



Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

BELHARTI Bilal

BOUZID Oussama

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER en Hydraulique**

Option : **Hydraulique Urbaine**

INTITULE :

PROTECTION DE LA VILLE DE BISKRA CONTRE LES INONDATIONS PAR L'AMENAGEMENT DE L'OUED BISKRA

Soutenu le **28 /06 /2018** devant le jury composé de :

- Président : **M. ALLOUCHE .A**
- Examineur : **M. IKNI .T**
- Promoteur : **M. AMIROUCHE .M**

Remerciement

Avant tout, nous remercions le bon Dieu qui a illuminé notre chemin et qui nous a armés de force et de sagesse, ainsi la bonne volonté pour achever ce modeste travail.

Nos vifs remerciements à toutes les personnes qui nous ont aidé tout le long de cette étude, particulièrement à :

*Notre promoteur **M. AMIROUCHE .M** pour l'aide qu'il nous a offert durant la période de la réalisation de ce travail.*

Nos sentiments de profonde gratitude vont aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger notre travail.

*Nous tenons également à remercier **M.OUZZANE.M**, pour l'aide précieuse qu'il nous a apporté pour mieux compléter ce travail.*

Toute gratitude à nos enseignants qui nous ont guidés au cours de cette formation.

Résumé :

Notre étude s'inscrit dans le cadre de la protection de la ville de Biskra contre les inondations créées par les crues exceptionnelles. Notre travail consiste d'abord, de décrire toutes les caractéristiques de la zone d'étude avec quelques événements catastrophiques qui ont frappé la ville, ensuite, une étude hydrologique très détaillée qui résume les aspects morphologique pluviométrique du bassin versant alimentant Oued Biskra, puis la recherche de débits de pointe avec lequel nous avons entamé la simulation d'une crue centennale en utilisant le code HEC-RAS. Nous avons pu localiser les zones à risque de débordement sur un tronçon de 11 km traversant la ville du nord au sud. Les résultats de simulation obtenus nous ont permis de choisir les variantes de protection adéquates correspondant à chaque zone constituant le tronçon.

Mots Clés : bassin versant, crue, Oued Biskra, débit, simulation, HEC-RAS.

Abstract :

Our study is part of the protection of the city of Biskra against floods created by design flood. First we will start with describing all the features of the study area and we mention some of catastrophic events that hit the city, then, we proceed to a very detailed hydrological study that summarizes the morphological aspects of the rainfall of the watershed feeding Oued Biskra, after we will search of the pic of discharge with which we started the simulation of a centennial flood using the code HEC-RAS. We were able to locate the areas at risk of overflow on a stretch of 11 km crossing the city from north to south. The obtained simulation results helps us to choose the appropriate protection variants corresponding to each zone of the Oued.

Key words : watershed, flood, Oued Biskra, discharge, simulation, HEC-RAS.

ملخص :

هذه الدراسة تندرج ضمن حماية مدينة بسكرة ضد الفيضانات الناجمة عن ارتفاع منسوب المياه الاستثنائي في وادي بسكرة. في بادئ الأمر قمنا بتقديم ووصف خصائص منطقة الدراسة مع ذكر بعض الأحداث الكارثية التي عرفتها مدينة بسكرة، ثم أتبعناها بدراسة هيدرولوجية مفصلة للمنطقة ملخصين فيها الخصائص المورفولوجية والتساقط للحوض هيدرولوجي الذي يغذي وادي بسكرة، ثم قمنا بعدها بحساب التدفق الأعظمي الذي من خلاله يمكننا الانتقال إلى مرحلة المحاكاة باستعمال برنامج HEC-RAS. الذي مكنا من تحديد المناطق المهددة بالفيضانات على طول الوادي المقدر بـ 11 كلم الذي يعبر المدينة من الشمال الى الجنوب مقسما هذه الأخيرة إلى نصفين متباينين. نتائج المحاكاة المحصل عليها مكنتنا من اختيار طرق الحماية المناسبة لكل منطقة مهددة بخطر الفيضانات.

الكلمات المفتاحية : حوض هيدرولوجي، فيضانات، وادي بسكرة، التدفق، محاكاة، HEC-RAS.

Liste des symboles

Acronymes :

A.N.A.T : Agence Nationale d'Aménagement de Territoire
A.N.R.H : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
B.T.P : Bâtiments et Travaux Public
BV : Bassin Versant
D.P.A.T : direction de Planification et Aménagement du Territoire
E : Ecoulement annuel total (mm)
HEC-RAS: Hydrologic Engineering Center's River Analysis System
O.N.M : Office National de la Météorologie
O.N.S : Office National des Statistiques
O.R.S.T.O.M : Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer
R.G.P.H : Recensement Général de la Population et de l'Habitat
S : La section transversale du cours d'eau
SBV : Sous Bassin Versant

Symboles :

A_{ss} : Apports solides spécifiques moyens annuels ($T/km^2.an^{-1}$)
C : Coefficient de ruissellement (-)
D : Dénivelée entre H 5% et H 95% (m)
 D_d : Densité de drainage en (km^{-1})
 D_s : Dénivelée spécifique en (m)
 E_s : Erosion spécifique ($T/Km^2.an^{-1}$)
H : La ligne d'eau (m)
 H_i : Altitude moyenne ente deux courbes de niveaux consécutives (m)
 H_{moy} : L'altitude moyenne (m)
 I_g : Indice de pente global en (%)
 I_m : Pente moyenne du thalweg principale en (%)
 I_{tmax} : L'intensité maximale de période t(h) (mm/h)
 K_c : L'indice de compacité de Gravelius (-)
l : Largueur du rectangle équivalent en (km)
L : Longueur du rectangle équivalent en (km)
m : Le coefficient d'écartement des talus (-)
 P_e : La production annuelle de sédiment en ($T/Km^2.an^{-1}$)
 P_m : Le périmètre mouillé d'un canal (m)
 P_{tc} : Pluie de courte durée de fréquence donnée (mm)
 \bar{P}_m : Précipitation moyenne du mois le plus arrosé (mm)
 \bar{P} : Précipitation moyenne annuelle (mm)
Q : Débit de pointe (m^3/s)
 Q_s : Apport solide moyen interannuel ($T/ Km^2.an^{-1}$)
 R_e : Le nombre de Reynolds
 R_H : Le rayon hydraulique (m)
 S_m : La section mouillée d'un canal (m^2)
T : Coefficient thermique (-)
 t_0 : Température moyenne annuelle (C°)
 T_c : Temps de concentration en (heure)
V : La vitesse moyenne d'écoulement (m/s)
 V_s : Apport solide annuelle (m^3/an)
Z : Coefficient empirique lié à l'érosion du bassin (-)

Liste des tableaux

Tableau I. 1 : Températures maximales, minimales et moyennes mensuelles de la région de Biskra durant la période (1992-2014).....	8
Tableau I.2 : Les caractéristiques de la station pluviométrique Biskra-secteur	8
Tableau I.3 : Les précipitations moyennes mensuelles de la région de Biskra durant la période (1992-2014).....	9
Tableau I.4: Vents moyens mensuels (m/s) de la région de Biskra durant la période (1992-2014).....	10
Tableau I.5 : L'humidité relative moyenne mensuelle (%) de la région de Biskra durant la période (1980-2008).....	11
Tableau I.6 : Evaporation moyenne mensuelle de la région de Biskra durant la période (1950-2005)	11
Tableau I.7: Densité de la population de la ville de Biskra (2008)	12
Tableau I.8 : Evolution de la population de la ville de Biskra par branche d'activité (1966, 1977, 1987, 1998, 2008).....	13
Tableau II.1: Quelques exemples des inondations en Algérie.....	15
Tableau II.2 : Habitations construites en zones inondables	17
Tableau II.3 : Les impacts de l'inondation du mois d'avril 1949 et quelques exemples des inondations frappant la ville de Biskra	20
Tableau II.4 : Les zones exposées aux risques d'inondation dans la ville de Biskra	21
Tableau II.5 : Classifications des zones inondables dans la ville de Biskra	21
Tableau III.1: Les surfaces des BV (supérieur, moyen, inférieur et le BV Global)	22
Tableau III.2: Les périmètres des BV (supérieur, moyen, inférieur et le BV Global)	23
Tableau III.3: La longueur des thalwegs des BV (supérieur, moyen, inférieur et le BV Global).....	23
Tableau III.4 : L'indice de compacité de Gravelius des BV (supérieur, moyen, inférieur et le BV Global)	23
Tableau III.5: Les valeurs du rectangle équivalent des différents BV (supérieur, moyen, inférieur et le BV Global)	24
Tableau III.6: Les altitudes caractéristiques des BV (supérieur, moyen, inférieur et BV global).....	28
Tableau III.7: Indice de pente global des BV (supérieur, moyen, inférieur et BV Global)	29
Tableau III.8: Classification du relief (O.R.S.T.O.M)	29
Tableau III.9: La dénivelée spécifique des SBV (supérieur, moyen, inférieur et BV Global).....	30
Tableau III.10: Classification de relief en fonction de La dénivelée spécifique	30
Tableau III.11: La densité de drainage des BV (supérieur, moyen, inférieur et BV Global).....	32
Tableau III.12: La pente moyenne du thalweg principal des BV (supérieur, moyen, inférieur et BV Global).....	33
Tableau III.13: Temps de concentration des BV (supérieur, moyen, inférieur et BV Global).....	34
Tableau III.14: Récapitulation des caractéristiques hydromorphométriques des BV (Supérieur, Moyen, Inférieur et BV Global)	35
Tableau III.15: Caractéristiques des stations pluviométriques	36
Tableau III.16: Les caractéristiques de base des différentes séries pluviométriques	38
Tableau III.17 : Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL	39
Tableau III.18 : Les paramètres de la loi de GUMBEL issus par la méthode des moments	40
Tableau III.19 : Résultats de l'ajustement à la loi de GALTON	41
Tableau III.20 : Résultats du test d'adéquation χ^2	43
Tableau III.21: Les débits de pointe pour différentes période de retour des BV (Supérieur, Moyen, Inférieur et BV Global)	49
Tableau III.22 :Les débits de pointe des BV (supérieur, moyen, inférieur et BV global) calculés par les différentes formules	51

Tableau III.23 : Les formules empiriques utilisées pour la détermination du l'apport solide	52
Tableau III.24 : Coefficient empirique lié à l'érosion du bassin	52
Tableau III.25 : Coefficient déterminant de la perméabilité des terrains	52
Tableau III.26 : Récapitulatif des résultats de calcul de l'apport solides	52
Tableau III. 27: Récapitulation des résultats obtenue par la formule de TIXIRONT	53
Tableau IV.1 : Les valeurs de la rugosité du cours d'eau	61
Tableau IV.2 : Les valeurs des débits de points pour différentes périodes de retour	62
Tableau V.1 : Schémas d'aménagement proposés	73
Tableau V.2 : Avantages et Inconvénients d'une protection avec des murs en béton armé	76
Tableau V.3 : Avantages et Inconvénients d'une protection avec des murs en gabion.....	76

Liste des figures

Figure I.1: La situation géographique de la commune de Biskra (D.P.A.T).....	3
Figure I.2 : Le tracé d'Oued Biskra sur la ville de Biskra.....	4
Figure I.3 : Carte du relief et topographie de la wilaya de Biskra	5
Figure I.4 : Vue 3D de la topographie du Biskra (Global Mapper).....	5
Figure I.5 : Carte géologique de la wilaya de Biskra	6
Figure I.6 : Températures maximales, minimales et moyennes mensuelles de la région de Biskra durant la période (1992-2014).....	8
Figure I.7 : Carte pluviométrique de la Wilaya de Biskra.....	9
Figure I.8 : Les précipitations moyennes mensuelles de la région de Biskra durant la période (1992-2014).....	10
Figure I.9 : Vents moyens mensuels (m/s) de la région de Biskra durant la période (1992- 2014)	10
Figure I.10 : L'humidité relative moyenne mensuelle (%) de la région de Biskra durant la période (1980-2008).....	11
Figure I.11 : Evaporation moyenne mensuelle de la région de Biskra durant la période (1950-2005).....	12
Figure I.12 : Densité de la population par secteur dans la ville de Biskra en 2008 (RGPH 2008)	13
Figure II.1 : Photo aérienne représente La crue d'Avril 1949.....	19
Figure III.1 : La répartition des surfaces en fonction des altitudes du bassin versant.....	25
Figure III.2 : Courbe hypsométrique du sous bassin supérieur.....	26
Figure III.3 : Courbe hypsométrique du sous bassin moyen.....	26
Figure III.4 : Courbe hypsométrique du sous bassin inférieur.....	27
Figure III.5 : Courbe hypsométrique du bassin versant global.....	27
Figure III.6: Le réseau hydrographique des BV (supérieur, moyen, inférieur et BV Global).....	34
Figure III.7: Localisation des stations pluviométriques recueillies.....	37
Figure III.8 : Exemple d'ajustement à la loi de GUMBEL (station de BATNA).....	40
Figure III.10 : Courbes Hauteur – Durée – Fréquence (SBV Supérieur).....	45
Figure III.11: Courbes Intensité – Durée – Fréquence (SBV Supérieur).....	45
Figure III.12 : Courbes Hauteur – Durée – Fréquence (SBV Moyen).....	46
Figure III.13 : Courbes Intensité – Durée – Fréquence (SBV Moyen).....	46
Figure III.14 : Courbes Hauteur – Durée – Fréquence (SBV Inférieur).....	47
Figure III.15 : Courbes Intensité – Durée – Fréquence (SBV Inférieur).....	47
Figure III.16 : Courbes Hauteur – Durée – Fréquence (BV Global).....	48
Figure III.17 : Courbes Intensité – Durée – Fréquence (BV Global).....	48
Figure IV.1 : Pont N°01.....	54
Figure IV.2 : Pont N°02 (Pont busé).....	54
Figure IV.3 : Pont N°03.....	55
Figure IV.4 : Pont N°04 (Pont busé).....	55
Figure IV.5 : Image représentant un affouillement créé par la force du jet d'eau.....	55
Figure IV.6 : Image représentant la hauteur des berges.....	56
Figure IV.7 : Image représentant les berges de l'oued.....	56
Figure IV.8 : Présentation des termes de l'équation d'énergie.....	58
Figure IV.9 : Méthode de subdivision du débit par le modèle HEC-RAS.....	59
Figure IV.10 : Modèle géométrique du cours d'eau sous HEC-RAS.....	60
Figure IV.11 : Subdivision des sections du cours d'eau.....	61
Figure IV.12 : Illustration d'un profil en travers sous HEC-RAS ainsi que la répartition de coefficient de Manning.....	62
Figure IV.13 : Résultats de simulation pour quelques stations.....	63

Figure IV.14 : Profil en long du cours d'eau à l'état naturel pour une crue centennale (Partie 01).....	64
Figure IV.15 : Visualisation en 3D des zones inondables de la première partie tronçon (S109-S67).	65
Figure IV.16 : Visualisation des zones inondables sur RAS MAPPER.	66
Figure IV.17 : Illustration des zones inondables sur une carte Google satellite avec RAS MAPPER.....	67
Figure IV.18 : Résultats de simulation pour différentes stations (Partie 02).....	68
Figure IV.19 : Profil en long du cours d'eau à l'état naturel pour une crue centennale (Partie 02).....	69
Figure IV.20 : Visualisation en 3D des zones inondables de la deuxième partie (S46-S01).	70
Figure V.1 : Répartition des zones à protéger.....	72
Figure V.2 : Coupe transversale d'un canal en béton armé de section rectangulaire.....	73
Figure V.3 : Image représentant une protection de berge par un mur en béton armé.	74
Figure V.4 : Image représentant une coupe transversale d'une protection par gabionnage.	74
Figure V.5 : Image illustrant une protection des berges par gabionnage.	75
Figure V.6 : Coupe transversale d'une protection par Matelas-gabions.	75
Figure V.7 : Ouvrage de protection des berges par Matelas-gabions.....	76
Figure V.8 : Coupe transversale d'un canal enterré de section trapézoïdale.....	77
Figure V.9 : La réparation des variantes choisies (partie amont et partie centrale).	78
Figure V.10 : Résultats de simulation de la partie amont de l'Oued après les travaux de recalibrage.....	79
Figure V.11 : Profil en long de la partie amont du cours d'eau après les travaux de recalibrage.	80
Figure V.12 : Visualisation en 3D de la partie amont du cours d'eau après les travaux de recalibrage.	81
Figure V.13 : Résultats de simulation de l'Oued après l'augmentation de la hauteur des berges par un système de Gabionnage (partie 01).....	82
Figure V.14 : Visualisation en 3D du deuxième tronçon après l'augmentation de la hauteur des berges par le système de Gabionnage Partie 01 (S87-S67).....	83
Figure V.15 : Profil en long de l'Oued avec un système de Gabionnage (partie 01).....	84
Figure V.16 : Résultats de simulation de l'Oued après l'augmentation de la hauteur des berges par un système de Gabionnage (partie 02).....	85
Figure V.17 : Visualisation en 3D de la deuxième tronçon après l'augmentation de la hauteur des berges par un système de Gabionnage Partie02 (S46-S21).....	86
Figure V.18 : Profil en long de l'Oued avec un système de Gabionnage (partie 02).....	87

Liste des annexes

- Annexe 1 : Extrait du journal El Watan, Bachir Mebarek, N° 22520/04.07.2005
- Annexe 2 : Quelques images de la crue de mai 2018
- Annexe 3 : La répartition altimétrique des BV (supérieur, moyen, inférieur et BV global)
- Annexe 4 : La répartition altimétrique des BV (supérieur, moyen, inférieur et BV global)
- Annexe 5 : Hiérarchisation du réseau hydrographique
- Annexe 6 : Séries des pluies moyennes annuelles des différentes stations en (mm)
- Annexe 7 : Pluies journalières maximales observées aux différentes stations (mm)
- Annexe 8 : Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL et à la loi de GALTON pour les différentes stations
- Annexe 9 : Caractéristiques des séries pluviométriques
- Annexe 10 : Les valeurs de HDF et IDF pour les différentes périodes de retour pour le SBV Supérieur
- Annexe 11 : Les valeurs de HDF et IDF pour les différentes périodes de retour pour le SBV Moyen
- Annexe 12 : Les valeurs de HDF et IDF pour les différentes périodes de retour pour le SBV Inférieur
- Annexe 13 : Résultats de simulation de la première partie tronçon (S109 - S46)
- Annexe 14 : Résultats de simulation du deuxième tronçon (S46 - S01)
- Annexe 15 : Les paramètres d'écoulement de l'oued non aménagé (Premier partie)
- Annexe 16 : Les paramètres d'écoulement de l'oued non aménagé (deuxième partie)
- Annexe 17 : Les paramètres d'écoulement de la partie amont après le recalibrage
- Annexe 18 : Résultats de simulation de l'Oued après l'augmentation de la hauteur des berges par un système de Gabionnage (partie 01)
- Annexe 19 : Les paramètres d'écoulement de l'Oued après l'augmentation de la hauteur des berges par un système de Gabionnage (partie 01)
- Annexe 20 : Résultats de simulation de l'Oued après l'augmentation de la hauteur des berges par un système de Gabionnage (partie 02)
- Annexe 21 : Les paramètres d'écoulement de l'Oued après l'augmentation de la hauteur des berges par un système de Gabionnage (partie 02)

Sommaire

Liste des symboles

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des annexes

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Caractéristiques de la zone d'étude

Introduction	3
I.1. Géographie de la zone d'étude.....	3
I.1.1. Situation géographique	3
I.1.2. Localisation d'Oued Biskra par rapport à la ville de Biskra.....	4
I.2. Relief et topographie	4
I.3. Géologie	5
I.4. Hydrogéologie.....	6
I.5. Le sol.....	7
I.6. Couvert végétal	7
I.7. Climatologie.....	7
I.7.1. Température	7
I.7.2. Précipitations.....	8
I.7.3. Vents	10
I.7.4. L'Humidité relative.....	11
I.7.5. Evaporation	11
I.8. Situation démographique	12
I.9. Situation Économique	13
I.10. Situation agricole	14
Conclusion.....	14

Chapitre II : Généralités sur les inondations

Introduction	15
II.1. Caractéristiques de l'inondation	15
II.1.1. L'Aléa.....	15
II.1.2. La vulnérabilité.....	15
II.1.3. Le risque	15
II.2. Les inondations en Algérie	15
II.3. Les inondations à Biskra.....	18
II.3.1. La crue du mois d'avril 1949.....	18
II.3.2. La crue de septembre 1989.....	20
II.3.3. La crue de Juin 1981.....	20
Conclusion :.....	21

Chapitre III : Etude Hydrologique

Introduction	22
III.1. Analyse des paramètres de bassin versant.....	22
III.1.1. Bassin versant de l'Oued Biskra.....	22
III.1.1.1. Le bassin supérieur	22
III.1.1.2. Le bassin moyen	22
III.1.1.3. Le bassin inférieur	22
III.1.2. Caractéristiques morphologiques du bassin versant.....	22

III.1.2.1. Caractéristiques géométrique	22
III.1.2.1.1. La Surface	22
III.1.2.1.2. Le périmètre	23
III.1.2.1.3. Longueur du plus long thalweg	23
III.1.2.1.4. L'indice de compacité de Gravelius	23
III.1.2.1.5. Rectangle équivalent	24
III.1.2.2. Caractéristiques des altitudes (hypsométrie)	24
III.1.2.2.1. Les altitudes caractéristiques	28
III.1.2.3. Les Indices de pente	28
III.1.2.3.1. Indice de pente global	29
III.1.2.3.2. Dénivelée spécifique	29
III.1.3. Caractéristiques du réseau hydrographique	30
III.1.3.2. Hiérarchisation du réseau hydrographique	32
III.1.3.3. La densité de drainage D_d	32
III.1.3.4. La pente moyenne du thalweg principal	32
III.1.3.5. Temps de concentration	33
III.1.3.5.1. Équation de JOHNSTONE-CROSS	33
III.1.3.5.2. Formule de GIANDOTTI	33
III.1.3.5.3. Formule de HAKTANIR & SESEN	33
III.1.3.5.4. Formule de JOHNSTONE	34
III.1.3.5.5. Formule de CORPS ENGINEERS	34
III.2. Analyse des données pluviométriques	35
III.2.1. Pluie moyenne annuelle	37
III.2.2. Pluies maximales journalières	37
III.3. Choix de la loi d'ajustement	38
III.3.1. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL	38
III.3.1.1. Présentation de la loi de GUMBEL	38
III.3.1.2. Le procédé d'ajustement (méthode des moments)	39
III.3.2. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON	40
III.3.2.1. Présentation de la loi de GALTON (log- normale)	40
III.4. Contrôle de l'ajustement	42
III.5. Pluie de courte durée	43
III.6. Estimation des débits maximums par la méthode Rationnelle pour différentes périodes de retour	49
III.7. Comparaison avec d'autres méthodes empiriques	49
III.7.1. Formule de MALLET-GAUTHIER	49
III.7.2. Formule de GIANDOTTI	50
III.7.3. Formule de POSSENTI	50
III.8. L'apport solide	51
III.8.1. Evaluation du transport solide par les formules empiriques	51
Conclusion	53

Chapitre IV : Simulation des crues avec HEC-RAS

Introduction	54
IV.1. Description du cours d'eau	54
IV.2. Choix du type de modèle hydraulique	56
IV.3. Objectif de la simulation de la crue centennale avant aménagement	56
IV.4. Présentation du logiciel HEC-RAS	56
IV.4.1. Principales hypothèses assumées dans le modèle HEC-RAS	57
IV.4.2. Les équations de bases du logiciel	57
IV.4.3. Etapes de simulation avec HEC-RAS	59
IV.4.3.1. Préparation des données topographiques	60
IV.4.3.1.1. La distance entre deux sections	60

IV.4.3.1.2. Le choix des valeurs de rugosité de Manning	61
IV.4.3.2. Choix des paramètres hydrométriques et conditions aux limites	62
IV.4.3.3. Lancement de la simulation.....	62
IV.4.3.4. Visualisation des résultats	62
IV.4.4. Délimitation des zones inondables	66
IV.4.5. Interprétations des résultats	71
Conclusion.....	71

Chapitre V : Etude d'aménagement hydraulique de l'Oued Biskra

Introduction	72
V.1. Localisation des zones à protéger.....	72
V.2. Etude des variantes d'aménagement.....	73
V.2.1. Première variante : par des murs en béton armé.....	73
V.2.1.1. Les murs en béton armé.....	73
V.3. Deuxième variante : par des gabions en pierres	74
V.3.1. Gabions.....	74
V.3.1.1. Matelas-gabions.....	75
V.4. Comparaison entre les variantes d'aménagement.....	76
V.4.1. Première Variante : Les murs en béton armé	76
V.4.1.1. Avantages et inconvénient.....	76
V.4.2. Deuxième variante : Les gabions en pierres	76
V.4.2.1. Avantages et inconvénients	76
V.4.3. Choix de la variante d'aménagement	77
V.4.3.1. Aménagement par des travaux de terrassement (canal en terre)	77
V.4.3.2. Aménagement par des murs de gabions en pierre	77
V.5. Calcul hydraulique des travaux de terrassement (canal en terre)	78
V.5.1. Calcul des paramètres d'écoulement	78
V.6. Simulation de la crue après l'augmentation de la hauteur des berges par le système de Gabionnage	81
V.6.1. Résultats de simulation.....	82
V.6.1.1. Première partie.....	82
V.6.1.2. deuxième Partie	85
V.6.2. Interprétation des résultats.....	88
Conclusion.....	88
Conclusion générale	89
Références Bibliographiques.....	90
Annexes	

Introduction générale

Introduction générale

Les crues et les inondations sont considérées comme les formes de risque naturel les plus répandues et les plus dévastatrices dans le monde. L'Algérie est l'un des pays confortés à ces deux phénomènes qui s'accroissent depuis quelques décennies. Elles sont d'autant plus à redouter lorsqu'elles se produisent en ville, là où se situe une forte concentration des activités humaines. Par conséquent, les activités économiques sont fortement perturbées, voire paralysées dans certains endroits, d'où la nécessité de prévoir et de mettre en œuvre un plan de gestion de risque permettant de réduire au maximum les dégâts matériels et humains.

Plusieurs régions du pays sont régulièrement menacées par ces catastrophes hydrométéorologiques dont les effets sont souvent intensifiés par une urbanisation anarchique impliquant une occupation démesurée des rives et des berges des Oueds. Le risque d'inondation est essentiellement dû à l'interaction complexe de plusieurs processus, il est le produit de la concomitance de facteurs topographique, pédologique, géologique, hydrométéorologique et anthropique qui, à ce jour, restent mal connus. L'examen des événements catastrophiques survenus dans notre pays montre que la quasi-totalité des bassins versants algériens étaient fréquemment sujets à de véritables scénarios de crises humanitaires, qui n'ont pas laissé les pouvoirs publics indifférents.

A l'instar de tous les grands oueds algériens, l'oued Biskra qui draine un bassin versant d'une superficie **3112 km²**, est considéré comme étant l'un des cours d'eau les plus redoutables du fait qu'il traverse la ville de Biskra du nord au sud, laissant imaginer des crues les plus périlleuses jamais vues.

Le présent travail a pour objet de déterminer la crue du projet. Ces crues occasionnent souvent d'importants préjudices (ruissellement urbain, détérioration des voiries et des infrastructures ...etc.). Face à cette situation, la protection de la ville et sa population s'avère une des priorités des collectivités locales sous l'instruction des autorités chargées du programme de protection des villes contre les inondations initié pratiquement après la catastrophe de Ghardaïa 2008. Dans l'optique d'une démarche fiable aboutissant à un système d'aménagement hydraulique adéquat, une étude s'impose afin de définir d'emblée la crue de projet, ensuite, le plan de gestion du risque approprié.

Afin d'atteindre les objectifs cités ci-dessus, le manuscrit est structuré en cinq chapitres :

Le premier chapitre dresse une nomenclature des caractéristiques géographiques, géologiques, hydrogéologiques, climatiques, démographiques et Agricoles de la région d'étude en se basant sur les données recueillies dans les établissements concernés ;

Le second décrit dans un premier temps, les concepts aléa, vulnérabilité et risque, puis, un passage en revue des événements qui ont marqué l'histoire des inondations à l'échelle nationale, ensuite une caractérisation des crues ayant survenu sur oued Biskra et les dégâts générés ;

Le troisième chapitre a pour objectif, de présenter d'abord, les caractéristiques physiologiques du bassin versant en question, dans le deuxième volet, un traitement statistique des données de

mesure sur l'ensemble du bassin a été menée en utilisant le code HYFRAN. Ce dernier permet d'élaborer les courbes I.D.F qui, une fois nous avons choisi la période de retour et fixé le temps de concentration du bassin versant, on peut déduire l'intensité moyenne maximale et par conséquent, le débit maximum en se référant à la méthode rationnelle ;

Le quatrième s'attache à présenter le site d'étude, en l'occurrence, un tronçon d'oued Biskra qui s'étale sur 11 km du nord vers le sud de la ville, ensuite, toutes démarches à suivre afin de reproduire un scénario de crue correspondant à différentes périodes de retour jusqu'à 100 ans à l'aide du code HEC-RAS. Une visualisation et une analyse des résultats de la simulation pour une crue extrême (100 ans) ;

Le cinquième chapitre est consacré typiquement pour la localisation des zones pouvant subir des inondations suite à la remontée du niveau d'eau, puis une entame de l'étude des variantes d'aménagement hydraulique correspondant à chaque zone.

Au final, nous achèverons notre étude par un épilogue démontrant toutes les démarches suivies afin de mener à bien ce travail humble.

Chapitre I :

Caractéristiques de la

zone d'étude

Introduction

L'étude de protection d'une ville contre les inondations provoquées par le débordement d'un Oued nécessite une parfaite connaissance de la zone d'étude pour assurer la sécurité des biens et des personnes.

Dans ce chapitre, nous allons présenter et définir les données nécessaires à l'étude des caractéristiques de cette zone, à savoir : les données géographiques, climat et couvert végétal, relief et topographie, géologie et hydrogéologie, population... etc.

I.1. Géographie de la zone d'étude

I.1.1. Situation géographique

Notre zone d'étude porte sur la ville de Biskra, chef -lieu de la wilaya, dotée d'une superficie de 127.6 km² et d'un périmètre de 49.81 km.

Elle est délimitée par les coordonnées suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} 5^{\circ}43'60 \text{ E } \quad 34^{\circ}48'15 \text{ N} \\ 5^{\circ}45'60 \text{ E } \quad 34^{\circ}53'34 \text{ N} \end{array} \right.$$

Elle est délimitée (Figure I.1) :

- ✓ Au Nord, par la commune de Branis ;
- ✓ Au Nord-Ouest, par la commune d'El Outaya ;
- ✓ À l'Est, par la commune de Chetma ;
- ✓ Au Sud-Est, par la commune de Sidi Okba ;
- ✓ Au Sud- Ouest, par la commune d'Oumache ;
- ✓ À l'Ouest, par la commune d'El Hadjeb.

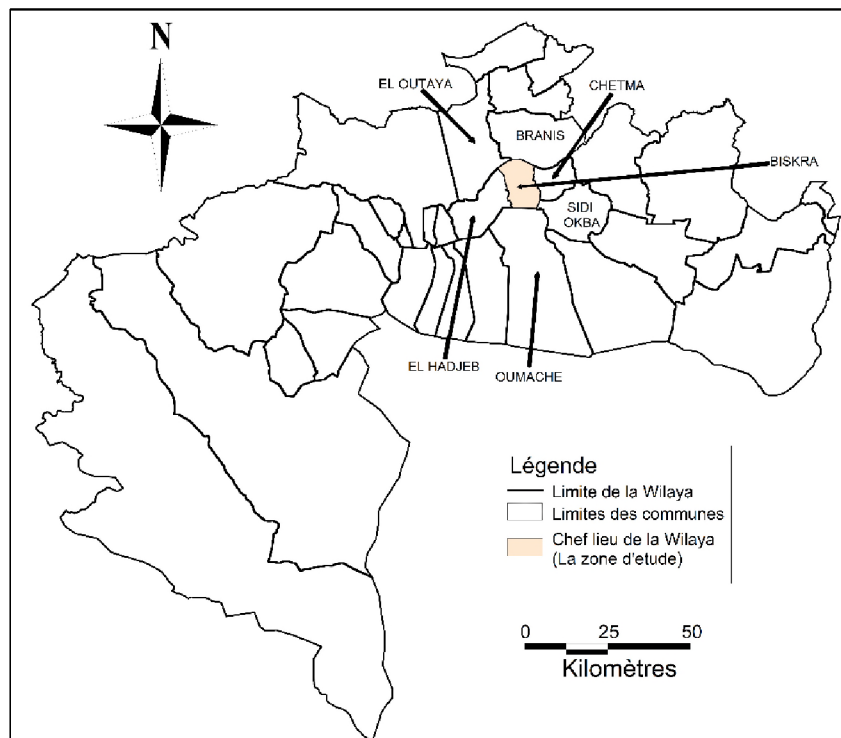


Figure I.1 : La situation géographique de la commune de Biskra (D.P.A.T)

I.1.2. Localisation d'Oued Biskra sur la ville de Biskra

L'oued Biskra est le principal cours d'eau dans la région, qui traverse le centre-ville du Nord au Sud pour se déverser dans le Chott Melghir, le point plus bas dans la région de Biskra. L'oued Biskra résulte de la jonction de deux affluents : Oued El Hai et Oued Djemoura dont la confluence donne naissance à l'oued Biskra (Figure I.2).

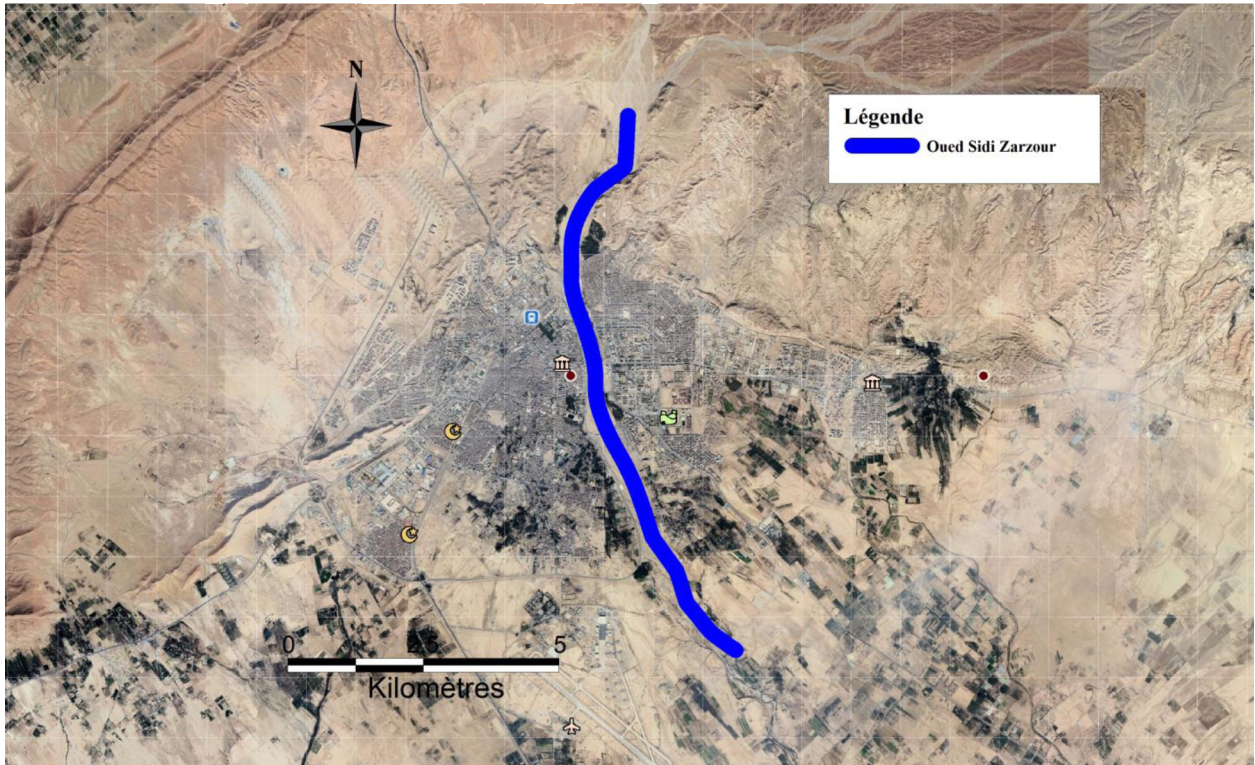


Figure I.2 : Le tracé d'Oued Biskra sur la ville de Biskra

1.2. Relief et topographie

Le relief est le résultat d'une conjugaison de plusieurs facteurs et particulièrement par l'évolution géologique et par l'action de l'érosion à une grande échelle (des milliers, voire des millions d'années).

En partant du Sud au Nord, le territoire de la commune de Biskra comprend trois grandes zones géographiques :

- ✓ Une zone de plaines divisée du Nord au Sud par l'Oued Biskra et occupant environ 80 % de superficie de la commune ;
- ✓ Une zone de piémont et d'éboulis occupant environ 10 % du territoire de la commune ;
- ✓ Une zone de montagne au Nord, Djebel Boughezal (519 m d'altitude), c'est un anticlinal qui constitue une véritable barrière, que la route de Biskra-Batna franchit avec quelques difficultés. Cet anticlinal est très accidenté et occupe environ 10 % du territoire de la commune de Biskra [5].

La ville de Biskra, présente une topographie qui permet une facilité de l'extension urbaine, excepté au Nord, et cela est dû à la présence d'une topographie accidentée (par rapport aux crêtes montagneuses de Djebel Ghezal, allongés vers l'Est par la petite chaîne de Guerguitt) (Figure. I.3 et Figure. I.4).

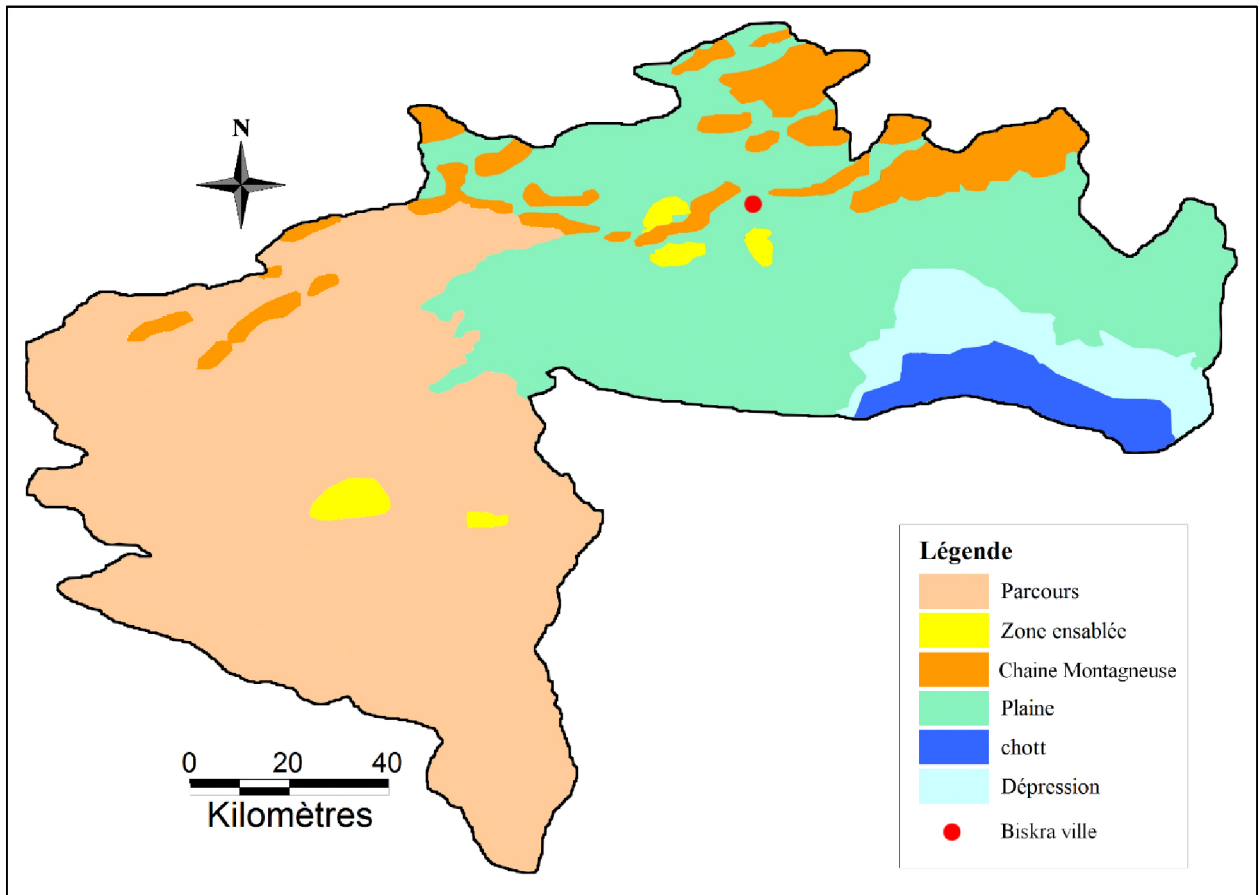


Figure I. 3 : Carte du relief et topographie de la wilaya de Biskra [17]

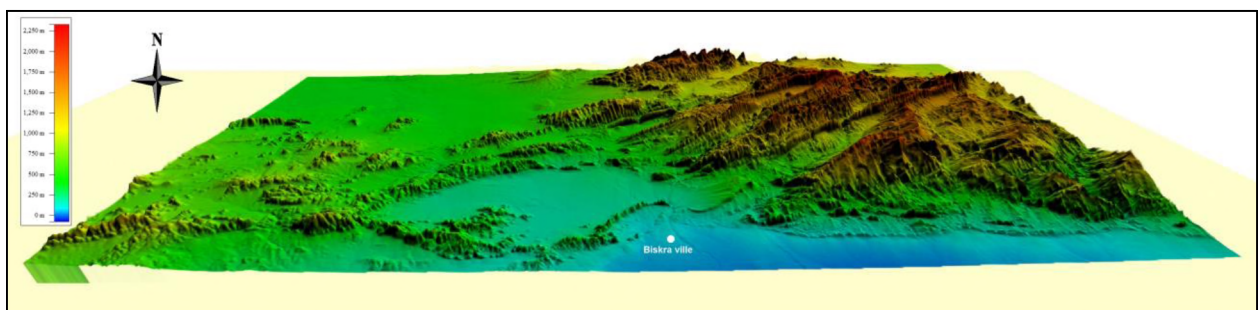


Figure I. 4 : Vue 3D de la topographie du Biskra (Global Mapper)

I.3. Géologie

La région de Biskra est constituée exclusivement de roches d'origine sédimentaire, il s'agit notamment de calcaires, dolomies, marnes, parfois du grès et du sel gemme. Ces roches constituent le relief montagneux du nord. Quant à la zone de plaine, elle est constituée d'alluvions sablonneuses et argileuses. L'étude stratigraphique met en évidence les éléments suivants (Figure I.5) :

- ✓ Les sédiments les plus fréquemment rencontrés sont : le trias, le jurassique et le continental intercalaire ;
- ✓ Le quaternaire ancien à base de cailloutis ;
- ✓ L'ensemble des failles, des flexures et autres déformations tectoniques [5].

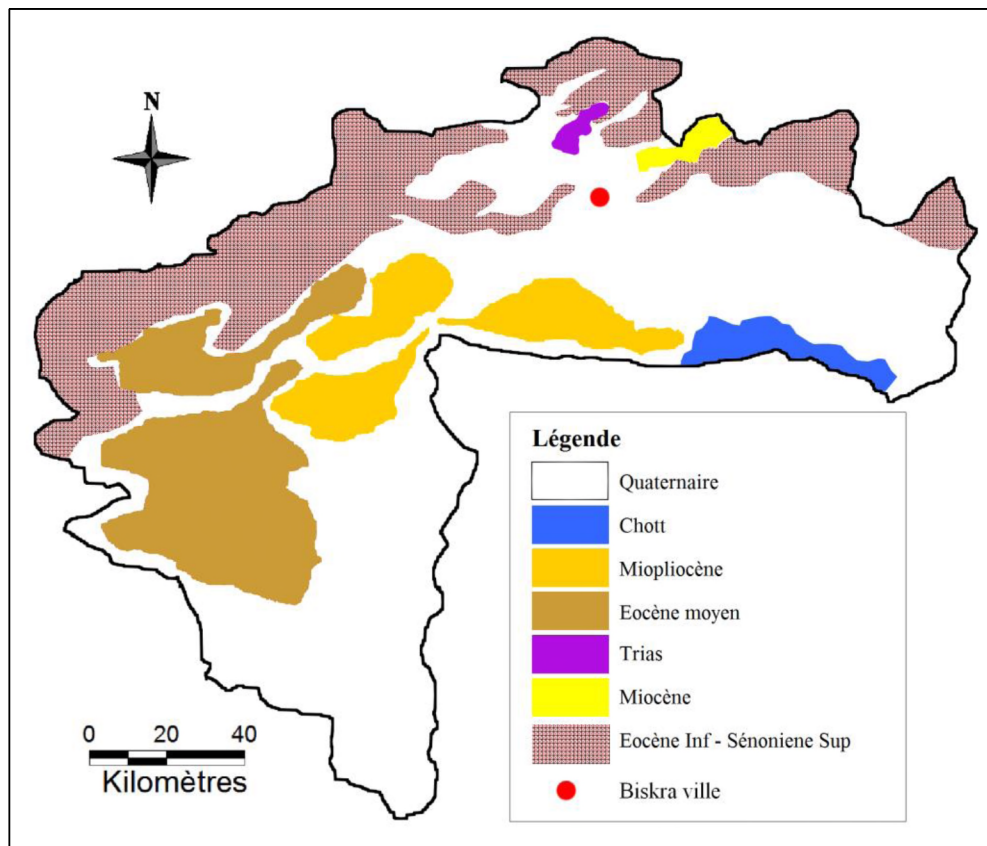


Figure I.5 : Carte géologique de la wilaya de Biskra

I.4. Hydrogéologie

Les ressources en eau souterraine dans la ville de Biskra comprennent les 03 nappes phréatiques suivantes :

I.4.1. La nappe phréatique

(nappe superficielle) située entre 3 à 20 m de profondeur, souvent très salée, elle est alimentée par les précipitations, par l'infero-flux et les eaux d'irrigation. Cette nappe est exploitée par des forages qui alimentent la ville de Biskra [5].

I.4.2. La nappe du complexe terminal

c'est une nappe qui se situe à une profondeur de 300 à 400 m allant de Biskra au nord pour rejoindre la Tunisie et la Libye à l'est, en longeant le piémont saharien et passant au nord de Ghadamès. Elle s'étend également vers l'ouest jusqu'au nord-est d'In Salah, Le tout sur une superficie de 35000 km². Elle est principalement alimentée par des arrivées d'eau du sud et de l'ouest[5].

I.4.3. La nappe du continental intercalaire

(appelée nappe albienne), c'est une nappe considérée comme immense, tant en terme d'extension spatiale qu'en terme de volume. Elle fut découverte tout comme pour le

continental terminal et couvre 500.000 km². Cette nappe est caractérisée par une eau très chaude, avec une température atteignant les 50 C° [5].

I.5. Le sol

La wilaya de Biskra est constituée d'une plaine d'accumulation d'alluvions sablonneuses à limono-sablonneux.

Des études pédologiques ont été réalisées par l'A.N.A.T. dans la wilaya de Biskra et ont décelé les caractéristiques générales du sol suivantes :

- ✓ Une faible profondeur ;
- ✓ Une très forte salinité ;
- ✓ Une charge caillouteuse ;
- ✓ Une faible teneur en matières organiques ;
- ✓ Une présence de cailloux en surface ;
- ✓ Des remontées capillaires ;
- ✓ Des apports alluvionnaires et colluvionnaires [6].

I.6. Couvert végétal

La végétation joue un rôle essentiel dans la protection du sol, elle exerce une protection mécanique directe sur l'écoulement fluvial, en diminuant la force vive des eaux et en favorisant leur infiltration, cette résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plus dense.

Les milieux naturels de cette région comprennent des étendues steppiques diversifiées, selon la présence ou non de sable, l'affleurement de rocher, la concentration de sels divers sous l'effet de remontée par la nappe phréatique, et également des dépressions humides plus ou moins salées. Les steppes sont des formations naturelles herbacées et arbustives très ouvertes, clairsemées, à aspects généralement nues, isolées et très irrégulières. Elles comprennent l'association de plantes herbacées, vivaces micro-thermiques et xérophiles (résistantes du froid et de la sécheresse) [7].

I.7. Climatologie

Le climat correspond à la distribution statistique des conditions atmosphériques dans une région donnée pendant une période de temps donnée. L'état de l'atmosphère peut être mesuré par de nombreuses variables. Les plus communes sont la température de l'air et la quantité de précipitations tombée pendant un période donnée, par le calcul des valeurs moyennes ou cumulées sur un mois des valeurs quotidiennes. Les caractéristiques climatiques de la région de Biskra sont obtenues à partir des données de la station météorologique de Biskra (O.N.M, 2014), pour une période s'étalant de 1992 à 2014.

I.7.1. Température

La température est le facteur climatique le plus important. Elle a une action majeure sur l'évaporation et l'évapotranspiration.

La température maximale la plus élevée durant la période (1992-2014) est enregistrée durant le mois d'Août avec 41,2 C°. Alors que la température minimale la plus basse durant la même période est notée durant le mois de janvier avec 7,5 C°. (Tableau I.1) [9].

Tableau I. 1 : Températures maximales, minimales et moyennes mensuelles de la région de Biskra durant la période (1992-2014)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
T°Cmax	17.81	19.53	22.59	28.32	33.15	37.07	40.63	41.22	35.49	30.95	23	18.13
T°Cmin	7.53	8.03	11.6	17.61	21.76	26.1	29.98	28.6	26.03	21.07	14.1	9.32
T°Cmoy	12.35	13.52	17.29	19.76	24.74	28.21	32.23	31.65	28.1	23.07	15.83	10.87

(Source : ONM, 2014)

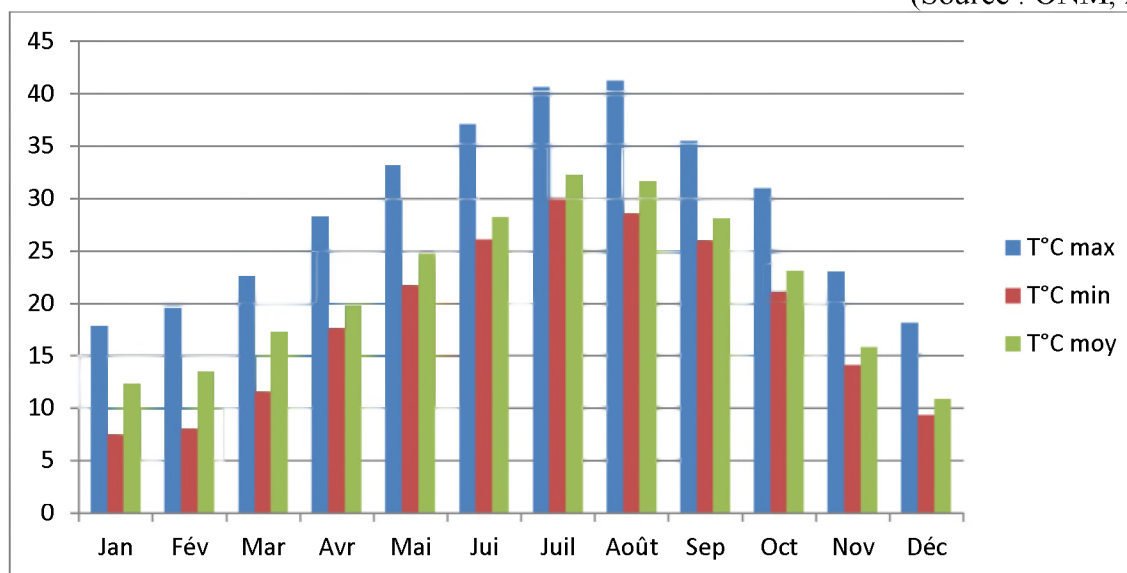


Figure I.6 : Températures maximales, minimales et moyennes mensuelles de la région de Biskra durant la période (1992-2014)

I.7.2. Précipitations

La pluviométrie est un facteur écologique d'importance fondamentale. La région de Biskra est caractérisée par une faible pluviométrie, les pluies tombent d'une manière irrégulière et peuvent être torrentielles (Figure I.7).

