



Université Batna 2 – Mostefa Ben Boulaïd
Faculté de Technologie
Département d'hydraulique



Thèse

Présentée pour l'obtention du diplôme de :

Doctorat en Sciences en hydraulique

Option : Hydraulique

Sous le Thème :

Modélisation des inondations en Algérie.

Cas de la ville de Biskra Sud Est algérien.

Présentée par :

BOUMESSENEGH Amel

Devant le jury composé de :

M Tebbi Fatima zohra
Mme Dridi Hadda
M. Berhail Sabri
M. Keblouti Mehdi

MCA
Prof.
MCA
MCA

Université de Batna 2
Université de Batna 2
Centre universitaire de Mila
Centre universitaire de Mila

Président
Rapporteur
Examineur
Examineur

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Résumé

L'objectif principal de cette étude est de développer une politique en plusieurs étapes pour protéger la ville de Biskra contre les crues exceptionnelles de l'Oued Biskra.

Dans un premier temps, les caractéristiques de la région d'étude sont examinées, y compris les catastrophes passées liées aux inondations dans la ville. Cette analyse permet de bien comprendre le contexte et les enjeux spécifiques à Biskra.

Ensuite, une étude hydrologique complète est menée afin d'analyser en détail le bassin versant alimentant l'Oued Biskra. Pour ce faire, le modèle hydrologique HEC-HMS est utilisé pour simuler les crues de l'Oued Biskra avec différents intervalles de retour, offrant ainsi une compréhension approfondie des dynamiques des inondations potentielles.

Enfin, le modèle hydraulique HEC-RAS est employé pour localiser les zones à risque de débordement de l'Oued Biskra à travers la ville.

Ces résultats permettent de planifier des actions de prévention et de gestion des crises, telles que l'amélioration des systèmes de drainage, la mise en place de systèmes d'alerte précoce et la sensibilisation de la population aux risques d'inondation.

En utilisant des données précises et des analyses rigoureuses, il est possible de mettre en œuvre une politique de gestion des inondations qui protège efficacement la ville de Biskra et qui est adaptée aux particularités de chaque zone à risque, assurant une réponse rapide et adéquate face aux crues exceptionnelles de l'Oued Biskra.

Mots clés : Inondation, hydrologie, Oued Biskra, protection, HEC-HMS, HEC-RAS.

Abstract

The main aim of this study is to develop a multi-stage policy to protect the city of Biskra against exceptional flooding from the Oued Biskra.

As a first step, the characteristics of the study region are examined, including past flood-related disasters in the city. This analysis provides a clear understanding of the context and issues specific to Biskra.

Next, a comprehensive hydrological study is carried out to analyze in detail the watershed feeding Oued Biskra. To this end, the HEC-HMS hydrological model is used to simulate Oued Biskra floods with different return intervals, providing an in-depth understanding of potential flooding dynamics.

Finally, the HEC-RAS hydraulic model is used to locate areas at risk of overflow of the Oued Biskra across the city.

These results enable us to plan preventive and crisis management actions, such as improving drainage systems, setting up early warning systems and raising public awareness of flood risks.

By using accurate data and rigorous analysis, it is possible to implement a flood management policy that effectively protects the city of Biskra and is adapted to the particularities of each at-risk area, ensuring a rapid and adequate response to exceptional flooding of the Oued Biskra.

Key words: Flooding, hydrology, Oued Biskra, protection, HEC-HMS, HEC-RAS.

ملخص

يتمثل الهدف الرئيسي من هذه الدراسة في وضع سياسة متعددة المراحل لحماية مدينة بسكرة من الفيضانات الاستثنائية من وادي بسكرة. في البداية، يتم فحص خصائص منطقة الدراسة، بما في ذلك الكوارث السابقة المتعلقة بالفيضانات في المدينة. يوفر هذا التحليل فهماً جيداً للسياق والمشاكل الخاصة بمدينة بسكرة. بعد ذلك، يتم إجراء دراسة هيدرولوجية كاملة لتحليل منطقة مستجمعات المياه التي تغذي وادي بسكرة بالتفصيل. وللقيام بذلك، يتم استخدام النموذج الهيدرولوجي HEC-HMS لمحاكاة فيضانات وادي بسكرة بفترة عود مختلفة، مما يوفر فهماً متعمقاً لديناميكيات الفيضانات المحتملة. وأخيراً، يُستخدم النموذج الهيدروليكي HEC-RAS لتحديد المناطق المعرضة لخطر فيضان وادي بسكرة في جميع أنحاء المدينة. وتتيح هذه النتائج إمكانية التخطيط لإجراءات الوقاية وإدارة الأزمات، مثل تحسين أنظمة الصرف الصحي وإنشاء أنظمة الإنذار المبكر وزيادة الوعي العام بمخاطر الفيضانات. وباستخدام البيانات الدقيقة والتحليل الدقيق، يمكن تنفيذ سياسة إدارة الفيضانات التي تحمي مدينة بسكرة بشكل فعال ومصممة خصيصاً لتتناسب مع السمات المحددة لكل منطقة من مناطق الخطر، مما يضمن استجابة سريعة ومناسبة للفيضانات الاستثنائية التي يشهدها وادي بسكرة.

الكلمات المفتاحية: الفيضانات ، الهيدرولوجيا ، واد بسكرة ، الحماية ، HEC-HMS ، HEC-RAS.

Publications de la thèse

● Publications internationales

1. Amel Boumessenegh et Hadda Dridi (2021) ont mené une étude sur la prédétermination des débits de crue à l'aide de différentes méthodes dans le bassin versant de l'Oued Biskra dans le nord-est de l'Algérie. L'étude a été publiée dans le Journal of Modeling Earth Systems and Environment, et peut être consultée via ce DOI : <https://doi.org/10.1007/s40808-021-01151->

● Communications internationales

1. Amel Boumessenegh et Hadda Dridi ont présenté le thème des risques d'inondation urbaine la région de Biskra, Sud-Est Algérien, Le 1er congrès international sur l'Eau et son Environnement (ICWE'2022), déroulé du 25 au 26 septembre 2022 à Mascara, en Algérie. Leur présentation a porté sur une étude de cas d'une zone urbaine située au confluent de plusieurs rivières.
2. Amel Boumessenegh et Hadda Dridi ont présenté une communication intitulée "Modelling rainfall-runoff using HEC-HMS software in the sub-watershed of Oued El Hai (major watershed of the Biskra River)" lors de la Second International Conference on Geosciences & Environment (ICGSE2022) qui s'est tenue les 17 et 18 septembre 2022 à Mascara, Algérie. Leur présentation a porté sur l'application du logiciel HEC-HMS pour modéliser le processus de ruissellement pluvial, dans le BV de l' Oued El Hai, qui est un affluent majeur de la rivière Biskra.

● Communications nationales

1. En novembre 2016, Amel Boumessenegh et Hadda Dridi ont présenté une étude, lors du 1^{er} colloque national sur l'eau et l'environnement à Mila, Algérie. L'étude s'est concentrée sur la façon dont les villes urbaines font face au risque d'inondation, avec un focus particulier sur la ville de Biskra dans le Sud-Est algérien.
2. Lors du premier séminaire national sur les géorisques en Algérie en octobre 2021, Amel Boumessenegh et Hadda Dridi ont présenté une étude, qui visait à étudier et estimer les inondations dans l'Oued Biskra, dans le Sud-Est Algérien. L'objectif était de mieux gérer les risques des catastrophes.
3. En novembre 2021, dans le cadre du 1^{er} séminaire national sur l'eau, à Mila ; Amel Boumessenegh et Hadda Dridi, ont présenté une étude en utilisant le logiciel Hec Hms pour modéliser pluie-débit, dans le BV inférieur de Oued El Hai, qui fait partie du grand BV de Oued Biskra.

Remerciement

J'aimerais d'abord exprimer ma gratitude à Dieu pour m'avoir donné la santé, la force et la patience nécessaires pour terminer ce travail.

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude à ma Directrice de thèse, le Pr Dridi Hadda, pour son excellente direction et son encadrement tout au long de mes travaux de thèse. Je tiens à vous remercier chaleureusement pour votre disponibilité, vos conseils avisés, vos encouragements constants et vos qualités humaines remarquables. Travailler à vos côtés a été une expérience enrichissante tant sur le plan scientifique que sur le plan personnel. J'ai toujours apprécié nos discussions et bénéficié de vos conseils précieux. Sans votre soutien inestimable, je doute que ce travail aurait pu aboutir. Merci infiniment pour tout.

Je tiens également à exprimer ma gratitude envers le Professeur Mahdi Kalla, pour son aide précieuse et son soutien tout au long de cette période.

Je suis profondément reconnaissant envers le Professeur Houichi Larbi, pour sa constante présence à nos côtés, son soutien inébranlable, ses conseils avisés et ses encouragements qui ont été d'une importance capitale tout au long de mes études. Ses efforts et son dévouement ont grandement contribué à la réussite de ce travail, et je lui adresse mes plus sincères remerciements.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance envers le docteur Tebbi Fatima Zohra, pour son soutien inestimable, que je garderai à jamais en mémoire, ainsi que pour avoir accepté de superviser mon comité de révision de thèse. Ses conseils éclairés et son engagement ont été essentiels dans la réalisation de ce travail, et je lui suis profondément reconnaissante.

Je souhaite exprimer toute ma gratitude envers les docteurs Berhail Sabri et Mehdi Kablouti pour leur engagement volontaire au sein du comité d'examen, ainsi que pour leur étude minutieuse et leur examen approfondi de ma thèse.

Je tiens à exprimer ma gratitude spéciale envers mes collègues et amis enseignants du CUAB de Mila et l'université de Batna, pour leur soutien inconditionnel et leur fidélité, une aide qui restera gravée dans ma mémoire pour toujours.

Arrivé en fin de page, je tiens à remercier toutes les personnes (collègues ou autres) qui à leur manière se sont investies dans l'encadrement, le suivi et le soutien moral et matériel de la thèse. En un mot comme en cent: merci à tous !

Tables de matières

Remerciements	
Dédicace	
Résumé	
Publications de la thèse	
Table des matières	I
Liste des tableaux, figures, cartographies et des photographies	V
Liste des abréviations	XIII
Glossaire	XVI
Introduction générale	01
<u>Chapitre 1 : les inondations : définitions, typologie et ampleur...</u>	
I.1 Introduction	04
I.2. Inondation et typologie	04
I.2.1. Qu'est-ce qu'une inondation	04
I.2. 2 catégories des inondations	04
I.3. Témoignage à travers le monde	05
I.4. l'Algérie en face aux inondations	05
I.5 L'histoire des inondations à Biskra est un sujet important dans l'histoire de la ville	06
I.5.1 Inventaire des crues désastreuses en Algérie et à Biskra	09
Conclusion	15
<u>Chapitre 2 : l'aire d'étude un échantillon pour l'évaluation.</u>	
II.1 Introduction	16
II.2. Exposition générale de l'espace à l'étude	16
II .2.1. Présentation de la wilaya de Biskra	16
II.2.2 L'emplacement de la cité : Biskra	17
II.3 Etude de l'environnement naturel	18
II.3.1 Caractères générales du BV de l'oued Biskra	18
II.3.2 Informations géomorphologiques	20
II.3.3 Analyse des conditions physiques	20
II.3.3 .1 Contexte topographique	21
II.3.3.2 Contexte géologique	24
II.3.3.3 Une structure tectonisée combinée à une lithologie imperméable	25
II.3.3.4 Caractéristiques socio-économiques	27
II.3.3.5 Le couvert végétal	29
II.4 Une urbanisation anarchique et démesurée	30
Conclusion	33
<u>Chapitre 3 : Les facteurs climatiques et leurs variabilités.</u>	
Introduction	34
III.1 Climatologie	34
III.1.1 Acquisition des données	34
III.1.1.1 Critique des données	34
III. 1.1.2 La méthode de régression linéaire pour combler les lacunes d'observation	35
III.1.2 Analyse de l'homogénéité	37
III.1.2.1 Test de Wilcoxon	37

III.1.2.2 Test de Mann-Whitney.....	38
III.2 Analyse statistique des donnes pluviométriques.....	39
III.2.1 Recherche sur des précipitations moyennes annuelles.....	39
III.2.2 Etude des précipitations moyennes mensuelles.....	40
III.2.3 Pluies maximales journalières.....	41
III.2.3.1 Ajustement statistique des pluies journalières maximales.....	42
III.2.3.2 Pluies de courte durée I.D.F (courbes : intensité-durée-fréquence)	45
III.3 Données climatiques.....	51
III.3.1 Les températures.....	51
III.3.2 Les précipitations.....	52
III.3.3 Les vents.....	52
III.3.4 Le taux d'humidité relatif de l'air.....	53
III.4 Synthèse climatique.....	54
III.4.1 Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен.....	54
III.4.2 Climagramme d'Emberger.....	54
III.4.3 L'insolation.....	55
III.4.4 Indices climatiques.....	56
III.4.4.1 Indice d'aridité annuel.....	56
III.4.5 L'évapotranspiration.....	58
III.4.5.1 L'évapotranspiration potentielle (ETP)	58
III.4.5.2 Evapotranspiration réelle.....	61
III.6 Paramètres du bilan hydrologique.....	62
III.6.1 Calcul de ruissellement (R)	63
III-6-2 Calcul de l'infiltration	63
III-6-3 Le déficit d'écoulement.....	64
III-6- 3-1 Méthode de Coutagne.....	64
III.6.3-2 formule de Turc.....	64
Conclusion.....	65

Chapitre 4 : Etude hydrologique et hydrométrique.

Introduction.....	66
IV.1 Etude des débits.....	66
IV.1.1 Données hydrométriques.....	66
IV.1.1.1 Critique des données et homogénéisation.....	66
IV.1.2 Ecoulement moyen annuel et ses nuances.....	66
IV.1.2.1 Homogénéisation des séries des débits.....	67
IV.1.2.2 Evaluation de l'écoulement avec les formules empiriques.....	68
IV.2 Variations des débits annuelles.....	70
IV.3 Evaluation de l'écoulement avec les données de mesure.....	71
IV.4 Le bilan hydrologique et le déficit d'écoulement	73
IV.5 Evolution interannuelle des débits.....	74
IV.5.1 Indices centrés réduits.....	74
IV.5.2 L'indice d'hydraulicité et la variabilité interannuelle de l'écoulement.....	74
IV.6 Analyse statistique des apports liquides.....	76
IV.7 Etudes des débits mensuels.....	79
7.1 Approche classique du régime : Méthode des CMD.....	81

IV.8 Les apports solides.....	82
IV.8.1. Evaluation du transport solide par les formules empiriques.	83
IV.8.1.1- Formule de SOGREAH (1969).....	83
IV.8.1.2- Formule de Tixeront (1960)	83
IV.8.1.3- Formule de Fournier (1960)	84
Conclusion.....	85

Chapitre 5: Etude des crues de Oued Biskra.

Introduction.....	86
V.1 Les débits maximums annuels : Les crues.....	86
V.1.1 Les variations spatio-temporelles des débits maximums.....	86
V.2 Calcul du Temps de Concentration.....	86
V.2.1 La formule de GIANDOTTI (Sud Italie 1937)	86
V.2.2 La formule de SOKOLOVSKY.....	86
V.2.3 La formule de KIRPICH.....	87
V.2.4 La formule PASSINI: in MUSY, 1998.....	87
V.2.5 La formule de VENTURRA.....	87
V.2.6 La formule de L'ANRH : (SOGREAH 1986/1989)	87
V-2-7 La formule de SCS (Soil Conservation Service)	88
V.3 Vitesse de ruissellement.....	88
V-4 Calcul du débit de pointe pour les différentes fréquences.....	89
V.4.1 Formules empiriques les plus utilisées en Algérie (Transformation pluie débit)	89
V.4.1.1 Formule de Mallet Gauthier.....	89
V.4.1.2 Formule de TURRAZA.....	89
V.4.1.3 Formule de SOKOLOVSKI (1958-1968)	90
V-4-1-4 Formule d'ALEXEEV.....	90
V-4-1-5 Formule de GIANDOTTI.....	91
V-4-1-6 Formule de POSSENTI.....	91
V-4-1-7 formule de SAMI.....	91
V.4.1.8 Formule Méthode rationnelle.....	91
V-4-1-9 Formule de Burkli-Ziegler.....	92
V.4.2 Estimation des crues maximales annuelles par les données de mesure (analyse statistique)...	92
V.4.2.1 Histogramme de fréquence.....	95
V.4.2.2 Ajustement à la loi de Gumbel.....	97
V.4.3. Méthode impliquant la connaissance des précipitations.....	101
V.4.3.1 Méthode du Gradex.....	101
V.4.3.2 Hydrogramme de crue.....	118
V.4.3.2.1 Hydrogramme des crues par la méthode de Sokolovsky.....	118
V.4.3.2.2 Détermination du volume de la crue.....	118
Conclusion.....	129

Chapitre 6: Application du modèle HEC-HMS sur le BV de O.Biskra.

Introduction.....	130
VI.1 La description du modèle HEC-HMS.....	130
VI.1.1 Etapes d'une simulation avec HEC-HMS.....	130
VI.1.2 Modélisation du bassin versant.....	131

VI.2 Banque de données nécessaire à l'application de simulation avec HEC-HMS.....	131
VI.2.1 Choix technique du modèle.....	132
VI.2.2 Raisons du choix du modèle	132
VI.2.3 La fonction de production : la fonction utilisée est celle de type NRCS CN.....	132
VI.2.3.1 Le concept de base.....	132
VI.2.4 Calcul des paramètres de la modélisation.....	133
VI.2.4.1 Calcul de CN.....	133
VI.2.4.2 débits des averses de différentes périodes de retour par HEC HMS.....	139
VI.3 Résultat de la simulation.....	140
VI.3.1 Comparaison entre le débit observé et le débit simulé.....	143
Conclusion et recommandation.....	144

Chapitre 7 : Cartographie des zones inondables par HEC RAS.

Introduction.....	145
VII.1. l'état de oued Biskra suite à la crue 20 octobre 2008.....	145
VII.2. Choix du type de modèle hydraulique.....	146
VII.3. Présentation du logiciel HEC-RAS.....	146
VII.3.1. Banque de données nécessaires à l'application du modèle HEC RAS.....	146
VII.3.2. Les étapes d'utilisation du modèle hydraulique HEC RAS.....	146
VII.3.3. Préparation des données topographiques.....	147
VII.3.3.1 Les données géométriques.....	148
VII.3.3.2 Le choix des valeurs de rugosité de Manning.....	150
VII.3.3.3 Evaluation des pertes de contraction et d'expansion.....	153
VII.3.4 Choix des paramètres hydrométriques et conditions aux limites.....	153
VII.4. Lancement de la simulation.....	154
VII.5. Visualisation des résultats.....	154
VII.5.1.1 Délimitation des zones inondables sur oued Biskra pour T=100 ans.....	156
VII.5.1.2 Délimitation des zones inondables sur oued Biskra complémentaire pour T=100 ans...	161
VII.5.1.3 Délimitation des zones inondables sur oued El Hai pour T=100 ans.....	163
VII.5.1.4 Délimitation des zones inondables sur oued Djemoura pour T=100 ans.....	165
VII.5.2 .1 Délimitation des zones inondables sur oued Biskra pour T=1000 ans.....	169
VII.5.2 .2 Délimitation des zones inondables sur oued Biskra complémentaire pour T=1000 ans.	172
VII.5.2 .3 Délimitation des zones inondables sur oued El Hai pour T=1000 ans.....	174
VII.5.2.4 Délimitation des zones inondables sur oued Djemoura pour T=1000 ans.....	176
VII.6 Interprétations des résultats.....	178
VII.7. L'importance de la cartographie des inondations.....	179
Conclusion.....	181

Chapitre 8 : Les travaux d'aménagement et les moyens de protections proposées.

Introduction.....	182
VIII.1 Proposition des solutions d'aménagement pour la zone d'étude.....	182
VIII.2 Solution pour la crue centennale (période de retour 1/100)	183
VIII.2.1 Surélévation du premier pont busé de la ville sur pieu.....	183
VIII 2.2 Recalibrer le lit de l'oued.....	184
VIII 2.3 Protection des berges.....	184

VIII.3. Solution pour la crue millénaire (période de retour 1/1000)	185
VIII.4. Développement d'un espace de plaisance ou de parcs d'attractions.....	190
Conclusion.....	194
Conclusion générale.....	195
Références bibliographiques.....	198

Annexes

Annexe 1 / Régression basée sur l'analyse par composante principales (ACP).....	202
Annexe 02/ Ajustement des Pjmax à la loi de Gumbel stations Biskra, Menaâ, Batna, Bouzina, Djemoura et El Kantara (1968/2014).....	203
Annexe 03/ Pluie de courte durée (mm) stations de Djemoura El Kantara et Menaâ.....	205
Courbes Hauteurs – durées – Fréquences (H.D.F) stations de Djemoura El Kantara et Menaâ.....	205
Tableau : Intensité des pluies I pour stations de T'kout, Batna, Bouzina et Biskra.....	206
Courbes Intensité – Durée – fréquence (IDF) stations de Djemoura El Kantara et Menaâ.....	206
Annexes 4/ débit moy annuel, indice centré réduit coef d'hydraulicité, Débit spécifique.....	207
Annexe 05/ Débits journaliers des crues de l'oued El Hai et Djemoura.....	209
Annexe 6/ Valeurs de CN dans les tables	210
Annexe 7/ Hydrogramme de crue du sous B.V de O. Djemoura (10,50 et 1000 ans.....)	211

Liste des tableaux, figures, cartographies et des photographies

Chapitre 1 : les inondations : définitions, typologie et ampleur...

Numéro	Intitulé	Page
<u>Liste des tableaux</u>		
	Tableau I.1. Récapitulation des inondations en Algérie et la ville de Biskra de 1969 et 2021.....	08
<u>Liste des cartographies</u>		
	Carte I.01. Nombre total des inondations à travers le monde de 1974 à 2003.....	05
<u>Liste des photographies</u>		
	Photo I.01. Vues anciennes de l'oued Sidi Zerzour (1969).....	07
	Photo I.02. Crues d'oued Biskra d'Avril 2005.	07
	Photo I.03. Biskra : inondations du 07-10-2010.....	07
	Photo I.04. Inondation à Biskra le 25 mars 2015.	08
	Photo I.05. Biskra : inondations du 07 Mai 2021.....	08

Chapitre 2 : l'aire d'étude un échantillon pour l'évaluation.

Liste des tableaux

Tableau II.01 Les caractéristiques hydrographiques et morphométriques du BV de O.Biskra.....	22
Tableau II.02 : La densité démographique de la ville de Biskra en 2008.	28
Tableau II.03.Le découpage administratif avec la superficie et la population (2015).	29

Liste des cartographies

Carte. II.01. Emplacement géographique de la wilaya de Biskra	17
Carte. II.02 : Répartition administrative de la wilaya de Biskra en 1974.	17
Carte. II.03. Carte de localisation géographique de la cité de Biskra.	18
Carte. II.04. Aperçu du bassin versant de l'Oued Biskra.....	19
Carte. II.05. Réseau hydrographique du BV de O. Biskra.....	22

Carte. II.06. Hypsométrie du BV de oued Biskra.....	23
Carte. II.07. Pentés du BV de oued Biskra.....	24
Carte. II.08. Géologique du BV de oued Biskra.	25
Carte II.09. Formations lithologiques du bassin versant de O.Biskra.....	26
Carte II.10. Perméabilité du bassin versant de O.Biskra.	27
Carte. II.11. la population et la densité de la wilaya de Biskra.....	28
Carte. II.12 : carte de végétation du bassin de oued Biskra.....	30
Carte .II.13 : Extensions à l'époque turque 1541-1680-1862.....	31
Carte. II.14. Extension urbaine de la ville de Biskra entre 1962 et 1995.....	31
Carte. II.15. Extension urbaine de la ville de Biskra entre 2005 et 2008.....	32
Carte. II.16. Les axes structurants de la ville de Biskra 2015.....	32
Carte. II.17. La ville de Biskra actuellement.....	33

Liste des figures

Fig. II.01. Section géologique des éléments de terrain de la région.....	20
Fig. II.02. La région de Biskra en relief à travers un satellite.....	20
Fig. II.03. Coupe topographique de Biskra et oued Biskra.....	21

Chapitre 3 : Les facteurs climatiques et leurs variabilités

Liste des tableaux

Tableau III.01 Coordonnées des stations pluviométriques et leurs codes.....	34
Tableau III.02 Analyse descriptive de la station Batna.....	37
Tableau III.03 Test de Wilcoxon signé / Test bilatéral.....	37
Tableau III.4 Statistiques descriptives station de Biskra.....	39
Tableau III.5 Test de Mann-Whitney / Test bilatéral.....	39
Tableau III.6: Précipitations moyennes annuelles (1974-2013)	39
Tableau III.7 : Précipitations moyennes mensuelles (1968 à 2014)	40
Tableau III.08: Les précipitations maximales journalières (station de Djemoura)	41
Tableau III.09 Résultats d'analyse statistique descriptive Pjmax fréquentielles.....	43
Tableau III.10 : l'exposant climatique pour les quatre stations pluviométriques de l'oued Biskra..	46
Tableau III.11 : Pluie de courte durée (mm) stations de T'kout, Batna, Bouzina et Biskra.....	47
Tableau III.12 : Intensité des pluies I pour stations de T'kout, Batna, Bouzina et Biskra.....	49
Tableau III.13. Températures moyennes mensuelles durant la période 2009-2018.....	51
Tableau III.14. Précipitations moyennes mensuelles (2009 – 2018).....	52
Tableau III.15. Vitesse moyenne mensuelle du vent durant la période 2009-2018.....	52
Tableau III.16. Humidité moyenne mensuelle durant la période 2009-2018.....	53
Tableau III.17. L'ensoleillement moyen mensuel à la station de Biskra (2009/2018).....	55
Tableau III.18 : Indice de l'aridité station de Biskra.....	57
Tableau III.19: L'indice d'aridité mensuel (a) de Martonne à la station de Biskra (2009/2018).....	58
Tableau III.20 : Coefficient correctif " K _r ".....	58
Tableau III.21 : Evolution du coefficient correctif mensuel" K _m ".....	59
Tableau III.22 : Coefficients d'évaluation des durées théoriques d'insolation.....	59
Tableau III.23 : Valeurs moyennes de K _m (H-187).....	60
Tableau III.24: Evapotranspirations moyennes mens station Biskra par la formule ANRH	60
Tableau III.25 : ETP moyen mensuel par Thornthwaite station de Biskra (2009/2018).....	60
Tableau III.26: Evapotranspiration réelle et écoulement moy ann la station Biskra (2009/2018)....	62

Tableau III.27 : paramètres et calcul du ruissellement par la méthode de Tixeront –Berkaloff.....	63
Tableau III.28: paramètres et calcul de l'infiltration.....	64
Tableau III.29 : paramètres et calcul du déficit par les méthodes de Coutagne et Turc.....	64

Liste des cartographies

Carte III.01 .Emplacement des stations pluviométriques et hydrométriques du bassin versant.....	35
---	----

Liste des figures

Fig. III.01. Régression linéaire simple à l'échelle mensuelle station Menaâ –Biskra.....	36
Fig. III.02. Régression linéaire simple à l'échelle mensuelle station T'kout –Biskra.....	36
Fig. III.03 Variations des précipitations moyennes annuelles à la station de Biskra (1974-2013).....	40
Fig. III.04. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles Station de Biskra 0(1968/2014).....	41
Fig. III.05. Variabilité des pluies maximales journalières station de Djemoura (1968/2014).....	42
Fig. III.06. Histogramme des précipitations maximales journalières station de T'kout. (1968/2014).....	43
Fig. III.07. Histogramme des Pjmax Biskra, Menaâ, Batna, Bouzina, Djemoura et El kantara (1968/2014).....	45
Fig. III.08. Ajustement des Pjmax à la loi de Gumbel station de T'kout (1968/2014).....	45
Fig. III.09. Courbes (H.D.F) stations de T'kout, Batna, Bouzina et Biskra.....	48
Fig. III.10. Courbes (IDF) stations de T'kout, Batna, Bouzina et Biskra.....	50
Fig. III.11. Répartition des températures moyennes mensuelles à la station de Biskra (2009/2018).....	51
Fig. III.12. Variation des précipitations moyennes mensuelles (2009/2018) station de Biskra.....	52
Fig. III.13. Vitesses du vent moyennes mensuelles station de Biskra (2009/2018).....	53
Fig. III.14. Humidité moyennes mensuelles station de Biskra (2009/2018).....	53
Fig. III.15. Diagramme Ombrothermique de Bangouls et Gaussen (2009- 2018) à Biskra.....	54
Fig. III.16. Localisation de la région de Biskra sur le Climagramme d'Emberger (2009-2018).....	55
Fig. III.17. Digramme d'ensoleillement moyen mensuel à la station de Biskra (ONM).....	56
Fig. III.18. Abaque de MARTONNE.....	57
Fig. III.19. Evolution de l'ETP, d'après Thornthwaite.....	61
Fig. III.20. Abaque de Wundt appliqué à la station de Biskra, Période 2009/2018.....	62

Chapitre 4 : Etude hydrologique et hydrométrique.

Liste des tableaux

Tableau IV.1 : Statistiques descriptives station d'El Kantara (1968-1995).....	67
Tableau IV.2 : Test de Wilcoxon signé / Test bilatéral.....	67
Tableau IV.3 : Statistiques descriptives station de Djemoura (1972/1993).....	67
Tableau IV.4 : Test de Wilcoxon signé / Test bilatéral.....	67
Tableau IV.5 : La lame moyenne annuelle écoulée et l'apport moyen annuel (Estimation d'après les formules empiriques)	68
Tableau IV.6. Le calcul des débits moyens annuels, par les différentes formules empiriques pour les deux stations hydrométriques.....	69
Tableau IV.7. Débit moyen annuel observé, débit annuel selon la formule de Sami pour le bassin de l'oued Djemoura.....	69
Tableau IV.8 : Débit moyen annuel observé, débit annuel selon la formule de Sami pour le pour le bassin de l'oued El Hai.....	69
Tableau IV.9 : Débits absolus, débits spécifiques et la lame d'eau écoulée dans les deux stations hydrométriques.....	72

Tableau IV.10 : Le bilan hydrologique moyen annuel de l'écoulement stations d'El Kantara et Djemoura.....	73
Tableau IV.11. Résultat de la statistique Test d'adéquation test χ^2 , pour les deux stations hydrométriques.....	77
Tableau IV.12 : Résultats de l'ajustement à la loi Gumbel (Station Djemoura).....	77
Tableau IV.13 : Estimation des caractéristiques statiques des débits moyen annuels Station Djemoura.....	77
Tableau IV.14 : Résultats de l'ajustement à la loi Gumbel (Station d'El Kantara)	
Tableau IV.15: Estimation des caractéristiques statiques des débits maximums annuels Station d'El kantara.....	78
Tableau IV.16 : Débits moyens mensuels (m^3/s), station El Kantara (1968-1995).....	79
Tableau IV.17 : Débits moyens mensuels (m^3/s), station Djemoura (1972/1993).....	80
Tableau IV. 18 : Moyenne,écart-type, coefficient de variation et coef moyen des débits (1972-1994).....	81
Tableau IV.19: Coefficient déterminant de la perméabilité des terrains.....	83
Tableau IV.20 : Récapitulatif des résultats de calcul de l'apport solides pour le bv de O Biskra et son ensemble	84
Tableau IV. 21: Récapitulation des résultats obtenus par la formule de Tixeront.....	85

Liste des figures

Fig. IV.01. Les variations annuelles des débits moyens de l'oued Djemoura (1972/1993).....	70
Fig. IV.02. Les variations annuelles des débits moyens de l'oued El Hai (1968/1995)	71
Fig. IV.03. Variation interannuel des indices variables réduits des débits de la station d'El Kantara et Djemoura.....	74
Fig. IV.04. Variation interannuelle des indices d'hydraulicité débits annuels pour la station de Djemoura.....	75
Fig. IV.05. Variation interannuelle des indices d'hydraulicité débits annuels pour la station d'El Kantara.....	76
Figure IV.06. Ajustement graphique des débits moyens annuels pour la station de Djemoura.....	78
Fig. IV.07. Ajustement graphique des débits moyens annuels pour la station d'El Kantara.....	79
Fig. IV.08. Variation mensuels des débits moyens de l'oued El Hai (1986/1995)	80
Fig. IV.09. Variation mensuels des débits moyens de l'oued Djemoura (1972/1993)	80
Fig. IV.10. Courbes des coefficients mensuelles des débits de oued El Hai.....	82
Fig. IV.11. Courbes des coefficients mensuelles des débits de oued Djemoura.....	82

Chapitre 5: Etude des crues de Oued Biskra.

Liste des tableaux

Tableau V.01 : Estimation du temps de concentration (t_c , heures) BV oued Biskra.....	88
Tableau V.02 : Coefficient de ruissellement en fonction de la période de retour.....	90
Tableau V.03 : f en fonction de γ	90
Tableau V.04 : Estimation de $Q_{max,F}$ (Formules empiriques). Station El Kantara.....	92
Tableau V.05 : Résultats obtenus par la méthode rationnelle Station El Kantara.....	92
Tableau V.06 : Résultats obtenus par la formule de Burkli-Ziegler Station El Kantara.....	93
Tableau V.07: Estimation de $Q_{max,F}$ (Formules empiriques). Station Djemoura.....	93
Tableau V.08 : Résultats obtenus par la méthode rationnelle Station Djemoura.....	93
Tableau V.09 : Résultats obtenus par la formule de Burkli-Ziegler Station Djemoura.....	93
Tableau V.10 : Débits de crues bassin de l'oued Biskra et le sous BV de O Biskra complé.....	94

Tableau V.11 : Débits de crues pour le bassin de l'oued Biskra et son ensemble.....	94
Tableau V.12 : Statistiques descriptives station D'El Kantara.....	95
Tableau V.13 : Statistiques descriptives station de Djemoura.....	96
Tableau V.14 : Les résultats d'ajustement à la loi de Gumbel station El Kantara.....	99
Tableau V.15: Les résultats d'ajustement à la loi de Gumbel station de Djemoura.....	99
Tableau V.16: Débits de crues pour le bassin de l'oued Biskra et ses sous bassins versants.....	100
Tableau V.17 : Résultats d'ajustement des précipitations maximales journaliers annuelles Oued El Hai à la station d'El Kantara.....	102
Tableau V.18 : Résultats d'extrapolation des débits (méthode de Gradex) Oued El Hai à la station d'El Kantara.....	104
Tableau V.19 : Résultats d'ajustement des précipitations maximales journaliers annuelles Oued Djemoura à la station de Djemoura.....	106
Tableau V.20: Résultats d'extrapolation des débits (méthode de Gradex) Oued Djemoura à la station de Djemoura.....	108
Tableau V.21: Résultats d'ajustement des précipitations maximales journaliers annuelles de Oued Biskra à la station de Biskra.....	109
Tableau V.22: Résultats d'extrapolation des débits (méthode de Gradex) de Oued Biskra à la station de Biskra.....	111
Tableau V.23 : Résultats d'ajustement des précipitations maximales journalières annuelles Oued Biskra complémentaire à la station de T'kout.....	113
Tableau V.24 : Résultats d'extrapolation des débits (méthode de Gradex) Oued Biskra complémentaire à la station de T'kout.....	115
Tableau V.25 : débits de pointes par la méthode de Gradex BV de oued Biskra et ses sous BV.....	117
Tableau V-26 : Estimation du volume des crues de oued Biskra.....	119
Tableau V-27: Hydrogrammes des crues fréquentielles de Oued Biskra.	120
Tableau V.28: Estimation du volume de crue de oued Biskra complémentaire.....	121
Tableau V.29 Hydrogrammes des crues fréquentielles de l'Oued Biskra complémentaire.....	122
Tableau V.30 : Estimation des volumes de crue de oued El Hai.....	123
Tableau V.31 : Hydrogrammes des crues fréquentielles de l'Oued El Hai.....	124
Tableau V.32 : Estimation du volume de crue de Oued Djemoura.....	126
Tableau V.33: Hydrogrammes de crue fréquentielles de Oued Djemoura.....	126
Tableau V.34 : Débits fréquents arrêtés pour les calculs.....	129

Liste des figures

Fig. V. 01. Débits de pointe du BV de oued Biskra et ses sous bassins versants.....	95
Fig. V. 02. Histogramme et box plot des débits maximum annuel pour la station d'El Kantara.....	96
Fig. V.03. Histogramme et box plot des débits maximum annuel pour la station Djemoura.....	97
Fig. V. 04. Ajustement des débits journaliers maximums à une loi de Gumbel station d'El Kantara.....	98
Fig. V. 05. Ajustement des débits journaliers maximums à une loi de Gumbel station de Djemoura.....	99
Fig. V.06. Débits des crues du BV de O. Biskra et ses SBV par analyse statistique Gumbel.....	100
Fig. V. 07. Graphe d'ajustement des pluies et la droite d'extrapolation des débits.....	102
Fig. V.08. Ajustement graphique pour les pluies et la droite d'extrapolation des débits de Oued El Hai à la station d'El Kantara.....	105
Fig. V.09. Ajustement graphique pour les pluies et droite d'extrapolation des débits de Oued Djemoura à la station de Djemoura.	109

Fig. V.10. Ajustement graphique pour les pluies et droite d'extrapolation des débits l'Oued Biskra à la station de Biskra.....	113
Fig. V.11. Ajustement graphique pour les pluies et la droite d'extrapolation des débits de Oued Biskra complémentaire à la station de T'kout.....	117
Fig. V.12. Débits des crues du BV de oued Biskra et ses sous bassins par la méthode de Gradex...	118
Fig. V.13. Hydrogrammes de crue fréquentielles de l'oued Biskra.....	121
Fig. V.14. Hydrogrammes de crue fréquentielles de l'oued Biskra complémentaire.....	123
Fig. V.15. Hydrogrammes des crues fréquentielles de oued El Hai.....	126
Fig. V.16. Hydrogrammes des crues fréquentielles de Oued Djemoura.....	128

Chapitre 6: Application du modèle HEC-HMS sur le BV de O.Biskra.

Liste des tableaux

Tableau VI.01: Valeurs des CN (Numéro de la courbe)	137
Tableau VI.02: Détermination de CN moyen pour le bassin versant de oued El Hai.....	138
Tableau VI.03: CN moyen pour le bassin versant de oued Djemoura.....	138
Tableau VI.04: CN moyen pour le bassin versant de oued Biskra complémentaire.....	139
Tableau VI.05: CN pour le bassin versant de oued Biskra.....	139
Tableau VI.06: Données de base du-bassin versant de O. Biskra et son ensemble.....	140
Tableau VI.07 : Hauteurs de pluies de différentes fréquences.....	140
Tableau VI.08. Valeurs simulées du débit et du volume le BV de O.Biskra, et ses SBV.....	143
Tableau VI.09. Les valeurs calculées par la formule empirique (skolovsky) du débit de pointe pour les averses quantiles.....	143

Liste des cartographies

Carte. VI.01. Carte des sols du bassin versant de la zone d'étude.....	135
Carte. VI.02. Carte d'occupation du sol du bassin versant de Oued Biskra.....	136
Carte. VI.03. Carte de la grille CN du bassin versant de O.Biskra.....	138

Liste des figures

Fig. VI.01. Vue de l'écran HEC-HMS.....	131
Fig. VI.02. Fenêtre du Bassin versant d'O. Biskra et les sous bassins versants.....	131
Fig. I.03. Les bassins versants drainants la ville de Biskra (dressés par Hec Hms)	134
Fig.VI.04. Hydrogramme de crue du sous B.V de O. Djemoura (période de retour 100 ans).....	141
Fig.VI.05. Hydrogramme de crue du sous B.V de O. El Hai (période de retour 100 ans).....	141
Fig.VI.06. Hydrogramme de crue du sous B.V de O. Biskra complé (période de retour 100 ans) ..	142
Fig.VI.07. Hydrogramme de crue du sous B.V de O. Biskra (période de retour 100 ans).....	142

Chapitre 7 : Cartographie des zones inondables par HEC RAS

Liste des tableaux

Tableau VII. 01 : Les valeurs de la rugosité du cours d'eau.....	150
Tableau VII.02: Valeur des coefficients d'expansion et de contraction utilisés par HEC-RAS.....	153
Tableau VII. 03 : Les valeurs des débits de points de oued Biskra et ses sous bv.....	154
Tableau VII. 04: Zones exposées aux risques d'inondation dans la ville de Biskra.....	181

Liste des cartographies

Carte. VII.01. Carte des zones inondables de oued Biskra (crue centennale)	157
Carte. VII.02. (a). La hauteur de submersion de la crue de oued Biskra T= 100 ans.....	158
Carte. VII.02. (b). Visualisation de la vitesse d'eau au cours de l'inondation de oued Biskra T= 100 ans.....	159
Carte. VII.02. (c). Etalement spatiale de l'inondation de oued Biskra T= 100 ans.....	160
Carte. VII.03. Carte des zones inondables oued Biskra complémentaire (crue centennale).....	161
Carte. VII.04. Visualisation des zones inondables de oued Biskra Complémentaire T= 100 ans.	162
Carte. VII.05. Carte des zones inondables oued El Hai (crue centennale)	163
Carte. VII.06. Visualisation des zones inondables de oued El Hai T= 100 ans.....	164
Carte. VII.07. Carte des zones inondables oued Djemoura (crue centennale)	165
Carte. VII.08. Visualisation des zones inondables de oued Djemoura T= 100 ans.....	166
Carte. VII.09. Carte des zones inondables oued Biskra (crue millénaire).....	169
Carte. VII.10. Visualisation des zones inondables de oued Biskra T= 1000 ans.....	171
Carte. VII.11. Carte des zones inondables oued Biskra complémentaire (crue millénaire).....	172
Carte. VII.12. Visualisation des zones inondables de oued Biskra Complé T= 1000 ans.....	173
Carte. VII.13. Carte des zones inondables oued El Hai (crue millénaire).....	174
Carte. VII.14. Visualisation des zones inondables de oued El Hai T= 1000 ans.....	175
Carte. VII.15. Carte des zones inondables oued Djemoura (crue millénaire).....	176
Carte. VII.16. Visualisation des zones inondables de oued Djemoura T= 1000 ans.....	177
Carte. VII.17. Carte de vulnérabilité aux inondations dans le bassin versant de oued Biskra.....	178
Carte. VII.18. Carte des risques d'inondations et vue en 3D de la ville de Biskra.....	180

Liste des figures

Fig. VII.01. Modèle numérique du terrain MNT du bassin versant de la O Biskra.....	147
Fig. VII.02. Fenêtre Ras Mapper.....	148
Fig. VII. 03. Bassin versant de oued Biskra sous HEC RAS.....	148
Fig. VII. 04. Open géométrie data de oued Biskra.....	149
Fig. VII.05. La géométrie du oued principal sous HEC-RAS.....	150
Fig. VII.06. Profil en travers sous HEC RAS ainsi que la répartition de Coefficient de Manning. (O.Biskra _O. Djemoura 12.86 km)	151
Fig. VII.07. Profil en travers sous HEC RAS ainsi que la répartition de coefficient de Manning.(O. Djemoura _O El Hai 17km).	151
Fig. VII.08. Profil en travers sous HEC RAS ainsi que la répartition de Coefficient de Manning. (O.Biskra avant l'entrée de la ville) 14,16 km.....	152
Fig. VII.09. Profil en travers sous HEC RAS ainsi que la répartition de Coefficient de Manning.(O.Biskra centre ville) 12.78 km.....	152
Fig. VII.10. Profil en travers sous- HEC RAS ainsi que la répartition de Coefficient de Manning. (O. El Hai) 49,23 km.....	153
Fig. VII.11. Profil en travers (O. Biskra) amont (100 ans).....	155
Fig. VII.12. Profil en travers (O. Biskra) centre ville (100 ans).....	155
Fig. VII.13. Profil en travers(O.Biskra Comp et Djemoura) (100 ans).	155
Fig. VII.14. Profil en travers O Djemoura _O El Hai. (100 ans).....	155
Fig. VII.15. Profil en travers (O. El Hai) (100 ans)	155
Fig. VII.16. Profil en long (O. Biskra) (100 ans).....	156
Fig. VII.17. Profil en long (O. Biskra complémentaire). (100 ans).....	156
Fig. VII.18. Profil en long (O. Djemoura). (100 ans)	156
Fig. VII.19. Profil en long (O El Hai). (100 ans).....	156

Fig. VII.20. Profil en travers (O. Biskra) amont (1000 ans.....)	167
Fig. VII.21. Profil en travers (O. Biskra) (1000 ans).centre ville.....	167
Fig. VII.22. Profil en travers (O.Biskra comp et Djemoura). (1000 ans).....	167
Fig. VII.23.Profil en travers O Djemoura _O El Hai. (1000 ans).....	167
Fig. VII.24. Profil en travers (O. El Hai) (1000 ans).....	168
Fig. VII.25. Profil en long (O. Biskra). (1000 ans).....	168
Fig. VII.26. Profil en long (O. Biskra comp). (1000 ans).....	168
Fig. VII.27. Profil en long (O. Djemoura). (100 ans).....	169
Fig. VII.28. Profil en long (O El Hai). (1000 ans).....	169

Liste des photographies

Photo VII.1.inondation de oued Biskra en 2008.....	145
--	-----

Chapitre 8 : Les travaux d'aménagement et les moyens de protection proposés

Liste des cartographies

Carte VIII.01.Aménagement d'oued Biskra traversant la ville par des murs de gabions en pierre.	185
Carte VIII.02. Vue générale des Aménagements proposés pour la crue centennale.....	185
Carte VIII.03. Positionnement des digues en amont de la ville.	186
Carte. VIII.04 .Digue sur oued Djemoura _oued Biskra complémentaire avec profil en travers. ...	187

Liste des figures

Fig. VIII.01. Digue sur oued Djemoura _oued Biskra complémentaire en 3D.....	187
Fig. VIII.02. Digue sur oued Djemoura _oued El Hai	188
Fig. VIII.03. Digue sur oued Besbes _oued Biskra complémentaire en 3D.	188
Fig. VIII.04. Digue sur Biskra complémentaire _oued Lafrah en 3D.....	189
Fig. VIII.05. Digue sur oued Biskra (Avant l'entrée de la ville).....	189
Fig.VIII.06. Espace De Plaisance sur oued Biskra.....	191

Liste des photographies

Photo. VIII.01 : Inondation oued Biskra 19 mai 2018.....	183
Photo. VIII.02. Ancienne digue sur oued El Hai (Tamarin)	190
Photo.VIII.03. Projets d'aménagements proposés du bord de vallée à Biskra 19/08/2021.....	192
Photo. VIII.04. Proposition d'espaces théâtraux et cinématographiques dans les espaces jouxtant l'Oued Sidi Zarzour	193
Photo VIII. 05. Aménagement des abords de l'Oued Sidi Zarzour en l'an 2016.....	193

Liste d'abréviations

AGIRE : Agence Nationale de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau.

ANRH : Archives de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, une organisation gouvernementale algérienne chargée de la gestion des ressources hydrauliques.

ANIRF : Agence nationale de régulation et d'intermédiation financière, agence algérienne chargée de réguler et gérer les transactions financières.

BV : Bassin versant, la zone de drainage naturelle d'un cours d'eau.

BMS : Bulletin météo spécial, un bulletin météorologique émis en cas de conditions météorologiques dangereuses ou inhabituelles.

CN : Curve Number, un indice utilisé pour estimer l'infiltration des précipitations dans le sol.

CNES : Centre national d'études spatiales.

CTC : Organisation de contrôle technique de la construction au niveau national, une organisation gouvernementale algérienne chargée de la régulation et de l'inspection des constructions.

D.P.A.T : Le service de planisme et d'aménagement du territoire de Biskra, une organisation gouvernementale algérienne chargée du domaine de la planification, et de l'aménagement du territoire, dans la région Biskra.

DSA : Direction services agricoles.

DSS : DATA STORAGE SYSTEM, un système particulier pour stocker des informations.

EM-DAT : Emergency Events Data base, une base de données mondiale sur les changements technologiques et naturels.

ENVI : Environment for Visualizing Images, un logiciel commercial de visualisation et de l'utilisation de la télédétection pour traiter les images.

ETP : Évapotranspiration potentielle.

Fc : Capacité d'infiltration ultime ou d'équilibre, le sol à la capacité d'absorber l'eau à son maximum.

HDF : Hauteur-Durée-Fréquence, une méthode statistique utilisée pour estimer la hauteur des précipitations en fonction de leur durée et de leur fréquence.

HEC : Hydrologic Engineering Center, un institut de recherche des États-Unis, se centralise sur la modélisation hydrologique.

HEC-GeoHMS: Extension ArcGIS pour HEC-HMS Hydrologic Engineering Center Géo-Spatial Hydrologic Modeling.

HEC-GeoRAS : Extension ArcGIS pour HEC-GeoRAS (plus prise en charge).

HEC-RAS : Le système d'analyse des rivières des centres d'études hydrographiques; utilisé pour simuler les écoulements, dans les rivières et les canaux.

H.P.E : Bureau d'études Hydro Projet Est de Constantine, une organisation algérienne spécialisée dans la recherche et la conception de projets hydrologiques.

HSGs : Hydrologic Soil Groups, une classification des sols selon leur capacité à absorber l'eau.

Ia : Pertes initiales, la partie des précipitations qui est retenue ou perdue avant de pénétrer dans le sol.

IDF : Intensité-Durée-Fréquence, méthode statistique pour le calcul de l'intensité des précipitations, en termes de temps et de fréquence.

IHACRES : Utilisez un modèle hydrologique, pour identifier les hydrogrammes unitaires, et les composants, à partir des données de précipitations, d'évaporation et de flux.

INRS-Eau : Une organisation canadienne spécialisée dans la recherche sur l'eau.

MAE : Erreur moyenne absolue (Mean Absolute Error), une mesure de l'exactitude d'un modèle.

MNT : Modèle de terrain numérique, une production numérique de la planimétrie d'une région spécifique.

NEE : Nationale de l'Eau et de l'Environnement.

NRCS : Natural Resources Conservation Service.

NSE : fait référence au coefficient de Nash-Sutcliffe, utilisé pour évaluer la précision des modèles hydrologiques.

O : Un oued.

ONEMA : Organisation française chargée de gérer l'eau, et de protéger les milieux aquatiques.

ONM : L'Office national de la météorologie, aussi connu comme Météo Algérie.

ORSEC : Organisation des secours d'origine, en 2006, Organisation des sécurités civiles en France.

PDAU : est l'abréviation des plans directeurs d'aménagements et d'urbanisme.

POS : Le projet d'occupation des terres, plan d'occupation des sols.

PPRN : Les plans naturels prévisibles sont des documents en France pour prévenir des risques.

R : Coefficient de corrélation, Détermination de la direction et de la force de la relation linéaire entre les variables.

RMSE : (erreur quadratique moyenne), indique la différence entre les valeurs révélées et prédites.

SBV : désigne un sous-bassin versant, une zone de drainage d'un cours d'eau.

SCS CN : est l'acronyme de Soil Conservation Service Curve Number, une méthode d'estimation de l'écoulement des eaux de pluie utilisée dans la modélisation hydrologique.

SCS UH : est l'acronyme de Soil Conservation Service Unit Hydrograph, une méthode de simulation des écoulements des pluies, pour la gestion des bassins versants.

SIG : Référence aux systèmes d'information géographique.

SHE : désigne le système hydrologique européen, un modèle simulant l'écoulement des pluies.

SRTM : signifie Shuttle Radar Topography Mission, une mission de la NASA qui a permis de créer un modèle altimétrique numérique de la Terre.

Tc : La durée mis par l'eau de pluie, afin de s'écouler d'un point donné jusqu'au point d'évacuation.

USACE : United States Army Corps of Engineers ou USACE, Une organisation gouvernementale américaine chargée de surveiller les projets de génie civil et militaire.

USGS : United States Geological Survey, Institut américain d'études géologiques.

Glossaire

Aléa : Probabilité et intensité spécifiques d'un phénomène naturel ou humain.

Crue : Augmentation temporaire du débit d'eau à l'aide d'un hydrogramme, une représentation graphique de l'évolution temporelle.

Enjeu : Groupe de personnes et biens susceptibles à l'impact d'un aléa naturel ou anthropique.

Honang HO : Le Fleuve Jaune, originaire de Koukounor, au Tibet, est une grande fleur chinoise.

