INONDATIONS D'OUED IGHZER AMOKRANE (W. BEJAIA)

Présenté par :

BELLALEM ABDELKADER SOHEIB

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
HADJ SADOK Ahmed	Professeur	Président
ZAIBAK Issam	M.C.B	Examinateur
BOUZIANE Mamar	M.C.B	Examinateur
MIHOUBI Mustapha Kamel	Professeur	Promoteur

Session septembre 2025

Remerciements

Avant tout, je rends grâce à Dieu Tout-Puissant pour m'avoir accordé la force, la santé et la patience nécessaires afin de mener à bien ce travail.

Je tiens à adresser mes remerciements les plus sincères à mon encadrant, ***M. MIHOUBI Mustapha Kamel****, pour son suivi, ses conseils précieux et son accompagnement tout au long de ce projet.*

Ma reconnaissance va également aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail et d'y consacrer de leur temps.

*Enfin, j'adresse mes remerciements à l'ensemble des enseignants et du personnel de l'****École Nationale Supérieure d'Hydraulique (ENSH)****, pour la qualité de la formation et l'aide apportée durant tout mon parcours académique.*

— ***Soheib***

Dédicace

À celui qui a orné mon nom de la plus belle des fiertés, mon pilier et mon premier soutien,
à mon père ***Mokhtar****, qui m'a appris que la vie est un combat dont l'arme est le savoir.*

À celle qui a fait de son cœur un refuge et de ses prières une lumière,
à ma tendre mère ***Halima****, force silencieuse et source inépuisable de courage.*

À mes sœurs ***Naziha, Wassila et Ines****, qui sont mes repères, mes complicités, et une part de mon bonheur quotidien.*

À mon fils ***Niar****, mon petit ange, raison de mes efforts et flamme de mon avenir, qui donne un sens à chacun de mes pas.*

À mes amis de toujours, ***Abdkrim, AbdAllah et Raouf****, compagnons de route fidèles, dont le soutien et l'amitié ont adouci les difficultés et illuminé mes jours.*

Enfin, à moi-même, pour avoir cru, persévéré et enduré, malgré les obstacles et les épreuves, jusqu'à atteindre ce moment tant attendu.

— Soheib

ملخص :

يتناول هذا العمل دراسة حماية بلدية أوزلاقن، ولاية بجاية، من أخطار الفيضانات الناتجة عن وادي إغزر أمقران. يتمثل الهدف الرئيسي من هذه الدراسة في وضع مخطط تهيئة ملائم للحد من مخاطر الفيضانات.

ارتكزت دراستنا على سبعة فصول أساسية. بدأنا بتعريف عام حول ظاهرة الفيضانات، تلتها تقديم مفصل لمنطقة الدراسة. بعد ذلك قمنا بدراسة هيدرولوجية باستعمال البرمجيات HEC-RAS لتحليل خصائص الحوض، وHYFRAN لتحليل الأمطار القصوى اليومية، وHEC-HMS لنمذجة الفيضانات ورسم الهيدروغرامات.

ثم انتقلنا إلى الدراسة الهيدروليكية باستعمال HEC-RAS لتحديد المناطق المهددة. بناءً على ذلك، تم اقتراح عدة بدائل تقنية للحماية، حيث أظهرت النتائج أن الحل الأمثل يتمثل في الجمع بين الخرسانة والغابيون داخل قنوات شبه منحرفة، مما يضمن فعالية أكبر في الحد من أخطار الفيضانات وحماية السكان والمنشآت.

كما تم تقدير مدة إنجاز المشروع بـ **480 يومًا** تشمل مختلف مراحل التحضير والتنفيذ والمتابعة.

واختُتم العمل بتنظيم ورشات الإنجاز مع حساب تكاليف المشروع، بالإضافة إلى دراسة التأثيرات البيئية والاجتماعية للتهيئة.

الكلمات المفتاحية : الفيضانات، أوزلاقن، HEC-RAS، HYFRAN، HEC-HMS، قنوات شبه منحرفة، الخرسانة، الغابيون.

Résumé :

Le présent mémoire porte sur une étude de protection contre les inondations dans la commune d'Ouzellaguen, wilaya de Béjaïa, causées par l'oued Ighzer Amokrane. L'objectif principal consiste en l'élaboration d'un aménagement adapté pour réduire le risque d'inondation.

Notre travail est structuré en sept chapitres. Il débute par des généralités sur les inondations, suivies d'une présentation de la zone d'étude. Ensuite, une étude hydrologique a été réalisée à l'aide des logiciels HEC-RAS pour l'analyse du bassin versant, HYFRAN pour la simulation des pluies maximales journalières et HEC-HMS pour la modélisation des crues et le tracé des hydrogrammes.

Puis, une étude hydraulique a permis de localiser les zones vulnérables via HEC-RAS. Sur cette base, plusieurs variantes de protection ont été proposées. Les résultats ont montré que la solution la plus appropriée consiste à combiner le béton et le gabion dans des canaux trapézoïdaux, assurant ainsi une meilleure efficacité dans la réduction des risques d'inondation et la protection des infrastructures.

La durée prévisionnelle de réalisation de ce projet a été estimée à **480 jours**, incluant les travaux préparatoires, la mise en œuvre des ouvrages et les aménagements complémentaires.

Enfin, une organisation de chantier avec estimation des coûts a été établie, avant de conclure par une analyse des impacts environnementaux et sociaux de l'aménagement.

Mots-clés : Inondations, Ouzellaguen, HEC-RAS, HYFRAN, HEC-HMS, Canaux trapézoïdaux, Béton, Gabion, Protection contre les crues.

Abstract :

This study focuses on the protection of the commune of Ouzellaguen, in Béjaïa province, against floods caused by Oued Ighzer Amokrane. The main objective is to design an appropriate flood protection scheme to mitigate the risks.

The work is structured into seven chapters. It begins with general information about floods, followed by a presentation of the study area. A hydrological study was then conducted using HEC-RAS for the watershed analysis, HYFRAN for daily maximum rainfall simulations, and HEC-HMS for flood modeling and hydrograph plotting.

Next, a hydraulic study was carried out using HEC-RAS to identify vulnerable areas. Based on this, several protection alternatives were proposed. The results showed that the most effective solution is the combination of concrete and gabion in trapezoidal channels, ensuring higher efficiency in flood risk reduction and infrastructure protection.

The estimated duration of the project implementation is **480 days**, including preparatory works, construction, and complementary arrangements.

Finally, a construction schedule with cost estimation was established, followed by an assessment of the environmental and social impacts of the project.

Keywords : Floods, Ouzellaguen, HEC-RAS, HYFRAN, HEC-HMS, Trapezoidal channels, Concrete, Gabion, Flood protection.

Table des matières

Remerciements . . . . . **i**

Dédicace . . . . . **ii**

Résumé . . . . . **iii**

Liste des figures : . . . . . **viii**

Liste des tableaux : . . . . . **xi**

Liste des planches . . . . . **xiii**

Introduction Générale **1**

1 Généralités sur les inondations **2**
Introduction : 3
1.1 Les inondations : 3
1.1.1 Définitions : 3
1.1.2 Connaissance des composantes du risque d'inondation : 4
1.1.3 Les paramètres d'une inondation : 4
1.2 Les différentes types d'inondations : 6
1.2.1 Stagnation d'eau pluviale : 6
1.2.2 Débordement de cours d'eau : 6
1.2.3 Rupture d'ouvrage ou d'embâcles : 8
1.2.4 Ruissellement en secteur urbain : 8
1.2.5 Crue torrentielles : 8
1.2.6 Submersion des zones littorales ou lacustre : 9
1.3 Les inondations en Algérie : 10
1.3.1 Les principales causes d'inondation en Algérie (1970 - 2005) : . . . 10
1.3.2 L'historique des inondations en Algérie : 10
1.4 Conclusion : 14

2 Présentation de la zone d'étude **15**
Introduction : 16
2.1 Contexte et problématique tique de l'étude : 16
2.2 Données naturelles du site : 16
2.2.1 Situation géographique : 16
2.2.2 Localisation du bassin versant de l'Oued d'Ighzer Amokrane : . . . 17
2.2.3 Topographie et relief : 17
2.2.4 Situation géologique : 19

2.3 Contexte naturel : . . . 19
2.4 Contexte touristique : . . . 20
2.5 Urbanisation et population : . . . 20
2.6 Climatologies de la zone d'étude : . . . 21
2.6.1 Température : . . . 21
2.6.2 Humidité relative de l'air : . . . 22
2.6.3 Vitesse de vent : . . . 22
2.6.4 Pluviométrie : . . . 23
2.7 Composantes du projet : . . . 24
2.8 Conclusion . . . 24

3 Étude hydrologique . . . 25
Introduction : . . . 26
3.1 Caractéristiques physiques du bassin versant : . . . 26
3.1.1 Définition du bassin versant : . . . 26
3.1.2 Délimitation des bassins versants : . . . 28
3.1.3 Morphométrie : . . . 29
3.1.4 Le relief : . . . 30
3.1.5 Le réseau hydrographique : . . . 35
3.2 Analyse des données pluvpluviométriques : . . . 40
3.2.1 Présentation de la station pluviométrique et pluie moyenne annuelle : 40
3.2.2 Analyse statistique des pluies maximales journalières : . . . 40
3.2.3 Choix de la loi d'ajustement : . . . 41
3.3 Pluies annuelles : . . . 47
3.4 Étude de crues : . . . 48
3.4.1 Différentes méthodes d'évaluation des crues : . . . 48
3.4.2 Application sur le bassin versant : . . . 49
3.4.3 Hydrogrammes des crues : . . . 58
3.5 Conclusion : . . . 62

4 Étude hydraulique . . . 63
Introduction : . . . 64
4.1 Objectif de l'aménagement : . . . 64
4.2 Débit de dimensionnement : . . . 64
4.2.1 Modélisation du cours d'eau : . . . 64
4.2.2 Définition Logiciel HEC-RAS : . . . 64
4.2.3 Simulation de l'Oued Ighzer Amokrane à son état naturel : . . . 73
4.3 Conclusion : . . . 74

5 Étude des variantes d'aménagement . . . 75
Introduction : . . . 76
5.1 Reprofilage du lit du cours d'eau : . . . 76
5.1.1 Objectifs du reprofilage : . . . 76
5.1.2 Principes d'intervention : . . . 76
5.2 Étude de variante : . . . 77
5.2.1 Choix des variantes envisagées : . . . 77
5.2.2 Démarche adoptée dans ce projet : . . . 77
5.3 Conclusion : . . . 83

6 Organisation des Travaux du Chantier 84
Introduction : 85
6.1 Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier : 85
6.2 Installation du chantier 86
6.2.1 Installations destinées au personnel 86
6.2.2 Installations destinées au stockage des matériaux 86
6.2.3 Installations destinées à la réparation des engins : 87
6.2.4 Installations pour la préfabrication : 87
6.3 Les moyens de chantier : 87
6.3.1 Les moyens humains : 87
6.3.2 Moyens matériels : 87
6.4 Estimation du coût du projet : 88
6.5 Planification des travaux : 88
6.6 Conclusion : 90

7 Etude d' Impacts sur l'Environnement (EIE) 91
Introduction : 92
7.1 Identification des impacts potentiels sur l'environnement : 92
7.1.1 Évaluation des impacts pendant la période de chantier : 92
7.1.2 Impact sismique : 94
7.1.3 Impact sur les sols : 94
7.1.4 Impact sur le ressources hydriques : 95
7.1.5 Impact sur le milieu humain : 95
7.1.6 Impact socio-économique : 96
7.2 Impacts potentiels durant la période d'exploitation : 96
7.2.1 Impact liés à la mise à disposition d'eau potable : 96
7.2.2 Impact liés à la mise à disposition d'irrigation : 96
7.2.3 Impact sur le patrimoine ornithologique : 96
7.2.4 Impacts liés à l'exploitation de la station hydroélectrique : 97
7.2.5 Impact lié à la création de plan d'eau : 97
7.2.6 Impact lié à l'aménagement des berges de l'Oued Ighzer Amokrane : 97
7.2.7 Impact lié au risque encouru à l'aval en cas de rupture éventuelle de l'un des deux barrages : 97
7.3 Conclusion : 98

Conclusion Générale 99

Références Bibliographiques 100

Annexes 102

Table des figures

1.1 **Figure 1.1 :** Composantes du risque d'inondation. 4
1.2 **Figure 1.2 :** Inondation par stagnation d'eau pluviale (Source : SDEA). . 6
1.3 **Figure 1.3 :** Inondation par débordement direct (Source : SDEA). 7
1.4 **Figure 1.4 :** Inondation par débordement indirect (Source : SDEA). . . . 7
1.5 **Figure 1.5 :** Rupture d'ouvrage (Source : IRMa). 8
1.6 **Figure 1.6 :** Crue torrentielle 9

2.1 **Figure 2.1 :** Localisation de la commune d'Ouzellaguen (Source : ArcGIS). 17
2.2 **Figure 2.2 :** Situation de la zone d'étude sur la carte altimétrique (E = 1/25000) (Source : ArcGIS). 18
2.3 **Figure 2.3 :** Carte des pentes de la zone d'étude (E = 1/25000) (Source : ArcGIS). 19
2.4 **Figure 2.4 :** Répartition des secteurs en % dans la wilaya de Bejaïa. . . . 21
2.5 **Figure 2.5 :** Températures moyennes mensuelles – ONM Bejaia 1990-2016. 21
2.6 **Figure 2.6 :** L'humidité relative de l'air – ONM Bejaia 1990-2016. 22
2.7 **Figure 2.7 :** Répartition mensuelle de la pluviométrie - Station de Tifra. . 23
2.8 **Figure 2.8 :** Plan d'ensemble de la zone du projet (Source : Google Earth). 24

3.1 **Figure 3.1 :** Localisation de la zone d'étude – Ighzer Amokrane (Source : ArcGIS). 27
3.2 **Figure 3.2 :** Situation cartographique du bassin d'Ighzer Amokrane (Source : ArcGIS). 27
3.3 **Figure 3.3 :** Carte des exutoires des sous bassins versants de l'oued Ighzer Amokrane (Source : ArcGIS). 28
3.4 **Figure 3.4 :** Carte altimétrique du bassin versant de l'Oued Ighzer Amokrane (Source : ArcGIS). 31
3.5 **Figure 3.5 :** Hypsogramme et courbe hypsométrique du bassin versant. . 32
3.6 **Figure 3.6 :** Carte du réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Ighzer Amokrane (Source : ArcGIS). 35
3.7 **Figure 3.7 :** Tracé de la droite d'ajustement à la loi de Gumbel. 43
3.8 **Figure 3.8 :** Tracé de la droite d'ajustement à la loi de GALTON. 45
3.9 **Figure 3.9 :** Évolution des pluies annuelles à la station d'Ighil Ali 150503.. 47
3.10 **Figure 3.10 :** représentation de la fenêtre de l'interface du HEC-HMS représente le BV. 51
3.11 **Figure 3.11 :** Résultats de la simulation pour BV pour T = 200 ans. . . . 52
3.12 **Figure 3.12 :** Résultats de la simulation pour BV pour T = 100 ans. . . . 52
3.13 **Figure 3.13 :** Résultats de la simulation pour BV pour T = 50 ans. . . . 52
3.14 **Figure 3.14 :** Résultats de la simulation pour BV pour T = 20 ans. . . . 53
3.15 **Figure 3.15 :** Résultats de la simulation pour BV pour T = 10 ans. . . . 53
3.16 **Figure 3.16 :** Résultats de la simulation pour BV pour T = 5 ans. 53

3.17 **Figure 3.17 :** Résultats de la simulation pour BV 01 T = 200 ans. 54
3.18 **Figure 3.18 :** Résultats de la simulation pour BV 01 T = 100 ans. 54
3.19 **Figure 3.19 :** Résultats de la simulation pour BV 01 T = 50 ans. 54
3.20 **Figure 3.20 :** Résultats de la simulation pour BV 01 T = 20 ans. 55
3.21 **Figure 3.21 :** Résultats de la simulation pour BV 01 T = 10 ans. 55
3.22 **Figure 3.22 :** Résultats de la simulation pour BV 01 T = 5 ans. 55
3.23 **Figure 3.23 :** Résultats de la simulation pour BV 02 T = 200 ans. 56
3.24 **Figure 3.24 :** Résultats de la simulation pour BV 02 T = 100 ans. 56
3.25 **Figure 3.25 :** Résultats de la simulation pour BV 02 T = 50 ans. 56
3.26 **Figure 3.26 :** Résultats de la simulation pour BV 02 T = 20 ans. 57
3.27 **Figure 3.27 :** Résultats de la simulation pour BV 02 T = 10 ans. 57
3.28 **Figure 3.28 :** Résultats de la simulation pour BV 02 T = 5 ans. 57
3.29 **Figure 3.29:** les hydrogrammes des crues pour différentes périodes de retour 59
3.30 **Figure 3.30 :** Hydrogrammes des crues. 60
3.31 **Figure 3.31 :** L'hydrogrammes des crues. 61

4.1 **Figure 4.1 :** Fenêtre d'accueil du logiciel HEC-RAS. 64
4.2 **Figure 4.2 :** Carte des profondeurs simulées par HEC-RAS (Ras-Mapper). 65
4.3 **Figure 4.3 :** Carte des vitesses simulées par HEC-RAS (Ras-Mapper). . . 65
4.4 **Figure 4.4 :** Les sections en travers. 66
4.5 **Figure 4.5 :** Définition de la crue et des conditions aux limites. 67
4.6 **Figure 4.6 :** Profil en long du River 1. 68
4.7 **Figure 4.7 :** Profil en long du River 2. 68
4.8 **Figure 4.8 :** Profil en long du River 3. 69
4.9 **Figure 4.9 :** Vue en plan en 3D de l'Oued. 69
4.10 **Figure 4.10 :** Profil en travers du River 1 en amont. 70
4.11 **Figure 4.11 :** Profil en travers du River 1 au milieu. 70
4.12 **Figure 4.12 :** Profil en travers du River 1 en aval. 70
4.13 **Figure 4.13 :** Profil en travers du River 2 en amont. 71
4.14 **Figure 4.14 :** Profil en travers du River 2 au milieu. 71
4.15 **Figure 4.15 :** Profil en travers du River 2 en aval. 71
4.16 **Figure 4.16 :** Profil en travers du River 3 en amont. 72
4.17 **Figure 4.17 :** Profil en travers du River 3 au milieu. 72
4.18 **Figure 4.18 :** Profil en travers du River 3 en aval. 72
4.19 **Figure 4.19 :** La saisie des données de l'hydrogramme des crues. 73
4.20 **Figure 4.20 :** Tirant d'eau des différentes sections pour les deux régimes d'écoulement. 74

5.1 **Figure 5.1 :** Profil en long du River 1. 78
5.2 **Figure 5.2 :** Profil en long du River 2. 79
5.3 **Figure 5.3 :** Profil en long du River 3. 79
5.4 **Figure 5.4 :** Profil en travers du River 1 en amont. 80
5.5 **Figure 5.5 :** Profil en travers du River 1 au milieu. 80
5.6 **Figure 5.6 :** Profil en travers du River 1 en aval. 80
5.7 **Figure 5.7 :** Profil en travers du River 2 en amont. 81
5.8 **Figure 5.8 :** Profil en travers du River 2 au milieu. 81
5.9 **Figure 5.9 :** Profil en travers du River 2 en aval. 81
5.10 **Figure 5.10 :** Profil en travers du River 3 en amont. 82

5.11 **Figure 5.11 :** Profil en travers du River 3 au milieu. 82
5.12 **Figure 5.12 :** Profil en travers du River 3 en aval. 82

6.1 **Figure 6.1 :** Planification des travaux avec MS Project. 89

Liste des tableaux

1.1 **Tableau 1.1 :** Historique des inondations en Algérie (Source : ANRH) . . 11
1.2 **Tableau 1.1 :** Historique des inondations en Algérie (Suite) (Source : ANRH) 12
1.3 **Tableau 1.1 :** Historique des inondations en Algérie (Suite) (Source : ANRH) 13

2.1 **Tableau 2.1 :** Répartition des secteurs par catégories en (%) dans la wilaya de Bejaia. 20
2.2 **Tableau 2.2 :** Températures moyennes mensuelles (°C). 21
2.3 **Tableau 2.3 :** L'humidité relative de l'air (%). 22
2.4 **Tableau 2.4 :** Moyenne interannuelle de la vitesse du vent à Bejaia (m/s) – ONM Bejaia. 23
2.5 **Tableau 2.5 :** Répartition mensuelle de la pluviométrie – Station de Tifra 151007, Période 1968-2013. 23

3.1 **Tableau 3.1 :** Coordonnées du site Ighzer Amokrane. 29
3.2 **Tableau 3.2 :** Paramètres morphométriques du bassin versant. 30
3.3 **Tableau 3.3 :** Répartition altimétrique du bassin versant. 31
3.4 **Tableau 3.4 :** Altitudes caractéristiques des bassins versants. 33
3.5 **Tableau 3.5 :** Indice de pente globale. 33
3.6 **Tableau 3.6 :** Classe de relief selon (Bonnard et Gardel, 1996). 34
3.7 **Tableau 3.7 :** Répartition des Oueds selon l'ordre Schumm. 35
3.8 **Tableau 3.8 :** Résultats de calcul du temps de concentration 37
3.9 **Tableau 3.9 :** Résultats de calcul de la vitesse moyenne 38
3.10 **Tableau 3.10 :** Récapitulatif des paramètres hydro morphométrique des BV de la zone d'étude : 39
3.11 **Tableau 3.11 :** Caractéristiques de la station pluviométrique d'Ighil Ali. . 40
3.12 **Tableau 3.12 :** Série des pluies max journalières de la station d'Ighil Ali (1968-2019). 41
3.13 **Tableau 3.13 :** Les paramètres statistiques de la série des pluies maximales journalières. 41
3.14 **Tableau 3.14 :** Résultats d'ajustement à la loi de Gumbel. 43
3.15 **Tableau 3.15 :** Résultats d'ajustement à la loi de GALTON. 45
3.16 **Tableau 3.16 :** Résultats du test d'adéquation. 46
3.17 **Tableau 3.17 :** Série des pluies annuelles de la station d'Ighil Ali (1968–2012). 47
3.18 **Tableau 3.18 :** Débits de crues des bassins versants par la méthode SCS-CN. 51
3.19 **Tableau 3.19 :** Temps de montée et temps de décrue des bassins versant . 58
3.20 **Tableau 3.20 :** Hydrogramme des crues de différentes périodes. 59
3.21 **Tableau 3.21 :** Hydrogramme des crues de différentes périodes. 60

3.22 **Tableau 3.22 :** Hydrogramme des crues de différentes périodes. 61

5.1 **Tableau 5.1 :** Tableau comparatif des variantes d'aménagement. 77
5.2 **Tableau 5.2 :** Valeurs de la rugosité Manning n exprimées en mm. 78

6.1 **Tableau 6.1 :** Devis quantitatif et estimatif de la variante. 88

Liste des planches

- **Planche 1 :** Localisation géographique du site d'étude.
- **Planche 2 :** Carte des exutoires des sous bassins versants.
- **Planche 3 :** Levé topo d'Oued Ighzer Amokrane.
- **Planche 4 :** Profil en travers de l'Oued Ighzer Amokrane.
- **Planche 5 :** Profil en long de l'Oued Ighzer Amokrane.
- **Planche 6 :** Planning d'exécution des travaux.
- **Planche 7 :** Fiche signalétique du projet.

Introduction Générale

L'aménagement des oueds constitue, depuis quelques années, l'un des soucis majeurs des pouvoirs publics algériens, notamment dans la perspective de lutter contre les inondations et de dépolluer ces cours d'eau. La gestion intégrée des cours d'eau et des ouvrages hydrauliques permet de prévenir les risques d'inondations, de s'adapter à des conditions hydrologiques extrêmes, de préserver et restaurer la biodiversité, de limiter la dégradation des milieux naturels par le ruissellement urbain, elle permet également d'améliorer le potentiel économique, culturel et paysager des territoires. L'hydraulique ouvre ainsi la voie vers un solutionnement durable des problématiques environnementales et socio-économiques liées au développement de nos villes.

En effet, l'aménagement des Oueds en vue d'une gestion durable de la ressource en eau est devenu un préalable incontournable pour valoriser les potentialités hydriques pour le développement socioéconomique, l'espace environnemental. Ceci est notamment valable pour la mobilisation de la ressource pour son utilisation dans les secteurs vitaux tels que l'alimentation en eau potable, l'Irrigation et l'énergie. C'est ainsi que nous devons définir le potentiel hydroélectrique de l'oued, la création d'activités autour des plans d'eau éventuels, tout en protégeant les espaces verts de promenade, de repos et d'activités culturelles.

Pour la réalisation de cette étude, nous allons structurer notre travail autour de sept chapitres clés :

Chapitre 1 : Généralités sur les inondations ;

Chapitre 2 : Présentation de la zone d'étude ;

Chapitre 3 : Étude hydrologique ;

Chapitre 4 : Étude hydraulique ;

Chapitre 5 : Étude des variantes d'aménagement ;

Chapitre 6 : Organisation des Travaux du Chantier ;

Chapitre 7 : Étude d'Impacts sur l'Environnement (EIE).

Chapitre 1

Généralités sur les inondations

Introduction

Les inondations sont les catastrophes naturelles les plus fréquentes et les plus destructrices, provoquant d'importants dégâts humains et matériels. C'est à ce titre que nous nous intéressons, dans le cadre de cette étude, à traiter.

Certains concepts liés aux risques d'inondations (vulnérabilité, aléa, inondation, etc.), en plus du cadre législatif traitant de ces dangers naturels et de ces risques, nous donnons un aperçu historique des inondations, enregistrées cette dernière décennie, à l'échelon national.

Dans le domaine de la lutte contre les inondations, il faut admettre deux principes :

1. Le risque zéro n'existe pas.
2. On ne lutte pas contre les inondations sans inonder.

1.1 Les inondations :

1.1.1 Définitions :

Une inondation correspond au débordement des eaux hors du lit mineur à la suite d'une crue. C'est une submersion (rapide ou lente) d'une zone pouvant être habitée. Les eaux occupent alors le lit majeur du cours d'eau.

Une inondation correspond à la submersion d'une zone par de l'eau d'origine autre que le réseau d'eau potable ou que les eaux d'assainissement dans le cadre d'un fonctionnement normal du réseau.

La provenance des eaux peut donc être :

- Eaux de débordement d'un cours d'eau en crue, qui franchit les limites naturelles de son lit ou les protections élaborées par les hommes ;
- Eaux en provenance du réseau d'assainissement, lui-même inondé par la montée des eaux d'une rivière en crue ;
- Eaux de ruissellement sur les terrains avoisinant le site étudié ;
- Eaux en provenance de la remontée de la nappe phréatique ;
- Eaux issues de la rupture d'ouvrages ou d'embâcles (obstacles naturels).

1.1.2 Connaissance des composantes du risque d'inondation :

Le risque est une mesure de la probabilité et de la sévérité d'un effet défavorable pour la santé, pour les biens ou pour l'environnement.

La notion du risque d'inondation est une notion complexe faisant intervenir deux paramètres essentiels :

- L'Aléa : défini comme la probabilité d'occurrence d'un phénomène naturel, dans notre cas, l'inondation. Il se caractérise par plusieurs paramètres hydrauliques qui expliquent la capacité plus ou moins destructrice de l'inondation (figure 1.1).
- La Vulnérabilité : elle se définit comme une évaluation de l'occupation humaine et économique d'un site, susceptible d'être affectée par l'aléa.

Pour analyser une situation de risque sur un territoire donné, il faut combiner les deux facteurs précédents que sont l'aléa et la vulnérabilité au droit de chaque parcelle.

Il existe des risques positifs ou négatifs. Si l'aléa augmente, le risque augmente ; il est dit risque positif. Si la vulnérabilité augmente, le risque augmente ; il est dit risque négatif.

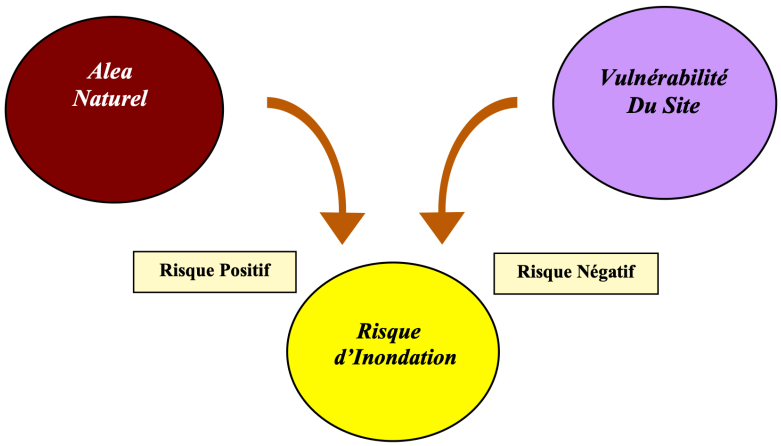


Figure 1.1 : Composantes du risque d'inondation.

1.1.3 Les paramètres d'une inondation :

1.2.3.1 Le débit :

Le débit est un des paramètres caractéristiques d'une crue. C'est la quantité d'eau qui s'écoule en un point donné du cours d'eau. Il s'exprime en m3/s.

Le débit d'un cours d'eau varie en fonction de la hauteur d'eau, de la surface transversale à une section donnée de ce cours d'eau et de la vitesse d'écoulement. Ainsi, l'augmentation du débit d'un cours d'eau entraîne celle de la vitesse d'écoulement d'eau et de la hauteur du plan d'eau au point considéré.

1.2.3.2 Vitesse d'écoulement :

La vitesse d'écoulement est mesurée, en un point donné, pour une inondation, au paroxysme du phénomène.

Le courant peut atteindre des vitesses telles qu'il peut entraîner des objets d'une certaine taille, voire des personnes. Il augmente également le risque d'érosion des berges. En mettant en pression dynamique les constructions, il peut les fragiliser, les endommager ou les détruire.

1.2.3.3 Hauteur de submersion :

La hauteur de submersion est mesurée, pour une crue donnée, lors du maximum de cette crue.

Elle est représentative des risques pour les personnes (noyades) et pour les biens, par endommagement direct (action de l'eau) ou indirect (par mise en pression statique).

La laisse d'inondation est la trace laissée par le niveau des eaux les plus hautes : les dégradations sont fonction de la durée, de la hauteur de submersion et de la vitesse d'écoulement.

1.2.3.4 La durée de submersion :

La durée de submersion représente la durée approximative pendant laquelle une surface donnée de terrain reste inondée.

Cette durée peut varier de quelques heures à plusieurs mois.

1.2.3.5 La fréquence de la période de retour :

Grâce à l'analyse des crues historiques (dates, secteurs concernés, débits, laisses…), on procède à une classification des crues en fonction de leur fréquence (probabilité qu'un événement a d'apparaître chaque année ou nombre moyen d'événements similaires se produisant pendant une période donnée à un endroit donné).

A l'inverse, la période de retour est l'intervalle moyen de temps séparant des événements similaires (crues d'intensité comparable, en débits ou hauteurs, ou en couple débit-hauteur), lorsqu'on observe les événements à l'échelle de plusieurs siècles. Ainsi, la crue centennale est une crue de forte amplitude qui, chaque année, a une probabilité sur cent de se produire.

Le risque de dépasser au moins une fois une crue de période de retour T au cours d'un nombre d'années n :

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \tag{1.1}$$

1.2 Les différentes types d'inondations :

1.2.1 Stagnation d'eau pluviale :

Certaines inondations sont dues à une capacité insuffisante d'infiltration, d'évacuation des sols ou du réseau d'eaux pluviales lors de pluies anormales. Les zones de stagnation des eaux de pluie (zones de dépression ou à pente très faible), en particulier en zone urbaine, sont souvent le facteur déterminant des inondations des quartiers les plus bas. Lorsque ce type d'inondation intéresse des secteurs étendus, on parle d'inondation de plaine.

Ce type d'inondation n'est en général pas dangereux pour la vie humaine, mais peut engendrer des dégâts matériels parfois lourds.

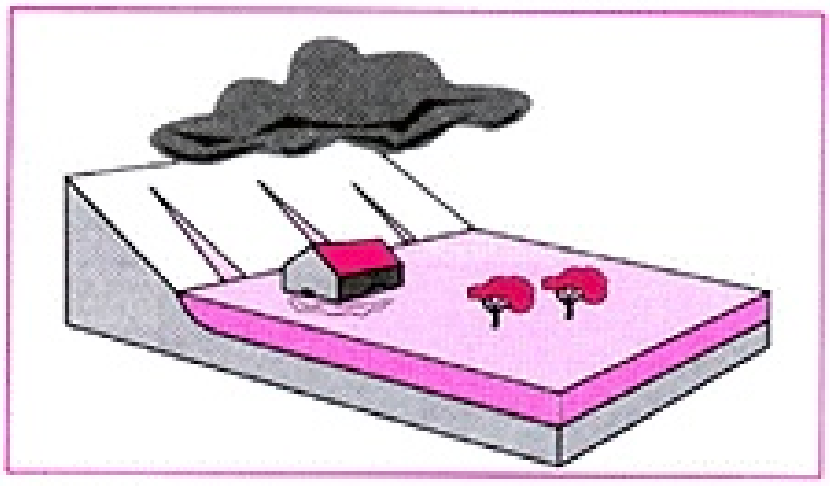


Figure 1.2 : Inondation par stagnation d'eau pluviale (Source : SDEA).

1.2.2 Débordement de cours d'eau :

Suite à des pluies violentes ou durables, l'augmentation du débit des cours d'eau peut être telle que ceux-ci peuvent gonfler au point de déborder de leur lit, pour envahir des zones généralement de faible altitude et de faible pente (cours aval des rivières).

Les dégâts peuvent être très élevés et surtout le risque de noyade existe (en particulier, lors de franchissements de gués lors de l'arrivée de l'onde de crue).

Les débordements peuvent être de deux types :

- Inondation par débordement direct ;
- Inondation par débordement indirect.

1.2.2.1 Inondation par débordement direct :

C'est le cas le plus fréquent. Le cours d'eau sort de son lit mineur pour occuper son lit majeur par submersion de berge ou par contournement d'un système d'endiguement limité.

Un cours d'eau s'écoule habituellement dans son lit mineur. Le lit majeur est un espace occupé par un cours d'eau lors d'une inondation.

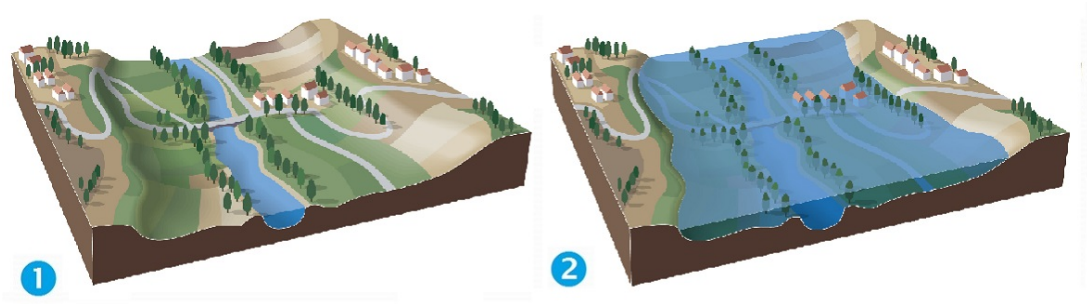


Figure 1.3 : Inondation par débordement direct (Source : SDEA).

1.2.2.2 Inondation par débordement indirect :

Il peut se produire par remontée de l'eau dans les réseaux d'assainissement ou eaux pluviales, par remontée de nappes souterraines.

Il s'agit de phénomènes difficiles à prévoir, surtout lorsqu'ils découlent du mauvais fonctionnement du réseau en période de crue : dysfonctionnement ou dimensionnement insuffisant des moyens de relevage des eaux usées vers la rivière de crue, absence ou fonctionnement défectueux des ouvrages empêchant l'intrusion des crues dans le réseau. Ils sont surtout connus lorsque le site les a subis par le passé.

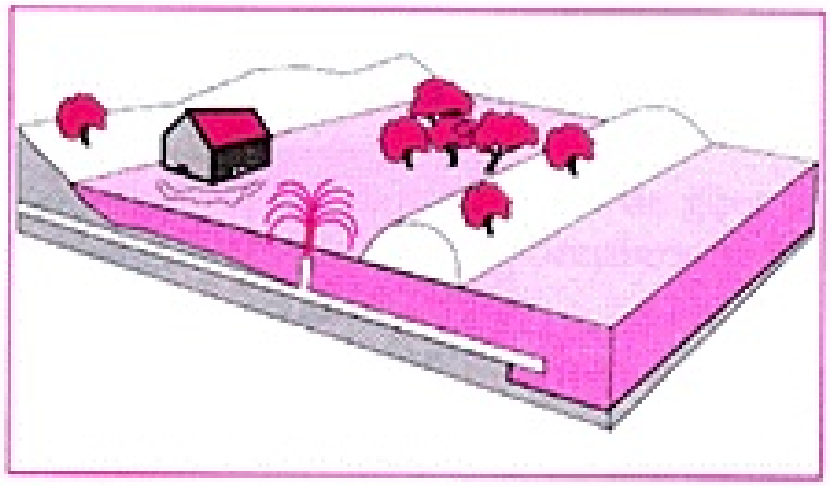


Figure 1.4 : Inondation par débordement indirect (Source : SDEA).

1.2.3 Rupture d'ouvrage ou d'embâcles :

Dans les rivières endiguées, l'inondation survient par surverse ou rupture de digue, souvent sans délai d'intervention. La rupture entraîne l'arrivée d'un mur d'eau de plusieurs mètres, se propageant rapidement et provoquant d'importants dégâts.

Un embâcle correspond à l'obstruction du lit par des matériaux (arbres, glissements de terrain, véhicules…), formant une digue naturelle et une retenue d'eau. Sa rupture libère une onde de crue brutale, d'autant plus destructrice que le volume et la hauteur de retenue sont élevés.

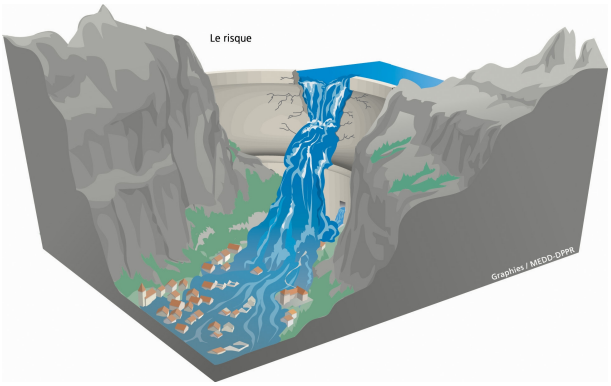


Figure 1.5 : Rupture d'ouvrage (Source : IRMa).

1.2.4 Ruissellement en secteur urbain :

En milieu urbain, de fortes pluies peuvent saturer les réseaux d'évacuation, entraînant des inondations rapides et localisées dans les points bas, où l'eau peut stagner. Ce phénomène est favorisé par l'imperméabilisation des sols, les fortes pentes, les petits cours d'eau artificialisés ou un réseau d'assainissement sous-dimensionné.

1.2.5 Crue torrentielles :

De fortes pluies dans un bassin versant peuvent provoquer une montée brutale du débit, l'eau charriant sables et cailloux vers l'aval. Les rétrécissements du lit (ponts, buses) ou les obstacles (troncs, déchets) favorisent les débordements destructeurs. Ces crues éclairs, rapides et violentes, sont fréquentes en zones montagneuses ou lors d'averses intenses, constituant un risque humain majeur.



Figure 1.6 : Crue torrentielle .

Dans de rares cas, se forment des laves torrentielles, généralement lors d'orages intenses ou de pluies prolongées sur des terrains meubles. Il s'agit d'un écoulement boueux et rocheux, dense et abrasif, pouvant atteindre 1 à 10 m/s, beaucoup plus destructeur qu'une crue classique en raison de la quantité de matériaux charriés. La lave torrentielle peut apparaître lorsque :

- Le bassin versant possède une zone sommitale vaste et à forte pente ;
- Elle traverse des terrains instables, peu cohérents et riches en matériaux fins.