Les caractéristiques de la station pluviométrique Biskra-secteur sont représentées sur le tableau suivant [9]:

Tableau I.2 : Les caractéristiques de la station pluviométrique Biskra-secteur

Nom de la station	Code de la station	Coordonnées			Période d'observation	Nombre d'années de mesure
		Latitude	Longitude	Altitude		
BISKRA SECTEUR	06 14 16	776,1	178,2	130	1992-2014	22

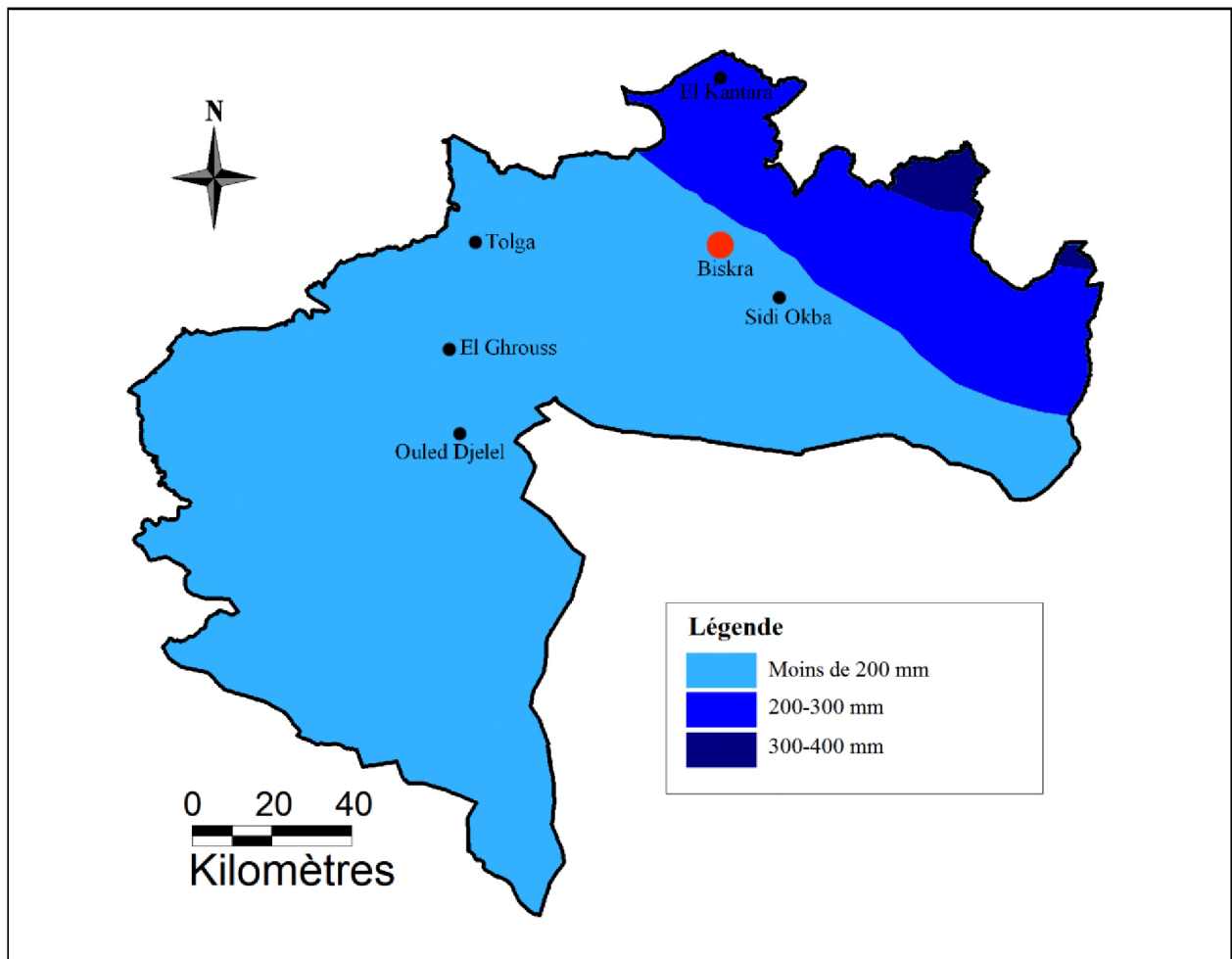


Figure I.7 : Carte pluviométrique de la Wilaya de Biskra

Les observations faites sur cette station durant la période de 1992 à 2014 sont données dans le tableau suivant :

Tableau I.3 : Les précipitations moyennes mensuelles de la région de Biskra durant la période (1992-2014)

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
P (mm)	30.86	4.86	18.86	13.52	3.76	9.09	2.72	0.69	21.24	18.68	7.68	10.46

(Source : ONM, 2014)

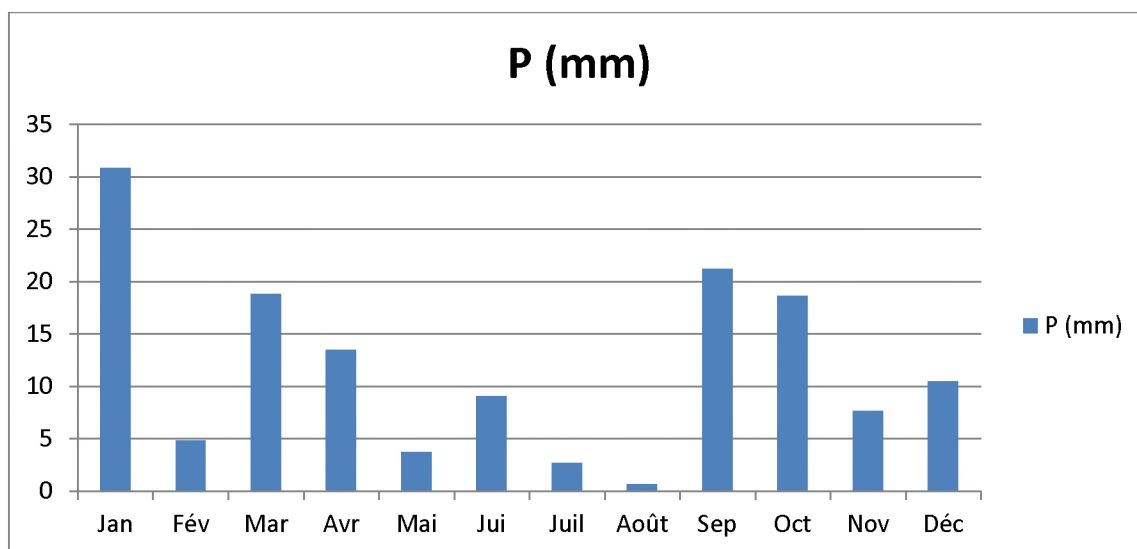


Figure I.8 : Les précipitations moyennes mensuelles de la région de Biskra durant la période (1992-2014)

I.7.3. Vents

Les vents dominants à Biskra sont du Nord-Ouest avec un degré moindre à ceux du Nord. Ces derniers soufflent du mois de novembre au mois de mai, sont des vents moyens et chauds. Du mois de juillet au mois de septembre sévissent les vents du Sud [9].

La vitesse maximale du vent est enregistrée durant le mois d'avril avec une moyenne de 3.86 m/s. Le minimum est enregistré durant le mois de février avec une vitesse de 2.92 m/s.

Tableau I.4: Vents moyens mensuels (m/s) de la région de Biskra durant la période (1992-2014)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Vent (m/s)	3.31	2.92	3.51	3.86	3.71	3.27	3.12	2.88	3.13	3.12	3.24	3.23

(Source : ONM, 2014)

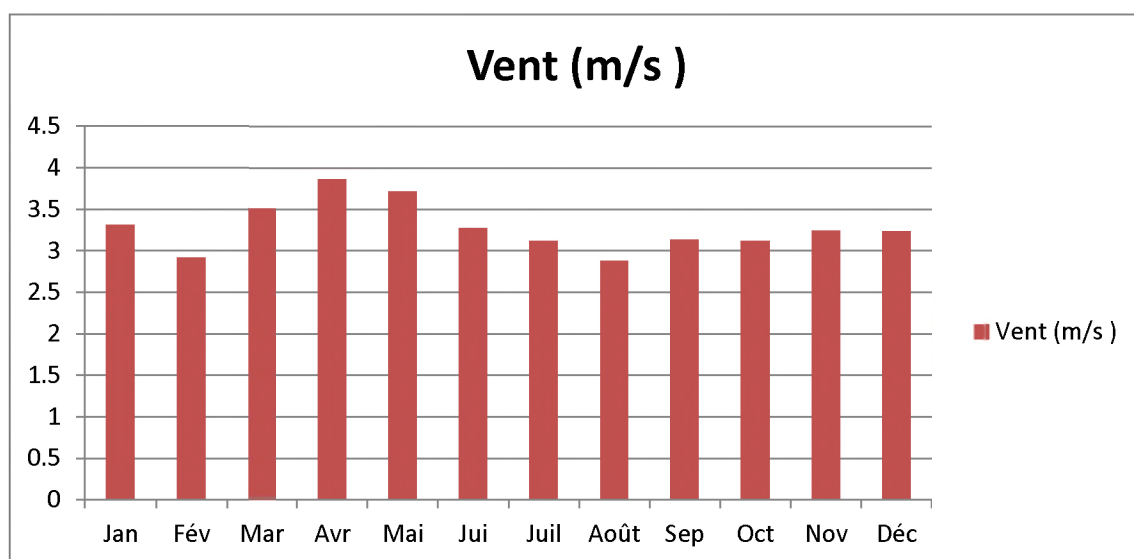


Figure I.9 : Vents moyens mensuels (m/s) de la région de Biskra durant la période (1992- 2014)

I.7.4. L'Humidité relative

La région de Biskra étant considérée comme une zone aride, il est tout à fait normal de constater des pourcentages d'humidité relativement bas.

Les résultats de l'humidité relative moyenne mensuelle (%) de la région de Biskra, durant la période (1980-2008) sont récapitulés dans le tableau suivant [3] :

Tableau I.5 : L'humidité relative moyenne mensuelle (%) de la région de Biskra durant la période (1980-2008)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
HR(%)	57.00	48.35	40.61	36.87	33.27	29.47	26.42	29.39	39.39	47.61	54.93	59.85

(Source : ONM, 2008)

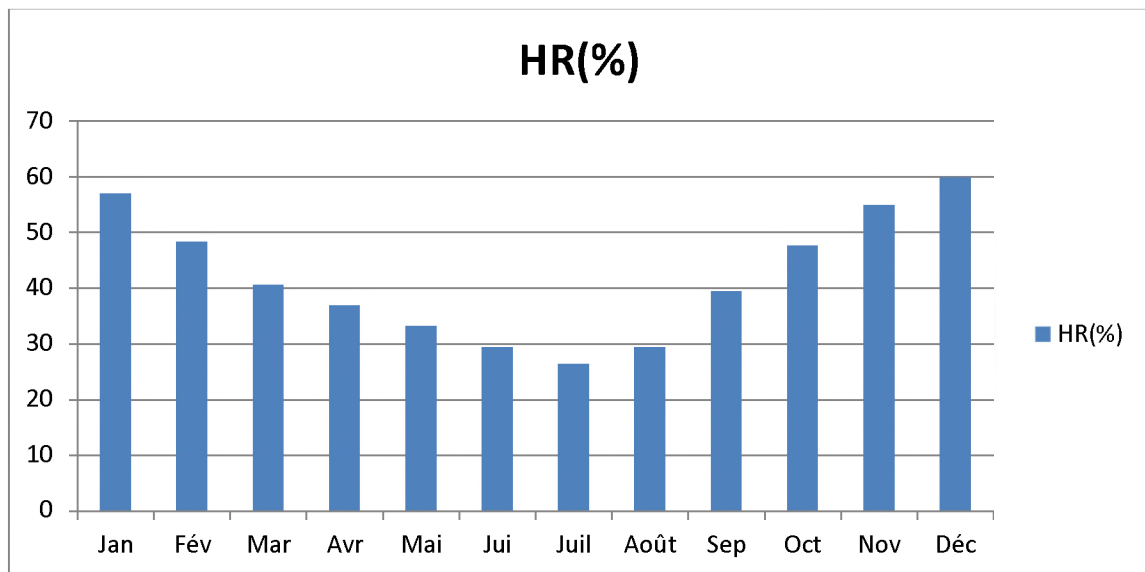


Figure I.10 : L'humidité relative moyenne mensuelle (%) de la région de Biskra durant la période (1980-2008)

I.7.5. Evaporation

Nous avons utilisé les données enregistrées aux stations de Biskra. Les données disponibles commencent de 1950 jusqu'à 2005 [17].

Un pic d'évaporation est enregistré au mois de juillet avec 380 mm. La faible évaporation est enregistrée au mois de Janvier, soit 97 mm.

Tableau I.6 : Evaporation moyenne mensuelle de la région de Biskra durant la période (1950-2005)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Evaporation (mm)	97	105	159	203	265	243	380	362	285	175	126	103

(Source : ONM, 2005)

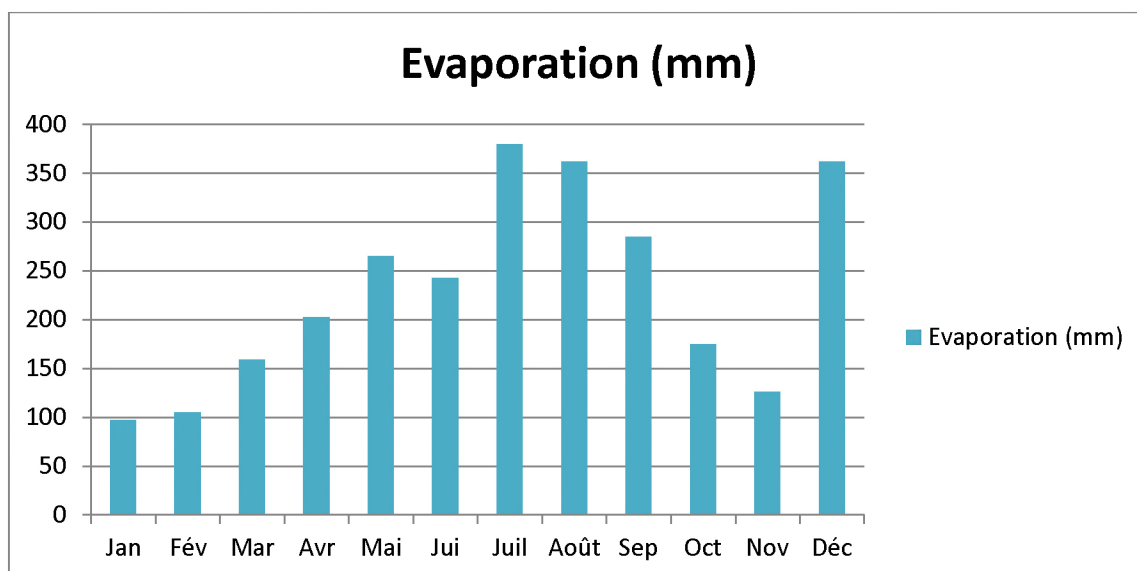


Figure I.11 : Evaporation moyenne mensuelle de la région de Biskra durant la période (1950-2005)

I.8. Situation démographique

La ville de Biskra représente un poids démographique de plus de 200.000 habitants en 2008, soit une augmentation d'environ 110 000 habitants durant les trois dernières décennies. Cette augmentation rapide souligne les transformations profondes de la société, et ses effets sur le fonctionnement et l'organisation spatiale de la ville [5].

Le tableau suivant montre la densité de population de la ville de Biskra (le rapport de la population par la superficie).

Tableau I.7 : Densité de la population de la ville de Biskra (2008)

Secteurs	Population (hab)	Superficie (hectare)	Densité (hab/ha)
1	8789	45.3	194.017
2	9773	97.8	99.928
3	42604	567.6	75.059
4	23105	183.7	125.775
5	25648	61.5	417.040
6	13591	237.3	57.273
7	19958	173.3	115.164
8	40226	319.2	126.021
9	7745	171.5	45.160
10	9215	64.1 (Zone industrielle non comptabilisé)	143.759
Total	200654	1921.3	104.436

(Source : ONS, RGPH 2008)

L'occupation de la population par secteur est illustrée sur la Figure I.12 :

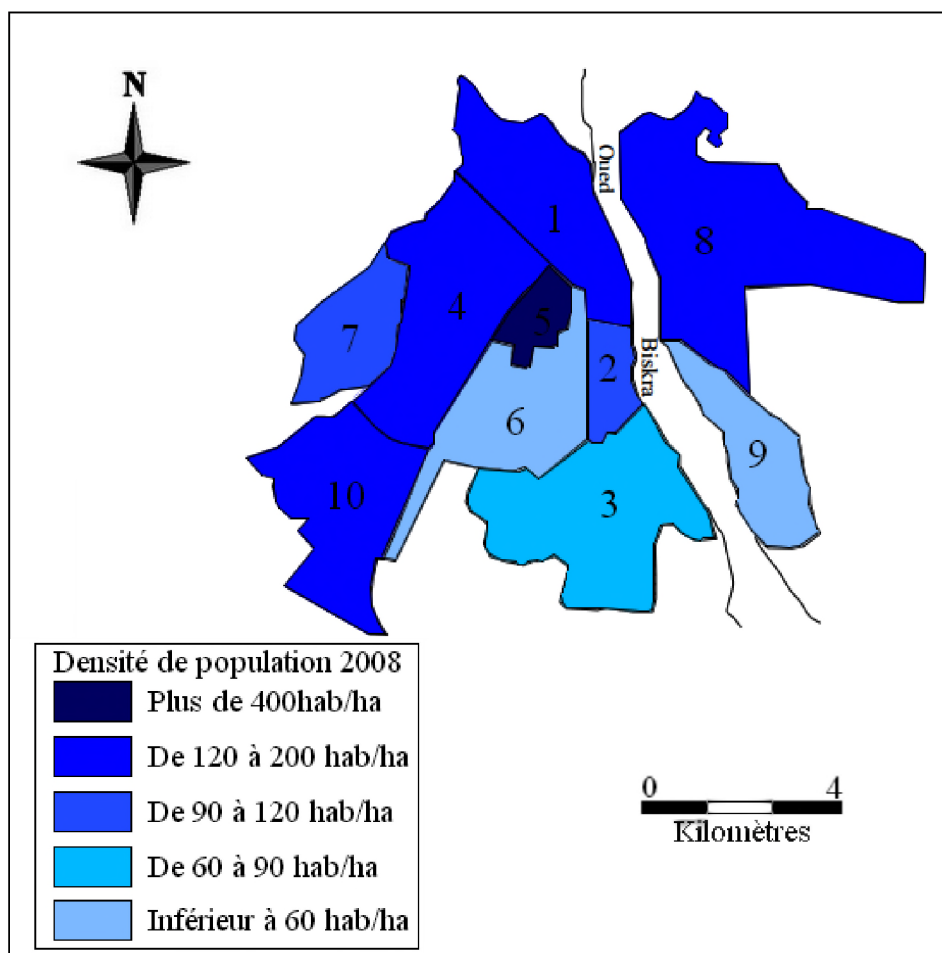


Figure I.12 : Densité de la population par secteur dans la ville de Biskra en 2008 (RGPH 2008)

1.9. Situation Économique

L'évolution et la répartition de l'emploi par secteur d'activité sont illustrées dans le tableau suivant :

Tableau I.8 : Evolution de la population de la ville de Biskra par branche d'activité (1966, 1977, 1987, 1998, 2008).

Année	Agriculture		Industrie		BTP		Services et commerces		Total
	Nbr	%	Nbr	%	Nbr	%	Nbr	%	
1966	1474	22.43	1949	29.66	1949	29.66	3148	47.91	6571
1977	2870	22.98	2777	14.98	2837	22.71	4007	32.08	12491
1987	1623	6.53	3233	13.00	4489	18.06	15509	62.40	24854
1998	3365	7.62	6616	14.98	6988	15.82	26192	59.31	44161
2008	3007	5.86	6381	12.43	9439	18.40	32492	63.31	51319

(Source : ONS, RGPH 1966 -1977-1987-1998 -2008)

Il en ressort que la structure de l'emploi dans la ville est assez déséquilibrée, avec des phases de stagnation entre les différents recensements 1987, 1998 et 2008. Malgré la vocation agricole par excellence de la région des Zibans, le secteur primaire n'occupe à Biskra que 5,86 % des occupés totaux de la ville. Les principales causes de cette situation sont certainement l'aspect concurrentiel généré par le BTP, les services, et surtout l'activité

commerciale qui détient à Biskra une place importante. Le secteur tertiaire prédomine donc avec plus de 63 % des occupés en 2008. Cette dominance trouve son explication dans le rôle attribué à la ville, considérée comme pôle commercial et administratif. Le secteur du bâtiment et des travaux publics ne regroupent que 18,4 % des emplois malgré les nombreux projets lancés entre 1998 et 2008. En dernière position, nous retrouvons le secteur industriel avec un taux de plus de 12 %, mais qui reste faible au vu du manque d'un développement adapté et nécessite donc un véritable redéploiement [5].

I.10. Situation agricole

La culture des palmiers est la principale culture pratiquée dans la région des Ziban. L'espace entre les palmiers dans la plupart des cas est occupée par des cultures intercalaires, comme les arbres fruitiers et les autres cultures vivrières.

A partir des années 1990, les cultures maraîchères ont enregistré un développement considérable, ce qui a permis à la wilaya de devenir le premier pôle en Algérie en matière des cultures protégées. Elle occupe également le premier rang en production de primeurs de plein champ (fève, petit pois, melon, pastèque).

Les espèces fruitières les plus cultivées dans la région sont l'abricotier, le figuier, l'olivier, le grenadier, le pommier et les agrumes.

Les productions céréalières et fourragères sont souvent instables d'une année à une autre, à cause des calamités naturelles (sécheresse, sirocco).

Les plus grandes superficies sont occupées par la culture des céréales, la culture des palmiers et le maraichage. Les autres cultures occupent des superficies plus ou moins importantes comme les fourrages, l'olivier et les arbres fruitiers [13].

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini les données nécessaires concernant notre zone d'étude du point de vue géographique, géologique, hydrogéologique, topographique, climatologique, démographique...etc. Ces dernières nous serviront pour l'élaboration de notre étude.

Chapitre II :

Généralités sur les

inondations

Introduction

L'eau sous toutes ses formes, joue des rôles multiples dans la vie humaine. Pourtant, elle est également source de graves difficultés en particulier dans les domaines de la santé et de l'environnement. Les évolutions climatiques engendrent parfois des crues ou inondations et orages brutaux qui sont, sans doute le risque naturel majeur qui fait le plus de victimes et de dégâts à travers le monde. Les plus fortes crues des cours d'eau de l'Algérie se manifestent en automne et en hiver à cause des orages et des longues averses, ces fortes crues engendrent des inondations catastrophiques dont les dégâts humains et matériels ont été toujours très élevés. Dans ce chapitre nous allons aborder ce phénomène en détaillant ces différentes caractéristiques. Nous allons également passer en revue les événements de crue qui ont frappé l'Algérie en général, et la ville de Biskra en particulier.

II.1. Caractéristiques de l'inondation

II.1.1. L'Aléa

L'Aléa, est un phénomène dangereux pouvant causer des pertes de vies humaines, ou d'autres effets sur la santé, des dommages aux biens, des pertes de moyens de subsistance et des services, des perturbations socio-économiques et des dommages à l'environnement [12].

II.1.2. La vulnérabilité

De manière générale, la notion de vulnérabilité est liée à celle d'insécurité, de danger réel dont il faudrait pouvoir se préserver. Donc la vulnérabilité est une tendance des choses à être endommagées par les aléas [12].

II.1.3. Le risque

Il exprime la probabilité d'une catastrophe ayant pour conséquence des pertes d'un niveau particulier. Ce sont des pertes attendues (pertes de vies, blessures, dommages à la propriété, grave perturbation des activités économiques) causées par un phénomène particulier [12].

II.2. Les inondations en Algérie

L'Algérie est confrontée aux phénomènes de crues et d'inondations qui sont plus fréquents que les séismes et les glissements de terrains. Ces phénomènes provoquent des catastrophes et occasionnent d'importants dégâts humains et matériels. Ces crues, variables dans le temps et dans l'espace, sont violentes, parfois rapides et soudaines et surtout imprévisibles. Les inondations attribuables aux crues d'oueds et aux tempêtes de pluies se produisent dans toutes les régions du pays [1].

On décrit ci-dessous dans le Tableau II.1 quelques cas significatifs des inondations enregistrés en Algérie :

Tableau II.1: Quelques exemples des inondations en Algérie

Lieux et date	dégâts		Pluie en (mm), débit en (m ³ /s) et la durée
	humaines	Matériels	
Azazga (Tizi Ouzou) le 12/10/1971	40 morts	centaines d'habitations détruites	Pluie journalière de 183 mm d'eau
Tizi Ouzou, du 28 au 31 mars 1974	52 décès 18000 sinistrés	4570 maisons détruites, 130 villages isolés, 13 ponts détruits et des dizaines de kilomètres de routes emportées des dégâts évalués à l'époque à 27 millions DA	688 mm en 4 jours 381 mm en 01 journée

El Eulma (Sétif) le 01/09/1980	44 décès 50 blessés et 365 familles sinistrées	/	Pluies orageuses violentes et localisées sur un rayon de 15 Km à la ville d'El Eulma
Annaba le 11/11/1982	26 morts 9500 sinistrés	/	pluie enregistrée du 10/11 au 11/11/1982 est de 167 mm à L Edough et 160 mm à Seraïdi
Birine (Djelfa) 22/08/1983	10 morts, 10 blessés	Inondèrent la commune à 60 %, 200 habitations détruites et 1200 têtes de bétail emportées par les eaux	Pluies orageuses très violentes
Skikda du 30 janvier au 4 février 1984	174 maisons démolies, 500 familles sinistrées	Terrains agricoles fortement endommagés	/
Bordj Bou Arreridj le 23/09/1994	16 décès	des dégâts évalués à 10 millions de DA	/
Skikda du 28 au 31 Décembre 1984	11 morts	Dysfonctionnement des portes de vidange du barrage de Zardezas à l'amont du bassin suite à des lâchées sécuritaire infrastructures de base fortement endommagées, édifices effondrés suite à des mouvements de masse, immersion de 400 hectares et enclavement de la ville pendant 10 jours importants dégâts matériels évalués alors à 50 millions de DA	Les précipitations quotidiennes maximales ont atteint 137 mm à Zardezas, 97.6 mm à El Harrouch et 111.2 mm à Ramdane Djamel le débit maximum évacué était de l'ordre de 1004 m ³ /s
Jijel le 29/09/1984	29 morts et 11000 sinistrés	500 têtes de bétail emportées et dégâts évalués à 50 millions de dinars	
Batna 05/07/1987	02 morts et des dizaines de familles sinistrées	dégâts évalués à 175 millions de centimes	Pluies orageuses très violentes (pluie journalière de 57 mm)
M'sila (Commune de Sidi Aïssa particulièrement touchée) 21/09/1989	une personne disparue et plus de 200 familles sinistrées à Sidi Aïssa	Deux ouvrages d'art chevauchant les RN 08 et RN 40 emportés par les crues. Trois ponts sur les RN 40 et RN 60 endommagés, deux gués sur la RN 60 emportés par les eaux et plusieurs Km de routes détériorées. Perte d'une retenue collinaire et de douze digues de déviations.	Fortes Pluies orageuses
Ghardaïa 03/06/1991	09 morts	pertes importantes en cheptel et de palmeraies Destruction partielle de la digue d'El Atteuf Ponts, chaussés et réseaux d'assainissement avoisinant oued Mzab dégradés	Orage local et très violent (8 mm en 03 h)
Adrar 14/01/1999	12 morts et plusieurs disparus	174 habitations en toub détruites dans les localités de: Reggane, Tsabit, Timimoune et Adrar	Fortes chutes de pluies (74 mm à Adrar)
Bab el Oued (Alger) entre le 9 et 11 Novembre 2001	700 morts 115 disparus et des milliers de blessés évacuation des milliers de familles	effondrement des constructions, coupures des routes et de l'électricité, renversement de voitures, arbres et poteaux électriques arrachés, liaisons ferroviaires interrompues entre Alger et les autres villes Les dommages ont été estimés à 30 milliards de dinars algériens	262 mm dont 204 mm en 24 heures 130 mm enregistrées à la station de Bouzereah durant la matinée du 10 Novembre
Skikda 17/11/2004	plus de 100 familles sans abri, 219 familles	établissements scolaires fermées (3 lycées, 6 collèges d'enseignement moyen et 4 écoles fondamentales)	/

	sinistrées		
Tindouf 21/02/2006		au moins 70% des stocks de la nourriture des familles ont été ruinés détérioration de 50 à 60% des infrastructures aux camps des réfugiés sahraouis à Tindouf	une pluie quotidienne de 79 mm
Bechar 24/10 2007	plus des deux victimes emportées par les eaux	les infrastructures de base ont été fortement endommagées, lignes téléphoniques coupées, circulation automobile arrêtée, routes bloquées suite à l'effondrement de plusieurs dalots et ponts, infiltrations des eaux dans plusieurs habitations	/
Ghardaïa 02/10/2008	34 morts des dizaines de blessés et de sinistrés	des centaines de maisons ont été détruites, de nombreuses routes ont été coupées et les liaisons téléphoniques ont été très perturbées Les dégâts matériels ont été estimés à environ 2500 millions de dinars, dont 2000 millions dinars pour les infrastructures	Débit 900 m ³ /s et la hauteur de submersion a atteint par endroits les 8m

Le Tableau II.2 représente le nombre de constructions en zones inondables dans quelques wilayas, il fournit une idée de la gravité de la situation que peut générer le double phénomène des inondations et de l'urbanisation incontrôlée.

Tableau II. 2 : Habitations construites en zones inondables [8]

Wilaya	Nombre de constructions
CHLEF	2248
LAGHOUAT	3083
O. E.BOUAGHUI	1999
BATNA	16261
BEJAIA	500
BISKRA	763
BOUIRA	1438
TAMANRASSET	1159
TEBESSA	17236
TLEMCEN	375
TIARET	13
ALGER	14545 plus quartiers Merdja et Baraki
DJELFA	784
JIJEL	47(05 zones à risques très élevés)
SETIF	1261
SAIDA	976+ 09 cités
SKIKDA	4009
S.B.ABBES	576 +04 cités en centre-ville
ANNABA	30 cités et quartiers
GUELMA	360
CONSTANTINE	620
MEDEA	3075
MOSTAGANEM	1633
M'SILLA	1185
ORAN	06 cités
BOUMERDES	561
EL TARF	2370
TISSEMSILT	1340

EL OUED	766
SOUK AHRAS	La plupart des communes présentent des habitations construites en zones inondables.
TIPAZA	2710
MILA	1663
AIN DEFLA	7772
NAAMA	4924
AIN TEMOUCHENT	14 zones jouxtant différents lits d'oueds
RELIZANE	350

(Source : Protection Civile/Ministère De L'intérieur Et Des Collectivités Locales)

En effet, si les inondations sont classées comme étant une catastrophe naturelle et sont la conséquence d'importantes chutes de pluie, il n'en demeure pas moins que dans plusieurs régions, elles sont imputables aux agissements de l'homme. Parmi les causes fondamentales à l'origine de ces catastrophes, il convient de citer notamment :

- ✓ Une situation météorologique particulière se traduisant par une forte pluviométrie ;
- ✓ Une défaillance des réseaux d'évacuation ;
- ✓ Des gonflements d'oueds par des décombres et détritiques (transport solide) ;
- ✓ Des constructions qui interceptent le courant des oueds ;
- ✓ L'extension urbanistique des villes dont certaines se sont développées près et au flanc des montagnes, telles que Ain Defla, Batna, Médéa, et d'autres qui se trouvent actuellement traversées par des oueds telles que Sidi Bel Abbés et Bordj Bou Arreridj [8].

II.3. Les inondations à Biskra

La ville de Biskra a souvent été le théâtre d'inondation assez grave. A partir des données climatiques et des archives administratives locales, on a constaté que la ville de Biskra a connu plusieurs événements hydrologiques inondant, les crues ont surtout pour origine, des averses exceptionnelles par leur intensité, leur extension et leur durée qui ne dépasse pas une heure dans la plus part des cas (voir Annexe 1).

II.3.1. La crue du mois d'avril 1949

L'étude et la délimitation des impacts de la crue du mois d'avril 1949 est une approche prise comme exemple du phénomène d'inondation dans la ville de Biskra, afin d'arriver à délimiter les zones à risque à partir de l'étude des lits des oueds, et la conclusion tirée de cette inondation indique bel et bien la prise en considération de l'évolution de l'urbanisation de la ville.

La ville de Biskra a connu plusieurs inondations, leur importance est très variable et les grandes crues recouvrent l'oued Biskra sur environ 400 m de large. Parmi les plus forts écoulements qui ont été produits, nous signalerons celui de juin 1940, octobre 1948 et surtout celui de 24 Avril 1949 qui causa des dégâts colossaux aux habitants de la rive droite de l'oued. Les causes principales de cette dernière, sont imputées à la nature lithologique à forte imperméabilité, le site de la ville qui est entouré par des montagnes comme la chaîne de montagnes rocheuse de Boumenkoucheau Nord, la torrencialité des précipitations orageuses, la présence d'un réseau hydrographique relativement dense traversant la ville de Biskra, l'insuffisance du niveau des berges et la qualité d'assainissement de l'agglomération qui ont une influence directe sur le renforcement des crues.

La photo aérienne (*Fig. II.1*) montre la faible hauteur des berges et les risques de débordement. La crue importante d'avril 1949 a écoulé pendant trois jours sans interruption,

inonda certains quartiers de la ville de Biskra situés sur les rives de l'oued. Les impacts engendrés par l'inondation de mois d'avril 1949 et quelques exemples des inondations frappant la ville de Biskra, sont résumés dans le Tableau II.3 [4].

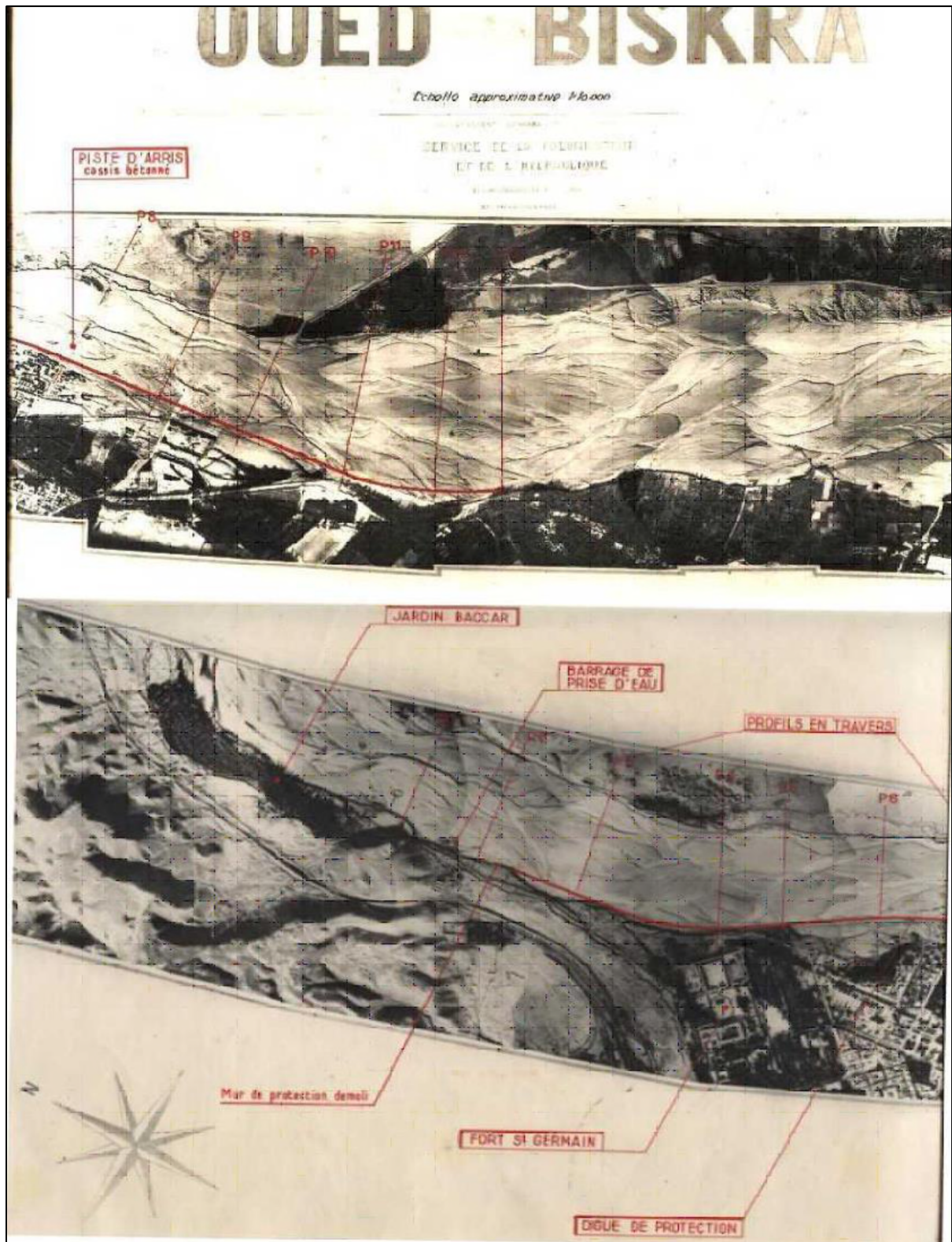


Figure II.1 : Photo aérienne représentant la crue d'Avril 1949 (Archives)

II.3.2. La crue de septembre 1989

C'est un exemple de crues de saison chaude, ce type de crues les plus fréquentes dans l'oued Biskra se produit au début et en fin de saison, qui revêt un caractère de gravité élevé en raison de la forte intensité des averses et de l'absence du couvert végétale, ces paramètres peuvent l'emporter sur les effets de l'évaporation et du pouvoir absorbant du sol élevé en cette période. La crue de 1989 qui a eu lieu le 29 Septembre, dont la hauteur pluviométrique à Djemoura est de 146 mm avec un débit journalier de 82,7 m³/s et un débit de 297 m³/s à la station hydrométrique d'El Kantara.

Malgré les fortes possibilités d'infiltration et d'évaporation, l'intensité particulièrement élevée des précipitations a provoqué des montées importantes des niveaux d'eau qui ont atteint près de 2 m à la station de Djemoura et 4 m à la station d'El Kantara [4].

II.3.3. La crue de Juin 1981

Cette année-là, de fortes précipitations tombant sur le bassin versant de l'oued Biskra ont provoqué la crue du 25/06/1981. La station hydrométrique d'El Kantara a enregistré un débit journalier de 178,20 m³/s, alors que la station de Djemoura n'a enregistré que 19,94 m³/s, l'écart entre ces débits journaliers pour ces deux stations est très important et témoigne de la variété des réponses des sous bassins (la morphologie du lit, les caractéristiques physiques notamment, la lithologie et les conditions météorologiques) [4].

Quelques exemples des inondations qui ont sévi dans la ville de Biskra, sont résumés sur le Tableau II.3.

Tableau II.3 : Les impacts de l'inondation du mois d'avril 1949 et quelques exemples des inondations frappant la ville de Biskra [4]

Dates des inondations	Quartiers, zones ou secteur touchés	Dégâts			Pluie en (mm) et la durée
		Humaine (morts et blessés)	Sinistrés	Matériels	
24 Avril 1949	Bab darb, Feliache, El Houda, Sidi Ghozal, Gueddacha et Sidi berkat.	26 morts 44 blessés 02 disparus	6538 familles 34869 personnes	107 Maison, 23883 habitations, 450 Compteurs électriques, 2,5 Km Câble électricité et 07 Km Câble téléphonique.	299,9 mm 3 jours
26 Novembre 1971	Commune de Biskra, Centre-ville, Feliache Bouchagrone et Sidi okba.	3 morts 14 blessés	360 familles	110 Tonnes de produits dattiers, 600 Hectare de terres agricole, 2,5 Km de route reliant la ville et quartier Feliache et 4 Station de pompage.	1 Jours
Mai 1976	Bab El Fath, Sidi Ghozal, Centre-ville et Feliache.	30 blessés 4 disparus	500 familles	2,5 Km de routes, 4 pompes à eau, 500 Hectare de terres, 50 Palmiers et Les ponts	36.5 mm
Août 1989	Centre-ville, Sidi Barket, Bab El Darb et Majeniche.	16 blessés	40 familles	435 Maisons, 5km Câble électrique, 10 km Câble téléphonique et 21 Habitations	/

2004	El Alia, Sidi Ghozal, Zhun Est, centre-ville, Star Melok et M'cid.	03 morts 09 blessés	126 familles 59 maisons	10 sociétés, 119 Constructions, 543 Habitations, 1,5 Km de câbles électriques et 3 Km de routes.	70,7mm mois d'avril 34 mm mois de mai 197,9 mm durant l'année.
------	--	------------------------	----------------------------	--	--

(Source : Protection civile de la ville de Biskra)

Les zones et les quartiers inondables dans la ville de Biskra sont présentés sur le Tableau II.4.

Tableau II. 4 : Les zones exposées aux risques d'inondation dans la ville de Biskra [4]

Les Zones inondables	L'oued menaçant /Autres causes
Quartier Sidi Ghozal	Oued Z'mor
Vieux Biskra	Eaux pluviales
Route de Touggourt	Eaux pluviales
Clinique Razi	Eaux pluviales
Haret El Oued	Débordement de l'oued Z'mor + eaux pluviales
Quartier 726	Eaux pluviales
Villas de cadres	Oued Z'mor
Quartier Feliach	Oued Biskra
Bab Dareb	Oued Biskra

(Source : Protection civile de Biskra)

Une certaine classification peut être proposée en se basant sur le critère de leur vulnérabilité au risque d'inondation dans la ville de Biskra sont présentées sur le Tableau II.5.

Tableau II.5 : Classifications des zones inondables dans la ville de Biskra [4]

Classification des milieux	%	Zones et quartiers
Milieux menacés par le risque d'inondation.	58	Centre-ville, Sidi Ghozal, vieux Biskra, Bab El Dareb, Bab El Fateh, quartier de la rive droite de l'oued Biskra, Centre-ville quartier Feliache et El Houda
Milieux à risque d'inondation modéré.	30	Quartier 726, Haret El Oued, Route de Touggourt, Sidi Barket, ZhunEst et zones d'équipement.
Milieux relativement non inondables.	12	Ben Badis, Al Alia, quartier Salem quartier Dalia, Zhun Ouest et cité El Outaya.

Quelques images des crues du mois de mai 2018 sont présentées dans l'Annexe 2.

Conclusion

Une crue est un niveau inhabituel observé dans un cours d'eau, son intensité varie spatialement et temporairement. Les conséquences qu'elle engendre en milieu naturel sont moindres, tant dis que en milieu urbain, on ne peut jamais prévoir quelle ampleur peuvent atteindre les dégâts humains et matériels entraînés par les inondations.

Le risque des inondations est particulièrement complexe à gérer. La protection des agglomérations de ce type de catastrophe nécessite l'implication de plusieurs disciplines afin de déterminer les divers paramètres contribuant à leur formation ainsi que les solutions appropriées.

Chapitre III :

Etude Hydrologique

Introduction

L'étude hydrologique menée ici consiste en la détermination de certaines caractéristiques physiques du bassin versant, ainsi que les caractéristiques hydro-pluviométriques nécessaires à l'étude du dimensionnement des ouvrages hydrotechniques constituant l'aménagement de l'oued.

III.1. Analyse des paramètres du bassin versant

III.1.1. Bassin versant de l'Oued Biskra

Le bassin versant de l'oued Biskra doté d'une superficie de 3112 km² fait partie du grand bassin Chott Melghir (BV06), qui couvre une superficie de 68751 km². Il est possible de délimiter trois grandes unités hydrologiques du bassin :

III.1.1.1. Le bassin supérieur

C'est une région entourée de chaînes montagneuses peu élevées (jusqu'à 2053 m, monts de Belezma) qui couvre une superficie de 1893 km², ayant un périmètre total de 321 km. Elle est drainée par l'oued El Hai ; oued Tilatou descend des flancs des monts de Bellezma et après confluent avec oued Fedhala, il donne lieu à "oued El Hai".

III.1.1.2. Le bassin moyen

Ce bassin couvre la zone du piémont et une partie de la plaine, il a une surface de 1034 km², un périmètre total de 233.3 km. Il est encadré par un certain nombre de montagnes : au Nord-Ouest par le haut relief de Ain Zaatout. Au Nord par Djebel Mahmel (2296 m). Au Sud-Est par Djebel Lazreg (1937 m). Au Sud, la vallée ouverte sur la dépression saharienne d'El Outaya est caractérisée par des reliefs moins abrupts que ceux du bassin supérieur, avec une altitude variante entre 300 m et 1600 m. La plus grande partie de ce secteur est drainée, par l'oued Djemoura ; qui descend du Djebel Boutlarmine (2178 m), il est formé de l'oued Abdi et l'oued Bouzina, qui par ses nombreuses ramifications prend source du Djebel El Mahmel et Boutelarmine.

III.1.1.3. Le bassin inférieur

C'est la partie qui se situe au Sud du bassin de l'oued Biskra, limitée au Nord par Djemoura, à l'Est par Djebel Ras Chicha, à l'Ouest par la plaine d'El Outaya et au Sud par Biskra, il couvre une superficie de 185 km² et un périmètre total de 76.25 km, avec un relief accidenté et peu élevé (jusqu'à 1219 m).

III.1.2. Caractéristiques morphologiques du bassin versant

III.1.2.1. Caractéristiques géométriques

III.1.2.1.1. La Surface

Les surfaces des différents sous-bassins de l'Oued de Biskra sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.1: Les surfaces des BV (supérieur, moyen, inférieur et le BV Global)

Bassin	Superficie (km ²)
SBV supérieur	1893
SBV moyen	1034
SBV inférieur	185
BV Global	3112

III.1.2.1.2. Le périmètre

Les périmètres des différents sous-bassins de l’oued de Biskra sont fournis dans le tableau ci-dessous:

Tableau III.2: Les périmètres des BV (supérieur, moyen, inférieur et le BV Global)

Bassin	Périmètre (km)
SBV supérieur	321
SBV moyen	233.3
SBV inférieur	76.25
BV Global	355

III.1.2.1.3. Longueur du plus long thalweg

La longueur de thalweg principal de chaque bassin est énumérée dans le tableau suivant:

Tableau III.3: La longueur des thalwegs des BV (supérieur, moyen, inférieur et le BV Global)

Bassin	Surface (km ²)	Périmètre (km)	Longueur du plus long thalweg (km)
SBV supérieur	1893	321	118.4
SBV moyen	1034	233.3	95
SBV inférieur	185	76.25	25.8
BV Global	3112	355	132.8

III.1.2.1.4. L’indice de compacité de Gravelius

Il est fourni par l’équation suivante [12] :

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} \dots \dots \dots \text{Eq III.1}$$

Le tableau suivant donne les valeurs de K_c des différents sous-bassins.

Tableau III.4 : L’indice de compacité de Gravelius des BV (supérieur, moyen, inférieur et le BV Global)

Bassin	Surface (km ²)	Périmètre (km)	Indice de compacité K_c
SBV supérieur	1893	321	2.06
SBV moyen	1034	233.3	2.03
SBV inférieur	185	76.25	1.57
BV Global	3112	355	1.78

En fonction de K_c , les bassins sont classés comme suit :

$= 1 \implies$ forme circulaire ;

$K_c = 1.12 \implies$ forme carré ;

$K_c > 1.12 \implies$ forme allongé.

A base des résultats obtenus, on peut dire que les trois sous-bassins versants ainsi que le BV Global ont une forme allongée.

III.1.2.1.5. Rectangle équivalent

Le rectangle équivalent est caractérisé par la longueur « L » et la largeur « l » définies respectivement par les formules suivantes[16] :

$$L = \frac{Kc \cdot \sqrt{S}}{1.128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Kc} \right)^2} \right) \dots\dots\dots Eq. III. 2$$

$$l = \frac{Kc \cdot \sqrt{S}}{1.128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Kc} \right)^2} \right) \dots\dots\dots Eq. III. 3$$

Avec :

L : Longueur du rectangle équivalent (km) ;

l : Largeur du rectangle équivalent (km) ;

Kc : L'indice de compacité de Gravelius ;

S : surface du bassin versant (km²).

Le tableau suivant donne les valeurs du rectangle équivalent des différents sous-bassins :

Tableau III.5: Les valeurs du rectangle équivalent des différents BV (supérieur, moyen, inférieur et le BV Global)

Sous bassin	Surface (km ²)	Indice de compacité Kc	Valeurs du rectangle équivalent (km)	
			L	l
SBV supérieur	1893	2.06	145.94	12.97
SBV moyen	1034	2.03	105.98	9.76
SBV inférieur	185	1.57	32.1	5.76
BV Global	3112	1.78	156.13	19.93

III.1.2.2. Caractéristiques des altitudes (hypsométrie)

La répartition du bassin versant (en km² et en % de la superficie totale) par tranches d'altitudes est consignée dans l'Annexe 3 et la Figure III.1 qui nous renseignent sur les altitudes caractéristiques de chaque sous bassin.

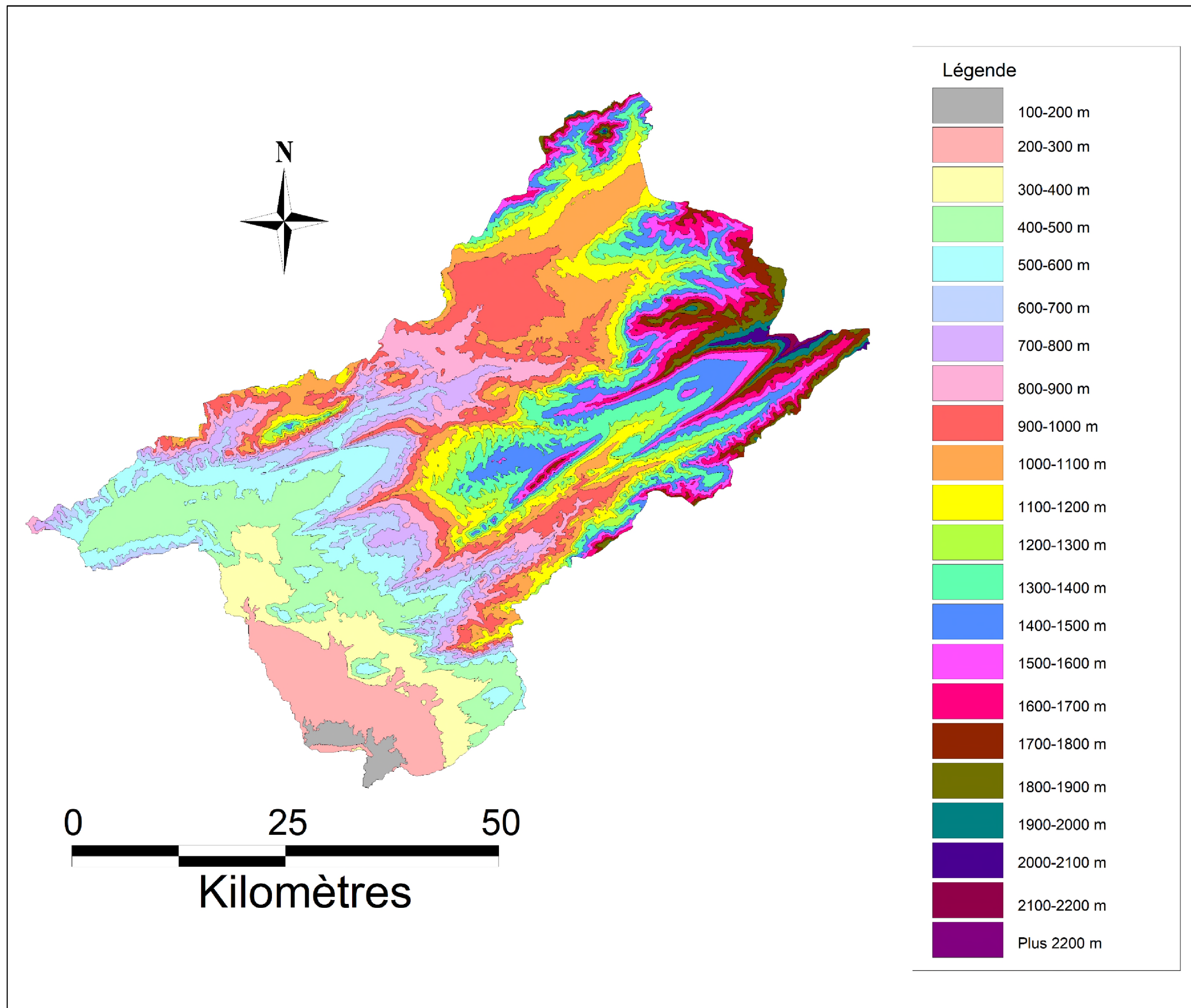


Figure III.1 : La répartition des surfaces en fonction des altitudes du bassin versant

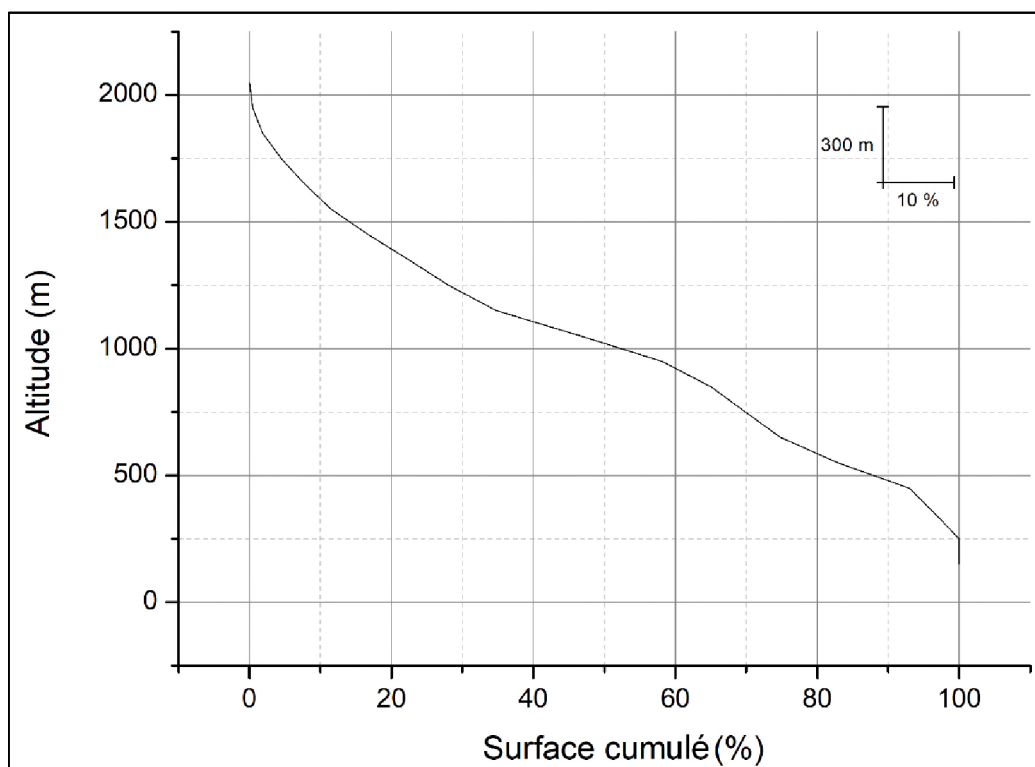


Figure III.2 : Courbe hypsométrique du sous bassin supérieur

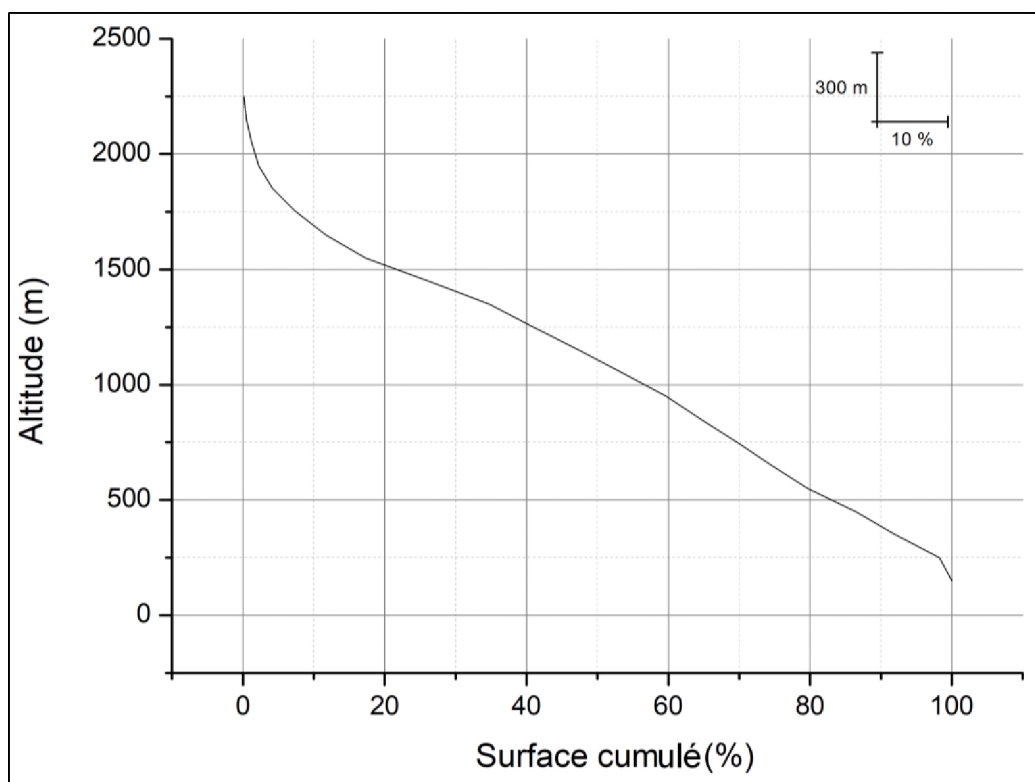


Figure III.3 : Courbe hypsométrique du sous bassin moyen

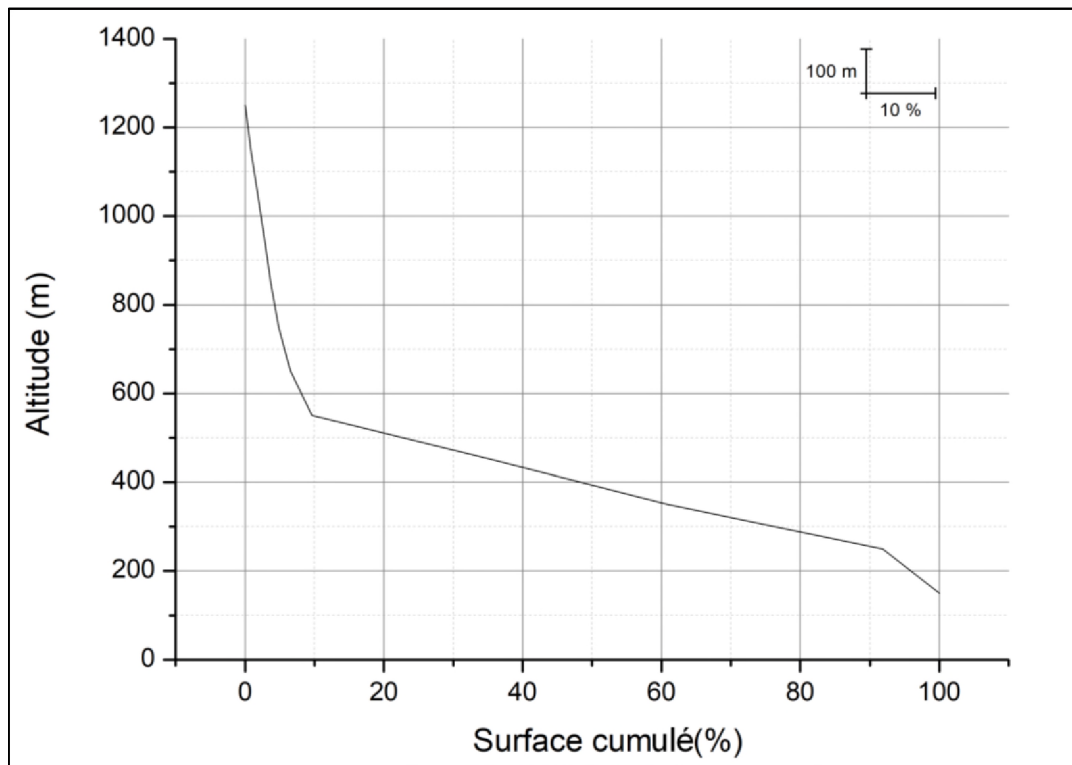


Figure III.4: Courbe hypsométrique du sous bassin inférieur

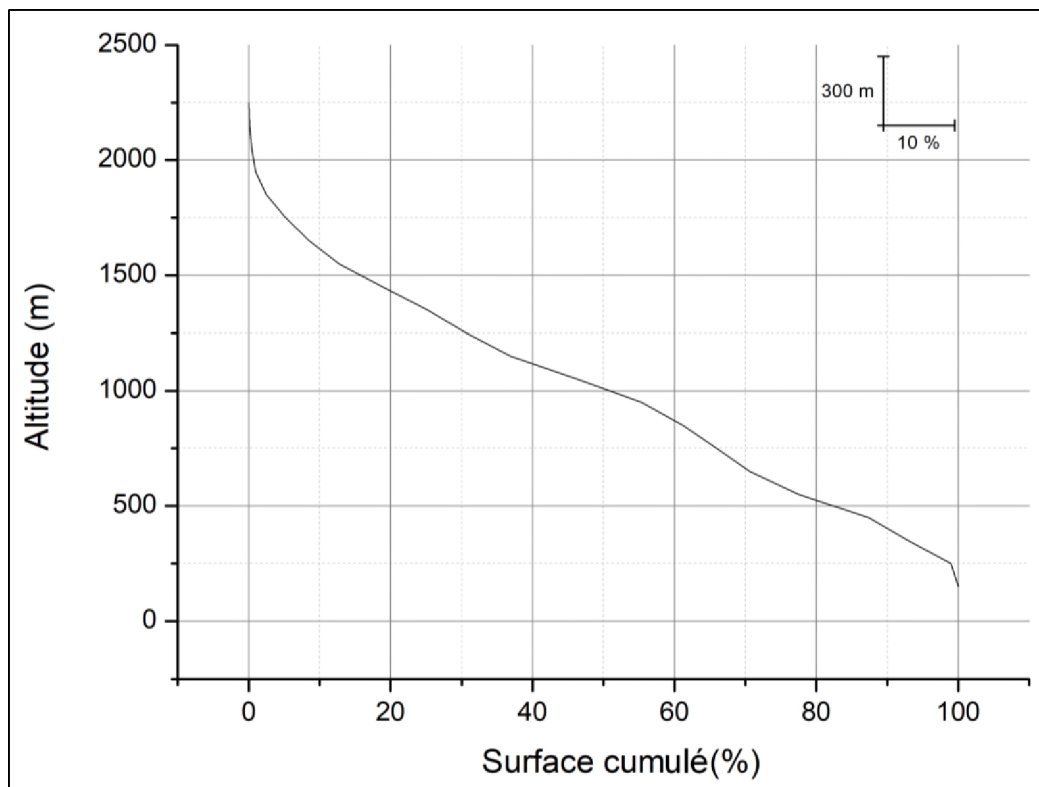


Figure III.5: Courbe hypsométrique du bassin versant global

III.1.2.2.1. Les altitudes caractéristiques

Les altitudes caractéristiques se sont obtenues par application du logiciel OriginLab :

- ✓ L'altitude maximale : représente le point le plus élevé du bassin versant ;

- ✓ L'altitude minimale : représente le point le plus bas du bassin versant (exutoire) ;
- ✓ L'altitude moyenne H_{moy} : est calculée par la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{\sum H_i * S_i}{S_t} \dots \dots \dots Eq III.4$$

Sachant que :

$$H_i = \frac{H_i + H_{i+1}}{2} \dots \dots \dots Eq III.5$$

Avec :

H_i : altitude moyenne ente deux courbes de niveau consécutives (m) ;

S_i : surface partielle comprise entre deux courbes de niveau consécutives (Km²) ;

S_t : surface totale du bassin versant (Km²) .