Hydrogramme Représentation graphique de l'évolution de la dette d'écoulement d'eau dans le temps. notée $Q=f(t)$.

hyétogramme : Représentation graphique des précipitations en fonction du temps.

Jaugeage: opérations en mesure de débit de rivière.

La Würm : Fleuve Bavaros, affluent majeur de l'Amper, sous-affluent du Danube via l'Isar.

Un limnigramme : Représentation graphique du changement de hauteur d'eau au fil du temps, notée $H=f(t)$.

L'Indus : Le fleuve Asia sa source se trouve dans l'Himalaya, et se déverse dans la mer d'Oman., Il fait partie des sept rivières indiennes désignées comme sacrés.

La pédologie : Science étudiant la formation et l'évolution des sols.

La période de retour : La durée théorique moyenne est le temps entre deux événements.

L'USGS : L'agence gouvernementale américaine, focus sur les sciences de la Terre et la surveillance des séismes.

Le talweg : Ligne située entre les points les plus bas, située dans une vallée ou lit d'eau.

La vulnérabilité : Évalue les conséquences potentielles d'aléa sur les enjeux.

INTRODUCTION GENERALE

L'eau peut être à la fois un atout et un problème, car elle peut causer des pénuries ou des inondations.

Il est essentiel de gérer l'eau de manière responsable, car les inondations ont provoqué d'importantes pertes humaines et économiques, aggravées par le changement climatique.

Les inondations sont devenues l'une des pires catastrophes naturelles mondiales, entraînant le progrès économique et social.

Pour une gestion efficace des risques naturels, il faut prendre en compte à la fois les risques et les vulnérabilités, ainsi que les politiques de conservation dans les développements urbains. Le risque résultant de la combinaison de phénomènes naturels et de vulnérabilités socio-économiques, et il ne faut pas le confondre avec le simple aléa. Il est essentiel de comprendre comment les aléas deviennent des risques lorsqu'ils interagissent avec des enjeux socio-économiques.

Problème : La ville de Biskra a été touchée par de nombreuses inondations catastrophiques au fil des ans, notamment en 1963, 1964, 1969, 1971, 1975, 1976, 1977, 1978, et 1989. Ces inondations ont provoqué des dégâts graves, bloqué les routes et les systèmes de drainage, ainsi que des pertes en vies humaines. Les inondations ont continué à se produire en 1999, 2004, 2005, 2015, 2017, 2018, et d'autres années, entraînant des dégâts matériels importants et des pertes en vies humaines.

Il est essentiel de se souvenir de ces inondations passées, de se préparer aux futurs événements, de renforcer les mesures de protection de manière objective qui assurent la résilience de l'espace territorial concerné, et de mettre en place des plans d'intervention en cas de crise pour minimiser les impacts.

Méthode d'approche

Au cours de plus d'un siècle de recherches, de nombreuses études ont cherché à comprendre comment les écoulements se forment, notamment en étudiant le rôle du bassin versant dans la génération et la concentration des écoulements.

L'étude examine la vulnérabilité de Biskra face aux inondations, un problème jusqu'ici négligé. Pour atténuer ce risque, elle utilise des modèles pluie-débit, pour évaluer l'impact des changements climatiques, et du bassin versant sur l'écosystème.

Les données des sous-bassins sont utilisées pour gérer les ressources en eau, et créer des modèles hydrologiques. Ces méthodes permettent de prédire et de réduire les effets des inondations, renforçant ainsi la sécurité et la durabilité de la ville.

L'étude utilise le modèle HEC-HMS pour simuler les hydrogrammes de crues et estimer le ruissellement de surface, le volume d'eau, et les inondations dans le bassin de l'Oued Biskra.

Pour les calculs hydrauliques, la détection des zones inondables et la protection des cours d'eau, le logiciel HEC RAS est employé, adaptant la méthode en fonction des caractéristiques hydrauliques spécifiques de chaque zone. Cette approche vise à évaluer et gérer les risques d'inondation dans la région.

Cette thèse est structurée en huit chapitres principaux, qui intègrent des données et des modèles hydrologiques.

L'objectif de cette organisation est de formuler des mesures préventives destinées à sécuriser la ville de Biskra contre les inondations provoquées par les crues de l'Oued Biskra.

Chapitre 1 : les inondations : définitions, typologie et ampleur... se penche sur la classification des inondations et leurs impacts sur les populations et les biens.

Il cherche à expliquer l'origine et les caractéristiques des inondations, pour mettre en évidence leur nature déroutante et dommageable, se concentre principalement sur les enjeux et les vulnérabilités associées à ce phénomène à l'échelle mondiale, y compris en Algérie et à Biskra.

Il présente également un historique des inondations survenues à Biskra et en Algérie. Offre ainsi des informations utiles pour la planification et la mise en œuvre de mesures d'atténuation des risques dans ces zones spécifiques.

Chapitre 2 : l'aire d'étude un échantillon pour l'évaluation. Il est nécessaire d'identifier les caractéristiques essentielles, qui définissent le système hydrographique, en prenant en compte la zone d'étude dans sans contextes physiques (géomorphologiques, géologiques, socio-économiques), et socioéconomiques en tenant compte l'occupation des sols et de l'urbanisation de la région.

Chapitre 3 : Les facteurs climatiques et leurs variabilités. Ce chapitre met en évidence l'importance critique des conditions climatiques, en particulier des précipitations liquides, dans la régulation des cours d'eau. Il souligne l'influence significative de différents aspects des précipitations tels que leur répartition annuelle et mensuelle, leur total quotidien, et les averses à l'origine des crues.

Ces caractéristiques des précipitations subissent des ajustements en raison d'autres paramètres physiques (altitude et exposition) et climatiques, tels que la température, l'évaporation, l'évapotranspiration, les vents et l'humidité. L'impact combiné de ces facteurs influe directement sur l'écoulement et le régime hydrologique du bassin étudié.

Chapitre 4 : Etude hydrologique et hydrométrique. L'étude des écoulements annuels et de leur variation spatiotemporelle se concentre sur la quantité d'eau, qui s'écoule dans les cours d'eau au fil d'une année et sur la manière dont ces débits évoluent dans l'espace et le temps. Cela permet d'analyser les variations saisonnières, de comprendre les

fluctuations de débit d'une année à l'autre. Cette analyse est cruciale pour la gestion durable des ressources en eau, la prévision des risques d'inondation, et la planification des activités humaines qui dépendent de ces écoulements.

Chapitre 5: Etude des crues de Oued Biskra. Ce chapitre se consacre à l'étude des inondations : à l'estimation des débits maximaux pour différentes fréquences, en utilisant diverses méthodes.

Parmi ces méthodes, on compte les approches empiriques telles que les formules de Mallet Gauthier, Turraza, Sokolovski, Alexeev, Giandotti, Possenti, Sami, rationnelle et Burkli-Ziegler, adaptées à différentes périodes de retour.

Les résultats obtenus permettent de déterminer les volumes maximaux des crues. De plus, la schématisation de Sokolovsky est employée pour la modélisation et la simulation hydrologiques dans la zone d'étude.

Chapitre 6 : Application du modèle HEC-HMS sur le BV de Oued Biskra. L'utilisation du logiciel de modélisation HEC-HMS sur le bassin versant de l'Oued Biskra sera bénéfique pour notre étude.

Le but de ce chapitre est d'utiliser le modèle HEC HMS pour obtenir les débits de crue et leurs hydrogrammes, qui serviront de conditions aux limites dans l'étude hydraulique en utilisant le modèle HEC RAS par la suite.

Chapitre 7 : Cartographie des zones inondables par HEC RAS. Le modèle HEC-RAS, un modèle bidimensionnel de Saint-Venant utilisé en simulation hydrologique, est employé pour représenter avec précision la géométrie du terrain, en particulier pour concevoir des infrastructures de protection adaptées dans les zones à risque.

Chapitre 8 : Les travaux d'aménagement et les études de protection contre les inondations.

Le chapitre évoque de manière générale les travaux d'aménagement, et les études de protection contre les inondations dans le Bv de oued Biskra, et la ville elle-même.

Notre recherche étant menée dans le secteur d'aléa, car je ne suis pas spécialisé dans les problématiques des enjeux socio-économiques.



*Chapitre I : les inondations : définitions, typologie
et ampleur...*



I.1 Introduction

La crue se réfère à la montée du niveau d'un cours d'eau, d'un lac ou d'une rivière. C'est une augmentation temporaire du débit d'eau due à des facteurs tels que des pluies abondantes, la fonte des neiges ou d'autres sources d'apport d'eau. La crue peut être une partie normale du cycle hydrologique et ne devient un problème que si le débit atteint un niveau où il y a débordement.

Les caractéristiques d'une crue comprennent sa source, sa durée, sa fréquence, son débit de pointe (ou débit maximum) et son volume.

L'inondation survient lorsque la crue atteint un point critique, entraînant le débordement des eaux au-delà des limites normales du cours d'eau ou du bassin versant.

I.2. Inondation et typologie

I.2.1. Qu'est-ce qu'une inondation ?

Une inondation, originaire du terme latin "inundatio," désigne un recouvrement d'eau qui dépasse son lit ou des dépressions lorsqu'il y a un important débit, et un volume d'eau considérable.

Cette définition élargie, contrairement à celle couramment utilisée par les hydrologues, englobe des phénomènes classiques tels que le débordement de cours d'eau, indépendamment de facteurs tels que la structure ou l'activité.

Elle comprend également d'autres manifestations comme la montée des nappes phréatiques, et les débordements provoqués par des pluies intenses dans de petits bassins fluviaux. [01].

I.2.2 Catégories des inondations

Il existe trois catégories principales d'inondations dans la nature. Nous prendrons également en compte d'autres catégories spéciales.

- ✓ Les lentes inondations (également appelées inondations des plaines),
- ✓ Les inondations marines causées par la montée des eaux de la mer,
- ✓ Les inondations déclenchées par le ruissellement urbain,
- ✓ Les inondations résultant de la saturation du réseau d'assainissement des eaux pluviales,
- ✓ Les inondations produites par la remontée de la nappe,
- ✓ Et les débordements rapides,

I.2.3 Analyse du danger des inondations

L'évaluation du risque d'inondation repose sur deux éléments essentiels : l'aléa d'inondation et la vulnérabilité des biens exposés.

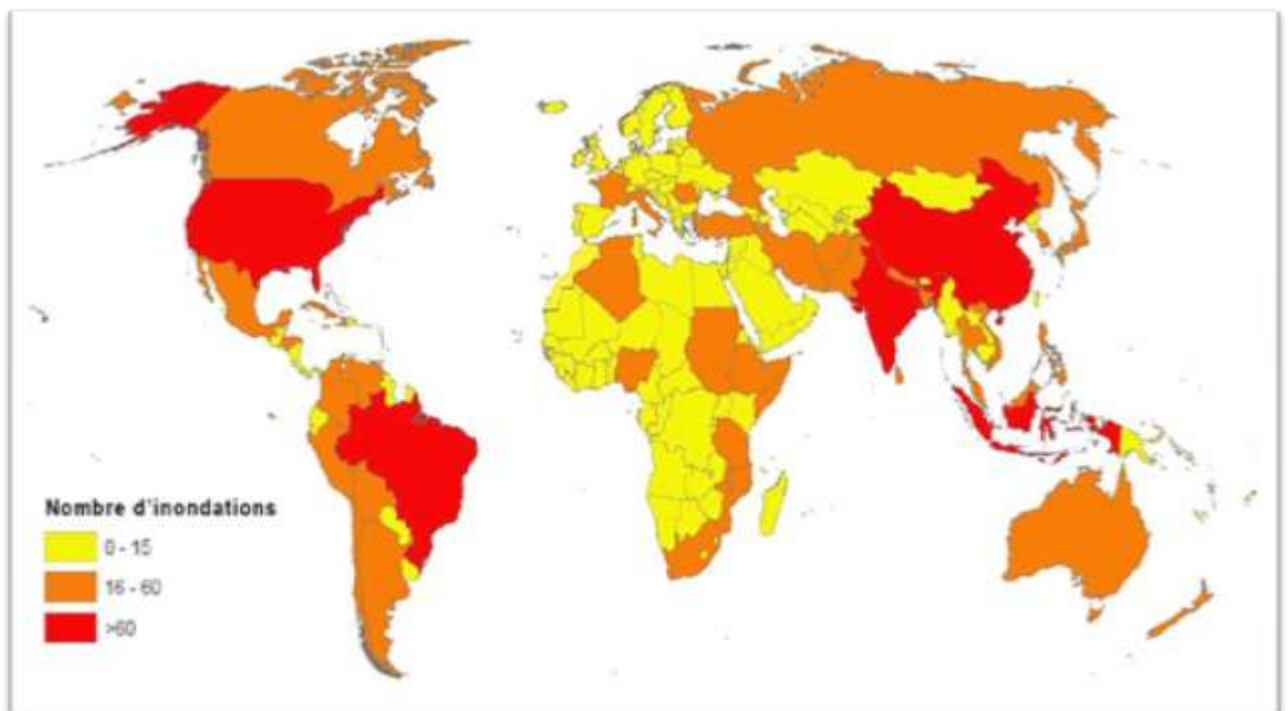
En conséquence, cette évaluation implique une évaluation approfondie, une estimation, une quantification, et une mesure de l'aléa, ainsi que la détermination, l'identification, et l'analyse de la vulnérabilité. Cela permet de comprendre la valeur du risque d'inondation.

En outre, de nombreuses avancées méthodologiques ont été réalisées ces dernières années dans la recherche sur les problèmes, leur référentiel précis et fiable, leur cartographie et leur hiérarchisation en fonction de leur vulnérabilité, y compris l'automatisation des processus de photographie aérienne. [02]

I.3. Témoignage à travers le monde

Les inondations sont parmi les phénomènes naturels les plus courants à travers le monde. Les régions les plus vulnérables, et les plus impactées se trouvent généralement dans de vastes plaines et les deltas des grands fleuves en Asie de l'Est et du Sud-Est, où elles peuvent causer des pertes humaines considérables et d'importantes pertes économiques (Carte I.01).

En conséquence, les inondations sont bien connues depuis longtemps, car les activités humaines les plus anciennes ont souvent été établies dans les régions touchées par ces phénomènes, notamment les régions du Nil, de l'Indus, de la Mésopotamie et les grandes plaines du nord et du centre de la Chine...



Carte I.01. Nombre total des inondations à travers le monde de 1974 à 2003 (Source EM-DAT).

La carte illustre que les inondations surviennent de manière régulière à travers le monde, présentant différents niveaux de risque, allant du faible au moyen et au grand.

I.4. L'Algérie en face aux inondations

Les pluies torrentielles provoquent des inondations graves à travers l'Algérie, qui semblent être plus meurtrières et dévastatrices, que celles dans d'autres régions méditerranéennes et mondiales.

Plusieurs inondations notables ont été enregistrées, telles que celles de 1994 et 2000, avec des pertes de vies humaines. D'autres inondations dues aux cours d'eau, ont également touché diverses régions, dont Alger en 2001, Skikda en 1984, Annaba en 1907, Béchar en 2007, Tindouf en 2006 et Biskra en 2008... [02].

Depuis 2015, l'Algérie a connu une faible pluviométrie pendant les saisons hivernales et printanières, à l'exception de la période de novembre 2017 à avril 2018, où les prélèvements ont dépassé la moyenne.

De plus, il est important de noter les inondations survenues dans la wilaya de Bordj Bou Arreridj en 2022 et en septembre 2023 dans l'Ouest de l'Algérie, notamment à Tipaza.

Les inondations représentent un obstacle significatif au progrès économique et social de l'Algérie, menaçant plusieurs régions géographiques, à la fois dans le Nord et le Sud du pays [03].

I.5 L'histoire des inondations à Biskra est un sujet important dans l'histoire de la ville

La ville de Biskra a connu plusieurs inondations de gravités diverses. En avril 1949, la rive droite de l'Oued a été gravement touchée par des inondations provoquées par un fort débit.

En 1970, les inondations ont provoqué le déversement direct de la rivière Biskra.

Depuis 1980, un nouveau type d'inondation est apparu en raison de problèmes d'infiltration, de drainage des sols, et de réseaux d'assainissement inadéquats pendant les pluies normales [04].

Au moins dix inondations se sont produites depuis 1980, provoquant d'importants dégâts. (Photos I.01, 02, 03 et 04).



Photo I.01. Vues anciennes de l'oued Sidi Zerzour (1969). (Source : www.delcampe.net)

<https://youtu.be/6WUmVNNJalQ> cette url présente l'inondation qui a eu lieu à la ville de Biskra en mois d'octobre 1969.



Photo I.02. Crues d'oued Biskra d'Avril 2005.



Photo I.03. Biskra : inondations du 07-10-2010



Photo I.4. Inondation à Biskra le 25 mars 2015.

Photo I.5. Biskra : inondations du 07 Mai 2021.

Source : protection civile de la ville de Biskra.

I.5.1 Inventaire des crues désastreuses en Algérie et à Biskra

L'importance d'un recensement initial des inondations est essentielle, pour identifier les zones à risque, et collecter des données hydrologiques.

Il offre un aperçu chronologique des inondations en Algérie, en mettant l'accent sur la ville de Biskra, au cours des cinquante dernières années (1969 - 2021) (Tableau I.1).

Tableau I.1. Récapitulation des inondations qui ont eu un impact sur l'Algérie et la ville de Biskra de 1969 et 2021.

date	Secteur concernés	Dommages humains	Dommages matériels	Données hydrologiques	classe
Sep et Oct 1969	Biskra, Batna, Tiaret et Constantine	75 personnes sont mortes, 50 ont été blessées	2 000 têtes de bétail ont été perdues dont 500 chameaux noyés et 1 000 moutons noyés et 25 000 maisons ont été détruites.	166 mm à Biskra 98 mm à Tiaret 35 mm à Souk Ahras 31 mm à constantine et Annaba.	grave
12 Octobre 1971	Tizzi ouzzou	40 morts	et des centaines de maisons ont été détruites.	182,6 mm	grave
27-29/03/1973	zone à l'Est Algérien Biskra	02 morts 55 blessés à Annaba. 01 mort et 23 blessés à Biskra.	15 puits et des terres agricoles ont été endommagés.	166,2 mm à Annaba	moyenne

28 au 31 mars 1974	Alger Tizi Ouzou	52 personnes sont mortes et plus de 18 000 blessés à Tizi Ouzou .	4570 maisons ont été détruites. 130 villages isolés, et Treize ponts ont été détruits et des dizaines de kilomètres de routes ont été emportées à Tizi Ouzou. 27 millions de DA de dommages.	688 mm en 04 jours. 381 mm en 01 jour.	grave
février 1980	Biskra.	4 personnes sont mortes, 32 personnes ont été blessées.	200 familles sans abris.		moyenne
01 sep 1980	la ville d'El Eulma	44 morts, 50 blessés.	365 familles sinistrées.		grave
17 novembre 1981	Ghardaïa			99,8 mm Pj : 46,5 mm	faible
Octobre 1982	centre-ville de Biskra.	03 personnes blessées, 02 personnes portées disparues,	138 familles sans abri, Mauvais réseau routier, 236 maisons ont été endommagées ou détruites.	160 mm	moyenne
22/08/1983	Djelfa		200 maisons ont été détruites. 1200 têtes de bétail emportées.		moyenne
03/02/1984	l'Est Algérien	Guelma : 03 personnes portées disparues, 157 familles sinistrées, Khenchla : 777 familles touchées	Jijel : 20 morts, 500 têtes de bétail emportées et des dégâts estimés à 50 millions de DA. Constantine : 1 140 familles touchées 200 hectares de cultures détruits. Skikda : 8000 maisons sont envahies par les eaux. Guelma : 03 personnes portées disparues, 157 familles sinistrées, 02 ponts détruits et canalisation AEP détruite à 100%. Oum El Bouaghi : 144 habitations détruites et 429 familles sinistrées.	120 mm à Constantine	moyenne
29 décembre au 1er	Djijel,	02 personnes sont décédées et des	Les dégâts ont été estimés à 175 millions	plus de 250 mm en seulement	

janvier 1985	Constantine, Skikda, Guelma, Annaba et El Taraf.	dizaines de familles ont été touchées		quatre jours à Djijel. 195 mm en un jour à Constantine.	moyenne
5 juillet 1987	Batna	01 mort, 01 disparu ;	Treize maisons ont été détruites	57 mm	moyenne
17 juin 1989	Tiaret		Affaissement de terrain et dégâts matériels importants	Orages violents d'une durée de 15 minutes.	
1er septembre 1989	Biskra	02 personnes sont mortes et 35 personnes ont été blessées.	400 palmiers, serres et cultures maraîchères ont été détruits.		modérée
21 Sep 1989	M'Sila	Une personne est portée. plus de 200 familles sont touchées. Trois ponts sur l'autoroute nationale 40 et l'autoroute 60 ont été endommagés.			moyenne
décembre 1990	Biskra.	07 blessés. 58 familles concernées	40 maisons se sont effondrées et 21 bâtiments ont été endommagés.		modérée
3 juin 1991	Ghardaia	09 personnes sont mortes.	Démolition partielle de la digue El Atteuf. Les ponts, les routes et les systèmes d'assainissement sont détériorés.	80mm en 03h	grave
26 - 27 janvier 1992	Alger, Blida, Tipaza, Chlef, Ain Defla, Medea...	Mort et un grand nombre de blessés	637 familles sont concernées (361 à Alger, 106 à Tipaza, 87 à Médéa, 36 à Ain Defla et 23 à Chlef) Dommages importants aux infrastructures routières et agricoles : - Le pont reliant Bougara à Bouinan a été emporté. - Le pont reliant L'Arbaa à Bougara est endommagé.		modérée
20 octobre 1993	la ville d'Oued R'hiou	22 personnes sont mortes, 20 ont été	Des dizaines de constructions ont été		

		blessées. et plusieurs personnes sont portées disparues.	touchées et ont subi d'importants dégâts matériels.		moyenne
23 septembre 1994	Bordj Bou Arréridj, Msila, Djelfa, Médéa, Bouira, Ain Defla et Tiaret.	27 personnes sont mortes, 84 ont été blessées et 941 familles ont été touchées.	Les dommages sont évalués à 10 000 000 DA		grave
29 septembre au 2 octobre 1994	Ghardaïa, Laghouat, Biskra, Mascara, Tissemsilt, Sidi Bel Abbés	Mascara : 02 morts. Biskra : 08 morts, 22 familles sinistrées. Tissemsilt : 09 morts. Sidi Bel Abbés : 02 morts.	Ghardaïa : Dégâts physiques estimés à 270 millions de DA Laghouat : Les dégâts physiques sont estimés à 5 millions de DA dans le secteur hydraulique. Biskra des routes endommagées. Mascara : dégâts matériels importants		grave
4 avril 1996	d'Annaba et d'El Tarf	Annaba : 05 morts et 10 blessés	El Tarf : 04 ouvrages endommagés, dégâts agricoles dans les plaines de Bouteldja et El Iam.	215mm	grave
24 septembre 1998	Bouira	Plusieurs personnes sont portées disparues	De nombreux hectares de terres agricoles ont été endommagés et des véhicules et du bétail ont été emportés par les inondations. Perte d'un réservoir collinaire dans la région d'Ahl El Ksar.		Moyenne
6 octobre 1998	Djeffa.		200 hectares de cultures ont été inondés et ont considérablement endommagé le bétail. Un petit barrage à Thadmint a été détruit. 20 puits effondrés.	156 mm	moyenne

14 janvier 1999	Adrar	12 personnes sont mortes et plusieurs sont portées disparues.	174 maisons détruites	74 mm à Adrar	grave
14 Oct 2000	Ain Timouchent	04 personnes sont mortes et de nombreuses personnes sont portées disparues	de nombreuses maisons ont été détruites et de gros dégâts matériels.	56 mm sur une durée de 04 heures	grave
23 Oct 2000	Naama	05 personnes sont mortes et des dizaines sont portées disparues	La ligne ferroviaire reliant Ain Sefra - Beni Ounif a été endommagée. Un pont situé au centre-ville de Meghrrar a été endommagé.		grave
9 et 10 novembre 2001	Alger au niveau de Bab El Oued	781 morts et 115 disparus)	30 millions de dinars de dégâts matériels	37 mm en 30 min	grave
janvier 2003	Biskra	11 personnes sont mortes, 49 ont été blessées	543 maisons se sont effondrées, 2,5 km de routes ont été détruites	49 minutes de pluie	grave
14, 15 et 16 avril 2004	Adrar, Biskra , Oran, Ghardaïa et Laghouat	3 personnes sont décédées dans la wilaya d'Adrar. 5 509 familles sinistrées à Timimoun ; 1 098 familles sinistrées à Biskra	1 400 foyers ont été touchés à Oran. Ghardaïa : fait des milliers de victimes	plus de 35-40 mm	grave
avril 2005	Biskra	3 personnes sont mortes, 7 personnes ont été blessées	543 maisons se sont effondrées	84mm	grave
1er et 2 octobre 2008	Ghardaïa	moins 43 personnes mortes, 254 blessées.	des centaines de maisons ont été détruites, de nombreuses routes ont été coupées et les communications téléphoniques ont été gravement perturbées. Les dégâts physiques sont estimés à 2 500 millions de dinars	900 m 3 /s	grave

3 sep 2009	Biskra	15 morts	20 maisons détruites		
juillet 2010	Bouira, Batna, Biskra , Ouargla et El-Oued		<p>Dommages physiques aux structures et six maisons effondrées dans la wilaya de Bouira.</p> <p>Un plan Orsec a été lancé pour réaménager le réseau de transport d'électricité dans les wilayas de Biskra.</p> <p>Vingt maisons ont été inondées à Batna. ...</p> <p>5 500 maisons détruites ou endommagées à Ouargla.</p>		faible
30 octobre 2011	Constantine, El Bayadh, Batna et Biskra	07 morts à Constantine 01 disparu à Biskra.	<p>un train de voyageurs a déraillé à Constantine.</p> <p>dizaines d'habitants isolés à Batna.</p> <p>des dommages aux canalisations principales du réseau (AEP) à El baydh.</p>		grave
février 2012	El Tarf Adrar	mort de trois personnes	<p>dégâts matériels important à El tarf.</p> <p>Des centaines de maisons ont été détruites à Adrar.</p>	78 mm 46 mm	faible
9-10 octobre 2013	Biskra Laghouat		<p>deux accidents de la circulation.</p> <p>66 personnes blessées.</p>		faible
3 juin 2014	Alger, M'sila, El tarf, Biskra , Batna, Constantine et El Djelfa.				faible
24 août 2015	Constantine, Mila, Jijel	des inondations dans plusieurs villes à Constantine. Mort d'un enfant à Mila.	Destruction de centaines de maisons dans ces villes, et dégâts importantes.		moyenne
9 octobre 2015	Biskra Tlemcen Laghouat Sidi Bel Abbes Djelfa	05 blessés à Biskra. 01 mort 03 blessés	infiltraient dans certaines maisons et bâtiments publics, et dégâts considérables.	312 m ³ /s	grave

1er octobre 2016	Laghouat El-Bayadh. Biskra , M'sila, Bouira, Mila et khenchla	des pertes humaines et des dégâts matériels importants.	certaines maisons dans des quartiers résidentiels à forte densité ont été inondées, des voies d'accès coupées à certains endroits.		grave
17 janvier 2017	Biskra Annaba	03 morts aucun blessé 02 morts	un certain nombre de routes secondaires inondées. rendant difficile la circulation des véhicules.		grave
9 août 2017	Tamanrasset, Bordj baji mokhtar, Ain gezam.	04 morts, 08 personnes sont portées disparues, des dizaines de personnes sont blessées	des catastrophes naturelles ont détruit des centaines de maisons, et de nombreuses routes ont été coupées		grave
23/05/2018	oued Biskra	01 mort	Destruction des habitations, coupures électricité et des routes...	163mm	moyenne
27 novembre 2018	Alger, Bouira, Boumerdès, Saida et Tizi Ouzou, Biskra , Illizi, Tamanrasset Adrar.		des dizaines de maisons se sont effondrées, des zones résidentielles ont été bloquées	25 mm à Biskra	moyenne
4-25 janvier 2019	Annaba	04 morts	Des dizaines de voitures ont été submergées par les eaux.	155 mm en 48 heures	grave
16 juin 2019	Djanet et Illizi	01 mort à Illizi 42 blessés	Les eaux ont submergé des dizaines de voitures. Effondrement de centaines de maisons.	36mm	moyenne
Oct 2021	Alger	03 morts 30 blessés	maisons submergées, véhicules emportés par les eaux et des routes coupées.	80 mm	Grave
09/03/2021	Chlef Biskra	7 personnes sont mortes et 3 portées disparue à Chlef. 01 mort à Biskra.	Plusieurs routes avaient été fermées. -Trois véhicules emportés par la crue.	600 mm	grave

Source : Protection civile wilaya de Biskra, ANRH d'Alger et effort personnel.

Ces données servent de base scientifique pour la planification des mesures préventives, la conception d'infrastructures de gestion des inondations et l'établissement de systèmes d'alerte précoce.

En somme, un recensement initial bien réalisé constitue une étape fondamentale dans la réduction des risques d'inondation et dans la protection des communautés contre les conséquences néfastes de ces événements hydrologiques.

L'objectif principal est de sensibiliser le public aux inondations en Algérie, plus particulièrement à Biskra, et d'encourager la prise de mesures préventives pour minimiser ces risques.

Conclusion

Les inondations sont prévisibles en termes de probabilité, mais leur moment précis est difficile à anticiper. Bien que les inondations soient souvent perçues comme des catastrophes naturelles, elles ont des impacts significatifs dans les pays développés et en développement, bien que ces impacts varient.

Le risque d'inondation résultant de la combinaison de l'aléa et de la vulnérabilité des zones exposées. L'évaluation des risques repose sur des données hydrologiques, permettant de déterminer les niveaux d'eau et les vitesses d'écoulement. La vulnérabilité est exploitée en tenant compte des impacts à long terme, tels que le coût des dommages et l'occupation des sols.

Ce premier chapitre aborde l'une des perturbations naturelles les plus fréquentes et les plus destructrices à travers le monde, en Algérie et spécifiquement dans notre zone d'étude.

Ce phénomène est considéré comme une combinaison d'aléa et d'enjeu, car la majorité des inondations sont provoquées par des pluies diluviennes, causant des pertes humaines et matérielles importantes. La façon dont les gens perçoivent l'évaluation et la gestion des risques varie en fonction des obstacles et des vulnérabilités.

Comment pouvons-nous évaluer et traiter ce risque? Cela sera traité dans les chapitres qui suivent.



*Chapitre II : l'aire d'étude un échantillon pour
l'évaluation.*



II.1 Introduction

Les études hydrologiques nécessitent une description détaillée de l'environnement. La ville de Biskra est de plus en plus étudiée pour apporter diverses explications. Les perturbations atmosphériques régulières provoquent des inondations catastrophiques et meurtrières, rendant essentiel la connaissance de oued Biskra, et de son fonctionnement pour prévoir ces catastrophes.

Ce chapitre vise à analyser les conditions physiques et le développement de Biskra, permettant une meilleure compréhension du contexte de la ville, et de ses effets sur la dynamique du cours d'eau.

II.2. Aperçu général sur l'espace d'étude**II .2.1. Présentation de la wilaya de Biskra**

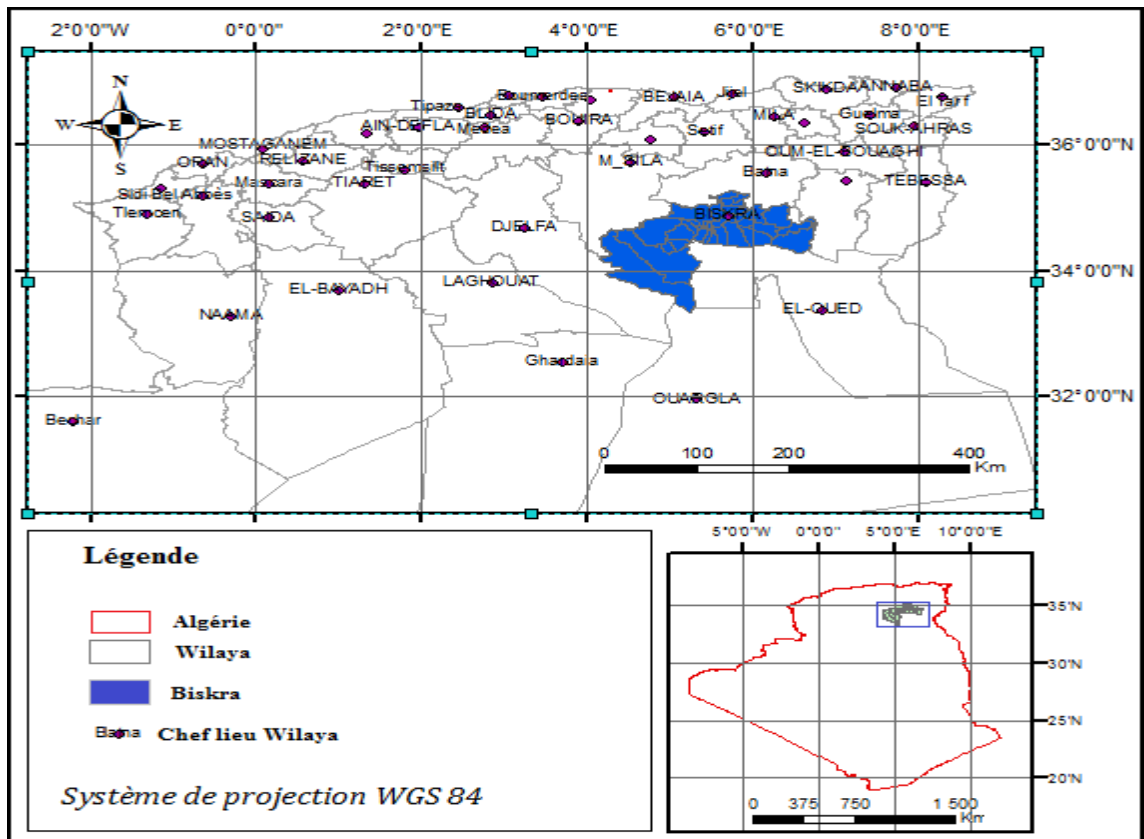
Située au Sud des Aurès, au Centre-Est de l'Algérie, la Wilaya de Biskra se trouve à la porte du Sahara. Elle présente la ville principale de la wilaya. Depuis le découpage administratif en 1974, la Wilaya de Biskra est considérée comme une wilaya. Elle est bordée par la Wilaya de Batna et M'sila au Nord, Khenchela à l'Est, Djelfa à l'Ouest et Ouargla et El Oued au Sud. (Carte II.01)

La wilaya couvre une superficie totale de 21671 kilomètres carrés. Les coordonnées suivantes délimitent la zone :

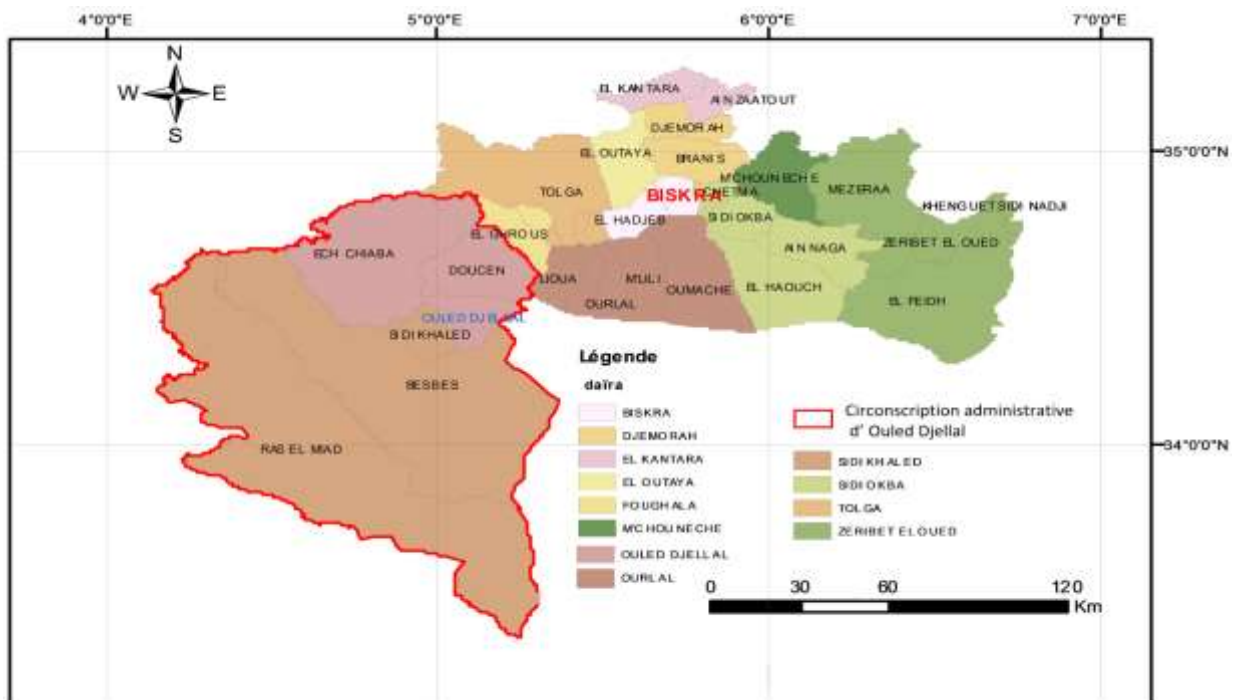
- 33° 19' 28'' et 35° 17' 41" de latitude Nord
- 04° 07' 10'' et 06° 48' 30'' de longitude EST

La zone est considérée comme une zone importante, et un passe nécessaire vers le grand Sahara.

La Wilaya de Biskra est composée de 11 Daïra et 33 Communes (Carte II.02) [05] Le DPAT de Biskra.



Carte. II.01. Emplacement géographique de la wilaya de Biskra. Source : D.P.A.T. de Biskra



Carte. II.02 : Répartition administrative de la wilaya de Biskra en 1974. Source : D.P.A.T. de Biskra

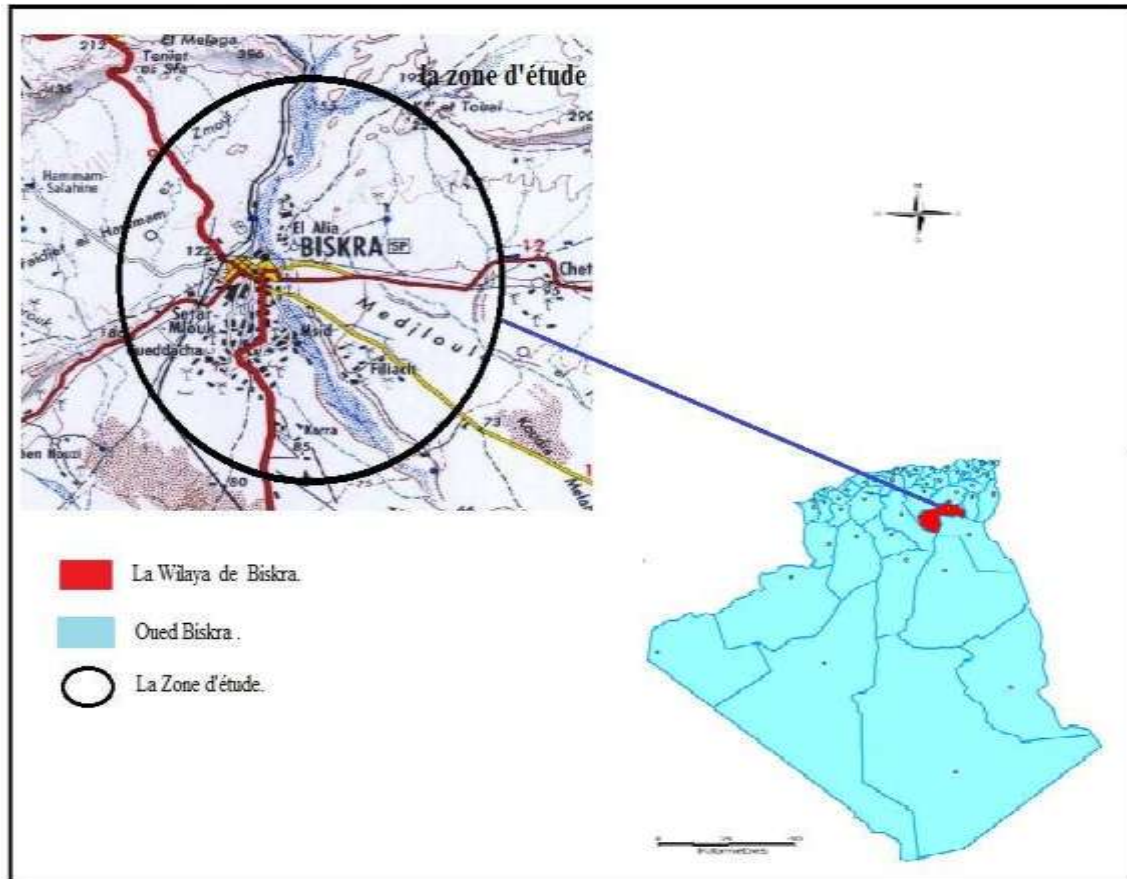
II.2.2 L'emplacement de la cité : Biskra

Biskra, anciennement connue sous le nom de Vescera à l'époque romaine, est la capitale de la wilaya de Biskra en Algérie. Surnommée "La Reine des Zibans", elle est située à environ 470 km au sud d'Alger, 115 km au sud-ouest de Batna et 222 km au nord de Touggourt. La ville a été fondée au pied du

Djebel Boughezal et est traversée par l'Oued Biskra (Oued Sidi Zarzour), une importante source d'eau provenant des montagnes des Aurès et s'écoulant du nord au sud. [05].

Biskra est la capitale de la wilaya, se trouve dans la zone centrale entre le Tell et le Sahara. Sa superficie est de 127,55 kilomètres carrés.

- Au Nord par les communes de Branis et El Outaya.
- A l'Est par la commune de Chetma.
- Au Sud par les communes de Oumache et Sidi Okba.
- A l'Ouest par la commune d'El Hadjeb. (Voir carte II.3).



Carte. II.03. Carte de localisation géographique de la cité de Biskra. (H.P.E 2005).

II.3 Etude de l'environnement naturel

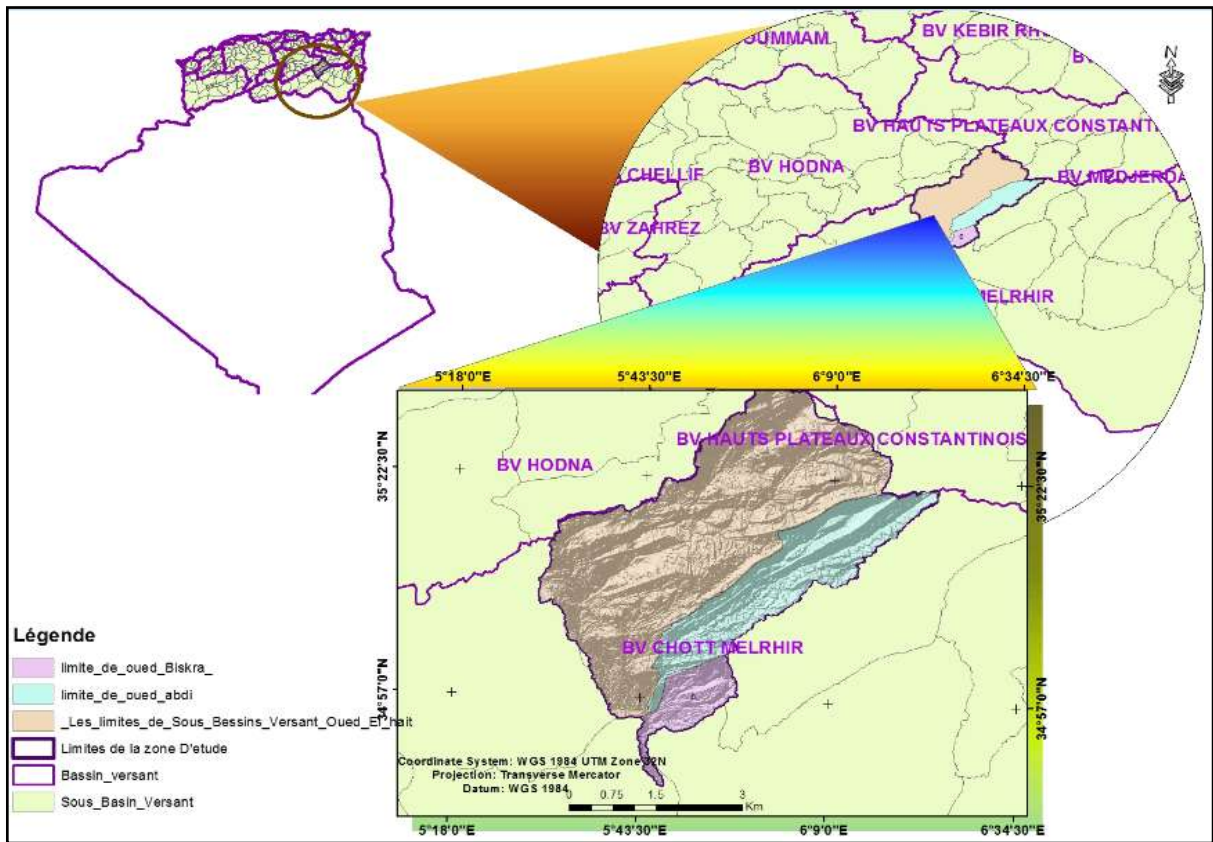
II.3.1 Caractères générales du BV de l'oued Biskra

Le débit d'un cours d'eau dépend des propriétés du bassin versant, notamment sa géologie, sa lithologie, son couvert végétal et son climat. Au cours de cette période, l'accent a été mis sur l'analyse du vaste bassin hydrographique qui alimente l'Oued Biskra. (Voir carte II.04).

Le bassin versant de oued Biskra, couvrant une superficie de 2787 km², est un élément du vaste bassin du Chott Melghir (BV06), qui s'étend sur 68751 km² et comprend 30 sous-bassins.

Les sources du bassin de Biskra s'orientent principalement du Sud-Ouest au Nord-Est.

Il résulte de la réunion de deux grands bassins, El Hai et Djemoura, prenant leur source à Zeb à une altitude de 2091 mètres, et atteignant une altitude de 25 mètres dans le Melghir après avoir parcouru 194 km. [06]



Carte. II.04. Aperçu du bassin versant de l'Oued Biskra.

La topographie du cours d'eau présente une forte inclinaison jusqu'à atteindre El Kantara, après quoi la pente diminue progressivement. La section du cours d'eau devient concave en traversant la zone d'El Outaya. (Voir figure II.01).

La région est caractérisée par la présence de petits oueds, dont la plupart sont généralement très peu actifs, notamment Oued Bouguatou, Oued Lafrah, Oued Bouzina, Oued Abdi, Hassi Ben Tamtam et Oued Tanit. Ces oueds secondaires représentent un risque en raison de leur influence directe sur l'origine des crues.

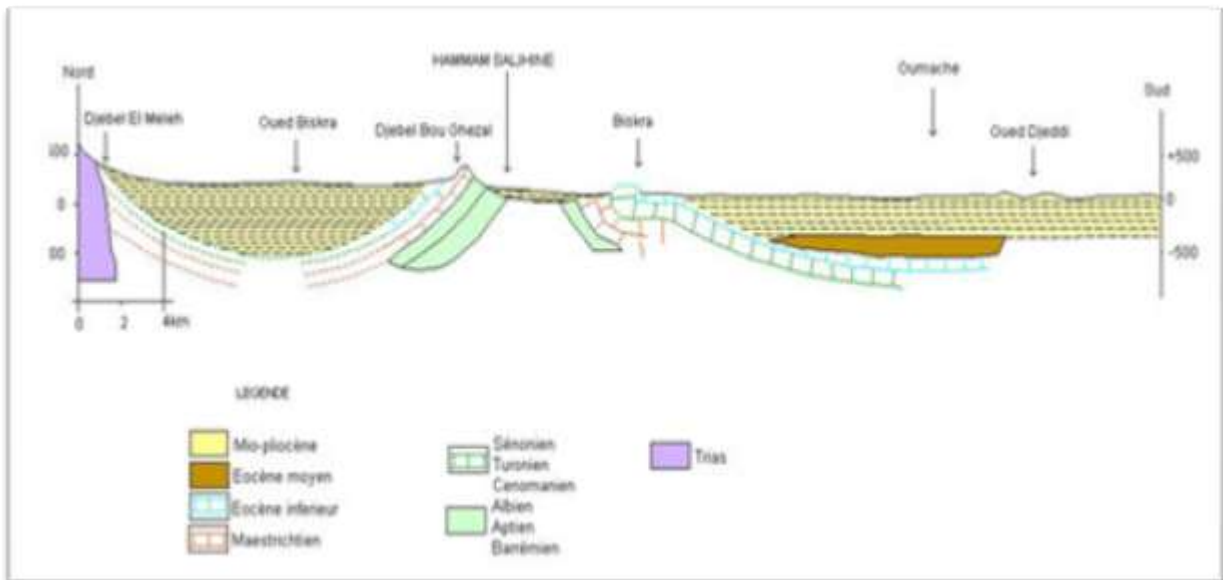


Fig. II.01. Section géologique des éléments de terrain de la région.

II.3.2 Informations géomorphologiques

Le bassin argileux qui abrite le site de Biskra est entouré au nord par la chaîne rocheuse de Boumenghouch, le massif rocheux de Hmar khadou, qui est une partie de la chaîne saharienne de l'Atlas, et à l'ouest par le massif rocheux des plateaux, qui se trouvent le long de la région de Tolga.

Cependant, les sols argileux et sablonneux se trouvent dans la partie sud de ce bassin, s'étendant jusqu'à la dépression des chotts de Meghigh.

Cependant, il y a quelques cours d'eau saisonniers et violents dans le bassin, tels que l'oued Biskra, qui se déplace du nord au sud jusqu'aux chotts du Melghigh, et l'oued Zmor.

Le nord est également délimité par l'oued Abdi et l'oued Djemoura, qui se lancent dans le barrage de foug El Ghourza. (voir la figure II.02)

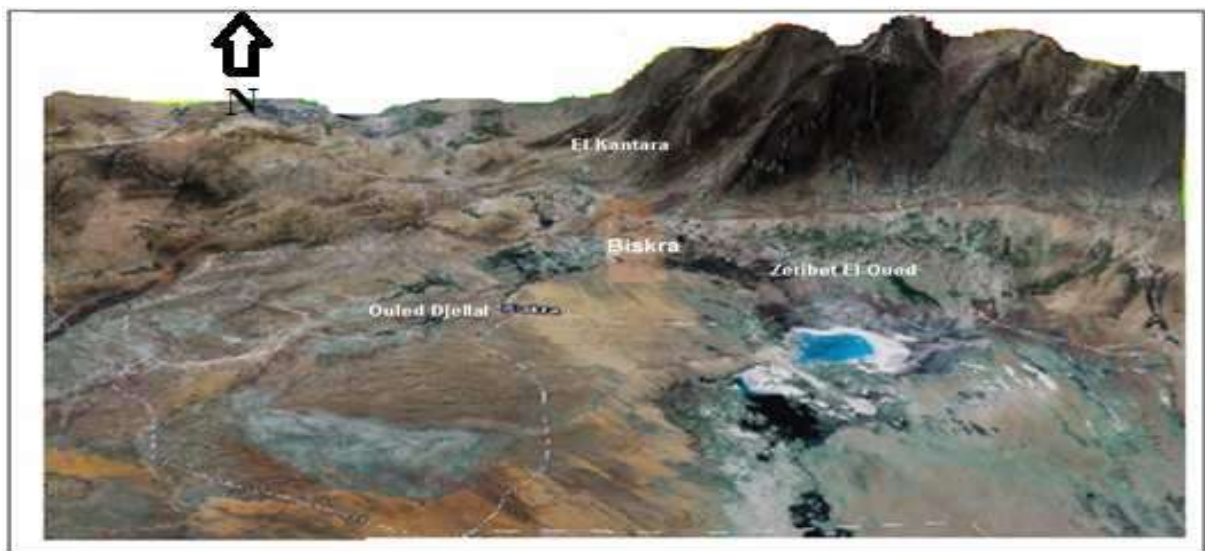


Fig. II.02. La région de Biskra en relief à travers un satellite. (Google Earth, 2012).