1.2.6 Submersion des zones littorales ou lacustre :

Les submersions marines sont des inondations temporaires de la zone côtière, causées par des conditions météorologiques (dépression, vents) et marégraphiques (marées de tempête, raz-de-marée) générant des ondes de tempête. Elles touchent surtout les zones basses, parfois même protégées par des ouvrages. Elles résultent :

- De la rupture d'un cordon dunaire, entraînant dépôts de sédiments et épandages de tempête ;
- Du débordement ou de la rupture de digues, ou du franchissement par des « paquets de mer » projetant sable et galets ;
- De vagues importantes dues à des glissements sous-marins.

Ces submersions durent généralement quelques heures (parfois jours dans les marais) et se traduisent par une invasion d'eaux salées agressives. L'élévation du niveau marin (1,2 à 1,5 mm/an depuis un siècle) accentue leur fréquence et leur gravité.

1.3 Les inondations en Algérie :

L'Algérie, comme plusieurs pays méditerranéens, est fortement exposée aux crues et inondations, qui représentent les catastrophes naturelles les plus fréquentes et destructrices, avec de lourds bilans humains et matériels.

De nombreuses régions sont régulièrement menacées, les effets étant souvent aggravés par des facteurs anthropiques ou environnementaux. Ces événements ne sont pas toujours liés à des conditions météorologiques exceptionnelles, mais surviennent aussi lors de pluies saisonnières ordinaires.

L'inventaire des 30 dernières années montre que toutes les régions sont vulnérables, les inondations étant imprévisibles dans le temps et l'espace. Parmi les événements marquants : celles de 1969 (Algérie et Tunisie), de mars 1973 (est algérien), de mars 1974 (Algérois et Sebaou), de décembre 1984 (est algérien), ainsi que de nombreuses inondations urbaines liées à des orages d'automne ou d'été.

1.3.1 Les principales causes d'inondation en Algérie (1970 - 2005) :

Se subdivisent en trois catégories :

1. Les inondations liées à des situations météorologiques remarquables :

se traduisant par une forte pluviosité (pluies importantes, orages violents) tels que les inondations de décembre 1957 des bassins de Mazafran et de la Sebaou, les inondations de l'automne 1969 en Algérie et en Tunisie, les inondations catastrophiques de Mars 1973, sur l'Est Algérien, les inondations de Mars 1974 des bassins versants de l'Algérois et de la Sebaou, les inondations de Décembre 1984 sur tout l'Est Algérien etc...

2. Les inondations provoquées par des facteurs liés à l'effet de l'homme :

la défaillance des réseaux d'assainissement et de collecte des eaux pluviales, le gonflement des oueds par les décombres et les détritus et d'autres agissements humains qui favorisent des dégâts lors des averses saisonnières ; les cas de la ville de Tiaret inondée presque à chaque hiver et la plaine de Mzab ou des inondations se produisent tous les 02 à 03 ans illustrent parfaitement l'influence de ces facteurs dans l'apparition du phénomène d'inondation.

3. Les inondations produites dans des régions présentant un environnement topographique défavorable :

comme le cas des villes traversées par des oueds (Bordj Bou Arréridj, Oued R'hiou, Sidi Bel Abbés) ou situées au pied d'une montagne (Ain Défia, Batna, Medea). Ces agglomérations à forte concentration des populations et sous l'effet d'une urbanisation anarchique et non réglementée présentent des grands risques, des pertes humaines et des destructions de constructions sont enregistrées à chaque inondation aussi légère qu'elle soit.

1.3.2 L'historique des inondations en Algérie :

On présente dans le tableau suivant par ordre chronologique, un bref aperçu des inondations survenues en Algérie au cours de ces trente dernières années :

Tableau 1.1 : Historique des inondations en Algérie (Source : ANRH) .

Lieu :	**Date :**	**Cause :**	**Dégâts :**
Azazga	12/10/1971	Fortes pluies orageuses (Pluie journalière de 182.6 mm)	• 40 morts et des centaines d'habitations détruites
Alger Tizi Ouzou	28-31/03/1974	Pluies exceptionnelles (688 mm au en 04 jours et 381 mm en 01 journée au Col de Sakamody)	D'après le bilan de la wilaya de Tizi Ouzou : • 52 morts et 4570 maisons détruites ; • 130 villages isolés et plus de 18000 sinistres ; • 13 ponts détruites et des dizaines kilomètres de routes emportes ; • Dégâts matériels des divers services techniques évalues à 27 millions de DA.
El Eulma	17/11/1980	VPluies orageuses violentes provoquent des crues catastrophiques de l'Oued Djehadi	• 44 morts, 50 blesses et 365 familles sinistrées.
Ghardaia	17/11/1980	Pluies torrentielles de 04 jours (99.8 mm pluie journaliers 46.5 mm)	• Crue de l'Oued M Zab
Djelfa	22/08/1983	Pluies orageuses très violentes inondant la commune de Birine a 60 pour-cent	• 10 morts, 10 blesses, 200 habitations détruites et 1200 têtes de bétail emportées par les eaux.
Batna	05/07/1987	Pluies orageuses très violentes (pluie journaliers 57 mm)	• 02 morts et dizaines de familles sinistrées. Dégâts évalues a 175 millions de centimes.
Tiaret	17/06/1989	Pluies diluviennes (Orage violent d'une durée de 15 min)	• Affaissement de terrains et dégâts matériels considérables.
Ghardaia	03/06/1991	Orage local et très violent	• 09 morts et pertes importantes en cheptel et de palmeraies ; • Destruction partielle de la digue d'EL Atteuf ; • Ponts, chausses et réseaux d'assainissement avoisinant oued Mzab dégrades.

Tableau 1.1 : Historique des inondations en Algérie (Suite) (Source : ANRH) .

Lieu :	**Date :**	**Cause :**	**Dégâts :**
Relizane	20/10/1993	Pluies orageuses intenses à la ville d'Oued Rhiou causant crues violentes d'Oued Grigra, petit cours d'eau située en amont de la ville d'Oued Rhiou.)	• 20 morts, 20 blessées et plusieurs disparus ; • Des dizaines de familles sinistrées et d'importants dégâts matériels.
Oum EL Bouaghi	06/10/1994	Fortes pluies orageuses provoquant d'immenses dégâts à la région de Bir El Hanchir.	• 350 familles sinistrées, 43 habitations, 15 puits et terres agricoles endommagés.
Ain Defla	06/02/1996	Forte pluie dans la daira d'El Khemis (81 mm en 17h35 mn) provoquant ses débordements catastrophiques des cours d'eau menant du massif Zaccar vers l'oued Cheliff.	• 158 familles sinistrées et importantes dégâts matériels.
Djelfa	06/10/1998	Pluies diluviennes et inondations catastrophiques	• 200 hectares de récoltes inondées et pertes importantes en cheptel. Un petit barrage détruit à Thaadmint et 20 puits d'irrigation éboulés.
Adrar	14/01/1999	Fortes chutes de pluies provoquant de graves inondations.	• 12 morts et plusieurs disparus ; • 174 habitations en toub détruites dans les localités de : Reggane, Tsabit, Timmimoun et Adrar.
Ain Temochent	14/10/2000	Fortes pluies (56 mm en l'espace de 04 h) et crues catastrophiques del'Oued El Maleh	• 04 morts et plusieurs disparus ; • Plusieurs habitations démolies et immenses dégâts matériels.
Naama	23/10/2000	23/10/2000 Pluies torrentielles engendrant des inondations catastrophiques aux régions de : Ain Sefra et Mechria.	• 05 morts et une douzaine portée disparus. Pertes importantes en cheptel ; • La voie ferrée reliant Ain Sefra - Beni ounif endommagée. Un pont situé au centre-ville de Meghrar endommagé.

Tableau 1.1 : Historique des inondations en Algérie (Suite) (Source : ANRH) .

Lieu :	**Date :**	**Cause :**	**Dégâts :**
Alger	10/11/2001	Chute fort des pluies à Bab EL Oued.	• Personnes décédées : plus de 800 ; • Personnes blessées : 311.
Ghardaia	03-05/10/2008	Pluies torrentielles, crue d'Oued M'zab	• Personnes décédées : 43 ; • Personnes disparues : 04 ; • Personnes blessées : 84.
Bayadh	01/10/2011	Fortes chutes de pluies provoquant de graves inondations.	• Personnes décédées : 10 ; • familles sinistrées : 150 ; • Dégâts matériels importants.
Taref	23/02/2012	Pluies torrentielles, un réseau de drainage insuffisant et une urbanisation non planifiée.	• Personnes décédées : 03 ; • Dégâts agricoles importants.
Ouargla	01-02/10/2015	Pluies intenses de zone désertique	• 5 morts ; • Habitations effondrées, pertes agricoles.
Blida Alger Tipaza	06-07/03/2021	Précipitation violente, manque d'alerte	• 7 morts ; • Glissement de terrain, routes coupées.
Tipaza Blida	27-28/05/2023	Pluie brutale, égouts bouches..	• 2 mors ; • Inondation d'habitation, port de pêche endommage.
Constantine Jijel Setif Annaba	28-02/03/2024	Orages violents, urbanisation dans zones à risque	• 6 à 10 morts ; • Écoles et immeubles endommages, cultures détruites.

1.4 Conclusion :

Une inondation se caractérise par un niveau exceptionnel observé dans un cours d'eau, susceptible de provoquer des dégâts considérables dans les zones limitrophes. Les inondations diffèrent en intensité selon l'espace et le temps, et sont généralement définies par leur débit maximal et leur hydrogramme. Plusieurs facteurs sont à l'origine de ces derniers.

Tout d'abord, on considère la quantité, l'intensité et l'étendue spatiale de la pluie génératrice. Ensuite, les caractéristiques physiographiques comme la dimension, la configuration, les pentes et l'orientation du bassin ont une influence considérable. De plus, l'implication humaine et les modifications naturelles des caractéristiques du bassin ajoutent à la complexité de la question.

Les méthodes employées pour déterminer les crues sont largement établies sur les données accessibles.

L'inondation devient particulièrement alarmante lorsqu'elle survient dans des zones urbaines densément peuplées. Dans ce contexte, nous devons réaliser une analyse approfondie pour se protéger contre les crues et les inondations, afin de mieux anticiper ce fléau dévastateur.

Chapitre 2

Présentation de la zone d'étude

Introduction :

L'étude d'aménagement d'un cours d'eau nécessite une parfaite connaissance de la zone d'étude pour permettre de déterminer les choix des variantes hydrauliques à mettre en œuvre.

Dans la présente étude, on définit les différentes caractéristiques physiques de la zone d'étude (climat, relief, population, …etc.) et aussi une approche thématique sur les inondations et leur gestion.

2.1 Contexte et problématique tique de l'étude :

Les berges des oueds ont subi de fortes dégradations liées à l'abandon de leur entretien traditionnel, à l'urbanisation et aux travaux de reprofilage ou de stabilisation artificielle (béton, empierrement). Ces interventions ont transformé nombre de cours d'eau en canaux artificiels, négligeant leur rôle écologique et paysager.

Dans ce contexte, l'étude d'aménagement de l'Oued Ighzer Amokrane (Wilaya de Béjaïa) vise une gestion durable de la ressource en eau, sa valorisation pour l'AEP, l'irrigation, l'hydroélectricité et le développement socio-économique, tout en protégeant les espaces naturels.

2.2 Données naturelles du site :

2.2.1 Situation géographique :

Localisée dans la vallée de la Soummam et dépendant de la wilaya de Bejaia, la commune d'Ouzellaguen est située au centre-est de l'Algérie, à environ de 194 km d'Alger, et à 54 km de Bejaia ville.

Cette commune s'étend sur une superficie de 61,40 Km² pour une population estimée au recensement général de la population et l'habitat (RGPH) en 2008 à 22 089 habitants soit une densité de 360 habitant /km².

Elle est limitée du point de vue administratif par :

- Au Nord-Est : La commune de Chemini ;
- A l'Est : La commune de Seddouk ;
- Au Sud-Est : La commune d'Amalou ;
- Au Sud-Ouest : La commune d'Akbou ;
- A l'Ouest : La commune de Chellata ;
- Au Nord-Ouest : La wilaya de Tizi-Ouzou.

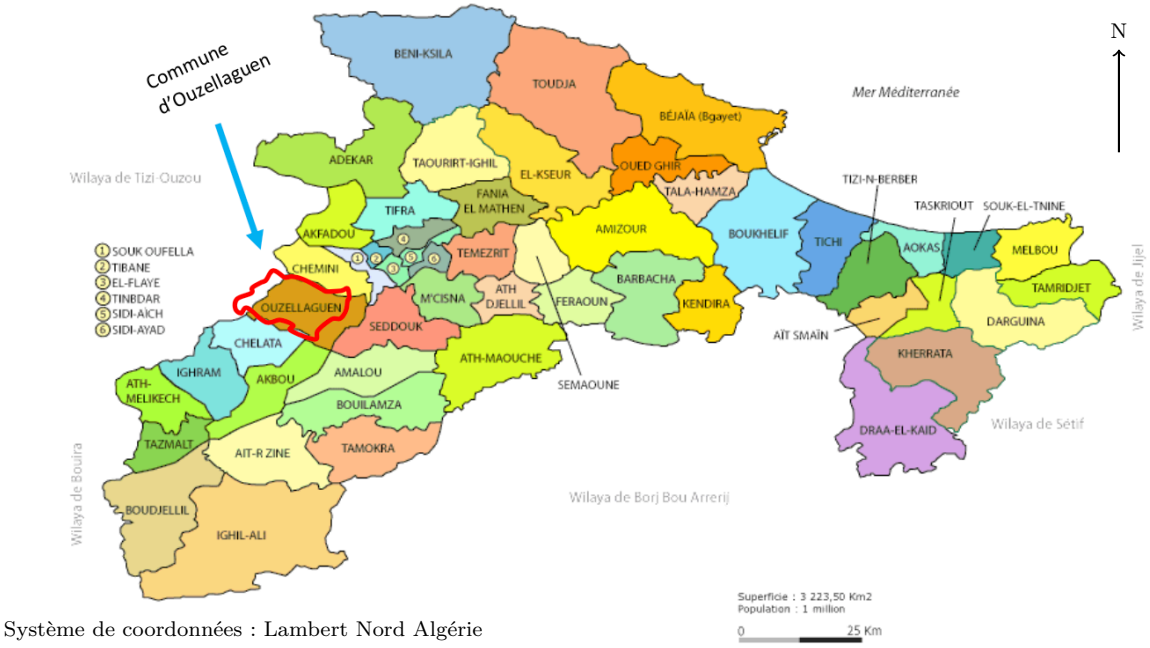


Figure 2.1 : Localisation de la commune d'Ouzellaguen (Source : ArcGIS).

2.2.2 Localisation du bassin versant de l'Oued d'Ighzer Amokrane :

Le bassin versant de l'Oued Ighzer Amokrane est situé à 54 km à l'ouest de Béjaïa, sur la RN26, à la limite avec la wilaya de Tizi Ouzou. Il s'étend sur les communes d'Ouzelaghen et de Chemini, et est limité par Akbou et Chellata à l'ouest, Sidi Aïche à l'est, Amalou au sud-est, Seddouk au sud et Tizi Ouzou au nord.

Sa superficie est d'environ 50 km², comprise entre les coordonnées Lambert :

- Latitude : 361.602 à 371.341 km Nord
- Longitude : 662.352 à 673.211 km Ouest

L'oued prend sa source dans le Djurdjura. Le bassin, marqué par un relief montagneux accidenté, présente des cours d'eau à fortes pentes provoquant des ruissellements rapides, le transport solide et le dépôt de gros sédiments à son embouchure avec l'Oued Soummam.

2.2.3 Topographie et relief :

Le relief est facteur déterminant dans la prise de décision dans l'aménagement du territoire, l'étude des caractéristiques du milieu physique et naturel permet d'identifier les facteurs favorables et les contraintes à considérer lors de l'élaboration du plan d'aménagement.

- **Facteur altimétrie :**

Le territoire du bassin versant d'Ighzar Amokrane s'insère dans la tranche d'altitude oscillant de 400 à 1700 m, le relief le plus élevé au Nord sur les chaines de Djurdjura et le bas-relief des terrasses alluviales d'oued Soummam.

- **Hypsométrie :**

La commune d'Ouzallaguen se subdivise en 3 classes d'altitudes :

- Classe 01 : Altitudes inferieures à 400 m ;

- Classe 02 : Altitudes comprise entre 400 – 800 m, limite des cultures des olives ;

- Classe 03 : Altitudes supérieures à 800 m ce qui ne favorise que la végétation forestière.

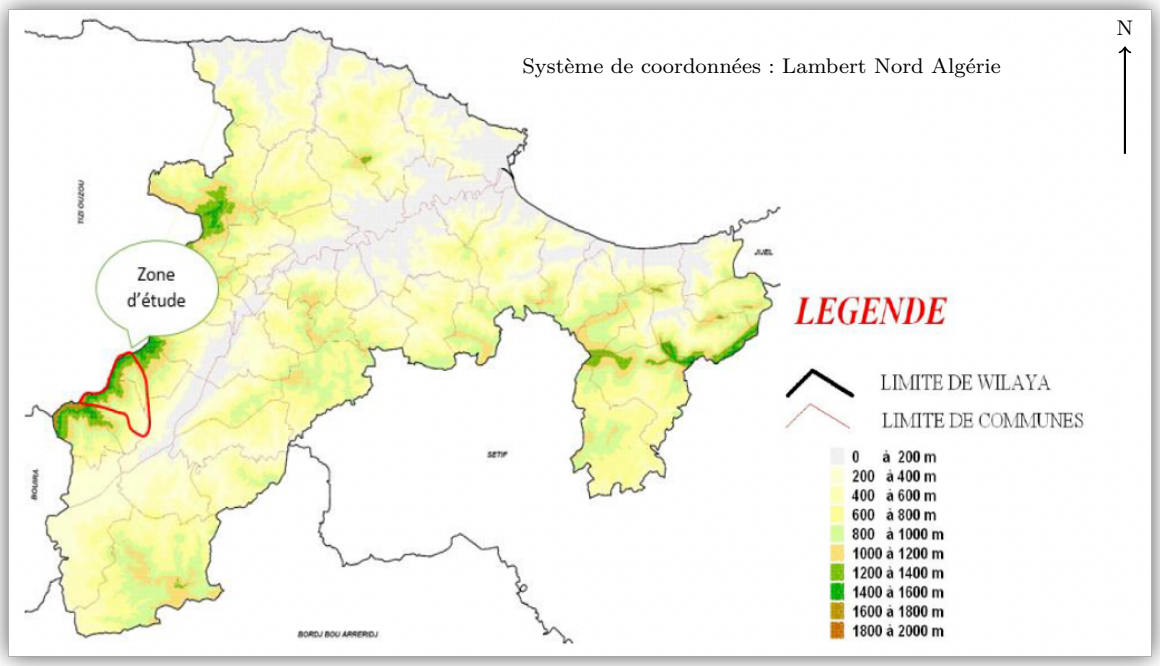


Figure 2.2 : Situation de la zone d'étude sur la carte altimétrique (E = 1/25000) (Source : ArcGIS).

- **Pentes :**

La pente est un facteur déterminant pour le choix des implantations des équipements.

Les pentes sur le territoire la commune d'Ouzallaguen et du bassin versant Ighzar Amokrane, se subdivisent en 4 classes :

- Classe 01 : pentes allant de 0 - 3% représentant les terrains à topographie plane ;

- Classe 02 : pentes allant de 3 - 12.5% utilisation des techniques et mesures antiérosives ;

- Classe 03 : pentes allant de 12.5 - 25% sols contraignants et favorisent les mesures d'anti érosion ;

- Classe 04 : pentes supérieures à 25% l'occupation doit privilégier la sylviculture.

La commune présente un taux de 3.5% pour les pentes allant de 3 12.5%, ce qui confirme la topographie d'Ouzallaguen présente des terrains accidentés et chahutés.

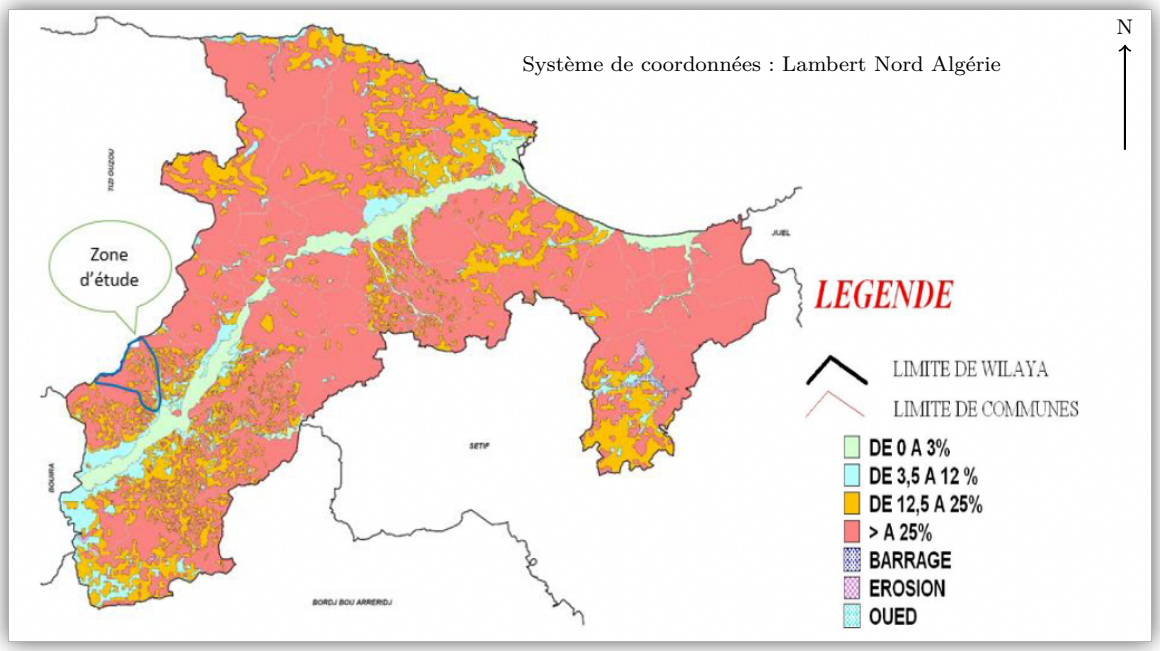


Figure 2.3 : Carte des pentes de la zone d'étude (E = 1/25000) (Source : ArcGIS).

2.2.4 Situation géologique :

La géologie du nord de l'Algérie appartient au domaine orogénique cénozoïque maghrébin, comprenant deux ensembles : la chaîne des Maghrébines et l'Atlas. La première, rattachée à l'orogenèse alpine d'Afrique du Nord, se compose de zones internes (Kabylides), du domaine des flyschs et de zones externes.

L'étude géologique de la région, basée sur la carte de Sidi Aïch (1/50 000), montre une structure complexe due aux chevauchements et aux déformations tectoniques alpines de la fin du tertiaire et du quaternaire. On distingue principalement :

- **Formations oligocènes :** grès et flysch, substrats stables favorables aux essences forestières.
- **Formations crétacées :** conglomérats, localisés sur la terminaison ouest du Djurdjura (Ighram, Chellata, Ouzellaguen).
- **Formations miocènes et quaternaires :** terrasses alluviales et dépôts de la vallée de la Soummam, offrant des terres à forte valeur agronomique.

2.3 Contexte naturel :

La commune d'Ouzallaguen est à vocation agricole et à caractère arboricol, dont la production d'huile d'olive occupe une prépondérance pour la région, dispose d'un potentiel économique important par ses vastes superficies agricoles et sa zone industrielle au niveau du village de Hellouan.

La source d'eau minérale IFRI donne naissance à son usine pour une importante distribution permettant de couvrir tout le territoire national.

2.4 Contexte touristique :

La commune d'Ouzellaguen est riche en matière de potentialités naturelles et patrimoniales tels que les villages historiques et les ruines romaines, mais comme site reconnu et inscrit, il n'existe que le Musée d'El Moudjahid au niveau du village Ifri à Ouzellaguen, lieu où s'est déroulé le congrès de la Soummam le 20 Août 1956. Il est constitué aujourd'hui de la maison du congrès, le musée, le monument commémoratif et deux cours pour les conférences et les spectacles. Toutefois, on signale l'existence de certains villages historiques et de sites archéologiques dispersés sur les montagnes. Les différentes potentialités touristiques dans la région sont :

- **Site naturels :**

1- Grotte Azrou Marzoug (Village Tizi Maghlaz) ;

2- Col de CHREA.

- **Site archéologiques :**

1- Pont Romain en ruine (Village Bouchibane).

- **Site religieux :**

1- Zaouia Sidi Ahmed Ousaid.

- **Site historique/ Traditionnel :**

1- Musée Elmoujahid (Ifri), Inscrit le 01/09/1985 J.O N° 37 du 04/09/1985 ;

2- La Maison du congrès de la Soummam (Ifri), Inscrit le 01/09/1985 J.O N° 37 du 04/09/1985 ;

2.5 Urbanisation et population :

La wilaya de Béjaïa couvre 3 200 km² et compte 52 communes pour environ 960 000 habitants. Sa population est majoritairement jeune, avec 56 % de moins de 30 ans.

L'économie repose surtout sur les travaux publics et l'agriculture, cette dernière occupant près de 20 % de la population active, principalement à caractère vivrier (voir tableau ci-après).

Tableau 2.1 : Répartition des secteurs par catégories en (%) dans la wilaya de Bejaia.

Secteurs :	Agriculture	BTP	Industrie	Services	Tourisme	Commerce	Autres
Pourcent %	21	23	07	21	04	02	09

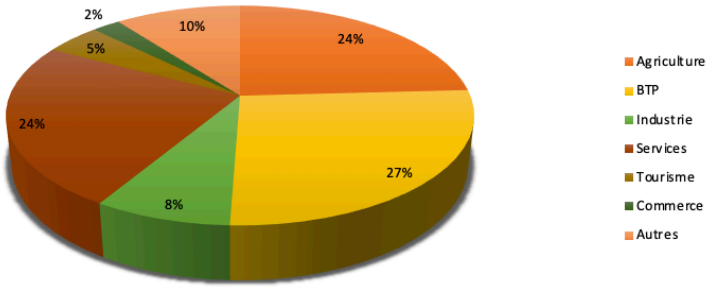


Figure 2.4 : Répartition des secteurs en % dans la wilaya de Bejaïa.

Le graphe ci-dessus illustre que le secteur du BTP est dominant avec 23%, suivi des secteurs de l'Agriculture et des services avec 21% chacun, quant aux autres secteurs représentent un taux de moins de 10%.

2.6 Climatologies de la zone d'étude :

2.6.1 Température :

Les températures constituent un des facteurs majeurs caractéristiques du climat méditerranéen ; le tableau ci-après illustre les variations de la température moyenne, minimale et maximale en degrés Celsius de la station de Bejaïa. La température moyenne annuelle est de 17,8°C, ce qui divise l'année en deux périodes, l'une chaude et l'autre froide. Janvier est le mois le plus froid, 11,25 °C, alors qu'Août est le mois le plus chaud (25,97 °C).

Tableau 2.2 : Températures moyennes mensuelles (°C).

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU
Tmin	19,29	16,34	11,91	8,74	7,53	7,48	9,24	10,78	14,23	17,79	20,72	21,53
Tmax	28,34	25,81	21,04	17,72	16,68	16,79	18,93	20,54	23,20	26,81	29,66	30,59
Tmoy	23,34	20,19	15,43	12,25	11,25	11,41	13,47	15,35	18,51	22,21	24,96	25,97

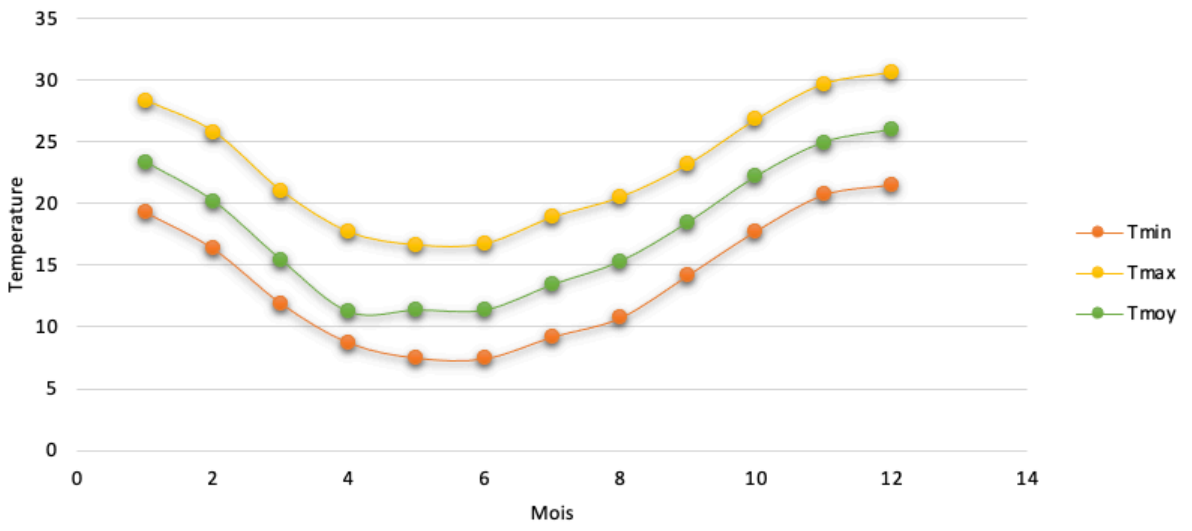


Figure 2.5 : Températures moyennes mensuelles – ONM Bejaia 1990-2016.

2.6.2 Humidité relative de l'air :

L'humidité relative de l'air est un autre élément déterminant dans la le cycle de développement de la végétation. L'atmosphère est d'autant plus sèche que le phénomène d'évapotranspiration est important. Conjugué à la sécheresse du sol, ce phénomène peut aggraver la déperdition de l'eau de la plante jusqu'à sa dessiccation. La région est assez humide, comme on peut le constater à travers la lecture du tableau suivant. L'humidité relative est supérieure 72 % durant toute l'année. Ce qui signifie que l'atmosphère présente en quasi permanence un déficit hygrométrique très critique et contribue à l'intensification de l'évapotranspiration et donc aux besoins en eau des végétaux.

Tableau 2.3 : L'humidité relative de l'air (%).

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU
H (%)	74,96	74,63	74,67	75,60	75,88	76,04	76,15	73,92	77,50	75,67	74,15	72,44

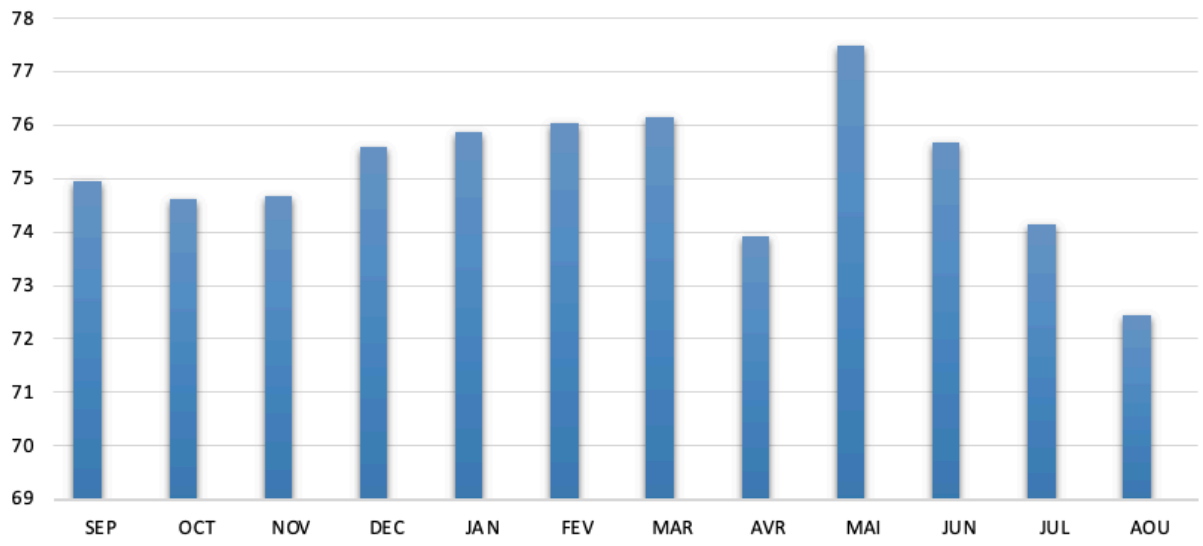


Figure 2.6 : L'humidité relative de l'air – ONM Bejaia 1990-2016.

2.6.3 Vitesse de vent :

Le vent est un des éléments les plus caractéristiques du climat car la sensation de chaleur ou le transfert d'énergie dépend principalement dans une large mesure de sa force. Aussi, la possibilité de procéder à un projet d'aménagement quelconque, particulièrement dans l'édifice des ouvrages d'art, lui confère un intérêt important en matière de connaissance des vitesses maxima dont la région est soumise.

Le vent au sol est fortement frappé par la structure topographique locale d'un bassin versant, d'où la nécessité d'analyser le régime des vents en valeurs moyennes sur une période assez importante. Certaines valeurs particulières du vent instantané méritent d'être éditées pour pouvoir donner une approche des données extrêmes sans distinction de sites exposés au vent ou au contraire abrités des remous instantanés liés aux obstacles environnants. En effet, c'est dans le cadre des retenues à surface libre que le vent rentre en application du bilan hydrique. A juste titre, on présente ci-après quelques résultats des vitesses moyennes enregistrées dans la région d'étude.

Tableau 2.4 : Moyenne interannuelle de la vitesse du vent à Bejaia (m/s) – ONM Bejaia.

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Année
Vmoy (m/s)	1,7	1,9	2,1	2,3	2,1	2,2	2,2	2,1	1,8	1,8	1,6	1,7	2,0

2.6.4 Pluviométrie :

Les caractéristiques pluviométriques à savoir : les pluies journalières maximales (fréquentielles) et les intensités maximales dans les études de protection contre les inondations sont très nécessaires pour la conception et le dimensionnement des ouvrages hydrauliques.

Le poste pluviométrique sélectionné pour l'étude des crues est le suivant :

Tableau 2.5 : Répartition mensuelle de la pluviométrie – Station de Tifra 151007, Période 1968-2013.

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Année
Pluie (mm)	36	62	81	151	118	105	95	79	43	13	2	6	790
En (%)	4,5	7,9	10,2	19,1	14,9	13,3	12,0	9,9	5,5	1,6	0,3	0,8	100

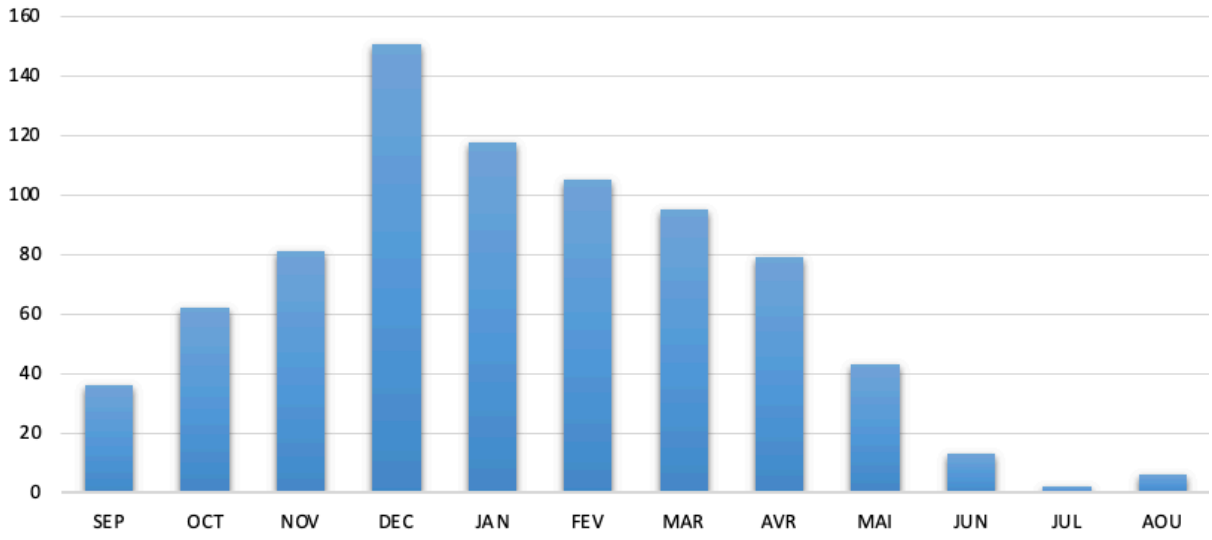


Figure 2.7 : Répartition mensuelle de la pluviométrie - Station de Tifra.

2.7 Composantes du projet :

Dans le cadre de la réalisation du projet d'aménagement de l'Oued Ighzer Amokrane, il sera réalisé les ouvrages suivants :

- Implantation de deux barrages en amont ;
- Une station hydroélectrique ;
- Une retenue collinaire en aval de l'aménagement hydraulique, dont les eaux régularisées sont destinées à l'irrigation des terres agricoles ;
- L'aménagement de l'oued Ighzer Amokrane.



Figure 2.8 : Plan d'ensemble de la zone du projet (Source : Google Earth).

2.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé la situation de la commune d'Ouzellaguen, sa topographie et son climat, ainsi que les composantes de notre projet. Cette étape représente l'un des moments les plus cruciaux. Elle repose sur l'accumulation d'informations non traitées et sur la vérification de leur fiabilité pour une prise de décision appropriée.

Il est crucial de présenter avec précision la zone d'étude, compte tenu du volume considérable d'informations qu'elle offre. Cela nous aide à évaluer les risques de façon plus objective et à prévoir les catastrophes potentielles causées par des phénomènes naturels tels que les inondations.

Chapitre 3

Étude hydrologique

Introduction :

L'Algérie est l'un des pays confrontés aux phénomènes de crues et d'inondations qui se manifestent de façon catastrophique, constituant ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et social.

Plusieurs régions du pays sont régulièrement menacées par ces catastrophes hydrologiques dont les effets sont souvent intensifiés par une urbanisation anarchique impliquant une occupation des terres inondées.

Les risques d'inondations sont dus à l'interaction complexe de plusieurs composantes ; c'est le produit de la concomitance de facteurs topographiques, géologiques, hydrologiques et météorologiques.

L'examen des événements catastrophiques survenus dans notre pays montre que, sur la plupart des bassins versants algériens, des superficies importantes de terres agricoles, des plaines et des agglomérations sont fréquemment touchées par la furie des eaux des oueds en crue.

L'objectif principal de cette étude est la protection de la ville d'Ouzelaguen contre les risques des crues de l'oued d'Ighzer Amokrane.

3.1 Caractéristiques physiques du bassin versant :

3.1.1 Définition du bassin versant :

Le bassin versant au droit d'une section de mesure est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de cette section. Tous les écoulements qui prennent naissance à l'intérieur de cette surface topographique passent par la section de mesure pour poursuivre leur trajet à l'aval.

Chaque bassin versant est limité par une ligne de partage des eaux. Cette limite est déterminée sur la carte topographique. On commence par l'exutoire, on trace à main levée des segments perpendiculaires aux courbes de niveau en passant par les crêtes. Aboutissant automatiquement à l'exutoire. Les différents paramètres du bassin versant (forme, altitude, pente, relief, etc.) interviennent dans la caractérisation des écoulements.