Les résultats de calcul de l'altitude moyenne sont récapitulés dans L'Annexe 4.

- ✓ L'altitude Médiane : Elle correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50 % de la surface totale ;
- ✓ Les altitudes $H_{95\%}$, $H_{5\%}$: sont les altitudes qui correspondent à $S_{95\%}$, $S_{5\%}$ respectivement ;
- ✓ Dénivelée : se définit comme étant la différence de cote entre $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$;

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} \dots \dots \dots Eq III.6$$

Les altitudes caractéristiques des trois sous-bassins sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.6: Les altitudes caractéristiques des BV (supérieur, moyen, inférieur et BV global)

Bassin	H _{max} (m)	H _{min} (m)	H _{moy} (m)	H _{5%} (m)	H _{50%} (m)	H _{95%} (m)	D(m)
SBV supérieur	2053	194	965.83	1733	1021	393	1340
SBV moyen	2296	163	1021	1825	1108	302	1523
SBV inférieur	2019	130	369.55	740	393	211	529
Bassin versant global	2296	130	949	1756	1009	315	1441

III.1.2.3. Les Indices de pente

L'objet de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin et de permettre des comparaisons et des classifications.

III.1.2.3.1. Indice de pente global

Il est défini comme étant le rapport entre l'altitude comprise entre 5 % et 95 % de la surface du sous bassin et la longueur du rectangle équivalant. On prend deux points S1, S2 sur l'axe des abscisses telles que 90 % de la surface du sous bassin soit comprise entre ces deux valeurs, et que 5 % de la surface totale du sous bassin soit inférieure à S1 et 5 % soit supérieure à S2. Il est donné par la formule suivante [15] :

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \dots\dots\dots Eq III.7$$

Avec :

I_g : Indice de pente global (%) ;

D : Dénivelée entre H 5 % et H 95 % (m) ;

L : longueur du rectangle équivalent (Km) ;

H_{5%} et **H_{95%}** : sont respectivement Les altitudes correspondantes à S_{5%} et S_{95%}.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.7: Indice de pente global des BV (supérieure, moyen, inférieur et BV Global)

Sous bassins	H _{5%} (m)	H _{95%} (m)	H _{5%} - H _{95%}	L (km)	I _g (m/ km)
SBV supérieur	1733	393	1340	145.94	9.18
SBV moyen	1825	302	1523	90.02	14.37
SBV inférieur	740	211	529	32.53	16.48
BV Global	1756	315	1441	156.13	9.23

En fonction de **I_g**, le relief peut être classé comme suit :

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

R1	Relief très faible	I _g ≤ 0,002
R2	Relief faible	0,002 < I _g ≤ 0,005
R3	Relief assez faible	0,005 < I _g ≤ 0,01
R4	Relief modéré	0,01 < I _g ≤ 0,02
R5	Relief assez fort	0,02 < I _g ≤ 0,05
R6	Relief fort	0,05 < I _g ≤ 0,1
R7	Relief très fort	0.1 ≤ I _g

D’après les résultats du Tableau III.7 et le tableau de la classification du relief de l’O.R.S.T.O.M, on peut constater que :

- ✓ Le SBV supérieur et le BV Global ont un relief fort ;
- ✓ Les deux autres SBV (SBV moyen et SBV inférieur) ont un relief très fort.

III.1.2.3.2. Dénivelée spécifique

La dénivelée spécifique est exprimée par la formule suivante [11]:

$$D_s = I_g \sqrt{S} = \frac{D}{L} \sqrt{Ll} = D \sqrt{\frac{l}{L}} \dots\dots\dots Eq III.8$$

Avec :

D_s : Dénivelée spécifique (m) ;

I_g : Indice de pente global (%) ;

S : Surface du bassin versant (km²) ;

D : Dénivelée entre $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$ (m) ;

L : Longueur du rectangle équivalent (km) ;

I : Largeur du rectangle équivalent (km).

Les résultats sont montrés dans le tableau ci-dessus :

Tableau III.9: La dénivelée spécifique des BV (supérieur, moyen, inférieur et BV Global)

Sous bassins	SBV supérieur	SBV moyen	SBV inférieur	BV Global
$D_s(m)$	399.47	462.18	224.1	514.84

En fonction du D_s le relief peut être classé comme suit :

Tableau III.10: Classification de relief en fonction de La dénivelée spécifique

R1	$D_s < 10$ m	Relief très faible
R2	$10 \text{ m} < D_s < 25$ m	Relief faible
R3	$25 \text{ m} < D_s < 50$ m	Relief assez faible
R4	$50 \text{ m} < D_s < 100$ m	Relief modéré
R5	$100 \text{ m} < D_s < 250$ m	Relief assez fort
R6	$250 \text{ m} < D_s < 500$ m	Relief fort
R7	$D_s > 500$	Relief très fort

D'après la classification de l'O.R.S.T.O.M. La dénivelée spécifique du bassin d'Oued Biskra se trouve dans la classe R6 et R7 : donc d'un Relief fort à très fort.

La valeur de D_s traduit le volume montagneux dans le bassin versant.

III.1.3. Caractéristiques du réseau hydrographique

On appelle ainsi l'ensemble des canaux de drainage naturels ou artificiel, permanents ou temporaires, Par où s'écoulent les eaux provenant du ruissellement ou restituées par les nappes souterraines, soit sous forme de sources, soit par restitution continue le long du lit du cours d'eau. Le réseau hydrographique est sans doute une des caractéristiques les plus importantes du bassin (Figure III.6) [16].

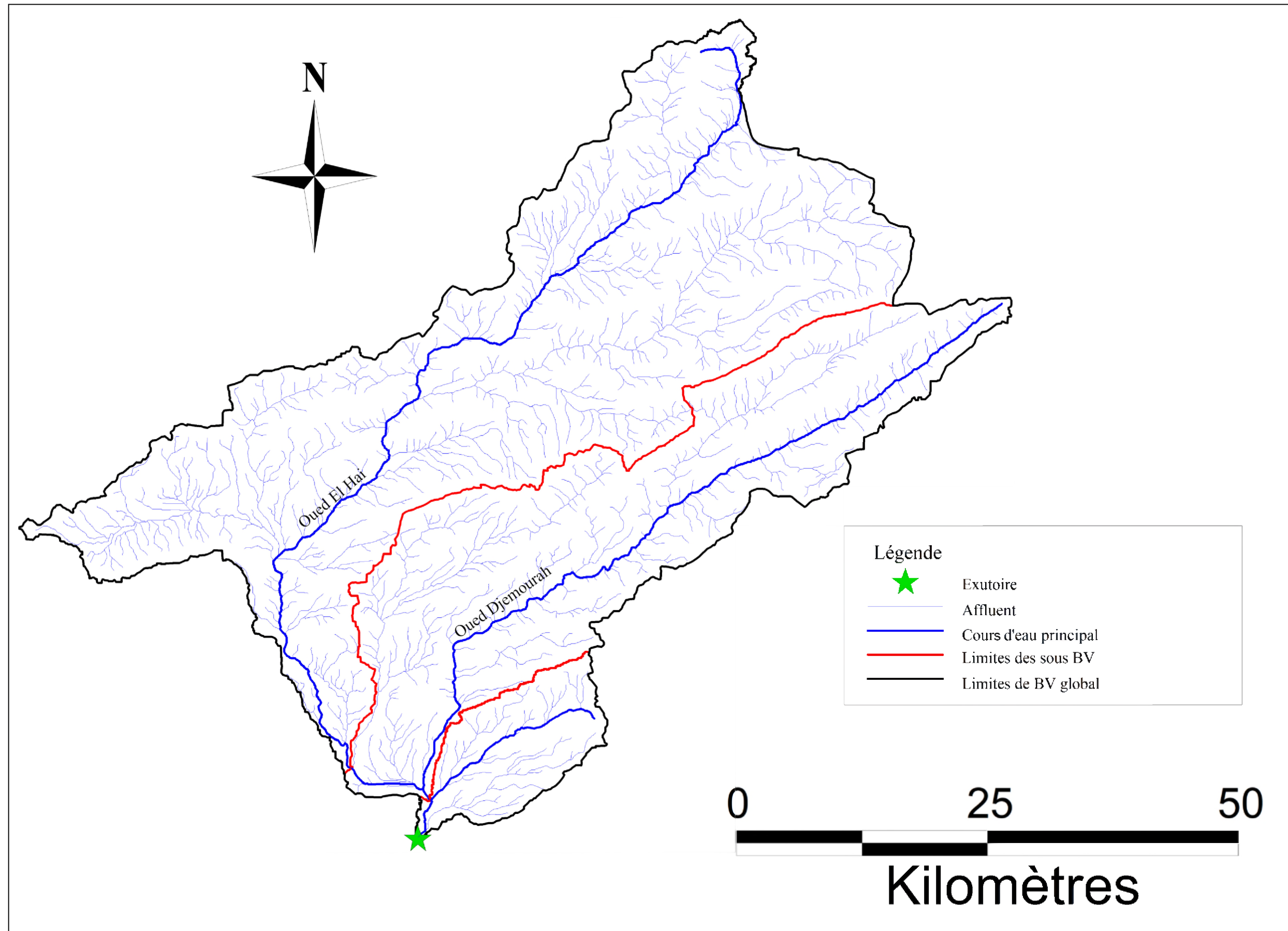


Figure III.6: Le réseau hydrographique des BV (supérieur, moyen, inférieur et BV Global)

III.1.3.2. Hiérarchisation du réseau hydrographique

Pour chiffrer la ramification du réseau, chaque cours d'eau reçoit un numéro fonction de son importance. Cette numérotation, appelée ordre du cours d'eau, diffère selon les auteurs. Parmi toutes ces classifications, nous adopterons celle de Strahler [11] :

- ✓ Tout cours d'eau n'ayant pas d'affluent est dit d'ordre 1 ;
- ✓ Au confluent de deux cours d'eau de même ordre n, le cours d'eau résultant est d'ordre n+1 ;
- ✓ Un cours d'eau recevant un affluent d'ordre inférieur garde son ordre, ce qui se résume par : $n + n = n + 1$ et $n + m = \max (n, m)$ (Annexe 5).

III.1.3.3. La densité de drainage D_d

La densité de drainage s'exprime par [12] :

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S} \dots\dots\dots Eq III.9$$

La somme s'étendant en principe à tous les cours d'eau permanents ou non quelle que soit leur importance.

Avec :

D_d : densité de drainage (km⁻¹) ;

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

S : Surface de bassin en (km²).

Les résultats sont dressés dans le tableau suivant :

Tableau III.11 : La densité de drainage des BV (supérieur, moyen, inférieur et BV Global)

Sous bassins	SBV supérieur	SBV moyen	SBV inférieur	BV Global
Surface de bassin (km ²)	1893	1034	185	3112
$\sum L_i$ (km)	1687.78	855.945	169.04	2712.765
D _d (km ⁻¹)	0.89	0.83	0.913	0.87

III.1.3.4. La pente moyenne du thalweg principal

Ce paramètre a pour but la détermination de vitesse d'écoulement jusqu'à l'arrivée à l'exutoire du bassin, donc elle a une influence sur le temps de concentration et par conséquent, elle agit sur le débit maximal observé. Elle est donnée par la formule suivante [11] :

$$I_m = \frac{D}{L} \dots\dots\dots Eq III.10$$

Avec :

I_m : pente moyenne du thalweg principal (%) ;

D : Dénivelée entre H_{5%} et H_{95%} (m) ;

L : Longueur du thalweg principal (km).

Le tableau suivant fournit la pente moyenne du thalweg principal pour chaque sous bassin :

Tableau III.12: La pente moyenne du thalweg principal des SBV (supérieur, moyen, inférieur et BV Global)

Sous bassins	SBV supérieur	SBV moyen	SBV inférieur	BV global
D (m)	1340	1523	529	1441
L (km)	118.4	95	25.80	132.8
I_m (m/km)	11.32	16.03	20.50	10.85

III.1.3.5. Temps de concentration

Pratiquement, le temps de concentration peut être déduit de mesures sur le terrain ou s'estimer à l'aide de formules le plus souvent empiriques.

III.1.3.5.1. Équation de JOHNSTONE-CROSS

L'équation de Johnstone-Cross a été développée à partir de données provenant de bassins-versants situés en Ohio (E.U.) dont les superficies variaient de 65 à 4 206 km² [10].

La forme présentée par Gericke et Smithers (2014) a été retenue :

$$T_c = 0.0543 * \left(\frac{L}{I_m}\right)^{0.5} \dots\dots\dots Eq III.11$$

Avec :

- T_c** : temps de concentration (heure) ;
- L** : longueur du thalweg principal (Km) ;
- I_m** : Pente moyenne du cours d'eau principal (m/m).

III.1.3.5.2. Formule de GIANDOTTI

Elaborée à partir des données des bassins du centre et du nord de l'Italie, La surface varie entre (170 et 70.000 km²) [10] :

$$T_c = \frac{4*\sqrt{S}+1.5*L}{0.8*\sqrt{H_{moy}-H_{min}}} \dots\dots\dots Eq III.12$$

Avec :

- T_c** : temps de concentration (heure) ;
- S** : Surface du bassin versant (Km²) ;
- L** : longueur du talweg principal (Km) ;
- H_{moy} – H_{min}** : respectivement la hauteur moyenne et minimale du BV (m).

III.1.3.5.3. Formule de HAKTANIR & SESEN

Basée sur des données de 10 bassins en Turquie dont la surface varie entre 11 et 9867 km² [10] :

$$T_c = 0.7473 L^{0.841} \dots\dots\dots Eq III.13$$

Avec :

T_c : temps de concentration (heure) ;

L : longueur du talweg principal (Km).

III.1.3.5.4. Formule de JOHNSTONE

Basée sur des données de 19 bassins ruraux aux Etats-Unis dont la surface du bassin varie entre 64,8 et 4206,1 km² [10] :

$$T_c = 0.4623L^{0.5}I_m^{-0.25} \dots\dots\dots Eq III.14$$

Avec :

T_c : temps de concentration (heure) ;

L : longueur du talweg principal (Km) ;

I_m : pente moyenne du cours d'eau principal (m/m).

III.1.3.5.5. Formule de CORPS ENGINEERS

Etablie sur bassins des États-Unis (Surface ≤ 12.000 km²) [10] :

$$T_c = 0.191 L^{0.76}I_m^{-0.19} \dots\dots\dots Eq III.15$$

Avec :

T_c : temps de concentration (heure) ;

L : longueur du talweg principal (Km) ;

I_m : pente moyenne du cours d'eau principal (m/m).

Les résultats de l'application des formules empiriques sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III.13: Temps de concentration des BV (supérieure, moyen, inférieur et BV Global)

Auteurs	Formules	Temps de concentration T _c (h)			
		SBV supérieur	SBV moyen	SBV inférieur	BV Global
JOHNSTONE & CROSS	$T_c = 0.0543 \left(\frac{L}{I_m}\right)^{0.5}$	5.55	4.18	1.93	6.00
GIANDOTTI	$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8 * \sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$	15.82	11.57	7.52	18.45
HAKTANIR & SESEN	$T_c = 0.7473L^{0.841}$	41.42	34.42	11.50	45.61
JOHNSTONE	$T_c = 0.4623L^{0.5}I_m^{-0.25}$	15.42	12.66	6.21	16.51
CORPS ENGINEERS	$T_c = 0.191 L^{0.76}I_m^{-0.19}$	16.85	13.34	4.73	18.53

D'après les résultats, on constate que les trois formules de **GIANDOTTI, JOHNSTONE** et **CORPS ENGINEERS** nous fournissent des résultats proches entre eux, quant à la formule de **JOHNSTONE-CROSS** et celle de **HAKTANIR& SESEN**, on trouve l'une sous-estime et l'autre surestime le temps de concentration par rapport aux trois premiers formules.

Sur la base de ces constatations, nous nous proposons d'adopter les valeurs de T_c obtenues par la formule de **GIANDOTTI**.

Le tableau suivant récapitule les différentes caractéristiques des sous-bassins :

Tableau III.14: Récapitulation des caractéristiques hydromorphométriques des BV (Supérieur, Moyen, Inférieur et BV Global)

Caractéristiques des sous bassins					
Morphométrie	SBV supérieur	SBV moyen	SBV inférieur	BV Global	
Surface (km ²)	1893	1034	185	3112	
Périmètre (km)	321	233.3	76.25	355	
Rectangle équivalent	Longueur	145.94	105.98	32.1	156.13
	Largueur	12.97	9.76	5.76	19.93
L'indice de compacité Gravelius	2.06	2.03	1.57		
Les Altitudes caractéristiques					
Altitude maximale (m)	2053	2296	2019	2296	
Altitude minimale (m)	194	163	130	130	
Altitude moyenne (m)	965.83	1021	369.55	949	
Altitude Médiane H _{50%} (m)	1021	1108	393	1009	
L'altitude H _{5%} (m)	1733	1825	740	1756	
L'altitude H _{95%} (m)	393	302	211	315	
Dénivelée (m)	1340	1523	529	1441	
Indice de pente global (%)	9.18	14.37	16.48	9.23	
Classe du relief	Relief fort	Relief très fort	Relief très fort	relief fort	
Dénivelée spécifique	399.47	462.18	224.1	514.84	
Classe du relief	Relief fort	Relief fort	Relief fort	Relief très fort	
Le réseau hydrographique					
Ordre du cours d'eau	6				
densité de drainage en (km ⁻¹)	0.89	0.83	0.913	0.87	
pente moyenne du thalweg principal	11.32	16.03	20.50	10.85	
Temps de concentration	15.82	11.57	7.52	18.45	

III.2. Analyse des données pluviométriques

La zone du projet dispose d'un réseau pluviométrique suffisant, constitué par une dizaine de stations environ. Les analyses sont portées sur les enregistrements de huit (08) postes pluviométriques dont quatre (04) sont situés à l'intérieur du bassin versant de l'oued Biskra et quatre (04) postes à son voisinage proche (Figure III.7).

Quelques stations de la zone du projet ne sont pas prises en compte en raison de leurs nombreuses lacunes (station du barrage « Fontaines des gazelles » et la station « d'EL Outaya »).

Le tableau suivant illustre très clairement les caractéristiques et la période de fonctionnement des postes retenus pour l'étude.

Tableau III.15: Caractéristiques des stations pluviométriques

Nom de la station		Menaâ	Bouzina	Batna	Djemourah	Biskra Secteur	Tkout	Foum El Gherza
Code de la station		06 13 04	06 13 02	07 03 16	06 13 05	06 14 16	06 15 05	06 16 01
Coordonnées	Latitude	801,2	810	814,7	782,35	776,1	828,85	795.1
	Longitude	213,8	225	257,35	199,8	178,2	210,5	177.65
	Altitude	1005	1350	1040	400	130	980	200
Période d'observation		68/11	73/12	30/12	70/12	74/11	71/13	71/09
Années sans mesure (ou pratiquement vides)		99-04 06-09 09-11	73-78 78-80 87-96 01-06 07-11	34/43/46 49/51 68-70 73/75/05	72-73 77/79 81-84 89-94 98-00 04-08/12	74-79 80-83 89/92/97 03/06 09-11	74/81-84 90/92/96 97-00 03-06 06-10 10-13	77/80/83 87/91/93 98/04
Nombre d'année complète		33	26	72	28	25	28	31

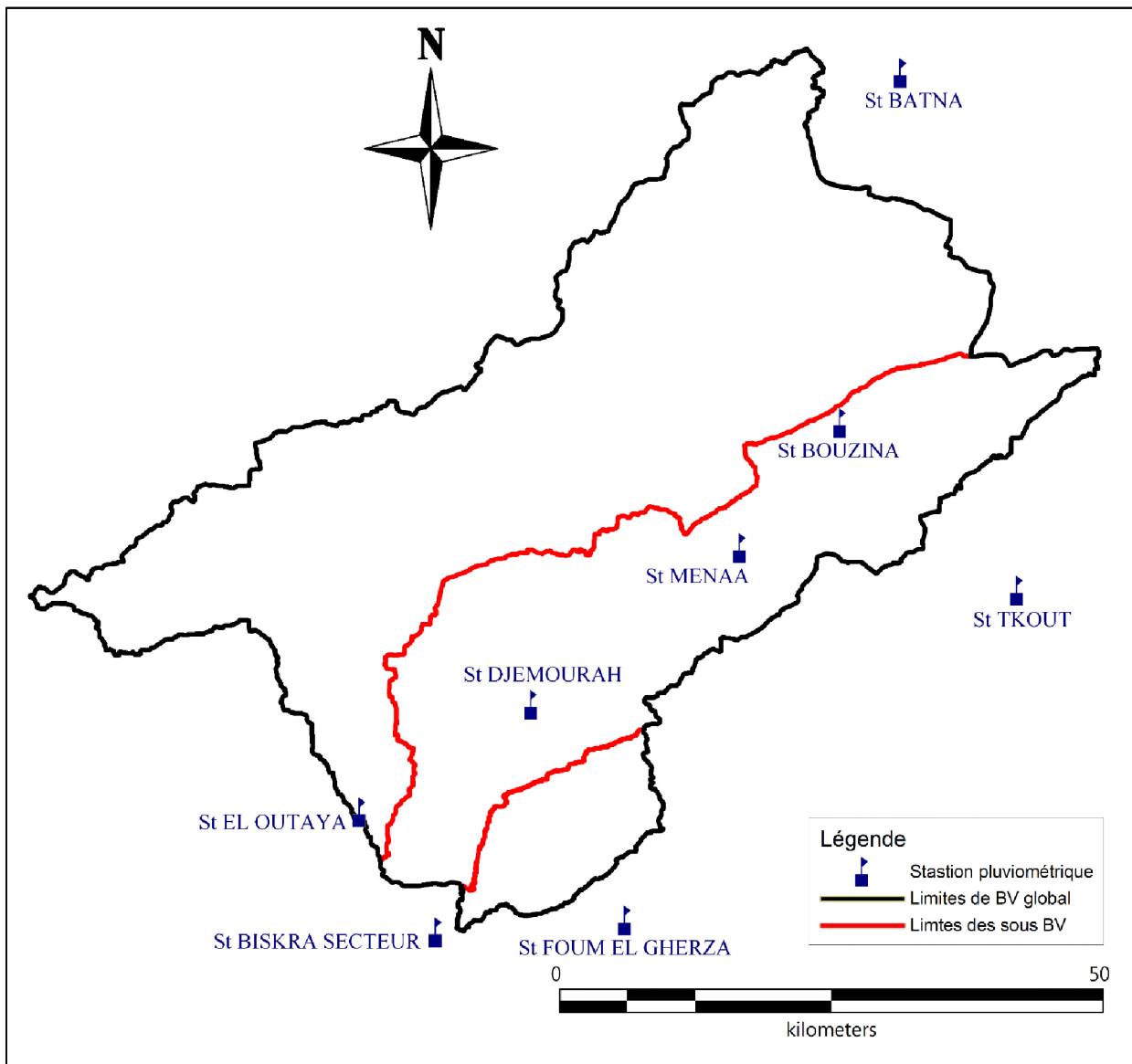


Figure III.7: Localisation des stations pluviométriques recueillies.

III.2.1. Pluie moyenne annuelle

L'estimation de la pluie moyenne annuelle est faite par les stations pluviométriques d'El OUTAYA, DJEMOURA, BOUZINA, MENAA et BISKRA- SECTEUR. Elles sont fournies dans l'Annexe 6.

III.2.2. Pluies maximales journalières

Les pluies maximales journalières de rares fréquences sont des pluies génératrices des crues d'importants débits, contre lesquelles il faut protéger l'ouvrage. Elles sont énumérées dans l'Annexe 7.

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

Dans notre étude on a utilisé le logiciel HYFRAN.

Le Tableau III.16 affiche les caractéristiques de base des différentes séries pluviométriques :

Tableau III.16: Les caractéristiques de base de différentes séries pluviométriques

Caractéristiques	formules	Station						
		Bouzina	Menaâ	Djemourah	Biskra Secteur	Tkout	Batna	Foum El Gherza
La somme des Pmax.j en (mm)	$\sum_{i=1}^n X_i$	945.7	1283	889.6	743.1	1149	2672.1	777.3
la moyenne des Pmax.j en (mm)	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$	36.4	38.9	31.8	29.7	41	37.1	25.1
L'écart type «σx»	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$	15.8	18	20.1	15.5	18.4	12.8	13.6
Coefficient de variation « Cv »	$\frac{\sigma_x}{\bar{X}}$	0.433	0.463	0.634	0.522	0.448	0.345	0.544
L'exposant climatique	b = 0.25							

III.3. Choix de la loi d'ajustement

Il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométriques, l'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de la probabilité, 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 :

- ✓ la loi de GALTON (Log-Normal) ;
- ✓ la loi de GUMBEL.

III.3.1. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL

III.3.1.1. Présentation de la loi de GUMBEL

La fonction de densité des probabilités de la loi de GUMBEL est donnée par l'expression suivante :

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[-\frac{x-\mu}{\alpha} - \exp \left(-\frac{x-\mu}{\alpha} \right) \right] \dots \dots \dots \text{Eq III.16}$$

En général, on utilise la fonction de répartition car elle est plus simple à utiliser :

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \dots \dots \dots \text{Eq III.17}$$

$$y = \frac{x-\mu}{\alpha} \dots \dots \dots \text{Eq III.18}$$

Avec :

- y : variable réduite de GUMBEL ;
- α, μ : Paramètres d'ajustement de la loi de GUMBEL ;

μ : Paramètre de position ;
 α : Paramètre de l'échelle différente de zéro et positif appelé aussi « gradex » ;
 x : Variable étudiée « Pmax.j ».

L'expression d'un quantile est la suivante :

$$x = \alpha * y + \mu \text{ Ou bien } P_{max.j} = \alpha * y + \mu \dots \dots \dots \text{Eq III.19}$$

III.3.1.2. Le procédé d'ajustement (méthode des moments)

Le procédé d'ajustement par la loi de GUMBEL Consiste à :

- ✓ Classer les valeurs des précipitations par ordre croissant avec attribution d'un rang ;
- ✓ Calculer pour chaque valeur de précipitation la fréquence expérimentale F(x) par la formule de Hazen :

$$F(x) = \frac{i-0.5}{n} \dots \dots \dots \text{Eq III.20}$$

i : rang de précipitation ;

n : nombre d'observation ;

Calculer la variable réduite de GUMBEL donnée par la formule suivante :

$$y = -[\ln (-\ln F(x))]\dots \dots \dots \text{Eq III.21}$$

- ✓ Sur un graphe on porte sur les abscisses les valeurs de y et sur les ordonnées, les valeurs de x ;
- ✓ On calcule les paramètres de la droite d'ajustement α et μ par les deux formules suivantes :

$$\alpha = 0.78 * \sigma \dots \dots \dots \text{Eq III.22}$$

$$\mu = \bar{x} - 0.577 * \alpha \dots \dots \dots \text{Eq III.23}$$

σ : écart-type de la série ;

\bar{x} : La moyenne de la série.

Le Tableau III.17 et la Figure III.8 donnent un exemple d'ajustement de la série des Pmax.j de la station de BATNA à la loi de GUMBEL pour différentes périodes de retour :

Tableau III.17 : Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL

Période de retour	Fréquence au non dépassement	Valeurs théorique	Ecart- type	Intervalle de confiance
T (ans)	q	XT	σ	95(%)
1000	0.9990	100	8.72	83.2 – 117
200	0.9950	84.2	6.76	70.9 – 97.4
100	0.9900	77.3	5.92	65.7 – 88.9
50	0.9800	70.3	5.08	60.3 – 80.2
20	0.9500	61.0	3.98	53.2 – 68.8
10	0.9000	53.8	3.15	47.6 – 60.0
5	0.8000	46.3	2.33	41.7 – 50.9
3	0.6667	40.4	1.76	36.9 – 43.8
2	0.5000	35.0	1.38	32.3 – 37.7

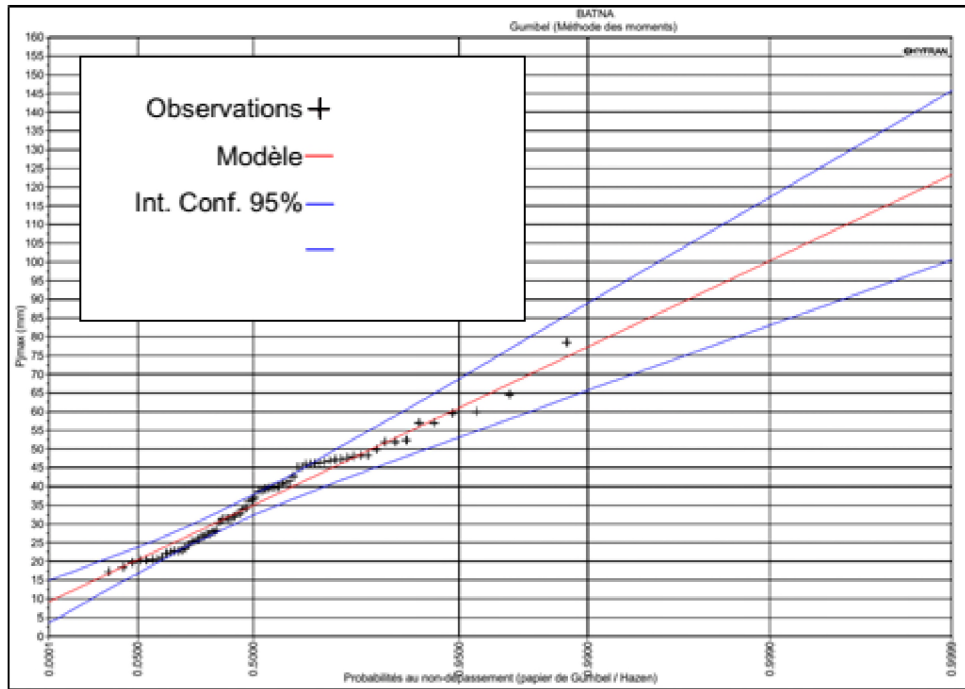


Figure III.8 : Exemple d'ajustement à la loi de GUMBEL (station de BATNA)

Le tableau suivant ci-après regroupe les paramètres de la loi de GUMBEL issus de la méthode des moments :

Tableau III.18 : Les paramètres de la loi de GUMBEL issus par la méthode des moments

Nombre de données	72
\bar{x}	37.1
σ	12.8
μ	31.0349
α	10.6298

L'équation de la droite de GUMBEL s'écrit ainsi : $P_{max.j} (p\%) = 10.6298 * y + 31.0349$

Les résultats de l'ajustement à la loi de GAMBEL des $P_{max.j}$ de l'ensemble des stations pour les différentes périodes de retour sont attribués dans l'Annexe 8.

III.3.2. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON

Le procédé d'ajustement est identique à celui établi pour la loi de GUMBEL. Seule la représentation graphique change où elle est faite sur papier (normal/Hazen).

III.3.2.1. Présentation de la loi de GALTON (log – normale)

Sa fonction de densité des probabilités (f.d.p) est donnée par l'expression suivante :

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \dots \dots \dots \text{Eq III.24}$$

Avec :

μ : La moyenne des logarithmes de la variable x ;

σ : L'écart type des logarithmes de la variable x ;

Quand on utilise la variable centrée réduite Z, la formulation devient ainsi :

$$Z = \frac{\ln x - \mu}{\sigma} \dots \dots \dots \text{Eq III. 25}$$

L'expression d'un quantile est la suivante :

$$P_{\max.j} (p\%) = e^{\mu + z(p\%)*\sigma} \dots \dots \dots \text{Eq III. 26}$$

La valeur de paramètre Z est associée à la probabilité de non dépassement.

La probabilité au non dépassement est calculée par la formule suivante :

$$q = 1 - \frac{1}{T} \dots \dots \dots \text{Eq III. 27}$$

Pour les calculs, on a opté pour la méthode du maximum de vraisemblance, et la fréquence choisie est celle de Hazen.

Le Tableau III.19 et la Figure III.9 donnent un exemple d'ajustement de la série des $P_{\max.j}$ de la station de BATNA à la loi de GALTON pour différentes périodes de retour :

Tableau III.19: Résultats de l'ajustement à la loi de GALTON

Période de retour	Fréquence au Non dépassement	Valeurs théorique	Ecart- type	Intervalle de confiance
T (ans)	q	XT	σ	95(%)
1000	0.9990	103	10.3	83.2 - 124
200	0.9950	86.4	7.46	71.7 - 101
100	0.9900	79.1	6.33	66.7 - 91.5
50	0.9800	71.9	5.27	61.6 - 82.2
20	0.9500	62.3	3.97	54.5 - 70.1
10	0.9000	54.8	3.07	48.8 - 60.9
5	0.8000	47.0	2.27	42.5 - 51.4
3	0.6667	40.7	1.76	37.2 - 44.1
2	0.5000	35.0	1.45	32.1 - 37.8

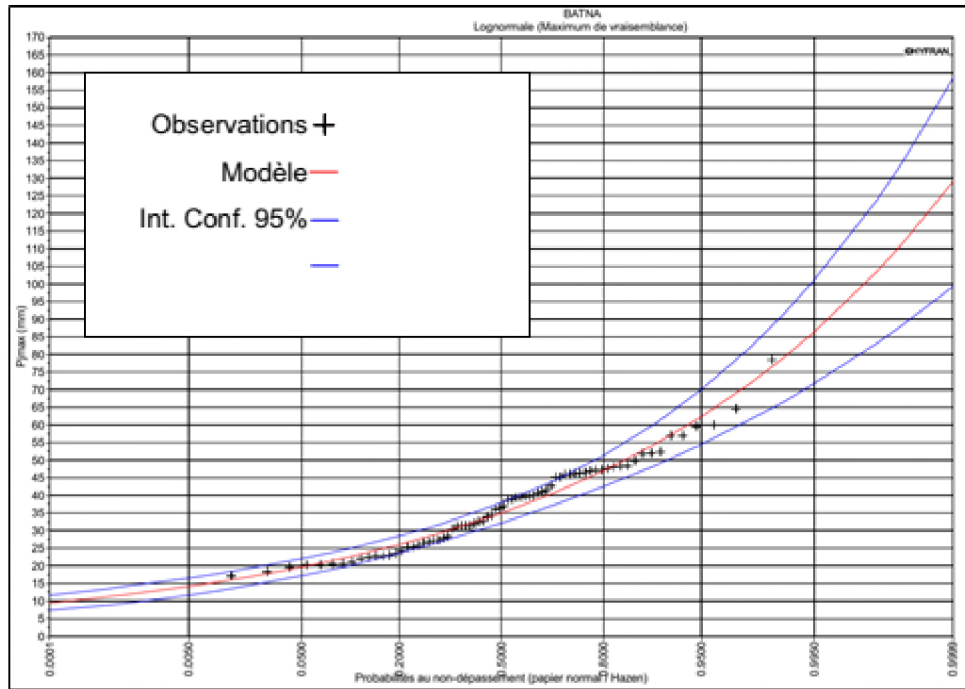


Figure III.9 : Exemple d'ajustement à la loi de GALTON (station de BATNA)

Pour les différentes périodes de retour, les résultats de l'ajustement à la loi de GALTON issus du logiciel HYFRAN, avec l'utilisation de la technique de vraisemblance sont représentés dans l'Annexe 8.

Les caractéristiques des séries pluviométriques pour les différentes stations sont présentées dans l'Annexe 9.

III.4. Contrôle de l'ajustement

A partir des séries pluviométriques qui constituent des échantillons statistiques, on a choisi les formulations mathématiques des lois de probabilités et on a calculé les paramètres numériques de chaque loi ainsi les quantiles. On peut alors demander quelle est la probabilité pour que la loi retenue représente effectivement la population mère dont l'échantillon est a priori représentatif.

Pour répondre à cette question on fait appel aux tests d'adéquation, qui nous permettent de conclure un rejet ou une acceptation de l'hypothèse H_0 suivante :

Est-ce que la répartition des données expérimentales s'effectue selon une distribution théorique (dans notre cas : Loi de GALTON, ou bien la loi de GUMBEL) ?

L'un des tests les plus employés, est le test du Khi carré « χ^2 »

Le test d'adéquation χ^2 effectué à l'aide du logiciel HYFRAN pour les deux lois et les différents séries pluviométriques a donné les résultats suivants :

Tableau III.20: Résultats du test d'adéquation χ^2

Station	Ajustement de la loi de Gumel				
	Résultat de la statistique X^2	p-value	Degré de liberté	Nombre de class	Hypothèse
BOUZINA	3.62	0.4606	4	7	H0
MENAA	4.58	0.4698	5	8	H0
DJEMOURAH	13.50	0.0091	4	7	H0
BISKRA SECTEUR	4.40	0.3546	4	7	H0
TKOUT	2.50	0.6446	4	7	H0
BATNA	13.56	0.0941	8	11	H0
FOUM EL GHERZA	3.10	0.5418	4	7	H0
	Ajustement de la loi Log normale				
	Résultat de la statistique X^2	p-value	Degré de liberté	Nombre de class	
BOUZINA	3.08	0.5450	4	7	H0
MENAA	1.67	0.8931	5	8	H0
DJEMOURAH	7.00	0.1359	4	7	H0
BISKRA SECTEUR	2.72	0.6057	4	7	H0
TKOUT	2.50	0.6446	4	7	H0
BATNA	11.11	0.1955	8	11	H0
FOUM EL GHERZA	4.00	0.4060	4	7	H0

H0 : L'échantillon provient d'une loi (GUMBEL/GALTON) ;

H1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi (GUMBEL/GALTON) ;

Donc, d'après les données du Tableau III.21, nous pouvons accepter H0 au niveau d'une signification de 5 %.

En se référant aux résultats obtenus de ces deux lois, celui de GUMBEL et GALTON, nous constatons que la loi de **Gumbel** est mieux acceptée pour ajuster notre série pluviométrique.

III.5. Pluie de courte durée

Le passage des pluies journalières maximales aux pluies de courte durée de même fréquence se fait, en utilisant la formule suivante[14] :

$$P_{tc} = P_{jmax} \left[\frac{t}{24} \right]^b \dots \dots \dots \text{Eq III.28}$$

Avec :

P_{tc}: Pluie de courte durée de fréquence donnée (mm) ;

P_{jmax}: Pluie maximale journalière de même fréquence (mm) ;

T_c: durée de la pluie (heure) ;

b: Exposant climatique dépend de la position géographique, pour notre site $b = 0,25$ selon les études régionales de l'ANRH de Biskra.

Les intensités maximales de période t (heure) et de période de retour T (Années) sont calculées par la relation suivante :

$$I_{tmax} = \frac{P_{tc}}{t} \dots\dots\dots Eq III.29$$

Avec :

I_{tmax}: L'intensité maximale de période t(h) ;

P_{tc} : Pluie de courte durée (mm).

Les résultats obtenus sont rapportés dans les Annexes 10, 11 et 12.

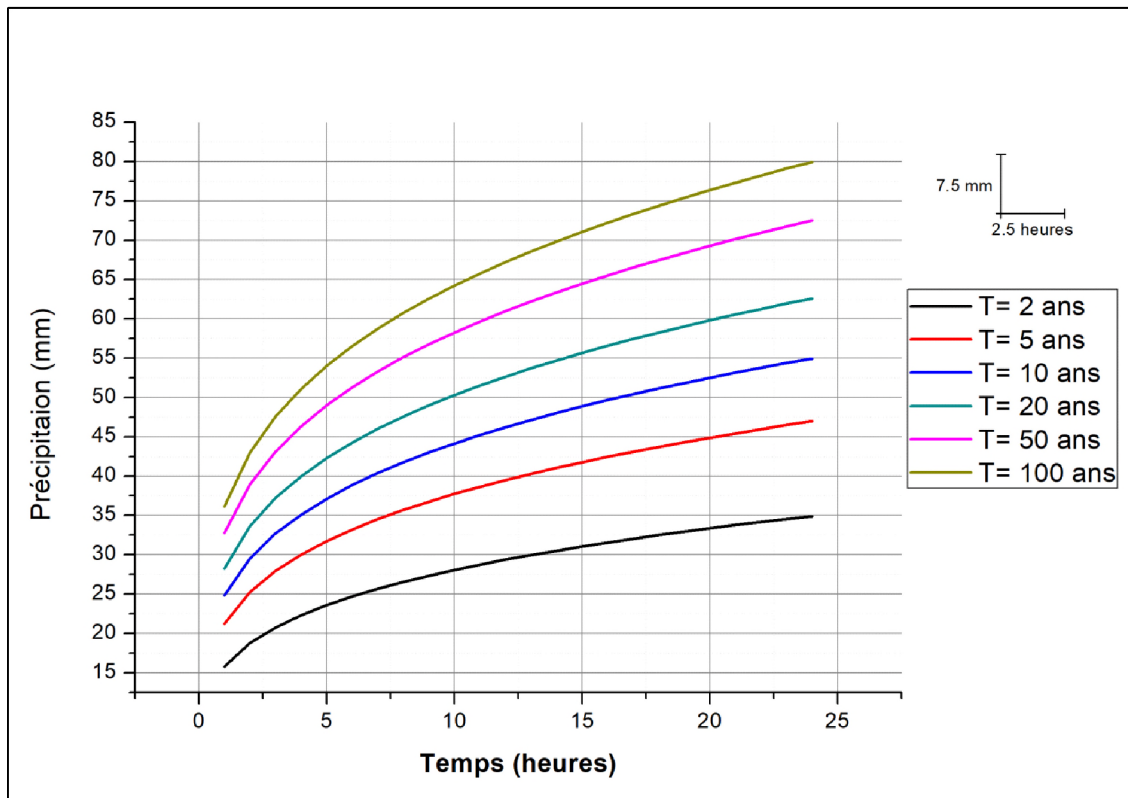


Figure III.9: Courbes Hauteur – Durée – Fréquence (SBV Supérieur)

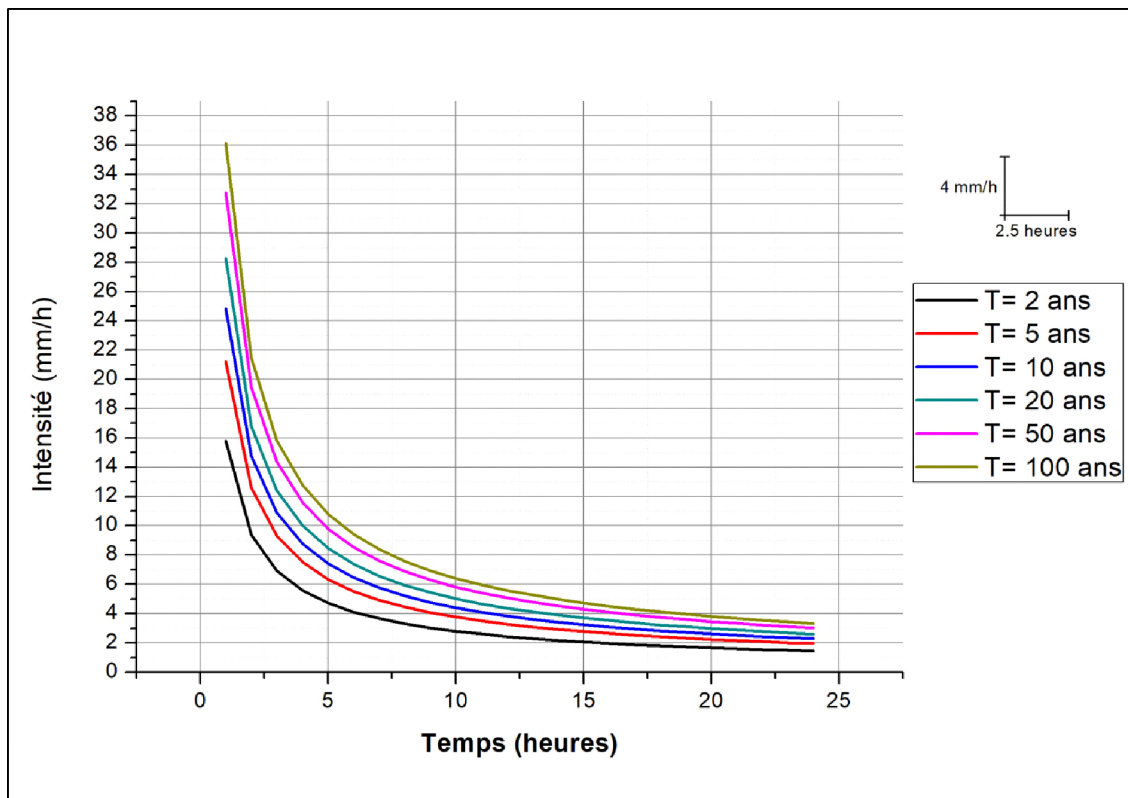


Figure III.10: Courbes Intensité – Durée – Fréquence (SBV Supérieur)

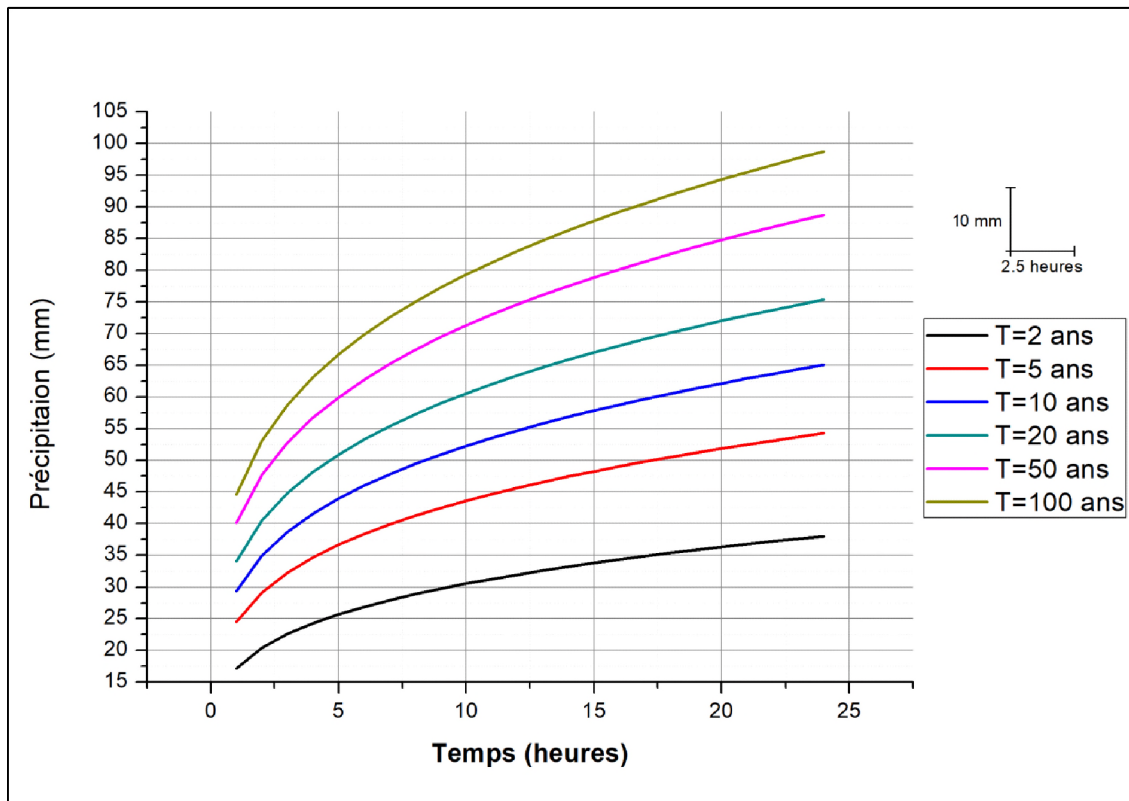


Figure III.11: Courbes Hauteur – Durée – Fréquence (SBV Moyen)