II.3.3 Analyse des conditions physiques

II.3.3 .1 Contexte topographique

La topographie de ce bassin présente une forte asymétrie, ce qui signifie que les régions montagneuses ont des caractéristiques morphologiques favorables à la formation et à la propagation des inondations, les régions de piémont de bas niveau en ont davantage, tandis que les plaines sont le lieu d'accumulation des substances nocives et où les conditions d'écoulement le débordent. (Figure II.03).

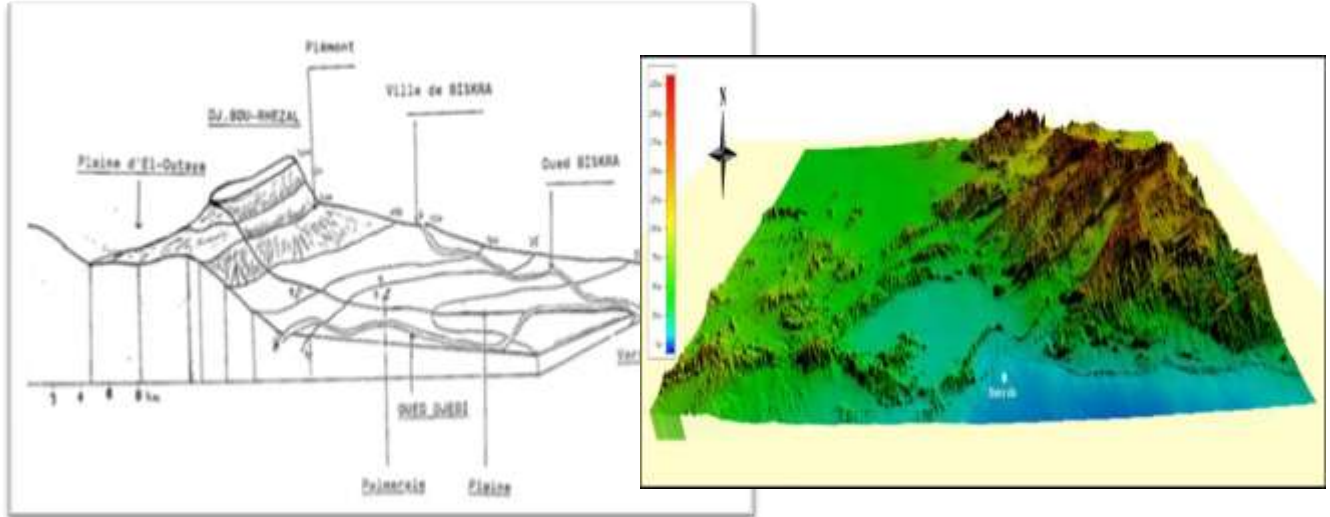


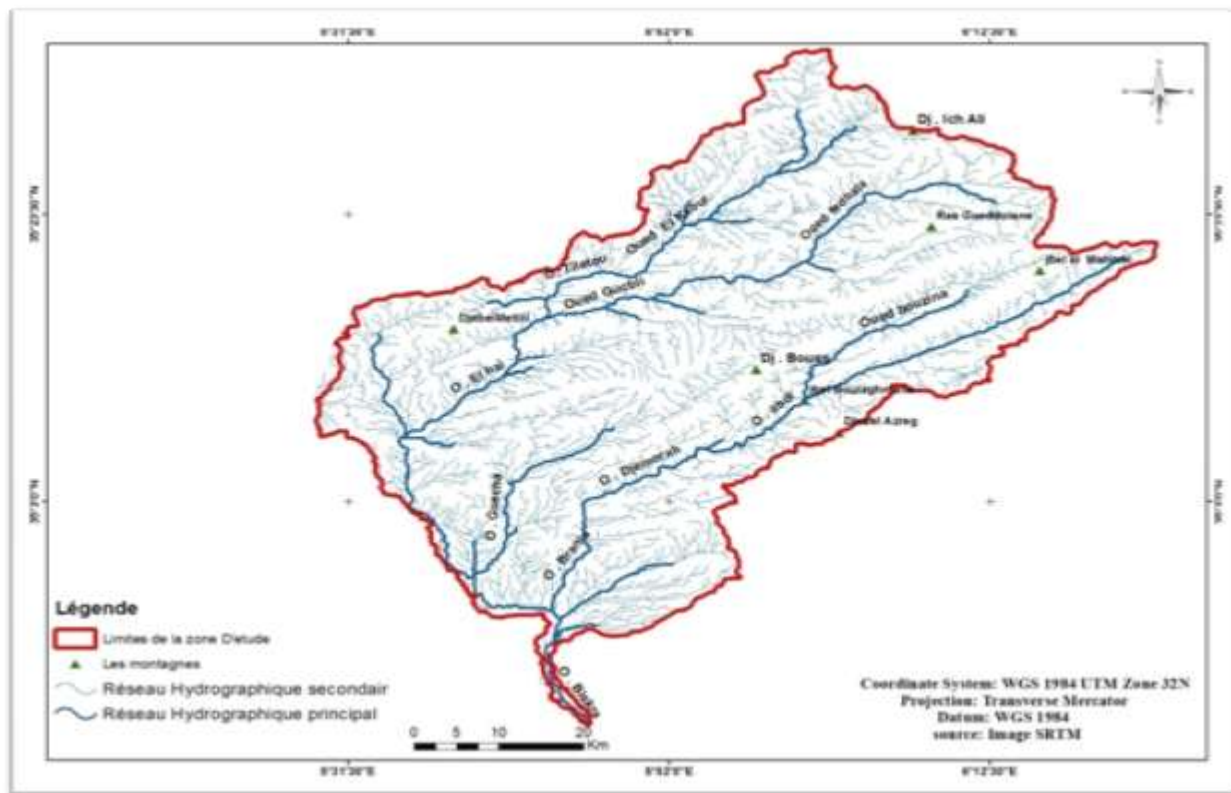
Fig. II.03. Coupe topographique de Biskra et oued Biskra.

Source : Carte Topographique de Biskra et global mapper.

La dissymétrie montre clairement la forme du réseau hydrologique, qui comprend principalement l'oued Biskra (2787 km²), qui sert de drainage pour le bassin du même nom, ainsi que l'oued El Hai (1788 km²) et l'oued Djemoura, qui s'étend sur une superficie de 906 km². Ils se forment à la frontière Nord montagneuse du sous-bassin d'El Hai, et à la frontière Nord-Est du sous-bassin de Djemoura.

Même s'il ne couvre que 93 km², il y a un petit sous-bassin appelé oued Biskra complémentaire, qui draine plusieurs ravins et affluents, citant l'un deux : oued Lafrah.

Pendant les périodes d'averses aléatoires et intenses, il afflue vers les quartiers de la ville avec des débits importants, ce qui entraîne des crues importantes dans ces quartiers. (Carte II.05). (Et le tableau II.01).



Carte. II.05. Réseau hydrographique du BV de O. Biskra.

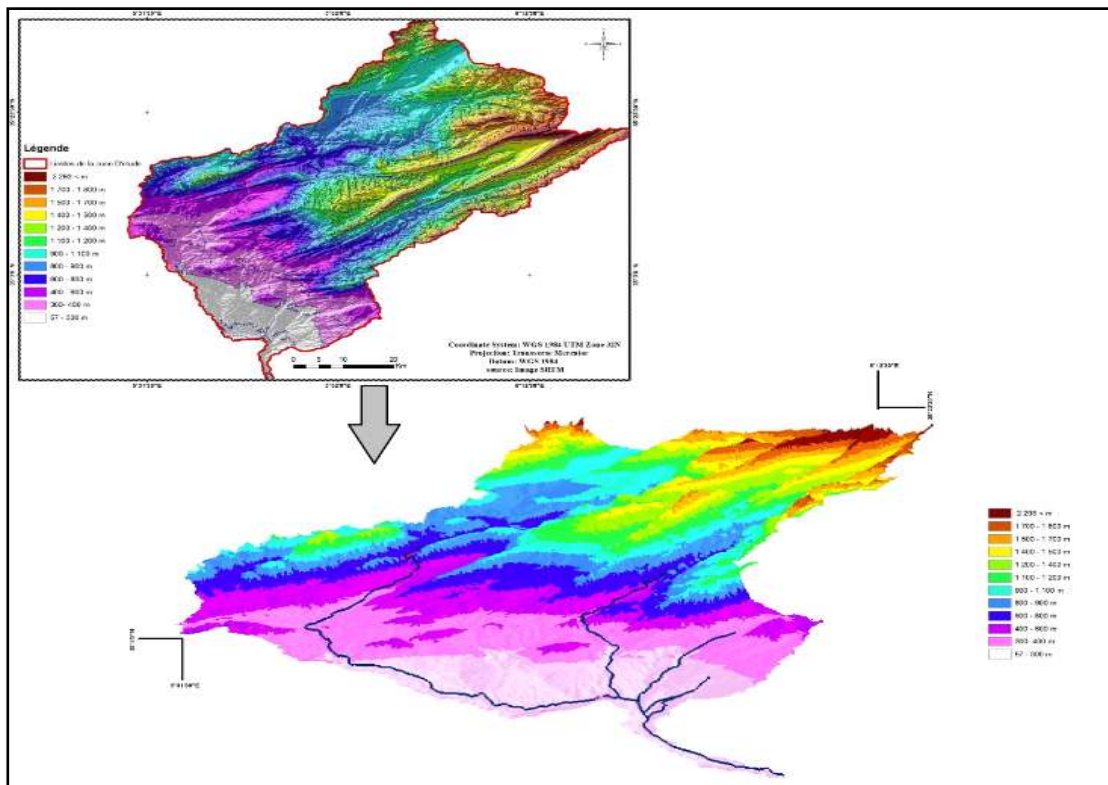
Nous avons cherché à identifier les éléments déferents du relief en relation directe avec l'écoulement, et la source des crues en utilisant les caractéristiques morphométriques et structurales.

Tableau II.01 Les caractéristiques hydrographiques et morphométriques du BV de O.Biskra.

Paramètre	Unité	El Hai	Djemoura	Biskra. Complémen	Biskra
Surface du bassin	km ²	1788	906	93	2787
Périmètre du bassin	Km	229	184	99	250
Indice de compacité	1,52	1,71	2,87	1,33	
Altitude maximale	M	2091	2321	1270	2321
Altitude moyenne	M	200	200	150	150
Altitude minimale	M	956	998	410	950
Altitude médiane	M	1060	1200	400	1080
Longueur du rectangle	M	95,17	79,92	47,10	95,22

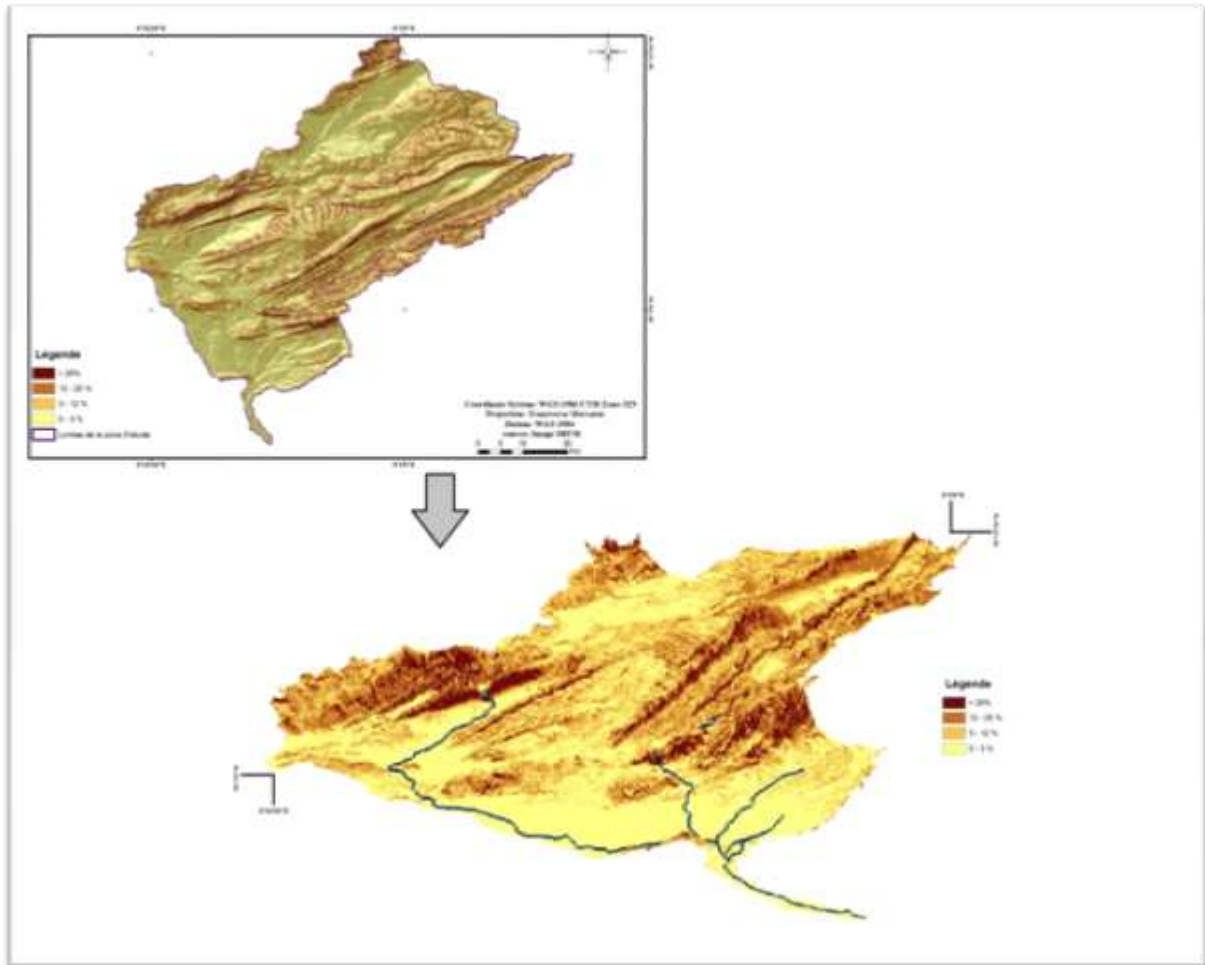
équivalent					
Indice de pente de roche		0,315	0,146	1,30	0,14
Indice de pente globale		14,71	16,78	16,98	14,49
Dénivelée spécifique	M	622	505,07	163,797	764,957
Densité de drainage globale	km/km2	0,50	0,71	1,84	0,61
Densité de drainage permanente	km/km2	0,082	0,098	0,34	0,096
Densité de drainage temporaire	km/km2	0,42	0,062	1,50	0,52
Longueur du talweg principal	Km	107	93	57	108

La diversité des terrains dans le bassin de l'oued Biskra résulte de la structure géologique et des mouvements tectoniques de la région. Ces mouvements ont soulevé les reliefs et diminué les dépressions, contribuant ainsi à la variété géographique de la zone. (Voir carte II.06).



Carte. II.06. Hypsométrie du BV de oued Biskra.

La décroissance significative entre le Nord et le Sud du bassin de Biskra est mise en évidence par l'étude de la pente (Carte II.07). La pente la plus importante se situe du Nord au Sud, ce qui signifie que le débit augmente rapidement.



Carte. II.07. Pentes du BV de oued Biskra.

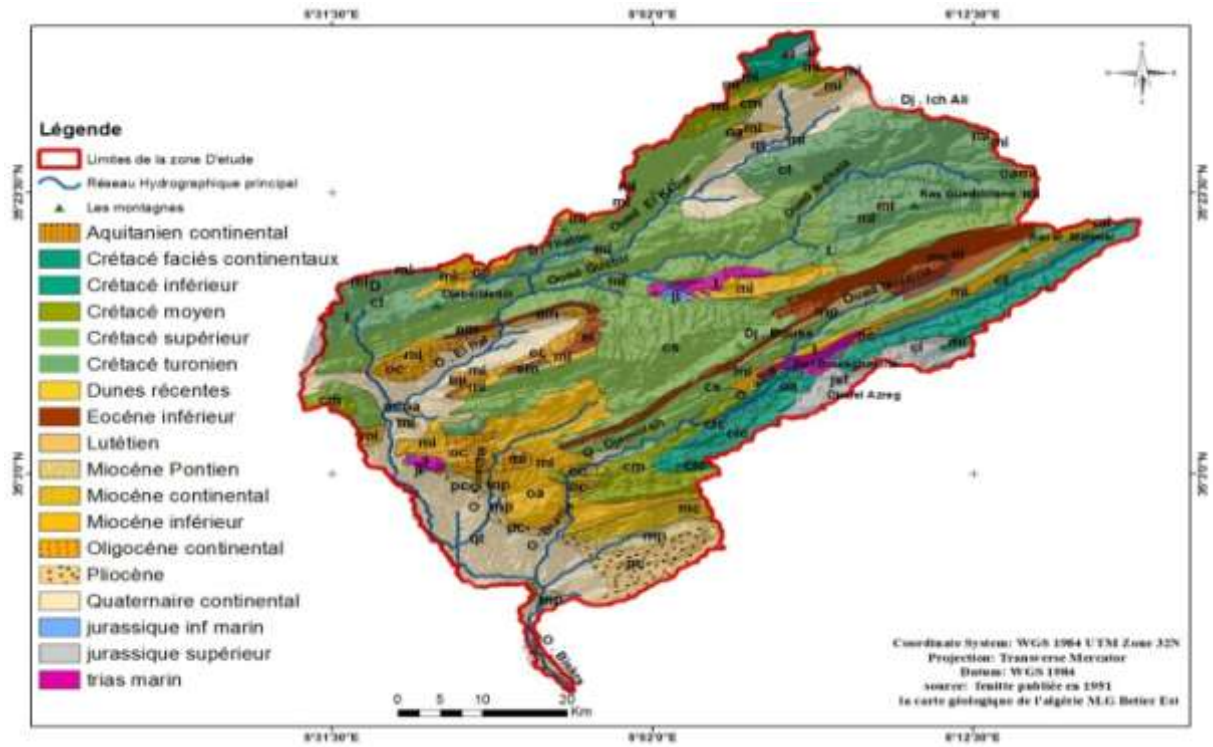
II.3.3.2 Contexte géologique

En ce qui concerne la région d'Oued Biskra, à la découverte que la majorité des formations situées le long des lits marécageux sont des alluvions quaternaires principalement constituées de sable et de gravier. En revanche, les formations sont typiques des berges des marais, c'est-à-dire le Quaternaire ancien, avec du boudin, du gravier et du sable de l'ancienne terrasse.

Le bassin de l'oued Biskra est caractérisé par des calcaires turoniens au nord, des boudins pliocènes au sud et des argiles miocènes à l'Est et à l'Ouest.

Les formations alluviales de l'oued Biskra sont basées sur des formations argileuses miocènes qui sont imperméables.

Il est le résultat de l'érosion des reliefs amont qui ont été fortement transportés du nord vers l'ouest. Ils ont généralement une nature calcaire et argileuse. Les formations les plus anciennes trouvées dans cette région remontent au Crétacé le plus récent et au Quaternaire le plus ancien. (Voir carte II.08).



Carte. II.08. Géologique du BV de oued Biskra.

II.3.3.3 Une structure tectonisée combinée à une lithologie imperméable

Les descriptions lithologiques fournies se basent largement sur les relevés géologiques réalisés à l'échelle 1/50 000 dans les régions de Batna, El Kantara et Biskra.

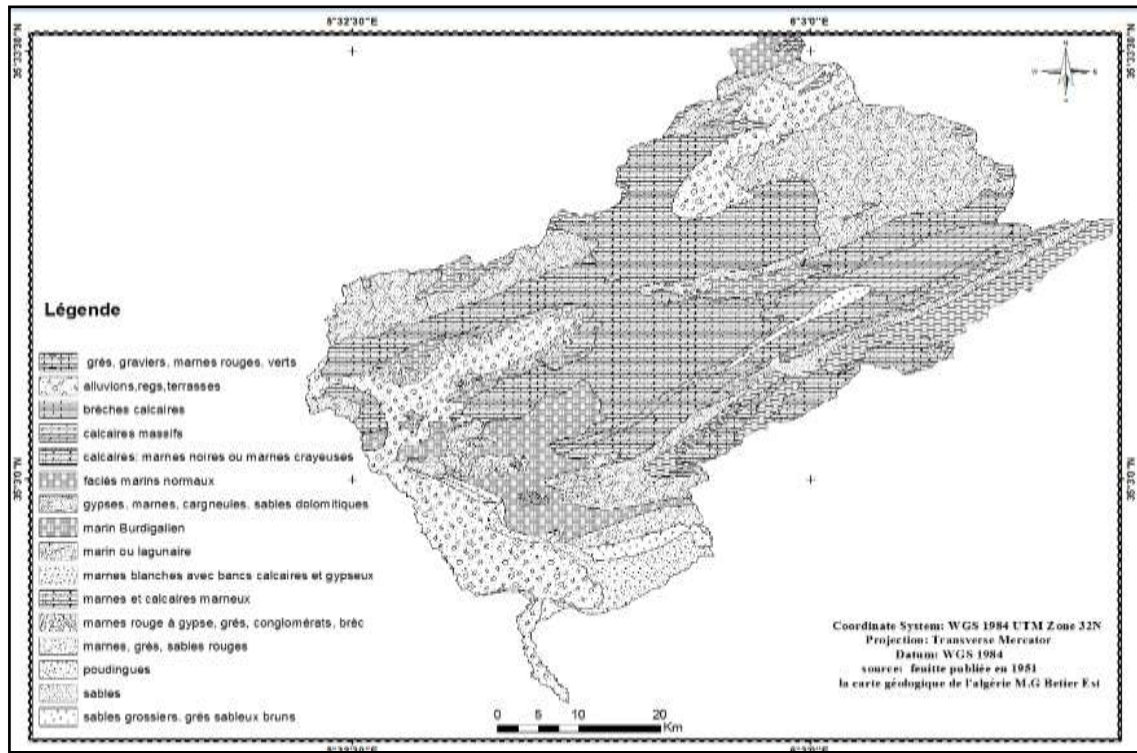
Dans le sous bassin de l'oued Djemoura : les versants de la vallée à partir de Guerza jusqu'aux environs de Menaâ sont principalement constitués de marnes vertes ou grises, avec des bancs de calcaire intercalés, avec des épaisseurs allant de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres. La distribution spatiale du matériel rocheux dans la vallée de l'oued Djemoura n'est pas très différente.

La lithologie en amont de Menaâ est assez diversifiée, avec des faciès marneux et calcaireux ainsi que des faciès argilo-calcaires. Toute la région de Menaâ jusqu'aux environs d'Amentane est constituée de faciès diapiriques très instables.

De plus, il y a des réserves miocènes importantes composées principalement de conglomérats et d'argiles rouges qui couvrent toute la rive droite de l'oued Abdi depuis Chir et le fond de la vallée de la Bouzina dans le haut Menaâ. Toutes les zones agricoles en terrasses au fond des oueds sont occupées par des alluvions, qui sont qualifiées pédagogiquement de terres cultivables.

Dans la partie inférieure de l'oued El Hai, on peut trouver des formations calcaires du Cénomaniens supérieur et des formations marno-calcaires du Turonien. Ces dernières comprennent environ dechra Tilatou et la vallée de l'oued Fedhala, ainsi que les grès marno-calcaires des affleurements miocènes au sud d'El Outaya, Ain Touta et au nord du tamarinier, ainsi que les pieds des montagnes.

Au nord d'El Kantara, on peut observer des formations marneuses avec des conglomérats et des calcaires, dont l'extension est très limitée (Voir carte II.09).



Carte II.09. Formations lithologiques du bassin versant de O.Biskra.

A) La perméabilité et les caractéristiques lithologiques des roches des sous-bassins versants

Voici une description générale sur la perméabilité dans les sous-bassins versants de oued Biskra: (Voir carte II.10).

1. Les formations imperméables : De telles assises sont constituées de marnes, de marno-calcaires et de sols argileux. Ils se rencontrent également sous divers recouvrements quaternaires.

La surface totale de ces formations est de 38 %, soit 1059 km², et elle s'étend sur la plaine d'El Outaya, El Kantara et Djebel Mahmel.

Les formations argileuses représentent 3 % de la surface totale du bassin, soit 83 km², principalement en amont de Menaa. Les argiles rouges couvrent toute la rive droite de l'oued Abdi et Biskra.

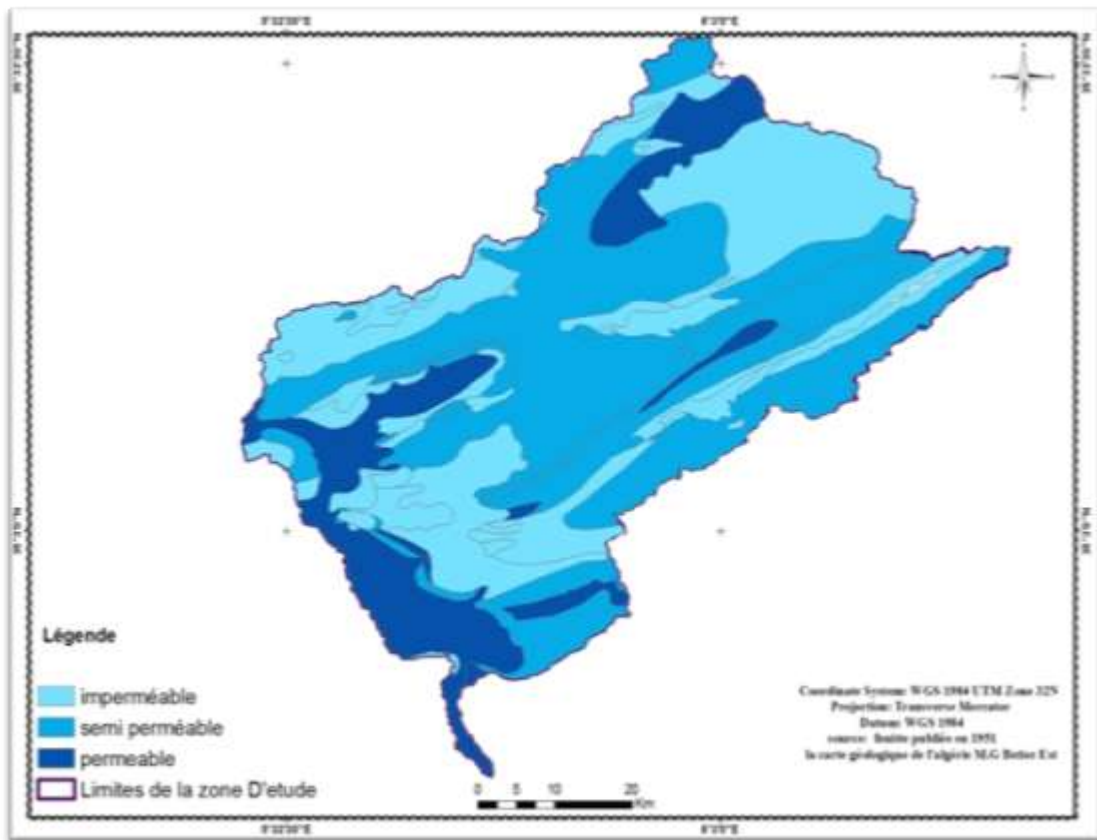
2. Formations moyennement perméables : Les formations calcaires et dolomitiques du Cénomanién supérieur, ainsi que les marais miocènes, les composent. Environ dechra Tilatou (à l'extrémité Nord du Djebel Metlili) est la vallée de l'oued Fedhala, dans les Aurès, Maafa et Kef Ed Dersa.

Or, à partir d'un point de vue exclusivement lithologique, les assises calcaires et dolomitiques sont très peu perméables. Cette région représente 31 % de la surface du bassin, soit 864 km².

3. Formations très perméables : Ces niveaux sont présents dans les compositions marno-calcaires du Turonien, dans la formation inférieure de débris et dans le soubassement miocène, aussi qu'au Quaternaire.

Ces zones s'étendent vers le sud d'El Outaya, Ain Touta et vers le nord des tamariniers.

Ces différents terrains ont une porosité relativement importante, ce qui permet l'infiltration des précipitations et le drainage des eaux vers les zones basses en fonction de leur épandage. La surface totale du bassin est de 780 km², soit 28 % de cette catégorie.



Carte II.10. Perméabilité du bassin versant de O.Biskra.

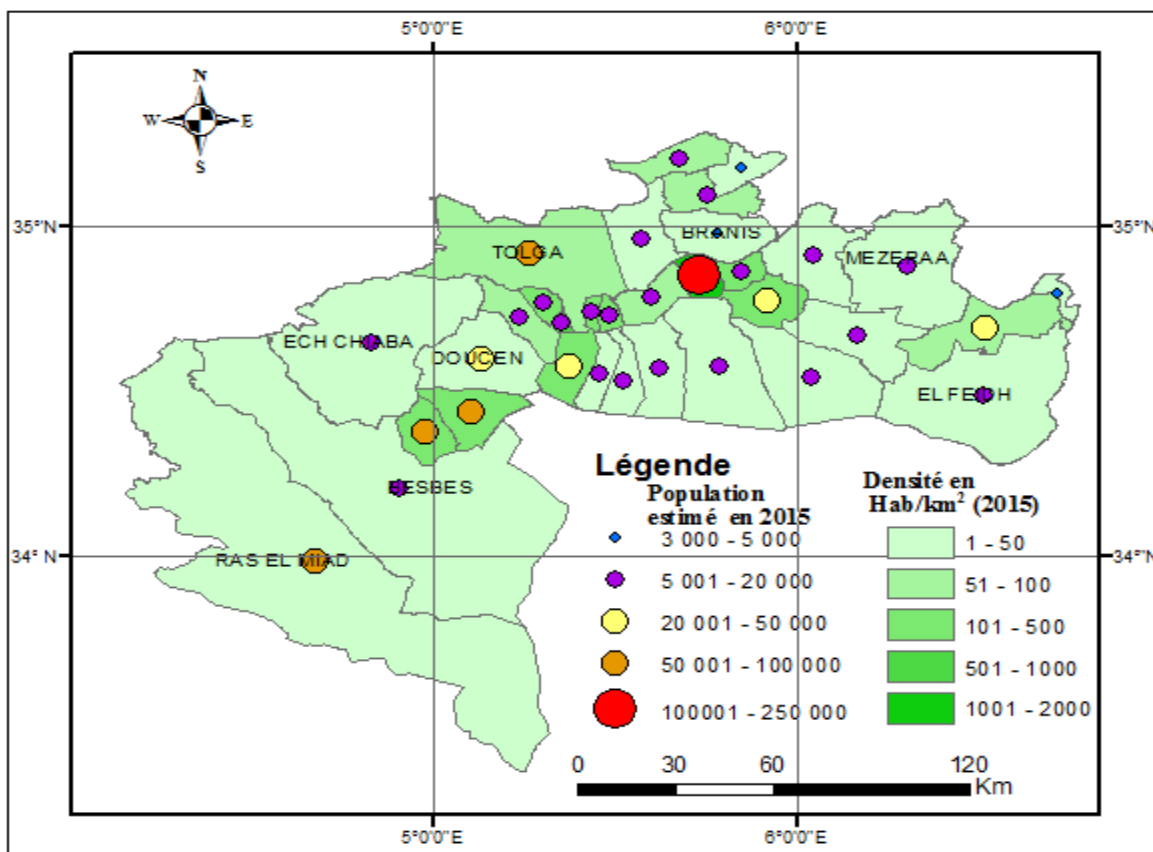
II.3.3.4 Caractéristiques socio-économiques

La wilaya de Biskra a connu un taux de croissance démographique de 1,37% entre 1987 et 1998, passant de 589 697 en 1998 à 721 356 en 2008.

La wilaya de Biskra comptait 819 228 habitants en 2015, soit 2,2% de la population totale du pays (carte II.11).

La région a connu une baisse de 0,15 point du taux de croissance démographique, passant de 1,37% en 1987-1998 à 1,22% en 1998-2008, par rapport au niveau précédent. % et 2,4 % à l'échelle nationale. [07]

En ce qui concerne la population de Biskra, elle compte plus de 200 000 résidents en 2008, une augmentation d'environ 110 000 personnes au cours des trois dernières décennies. La croissance rapide met l'accent sur les changements sociaux profonds et leurs conséquences sur l'organisation spatiale et le fonctionnement de la ville. [08]



Carte. II.11. la population et la densité de la wilaya de Biskra. [16]

La densité de population de la ville de Biskra est représentée dans le tableau ci-dessous en fonction du rapport population/superficie.

Tableau II.2 : La densité démographique de la ville de Biskra en 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

En 2015, la wilaya de Biskra, qui couvre 0,88 % du territoire, accueille 2,02 % de la population nationale. En conséquence, la densité de superficie est importante, avec environ 39 habitants par kilomètre carré, contre environ 16 habitants au niveau national. La commune de Biskra an enregistré la densité la plus élevée. (Voir Tableau II.03). [08]

Tableau II.03.Le découpage administratif avec la superficie et la population (2015).

Daira	Commune	Population	Superficie
Biskra	Biskra	218 467	127,70
	El hadjeb	10 760	208,10
Lotaya	Lotaya	11 868	406,10
Jmourra	Jmourra	13 359	250,80
	Branisse	4 622	370,10
El Kantara	El Kantara	12 129	239,10
	Ain Zaatout	4 008	170,70
Sidi Okba	Sidi Okba	35 604	254,10
	El Haouch	5 646	754,90
	Chetma	14 607	110,20
	Ain el Nagua	12 784	507,80
Zribat El ouedi	Zribat El ouedi	23 332	500,90
	Amziraa	8 084	960,80
	El faïdh	13 549	1 375,10
	K.sar Sidi nadjj	3 231	80,10
Amchouch	Amchouch	10 739	504,40
Tolga	Tolga	59 334	1 214,30
	Bouchakroun	13 945	57,90
	Bordj Ben Azouz	13 496	23,20
	Lichana	10 479	39,60
	Foughala	13 269	80,30
Ouled Djelal	El Ghrous	17 434	237,60
	Ouled Djelal	67 192	320,90
	El daoussen	28 308	621,60
	El Cheaiba	14 188	1 686,50
Sidi khaled	Sidi khaled	46 025	217,30
	Besbes	11 433	3 633,60
	Ras el Miad	23 332	4 783,90
Ourlal	Ourlal	7 911	190,10
	Amilli	6 903	371,60
	Amikhadma	5 809	151,60
	Oumache	11 131	816,80
	Lioua	22 756	242,10

Rubrique Monographie « wilaya de BISKRA » ANIRF

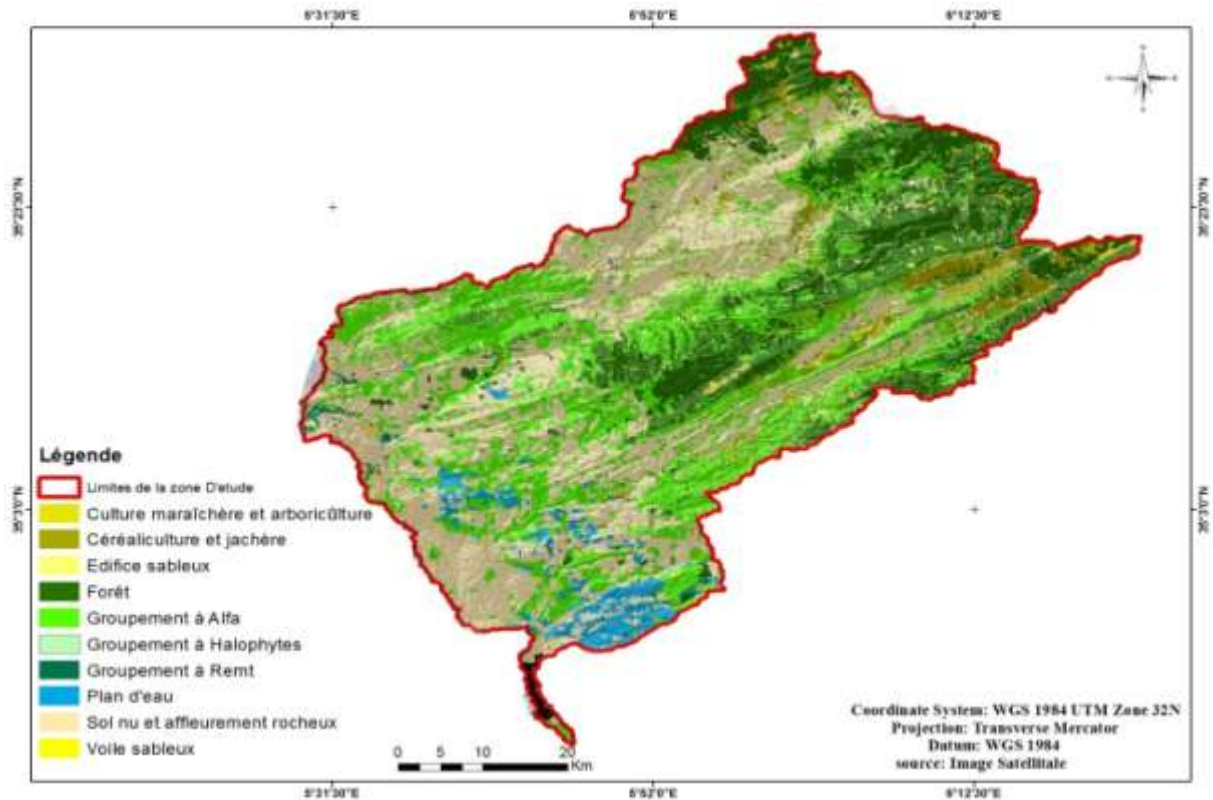
Les communes avec plus de 50 000 résidents ont une urbanisation modérée, tandis que les communes avec moins de 50 000 résidents sont moins urbanisées ou rurales.

II.3.3.5 Le couvert végétal

La végétation du bassin de Biskra est dégradée, comprenant une végétation légère à semi-verte, des steppes d'alfa et des arbustes adaptés à la partie sud du bassin. La région est non protégée en raison de ses nombreuses montagnes et de son climat relativement sec, sauf dans certaines zones forestières telles que Bellezma et Bouzina, ce qui augmente le risque d'inondation.

L'érosion n'est pas empêchée par aucun obstacle végétal, car les terres cultivables sont souvent laissées sans protection pendant la saison froide, lorsque les labours sont plus fréquents et plus abondants.

Bref, le bassin de Biskra, les types de végétation les plus courants qui ne protègent pas suffisamment les sols sont les steppes d'Alfa, incapables de protéger la surface du sol. Le sol ne se protège de la flore que pendant certaines périodes de l'année, notamment pendant les mois d'inondation de septembre et octobre ; cela peut provoquer une inondation effrayante. (Voir carte .II.12).

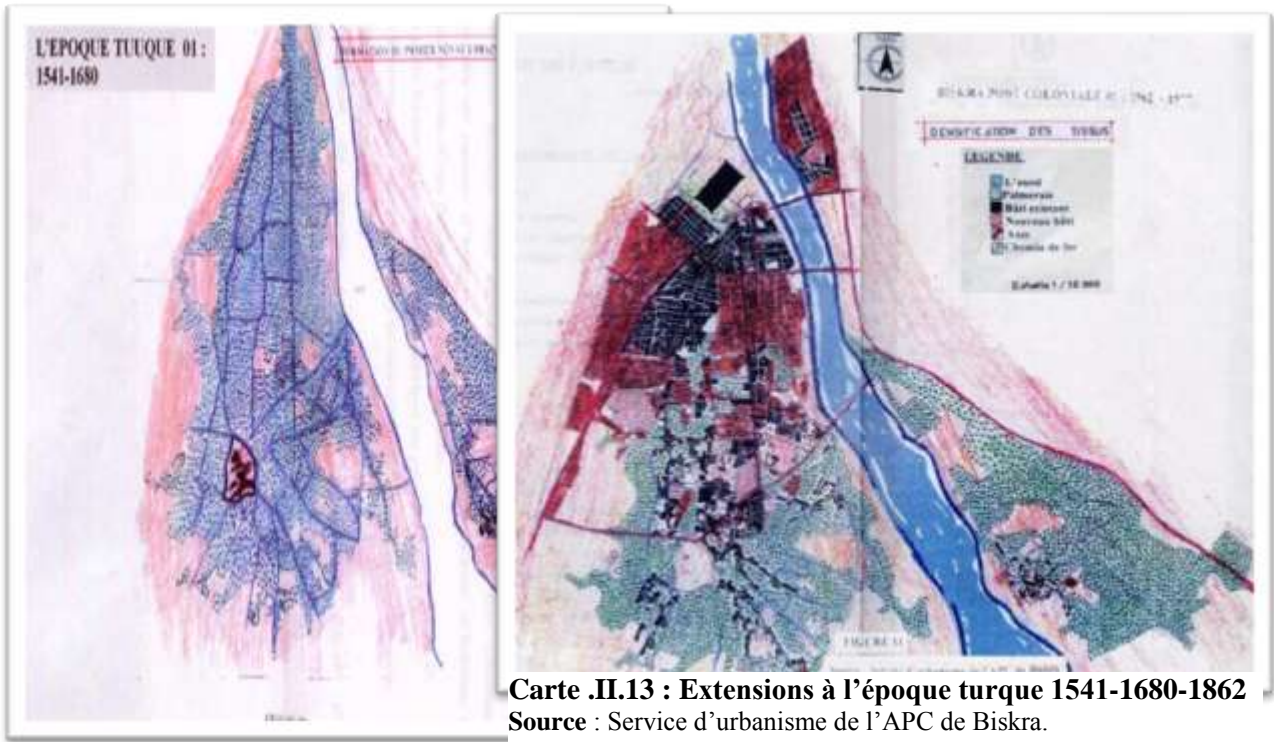


Carte. II.12 : carte de végétation du bassin de oued Biskra.

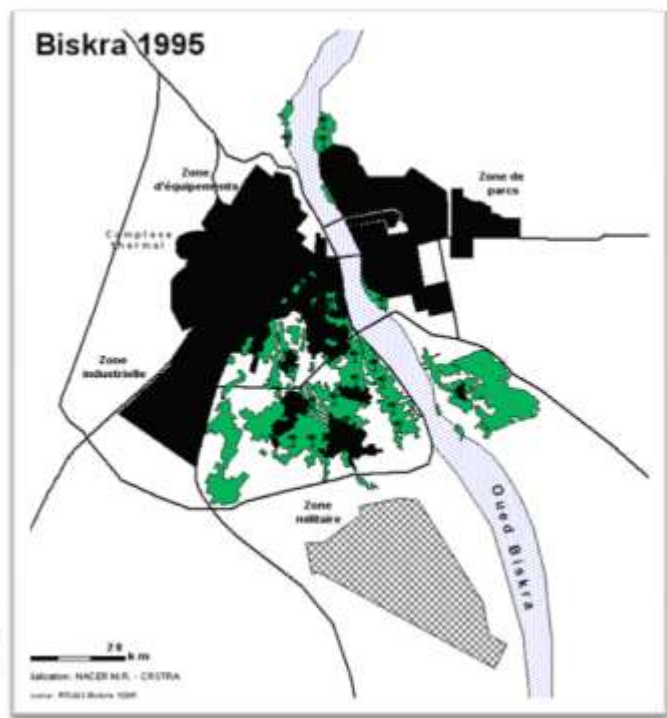
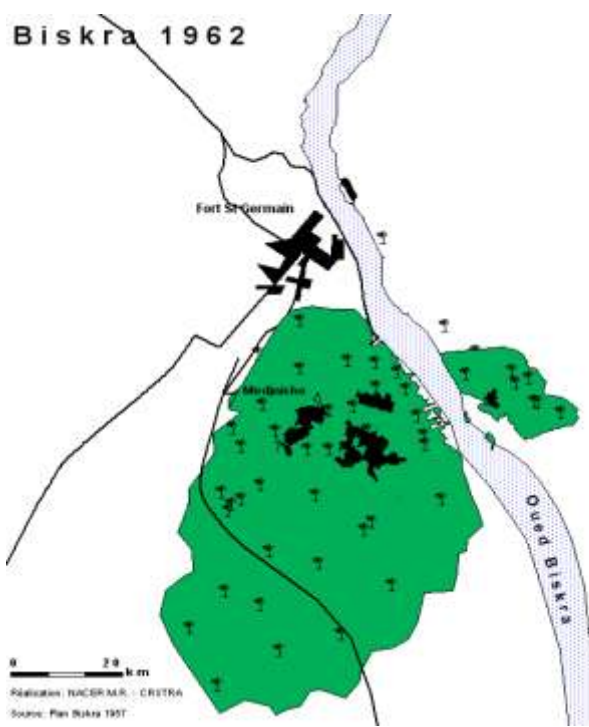
II.4 Une urbanisation anarchique et démesurée

En raison du fort développement des activités agricoles et industrielles, la ville de Biskra a connu une croissance rapide incontrôlable ces dernières années. La construction de logements est connue comme un brillant maître. Il se propage de manière anarchique dans toutes les directions, mais en particulier vers le sud, en direction de la palmeraie.

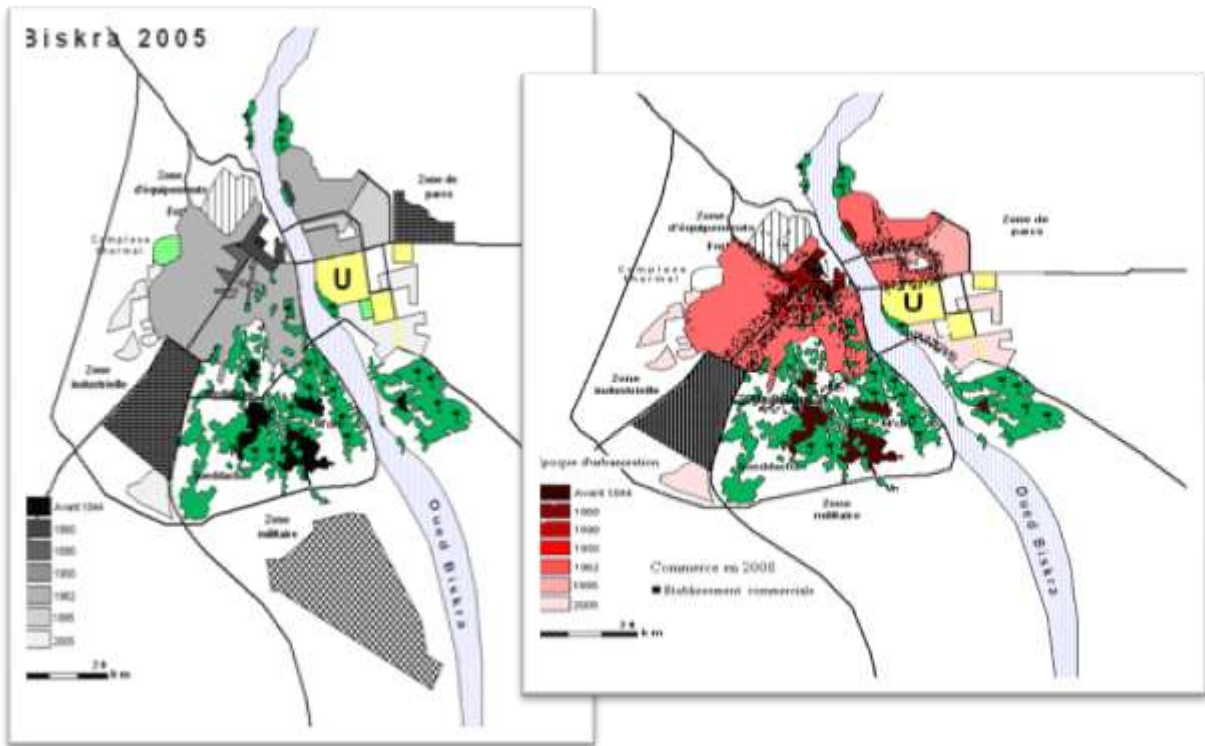
L'urbanisation des palmeraies depuis 1972 a posé de sérieux problèmes à la ville, notamment en termes d'infrastructures et d'assainissement, en raison de sa conséquence directe du développement des structures urbaines, augmente le ruissellement, ce qui peut entraîner des inondations, et une dégradation rapide des routes, notamment leur perméabilité. (Voir cartes II.13, II.14, II.15, II.16 et II.17). [09]



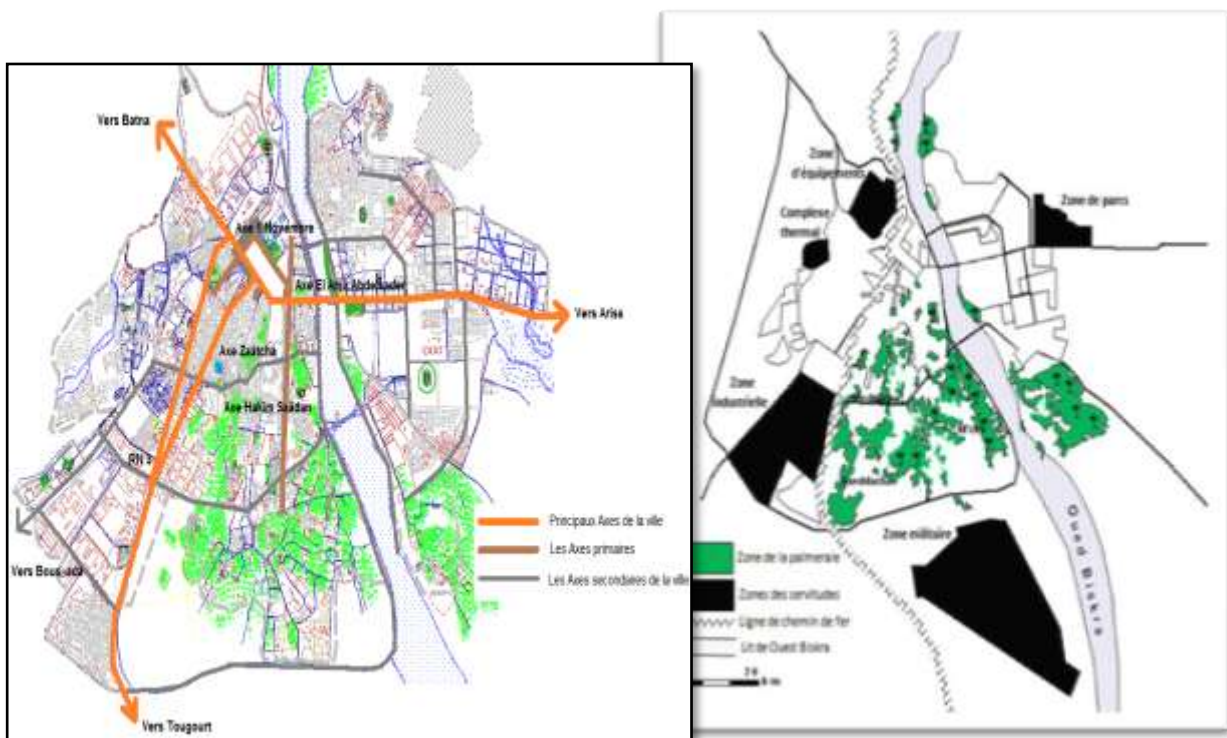
Carte .II.13 : Extensions à l'époque turque 1541-1680-1862
Source : Service d'urbanisme de l'APC de Biskra.