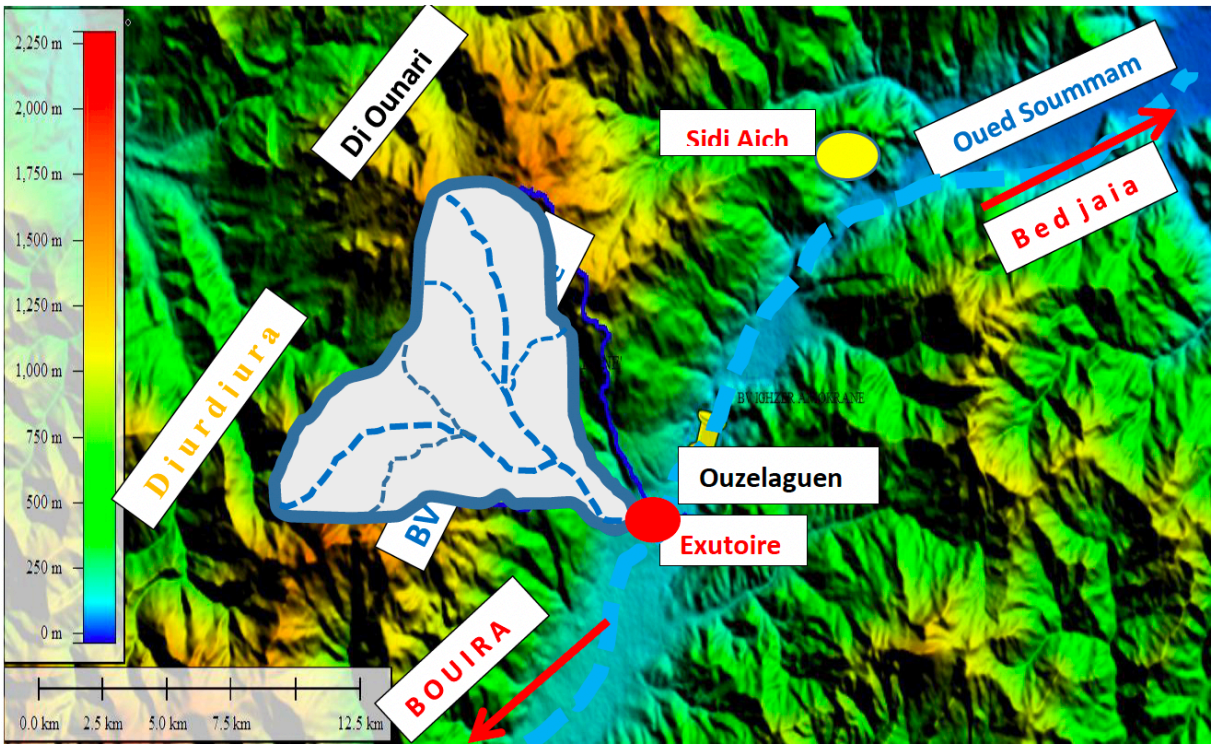


Figure 3.1 : Localisation de la zone d'étude – Ighzer Amokrane (Source : ArcGIS).

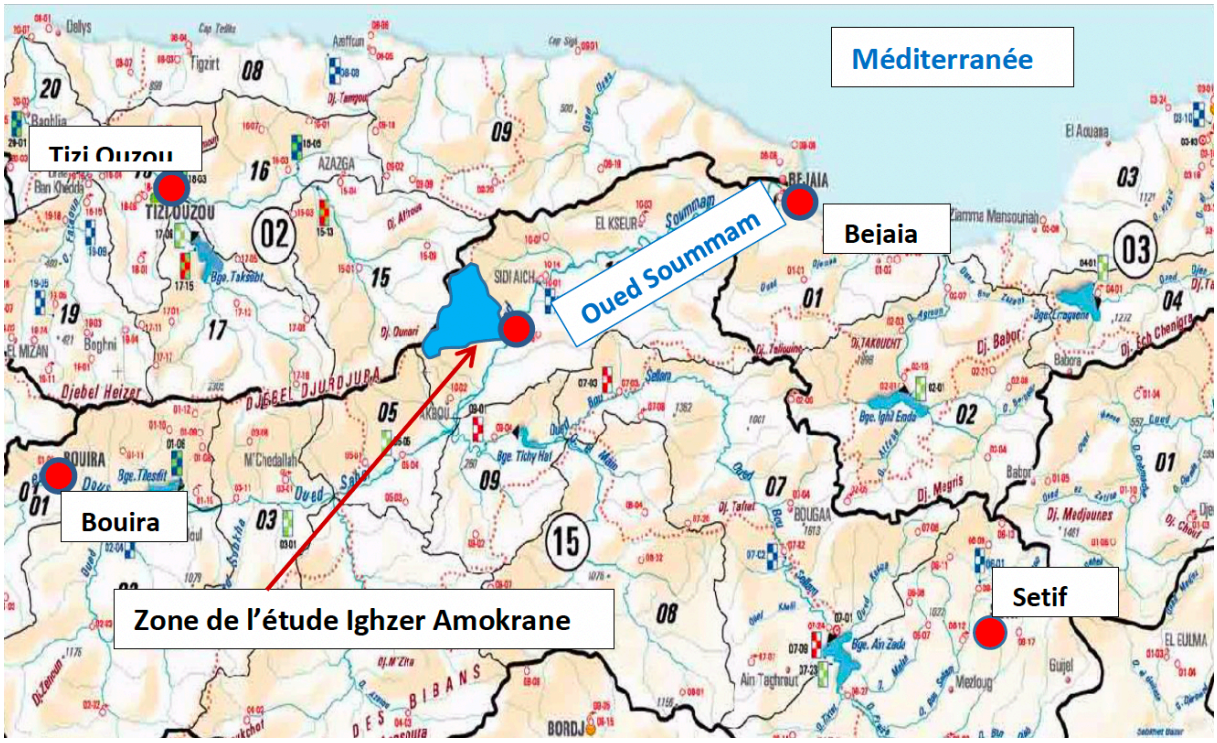


Figure 3.2 : Situation cartographique du bassin d'Ighzer Amokrane (Source : ArcGIS).

3.1.2 Délimitation des bassins versants :

La délimitation des bassins versants (BVs) constitue une étape essentielle dans toute étude hydrologique, car elle permet d'identifier les limites naturelles qui conditionnent l'écoulement des eaux de surface vers un même exutoire. À l'aide du logiciel ArcGIS, nous avons procédé à la délimitation du bassin versant global de l'oued Ighzer Amokrane, correspondant à la zone de collecte principale dont l'ensemble des écoulements converge vers l'exutoire étudié. Ce bassin global a ensuite été subdivisé en deux sous-bassins principaux, notés BV1 et BV2, afin de faciliter l'analyse hydrologique et de mieux caractériser la contribution de chaque partie du bassin au régime des crues.

Par ailleurs, une subdivision plus fine a permis de distinguer, au sein du sous-bassin BV2, deux sous-unités supplémentaires, à savoir le BV21 et le BV22, représentant des sous-sous-bassins. Ces derniers permettent d'avoir un aperçu plus détaillé du comportement hydrologique local et des apports spécifiques à l'exutoire. Toutefois, dans le cadre de la présente étude, seuls les deux sous-bassins principaux (BV1 et BV2) ont été considérés et exploités, tandis que les sous-sous-bassins (BV21 et BV22) n'ont pas été retenus pour l'analyse, étant jugés moins pertinents au regard de l'échelle et des objectifs du projet.

Cette démarche de délimitation hiérarchisée assure une meilleure compréhension de la structure du réseau hydrographique et des zones contributives, et constitue une base solide pour les étapes ultérieures de la modélisation hydrologique et hydraulique. La figure suivante illustre la carte du bassin versant global ainsi que les subdivisions effectuées, mettant en évidence la localisation de l'exutoire et la distinction entre les différents sous-bassins.

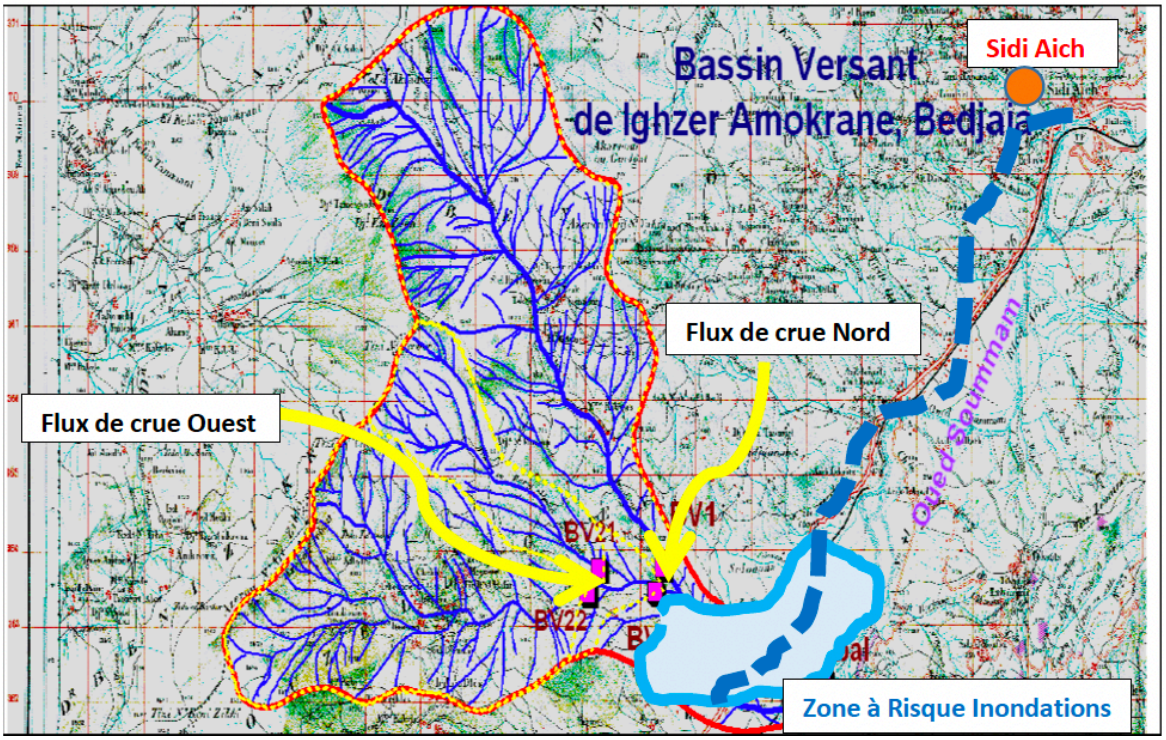


Figure 3.3 : Carte des exutoires des sous bassins versants de l'oued Ighzer Amokrane (Source : ArcGIS).

3.1.3 Morphométrie :

Les différents paramètres morphométrique son calcules à partir de logiciel ArcGIS en coordonnées géographiques Lambert.

Tableau 3.1 : Coordonnées du site Ighzer Amokrane.

Site :	X(Km)	Y(Km)	Z(m)
Oued IA	673,302	362,252	121

3.1.3.1 La surface :

La surface topographiques est le paramètre le plus important. Il permet de contrôler l'intensité de plusieurs phénomènes hydrologiques (apports solide et liquide, lame d'eau ruisselée, lame d'eau infiltrée, …). Elle est déterminée par planimétrie.

3.1.3.2 Le périmètre :

Le périmètre correspond à la limite extérieure du bassin. Chaque bassin réagit d'une façon propre aux précipitations qu'il reçoit. Ces caractéristiques hydrologiques sont fonction d'une part du climat qu'il subit et d'autre part de son propre milieu physique.

3.1.3.3 Caractéristiques de forme : La forme du bassin versant influence fortement l'écoulement global et notamment le temps de réponse du bassin versant. C'est la configuration géométrique projetée sur un plan horizontal. Un bassin versant allongé ne réagira pas de la même manière qu'un bassin ramassé, même s'ils sont placés dans les mêmes conditions météorologiques.

3.1.3.3.1 Indice de compacité : Indice de Gravelius « K_c » Appelé aussi indice de forme. Cet indice caractérise la forme du bassin et exprime l'allongement des bassins versants.

$$K_c = 0,28 \times \frac{P_{BV}}{\sqrt{S_{BV}}} \tag{3.1}$$

Avec :

P_{BV} Périmètre du bassin versant ;

S_{BV} Surface du bassin versant.

Plus le Kc ne sera proche de 1, plus le bassin aura une forme ramassée et plus le temps de concentration sera court.

3.1.3.3.2 Le rectangle équivalent : On suppose que l'écoulement sur un bassin versant donné 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, la même densité de drainage.

Le rectangle équivalent est caractérisé par la longueur « L » et la largeur « l » définies respectivement par les formules suivantes :

- La longueur de rectangle équivalent :

$$L = \left(\frac{K_c \times \sqrt{S}}{1,128}\right) \times \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{K_c}\right)^2}\right) \tag{3.2}$$

- La largeur du rectangle équivalent :

$$L = \left(\frac{K_c \times \sqrt{S}}{1,128}\right) \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{K_c}\right)^2}\right) \tag{3.3}$$

Les résultats des paramètres morphométriques du bassin versant de la région d'étude sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 3.2 : Paramètres morphométriques du bassin versant.

BV	S (Km^2)	P (Km)	Kc	L (Km)	l (Km)
BV Global	49,33	38,33	1,53	16,10	3,06
BV 01	23,1	22,49	1,31	8,54	2,7
BV 02	21,8	21,2	1,27	7,81	2,79

3.1.4 Le relief :

Il facilite la compréhension de l'impact du relief sur le flux. Puisque de multiples facteurs hydrométéorologiques fluctuent avec l'altitude (pluie, températures, vents, etc.) et la configuration du bassin versant. De plus, la déclivité a un impact sur la rapidité de l'écoulement. La détermination du relief s'effectue également en s'établissant sur les indices ou caractéristiques suivants :

3.1.4.1 Répartition altimétrique :

Pour caractériser le relief des trois sous bassins versants de la région d'étude, nous avons calculés (planimétrie) la répartition de la surface du bassin par tranche d'altitude sur la carte altimétrique 1/50 000.

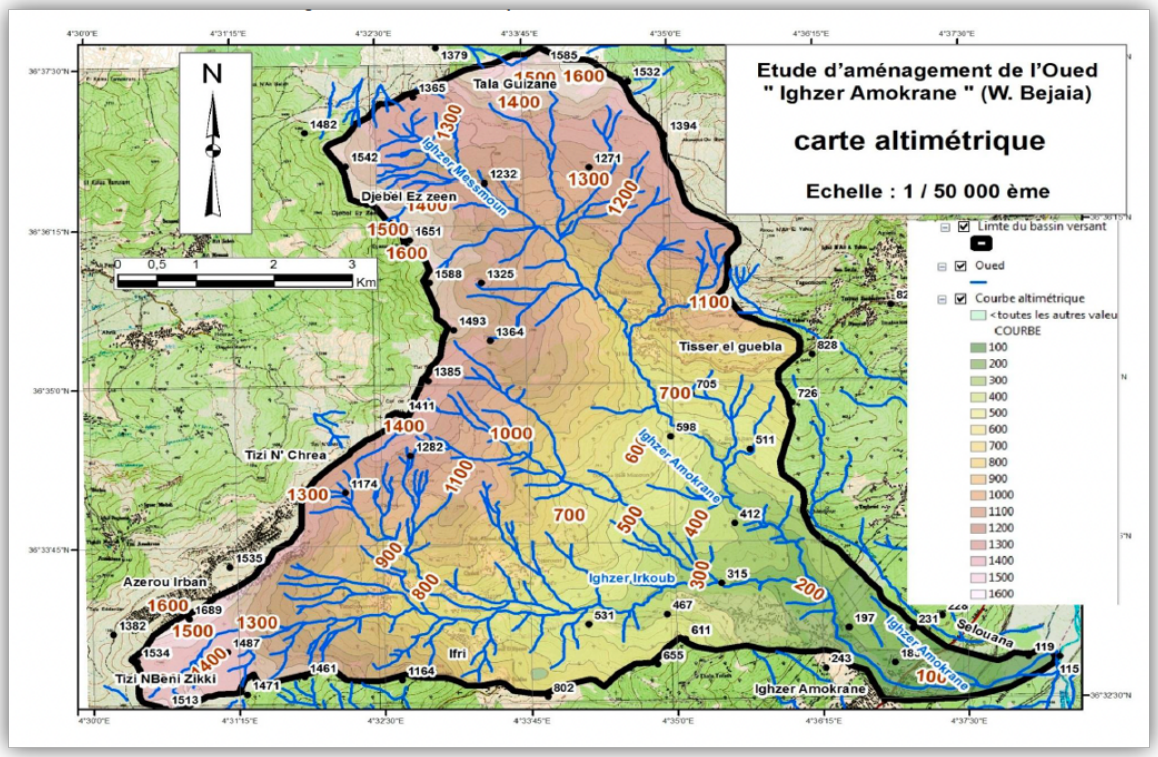


Figure 3.4 : Carte altimétrique du bassin versant de l'Oued Ighzer Amokrane (Source : ArcGIS).

Les résultats des paramètres du relief du bassin versant de la région d'étude sont résumés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau 3.3 : Répartition altimétrique du bassin versant.

Relief	Superficie (Km²)	Tranche altitude (m)	Centre de la tranche Hi	Superficie partielle Si (Km²)	Superficie partielle (%)	Hi×Si
Piémont	21,08	119 – 200	159,5	3,42	6,9	545,5
		200 – 300	250	2,31	4,7	577,5
		300 – 400	350	2,45	5,0	857,5
		400 – 500	450	2,86	5,8	1287
		500 – 600	550	3,46	7,0	1903
		600 – 700	650	3,36	6,8	2184
		700 – 800	750	3,22	6,5	2415
Moyenne montagne	17,20	800 – 900	850	3,35	6,8	2847,5
		900 – 1000	950	3,88	7,8	3686
		1000 – 1100	1050	4,55	9,2	5691
		1100 – 1200	1150	5,42	11	5232,5
Haute montagne	11,05	1200 – 1300	1250	5,40	11	6750
		1300 – 1400	1350	3,57	7,2	3419,5
		1400 – 1500	1450	1,89	3,8	2740,5
		1500 – 1712	1606	0,19	0,5	315,14
Total :				**49,33**	**100**	

3.1.4.2 Courbe hypsométrique :

La courbe hypsométrique offre une représentation synthétique de la déclivité du bassin versant (topographie). Cette courbe illustre la distribution de la superficie du bassin versant selon son élévation. Elle illustre en abscisse la superficie (ou le taux de superficie) du bassin qui se situe au-dessus (ou en dessous) de l'altitude indiquée en ordonnée. Elle indique donc l'aire du bassin ou la proportion de superficie au-delà d'une altitude spécifique.

Les courbes hypsométriques continuent d'être un instrument utile pour faire des comparaisons entre différents bassins ou les diverses sections d'un seul bassin. Elles peuvent également être utilisées pour établir la pluviométrie moyenne sur un bassin versant et fournissent des indications sur le comportement hydraulique et hydrologique du bassin ainsi que de son réseau de drainage.

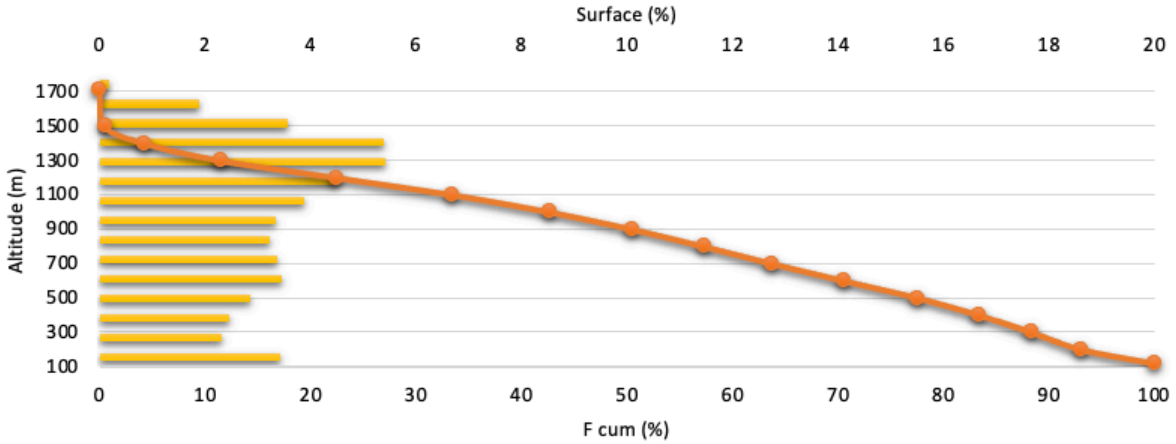


Figure 3.5 : Hypsogramme et courbe hypsométrique du bassin versant.

3.1.4.3 Les altitudes caractéristiques :

Elles sont obtenues directement à partir de la carte topographique. Ces altitudes sont :

- **Altitude maximale et minimale :**

  H_{max} : représente le point le plus élevé du bassin.

  H_{min} : montre le point le bas, généralement à l'exutoire du bassin.

- **Altitude moyenne :**

  H_{moy} : est calculée par la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{\sum (H_i \times S_i)}{\sum S_i} \tag{3.4}$$

- **Altitude médiane :**

  $H_{50\%}$: est déterminée sur la courbe hypsométrique.

- **Altitude à 5% et 95% :**

correspond respectivement à l'altitude lue à 5% et 95% de la surface totale sur la courbe hypsométrique.

Tableau 3.4 : Altitudes caractéristiques des bassins versants.

BV	$\mathbf{H}_{max}$ **(m)**	$\mathbf{H}_{min}$ **(m)**	$\mathbf{H}_{moy}$ **(m)**	$\mathbf{H}_{50\%}$ **(m)**	$\mathbf{H}_{5\%}$ **(m)**	$\mathbf{H}_{95\%}$ **(m)**
BV Global	1772	188	980	940	1683,4	197
BV 01	1646	325	985,5	952,5	1563,7	341,3
BV 02	1772	320	1046	1009,7	1683,4	336

3.1.4.4 Indice de pente globale :

On le définit comme le ratio entre l'altitude variant de 5% à 95% de la superficie du bassin et la longueur du rectangle équivalent. On sélectionne deux points S1 et S2 sur l'axe des abscisses de sorte que 90% de la superficie du bassin versant soit inclus entre ces deux points. De plus, 5% de la superficie totale du bassin versant doit être inférieur à S1 et 5% doit être supérieur à S2. On consulte la courbe hypsométrique pour obtenir les altitudes correspondantes. La formule suivante fournit l'indice de pente globale (Ig) :

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \tag{3.5}$$

Avec :

D : dénivelée entre H5% et H95% (m) ;

L : longueur de rectangle équivalent (Km).

Les résultats de l'indice de pente globale (Ig) calculé dans le bassin versant de la région d'études sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 3.5 : Indice de pente globale.

H5% (m)	**H95% (m)**	**H5% - H95%**	**L (Km)**	**Ig (m/Km)**
1683,4	197	1486,4	16.10	92,3

La valeur de Ig peut être utilisée directement comme paramètre de certains abaques. Ou bien on en déduit des classes du relief (Bonnard et Gardel, 1996) dans le tableau suivant :

Tableau 3.6 : Classe de relief selon (Bonnard et Gardel, 1996).

Classes de relief :	**Ig (m/Km) :**	**Remarque :**
R2	$2 < \text{Ig} < 5$	les basins de Plaine.
R3	$5 < \text{Ig} < 10$	Des terrains intermédiaires entre la plaine et la zone a ondulation de terrain.
R4	$10 < \text{Ig} < 20$	Ondulation de terrain.
R5	$20 < \text{Ig} < 50$	Regions de collines.
R6	$\text{Ig} > 50$	Region de montagne.

A partir du tableau III.5 et la valeur de Ig (Ig = 92,3 m/km) de notre bassin versant, on peut dire que notre bassin est de classe Régions de montagne (50 < Ig).

3.2.3.5 Pente moyenne du bassin versant global :

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

$$I_{BV} = \frac{\Delta H}{L} \tag{3.6}$$

Avec :

H : dénivelée entre deux courbes de niveaux (m) ;

L : longueur du rectangle équivalent (Km).

$$I_{BV} = \frac{\Delta H}{L} = \frac{1772 - 188}{16,10 \times 10^3} = 9,8\,\%$$

3.1.5 Le réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, en régime permanent ou en régime temporaire, qui participent à l'écoulement. Le réseau hydrographique est sans doute une des caractéristiques les plus importantes du bassin. Le réseau hydrographique peut prendre une multitude de formes.

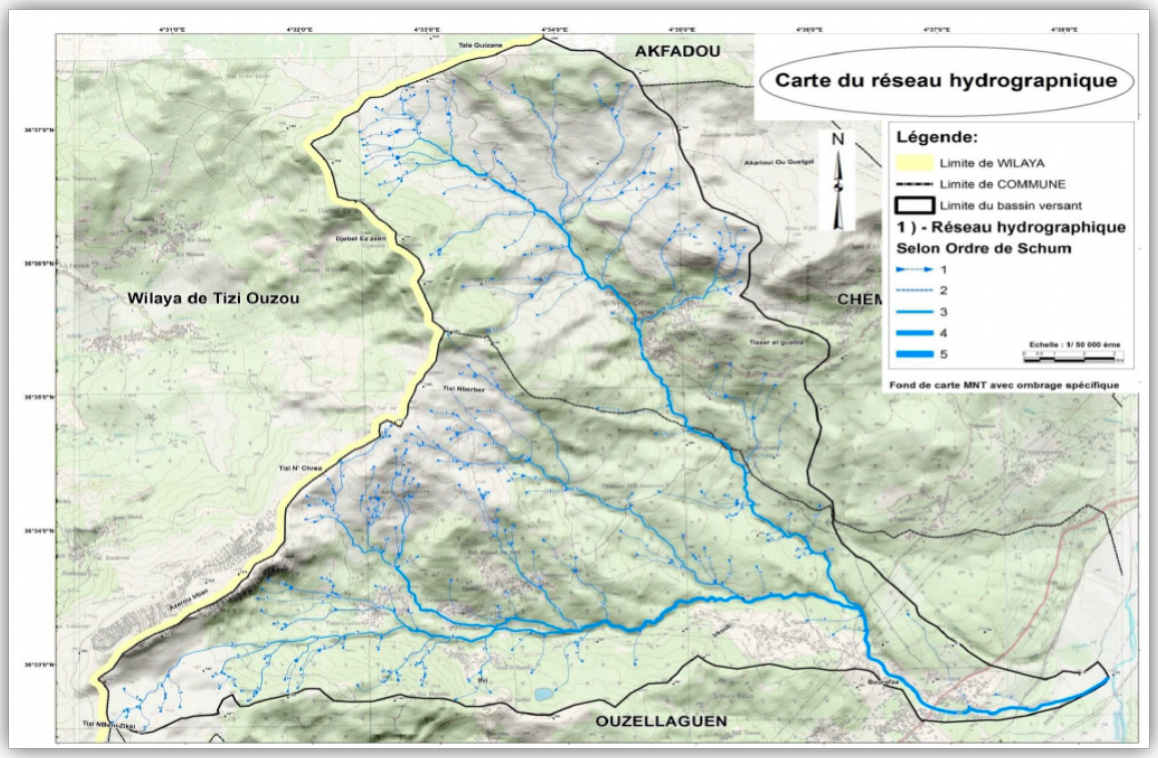


Figure 3.6 : Carte du réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Ighzer Amokrane (Source : ArcGIS).

Tableau 3.7 : Répartition des Oueds selon l'ordre Schumm.

Ordre :	**Nombre :**	**Longueur :**	**(Km) Taux :** (%)
1	225	71,44	59,7
2	91	34	24,1
3	27	11,17	7,2
4	24	13,33	6,4
5	10	8,14	2,7
Total :	377	138,08	100

3.1.5.1 Densité de drainage :

La densité de drainage est déterminée comme le quotient de la longueur totale de tous les talwegs (L_i) du bassin versant et de la superficie totale (S). Elle illustre la dynamique du bassin, la stabilité du réseau hydrographique et le genre de ruissellement en surface. Elle est indiquée en km/km².

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S} \tag{3.7}$$

Avec :

D_d : densité de drainage (Km/km²) ;

L_i : longueur de cours d'eau (km) ;

S : surface du bassin versant (km²).

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S} = \frac{138,08}{49,33} = 2,8 \ \left(\frac{km}{km^2}\right)$$

3.1.5.2 La pente moyenne des cours d'eau :

La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin donc le temps de concentration. Cette variable influence donc le débit maximal observé. Une pente abrupte favorise et accélère l'écoulement superficiel, tandis qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie, dans le sol.

Le calcul des pentes moyennes et partielles de cours d'eau s'effectue à partir du profil longitudinal du cours d'eau principal et de ses affluents. La méthode la plus fréquemment utilisée pour calculer la pente longitudinale du cours d'eau consiste à diviser la différence d'altitude entre les points extrêmes du profil par la longueur totale du cours d'eau.

$$I_m = \frac{\Delta H}{L} \tag{3.8}$$

Avec :

H : dénivellation maximale de la rivière (m) (différence d'altitude entre le point le plus éloigné et l'émissaire) ;

L : longueur du cours d'eau principal (km).

3.1.5.3 Le temps de concentration :

Le temps de concentration T_c des eaux sur un bassin versant se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier. Il est composé de trois termes différents :

• T_h : Temps d'humectation, c'est le temps nécessaire à l'imbibition du sol par l'eau qui tombe avant qu'elle ne ruisselle.

• T_r : Temps de ruissellement ou d'écoulement. C'est le temps qui correspond à la durée d'écoulement de l'eau à la surface ou dans les premiers horizons de sol jusqu'à un système de collecte (cours d'eau naturel).

• T_a : Temps d'acheminement, c'est le temps mis par l'eau pour se déplacer dans le système de collecte jusqu'à l'exutoire.

Le temps de concentration T_c est donc égal au maximum de la somme de ces trois termes.

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

Théoriquement, on estime que Tc est la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement. Pratiquement, le temps de concentration peut être déduit de mesures sur le terrain ou s'estimer à l'aide des formules empiriques les plus utilisées.

- Formule de S.C.S (Soil Conservation Service, USA) :

$$T_c = \left(\frac{0,87 \times L_p^3}{H_{max} - H_{min}}\right)^{0,385} \tag{3.9}$$

Avec :

L_p : longueur du cours d'eau principal en (Km) ;

H_{max} : altitude maximale du BV en (m) ;

H_{min} : altitude minimale du BV en (m).

Tableau 3.8 : Résultats de calcul du temps de concentration .

	BV Global	**BV 01**	**BV 02**
T_c (h) :	1,13	0,83	0,7

3.1.5.4 Vitesse moyenne de ruissellement :

Cette vitesse est donnée par la formule suivante :

$$V_r = \frac{L}{T_c} \tag{3.10}$$

Avec :

L : longueur de talweg principal en (Km) ;

T_c : temps de concentration en (h).

Tableau 3.9 : Résultats de calcul de la vitesse moyenne .

	BV Global	**BV 01**	**BV 02**
V (Km/h) :	12,21	11,84	12,34

Le tableau ci-dessous présente les différents paramètres hydro morphométriques des bassins versants de la zone d'étude :

Tableau 3.10 : Récapitulatif des paramètres hydro morphométrique des BV de la zone d'étude :

N°	**Paramètres**	**BV Global**	**BV01**	**BV02**
I : Caractéristiques du Relief				
1	X Lambert	673,30	670,44	670,31
2	Y Lambert	362,25	363,67	363,47
3	Surface (km²)	49,30	23,1	21,8
4	Périmètre (km)	38,3	22,49	21,2
5	Altitude Max (m)	1772	1646	1772
6	Altitude Min (m)	188	325	320
7	Altitude 5% (m)	1683,4	1563,7	1683,4
8	Altitude 95% (m)	197	341,3	336,0
9	Altitude Médiane (m)	940	952,5	1009,7
II : Caractéristiques de Forme				
10	Compacité (Kc)	1,53	1,31	1,27
11	Long Rect équivalent (km)	16,10	8,54	7,81
12	Larg Rect équivalent (km)	3,06	2,70	2,79
13	Diamètre du bassin (km)	7,92	5,42	5,27
III : Caractéristiques Hydrographiques				
14	Longueur du Th Ppal (km)	13,8	9,83	8,7
15	Pente moyenne (%)	11,47	13,43	16,68
16	Temps de concentration (Tc)	1,13	0.83	0,7
17	Vitesse de ruissellement (Vr)	12,21	11,84	12,34

3.2 Analyse des données pluvpluviométriques :

3.2.1 Présentation de la station pluviométrique et pluie moyenne annuelle :

Avant d'évaluer les précipitations sur le bassin versant, nous avons analysé les données disponibles à la station pluviométrique de Ighil Ali (la station la plus proche à notre zone d'étude).

Tableau 3.11 : Caractéristiques de la station pluviométrique d'Ighil Ali.

Station	**Code**	**Source**	**Coordonnées**			**Années d'observation**	**N**
			X	**Y**	**Z (m)**		
Ighil Ali	15 05 03	A.N.R.H	36° 45	06° 05	09	1968 – 2019	52

3.2.2 Analyse statistique des pluies maximales journalières :

Les pluies journalières sont souvent génératrices de crues exceptionnelles. Pour cela, il est important d'effectuer un ajustement statistique d'une loi théorique à la série d'observations afin de déterminer les précipitations maximales journalières fréquentielles.

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

Pour notre étude, on passe par les étapes suivantes :

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

Tableau 3.12 : Série des pluies max journalières de la station d'Ighil Ali (1968-2019).

Année	**Pjmax (mm)**	**Année**	**Pjmax (mm)**	**Année**	**Pjmax (mm)**	**Année**	**Pjmax (mm)**
1968	78,2	1981	33,5	1994	70	2007	38
1969	45	1982	69	1995	45,4	2008	45,4
1970	31	1983	33,5	1996	62	2009	34,8
1971	33,1	1984	49	1997	34,9	2010	35,7
1972	25,6	1985	30	1998	56	2011	53,7
1973	41,7	1986	37,5	1999	41	2012	41
1974	31,8	1987	30,5	2000	37	2013	41
1975	37,3	1988	34	2001	33,2	2014	51
1976	33,7	1989	30	2002	76	2015	73
1977	34	1990	34	2003	30,5	2016	49
1978	36,1	1991	31	2004	30,4	2017	61
1979	41,1	1992	36	2005	38	2018	93
1980	51,5	1993	42	2006	65	2019	96

3.2.3 Choix de la loi d'ajustement :

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

Dans notre étude, on va utiliser les deux lois suivantes :

1- La loi de Gumbel ;

2- La loi de Galton(Log-Normal).

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

On a effectué l'ajustement de la série des pluies maximales journalières dans notre cas sur ses deux lois suivantes : La loi de Gumbel (doublement exponentielle) et Galton (log normale) avec une comparaison des graphes de régression obtenus par les ajustements.

3.2.3.1 Paramètres statistiques de l'échantillon :

Les résultats des paramètres statistiques sont dans le tableau suivant :

Tableau 3.13 : Les paramètres statistiques de la série des pluies maximales journalières.

Nombres d'observations	52
Minimum	25,6
Maximum	96
Moyenne	45
Écart type	16,6
Médiane	38
Coeff de variation Cv	0,369
Coeff d'asymétrie Cs	1,46
Coeff d'aplatissement	4,16

3.2.3.2 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL :

Cette loi a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$F_x = e^{-e^{-y}} \tag{3.11}$$

Avec :

y : variable réduite de Gumbel

$$y = \frac{1}{\alpha} \times (x - x_0)$$

$\alpha = \sigma$: l'écart type ;

x_0 : paramètre de position (ordonnée à l'origine) ;

x : précipitation maximale journalière (mm) ;

$\frac{1}{\alpha}$: pente de la droite de régression.

Cette variable x, est exprimée en fonction de la variable réduite y, est l'équation de la droite de Gumbel sur papier à la probabilité de Gumbel.

Donc :

$$P_{maxj} = \frac{1}{\alpha} \times y + x_0 \tag{3.12}$$

Les résultats de l'ajustement :

Tableau 3.14 : Résultats d'ajustement à la loi de Gumbel.

Période de retour T (ans)	Fréquence en non dépassement (q)	Valeurs théoriques (XT)	Écart type (σ)	Intervalle de confiance (95%)
1000	0,9990	127	13,3	101 - 153
200	0,9950	106	10,3	85,9 – 126
100	0,9900	97,2	9,0	79,4 - 115
50	0,9800	88,1	7,76	72,9 - 103
20	0,9500	76,0	6,08	64,1 – 88,0
10	0,9000	66,7	4,81	57,3 – 67,1
5	0,8000	57,0	3.56	50,0 – 64,0
3	0,6667	49,3	2,69	44,0 – 54,5
2	0,5000	42,3	2,12	38,2 – 46,5
1	0,0001	8,80	4,46	0,0511 – 17,5

Le tracé de la droite de Gumbel est représenté sur papier normal, comme le montre la figure suivante :

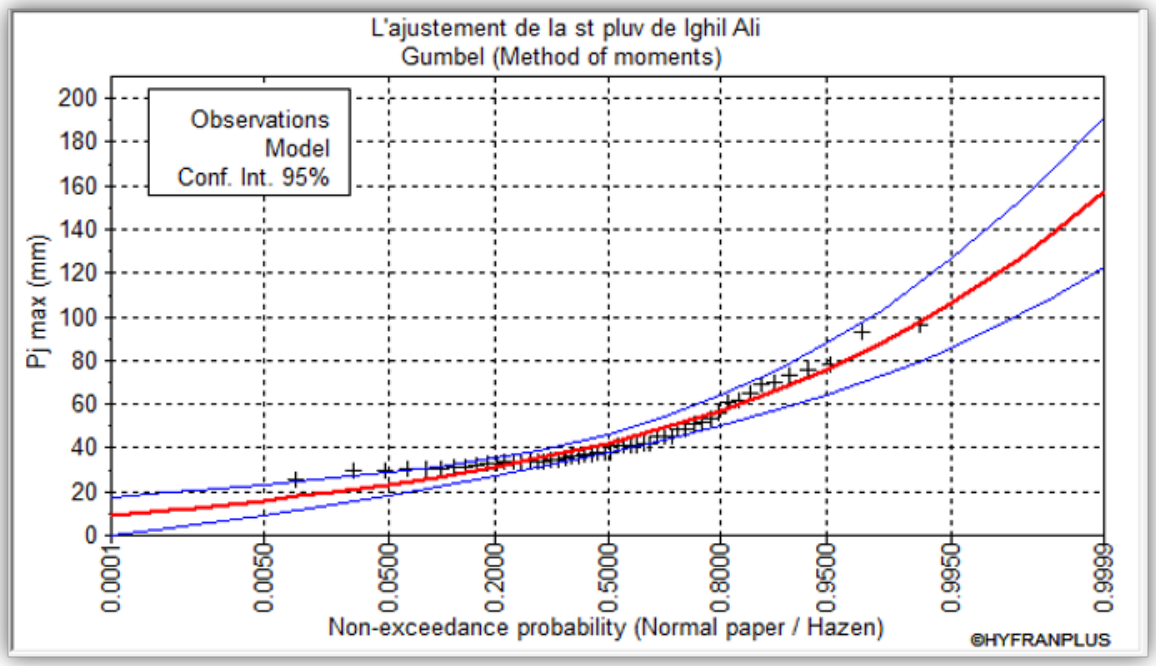


Figure 3.7 : Tracé de la droite d'ajustement à la loi de Gumbel.

3.2.3.3 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Galton (Log-Normale) :

Le procédé d'ajustement est identique à celui établi pour la loi de Galton. Seule la représentation graphique change, ou elle est faite sur du papier log-normale. La loi de Galton a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$F(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times \int_{u}^{+\infty} e^{-\frac{1}{2}u^2}\, du \tag{3.13}$$

Avec :

$$u = \frac{X_i - \overline{X}}{\sigma_x} \tag{3.14}$$

u : variable réduite de Gauss.

L'équation de la droite de Galon est la suivante :

$$\log x(p\,\%) = \overline{\log x} + \sigma \times \log u(p\,\%) \tag{3.15}$$

$$\log x = \frac{\sum_{i=1}^{30} \overline{\log x_i}}{N} \tag{3.16}$$

Les résultats de l'ajustement :

Tableau 3.15 : Résultats d'ajustement à la loi de GALTON.