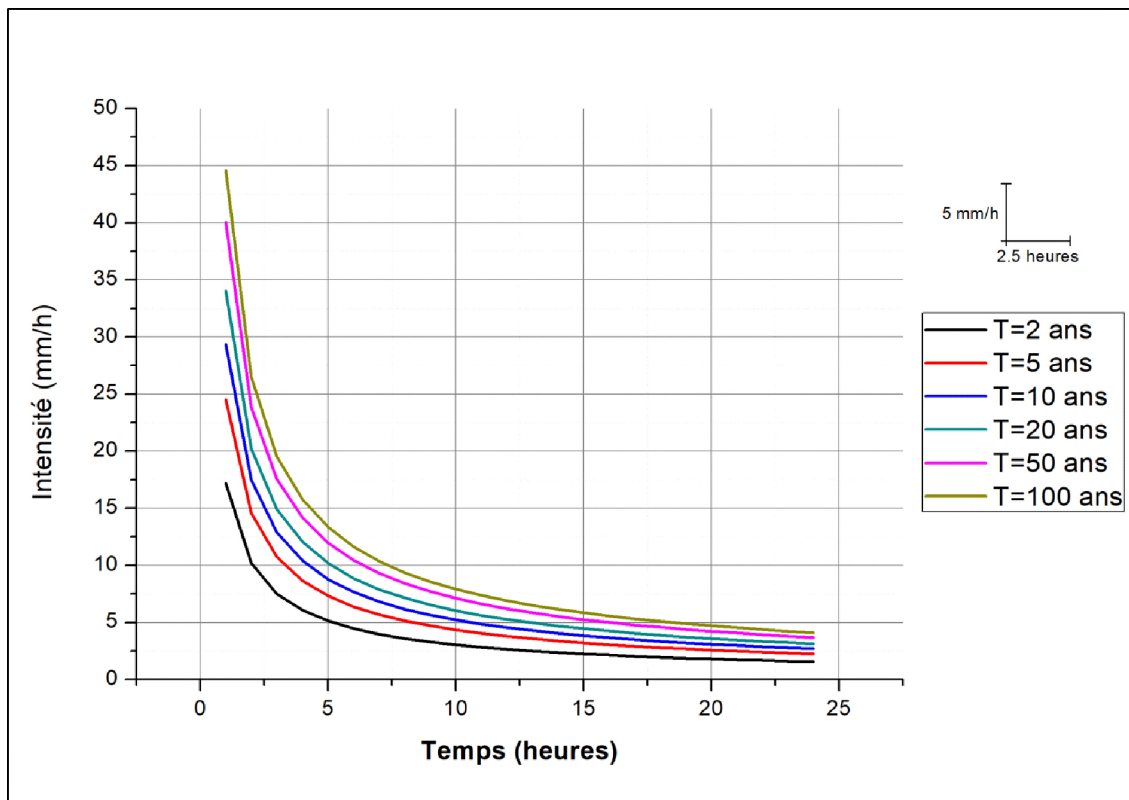


Figure III.12: Courbes Intensité – Durée – Fréquence (SBV Moyen)

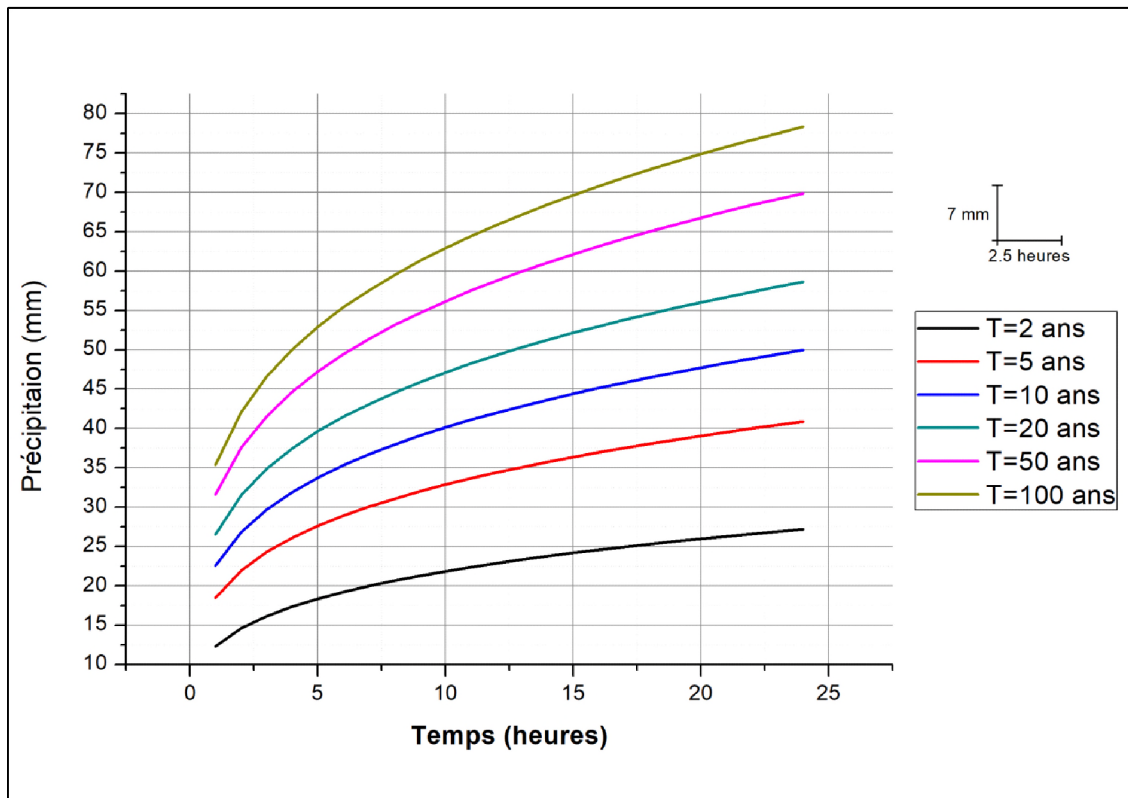


Figure III.13: Courbes Hauteur – Durée – Fréquence (SBV Inferieur)

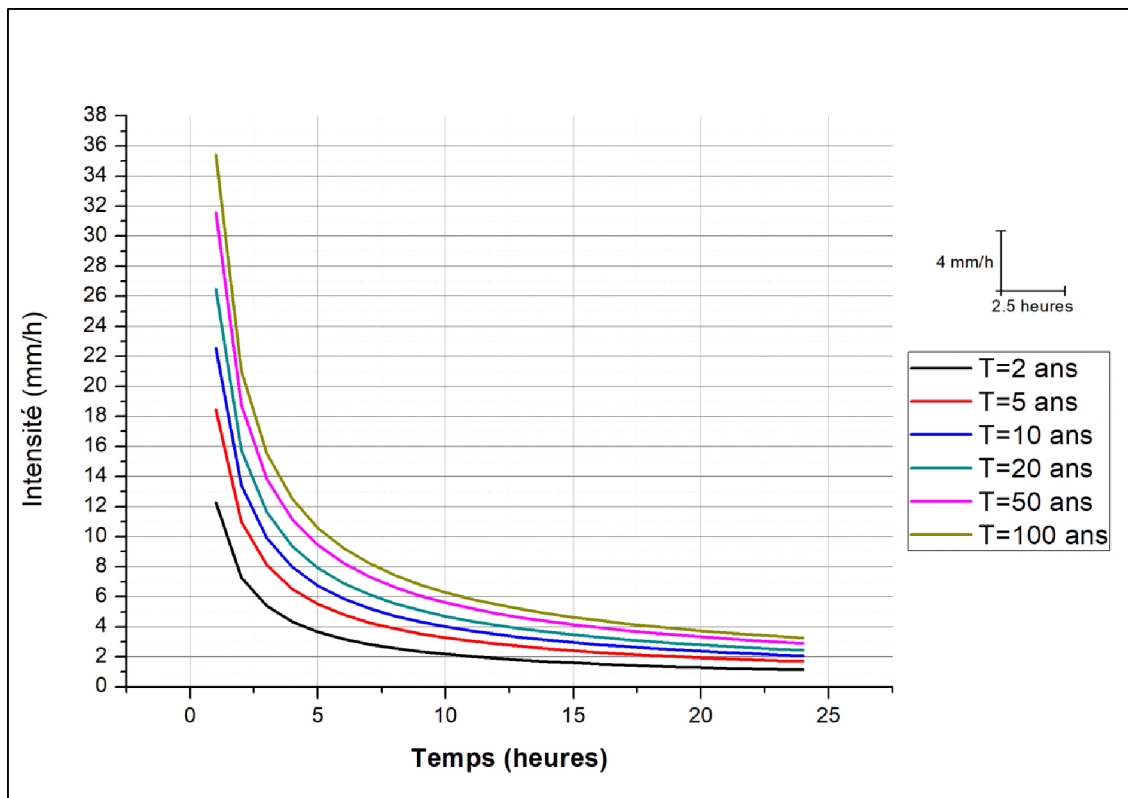


Figure III.14: Courbes Intensité – Durée – Fréquence (SBV Inferieur)

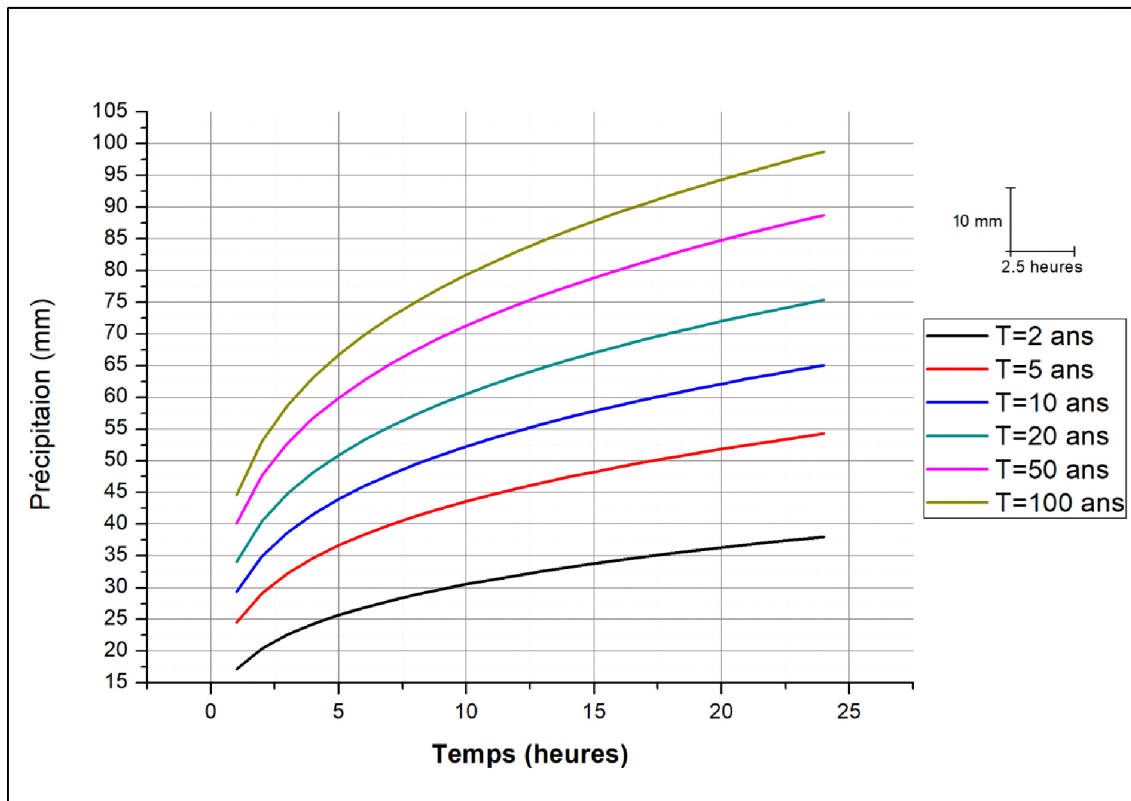


Figure III.15: Courbes Hauteur - Durée - Fréquence (BV Global)

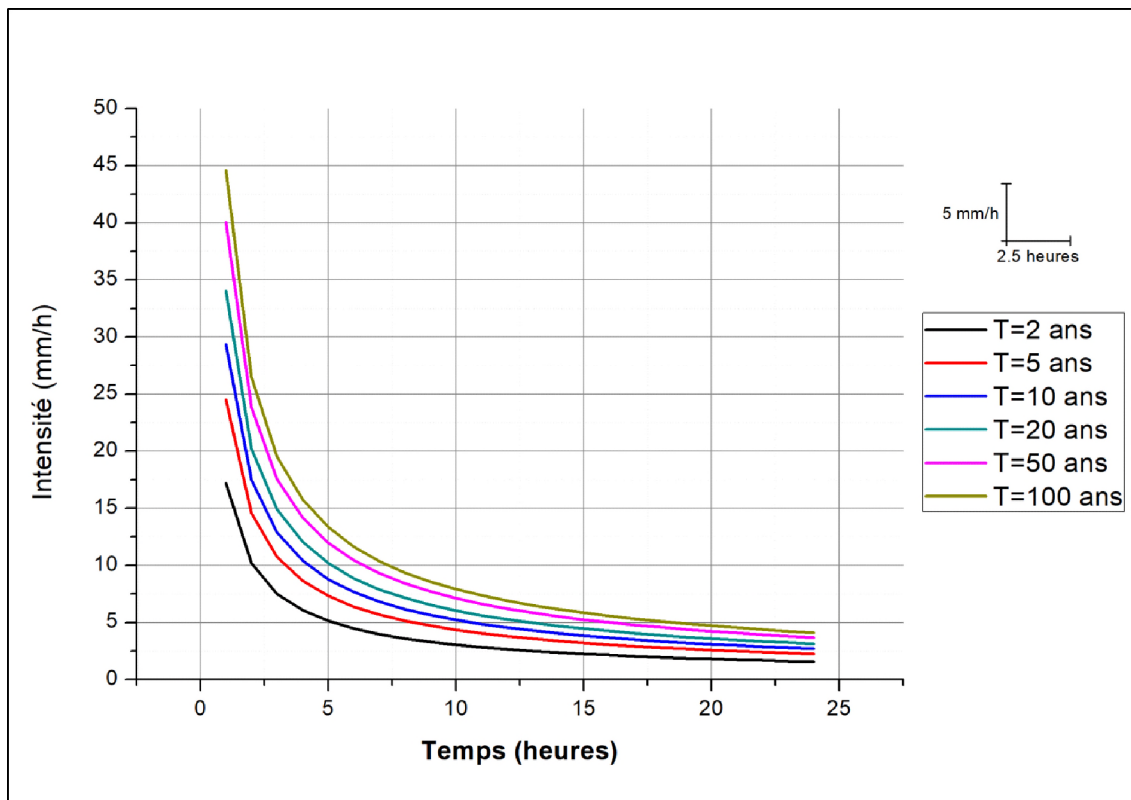


Figure III.16: Courbes Intensité - Durée - Fréquence (BV Global)

III.6. Estimation des débits maximums par la méthode rationnelle pour différentes périodes de retour

La méthode Rationnelle est exprimée par la relation suivante :

$$Q = K C . i A \dots \dots \dots \text{Eq III.30}$$

Avec :

Q : débit de pointe ;

K : Facteur de conversion des unités ;

C : coefficient de ruissellement (ou coefficient d'écoulement) du bassin versant qui dépend de pertes initiales et continues de la pluie. Pour notre zone, C varie entre **0.25** et **0.3** [20] ;

i : intensité de la pluie pour une t donnée ou choisie en fonction du temps de concentration T_c ;

A : Superficie du bassin versant.

Le tableau suivant donne les débits de pointe pour différentes période de retour obtenus par la méthode Rationnelle.

Tableau III.21: Les débits de pointe pour différentes période de retour des S BV (Supérieur, Moyen, Inferieur et BV Global)

SBV supérieur					
Période de retour (Année)	5	10	20	50	100
Débit de pointe (m ³ /s)	352.31	412.78	468	545.55	600.76
SBV moyen					
Période de retour (Année)	5	10	20	50	100
Débit de pointe (m ³ /s)	280.76	336.77	392.06	461	513.41
SBV inférieur					
Période de retour (Année)	5	10	20	50	100
Débit de pointe (m ³ /s)	52.42	64.24	75.67	89.80	100.85
BV Global					
Période de retour (Année)	5	10	20	50	100
Débit de pointe (m ³ /s)	592.14	713.17	827.7	972.5	1080.55

Pour une période de retour de 100 ans, le débit de pointe généré par le bassin versant de l'Oued Biskra a été estimé à 1080.55 m³/s, c'est avec ce débit qu'on va dimensionner les ouvrages de protection du site contre les inondations.

III.7. Comparaison avec d'autres méthodes empiriques

III.7.1. Formule de MALLET-GAUTHIER

$$Q_{max, p\%} = 2K \log(1 + 20\bar{P}) * \frac{S}{\sqrt{L}} \sqrt{1 + 4 * \log T - \log S} \dots \dots \dots \text{Eq III.31}$$

Avec :

Q_{max} : Débit maximum (m³/s) ;

K : Constante comprise entre 1-3, on prend $K=3$;

\bar{P} : Pluie moyenne annuelle (m) ;

S : Surface du bassin versant (Km^2) ;

L : Longueur du talweg principal (Km) ;

T : Période de retour.

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{n} \dots \dots \dots \text{Eq III. 32}$$

III.7.2. Formule de GIANDOTTI

$$Q_{max, p\%} = \frac{C * S * P_{tc, p\%} * \sqrt{H_{moy} - H_{min}}}{4 * \sqrt{S} + 1.5 * L} \dots \dots \dots \text{Eq III.33}$$

Avec :

Q_{max}: Débit maximum (m^3/s) ;

S : Surface du bassin versant (Km^2) ;

L : longueur du talweg principal (Km) ;

H_{moy} : Altitude moyenne (m) ;

H_{min} : Altitude minimale (m).

P_{tc, p%}: pluie de courte durée pour une probabilité et d'une durée égale au temps de concentration des eaux ;

C : coefficient variable entre 0.066 et 0.166, pris égal à 0.15.

III.7.3. Formule de POSSENTI

$$Q_{max, p\%} = \frac{\mu * S * P_{max j, p\%}}{L_p} \dots \dots \dots \text{Eq III.34}$$

Avec :

P_{max, p%} : Pluie maximale journalière correspondante à la période de retour donnée (m) ;

S : Superficie du bassin versant (Km^2) ;

μ : Coefficient compris entre 700 – 800 ; On prend $\mu = 800$;

L_p: Longueur du cours d'eau principal (Km).

Les débits de pointe des sous bassins pour les différentes formules sont représentés dans le Tableau III.22.

Tableau III.22: Les débits de pointe des BV (supérieure, moyen, inférieure et BV global) calculés par les différentes formules

	Période de retour (Année)	5	10	20	50	100
SBV supérieur	MALLET - GAUTHIER	524.42	955.72	1245.71	1547.80	1741.86
	GIANDOTTI	946.50	1114.53	1265.29	1468.10	1613.02
	POSSENTI	525.79	615.10	700.71	811.51	894.55
SBV moyen	MALLET - GAUTHIER	374.67	597.24	756.98	926.82	1036.98
	GIANDOTTI	755.22	905.70	1051.15	1235.64	1376.39
	POSSENTI	472.55	566.24	656.10	772.52	859.68
SBV inférieur	MALLET - GAUTHIER	179.92	240.56	288.74	342.16	377.59
	GIANDOTTI	141.71	172.30	201.87	240.61	270.23
	POSSENTI	205.19	250.72	294.39	350.90	393.32
BV Global	MALLET - GAUTHIER	777.09	1416.20	1845.91	2293.55	2581.11
	GIANDOTTI	1598.93	1924.10	2228.39	2627.25	2921.10
	POSSENTI	890.22	1066.73	1236.01	1455.33	1619.53

Remarque : L'ensemble de ces formules empiriques, quelles que soient leurs formulations, font toutes appel à des coefficients empiriques mais validés uniquement à l'endroit où elles ont été établies. Leur généralisation n'est donc pas possible et il n'est par conséquent pas correct de les extrapoler en dehors de leur domaine de validation. Ces formules doivent être donc exploitées avec circonspection ou alors être adaptées aux régions d'étude concernées.

D'après le tableau ci-dessus, les valeurs obtenues sont très majorées par rapport à celles de la méthode rationnelle. Pour cela, on opte pour les débits obtenus par cette dernière car elles sont obtenues d'après des enregistrements réels des pluies maximales journalières sur nombre suffisant des stations pour qu'on puisse juger de la fiabilité des résultats obtenus.

III.8. L'apport solide

Le transport solide dans un cours d'eau constitue la seconde phase de l'érosion. Il relève essentiellement du ruissellement et d'écoulement et mis en jeu les diverses formes d'écoulement d'eau dans la nature.

III.8.1. Evaluation du transport solide par les formules empiriques

Il est toujours difficile de suivre et de quantifier les transports des sédiments grossiers dans les oueds naturels, ceci pour des raisons pratiques ou bien financières. Face à ces contraintes, l'utilisation des équations empiriques de transport solide a l'avantage de permettre l'estimation du débit solide.

Le débit solide global d'un cours d'eau englobe les matériaux charriés sur le fond du lit et les matériaux en suspension dans l'eau comme l'argile et le limon, ces derniers représentent une grande part du débit solide.

Diverses formules ont été établies pour l'estimation du transport solide à partir des données observées sur des différents bassins on site [2] :

- ✓ Formule de SOGREAH ;
- ✓ Formule de FOURNIER ;
- ✓ Formule de TIXERONT ;
- ✓ Formule de GRAVILLOVIC.

L'ensemble des formules empiriques sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau III.23: les formules empiriques utilisées pour la détermination de l'apport solide

Formule	Equation	Paramètres
SOGREAH (T/km ² .an ⁻¹)	$E_s = KL_e^{0.15}$	K, L_e
FOURNIER (T/km ² .an ⁻¹)	$Q_s = \frac{1}{36} \left(\frac{\bar{P}_m}{\bar{P}}\right)^{2.65} \left(\frac{H_{moy}^2}{S}\right)^{0.46}$	$\bar{P}_m, \bar{P}, H_{moy}, S$
TIXERONT (T/km ² .an ⁻¹) [est algérien]	$A_{ss} = 92E^{0.21}$	E
GRAVILLOVIC (T/km ² .an ⁻¹)	$P_e = \pi T \bar{P} \sqrt{Z^3}$	T, \bar{P}, Z

Avec :

E_s : érosion spécifique (T/Km².an⁻¹) ;

L_e : lame d'eau ruisselée moyenne interannuelles (mm) ;

Q_s : Apport solide moyen interannuel (T/ Km².an⁻¹) ;

\bar{P}_m : Précipitation moyenne du mois le plus arrosé (mm) ;

\bar{P} : Précipitation moyenne annuelle (mm) ;

H_{moy} : L'altitude moyenne (m) ;

S : La superficie du bassin versant (Km²) ;

A_{ss} : Apports solides spécifiques moyens annuels (T/km².an⁻¹) ;

E : Ecoulement annuel total (mm) ;

P_e : la production annuelle de sédiment en (T/Km².an⁻¹) ;

T : coefficient thermique déterminé par la relation $T = \sqrt{\frac{t_0}{10}} + 0,1$;

t_0 : température moyenne annuelle (C°) ;

Z : coefficient empirique lié à l'érosion du bassin ($Z=1.5$) ; il est présenté sur le tableau suivant :

Tableau III.24: Coefficient empirique lié à l'érosion du bassin

Z	1 à 1,5	0,7 à 1	0,4 à 0,7	0,2 à 0,4	0,1 à 0,2.
Erosion	excessive	intense	moyenne	faible	très faible

K : constante ($K=350$); Coefficient qui est déterminé en fonction de la perméabilité des terrains, Il est présenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.25: Coefficient déterminant de la perméabilité des terrains

K	8.5	75	350	1400	3200
Perméabilité	élevée	moyenne à élevée	faible à moyenne	faible	impermeables

L'ensemble des résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau III.26: Récapitulatif des résultats de calcul de l'apport solides

	Sous BV	SBV Supérieur	SBV Moyen	SBV Inférieur
Paramètres	S (Km ²)	1893	1034	185
	\bar{P} (mm)	94.1	228.267	129.4
	\bar{P}_m (mm)	7.846	26.028	17.489
	L_e (mm)	56.460	136.962	77.64
	H_{moy} (m)	965.83	1021	369.55
formule	SOGREAH	640.957	732.079	672.327
	FOURNIER	0.0003	0.0208	0.0098
	TIXERONT	214.612	258.508	229.459
	GRAVILLOVIC	850.058	2062.063	1168.942

A partir de ce tableau on peut remarquer que la formule de GRAVILLOVIC présente des valeurs élevées par contre la formule de FOURNIER présente des valeurs petites. Ces valeurs ne signifient pas que le bassin dégage vraiment ces quantités. En faisant une petite comparaison avec les autres formules et l'aspect qualitative de l'érosion dans le bassin ; on peut dire que la formule de TIXIRONT présente des valeurs acceptables. En tenant compte du poids spécifique moyen des sédiments $\gamma=1.4 \text{ T/m}^3$.

$$V_s = \frac{A_{ss} * S}{\gamma} \dots \dots \dots \text{Eq III.35}$$

- V_s : Apport solide annuelle (m^3/an) ;
 A_{ss} : Apports solides spécifiques moyens annuels ($\text{T}/\text{km}^2 \cdot \text{an}^{-1}$) ;
 S : La superficie du bassin versant (Km^2) ;
 γ : Poids spécifique moyen des sédiments (T/m^3).

Tableau III. 27: Récapitulation des résultats obtenus par la formule de TIXIRONT

Sous BV	SBV supérieur	SBV moyen	SBV inférieur
S (Km^2)	1893	1034	185
A_{ss} ($\text{T}/\text{km}^2 \cdot \text{an}^{-1}$)	214.612	258.508	229.459
V_s (m^3/an)	290186.083	190926.623	30321.3679

Conclusion

On a essayé à partir de ce présent chapitre de déterminer les paramètres hydrologiques nécessaires à l'aménagement de l'oued Biskra pour protéger la zone contre les crues.

Les principales thématiques hydrologiques traitées de façon détaillées pour les sous-bassins versants sont les suivantes :

- ✓ Caractéristiques physico-morphologiques, du réseau hydrographique et d'écoulement ;
- ✓ Pluie moyenne, pluie journalière maximale, pluie de courte durée et intensités ;
- ✓ Débits maximums correspondant à chaque période de retour pour différents bassins ;
- ✓ Apport solide moyen annuel ;

Les principaux résultats obtenus à l'embouchure de l'oued Biskra sont :

Le débit de crue centennale s'élève à **1080.55 m^3/s** .

Apport solide moyen des sous bassins :

- ✓ SBV supérieur : 214.612 $\text{T}/\text{km}^2 \cdot \text{an}^{-1}$
- ✓ SBV moyen : 258.508 $\text{T}/\text{km}^2 \cdot \text{an}^{-1}$
- ✓ SBV inférieur : 229.459 $\text{T}/\text{km}^2 \cdot \text{an}^{-1}$

Chapitre IV :
Simulation des crues
avec HEC-RAS

Introduction

La connaissance des caractéristiques de l'oued avant l'aménagement est indispensable pour une meilleure analyse du cours d'eau. Dans notre cas, nous nous sommes basés sur l'apport des modèles de simulation hydraulique. Le support informatique est le logiciel HEC-RAS qui présente des fonctionnalités importantes en matière de simulation hydraulique des rivières.

IV.1. Description du cours d'eau

Le tronçon étudié traverse la ville de Biskra du nord vers le sud en découpant cette dernière en deux centres urbains, quatre ouvrages d'art (ponts) qui l'interceptent de l'amont vers l'aval :

Pont N°01 : de l'ancienne ville d'El Alia vers chemin de lourd à 3.6 km ;

Pont N°02 : de centre d'El Alia vers la caserne militaire à 4.3 km ;

Pont N°03 : du quartier de Sidi Okba, Chetma vers le centre-ville de Biskra à 4.9 km ;

Pont N°04 : de l'université (Mohammed khider) vers l'ancienne ville de Biskra à 6.2 km.



Figure IV.1: Pont N°01



Figure IV.2: Pont N°02 (Pont busé)



Figure IV.3: Pont N°03



Figure IV.4: Pont N°04 (Pont busé)



Figure IV.5 : Image représentant un affouillement créé par la force du jet d'eau



Figure IV.6 : Image représentant la hauteur des berges

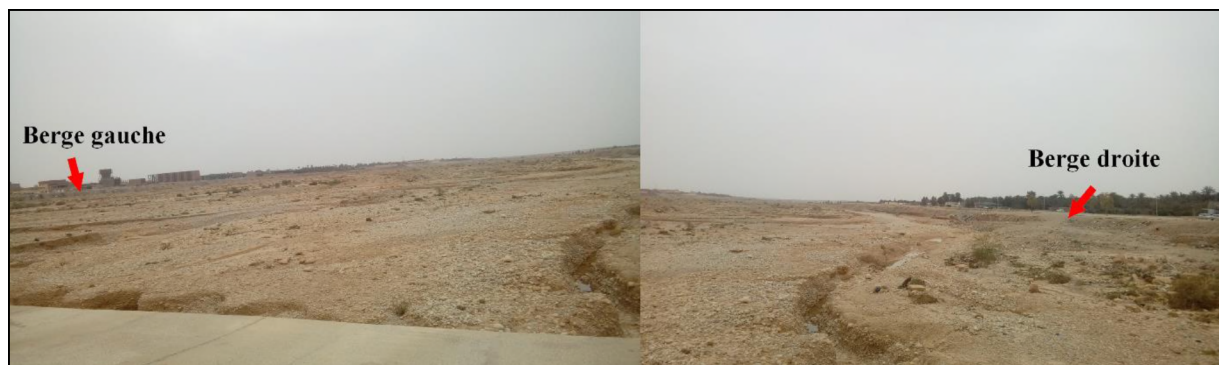


Figure IV.7: Image représentant les berges de l'oued

IV.2. Choix du type de modèle hydraulique

Le choix d'utilisation du HEC-RAS réside dans :

- ✓ L'utilisation d'une modélisation de l'écoulement permanent et non permanent à surface libre en débordement du canal vers la plaine d'inondation active ;
- ✓ L'avantage d'être d'accès gratuit et téléchargeable en ligne ;
- ✓ La possibilité d'intégration d'aménagements hydrauliques (digues, ponts, vannages, ...) ;
- ✓ L'exploitation des résultats cartographiques (identification des zones à risques).

IV.3. Objectif de la simulation de la crue centennale avant aménagement

La connaissance des caractéristiques de l'Oued avant aménagement est indispensable pour une meilleure analyse du cours d'eau. Le but principal est la délimitation des zones inondables le long du cours d'eau donc pour retenir celles prioritaires d'intervention.

IV.4. Présentation du logiciel HEC-RAS

Le logiciel HEC-RAS, est un logiciel de simulation hydraulique des écoulements à surface libre dans les rivières et canaux développés par le corps des ingénieurs de l'armée américaine (HEC RAS : Hydrologic Engineering Center's River Analysis System). Il permet

d'évaluer les débits et hauteurs d'eau sur l'ensemble des sections d'une rivière. Il utilise des équations d'hydraulique à surface libre (Saint-Venant 1D, Manning-Strickler...) et des modèles pour les seuils, pont ... etc. [18].

IV.4.1. Principales hypothèses assumées dans le modèle HEC-RAS

HEC-RAS résout les problèmes des écoulements à surface libre permanent ou non-permanent de calcul de ligne d'eau en régime graduellement varié. Il résout l'équation de l'énergie unidimensionnelle, les pertes étant évaluées par la formule de frottement au fond de Manning-Strickler et par des formules de contraction/expansion de l'écoulement. Pour les situations rapidement variées telles que les ressauts hydrauliques, les écoulements à proximité des ponts, et les confluences de rivière, l'équation de l'énergie est remplacée par l'équation de quantité de mouvement. Les principales hypothèses sont les suivantes [12]:

- ✓ Flux stationnaire, par conséquent il n'y a pas de variation du calage ou de vitesse avec le temps ;
- ✓ Flux progressivement varié, cela mène à une distribution hydrostatique de pressions ;
- ✓ Flux unidimensionnel, dans ce cas, la seule composante de la vitesse est dans la direction du flux ;
- ✓ Les pentes doivent être faibles ; moins de 1/10, le calage vertical est représentatif de la hauteur de pression.

IV.4.2. Les équations de bases du logiciel

Les profils de surface de l'eau sont calculés d'une section transversale à l'autre en résolvant l'équation d'énergie avec une procédure itérative appelée la méthode de l'étape standard. L'équation d'énergie est écrite comme suit :

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_0 \dots \dots \dots Eq IV. 1$$

Avec :

Z_1, Z_2 : Elévation du fond de la section transversale par rapport à une cote de référence ;

Y_1, Y_2 : Tirant d'eau dans chaque section ;

V_1, V_2 : Vitesse moyenne d'écoulement dans chaque section ;

α_1, α_2 : Coefficients de correction qui tient compte de la non-uniformité de la vitesse dans une section donnée ;

g : Accélération de la pesanteur ;

h_0 : Pertes de charge totales entre la section 1 et 2.

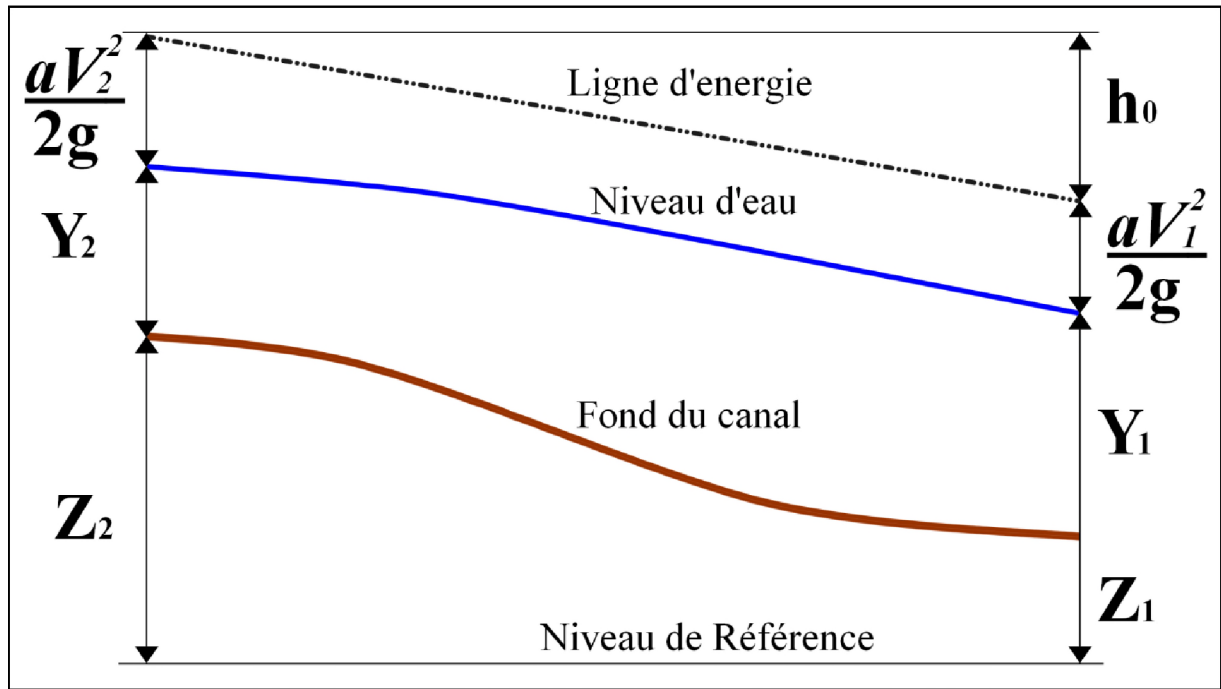


Figure IV.8 : Présentation des termes de l'équation d'énergie.

La perte totale d'énergie (h_0) entre deux sections est composée de pertes par frottement et de pertes de contraction ou de dilatation. Elle est donnée comme suit :

$$h_0 = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \dots\dots\dots Eq IV. 1$$

Avec :

L : Distance entre deux sections, elle est calculée comme suit :

$$L = \frac{L_{r.g}\bar{Q}_{r.g} + L_c\bar{Q}_{c.p} + L_{r.d}\bar{Q}_{r.d}}{\bar{Q}_{r.g} + \bar{Q}_{c.p} + \bar{Q}_{r.d}} \dots\dots\dots Eq IV. 2$$

Avec :

$L_{r.g}$, L_c , $L_{r.d}$: Longueurs des sections transversales pour l'écoulement dans la rive gauche, le canal principal et la rive droite respectivement ;

$\bar{Q}_{r.g}$, $\bar{Q}_{c.p}$, $\bar{Q}_{r.d}$: Moyenne arithmétique des débits entre deux sections pour la rive gauche, le canal principal, et la rive droite ;

C : Coefficient de pertes par expansion ou contraction ;

\bar{S}_f : Pente de frottement entre deux sections tel que :

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q}{K} \right)^2 \dots\dots\dots Eq IV. 3$$

Avec :

Q : le débit d'eau. $Q = V * S$ (Equation de continuité) d'où $V = Q/S$ Eq IV. 4

K : Coefficient de débit calculé comme suit :

$$K = \frac{1}{n} S R^{2/3} \dots \dots \dots \text{Eq IV. 5}$$

Avec :

n : Coefficient de rugosité de Manning ;

S : Section mouillée ;

R : Rayon hydraulique (le rapport entre la section mouillée et le périmètre mouillé).

La procédure de calcul de la hauteur d'eau dans la section considérée est faite par action itérative et déroule de la façon suivante :

- ✓ Proposer une hauteur d'eau à la section en aval (si l'écoulement est fluvial ou en amont s'il est torrentiel) ;
- ✓ Sur la base de la hauteur d'eau proposée , déterminer le coefficient de débit **K** (Eq IV.6) et la vitesse moyenne (Eq IV.5) ;
- ✓ Avec les valeurs obtenues du coefficient de débit et de la vitesse moyenne, calculer $\overline{S_f}$ (Eq IV.4) et résoudre l'équation de **h_o** (Eq IV.2) ;
- ✓ Avec les valeurs obtenues dans les étapes 2 et 3 (la perte de charge et la vitesse moyenne), résoudre l'équation globale d'énergie (Eq IV.1) ; c'est - à - dire, calculer la hauteur d'eau dans la deuxième section ;
- ✓ Comparer la valeur de la hauteur d'eau calculée avec celle proposée au début ;
- ✓ Répéter la procédure jusqu'à l'obtention de la précision.

Pour les écoulements débordants, la section totale est divisée en sous-sections homogènes en terme de forme et de rugosité, et chaque débit partiel **Q_i** est calculé selon la "Divided Channel Method" à l'aide de la formule de Manning-Strickler (Figure IV.9).

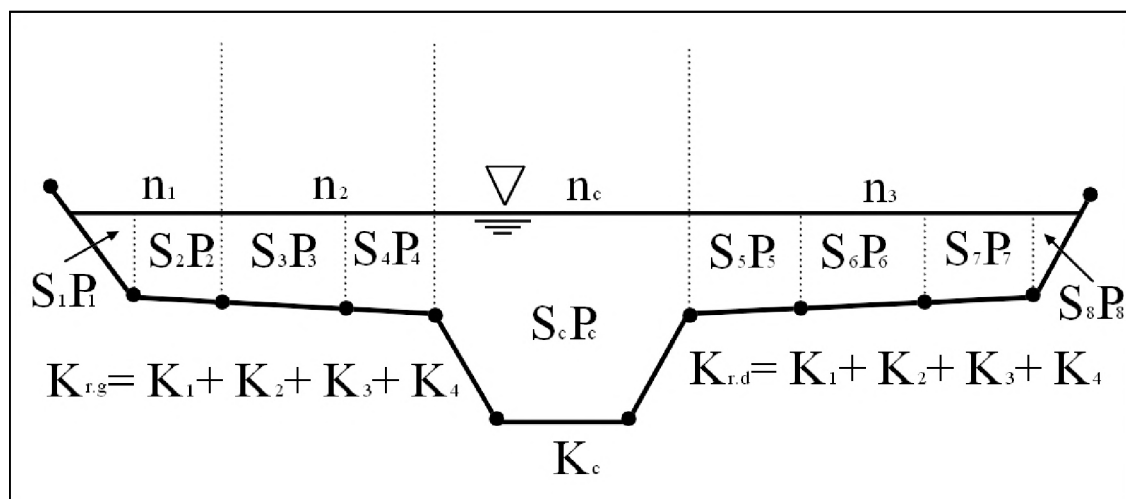


Figure IV.9: Méthode de subdivision du débit par le modèle HEC-RAS

IV.4.3. Etapes de simulation par HEC-RAS

La simulation de l'écoulement d'eau par HEC - RAS passe par les étapes suivantes :

- ✓ Préparation des données topographiques (création de la géométrie de l'Oued) ;
- ✓ Choix des paramètres hydrométriques et conditions aux limites ;
- ✓ Lancement de la simulation ;
- ✓ Visualisation des résultats.

IV.4.3.1. Préparation des données topographiques

Les données relatives à chaque section sont :

- ✓ Le profil en travers, défini par une série de couples distance-altitude ou bien (Station-Élévation) ;
- ✓ Les coefficients de rugosité et de pertes de charge;
- ✓ La distance à la section suivante.

Une série d'options permet de placer des obstacles et des zones d'eau morte.

D'autres éléments, tels que ponts, ponceaux, épis, glaces, peuvent également être simulés par HEC-RAS.

Pour notre cas, on a exploité le plan topographique de l'Oued donnée sous fichier Auto CAD.

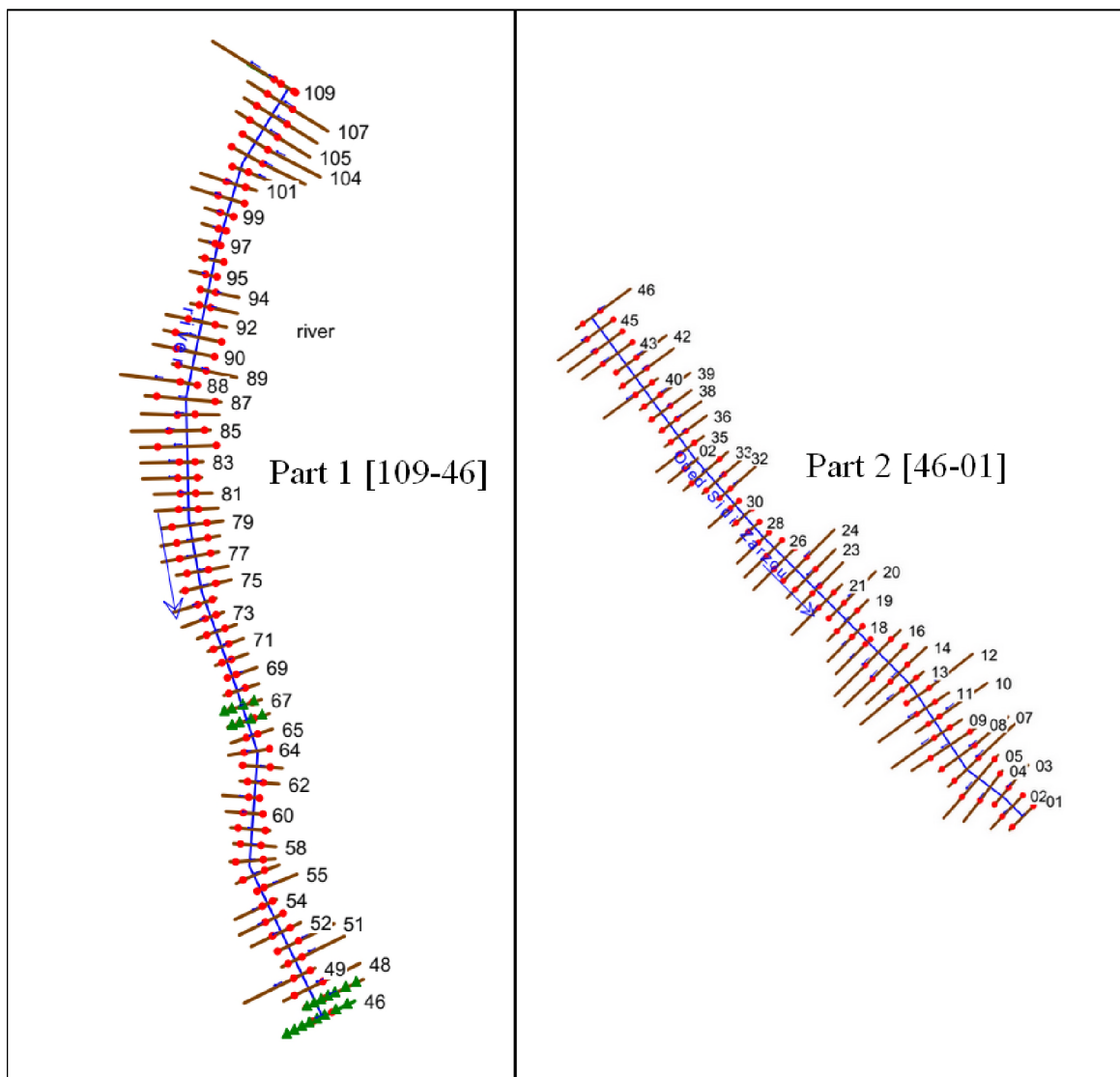


Figure IV.10: Modèle géométrique du cours d'eau sous-HEC-RAS

IV.4.3.1.1. La distance entre deux sections

L'application du modèle HEC-RAS est basée sur la subdivision du réseau ramifié ou maillé en plusieurs sections perpendiculaires à l'écoulement. Pour notre cas, sur une longueur

totale de 11 km, on a imposé des sections transversales tous les 100 m comme illustrées sur la figure suivante :



Figure IV.11: Subdivision des sections du cours d'eau

IV.4.3.1.2. Le choix des valeurs de rugosité de Manning

Les valeurs de la rugosité ou le coefficient de Manning n ont été attribuées selon la nature du canal et le matériau qui constitue les berges du cours d'eau (voir le Tableau IV. 1).

Tableau IV. 1 : Les valeurs de la rugosité du cours d'eau

Rivière de plaine, large, végétation peu dense		
Minimum	Normale	Maximum
0.025	0.030	0.035

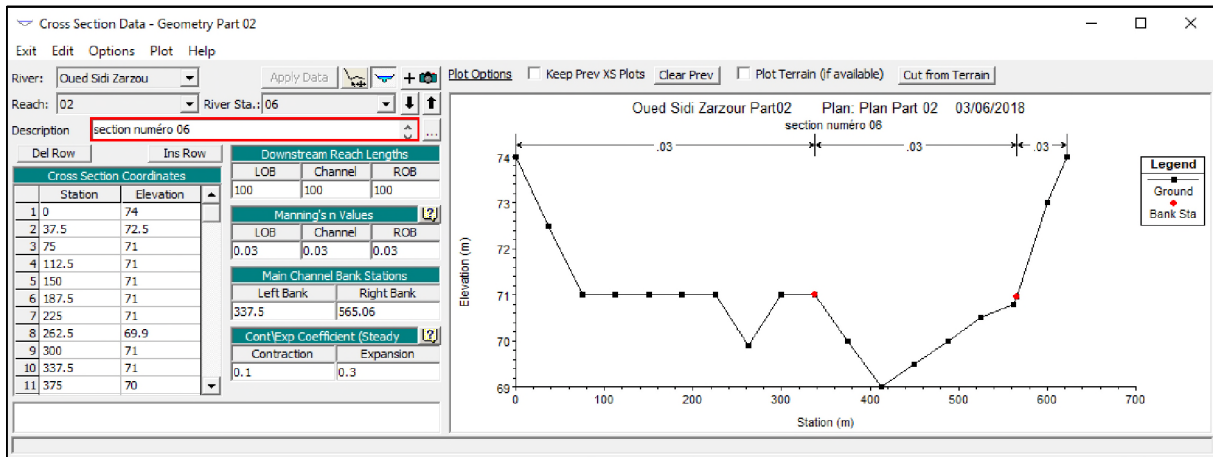


Figure IV.12 : Illustration d'un profil en travers sous- HEC RAS ainsi que la répartition de coefficient de Manning

IV.4.3.2. Choix des paramètres hydrométriques et conditions aux limites

Après avoir introduit la géométrie du cours d'eau, l'étape suivante serait de spécifier les débits utilisés pour calculer les profils d'écoulement ainsi que les conditions aux limites. Les calculs peuvent être effectués pour plusieurs débits simultanément, soit en régime torrentiel, soit en régime fluvial, ou pour les deux régimes d'écoulement. Pour les conditions aux limites, on a subdivisé l'Oued en deux tronçons, le premier tronçon présente une condition à l'aval qui est une hauteur critique et l'autre à l'amont.

✓ **Rappel des données hydrologiques**

Les débits de crue qui doivent être introduits dans le logiciel sont comme présentés comme suit :

Tableau IV. 2 : Les valeurs des débits de points pour différentes périodes de retour

Période de retour (Année)	5	10	20	50	100
Débit de pointe (m ³ /s)	592.14	713.17	827.7	972.5	1080.55

IV.4.3.3. Lancement de la simulation

Après avoir défini la géométrie, les données hydrométriques ainsi que les conditions aux limites nécessaires à la simulation et après avoir enregistré les fichiers correspondants, on choisit le type de régime. Pour ce cas, il est judicieux de préconiser un écoulement mixte si on n'est pas sûr du type d'écoulement, c'est à lui de calculer et de juger comment l'écoulement arrive-t-il à ce stade-là, désormais, on peut passer à la simulation hydraulique.