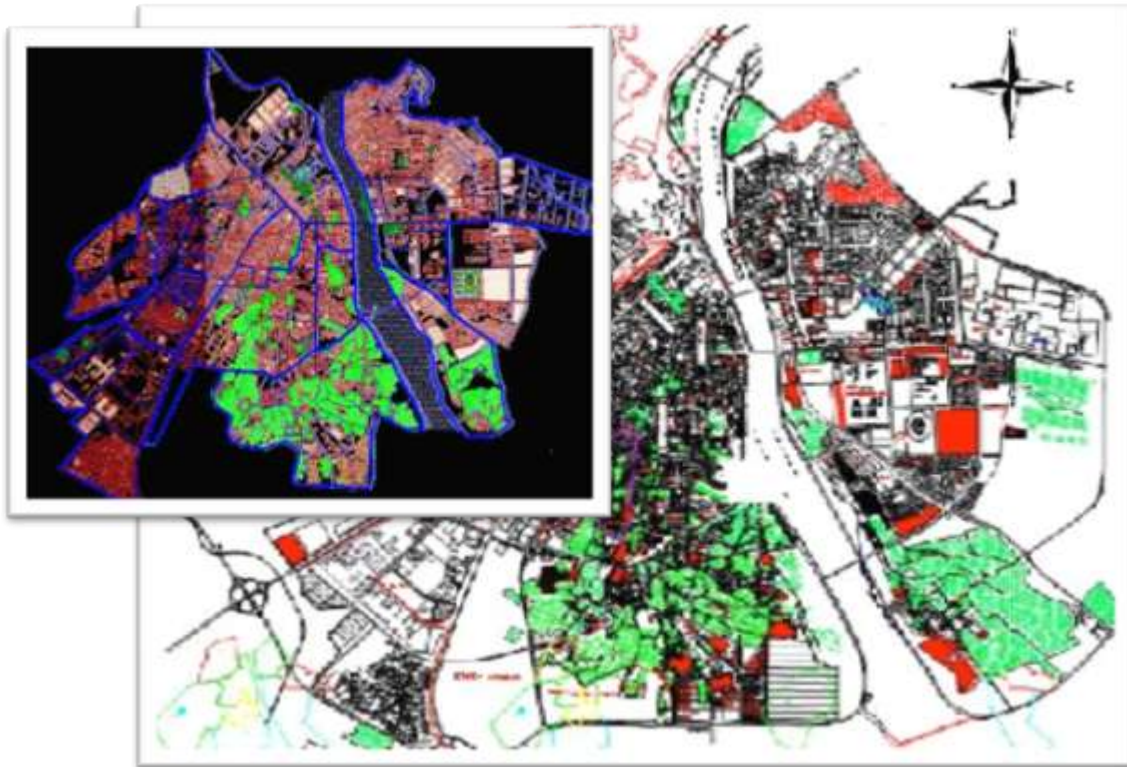
Carte. II.14. Extension urbaine de la ville de Biskra entre 1962 et 1995. Service d'urbanisme de l'APC de Biskra.



Carte. II.15. Extension urbaine de la ville de Biskra entre 2005 et 2008 Service d'urbanisme de l'APC de Biskra.



Carte. II.16. Les axes structurants de la ville de Biskra 2015. Service d'urbanisme de l'APC de Biskra.



Carte. II.17. La ville de Biskra actuellement. Source : PDAU, 2018.

Conclusion

La wilaya de Biskra, dans le sud-est du pays, couvre 20 986 km². Sa population était de 721 356 habitants en 2008, atteignant 819 228 en 2015 et 1 014 155 en 2024 hab.

On peut distinguer : Les montagnes ont des caractéristiques morphologiques, qui distinguent la formation et la propagation des crues, tandis que les contreforts ont une étendue plus restreinte. Dans les plaines, les sédiments nocifs s'accroissent et les conditions d'écoulement entravent le ruissellement de surface, ce qui retarde la propagation des crues.

Enfin, selon leurs caractéristiques lithologiques, les calcaires et les calcaires sont généralement imperméables, tandis que la dolomie et les dépôts de détritiques ont une perméabilité notable, mais leur surface n'est pas suffisamment exposée.

L'absence de végétation dans le BV de O. Biskra, sur des terrains en pente accroît considérablement le ruissellement direct; où le sol est vulnérable aux inondations récurrentes.

La déforestation et la croissance démographique ont aggravé les inondations en obstruant les réseaux d'assainissement. Le recensement national met en lumière l'impact des inondations sur la population, soulignant l'importance de surveiller l'occupation du sol pour comprendre ces impacts.

La ville de Biskra et ses environs sont fréquemment sujets aux inondations en raison des oueds, en particulier l'Oued Biskra. Le risque persistant est lié à des problèmes socio-économiques et environnementaux. Ainsi, une étude approfondie de l'environnement hydrologique de la zone est nécessaire pour comprendre et atténuer ces problèmes.



*Chapitre III : Les facteurs climatiques et leurs
variabilités*



Introduction

Le cycle de l'eau joue un rôle crucial dans la régulation du climat. Les paramètres climatiques exercent une influence significative sur le comportement hydrologique du bassin, d'où l'importance de comprendre leurs relations.

Dans ce chapitre, nous examinerons les différentes conditions climatiques dans le bassin de l'Oued Biskra, en fournissant des données mensuelles et annuelles des stations météorologiques concernant les précipitations, la température, l'évaporation et le ruissellement.

III.1 Climatologie

Les caractéristiques climatiques du bassin versant de l'oued Biskra sont étroitement liées à sa position géographique et son relief ; on relève de fortes variabilités spatiales et surtout temporelles des précipitations sous forme d'averses, des températures et l'influence élevée de l'évapotranspiration.

III.1.1 Acquisition des données

- Dans notre étude, nous avons sélectionné sept stations pluviométriques, dont trois à l'intérieur et trois aux alentours de ceci, ainsi que deux stations hydrométriques situées dans le bassin versant de l'oued Biskra : Djemoura et El Kantara. Voir tableau n°02 et carte n°01.
- Une série pluviométrique 1968/2014 (46 ans)
- Une série hydrométrique :

1. La série la plus récente disponible pour la station hydrométrique d'El Kantara, qui supervise le sous bassin de l'oued El Hai, qui s'étend sur 1788 km², couvre une période de 28 ans (1968-1995).
2. La station de Djemoura, qui surveille le sous-bassin du même nom d'une superficie de 906 km², présente une série de données couvrant une période de 22 ans (1972/1993). [22]

Le logiciel hydrognomon a été utilisé, pour combler les lacunes en utilisant la méthode de la courbe double masse (double masse curve).

III.1.1.1 Critique des données

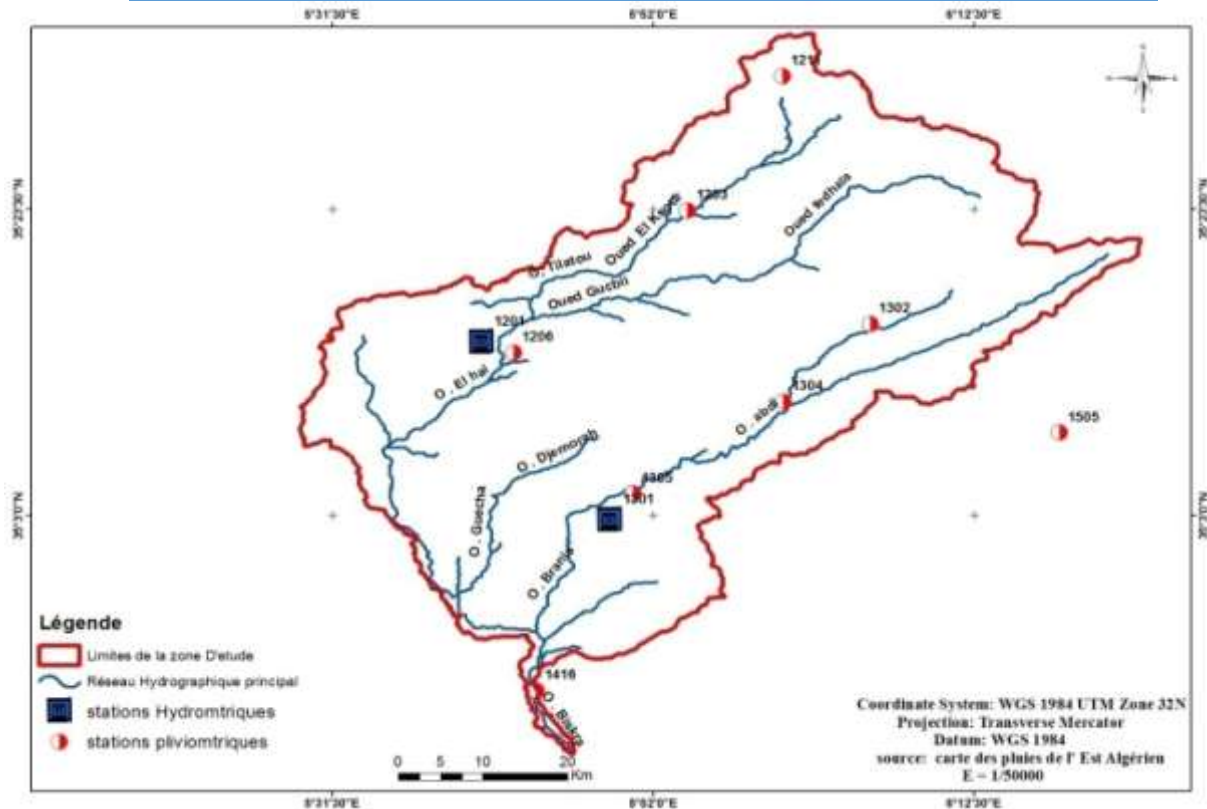
Pour garantir la qualité des données, nous devons :

- ✓ Si les séries enregistrées ont des lacunes, elles doivent être comblées.
- ✓ Déterminer et corriger les valeurs suspectes.
- ✓ L'homogénéité et les valeurs singulières des données doivent être vérifiées.

Les informations accessibles et exploitables concernant les précipitations et hydrométriques sont classées par (ANRH), Le tableau III.01 et la carte III.01 contiennent les coordonnées des stations.

Tableau III.1 Coordonnées des stations pluviométriques et leurs codes :

Station	Code ANRH	Lambert		Altitudes (m)
		X	Y	
Biskra	06.14.16	777	178	120
Batna	07.03.16	814,70	257,35	1040
T'kout	06.15.05	828,5	211,25	980
Bouzina	06.13.02	810	225	1350
Menaa	06.13.04	801,25	213,25	983
Djemoura	06.13.05	786,5	201,6	545
El kantara	06.12.06	774,7	217,4	513



Carte III.01 .Emplacement des stations pluviométriques et hydrométriques du bassin versant.

III. 1.1.2 La méthode de régression linéaire pour combler les lacunes d'observation

Les stations disponibles présentent des lacunes mensuelles et annuelles, liées à une absence de surveillance ou une panne du pluviomètre. Une méthode de corrélation linéaire est utilisée pour restaurer les données manquantes. [10]

L'équation de régression associée à la station est homogénéisée avec la station de référence comme suit :

$$Y=aX+b$$

Avec :

Y : valeur estimée de la série à homogénéiser.

a : pente de la droite (coefficient angulaire de la droite de régression linéaire).

b : coordonnée à l'origine (constante).

X : valeur connue de la série homogène.

Les écarts d'observation sont comparés mensuellement, avec Biskra comme référence. Les totaux annuels sont estimés en parallèle pour être comparés séparément aux totaux mensuels. Cependant, la méthode de corrélation linéaire ignore la réalité géographique et les nuances locales des précipitations, ce qui entraîne des incohérences dans les résultats. (Voir Figures III.01 et III.02).

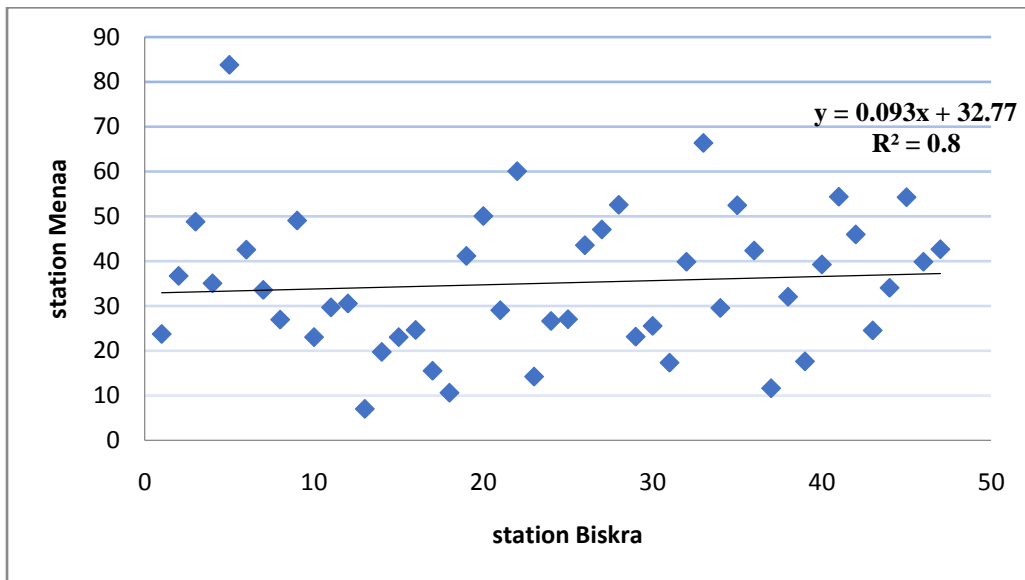


Fig. III.01. Régression linéaire simple à l'échelle mensuelle station Menaâ –Biskra.

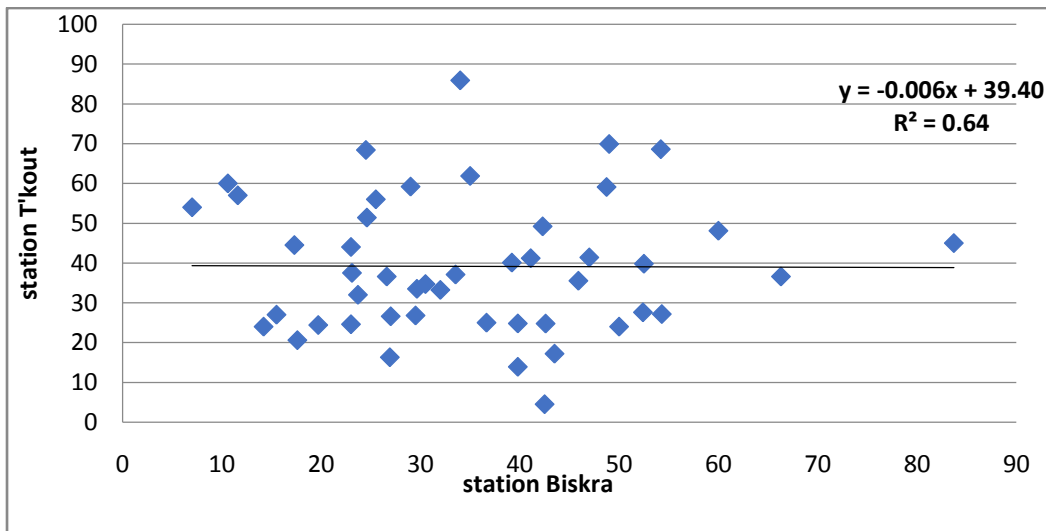


Fig. III.02. Régression linéaire simple à l'échelle mensuelle station T'kout –Biskra.

En général, on peut dire que cette méthode n'a pas abouti à notre recherche, Pour cette raison, nous avons opté pour la deuxième méthode, qui repose sur la relation entre la station à combler le vide et toutes les autres stations, et cette dernière a finalement donné de bons résultats.

Le logiciel hydrognomon est utilisé pour traiter les données de notre zone d'étude sur toutes les stations (voir annexes 01).

III.1.2 Analyse de l'homogénéité

Le test d'homogénéité combine divers tests statistiques, dont le cumul simple, le double cumul, le test de Man et Whitney et le test de Wilcoxon..., en se concentrant sur l'hypothèse de la variable universelle. [11]

III.1.2.1 Test de Wilcoxon

Le test de Wilcoxon stipule que si l'échantillon X provient de la même population Y, alors l'échantillon XUY, qui est une combinaison de X et Y, provient également de cette population. Une série d'observations de longueur N doit être divisée en deux échantillons, X(N1) et Y(N2). [11]

En tenant : $N=N1+N2$ et $N1 \leq N2$.

Les valeurs de la série sont classées par ordre croissant. Ensuite, la somme W_x des rangs des éléments du premier échantillon dans la série commune est calculée: $W_x = \sum \text{Rangs } x$

Selon Wilcoxon, dans le cas où les deux échantillons X et Y forment une série homogène, la quantité W_x est comprise entre deux bornes appelées W_{\max} et W_{\min} :

$$W_{\min} = \frac{(N_1+N_2+1)N_1-1}{2} - Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{(N_1+N_2+1)N_1N_2}{12}} \quad \text{[III. 1]}$$

$$W_{\max} = (N_1 + N_2 + 1)N_1 - W_{\min} \quad \text{[III. 2]}$$

$Z_{1-\alpha/2}$ représente la valeur de la variable centrée réduite de la loi normale correspondant à $1-\alpha/2$.

Des exemples des tests statistiques d'homogénéité de la série, sont regroupés dans les tableaux III.02 et tableau III.03.

Tableau III.02 Analyse descriptive de la station Batna.

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans Données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Var1	23	0	23	20,700	64,40	38,382	13,885
Var2	23	0	23	20,3	64,60	38,030	12,004

Tableau III.03 Test de Wilcoxon signé / Test bilatéral.

V	147,000
Espérance	138,000
Variance (V)	1081,000
p-value (bilatérale)	0,800
Alpha	0,05

Interpretation du test

H0 : La loi de distribution pour les deux échantillons est la même.

Ha : Les deux échantillons ont des distributions différentes.

On ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0 car la p-value calculée est supérieure au seuil alpha = 0,05.

- Il y a un risque de 14,33% de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie.

Les résultats du test de Wilcoxon indiquent que la série est homogène.

III.1.2.2 Test de Mann-Whitney

L'hypothèse statistique H0, qui affirme qu'une série est homogène, peut être vérifiée en observant que les conditions posées lors de la collecte des données ou l'apparition du phénomène n'ont pas changé tout au long de la période de collecte.

On divise notre série en deux N1 et N2 avec N=N1+N2 et N1 ≤ N2.

$$\begin{array}{l}
 X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_{N1} \\
 Y_1, Y_2, \dots, Y_i, \dots, Y_{N2}
 \end{array}$$

Dans l'échantillon d'origine, nous classons les valeurs par ordre croissant de 1 à N et notons R (xi) pour le premier sous-ensemble et R (yi) pour le second sous-ensemble.

$$\mathbf{K} = \mathbf{L} - \frac{(\mathbf{N}_1+1)\mathbf{N}_1}{2} \tag{III. 3}$$

$$\mathbf{K} = \mathbf{N}_1\mathbf{N}_2 - \mathbf{K} \tag{III. 4}$$

Avec :
$$\mathbf{L} = \sum_{i=1}^{N1} \mathbf{R}(xi) \tag{III. 5}$$

L : est la somme des rangs des éléments de l'échantillon 1 dans l'échantillon original.

K : est la somme des nombres de dépassements de chaque élément du second échantillon par ceux du premier échantillon.

Une moyenne égale à :
$$\bar{\mathbf{K}} = \bar{\mathbf{S}} = \frac{\mathbf{N}_1\mathbf{N}_2}{2} \tag{III. 6}$$

Un écart-type égale à
$$\mathbf{S}_k = \mathbf{S}_s = \frac{\mathbf{N}_1\mathbf{N}_2}{2} (\mathbf{N}_1 + \mathbf{N}_2 + 1) \tag{III. 7}$$

Au niveau de signification α, en comparant la grandeur :

$$\mathbf{T} = \left| \frac{\mathbf{K} - \bar{\mathbf{K}}}{\mathbf{S}_k} \right| \tag{III. 8}$$

Avec la variable normale centrée réduite ayant une probabilité de dépassement α/2.

Si T < Z_{α/2} on accepte H0 (la série statistique est homogène).

Les tableaux (III.4) et (III.5), rassemblent les résultats des tests statistiques d'homogénéité de la série.

Tableau III.4 Statistiques descriptives station de Biskra.

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart- type
Var1	23	0	23	7,000	83,710	32,938	17,462
Var1(2)	24	0	24	11,600	66,300	37,021	13,866

Tableau III.5 Test de Mann-Whitney / Test bilatéral

U	218,000
Espérance	276,000
Variance (U)	2207,745
p-value (bilatérale)	0,221
alpha	0,05

Interpretation du test:

H_0 : La différence de position des échantillons est égale à 0.

H_a : La différence de position des échantillons est différente de 0.

Il est impossible de rejeter l'hypothèse nulle H_0 car la p-value calculée est supérieure au seuil $\alpha=0,05$.

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 7,26%.

- D'après les résultats Test de Mann-Whitney, la série est homogène.

D'après les résultats des deux tests de Wilcoxon et Mann-Whitney, on peut déduire que la série est homogène.

III.2 Analyse statistique des données pluviométriques**III.2.1 Étude des précipitations moyennes annuelles**

Le tableau ci-dessous montre une anomalie significative avec une pluviométrie annuelle moyenne de 122,8 mm, basée sur une série d'observations relativement longue à la station de Biskra (1968-2014) (tableau III.06) et (Figure III.03).

Tableau III.6: Précipitations moyennes annuelles (1968-2014).

1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
62.47	167.7	117.7	157.3	43.5	90.7	128	78	107.5	49.9	50.1	113.9	161.2
1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
71	69.8	89.3	142.1	185.4	154	31.9	129	108.4	186.4	178.8	81.8	221.8
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
40.6	84.5	45.4	154	237.6	45.2	215	92.2	116.9	169.8	185.5	252.3	54.5
2013	MOYENNE											
204.5	122.8mm											

(A.N.R.H, 2013).

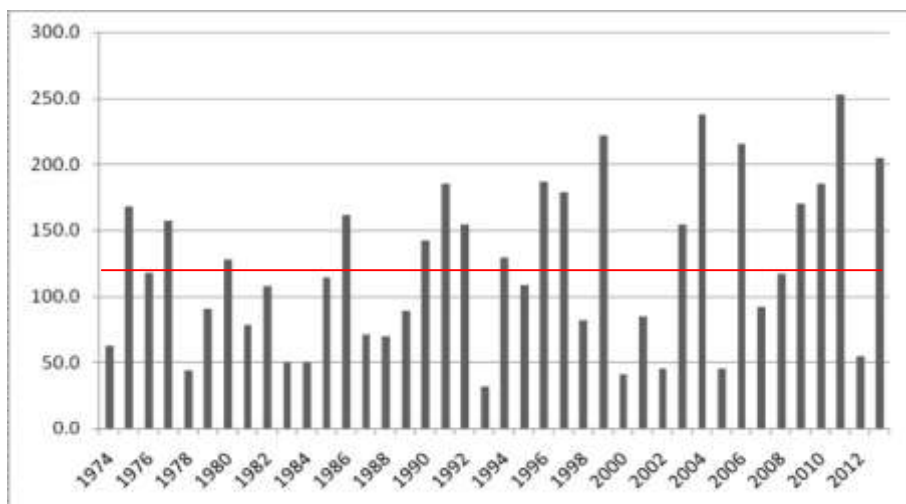


Fig. III.3. Variations des précipitations moyennes annuelles à la station de Biskra (1968-2014).

Les données pluviométriques montrent que 2011 a été l'année avec les précipitations les plus élevées, dépassant la moyenne de 252,3 mm, tandis que 1993 a eu les plus faibles, ce qui indique le caractère désertique de la zone.

III.2.2 Etude des précipitations moyennes mensuelles

Le tableau (III.07) présente les valeurs moyennes mensuelles des précipitations, mesurées à la station de Biskra, sur la période allant de 1968 à 2014, voir (Figure III.04).

Tableau III.7 : Précipitations moyennes mensuelles (1968 à 2014).

Mois	Jan	Fév	mar	avr	mai	jui	Juil	Août	sep	oct	Nov	déc	Annuelle
P (mm)	19,69	8,50	21,75	15,67	10,27	3,38	8,17	2,08	30,94	14,87	20,50	17,23	173.05

O.N.M Biskra, 2015

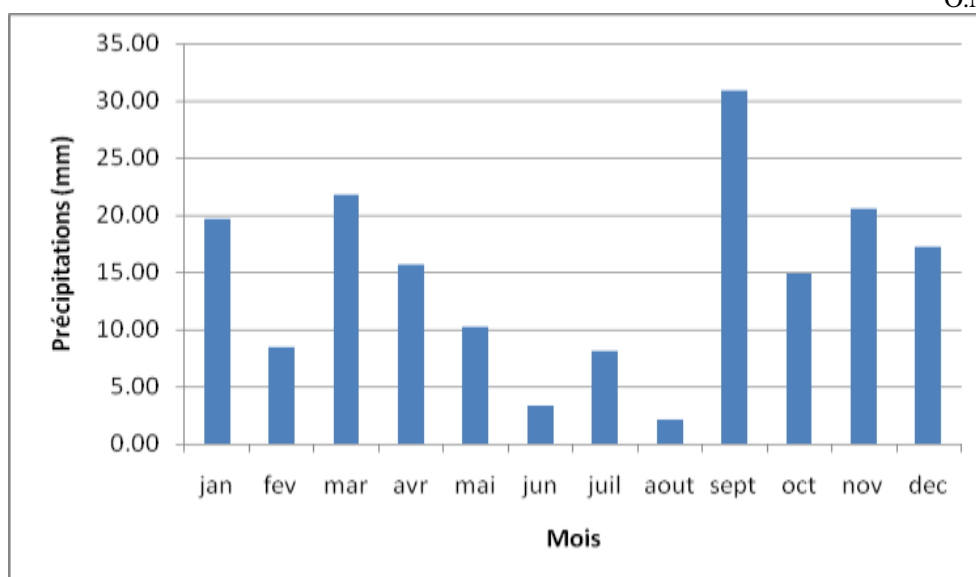


Fig. III.04 Histogramme des précipitations moyennes mensuelles Station de Biskra (1968/2014).

La station de Biskra a enregistré des prélèvements moyens mensuels à différentes périodes (Figure III.4), avec une pluviométrie maximale de 30,94 mm en septembre, tandis que le mois sec a enregistré une valeur de 2,08 mm, au mois sec d'août.

III.2.3 Pluies maximales journalières

Pour estimer les débits de crue de pointe, une analyse des prélèvements maximaux journaliers et même horaires est nécessaire. Il s'intéresse particulièrement aux études sur la prévention des inondations.

Nous avons utilisé les informations d'observation obtenues pour sept (7) stations pluviométriques, sur une période de quarante-six (46) (Voir exemple de station de Djemoura tableau III.08 et figure III.05).

Tableau III.08: Les précipitations maximales journalières (station de Djemoura).

Année	PJ max (mm)	Année	PJ max (mm)
1968	62,13	1974	37,10
1969	62,73	1975	21,50
1970	65,00	1976	83,10
1971	3,00	1977	28,60
1972	85,45	1978	24,20
1973	66,55	1979	27,90
1980	16,90	1997	36,80
1981	35,20	1998	25,10
1982	32,80	1999	19,70
1983	50,20	2000	16,80
1984	27,20	2001	21,30
1985	18,80	2002	83,00
1986	38,20	2003	66,60
1987	21,60	2004	45,20
1988	23,60	2005	75,00
1989	11,00	2006	50,80
1990	24,00	2007	45,00
1991	38,80	2008	30,60
1992	39,06	2009	20,30
1993	20,16	2010	37,40
1994	15,00	2011	33,40
1995	31,00	2012	40,00
1996	21,80	2013	21,40
		2014	23,60

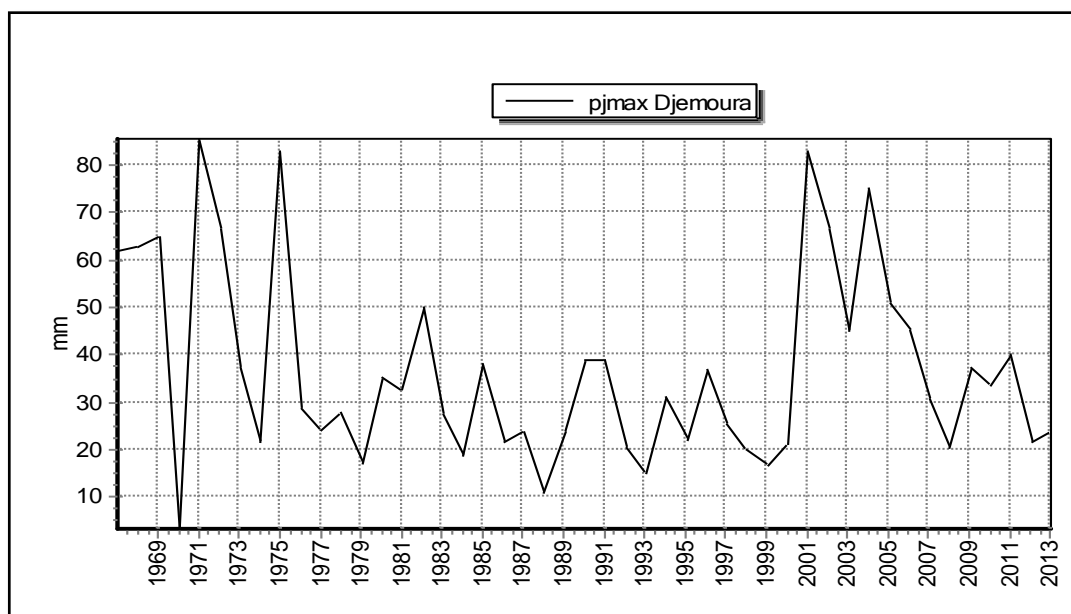


Fig. III.05. Variabilité des pluies maximales journalières station de Djemoura (1968/2014).

Concernant la variation temporelle des précipitations maximales journalières, on constate que les mois les plus pluvieux de l'année ont les niveaux les plus élevés : septembre, octobre et novembre, décembre, février et mai pour les séries (1968/1975) et (2000/ 2004).

Ces pluies journalières jouent un rôle essentiel dans l'alimentation des crues et le transport des sédiments de l'oued Biskra.

III.2.3.1 Ajustement statistique des pluies journalières maximales

Une étude fréquentielle permet de caractériser et d'évaluer précisément les précipitations pour différents intervalles de répétition, afin de mettre en évidence cette particularité temporelle des précipitations extrêmes.

La loi de Gumbel, ou des valeurs aberrantes doubles, est la loi de meilleur ajustement pour les valeurs extrêmes, donc elle peut être appliquée à notre série d'observations.

Le tableau III.09 présente les estimations des quantités pour les stations de Oued Biskra, ainsi que la probabilité de rendement retenu.

Tableau III.09 Résultats d'analyse statistique descriptive précipitations maximales journalières fréquentielles.

T	2	5	10	50	100	1000
Pjmax%						
Fréquence	0,5	0,8	0,9	0,98	0,99	0,999
Variable de Gumbel	0,367	1,500	2,300	3,900	4,600	6,900
Biskra	32,44	46,32	55,50	75,72	84,26	112,50
Batna	36,21	47,45	54,89	71,26	78,18	101,06

Mena	35,67	49,80	59,15	79,73	88,43	117,19
Fl kantara	29,12	40,62	48,23	64,97	72,05	95,45
Djemoura	33,35	51,35	63,27	89,51	100,60	137,26
Bouzina	33,22	44,99	52,79	69,94	77,19	101,16
T'kout	36,35	51,47	61,48	83,51	92,82	123,59
Bassin (moyenne)	33,77	47,43	56,47	76,38	84,79	112,60

L'histogramme de la figure III.06 ; symbolise l'ensemble des données d'observations des pluies maximales journalières marquées au niveau de la station de T'kout.

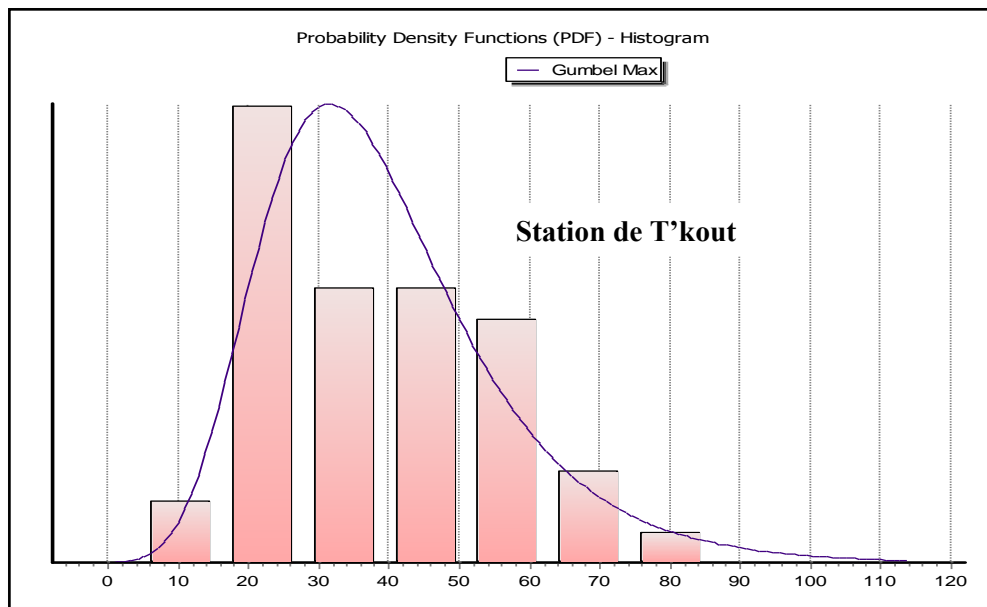


Fig. III.06. Histogramme des précipitations maximales journalières station de T'kout. (1968/2014).

La figure III.07 montre d'autres histogrammes des différentes stations de O.Biskra.

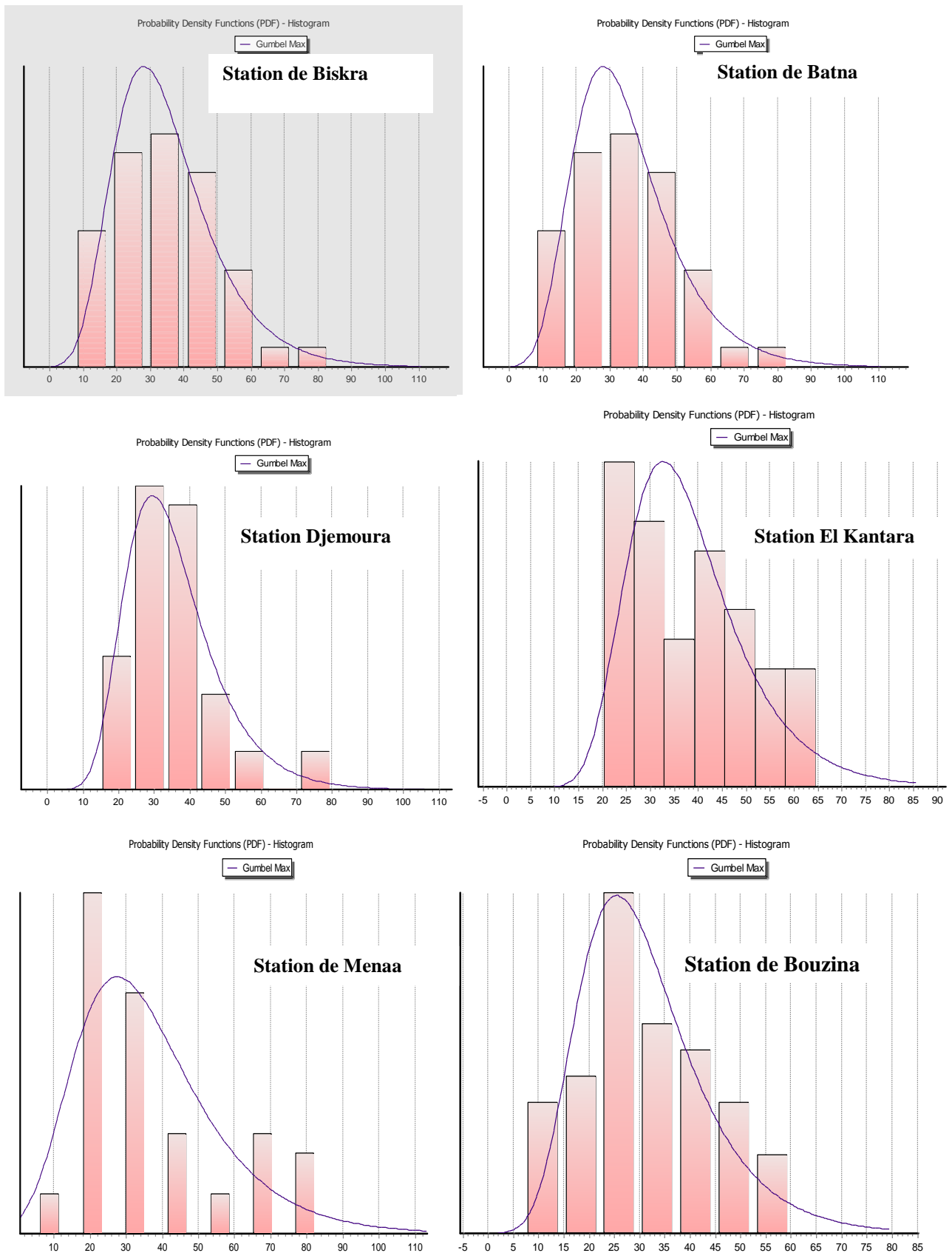


Fig. III.07. Histogramme des précipitations maximales journalières stations Biskra, Mena, Batna, Bouzina, Djemoura et El kantara (1968/2014).

La figure III.08 montre l'ajustement des Pmaxj de la station T'kout à la loi de GAMBEL pour les différentes périodes de retour, résultant du logiciel Hyfran plus.

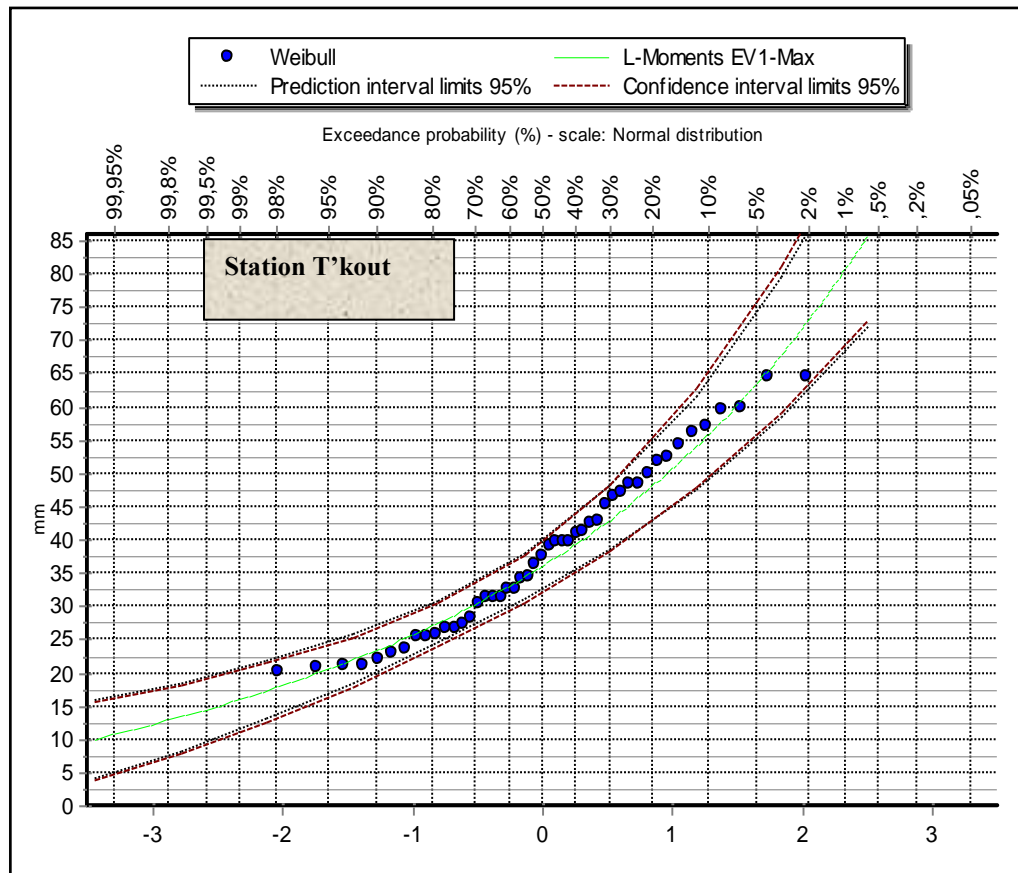


Fig. III.08. Ajustement des précipitations journalières maximales à la loi de Gumbel station de T'kout (1968/2014).

L'annexe 02, englobe les résultats de l'ajustement à la loi de GAMBEL, des Pmaxj de l'ensemble des stations pour les différentes périodes de retour.

III.2.3.2 Pluies de courte durée I.D.F (courbes : intensité-durée-fréquence)

Afin de mieux caractériser les événements extrêmes liés aux crues fluviales, il est nécessaire de réduire davantage l'échelle de temps dans l'analyse des précipitations extrêmes, c'est-à-dire l'échelle horaire des précipitations ; pour analyser correctement les événements de fortes pluies et d'inondations observés dans le bassin.

Cependant, s'il n'y a pas suffisamment de données, il est nécessaire d'utiliser des formules empiriques pour considérer les précipitations à court durée, ce qui implique l'utilisation de la méthode de l'ANRH, selon K.Body (1981) [12].

La relation Intensité – Durée – Fréquence, recherché est de la forme :

$$P_t = P_{jmax} \left(\frac{T}{24} \right)^b \quad \text{[III. 09]}$$

Avec :

P_t : Pluie correspondante à un pas de temps t (mm).

P_{jmax}: Pluie maximale journalière pour la même fréquence (mm).

t : Durée de la pluie (heures).

b : Exposant climatique

$$b = 1 + \frac{\ln\left(\frac{P_{jmax}}{24}\right) - \ln(25)}{\ln(24) - \ln(0,5)} \quad \text{[III. 10]}$$

L'exposant climatique pour les stations est présenté dans le tableau III.10.

Tableau III.10 : valeurs de l'exposant climatique pour les quatre stations pluviométriques de l'oued Biskra.

Station	P _j max (mm)	Exposant climatique
Biskra	36,50	0,22
Batna	38,30	0,27
Bouzina	38,00	0,24
T'kout	38,90	0,28
El kantara	34,25	0,25
Djemoura	39,20	0,25
Mena	37,53	0,252

La formule suivante permet de calculer l'intensité des pluies :

$$I = \frac{P_t}{T} (\text{mm/h}) \quad \text{[III. 11]}$$

Ces courbes représentent la relation entre l'intensité des pluies, la durée de l'événement pluvieux, et la fréquence à laquelle de tels événements peuvent se produire.

Dans le contexte des inondations, les courbes IDF sont utilisées pour : Analyse des risques d'inondation : Les courbes IDF identifient la probabilité statistique des événements de pluie d'une certaine intensité et durée, ce qui est crucial pour estimer les risques d'inondation dans une région donnée.

Les tableaux III.11 et III.12 montrent la pluie de courte durée, pour les stations de T'kout, Batna, Bouzina et Biskra, pour les différentes fréquences, ainsi que l'intensité de la pluie.

Les courbes des stations de T'kout, Batna, Bouzina en termes de Hauteurs, de durées et de fréquences (HDF) sont présentées dans la Figure II.09, les courbes des stations de T'kout, Batna, Bouzina et Biskra, Pour l'intensité, la durée et la fréquence (IDF) sont présentées dans la Figure III.10.

Pour les stations de Djemoura, El Kantara et Mena sont présentées dans l'annexe 03.

Tableau III. 11 : Pluie de courte durée (mm) stations de T'kout, Batna, Bouzina et Biskra.

	T'kout				Batna				Bouzina				Biskra			
	10	50	100	1000	10	50	100	1000	10	50	100	1000	10	50	100	1000
t (h)	0,9	0,98	0,99	0,999	0,9	0,98	0,99	0,999	0,9	0,98	0,99	0,999	0,9	0,98	0,99	0,999
0,5	20,80	28,25	31,40	41,81	19,30	25,056	27,489	35,534	20,85	27,620	30,483	39,949	23,68	32,310	35,954	48,004
1	25,25	34,30	38,12	50,76	23,27	30,213	33,147	42,847	24,62	32,619	36,001	47,180	27,58	37,633	41,877	55,912
2	30,66	41,65	46,29	61,63	28,06	36,431	39,968	51,665	29,08	38,523	42,517	55,719	32,13	43,832	48,775	65,123
3	34,35	46,65	51,85	69,04	31,31	40,645	44,592	57,643	32,05	42,460	46,862	61,414	35,12	47,922	53,326	71,199
4	37,23	50,57	56,20	74,83	33,84	43,928	48,194	62,299	34,34	45,496	50,212	65,804	37,42	51,053	56,810	75,851
6	41,70	56,65	62,96	83,83	37,75	49,011	53,770	69,506	37,85	50,145	55,344	72,529	40,91	55,816	62,111	82,928
12	50,63	68,78	76,45	101,79	45,52	59,097	64,836	83,811	44,70	59,221	65,360	85,657	47,65	65,011	72,343	96,589
18	56,72	77,05	85,64	114,03	50,79	65,934	72,337	93,507	49,27	65,274	72,040	94,411	52,10	71,076	79,092	105,601
24	61,48	83,51	92,82	123,59	54,89	71,260	78,180	101,060	52,79	69,940	77,190	101,160	55,50	75,720	84,260	112,500
35	68,33	78,58	103,16	137,36	60,78	78,902	86,564	111,898	57,79	76,569	84,506	110,748	60,30	82,273	91,552	122,237

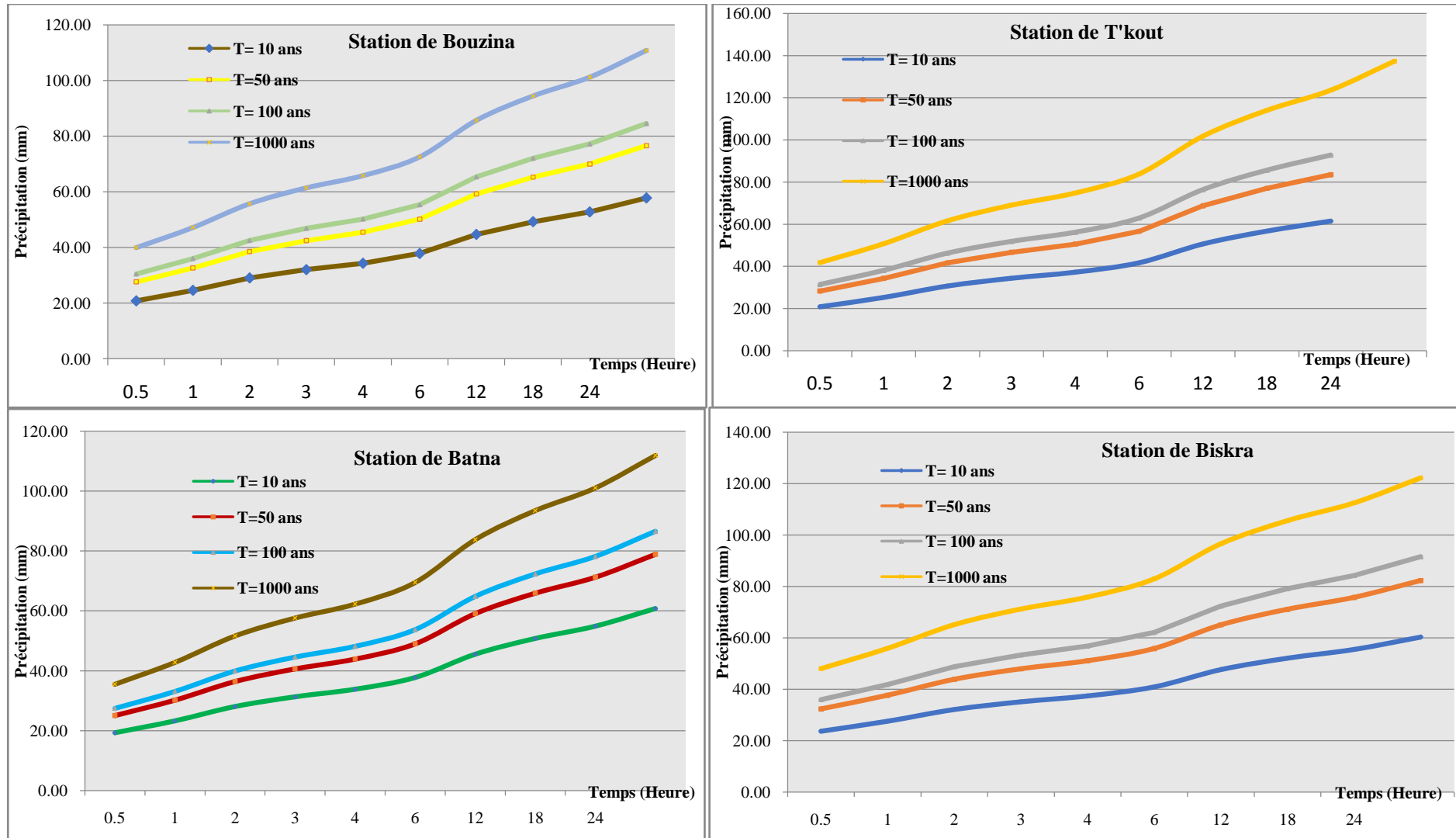


Fig. III.09. Courbes Hauteurs – durées – Fréquences (H.D.F) stations de T’kout, Batna, Bouzina et Biskra.

Tableau III.12 : Intensité des pluies I pour stations de T'kout, Batna, Bouzina et Biskra.

	T'kout				Batna				Bouzina				Biskra			
	10	50	100	1000	10	50	100	1000	10	50	100	1000	10	50	100	1000
t (h)	0,9	0,98	0,99	0,999	0,9	0,98	0,99	0,999	0,9	0,98	0,99	0,999	0,9	0,98	0,99	0,999
0,5	41,59	56,50	62,79	83,61	38,60	50,11	54,98	71,07	41,69	55,24	60,97	79,90	47,36	64,62	71,91	96,01
1	25,25	34,30	38,12	50,76	23,27	30,21	33,15	42,85	24,62	32,62	36,00	47,18	27,58	37,63	41,88	55,91
2	15,33	20,82	23,14	30,82	14,03	18,22	19,98	25,83	14,54	19,26	21,26	27,86	16,06	21,92	24,39	32,56
3	11,45	15,55	17,28	23,01	10,44	13,55	14,86	19,21	10,68	14,15	15,62	20,47	11,71	15,97	17,78	23,73
4	9,31	12,64	14,05	18,71	8,46	10,98	12,05	15,57	8,58	11,37	12,55	16,45	9,35	12,76	14,20	18,96
6	6,95	9,44	10,49	13,97	6,29	8,17	8,96	11,58	6,31	8,36	9,22	12,09	6,82	9,30	10,35	13,82
12	4,22	5,73	6,37	8,48	3,79	4,92	5,40	6,98	3,72	4,94	5,45	7,14	3,97	5,42	6,03	8,05
18	3,15	4,28	4,76	6,33	2,82	3,66	4,02	5,19	2,74	3,63	4,00	5,25	2,89	3,95	4,39	5,87
24	2,56	3,48	3,87	5,15	2,29	2,97	3,26	4,21	2,20	2,91	3,22	4,22	2,31	3,16	3,51	4,69
35	1,95	2,65	2,95	3,92	1,74	2,25	2,47	3,20	1,65	2,19	2,41	3,16	1,72	2,35	2,62	3,49

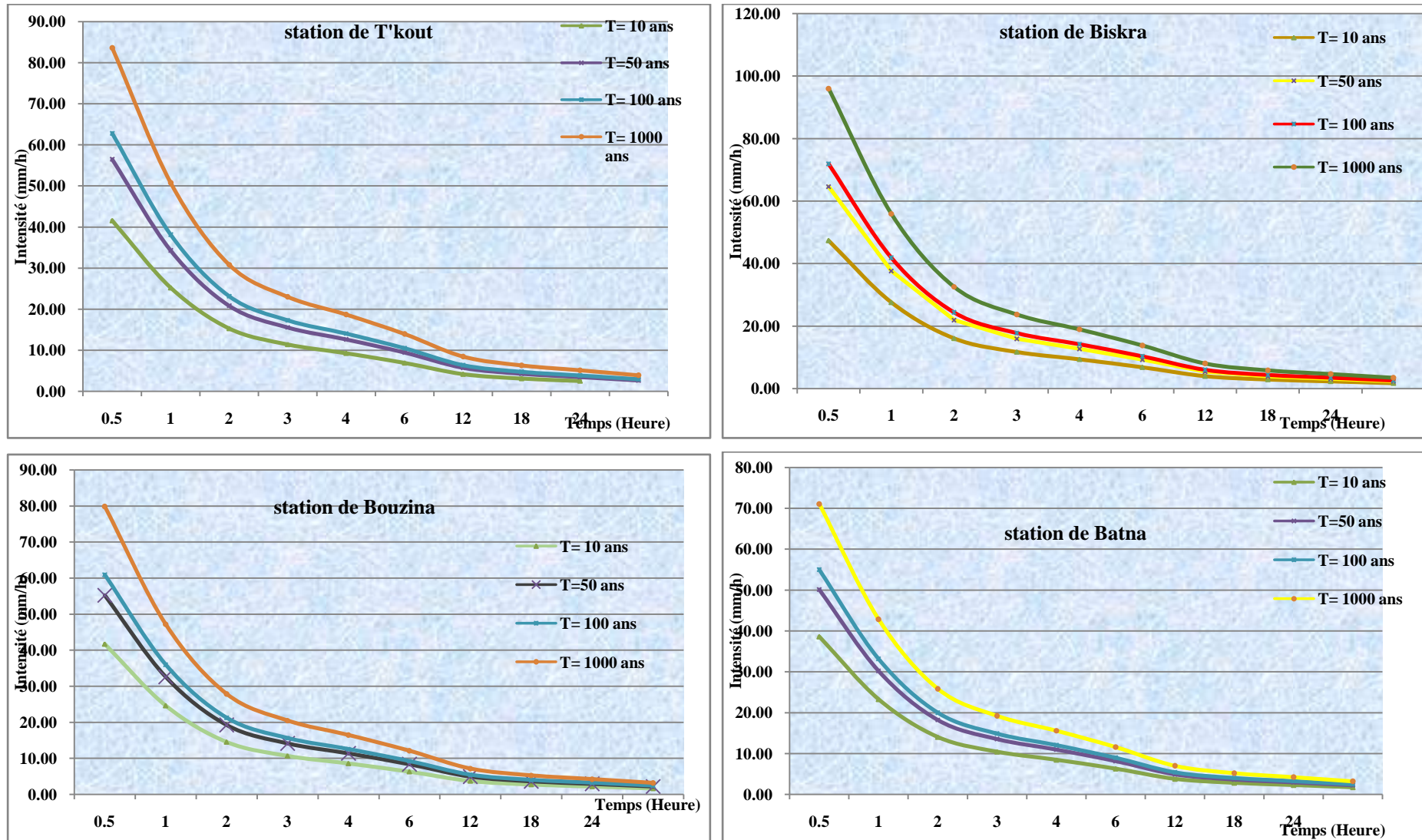


Fig. III.10. Courbes Intensité – Durée – fréquence (IDF) stations de T'kout, Batna, Bouzina et Biskra.