Période de retour T (ans)	Fréquence en non dépassement (q)	Valeurs théoriques (XT)	Écart type (σ)	Intervalle de confiance (95%)
1000	0,9990	115	12,4	90,7 - 139
200	0,9950	97,6	9,11	79,7 – 115
100	0,9900	90,0	7,78	74,8 - 105
50	0,9800	82,5	6,53	69,79 - 95.3
20	0,9500	72,3	4,97	62,6 – 82,1
10	0,9000	64,4	3,89	56,7 – 72,0
5	0,8000	55,9	2,91	50,2 – 61,6
3	0,6667	48,9	2,28	44,5 – 53,4
2	0,5000	42,6	1,90	38,9 – 46,3
1	0,0001	12,9	1,63	9,70 – 16,1

Le tracé de la droite de Galton est représenté sur papier normal comme le montre la figure suivante :

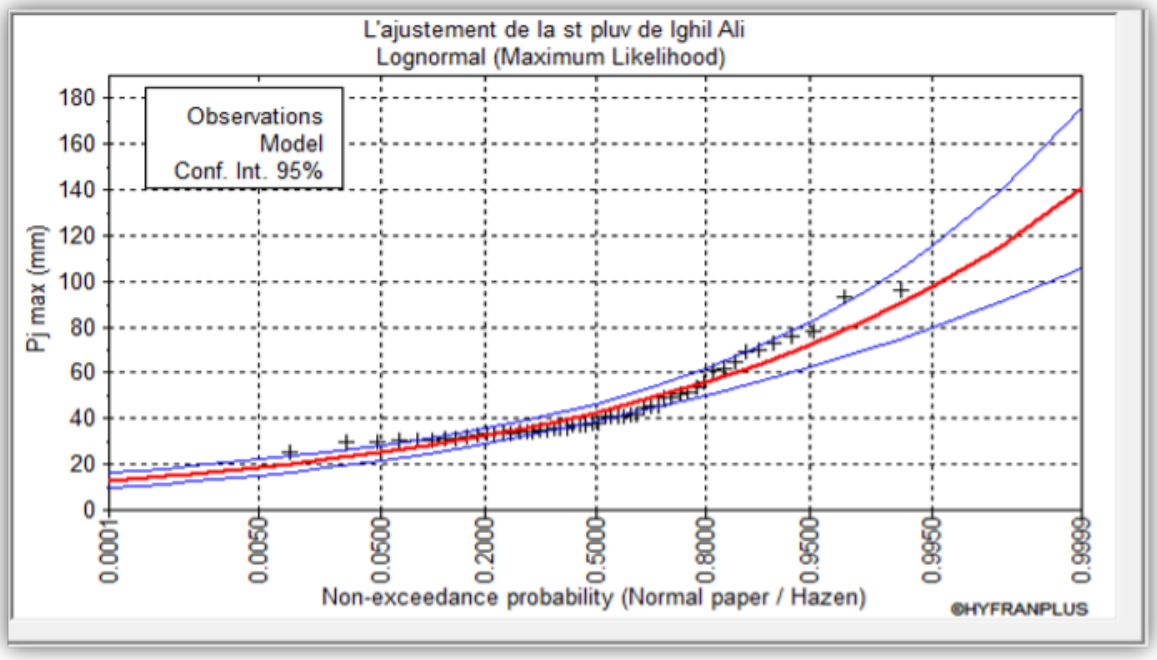


Figure 3.8 : Tracé de la droite d'ajustement à la loi de GALTON.

3.2.3.4 Teste d'adéquation :

La loi choisie pour ajuster la distribution statistique d'un échantillon, ne représente qu'approximativement l'échantillon étudié. L'erreur commise en adoptant une loi donnée est une erreur d'adéquation.

L'un des tests les plus utilisés pour vérifier l'adéquation d'une loi à un échantillon donné, c'est le test de

$$\chi^2$$

. Les résultats du test d'adéquation est déduit à partir du logiciel Hyfran sont :

Tableau 3.16 : Résultats du test d'adéquation.

	GUMBEL	**GALTON**
$\chi^2 Calcul$	16,19	17,92
P (χ Calculé)	0,0128	0,0064
Degré de liberté	6	6
Nbr de classe	9	9
$\chi^2 Theorique(1\%)$	16,81	16,81

Pour la loi de Gumbel, on a trouvé que :

$$\chi^2_{cal} < \chi^2_{th}$$

donc l'ajustement de loi est acceptable pour une probabilité de $1 -$, soit 95%.

3.3 Pluies annuelles :

D'après la station d'Ighil Ali 150503, on a :

Tableau 3.17 : Série des pluies annuelles de la station d'Ighil Ali (1968–2012).

Année	P annuelles (mm)	Année	P annuelles (mm)	Année	P annuelles (mm)
1968	685,3	1983	697,7	1998	969,2
1969	1561,6	1984	838,0	1999	523,1
1970	923,5	1985	738,1	2000	747,3
1971	1155,6	1986	1053,9	2001	374,2
1972	1298,5	1987	525,9	2002	1158,0
1973	1269,6	1988	878,0	2003	819,1
1974	661,7	1989	508,9	2004	893,5
1975	737,6	1990	661,8	2005	636,6
1976	736,0	1991	609,7	2006	717,4
1977	528,1	1992	831,4	2007	830,0
1978	773,1	1993	566,2	2008	884,8
1979	421,2	1994	989,8	2009	554,0
1980	777,8	1995	945,1	2010	744,5
1981	512,2	1996	613,8	2011	744,4
1982	650,4	1997	1067,5	2012	801,0

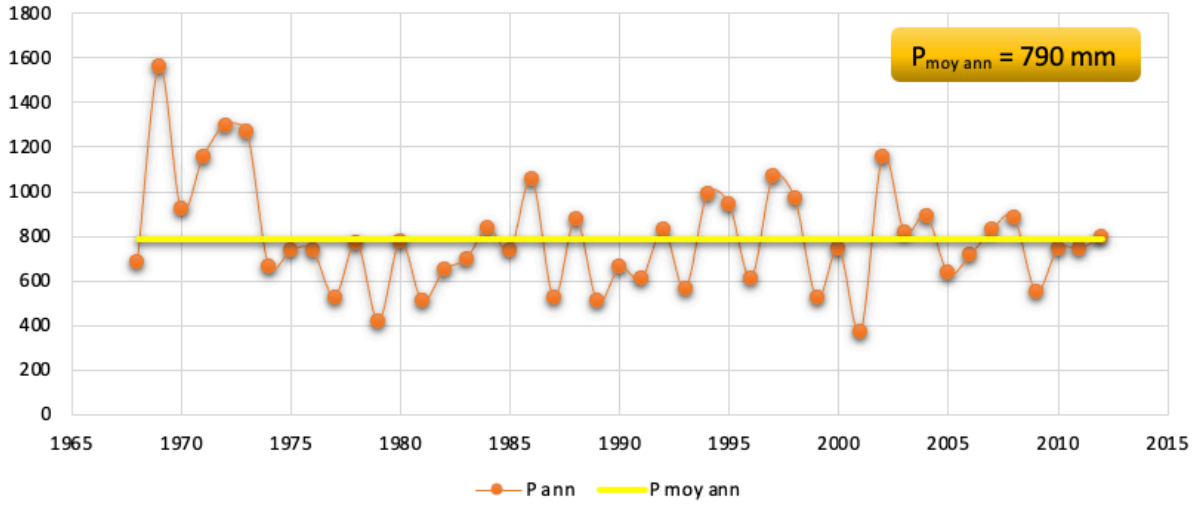


Figure 3.9 : Évolution des pluies annuelles à la station d'Ighil Ali 150503..

3.4 Étude de crues :

3.4.1 Différentes méthodes d'évaluation des crues :

La méthode employée pour déterminer les crues dépend largement des données accessibles. Quasiment chaque problème qui survient est singulier en raison des fluctuations des conditions et des informations, ce qui signifie que c'est l'accessibilité des données plutôt que la nature des problèmes qui détermine le processus. Il n'y a pas encore de méthode unique pour le calcul des crues, les techniques utilisées varient également en fonction du responsable des études.

Nous énumérerons ci-après les diverses techniques de calcul des crues, chacune présentant ses propres atouts et défauts.

A) Méthodes historiques :

A partir des études antérieures, archivées et des enquêtes auprès des populations et recherches d'anciennes traces des crues (les niveaux atteints par les crues du passé).

B) Méthodes empiriques :

Relations établies entre le débit et la surface du bassin versant la pluie et la période de retour comme les formules de GREAGER, FULLER,SYNDER. POSSENTI, …, etc

C) Courbes enveloppes :

Les crues maximales observées dans une région de caractéristiques hydrologiques homogènes sont reportées en fonctions de la surface du bassin versant permettant de tracer une courbe enveloppe (Francu-Rodier. Chaumont…).

D) Méthodes probabilistes :

Analyse des débits afin de déterminer la loi de probabilité à laquelle ils répondent (Gumbel, Galton. Pearson III. Log Pearson III).

Méthode du GRADEX basée sur l'hypothèse que durant des pluies fortes. Alors que le sol du bassin approche de la saturation, chaque augmentation de la pluie tend à produire une augmentation du débit. En conséquence, sur un graphique de Gumbel, les droites de répartition des fréquences des pluies et des débits sont parallèles.

E) Méthodes déterminantes :

Ces méthodes modélisent fondamentalement le processus pluie-écoulement du bassin et elles ont pour objectif de déterminer non seulement le débit de pointe mais également l'hydrogramme correspondant à la crue que cela permet d'estimer le volume de cette crue.

F) Méthode de l'hydrogramme unitaire :

Basée sur un travail de dépouillement averses – crues (version de Sherman).

3.4.2 Application sur le bassin versant :

Dans notre étude, on a utilisé la méthode suivante :

3.6.2.1 Méthode de SCS-CN *(Soil Conservation Service-Curve Number)* :

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

$$P = Q + I_a + F \tag{3.17}$$

En posant (S) comme le potentiel maximum de rétention, elle démarre du concept qui stipule que la proportion d'eau pouvant être ruisselée par unité de celle pouvant être stockée est égale à la proportion d'eau ruisselée par l'unité de celle qui est stockée (McCuen ; 1998).

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P - I_a} \tag{3.18}$$

Donc on aura des deux équations précédentes :

$$\frac{(P - I_a) - Q}{S} = \frac{Q}{P - I_a} \tag{3.19}$$

Ce qui équivaut à :

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \tag{3.20}$$

Après plusieurs études, une relation empirique qui lie la rétention potentielle et l'infiltration initiale a été établie (McCuen ; 1998) :

$$I_a = 0,2 \times S \tag{3.21}$$

Selon une étude sur plus de 4000 types de sols, le SCS a estimé (S) en fonction du *Curve Number* (CN) représentatif de la géologie, du couvert végétal, et de l'humectation initiale. Trois paramètres permettant de le déterminer à partir des tables de CN :

$$S = \frac{1000}{CN - 10} \tag{3.22}$$

⟶ Application de la méthode :

Application de la méthode suscitée via le code de calcul HEC-HMS qui permet de générer directement les hydrogrammes de crue.

-Paramètres de calculs :

Pour déterminer les paramètres d'entrée (surface, curve number, temps de parcours (Lag time), on passe par les étapes suivantes :

1) Temps de concentration et le temps de parcours :

étant donné que le temps de parcours (Lag) est estimé :

$$Lag = 0,6 \times T_c \tag{3.23}$$

Avec : $T_c = 1{,}15$ h

Donc :

$$Lag = 0,69\ h = 41,4\ min \tag{3.24}$$

2) *Curve Number :*

Le paramètre CN, méthode développée aux États-Unis d'Amérique, dépend des caractéristiques physiologiques et du mode des pratiques agricoles du bassin étudié, ça valeur comprise entre 30 (sols perméables, forêts) et 100 (surfaces imperméables).

Il dépend de :

- Groupe hydrologique du sol : (A à D, de perméable à imperméable) ;
- Occupation du sol : (urbain, agricole, naturel) ;
- État hydrique antérieur : (sec, normal, humide).

Avantages :

- Nécessite peu de données (pluie, CN) ;
- Applicable aux petits bassins ruraux ou faiblement urbanisés ;
- Compatible avec les SIG pour une analyse spatialisée.

Limites :

- Une erreur de 2–3 unités sur le CN peut significativement fausser les résultats ;
- Sous-estime le ruissellement dans les zones karstiques ou très urbanisées.

Pour notre cas on a proposé que CN égal à 90 pour un ruissellement à régime plus pluvieux.

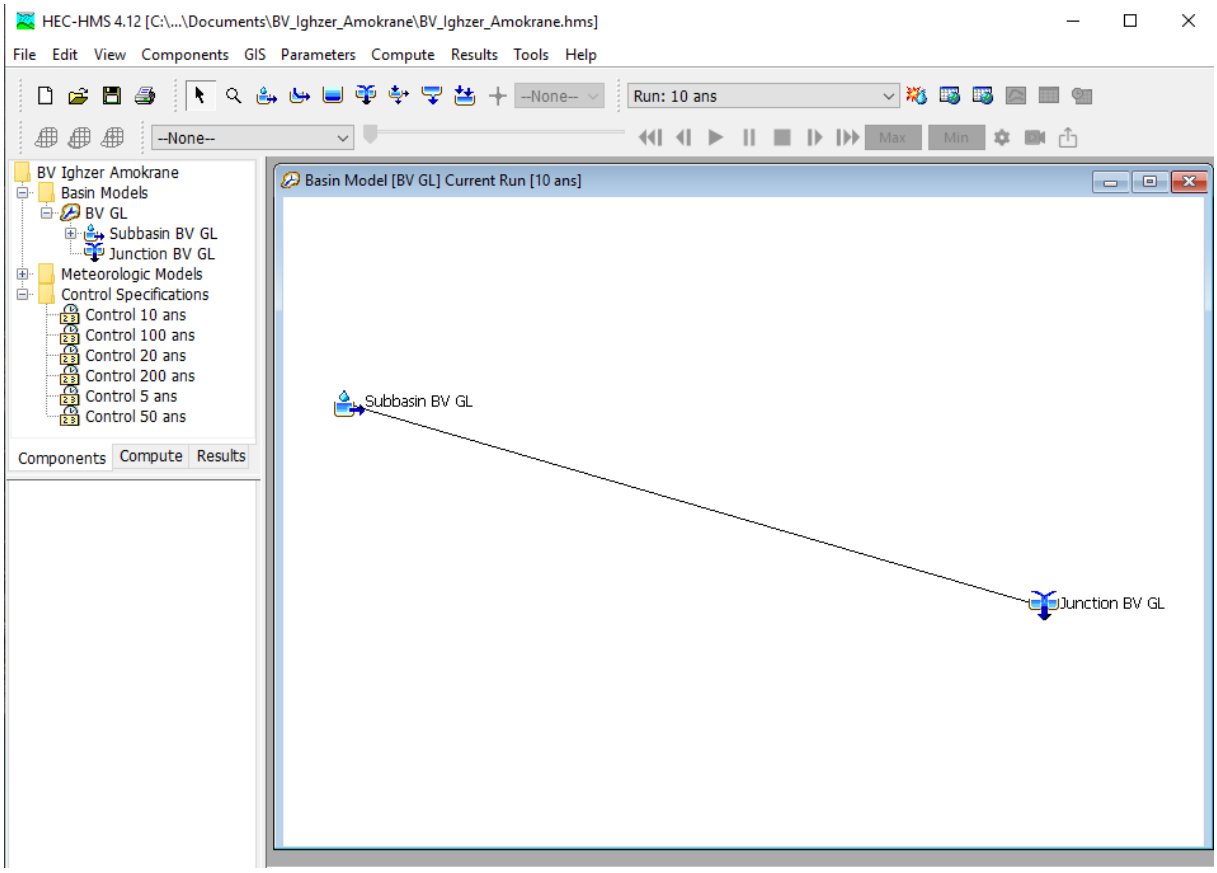


Figure 3.10 : représentation de la fenêtre de l'interface du HEC-HMS représente le BV.

Les résultats de simulations sont représentés comme suit :

Tableau 3.18 : Débits de crues des bassins versants par la méthode SCS-CN.

Période de retour (ans)	BV Global (m3/s)	BV 01 (m3/s)	BV 02 (m³/s)
200	508,6	290,8	300,5
100	455,3	260,5	269,5
50	400,3	229,1	237,4
20	327,5	187,6	194,9
10	272,1	156	162,5
5	215,1	123,4	129

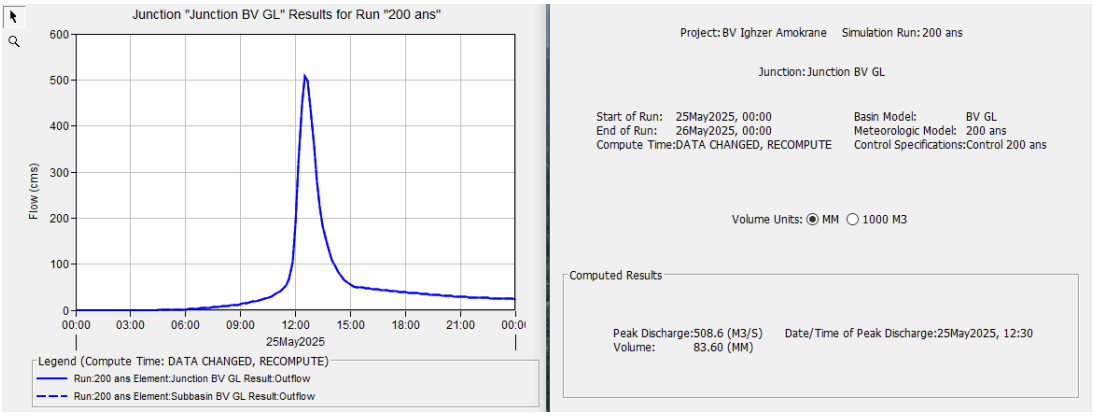


Figure 3.11 : Résultats de la simulation pour BV pour T = 200 ans.

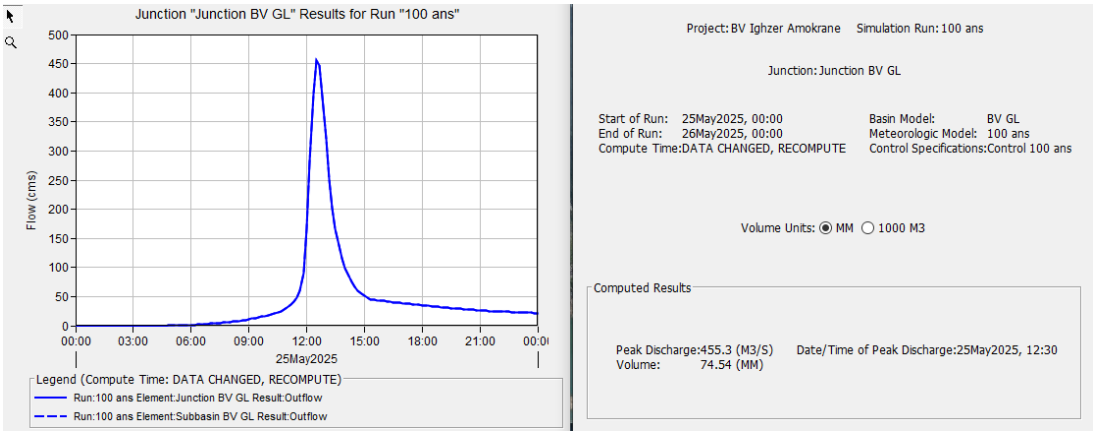


Figure 3.12 : Résultats de la simulation pour BV pour T = 100 ans.

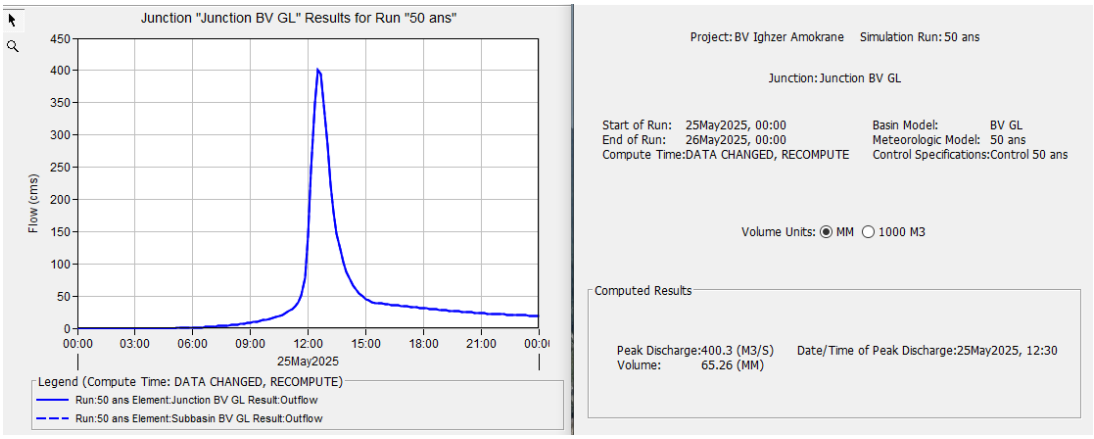


Figure 3.13 : Résultats de la simulation pour BV pour T = 50 ans.

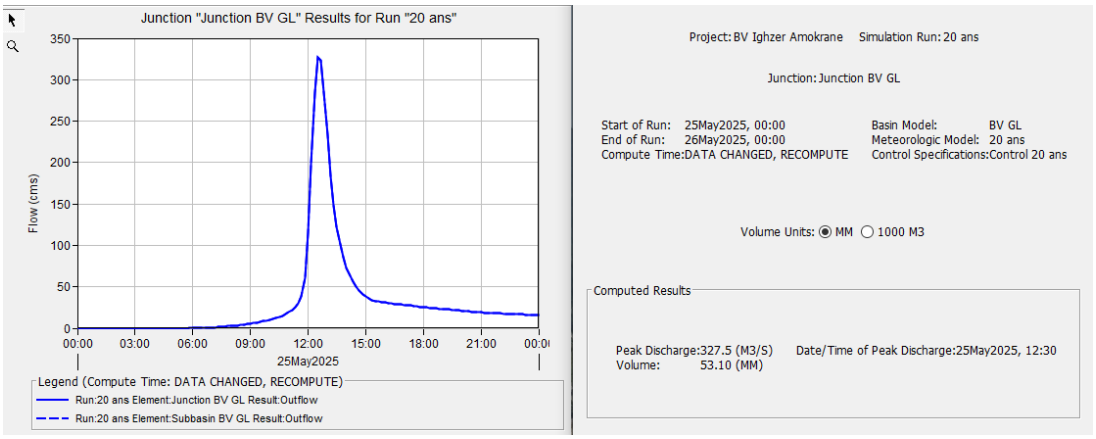


Figure 3.14 : Résultats de la simulation pour BV pour T = 20 ans.

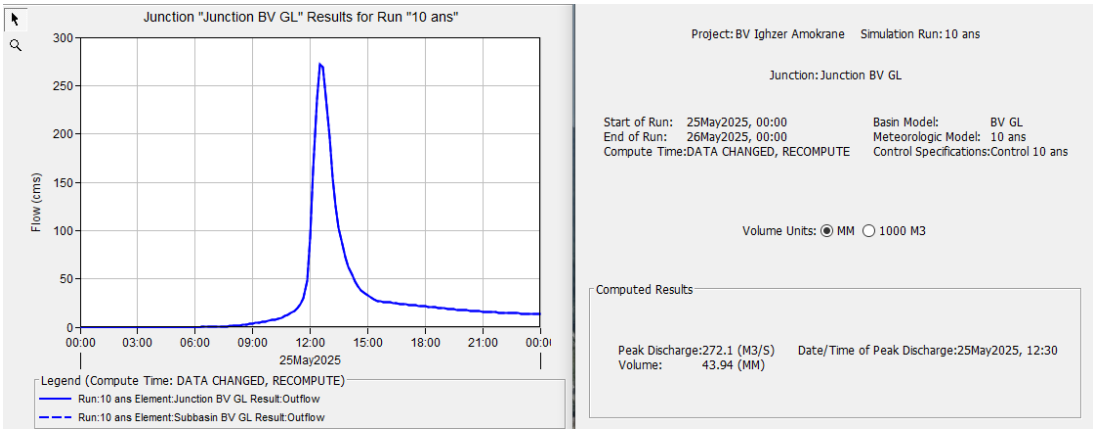


Figure 3.15 : Résultats de la simulation pour BV pour T = 10 ans.

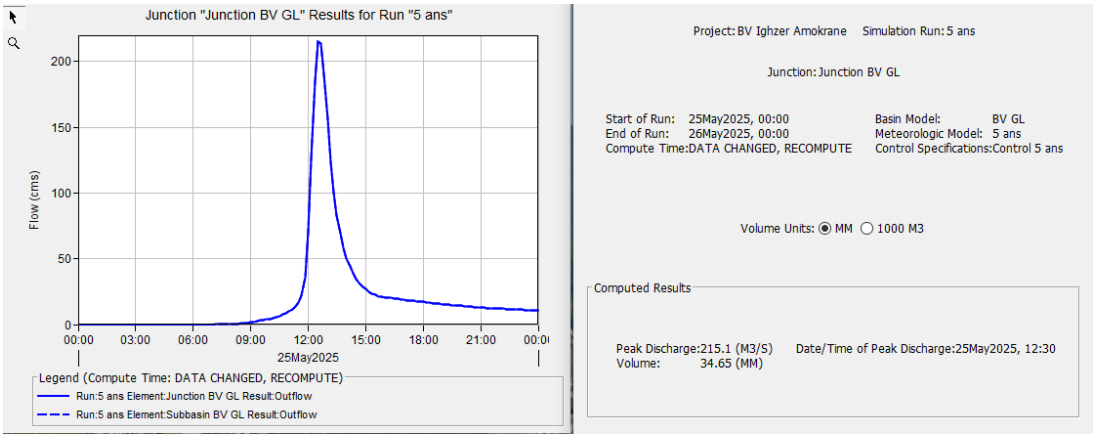


Figure 3.16 : Résultats de la simulation pour BV pour T = 5 ans.

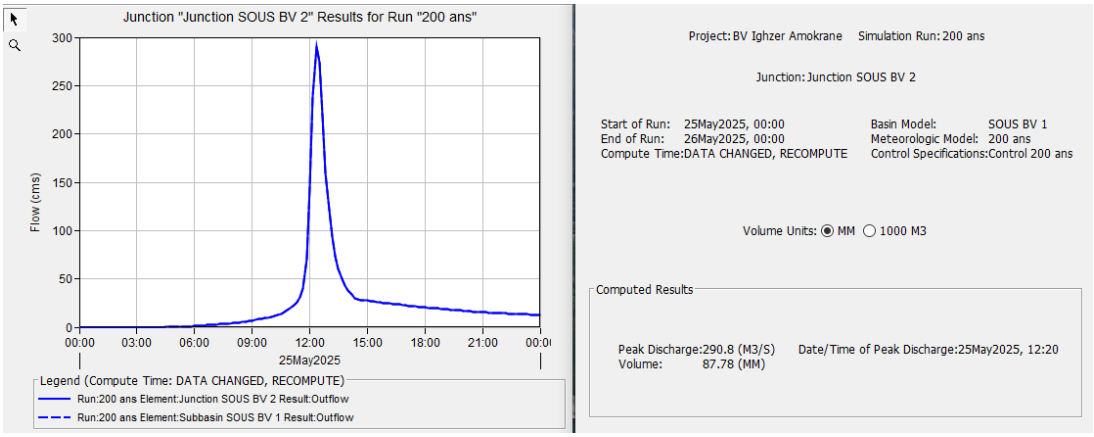


Figure 3.17 : Résultats de la simulation pour BV 01 T = 200 ans.

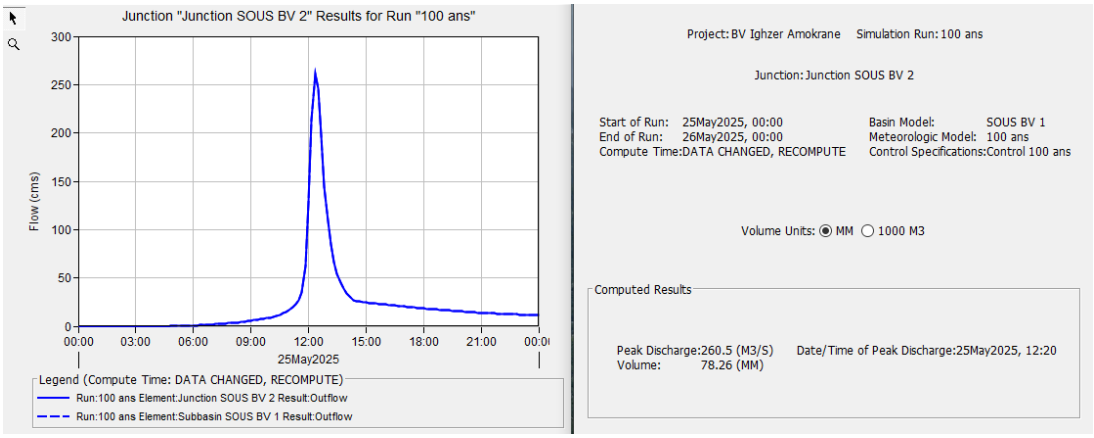


Figure 3.18 : Résultats de la simulation pour BV 01 T = 100 ans.

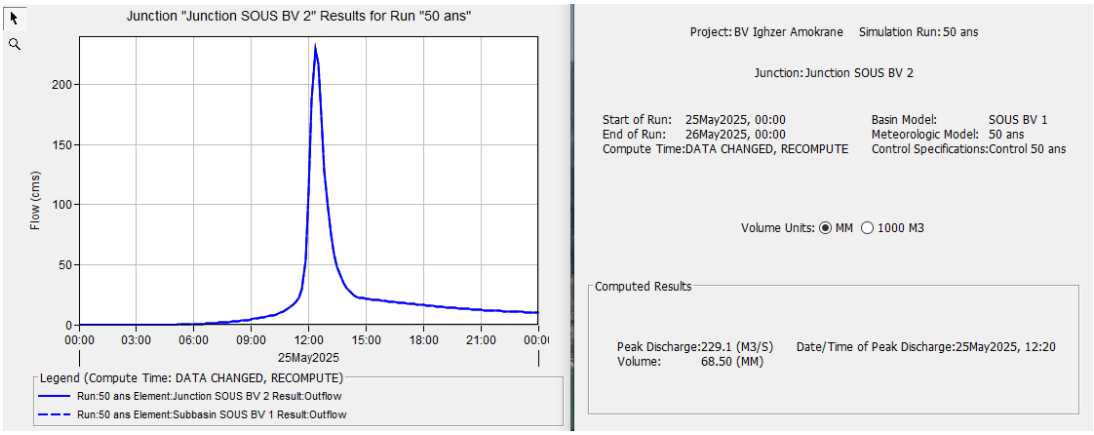


Figure 3.19 : Résultats de la simulation pour BV 01 T = 50 ans.

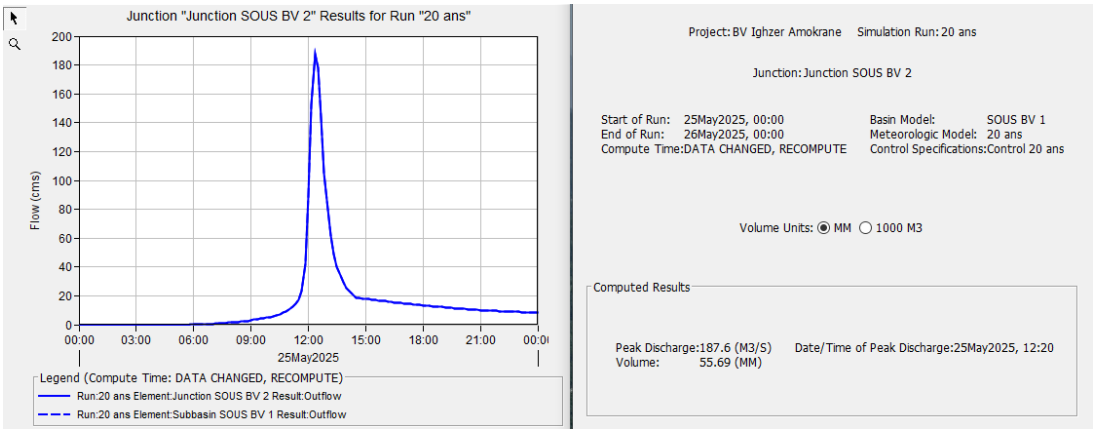


Figure 3.20 : Résultats de la simulation pour BV 01 T = 20 ans.

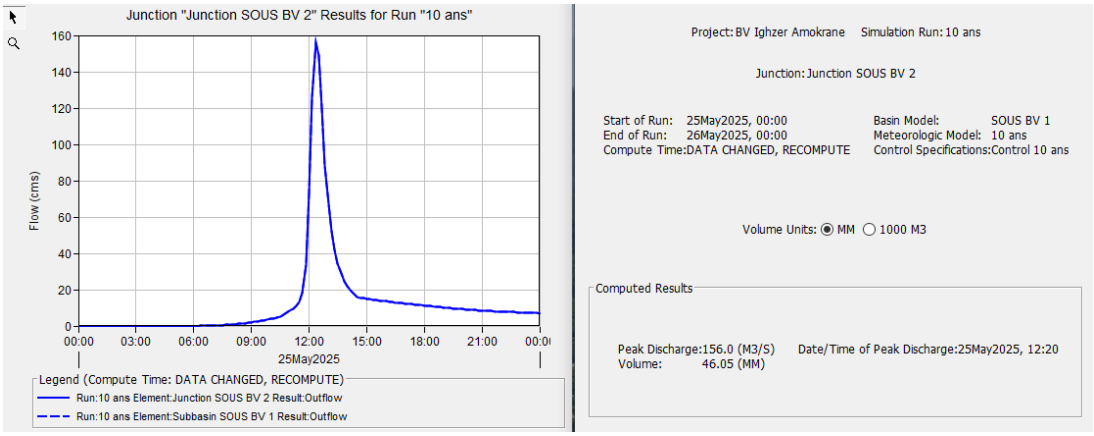


Figure 3.21 : Résultats de la simulation pour BV 01 T = 10 ans.

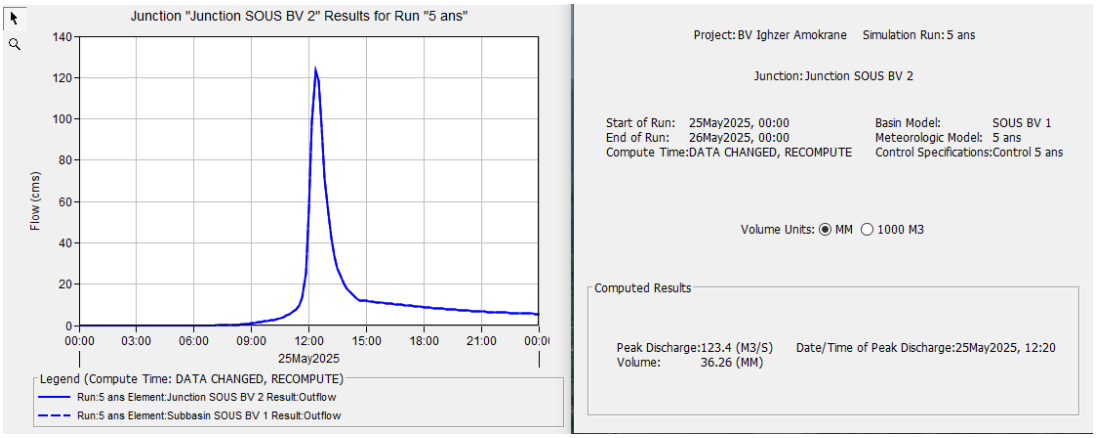


Figure 3.22 : Résultats de la simulation pour BV 01 T = 5 ans.

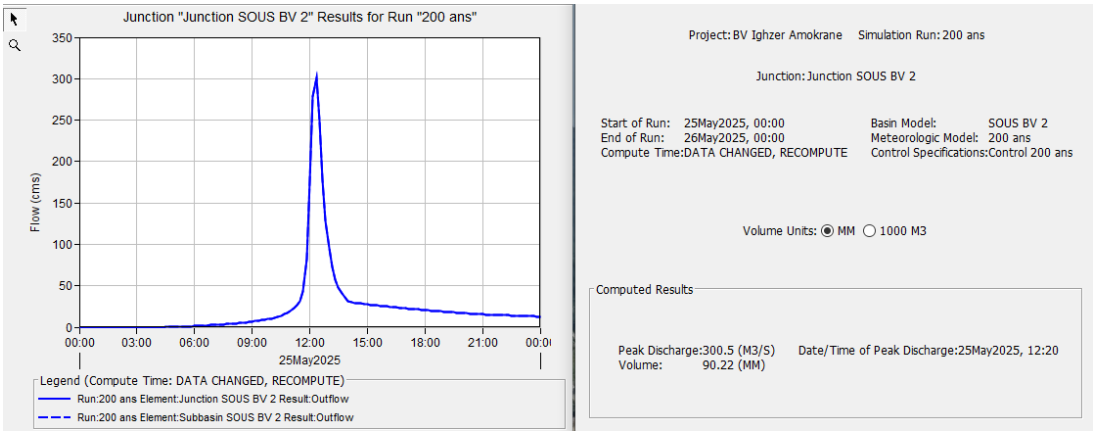


Figure 3.23 : Résultats de la simulation pour BV 02 T = 200 ans.

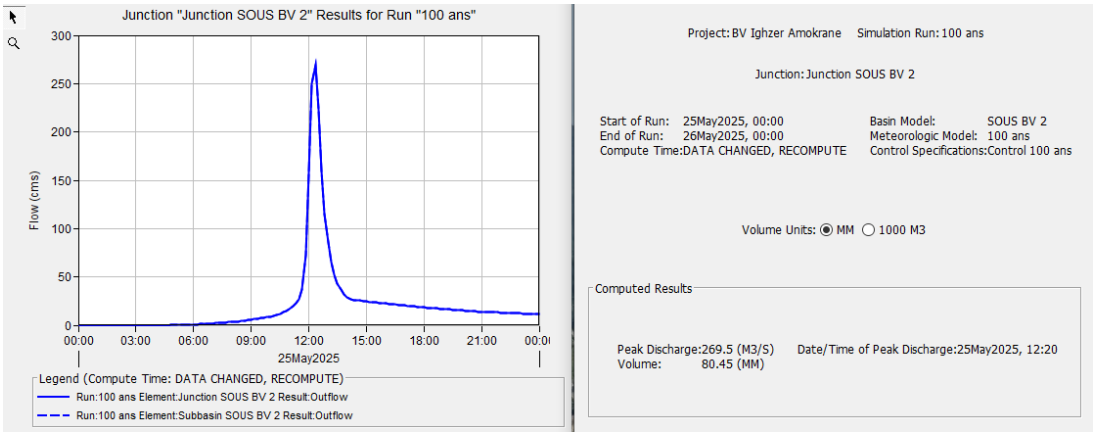


Figure 3.24 : Résultats de la simulation pour BV 02 T = 100 ans.

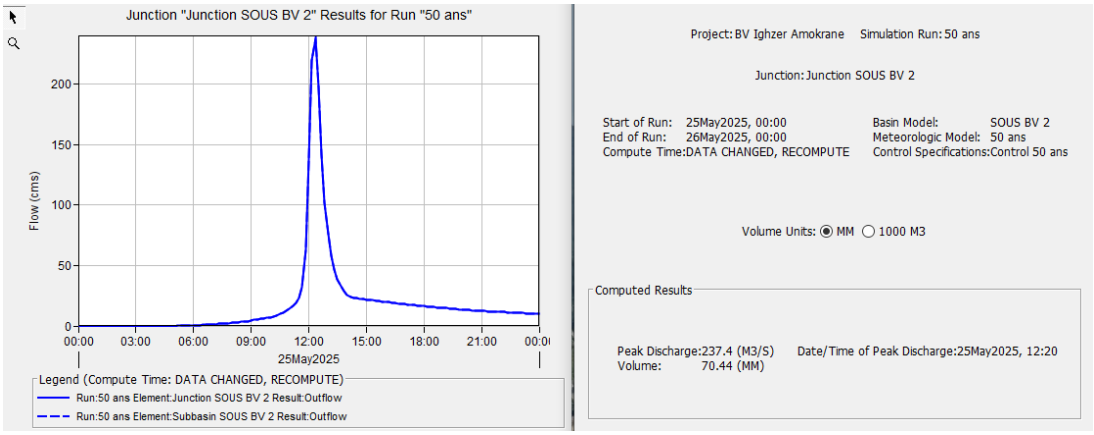


Figure 3.25 : Résultats de la simulation pour BV 02 T = 50 ans.

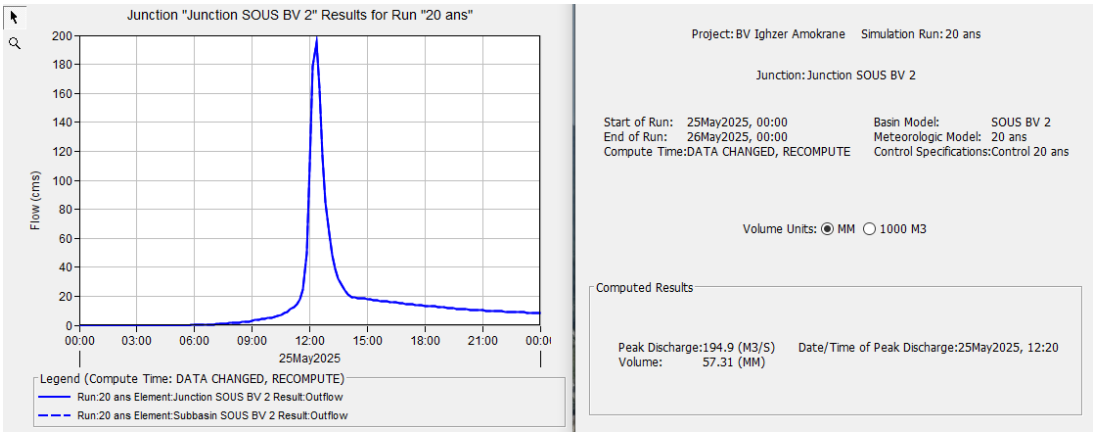


Figure 3.26 : Résultats de la simulation pour BV 02 T = 20 ans.