IV.4.3.4. Visualisation des résultats

Une fois que le modèle fini tous les calculs avec succès, on peut commencer à visualiser les résultats. Plusieurs options de visualisation des résultats de calcul sont disponibles et on peut visualiser et imprimer plusieurs types de résultats tabulés (tableaux synoptiques) et graphiques qui sont présentés dans les figures suivantes :

✓ Premier Partie

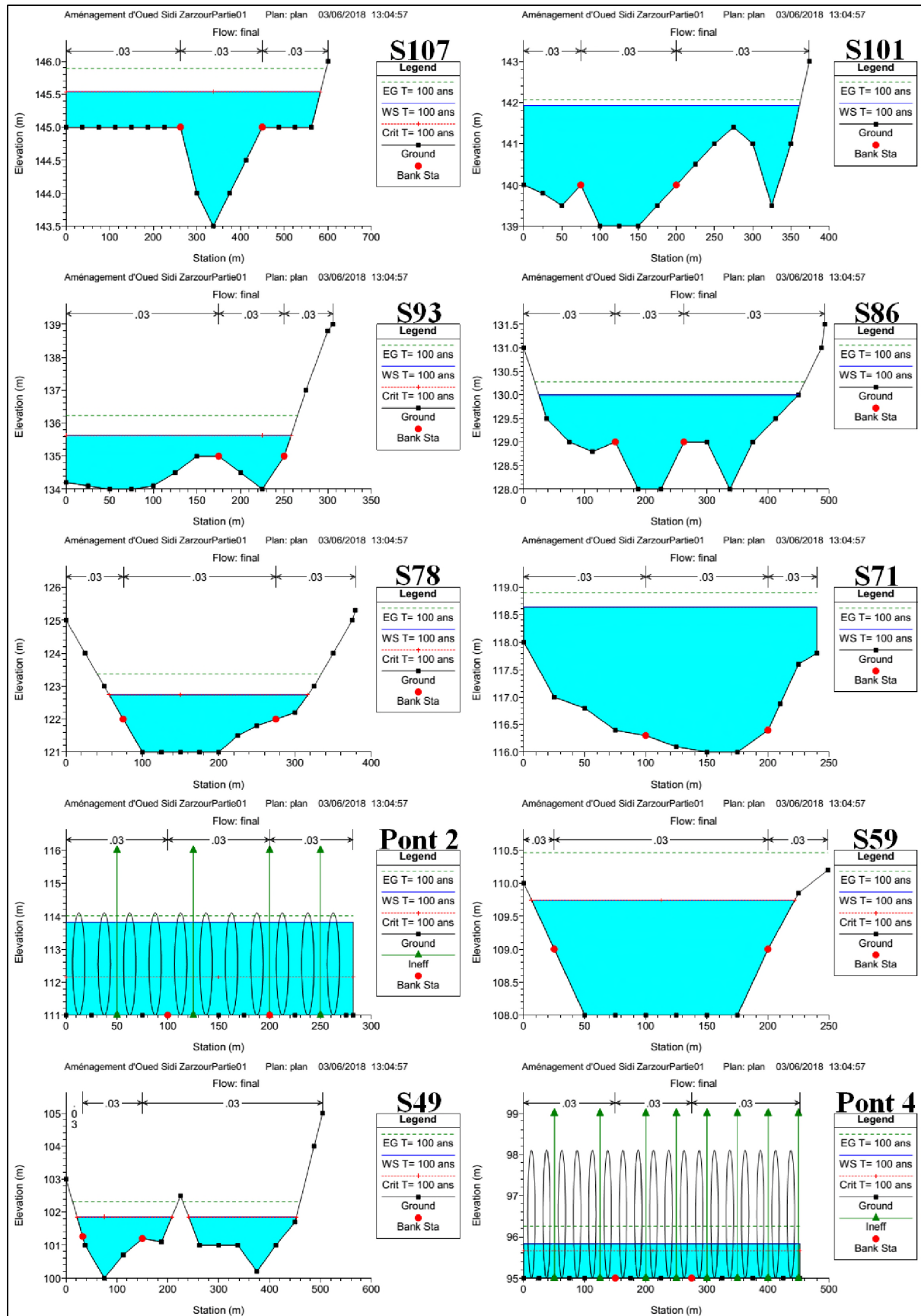


Figure IV.13: Résultats de simulation pour quelques stations

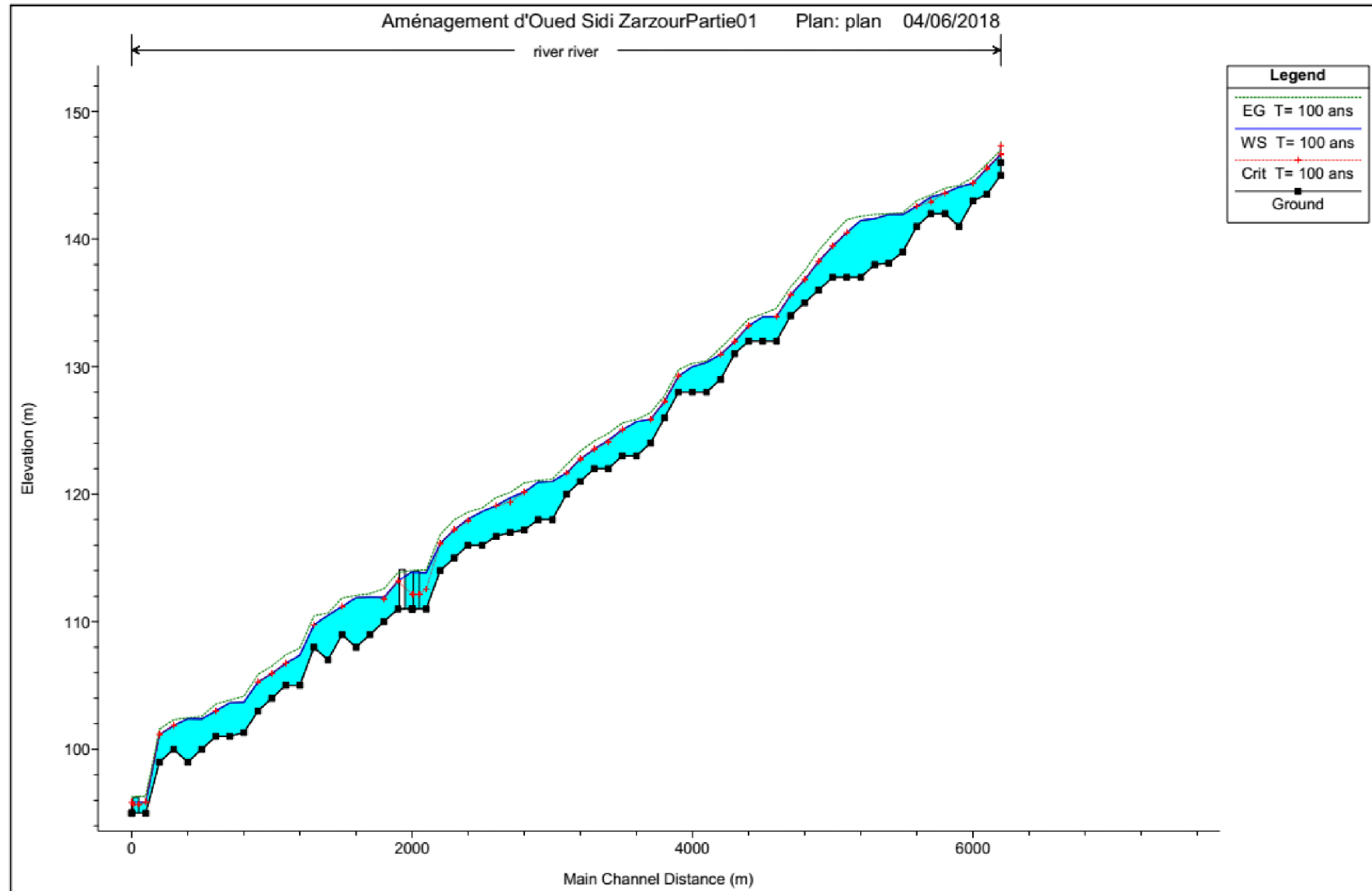


Figure IV.14: Profil en long du cours d'eau à l'état naturel pour une crue centennale (Partie 01)

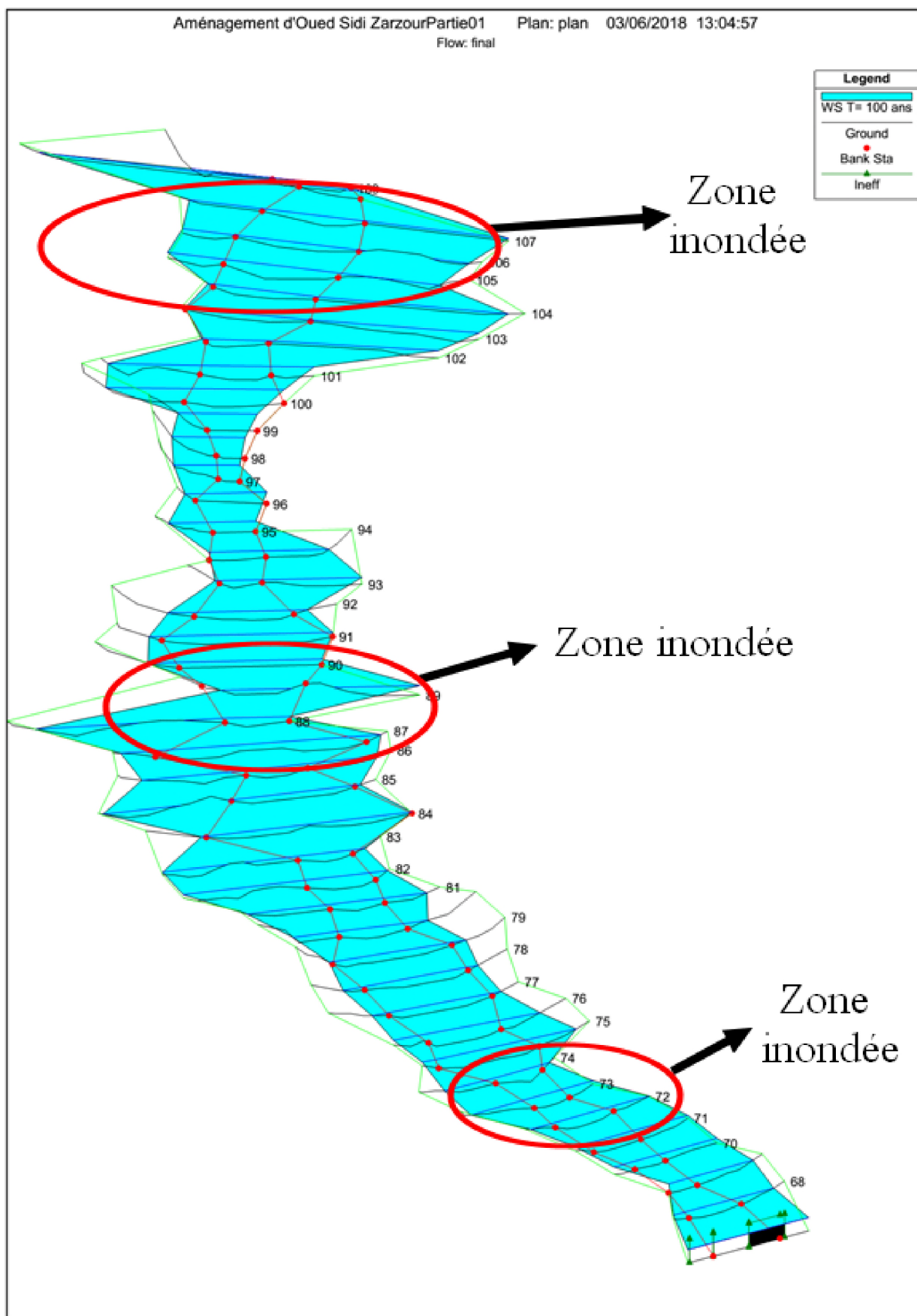


Figure IV.15: Visualisation en 3D des zones inondables de la première partie (S109 - S67)

IV.4.4. Délimitation des zones inondables

La délimitation des zones inondables le long du cours d'eau se fera avec RAS MAPPER du logiciel HEC- RAS après avoir exporté le fichier **.tif** contenant le sol recouvrant la zone d'étude du logiciel Global Mapper. Figure IV.16 et Figure IV.17.

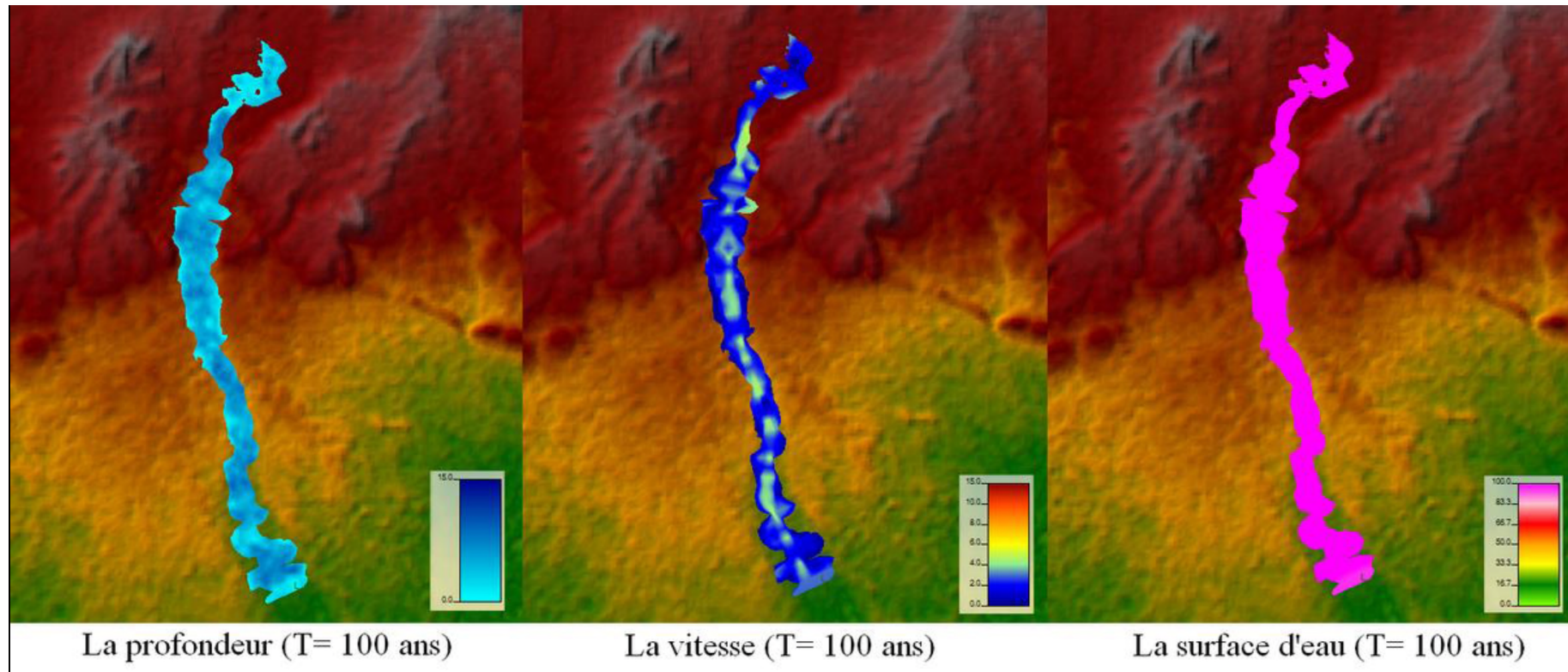


Figure IV.16 : Visualisation des zones inondables sur RAS MAPPER

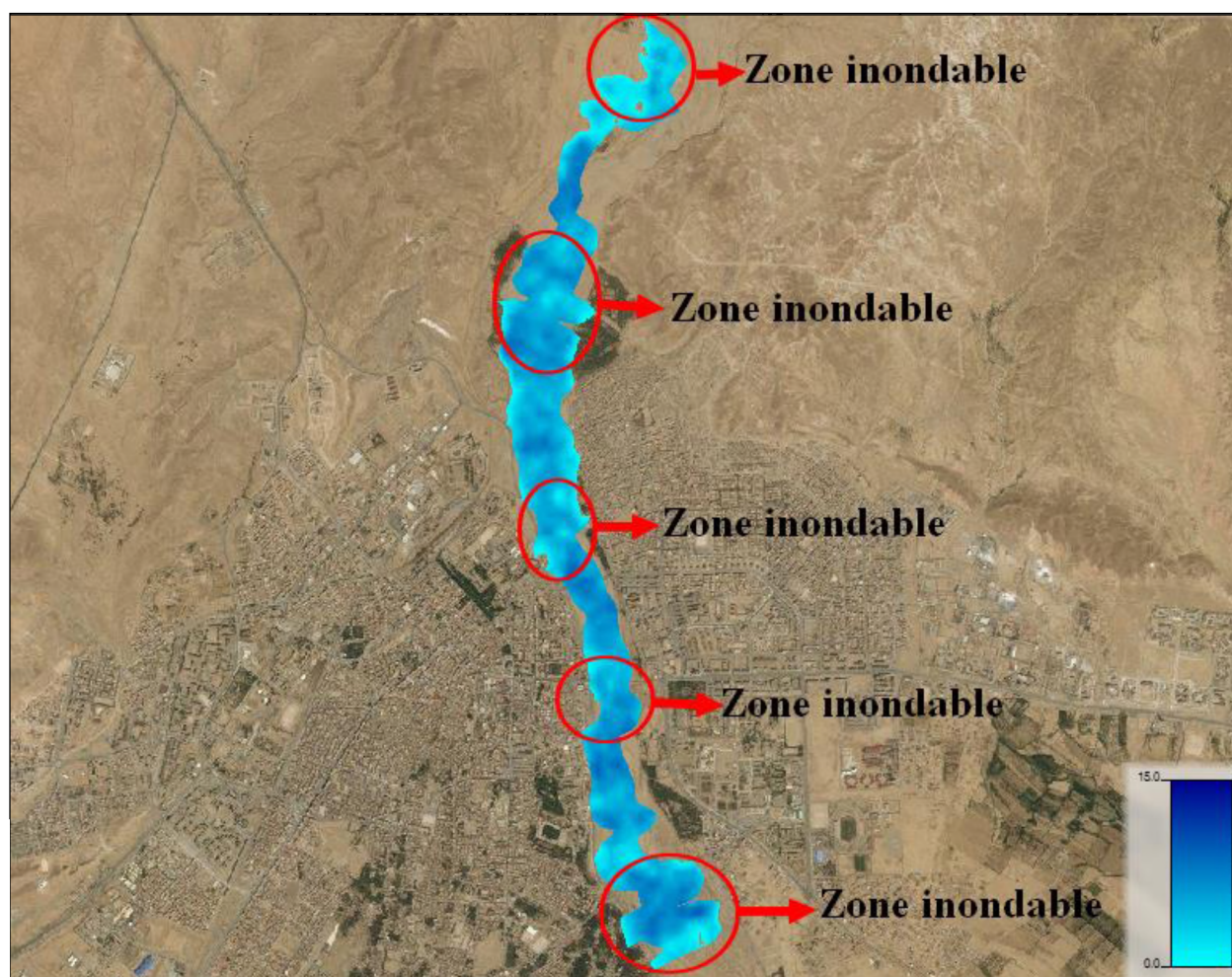


Figure IV.17 : Illustration des zones inondables sur une carte Google avec RAS MAPPER

Les autres figures de toutes les sections transversales sont données dans l'Annexe 13 ainsi les paramètres de l'écoulement de l'oued (première partie) dans l'Annexe 15.

✓ deuxième Partie

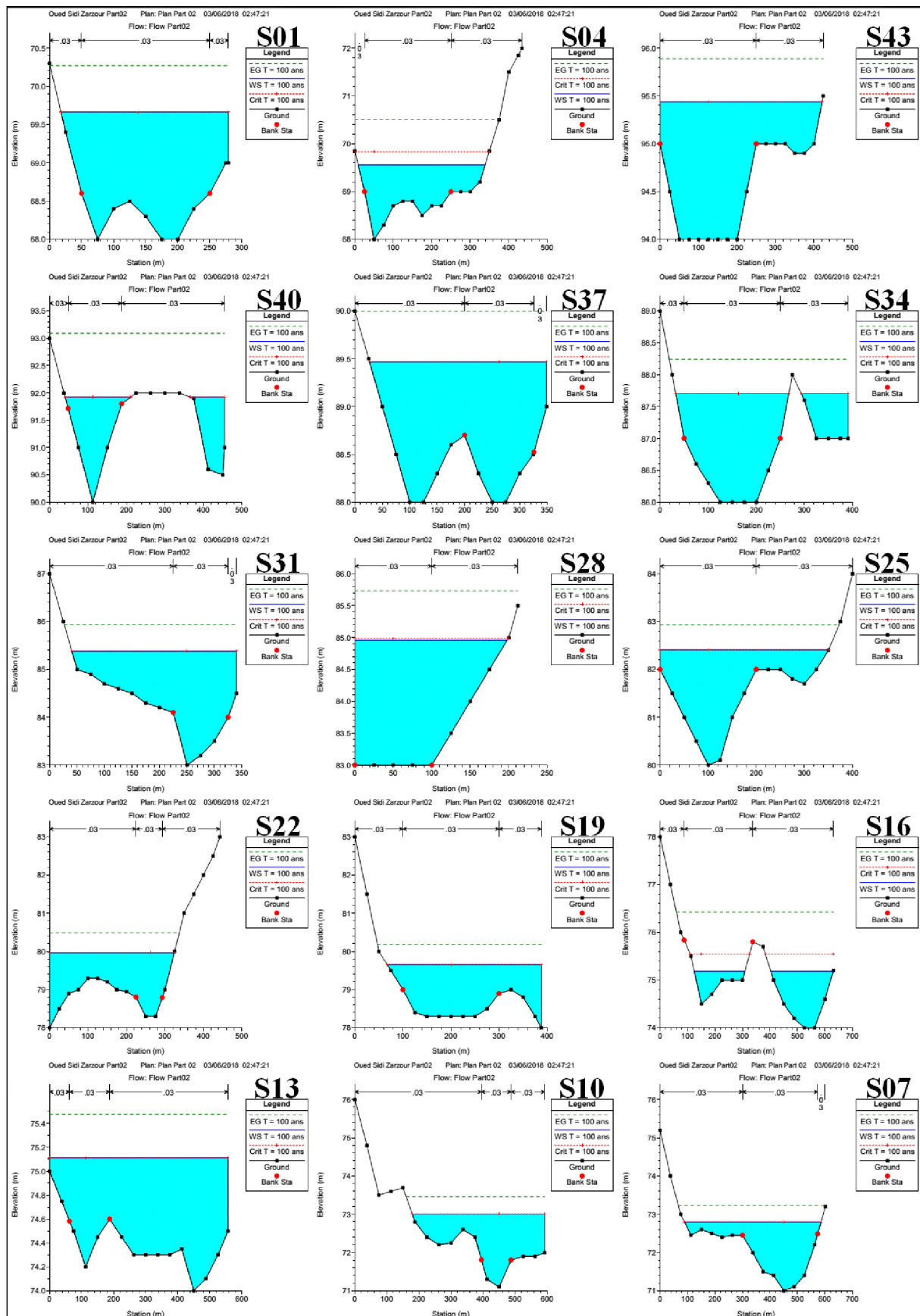


Figure IV.18: Résultats de simulation pour quelques stations (Partie 02)

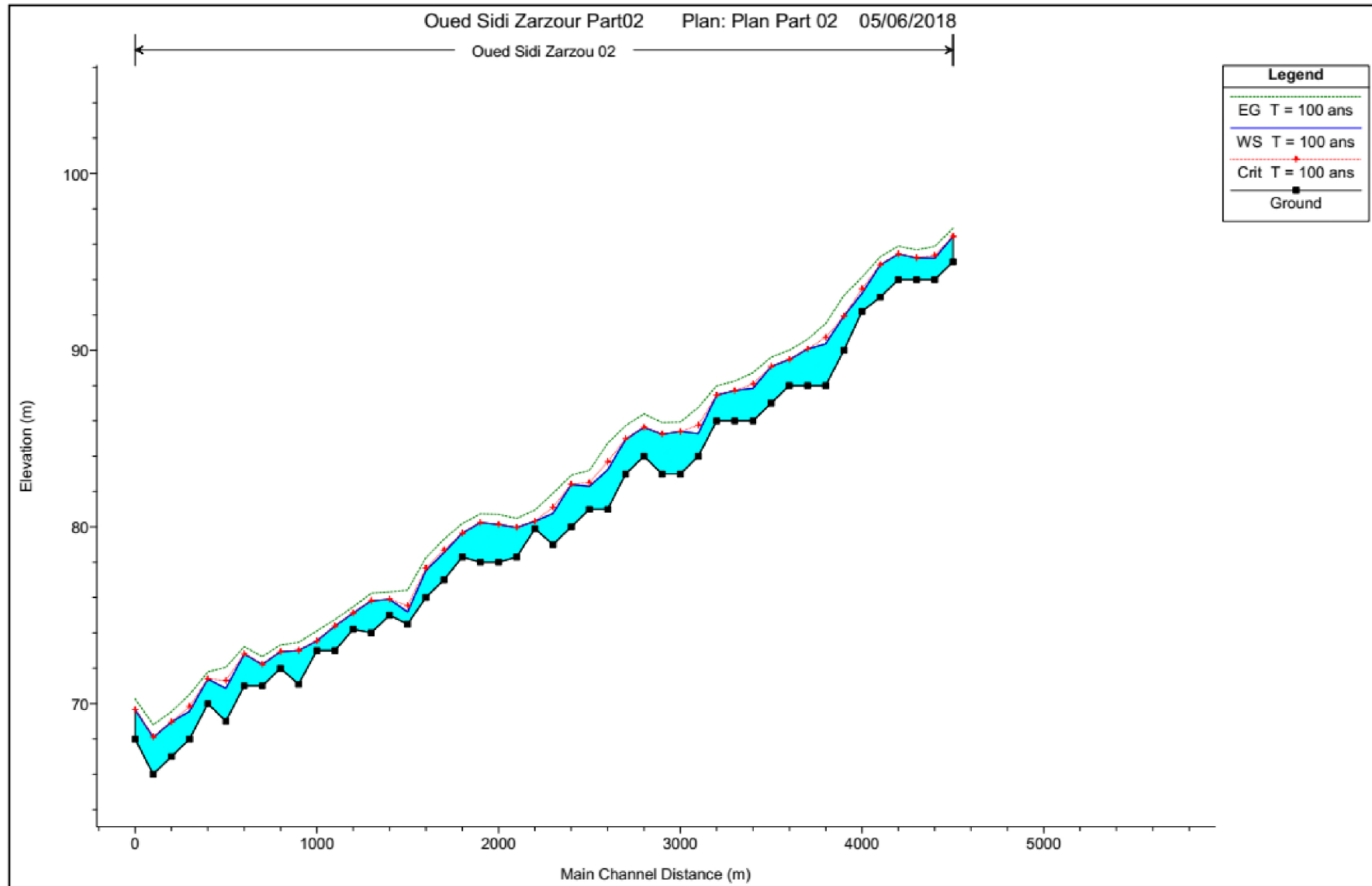


Figure IV.19: Profil en long du cours d'eau à l'état naturel pour une crue centennale (Partie 02)

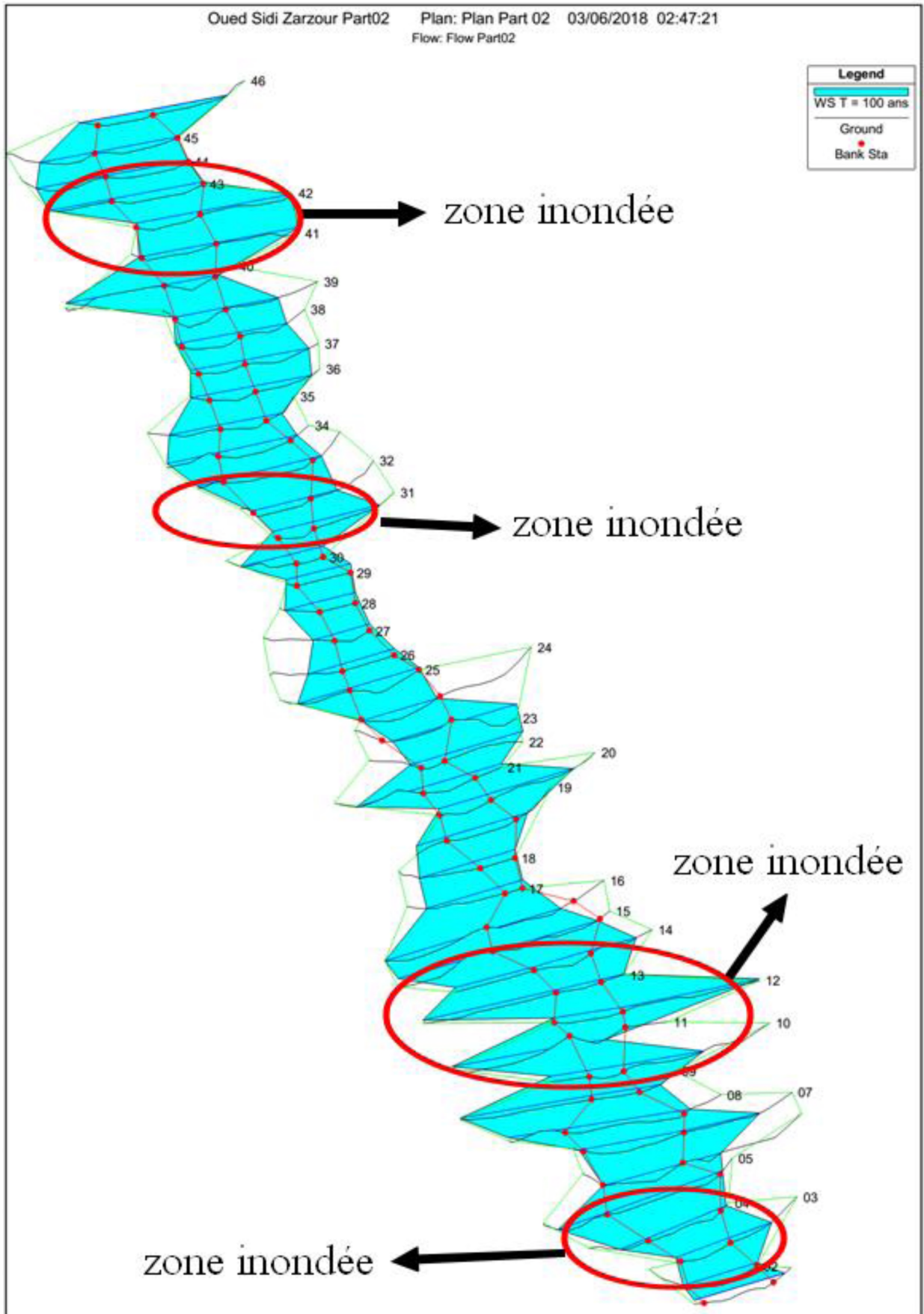


Figure IV.20: Visualisation en 3D des zones inondables de la deuxième partie (S46 - S01)

Les autres figures de toutes les sections transversales sont présentées dans l'Annexe 14 ainsi le tableau des paramètres de l'écoulement de l'Oued (deuxième partie) dans l'Annexe 16.

IV.4.5. Interprétations des résultats

La simulation de l'Oued avec le model HEC-RAS montre que le niveau d'eau varie d'une section à une autre, la majorité de ces dernières ont été submergées par une crue centennale. On remarque que la hauteur d'eau dépasse dans certains endroits les 4 m, En revanche, la hauteur des berges se voient insuffisante pour éviter les débordements qui envahissent les habitations.

Conclusion

Ce chapitre nous a permis de simuler l'écoulement sur l'Oued afin de reproduire son comportement quand il est soumis à une crue centennale, et localiser ainsi les zones exposées aux inondations. Nous avons constaté également que la majorité des surfaces situées au voisinage de l'oued ont été inondées par la crue extrême.

Donc, le prochain chapitre sera consacré à la proposition des ouvrages hydrauliques qui peuvent pallier ce problème de débordement.

Chapitre V :
Etude d'aménagement
Hydraulique de l'Oued
Biskra

Introduction

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

Le calcul hydraulique s'inspire de la règle des valeurs extrêmes (débit et vitesse d'écoulement); donc les canaux doivent satisfaire les conditions d'évacuation rapide et continue de toutes les quantités des eaux dans le but d'assurer une protection suffisante contre les inondations.

V.1. Localisation des zones à protéger

Suite à la simulation de la crue centennale avec le logiciel HEC-RAS, on a pu obtenir un schéma montrant en détail l'ensemble des zones à risque d'inondation (voir figure V.1).

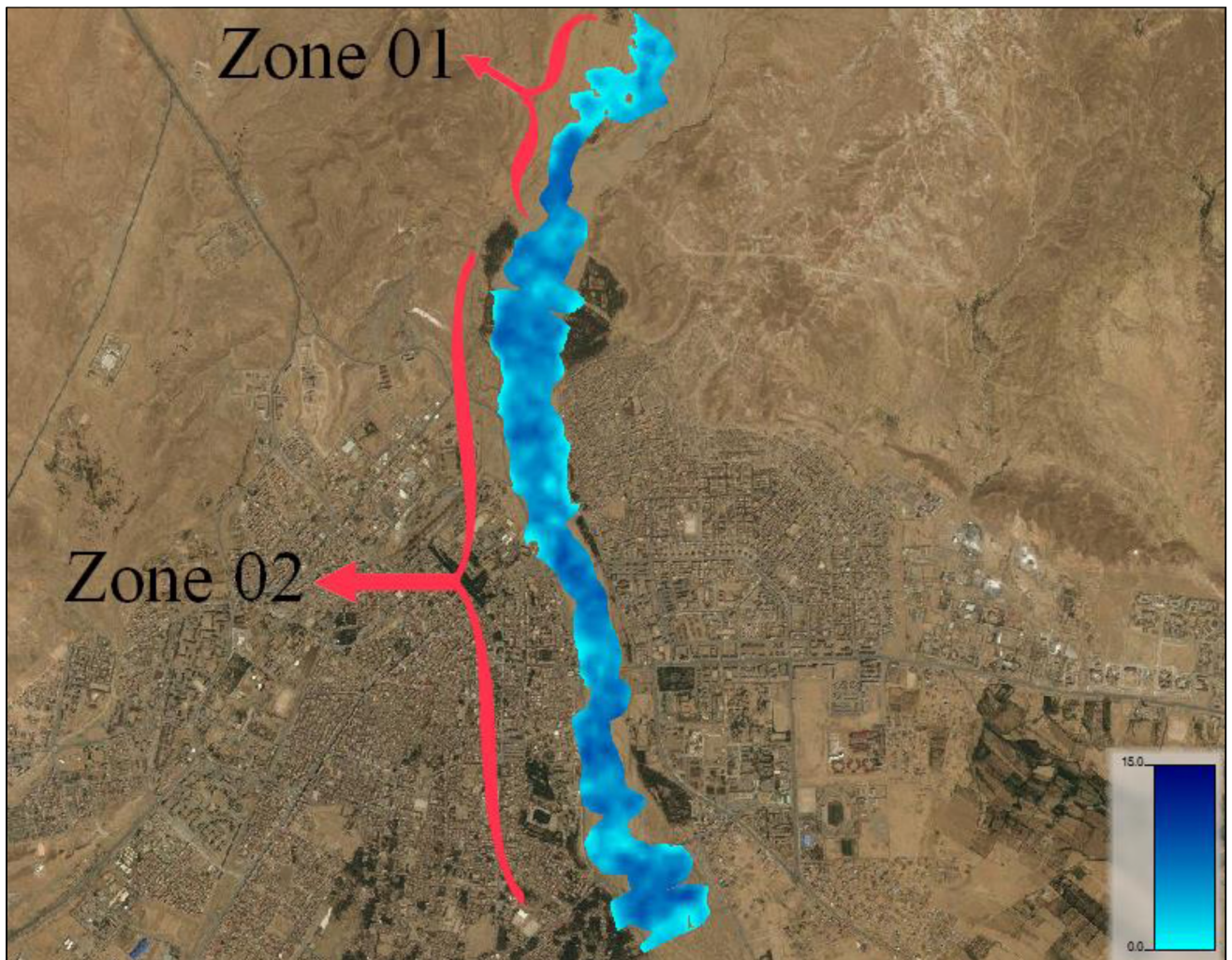


Figure V.1 : Répartition des zones à protéger

Le schéma ci-dessus illustre clairement la localisation des zones inondables suivantes:

- ✓ la partie amont (zone 01) à risque de débordement important ;
- ✓ la partie traversant le tissu urbain (zones 02), sur un linéaire d'environ 6 km ;
- ✓ la partie aval (zone 03) qui ne sera pas traitée ici, faute de plan d'occupation de sol.

V.2. Etude des variantes d'aménagement

Sur la base des résultats obtenus à partir des chapitres précédents, et en fonction de l'analyse de notre zone d'étude, des schémas d'aménagement d'Oued Biskra seront proposés suivant le plan dressé ci-après :

Tableau V.1 : Schémas d'aménagement proposés

Zones	Variantes à proposées		
	Variante 01 : Protection des berges par un mur en béton armé.	Variante 02 : Protection des berges par un mur de gabion en pierres.	Variante 03 : Uniformiser la section d'écoulement par des travaux de terrassement (recalibrage).
Zone 1 (S 109-S 87)	-		✓
Zone 2 (S 86- S21)	-	✓	

V.2.1. Première variante : par des murs en béton armé

V.2.1.1. Les murs en béton armé

Ils permettent d'éviter l'affouillement des berges et leur glissement. Ils sont constitués d'un rideau, d'une semelle portant le rideau et ancrée dans la fondation, de barbacanes pour le drainage des eaux se trouvant derrière le mur (Figure V.2 et Figure V.3).

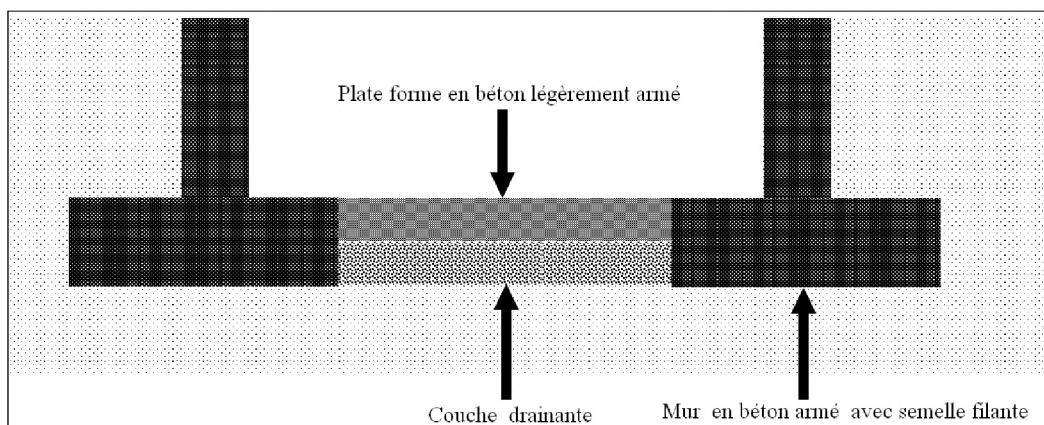


Figure V.2 : Coupe transversale d'un canal en béton armé de section rectangulaire



Figure V.3 : Image représentant une protection des berges par un mur en béton armé

V.3. Deuxième variante : par des gabions en pierres

V.3.1. Gabions

Enveloppes de grillage remplies de pierres, confectionnées sur leur lieu d'implantation. Leur souplesse leur permet de s'adapter à l'évolution du lit de la rivière (Figure V.4 et Figure V.5).

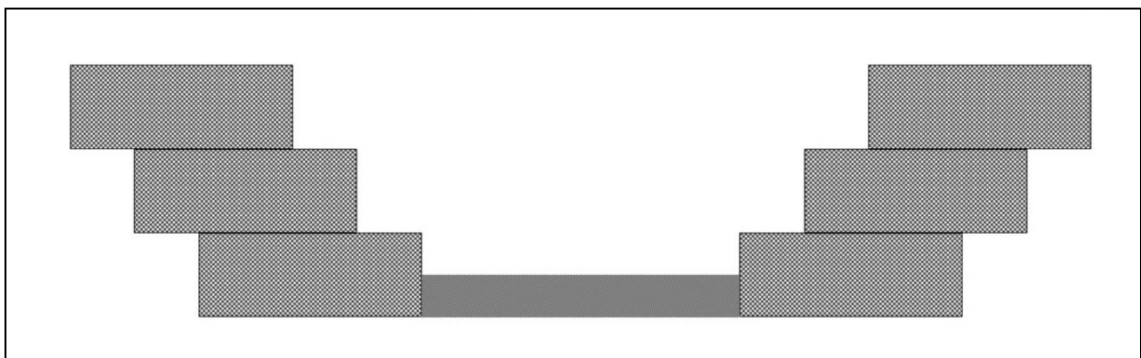


Figure V.4 : Image représentant une coupe transversale d'une protection par gabionnage



Figure V.5 : Image illustrant une protection des berges par gabionnage

V.3.1.1. Matelas-gabions

Matelas construits sur le principe des gabions d'environ 20 cm d'épaisseur. Ils s'adaptent bien en cas d'évolution du lit et des berges (Figure V.6 et Figure V.7).

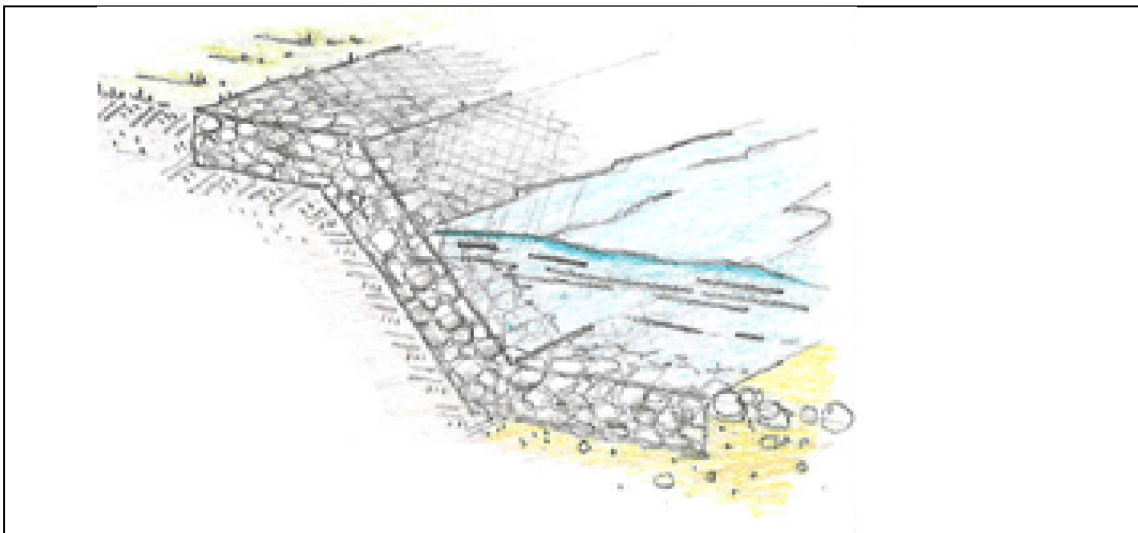


Figure V.6 : coupe transversale d'une protection par Matelas-gabions



Figure V.7 : Ouvrage de protection des berges par Matelas-gabions

V.4. Comparaison entre les variantes d'aménagement

V.4.1. Première Variante : Les murs en béton armé

V.4.1.1. Avantages et inconvénient

Tableau V.2 : Avantages et Inconvénients d'une protection avec des murs en béton armé

Avantages	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Rendement hydraulique efficace ✓ construction solide et stable, longévité ✓ permet une construction rapide ✓ très répandu dans la protection contre les inondations 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ très couteux ✓ volume très important en béton, surtout dans le cas des dalles ✓ risque d'affouillement entre les parois verticales et le terrain naturel ✓ vitesse d'écoulement élevée dans le cas de forte pente

V.4.2. Deuxième variante : Les gabions en pierres

V.4.2.1. Avantages et inconvénients

Tableau V.3 : Avantages et Inconvénients d'une protection avec des murs en gabion

Avantages	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> ✓ offre un bon choix économique pour la plupart des applications ✓ mise en œuvre simple et rapide ✓ bonne protection contre l'érosion ✓ matériaux localement disponible 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ faible stabilité surtout en périodes des crues ✓ modification du régime hydraulique le long du linéaire mis en place.

<ul style="list-style-type: none"> ✓ esthétique : possibilité d'utiliser des matériaux décoratifs (végétalisation...) ✓ résistance et souplesse : le gabion s'adapte aux variations du sol en cas de tassement ou d'affaissement ✓ robuste et durable ✓ les cages de protection permettent d'obtenir des formes et hauteurs multiples ✓ assure un drainage naturel ✓ écologique. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Exposé à l'arrachage du gabion lors de fortes crues ✓ doivent être inspectés sur une base régulière pour assurer leur intégrité. ✓ Exige un entretien systématique
--	--

V.4.3. Choix de la variante d'aménagement

Le choix d'une variante optimale, doit répondre aux exigences technico-économiques. De ce fait, selon les calculs hydrologiques effectués précédemment ainsi que les résultats obtenus par le model HEC-RAS, on a remarqué que certaines sections de l'oued à l'état actuel ne peuvent pas véhiculer le débit de crue centennale calculé, d'où le risque de débordement dans les endroits ayant une petite section qui demeurent toujours posé. A cet effet et pour une solution définitive aux risques d'inondations, nous proposons les variantes d'aménagements suivantes :

V.4.3.1. Aménagement par des travaux de terrassement (canal en terre)

En dehors du tissu urbain, pour la partie amont située avant l'entrée de la ville, nous proposons des corrections aux sections d'oued par exécution des travaux d'excavation (terrassements) ainsi le réglage des talus de façon à assurer une section adéquate permettant de véhiculer le débit de la crue centennale (Figure V.8).

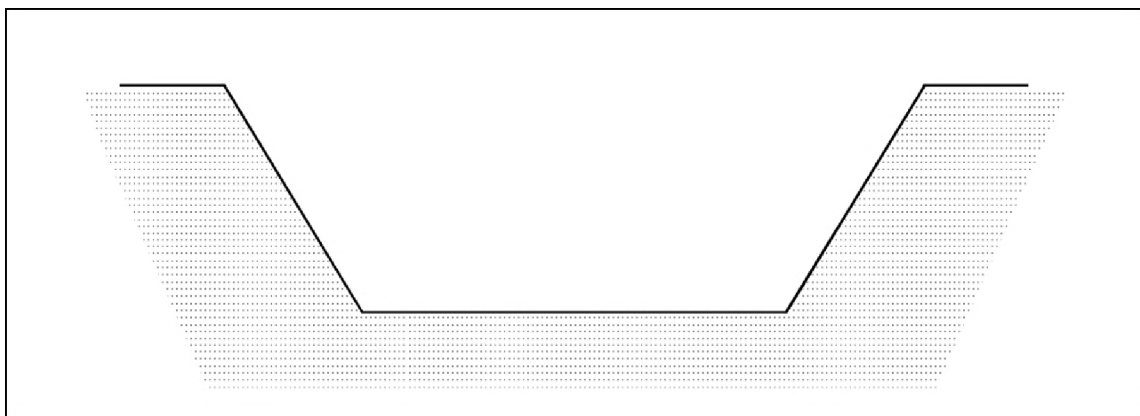


Figure V.8 : Coupe transversale d'un canal enterré de section trapézoïdale

V.4.3.2. Aménagement par des murs de gabions en pierre

L'aménagement du tronçon traversant le tissu urbain sur un linéaire d'environ 6 km par un mur en gabion compte tenu de la disponibilité de la matière première, et des frais de réalisation moins couteuse par apport à un mur en béton armé (Figure V.9).

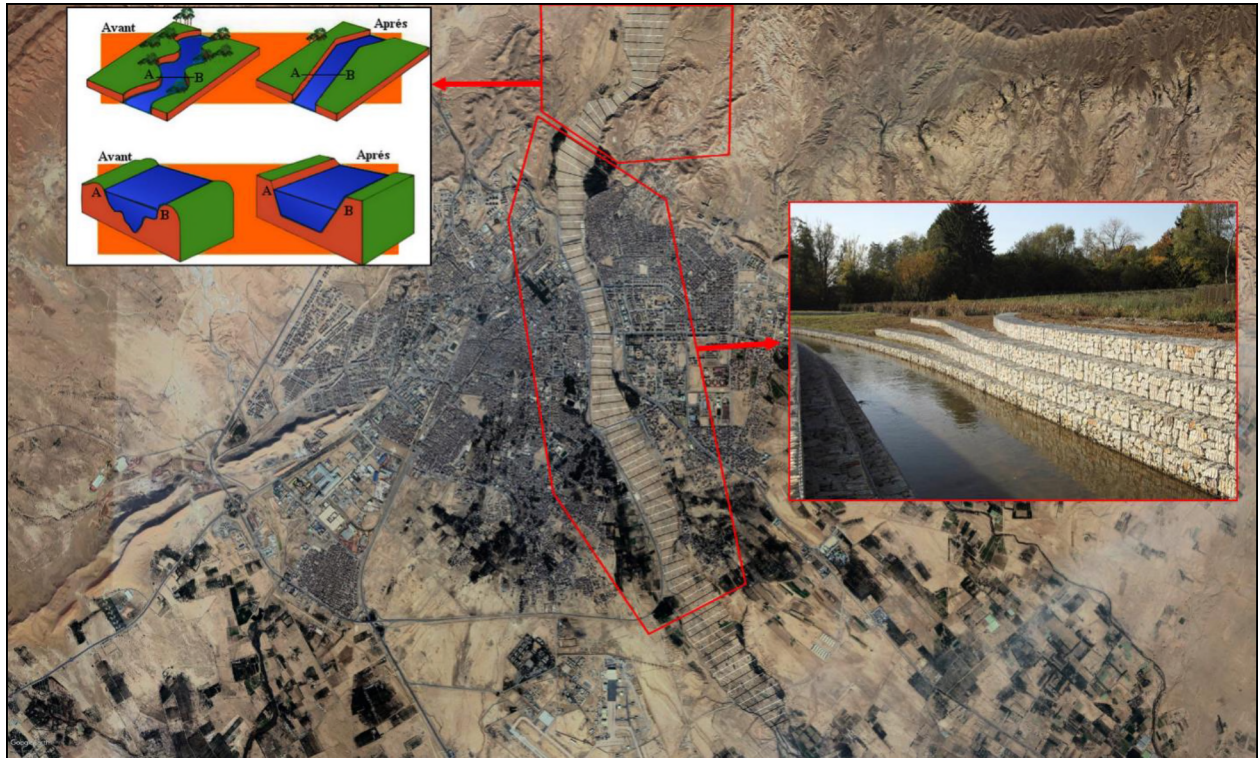


Figure V.9 : La réparation des variantes choisies (partie amont et partie centrale)

V.5. Calcul hydraulique des travaux de terrassement (canal en terre)

Le choix de la forme du canal pour ce tronçon a été porté sur la forme trapézoïdale avec les caractéristiques suivantes :

- ✓ La pente a été distribuée d'une façon à conserver celle du terrain naturel et faciliter les travaux et diminuer les coûts, pour cela on a opté pour une pente de l'ordre de 1 % ;
- ✓ La valeur du coefficient d'écartement des talus m a été fixée à 1, vu la facilité de la réalisation avec un angle de 45° ;
- ✓ Pour notre cas, la rugosité n de l'Oued est choisie égale à 0.030 ;
- ✓ La largeur du fond du canal $b = 300$ m, elle correspond à la largeur moyenne du tronçon.

V.5.1. Calcul des paramètres d'écoulement

Le code HEC-RAS nous permet de déterminer les différents paramètres hydrauliques tels que la hauteur normale, la vitesse d'écoulement, le type de régime et la nouvelle capacité de l'oued après l'aménagement.

Les résultats de la simulation sont portés dans le tableau et les figures suivants :

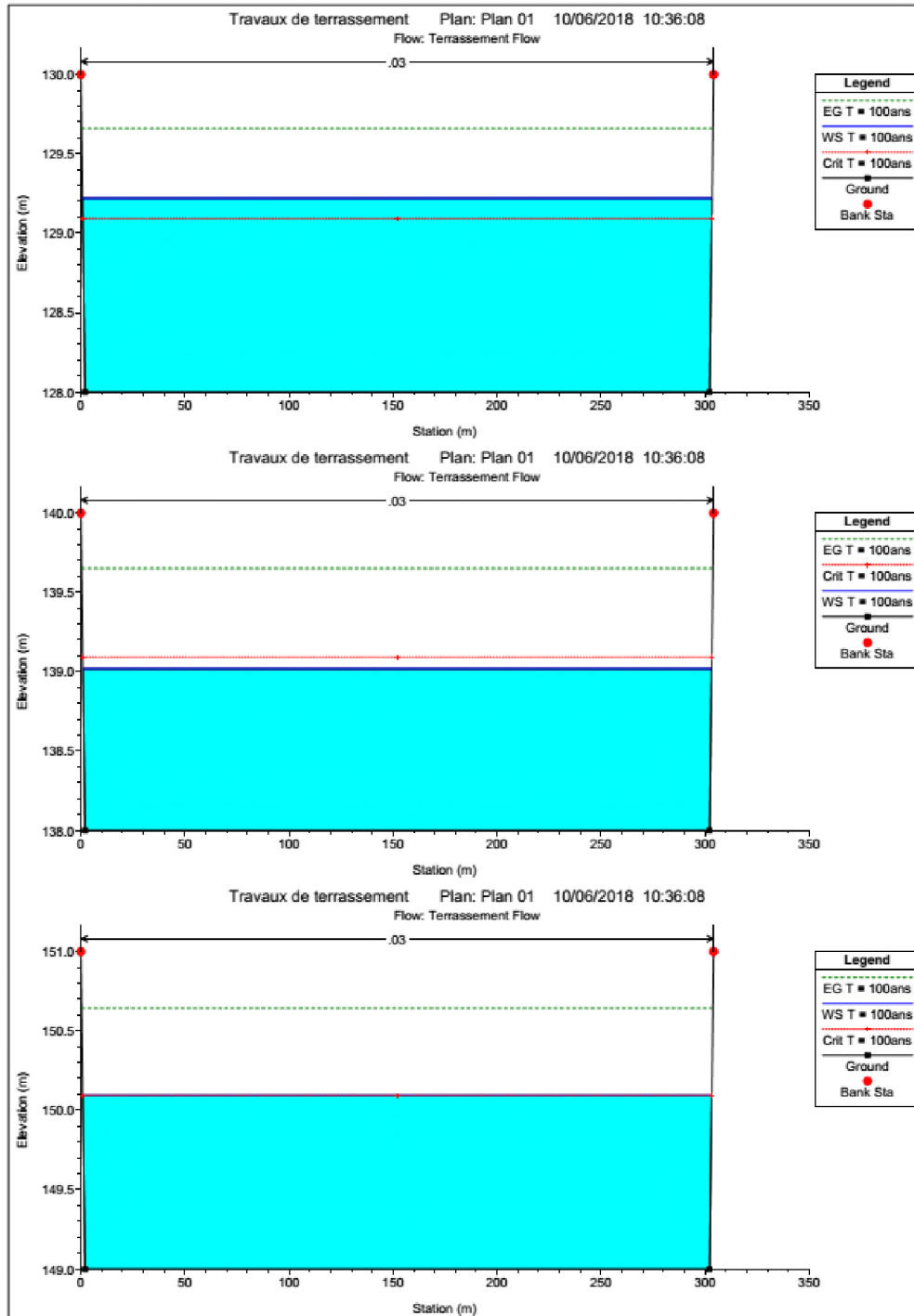


Figure V.1 : Résultats de simulation de la partie amont de l'Oued après les travaux de recalibrage

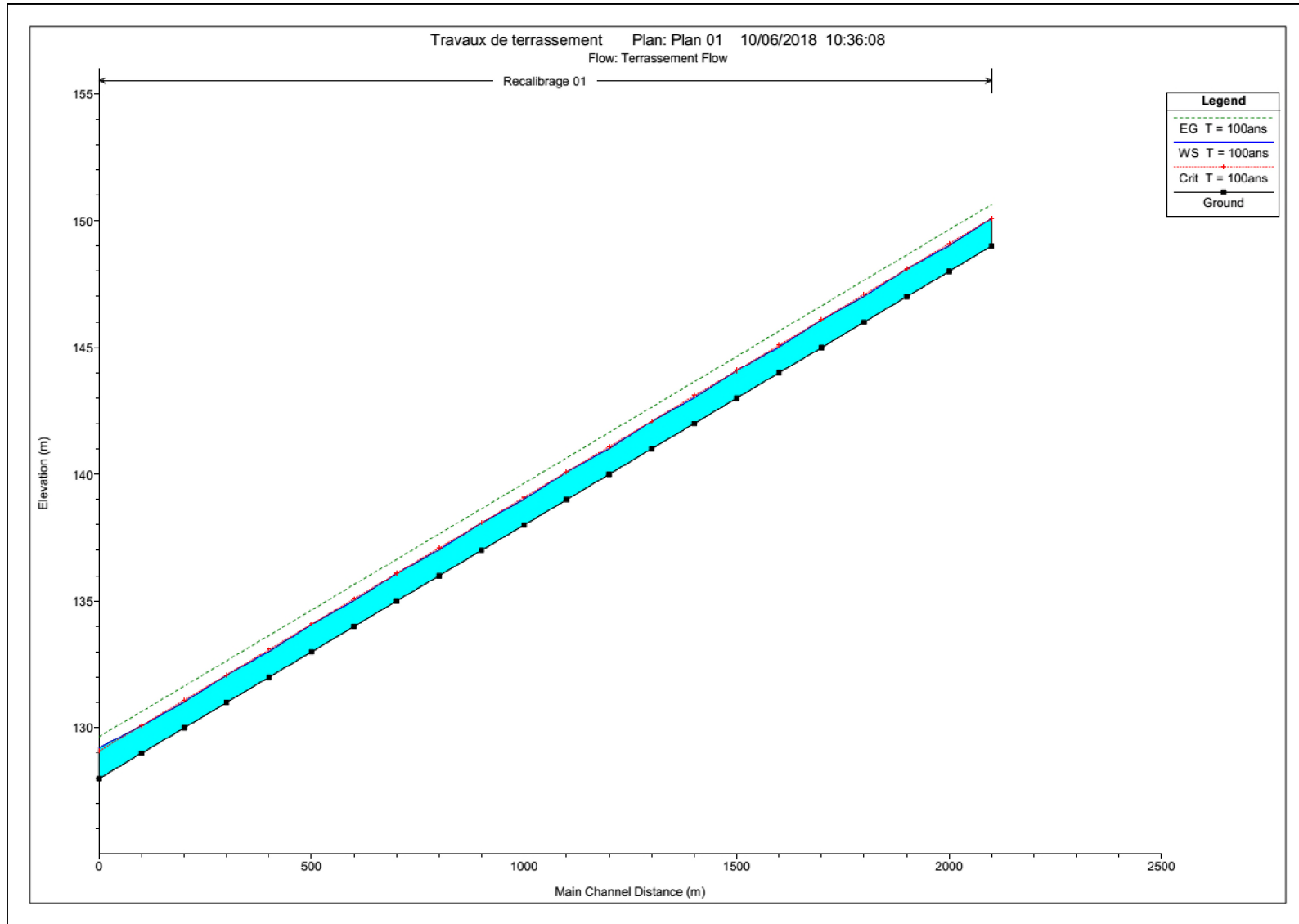


Figure V.2 : Profil en long de la partie amont du cours d'eau après les travaux de recalibrage

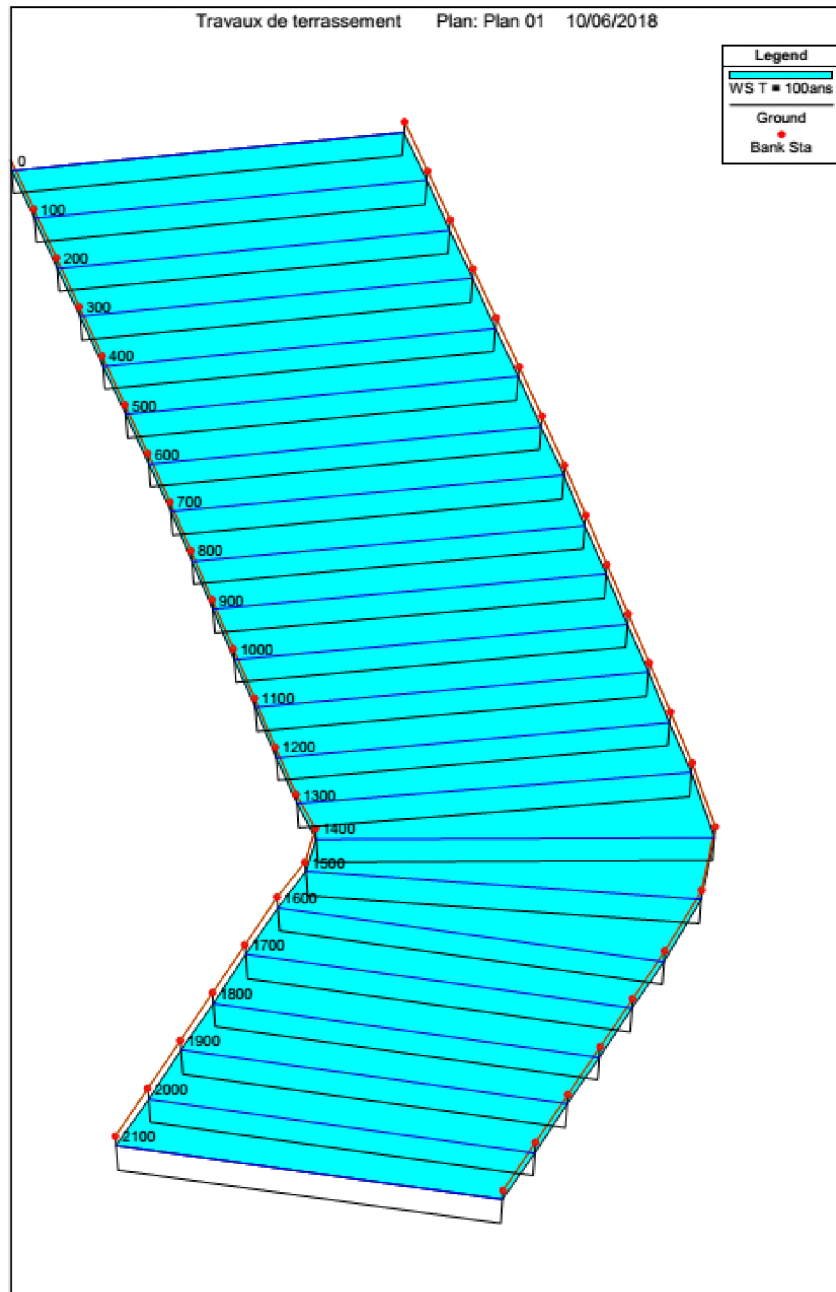


Figure V.3 : Visualisation en 3D de la partie amont du cours d'eau après les travaux de recalibrage

Les paramètres de l'écoulement du canal sont figurés dans L'Annexe 17.