III.3 Données climatiques

Le climat de Biskra varie de semi-aride à aride, avec des étés chauds et secs et des hivers froids et secs.

Nous avons utilisé les informations disponibles et relevées dans la station de Biskra pour notre région d'étude.

III.3.1 Les températures

Le deuxième facteur qui influence le climat d'une zone est la température, après la pluie. De plus, cela permet d'évaluer le déficit de débit.

La température la plus haute a été de 35,2°C en juillet et la température la plus basse de 12,4°C en janvier, selon les données du tableau. III.13.

Tableau III.13. Températures moyennes mensuelles durant la période 1968-2014

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T (°C)	12,4	13,2	17,2	21,8	26,3	31,4	35,2	33,7	29	22,8	16,6	12,8

(Station météorologique, Biskra, 2019).

Les températures moyennes mensuelles de la station de Biskra ont changé entre 1968 et 2014 comme le montre la figure n°III.11.

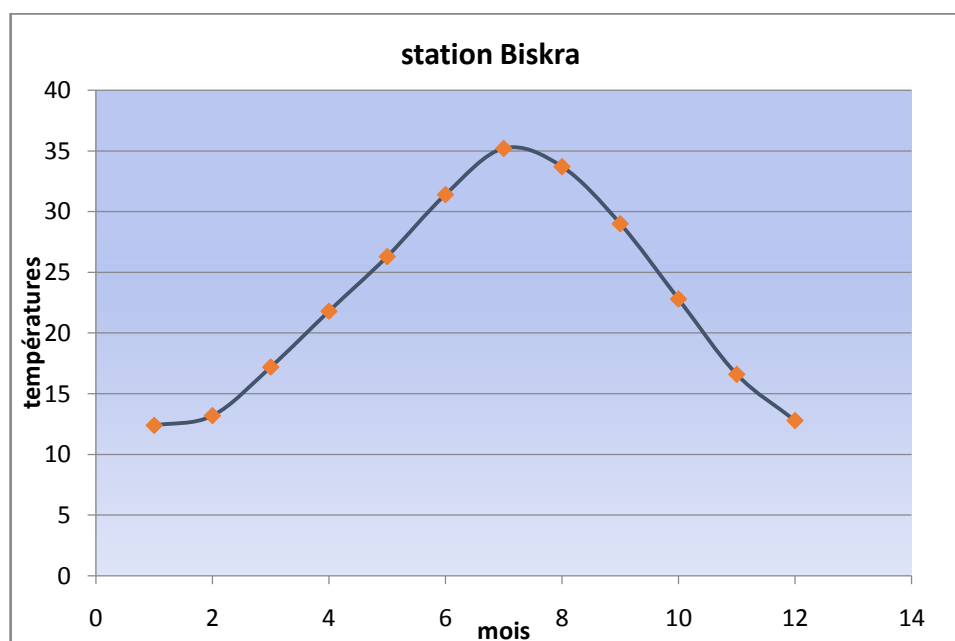


Fig. III.11. Répartition des températures moyennes mensuelles à la station de Biskra (1968/2014).

II.3.2 Les précipitations

Au cours de la période 1968-2014, il y a eu de très faibles prélèvements dans la région de Biskra, comme en témoignent les prélèvements plus élevés en octobre avec 29,31 mm et les prélèvements plus faibles en juillet avec 0,81 mm (tableau III.14).

Tableau III.14. Précipitations moyennes mensuelles (1968 – 2014).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P (mm)	13.77	5.87	16.28	17.5	13.36	7.57	0.81	2.03	18.13	29.31	9.86	4.62

(Station météorologique, Biskra, 2019).

Les moyennes mensuelles de la station de Biskra sont présentées dans la figure n° III.12.

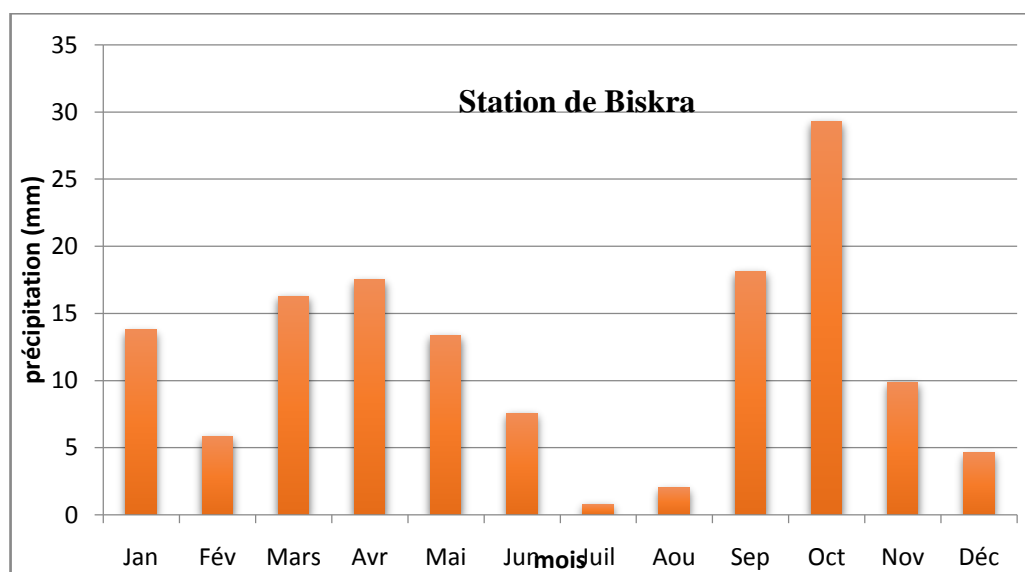


Fig. III.12. Variation des précipitations moyennes mensuelles (1968/2014) station de Biskra.

La figure III.12, montre que les valeurs de précipitations maximales sont marquées principalement, en mois d'Octobre avec un maximum de 29,31 mm, tandis que le mois le plus sec est celui de Juillet, avec une valeur enregistrée de 0,81 mm.

Les mois d'Octobre enregistrent les de précipitations les plus élevés, avec un maximum de 29,31 mm, tandis que Juillet est le mois le plus sec, avec un maximum de 0,81 mm, comme le montre la figure III.12.

III.3.3 Les vents

Au mois de mars, la vitesse maximale du vent était de 4,8 m/s. Cependant, la vitesse minimale a été atteinte en août avec 3 m/s (tableau. III.15).

Tableau III.15. Vitesse moyenne mensuelle du vent durant la période 1968-2014.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
V (m/s)	4.1	4.4	4.8	4.4	4.3	3.9	3.2	3	3.1	3.1	3.5	3.1

(Station météorologique, Biskra, 2019).

La figure III.13 montre l'évolution des vitesses des vents à la station de Biskra entre 1968 et 2014.

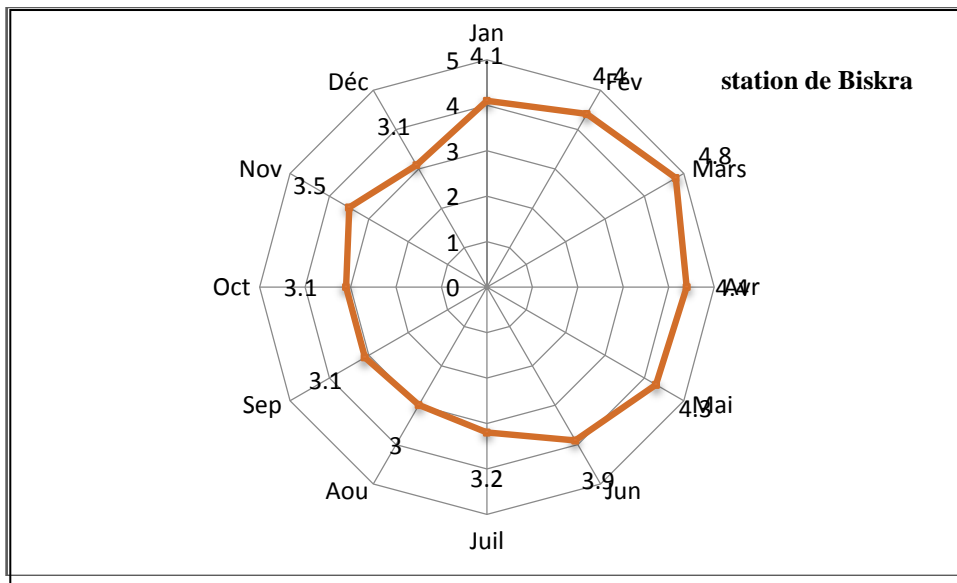


Fig. III.13. Vitesses du vent moyennes mensuelles station de Biskra (1968/2014).

III.3.4 Le taux d'humidité relatif de l'air

Le mois le plus humide est décembre avec 58,6 %, tandis que le mois le plus sec est juillet avec 27,1 %, selon les données caractéristiques de l'humidité relative de l'air à Biskra de 1968 à 2014 (tableau III .16 et figure III.14).

Tableau III.16. Humidité moyenne mensuelle durant la période 1968-2014.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
H (%)	57.2	51.1	45.1	42.3	35.8	31	27.1	33.2	42.9	46.9	55.7	58.6

(Station météorologique, Biskra 2013).

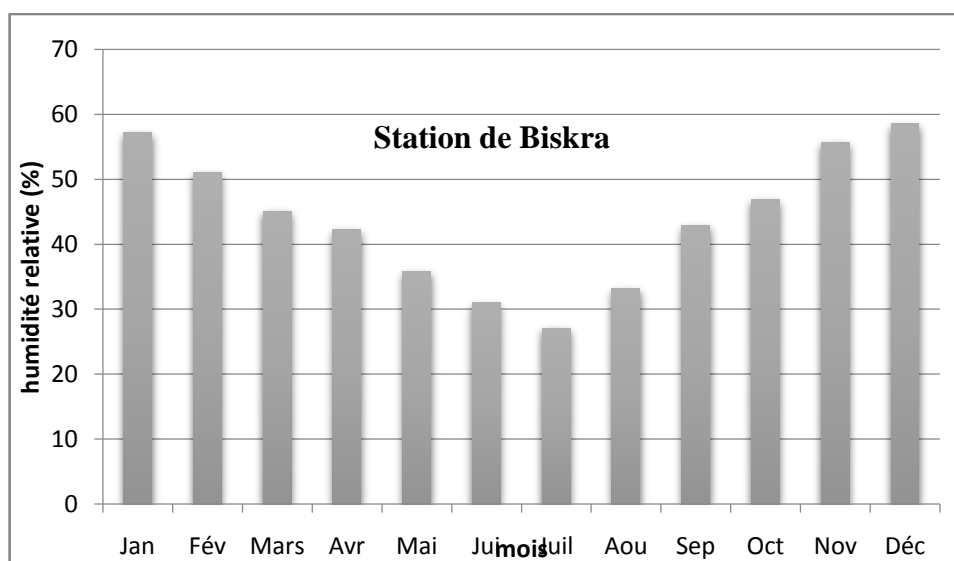


Fig. III.14. Humidité moyennes mensuelles station de Biskra (1968/2014).

III.4 Synthèse climatique

III.4.1 Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

Selon le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен (Figure III.15), la région de Biskra présente une période sèche qui se déroule pendant toute l'année d'expérimentation, d'avril 1968 à mars 2014.

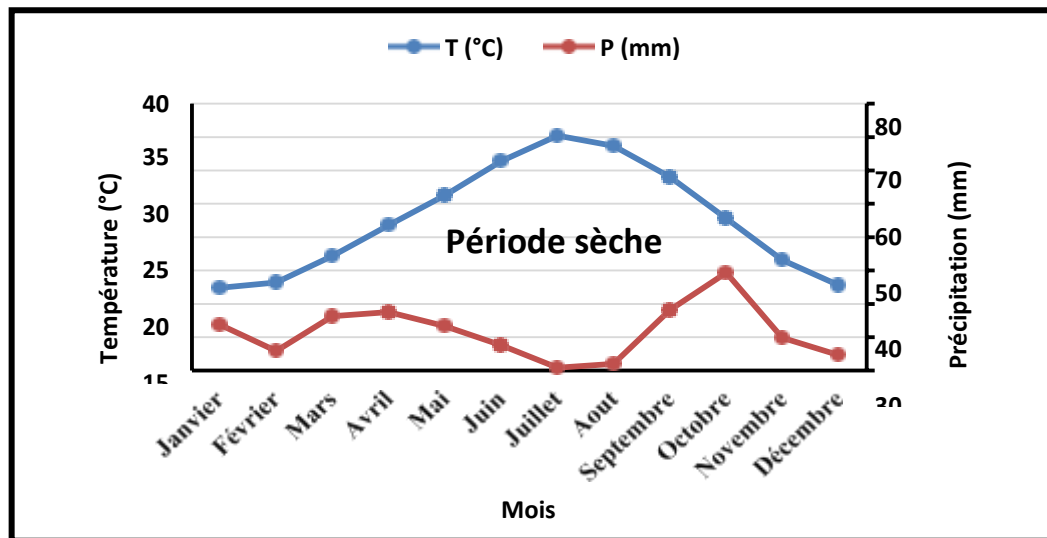


Fig. III.15. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен (1968- 2014) à Biskra.

Les périodes sèches sont indiquées par l'aire formée par l'intersection des courbes P et T. La période sèche à Biskra dure toute l'année, avec une augmentation notable pendant l'été.

III.4.2 Climagramme d'Emberger

L'outil pluviométrique Emberger (Q2) a été utilisé pour déterminer le niveau bioclimatique dans la région de Biskra, sur la base des données climatiques collectées au cours de l'année d'expérimentation. [13]

Le quotient pluviométrique de la région méditerranéenne peut être exprimé par la formule suivante, basée sur la formule de Stewart (1969):

$$Q = 3,43 \frac{P}{T_m - T_m} \quad [III.12]$$

- ✓ **Q**: Quotient pluviométrique.
- ✓ **P**: Pluviométrie annuelle (mm).
- ✓ **TM** : Température moyenne des maxima du mois le plus chaud (°C).
- ✓ **Tm** : Température moyenne des minima du mois le plus froid (°C).

Selon les informations climatiques de Biskra, la période d'avril 2009 à mars 2018 a été représentée par un **Q = 15.3**.

Par conséquent, notre station d'étude est située dans l'étage bioclimatique saharien à l'hiver chaud. (Figure III.16).

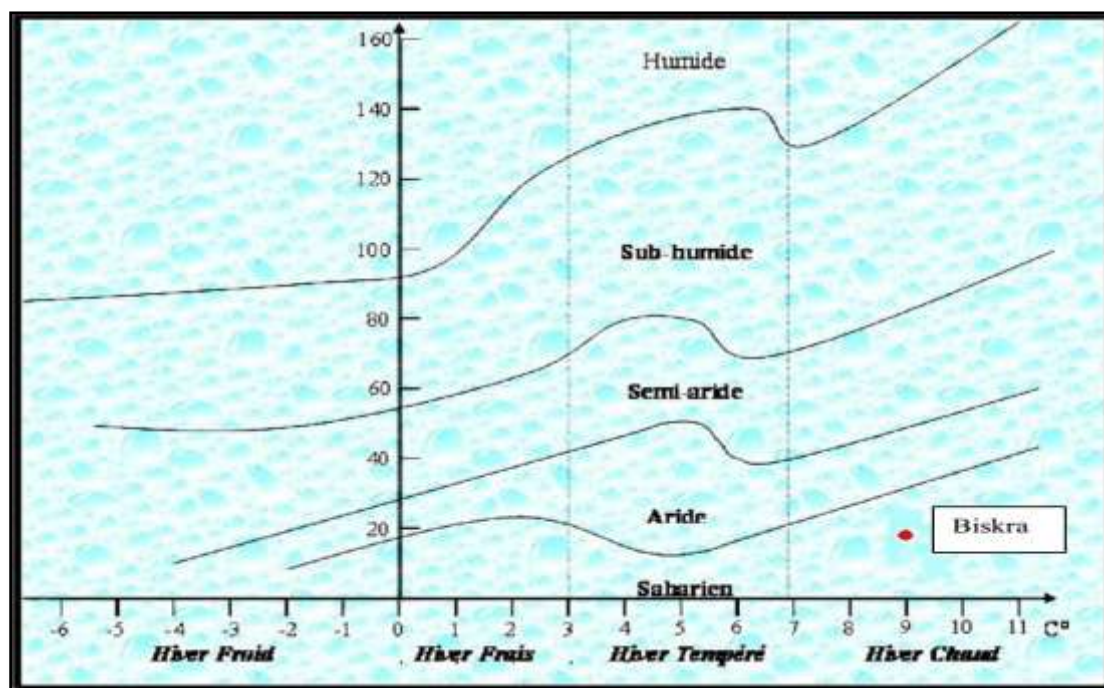


Fig. III.16. Localisation de la région de Biskra sur le Climagramme d'Emberger (1968-2014).

La station de Biskra a une valeur Q de 15,3 ; On peut déterminer que la région est soumise à un climat saharien en rapportant cette valeur sur le climagramme d'EMBERGER, qui présente en ordonnées les valeurs du Q et en abscisses la moyenne des minima du mois le plus froid (janvier) en degrés Celsius.

III.4.3 L'insolation

La durée du rayonnement solaire est appelée ensoleillement (déterminé en heures).

Les mesures d'insolation pour la station de Biskra (ONM) sont présentées dans le tableau I.17.

Tab. III.17. L'ensoleillement moyen mensuel à la station de Biskra (1968/2014).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Inso moy men	225,85	241,56	314,8	325,41	331,02	356,89	378,42	241,28	233,59	226,32	222,1	219,4

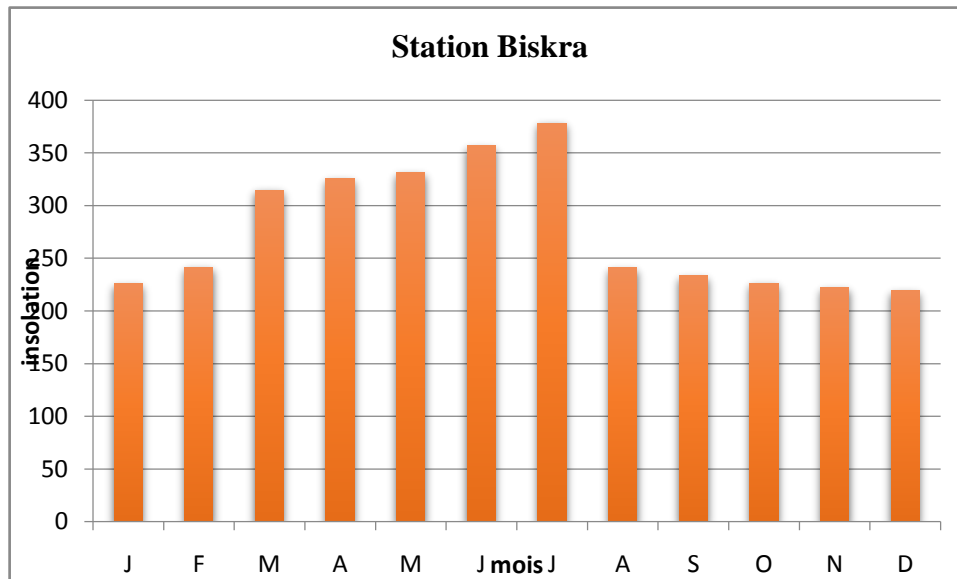


Fig. III.17. Digramme d'ensoleillement moyen mensuel à la station de Biskra (ONM).

Le maximum dans la zone d'étude est atteint en juillet avec un ensoleillement de 355,73 heures, soit une moyenne mensuelle de 378,42 heures.

En juillet, le maximum d'ensoleillement est de 355,73 heures dans la zone d'étude, Le minimum de 219 heures a été enregistré en décembre.

III.4.4 Indices climatiques

III.4.4.1 Indice d'aridité annuel

Plusieurs degrés d'aridité peuvent être distingués en fonction du degré de pénurie d'eau, également connu sous le nom de déficit hydrique. Ces degrés d'aridité peuvent être définis à l'aide de types d'indices d'aridité convenus et de normes spécifiques établies pour chaque région. La distinction entre trois degrés d'aridité est devenue classique. [13]

- Hyper-aride
- Aride
- Semi-aride
- ✓ Indice d'aridité annuel de Martonne (Figure III.18).

Un indice d'aridité annuel a été créé par De Martonne en 1926, « I » donné par :

$$I_a = \frac{P}{T+10} \quad \text{[III. 13]}$$

Avec :

P : Précipitations annuelles moyennes (mm)

T : Températures annuelles moyennes (C°)

Classification des climats, en fonction de la valeur de l'indice de Martonne :

I<5: Climat hyper-aride

- 5<I<10: Climat aride
- 10<I<20 : Climat semi-aride
- 20<I<30 : Climat semi-aride
- I>30 : Climat humide.

Le tableau III.18, présente l'indice d'aridité, la précipitation moyenne annuelle et la température moyenne annuelle, calculées pour la station de Biskra sur l'intervalle de 1968 à 2014.

Tableau III.18 : Indice de l'aridité station de Biskra.

P (mm)	T (C°)	I
137,5	27,75	3,64

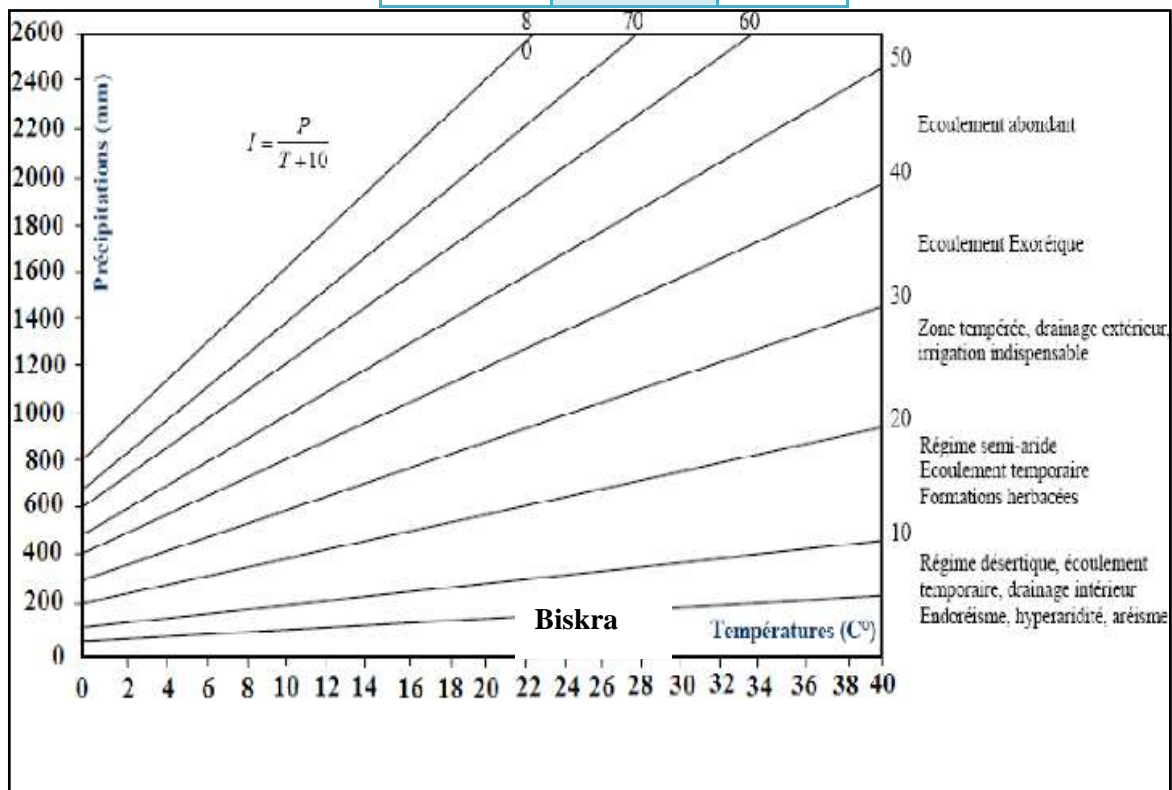


Fig. III.18. Abaque de MARTONNE.

Le résultat de l'analyse de l'indice de MARTONNE est cohérent avec les valeurs prévues pour la région ayant un climat hyperaride.

✓ **Indice d'aridité mensuel de Martonne**

Il est possible de calculer un indice d'aridité par mois, il est indiqué par :

$$a = \frac{12p}{(t+10)} \quad \text{[III.14]}$$

P : précipitations mensuelles moyennes (mm)

t : températures mensuelles moyennes(C°)

Les valeurs de l'indice d'aridité mensuel sont reportées au tableau III.19.

Tableau III.19: Les valeurs d'indice d'aridité mensuel (a) de Martonne à la station de Biskra (1968/2014).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T (°C)	12,4	13,2	17,2	21,8	26,3	31,4	35,2	33,7	29	22,8	16,6	12,8
P (mm)	13,77	5,87	16,28	17,5	13,36	7,57	0,81	2,03	18,13	29,31	9,86	4,62
a	7,38	3,04	7,18	6,60	4,42	2,19	0,22	0,56	5,58	10,72	4,45	2,43

Les mois de Janvier, Mars, Avril et Novembre ont un climat aride, tandis que les mois de Février, Mai, Juin, juillet, Août, Septembre, Octobre et Décembre ont un climat hyper-aride.

III.4.5 L'évapotranspiration

La notion d'évapotranspiration potentielle (ETP), qui est la quantité d'eau nécessaire à un processus de transpiration non retardé, doit être distinguée d'un couvert végétal régulièrement alimenté en eau et recouvrant entièrement le sol.

L'évaporation réelle ETR est le retour de l'eau dans l'atmosphère sous forme de vapeur, qui est le résultat de deux phénomènes : l'évaporation physique et la transpiration biologique. [14]

III.4.5.1 L'évapotranspiration potentielle (ETP)

L'évaluation du bilan hydrique d'une zone dépend principalement de l'ETP. C'est une manifestation significative dans le cadre du cycle hydrologique. Elle résulte de deux processus, l'un physique, l'évaporation, et l'autre biologique, la transpiration.

Nous utilisons la formule ANRH utilisée pour notre étude ainsi que les formules de Penman, Thornthwaite, Turk ou Blaney et Criddle pour estimer ce paramètre. [14]

a) Formule dite ANRH (2002)

La formule générale est composée de :

$$ETP_{ANRH} = K_r * K_m (H - 187) * (0,032t + 0,077) \quad [III.15]$$

Avec :

ETP_{ANRH} : Evapotranspiration potentielle (mm/mois).

K_r : Coefficient régional qu'on peut lire sur le tableau III.20.

K_m : Coefficient mensuel, ses valeurs sont données dans le tableau III.21.

t : température moyenne mensuelle pour le mois considéré (°C).

Tableau III.20 : Coefficient correctif " K_r ".

Nom	K_r	cor	K_r	Cor,	Nom	K_r	cor	K_r	Cor	Nom	K_r	cor	K_r	Cor
Aïn sefra	1,21		1,11	9%	Dellysafir	0,87		0,87	0%	Mostaganem	0,87		0,87	0%

Annaba	0,91	0,91	0%	Djelfa	1,10	1,04	5%	Msila	1,12	1,12	0%
Arzew	0,97	0,97	0%	El kheimer	1,15	1,24	-7%	Naama	1,11	1,11	0%
Barika	1,24	1,24	0%	Elbayadh	1,23	1,23	0%	Oran	0,99	0,99	0%
Batna	1,12	1,12	0%	Elmilia	0,79	0,79	0%	Oumelbouaghi	0,92	0,92	0%
Bbarreridj	1,07	1,07	0%	Ghazaouet	0,81	0,81	0%	Saida	1,01	1,01	0%
Bechar	1,32	1,32	0%	Guelma	0,83	0,83	0%	Setif	1,04	1,04	0%
Bejaia	0,92	0,92	0%	Jijelaer	0,79	0,79	0%	Sidibelabbes	0,94	0,94	0%
Benisaf	0,88	0,88	0%	Jijelport	0,79	0,79	0%	Skikda	0,86	0,86	0%
Biskra	1,26	1,26	0%	Ksarchellala	1,09	1,09	0%	Soukahrass	0,99	0,99	0%
Bousaada	1,10	0,93	18%	Maghnia	0,93	0,93	0%	Tebessa	1,00	1,00	0%
Bouira	1,04	1,04	0%	Mascara	0,95	0,95	0%	Tenes	0,95	0,95	0%
Chlef	0,93	0,93	0%	Mecheria	1,14	1,14	0%	Tiaret	1,08	1,14	-6%
Constantine	0,91	0,91	0%	Medea	1,05	1,05	0%	Tiziouzzou	0,83	0,83	0%
Darelbeida	0,89	0,89	0%	Miliana	0,97	0,97	0%	Tlemcensen	0,93	0,93	0%

Tableau III.21 : Evolution du coefficient correctif mensuel " K_m ".

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
K_m	0,96	1,22	1,11	1,17	1,02	1,00	0,97	0,97	0,98	0,90	0,90	0,86

En réalité, il existe deux paramètres saisonniers, à savoir H et K_m . Si ce dernier est spatialement stable, la durée H change avec l'altitude. La formule est complexe car elle s'applique à tous les cas, si nous nous limitons à notre région d'étude située au Nord de l'Algérie ($33^\circ < \text{latitude} < 35^\circ$) et ($50\text{Km} < Y < 450\text{Km}$), nous pouvons obtenir H de manière plus simple, avec un écart minime et une liaison linéaire entre H et Y Lambert. (Cette formule est valide pour toute l'Algérie) :

H : La durée théorique d'insolation mensuelle du mois i (heures/mois) est nommée en fonction de l'ordonnée (Y) de Lambert.

$$H_i = a_i Y + b_i \quad \text{[III. 16]}$$

Avec :

Y: l'ordonnée de Lambert de la zone (Km), l'altitude.

a_i , b_i : des coefficients d'évaluation des durées d'insolation. Les paramètres mensuels a_i et b_i sont donnés dans le tableau n° III.22.

Tableau III.22 : Coefficients d'évaluation des durées théoriques d'insolation

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
A_i	- 0,0218	- 0,0110	- 0,0012	0,0098	0,0201	0,0248	0,0230	0,0144	0,0031	- 0,0081	- 0,0185	- 0,0246
B_i	315	307	371	389	429	429	436	414	370	351	311	308

Dans le tableau n° III.22, il est observé que les gradients de H par rapport à Y sont très faibles et presque nuls en été. Dans cette région, il est possible de considérer H comme étant indépendant de Y et de retenir les valeurs suivantes du produit K_m (H-187) :

Tableau III.23 : Valeurs moyennes de K_m (H-187).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
Km (H-187)	118	143	204	239	251	248	247	223	180	146	108	99

En procédant ainsi, on commet une erreur inférieure 5% pour tous les mois et inférieur à 3% de février à octobre (inclus). L'application à la station de Biskra ($K_r=1.26$) est présentée dans le tableau III.24.

Tableau III.24: Evapotranspirations moyennes mensuelles pour la station de Biskra par la formule ANRH (1968/2014).

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou	Année
Ai	-0.018	0.0110	0.0012	0.0098	0.0201	0.0248	0.0230	0.0144	0.0031	-0.008	0.0185	0.0246	
Bi	315	307	371	389	429	429	436	414	370	351	311	308	
H(h/mois)	311.12	305.04	370.79	390.74	432.58	433.41	440.09	416.56	370.55	349.5	307.71	303.32	4431.87
Km	0.96	1.22	1.11	1.17	1.02	1	0.97	0.97	0.98	0.9	0.9	0.86	
Km(h-187)	119.15	144.01	204.00	238.38	250.49	246.41	245.5	222.68	179.88	146.3	108.64	100.29	2205.74
t°C	12,4	13,2	17,2	29	22,8	16,6	12,8	21,8	26,3	31,4	35,2	33,7	25,6
ETP (mm/mois)	145.36	147.00	152.72	142.03	141.37	157.15	1.1	205.40	201.53	96.59	59.12	145.44	1984.86

b) Formule de Thornthwaite (1954)

Selon Penman (1956), L'ETP est la transpiration maximale des plantes.

Thornthwaite (1954) a découvert à partir d'expériences menées sur des lysimètres, que la température est le facteur le plus dominant pour l'ETP, pour des espaces assez vastes et des intervalles de temps assez longs. [15] [16]

La formule de la méthode de Thornthwaite est la suivante :

$$ETP = 16 \left(10 \frac{T}{I} \right)^a \text{ (mm)} \quad \text{[III.17]}$$

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514} \text{ Et } I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{[III.18]}$$

Avec

I : somme des 12 indices mensuels de l'année

T : température moyenne mensuelle (°C).

ETP : évapotranspiration potentielle (mm).

$$a = (1,61/100) I + 0,5 \quad \text{[III.19]}$$

Les résultats sont présentés dans le tableau III.25.

Tableau III.25 : ETP moyen mensuel par Thornthwaite station de Biskra (1968/2014)

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Années
------	---	---	---	---	---	---	----	---	---	---	---	---	--------

T	12,4	13,2	17,2	21,8	26,3	31,4	35,2	33,7	29	22,8	16,6	12,8	25,6
I	3.7	4.6	6.4	8.6	11.8	15.9	18.3	18.0	14.1	10.2	6.0	4.0	121.8
ETP (mm)	14.7	21.8	40.8	68.7	123.2	211.1	271.8	263.9	168.1	93.2	36.1	17.6	1331.11
K	1.0	1.0	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	
ETP corr (mm)	15.2	21.2	32.6	58.4	107.2	179.4	280.0	287.7	203.5	112.8	44.5	20.4	1362.68

Suivant le tableau, la moyenne annuelle d'évapotranspiration est de 1362,68 mm.

La station de Biskra présente une évolution de l'évapotranspiration moyenne mensuelle, représentée à la figure III.19.

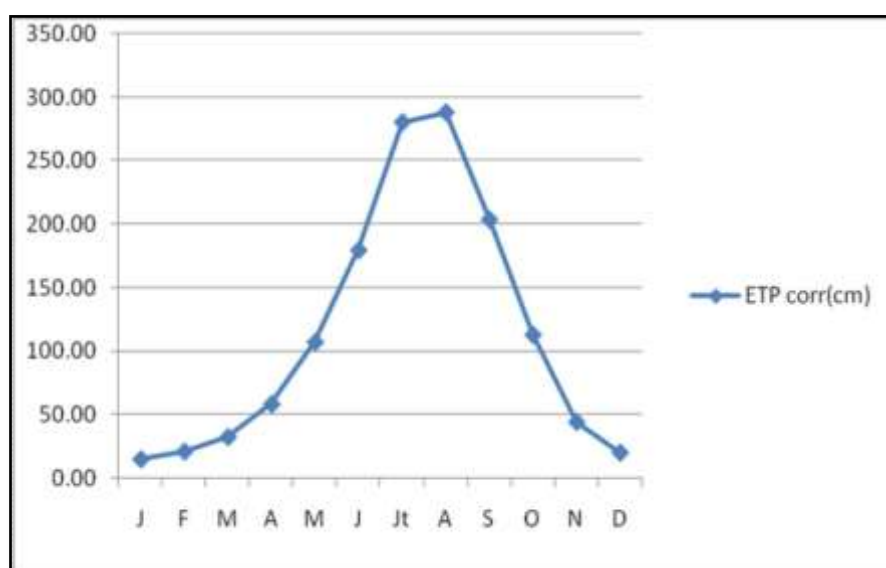


Fig. III.19. Evolution de l'ETP, d'après Thornthwaite.

La figure III.19, qui représente l'évolution de l'ETP calculée par la méthode de Thornthwaite à la station de Biskra, indique que les valeurs minimales sont enregistrées entre décembre, janvier et février, tandis que les valeurs maximales sont enregistrées en juillet et août.

III.4.5.2 Evapotranspiration réelle

Il s'agit de la quantité d'eau présente dans le sol du réservoir que les racines des plantes peuvent plus ou moins utiliser.

Dans le bassin méditerranéen ; la RFU moyenne est d'environ 100 mm. [17]

Une formule pour calculer le RFU a été proposée par Richard en 1979:

$$\text{RFU} = 1/3 * \text{Da} * \text{He} * \text{P} \quad \text{[III. 20]}$$

Avec:

Da: densité apparente du sol, (Hallaire propose de prendre $\text{Da} = 1.5 \text{ g/cm}^3$).

He : Humidité équivalente en %, égale à 42.9%

P: profondeur de la terre parcourue la racine en mm (P= 50 m).

Le résultat est reporté au tableau III.26.

Tableau III.26: Evapotranspiration réelle et écoulement moyen annuel la station de Biskra (1968/2014).

Station	Da	He	P	ETR (mm/an)	Écoulement (P-ETR) (mm)
Biskra	1,50	42,9	50	107,25	30,25

Le test effectué sur la station de Biskra a démontré que cette méthode fonctionne bien car les précipitations tombées sont supérieures à la RFU.

b) La méthode de Wundt

En utilisant le point de coordonnées (27,75°C-137,7 mm) (Figure III.20), sur l'abaque de Wundt et en prenant en compte la température annuelle moyenne et les précipitations, la valeur de l'ETR obtenue est de 200 mm pour la zone arborée de Biskra.

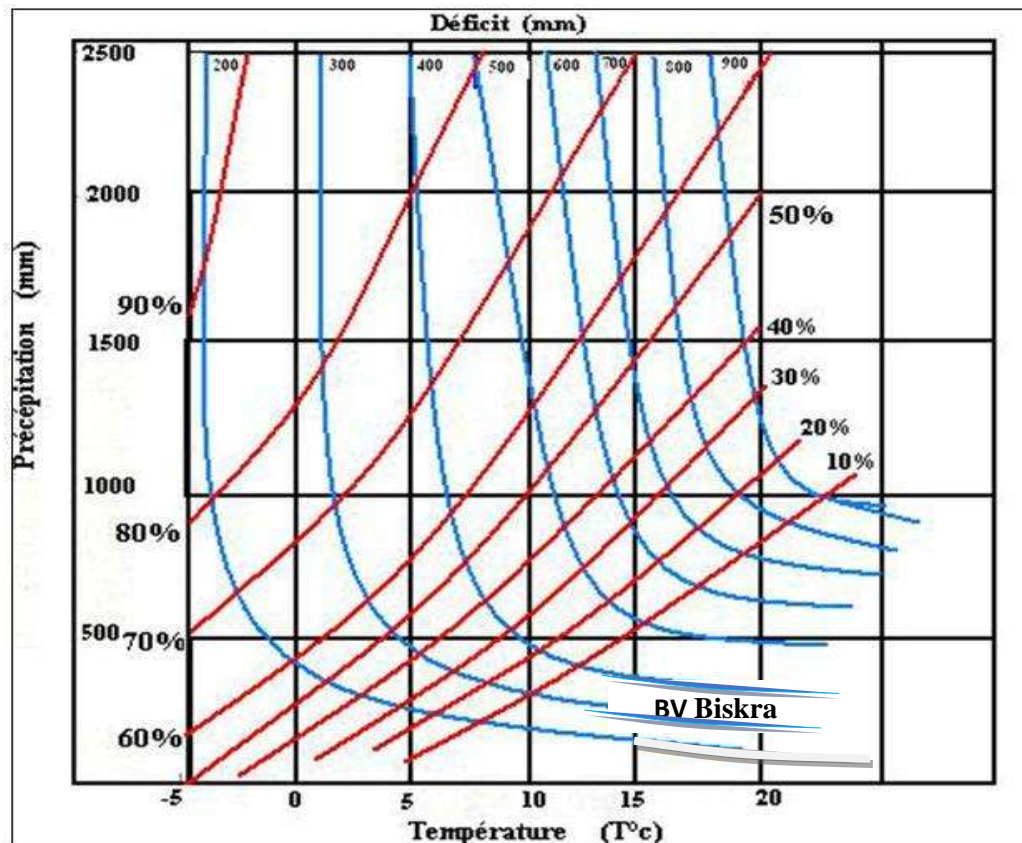


Fig. III.20. Abaque de Wundt appliqué à la station de Biskra, Période 1968/2014.

III.6 Paramètres du bilan hydrologique

Le bilan hydrique est une équation de conservation que permet de mesurer le stress hydrique et l'eau pénurie, en particulier pour prévoir sécheresse ou inondation. Le modèle le plus simple est un réservoir comprenant un stock d'eau, un apport P et un débit Q et ETP, et des ressources en eau, Les précipitations liquides et solides sont indiquées par le P. [17]

III.6.1 Calcul de ruissellement (R)

La quantité d'eau qui s'échappe pendant les précipitations pour s'infiltrer et s'évaporer est appelée débordement (ruissellement). Les hydrogéologues considèrent que l'eau de débordement est soit une perte des réserves d'eau souterraines, soit un ruissellement superficiel avec peu d'infiltration, selon la pente et les caractéristiques physiques du sol. [17]

En utilisant les précipitations et l'évaporation potentielle calculées par la méthode de Thornthwaite, la formule de Tixeront-Berkaloff (voir tableau III.27) a été utilisée pour estimer le ruissellement de surface (R).

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2} \quad \text{[III. 21]}$$

Avec:

R : ruissellement en mm.

P : précipitation moyenne annuelle en mm.

ETP : évapotranspiration potentielle moyenne annuelle calculée par la méthode de Thornthwaite en mm.

Tableau III.27 : paramètres et calcul du ruissellement par la méthode de Tixeront –Berkaloff.

Station	P (mm)	ETP(Thornthwaite) (mm)	R (mm)
Biskra	137,5	1362,68	0,467

III-6-2 Calcul de l'infiltration I:

La méthode la plus fréquemment utilisée pour déterminer la lame d'eau infiltrée est la méthode du bilan hydrologique. L'infiltration est évaluée en utilisant l'équation suivante : [18] (Voir tableau III.28).

$$I = P - (ETR + R) \quad \text{[III. 22]}$$

Avec:

I: lame d'eau infiltrée (mm).

P: pluviométrie (mm).

ETR: évapotranspiration réelle (mm).

R: lame d'eau ruisselée (mm).

Tableau III.28: paramètres et calcul de l'infiltration.

Station	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I (mm)
Biskra	137,5	107,25	0,467	29,786

III-6-3 Le déficit d'écoulement

La différence entre l'évaporation potentielle et les précipitations pendant une période où les deux dernières sont inférieures à la première représente les pertes dues à l'évaporation et peut être estimée à l'aide de mesures ou de méthodes de calcul. [19]

A titre de formules illustratives, les formules Turc et Coutagne sont les suivantes :

III-6- 3-1 Méthode de Coutagne

La relation suivante représente le déficit d'écoulement par rapport à l'évapotranspiration réelle. (AIME Coutagne, 1953). [19] [20]

$$D = P - mP^2 \quad \text{[III. 23]}$$

Avec :

D : déficit d'écoulement [mm].

P : pluie annuelle [mm].

$m = 1/(0,8 + 0,16T)$ coefficient régional. $T = 27,75^\circ\text{C}$

III-6- 3 -2 Formule de Turc

$$D = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad \text{[III. 24]}$$

Avec:

D: déficit d'écoulement [mm].

P: pluie Moyenne annuelle [mm].

T : température moyenne annuelle [$^\circ\text{C}$] $T = 27,75^\circ\text{C}$ 0.00444

$$L = 300 + 25T + 0,05T^3 \quad \text{[III. 25]}$$

Le tableau III.29 montre les résultats obtenus par les deux méthodes.

Tableau III.29 : paramètres et calcul du déficit par les méthodes de Coutagne et Turc.

Station	Coutagne				Turc			
	P	T	M	D	P	T	L	D
Biskra	137,5	27,75	0,191	3473,59	137,5	27,75	2062,21	144,58

La méthode de Turc est la plus proche pour estimer le déficit d'écoulement car elle est équivalente à l'évapotranspiration réelle ($D = 144,58$ mm; $ETR = 107,25$ mm).

Conclusion

Le bassin de l'Oued Biskra présente un climat hyperaride, avec des précipitations annuelles, en moyenne de 173,05 mm, les mois les plus pluvieux sont septembre et octobre.

Les températures varient de 1,84°C en février à 45°C en juin, montrant une grande amplitude thermique.

L'évaporation potentielle est estimée entre 1362,68 mm (méthode Thorntwaite) et 1984,86 mm (méthode Paneman), cette dernière indiquant une évaporation plus élevée.

Les courbes HDF fournissent des informations sur les précipitations maximales annuelles sur des périodes données, tandis que les cadres IDF sont essentiels pour la gestion des risques.

Les courbes IDF montrent une expansion de l'aridité dans le temps, en particulier à Biskra, et révèlent une relation entre la durée des sécheresses, les précipitations, les températures et l'influence du climat saharien sur le régime thermique du bassin.

L'évapotranspiration est élevée en été, accentuant le déficit d'écoulement, mais plus faible en hiver lorsque les précipitations sont abondantes.

L'impact du climat saharien est clairement discernable dans le régime thermique du bassin versant, marquant ainsi une caractéristique distincte de l'environnement. Le positionnement géographique du bassin versant entre deux zones climatiques très contrastées - une au Nord avec des températures modérées et des abondantes, et l'autre au Sud avec des températures élevées et des retenues limitées - souligne la complexité des conditions climatiques dans cette région.

Cette compréhension approfondie des interactions entre la durée de la sécheresse, l'altitude, les prélèvements, les températures et l'influence du climat saharien aride est décisive pour une gestion efficace des ressources en eau et pour anticiper les défis environnementaux.

Ainsi, la dynamique hydrologique saisonnière de l'oued Biskra joue un rôle important dans la gestion des ressources en eau, la recharge des aquifères, et l'exploitation agricole dans la région. Comprendre ces relations entre le régime de crues, le régime pluviométrique et les impacts à l'aval est essentiel pour une planification et une gestion efficace des ressources hydriques dans le bassin versant de l'oued Biskra.



Chapitre IV : Etude hydrologique et hydrométrique.



Introduction

Les caractéristiques des crues avec des périodes de retour différentes sont étudiées dans l'instruction hydrographique. Cette étude se base sur les données de débit de l'oued collectées aux stations hydrométriques, ainsi que sur les informations sur les crues historiques.

Il est également mentionné que la réduction des crues peut être influencée par des changements importants dans l'occupation de l'espace dans le bassin versant, tels que l'urbanisation, le reboisement ou la construction de barrages écrêteurs de crues. Ces changements peuvent nécessiter des mises à jour des études hydrologiques précédentes. [21]

IV-1 Etude des débits

IV-1-1 Données hydrométriques

Deux stations hydrométriques sont incluses dans le bassin versant de l'oued Biskra : La station de Djemoura, située en amont du BV de l'oued Biskra, et dans le BV de O. Djemoura fonctionne depuis 1952.

La station d'El Kantara a été mise en service de 1949 à 1950, puis reprise en 1968, avec des interruptions de 1961 à 1968.

En raison du manque de stations hydrométriques dans le sous-bassin oued Biskra complémentaire, et l'exutoire de l'oued Biskra, des calculs ont été effectués à l'aide de formules expérimentales et par analogie.

IV.1.1.1 Critique des données et homogénéisation:

La série la plus récente disponible pour la station hydrométrique d'El Kantara, qui supervise le sous bassin de l'oued El Hai, qui s'étend sur 1788 km², couvre une période de 28 ans (1968-1995). [22]

La station de Djemoura, qui surveille le sous-bassin du même nom d'une superficie de 906 km², présente une série de données couvrant une période de 22 ans (1972/1993). [22]

Le logiciel hydrognomon a été utilisé, pour combler les lacunes en utilisant la méthode de la courbe double masse (double masse curve).

IV-1-2 Ecoulement moyen annuel et ses nuances

Tous les types d'écoulements, liés dans le temps et dans l'espace, sont inclus dans l'écoulement fluvial concentré, qui est le seul à pouvoir être contrôlé car il modifie le comportement hydrologique du bassin en observant la quantité d'eau qui s'écoule vers l'exutoire du bassin.

IV-1-2-1 Homogénéisation des séries des débits

Le test statistique de Wilcoxon est utilisé pour homogénéiser les séries de débits.

Les résultats des tests statistiques d'homogénéité des deux séries sont regroupés dans les tableaux suivants :

Tableau IV.01 : Statistiques descriptives station d'El Kantara (1968-1995).

Variable	Observations	Obs. avec données manquant	Obs. sans données manquant	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Var1	14	0	14	15,000	467,000	133,162	118,897
Var1	14	0	14	1,100	274,000	91,214	72,669

Tableau IV.02 : Test de Wilcoxon signé / Test bilatéral.

V	62,000
Espérance	52,500
Variance (V)	253,750
p-value (bilatérale)	0,583
Alpha	0,05

Interprétation du test :

H0 : Les deux échantillons suivent la même loi de distribution.

Ha : Les distributions des deux échantillons sont différentes.

Étant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.

-D'après les résultats de test de Wilcoxon, la série est homogène.

Tableau IV.03 : Statistiques descriptives station de Djemoura (1972/1993).

Variable	Observations	Obs. avec données manquante	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Var1	11	0	11	55,000	314,800	122,153	92,829
Var1	11	0	11	24,350	159,400	79,352	46,631

Tableau IV.04 : Test de Wilcoxon signé / Test bilatéral.

V	41
Espérance	33,000
Variance (V)	126,500

p-value (bilatérale)	0,520
alpha	0,05

Interpretation du test:

H0 : Les deux échantillons suivent la même loi de distribution.

Ha : Les distributions des deux échantillons sont différentes.

Étant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0.05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.

-D'après les résultats de test de Wilcoxon, la série est homogène.

IV-1-2-2 Evaluation de l'écoulement avec les formules empiriques

Nous avons utilisé des formules empiriques et des analogies hydrologiques pour estimer l'apport annuel théorique, à partir des données climatiques disponibles, et de certains paramètres du bassin versant, car il n'y avait pas d'observations directes du régime hydrologique de l'oued Biskra. (Voir tableau IV.05).