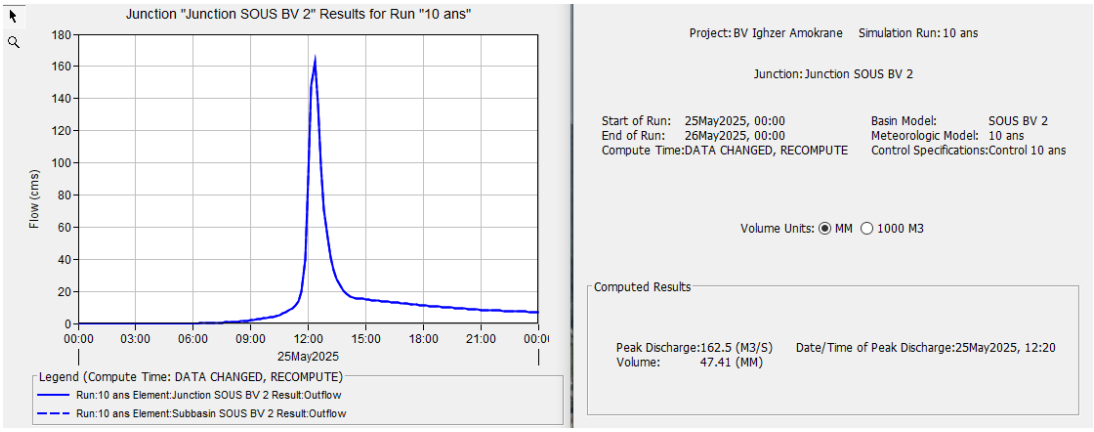


Figure 3.27 : Résultats de la simulation pour BV 02 T = 10 ans.

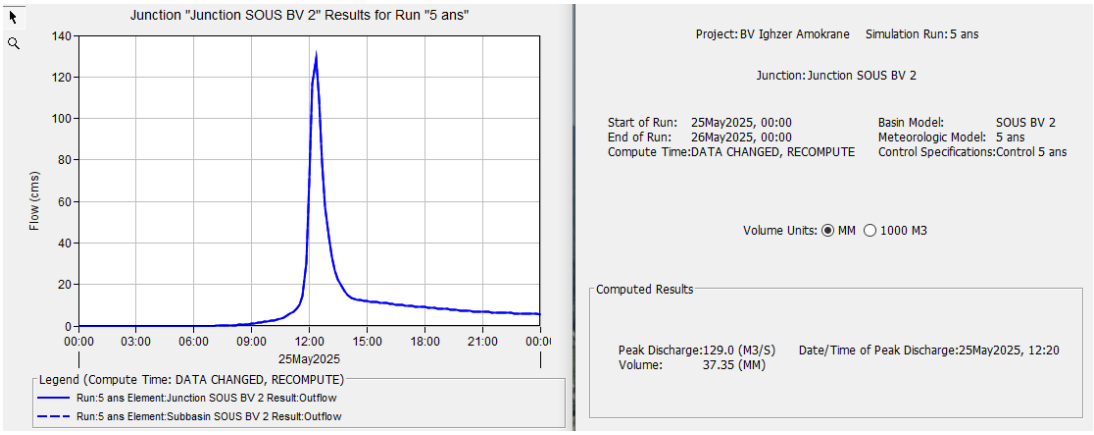


Figure 3.28 : Résultats de la simulation pour BV 02 T = 5 ans.

3.4.3 Hydrogrammes des crues :

Les hydrogrammes de crues pour diverses fréquences sont évalués par la méthode de SOKOLOVSKI qui assimile l'hydrogramme à deux équations paraboliques suivantes :

1) La montée de la crue :

$$Q_m = Q_{max,p\%} \times \left(\frac{t}{t_m}\right)^n \tag{3.25}$$

2) La décrue de la crue :

$$Q_d = Q_{max,p\%} \times \left(\frac{t_d - t}{t_d}\right)^m \tag{3.26}$$

Avec :

t_m : temps de montée de la crue : t_m=t_c ;

t_d : temps de la décrue : t_d=$\gamma \times t_c$, S=49.33 $Km^2 < 50\ Km^2 \Rightarrow\ \gamma$=2;

n et m : puissances des équations, n=2 et m=3.

Tableau 3.19 : Temps de montée et temps de décrue des bassins versant

BV	**Tm (h)**	**Td (h)**
BV Global	1,13	2,26
BV 01	0,83	1,66
BV 02	0,7	1,4

Bassin versant global :

Tableau 3.20 : Hydrogramme des crues de différentes périodes.

PDR (an)	200	100	50	20	10	5
T (h)	Q (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q (m^3/s)
0	0	0	0	0	0	0
0,3	35,85	32,1	28,21	23,08	19,18	15,16
0,6	143,4	128,36	112,86	92,33	76,71	60,64
0,9	322,62	288,82	253,92	207,74	172,6	136,44
1,13	508,6	455,3	400,3	327,5	272,1	215,1
1,5	19,34	17,31	15,22	12,45	10,34	8,18
1,8	4,28	3,84	3,37	2,76	2,3	1,81
2,0	0,77	0,69	0,6	0,5	0,41	0,33
2,26	0	0	0	0	0	0

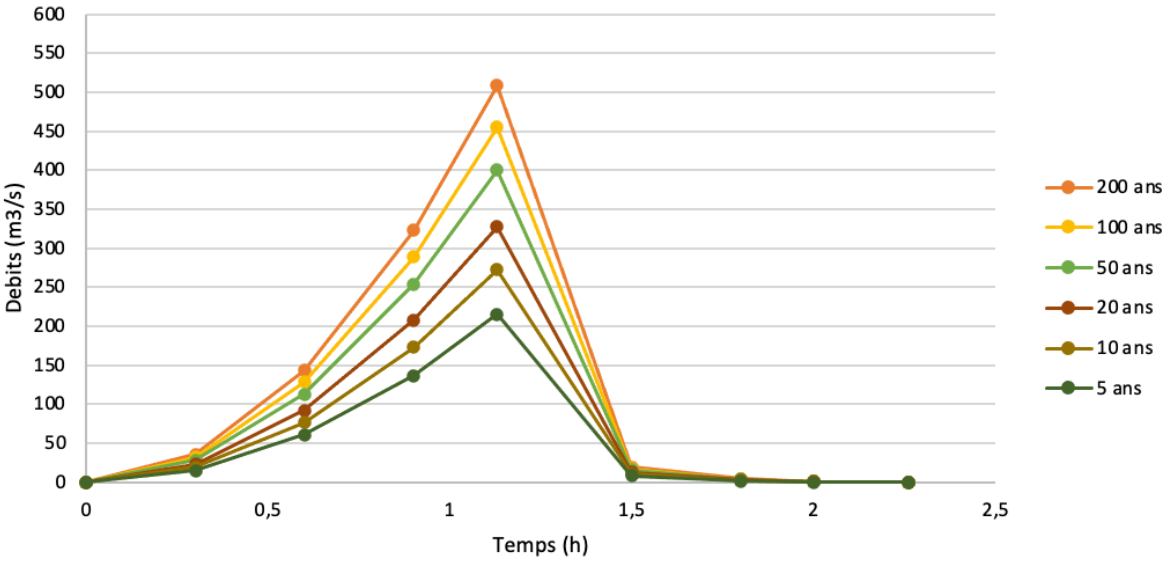


Figure 3.29: les hydrogrammes des crues pour différentes périodes de retour .

Bassin versant 01 :

Tableau 3.21 : Hydrogramme des crues de différentes périodes.

PDR (an)	200	100	50	20	10	5
T (h)	Q (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q (m^3/s)
0	0	0	0	0	0	0
0,3	38	34,05	29,93	24,5	20,4	16,12
0,7	206,83	185,3	162,96	133,43	110,96	87,77
0,83	290,8	260,5	229,1	187,6	156	123,4
1,1	11,16	10	8,8	7,2	6	4,74
1,3	2,96	2,66	2,34	1,91	1,6	1,26
1,66	0	0	0	0	0	0

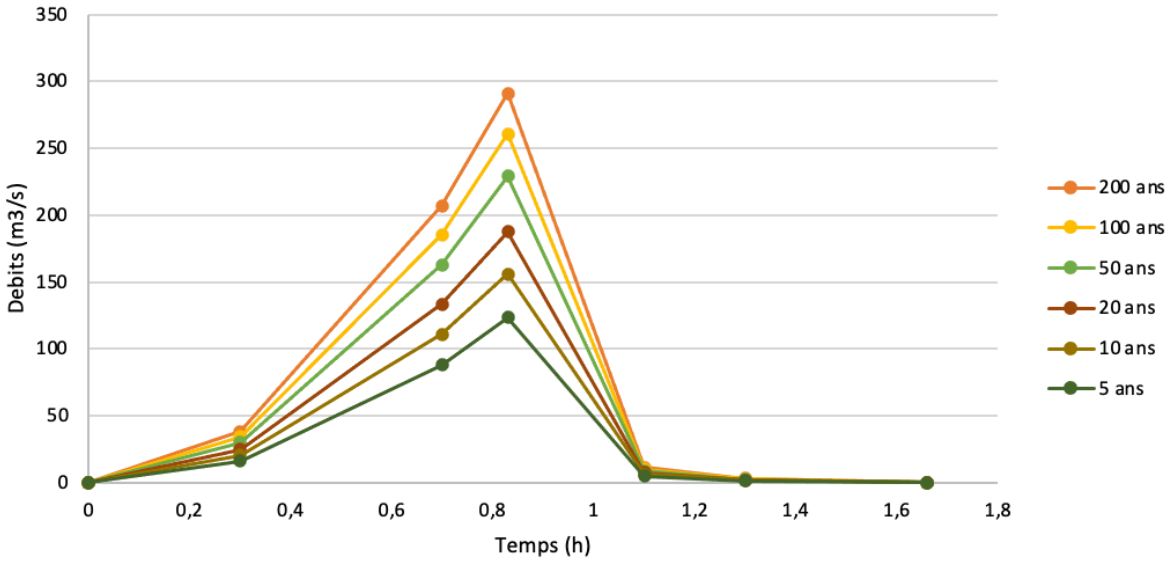


Figure 3.30 : Hydrogrammes des crues.

Bassin versant 02 :

Tableau 3.22 : Hydrogramme des crues de différentes périodes.

PDR (an)	200	100	50	20	10	5
T (h)	Q (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q (m^3/s)
0	0	0	0	0	0	0
0,3	55,2	49,5	43,6	35,8	29,84	23,7
0,6	220,77	198	174,41	143,19	119,38	94,77
0,7	300,5	269,5	237,4	194,9	162,5	129
1	7	6,28	5,53	4,54	3,8	3
1,2	0,87	0,79	0,69	0,56	0,47	0,37
1,4	0	0	0	0	0	0

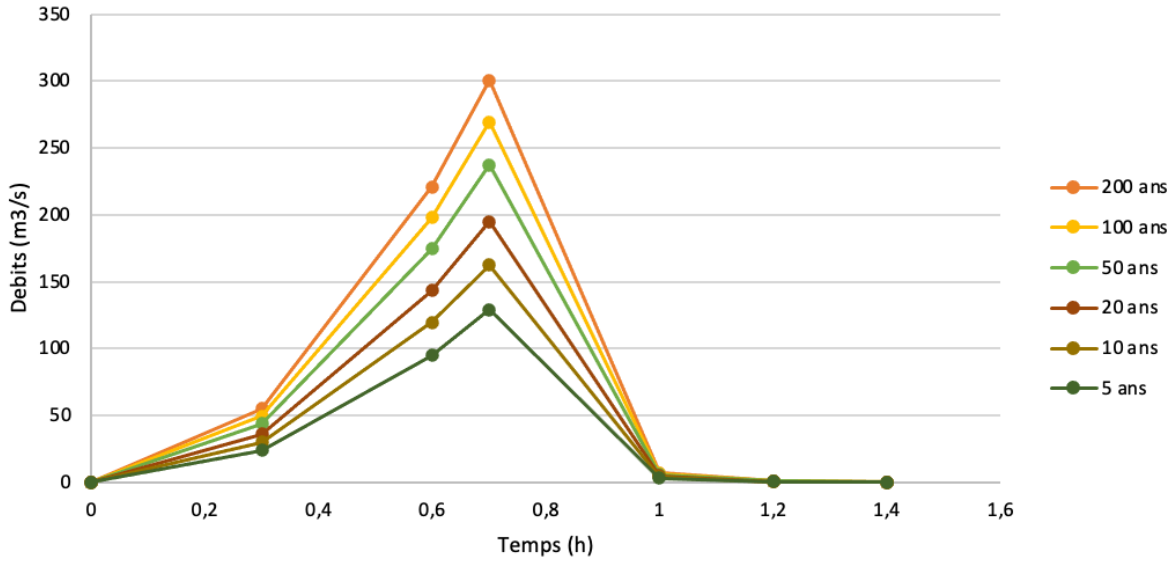


Figure 3.31 : L'hydrogrammes des crues.

3.5 Conclusion :

La présente étude hydrologique s'inscrit dans le cadre de la protection de la ville de Ouzelaguen contre les inondations. Elle a pour objectif la quantification des apports liquides de déférentes périodes de retour (5, 10, 20, 50, 100 et 200 ans), y compris les hydrogrammes de crues correspondantes en vue de la conception et du dimensionnement conformes des ouvrages d'aménagement de protection contre les inondations.

Dans ce chapitre, on a constaté aussi que la loi de Gumbel est le meilleur pour faire l'ajustement que la loi de Log normal.

On considère en même temps la crue centennale comme la crue de projet vu son importance et la hauteur de débordement qu'elle engendre donc, on opte pour le débit de dimensionnement de 1% et on adopte un débit maximal de crue centennale donné par la formule de Turazza par raison de sécurité.

Chapitre 4

Étude hydraulique

Introduction :

Le calcul hydraulique s'appuie sur les débits et vitesses extrêmes pour garantir une évacuation efficace et prévenir les inondations. L'hydraulique fluviale étudie les écoulements dans les canaux naturels ou artificiels en tenant compte de la forme et des dimensions des sections.

Au XIX siècle, l'homme a rectifié le tracé des rivières et stabilisé les berges, d'abord avec des pierres puis des palplanches, pour se protéger des crues, limiter l'érosion, irriguer et assurer l'alimentation en eau potable.

4.1 Objectif de l'aménagement :

L'objectif principal de cet aménagement est la canalisation de l'Oued Ighzer Amokrane tout en respectant les conditions d'écoulement, de protection et de stabilité des berges, et cela afin d'assurer la protection des habitants, de leurs biens et des terres agricoles contre les inondations.

4.2 Débit de dimensionnement :

Le débit de dimensionnement est choisi à partir des normes de protection et de sécurité contre les inondations et selon l'étude hydrologique. La période de retour choisie est de 100 ans.

4.2.1 Modélisation du cours d'eau :

Dans notre cas, on utilise le logiciel HEC-RAS VERSION 6.5 développé par l'US ARMY CORPS OF ENGINEERS.

4.2.2 Définition Logiciel HEC-RAS :

HEC-RAS est un logiciel gratuit développé par l'USACE pour simuler les écoulements à surface libre. Il est largement utilisé dans les études hydrauliques.

Il résout l'équation de l'énergie unidimensionnelle avec la formule de Manning-Strickler. Dans les cas particuliers (ressauts, ponts, confluences), l'équation de quantité de mouvement est appliquée. Lors des débordements, la section est divisée en sous-sections selon leur forme et leur rugosité.

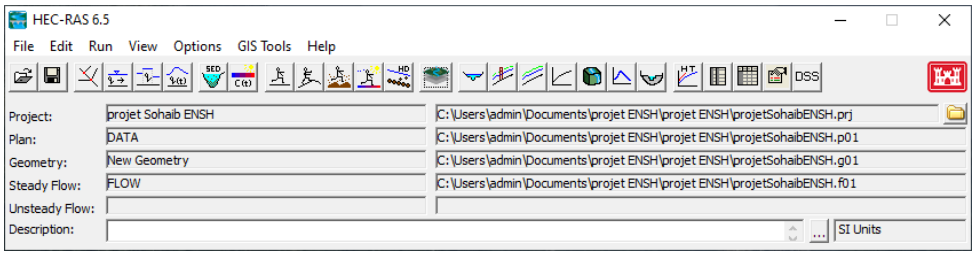


Figure 4.1 : Fenêtre d'accueil du logiciel HEC-RAS.

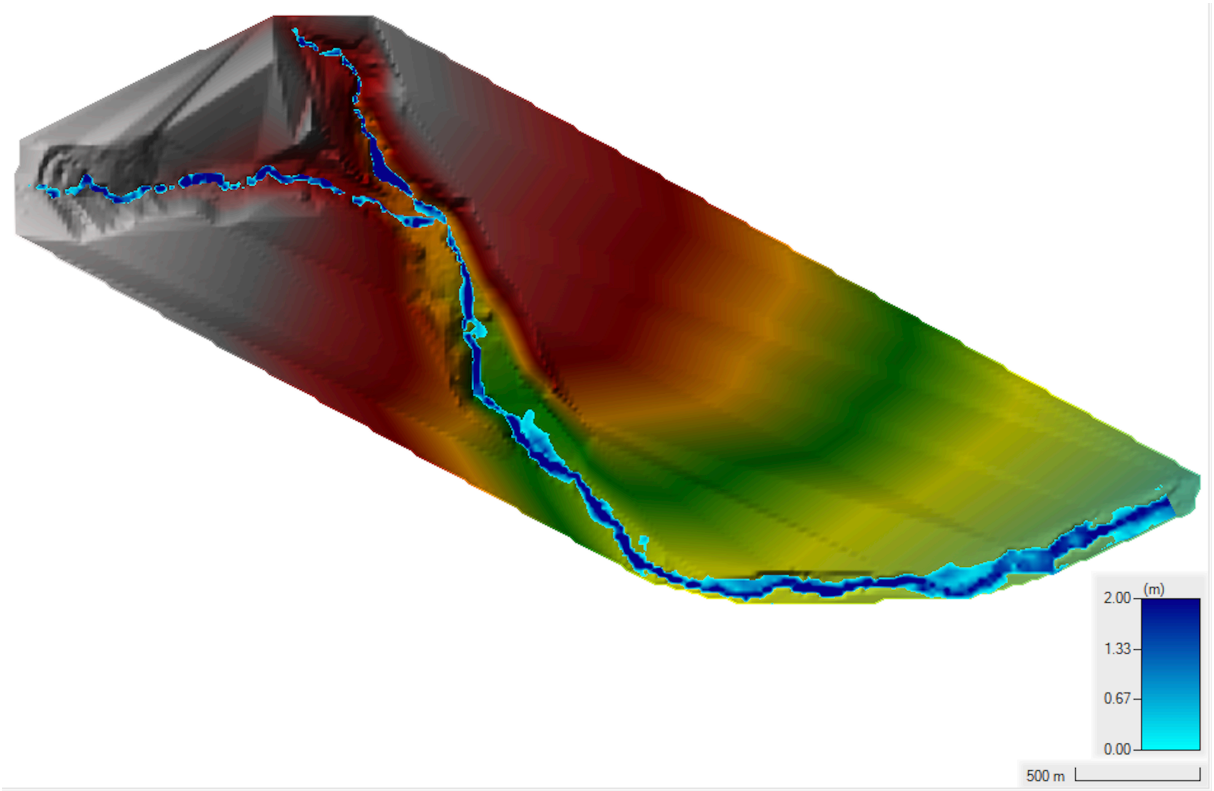


Figure 4.2 : Carte des profondeurs simulées par HEC-RAS (Ras-Mapper).

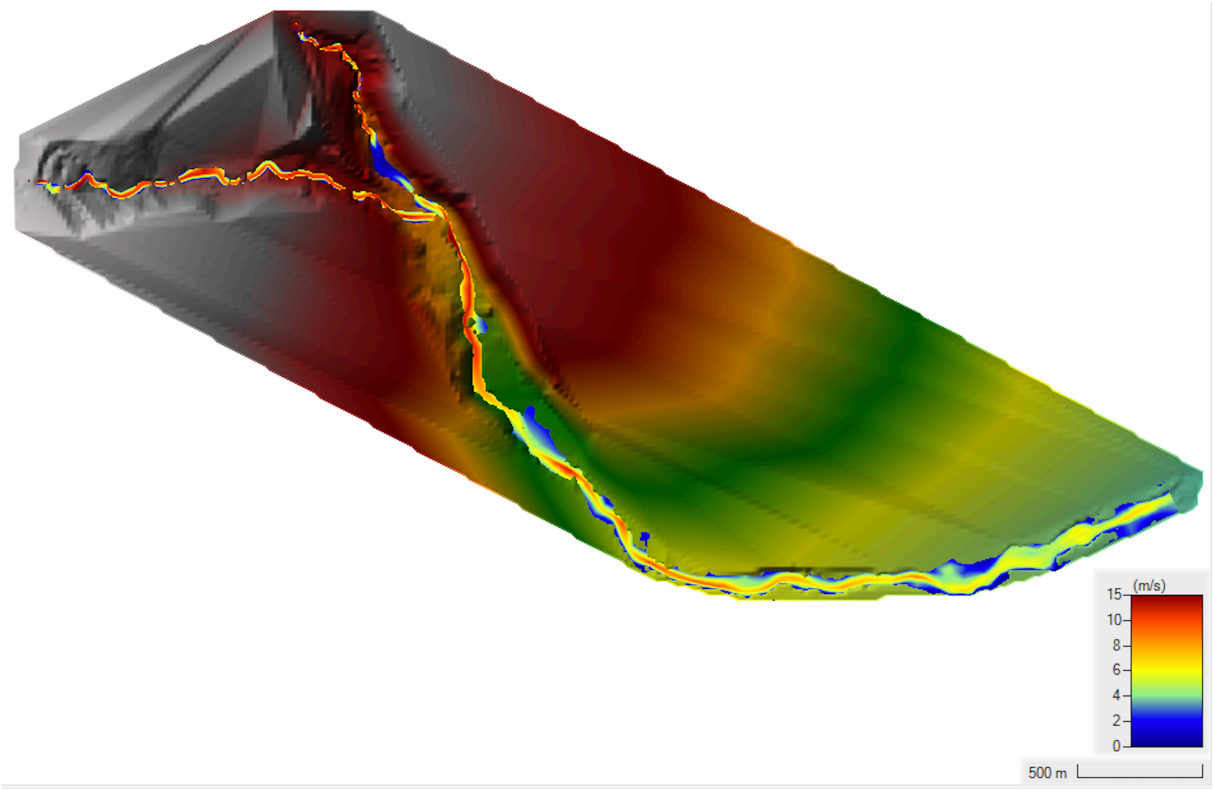


Figure 4.3 : Carte des vitesses simulées par HEC-RAS (Ras-Mapper).

- Création des sections transversales :

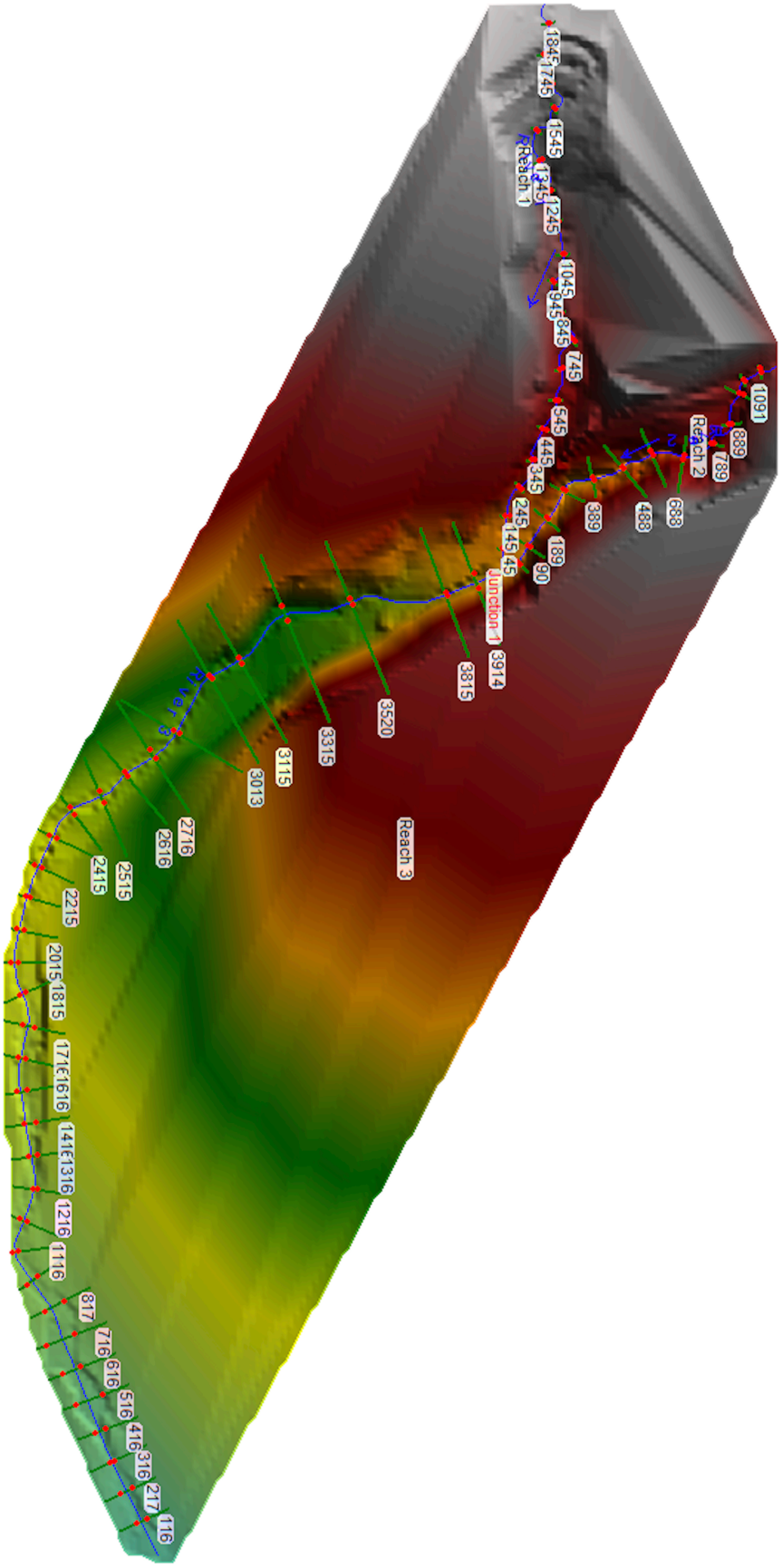
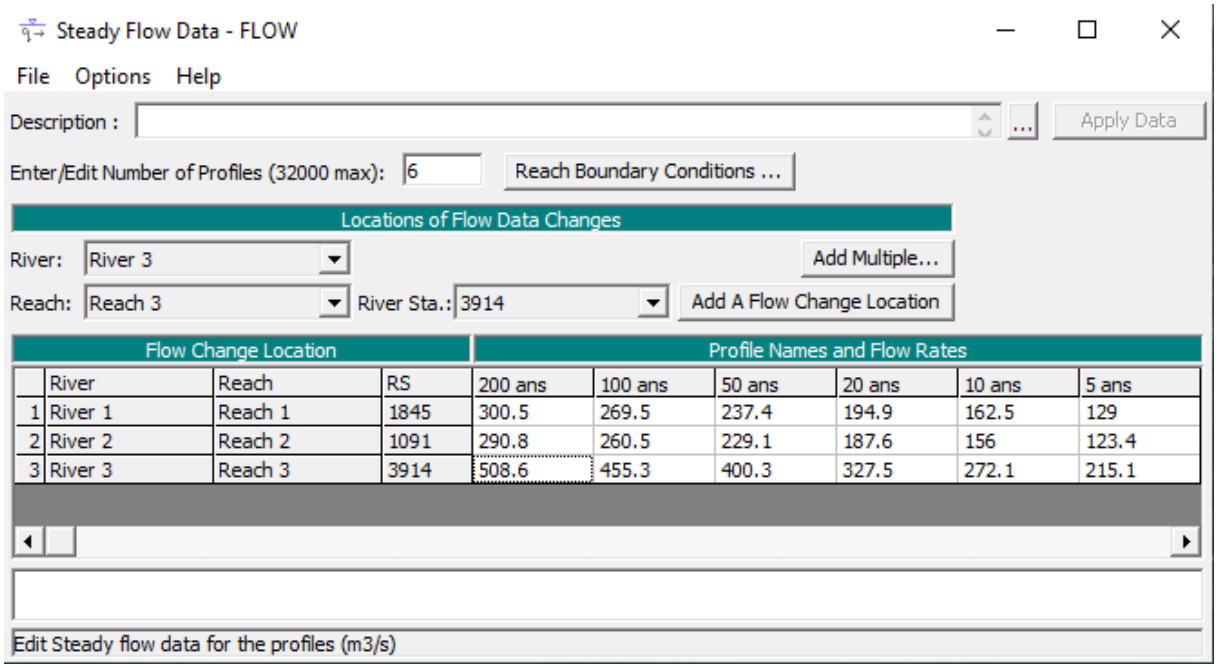


Figure 4.4 : Les sections en travers.

- Données des débits :

A) Régime permanent :

Nous avons introduit les valeurs des débits maximaux des diagrammes de crue pour toutes les périodes de retour :



	River	Reach	RS	200 ans	100 ans	50 ans	20 ans	10 ans	5 ans
1	River 1	Reach 1	1845	300.5	269.5	237.4	194.9	162.5	129
2	River 2	Reach 2	1091	290.8	260.5	229.1	187.6	156	123.4
3	River 3	Reach 3	3914	508.6	455.3	400.3	327.5	272.1	215.1

Figure 4.5 : Définition de la crue et des conditions aux limites.

Les résultats des simulations effectuées ont permis d'obtenir les profils en long ainsi les profils en travers de l'oued, présentés ci-dessous :

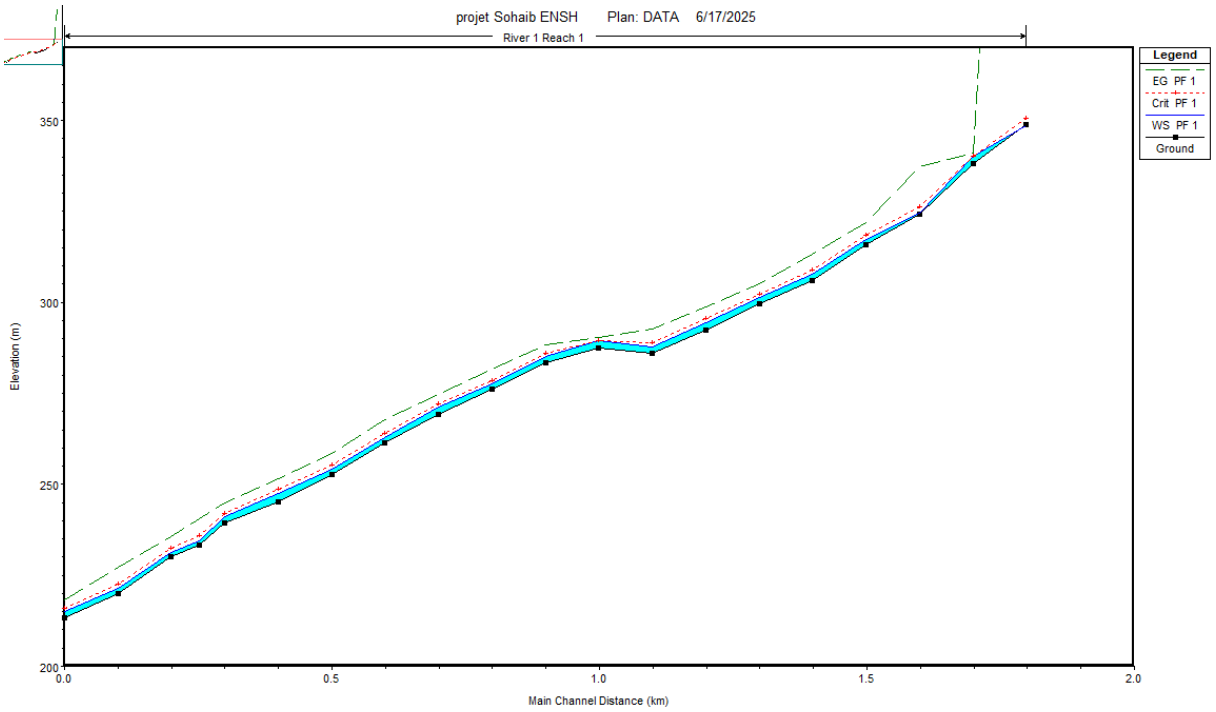


Figure 4.6 : Profil en long du River 1.

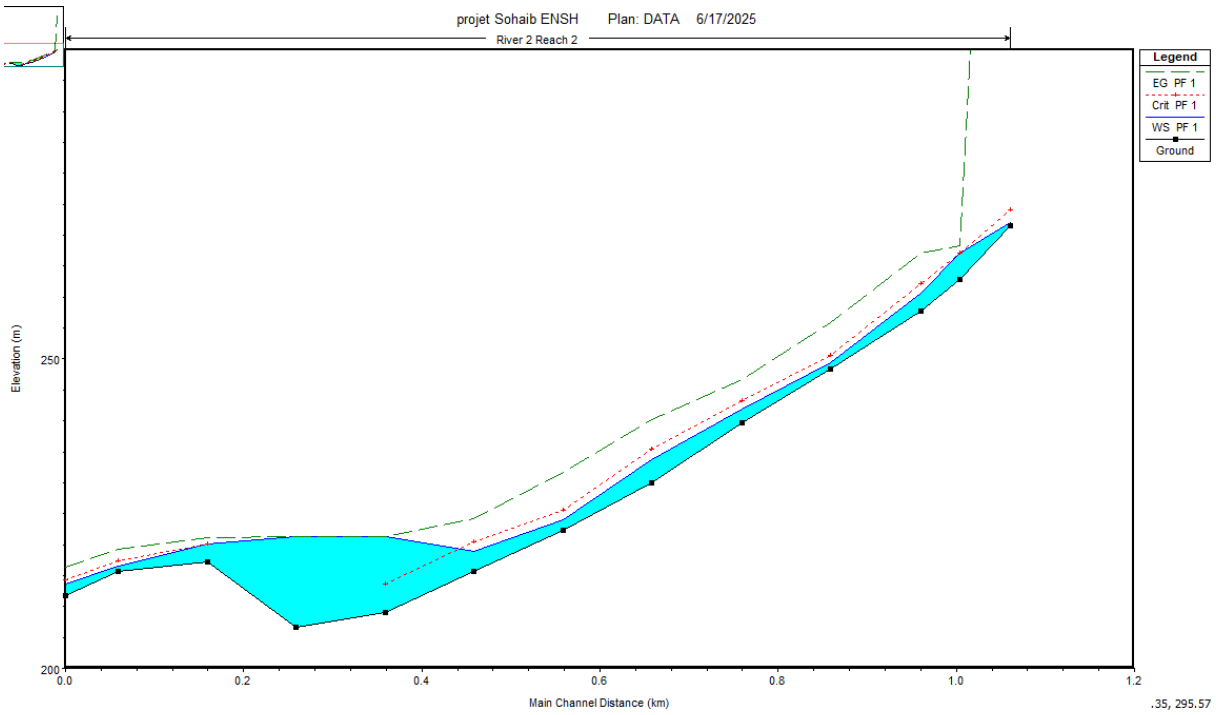


Figure 4.7 : Profil en long du River 2.

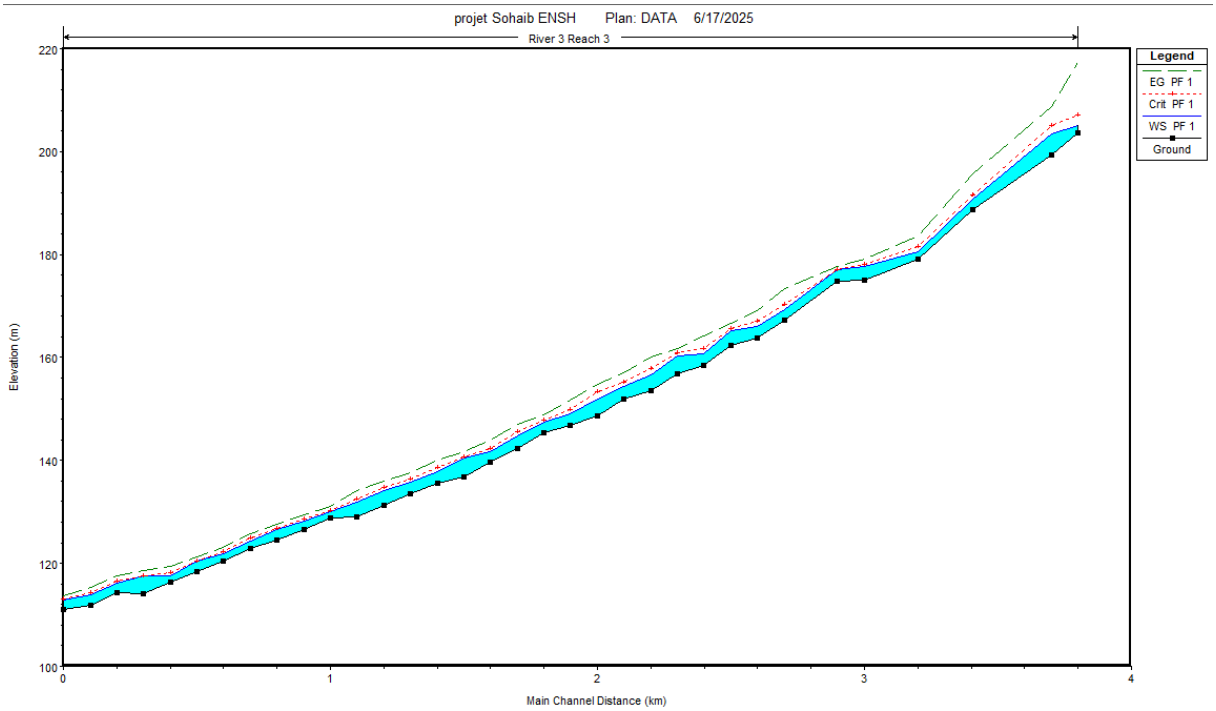


Figure 4.8 : Profil en long du River 3.

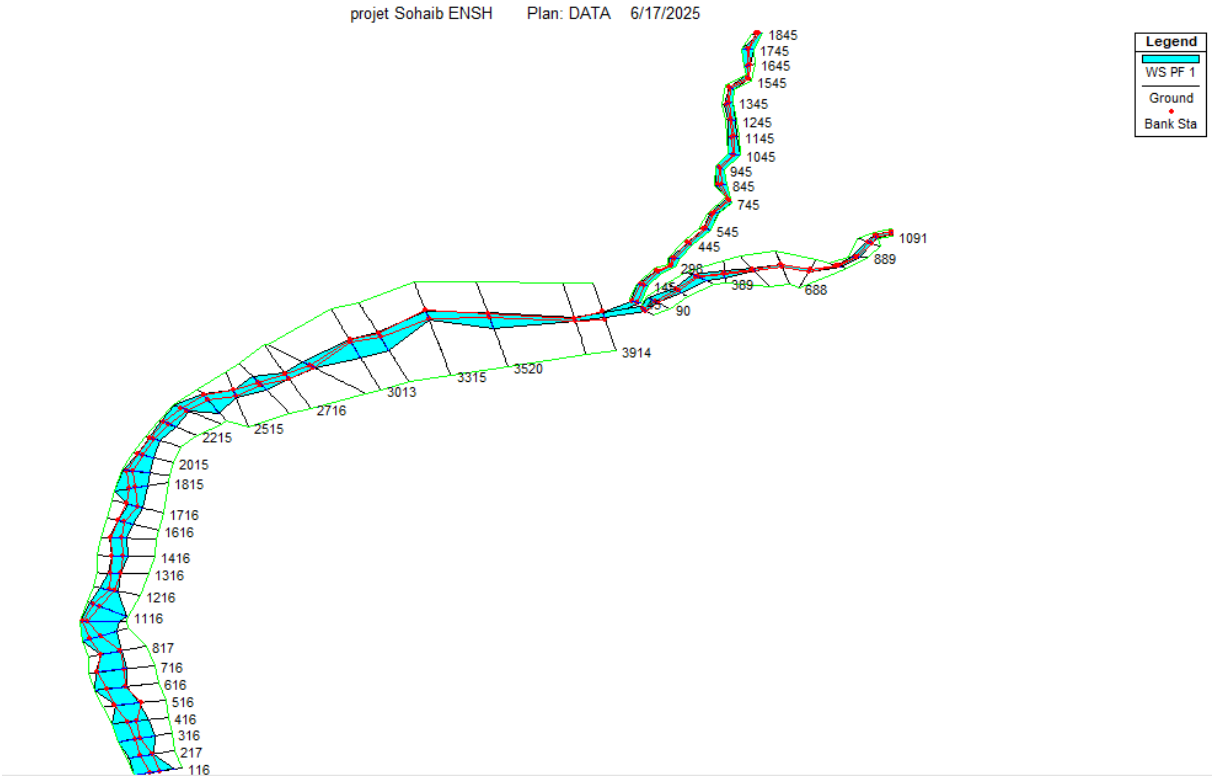


Figure 4.9 : Vue en plan en 3D de l'Oued.