V.6. Simulation de la crue après l'augmentation de la hauteur des berges par le système de Gabionnage

Dans cette partie nous proposons d'installer un système de gabionnage qui sert à augmenter la hauteur des berges et à protéger celle-ci contre l'érosion, la hauteur du gabion dans telle place étant fonction de la lame d'eau débordant dans celle-ci, qui est donnée lors du simulation du l'Oued avant aménagement par le logiciel HEC-RAS en ajoutant une marge de sécurité (revanche) de l'ordre de 1,30 à 1,50 m pour les grandes cours d'eau.

V.6.1. Résultats de simulation

V.6.1.1. Première partie

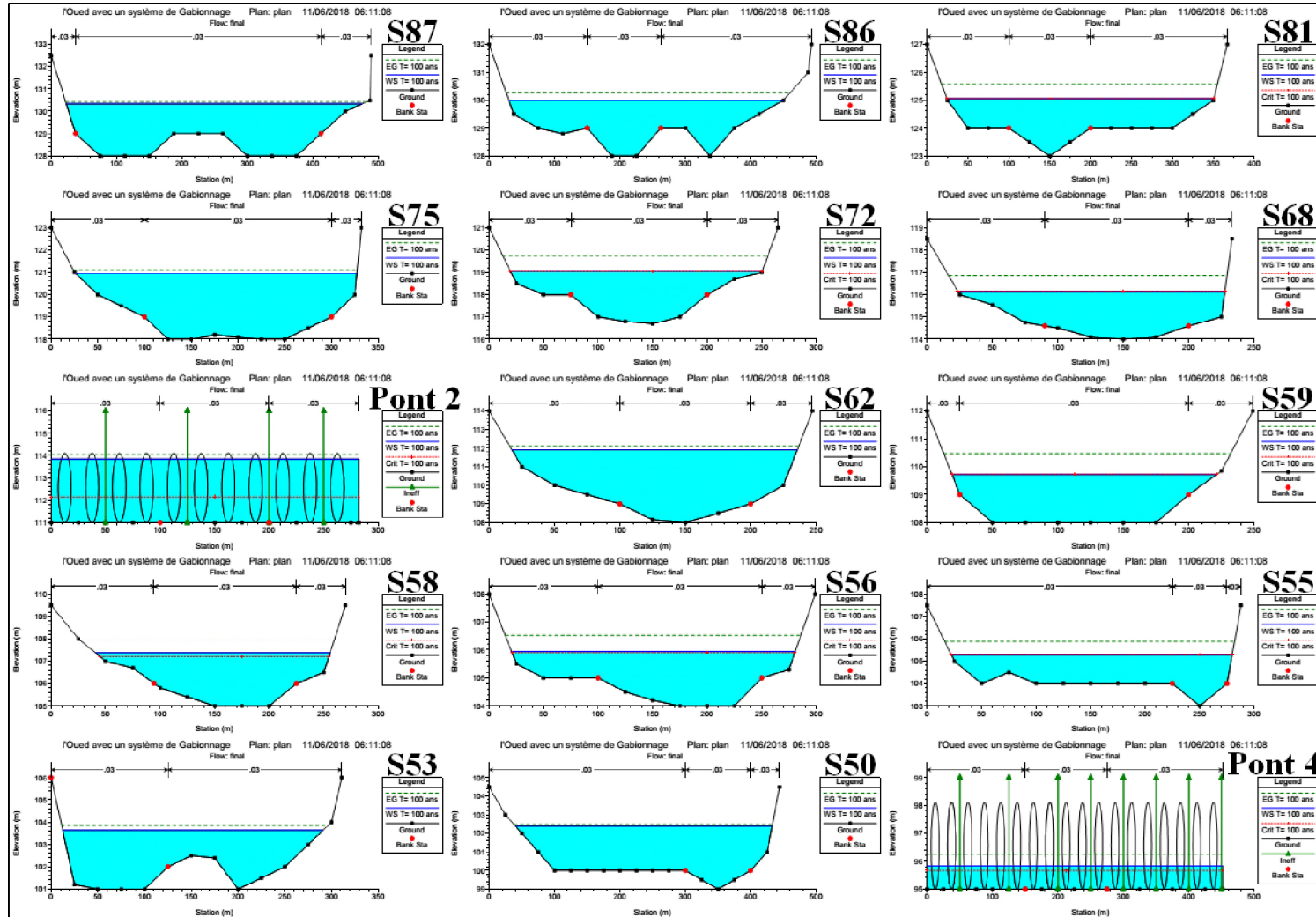


Figure V.4 : Résultats de simulation de l'Oued après l'augmentation de la hauteur des berges par un système de Gabionnage (partie 01)

Le reste des sections ainsi que les paramètres de l'écoulement sont donnés dans L'Annexe 18 et L'Annexe 19.

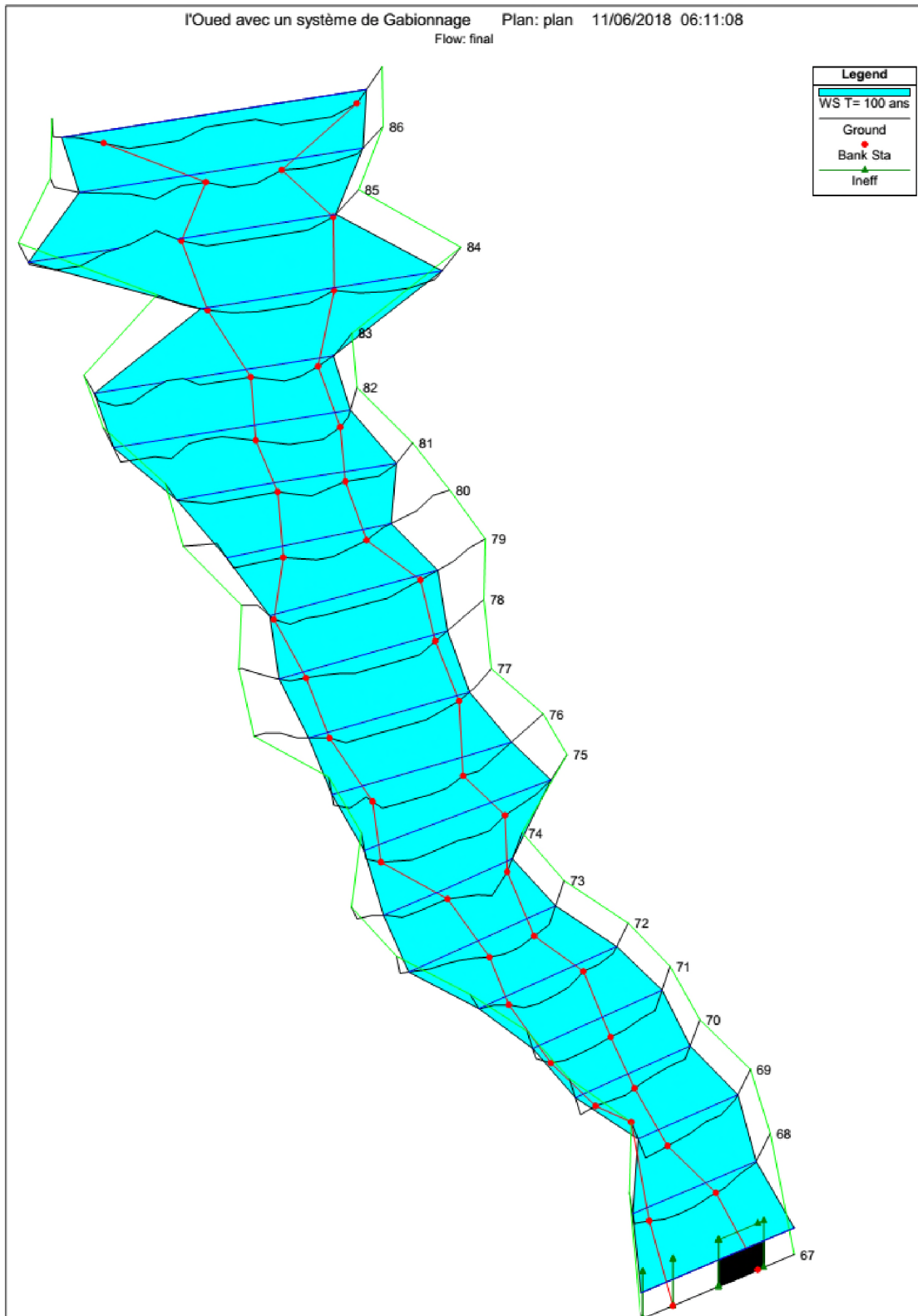


Figure V.5 : Visualisation en 3D du deuxième tronçon après l'augmentation de la hauteur des berges par le système de Gabionnage Partie 01 (S87- S67)

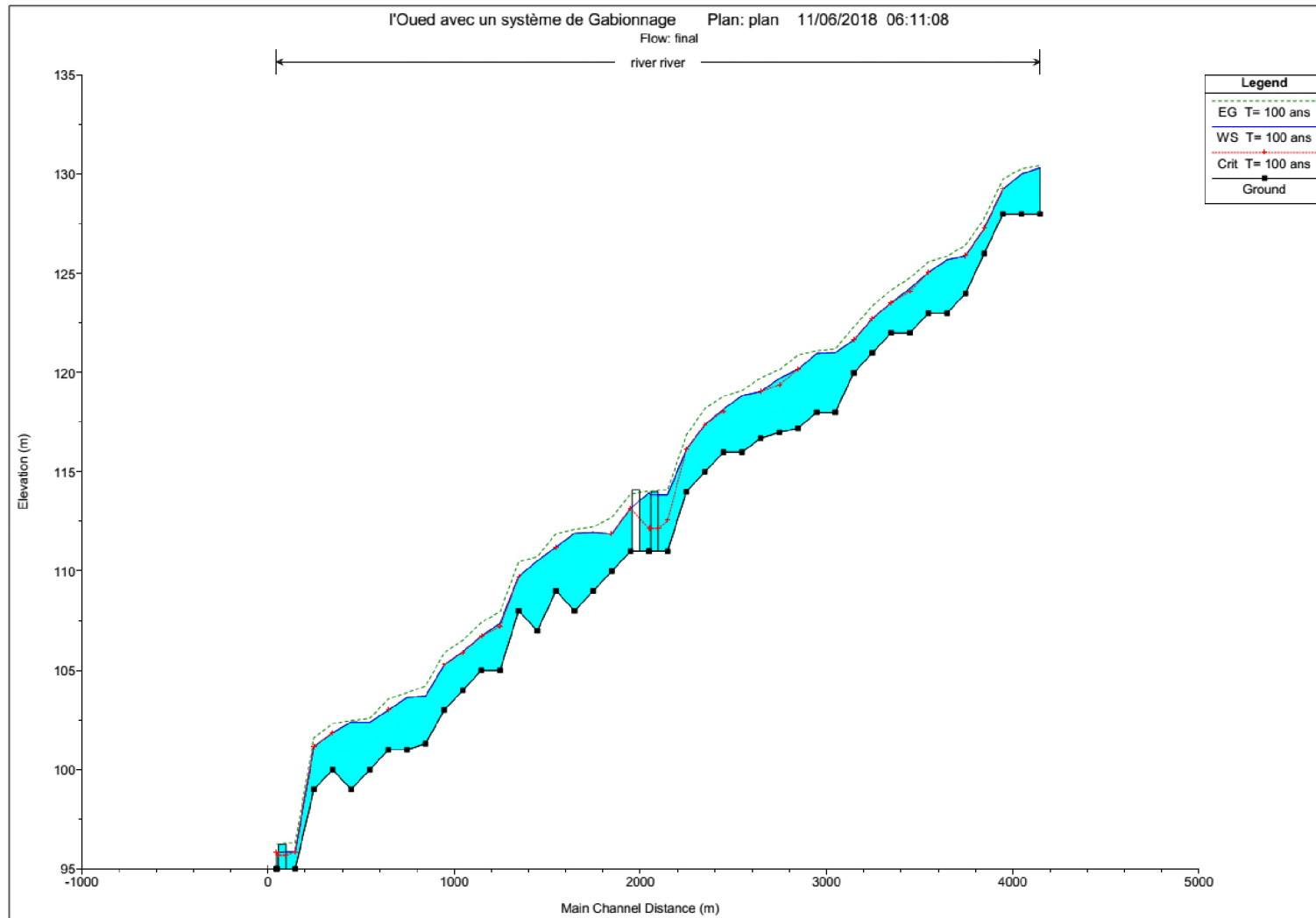


Figure V.6 : Profil en long de l'Oued avec un système de Gabionnage (partie 01).

V.6.1.2. deuxième Partie

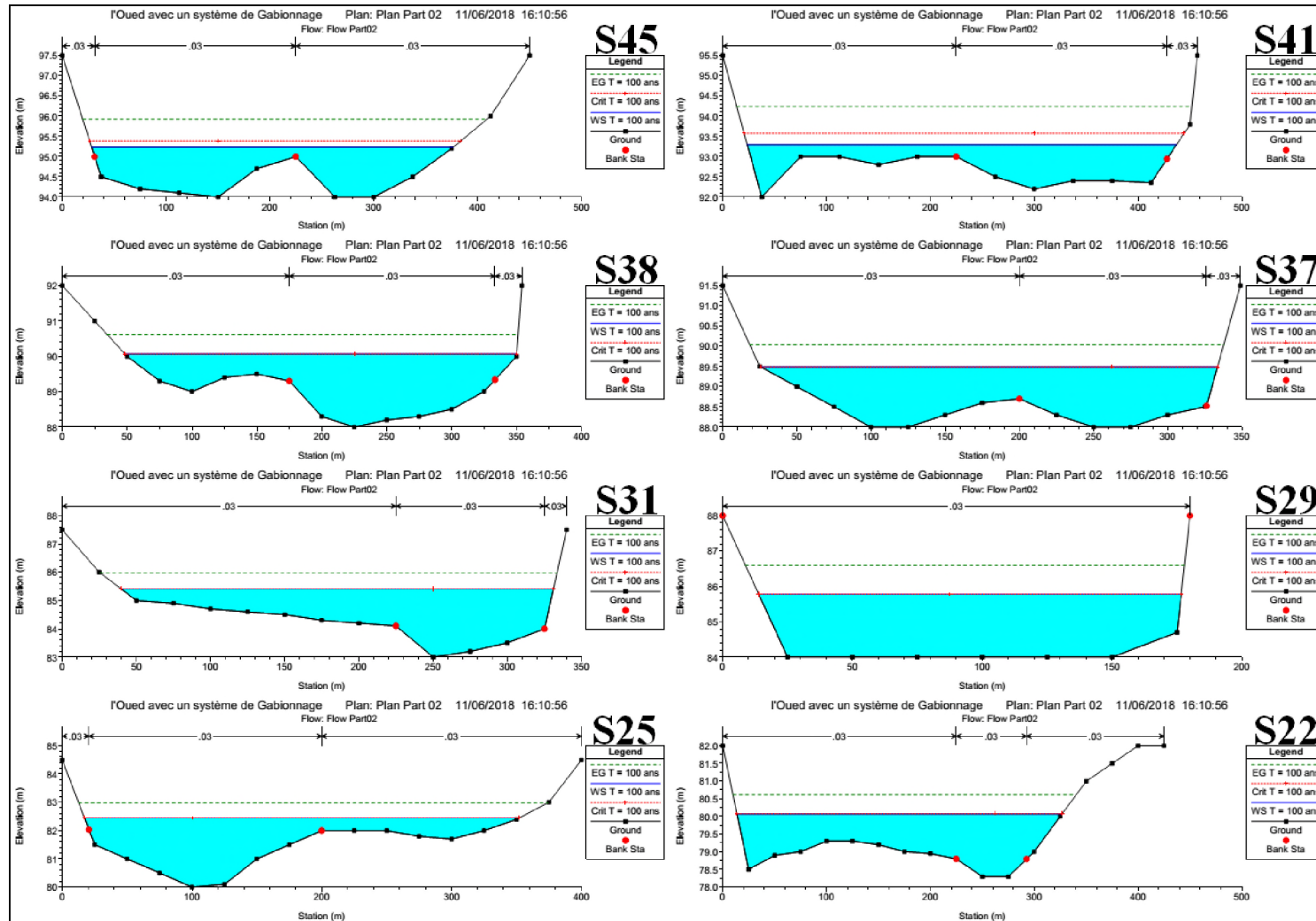


Figure V.7 : Résultats de simulation de l'Oued après l'augmentation de la hauteur des berges par un système de Gabionnage (partie 02)

Le reste des sections ainsi que les paramètres de l'écoulement sont donnés dans L'Annexe 20 et L'Annexe 21.

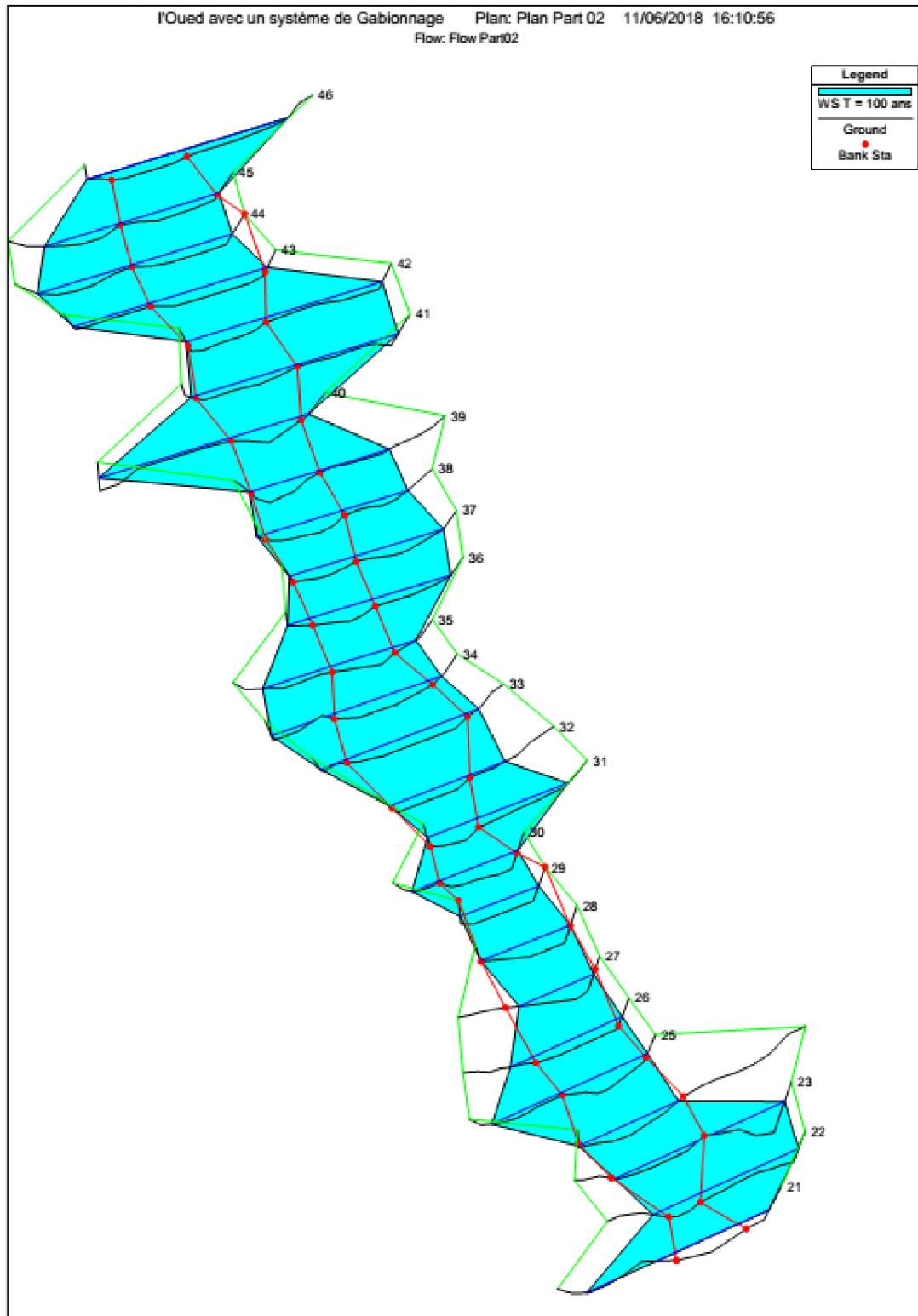


Figure V.17: Visualisation en 3D de la deuxième tronçon après l'augmentation de la hauteur des berges par un système de Gabionnage Partie 02 (S46 - S21)

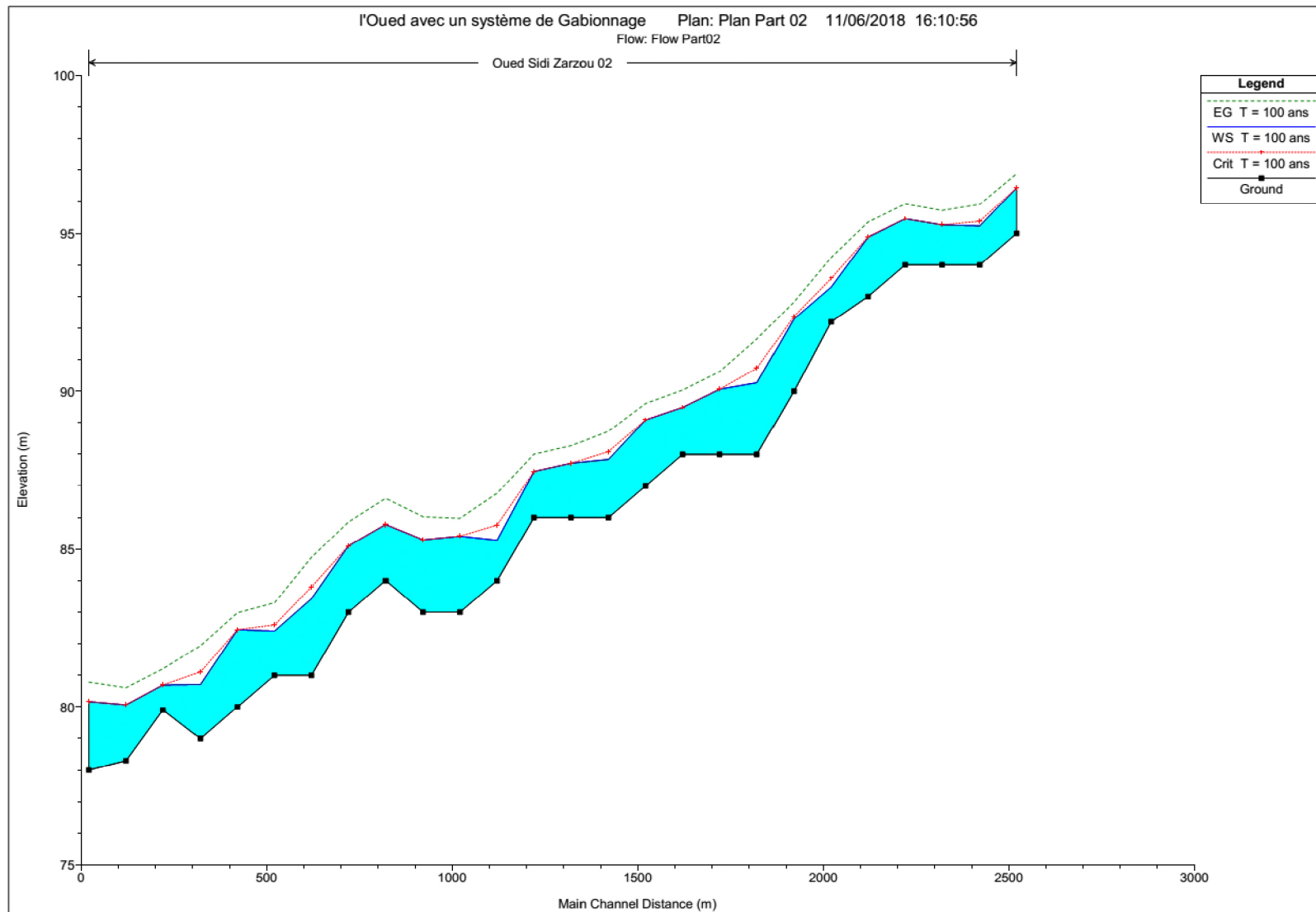


Figure V.18 : Profil en long de l'Oued avec un système de Gabionnage (partie 02)

V.6.2. Interprétation des résultats

A partir des résultats obtenus, on peut conclure que les variantes d'aménagement proposées permettent de bien protéger la zone contre le débordement des eaux avec des vitesses comprises entre 2,94 à 3,54 m/s dans la partie amont là où on a effectué des travaux de recalibrage, elles restent des vitesses admissibles qui ne poseront pas un risque d'érosion des berges vu que ces valeurs apparaissent à l'amont de l'Oued sur un linéaire de 2100 m. Par ailleurs, des vitesses comprises entre 1,4 à 5,48 m/s dans la partie qui traverse le tissu urbain et qui restent aussi des vitesses admissibles pour une protection avec des murs en gabion qui ne poseront pas un risque d'érosion des berges par la force du courant d'eau.

Conclusion

On a essayé dans ce chapitre de proposer des variantes d'aménagement des deux parties d'Oued Biskra de telle façon à avoir un système de transport permettant de véhiculer le débit de crue centennale calculé sans risque de débordement.

Conclusion général

Conclusion générale

Notre travail porte sur l'une des plus dangereuses formes du risque hydrométéorologique qui affecte la ville de Biskra, à savoir les crues et les inondations qui en découlent, déclenchées par des configurations orageuses de forte intensité. La maîtrise des crues constitue un centre d'intérêt d'actualité vers lequel convergent plusieurs approches. Toutefois, le caractère aléatoire et imprévisible des phénomènes météorologiques rendrait souvent la tâche ardue et fastidieuse. Pour obvier à cette difficulté, la simulation numérique s'impose au premier rang. Elle permet de mieux comprendre le phénomène des crues, et cela dans le but d'apporter une contribution aux problèmes de gestion des risques d'inondations, par le développement d'une politique plus rationnelle et d'établir des systèmes d'alertes le plus adapté ainsi que des plans de protection et d'intervention devant ce type de catastrophe.

L'étude que nous avons menée est scindée essentiellement en trois parties. Dans la première, nous nous sommes intéressés à décrire l'aspect géographique, géologique, hydrogéologique, météorologique, démographique et économique de la zone d'étude. Par ailleurs, nous avons évoqué un historique des inondations qui ont frappé l'Algérie, notamment la ville de Biskra. L'étude hydrologique a consisté en la détermination des paramètres morphologiques du bassin versant alimentant l'Oued Biskra, ensuite, un traitement statistique des données hydrologiques effectué à l'aide du code HYFRAN qui comporte des fonctionnalités offrant une large gamme de lois d'ajustement. Il est noté que la loi de Gumbel est la seule loi qui s'adapte mieux au type de données pluviométriques utilisées. L'étude hydrologique a permis d'obtenir un débit de pointe de l'ordre de **1080,55 m³/s** correspondant à une période de retour de 100 ans.

La deuxième partie a pour objet d'appliquer le code HEC-RAS (version 1D) sur un tronçon de l'Oued Biskra sur une portée de 11 km du nord vers le sud, et qui divise la ville en deux centres urbains afin de reproduire des scénarios de crue pour différentes périodes de retour. A l'issue de cette simulation, nous avons pu visualiser l'évolution des paramètres hydrauliques (hauteur, débit) et les régimes d'écoulement qui caractérisent chaque section du tronçon. En outre, le logiciel HEC-RAS a révélé un grand risque lorsqu'on a opté pour débit maximum centennal qui a provoqué des débordements pratiquement le long du tronçon.

Une fois sont localisées les zones de débordement, dans la troisième et la dernière partie, nous avons tenté de choisir les variantes d'aménagement hydraulique suivant l'ampleur du risque encouru de chaque zone du tronçon et ses caractéristiques morphodynamiques.

Nous estimons avoir entrepris et suivi d'une manière séquentielle toutes les démarches nécessaires pour mener à bien une étude d'aménagement hydraulique de l'Oued Biskra. Néanmoins, il importe de préciser que le choix des variantes d'aménagement s'est fait arbitrairement en l'absence du maître d'ouvrage, seul habilité à choisir et décider de la variante convenue.

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] **BELOULOU, L.** (2008, Décembre). Vulnérabilité aux inondations en milieu urbain. Cas de la ville de Annaba (Nord-Est Algérien). *Thèse de Doctorat d'Etat*. Annaba, Algérie : UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR. 222 p.
- [2] **BOUANANI, A.** (2004). HYDROLOGIE, TRANSPORT SOLIDE ET MODELISATION Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérie). *THESE DE DOCTORAT*. TLEMCEM, Algérie: UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID. 246 p.
- [3] **BOUKRIA, A.** (2010). Democologie Des Peuplements Lombriciens Dans La Zone Aride De L'est Algerien (Biskra). *Mémoire de Magister*. Biskra, UNIVERSITE MOHAMED KHIDER- BISKRA, Algérie. 82 p.
- [4] **BOUMESSENEGH, A.** (2007). Les inondations dans la ville de BISKRA Causes et Impacts. *MEMOIRE DE MAGISTER*. BATNA, Algérie: Université du colonel El Hadj Lakhdar. 197 p.
- [5] **BOUZAHZAH, F.** (2015, Décembre). DYNAMIQUE URBAINE ET NOUVELLE CENTRALITE. *THESE DE DOCTORAT*. CONSTANTINE, Algérie : UNIVERSITE DES FRERES MENTOURI. 352 p.
- [6] **CHAOUCH KHOUANE, H.** (2011). Approche descriptive et analytique des valeurs écologiques et récréatives des jardins de la ville du Biskra. *MEMOIRE de Magister*. BISKRA, Algérie : UNIVERSITE MOUHAMED KHIDER. 178 p.
- [7] **DEGHICHE-DIAB, N.** (2016). Etude de la biodiversité des arthropodes et des plantes spontanées dans l'agro-écosystème oasien. *Mémoire de Magister*. BISKRA, Algérie : UNIVERSITE MOHAMED KHIDER. 93 p.
- [8] **GAREF, Z.** (2010). Protection De La Ville De TIPAZA Contre Les Inondations. *MEMOIRE DE FIN D'ETUDES*. Blida, DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU, Blida, Algérie: ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE. 127 p.
- [9] **GUEHILIZ, N.** (2016). Contribution à l'étude des plantes spontanées dans l'Oued de Biskra. *MEMOIRE de Magister*. BISKRA, Algérie : UNIVERSITE MOHAMED KHIDER. 81 p.
- [10] **KAUFMANN, I., & et al.** (2014). *ESTIMATION ON TIME OF CONCENTRATION OF OVERLAND FLOW IN WATERSHEDS: A REVIEW*. São Paulo: UNESP, Geociências, v. 33, n. 4, 661-671 pp.
- [11] **LABORDE, J.P.** (2000). *ELEMENTS D'HYDROLOGIE DE SURFACE*. Nice: Université de Nice - Sophia Antipolis. 191 p.
- [12] **MEHDI, N.** (2016, Septembre). ETUDE D'AMENAGEMENT DE OUED AIN SEFRA WILAYA DE MOSTAGANEM (DU PONT L'ALMA AU PONT SIDI ATHMANE).

- MEMOIRE DE FIN D'ETUDES*. Blida : Algérie: ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE. 112 p.
- [13] **MENACER, S.** (2012). Influence Des Facteurs Microclimatiques De La Palmeraie Sur La Diversite Du Peuplement Aphidien Dans La Region De Biskra. *Mémoire De magister*. ALGER, Algérie : ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE EL HARRACH. 80 p.
- [14] **MUSY, A.** (1998). *Hydrologie Appliquée*. Bucarest: Edition *H*G*A*. 357 p.
- [15] **NEE.** Rapport d'études avant projet. Biskra. 45 p.
- [16] **ROCHE, M.** (1963). *HYDROLOGIE DE SURFACE*. Paris: GAUTHIER - VILLARS. 390 p.
- [17] **SEDRATI, N.** (2011). Thèse de Doctorat. *ORIGINES ET CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DE LA WILAYA DE BISKRA-SUD EST ALGERIEN*. ANNABA, Algérie : UNIVERSITE BADJI MOKHTAR. 153 p.
- [18] **YAHIAOUI, A.** (2012). Inondations Torrentielles Cartographie des Zones Vulnérables en Algérie du Nord (Cas de l'oued Mekerra, Wilaya de Sidi Bel Abbès). *Thèse du Doctorat*. Algérie: Ecole Nationale Polytechnique. 185 p.

Annexes

Annexe 1 : Extrait du journal El Watan, Bachir Mebarek, N° 22520/04.07.2005.

RISQUES NATURELS Une bombe à retardement à Biskra

Le directeur de l'environnement de Biskra a saisi l'opportunité de la tenue de la journée de prévention des risques majeurs à laquelle ont été conviées toutes les institutions administratives, économiques et de sûreté pour rappeler aux participants en général, et aux autorités locales en particulier, que Biskra n'est pas à l'abri, entre autres, d'une catastrophe majeure, genre Bab El Oued.

D'ailleurs, le directeur de la Protection civile a indiqué que les risques naturels majeurs auxquels est toujours confrontée l'agglomération de Biskra, et ce, depuis la nuit des temps, sont les crues de l'oued Sidi Zarzour et les inondations catastrophiques causées par les débordements de l'Oued Zmor qui, tous deux, cernent le chef-lieu de wilaya de toutes parts et risquent un jour de l'engloutir sous leurs flots tumultueux. Bien sûr, le premier responsable de la Protection civile n'a pas oublié de faire le bilan des victimes des principales inondations qui ont défrayé la chronique ces 40 dernières années et s'est appesanti sur les modalités de mise en œuvre du plan Orsec. Or, personne au cours de cette journée, pourtant consacrée à la prévention, n'a envisagé le pire, le scénario catastrophe qui pourrait venir sous la forme inattendue de la rupture accidentelle de la digue en terre du barrage de fontaine des Gazelles.

En tout et pour tout, selon ce scénario, les calculs de probabilités n'excluent guère pour moult raisons, les autorités locales auront à peine trois quarts d'heure pour informer et faire évacuer toute la population de Biskra avant l'arrivée du tsunami dévastateur représenté par 70 millions de mètres cubes d'eau et de boue libérées d'un seul coup.

Dans ce cas précis, la réussite de l'évacuation d'urgence d'une population menacée nécessite la réquisition de moyens de transport colossaux, exige que l'opération démarre au quart de tour et qu'elle soit précédée d'opérations de secours rodées, puisque expérimentées à l'avance sur le terrain. Cela fait partie également de la prévention !

Une autre catastrophe majeure qui menace une partie de la population de la zone ouest de Biskra, mais que l'on peut prévenir dès demain en... appliquant seulement la loi sur l'environnement, c'est la délocalisation en extrême urgence du centre de remplissage de bonbonnes de gaz de Naftal, vers un site approprié, sinon ses immenses citernes de gaz liquéfié, de véritables bombes à retardement qui, si elles venaient un jour à exploser à l'instar d'AZF de Toulouse, risquent de réduire en cendres la totalité des constructions illicites du quartier Bentaleb et leurs 5000 habitants, en plus d'une grosse partie des entreprises de la zone industrielle de Biskra où le centre de remplissage de bouteilles de gaz est implanté.

Bachir Mebarek



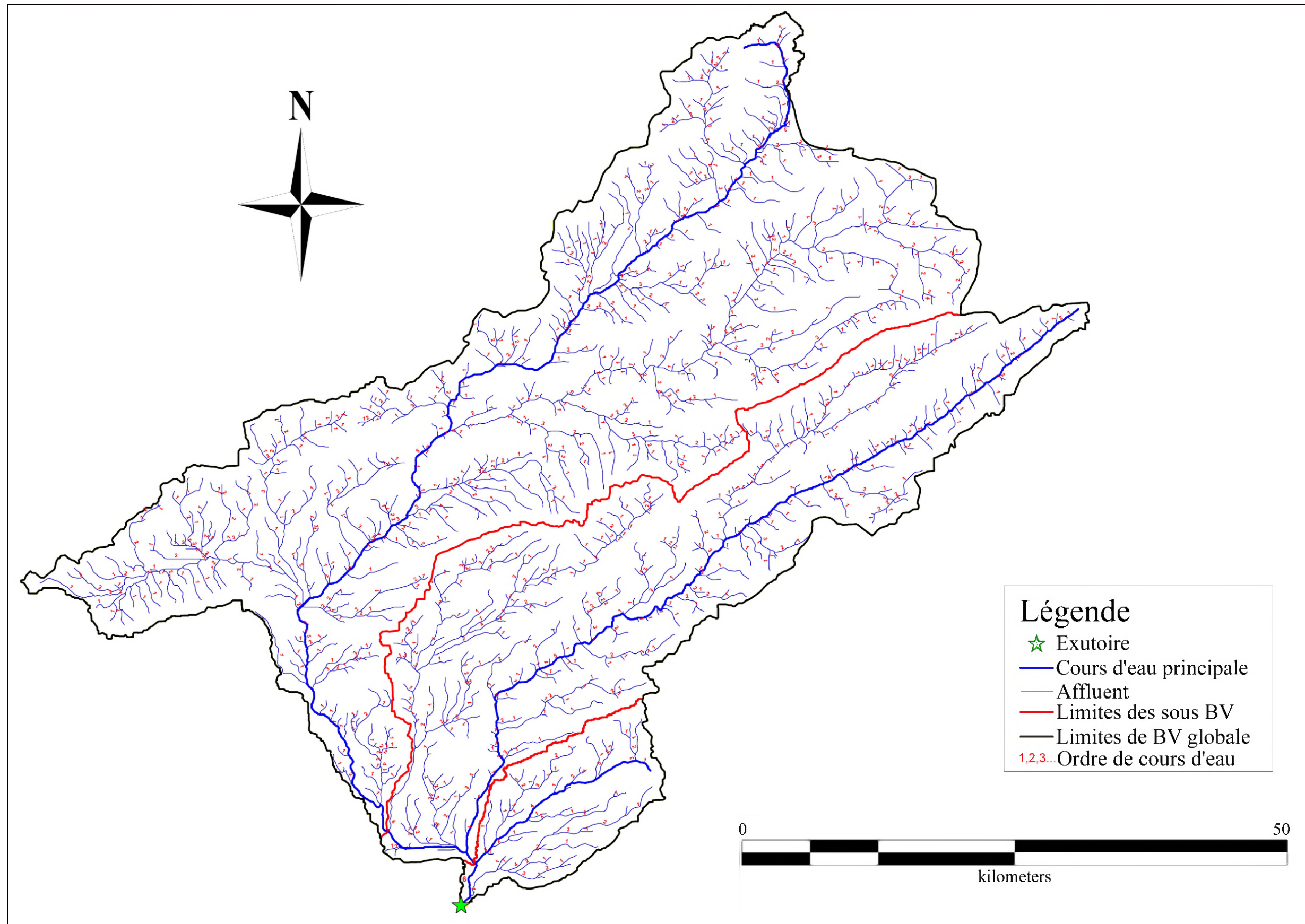
Annexe 2 : Quelques images des crues de mai 2018

Annexe 3 : La répartition altimétrique des BV (supérieur, moyen, inférieur et BV global)

Classe d'altitude	C.C	SBV supérieur (Oued El Hai)				SBV moyen (Oued Djemoura)				SBV inférieur				Bassin versant global			
		S part (Km ²)	S part (%)	S cuml (Km ²)	S cuml (%)	S part (Km ²)	S part (%)	S cuml (Km ²)	S cuml (%)	S part (Km ²)	S part (%)	S cuml (Km ²)	S cuml (%)	S part (Km ²)	S part (%)	S cuml (Km ²)	S cuml (%)
100-200 m	150	0.41	0.02	0.41	0.02	17.86	1.73	17.86	1.73	15.11	1.07	15.11	8.16	33.39	1.07	220.26	1.07
200-300 m	250	64.81	3.42	65.22	3.44	65.06	6.30	82.92	8.03	57.01	7.08	72.12	38.96	186.87	6.00	391.41	7.08
300-400 m	350	67.59	3.57	132.81	7.01	57.08	5.52	140	13.55	46.49	12.58	118.61	64.07	171.15	5.50	699.78	12.58
400-500 m	450	189.81	10.02	322.62	17.03	70.00	6.77	210	20.32	48.56	22.49	167.17	90.3	308.37	9.91	913.93	22.49
500-600 m	550	155.22	8.19	477.84	25.22	53.20	5.15	263.2	25.47	5.72	29.37	172.89	93.39	214.15	6.88	1059.76	29.37
600-700 m	650	92.66	4.89	570.5	30.11	50.01	4.84	313.21	30.31	3.16	34.05	176.05	95.1	145.84	4.69	1206.95	34.05
700-800 m	750	92.38	4.88	662.88	34.99	52.62	5.09	365.83	35.4	2.19	38.78	178.24	96.28	147.19	4.73	1389.68	38.78
800-900 m	850	130.23	6.87	793.11	41.86	50.90	4.93	416.73	40.33	1.59	44.66	179.83	97.14	182.73	5.87	1670.31	44.66
900-1000 m	950	215.87	11.39	1008.98	53.25	62.94	6.09	479.67	46.42	1.82	53.67	181.65	98.13	280.64	9.02	1962.11	53.67
1000-1100 m	1050	226.48	11.95	1235.46	65.2	63.52	6.15	543.19	52.57	1.80	63.05	183.45	99.1	291.80	9.38	2157.71	63.05
1100-1200 m	1150	127.42	6.73	1362.88	71.93	66.55	6.44	609.74	59.01	1.63	69.34	185.08	99.98	195.60	6.29	2328.18	69.34
1200-1300 m	1250	105.41	5.56	1468.29	77.49	65.03	6.29	674.77	65.3	0.03	74.81	185	100	170.47	5.48	2525.93	74.81
1300-1400 m	1350	108.60	5.73	1576.89	83.22	89.15	8.63	763.92	73.93	X				197.76	6.35	2525.96	81.17
1400-1500 m	1450	98.43	5.20	1675.32	88.42	90.73	8.78	854.65	82.71					189.16	6.08	2715.12	87.25
1500-1600 m	1550	72.16	3.81	1747.48	92.23	58.51	5.66	913.16	88.37					130.67	4.20	2845.79	91.44
1600-1700 m	1650	62.07	3.28	1809.55	95.51	43.36	4.20	956.52	92.57					105.43	3.39	2951.22	94.83
1700-1800 m	1750	49.04	2.59	1858.59	98.1	34.23	3.31	990.75	95.89					83.27	2.68	3034.49	97.51
1800-1900 m	1850	27.02	1.43	1885.61	99.53	20.17	1.95	1010.92	97.83					47.19	1.52	3081.68	99.02
1900-2000 m	1950	7.11	0.38	1892.72	99.90	10.37	1.00	1021.29	98.83					17.49	0.56	3099.17	99.59
2000-2100 m	2050	1.92	0.10	1893	100	7.83	0.76	1029.12	99.59					9.74	0.31	3108.91	99.90
2100-2200 m	2150	X				3.39	0.33	1032.51	99.92					3.39	0.11	3111.94	99.98
Plus de 2200 m	2250					0.73	0.07	1034	100					0.73	0.02	3112	100

Annexe 4 : La répartition altimétrique des BV (supérieur, moyen, inférieur et BV global)

Classe d'altitude	C.C	SBV supérieur (Oued El Hai)		SBV moyen (Oued Djemoura)		SBV inférieur		Bassin versant global	
		S _i	S _i * H _i	S _i	S _i * H _i	S _i	S _i * H _i	S _i	S _i * H _i
100-200 m	150	0.41	61.5	17.86	2679	15.11	2266.5	33.39	5008.5
200-300 m	250	64.81	16202.5	65.06	16265	57.01	14252.5	186.87	46717.5
300-400 m	350	67.59	23656.5	57.08	19978	46.49	16271.5	171.15	59902.5
400-500 m	450	189.81	85414.5	70.00	31500	48.56	21852	308.37	138766.5
500-600 m	550	155.22	85371	53.20	29260	5.72	3146	214.15	117782.5
600-700 m	650	92.66	60229	50.01	32506.5	3.16	2054	145.84	94796
700-800 m	750	92.38	69285	52.62	39465	2.19	1642.5	147.19	110392.5
800-900 m	850	130.23	110695.5	50.90	43265	1.59	1351.5	182.73	155320.5
900-1000 m	950	215.87	205076.5	62.94	59793	1.82	1729	280.64	266608
1000-1100 m	1050	226.48	237804	63.52	66696	1.80	1890	291.80	306390
1100-1200 m	1150	127.42	146533	66.55	76532.5	1.63	1874.5	195.60	224940
1200-1300 m	1250	105.41	131762.5	65.03	81287.5	0.03	37.5	170.47	213087.5
1300-1400 m	1350	108.60	146610	89.15	120352.5	$\Sigma = 185$	$\Sigma = 68367.5$	198.79	266976
1400-1500 m	1450	98.43	142723.5	90.73	131558.5	X		189.16	274282
1500-1600 m	1550	72.16	111848	58.51	90690.5			130.67	202538.5
1600-1700 m	1650	62.07	102415.5	43.36	71544			105.43	173959.5
1700-1800 m	1750	49.04	85820	34.23	59902.5			83.27	145722.5
1800-1900 m	1850	27.02	49987	20.17	37314.5			47.19	87301.5
1900-2000 m	1950	7.11	13864.5	10.37	20221.5			17.49	34105.5
2000-2100 m	2050	1.92	3936	7.83	16051.5			9.74	19967
2100-2200 m	2150			3.39	7288.5			3.39	7288.5
Plus de 2200 m	2250			0.73	1642.5			0.73	1642.5
		$\Sigma = 1893$	$\Sigma = 1829296$	$\Sigma = 1034$	$\Sigma = 1055794$				$\Sigma = 3112$



Annexe 5 : Hiérarchisation du réseau hydrographique

Annexe 6 : Séries de pluies annuelles aux différentes stations en (mm)

Année\ Station	MENAA	BOUZINA	DJEMOURAH	BISKRA	EI OUTAYA
1970	170,5	234,4	323,1	238,0	27,5
1971	351,4	391,1	8,5	31,4	202,2
1972	291,0	338,8	271,1	203,8	76,2
1973	136,0	204,5	24,8	104,3	49,2
1974	244,5	298,5	114,8	114,6	98,8
1975	224,1	280,8	101,6	136,8	64,1
1976	431,8	460,7	196,2	252,8	219,5
1977	141,8	220,7	88,8	50,6	77
1978	139,1	207,3	99,8	79,2	24,5
1979	232,3	255,2	156,2	115,8	111,1
1980	249,3	265,8	138,5	110,2	99,8
1981	201,7	230,1	96,9	46,1	71,5
1982	204,0	239,4	112,1	141,8	72,9
1983	142,9	171,6	83,1	24,3	36,5
1984	303,4	238,8	175,5	107,9	85,9
1985	235,7	253,5	131,3	110,7	146,4
1986	211,0	317,7	188,1	115,1	74,8
1987	191,7	205,4	83,8	79,0	67,6
1988	244,4	378,5	134,2	72,8	81,8
1989	217,8	362,0	103,3	121,7	91,7
1990	132,8	199,6	151,7	143,0	5,7
1991	315,3	277,0	165,8	119,7	130,9
1992	131,2	246,0	63,1	168,0	51,2
1993	147,7	162,3	74,5	63,6	19,5
1994	190,8	296,0	91,9	106,3	65,0
1995	502,7	553,6	278,5	199,0	250,6
1996	122,9	192,2	111,5	137,4	24,6
1997	274,3	410,0	167,8	167,7	82,5
1998	133,9	190,5	107,3	112,8	31,2
1999	215,7	253,5	151,4	128,8	81,5
2000	198,2	200,5	55,8	78,9	69,4
2001	359,0	335,0	100,8	57,1	165,1
2002	297,1	356,2	256,2	252,2	126,4
2003	230,7	286,6	258,7	152,8	88,8
2004	323,1	366,6	157,4	124,5	143,7
2005	323,1	401,2	217,4	146,6	143,7
2006	221,3	299,3	119,2	104,1	83,2
2007	127,7	257,5	81,2	61,4	27,5
2008	356,3	536,6	305,9	310,3	163,5
2009	359,8	435,1	229,7	254,1	165,6
2010	352,9	409,0	201,3	158,0	161,5
Moyenne	241,0	298,0	145,8	129,4	94,1
Ecart type	90,8	96,1	75,0	64,9	57,1

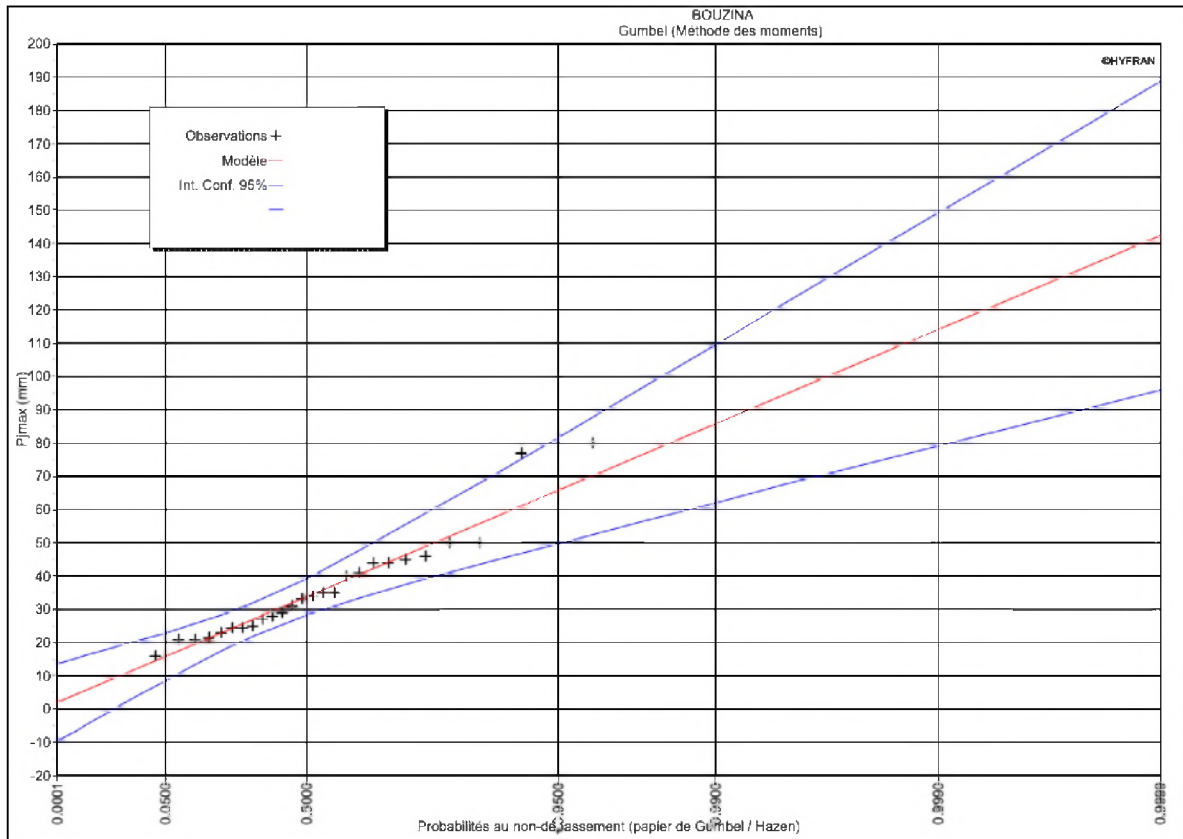
Annexe 7 : Pluies journalières maximales observées aux différentes stations (mm).