Tableau IV.05 : La lame moyenne annuelle écoulée et l'apport moyen annuel (Estimation d'après les formules empiriques).

Formules		L'oued El Hai		L'oued Djemoura	
		Le (mm)	A (hm ³)	Le (mm)	A (hm ³)
ANRH	A= 0,915 P ^{2,684} S ^{0,842} Le=S/A	5,489	9,112	4,584	4,153
Sami	Le =P ² (293-2,2 S ^{0,5}) A= Le * S * 10 ⁻³	10,763	17,858	13,21	3,969
Mallet	Le= 0,6 P(1-10 ^{-0,36*P2})10 ³ A= Le * S * 10 ⁻³	5,920	9,828	1,325	1,200
J. Dery	Le=11,8* P ^{2,82} *10 ⁻⁶ *T A= Le * S * 10 ⁻³	5,898	9,792	1,425	1,291
Algérienne	A=S*P (1-10-K*P2) Le=S/A	4,95	8,891	3,65	2,139

Avec :

A: apport moyen annuel (m³).

P: pluviométrie moyenne annuelle en (mm).

S: superficie du bassin versant en km².

T : constante donnée (Nombre de secondes dans l'année) K=31,536 x 10³.

La relation suivante permet de calculer les débits.

$$Q = \frac{L_e \times S \times 10^{-3}}{31,536} \quad \text{[IV.01]}$$

Avec :

Q : le débit moyen annuel en l/s

Le : la lame d'eau annuelle écoulée en (mm)

S : surface du bassin versant km².

Le tableau IV.6 présente les calculs des débits moyens annuels par les différentes formules empiriques.

Tableau IV.06. Le calcul des débits moyens annuels, par les différentes formules empiriques pour les deux stations hydrométriques.

Bassin Débit	ANRH	Sami	Mallet	J. Dery	Algérienne
El Hai	0,289	0,610	0,331	0,310	0,261
Djemoura	0,132	0,395	0,038	0,041	0,105

Ces résultats montrent que d'une méthode à l'autre, des écarts importants apparaissent, car ils sont établis à partir de mesures dans les Oueds ou en laboratoire et dans des conditions spécifiques.

Selon Oued Djemoura, l'analyse des résultats semble montrer des différences significatives entre les formules empiriques et le débit observé (0,314 m³/s). La méthode de Sami a été choisie pour cela, ce qui a donné une valeur comparable de (0,395 m³/s). Voir le tableau IV.7.

Tableau IV.07. Débit moyen annuel observé, débit annuel selon la formule de Sami pour le bassin de l'oued Djemoura.

Sous bassin versant	Débit moyen annuel observé (m ³ /s)	Débit moyen annuel selon la formule de Sami. (m ³ /s)
L'oued Djemoura	0,314	0,395

Pour l'oued El Hai, les résultats obtenus par les différentes méthodes donnent valeurs, qui ne correspondent pas à la réalité (0,403 m³/s), excepté celle de Sami ; qui fournit une valeur acceptable (0,610 m³/s). Voir tableau IV.08.

Tableau IV.08 : Débit moyen annuel observé, débit annuel selon la formule de Sami pour le bassin de l'oued El Hai.

Sous bassin versant	Débit moyen annuel observé (m ³ /s)	Débit moyen annuel selon la formule de Sami. (m ³ /s)
L'oued El Hai	0,403	0,610

Ainsi, les débits estimés pour l'oued Biskra et ses sous bassins : l'oued El Hai, l'oued Djemoura et l'oued Biskra complémentaire sont respectivement : 1,005 m³/s ⁽¹⁾, 0,61 m³/s ⁽²⁾, 0,395 m³/s ⁽³⁾ et 1,35 m³/s ⁽⁴⁾.

(1): le total des débits fournis par les deux stations hydrométriques d'El Kantara et Djemoura.

(2) : la valeur estimée par la formule de Sami pour l'oued El Hai.

(3) : la valeur évaluée par la formule de Sami pour l'oued Djemoura.

(4) : La formule expérimentale suivante est utilisée pour calculer le débit moyen annuel, car il n'y avait aucune station hydrométrique dans ce secteur, qui est le petit bassin de l'oued Biskra complémentaire. [23]

$$Q_{\text{non jauge}} = Q_{\text{voisine jauge}} \left[\frac{S_{\text{non jauge}}}{S_{\text{jauge}}} \right]^k \quad \text{[IV.02] [23]}$$

Avec Q le débit en m³/s et S la surface de bassin versant en km².

Nous avons opté pour la station de Djemoura car elle est la plus proche du bv de Oued Biskra complémentaire.

$$Q_{O. \text{Bis comp}} = Q_{O. \text{Djemoura}} \left[\frac{S_{O. \text{Djemoura}}}{S_{O. \text{Bis. compl.}} \right]^k$$

Avec :

K= pris égale à 0,54 par analogie.

IV.2 Variations des débits annuelles

La variation annuelle des débits moyens dans les bassins versants de l'oued Biskra, de l'oued Djemoura et de l'oued El Hai révèle une irrégularité des écoulements d'une année à l'autre : Pour l'oued Biskra, on observe une baisse du débit annuel de 1973 à 1984, suivie d'un accroissement jusqu'en 1993.

Dans le bassin de l'oued Djemoura, on constate une diminution constante du débit annuel jusqu'en 1993. Quant à l'oued El Hai, le débit diminue de 1973 à 1995. L'irrégularité des débits moyens annuels est visuellement représentée dans les figures IV.01 et IV.02.

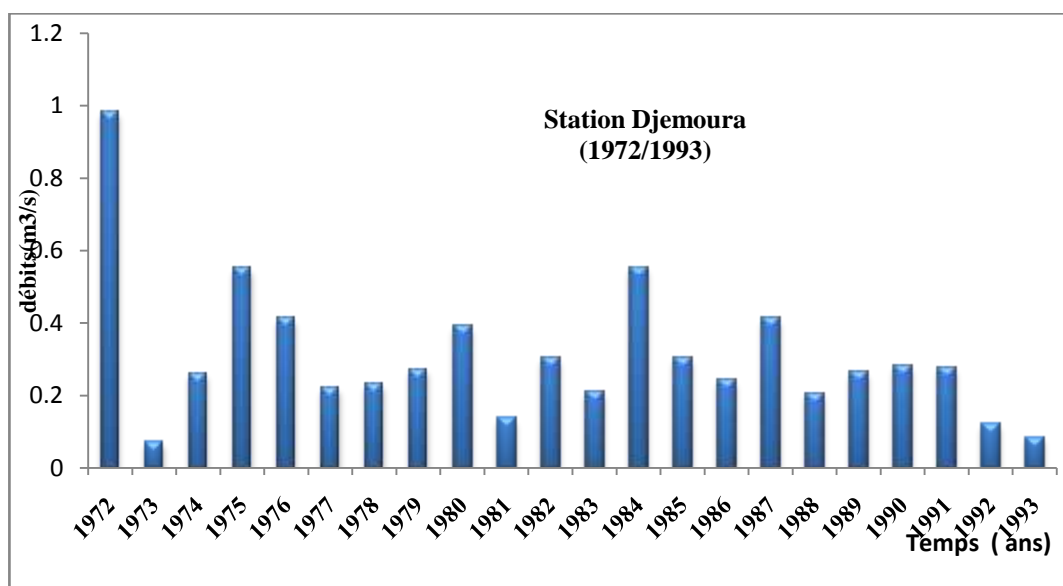


Fig. IV.01. Les variations annuelles des débits moyens de l'oued Djemoura (1972/1993).

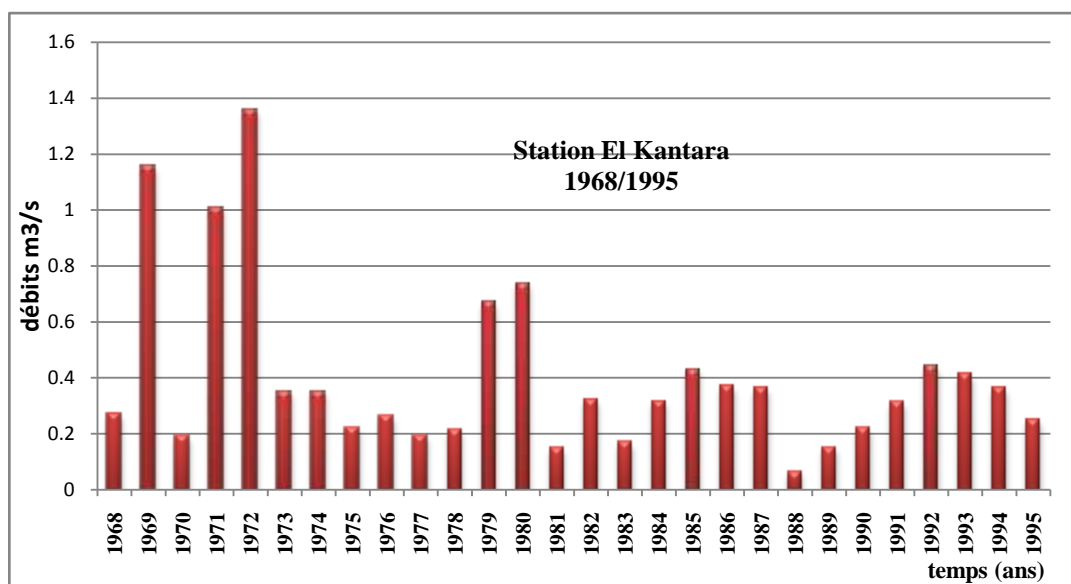


Fig. IV.02. Les variations annuelles des débits moyens de l'oued El Hai (1968/1995).

Les figures n° (IV.01 et IV.02) illustrent l'irrégularité marquée de l'évolution des débits moyens annuels, tant pour la station d'El Kantara, que pour celle de Djemoura :

- À la station Djemoura, le débit moyen annuel maximum s'élève à $0,98 \text{ m}^3/\text{s}$, enregistré en 1972, tandis que le minimum atteint $0,07 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1994, avec une moyenne de $0,314 \text{ m}^3/\text{s}$.
- la station d'El Kantara, le débit moyen annuel maximal atteint $1,50 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1972, tandis que le minimum est de $0,064 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1988. La moyenne des débits annuels est de $0,403 \text{ m}^3/\text{s}$.

IV.3 Evaluation de l'écoulement avec les données de mesure

Les débits annuels moyens dans le bassin de l'oued Biskra varient selon l'emplacement et les conditions climatiques. À la station d'El Kantara, le débit annuel moyen atteint $0,403 \text{ m}^3/\text{s}$ en raison de précipitations relativement abondantes.

En revanche, dans le sous-bassin de l'oued Djemoura, le débit annuel moyen est moins élevé, à $0,314 \text{ m}^3/\text{s}$, en raison de précipitations importantes et de conditions thermiques, qui sont défavorables à l'écoulement de l'eau.

En outre, la présence d'une couverture forestière dense et d'une lithologie perméable contribue également à ces variations de débit.

Pour une compréhension approfondie de ces variations, il est recommandé d'utiliser des modules d'analyse spécifiques adaptés à ces conditions hydrologiques particulières.

En résumé, les débits d'eau dans le bassin de l'oued Biskra sont influencés par des facteurs géographiques, climatiques et environnementaux, nécessitant une approche spécialisée, pour leur étude et leur gestion. (Voir tableau n° IV.09).

Tableau IV.09 : Débits absolus, débits spécifiques et la lame d'eau écoulée dans les deux stations hydrométriques.

Oued	Station	Superficie (km ²)	Débit absolu (m ³ /s)	Débit spécifique (l/s/km ²)	Lame écoulée (mm) ⁽¹⁾	Lame précipitée (mm) ⁽²⁾
El Hai	El kantara	1788	0,403	0,225	10,763	232,00
Djemoura	Djemoura	906	0,314	0,347	13,21	241,36

$$(1) : E = \frac{Q \cdot 31,536 \cdot 10^3}{S}$$

E : La lame d'eau annuelle écoulée (mm).

S : La superficie du bassin (km²).

Q : Le débit absolu (m³/s).

(2) : La méthode utilisée pour l'évaluation de la lame d'eau précipitée est celle des isohyètes en raison de sa précision acceptable.

Le bassin de l'oued Biskra se caractérise par une variation spatiale des débits spécifiques. Ils s'élèvent à 0,225 l/s/km² dans le sous-bassin de l'oued El Hai, à la station d'El Kantara, et à 0,347 l/s/km² dans le sous-bassin de l'oued Djemoura, à la station de Djemoura.

Cette différence s'explique par une augmentation notable de la température, et de l'évaporation à la sortie de la zone montagneuse, située au nord du sous-bassin de l'oued El Hai.

D'autre part, le caractère montagneux du sous-bassin de l'oued Djemoura, avec ses fortes pentes, favorise le ruissellement, mais cela peut également entraîner des inondations susceptibles de causer des dommages importants.

IV.4 Le bilan hydrologique et le déficit d'écoulement :

Lors de l'établissement d'un bilan hydrologique, il est essentiel d'utiliser des unités de mesure standardisées pour les différents termes impliqués. La lame d'eau en millimètres est l'unité la plus adaptée pour assurer cette uniformité. [24]

Le bilan hydrologique sert à évaluer la quantité d'eau résultant des précipitations. Il se compose de trois termes fondamentaux : l'entrée, la sortie et les variations des réserves en eau.

L'équation du bilan hydrique est :

$$P = Le + D \quad [IV.03]$$

Avec :

P : la lame d'eau annuelle précipitée en mm.

Le : la lame d'eau annuelle écoulée en mm.

D : déficit annuel d'écoulement, qui est assimilé à l'évapotranspiration réelle ETR.

Afin de simplifier l'expression du bilan hydrologique, on utilise également une autre variable, le coefficient d'écoulement : $CE = \frac{Le}{P} * 100$, qui, en tant que valeur relative, offre une meilleure représentation de la diversité des facteurs physico-géographiques spécifiques au bassin versant.

Les éléments du bilan hydrologique ont été calculés pour les sous-bassins de l'oued El Hai et de l'oued Djemoura.

Tableau IV.10 : Le bilan hydrologique moyen annuel de l'écoulement pour les stations d'El Kantara et Djemoura.

Sous bassin	Station	Superficie (km ²)	Bilan hydrologique				
			P(mm)	Q(mm)	Le (mm)	D	C.E (%)
El Hai	El Kantara	1788	232,00	0,403	10,76	221,24	4,64
Djemoura	Djemoura	906	241,36	0,314	13,21	228,15	5,47

La lame d'eau écoulee faible par rapport à la hauteur pluviométrique moyenne caractérise le bassin versant de l'oued Biskra, ce qui entraîne une forte évaporation. Le coefficient d'écoulement (CE) est très bas, étant inférieur à 6%, en grande partie en raison de la présence de végétation et d'une lithologie modérément perméable prédominante.

Cependant, la conclusion selon laquelle l'écoulement est très faible peut ne pas être pleinement justifiée compte tenu de la nature lithologique et du couvert végétal relativement dégradé du bassin.

Le bassin de l'oued Biskra, malgré une augmentation de l'évapotranspiration réelle (ETR), présente toujours des déficits d'écoulement significatifs, une lame d'eau nettement élevée dépassant en moyenne 200 mm, et un coefficient d'écoulement inférieur à 6%. Ces valeurs ne reflètent pas de manière précise les variations hydrologiques du bassin, mais sont essentielles pour évaluer les pertes d'eau dues à l'évaporation.

IV.5 Evolution interannuelle des débits

IV.5.1 Indices centrés réduits

L'indice centré réduit (indice pluviométrique) est un rapport, qui compare l'écart entre les hauteurs pluviométriques annuelles et la moyenne interannuelle à l'écart type. Il est utilisé pour analyser la variabilité interannuelle des précipitations, d'identifier les périodes de déficits ou d'excédents pluviométriques. (Voir la figure IV.03).et (annexe n 04).

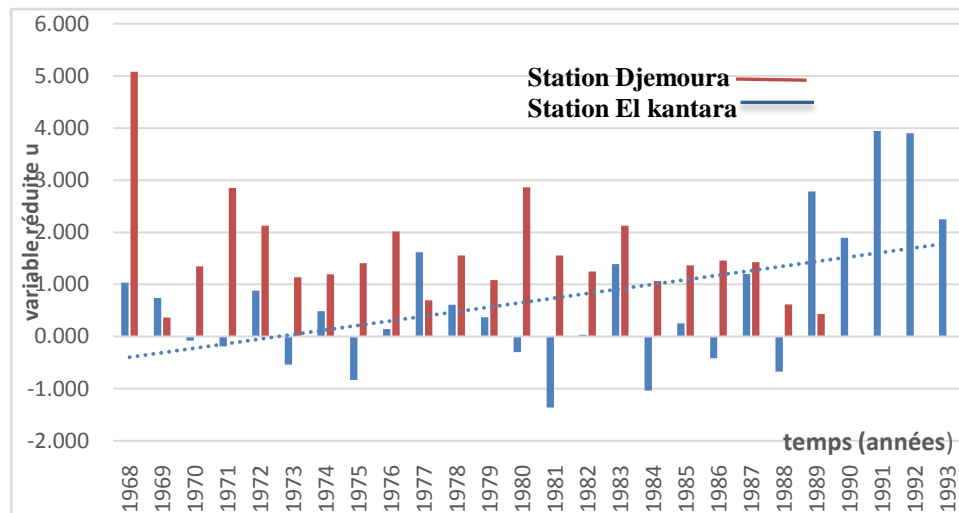


Fig. IV.03. Variation interannuel des indices variables réduits des débits de la station d’El Kantara et Djemoura.

L'évolution des indices centrés réduits révèle une variation significative des débits dans les deux stations. Cette variation se traduit par un écart de 0,91 m³/s entre le débit annuel le plus élevé (0,98 m³/s en 1972) et le plus bas (0,07 m³/s en 1973) à la station de Djemoura. Le filtrage des données permet de mettre en évidence une période humide de 1972 à 1980 et une période sèche de 1981 à 1993 de manière plus claire.

Cependant, en ce qui concerne l'oued El Hai, dont la série de débits s'étend sur une période (28 ans), la figure IV.5 représente l'évolution des modules annuels. Cette représentation montre également une grande variabilité des débits au fil du temps. Les modules annuels de l'oued El Hai sont presque toujours supérieurs à ceux de l'oued Djemoura.

IV.5.2 L'indice d'hydraulicité et la variabilité interannuelle de l'écoulement

L'irrégularité interannuelle de l'écoulement peut être évaluée en utilisant l'hydraulicité, qui compare le débit d'une année spécifique Qi, au débit moyen d'une longue série d'observations(Qmoy).

D'autres critères statistiques tels que le coefficient de variation et le coefficient d'immodération (R), qui mesure les différences entre les débits extrêmes et la moyenne, peuvent également être utilisés pour compléter cette mesure. [25] (voir les figures IV.04 et IV.05).

$$R = Q_{max}/Q_{min} \qquad [IV.04]$$

Avec :

R : coefficient d'immodération.

Qmax : débits mensuel maximal.

Qmin : débits mensuel minimal.

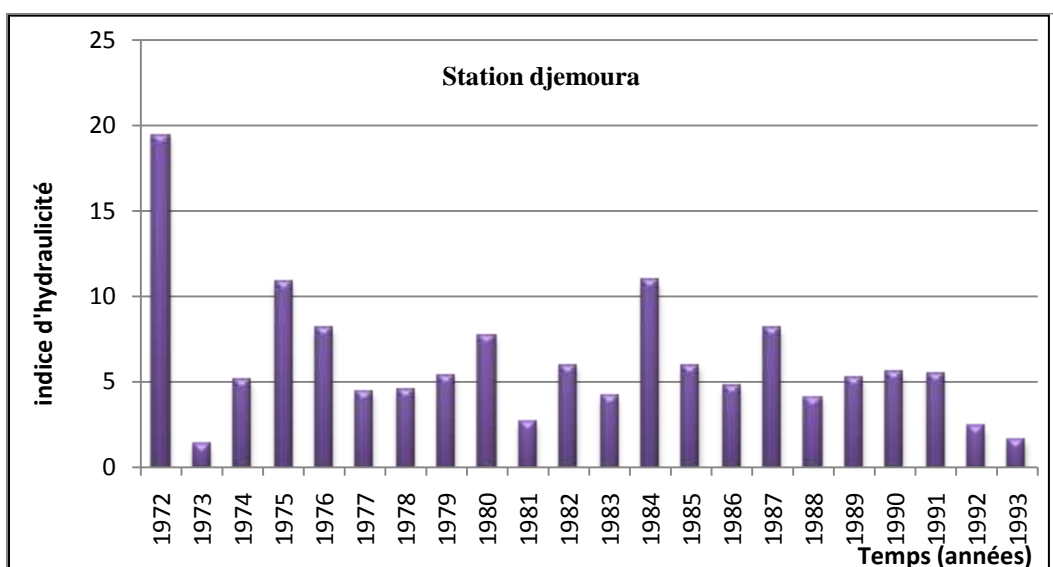


Fig. IV.04. Variation interannuelle des indices d'hydraulicité débits annuels pour la station de Djemoura.

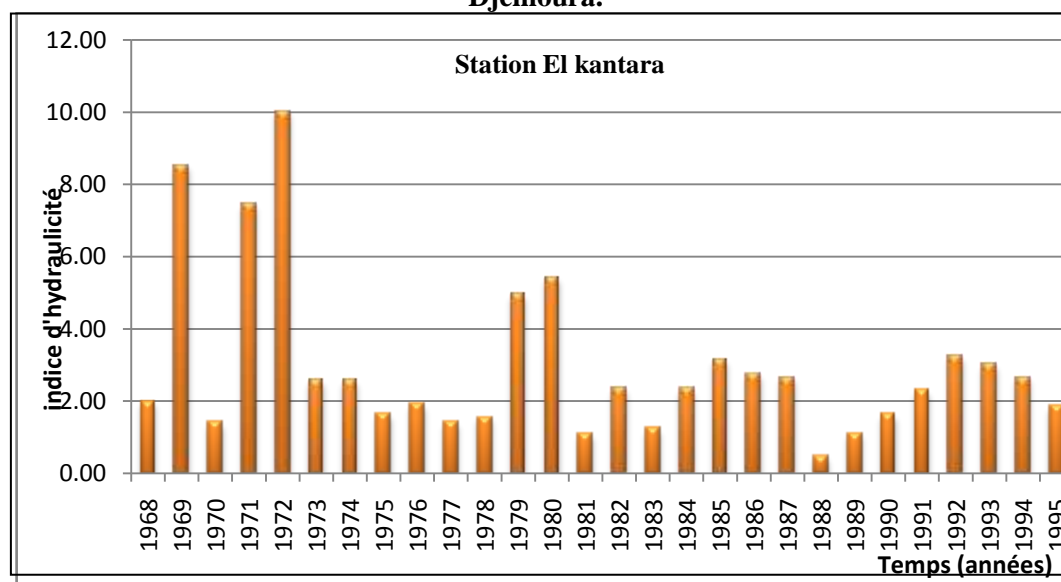


Fig. IV.05. Variation interannuelle des indices d'hydraulicité débits annuels station d'El Kantara.

L'évolution de l'hydraulicité, telle qu'illustrée par les graphiques (figure IV.04 et IV.05), montre des fluctuations significatives des débits d'une année à l'autre, ce qui indique une irrégularité marquée de l'écoulement. Cette irrégularité est principalement attribuable à l'alimentation pluviale des cours d'eau.

À Djemoura, la plupart des années ont enregistré des débits d'eau en déficit, avec des coefficients d'hydraulicité inférieurs à 1. Par exemple, en 1972, l'hydraulicité à la même station était très élevée, avec un coefficient (ch) de 3,16 correspondants à un débit de 0,98 m³/s.

En revanche, en 1973, l'hydraulicité était faible, avec un coefficient de 0,226 correspondant à un débit de 0,07 m³/s. Cette variation importante des débits extrêmes conduit à un coefficient d'immodération (R= 14).

À la station d'El Kantara, l'équilibre est mieux maintenu, avec moins d'années présentant des débits déficitaires. Par exemple, en 1972, une forte hydraulité a été observée, tandis qu'en 1988, une faible hydraulité a été enregistrée.

IV.6 Analyse statistique des apports liquides

Une étude statistique du débit est nécessaire, pour évaluer plus précisément l'anomalie de l'écoulement annuel. Les valeurs élevées du coefficient de variation mettent en évidence une forte dispersion des débits annuels, ce qui suggère une distribution asymétrique des échantillons. [34]

Pour ce faire, nous avons utilisé le logiciel Hyfran plus, qui permet d'ajuster 15 des lois de probabilité les plus utilisées en hydrologie. Les modules annuels des stations Djemoura et El Kantara ont été ajustés selon la loi de Gumbel⁽¹⁾.

$$(1): \quad F(x) = \exp(-\exp[-\frac{x-x_0}{g}]) \quad [IV.05]$$

Avec:

$$U = \frac{x-x_0}{g} \quad [IV.06]$$

Où : X_0 et g sont les paramètres du modèle de Gumbel.

Le test statistique d'adéquation est utilisé pour comparer la pertinence de plusieurs distributions afin de sélectionner la meilleure correspondance. Les tests les plus utilisés sont le test χ^2 (chi-carré) et le test de Kolmogorov-Smirnov.

Les caractéristiques des échantillons des deux stations, ainsi que le test d'adéquation χ^2 et l'homogénéité, sont calculés directement à partir du logiciel utilisé. (Tableau IV.11).

Tableau IV.11. Résultat de la statistique Test d'adéquation test χ^2 , pour les deux stations hydrométriques.

Station	Résultat de la statistique			
	X ²	P-value	degré de liberté	nombre de classe
Djemoura	7,45	0,0587	3	6
El Kantara	10	0,04	4	7

Conclusion : Au niveau de signification de 5%, nous pouvons accepter l'hypothèse nulle (H0).

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de Gumbel sont présentés dans les tableaux IV.12 et IV.13, obtenus à l'aide du logiciel Hyfran plus.

Ces résultats ont été obtenus en utilisant la méthode des moments sur la station de Djemoura pour différentes périodes de retour (T) allant de 2 à 10 000 ans.

Tableau IV.12 : Résultats de l'ajustement à la loi Gumbel (Station Djemoura).

Période de retour T	probabilité q	Qmax (m ³ /s)	Ecart Type	Confidence intervalle (95%)	
10000	0,9999	1,63	0,322	1	2,27
1000	0,9990	1,28	0,243	0,804	1,76
100	0,990	0,926	0,165	0,602	1,25
50	0,980	0,818	0,142	0,541	1,1
20	0,950	0,675	0,111	0,458	0,892
10	0,9000	0,564	0,0878	0,392	0,736
5	0,8000	0,449	0,065	0,321	0,576
2	0,5000	0,275	0,0386	0,199	0,35

Tableau IV.13 : Estimation des caractéristiques statiques des débits moyen annuels Station Djemoura.

Paramètres	Carac. de la loi	Carac. de l'échantillon
Minimum	Aucun	24.4
Maximum	Aucun	315
Moyenne	101	101
Ecart-type	0.197	0.197
Médiane	84.4	83.9
Coefficient de variation (Cv)	0.744	0.744
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1.14	2.02
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2.40	6.63

La droite d'ajustement est bien ajustée par rapport au nuage de points expérimentaux, comme le montre la figure IV.06.

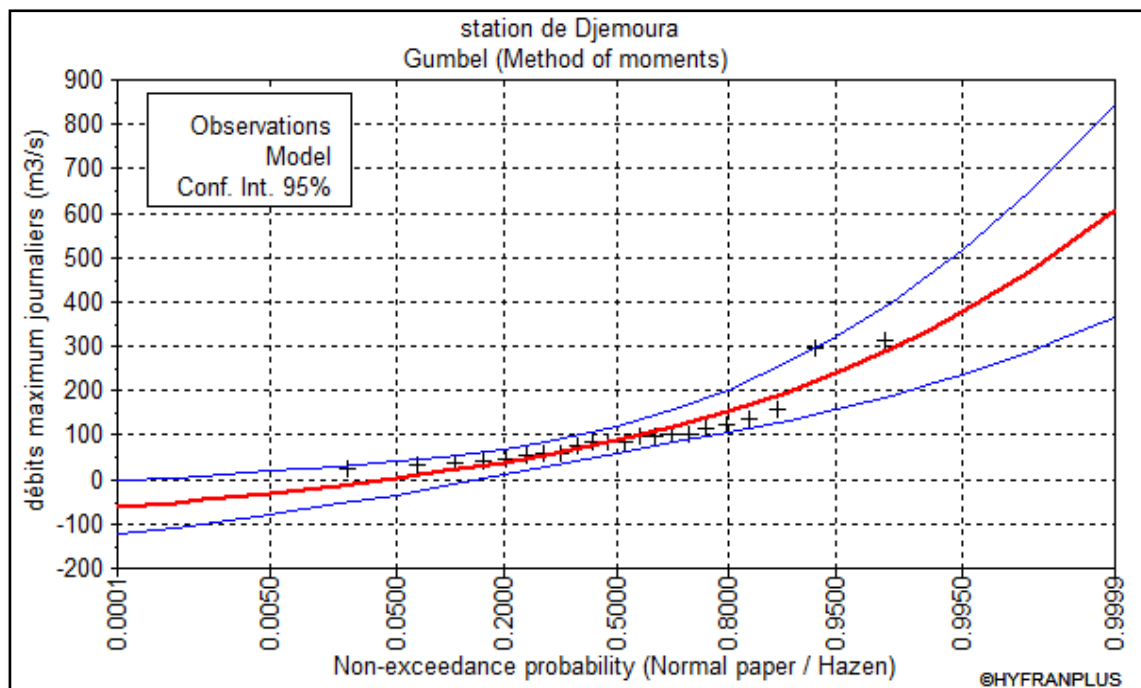


Fig. IV.06. Ajustement graphique des débits moyens annuels pour la station de Djemoura.

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de Gumbel sont présentés dans les tableaux IV.14 et IV.15. Ces résultats ont été obtenus en utilisant la méthode des moments sur la station d'El Kantara pour différentes périodes de retour (T) allant de 2 à 10 000 ans.

Tableau IV.14 : Résultats de l'ajustement à la loi Gumbel (Station d'El Kantara).

Période de retour T	probabilité q	Qmax (m3/s)	Ecart Type	Confidence intervalle (95%)	
10000	0,9999	2,5	0,451	1,62	3,39
1000	0,9990	1,94	0,341	1,27	2,61
100	0,990	1,38	0,231	0,928	1,83
50	0,980	1,21	0,199	0,822	1,6
20	0,950	0,985	0,155	0,68	1,29
10	0,9000	0,81	0,123	0,569	1,05
5	0,8000	0,627	0,0911	0,449	0,806
2	0,5000	0,352	0,0541	0,246	0,458

Tableau IV.15: Estimation des caractéristiques statiques des débits maximums annuels Station d'El kantara.

paramètres	Carac. de la loi	Carac. de l'échantillon
Minimum	Aucun	1.10

Maximum	Aucun	467
Moyenne	112	112
Ecart-type	99.0	99.0
Médiane	95.9	85.6
Coefficient de variation (Cv)	0.883	0.883
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1.14	1.96
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2.40	6.55

La droite d'ajustement est bien ajustée par rapport au nuage de points expérimentaux, ce qui indique une bonne adéquation entre les données observées et le modèle utilisé. (Voir la figure IV.07).

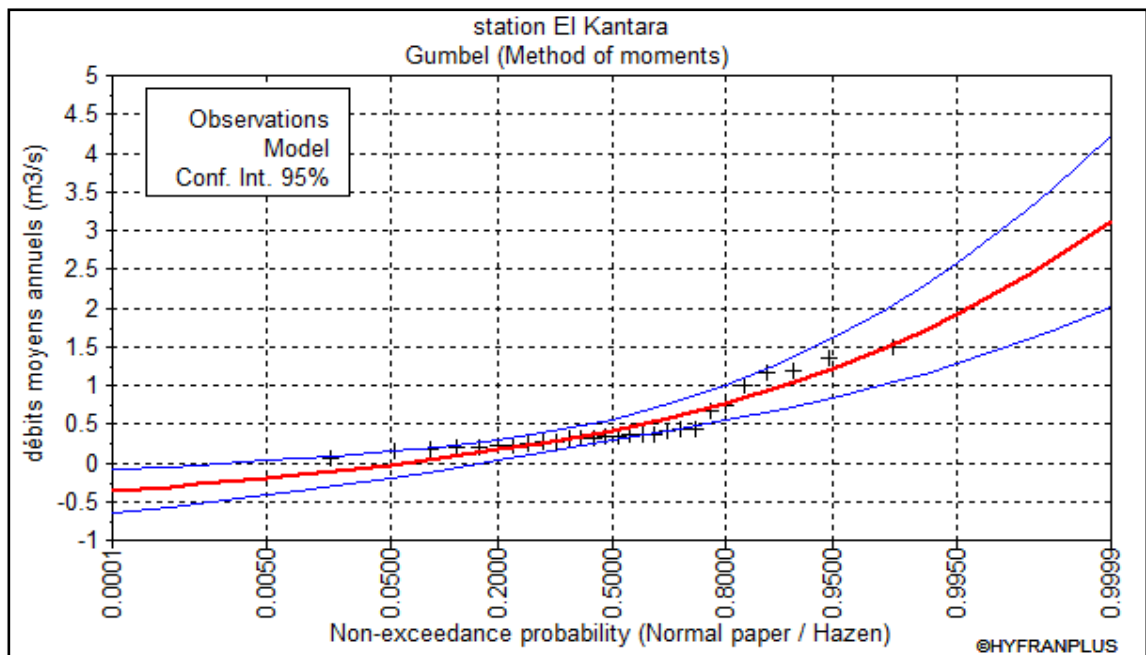


Fig. IV.07. Ajustement graphique des débits moyens annuels pour la station d'El Kantara.

D'après les résultats de calcul effectués à l'aide du logiciel HYFRAN, il a été constaté que la série des débits moyen annuels des oueds Djemoura et El Hai s'ajustent mieux avec la loi de Gumbel. L'ajustement plus clair avec le modèle de Gumbel a été confirmé par l'application du test du Khi-carré, ce qui justifie cette adéquation.

IV.7 Etudes des débits mensuels

Les moyennes mensuelles des débits, enregistrées dans les deux stations sont présentés dans les tableaux IV.16 et IV.17 (Voir les figures IV.08 et IV.09).

Tableau IV.16 : Débits moyens mensuels (m³/s), station El Kantara (1968-1995).

Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
El Kantara	1,065	0,432	0,367	0,278	0,363	0,956	2,019	0,542	0,250	0,041	0,120	0,041

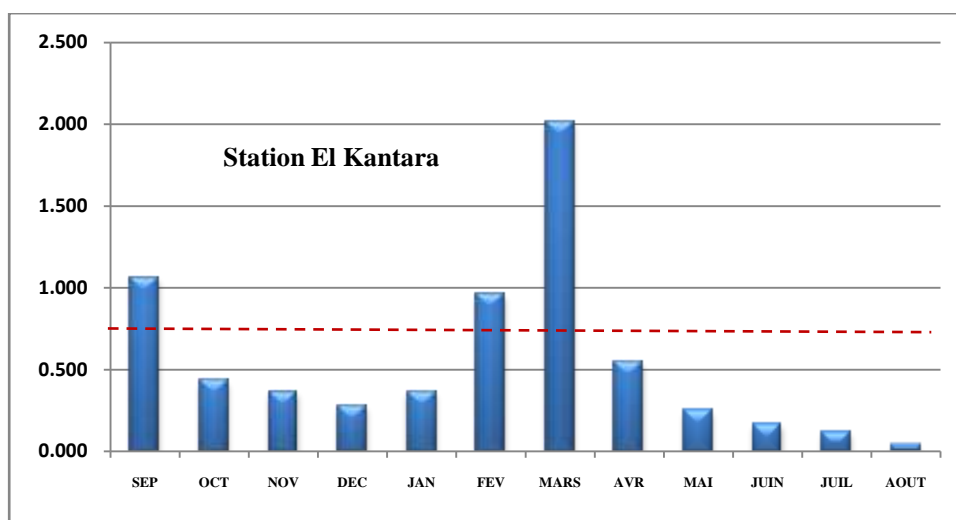


Fig. IV.08. Variation mensuels des débits moyens de l’oued El Hai (1986/1995).

Tableau IV.17 : Débits moyens mensuels (m³/s), station Djemoura (1972/1993).

station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Djemoura	2,204	0,213	0,251	0,237	0,442	0,574	0,733	0,493	1,694	0,0864	0,045	0,134

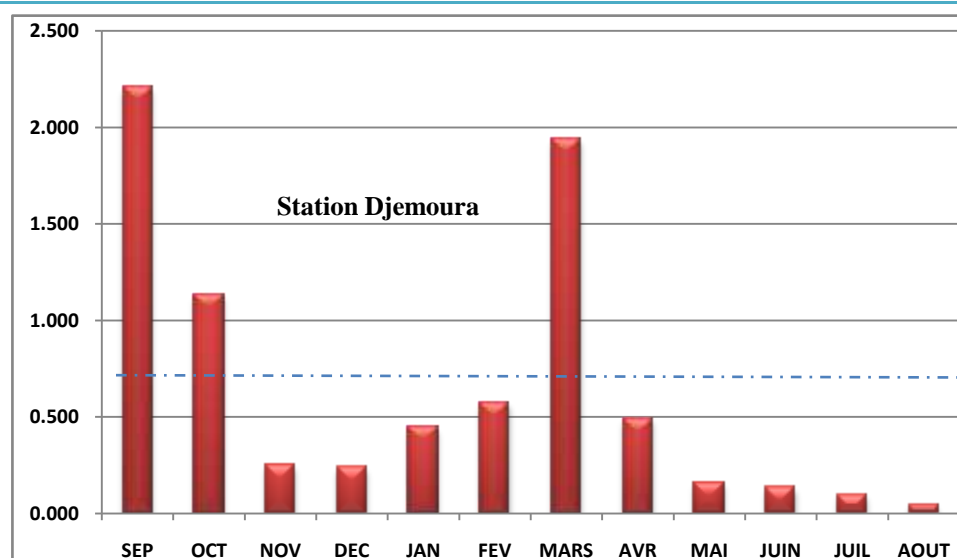


Fig. IV.09. Variation mensuels des débits moyens de l’oued Djemoura (1972/1993).

Le débit moyen mensuel dans le sous-bassin de l’oued Djemoura présente un minimum au mois de juillet (0,045 m³/s), tandis que le sous-bassin de l’oued El Hai enregistre son minimum au mois d’août (0,041 m³/s).

En revanche, le maximum est enregistré au mois de mars avec une valeur de 2,019 m³/s pour l’oued El Hai, et au mois de septembre avec une valeur de 2,204 m³/s pour l’oued Djemoura. Ces valeurs reflètent les variations saisonnières des débits dans les deux sous-bassins.

IV .7.1 Approche classique du régime : Méthode des CMD

La méthode classique d'étude des régimes fluviaux consiste à utiliser le débit mensuel moyen converti en coefficient de débit mensuel (CMD). Ces coefficients permettent de comparer les variations saisonnières des régimes de cours d'eau, même s'ils ont des débits et des bassins versants de tailles différentes. Lorsque le CMD est inférieur à l'unité, cela indique la période d'étiage, tandis que lorsque le CMD est supérieur à l'unité, cela correspond à la période de hautes eaux ou de crue.

En représentant graphiquement les CMD pour les séries hydrologiques disponibles, on peut mettre en évidence les caractéristiques propres aux régimes des oueds étudiés, et montrer clairement les différences dans leurs apports. (Tableau IV.18) et (Figures IV.10 et IV .11).

Tableau IV.18. Moyenne, Écart-type, Coefficient de variation et coefficient mensuel des débits (1972-1994).

station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Djemoura	2,204	1,130	0,251	0,237	0,442	0,574	1,940	0,493	0,160	0,133	0,097	0,045
σ	0,781	0,244	0,196	0,202	0,100	0,034	0,649	0,075	0,241	0,255	0,273	0,299
CV	0,354	0,216	0,779	0,854	0,226	0,059	0,334	0,151	1,507	1,921	2,826	6,635
CMD	3,433	1,760	0,391	0,369	0,689	0,894	3,021	0,767	0,249	0,207	0,150	0,070
El Kantara	1,065	0,432	0,367	0,278	0,363	0,956	2,019	0,542	0,250	0,167	0,120	0,041
σ	0,258	0,059	0,092	0,136	0,093	0,203	0,734	0,004	0,150	0,191	0,215	0,255
CV	0,242	0,136	0,250	0,490	0,257	0,212	0,364	0,007	0,600	1,145	1,786	6,208
CMD	1,937	0,786	0,667	0,505	0,661	1,737	3,670	0,985	0,454	0,304	0,219	0,075

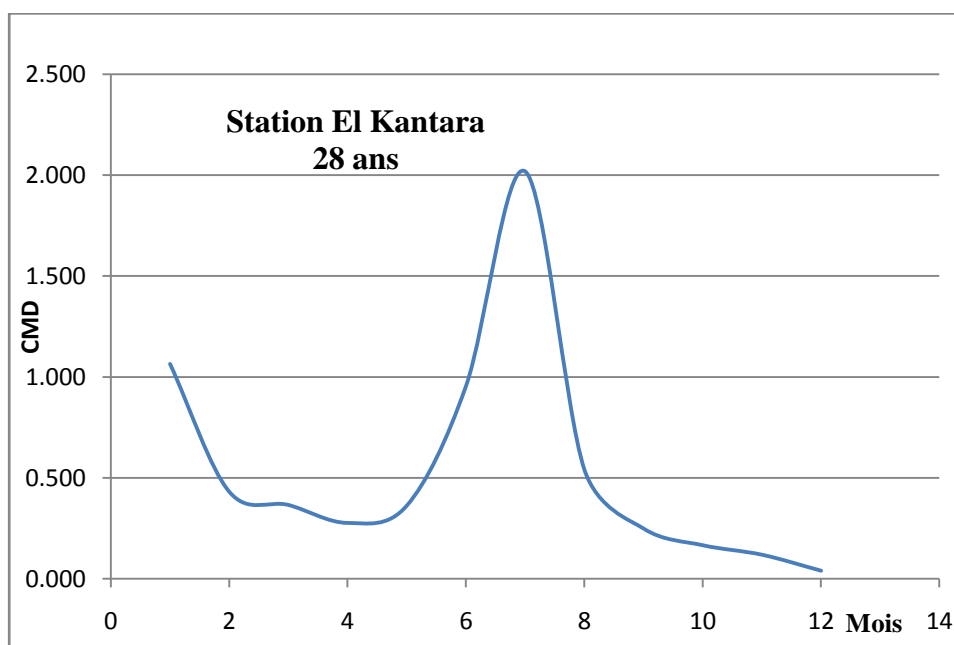


Fig. IV.10. Courbes des coefficients mensuelles des débits de oued El Hai.

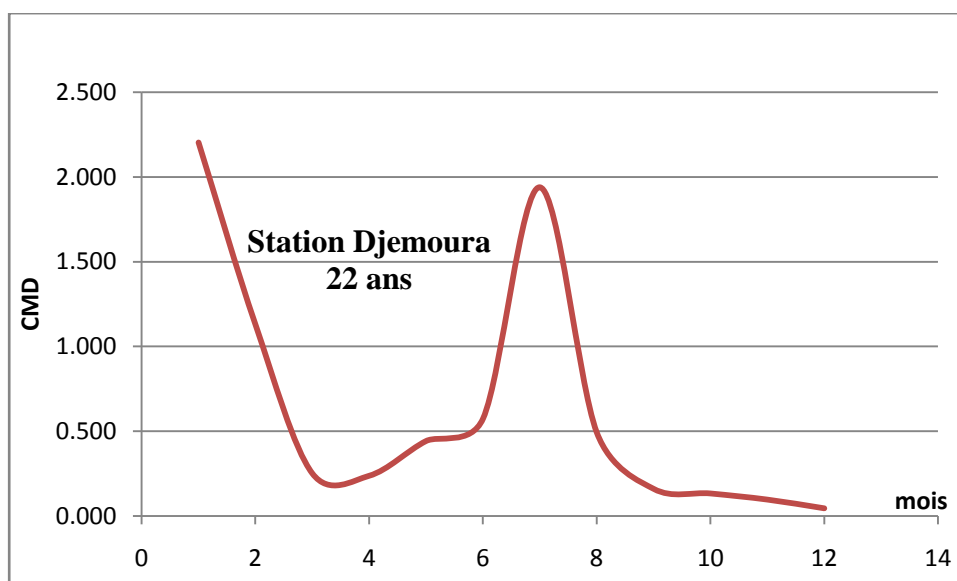


Fig. IV.11. Courbes des coefficients mensuelles des débits de oued Djemoura.

Le régime moyen du bassin étudié est principalement influencé par les précipitations, et présente des hautes eaux de février à mai. Le mois d'avril enregistre un coefficient de débit mensuel (CMD) supérieur à 1 en raison des fortes pluies orageuses, entraînant des inondations en début d'année hydrologique. Le mois de septembre présente le maximum mensuel pour l'oued Djemoura avec un CMD de 3,433, tandis que le mois de mars est le maximum pour l'oued El Hai avec un CMD de 1,937.

En revanche, le mois d'août représente le minimum mensuel d'écoulement avec un CMD de 0,075 pour Djemoura et 0,07 pour El Hai. Il y a donc une adaptation du régime hydrologique aux précipitations.

Les courbes des CMD suivent globalement celles des précipitations. Pour l'oued El Hai, la période de hautes eaux se situe principalement en septembre, octobre et novembre en raison des fortes crues d'automne et des facteurs physico-géographiques de la lithologie, ce qui peut entraîner des débits mensuels importants et des inondations.

IV.8 Les apports solides

Dans le bassin de oued Biskra, l'étude du transport des solides a abouti à des données incomplètes, tant qualitatives que quantitatives. Ce bassin est caractérisé par une pluviométrie irrégulière, des pluies torrentielles, un couvert végétal discontinu et une forte érosion.

L'oued Biskra et ses affluents transportent chaque année de grandes quantités de matériaux de fond, dont la taille peut atteindre plusieurs tonnes lors des inondations qui menacent la région.

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

Le transport des sédiments grossiers dans les oueds est difficile à suivre et quantifier, et l'utilisation de formules empiriques pour pallier ces difficultés est utilisée pour estimer les flux solides, en particulier de matières en suspension.

De nombreuses formules ont été trouvées pour estimer le transport solide à partir des données recueillies dans divers bassins sur place : [26]

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

IV.8.1.1 Formule de SOGREAH (1969)

Les données collectées dans 27 bassins en Algérie, avec une variation des superficies, allant de 90 à 22 300 kilomètres carrés.

$$A = \alpha E^{0,15} \quad \text{[IV.07]}$$

Avec :

A : Apports solides spécifiques moyens annuels (t/km²/an).

α : Coefficient dépendant de la perméabilité du sol (tableau IV.19).

E : Ecoulement annuel (mm).

Tableau IV.19: Coefficient déterminant de la perméabilité des terrains

α	8,5	75	350	1400	3200
Perméabilité	Elevée	moyenne à élevée	faible à moyenne	faible	imperméables

IV.8.1.2 Formule de Tixeront (1960)

Des travaux de recherche ont été effectués sur un total de 32 bassins en Algérie et 9 bassins en Tunisie. Les superficies de ces bassins varient de 90 à 22 300 kilomètres carrés. Les observations ont été réalisées sur des périodes de temps différentes, allant de 2 à 22 ans. [27]

$A = 354 E^{0,15}$ pour les bassins tunisiens.

$A = 92 E^{0,21}$ pour la région Est algérien.

$A = 200 E$ pour la région centre algérien.

Avec :

A : apport solide spécifique en t/km²/an

E : Ecoulement en mm.

Ont abouti à la relation suivante :

$$A = 92 E^{0,21} \quad [IV.08]$$

IV.8.1.3-Formule de Fournier (1960)

Elle est définie par la relation suivante :

$$A = \frac{1}{36} * \left(\frac{Pm^2}{Pa^2}\right)^{2,65} \left(\frac{Hm^2}{S^2}\right)^{0,46} \quad [IV.09]$$

Avec :

A : Apport solide spécifique en (Tonne/km²/an).

P_m : Pluie moyenne des mois les plus humides en (mm).

P_a : Pluie moyenne inter annuelle en (mm).

H_m : Dénivelée (m) : H=0,45 (H_{max} - H_{min}).

S : Surface du bassin versant en (km²).

Le tableau IV.20 présente les résultats des trois formules.

Tableau IV.20 : Récapitulatif des résultats de calcul de l'apport solides pour le bv de O Biskra et son ensemble.

	Sous bassin versant	SBV O El Hai	SBV O Djemoura	BV O .Biskra
	S (Km ²)	1788	906	2787
	Pa (mm)	10,763	13,21	14,5
paramètre	Pm (mm)	232	241,36	111,3
	E(mm)	10,76	13,21	23,97
	α	350	350	350
	Hm (m)	1891	2121	2171
	Sogreah	499,85	515,47	563,66
formule	Tixeront	151,52	158,19	179,27
	Fournier	341912,68	295731,86	1084,11

Il est évident de ce tableau que la formule de Fournier a des valeurs plus élevées que les autres formules.

En comparant avec les autres formules et en examinant l'aspect qualitatif de l'érosion du bassin, on peut conclure que la formule de Tixeront présente des valeurs admissibles.

En prenant en considération le poids spécifique moyen des sédiments $\gamma = 1,4 t/m^3$.

$$Vs = \frac{A*S}{\gamma} \quad [IV.10]$$

Avec :

V_s : Apport solide annuelle (m³/an) ;

A : Apports solides spécifiques moyens annuels (T/km²/an) ;

S : La superficie du bassin versant (Km²) ;

γ : Poids spécifique moyen des sédiments (T/m³) ;

Tableau IV. 21: Récapitulation des résultats obtenus par la formule de Tixeront.

Sous BV	SBV O.El Hai	SBV O. Djemoura	BV O.Biskra
S (Km ²)	1788	906	2787
A(t/km ² /an)	151,52	158,19	179,27
Vs(m ³ /an)	193511,99	102371,15	356883,98

Le SBV de oued El Hai a évacué un volume important de matières solides, équivalent à 151,52 t/km²/an, contre 158,19 t/km²/an ; par oued Djemoura.

Djemoura contribue à environ 60 % des matières en suspension évacuées par Biskra, tandis qu'El Hai ne représente qu'environ 40 % de cette charge.

Conclusion

La variation des débits d'eau dans le bassin de Biskra présente un régime hydrique irrégulier, influencé par les précipitations et les caractéristiques physiques de la région. Les débits annuels varient de manière significative, avec un maximum en septembre (1,50 m³/s) et un minimum enregistré en mars (0,064 m³/s). Les débits mensuels montrent des fluctuations similaires, avec un maximum en mars (0,98 m³/s) et un minimum en mars (0,07 m³/s).

Les débits d'eau connaissent des variations spatiales et temporelles en lien avec des saisons humides et sèches, caractérisées par des indices de précipitations réduits. La complexité de la variabilité des débits est accrue par le manque d'instruments et de points de repère hydrographiques, ce qui rend l'évaluation des débits d'eau et des transports de sédiments plus difficile.

En résumé, ce chapitre expose une étude hydrologique indispensable pour les projets de construction et les prévisions. Cependant, son application requiert des précautions et des mesures de sécurité appropriées.



Chapitre V : Etude des crues de Oued Biskra.



Introduction

Ce chapitre présente des méthodes d'estimation des crues, quand la quantité de pluie, qui est susceptible d'entraîner cette crue est déterminée, basées sur les données des chapitres précédents, sur les caractéristiques hydrologiques des bassins. Il comprend des méthodes basées sur des formules empiriques pour calculer l'hydrogramme de crue à une fréquence souhaitée.

V.1 Les débits maximums annuels : Les crues

Les inondations sont la principale forme d'écoulement dans le bassin de l'Oued Biskra, se caractérisant par leur sévérité et leur intensité. Elles peuvent se produire à n'importe quel moment de l'année. L'étude des crues, incluant leur intensité, leur ampleur, leur fréquence, et leurs variations spatiales et temporelles, est essentielle pour comprendre la réaction du bassin aux fortes pluies et aux séquences de précipitations spécifiques. [28]

V.1.1 Les variations des débits maximums

À Biskra, en ce qui concerne les inondations, on observe une fréquence relativement faible, avec une moyenne de moins de deux inondations par an. Ces inondations se produisent principalement en deux pics distincts tout au long de l'année. Le premier pic a lieu au printemps, tandis que le deuxième pic survient en automne et au début de l'hiver.