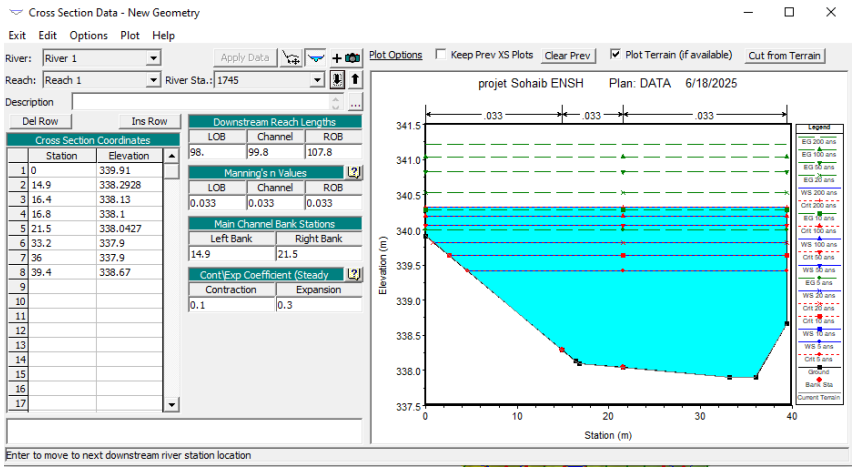


Figure 4.10 : Profil en travers du River 1 en amont.

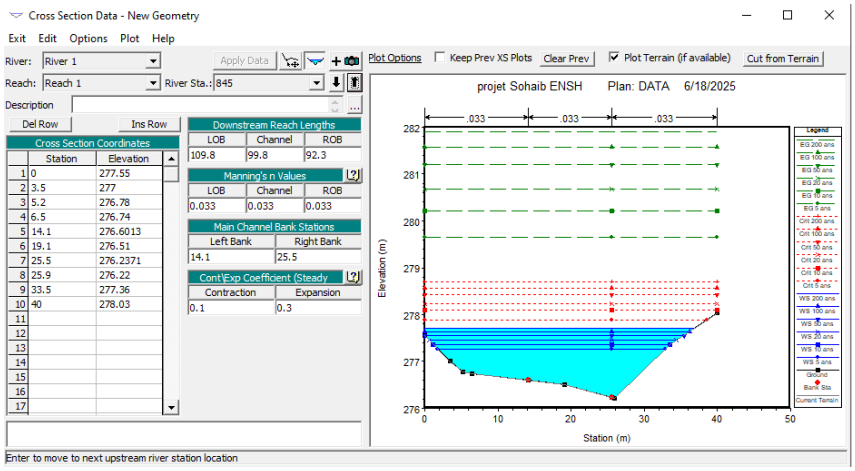


Figure 4.11 : Profil en travers du River 1 au milieu.

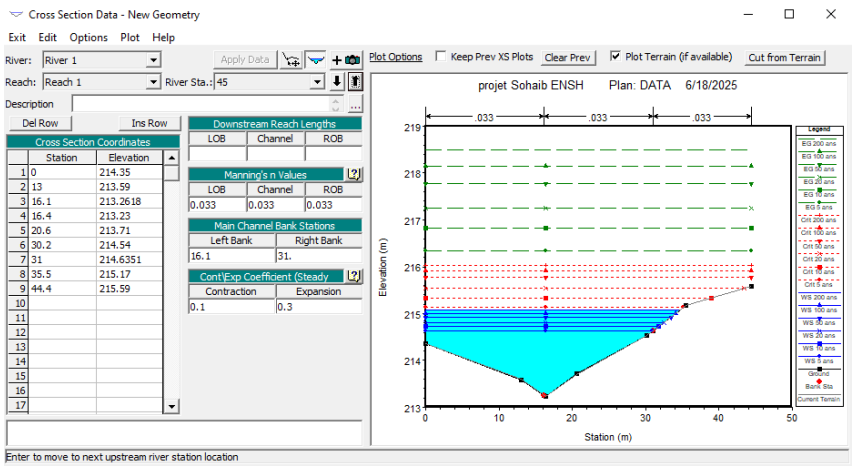


Figure 4.12 : Profil en travers du River 1 en aval.

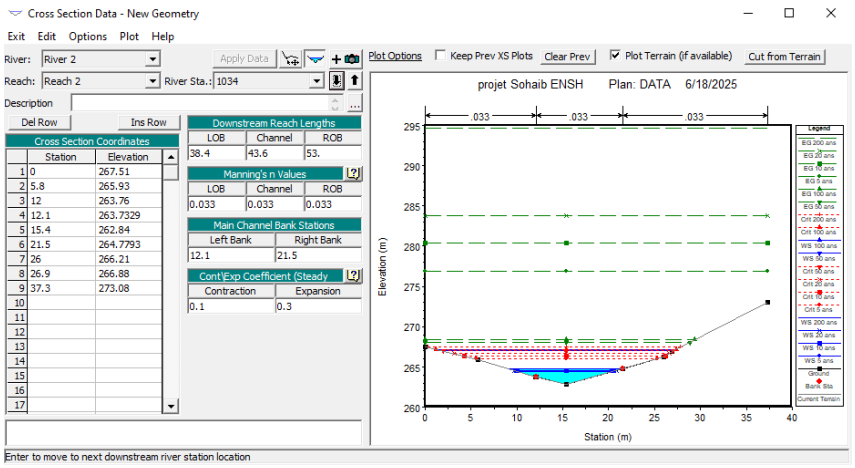


Figure 4.13 : Profil en travers du River 2 en amont.

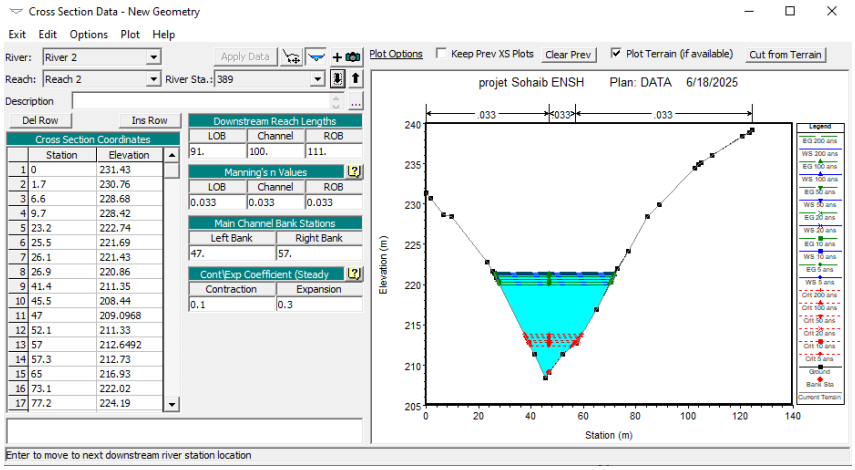


Figure 4.14 : Profil en travers du River 2 au milieu.

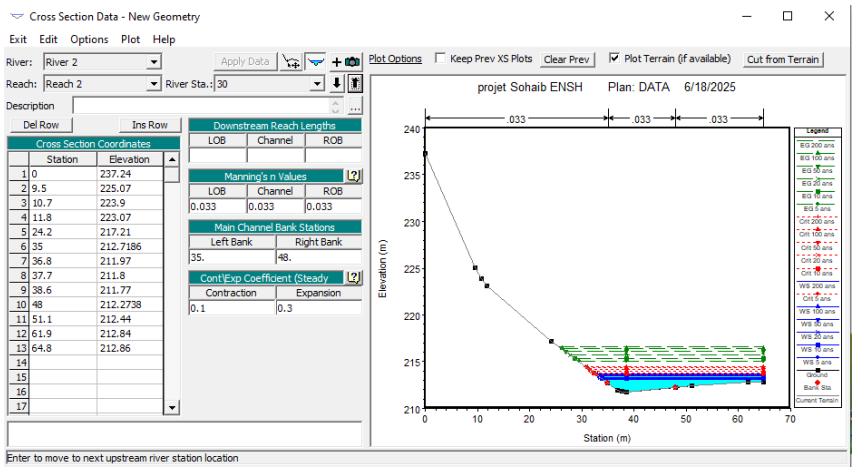


Figure 4.15 : Profil en travers du River 2 en aval.

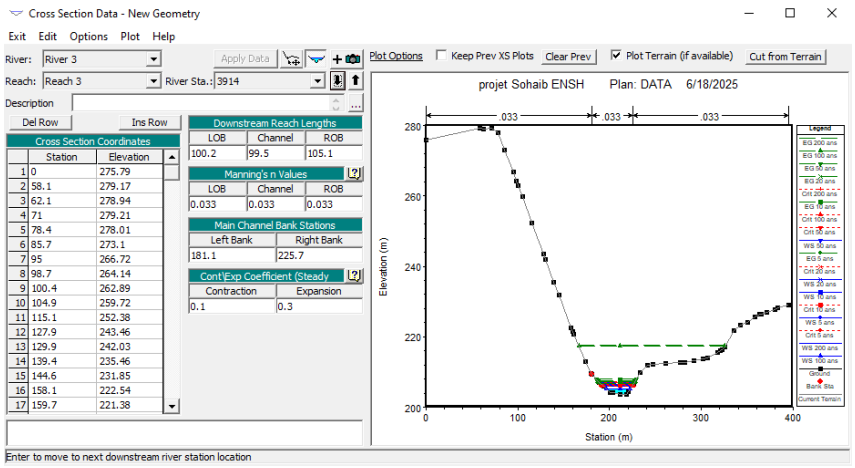


Figure 4.16 : Profil en travers du River 3 en amont.

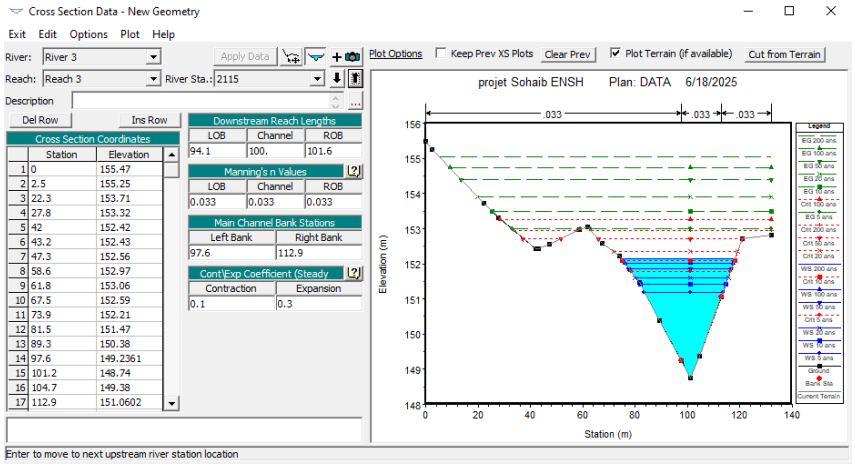


Figure 4.17 : Profil en travers du River 3 au milieu.

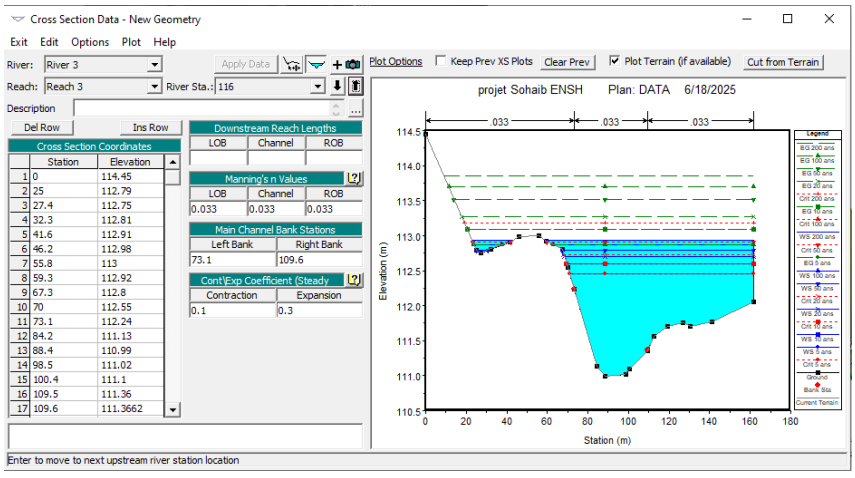


Figure 4.18 : Profil en travers du River 3 en aval.

A) Régime non permanent :

Nous avons introduit les débits obtenus par les diagrammes de crue pour temps de retour de 100 ans :

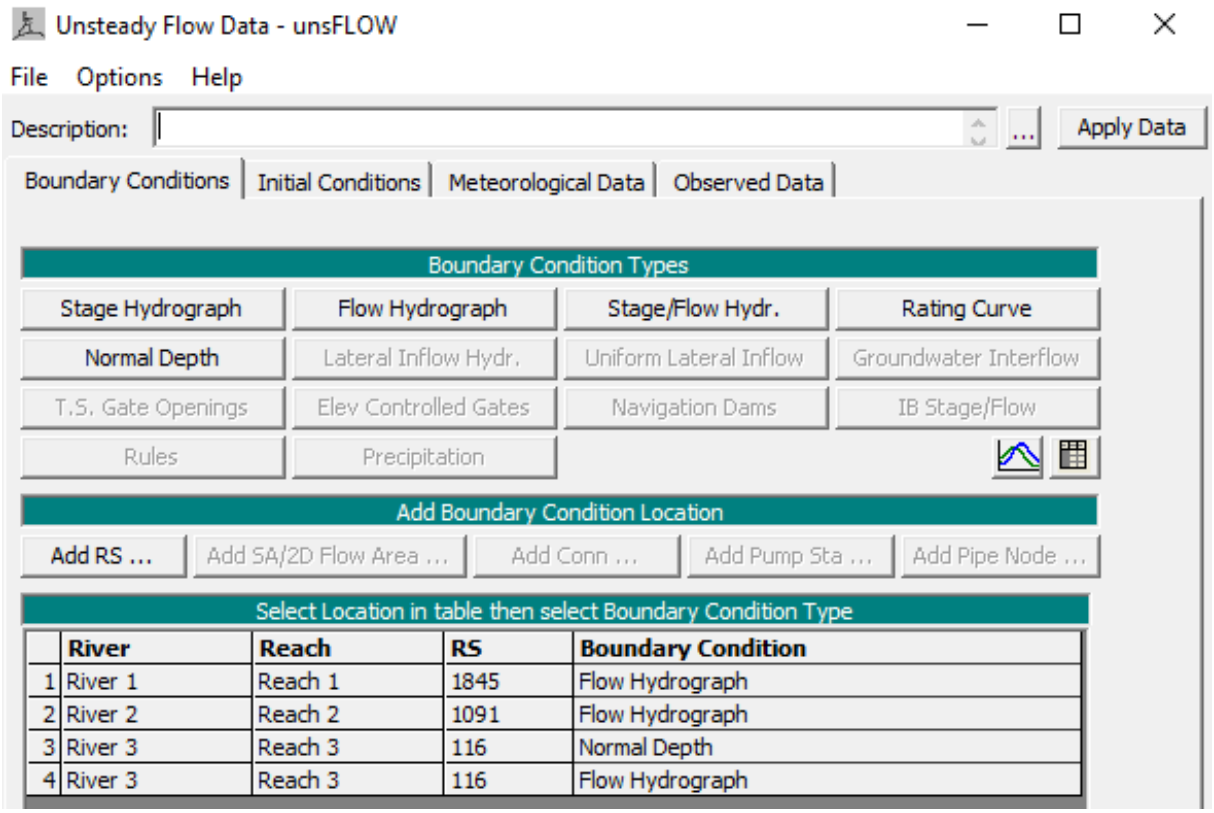


Figure 4.19 : La saisie des données de l'hydrogramme des crues.

4.2.3 Simulation de l'Oued Ighzer Amokrane à son état naturel :

Dans des projets hydraulique comme la protection des villes contre les crues des oueds, situé dans ou à proximité de la ville, une étude de l'état naturel de l'oued dans le cas des crues fréquentiels s'impose au but de déterminer les points de débordement ou en général la délimitation de la zone inondable, afin d'envisager les solutions les plus adéquate pour le projet de protection.

Dans notre cas on a recours à la simulation hydraulique de notre oued grâce au logiciel HEC-RAS (version 6.5).

L'estimation de la rugosité de Manning est souvent très délicate, dans notre projet nous avons un coefficient de rugosité pour l'état naturel de 0,033. Les résultats de la simulation HEC-RAS pour les deux écoulements (Permanent et Non-Permanent) sont résumés dans les annexes **(4.1, 4.2, 4.3 et 4.4)**.

- Interprétations comparative :

Les valeurs de tirant d'eau dans le régime permanent sont plus élevées par rapport le régime non permanent, ce qui indique un risque plus élevé de débordement d'eau dans le régime permanent. C'est pourquoi nous avons choisi de considérer le régime permanent comme le plus défavorable pour notre étude hydraulique.

Cette analyse comparative des deux régimes est importante pour évaluer les risques et faire l'aménagement.

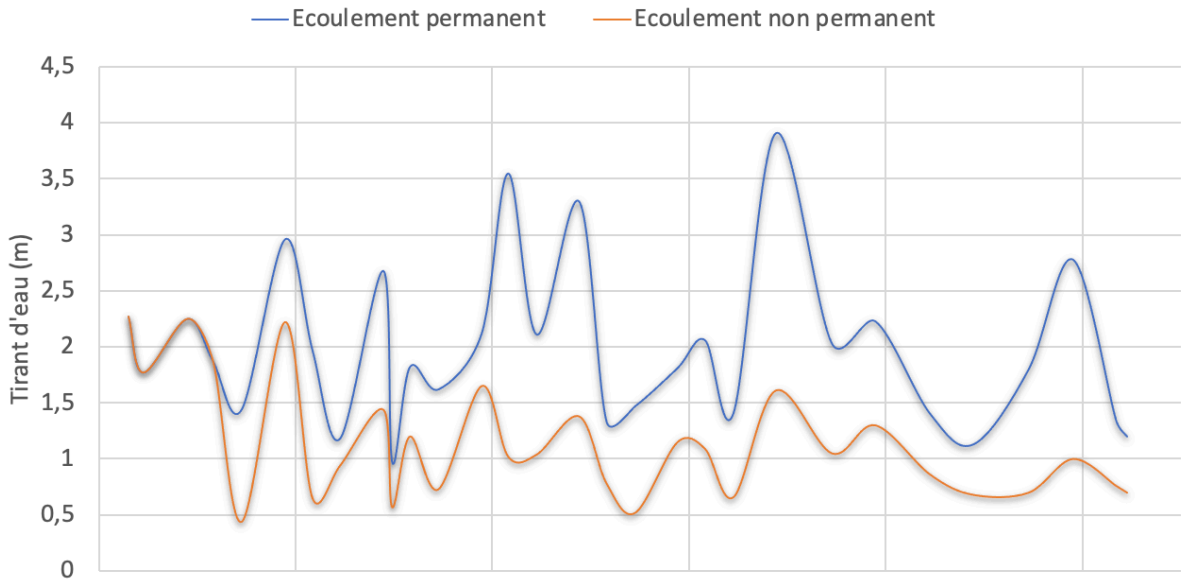


Figure 4.20 : Tirant d'eau des différentes sections pour les deux régimes d'écoulement.

4.3 Conclusion :

On remarque que l'oued déborde sur les rives, et cela même pour des débits de période de retour de 5 ans, ce qui stipule que le risque d'inondation est extrêmement élevé, la zone d'études est potentiellement inondable.

À la lumière de l'examen de ce chapitre , il en ressort que l'écoulement dans l'oued est torrentiel (Fr >1) . Ceci engendre des vitesses importantes pour des hauteurs d'eau modérées, inférieures à la hauteur critique.

Devant cette situation, un aménagement s'impose pour permettre une protection des populations et riverains contre les crues de l'oued.

Chapitre 5

Étude des variantes d'aménagement

Introduction :

Le but de cette étude, est de bien protéger la ville d'Ouzellaguen contre les inondations. Cette protection consiste à sélectionner les meilleures solutions d'aménagement compte tenu des conditions naturelles. Mais aussi il faut que les solutions, soient réalisables du point de vue technique et économique et qu'elles soient, bien adaptées au terrain avec ses conditions aussi bien topographiques que géologiques.

5.1 Reprofilage du lit du cours d'eau :

Le reprofilage est une technique d'aménagement hydraulique qui consiste à modifier la géométrie du lit d'un cours d'eau (profil en travers, pente, talus, largeur) afin d'améliorer sa capacité d'écoulement et de réduire les risques liés aux crues ou à l'érosion.

5.1.1 Objectifs du reprofilage :

- **Amélioration de la capacité hydraulique :** accroître la section d'écoulement pour permettre le transit de débits de crue plus importants.
- **Réduction du risque d'inondation :** limiter les débordements sur les zones riveraines habitées ou agricoles.
- **Stabilisation du lit :** corriger des profils irréguliers et réduire l'érosion latérale et longitudinale.
- **Optimisation hydraulique :** adapter la pente et la forme du lit pour garantir un écoulement uniforme.

5.1.2 Principes d'intervention :

Le reprofilage peut se traduire par :

- Élargissement du lit mineur pour augmenter la section mouillée ;
- Abaissement du fond (curage, approfondissement) pour accroître la capacité hydraulique ;
- Aménagement de talus trapézoïdaux (au lieu de berges irrégulières) afin d'assurer la stabilité des berges et faciliter l'entretien ;
- Rectification locale de la pente pour améliorer la régularité du profil en long.

5.2 Étude de variante :

5.2.1 Choix des variantes envisagées :

Dans le cadre de cette étude, plusieurs variantes d'aménagement ont été envisagées afin d'identifier la solution la plus adaptée au contexte hydraulique et socio-économique de la zone d'étude. Chaque variante a été évaluée sur la base de critères précis, à savoir : l'aspect économique (coût global de réalisation et d'entretien), la durabilité (résistance et longévité face aux sollicitations hydrauliques), le temps de réalisation (rapidité de mise en œuvre), la fonctionnalité (capacité à répondre efficacement aux objectifs de protection et de régulation) ainsi que la disponibilité des matériaux sur le marché algérien.

Afin de comparer objectivement ces différentes solutions, un tableau récapitulatif a été établi. Celui-ci synthétise les notes attribuées à chaque variante selon les critères définis, permettant ainsi de mettre en évidence leurs points forts et leurs limites respectives.

Tableau 5.1 : Tableau comparatif des variantes d'aménagement.

Variantes	Économie	Durabilité	Temps de réalisation	Fonctionnalité	Disponibilité matériaux	Entretien	Intégration environnementale	Total /40
Seuils	2/5	3/5	2/5	3/5	3/5	3/5	2/5	18
Matelas Reno	4/5	3/5	4/5	3/5	4/5	4/5	4/5	26
Béton	4/5	5/5	4/5	5/5	5/5	3/5	3/5	29
Gabion	5/5	4/5	5/5	4/5	5/5	5/5	4/5	32
Enrochement	4/5	4/5	4/5	3/5	4/5	4/5	5/5	28

L'analyse comparative présentée dans le tableau ci-dessus met en évidence que les variantes en gabions et en béton obtiennent les meilleures évaluations globales, avec respectivement 32/40 et 29/40. Ces résultats traduisent leur performance en termes de durabilité, de fonctionnalité et de disponibilité des matériaux sur le marché local. À l'inverse, les variantes telles que les seuils et l'équilibrage obtiennent des notes relativement faibles, reflétant des limites aussi bien techniques qu'économiques. Cette lecture permet de concentrer l'attention sur les solutions les plus pertinentes, en particulier le gabion et le béton, qui se démarquent nettement des autres alternatives.

5.2.2 Démarche adoptée dans ce projet :

Après l'analyse comparative des différentes variantes d'aménagement, il est apparu que certaines présentent des avantages indéniables mais aussi des limites notables. Par exemple, la variante en béton se distingue par sa solidité et sa durabilité, tandis que la variante en gabion offre une meilleure flexibilité et une intégration harmonieuse avec l'environnement.

Dans ce travail, une approche différente est retenue. Plutôt que d'opposer les variantes, l'idée est de les combiner dans un même projet sous forme un canal trapézoïdal, afin de profiter des avantages de chacune.

Ainsi, le premier et le deuxième Oueds (*River 1 et 2*) seront protégés par des gabions, mis en valeur pour leur flexibilité, leur intégration paysagère et leur efficacité contre l'érosion latérale. Pour le troisième Oued (*River 3*) sera aménagés en béton armé, sélectionné pour sa robustesse, sa longévité et sa capacité à assurer une protection fiable dans les zones les plus exposées aux contraintes hydrauliques.

- **Le coefficient de rugosité :**

  La rugosité hydraulique d'un canal varie en fonction de la nature de son revêtement. À titre indicatif, les valeurs correspondantes à certains types de revêtements sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5.2 : Valeurs de la rugosité Manning n exprimées en mm.

Caractéristiques du lit ou du revêtement	**Rugosité (n)**mm
Canal en béton armé	0,013
Canal en gabion	0,03

Les résultats des simulations effectuées après l'aménagement ont permis d'obtenir les profils en long ainsi les profils en travers de l'oued, présentés ci-dessous :

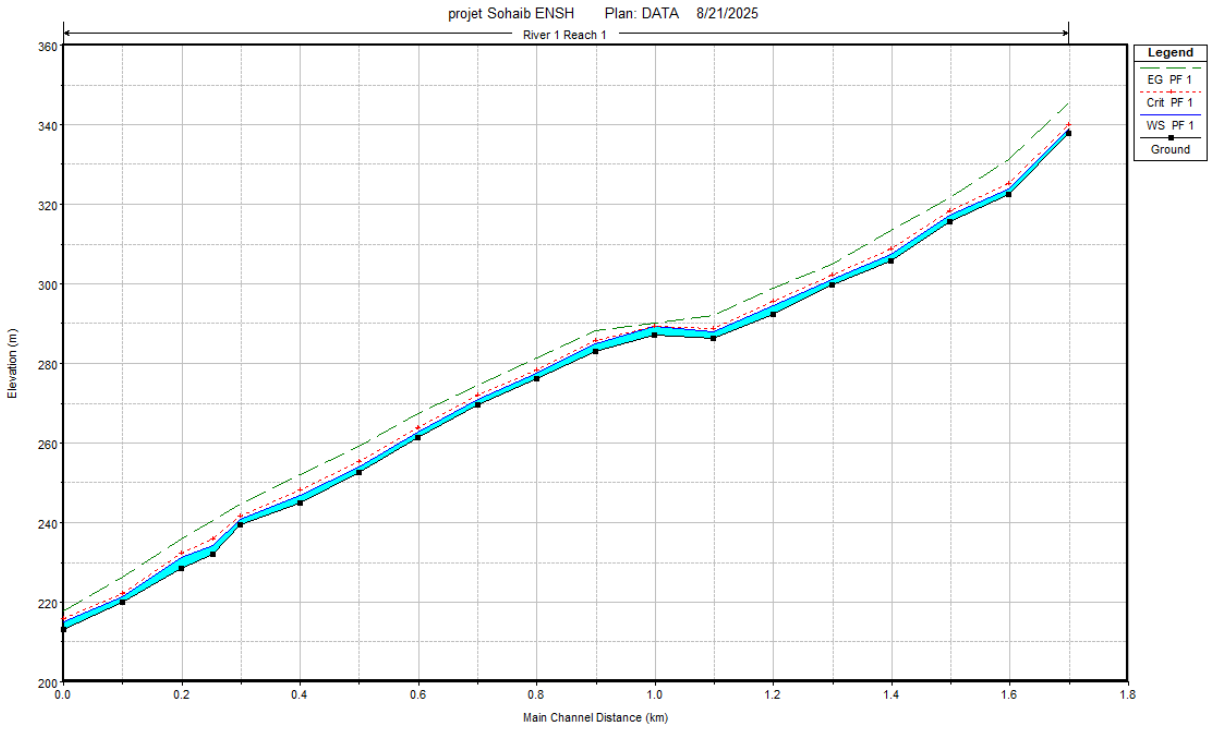


Figure 5.1 : Profil en long du River 1.

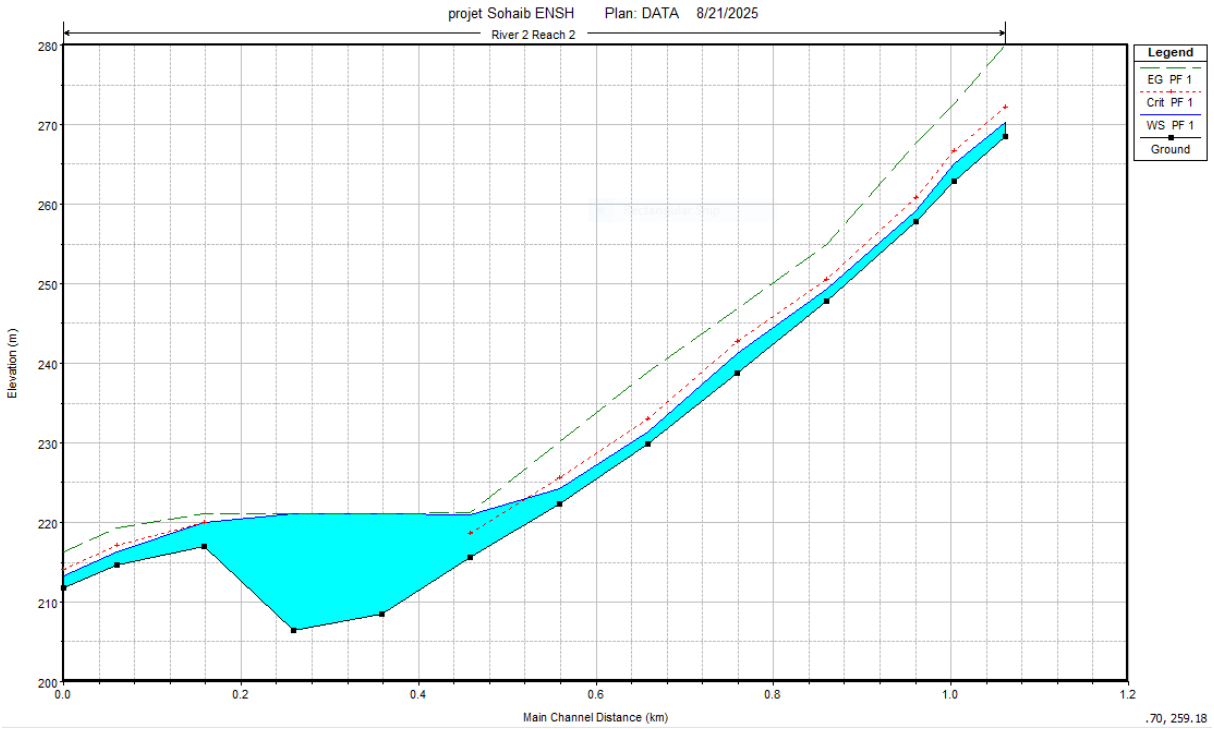


Figure 5.2 : Profil en long du River 2.

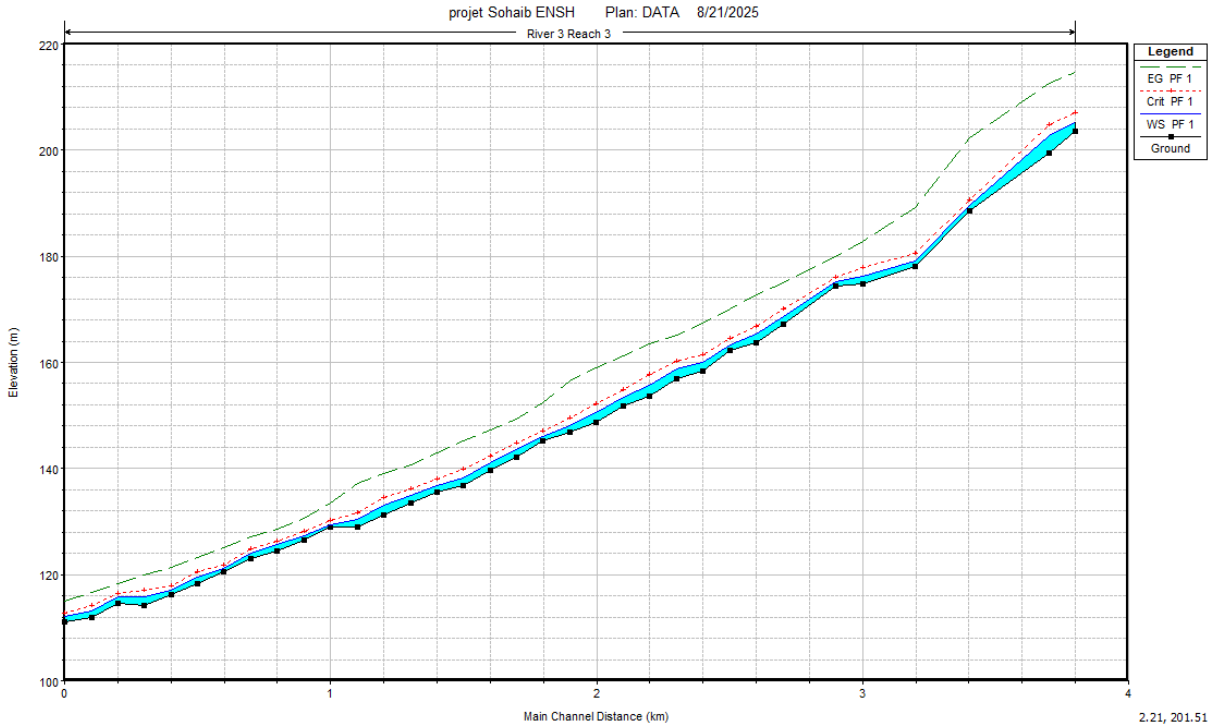


Figure 5.3 : Profil en long du River 3.

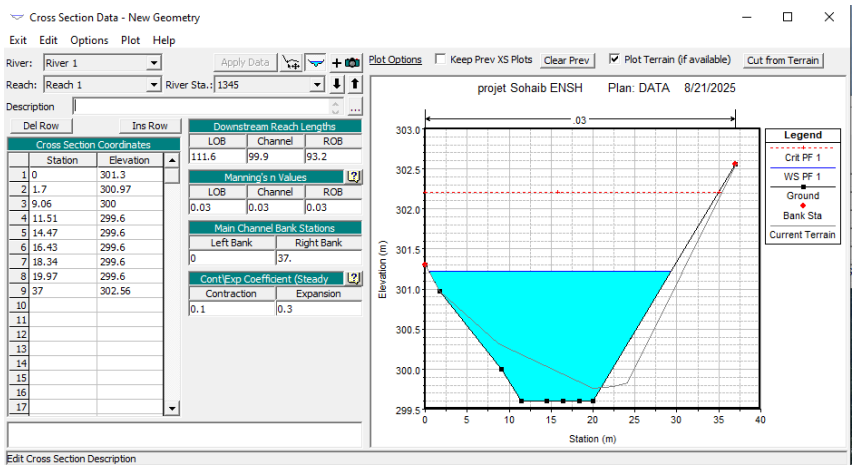


Figure 5.4 : Profil en travers du River 1 en amont.

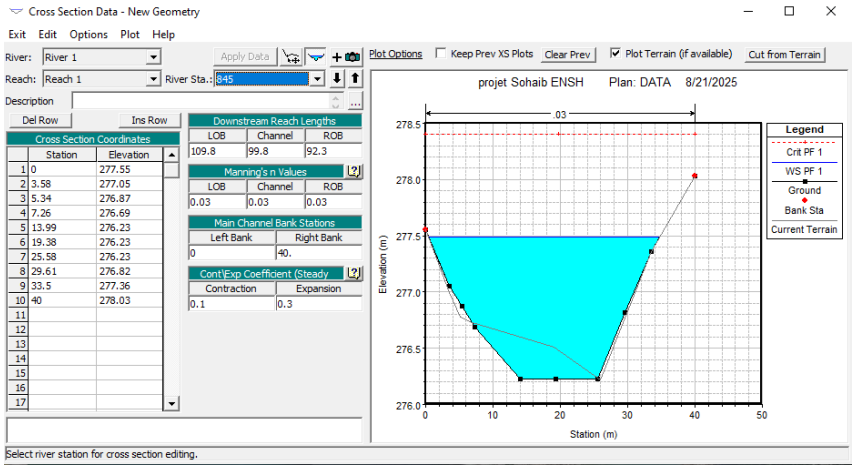


Figure 5.5 : Profil en travers du River 1 au milieu.

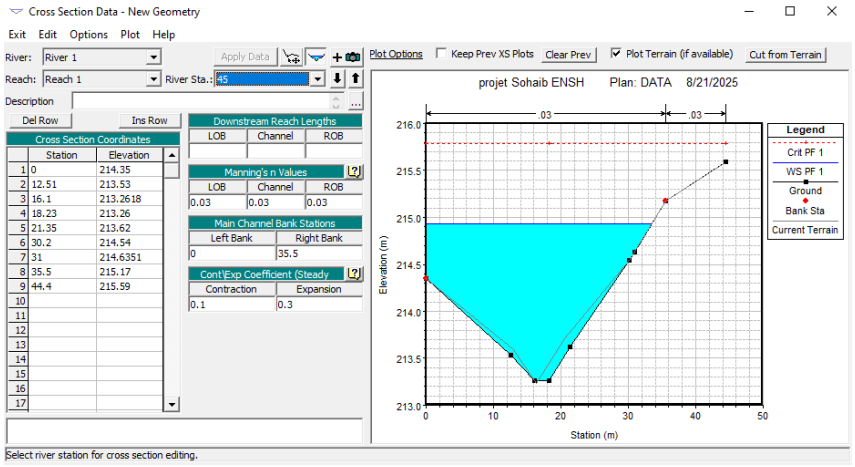


Figure 5.6 : Profil en travers du River 1 en aval.

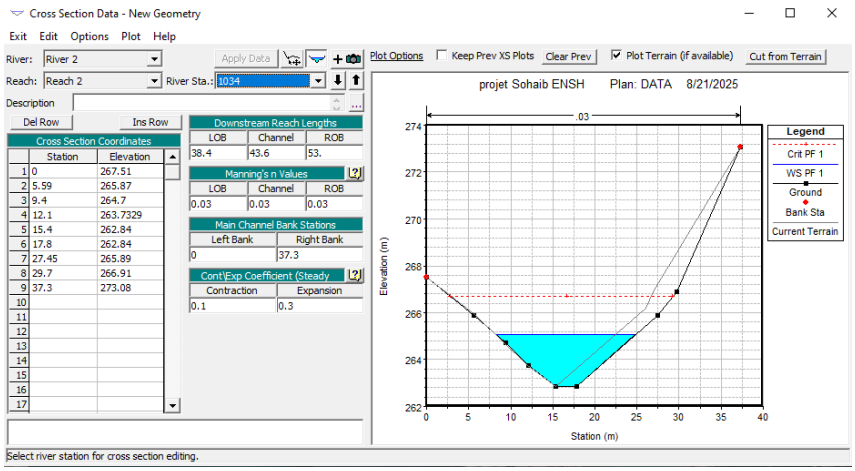


Figure 5.7 : Profil en travers du River 2 en amont.