Bouzina		Mena		Djemourah		Biskra Secteur		Tkout		Batna				Foum El Gherza	
Années	Pjmax	Années	Pjmax	Années	Pjmax	Années	Pjmax	Années	Pjmax	Années	Pjmax	Années	Pjmax	Années	Pjmax
1973	33.2	1968	30.9	1970	65	1974	35	1971	57	1930	27.3	1976	46.4	1971	14
1978	21.5	1969	31.2	1971	3	1979	49	1972	45	1931	37	1977	46	1972	22.8
1980	28	1970	24.6	1974	24.8	1980	23	1973	4.5	1932	24.3	1978	22.8	1973	12.1
1981	24.5	1971	47.5	1975	21.5	1983	7	1975	16.3	1933	39.9	1979	30.5	1974	13.3
1982	21	1972	42.5	1976	83.1	1984	19.7	1976	69.9	1935	39	1980	25.3	1975	20.5
1983	25	1973	33.1	1978	24.2	1985	23	1977	24.6	1936	48.1	1981	25.4	1976	33.6
1984	35	1974	37.1	1980	16.9	1986	24.6	1978	33.5	1937	45.2	1982	59.6	1978	10
1985	44	1975	21.9	1984	27.2	1987	15.5	1979	34.7	1938	46.6	1983	48.4	1979	11
1986	29	1976	98.4	1985	18.8	1988	10.6	1980	54	1939	31.4	1984	48.3	1981	27.2
1988	46	1977	28.6	1986	38.2	1990	50	1981	24.4	1940	41.5	1985	31.3	1982	22
1989	34	1978	31.1	1987	21.6	1991	29	1984	27	1941	17.2	1986	41.1	1984	23
1990	23	1979	27.9	1988	23.6	1993	14.2	1985	60	1942	46.2	1987	23.5	1985	30
1991	41	1980	36.3	1989	11	1994	26.6	1986	41.2	1944	19.7	1988	57	1986	20
1992	31	1981	35.2	1994	15	1995	27	1987	24	1945	20.7	1989	60	1988	26.3
1993	16	1982	32.8	1995	31	1996	43.5	1988	59.2	1947	27.9	1990	39.7	1989	44
1994	24.5	1983	50.2	1996	21.8	1998	52.5	1989	48.1	1948	22.5	1991	22.1	1990	27.5
1995	35	1984	41.3	1997	36.8	1999	23.1	1991	36.6	1950	47.2	1992	40.8	1992	23
1997	80	1985	41.2	1998	19.7	2000	25.5	1993	17.2	1952	20.6	1993	31.4	1994	12.5
1998	21	1986	39.3	2000	16.8	2001	17.3	1994	41.4	1953	38.8	1994	47	1995	34
1999	44	1987	43	2001	21.3	2002	66.3	1995	39.8	1954	20.3	1995	34.3	1996	29.5
2000	27	1988	27.1	2002	83	2004	29.5	1997	56	1955	32	1996	27.3	1997	33.5
2001	50	1989	35.3	2003	66.6	2005	42.3	2000	36.6	1956	46	1997	51.9	1999	28.2
2006	50	1990	24	2004	45.2	2007	11.6	2001	26.8	1957	52	1998	39.8	2000	22.1
2007	45	1991	38.8	2008	36.3	2008	23	2002	27.6	1958	26.6	1999	26.8	2001	17.2
2011	77	1994	22.9	2009	21.3	2011	54.3	2003	49.2	1959	18.4	2000	20.3	2002	64
2012	40	1995	40.6	2010	37.4			2006	40.1	1960	28.4	2001	45.2	2003	67
		1996	14.4	2011	33.4			2010	85.9	1961	23	2002	52.4	2005	19.1
		1997	60.7	2013	25.1			2013	68.4	1962	47.7	2003	42.8	2006	11.5
		1998	18.9							1963	57	2004	49.9	2007	8.3
		2005	75							1964	22.8	2006	21.1	2008	25.3
		2006	50.8							1965	47.3	2007	39.3	2009	24.8
		2009	80.2							1966	39.5	2008	64.6		
		2011	20.2							1967	78.5	2009	32.6		
										1971	31.4	2010	36.5		
										1972	32.7	2011	34		
										1974	25.8	2012	36.2		

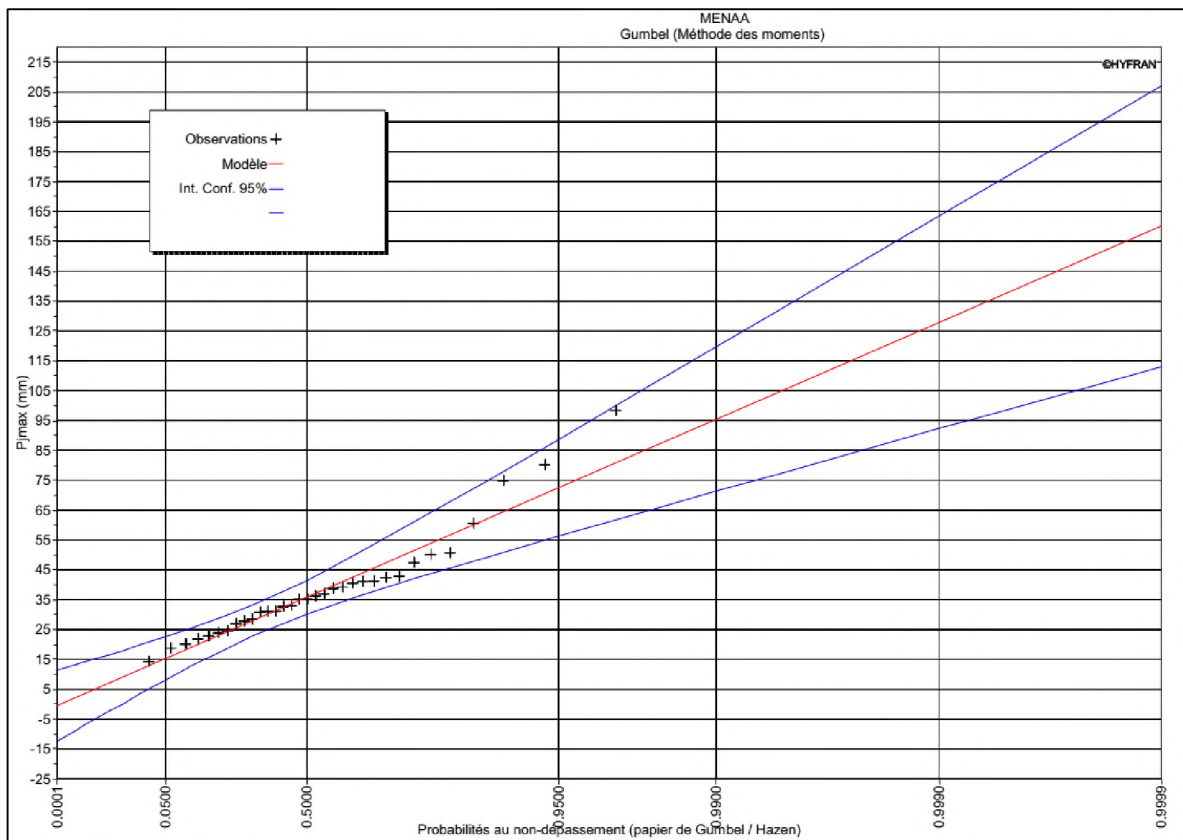
Annexe 8 : Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL et la loi de GALTON pour les différentes stations

Station	Période de retour	Fréquence au non dépassement	Résultat de l'ajustement à la loi de GUMBEL			Résultat de l'ajustement à la de GALTON		
			Valeurs théorique	Ecart- type	Intervalle de confiance	Valeurs théorique	Ecart- type	Intervalle de confiance
BOUZINA	1000	0.9990	132	20.1	92.4 - 171	219	58.9	104 - 334
	200	0.9950	109	15.6	78.2 - 139	162	37.7	88.4 - 236
	100	0.9900	98.7	13.6	72.0 - 125	140	30.2	81.1 - 199
	50	0.9800	88.7	11.7	65.8 - 112	120	23.5	73.5 - 166
	20	0.9500	75.4	9.17	57.4 - 93.3	94.3	16.1	62.7 - 126
	10	0.9000	65.0	7.26	50.8 - 79.3	76.3	11.4	53.8 - 98.7
	5	0.8000	54.3	5.37	43.7 - 64.8	59.0	7.60	44.1 - 73.9
	3	0.6667	45.7	4.05	37.8 - 53.7	46.4	5.36	35.9 - 56.9
MENAA	2	0.5000	38.0	3.19	31.8 - 44.3	36.1	3.98	28.3 - 43.9
	1000	0.9990	128	18.1	92.3 - 163	129	22.6	84.2 - 173
	200	0.9950	105	14.1	77.6 - 133	104	15.8	72.9 - 135
	100	0.9900	95.4	12.3	71.3 - 120	93.6	13.2	67.8 - 119
	50	0.9800	85.6	10.6	64.9 - 106	83.6	10.8	62.5 - 105
	20	0.9500	72.5	8.27	56.3 - 88.7	70.5	7.90	55.1 - 86
	10	0.9000	62.4	6.55	49.5 - 75.2	60.7	5.96	49.0 - 72.3
	5	0.8000	51.8	4.85	42.3 - 61.3	50.5	4.27	42.2 - 58.9
DJEMOURAH	3	0.6667	43.5	3.66	36.3 - 50.6	42.6	3.22	36.3 - 48.9
	2	0.5000	35.9	2.88	30.3 - 41.6	35.6	2.58	30.6 - 40.7
	1000	0.9990	131	22.0	88.0 - 174	203	61.9	81.9 - 325
	200	0.9950	106	17.1	72.4 - 139	145	38.1	70.0 - 219
	100	0.9900	94.9	14.9	65.7 - 124	123	29.9	64.1 - 181
	50	0.9800	84.0	12.8	58.8 - 109	102	22.9	57.7 - 147
	20	0.9500	69.3	10.0	49.7 - 89	78.2	15.1	48.5 - 108
	10	0.9000	58.0	7.94	42.5 - 73.6	61.5	10.5	41.0 - 82
DJEMOURAH	5	0.8000	46.3	5.88	34.7 - 57.8	46.0	6.72	32.8 - 59.1
	3	0.6667	36.9	4.44	28.2 - 45.6	35.0	4.58	26.1 - 44
	2	0.5000	28.5	3.49	21.6 - 35.3	26.4	3.29	19.9 - 32.8

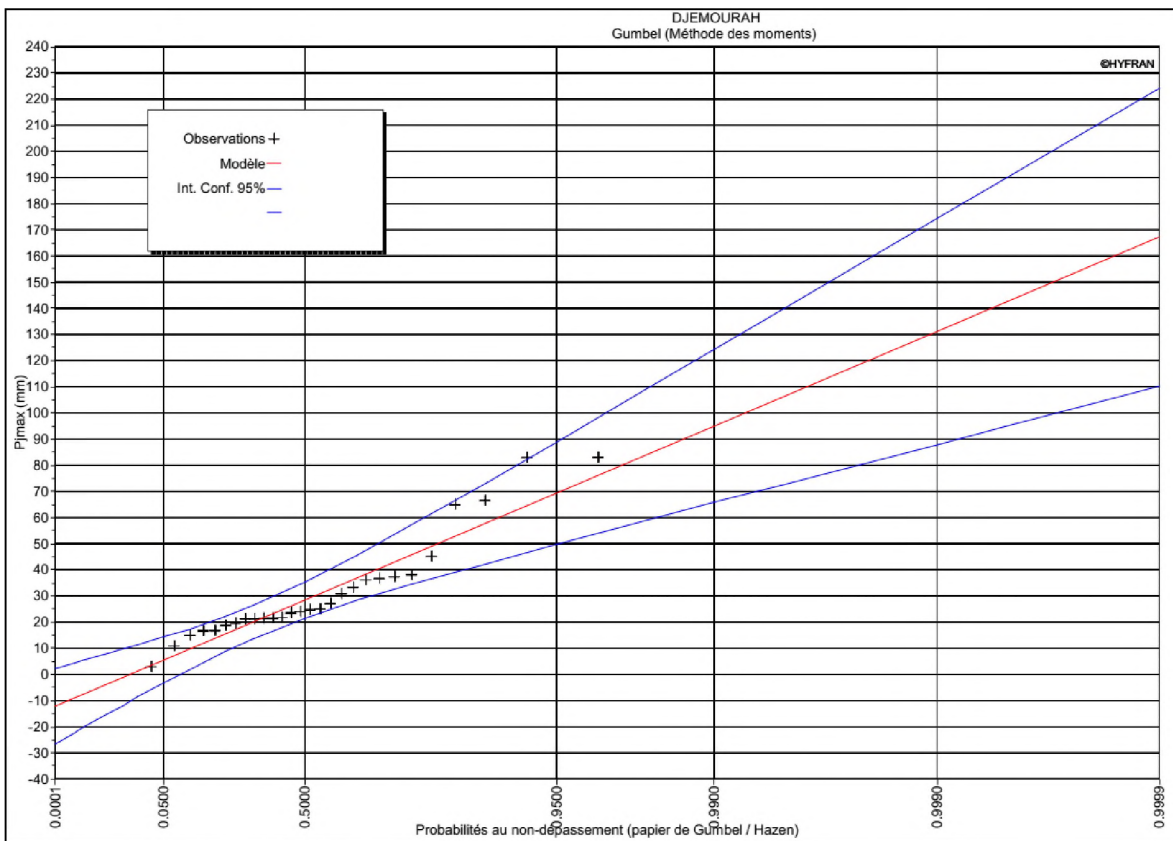
Station	Résultat de l'ajustement à la loi de GUMBEL				Résultat de l'ajustement à la de GALTON			
	Période de retour	Fréquence au non dépassement	Valeurs théorique	Ecart- type	Intervalle de confiance	Valeurs théorique	Ecart- type	Intervalle de confiance
BISKRA SECTEUR	1000	0.9990	106	17.9	71.1 - 141	145	39.6	67.5 – 223
	200	0.9950	86.8	13.9	59.5 - 114	109	25.7	58.6 – 159
	100	0.9900	78.4	12.2	54.5 - 102	94.8	20.7	54.3 – 135
	50	0.9800	69.9	10.4	49.4 - 90.4	81.4	16.3	49.6 – 113
	20	0.9500	58.7	8.18	42.6 - 74.7	64.8	11.2	42.8 – 86.8
	10	0.9000	49.9	6.47	37.3 - 62.6	52.9	8.05	37.1 – 68.7
	5	0.8000	40.9	4.79	31.5 - 50.3	41.4	5.40	30.8 – 52
	3	0.6667	33.7	3.62	26.6 - 40.7	32.9	3.84	25.4 – 40.4
	2	0.5000	27.2	2.85	21.6 - 32.8	25.9	2.89	20.2 – 31.5
TKOUT	1000	0.9990	132	20.1	92.4 - 171	219	58.9	104 - 334
	200	0.9950	109	15.6	78.2 - 139	162	37.7	88.4 - 236
	100	0.9900	98.7	13.6	72.0 - 125	140	30.2	81.1 - 199
	50	0.9800	88.7	11.7	65.8 - 112	120	23.5	73.5 - 166
	20	0.9500	75.4	9.17	57.4 - 93.3	94.3	16.1	62.7 - 126
	10	0.9000	65.0	7.26	50.8 - 79.3	76.3	11.4	53.8 - 98.7
	5	0.8000	54.3	5.37	43.7 - 64.8	59.0	7.60	44.1 - 73.9
	3	0.6667	45.7	4.05	37.8 - 53.7	46.4	5.36	35.9 - 56.9
	2	0.5000	38.0	3.19	31.8 - 44.3	36.1	3.98	28.3 - 43.9
FOUM EL GHERZA	1000	0.9990	92.4	14.2	64.6 - 120	104	22.8	59.4 - 149
	200	0.9950	75.2	11.0	53.7 - 96.7	80.5	15.2	50.6 - 110
	100	0.9900	67.8	9.61	49.0 - 86.7	71.0	12.4	46.6 - 95.4
	50	0.9800	60.4	8.25	44.2 - 76.6	62.0	9.94	42.5 - 81.5
	20	0.9500	50.5	6.46	37.9 - 63.2	50.5	7.03	36.7 - 64.3
	10	0.9000	42.9	5.11	32.8 - 52.9	42.1	5.15	32.0 - 52.2
	5	0.8000	34.9	3.78	27.5 - 42.3	33.8	3.55	26.8 - 40.7
	3	0.6667	28.5	2.86	22.9 - 34.1	27.5	2.59	22.4 - 32.6
	2	0.5000	22.8	2.25	18.4 - 27.2	22.2	1.99	18.3 - 26.1



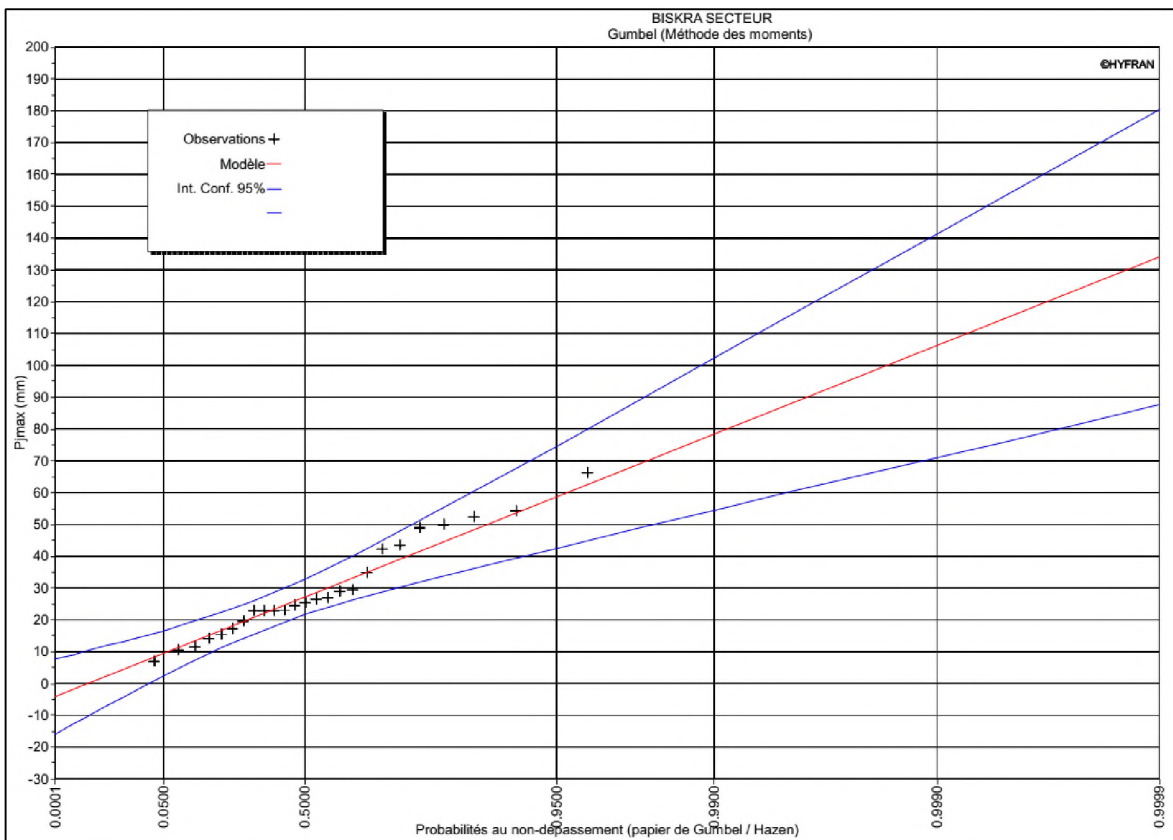
Ajustement par la loi de GUMBEL (Bouzina)



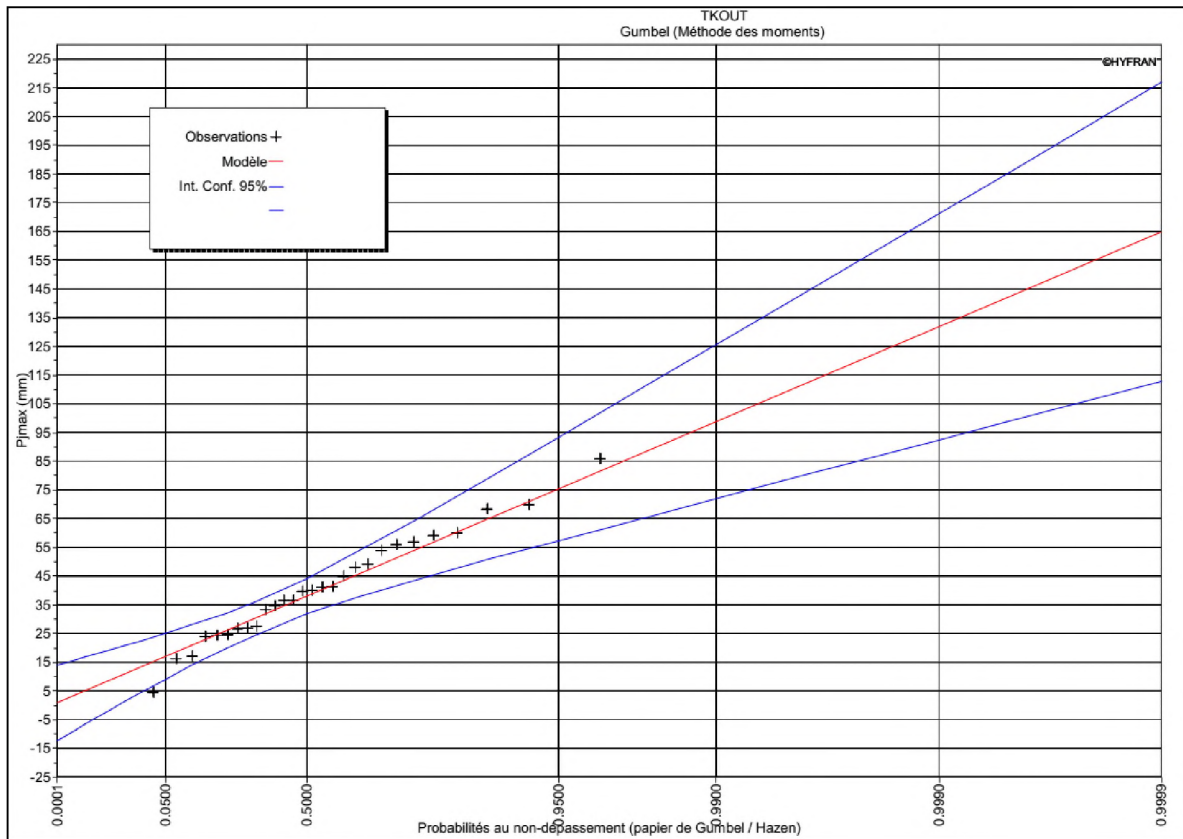
Ajustement par la loi de GUMBEL (Mena)



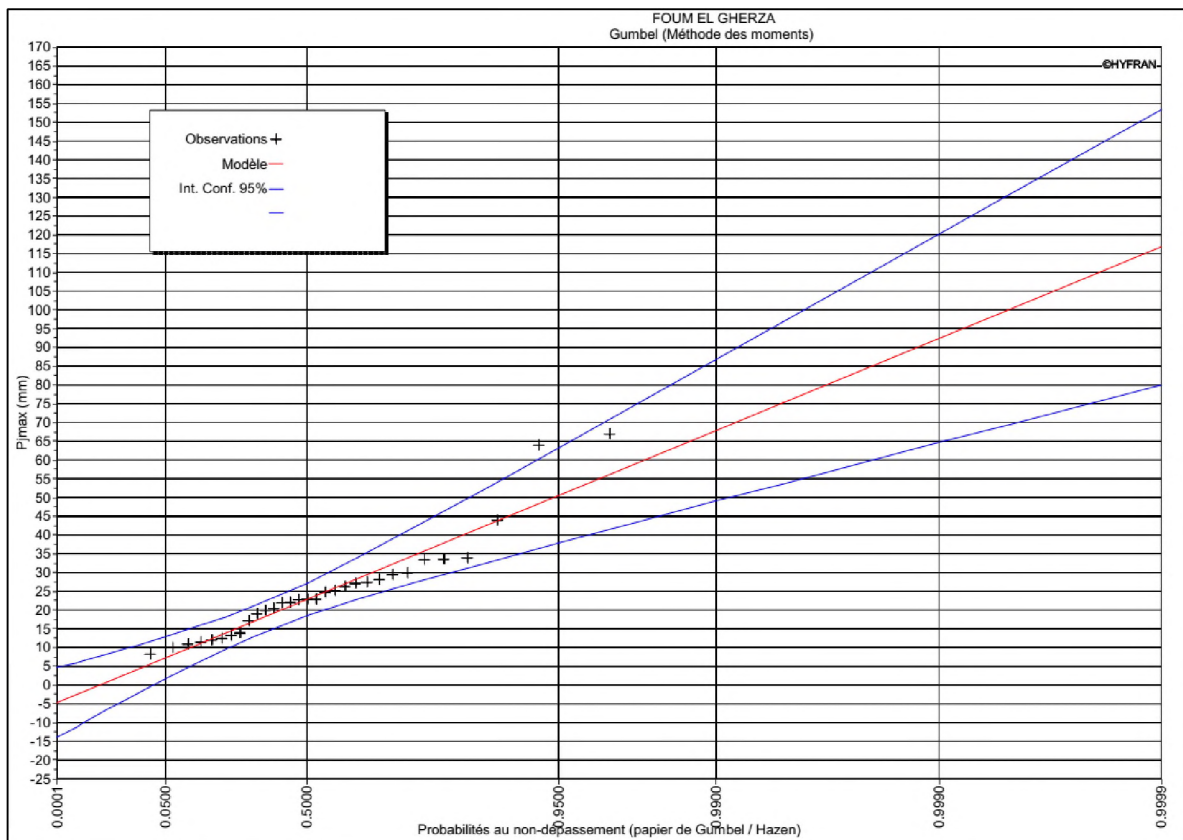
Ajustement par la loi de GUMBEL (Djemourah)



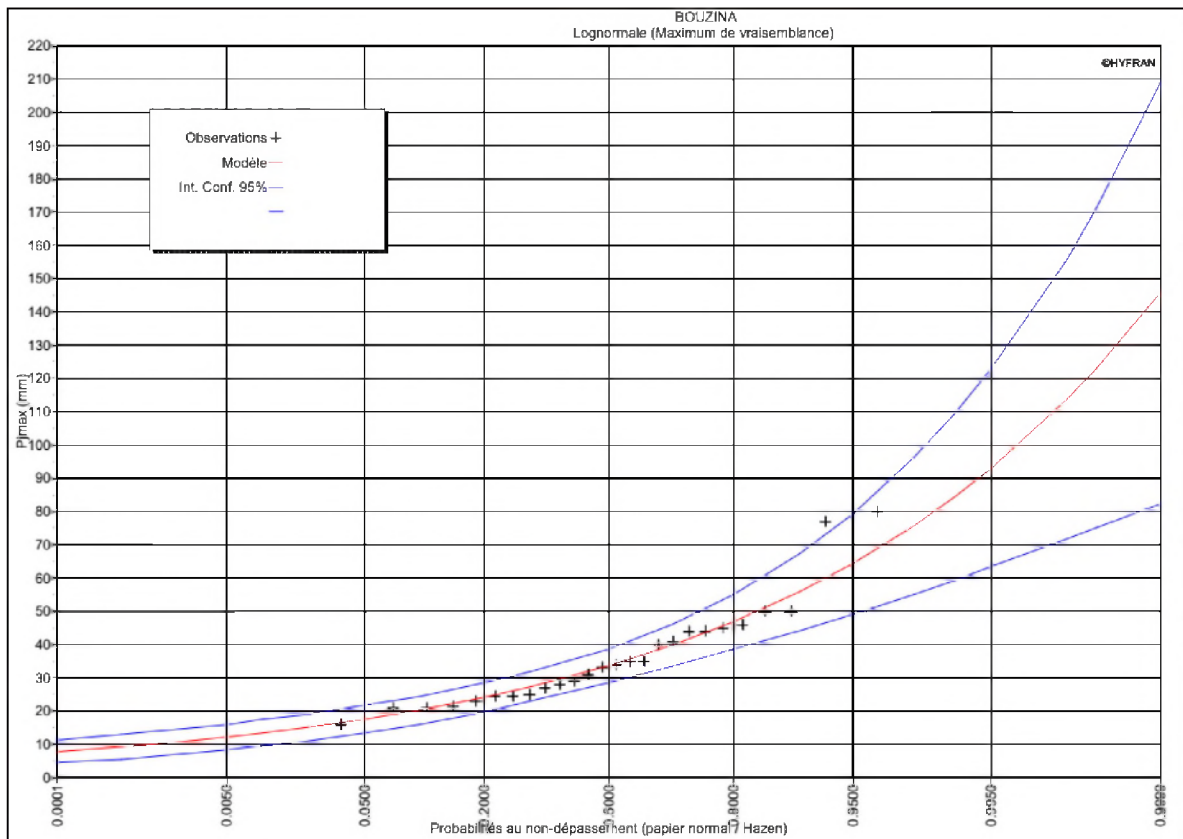
Ajustement par la loi de GUMBEL (Biskra Secteur)



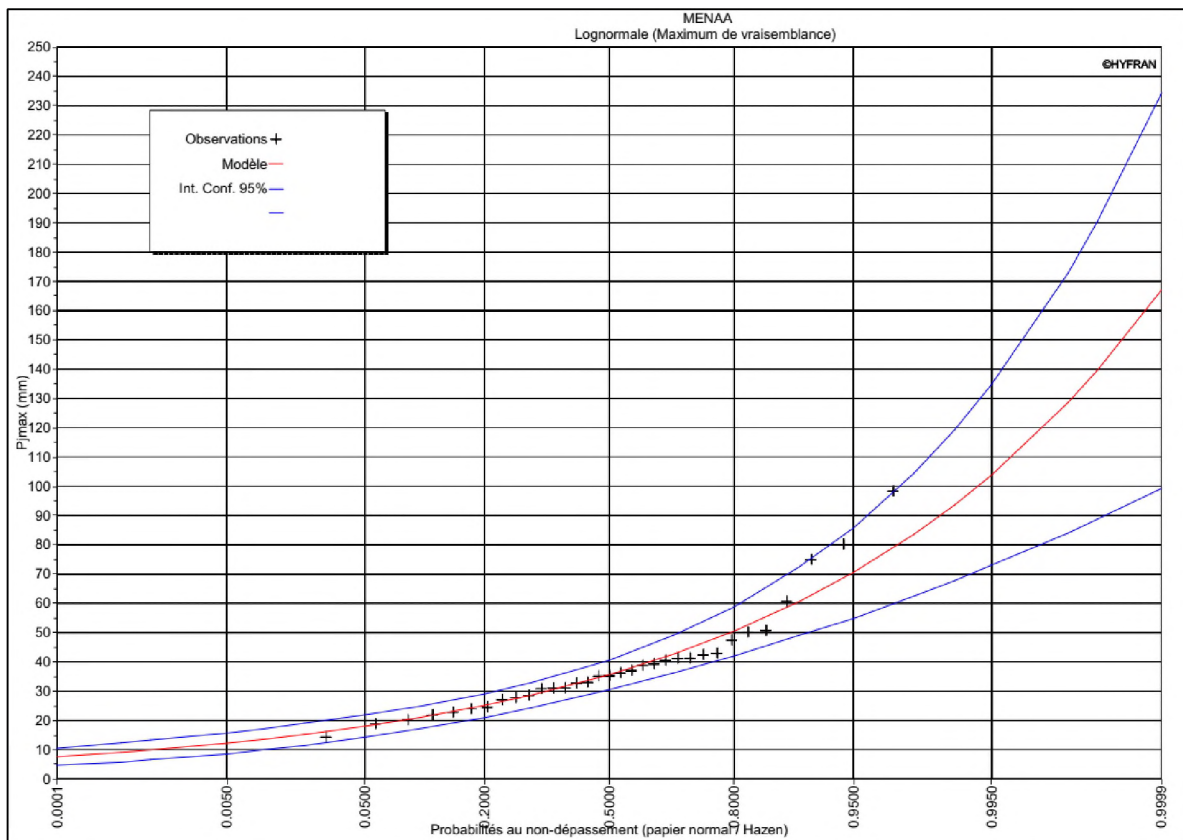
Ajustement par la loi de GUMBEL (Tkout)



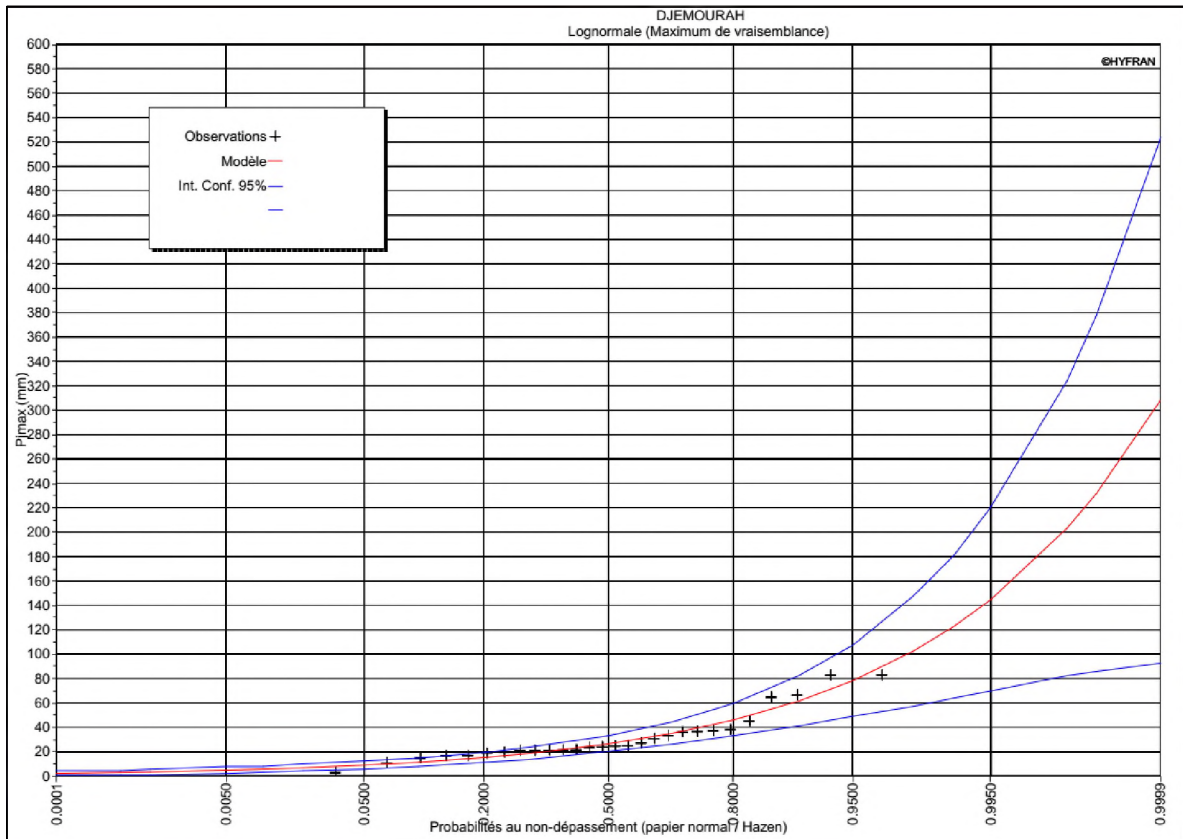
Ajustement par la loi de GUMBEL (Foum El Gherza)



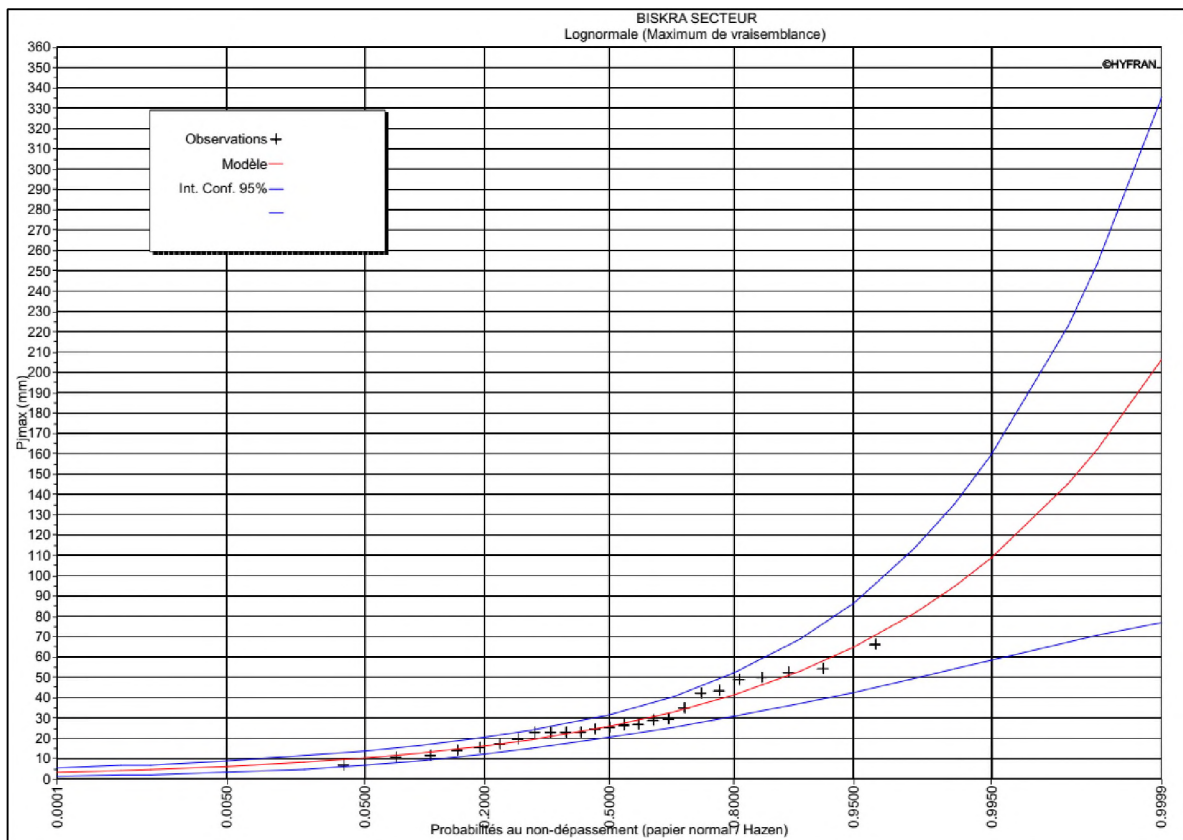
Ajustement par la loi de GALTON (Bouzina)



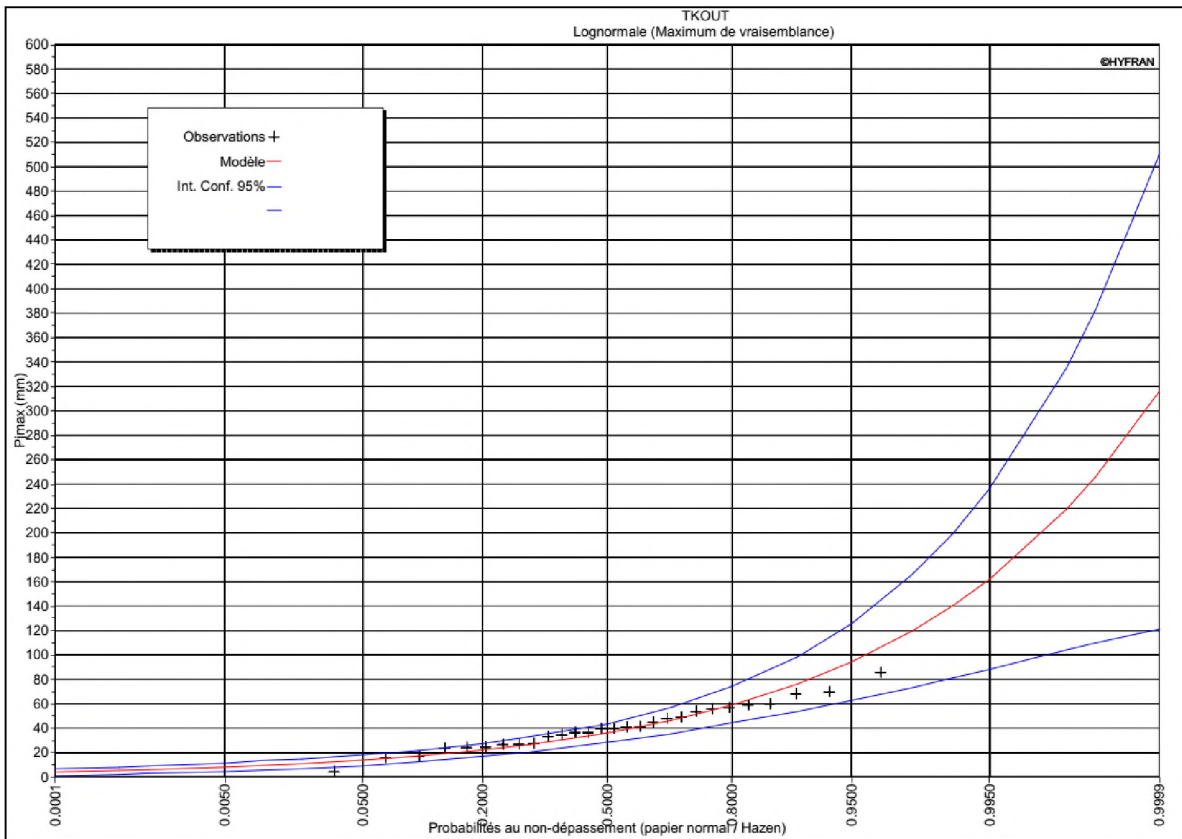
Ajustement par la loi de GALTON (Mena)



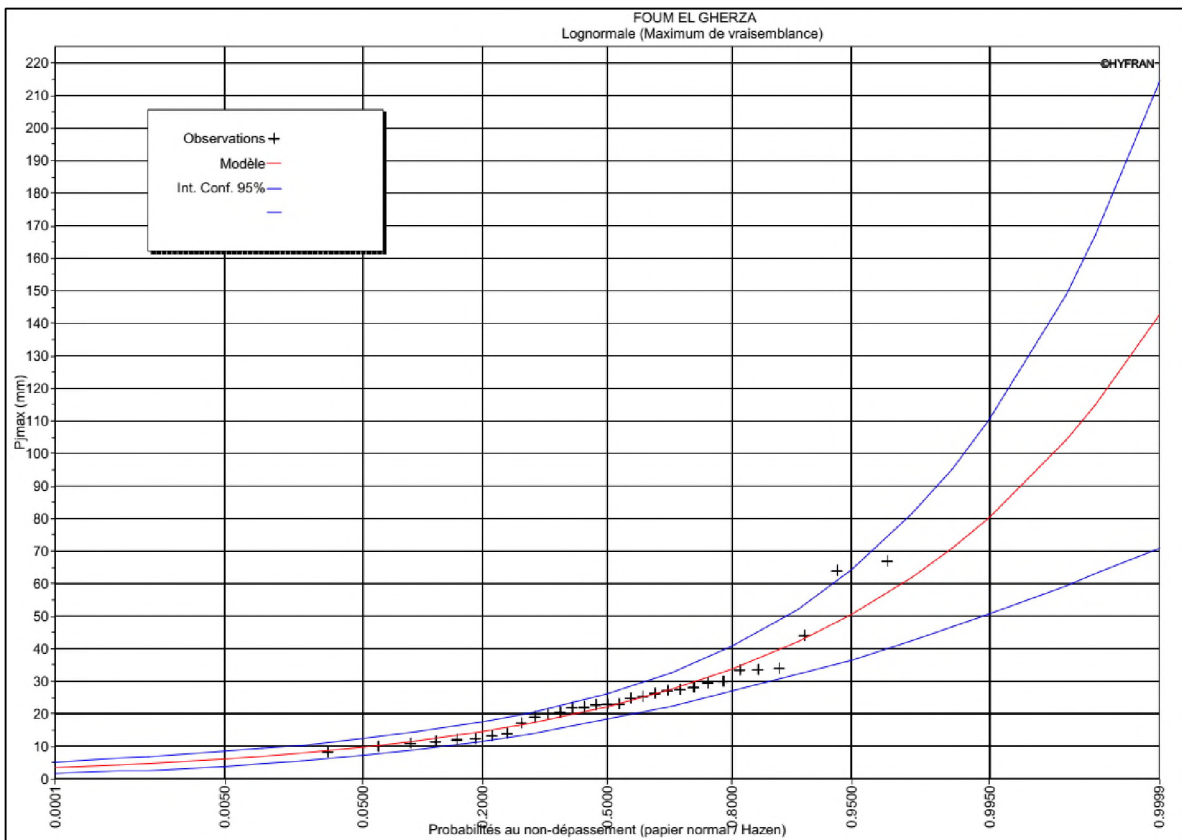
Ajustement par la loi de GALTON (Djemourah)



Ajustement par la loi de GALTON (Biskra Secteur)



Ajustement par la loi de GALTON (Tkout)



Ajustement par la loi de GALTON (Foum El Gherza)

Annexe 9 : Caractéristiques des séries pluviométriques

		Les stations						
		BOUZINA	MENAA	DJEMOURAH	BISKRA SECTEUR	TKOUT	BATNA	FOUM EL GHERZA
Statistique de base	Taille n	26	33	28	25	28	72	31
	Minimum	16	14.4	3	7	4.5	17.2	8.3
	Maximum	80	98.4	83.1	66.3	85.9	78.5	67
	Moyenne	36.4	38.9	31.8	29.7	41	37.1	25.1
	Ecart-type	15.8	18	20.1	15.5	18.4	12.8	13.6
	Médiane	33.6	35.3	24.5	25.5	40	36.8	23
	Coeff de variation [Cv]	0.433	0.463	0.634	0.522	0.448	0.345	0.544
	Coeff d'asymétrie [Cs]	1.44	1.66	1.45	0.731	0.371	0.573	1.69
	Coeff d'aplatissement [Ck]	4.3	5.28	3.85	2.38	2.66	3.01	5.45
Paramètres de GUMBEL (méthode des moments)	μ	29.2839	30.7689	22.7105	22.7463	32.7578	31.0349	18.9389
	α	12.2816	14.05	15.6976	12.0885	14.3412	10.6298	10.6291
	Niveau de confiance	95%						
Paramètres de GALTON (méthode de Maximum de vraisemblance)	μ	3.51563	3.5729	3.27213	3.25302	3.58668	3.55453	3.09851
	σ	0.394501	0.415395	0.660902	0.558199	0.583218	0.35092	0.500564
	Niveau de confiance	95%						

Annexe 10 : Les valeurs de HDF et IDF pour les différentes périodes de retour pour le SBV Supérieur

T (heure)	HDF						IDF					
	Période de retour (ans)						Période de retour (ans)					
	2	5	10	20	50	100	2	5	10	20	50	100
1	17.17	24.52	29.38	34.04	40.08	44.61	17.17	24.52	29.38	34.04	40.08	44.61
2	20.42	29.16	34.94	40.49	47.67	53.05	10.21	14.58	17.47	20.24	23.83	26.52
3	22.60	32.27	38.67	44.81	52.75	58.70	7.53	10.76	12.89	14.94	17.58	19.57
4	24.29	34.67	41.55	48.15	56.68	63.08	6.07	8.67	10.39	12.04	14.17	15.77
5	25.68	36.66	43.93	50.91	59.94	66.70	5.14	7.33	8.79	10.18	11.99	13.34
6	26.88	38.37	45.98	53.28	62.73	69.81	4.48	6.40	7.66	8.88	10.46	11.64
7	27.94	39.88	47.79	55.38	65.20	72.56	3.99	5.70	6.83	7.91	9.31	10.37
8	28.88	41.24	49.41	57.26	67.41	75.02	3.61	5.15	6.18	7.16	8.43	9.38
9	29.75	42.47	50.89	58.97	69.42	77.26	3.31	4.72	5.65	6.55	7.71	8.58
10	30.54	43.60	52.25	60.54	71.28	79.32	3.05	4.36	5.22	6.05	7.13	7.93
11	31.28	44.65	53.51	62.00	73.00	81.23	2.84	4.06	4.86	5.64	6.64	7.38
12	31.97	45.63	54.68	63.36	74.60	83.02	2.66	3.80	4.56	5.28	6.22	6.92
13	32.61	46.56	55.79	64.65	76.11	84.70	2.51	3.58	4.29	4.97	5.85	6.52
14	33.22	47.43	56.83	65.85	77.53	86.28	2.37	3.39	4.06	4.70	5.54	6.16
15	33.80	48.25	57.82	67.00	78.88	87.78	2.25	3.22	3.85	4.47	5.26	5.85
16	34.35	49.04	58.76	68.09	80.16	89.21	2.15	3.06	3.67	4.26	5.01	5.58
17	34.87	49.79	59.66	69.13	81.39	90.57	2.05	2.93	3.51	4.07	4.79	5.33
18	35.38	50.50	60.52	70.12	82.56	91.88	1.97	2.81	3.36	3.90	4.59	5.10
19	35.86	51.19	61.34	71.08	83.68	93.13	1.89	2.69	3.23	3.74	4.40	4.90
20	36.32	51.85	62.13	72.00	84.76	94.33	1.82	2.59	3.11	3.60	4.24	4.72
21	36.77	52.49	62.90	72.88	85.80	95.49	1.75	2.50	3.00	3.47	4.09	4.55
22	37.20	53.10	63.63	73.73	86.81	96.61	1.69	2.41	2.89	3.35	3.95	4.39
23	37.61	53.69	64.34	74.56	87.78	97.68	17.17	24.52	29.38	34.04	40.08	44.61
24	38.01	54.27	65.03	75.35	88.72	98.73	10.21	14.58	17.47	20.24	23.83	26.52

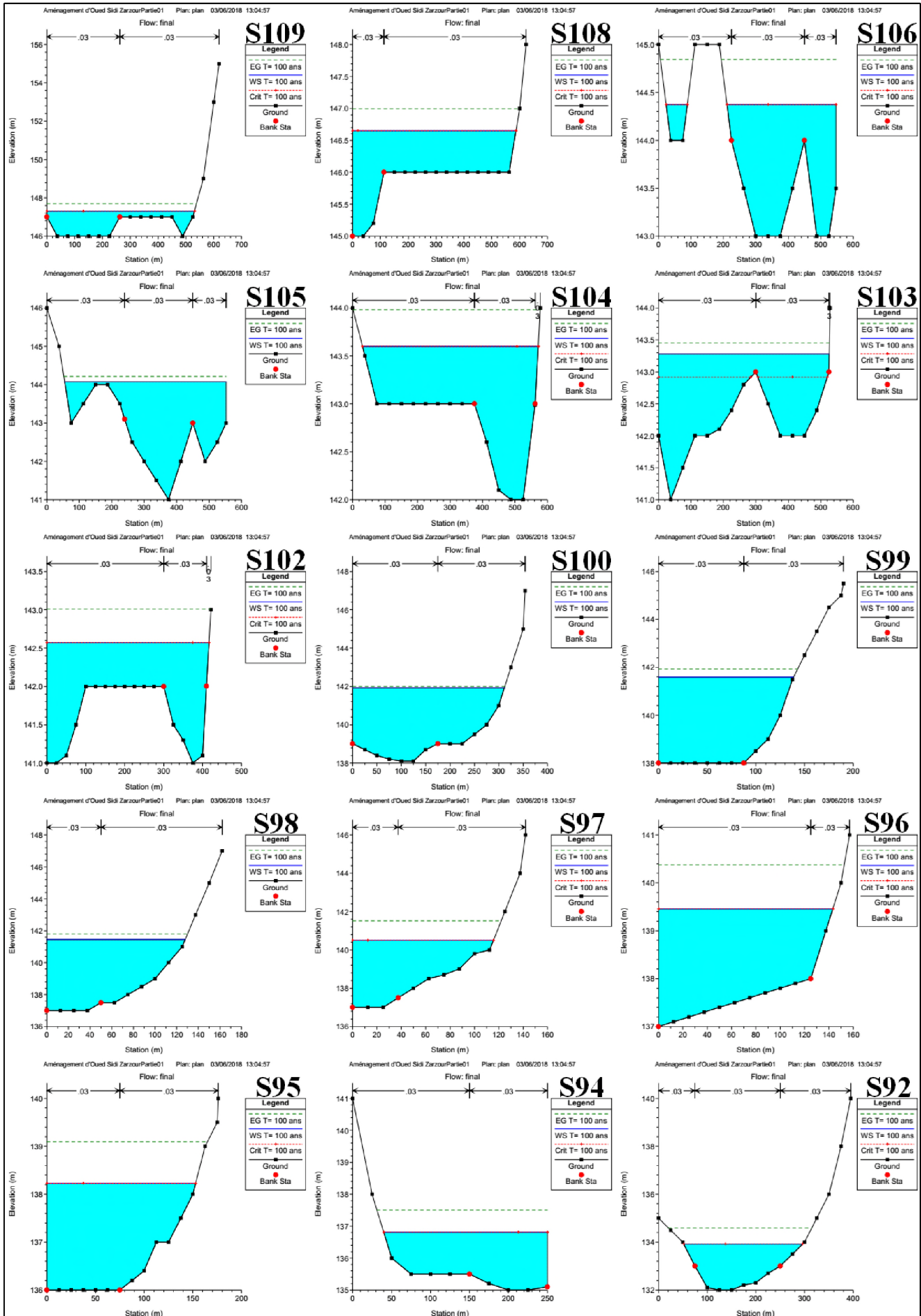
Annexe 11 : Les valeurs de HDF et IDF pour les différentes périodes de retour pour le SBV Moyen