Le mois d'octobre présente le maximum relatif d'inondations, tandis que le mois de décembre affiche le maximum absolu en termes d'occurrence d'inondations. Entre ces deux pics, les mois de janvier et juillet connaissent un minimum absolu d'inondations, ce qui signifie qu'ils sont les mois les moins susceptibles de voir des inondations se produire. (Voir Annexe 05).

V.2 Calcul du Temps de Concentration

Différentes formules empiriques permettent de calculer le temps de concentration d'un bassin. Il est crucial de noter que la validité de ces formules est restreinte et dépend des conditions spécifiques d'application de chaque formule. [28]

V.2.1 La formule de GIANDOTTI (Sud Italie 1937)

$$T_c = \frac{4\sqrt{S_{BV}} + 1,5L_{cp}}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad [V.01]$$

Avec :

L_{cp} : Longueur du cours d'eau principal (Km)

S_{BV} : La superficie du bassin versant (Km^2)

H_{moy} : Altitude moyenne du bassin versant (m)

Hmin : Altitude minimale du bassin versant (m).

V.2.2 La formule de SOKOLOVSKY

$$T_c = 4 \left[\frac{(S_{BV} * L_{CP})^{0,333}}{\sqrt{I_{BV}}} \right]^{0,75} \quad [\text{V-02}]$$

Avec :

I_{BV}: La pente du bassin versant en (m/km)

L_{CP}: Longueur du cours d'eau principal (Km)

S_{BV} : La superficie du bassin versant (Km²)

V.2.3 La formule de KIRPICH

$$T_c = 0,6615 * (L_{CP})^{0,77} * (I)^{-0,385} \quad [\text{V-03}]$$

Avec :

I : Pente longitudinale moyenne du bassin versant (m/m).

L_{CP}: Longueur du cours d'eau principal (Km)

VI.2.4 La formule PASSINI: in MUSY, 1998

$$T_c = 64,8(S_{BV} * L_{CP})^{0,33}(I)^{-0,5} \quad [\text{V-04}]$$

Avec :

T_c : temps de concentration (en min)

S_{BV} : surface du bassin versant (km²)

L_{CP} : longueur du bassin (km)

I : pente moyenne du bassin (%)

V.2.5 La formule de VENTURRA

$$T_c = 76,3 \frac{(S_{BV})^{0,5}}{I^{0,5}} \quad [\text{V-05}]$$

T_c : temps de concentration (en min)

A : surface du bassin versant (km²)

I : pente moyenne du bassin (%)

V.2.6 La formule de L'ANRH : (SOGREAH 1986/1989)

$$T_c = 3 \left[\frac{S_{BV} * L_{CP}}{(10I_{BV})^{1,5}} \right]^{0,25} \quad [\text{V-06}]$$

Avec :

T_c : temps de concentration (en h)

L : longueur du plus long thalweg (en km)

I : pente moyenne (en m/m)

A : surface du bassin versant (km²)

V.2.7 La formule de SCS (Soil Conservation Service)

$$tc = \left[\frac{0,87 * Lp^3}{H} \right]^{0,385} \quad [V-07]$$

H : Différence entre les points extrêmes du talweg (m)

Lcp : Longueur du talweg principal (Km).

tc : Temps de concentration en heures.

V.3 Vitesse de ruissellement

La vitesse de propagation moyenne dans le bassin versant est :

$$V_R = \frac{L_{cp}}{T_c} \quad [V-08]$$

Avec :

L_{CP} : Longueur du cours d'eau principal (Km)

T_c : Temps de concentration (h).

Tableau V.01 : Estimation du temps de concentration (tc, heures) BV oued Biskra.

Les Formules	Temps de concentration (heurs)
La formule de GIANDOTTI	17
La formule de SOKOLOVSKY	46,56
La formule de KIRPICH	8,69
La formule PASSINI	27,43
La formule de VENTURRA	43,00
La formule de L'ANRH	15,00
La formule SCS	10,98
Temps de concentration moyen	23,04
Vitesse de ruissellement (Km/h)	4,69

En analysant les données du tableau V.01, la formule de la loi de Giandotti a été choisie en raison de son intégration de la plupart des paramètres géométriques du bassin versant, ce qui aboutit à un temps de concentration de 17 heures.

Le temps de concentration pour l'Oued El Hai est de 15 heures, tandis que celui de l'Oued Djemoura est de 11,47 heures. Le sous-bassin supplémentaire de l'Oued Biskra présente un temps de concentration de 9,62 heures. [06]

V.4 Calcul du débit de pointe pour les différentes fréquences

Pour déterminer le débit de pointe d'un bassin, on a le choix entre plusieurs méthodes, dont certaines s'appuient sur des relevés hydrométriques ou des données historiques, tandis que les plus couramment utilisées sont basées sur les informations liées aux précipitations. Ces approches sont souvent appelées "pluie-débit». [29]

V.4.1 Formules empiriques les plus utilisées en Algérie (Transformation pluie débit)

Nous avons étudié en détail les différentes formules employées en Algérie, pour l'estimation des débits, y compris les méthodes de Mallet-Gauthier, Turraza, Sokolovsky, d'ALEXEEV, Giandotti, ainsi que d'autres approches.

V.4.1.1 Formule de Mallet Gauthier

Elle est utilisée pour estimer la crue avec une période de retour donnée :

$$Q_{maxf\%} = 2K \log(1 + A * P_{moy}) \frac{S_{Bv}}{L_{CP}} \sqrt{1 + 4 \log T - \log S} \quad [V-09]$$

Avec :

S_{Bv} : superficie du bassin versant (Km^2).

L_{cp} : longueur du talweg principal (Km).

K et A : coefficient qui dépend de la topographie du bassin versant, ils varient comme suit :

$2 < K < 3$ Et $20 < A < 30$, donc on prend $K = 3$ et $A = 30$

P_{moy} : précipitation moyenne interannuelle (m).

T : période de retour en année.

V.4.1.2 Formule de TURRAZA

Elle peut être exprimée de la manière suivante (EMI, 1999) [30]

$$Q_{maxf\%} = \frac{C I_t S_{Bv}}{3,6} \quad [V-10]$$

Avec :

S_{Bv} : superficie du bassin versant (Km^2).

I_t : intensité des pluies pendant une durée égale au temps de concentration pour une durée égale au temps de concentration T_c , (mm/h).

C : Coefficient de ruissellement lié à la probabilité d'occurrence.

Le coefficient de ruissellement dépend à la fois de la composition du sol et de la pente moyenne du bassin versant. (Tableau V.02).

Pour notre étude, nous avons retenu les valeurs du coefficient de ruissellement en respectant les intervalles de données établis par Casenave. [29]

Tableau V.02 : Coefficient de ruissellement en fonction de la période de retour

Période de retour	10000	1000	100	50	10	5	2
C	0,38	0,35	0,32	0,30	0,22	0,18	0,12

Rappelons que : $I = \frac{P_t}{T}$ mm/h

V.4.1.3 Formule de SOKOLOVSKI (1958-1968)

Cette formule est utilisée pour estimer le débit maximum de crue, en fonction des conditions météorologiques, et géographiques spécifiques à un bassin donné :

$$Q_{\max f\%} = 0,28 \frac{P_{tc} C_r * S_{Bv} * f}{T_m = T_c} \quad [V-11]$$

0.28 : Coefficient de changement d'unité

S_{Bv}: superficie du bassin versant en Km².

f: coefficient de forme de la crue. (Tableau V.03).

La valeur de γ est choisie en fonction de la taille du cours d'eau, de la perméabilité et du taux de boisement du bassin versant.

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

Tableau V.03 : f en fonction de γ

γ	2,0	2,5	3,0	4,0
f	1,2	1,04	0,95	0,75

On prend: $\gamma = 2,0$ Pour un bassin peu boisé, avec un sol peu perméable d'où $f=1,2$

P_{tc}: Pluie de courte durée

C_r: Coefficient de ruissellement

T_m=T_c: Temps de concentration (heure).

V -4-1-4 Formule d'Alexeev

$$Q_{\max f\%} = 0,34 P_{Tc}^{1,33} \quad [V-12]$$

Ptc : Pluie de courte durée

V -4-1-5 Formule de Giandotti

Cette formule donne des résultats positifs, notamment pour les bassins typiquement montagneux. [30]

$$Q_{\max f\%} = \frac{1,66 P_{ct} \sqrt{H_{\max} - H_{\min}}}{0,8 \sqrt{S_{bv}} + 1,5 L_{cp}} \quad [V-13]$$

Avec :

Ptc : Précipitation en mm, de probabilité p% correspondante à un temps Tc.

Sbv: superficie du bassin versant en Km².

Lcp: longueur du talweg principal (Km).

Hmax : Altitude maximale (m)

Hmin : Altitude minimale (m)

V-4-1-6 Formule de Possenti

Son expression est donnée par :

$$Q_{\max f\%} = \frac{\mu P_{j\max\%} S_{bv}}{L_{cp}} \quad [V-14]$$

Pjmax% : Pluie maximale journalière correspondante à la période de retour donnée (mm).

μ: Coefficient compris entre (700 – 800)

Sbv: superficie du bassin versant en Km².

Lcp: longueur du talweg principal (Km).

V -4-1-7 formule de Sami

Donné par la formule suivante :

$$Q_{\max f\%} = \frac{0,8 S_{bv} P_{j\max\%}}{86,4} \quad [V-15]$$

Pjmax% : Pluie maximale journalière correspondante à la période de retour donnée (mm).

Sbv: superficie du bassin versant en Km².

V .4.1.8 Formule Méthode rationnelle

La méthode rationnelle est l'estimation empirique du débit maximum la plus ancienne(1850), et la plus largement utilisée, elle est aujourd'hui utilisée dans les réseaux urbains. [31] [32]

La forme la plus utilisée de la méthode rationnelle est :

$$Q(T) = 0,278 \times C \times I(t_c, T) \times A \quad [V-16]$$

Q(T) : débit maximum de la crue de fréquence (T),

I(tc, T) : intensité de pluie de fréquence (T)

tc : temps de concentration du bassin

A : superficie du bassin versant

V-4-1-9 Formule de Burkli-Ziegler

Elle est limitée aux localités présentant des caractéristiques similaires à celles étudiées par Burkli-Ziegler. [42]

$$Q(T) = C * I(t_c, T) * A * \left(\frac{I_{bv}}{A}\right)^{0,25} \quad [V-17]$$

Q(T) : débit maximum de la crue de fréquence (T), en cfs (1m³/s = 35.3 cfs),

I(tc, T) : intensité de pluie de fréquence (T) en mm/h, en in/h (1in = 25.4mm),

tc : temps de concentration du bassin en heures,

A : superficie du bassin versant en acres (1acre = 0.4047ha),

C : coefficient de ruissellement ; identique à celui de la formule rationnelle.

Ibv : la pente du bassin (‰).

Les résultats obtenus par les différentes formules pour la station d’El Kantara sont présentés dans les tableaux V.04, V.05 et V.06.

**Tableau V.04 : Estimation du débit de pointe fréquentielle Qmax,F (Formules empiriques).
Station El Kantara.**

Qmax,p% (m ³ /s) station El Kantara								
Fréquences	Période de retour	Mallet gauthir	Turraza	Possenti	Sokolovski	Alexeev	Sami	Giandotti
10%	10	11,312	164,993	866,744	467,003	66,800	798,474	3,318
2%	50	17,050	303,960	1294,814	857,855	99,282	1075,614	3,818
1%	100	19,144	359,189	1715,337	1014,761	113,924	1192,828	4,469
0,10%	1000	25,153	521,500	2898,449	1470,360	165,601	1580,228	4,956

Tableau V.05 : Résultats obtenus par la méthode rationnelle Station El Kantara.

	Fréquences	Periode de retour T	I(Tc,T)	Q(T)
	10%	10	1,510	165,125
	2%	50	2,040	304,203
	1%	100	1,260	200,416
	0,10%	1000	3,000	521,917

Tableau V.06 : Résultats obtenus par la formule de Burkli-Ziegler Station El Kantara.

	Fréquences	Periode de retour T	I(Tc,T)	I(Tc,T) en in	Q(T)
	10%	10	1,510	0,059	240,099
	2%	50	2,040	0,080	442,326
	1%	100	1,260	0,050	291,415
	0,10%	1000	3,000	0,118	758,893
	0,01%	10000	3,740	0,147	1027,180

Les résultats obtenus par les différentes formules pour la station de Djemoura sont présentés dans les tableaux V.07, V.08 et V.09.

Tableau V.07: Estimation du débit de pointe fréquentielle $Q_{max,F}$ (Formules empiriques).Station Djemoura.

Q _{max,p%} (m ³ /s) oued Djemoura									
	Fréquence	Période de retour	Mallet Gauthier	Turraza	Possenti	Sokolovski	Alexeev	Sami	Giandotti
oued Djemoura	10%	10	8,459	110,180	586,476	213,987	95,842	404,596	6,16
	2%	50	12,469	212,155	876,127	291,800	152,03	545,026	7,278
	1%	100	13,932	254,485	1160,67	311,253	177,58	604,419	8,721
	0,10%	1000	18,132	379,639	1961,21	340,433	268,46	800,719	9,801

Tableau V.08 : Résultats obtenus par la méthode rationnelle Station Djemoura.

	Fréquences	Période de retour T	I(Tc,T)	Q(T)
Station Djemoura	10%	10	1,990	110,268
	2%	50	2,810	212,325
	1%	100	3,160	254,689
	0,10%	1000	4,310	379,943

Tableau V.09 : Résultats obtenus par la formule de Burkli-Ziegler Station Djemoura.

	Fréquences	Periode de retour T	I(Tc,T)	I(Tc,T) en in	Q(T)
Station Djemoura	10%	10	1,990	0,078	204,490
	2%	50	2,810	0,111	393,753
	1%	100	3,160	0,124	472,316

	0,10%	1000	4,310	0,170	704,598
--	-------	------	-------	-------	---------

En général, les valeurs obtenues par la formule de GIANDOTTI sont inférieures à celles obtenues par d'autres approches. Ainsi, La méthode de Sokolovski a été choisie en raison de sa capacité à synthétiser les facteurs d'écoulement, en particulier pour le dimensionnement des ouvrages d'art, car les valeurs qu'elle produit se rapprochent davantage de la réalité.

Cependant, en raison du degré d'incertitude éventuellement élevé, les résultats de ces méthodes doivent être pris avec prudence.

En utilisant la même relation, il est possible d'évaluer les quantités de crues dans d'autres bassins de l'oued Biskra en utilisant ces valeurs.

$$Q_{crue.Biskra} = Q_{crue.O.El Hai} \left(\frac{S.O Biskra}{S.O El Hai} \right)^k$$

K : Est un coefficient régional, il est en fonction du temps et de l'espace. Il est calculé comme suit :

$$Q_{crue (T).El.Hai} = Q_{crue (T).Djemoura} \left(\frac{S.O Biskra}{S.O El Hai} \right)^k$$

$$\ln k = \ln \left(\frac{Q_{crue (T).O.El hai}}{Q_{crue (T).O Djemoura}} \right) - \ln \left(\frac{S.O El Hai}{S.O Djemoura} \right)$$

Les valeurs de "K», et les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau n° V.10.

Tableau V.10 : Débits de crues pour le bassin de l'oued Biskra et le sous BV de O Biskra complémentaire.

Oued Djemoura					Oued El Hai			
période de retour	Djemoura	k	O.Biskra complé	O. Biskra	O. El Hai	k	O.Biskra complé	O. Biskra
10	213,99	0,543	62,17	393,89	467,00	0,543	93,79	594,28
50	291,80	0,543	84,77	537,12	857,85	0,543	172,29	1091,66
100	311,25	0,542	90,63	572,29	1014,76	0,542	204,41	1290,76
1000	340,43	0,542	99,13	625,94	1470,36	0,542	296,18	1870,27

Tableau V.11 : Débits de crues pour le bassin de l'oued Biskra et son ensemble.

Période de retour	O. El Hai	Djemoura	k	O.Biskra complémentaire	O. Biskra
10	467,00	213,99	0,543	93,79	594,28
50	857,85	291,80	0,543	172,29	1091,66
100	1014,76	311,25	0,542	204,41	1290,76
1000	1470,36	340,43	0,542	296,18	1870,27

Les débits de pointe du oued Biskra et ses sous bv sont présentés dans la figure V.01.

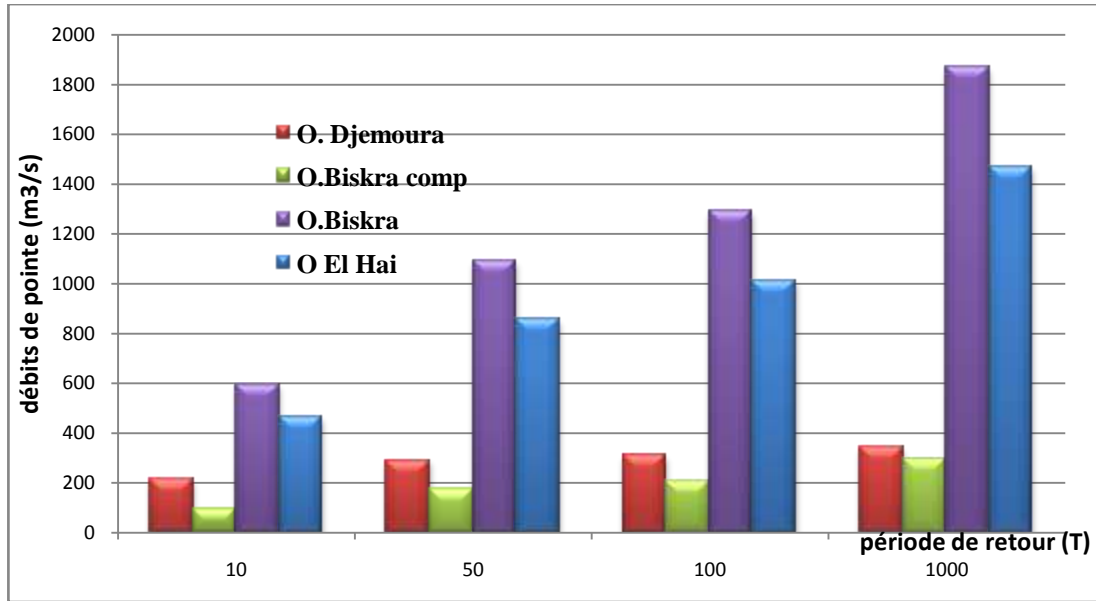


Fig. V. 01. Débits de pointe du BV de oued Biskra et ses sous bassins versants.

L'analyse des crues du bassin de oued Biskra met en évidence des variations entre les bassins :

L'augmentation du débit dans le bassin de Djemoura à Biskra est due à plusieurs facteurs, dont la distribution des précipitations, une pente plus prononcée et un meilleur couvert végétal.

Le sous-bassin d'El Hai est vulnérable aux inondations majeures en raison de pentes raides, de précipitations fortes et de la dégradation de la végétation.

Le sous-bassin de l'Oued Biskra complémentaire présente des débits de crue très faibles en raison de pentes moins abruptes, de précipitations moins abondantes et d'une infiltration significative.

V.4.2 Estimation des crues maximales annuelles par les données de mesure (analyse statistique)

V.4.2.1 Histogramme de fréquence

Les paramètres statistiques de base correspondant à la distribution du débit de pointe annuel sont présentés dans le tableau V.12, pour la station d'El Kantara.

L'histogramme et la boîte à moustaches sont représentés sur la Figure V.02.

Tableau V.12 : Statistiques descriptives station D'El Kantara.

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Qmax	28	0	28	1,100	467,000	112,188	99,022

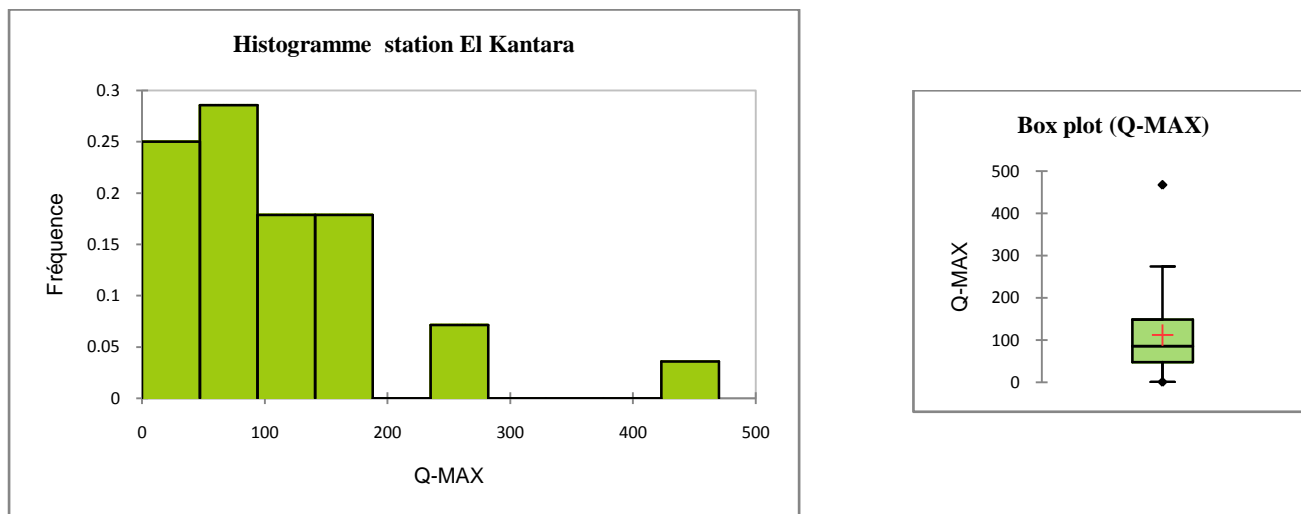


Fig. V. 02. Histogramme et box plot des débits maximum annuel pour la station d’El Kantara.

Pour la station de Djemoura, les paramètres statistiques de base correspondant à la distribution du débit annuel maximal sont présentés dans le tableau V.13.

L'histogramme et la boîte à moustaches sont représentés sur la figure V.03.

Tableau V.13 : Statistiques descriptives station de Djemoura.

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Qmax	22	0	22	24,350	314,800	100,752	74,958

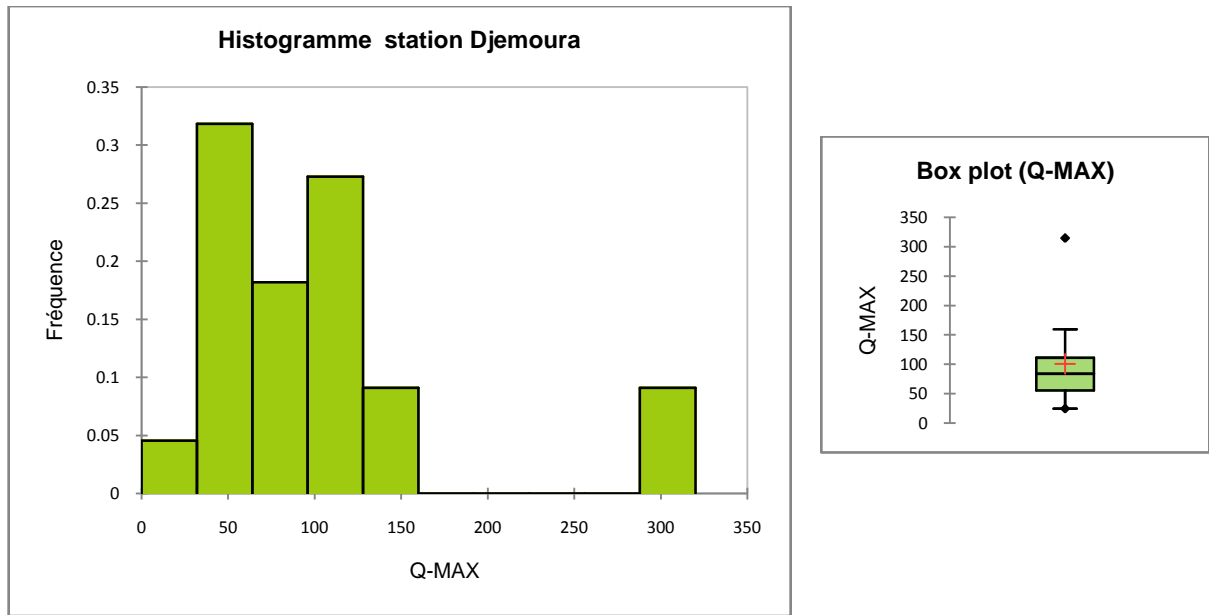


Fig. V.03. Histogramme et box plot des débits maximum annuel pour la station Djemoura.

La classe des débits la plus fréquente pour la station d’El Kantara est [0 – 200] et pour la station de Djemoura [50 – 100]. En revanche, les classes les moins fréquentes sont celles de [200– 250] ; [320 – 400], pour la station d’El Kantara et [200 – 250];[250 –300] pour la station de Djemoura.

V .4.2.2 Ajustement à la loi de Gumbel

La loi de Gumbel est couramment employée pour modéliser la distribution des valeurs extrêmes. La fonction de Gumbel est une fonction exponentielle double:

$$(Q) = e^{-e^{-u}} \quad [V-18]$$

Avec :

$$u = a (Q - Q_0)$$

u : la droite de Gumbel.

Q₀ : le paramètre de position.

Le paramètre d’échelle : $\frac{1}{a} = 0,78 \cdot \sigma$

Avec :

σ: l’écart type de la série des crues.

Le paramètre de forme :

$$Q_0 = \bar{Q} - (1/a * 0,577)$$

Avec :

\bar{Q} : est la moyenne des crues.

Le calcul des paramètres a et Q_0 nous permet d'obtenir l'équation de la droite de Gumbel :

$$u = a (Q - Q_0).$$

En conséquence, la distribution statistique des Q_{max} du bassin de oued Biskra se conforme avec cette loi (voir Figures V.04 et V.05).

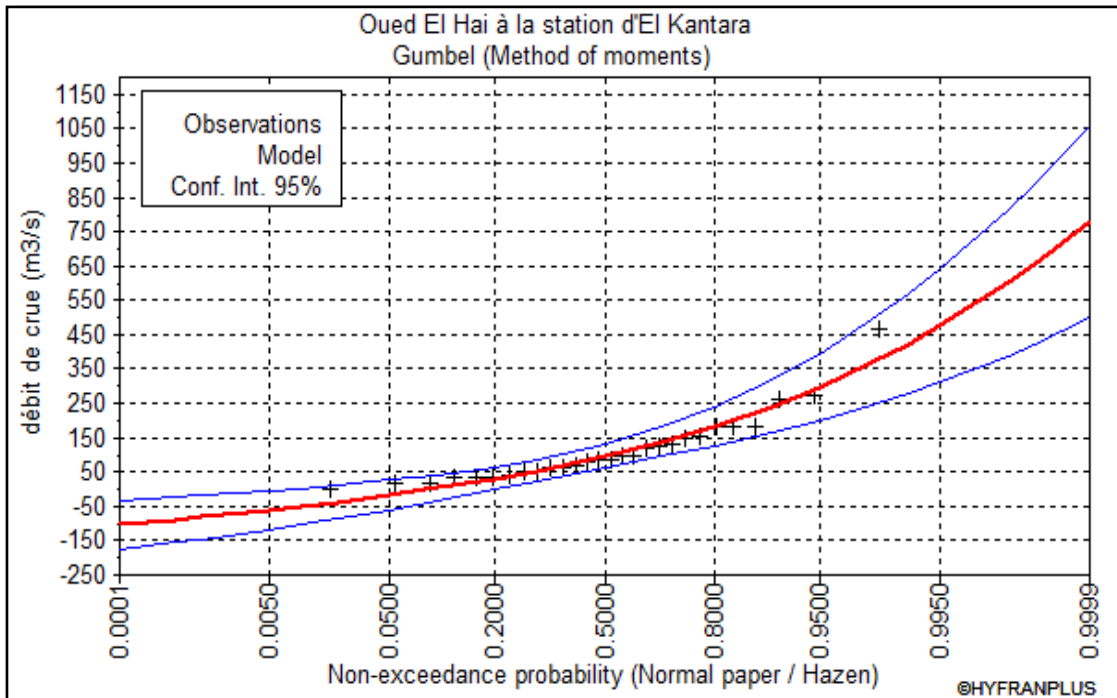


Fig. V. 04. Ajustement des débits journaliers maximums à une loi de Gumbel station d'El Kantara.

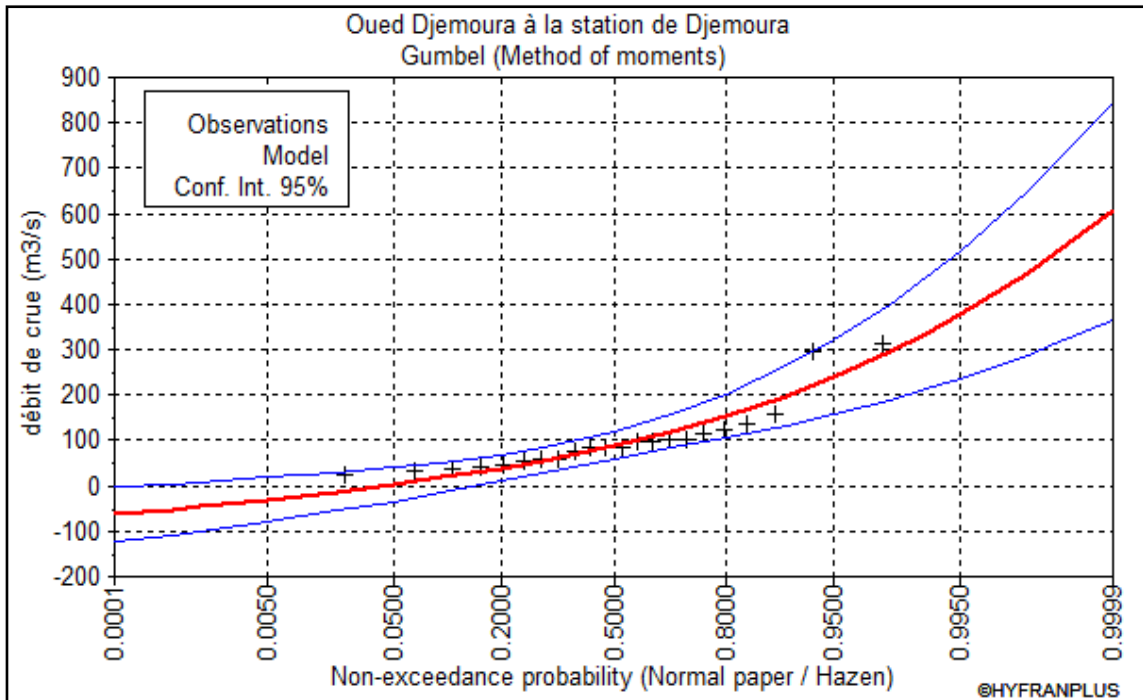


Fig. V. 05. Ajustement des débits journaliers maximums à une loi de Gumbel station de Djemoura.

Les quantiles pour les deux stations qui surveillent le bassin versant de l'oued Biskra sont présentés dans les tableaux V.14 et V.15.

Tableau V.14 : Les résultats d'ajustement à la loi de Gumbel station El Kantara.

T	Fréquence au non dépassement	Q crue	Ecart type	Intervalle de confiance (95%)	(95%)
1000	0.999	601,41	108	389	813
100	0.99	423,8	73.4	279	567
50	0.98	369,32	63.0	245	492
10	0.90	241,52	39.1	165	318

Tableau V.15: Les résultats d'ajustement à la loi de Gumbel station de Djemoura.

T	Fréquence au non dépassement	Qcrue	Ecart type	Intervalle de confiance (95%)	(95%)
1000	0.999	471,97	92.4	290	652
100	0.99	336,12	62.7	213	459
50	0.98	295,56	53.8	190	401

10	0.90	191,17	33.4	133	264
----	------	--------	------	-----	-----

A partir de ces valeurs on peut évaluer les quantiles en termes de crue, aux autres bassins de l’oued Biskra et l’oued Biskra complémentaire par la même relation utilisée précédemment :

$$Q_{crue.Biskra} = Q_{crue.O.Djemoura} \left(\frac{S.O\ Biskra}{S.O\ El\ Djemoura} \right)^k$$

Le tableau V.16 présentes les débits des crues fréquentielles du bassin versant de oued Biskra et ses sous bassins.

Tableau V.16: Débits de crues pour le bassin de l’oued Biskra et ses sous bassins versants.

Période de retour	O. El Hai	Djemoura	O.Biskra complé	O. Biskra
10	241,52	191,17	62,61	352,18
50	369,32	295,56	92,81	522,07
100	423,8	336,12	105,71	594,63
1000	601,41	471,97	148,18	833,55

La figure V.06 illustre les débits des crues pour différentes périodes du bassin versant de O.Biskra, O.El Hai, O. djemoura et O. Biskra complémentaire.

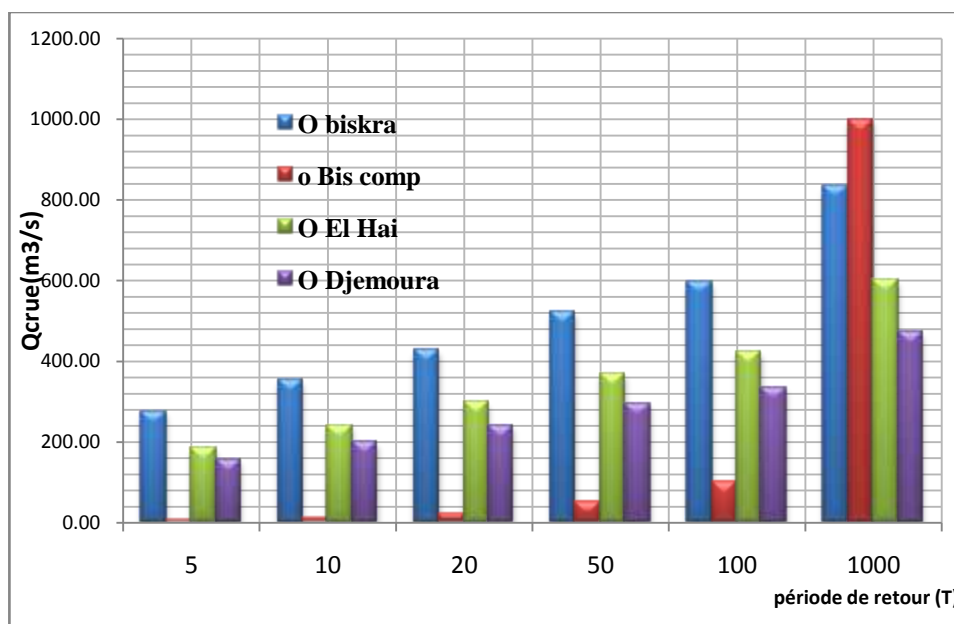


Fig. V.06. Débits des crues du BV de oued Biskra et ses sous bassins par analyse statistique loi de Gumbel.

Les débits de crue les plus élevés enregistrés dans le bassin versant d'Oued Biskra, pour une période de cent ans et mille ans, sont respectivement de 594,63 m³/s et 833,55 m³/s. Ce résultat est attribué à la vaste superficie drainée par cette source d'eau, qui s'élève à 2787 km².

De même, le sous-bassin d'El Hai, avec une superficie de 1788 km², présente des débits élevés de 423,8 m³/s et 601,41 m³/s pour les mêmes périodes.

Le sous-bassin de Djemoura Oued se distingue également par des valeurs relativement élevées de 336,12 m³/s et 471,97 m³/s, en raison de ses propriétés pétrographiques imperméables et de la dégradation de sa couverture forestière.

En revanche, le sous-bassin complémentaire de Biskra présente des crues plus faibles, avec des débits de 105,71 m³/s et 148,18 m³/s pour les périodes de cent ans et mille ans, respectivement. Cette différence s'explique par sa capacité d'infiltration élevée, et son apport pluviométrique relativement faible.

V.4.3. Méthode impliquant la connaissance des précipitations

V.4.3.1 Méthode du Gradex

La modélisation des précipitations a pour objectif de prévenir les inondations et de garantir la sécurité des habitants. Le modèle probabiliste Gradex se démarque par son efficacité, offrant une évaluation du risque d'inondation exceptionnelle et des prévisions pour diverses périodes. [33]

Le fondement de la méthode de Gradex est présenté dans la figure V. 07.

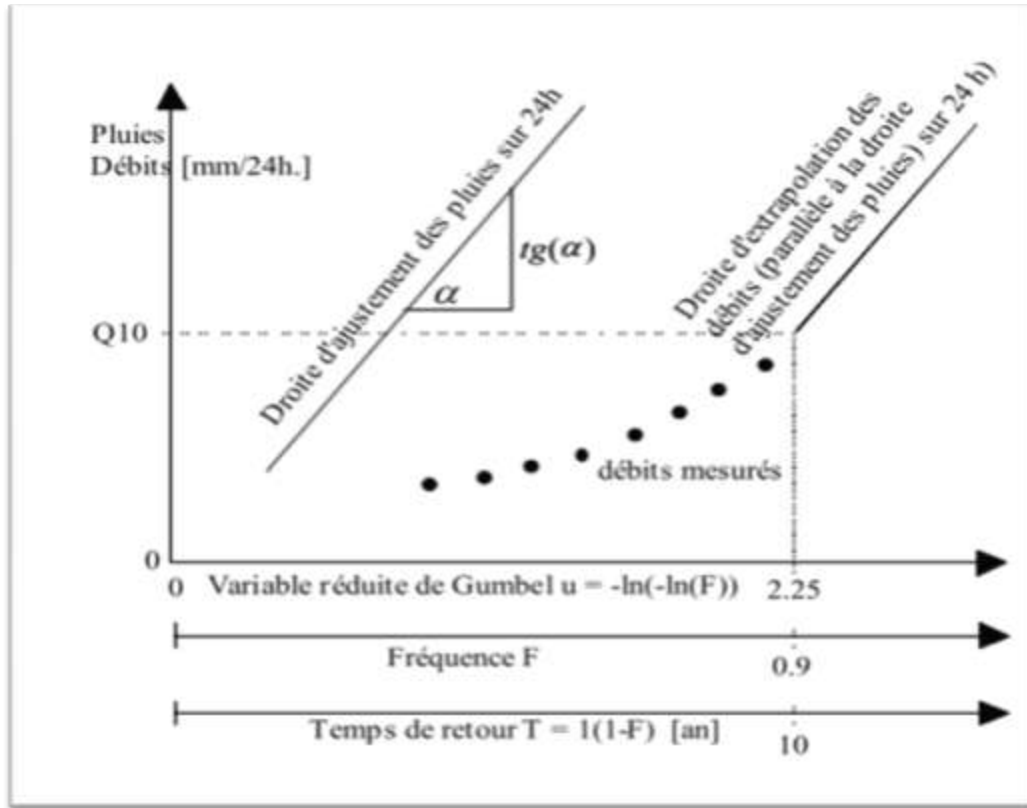


Fig. V. 07. Graphe représentative de l’ajustement graphique des pluies et la droite d’extrapolation des débits.

Les résultats d’ajustement des précipitations maximales journaliers annuelles Oued El Hai à la station d’El Kantara sont exposés dans le tableau V.17.

Tableau V.17 : Résultats d’ajustement des précipitations maximales journaliers annuelles Oued El Hai à la station d’El Kantara.

année	précipitations maximales journalières annuelles	rang	fréquence empirique selon Hazen	variable réduite de Gumbel u	précipitations maximales journalières annuelles	précipitations estimées
	[mm/24 h]	[-]	[-]	[-]	[mm/24 h]	[mm/24h]
1968	24,5	13	0,266	-0,28	24,5	17,0
1969	41,80	36	0,755	1,27	41,80	33,6
1970	48,74	43	0,904	2,30	48,74	44,5
1971	46,30	42	0,883	2,08	46,3000	42,2
1972	24	15	0,309	-0,16	24	18,3-
1973	42,5	37	0,777	1,38	42,5	34,7
1974	33,53	29	0,606	0,69	33,53	27,4

1975	26,91	21	0,436	0,19	26,91	22,0
1976	58	46	0,968	3,43	58	56,6
1977	23	13	0,266	-0,28	23	17,0
1978	29,64	24	0,500	0,37	29,64	23,9
1979	30,5	25	0,521	0,43	30,5	24,6
1980	7	1	0,011	-1,51	7	3,9
1981	19,7	9	0,181	-0,54	19,7	14,3
1982	23	13	0,266	-0,28	23	17,0
1983	24,6	18	0,372	0,01	24,6	20,1
1984	15,5	7	0,138	-0,68	15,5	12,7
1985	10,6	3	0,053	-1,08	10,6	8,5
1986	41,1	35	0,734	1,17	41,1	32,5
1987	50	44	0,926	2,56	50	47,3
1988	29	23	0,479	0,31	29	23,3
1989	60	47	0,989	4,54	60	68,4
1990	14,2	4	0,074	-0,95	14,2	9,8
1991	26,6	19	0,394	0,07	26,6	20,7
1992	22,51	12	0,245	-0,34	22,51	16,4
1993	36,26	32	0,670	0,92	36,26	29,8
1994	39,18	34	0,713	1,08	39,18	31,5
1995	43,76	39	0,819	1,61	43,76	37,2
1996	19,26	8	0,160	-0,61	19,26	13,5
1997	21,26	11	0,223	-0,40	21,26	15,7
1998	14,42	5	0,096	-0,85	14,42	10,9
1999	33,18	27	0,564	0,56	33,18	25,9
2000	55,27	45	0,947	2,91	55,27	51,0
2001	24,59	17	0,351	-0,05	24,59	19,5
2002	43,68	38	0,798	1,49	43,68	35,9
2003	35,26	30	0,628	0,76	35,26	28,1
2004	9,67	2	0,032	-1,24	9,67	6,8
2005	26,67	20	0,415	0,13	26,67	21,4
2006	14,67	6	0,117	-0,76	14,67	11,9
2007	32,68	26	0,543	0,49	32,68	25,2
2008	45,26	41	0,862	1,90	45,26	40,3
2009	38,26	33	0,691	1,00	38,26	30,6
2010	20,42	10	0,202	-0,47	20,42	15,0

2011	28,34	22	0,457	0,25	28,34	22,6
2012	45,18	40	0,840	1,75	45,18	38,7
2013	33,18	27	0,564	0,56	33,18	25,9
2014	35,51	31	0,649	0,84	35,51	28,9

Avec :

L'année pivot = 10 ans

Débits moyens maximaux = 431.43 (m³/s)

Débits moyens journaliers = 22,60 (mm/24h)

Coeff. de pointe = 1,13

Surface du bassin = 1788 km².

Les résultats d'extrapolation des débits (méthode de Gradex) Oued El Hai à la station d'El Kantara sont présentés dans le tableau n° V.18.

Tableau V.18 : Résultats d'extrapolation des débits (méthode de Gradex) Oued El Hai à la station d'El Kantara.

Temps de retour	fréquence empirique selon Hazen	variable réduite de Gumbel u	précipitations estimées	débits moyen extrapolés	débits moyen extrapolés	débits de pointe extrapolés
[ans]	[-]	[-]	[mm/24h]	[mm/24h]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
10	0.9000	2.25	44.00	18.45	381.80	431.43
10.52	0.9050	2.30	44.58	19.03	393.72	444.91
11	0.9100	2.36	45.18	19.63	406.25	459.07
12	0.9150	2.42	45.82	20.27	419.46	473.99
12.50	0.9200	2.48	46.50	20.94	433.44	489.78
13	0.9250	2.55	47.21	21.66	448.27	506.55
14	0.9300	2.62	47.98	22.43	464.08	524.42
15	0.9350	2.70	48.79	23.24	481.03	543.56
17	0.9400	2.78	49.68	24.13	499.27	564.18
18	0.9450	2.87	50.63	25.08	519.06	586.53
20	0.9500	2.97	51.68	26.13	540.67	610.96
22	0.9550	3.08	52.83	27.28	564.50	637.88
25	0.9600	3.20	54.11	28.56	591.07	667.90
29	0.9650	3.33	55.56	30.01	621.11	701.85
33	0.9700	3.49	57.24	31.68	655.70	740.94

40	0.9750	3.68	59.21	33.66	696.50	787.04
50	0.9800	3.90	61.61	36.06	746.31	843.33
67	0.9850	4.19	64.71	39.16	810.36	915.71
100	0.9900	4.60	69.06	43.51	900.41	1017.46
200	0.9950	5.30	76.48	50.93	1053.95	1190.96
250	0.9960	5.52	78.86	53.31	1103.31	1246.74
333	0.9970	5.81	81.94	56.39	1166.91	1318.61
500	0.9980	6.21	86.27	60.72	1256.51	1419.85
1000	0.9990	6.91	93.67	68.11	1409.60	1592.85

Avec : Coefficients a et b de la droite d'extrapolation des débits

a =20,0

b (pluie)=10,7mm.

L'ajustement graphique pour les pluies et la droite d'extrapolation pour les débits de Oued El Hai à la station d'El Kantara sont présentés dans la Figure V.08.

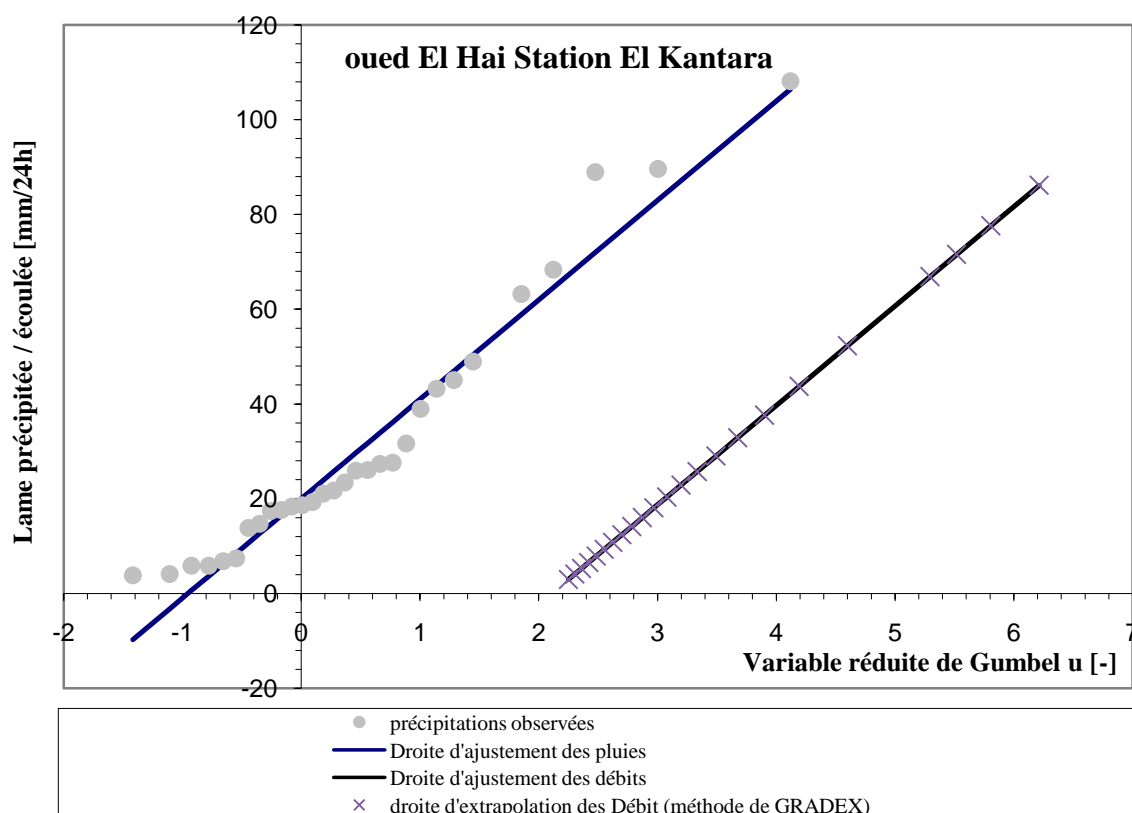


Fig. V.08. Ajustement graphique pour les pluies et la droite d'extrapolation des débits de Oued El Hai à la station d'El Kantara.

Les résultats d'ajustement des précipitations maximales journaliers annuelles Oued Djemoura à la station de Djemoura sont présentés dans le tableau V.19.

Tableau V.19 : Résultats d'ajustement des précipitations maximales journaliers annuelles Oued Djemoura à la station de Djemoura.

Année	Précipitations maximales journalières annuelles	Rang	Fréquence empirique selon Hazen	Variable réduite de Gumbel u	Précipitations maximales journalières annuelles	Précipitations estimées
	[mm/24 h]	[-]	[-]	[-]	[mm/24 h]	[mm/24h]
1968	62,13	13	0,272	-0,26	62,13	15,8
1969	62,73	39	0,837	1,73	62,73	47,5
1970	65	14	0,293	-0,20	65	16,8
1971	3	1	0,011	-1,51	30	4,0
1972	85,45	15	0,315	-0,14	85,45	17,7
1973	66,55	41	0,880	2,06	66,55	52,8
1974	37,1	16	0,337	-0,08	37,1	18,7
1975	21,5	12	0,250	-0,33	21,5	14,8
1976	83,1	17	0,359	-0,02	83,1	19,6
1977	28,6	21	0,446	0,21	28,6	23,4
1978	24,2	18	0,380	0,03	24,2	20,5
1979	27,9	20	0,424	0,15	27,9	22,4
1980	16,89	19	0,402	0,09	16,89	21,5
1981	35,2	26	0,554	0,53	35,2	28,4
1982	32,8	20	0,424	0,15	32,8	22,4
1983	50,2	36	0,772	1,35	50,2	41,5
1984	27,2	21	0,446	0,21	27,2	23,4
1985	18,79	6	0,120	-0,75	18,79	8,0
1986	38,2	22	0,467	0,27	38,2	24,4
1987	21,6	13	0,272	-0,26	21,6	15,8
1988	23,6	23	0,489	0,34	23,6	25,3
1989	11	2	0,033	-1,23	11	0,4
1990	24	24	0,511	0,40	24	26,3
1991	38,8	31	0,663	0,89	38,8	34,2
1992	39,06	25	0,533	0,46	39,06	27,4
1993	20,16	8	0,163	-0,60	20,16	10,5

1994	15	26	0,554	0,53	15	28,4
1995	31	23	0,489	0,34	31	25,3
1996	21,79	27	0,576	0,60	21,79	29,5
1997	36,8	27	0,576	0,60	36,8	29,5
1998	25,1	28	0,598	0,66	25,1	30,6
1999	19,7	7	0,141	-0,67	19,7	9,3
2000	16,8	29	0,620	0,74	16,8	31,7
2001	21,29	10	0,207	-0,46	21,29	12,7
2002	83	30	0,641	0,81	83	32,9
2003	66,59	42	0,902	2,27	66,59	56,2
2004	45,2	31	0,663	0,89	45,2	34,2
2005	75	43	0,924	2,54	75	60,4
2006	50,8	32	0,685	0,97	50,8	35,5
2007	45	34	0,728	1,15	45	38,3
2008	30,6	33	0,707	1,06	30,6	36,8
2009	20,3	9	0,185	-0,52	20,3	11,7
2010	37,4	34	0,728	1,15	37,4	38,3
2011	33,4	25	0,533	0,46	33,4	27,4
2012	40	35	0,750	1,25	40	39,8
2013	21,4	11	0,228	-0,39	21,4	13,8
2014	23,6	15	0,309	-0,16	23,6	17,4

Avec :

L'année pivot = 10 ans

Débits moyens maximaux = 248.60 (m³/s)

Débits moyens journaliers = 30,00 (mm/24h)

Coeff. de pointe = 1,13

Surface du bassin = 906 km²

Les résultats d'extrapolation des débits (méthode de Gradex) Oued Djemoura à la station de Djemoura sont présentés dans le tableau n° V.20.

Tableau V.20: Résultats d'extrapolation des débits (méthode de Gradex) Oued Djemoura à la station de Djemoura.