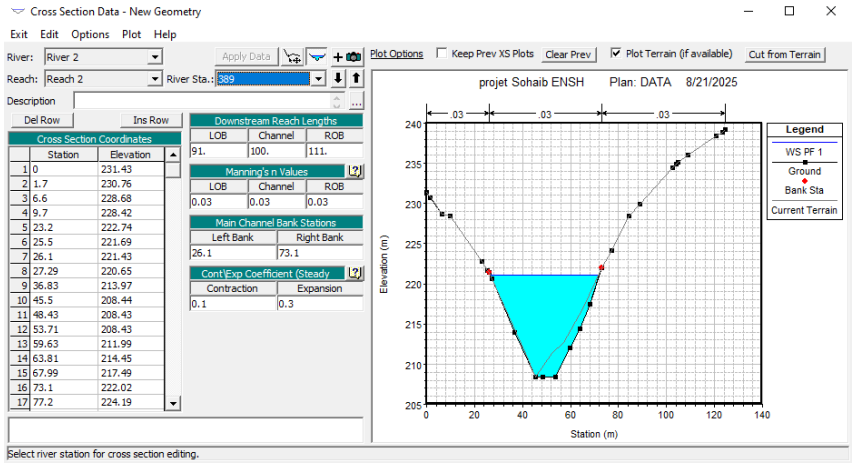


Figure 5.8 : Profil en travers du River 2 au milieu.

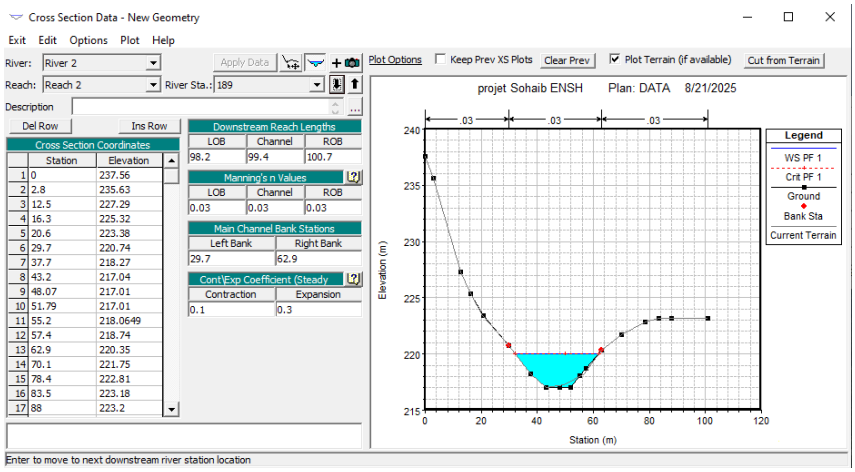


Figure 5.9 : Profil en travers du River 2 en aval.

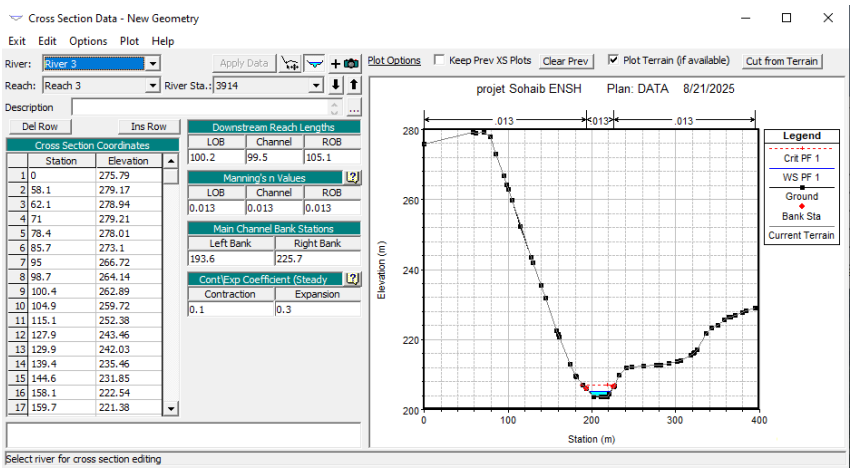


Figure 5.10 : Profil en travers du River 3 en amont.

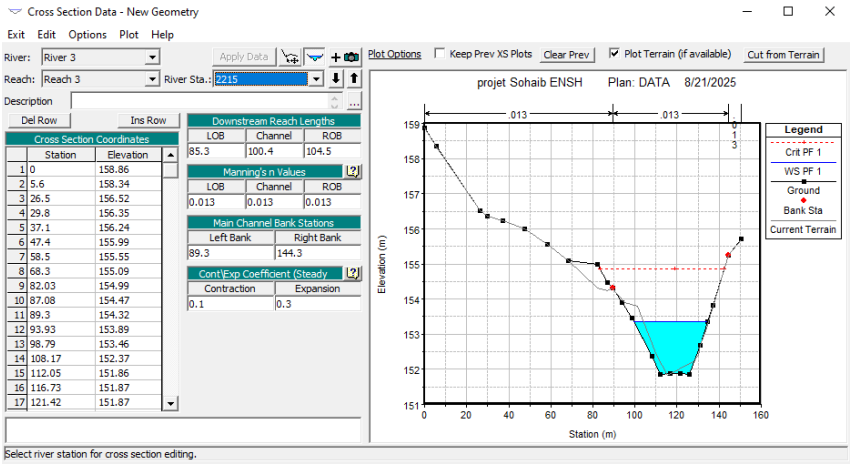


Figure 5.11 : Profil en travers du River 3 au milieu.

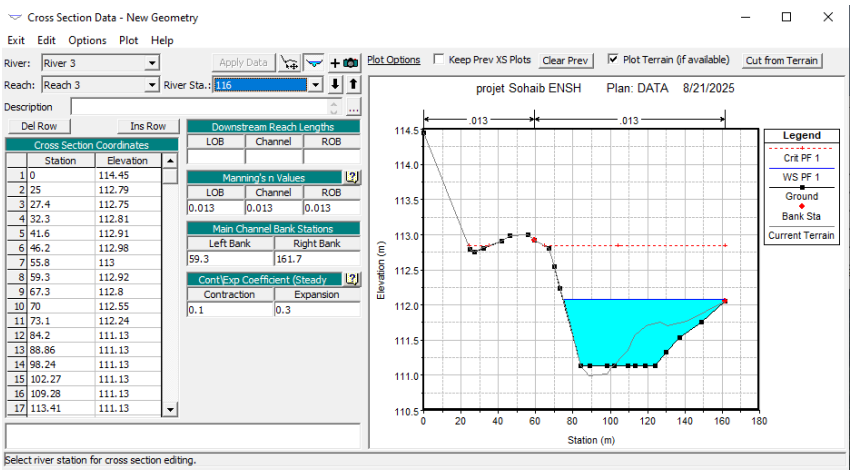


Figure 5.12 : Profil en travers du River 3 en aval.

Remarque : Les résultats de la simulation HEC-RAS sont résumés dans l'annexe (**4.5**).

5.3 Conclusion :

L'étude menée a permis de démontrer que l'approche mixte, combinant l'utilisation de gabions et de béton armé, constitue une solution optimale pour l'aménagement de l'oued étudié. Les simulations réalisées sous HEC-RAS ont confirmé la pertinence de ce choix, en mettant en évidence la capacité des gabions à stabiliser efficacement les sections instables et étroites, tout en réduisant les coûts, et l'aptitude du béton armé à assurer la résistance et la sécurité hydraulique dans les tronçons les plus sollicités.

Ainsi, le projet proposé ne se limite pas à une simple comparaison de variantes, mais s'inscrit dans une démarche plus innovante, où la complémentarité des solutions permet d'obtenir un aménagement à la fois performant, durable et économiquement équilibré. Cette stratégie répond aux exigences techniques et aux contraintes locales, tout en offrant une meilleure adaptabilité aux réalités du terrain.

Chapitre 6

Organisation des Travaux du Chantier

Introduction :

La planification d'un chantier implique l'instauration des ressources nécessaires pour effectuer les travaux dans les conditions optimales, en maximisant la productivité et en minimisant les dépenses. Une connaissance approfondie du site facilite une planification efficace de l'utilisation des machines, tout en respectant les restrictions d'espace et de temps. Par conséquent, une gestion rigoureuse aide à minimiser le coût total du projet.

Ce genre de constructions présente d'importants défis, cependant, indépendamment de la nature des problèmes rencontrés, une gestion précise de l'organisation du chantier est indispensable.

Afin d'atteindre ces buts, il est approprié de :

- Identifier précisément les méthodes d'exécution et les procédures pour appliquer les techniques contemporaines de construction à haute productivité ;
- Assigner et orchestrer les tâches en utilisant une main-d'œuvre spécialisée ;
- Structurer efficacement les postes de travail afin de favoriser une mécanisation toujours plus avancée ;
- Établir avec précision la quantité, la compétence et le coût de la main-d'œuvre requise.

6.1 Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier :

Pour mieux comprendre le déroulement du chantier d'aménagement d'un oued, il convient tout d'abord de présenter les rôles des principaux intervenants dans le processus de construction.

- **Le maître de l'ouvrage :** C'est la personne physique ou morale pour le compte de qui le projet est réalisé. Il définit les objectifs, fixe le budget, choisit les intervenants et assure le financement. Il prend les décisions essentielles tout au long du chantier, suit l'avancement et réceptionne l'ouvrage une fois terminé.

- **Le maître d'oeuvre :** Le maître d'œuvre est chargé de la conception, de la coordination et du suivi technique du projet. Il traduit les besoins du maître de l'ouvrage en solutions réalisables, conçoit les plans, les documents techniques et assure le respect du budget, des délais et de la qualité des travaux. Il veille également à la bonne exécution du chantier en coordonnant les différents intervenants.

- **L'entrepreneur :** Personne physique ou morale, titulaire d'un marché de travaux conclu avec le maître d'ouvrage. Il est chargé de l'exécution des travaux, et par fois de la conception détaillée des ouvrages. L'entrepreneur est responsable du chantier et de l'ouvrage en cours de construction tant que celui-ci n'a pas été réceptionné.

6.2 Installation du chantier

6.2.1 Installations destinées au personnel

Ces installations regroupent l'ensemble des aménagements nécessaires au confort, à la santé et à la sécurité des travailleurs sur le chantier.

Elles comprennent notamment : les bureaux administratifs, les vestiaires et sanitaires, le réfectoire, ainsi que les locaux de repos.

6.2.2 Installations destinées au stockage des matériaux

- **Agrégats :**

Les agrégats utilisés pour la fabrication du béton (sable et gravier) doivent faire l'objet d'un contrôle rigoureux dès leur réception sur le chantier. Leur granulométrie sera vérifiée par des prélèvements d'échantillons afin de garantir la qualité et la résistance du béton.

Ils doivent être stockés séparément, en disposition en étoile, afin d'éviter toute erreur de dosage liée aux différences de densité. Leur teneur en eau doit également être contrôlée régulièrement, compte tenu des variations climatiques pouvant l'influencer.

- **Le ciment et les aciers**

Le ciment doit être entreposé dans un lieu sec et bien aéré afin d'éviter toute prise prématurée due à l'humidité. Un contrôle de sa date de fabrication et de sa conformité aux normes est requis à la réception. Quant aux aciers, ils doivent être stockés à l'abri de l'eau et de la boue afin de prévenir la corrosion. Un contrôle des diamètres, des longueurs et des propriétés mécaniques est également nécessaire avant leur mise en œuvre.

- **L'eau de gâchage**

L'eau utilisée pour le béton doit respecter les normes internationales : Matières organiques : 0,1 (g/l), Matières en suspension : 0,2 (g/l), Sels dissous : 1,5 (g/l), Sulfates : 1,0 (g/l), Acide humique : 0,05 (g/l), Acide sulfhydrique : 0,05 (g/l), Chlorures : 0,1 (g/l).

- **Le béton :**

Le béton employé doit présenter une résistance à la compression de 28 jours conforme aux normes en vigueur. Il est constitué de sable, gravier, ciment hydraulique et eau.

- **Énergie électrique :**

L'alimentation en électricité sera assurée par un groupe électrogène. Le raccordement au réseau de moyenne tension (SONELGAZ) n'est pas jugé nécessaire pour ce chantier.

- **L'alimentation en eau potable**

L'approvisionnement sera garanti par un réservoir de stockage dimensionné pour couvrir les besoins journaliers du chantier. Ce réservoir sera régulièrement alimenté afin d'assurer une disponibilité continue de l'eau, aussi bien pour le personnel que pour les travaux.

- **L'alimentation en carburant**

L'approvisionnement se fera par camions-citernes. Le stockage du carburant sera assuré dans des réservoirs enterrés, équipés d'un dispositif de pompage sécurisé.

6.2.3 Installations destinées à la réparation des engins :

Les réparations majeures ne sont généralement pas effectuées directement sur le chantier. Cependant, il est indispensable de disposer d'un atelier bien équipé pour assurer l'entretien régulier et les réparations urgentes des engins et équipements utilisés.

6.2.4 Installations pour la préfabrication :

Il s'agit généralement de hangars équipés du matériel nécessaire à la réalisation d'éléments préfabriqués de l'ouvrage, tels que : poutres, dalles, conduites ou murettes.

6.3 Les moyens de chantier :

6.3.1 Les moyens humains :

Sur le plan des ressources humaines, il est essentiel de démontrer la mobilisation d'un personnel qualifié et expérimenté, capable d'assurer à la fois les études préalables et l'exécution des travaux. Chaque intervenant doit être identifié par son intitulé de poste, ses compétences techniques ainsi que son expérience professionnelle. La mise en place d'une telle organisation garantit le bon déroulement du chantier, le respect des délais ainsi que la qualité des réalisations.

6.3.2 Moyens matériels :

Le matériel prévu pour ce projet regroupe les équipements standards couramment utilisés dans les chantiers de travaux publics. Pour chaque engin, il convient de préciser la marque, le type, la puissance, le rendement ainsi que le nombre d'unités mobilisées. Il est également indispensable de définir leur mode d'intervention en fonction du phasage des travaux.

Les principaux engins utilisés comprennent :

- **Pelleteuses (excavatrices) :** destinées au terrassement du sol et au creusement du canal ;
- **Bulldozers :** utilisés pour le nivellement du terrain et la préparation de la plateforme avant le bétonnage ;
- **Camions-bennes :** pour le transport des matériaux excavés, du sable, du gravier et du béton ;
- **Compacteurs vibrants :** pour assurer le compactage des remblais et de la couche de fondation avant bétonnage ;
- **Camions malaxeurs (centrales à béton mobiles) :** pour la production et l'acheminement du béton frais jusqu'au site ;
- **Pompes à béton :** permettant l'acheminement du béton vers les zones difficiles d'accès, notamment dans le canal ;
- **Finisseurs de béton (règles vibrantes, lisseuses) :** pour garantir une mise en place homogène et une finition régulière du béton.

Cette combinaison de moyens humains et matériels permet d'optimiser le déroulement du chantier et d'assurer la qualité technique de l'ouvrage.

6.4 Estimation du coût du projet :

Le devis de la variante mixte est établi à partir des quantités issues des profils en travers et des calculs de terrassement (déblai/remblai) obtenus sous HEC-RAS. Pour la partie en béton armé (oued 3), le dimensionnement économique retient une épaisseur moyenne de 15 cm pour le revêtement et une couche de béton de propreté de 5 cm. Pour les tronçons protégés en gabions (oueds 1 et 2), les volumes sont évalués sur la base d'unités standards (casiers 2×1×1 m et 1×1×1 m selon les hauteurs de berge).

Ainsi, le tableau suivant présente de manière synthétique l'ensemble des quantités estimées ainsi que l'évaluation du coût global de la variante retenue.

Tableau 6.1 : Devis quantitatif et estimatif de la variante.

Désignation	**Unité**	**Quantité**	**Prix Unitaire (DA)**	**Montant (DA)**
Déblai	m^3	194671	300	58 401 300
Remblai	m^3	17980	200	3 596 000
Béton de propreté dosé à 150 kg/m^3	m^3	6120	15000	91 800 000
Béton armé dosé à 350 kg/m^3	m^3	18350	35000	642 250 000
Casier de Gabion	U	18530	6500	120 445 000
			Total	**898 492 300**
			TVA 19%	**170 713 537**
			Total TTC	**1 069 205 837**

Arrêté le présent devis à la somme de : **un milliard soixante-neuf millions deux cent cinq mille huit cent trente-sept dinars algériens.**

6.5 Planification des travaux :

La planification des travaux constitue une étape essentielle pour assurer le bon déroulement du projet d'aménagement. Afin de structurer les différentes phases de réalisation, d'optimiser l'utilisation des ressources et de maîtriser les délais, l'outil MS Project a été utilisé. Ce logiciel a permis d'élaborer un diagramme de Gantt détaillé, représentant la séquence des tâches, leurs interdépendances et les durées prévues. L'intégration de cet outil dans l'étude garantit une meilleure organisation du chantier, une anticipation des contraintes et une vision claire de l'évolution des travaux. La figure ci-après illustre la planification établie.

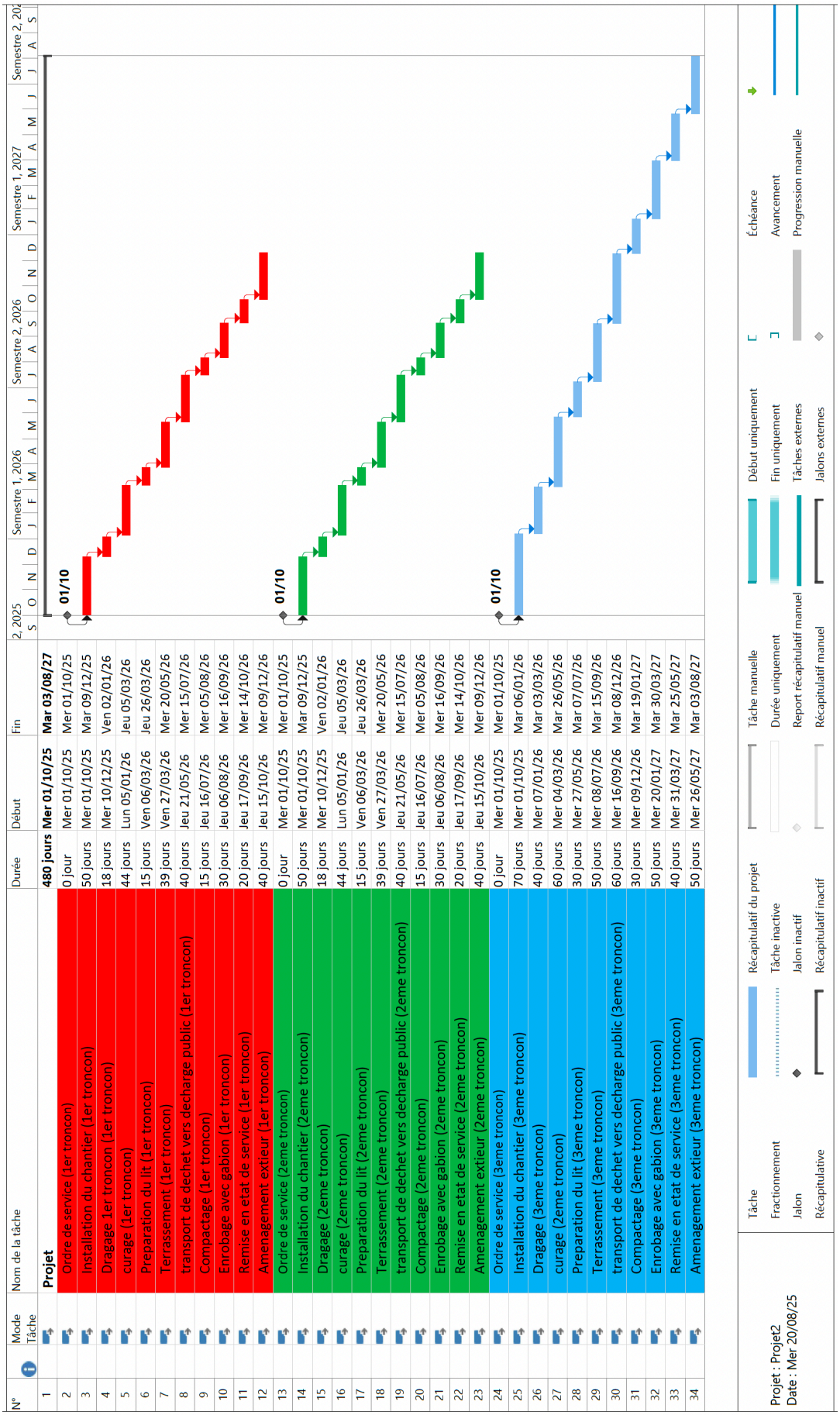


Figure 6.1 : Planification des travaux avec MS Project.

6.6 Conclusion :

D'après l'étude de ce présent chapitre, on peut conclure que l'organisation des travaux du chantier pour réaliser le projet d'aménagement est nécessaire à établir dans l'étude , permet de définir tout le volume des travaux nécessaires pour l'élaboration du chantier. D'autre part, on peut avoir un devis estimatif sur le coût total du projet ainsi que les délais de réalisation. L'organisation des travaux du chantier définit aussi tous les moyens humains et matériels utilisés dans le chantier sur la base des cadences et des critères économiques .

Chapitre 7

Etude d' Impacts sur l'Environnement (EIE)

Introduction :

La réalisation de l'aménagement sera effectuée en totalité sur le territoire de la commune d'Ighzer Amokrane.

La réalisation, puis l'exploitation de cet aménagement auront des impacts, tant sur le milieu humain que sur le milieu biologique. La plupart des impacts négatifs prévus apparaîtront au moment de la construction, puisqu'ils sont directement reliés à l'aménagement des différents sites. Quant aux impacts positifs, ils apparaîtront lors de l'exploitation des différents aménagements.

7.1 Identification des impacts potentiels sur l'environnement :

7.1.1 Évaluation des impacts pendant la période de chantier :

Le présent chapitre identifie les impacts potentiels liés à la phase de construction des retenues, de la centrale hydro-électrique et de l'aménagement de l'oued Ighzer Amokrane.

7.1.1.1 Caractéristiques de l'écoulement :

Cet impact concerne essentiellement la réalisation de la digue du barrage et éventuellement la station hydro-électrique.

Au stade de dégagement de voie, le réseau existant sollicité enregistrera sûrement des perturbations dues aux mouvements tournant des engins vue que ces réalisations s'effectueront sur les chemins communaux passant par des zones urbaines,

Ces perturbations peuvent être accentuées par les risques de déversement de flaques d'huile et d'autres matériaux.

Les nuisances dépendront essentiellement de l'état des véhicules, leurs charges, les conditions de circulation, le profil et le revêtement de la voie traversée. Toutefois, la mise en place de mesures efficaces atténuera significativement ces impacts. Cette opération n'affectera que temporairement et sur une durée courte, la commune du projet.

Cependant, il est important de distinguer entre les perturbations portées sur les mouvements des véhicules et le mouvement de la population piétonne, du fait que le déplacement non motorisé subit d'important impact notamment dans les zones urbaines.

En effet, les déviations peuvent allonger considérablement la durée des trajets, affectant la population productive. Les trajets scolaires et les transporteurs de marchandises percevront aussi, l'augmentation des risques d'accidents.

De plus, ces travaux de construction représentent une menace considérable pour la sécurité du · public. Ces menaces sont :

- Le mouvement et l'exploitation de l'équipement lourd à l'intérieur du site ;

- Le mouvement de l'équipement lourd vers le site et à partir du site ;

- Les matériaux stockés ;

- L'utilisation de l'emprise pendant la phase de construction et surtout le bruit, pour l'accès local.

L'impact est alors considéré comme une perturbation dont l'importance est jugée comme moyenne.

7.1.1.2 Impacts liés aux travaux d'aménagement des sites et des bases vie :

A. Impacts liés aux travaux d'aménagement :

Toutes les activités de construction du transfert seront effectuées dans une zone de travail bien définie (site du barrage, de la station hydro-électrique et de l'aménagement de l'oued). Ces zones de travail engloberont les lieux d'implantations de l'ensemble d'ouvrages ainsi que leurs constructions :

- Les pistes d'accès à la construction de l'ensemble desouvrages ;

- Les zones de stockage des déblais ;

- Les zones de travail ;

- Les zones de travail pour la construction de l'ensemble des ouvrages seront dégagées et débarrassées de tous les obstacles (arbres, broussailles et autres végétations). Ils seront défrichés et nivelées pour permettre la circulation des machines et des équipements nécessaires pour la construction de l'ensemble des ouvrages sans aucune gêne ;

- Les accès seront construits à l'intérieur de la zone de travail, elles seront utilisées pour le passage des véhicules.

Les installations de chantier peuvent, être une source de pollution non négligeable par envol de poussières provenant des stocks de matériaux ou de l'activité des installations classées (stations de concassage, centrales à béton...).

En outre, ces poussières ou ces fumées sont susceptibles :

- d'occasionner des dommages aux bâtiments ;

- de provoquer une gêne ou un danger pour les usagers des infrastructures riveraines ;

- d'avoir un impact sur les végétaux et les animaux se trouvant aux abords du chantier, ainsi que sur les sols ;

- dans des cas plus rares, d'être à l'origine d'une intoxication humaine par inhalation (liants hydrauliques).

Dans cette phase, des nuisances dus aux vibrations émises par les engins circulant sur les pistes de chantier, et la réalisation de terrassements rocheux.

B. Impacts lié aux bases de vies et aux zones de stockage des matériaux :

Les bases vie intègrent toutes les contraintes de tous les corps de métiers qui seront présents dans les chantiers. Elles permettent également d'accueillir les travailleurs dans les meilleures conditions. Les bases vie se trouvent généralement à proximité des zones de stockage des différents matériaux nécessaires au chantier et des zones de parking pour les engins.

Les principales sources d'impacts liées aux bases vies et aux zones de stockage des matériaux se résument en :

- La mauvaise gestion des eaux usées et des déchets ;

- La mauvaise manipulation des produits dangereux ;

- Les risques d'accidents pour le personnel.

Néanmoins, ces impacts ne se présentent pas d'une façon permanente. Ils sont maîtrisables par la mise en place de bonnes pratiques sur le chantier qui permettent d'éviter tous les risques qui conduisent à l'apparition de ces impacts.

Les travaux de préparation du site génèrent une perturbation dont l'importance de l'impact est considérée comme moyen.

7.1.1.3 Impacts lié aux bases de vies et aux zones de stockage des matériaux :

Durant le chantier de construction, plusieurs activités peuvent générer des émissions atmosphériques.

Les principales sources identifiées sont les suivantes :

- Gaz d'échappement d'engins sur le site (camions hors-route, excavatrices, etc.) ;

- Poussières générées par la manutention (chargement, déchargement) du matériel de remblais et d'excavation. Ces émissions seront amplifiées par le vent ;

- Poussières générées par la circulation du matériel roulant sur le site du chantier ;

- Les émissions reliées à la manutention des matériaux (sable, gravier, ciment) pour la préparation du béton.

7.1.2 Impact sismique :

Comme cela a été défini dans le chapitre relatif à l'état initial de la région, la zone du projet présente une intensité sismique moyenne, induisant un risque non négligeable, à prendre en considération, lors du dimensionnement des différents ouvrages à réaliser.

Cet important d'importance moyenne , devra être pris en considération, lors des travaux de réalisation.

7.1.3 Impact sur les sols :

Les travaux de réalisation des travaux d'aménagement de l'Oued Ighzer Amokrane et des ouvrages annexes occasionneront l'excavation de quantités de terre et modifieront les propriétés physiques (densité, profondeur, structure, etc.) et chimique (fertilité, etc.) du sol, et ce notamment si, lors des travaux, le sol est humide ou saturé en eau.

Le passage répété d'engins et de camions entraînera un compactage du sol.

Les sols des différents sites des ouvrages seront également impactés par les constructions. Le déboisement, l'aménagement des accès et la gestion des déblais risquent d'apporter des modifications au profil du sol et favoriser leur érosion. Ainsi, la couche arable du sol risque de se mélanger aux autres horizons de sols pauvres en matières organiques.

7.1.4 Impact sur le ressources hydriques :

Les différentes phases des travaux nécessaires à la construction des ouvrages (le déboisement à l'intérieur de l'emprise, l'essouchement, le nivellement, le terrassement, l'aménagement de remblais et déblais, le passage par des ponts et ponceaux) sont toutes des sources d'impacts susceptibles d'entraîner une dégradation temporaire de la qualité des eaux. Mentionnons également les risques associés à un déversement accidentel d'hydrocarbures en raison de la présence de la machinerie sur le site. Ces différentes sources d'impact sont fortement influencées par les conditions locales telles que le type de dépôt meuble, la pente, les conditions hydrologiques et météorologiques, de même que le type de matériel granulaire utilisé, le calendrier des travaux ainsi que le type de machinerie présente sur le site.

L'ensemble de ces facteurs est susceptible d'entraîner une dégradation temporaire de la qualité des eaux situées en aval de la zone des travaux par une mise en suspension de sédiments fins dans les cours d'eau, entraînant ainsi une augmentation du niveau de turbidité.

Les cours d'eau situés au bas d'une forte pente ou à l'intérieur d'une dépression, encaissés dans un matériel friable, sont plus susceptibles de recevoir une quantité importante de sédiments. Les eaux de ruissellement seront drainées vers ces cours d'eau, entraînant par l'érosion le matériel présent dans le talus. Durant les travaux d'aménagement, les besoins en eau ne seront pas très importants (chantier, eau d'arrosage/compactage, etc.). L'essentiel des ressources en eau devrait provenir du citernage. Ces prélèvements ne pourraient donc pas perturber la qualité de ces cours d'eaux, mais n'auront pas d'effets majeurs dans la consommation des populations locales.

L'impact sur le réseau hydrique est jugé moyen.

7.1.5 Impact sur le milieu humain :

La réalisation des ouvrages du projet induira une restriction à l'utilisation des biens privés.

Cette restriction correspond à une dépossession du terrain et fait l'objet d'un accord amiable avec chaque propriétaire concerné, qui sera indemnisé en veillant à respecter la législation algérienne prévue à cet effet (Loi N°91-11 du 27/04/1991).

Par ailleurs, on note les nuisances reliées aux bruits et vibrations produits par les camions et les équipements lourds circulants en direction ou en provenance du chantier, à la poussière causée par les déplacements de ces véhicules sur le site, à la production de déchets et rebuts divers, à l'augmentation des matières en suspension dans les eaux de surface, ainsi qu'au danger relié à la circulation de machinerie lourde.

Par ailleurs, ces impacts seront relativement faibles sur le milieu humain car la réalisation n'occasionnera pas de pertes de constructions.

7.1.6 Impact socio-économique :

Durant la période de réalisation de ce projet (36 mois au minimum) , plusieurs centaines de personnes se succéderont et travailleront dans la région, apportant ainsi une contribution temporaire à l'économie locale.

Cette contribution s'opérera par le biais de :

- Les achats locaux de matériaux et fournitures pour le chantier (matériaux de construction, carburants, etc…) ;

- La sollicitation du commerce local et des structures d'hébergement pour les intervenants sur le chantier ;

- L'embauche temporaire de main d'œuvre locale.

L'impact socio-économique est une bonification forte, d'intensité forte, d'une durée moyenne, soit un indice durée/intensité fort, d'étendue locale, soit un impact d'importance forte.

7.2 Impacts potentiels durant la période d'exploitation :

7.2.1 Impact liés à la mise à disposition d'eau potable :

La réalisation de ces ouvrages de captage est un investissement qui représente une amélioration substantielle de la qualité de vie des citoyens, au vu des déficits estimés à 11,22%, 22,12%, 31,28% et 39,06% , à partir de l'année 2035 jusqu'à 2050.

7.2.2 Impact liés à la mise à disposition d'irrigation :

La réalisation de la retenue collinaire, dont les eaux sont destinées exclusivement à l'irrigation, peut s'avérer comme un réel vecteur de développement agricole de la région par une efficience de la production au moindre coût.

7.2.3 Impact sur le patrimoine ornithologique :

Les plans d'eau du barrage sont des zones calmes et protégées. Ils se révèlent souvent un lieu privilégié pour l'hivernage des oiseaux d'eau et le passage des oiseaux migrateurs donc la réalisation de deux barrages et de la retenue peuvent contribuer à la protection des espèces rares.

7.2.4 Impacts liés à l'exploitation de la station hydroélectrique :

Les impacts positifs qu'offrent l'exploitation d'une centrale hydroélectrique sont multiples :

- L'énergie hydroélectrique est une énergie propre (renouvelable) ;

- Aucune consommation de ressources ;

- Rejet infime de dioxyde de carbone ;

- Production élevée d'électricité possible et permettant ainsi de combler le déficit au niveau de la Wilaya de Béjaia, estimée à 8% ;

- Débit d'eau (et donc d'électricité) contrôlable ;

- La gestion des cours d'eau permet le contrôle des crues : - en période de sécheresse, on lâche de l'eau - en période d'inondation, on retient le surplus d'eau ;

- Apports économiques : - embauche des ouvriers.

7.2.5 Impact lié à la création de plan d'eau :

L'exploitation d'un barrage est un bienfait, car il favorise la création d'aires dédiées aux loisirs, tourisme, pêche et pisciculture et en fournissant l'infrastructure pour les aires de pique-nique.

Et en deuxième lieu et vu l'importante de sa surface et son rôle d'écotone, l'oued Soummam et ses affluents (dont l'oued Ighzer amokrane) améliorera substantiellement le nombre d'espèces répertoriées (près de 36% des espèces de poissons des eaux continentales Algériennes).

7.2.6 Impact lié à l'aménagement des berges de l'Oued Ighzer Amokrane :

L'aménagement des berges de l'Oued Ighzer Amokrane impactera positivement le comportement morphologique de son cours d'eau, l'érosion de ces berges et la protection contre les inondations.

Tout cela dans le but de protéger les vies humaines, les biens publics et privés, créer des nouveaux espaces pour l'urbanisme, respecter l'aspect environnemental et promouvoir le développement local.

7.2.7 Impact lié au risque encouru à l'aval en cas de rupture éventuelle de l'un des deux barrages :

Le phénomène de rupture de barrage correspond à une destruction partielle ou totale d'un barrage. Les causes de rupture peuvent être diverses :

- Techniques : défaut de fonctionnement des ouvrages (vannes, déversoirs,...) permettant l'évacuation des eaux, vices de conception, de construction ou de matériaux, vieillissement des installations ;

- Naturelles : séismes, crues exceptionnelles, glissements de terrain (soit de l'ouvrage lui-même, soit des terrains entourant la retenue et provoquant un déversement sur le barrage) ;

- Humaines : insuffisance des études préalables et du contrôle d'exécution, erreurs d'exploitation, de surveillance et d'entretien, malveillance.

Le phénomène de rupture de barrage dépend des caractéristiques propres du barrage. Ainsi, la rupture peut être :

- Progressive : mais rapide dans le cas des barrages en remblais, par érosion régressive, suite à une submersion de l'ouvrage ou à une fuite à travers celui-ci ;

- Brutale : dans le cas des barrages en béton, par renversement ou par glissement d'un ou plusieurs plots.

Une rupture de barrage entraîne la formation d'une onde de submersion se traduisant par une élévation brutale du niveau de l'eau à l'aval et dans la vallée.

Les conséquences sur les personnes et les biens Les dommages suivants sont occasionnés :

- Dommages humains : noyades, ensevelissement, personnes blessées, isolées ou déplacées, et conséquences sanitaires après l'événement,

- Dommages économiques : destruction et détérioration des habitations, des entreprises, des ouvrages (routes, ponts, etc.), du bétail, des cultures, paralysie des services publics, bilan financier très lourd ;

- Dommages environnementaux : destruction de la faune et de la flore, disparition du sol cultivable, pollutions , dépôts de déchets, boues, débris etc..

Néanmoins, une compilation analytique du phénomène de ruptures de barrages montre que sur les 40.000 barrages existants à travers le monde ; seuls 150 ont fait l'objet de ruptures occasionnant des pertes humaines.

En Algérie, ce phénomène a été observé en 1881, sur le barrage de Fergoug.

7.3 Conclusion :

La réalisation de l'aménagement sera effectuée en totalité sur le territoire de la commune d'Ighzer Amokrane. La réalisation, puis l'exploitation de cet aménagement auront des impacts, tant sur le milieu humain que sur le milieu biologique. La plupart des impacts négatifs prévus apparaîtront au moment de la construction, puisqu'ils sont directement reliés à l'aménagement des différents sites. A ce titre , il est important de dégager des mesures compensatoires qui auront pour but de compenser les impacts résiduels du projet sur l'environnement qui n'ont pu être évités ou réduits par d'autres moyens. Ces mesures doivent être durables et effectives sur le long terme et pour toute la durée de vie de l'aménagement.

Conclusion Générale

Le présent mémoire a porté sur l'étude du risque d'inondation dans la ville d'Ouzellaguen, provoqué par les crues de l'oued Ighzer Amokrane. Ce phénomène naturel, amplifié par les caractéristiques hydrologiques du bassin et par le développement urbain, constitue une menace importante pour la population et les infrastructures locales.

Pour analyser et comprendre ce problème, nous avons suivi une démarche méthodologique reposant sur trois axes complémentaires : topographique, hydrologique et hydraulique. Différents outils numériques ont été mobilisés dans ce cadre, tels que ArcGIS pour l'analyse spatiale, HEC-HMS pour la modélisation hydrologique, HEC-RAS pour la simulation hydraulique, AutoCAD et Covadis pour l'élaboration des profils en long et en travers, ainsi que MS Project pour la planification et l'organisation du projet.

Les simulations réalisées ont permis de délimiter les zones vulnérables et d'évaluer l'ampleur des débordements de l'oued en période de crue. À la lumière de ces résultats, nous avons proposé une variante d'aménagement répondant aux critères techniques, économiques et fonctionnels, et offrant une solution efficace pour réduire le risque d'inondation dans la zone d'étude.

Bien que ce travail demeure une contribution modeste, il met en évidence l'importance d'une approche intégrée pour la gestion des crues et la protection durable des zones urbanisées. Toutefois, la réussite de tels aménagements dépendra également d'une maintenance régulière et d'une prise en charge rigoureuse par les autorités locales afin d'assurer leur efficacité et leur pérennité.

En conclusion, nous espérons que cette étude constituera une base utile pour des projets futurs et contribuera à renforcer la résilience de la ville d'Ouzellaguen face aux crues de l'oued Ighzer Amokrane.

Références Bibliographiques

APC d'Ouzelaguen. *État récapitulatif R.G.P.H 2020 de la commune d'Ouzelaguen* [document interne]. Ouzelaguen : APC, 2020.

APC d'Ouzelaguen. *Monographie de la commune d'Ouzelaguen* (Arrêtée au 30/06/2018) [document interne]. Ouzelaguen : APC, 2018.

APC d'Ouzelaguen. *Plan de Développement, Aménagement et Urbanisme (PDAU) de la commune d'Ouzelaguen* [document interne]. Ouzelaguen : APC, s.d.

APC d'Ouzelaguen. *Rapport des données Socio-Économiques de la commune d'Ouzelaguen* (Arrêté le 08/10/2019) [document interne]. Ouzelaguen : APC, 2019.