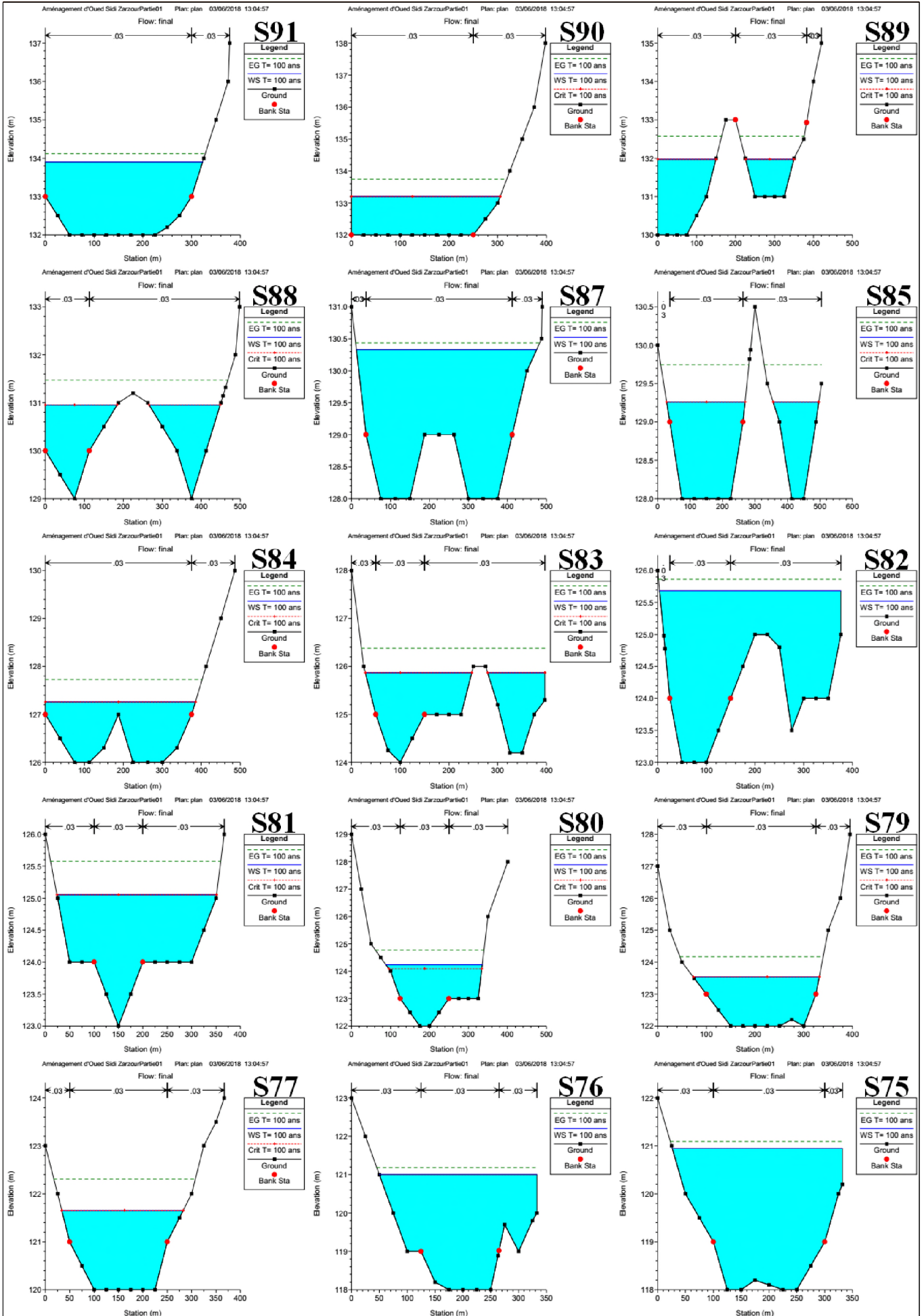
T (heure)	HDF						IDF					
	Période de retour (ans)						Période de retour (ans)					
	2	5	10	20	50	100	2	5	10	20	50	100
1	12.28	18.47	22.57	26.50	31.59	35.40	12.28	18.47	22.57	26.50	31.59	35.40
2	14.60	21.96	26.84	31.51	37.56	42.10	7.30	10.98	13.42	15.76	18.78	21.05
3	16.16	24.31	29.70	34.87	41.57	46.59	5.39	8.10	9.90	11.62	13.86	15.53
4	17.36	26.12	31.92	37.47	44.67	50.06	4.34	6.53	7.98	9.37	11.17	12.52
5	18.36	27.62	33.75	39.62	47.23	52.94	3.67	5.52	6.75	7.92	9.45	10.59
6	19.22	28.91	35.32	41.47	49.44	55.41	3.20	4.82	5.89	6.91	8.24	9.23
7	19.97	30.04	36.71	43.10	51.38	57.58	2.85	4.29	5.24	6.16	7.34	8.23
8	20.65	31.06	37.95	44.57	53.12	59.54	2.58	3.88	4.74	5.57	6.64	7.44
9	21.27	31.99	39.09	45.90	54.71	61.32	2.36	3.55	4.34	5.10	6.08	6.81
10	21.83	32.84	40.13	47.12	56.17	62.95	2.18	3.28	4.01	4.71	5.62	6.30
11	22.36	33.63	41.10	48.26	57.53	64.47	2.03	3.06	3.74	4.39	5.23	5.86
12	22.85	34.37	42.00	49.32	58.79	65.89	1.90	2.86	3.50	4.11	4.90	5.49
13	23.31	35.07	42.85	50.32	59.98	67.22	1.79	2.70	3.30	3.87	4.61	5.17
14	23.75	35.73	43.65	51.26	61.10	68.48	1.70	2.55	3.12	3.66	4.36	4.89
15	24.16	36.35	44.41	52.15	62.16	69.67	1.61	2.42	2.96	3.48	4.14	4.64
16	24.56	36.94	45.13	53.00	63.18	70.80	1.53	2.31	2.82	3.31	3.95	4.43
17	24.93	37.50	45.82	53.81	64.14	71.88	1.47	2.21	2.70	3.17	3.77	4.23
18	25.29	38.04	46.48	54.58	65.06	72.92	1.41	2.11	2.58	3.03	3.61	4.05
19	25.64	38.56	47.12	55.32	65.95	73.91	1.35	2.03	2.48	2.91	3.47	3.89
20	25.97	39.06	47.72	56.04	66.80	74.86	1.30	1.95	2.39	2.80	3.34	3.74
21	26.28	39.54	48.31	56.73	67.62	75.78	1.25	1.88	2.30	2.70	3.22	3.61
22	26.59	40.00	48.88	57.39	68.41	76.67	1.21	1.82	2.22	2.61	3.11	3.48
23	26.89	40.45	49.42	58.03	69.17	77.53	1.17	1.76	2.15	2.52	3.01	3.37
24	27.18	40.88	49.95	58.65	69.91	78.36	1.13	1.70	2.08	2.44	2.91	3.26

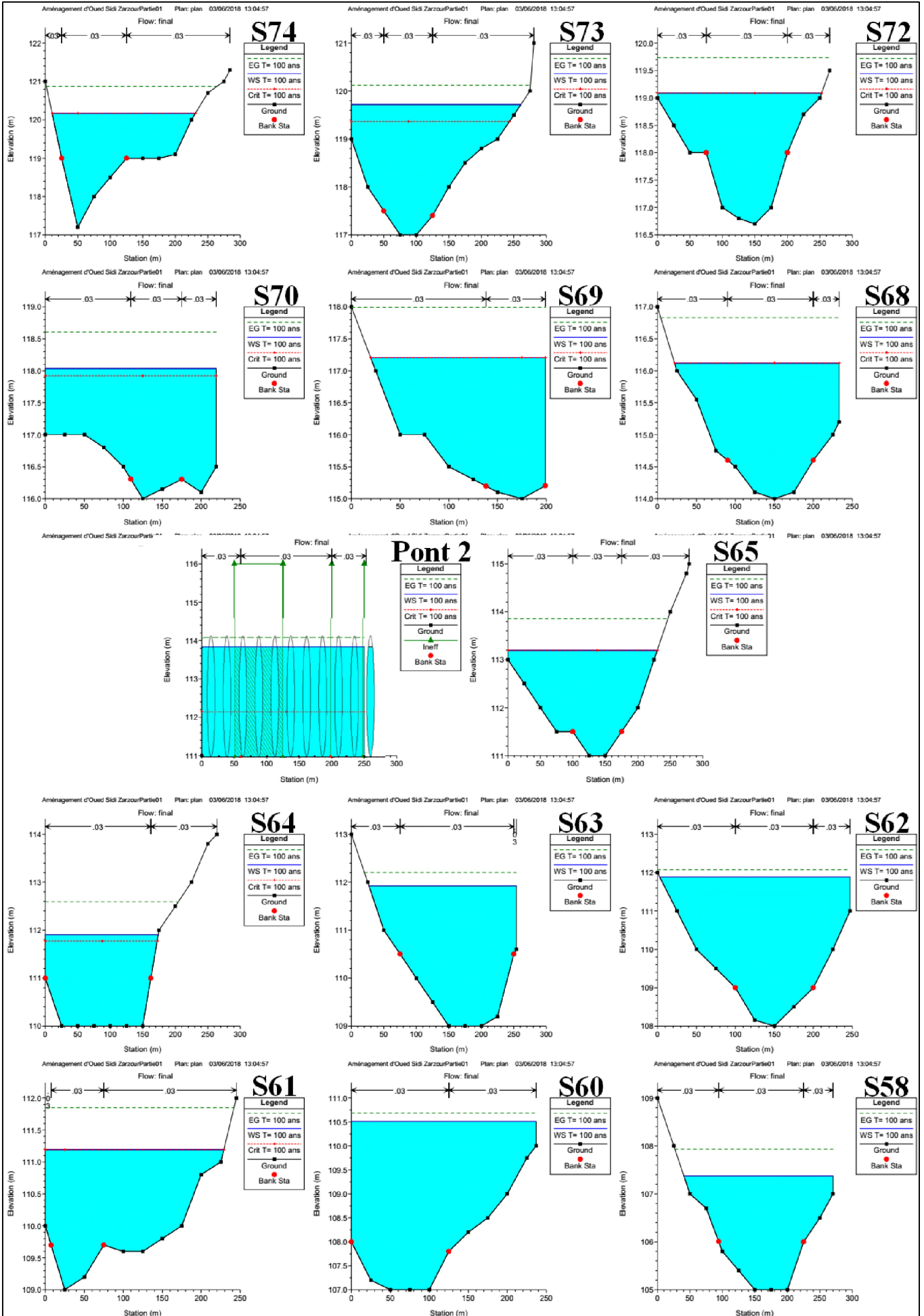
Annexe 12 : Les valeurs de HDF et IDF pour les différentes périodes de retour pour le SBV Inférieur

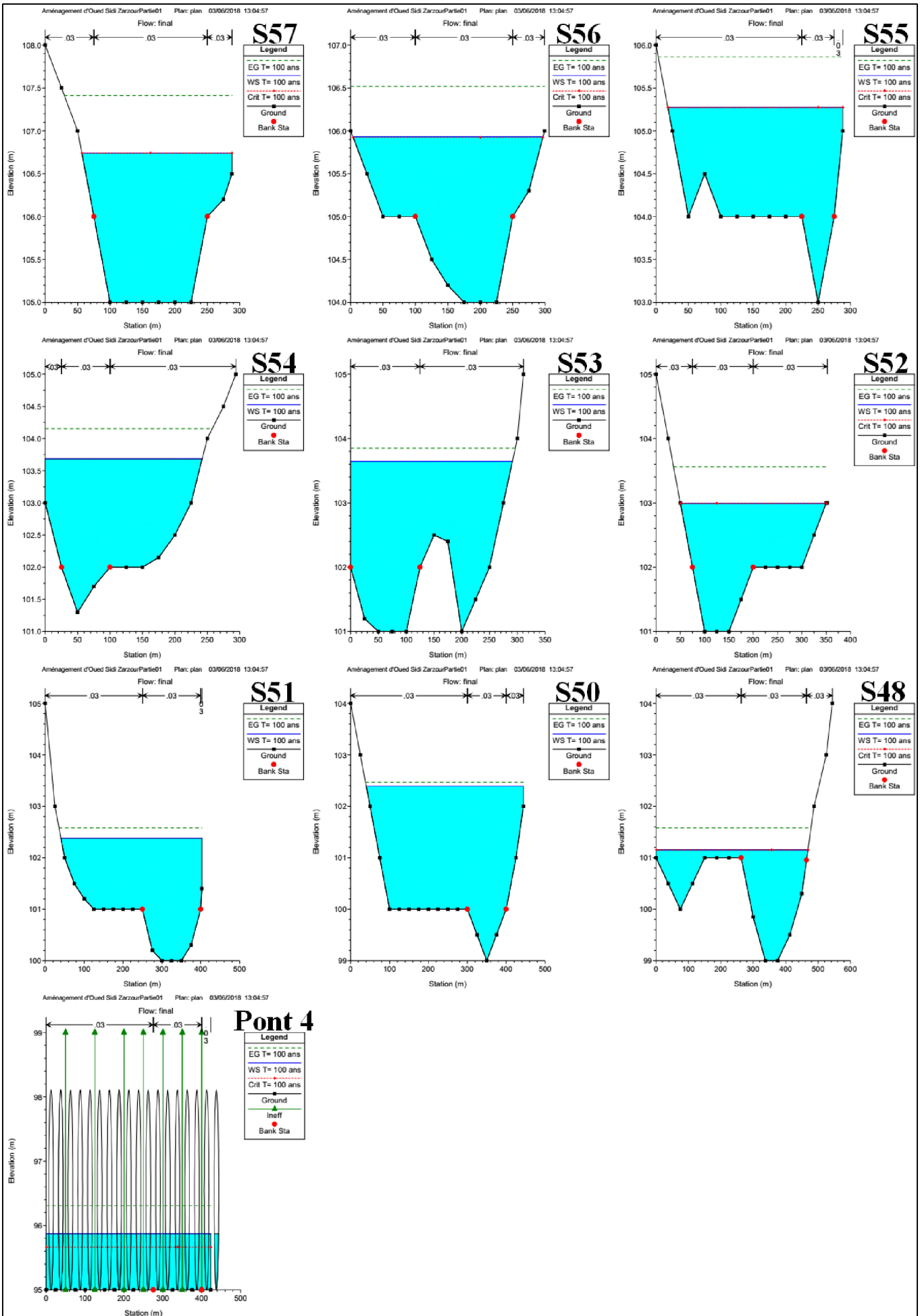
T (heure)	HDF						IDF					
	Période de retour (ans)						Période de retour (ans)					
	2	5	10	20	50	100	2	5	10	20	50	100
1	15.78	21.23	24.83	28.29	32.76	36.11	15.78	21.23	24.83	28.29	32.76	36.11
2	18.77	25.24	29.53	33.64	38.96	42.95	9.38	12.62	14.76	16.82	19.48	21.47
3	20.77	27.93	32.68	37.23	43.12	47.53	6.92	9.31	10.89	12.41	14.37	15.84
4	22.32	30.02	35.11	40.00	46.33	51.07	5.58	7.50	8.78	10.00	11.58	12.77
5	23.60	31.74	37.13	42.30	48.99	54.00	4.72	6.35	7.43	8.46	9.80	10.80
6	24.70	33.22	38.86	44.27	51.27	56.52	4.12	5.54	6.48	7.38	8.55	9.42
7	25.67	34.52	40.39	46.01	53.29	58.74	3.67	4.93	5.77	6.57	7.61	8.39
8	26.54	35.70	41.76	47.57	55.10	60.74	3.32	4.46	5.22	5.95	6.89	7.59
9	27.33	36.76	43.01	48.99	56.74	62.55	3.04	4.08	4.78	5.44	6.30	6.95
10	28.06	37.74	44.15	50.30	58.26	64.22	2.81	3.77	4.42	5.03	5.83	6.42
11	28.74	38.65	45.22	51.51	59.66	65.77	2.61	3.51	4.11	4.68	5.42	5.98
12	29.37	39.50	46.21	52.65	60.97	67.22	2.45	3.29	3.85	4.39	5.08	5.60
13	29.97	40.30	47.15	53.71	62.21	68.57	2.31	3.10	3.63	4.13	4.79	5.27
14	30.53	41.06	48.03	54.71	63.37	69.86	2.18	2.93	3.43	3.91	4.53	4.99
15	31.06	41.77	48.86	55.67	64.47	71.07	2.07	2.78	3.26	3.71	4.30	4.74
16	31.56	42.45	49.66	56.57	65.52	72.23	1.97	2.65	3.10	3.54	4.10	4.51
17	32.05	43.10	50.42	57.44	66.52	73.33	1.89	2.54	2.97	3.38	3.91	4.31
18	32.51	43.72	51.14	58.26	67.48	74.39	1.81	2.43	2.84	3.24	3.75	4.13
19	32.95	44.31	51.84	59.06	68.40	75.40	1.73	2.33	2.73	3.11	3.60	3.97
20	33.37	44.89	52.51	59.82	69.28	76.37	1.67	2.24	2.63	2.99	3.46	3.82
21	33.78	45.44	53.15	60.55	70.13	77.31	1.61	2.16	2.53	2.88	3.34	3.68
22	34.18	45.97	53.77	61.26	70.95	78.21	1.55	2.09	2.44	2.78	3.23	3.56
23	34.56	46.48	54.37	61.94	71.74	79.09	1.50	2.02	2.36	2.69	3.12	3.44
24	34.93	46.98	54.96	62.61	72.51	79.93	1.46	1.96	2.29	2.61	3.02	3.33

Annexe 13 : Résultats de simulation de la première partie tronçon (S109 - S46)

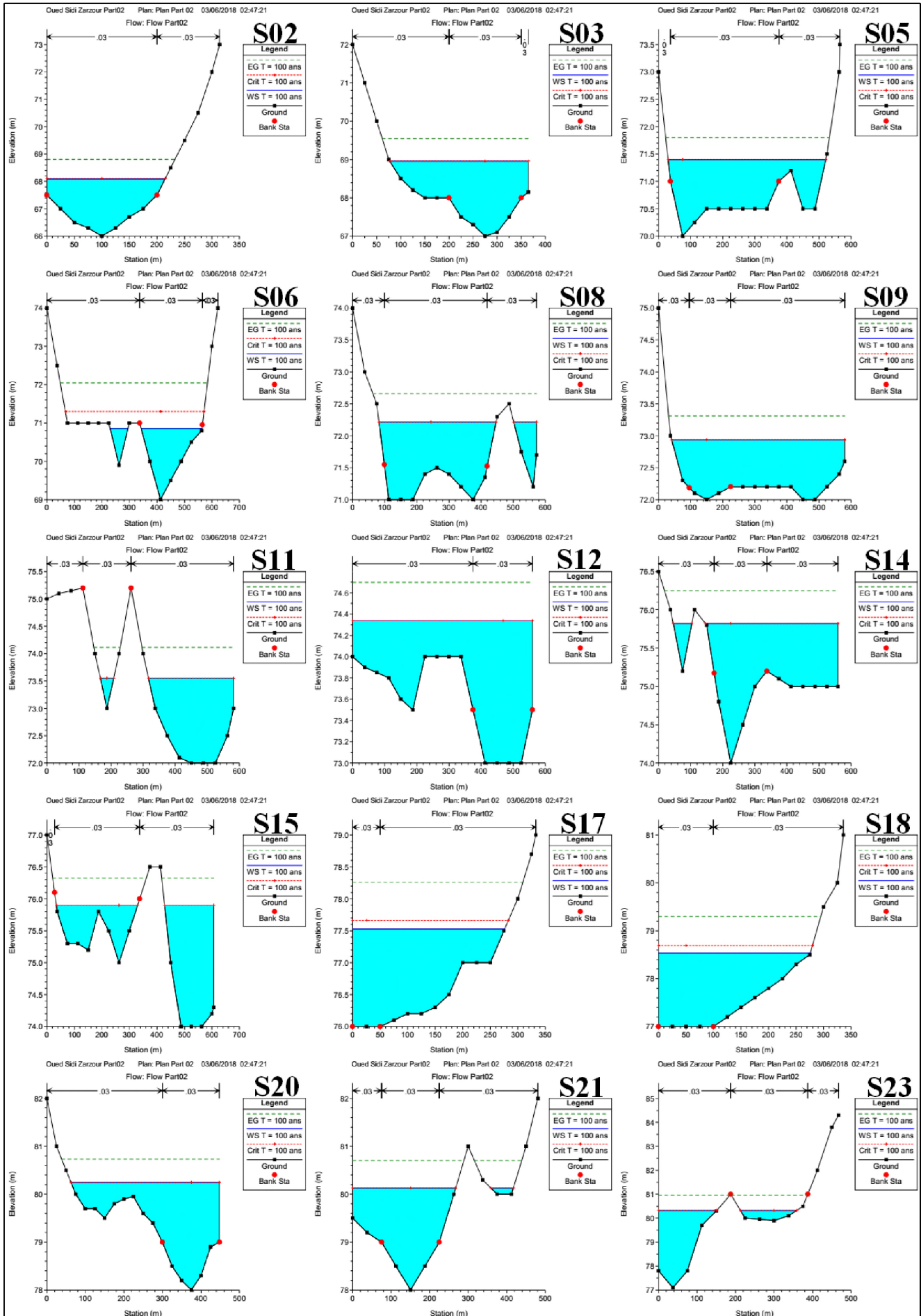


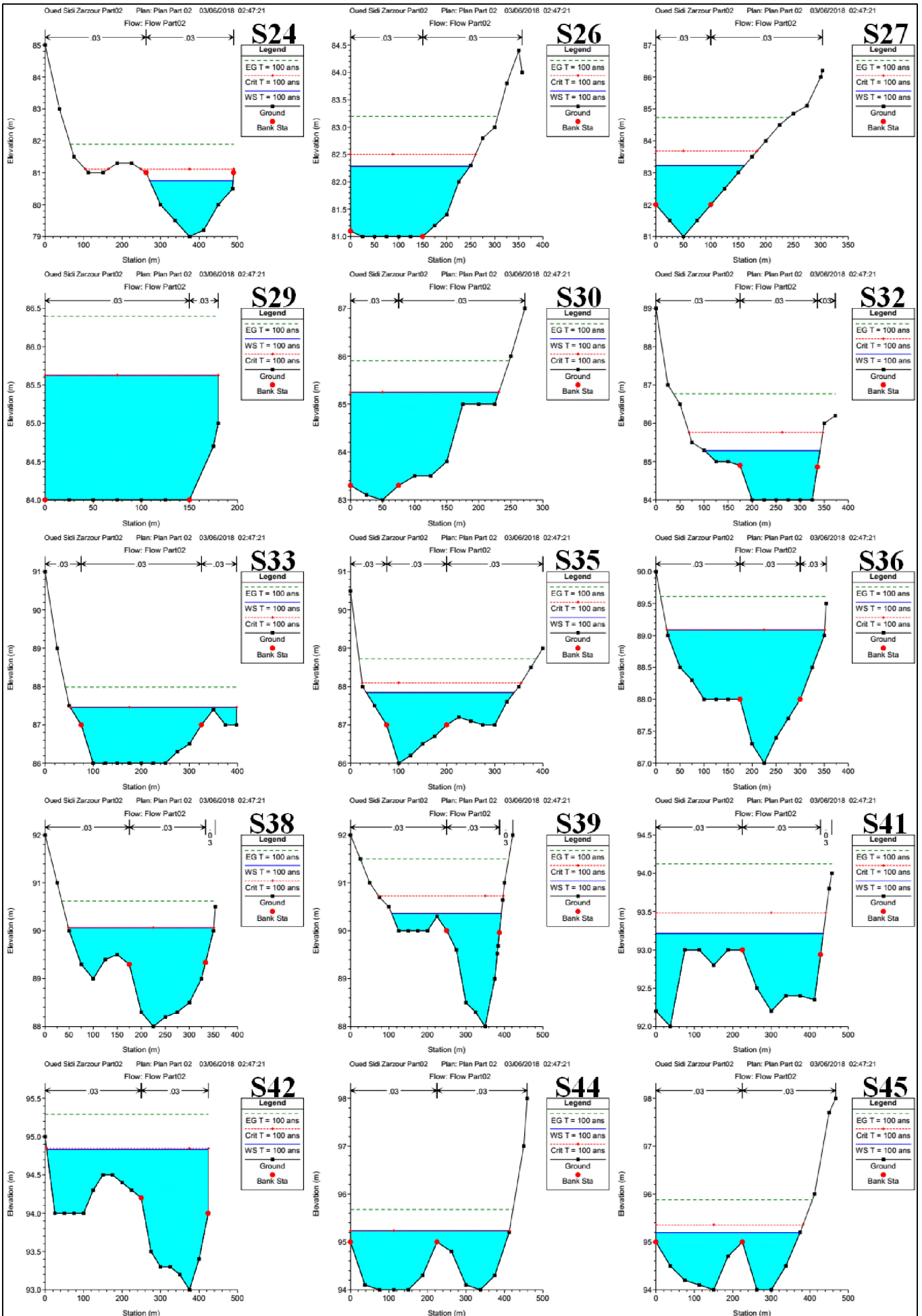






Annexe 14 : Résultats de simulation du deuxième tronçon (S46 - S01)





Annexe 15 : Les paramètres d'écoulement de l'oued non aménagé (Premier partie)

Station	Q Total	Min.ch Elv	W.S Elev	Crit w.s	E.G Elev	E.G Stlope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude
m	(m ³ /s)	m	m	m	m	m/m	m/s	m ²	m	
200	1080.55	143.5	145.53	145.53	145.89	0.005522	3	455.93	583.06	0.83
300	1080.55	143	144.37	144.37	144.84	0.007836	3.03	364.56	401.43	0.95
500	1080.55	142	143.6	143.6	143.98	0.0063	3.09	432.51	541.78	0.88
600	1080.55	142	143.28	142.92	143.45	0.00257	1.65	588.76	525.84	0.54
700	1080.55	141	142.57	142.57	143.01	0.007924	3.38	379.06	416.26	0.98
1200	1080.55	137	140.49	140.49	141.52	0.005145	5.1	256.35	115.59	0.88
1300	1080.55	137	139.46	139.46	140.38	0.006935	4.29	258.21	143.24	0.98
1400	1080.55	136	138.23	138.23	139.09	0.006398	4.46	270.9	152.86	0.95
1500	1080.55	135	136.81	136.81	137.51	0.007361	4	296.8	210.09	0.98
1600	1080.55	134	135.63	135.63	136.24	0.008074	3.24	313.75	257.82	0.98
1700	1080.55	132	133.92	133.92	134.59	0.00661	3.69	310.36	244.03	0.94
1900	1080.55	132	133.2	133.2	133.75	0.007995	3.35	334.54	304.92	0.98
2000	1080.55	131	131.97	131.97	132.57	0.006794	2.33	329.86	272.91	0.84
2100	1080.55	129	130.95	130.95	131.47	0.007392	3.66	358.27	366.53	0.97
2400	1080.55	128	129.26	129.26	129.75	0.008511	3.26	355.56	381.65	1
2500	1080.55	126	127.26	127.26	127.73	0.008921	3.04	356.75	384.67	1
2600	1080.55	124	125.87	125.87	126.38	0.007219	3.6	353.45	336.53	0.96
2800	1080.55	123	125.05	125.05	125.58	0.006844	3.7	355.22	327.28	0.95
2900	1080.55	122	124.24	124.09	124.77	0.004791	3.46	349.26	247.31	0.82
3000	1080.55	122	123.53	123.53	124.17	0.007619	3.54	310.97	258.22	0.98
3100	1080.55	121	122.74	122.74	123.37	0.006989	3.57	317.3	260.25	0.95
3200	1080.55	120	121.65	121.65	122.31	0.007076	3.62	308.91	248.93	0.95
3500	1080.55	117.2	120.17	120.17	120.88	0.005918	4.06	310.18	220.61	0.92
3600	1080.55	117	119.72	119.37	120.12	0.002696	3.25	419.62	260.94	0.65
3700	1080.55	116.7	119.09	119.09	119.73	0.005084	3.76	329.74	252.65	0.85
3800	1080.55	116	118.64		118.9	0.001635	2.5	487.95	240	0.5
3900	1080.55	116	118.04	117.92	118.6	0.005247	3.68	332.64	219	0.86
4000	1080.55	115	117.21	117.21	117.99	0.006736	4.42	284.58	179.17	0.97
4100	1080.55	114	116.12	116.12	116.83	0.0061	3.99	305.06	211.03	0.93
4200	1080.55	111	113.82	112.56	114.06	0.001087	2.2	502.41	253	0.42
4400	1080.55	111	113.92	112.14	114.01	0.00038	1.33	824.18	282	0.25
4500	1080.55	111	113.2	113.2	113.86	0.005951	4.12	319.48	229.89	0.92
4600	1080.55	110	111.9	111.77	112.59	0.005729	3.7	295.19	173.76	0.88
4900	1080.55	109	111.19	111.19	111.85	0.006645	4.16	312.99	228.79	0.97
5000	1080.55	107	110.51		110.68	0.000751	1.99	607.79	237	0.35
5100	1080.55	108	109.74	109.74	110.46	0.006932	3.79	294.32	215.25	0.96
5200	1080.55	105	107.37		107.93	0.004066	3.47	347.73	229.34	0.77
5300	1080.55	105	106.74	106.74	107.41	0.00657	3.69	307.62	231.52	0.93
5400	1080.55	104	105.93	105.92	106.52	0.006056	3.62	341.55	293.13	0.9
5500	1080.55	103	105.27	105.27	105.86	0.007056	4.1	329.22	269.82	0.98
5800	1080.55	101	102.99	102.99	103.56	0.006029	3.68	347.83	299.45	0.9
6100	1080.55	100	101.86	101.86	102.32	0.007945	3.42	368.83	397.7	0.98
6200	1080.55	99	101.16	101.16	101.58	0.005057	3.08	415.31	468.85	0.81

Annexe 16 : Les paramètres d'écoulement de l'oued non aménagé (deuxième partie)

Station	Q Total	Min.ch Elv	W.S Elev	Crit w.s	E.G Elev	E.G Stlope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude
m	(m ³ /s)	m	m	m	m	m/m	m/s	m ²	m	
6300	1080.55	95	96.44	96.44	96.89	0.006492	3.33	387.25	402.55	0.91
6400	1080.55	94	95.2	95.35	95.88	0.016646	3.64	294.91	374.81	1.32
6500	1080.55	94	95.23	95.23	95.68	0.008766	3.12	369.7	413.18	1
6600	1080.55	94	95.44	95.44	95.89	0.006514	3.1	385.89	421.15	0.89

6700	1080.55	93	94.83	94.85	95.29	0.006073	3.29	392.66	419.79	0.88
6800	1080.55	92.2	93.22	93.48	94.12	0.027284	4.6	264.38	434.88	1.68
6900	1080.55	90	91.93	91.93	93.09	0.021295	4.92	227.08	260.33	1.56
7000	1080.55	88	90.36	90.73	91.5	0.012205	4.87	250.26	285.11	1.26
7100	1080.55	88	90.06	90.06	90.62	0.005906	3.52	348.47	302.02	0.89
7200	1080.55	88	89.47	89.47	90	0.008272	3.47	340.13	322.4	1
7300	1080.55	87	89.09	89.09	89.61	0.006108	3.58	361.36	327.91	0.9
7400	1080.55	86	87.84	88.09	88.73	0.012543	4.59	280.56	307.41	1.26
7500	1080.55	86	87.71	87.71	88.25	0.006623	3.4	350.43	332.81	0.92
7600	1080.55	86	87.46	87.46	87.99	0.006869	3.26	349.42	346.08	0.92
7700	1080.55	84	85.28	85.76	86.77	0.021654	5.48	209.76	239.43	1.61
7800	1080.55	83	85.38	85.38	85.94	0.005135	3.72	362.03	299.61	0.85
7900	1080.55	83	85.25	85.25	85.9	0.005804	4.11	322.24	231.14	0.9
8000	1080.55	84	85.63	85.63	86.4	0.007509	3.96	279.49	180	0.99
8100	1080.55	83	84.96	84.99	85.73	0.006661	4.2	291.75	197.94	0.96
8200	1080.55	81	83.23	83.68	84.73	0.01405	5.64	210.2	161.3	1.37
8300	1080.55	81	82.29	82.5	83.19	0.013083	4.47	264.11	248.87	1.26
8400	1080.55	80	82.41	82.41	82.93	0.006008	3.33	362.2	350.56	0.88
8500	1080.55	79	80.75	81.11	81.89	0.018802	4.73	228.43	216.92	1.47
8600	1080.55	79.9	80.33	80.33	80.96	0.005066	1.08	332.09	297.45	0.62
8800	1080.55	78	80.13	80.13	80.7	0.005973	3.57	342.51	325.98	0.89
8900	1080.55	78	80.25	80.25	80.74	0.004791	3.36	392.33	385.29	0.81
9000	1080.55	78.3	79.65	79.65	80.19	0.007763	3.38	340.55	320.57	0.97
9100	1080.55	77	78.54	78.69	79.3	0.009797	4.35	296.86	275.96	1.12
9200	1080.55	76	77.53	77.66	78.26	0.010879	4.52	293.71	276.36	1.17
9300	1080.55	74.5	75.18	75.54	76.42	0.034559	2.86	233.41	411.88	1.63
9400	1080.55	75	75.89	75.89	76.32	0.004874	1.4	420.74	474.37	0.65
9600	1080.55	74	75.82	75.82	76.25	0.007529	3.21	392.86	472.01	0.95
9700	1080.55	74.2	75.11	75.11	75.48	0.008894	2.48	410.72	557	0.95
9800	1080.55	73.5	74.34	74.34	74.7	0.008735	2.12	414.96	560	0.9
9900	1080.55	73	73.55	73.55	74.11	0.00791	1.25	329.85	306.05	0.76
10000	1080.55	71.1	73.01	73.01	73.46	0.005716	3.5	399.02	413.18	0.87
10100	1080.55	72	72.94	72.94	73.31	0.009485	2.9	401.1	539.02	1.01
10200	1080.55	71	72.21	72.21	72.66	0.00833	3.04	376.06	435.76	0.97
10300	1080.55	71	72.79	72.79	73.22	0.006107	2.99	401.25	496.41	0.86
10400	1080.55	69	70.86	71.3	72.04	0.025682	4.96	228.63	286.03	1.67
10500	1080.55	70	71.4	71.4	71.8	0.008487	2.92	394.79	491.18	0.97
10600	1080.55	68	69.56	69.83	70.51	0.019593	4.49	258.64	330.01	1.48
10700	1080.55	67	68.96	68.96	69.54	0.006497	3.62	338.73	288.25	0.92
10800	1080.55	66	68.09	68.11	68.81	0.008053	3.78	288.89	214.64	1.01
10900	1080.55	68	69.66	69.66	70.27	0.007348	3.55	319.33	261.3	0.96

Avec :

Min.ch Elv : Cote minimale de la section en (m) ;

W.S Elev : Cote de niveau d'eau en (m) ;

Crit w.s : Cote de niveau d'eau pour un écoulement critique en (m) ;

E.G Elev : Cote d'énergie en (m) ;

E.G Slope : Pente de la ligne d'énergie en (m/m) ;

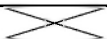
Vel Chnl : Vitesse de la zone centrale de la section en (m/s) ;

Flow Area : Surface mouillée en (m²) ;

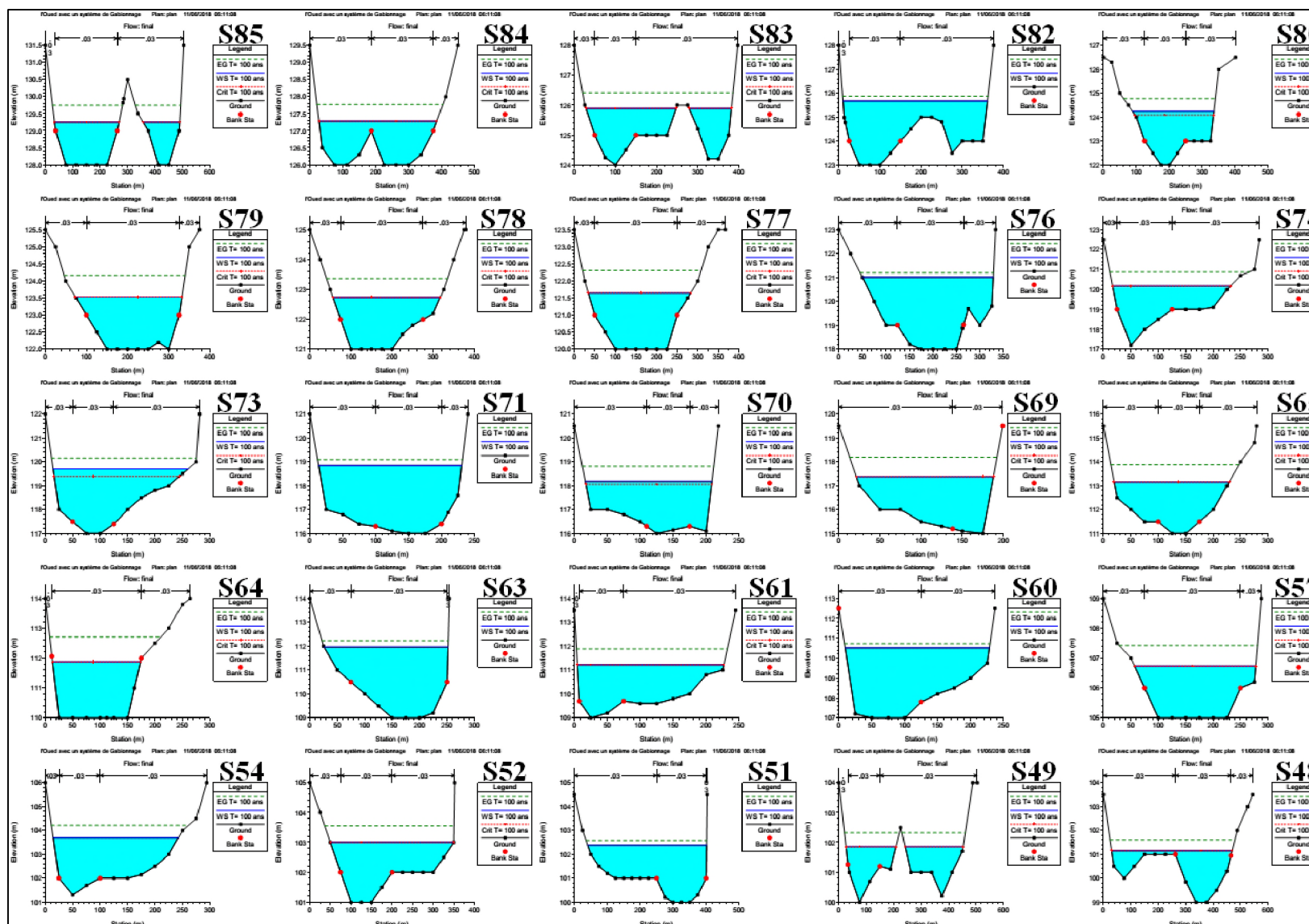
Top Width : largeur au miroir en (m) ;

Froude : Nombre de Froude.


Annexe 17 : Les paramètres d'écoulement du partie amont après le recalibrage

Station	Q.Total	Min.ch Elv	W.S Elev	Crit w.s	E.G Elev	E.G Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude
m	m ³ /s	m	m	m	m	m/m	m/s	m ²	m	
0	1080.55	149	150.09	150.09	150.64	0.008699	3.28	329.03	302.19	1
100	1080.55	148	149.01	149.09	149.65	0.011164	3.54	305.22	302.03	1.12
200	1080.55	147	148.09	148.09	148.64	0.008745	3.29	328.52	302.18	1.01
300	1080.55	146	147.02	147.09	147.65	0.011112	3.54	305.65	302.03	1.12
400	1080.55	145	146.09	146.09	146.64	0.008792	3.29	327.99	302.18	1.01
500	1080.55	144	145.02	145.09	145.65	0.01107	3.53	306	302.03	1.12
600	1080.55	143	144.09	144.09	144.64	0.00883	3.3	327.56	302.18	1.01
700	1080.55	142	143.02	143.09	143.65	0.011032	3.53	306.31	302.04	1.12
800	1080.55	141	142.09	142.09	142.64	0.008865	3.3	327.17	302.17	1.01
900	1080.55	140	141.02	141.09	141.65	0.010993	3.52	306.64	302.04	1.12
1000	1080.55	139	140.09	140.09	140.64	0.008902	3.31	326.76	302.17	1.02
1100	1080.55	138	139.02	139.09	139.65	0.010963	3.52	306.9	302.04	1.12
1200	1080.55	137	138.08	138.09	138.64	0.008931	3.31	326.44	302.17	1.02
1300	1080.55	136	137.02	137.09	137.65	0.010936	3.52	307.13	302.04	1.11
1400	1080.55	135	136.08	136.09	136.64	0.008957	3.31	326.15	302.17	1.02
1500	1080.55	134	135.02	135.09	135.65	0.010906	3.52	307.38	302.04	1.11
1600	1080.55	133	134.08	134.09	134.64	0.008986	3.32	325.84	302.16	1.02
1700	1080.55	132	133.02	133.09	133.65	0.010885	3.51	307.56	302.04	1.11
1800	1080.55	131	132.08	132.09	132.64	0.009007	3.32	325.61	302.16	1.02
1900	1080.55	130	131.02	131.09	131.65	0.010866	3.51	307.72	302.04	1.11
2000	1080.55	129	130.08	130.09	130.64	0.009025	3.32	325.41	302.16	1.02
2100	1080.55	128	129.22	129.09	129.66	0.006003	2.94	367.95	302.44	0.85

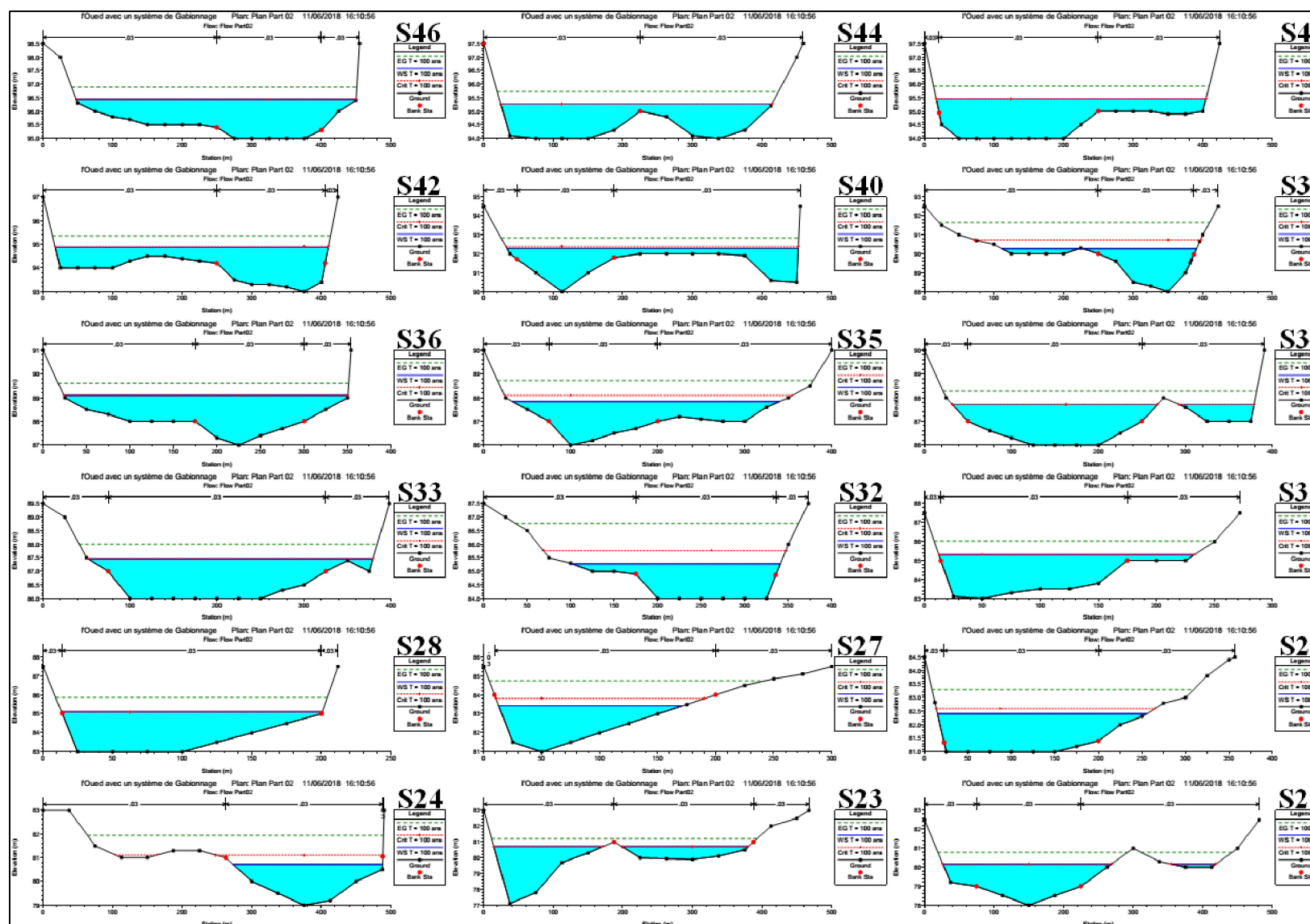
Annexe 18 : Résultats de simulation de l'Oued après l'augmentation de la hauteur des berges par un système de Gabionnage (partie 01)



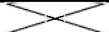
Annexe 19 : Les paramètres d'écoulement de l'Oued après l'augmentation de la hauteur des berges par un système de Gabionnage (partie 01)

Station	Q.Total	Min.ch Elv	W.S Elev	Crit w.s	E.G Elev	E.G Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude
m	m ³ /s	m	m	m	m	m/m	m/s	m ²	m	
2200	1080.55	128	130.33		130.44	0.000788	1.45	769.23	451.65	0.33
2300	1080.55	128	130		130.28	0.00333	2.71	489.22	420.22	0.67
2400	1080.55	128	129.25	129.25	129.75	0.008671	3.27	350.71	367.93	1
2500	1080.55	126	127.28	127.28	127.77	0.008728	3.15	348.27	357.62	1
2600	1080.55	124	125.89	125.89	126.42	0.00727	3.64	346.32	322.56	0.97
2700	1080.55	123	125.68		125.87	0.001379	2.2	587.67	351.11	0.46
2800	1080.55	123	125.06	125.06	125.58	0.006751	3.68	356.42	326.22	0.94
2900	1080.55	122	124.24	124.09	124.77	0.004791	3.46	349.26	247.31	0.82
3000	1080.55	122	123.53	123.53	124.17	0.007619	3.54	310.97	258.22	0.98
3100	1080.55	121	122.74	122.74	123.37	0.006989	3.57	317.3	260.25	0.95
3200	1080.55	120	121.65	121.65	122.31	0.007076	3.62	308.91	248.93	0.95
3300	1080.55	118	121.01		121.2	0.000947	2.05	598.04	278.37	0.39
3400	1080.55	118	120.96		121.1	0.00072	1.75	668.86	301.22	0.34
3500	1080.55	117.2	120.17	120.17	120.89	0.005977	4.08	306.76	214.4	0.92
3600	1080.55	117	119.71	119.39	120.16	0.002999	3.41	395.63	246.05	0.68
3700	1080.55	116.7	119.05	119.05	119.74	0.005483	3.85	314.56	230.91	0.88
3800	1080.55	116	118.85		119.09	0.001327	2.37	500.77	217.03	0.46
3900	1080.55	116	118.17	118.07	118.82	0.00542	3.93	312.22	192.35	0.88
4000	1080.55	115	117.38	117.38	118.19	0.006962	4.42	275.21	166.48	1
4100	1080.55	114	116.14	116.14	116.86	0.006021	4	302.57	204.04	0.92
4200	1080.55	111	113.85	112.56	114.08	0.001052	2.17	507.47	253	0.41
4300	1080.55									
4400	1080.55	111	113.95	112.14	114.03	0.00037	1.32	831.36	282	0.25
4500	1080.55	111	113.16	113.16	113.88	0.006323	4.2	303.91	209.66	0.95
4600	1080.55	110	111.87	111.87	112.71	0.007459	4.05	267.11	160.13	1
4700	1080.55	109	111.96		112.23	0.001472	2.36	480.73	225.64	0.48
4800	1080.55	108	111.91		112.1	0.000778	2.14	579.14	218.08	0.37
4900	1080.55	109	111.22	111.22	111.88	0.006527	4.16	310.57	222.18	0.96
5000	1080.55	107	110.52		110.72	0.000914	2.16	556.4	219	0.39
5100	1080.55	108	109.73	109.73	110.47	0.007112	3.83	288.49	202.69	0.97
5200	1080.55	105	107.38	107.2	107.96	0.004137	3.51	339.11	215.36	0.77
5300	1080.55	105	106.73	106.73	107.42	0.006803	3.74	300.89	220.72	0.95
5400	1080.55	104	105.95	105.91	106.52	0.005752	3.55	338.06	260.29	0.88
5500	1080.55	103	105.28	105.28	105.89	0.007016	4.1	324.24	257.6	0.98
5600	1080.55	101.3	103.7		104.21	0.004548	3.6	350.45	228	0.81
5700	1080.55	101	103.64		103.87	0.001636	2.38	517.57	278.65	0.5
5800	1080.55	101	103	103	103.56	0.005887	3.65	350.72	300.06	0.89
5900	1080.55	100	102.38		102.58	0.001612	2.22	568.55	360.71	0.48
6000	1080.55	99	102.39		102.47	0.000427	1.4	892.69	392.43	0.26
6100	1080.55	100	101.86	101.86	102.32	0.007978	3.42	367.47	393.59	0.98
6200	1080.55	99	101.15	101.15	101.6	0.005241	3.13	402.13	439.49	0.82
6300	1080.55	95	95.87	95.87	96.31	0.009341	2.94	368.62	423	1.01

Annexe 20 : Résultats de simulation de l'Oued après l'augmentation de la hauteur des berges par un système de Gabionnage (partie 02)



Annexe 21 : Les paramètres d'écoulement de l'Oued après l'augmentation de la hauteur des berges par un système de Gabionnage (partie 02)

Station	Q.Total	Min.ch Elv	W.S Elev	Crit w.s	E.G Elev	E.G Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude
m	m ³ /s	m	m	m	m	m/m	m/s	m ²	m	
6400	1080.55	95	96.44	96.44	96.89	0.006471	3.33	387.6	402.16	0.9
6500	1080.55	94	95.23	95.38	95.92	0.015016	3.73	294.54	348.31	1.27
6600	1080.55	94	95.27	95.27	95.73	0.00847	3.2	364.24	389.24	0.99
6700	1080.55	94	95.46	95.46	95.93	0.006332	3.18	376.83	387.45	0.89
6800	1080.55	93	94.88	94.9	95.36	0.005975	3.39	384.28	392.15	0.88
6900	1080.55	92.2	93.3	93.58	94.24	0.024477	4.66	263.9	413.36	1.62
7000	1080.55	90	92.29	92.37	92.83	0.007967	3.69	364.02	419.08	1
7100	1080.55	88	90.27	90.73	91.65	0.015813	5.31	223.94	273.93	1.42
7200	1080.55	88	90.06	90.06	90.62	0.005896	3.52	348.63	301.67	0.89
7300	1080.55	88	89.49	89.49	90.04	0.008277	3.51	333.79	307.97	1
7400	1080.55	87	89.09	89.09	89.61	0.006051	3.56	362.07	326.32	0.9
7500	1080.55	86	87.84	88.09	88.73	0.012599	4.6	280.12	307.24	1.26
7600	1080.55	86	87.72	87.72	88.28	0.006647	3.43	344.97	322.22	0.92
7700	1080.55	86	87.46	87.46	88.01	0.007113	3.31	338.97	327.18	0.94
7800	1080.55	84	85.28	85.76	86.77	0.021618	5.48	209.89	239.48	1.61
7900	1080.55	83	85.41	85.41	85.98	0.005182	3.77	356.09	291.24	0.86
8000	1080.55	83	85.3	85.3	86.02	0.006272	3.81	295.07	219.85	0.92
8100	1080.55	84	85.78	85.78	86.6	0.007503	4.02	268.53	162.74	1
8200	1080.55	83	85.1	85.1	85.86	0.007746	3.85	280.56	187.19	1
8300	1080.55	81	83.42	83.8	84.74	0.015627	5.07	212.94	158.27	1.4
8400	1080.55	81	82.4	82.6	83.3	0.011157	4.29	266.62	240.14	1.18
8500	1080.55	80	82.44	82.44	82.98	0.005635	3.4	358.7	334.61	0.86
8600	1080.55	79	80.72	81.11	81.94	0.020795	4.9	220.69	214.55	1.54
8700	1080.55	79.9	80.69	80.69	81.21	0.005153	1.67	371.45	337.16	0.7
8800	1080.55	78.3	80.07	80.08	80.61	0.007083	3.86	347.08	312.93	0.97

Résumé :

Notre étude s'inscrit dans le cadre de la protection de la ville de Biskra contre les inondations créées par les crues exceptionnelles. Notre travail consiste d'abord, de décrire toutes les caractéristiques de la zone d'étude avec quelques événements catastrophiques qui ont frappé la ville, ensuite, une étude hydrologique très détaillée qui résume les aspects morphologique pluviométrique du bassin versant alimentant Oued Biskra, puis la recherche de débits de pointe avec lequel nous avons entamé la simulation d'une crue centennale en utilisant le code HEC-RAS. Nous avons pu localiser les zones à risque de débordement sur un tronçon de 11 km traversant la ville du nord au sud. Les résultats de simulation obtenus nous ont permis de choisir les variantes de protection adéquates correspondant à chaque zone constituant le tronçon.

Mots Clés : bassin versant, crue, Oued Biskra, débit, simulation, HEC-RAS.

Abstract :

Our study is part of the protection of the city of Biskra against floods created by design flood. First we will start with describing all the features of the study area and we mention some of catastrophic events that hit the city, then, we proceed to a very detailed hydrological study that summarizes the morphological aspects of the rainfall of the watershed feeding Oued Biskra, after we will search of the pic of discharge with which we started the simulation of a centennial flood using the code HEC-RAS. We were able to locate the areas at risk of overflow on a stretch of 11 km crossing the city from north to south. The obtained simulation results helps us to choose the appropriate protection variants corresponding to each zone of the Oued.

Key words : watershed, flood, Oued Biskra, discharge, simulation, HEC-RAS.

ملخص :

هذه الدراسة تندرج ضمن حماية مدينة بسكرة ضد الفيضانات الناجمة عن ارتفاع منسوب المياه الاستثنائي في وادي بسكرة. في بادئ الأمر قمنا بتقديم ووصف خصائص منطقة الدراسة مع ذكر بعض الأحداث الكارثية التي عرفتها مدينة بسكرة، ثم أتبعناها بدراسة هيدرولوجية مفصلة للمنطقة ملخصين فيها الخصائص المورفولوجية والتساقط للحوض هيدرولوجي الذي يغذي وادي بسكرة، ثم قمنا بعدها بحساب التدفق الأعظمي الذي من خلاله يمكننا الانتقال إلى مرحلة المحاكاة باستعمال برنامج HEC-RAS. الذي مكنا من تحديد المناطق المهددة بالفيضانات على طول الوادي المقدر بـ 11 كلم الذي يعبر المدينة من الشمال الى الجنوب مقسما هذه الأخيرة إلى نصفين متباينين. نتائج المحاكاة المحصل عليها مكنتنا من اختيار طرق الحماية المناسبة لكل منطقة مهددة بخطر الفيضانات.

الكلمات المفتاحية : حوض هيدرولوجي، فيضانات، وادي بسكرة، التدفق، محاكاة، HEC-RAS.