ASAL. *Site officiel de l'Agence Spatiale Algérienne* [en ligne]. [s.d.] [consulté le 2 Mai 2025]. Disponible sur : https://asal.dz

C-PRIM. *Crues et inondations* [en ligne]. [s.d.] [consulté le 27 Avril 2025]. Disponible sur : https://www.c-prim.org/connaitre-risques/crues-et-inondations/

COSTECL34. *Les risques majeurs : Inondations* [en ligne]. [s.d.] [consulté le 27 Avril 2025]. Disponible sur : https://costecl34.free.fr/Risques/Les%20risques%20majeurs%20inondations.htm

ENAC/ISTE/HYDRAM HYDROTHÈQUE. *Base de données d'exercices en Hydrologie – Cours : Hydrologie Générale / Thématique : Bassin versant - Délimitation d'un bassin versant et calcul de ses caractéristiques morphologiques – Application au bassin du Parimbot à Eschiens (FR, Suisse)*. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2003. [en ligne]. [s.d.] [consulté le 14 Mars 2025]. Disponible sur : https://hydram.epfl.ch/hydrotheque

Hassane2010 HASSANE, M. *Cours d'hydraulique*, 4ème année ENSH, 2009/2010. [en ligne]. [s.d.] [consulté le 18 Mai 2025]. Disponible sur : http://ensh.dz/cours/hydraulique

LE DELLIOU, Patrick. *RT 4 – Rupture de barrage* [en ligne]. Mémento du maire et des élus locaux, décembre 2020 [consulté le 27 Avril 2025]. Disponible sur : https://www.mementodumaire.net/risques-technologiques/rt-4-rupture-de-barrage/

PRÉFECTURE D'INDRE-ET-LOIRE. *Dossier d'information communal sur les risques majeurs (DICRIM)* [en ligne]. 2022 [consulté le 10 avril 2025]. Disponible sur : https://www.indre-et-loire.gouv.fr/content/download/2246/10768/file/Dossier+d'information.pdf

SELTZER, P. *Climat de l'Algérie*. Institut de Météorologie et de Physique du Globe de l'Algérie, Éd. Impr. La Typo et Jules Carbonnel Réunies, 1946. [en ligne]. 2022 [consulté le 10 Mars 2025]. Disponible sur : http://www.meteo.dz/bibliotheque/climat-algerie-1946

SYNDICAT DES EAUX ET DE L'ASSAINISSEMENT ALSACE-MOSELLE. *Les risques d'inondations* [en ligne]. [s.d.] [consulté le 27 Avril 2025]. Disponible sur : https://www.sdea.fr/index.php/fr/l-eau/les-inondations/les-risques-d-inondations

TOUAÏBIA, B. *Érosion – Transport solide – Envasement des barrages, cas du bassin versant Mina*, Thèse de Doctorat d'État, INA, El-Harrach, Algérie, 2000. [en ligne]. [s.d.] [consulté le 13 Avril 2025]. Disponible sur : http://www.ina.dz/bibliotheque/theses/touaibia2000

TOUAÏBIA, B. *Manuel pratique d'Hydrologie*, 2ème édition, Mars 2015. [en ligne]. [s.d.] [consulté le 13 Avril 2025]. Disponible sur : http://www.hydrologie-dz.org/ouvrages/touaibia2015

Université de Chlef. *Hydraulique* [en ligne]. Master 1 : Génie Civil. Département Génie Civil et Aménagement. [s.d.] [consulté le 06 Juin 2025]. Disponible sur : https://www.univ-chlef.dz/FGCA/wp-content/uploads/2023/07/Hydraulique-GC-M1-Bouderbala-Abdelkader.pdf

Université de Chlef. *Hydraulique Fluviale* [en ligne]. Master 1 : Eau et Environnement. Département Eau, Environnement et Développement Durable. [s.d.] [consulté le 05 Juin 2025]. Disponible sur : https://www.univ-chlef.dz/fsnv/wp-content/uploads/MASTER-1-EAU-ET-ENVIRONNEMENT-COURS-ECOULEMENT-FLUVIAL.pdf

USACE HEC. *HEC-HMS Tutorials and Guides* [en ligne]. [s.d.] [consulté le 22 Mai 2025]. Disponible sur : https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsguides

Annexes

Annexe 4.1 : Les résultats de la simulation de l'oued (River 1) à l'état naturel.

River	T (année)	River Sta	Q Total	Cote du fond	Elev eaux	Cote critique	Cote energie	Pente	V	S mouillé	L mouille	Froude
			(m^3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m^2)	(m)	
River 1	200 ans	45	300,5	213,23	215,08	216,03	218,49	0,061586	8,13	37,14	34,71	2,44
River 1	100 ans	45	269,5	213,23	215	215,91	218,15	0,061356	7,76	34,65	34,1	2,41
River 1	50 ans	45	237,4	213,23	214,92	215,77	217,78	0,061131	7,36	31,97	33,44	2,38
River 1	20 ans	45	194,9	213,23	214,81	215,55	217,26	0,060781	6,76	28,26	32,49	2,32
River 1	10 ans	45	162,5	213,23	214,72	215,33	216,82	0,05968	6,23	25,37	31,73	2,26
River 1	5 ans	45	129	213,23	214,62	215,13	216,34	0,057606	5,6	22,24	30,89	2,17
River 1	200 ans	145	300,5	220,01	221,51	222,63	227,71	0,120674	12,56	30,16	37,69	3,51
River 1	100 ans	145	269,5	220,01	221,45	222,5	227,33	0,120691	12,18	27,90	37,05	3,48
River 1	50 ans	145	237,4	220,01	221,38	222,37	226,93	0,120873	11,74	25,45	36,34	3,45
River 1	20 ans	145	194,9	220,01	221,28	222,18	226,40	0,121544	11,12	21,98	35,32	3,41
River 1	10 ans	145	162,5	220,01	221,19	222,03	225,95	0,124442	10,58	18,67	31,42	3,40
River 1	5 ans	145	129	220,01	221,07	221,85	225,45	0,130416	9,98	15,33	27,72	3,41
River 1	200 ans	245	300,5	230,04	231,32	232,66	236,22	0,065098	6,69	31,70	21,82	2,36
River 1	100 ans	245	269,5	230,04	231,22	232,48	235,76	0,063901	6,28	29,58	21,45	2,31
River 1	50 ans	245	237,4	230,04	231,12	232,26	235,25	0,062263	5,81	27,33	21,05	2,25
River 1	20 ans	245	194,9	230,04	230,97	231,97	234,52	0,059463	5,10	24,22	20,48	2,14
River 1	10 ans	245	162,5	230,04	230,84	231,71	233,93	0,056649	4,47	21,71	20,01	2,03
River 1	5 ans	245	129	230,04	230,70	231,44	233,26	0,052983	3,69	18,92	19,45	1,89
River 1	200 ans	298	300,5	233,43	234,52	236,08	240,97	0,089869	6,72	27,33	19,20	2,65
River 1	100 ans	298	269,5	233,43	234,40	235,87	240,56	0,093383	6,21	25,09	18,80	2,64
River 1	50 ans	298	237,4	233,43	234,27	235,66	240,12	0,098185	5,83	22,65	18,35	2,65
River 1	20 ans	298	194,9	233,43	234,08	235,35	239,49	0,106969	5,23	19,29	17,73	2,66
River 1	10 ans	298	162,5	233,43	233,93	235,08	238,97	0,116761	4,62	16,62	17,21	2,67
River 1	5 ans	298	129	233,43	233,76	234,80	238,38	0,132023	3,72	13,72	16,63	2,66
River 1	200 ans	345	300,5	239,47	241,15	242,14	245,37	0,077128	11,19	35,21	36,11	2,88
River 1	100 ans	345	269,5	239,47	241,09	242,02	245,01	0,076014	10,79	32,86	35,59	2,84
River 1	50 ans	345	237,4	239,47	241,01	241,88	244,62	0,074588	10,34	30,33	35,02	2,79
River 1	20 ans	345	194,9	239,47	240,91	241,70	244,09	0,072302	9,68	26,78	34,21	2,71
River 1	10 ans	345	162,5	239,47	240,83	241,52	243,66	0,070124	9,11	23,87	33,53	2,64
River 1	5 ans	345	129	239,47	240,73	241,33	243,20	0,067559	8,44	20,58	32,74	2,56
River 1	200 ans	445	300,5	245,30	247,52	248,77	252,01	0,057483	9,63	32,09	20,42	2,44
River 1	100 ans	445	269,5	245,30	247,41	248,57	251,58	0,057264	9,34	29,86	20,14	2,42
River 1	50 ans	445	237,4	245,30	247,29	248,36	251,13	0,057171	9,02	27,44	19,84	2,40
River 1	20 ans	445	194,9	245,30	247,12	248,07	250,51	0,057237	8,56	24,05	19,42	2,37
River 1	10 ans	445	162,5	245,30	246,98	247,83	250,00	0,057514	8,17	21,27	19,06	2,35
River 1	5 ans	445	129	245,30	246,81	247,56	249,44	0,057787	7,71	18,22	18,66	2,32
River 1	200 ans	545	300,5	252,68	254,24	255,53	259,17	0,075658	8,78	30,74	22,74	2,65
River 1	100 ans	545	269,5	252,68	254,15	255,34	258,70	0,075314	8,47	28,67	22,48	2,63
River 1	50 ans	545	237,4	252,68	254,05	255,14	258,19	0,074720	8,12	26,47	22,21	2,59
River 1	20 ans	545	194,9	252,68	253,91	254,87	257,47	0,073407	7,59	23,43	21,82	2,53
River 1	10 ans	545	162,5	252,68	253,80	254,65	256,88	0,071961	7,13	20,98	21,50	2,48
River 1	5 ans	545	129,0	252,68	253,67	254,38	256,23	0,069909	6,57	18,26	21,14	2,40
River 1	200 ans	645	300,5	261,34	262,84	264,04	268,21	0,099839	11,31	30,04	29,06	3,19
River 1	100 ans	645	269,5	261,34	262,75	263,88	267,85	0,102206	10,94	27,63	28,26	3,19
River 1	50 ans	645	237,4	261,34	262,66	263,73	267,45	0,105293	10,53	25,06	27,38	3,19
River 1	20 ans	645	194,9	261,34	262,53	263,51	266,89	0,110446	9,91	21,52	26,12	3,20
River 1	10 ans	645	162,5	261,34	262,42	263,32	266,42	0,115451	9,36	18,72	25,08	3,21
River 1	5 ans	645	129,0	261,34	262,29	263,10	265,88	0,122041	8,68	15,69	23,90	3,21
River 1	200 ans	745	300,5	269,15	271,26	272,29	275,12	0,051312	9,92	37,41	32,38	2,39
River 1	100 ans	745	269,5	269,15	271,18	272,17	274,79	0,050959	9,58	34,79	31,91	2,36
River 1	50 ans	745	237,4	269,15	271,09	272,03	274,45	0,050579	9,20	31,95	31,40	2,33
River 1	20 ans	745	194,9	269,15	270,96	271,83	273,97	0,050206	8,65	27,92	30,66	2,29
River 1	10 ans	745	162,5	269,15	270,85	271,51	273,60	0,050031	8,20	24,58	30,04	2,26
River 1	5 ans	745	129,0	269,15	270,72	271,35	273,20	0,050041	7,67	20,80	29,32	2,22
River 1	200 ans	845	300,5	276,24	277,71	278,69	281,90	0,086625	10,36	34,39	36,85	2,96
River 1	100 ans	845	269,5	276,24	277,64	278,56	281,57	0,087538	10,02	31,86	36,18	2,94
River 1	50 ans	845	237,4	276,24	277,56	278,44	281,21	0,088383	9,64	29,17	35,45	2,93
River 1	20 ans	845	194,9	276,24	277,45	278,24	280,68	0,088616	9,01	25,41	33,78	2,88
River 1	10 ans	845	162,5	276,24	277,36	278,10	280,21	0,087449	8,42	22,50	32,37	2,82
River 1	5 ans	845	129,0	276,24	277,27	277,89	279,65	0,083600	7,66	19.54	31,14	2,70
River 1	200 ans	300,5	945	283,4	285,3	286,14	288,44	0,048577	8,62	40,6	39,4	2,27
River 1	100 ans	945	269,5	283,4	285,2	286,01	288,25	0,050079	8,37	36,88	37,4	2,28
River 1	50 ans	945	237,4	283,4	285,1	285,88	288,02	0,051635	8,06	33,07	35,47	2,28
River 1	20 ans	945	194,9	283,4	284,94	285,69	287,7	0,054498	7,6	27,82	32,62	2,29
River 1	10 ans	945	162,5	283,4	284,81	285,53	287,45	0,058243	7,2	23,56	29,89	2,32
River 1	5 ans	945	129	283,4	284,65	285,36	287,15	0,064083	6,7	18,99	26,24	2,36
River 1	200 ans	1045	300,5	287,54	289,53	289,53	290,43	0,009092	4,46	72,48	39,6	1,03
River 1	100 ans	1045	269,5	287,54	289,42	289,42	290,25	0,00905	4,26	67,78	39,6	1,01
River 1	50 ans	1045	237,4	287,54	289,28	289,28	290,04	0,009127	4,06	62,4	39,6	1,01
River 1	20 ans	1045	194,9	287,54	289,09	289,09	289,76	0,009262	3,77	54,83	39,6	0,99
River 1	10 ans	1045	162,5	287,54	288,94	288,94	289,53	0,009211	3,51	48,95	39,6	0,97
River 1	5 ans	1045	129	287,54	288,77	288,77	289,28	0,009189	3,2	42,27	39,6	0,95

Annexe 4.2 : Les résultats de la simulation de l'oued (River 2) à l'état naturel.

River	T (année)	River Sta	Q Total	Cote du fond	Elev eaux	Cote critique	Cote energie	Pente	V	S mouillé	L mouille	Froude
			(m^3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m^2)	(m)	
River 2	200 ans	30	290,8	209,5	211,77	213,67	214,51	216,63	0,04117	8,44	39,88	2,11
River 2	100 ans	30	260,5	209,5	211,77	213,57	214,38	216,38	0,042366	8,22	36,79	2,12
River 2	50 ans	30	229,1	209,5	211,77	213,47	214,22	216,10	0,043558	7,96	33,54	2,12
River 2	20 ans	30	187,6	209,5	211,77	213,33	213,99	215,71	0,044964	7,55	29,14	2,12
River 2	10 ans	30	156	209,5	211,77	213,22	213,82	215,38	0,04589	7,18	25,63	2,11
River 2	5 ans	30	123,4	209,5	211,77	213,10	213,62	215,00	0,046458	6,71	21,81	2,09
River 2	200 ans	90	290,8	213,43	215,68	216,68	217,45	219,53	0,060218	4,63	39,41	2,09
River 2	100 ans	90	260,5	213,43	215,68	216,60	217,34	219,31	0,059363	4,35	36,25	2,05
River 2	50 ans	90	229,1	213,43	215,68	216,51	217,21	219,05	0,058167	4,03	32,95	1,99
River 2	20 ans	90	187,6	213,43	215,68	216,39	217,03	218,65	0,056231	3,55	28,52	1,91
River 2	10 ans	90	156	213,43	215,68	216,27	216,89	218,34	0,055586	3,14	24,81	1,84
River 2	5 ans	90	123,4	213,43	215,68	216,14	216,70	217,96	0,054565	2,63	20,87	1,75
River 2	200 ans	189	290,8	217,18	220,31	220,31	221,38	0,00771	5,19	65,71	31,66	1
River 2	100 ans	189	260,5	217,18	220,14	220,14	221,15	0,007772	5	60,55	30,62	0,99
River 2	50 ans	189	229,1	217,18	219,95	219,95	220,9	0,007967	4,81	54,74	29,41	0,99
River 2	20 ans	189	187,6	217,18	219,66	219,66	220,53	0,0084	4,54	46,59	27,62	1
River 2	10 ans	189	156	217,18	219,44	219,44	220,23	0,008584	4,26	40,58	26,22	0,99
River 2	5 ans	189	123,4	217,18	219,18	219,18	219,88	0,008959	3,93	33,91	24,58	0,99
River 2	200 ans	289	290,8	218,56	221,47		221,49	0,000027	0,85	474,67	59,88	0,07
River 2	100 ans	289	260,5	218,56	221,24		221,26	0,000023	0,78	460,92	59,11	0,07
River 2	50 ans	289	229,1	218,56	220,98		221	0,00002	0,71	445,98	58,26	0,06
River 2	20 ans	289	187,6	218,56	220,61		220,63	0,000015	0,61	424,86	57,03	0,05
River 2	10 ans	289	156	218,56	220,3		220,31	0,000012	0,53	407,29	56	0,05
River 2	5 ans	289	123,4	218,56	219,95		219,95	0,000008	0,44	387,54	54,81	0,04
River 2	200 ans	389	290,8	219,1	221,45	213,79	221,5	0,000075	1,19	317,77	46,15	0,12
River 2	100 ans	389	260,5	219,1	221,22	213,61	221,27	0,000065	1,1	307,28	45,44	0,11
River 2	50 ans	389	229,1	219,1	220,97	213,37	221,01	0,000056	1	295,9	44,69	0,1
River 2	20 ans	389	187,6	219,1	220,61	213,03	220,63	0,000044	0,86	279,85	43,57	0,09
River 2	10 ans	389	156	219,1	220,3	212,78	220,32	0,000034	0,75	266,53	42,6	0,08
River 2	5 ans	389	123,4	219,1	219,94	212,39	219,96	0,000025	0,62	251,62	41,5	0,07
River 2	200 ans	488	290,8	215,64	219,08	220,68	224,75	0,042746	11,9	30,08	16,49	2,28
River 2	100 ans	488	260,5	215,64	218,94	220,45	224,22	0,041988	11,42	27,93	16,03	2,24
River 2	50 ans	488	229,1	215,64	218,8	220,17	223,64	0,041134	10,88	25,62	15,52	2,2
River 2	20 ans	488	187,6	215,64	218,58	219,81	222,84	0,039924	10,1	22,37	14,77	2,13
River 2	10 ans	488	156	215,64	218,4	219,5	222,17	0,038872	9,42	19,73	14,14	2,08
River 2	5 ans	488	123,4	215,64	218,18	219,14	221,44	0,037947	8,65	16,72	13,17	2,01
River 2	200 ans	588	290,8	222,28	224,18	225,82	232,2	0,11767	12,83	23,96	20,49	3,47
River 2	100 ans	588	260,5	222,28	224,09	225,63	231,6	0,119817	12,39	22,14	20,16	3,46
River 2	50 ans	588	229,1	222,28	224	225,41	230,94	0,121936	11,88	20,22	19,82	3,45
River 2	20 ans	588	187,6	222,28	223,86	225,13	229,97	0,124151	11,09	17,61	19,34	3,41
River 2	10 ans	588	156	222,28	223,75	224,88	229,13	0,124908	10,37	15,55	18,75	3,36
River 2	5 ans	588	123,4	222,28	223,64	224,61	228,1	0,121058	9,41	13,41	17,7	3,24
River 2	200 ans	688	290,8	229,92	233,83	235,67	240,69	0,06292	11,79	25,66	12,77	2,52
River 2	100 ans	688	260,5	229,92	233,65	235,41	240,22	0,063955	11,51	23,47	12,22	2,52
River 2	50 ans	688	229,1	229,92	233,46	235,14	239,7	0,06535	11,2	21,14	11,59	2,52
River 2	20 ans	688	187,6	229,92	233,17	234,75	238,95	0,067909	10,74	17,94	10,68	2,53
River 2	10 ans	688	156	229,92	232,92	234,41	238,31	0,0706	10,33	15,41	9,9	2,54
River 2	5 ans	688	123,4	229,92	232,64	233,99	237,53	0,074186	9,82	12,73	9	2,55
River 2	200 ans	789	290,8	239,65	242	243,39	247,1	0,053997	8,6	29,74	18,62	2,33
River 2	100 ans	789	260,5	239,65	241,88	243,19	246,65	0,053371	8,06	27,59	17,93	2,28
River 2	50 ans	789	229,1	239,65	241,74	242,97	246,2	0,053257	7,46	25,19	17,13	2,24
River 2	20 ans	789	187,6	239,65	241,52	242,67	245,67	0,054855	6,67	21,6	15,86	2,2
River 2	10 ans	789	156	239,65	241,33	242,39	245,18	0,055219	6,23	18,7	14,76	2,17
River 2	5 ans	789	123,4	239,65	241,11	242,08	244,6	0,055735	5,7	15,57	13,47	2,13
River 2	200 ans	889	290,8	248,3	249,56	250,78	255,53	0,12338	10,75	27,58	29,51	3,4
River 2	100 ans	889	260,5	248,3	249,43	250,65	255,9	0,149448	10,8	23,83	28,43	3,66
River 2	50 ans	889	229,1	248,3	249,36	250,49	255,27	v0,144916	10,1	21,96	27,69	3,56
River 2	20 ans	889	187,6	248,3	249,32	250,28	253,75	0,113458	8,61	20,75	27,05	3,12
River 2	10 ans	889	156	248,3	249,22	250,09	253,19	0,111612	7,83	18,25	25,66	3,03
River 2	5 ans	889	123,4	248,3	249,11	249,88	252,59	0,110442	6,9	15,44	24,01	2,92
River 2	200 ans	990	290,8	257,78	260,17	262,3	275,16	0,224582	17,56	17,5	14,47	4,69
River 2	100 ans	990	260,5	257,78	260,56	262,12	267,15	0,081247	11,75	23,68	16,83	2,9
River 2	50 ans	990	229,1	257,78	260,4	261,9	266,86	0,085863	11,59	21,03	15,86	2,95
River 2	20 ans	990	187,6	257,78	259,91	261,59	269,63	0,169591	14,04	13,97	12,94	3,99
River 2	10 ans	990	156	257,78	259,81	261,34	267,98	0,153005	12,83	12,64	12,31	3,76
River 2	5 ans	990	123,4	257,78	259,68	261,01	266,29	0,136327	11,5	11,08	11,53	3,5
River 2	200 ans	1034	290,8	262,84	264,77	267,43	294,67	0,593029	24,87	12,34	12,37	7,41
River 2	100 ans	1034	260,5	262,84	264,18	264,18	268,36	0,00621	5,4	59,39	26,2	0,92
River 2	50 ans	1034	229,1	262,84	266,97	266,97	268,07	0,006227	5,19	53,88	25,05	0,91
River 2	20 ans	1034	187,6	262,84	264,57	266,64	283,73	0,439671	19,8	9,93	11,14	6,26
River 2	10 ans	1034	156	262,84	264,49	266,36	280,36	0,387682	17,97	9,07	10,66	5,83
River 2	5 ans	1034	123,4	262,84	264,39	266,01	276,85	0,329737	15,88	8,09	10,1	5,32

Annexe 4.3 : Les résultats de la simulation de l'oued (River 3) à l'état naturel.

River	T (année)	River Sta	Q Total	Cote du fond	Elev eaux	Cote critique	Cote energie	Pente	V	S mouillé	L mouille	Froude
			(m^3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m^2)	(m)	
River 3	200 ans	116	508,6	110,99	112,93	113,18	113,85	0,01235	4,7	125,28	122,85	1,17
River 3	100 ans	116	455,3	110,99	112,86	113,08	113,69	0,011688	4,45	117,57	112,17	1,13
River 3	50 ans	116	400,3	110,99	112,79	112,91	113,52	0,0109	4,17	109,93	100,2	1,08
River 3	20 ans	116	327,5	110,99	112,7	112,73	113,27	0,009538	3,73	100,78	93,28	1
River 3	10 ans	116	272,1	110,99	112,6	112,6	113,08	0,008721	3,41	92,1	92,27	0,95
River 3	5 ans	116	215,1	110,99	112,45	112,45	112,87	0,008938	3,19	78,58	90,75	0,94
River 3	200 ans	217	508,6	111,85	113,94	114,45	115,57	0,018469	6,07	99,98	92,57	1,45
River 3	100 ans	217	455,3	111,85	113,82	114,35	115,4	0,019201	5,92	89,8	84,18	1,46
River 3	50 ans	217	400,3	111,85	113,69	114,21	115,23	0,020583	5,8	79	77,16	1,49
River 3	20 ans	217	327,5	111,85	113,47	114,06	115,04	0,025012	5,77	62,98	67,17	1,6
River 3	10 ans	217	272,1	111,85	113,24	113,79	114,98	0,034448	5,98	48,93	58,4	1,82
River 3	5 ans	217	215,1	111,85	113	113,59	114,94	0,052599	6,26	35,82	49,98	2,16
River 3	200 ans	316	508,6	114,4	116,22	116,71	117,83	0,028678	7,34	104,07	127,71	1,79
River 3	100 ans	316	455,3	114,4	116,22	116,63	117,52	0,023182	6,6	103,74	127,59	1,61
River 3	50 ans	316	400,3	114,4	116,19	116,53	117,28	0,019756	6,02	100,08	126,24	1,48
River 3	20 ans	316	327,5	114,4	116,17	116,4	116,94	0,014097	5,05	97,74	125,37	1,25
River 3	10 ans	316	272,1	114,4	116,19	116,29	116,7	0,009304	4,12	99,38	125,98	1,02
River 3	5 ans	316	215,1	114,4	116,16	116,16	116,51	0,006424	3,39	95,77	124,63	0,84
River 3	200 ans	416	508,6	114,01	117,94	117,94	118,87	0,004808	4,47	134,29	100,16	0,81
River 3	100 ans	416	455,3	114,01	117,56	117,56	118,64	0,006447	4,75	104,65	57,72	0,91
River 3	50 ans	416	400,3	114,01	117,33	117,33	118,37	0,006844	4,62	93	47,81	0,93
River 3	20 ans	416	327,5	114,01	117,04	117,03	117,97	0,007216	4,36	79,29	44,82	0,93
River 3	10 ans	416	272,1	114,01	116,78	116,78	117,64	0,007672	4,15	68,27	42,26	0,94
River 3	5 ans	416	215,1	114,01	116,59	116,49	117,27	0,006879	3,67	60,34	40,05	0,88
River 3	200 ans	516	508,6	116,32	117,72	118,3	119,64	0,039883	6,13	82,9	81,01	1,94
River 3	100 ans	516	455,3	116,32	117,65	118,19	119,43	0,040033	5,9	77,18	80,21	1,92
River 3	50 ans	516	400,3	116,32	117,58	118,06	119,18	0,039502	5,6	71,43	79,4	1,89
River 3	20 ans	516	327,5	116,32	117,48	117,89	118,82	0,037662	5,13	63,89	78,33	1,81
River 3	10 ans	516	272,1	116,32	117,4	117,75	118,54	0,036379	4,73	57,49	77,41	1,75
River 3	5 ans	516	215,1	116,32	117,31	117,59	118,24	0,034802	4,28	50,31	76,36	1,68
River 3	200 ans	616	508,6	118,31	120,51	120,68	121,53	0,01011	4,56	118,4	79,03	1,07
River 3	100 ans	616	455,3	118,31	120,37	120,54	121,35	0,010509	4,45	107,77	76,06	1,08
River 3	50 ans	616	400,3	118,31	120,22	120,39	121,16	0,011162	4,35	96,12	72,66	1,1
River 3	20 ans	616	327,5	118,31	119,99	120,16	120,88	0,012374	4,2	80,31	66,88	1,14
River 3	10 ans	616	272,1	118,31	119,82	119,97	120,63	0,013078	4,01	69,24	62,38	1,15
River 3	5 ans	616	215,1	118,31	119,64	119,76	120,34	0,01373	3,74	58,12	57,5	1,15
River 3	200 ans	3013	508,6	174,76	177,02	177,2	177,86	0,013168	5,21	129,74	112,58	1,22
River 3	100 ans	3013	455,3	174,76	176,99	177,09	177,7	0,011278	4,77	126,66	111,45	1,13
River 3	50 ans	3013	400,3	174,76	176,92	176,97	177,54	0,010483	4,48	118,5	108,41	1,08
River 3	20 ans	3013	327,5	174,76	176,78	176,81	177,33	0,010158	4,17	103,94	103,24	1,05
River 3	10 ans	3013	272,1	174,76	176,68	176,68	177,15	0,009355	3,84	93,97	99,74	0,99
River 3	5 ans	3013	215,1	174,76	176,52	176,52	176,94	0,009834	3,66	78,43	94,03	1
River 3	200 ans	3115	508,6	174,93	177,77	178,29	179,37	0,011835	6,3	113,73	113,72	1,24
River 3	100 ans	3115	455,3	174,93	177,63	178,19	179,11	0,011618	6,01	97,86	99,31	1,21
River 3	50 ans	3115	400,3	174,93	177,5	178,07	178,89	0,011365	5,74	86,21	87,63	1,19
River 3	20 ans	3115	327,5	174,93	177,3	177,89	178,55	0,010922	5,31	71,1	56,61	1,15
River 3	10 ans	3115	272,1	174,93	177,11	177,53	178,21	0,010798	4,96	62,04	41,89	1,13
River 3	5 ans	3115	215,1	174,93	176,88	177,05	177,83	0,01069	4,55	52,83	39,6	1,1
River 3	200 ans	3315	508,6	179,1	180,71	181,64	183,88	0,04527	7,89	64,88	49,3	2,16
River 3	100 ans	3315	455,3	179,1	180,61	181,48	183,56	0,046175	7,62	60,12	48,74	2,15
River 3	50 ans	3315	400,3	179,1	180,56	181,31	183,07	0,041751	7,03	57,23	48,41	2,03
River 3	20 ans	3315	327,5	179,1	180,42	181,06	182,57	0,041659	6,5	50,5	47,57	1,99
River 3	10 ans	3315	272,1	179,1	180,3	180,86	182,17	0,041622	6,05	45,02	46,87	1,96
River 3	5 ans	3315	215,1	179,1	180,17	180,63	181,73	0,041987	5,54	38,85	46,08	1,92
River 3	200 ans	3520	508,6	188,64	190,78	191,73	196,09	0,072827	11,39	60,55	88,14	2,83
River 3	100 ans	3520	455,3	188,64	190,72	191,63	195,74	0,070766	10,94	55,22	82,41	2,77
River 3	50 ans	3520	400,3	188,64	190,51	191,54	197,23	0,105831	12,19	40,12	62,77	3,31
River 3	20 ans	3520	327,5	188,64	190,41	191,41	196,29	0,09981	11,22	34,03	52,29	3,17
River 3	10 ans	3520	272,1	188,64	190,32	191,28	195,42	0,093565	10,34	29,58	44,55	3,03
River 3	5 ans	3520	215,1	188,64	190,21	191,11	194,35	0,08443	9,22	25,23	36,79	2,84
River 3	200 ans	3815	508,6	199,37	203,66	205,22	209,26	0,030324	11,33	53,17	24,65	1,98
River 3	100 ans	3815	455,3	199,37	203,49	205,04	208,75	0,030285	10,93	48,93	23,72	1,96
River 3	50 ans	3815	400,3	199,37	203,87	204,81	206,76	0,01472	8,21	58,3	25,73	1,39
River 3	20 ans	3815	327,5	199,37	203,46	204,35	206,25	0,01619	7,95	48,33	23,59	1,43
River 3	10 ans	3815	272,1	199,37	203,12	203,99	205,82	0,017842	7,72	40,52	21,62	1,47
River 3	5 ans	3815	215,1	199,37	202,72	203,56	205,31	0,020423	7,45	32,31	19,31	1,54
River 3	200 ans	3914	508,6	203,56	205,26	207,31	217,6	0,204491	15,56	32,69	26,59	4,48
River 3	100 ans	3914	455,3	203,56	205,14	207,1	217,25	0,220449	15,41	29,54	25,81	4,6
River 3	50 ans	3914	400,3	203,56	206,88	206,88	208,03	0,00834	4,75	84,53	37,76	1
River 3	20 ans	3914	327,5	203,56	206,55	206,55	207,59	0,008751	4,52	72,43	35,45	1,01
River 3	10 ans	3914	272,1	203,56	206,27	206,27	207,23	0,009011	4,32	62,97	33,46	1,01
River 3	5 ans	3914	215,1	203,56	205,96	205,96	206,8	0,00925	4,08	52,71	31,15	1

Annexe 4.4 : Les résultats de la simulation de l'oued (Régime Non-Per) T=100 ans.

River	River Sta	Cote du fond	Elev eaux	Froude
		(m)	(m)	
River 1	45	213,23	215,00	1.99
River 1	145	220,01	220,45	3,4
River 1	245	230,04	230,98	3.38
River 1	298	233,43	234,00	2.9
River 1	345	239,47	240,2	3.84
River 1	445	245,30	246,34	1.62
River 1	545	252,68	253,2	3.93
River 1	645	261,34	262,00	1,78
River 1	745	269,15	270,2	3,95
River 1	845	276,24	277,1	2,97
River 1	945	283,40	284,1	3,04
River 1	1045	287,54	288,6	4,85
River 2	30	209,5	211,77	3.41
River 2	90	213,43	215,68	3.10
River 2	189	217,18	219,4	2.8
River 2	289	218,56	220,00	1,01
River 2	389	219,1	220,75	1,99
River 2	488	215,64	217,02	2,56
River 2	588	222,28	223,43	2.63
River 2	688	229,92	231,53	3.2
River 2	789	239,65	240,1	3,6
River 2	889	248,3	248,98	2,1
River 2	990	257,78	258,78	4,7
River 2	1034	262,84	263,6	1.87
River 3	116	110,99	112,86	2.56
River 3	217	111,85	112,5	1,12
River 3	316	114,4	115,6	2,0
River 3	416	114,01	115,03	2.71
River 3	516	116,32	117,1	2.9
River 3	616	118,31	119,4	0,99
River 3	3013	174,76	175,76	2.76
River 3	3115	174,93	175,69	3.5
River 3	3315	179,1	179,97	2.36
River 3	3520	188,64	189,54	3,2
River 3	3815	199,37	200,34	1,01
River 3	3914	203,56	204,87	2,7

Annexe 4.5 : Les résultats de la simulation de l'oued après l'aménagement T=100 ans.

River	River Sta	Q Total	Cote du fond	Elev eaux	Cote critique	Cote energie	Pente	V	S mouillé	L mouille	Froude
		(m^3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m^2)	(m)	
River 1	45	260,5	213,26	214,93	215,79	217,87	0,051534	7,59	34,34	33,5	1,5
River 1	145	260,5	220,01	221,23	222,25	226,35	0,134097	10,02	26	34,79	1,2
River 1	245	260,5	228,53	231,11	232,35	235,82	0,070008	9,62	27,08	21	1,3
River 1	298	260,5	232,07	234,33	235,79	240,43	0,091113	10,94	23,82	18,57	1,3
River 1	345	260,5	239,47	240,83	241,77	244,63	0,078799	8,64	30,16	33,57	1,3
River 1	445	260,5	244,81	246,92	248,25	252,08	0,063245	10,06	25,89	18,71	1,7
River 1	545	260,5	252,68	254,03	255,28	259,15	0,079292	10,02	26	22,15	1,7
River 1	645	260,5	261,28	262,64	263,73	267,37	0,084537	9,64	27,02	26,99	1,7
River 1	745	260,5	269,71	271,06	271,99	274,4	0,057322	8,1	32,18	31,25	1,7
River 1	845	260,5	276,23	277,49	278,4	281,35	0,08206	8,7	29,94	34,28	1,7
River 1	945	260,5	283,15	284,95	285,79	288,11	0,055476	7,86	33,13	32,81	1,7
River 1	1045	260,5	287,11	289,22	289,22	290,04	0,008151	4	65,06	39,6	1,7
River 1	1145	260,5	286,18	287,81	288,85	292,06	0,075587	9,13	28,52	28,43	1,7
River 1	1245	260,5	292,26	294,45	295,59	298,79	0,05995	9,23	28,22	22,96	1,5
River 1	1345	260,5	299,6	301,22	302,21	304,96	0,0623	8,56	30,45	28,93	1,5
River 1	1445	260,5	305,86	307,53	308,81	313,39	0,100672	10,72	24,3	23,42	1,5
River 1	1545	260,5	315,6	317,3	318,4	321,6	0,065969	9,19	28,35	24,56	1,3
River 1	1645	260,5	322,34	323,83	325,34	331,27	0,121951	12,08	21,56	19,3	1,3
River 1	1745	260,5	337,89	338,89	340,09	345,51	0,166911	11,39	22,86	29,53	1,3
River 2	30	260,5	211,77	213,26	214,1	216,26	0,0485	7,67	33,97	31,1	1,5
River 2	90	260,5	214,66	216,28	217,11	219,28	0,052854	7,66	34	33,69	1,5
River 2	189	260,5	217,01	220,04	220,04	221,03	0,0073	4,41	59,11	29,86	1,5
River 2	289	260,5	206,45	221,12		221,13	0,000016	0,51	513,78	58,71	1,5
River 2	389	260,5	208,43	221,11		221,14	0,00004	0,74	352,79	45,49	1,8
River 2	488	260,5	215,63	220,91	218,62	221,24	0,001076	2,54	102,52	23,63	1,3
River 2	588	260,5	222,28	224,24	225,63	230,07	0,067125	10,96	25,18	20,7	1,4
River 2	688	260,5	229,85	231,32	232,97	238,84	0,105144	12,14	21,46	16,66	1,4
River 2	789	260,5	238,8	241,3	242,77	246,88	0,059992	10,47	24,89	16,09	1,4
River 2	889	260,5	247,81	249,33	250,49	254,88	0,110899	10,43	24,97	27,18	1,4
River 2	990	260,5	257,78	259,15	260,86	267,67	0,125962	12,93	20,15	16,78	1,2
River 2	1034	260,5	262,84	265,05	266,68	272,67	0,101105	12,22	21,32	16,54	1,2
River 2	1091	260,5	268,49	270,28	272,16	279,96	0,134488	13,78	18,91	15,11	1,2
River 3	116	455,3	111,13	112,08	112,84	115,08	0,016591	7,67	59,34	87	1
River 3	217	455,3	111,85	113,18	114,1	116,71	0,013034	8,32	54,69	59,14	0,8
River 3	316	455,3	114,58	115,89	116,48	118,3	0,017108	6,87	66,25	116,85	0,8
River 3	416	455,3	114,14	115,91	117,08	119,97	0,008615	8,93	51	35,96	0,8
River 3	516	455,3	116,28	117,03	117,94	121,46	0,025194	9,32	48,86	73,18	0,8
River 3	616	455,3	118,31	119,5	120,48	123,24	0,012361	8,57	53,12	52,77	0,8
River 3	716	455,3	120,46	121,07	121,88	125,14	0,028961	8,94	50,95	90,27	0,7
River 3	817	455,3	122,99	124	124,81	127,13	0,013194	7,83	58,14	69,6	0,7
River 3	917	455,3	124,52	125,62	126,35	128,61	0,016472	7,65	59,54	87,29	0,7
River 3	1017	455,3	126,6	127,38	128,08	130,52	0,021252	7,86	57,96	98,83	0,7
River 3	1116	455,3	128,87	129,48	130,21	133,45	0,035279	8,82	51,62	108,21	0,7
River 3	1216	455,3	129,06	130,34	131,7	137,18	0,023665	11,59	39,3	40,4	0,7
River 3	1316	455,3	131,28	133,1	134,55	139,09	0,014483	10,84	41,99	32,78	0,7
River 3	1416	455,3	133,48	134,99	136,23	140,76	0,018886	10,64	42,78	42,19	0,7
River 3	1516	455,3	135,56	136,8	138,07	142,88	0,021939	10,93	41,67	44,23	0,7
River 3	1616	455,3	136,76	138,29	139,78	145,12	0,018715	11,57	39,35	33,83	0,7
River 3	1716	455,3	139,66	141,01	142,27	147,18	0,021221	11	41,39	42,4	0,7
River 3	1815	455,3	142,22	143,48	144,7	149,39	0,022713	10,77	42,28	47,09	0,7
River 3	1915	455,3	145,21	145,94	147,05	152,45	0,037972	11,3	40,3	61,5	0,7
River 3	2015	455,3	146,79	148,11	149,55	156,45	0,031287	12,79	35,61	38,94	0,7
River 3	2115	455,3	148,74	150,52	152,28	159,01	0,020583	12,9	35,29	27,51	0,9
River 3	2215	455,3	151,86	153,36	154,85	161,34	0,025137	12,51	36,4	34,84	0,9
River 3	2315	455,3	153,6	155,77	157,64	163,42	0,017207	12,25	37,17	27,29	0,9
River 3	2415	455,3	156,9	158,71	160,19	165,22	0,016657	11,3	40,28	32,85	0,9
River 3	2515	455,3	158,41	160,01	161,53	167,38	0,021988	12,02	37,88	34,76	1
River 3	2616	455,3	162,34	163,32	164,56	170,02	0,029839	11,46	39,72	49,45	0,8
River 3	2716	455,3	163,68	165,29	166,8	172,76	0,021362	12,1	37,63	33,44	0,8
River 3	2816	455,3	167,19	168,72	170,04	175	0,021044	11,1	41,02	41,18	0,8
River 3	3013	455,3	174,4	175,15	176,09	179,99	0,028922	9,75	46,72	72,61	0,8
River 3	3115	455,3	174,82	176,31	177,78	182,72	0,017638	11,21	40,6	34,91	0,8
River 3	3315	455,3	178,14	179,03	180,58	189,09	0,043897	14,04	32,42	39,56	0,8
River 3	3520	455,3	188,64	189,57	190,66	202,39	0,091212	18,22	31,94	77,32	0,8
River 3	3815	455,3	199,37	202,74	204,85	212,65	0,017767	13,95	32,65	19,4	0,8
River 3	3914	455,3	203,62	205,2	207,04	214,72	0,023565	13,66	33,32	26,3	1.