Temps de retour	fréquence empirique selon Hazen	variable réduite de Gumbel u	précipitations estimées	débits moyen extrapolés	débits moyen extrapolés	débits de pointe extrapolés
[ans]	[-]	[-]	[mm/24h]	[mm/24h]	[m3/s]	[m3/s]
10	0.9000	2.25	55.85	23.71	248.60	280.92
10.52	0.9050	2.30	56.71	24.57	257.62	291.11
11	0.9100	2.36	57.61	25.47	267.11	301.83
12	0.9150	2.42	58.57	26.43	277.11	313.13
12.50	0.9200	2.48	59.57	27.43	287.68	325.08
13	0.9250	2.55	60.64	28.51	298.91	337.77
14	0.9300	2.62	61.79	29.65	310.88	351.29
15	0.9350	2.70	63.01	30.87	323.70	365.78
17	0.9400	2.78	64.33	32.19	337.51	381.39
18	0.9450	2.87	65.75	33.61	352.48	398.31
20	0.9500	2.97	67.31	35.17	368.84	416.79
22	0.9550	3.08	69.03	36.89	386.87	437.17
25	0.9600	3.20	70.95	38.81	406.98	459.89
29	0.9650	3.33	73.12	40.98	429.72	485.58
33	0.9700	3.49	75.62	43.48	455.90	515.16
40	0.9750	3.68	78.56	46.42	486.78	550.06
50	0.9800	3.90	82.16	50.02	524.48	592.66
67	0.9850	4.19	86.78	54.64	572.96	647.44
100	0.9900	4.60	93.28	61.14	641.11	724.45
200	0.9950	5.30	104.36	72.22	757.31	855.76
250	0.9960	5.52	107.92	75.78	794.67	897.97
333	0.9970	5.81	112.51	80.37	842.81	952.37
500	0.9980	6.21	118.98	86.84	910.62	1029.00
1000	0.9990	6.91	130.03	97.89	1026.48	1159.93

Avec : Coefficients a et b de la droite d'extrapolation des débits

a =20,00

b (pluie)=15,90mm.

L'ajustement graphique pour les pluies et la droite d'extrapolation pour les débits de Oued Djemoura à la station de Djemoura sont présentés dans la Figure V.09.

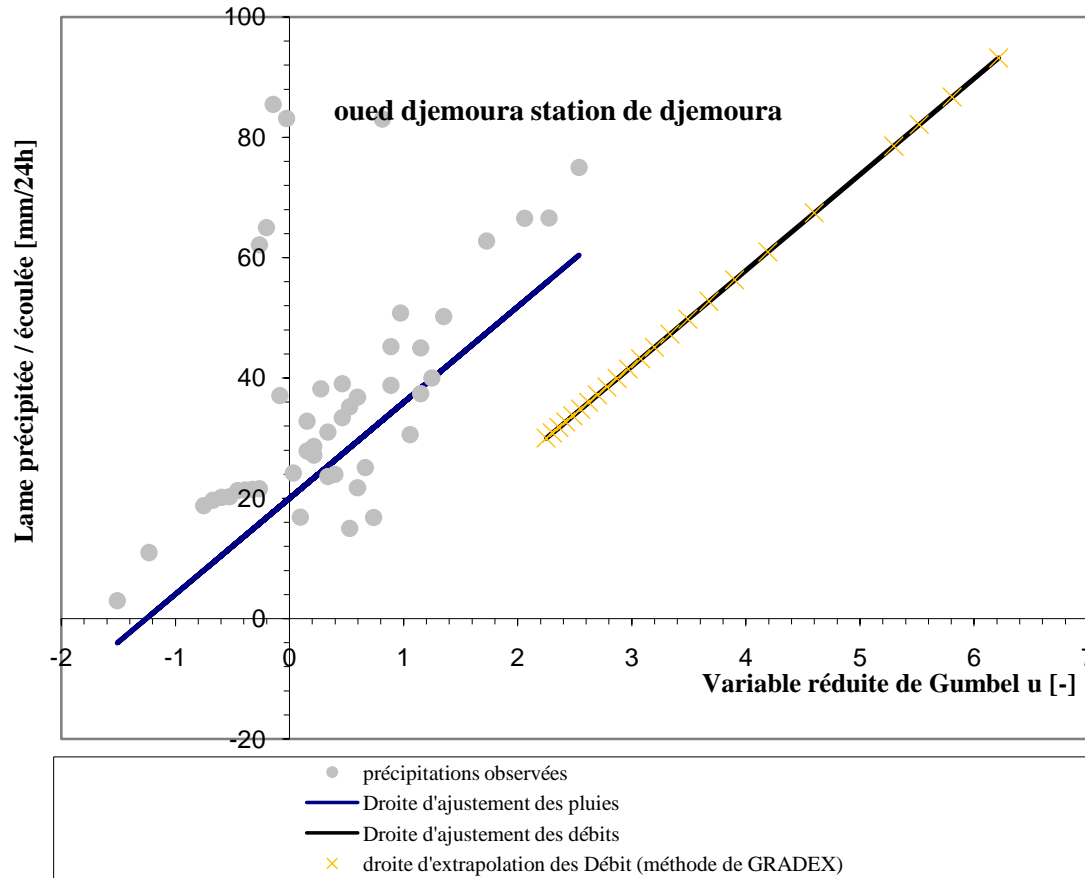


Fig. V.09. Ajustement graphique pour les pluies et droite d'extrapolation des débits de Oued Djemoura à la station de Djemoura.

Les résultats d'ajustement des précipitations maximales journaliers annuelles de Oued Biskra à la station de Biskra, sont présentés dans le tableau V.21.

Tableau V.21: Résultats d'ajustement des précipitations maximales journaliers annuelles de Oued Biskra à la station de Biskra.

Année	précipitations maximales journalières annuelles	rang	fréquence empirique selon Hazen	variable réduite de Gumbel u	précipitations maximales journalières annuelles	précipitations estimées
	[mm/24 h]	[-]	[-]	[-]	[mm/24 h]	[mm/24h]
1968	23,7	10	0,202	-0,47	23,7	14,1
1969	36,65	27	0,564	0,56	36,65	27,0

1970	48,74	38	0,798	1,49	48,74	38,8
1971	35,00	26	0,543	0,49	35,0000	26,2
1972	83,71	47	0,989	4,54	83,71	77,3
1973	42,5	33	0,691	1,00	42,5	32,6
1974	33,53	24	0,500	0,37	33,53	24,6
1975	26,91	17	0,351	-0,05	26,91	19,4
1976	49	39	0,819	1,61	49	40,4
1977	23	9	0,181	-0,54	23	13,2
1978	29,64	21	0,436	0,19	29,64	22,4
1979	30,5	22	0,457	0,25	30,5	23,1
1980	7	1	0,011	-1,51	7	0,9
1981	19,7	8	0,160	-0,61	19,7	12,3
1982	23	9	0,181	-0,54	23	13,2
1983	24,6	14	0,287	-0,22	24,6	17,2
1984	15,5	5	0,096	-0,85	15,5	9,2
1985	10,6	2	0,032	-1,24	10,6	4,4
1986	41,1	31	0,649	0,84	41,1	30,6
1987	50	40	0,840	1,75	50	42,1
1988	29	19	0,394	0,07	29	20,9
1989	60	45	0,947	2,91	60	56,7
1990	14,2	4	0,074	-0,95	14,2	7,9
1991	26,6	16	0,330	-0,10	26,6	18,7
1992	27	18	0,372	0,01	27	20,2
1993	43,5	35	0,734	1,17	43,5	34,8
1994	47	37	0,777	1,38	47	37,4
1995	52,5	42	0,883	2,08	52,5	46,3
1996	23,1	11	0,223	-0,40	23,1	14,9
1997	25,5	15	0,309	-0,16	25,5	18,0
1998	17,3	6	0,117	-0,76	17,3	10,4
1999	39,8	29	0,606	0,69	39,8	28,7
2000	66,3	46	0,968	3,43	66,3	63,3
2001	29,5	20	0,415	0,13	29,5	21,6
2002	52,4	41	0,862	1,90	52,4	44,1
2003	42,3	32	0,670	0,92	42,3	31,6
2004	11,6	3	0,053	-1,08	11,6	6,4
2005	32	23	0,479	0,31	32	23,9

2006	17,6	7	0,138	-0,68	17,6	11,4
2007	39,2	28	0,585	0,62	39,2	27,9
2008	54,3	44	0,926	2,56	54,3	52,3
2009	45,9	36	0,755	1,27	45,9	36,1
2010	24,5	13	0,266	-0,28	24,5	16,5
2011	34	25	0,521	0,43	34	25,4
2012	54,2	43	0,904	2,30	54,2	49,0
2013	39,8	29	0,606	0,69	39,8	28,7
2014	42,6	34	0,713	1,08	42,6	33,7

Avec :

L'année pivot = 10 ans

Débits moyens maximaux = 505,86(m³/s)

Débits moyens journaliers= 15,7 (mm/24h)

Coeff. de pointe = 1,13

Surface du bassin = 2787 km².

Les résultats d'extrapolation des débits (méthode de Gradex), de Oued Biskra à la station de Biskra, sont présentés dans le tableau n° V.22.

Tableau V.22: Résultats d'extrapolation des débits (méthode de Gradex) de Oued Biskra à la station de Biskra.

Temps de retour	fréquence empirique selon Hazen	variable réduite de Gumbel u	précipitations estimées	débits moyen extrapolés	débits moyen extrapolés	débits de pointe extrapolés
[ans]	[-]	[-]	[mm/24h]	[mm/24h]	[m3/s]	[m3/s]
10	0.9000	2.25	48.4	15.7	505.86	571.62
10.52-	0.9050	2.30	49.1	16.4	527.87	596.49
11	0.9100	2.36	49.8	17.1	551.00	622.63
12	0.9150	2.42	50.6	17.8	575.39	650.19
	0.9200	2.48	51.4	18.6	601.18	679.34
13	0.9250	2.55	52.2	19.5	628.57	710.28
14	0.9300	2.62	53.1	20.4	657.76	743.27
15	0.9350	2.70	54.1	21.4	689.03	778.61
17	0.9400	2.78	55.1	22.4	722.72	816.67
18	0.9450	2.87	56.3	23.5	759.24	857.94

20	0.9500	2.97	57.5	24.8	799.14	903.02
22	0.9550	3.08	58.9	26.1	843.12	952.73
25	0.9600	3.20	60.4	27.7	892.17	1008.15
29	0.9650	3.33	62.1	29.4	947.62	1070.82
33	0.9700	3.49	64.1	31.4	1011.48	1142.97
40	0.9750	3.68	66.4	33.7	1086.80	1228.09
50	0.9800	3.90	69.3	36.5	1178.75	1331.99
67	0.9850	4.19	72.9	40.2	1297.00	1465.61
100	0.9900	4.60	78.1	45.4	1463.22	1653.44
200	0.9950	5.30	86.9	54.1	1746.66	1973.72
250	0.9960	5.52	89.7	57.0	1837.77	2076.68
333	0.9970	5.81	93.4	60.6	1955.19	2209.36
500	0.9980	6.21	98.5	65.7	2120.59	2396.27
1000	0.9990	6.91	107.2	74.5	2403.20	2715.62

Avec : Coefficients a et b de la droite d'extrapolation des débits

a =20,00

b (pluie)=12,60mm.

Le graphique d'ajustement des précipitations et d'extrapolation pour le ruissellement de l'Oued Biskra à la station de Biskra est présenté à la Figure I.10.

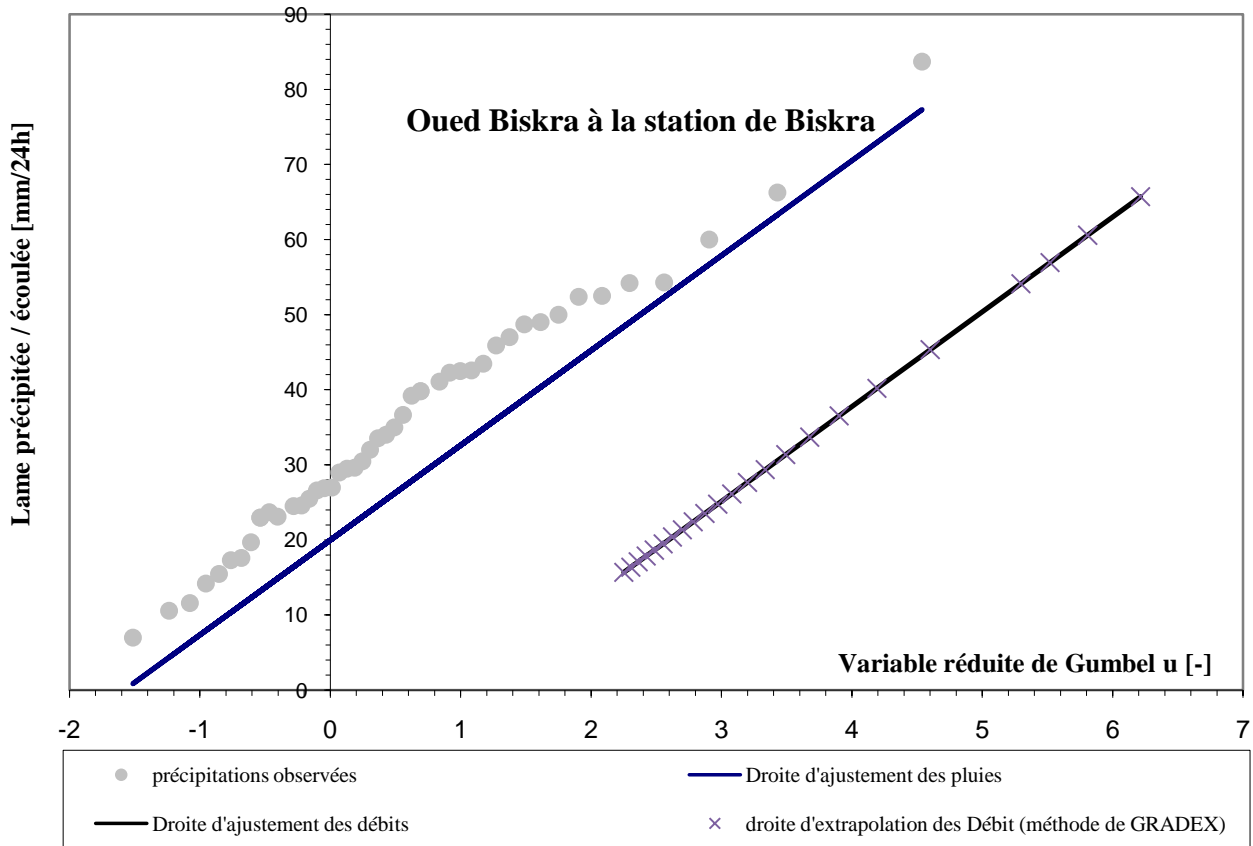


Fig. V.10. Ajustement graphique pour les pluies et droite d’extrapolation des débits l’Oued Biskra à la station de Biskra.

Pour le sous bassin de l’oued Biskra complémentaire la station pluviométrique la plus proche est celle de T’kout.

Les résultats d’ajustement des précipitations maximales journaliers annuelles, de Oued Biskra complémentaire à la station de T’kout sont présentés dans le tableau V.23.

Tableau V.23 : Résultats d’ajustement des précipitations maximales journalières annuelles Oued Biskra complémentaire à la station de T’kout.

année	précipitations maximales journalières annuelles	rang	fréquence empirique selon Hazen	variable réduite de Gumbel u	précipitations maximales journalières annuelles	précipitations estimées
	[mm/24 h]	[-]	[-]	[-]	[mm/24 h]	[mm/24h]
1968	32	11	0,223	-0,40	32	15,4
1969	25	11	0,223	-0,40	25,00	15,4
1970	59,09	40	0,840	1,75	59,09	39,7

1971	61,87	43	0,904	2,30	61,8700	45,8
1972	45	33	0,691	1,00	45	31,2
1973	37,1	25	0,521	0,43	37,1	24,8
1974	16,3	2	0,032	-1,24	16,3	6,1
1975	69,9	46	0,968	3,43	69,9	58,6
1976	24,6	8	0,160	-0,61	24,6	13,2
1977	33,5	20	0,415	0,13	33,5	21,4
1978	34,7	21	0,436	0,19	34,7	22,1
1979	54	37	0,777	1,38	54	35,5
1980	24,4	7	0,138	-0,68	24,4	12,3
1981	44,02	31	0,649	0,84	44,02	29,4
1982	51,4	36	0,755	1,27	51,4	34,3
1983	27	15	0,309	-0,16	27	18,2
1984	60	42	0,883	2,08	60	43,4
1985	41,2	29	0,606	0,69	41,2	27,8
1986	24	5	0,096	-0,85	24	10,4
1987	59,2	41	0,862	1,90	59,2	41,4
1988	48,1	34	0,713	1,08	48,1	32,2
1989	24	5	0,096	-0,85	24	10,4
1990	36,6	23	0,479	0,31	36,6	23,4
1991	26,6	13	0,266	-0,28	26,6	16,8
1992	17,2	3	0,053	-1,08	17,2	7,9
1993	41,4	30	0,628	0,76	41,4	28,6
1994	39,8	27	0,564	0,56	39,8	26,3
1995	37,5	26	0,543	0,49	37,5	25,5
1996	56	38	0,798	1,49	56	36,7
1997	44,5	32	0,670	0,92	44,5	30,3
1998	24,8	10	0,202	-0,47	24,8	14,7
1999	36,6	23	0,479	0,31	36,6	23,4
2000	26,8	14	0,287	-0,22	26,8	17,5
2001	27,6	17	0,351	-0,05	27,6	19,5
2002	49,2	35	0,734	1,17	49,2	33,2
2003	57	39	0,819	1,61	57	38,1
2004	33,23	19	0,394	0,07	33,23	20,8
2005	20,6	4	0,074	-0,95	20,6	9,3
2006	40,1	28	0,585	0,62	40,1	27,0

2007	27,16	16	0,330	-0,10	27,16	18,8
2008	35,53	22	0,457	0,25	35,53	22,8
2009	68,4	44	0,926	2,56	68,4	48,8
2010	85,9	47	0,989	4,54	85,9	71,0
2011	68,6	45	0,947	2,91	68,6	52,7
2012	13,9	1	0,011	-1,51	13,9	3,0
2013	24,77	9	0,181	-0,54	24,77	14,0
2014	25	11	0,223	-0,40	25	15,4

Avec :

L'année pivot = 10 ans

Débits moyens maximaux = 82,7 (m³/s)

Débits moyens journaliers = 6.1 (mm/24h)

Coeff. de pointe = 1,13

Surface du bassin = 93 km².

Les résultats d'extrapolation des débits (méthode de Gradex), Oued Biskra complémentaire à la station de T'kout, sont présentés dans le tableau n° V.24.

Tableau V.24 : Résultats d'extrapolation des débits (méthode de Gradex) Oued Biskra complémentaire à la station de T'kout.

Temps de retour	fréquence empirique selon Hazen	variable réduite de Gumbel u	précipitations estimées	débits moyen extrapolés	débits moyen extrapolés	débits de pointe extrapolés
[ans]	[-]	[-]	[mm/24h]	[mm/24h]	[m3/s]	[m3/s]
10	0.9000	2.25	45.3	76.83	82.70	93.45
10.52	0.9050	2.30	45.9	77.44	83.35	94.19
11	0.9100	2.36	46.6	78.08	84.04	94.97
12	0.9150	2.42	47.2	78.75	84.77	95.79
12.50	0.9200	2.48	47.9	79.46	85.53	96.65
13	0.9250	2.55	48.7	80.22	86.35	97.57
14	0.9300	2.62	49.5	81.03	87.21	98.55
15	0.9350	2.70	50.4	81.89	88.14	99.60
17	0.9400	2.78	51.3	82.82	89.15	100.73
18	0.9450	2.87	52.3	83.83	90.23	101.96

20	0.9500	2.97	53.4	84.93	91.42	103.30
22	0.9550	3.08	54.6	86.14	92.72	104.78
25	0.9600	3.20	56.0	87.50	94.18	106.42
29	0.9650	3.33	57.5	89.03	95.83	108.29
33	0.9700	3.49	59.3	90.79	97.73	110.43
40	0.9750	3.68	61.4	92.87	99.97	112.96
50	0.9800	3.90	63.9	95.41	102.70	116.05
67	0.9850	4.19	67.2	98.68	106.21	120.02
100	0.9900	4.60	71.7	103.26	111.15	125.60
200	0.9950	5.30	79.6	111.09	119.58	135.12
250	0.9960	5.52	82.1	113.61	122.28	138.18
333	0.9970	5.81	85.3	116.85	125.77	142.13
500	0.9980	6.21	89.9	121.42	130.69	147.68
1000	0.9990	6.91	97.7	129.22	139.09	157.17

Avec : Coefficients a et b de la droite d'extrapolation des débits

a =20,00

b (pluie)=11,20 mm.

Le graphique d'ajustement des pluies et l'extrapolation pour le débit de l'Oued Biskra complémentaire par la station T'kout, sont présentés dans la Figure V.11.

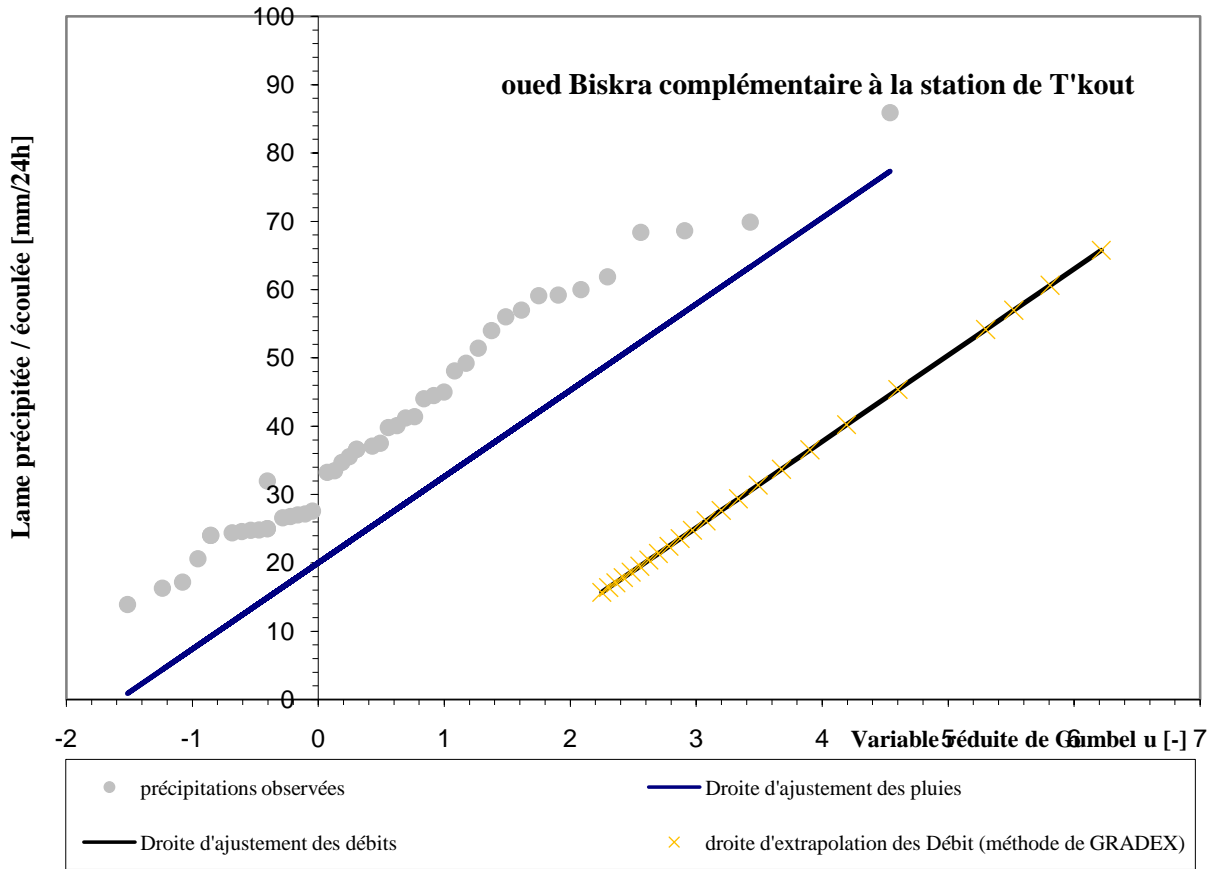


Fig. V.11. Ajustement graphique pour les pluies et la droite d'extrapolation des débits de Oued Biskra complémentaire à la station de T'kout.

Les résultats des débits de pointes obtenus par la méthode du Gradex, pour le bassin versant de oued Biskra et ses sous bassin, sont présentés dans le tableau n° V.25 et la figure V.12.

Tableau V.25 : débits de pointes obtenus par la méthode de Gradex pour le BV de oued Biskra et ses sous BV.

Période de retour	fréquence	O. El Hai	Djemoura	O.Biskra complé	O. Biskra
10	0,90	431.43	280.92	93.45	571.62
20	0.950	586.53	416.79	103.30	903.02
50	0.980	843.33	592.66	116.05	1331.99
100	0,99	1017.46	724.45	125.60	1653.44
500	0,998	1419.85	1029.00	147.68	2396.27
1000	0,999	1592.85	1159.93	157.17	2715.62

10000	1.000	1643.41	1198.20	159.95	2808.96
-------	-------	---------	---------	--------	---------

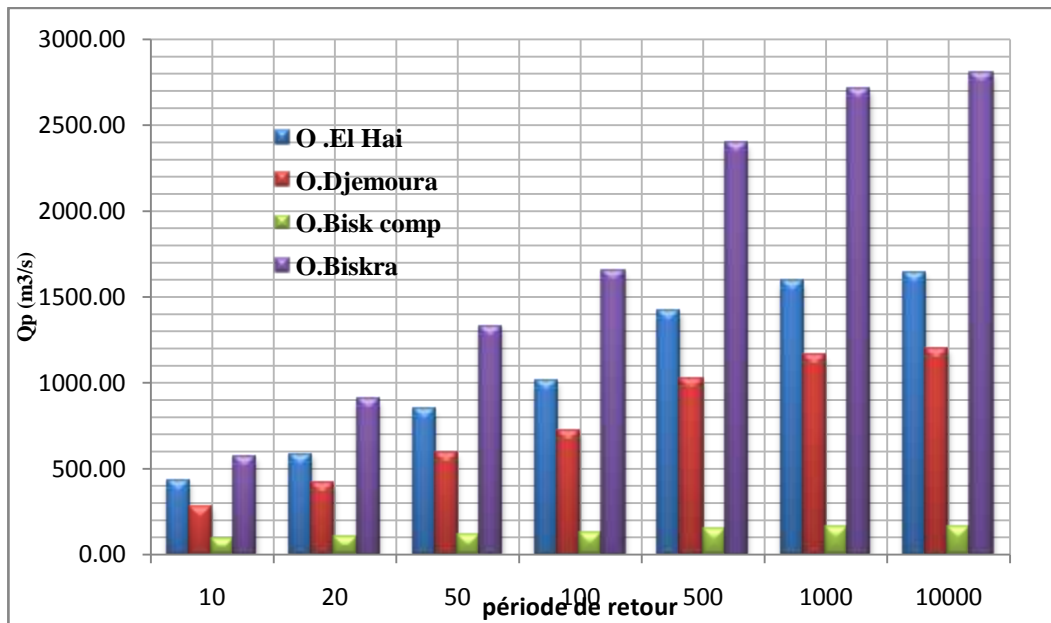


Fig. V.12. Débits des crues du BV de oued Biskra et ses sous bassins par la méthode de Gradex.

➤ **Discussions**

D’après les résultats présentés dans le tableau n° V.25 et la figure V.12, on constate les points suivants :

La méthode Gradex est considérée plus fiable car elle repose sur un ajustement contrôlé par le gradient des observations pluviométriques.

V.4.3.2 Hydrogramme de crue

L’hydrogramme de crue signifie le changement de débit d’une rivière en fonction du temps, déterminant les caractéristiques des crues, la forme, le volume, les temps de montée et de descente. [34]

V.4.3.2.1 Hydrogramme des crues par la méthode de Sokolovsky

Cette méthode utilise deux équations paraboliques, l’une représentant la montée de la crue et l’autre représentant la baisse (la décrue). (Sghara, 2013) [34]

➤ Pour la montée de la crue

$$Q(t) = Q_{max} \left(\frac{t}{T_m} \right)^n \quad [V-19]$$

➤ Pour la décrue

$$Q(t) = Q_{\max} \left(\frac{T_d + T_c - t}{T_{md}} \right)^m \quad [V-20]$$

Avec :

Qmax (%): débit maximum de fréquence donnée.

Qt: débit instantané au moment (t).

tm, td: temps de montée et de décrue.

m, n: puissances des paraboles (m=3, n=2).

Temps de base: tb= tm+ td On considère généralement que: td =2 tm, et tm= tc.

V.4.3.2.2 Détermination du volume de la crue

Le volume de la crue est indiqué par la relation suivante :

$$V_1 = \frac{Q_{\max} \times t_m}{m+1} \quad [V-21]$$

$$V_2 = \frac{Q_{\max} \times t_d}{n+1} \quad [V-22]$$

$$V_T = V_1 + V_2 \quad [V-23]$$

Avec :

V₁ : apport pendant la crue (m³)

V₂ : apport pendant la décrue (m³)

V_T : apport total (Hm³)

Le tableau V-26, représente les volumes de crue du bassin versant de oued Biskra.

Tableau V-26 : Estimation du volume des crues de oued Biskra.

Période de Retour	10 (10%)	50 (2%)	100 (1%)	1000 (0,10%)
Qmax (m3/s)	594,28	1091,66	1290,76	1870,27
V1 (m3)	5134579,2	9431942,4	11152166,4	16159132,8
V2 (m3)	13692211,2	25151846,4	29739110,4	43091020,8
Vt=V1+V2 (m3)	18826790,4	34583788,8	40891276,8	59250153,6
Vt=V1+V2 (Hm3)	18,82	34,5837	40,891	59,250

Pour le bassin versant de l'oued Biskra, le volume de crue pour une période de retour de 100 ans est de $40,891\text{Hm}^3$, selon l'analyse de l'apport total de crue fréquentielle.

Le tableau V-27 présente des hydraugrammes fréquents de crues dans le bassin versant de Oued Biskra.

Tableau V-27: Hydrogrammes des crues fréquentielles de Oued Biskra.

Temps (Heurs)				
Période de retour	T=10ans (F=10%)	T=50ans (F=2%)	T=100 ans (F=1%)	T=1000ans (F=0,10%)
0	0,000	0,000	0,000	0,000
1	6,448	11,845	14,006	20,294
2	25,793	47,381	56,023	81,175
3	58,035	106,607	126,051	182,644
4	103,174	189,524	224,090	324,700
5	161,209	296,132	350,141	507,343
6	232,141	426,430	504,203	730,574
7	315,969	580,418	686,276	994,393
8	412,694	758,097	896,361	1298,799
9	522,316	959,467	1134,457	1643,792
9,6	594,280	1091,660	1290,760	1870,270
10	557,906	1024,843	1211,757	1755,796
11	473,530	869,849	1028,494	1490,255
12	398,121	731,327	864,708	1252,935
13	331,176	608,352	719,305	1042,250
14	272,190	499,999	591,190	856,615
15	220,661	405,341	479,269	694,445
16	176,083	323,455	382,447	554,154
17	137,954	253,413	299,632	434,157
18	105,769	194,292	229,728	332,868
19	79,025	145,165	171,641	248,702
20	57,218	105,107	124,277	180,073
21	39,845	73,193	86,542	125,396
22	26,401	48,497	57,341	83,086
23	16,382	30,093	35,582	51,557

24	9,286	17,057	20,168	29,223
25	4,607	8,463	10,007	14,499
26	1,843	3,386	4,003	5,801
27	0,490	0,900	1,064	1,541
28	0,043	0,079	0,093	0,135
29	0,000	0,000	0,000	0,000

La Figure V.13, illustre les hydrogrammes des crues fréquentielles de l'oued Biskra.

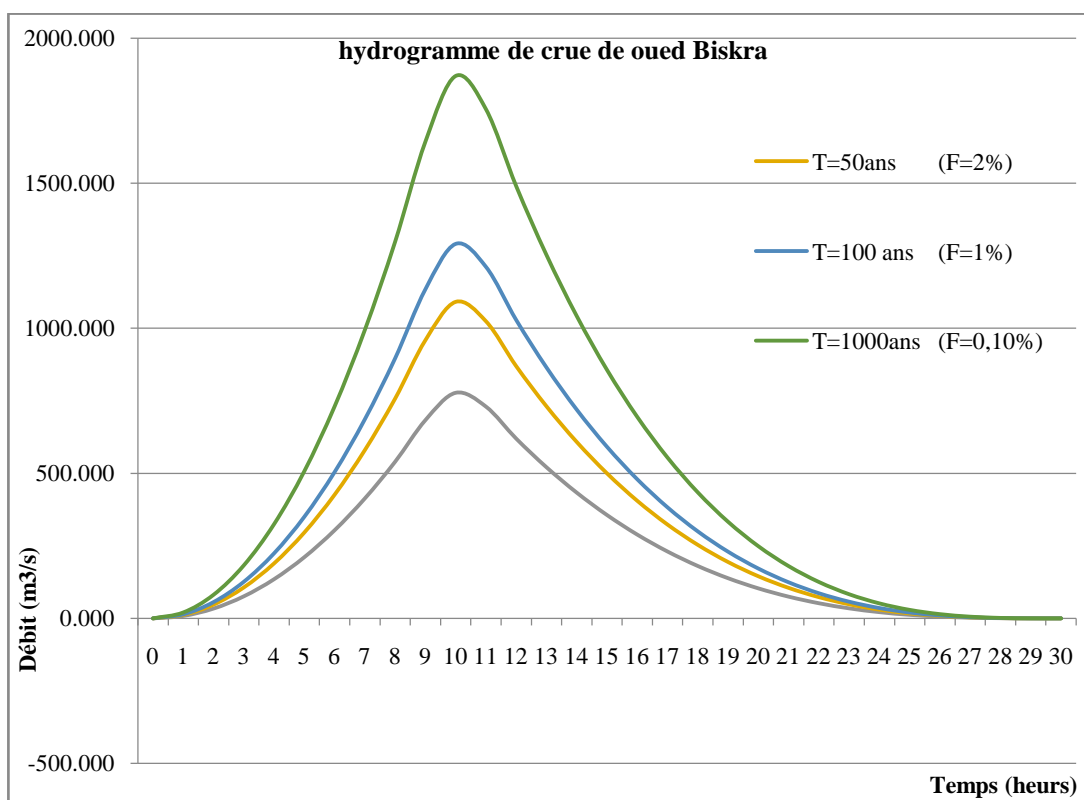


Fig. V.13. Hydrogrammes de crue fréquentielles de l'oued Biskra.

Le tableau V.28, représente les volumes des crues du bassin versant de oued Biskra complémentaire.

Tableau V.28: Estimation du volume de crue de oued Biskra complémentaire.

Qmax (m3/s)	93,790	172,290	204,410	296,180	400,91
V1 (m3)	812033,82	1491686,8	1769781,8	2564326,4	3471078,8
V2 (m3)	2165423,5	3977831,5	4719418,1	6838203,8	9256210,1
Vt (m3)	2977457,3	5469518,3	6489199,9	9402530,3	12727289
Vt=V1+V2 (Hm3)	2,9774573	5,4695183	6,4891999	9,40253	12,7272

L'analyse de l'apport total de crue fréquentielle montre que le volume de crue pour une durée de retour de 100 ans, pour le s bassin versant de l'oued Biskra complémentaire, est de 4,49 Hm³.

Le tableau V.29, représente les hydraugrammes des crues fréquentielles du bassin versant de oued Biskra complémentaire.

Tableau V.29 Hydrogrammes des crues fréquentielles de l'Oued Biskra complémentaire.

Temps (Heurs)	T=10ans (F=10%)	T=50ans (F=2%)	T=100 ans (F=1%)	T=1000ans (F=0,10%)
0	0,000	0,000	0,000	0,000
1	1,013	1,862	2,209	3,200
2	4,054	7,447	8,835	12,802
3	9,121	16,755	19,879	28,804
4	16,215	29,787	35,340	51,207
5	25,336	46,543	55,219	80,010
6	36,485	67,021	79,516	115,215
7	49,660	91,223	108,230	156,820
8	64,861	119,149	141,362	204,826
9	82,090	150,798	178,911	259,233
9,62	93,790	172,290	204,410	296,180
10	88,342	162,282	192,536	278,975
11	75,021	137,813	163,505	236,911
12	63,112	115,936	137,550	199,303
13	52,535	96,506	114,498	165,901
14	43,211	79,378	94,177	136,457
15	35,062	64,407	76,415	110,721
16	28,007	51,448	61,039	88,443
17	21,968	40,355	47,879	69,374
18	16,867	30,984	36,760	53,264
19	12,623	23,189	27,512	39,863
20	9,159	16,825	19,961	28,923
21	6,395	11,747	13,937	20,193
22	4,251	7,809	9,265	13,425
23	2,650	4,868	5,775	8,368
24	1,512	2,777	3,295	4,774
25	0,757	1,391	1,651	2,392
26	0,308	0,566	0,671	0,973

27	0,085	0,156	0,185	0,268
28	0,008	0,015	0,018	0,026
29	0,000	0,000	0,000	0,000

La Figure V.14, illustre les hydrogrammes de crue fréquentielle de oued Biskra complémentaire.

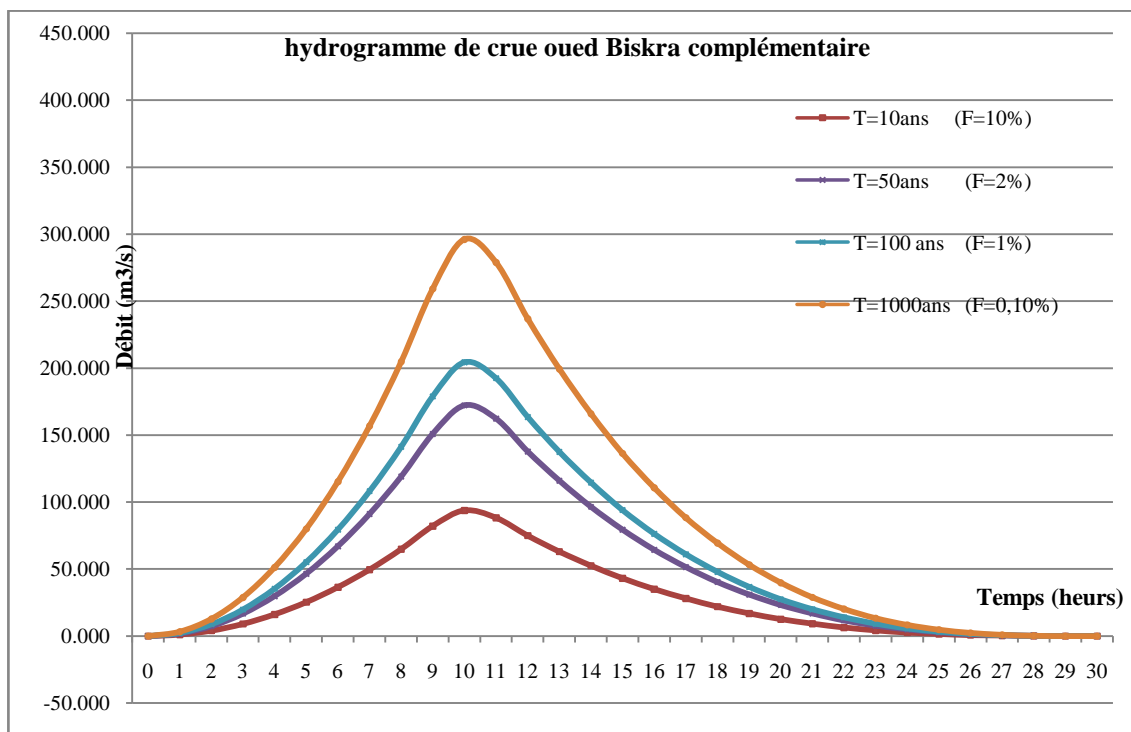


Fig. V.14. Hydrogrammes de crue fréquentielles de l'oued Biskra complémentaire.

Le tableau V-30, représente les volumes de crue du bassin versant de oued El Hai.

Tableau V.30 : Estimation des volumes de crue de oued El Hai.

Période de Retour	10 (10%)	50 (2%)	100 (1%)	1000 (0,10%)
Qmax (m3/s)	467,000	857,850	1014,760	1470,360
V1 (m3)	6304500	11580975	13699260	19849860
V2 (m3)	16812000	30882600	36531360	52932960
Vt=V1+V2 (m3)	23116500	42463575	50230620	72782820
Vt=V1+V2 (Hm3)	23,1165	42,46357	50,23062	72,78282

L'analyse de l'apport total de crue fréquentielle montre que le volume de crue pour une durée de retour de 100 ans, pour le bassin versant de l'oued El Hai, est de 50,23Hm³.

Le tableau V.31, représente les hydraigrammes des crues fréquentielles du bassin versant de oued El Hai.

Tableau V.31 : Hydrogrammes des crues fréquentielles de l'Oued El Hai.

Temps (Heurs)	T=10ans (F=10%)	T=50ans (F=2%)	T=100 ans (F=1%)	T=1000ans (F=0,10%)
0	0,000	0,000	0,000	0,000
1	2,076	3,813	4,510	6,535
2	8,302	15,251	18,040	26,140
3	18,680	34,314	40,590	58,814
4	33,209	61,003	72,161	104,559
5	51,889	95,317	112,751	163,373
6	74,720	137,256	162,362	235,258
7	101,702	186,821	220,992	320,212
8	132,836	244,011	288,643	418,236
9	168,120	308,826	365,314	529,330
10	207,556	381,267	451,004	653,493
11	251,142	461,333	545,715	790,727
12	298,880	549,024	649,446	941,030
13	350,769	644,341	762,198	1104,404
14	406,809	747,283	883,969	1280,847
15	467,000	857,850	1014,760	1470,360
16	421,839	774,893	916,629	1328,171
17	379,688	697,464	825,037	1195,457
18	340,443	625,373	739,760	1071,892
19	304,000	558,429	660,571	957,150
20	270,255	496,441	587,245	850,903
21	239,104	439,219	519,557	752,824
22	210,444	386,573	457,281	662,588
23	184,171	338,311	400,191	579,866
24	160,181	294,243	348,063	504,333

25	138,370	254,178	300,670	435,662
26	118,635	217,926	257,787	373,526
27	100,872	185,296	219,188	317,598
28	84,977	156,097	184,649	267,551
29	70,846	130,139	153,943	223,059
30	58,375	107,231	126,845	183,795
31	47,461	87,183	103,130	149,432
32	38,000	69,804	82,571	119,644
33	29,888	54,902	64,945	94,103
34	23,021	42,289	50,024	72,483
35	17,296	31,772	37,584	54,458
36	12,609	23,162	27,399	39,700
37	8,856	16,267	19,243	27,882
38	5,933	10,898	12,891	18,679
39	3,736	6,863	8,118	11,763
40	2,162	3,972	4,698	6,807
41	1,107	2,033	2,405	3,485
42	0,467	0,858	1,015	1,470
43	0,138	0,254	0,301	0,436
44	0,017	0,032	0,038	0,054
45	0,000	0,000	0,000	0,000

La Figure V.15, illustre les hydrogrammes des crues fréquentielles de oued El Hai.

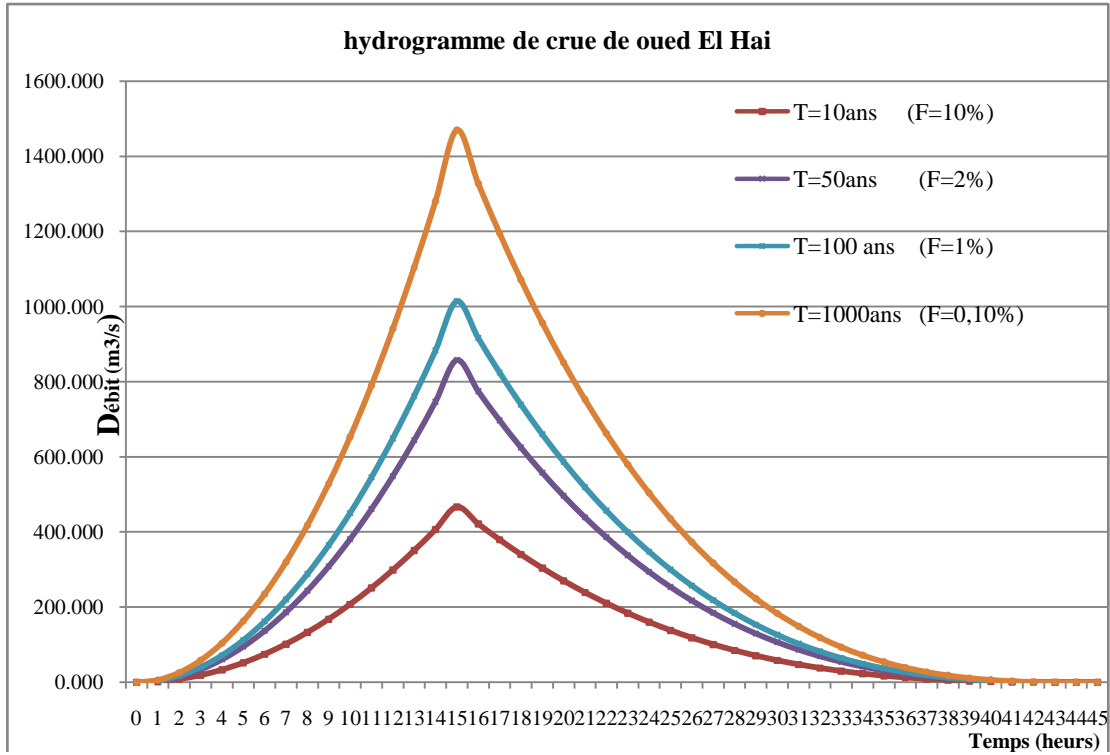


Fig. V.15. Hydrogrammes des crues fréquentielles de oued El Hai.

Le tableau V.32, représente les volumes des crues du bassin versant de oued Djemoura.

Tableau V.32 : Estimation du volume de crue de Oued Djemoura.

Période de Retour	10 (10%)	50 (2%)	100 (1%)	1000 (0,10%)
Qmax (m ³ /s)	213,990	291,800	311,250	340,430
V1 (m ³)	2209018,8	3012251,4	3213033,8	3514258,9
V2 (m ³)	5890716,7	8032670,4	8568090	9371357
Vt=V1+V2 (m ³)	8099735,5	11044922	11781124	12885616
Vt=V1+V2 (Hm ³)	8,09973	11,0449	11,7811	12,8856

L'analyse de l'apport total de crue fréquentielle montre que le volume de crue pour une période de réapparition de 100 ans, pour le s bassin versant de l'oued Djemoura, est de 11,78 Hm³.

Le tableau V.33, représente les hydraugrammes des crues fréquentielles du bassin versant de oued Djemoura.

Tableau V.33: Hydrogrammes de crue fréquentielles de Oued Djemoura.

Temps (Heurs)	T=10ans (F=10%)	T=50ans (F=2%)	T=100 ans (F=1%)	T=1000ans (F=0,10%)
	0	0,000	0,000	0,000
1	1,627	2,218	2,366	2,588
2	6,506	8,872	9,463	10,350
3	14,639	19,962	21,292	23,289
4	26,025	35,488	37,853	41,402
5	40,664	55,450	59,146	64,691
6	58,556	79,847	85,170	93,154
7	79,701	108,681	115,925	126,794
8	104,099	141,951	151,413	165,608
9	131,750	179,657	191,632	209,597
10	162,655	221,798	236,582	258,762
11	196,812	268,376	286,265	313,102
11,47	213,990	291,800	311,250	340,430
12	199,498	272,039	290,171	317,375
13	173,966	237,222	253,034	276,756
14	150,710	205,511	219,209	239,760
15	129,625	176,759	188,541	206,217
16	110,605	150,823	160,876	175,958
17	93,543	127,556	136,058	148,814
18	78,332	106,815	113,934	124,616
19	64,867	88,453	94,349	103,194
20	53,040	72,326	77,147	84,380
21	42,746	58,290	62,175	68,004
22	33,879	46,198	49,277	53,897
23	26,331	35,906	38,299	41,889
24	19,997	27,268	29,086	31,813
25	14,770	20,141	21,483	23,497
26	10,544	14,378	15,336	16,774
27	7,212	9,835	10,490	11,474
28	4,669	6,366	6,791	7,427
29	2,807	3,827	4,082	4,465

30	1,520	2,073	2,211	2,419
31	0,703	0,958	1,022	1,118
32	0,248	0,338	0,361	0,395
33	0,050	0,068	0,072	0,079
34	0,001	0,002	0,002	0,002
35	0,000	0,000	0,000	0,000

La Figure V.16, illustre les hydrogrammes des crues fréquentielles de oued Djemoura.

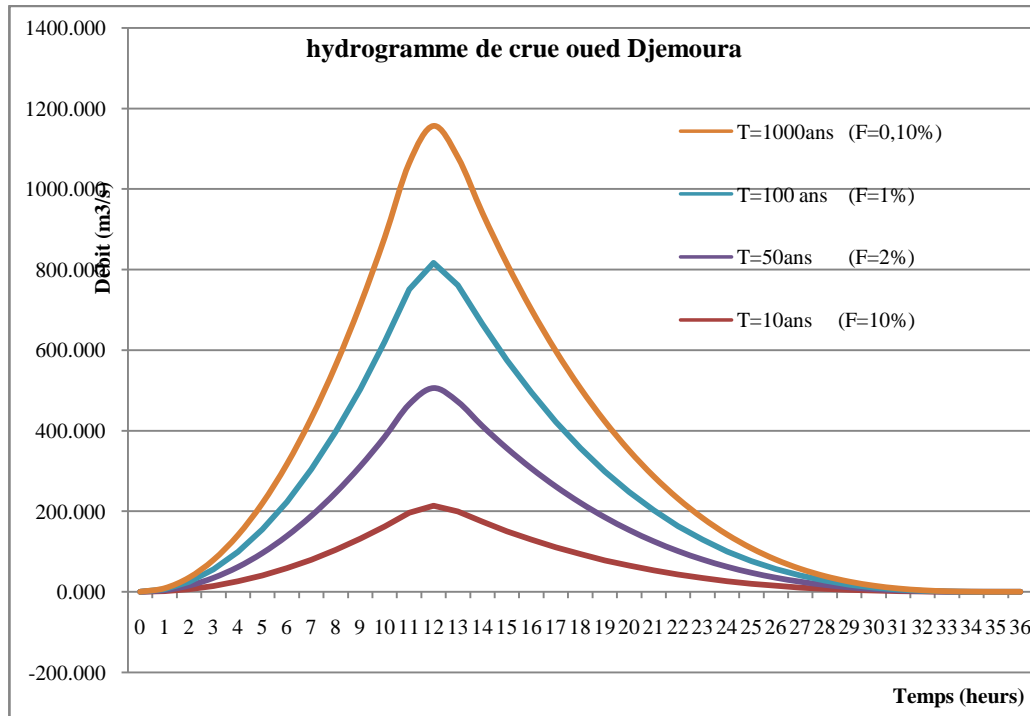


Fig. V.16. Hydrogrammes des crues fréquentielles de Oued Djemoura.

L'analyse des volumes de crues révèle que le bassin de l'Oued Biskra a le plus grand volume de crue (40,891 hm³ pour 100 ans), tandis que l'Oued Djemoura affiche un volume plus faible (11,78 hm³) et le bassin de l'Oued Biskra complémentaire a un volume très faible (4,49 hm³). Le bassin de l'Oued El Hai enregistre des volumes plus élevés en raison de sa proximité à l'exutoire, de sa grande surface et de bonnes conditions de drainage.

Les hydro-grammes des crues montrent l'évolution des crues au fil du temps, fournissant des informations cruciales pour la conception des ouvrages de protection contre les inondations dans le bassin.

● **Choix du débit de crues (débit de dimensionnement) :** La méthode de Sokolovsky prend en considération plusieurs paramètres, dont la surface, le temps de concentration, le coefficient de

forme, le coefficient de ruissellement, ainsi que les précipitations en fonction du temps de concentration.

En utilisant la méthode de Sokolovsky pour élaborer l'hydrogramme de crue, les débits de crue sont choisis en suivant les principes de cette méthode. (Voir le tableau V.34).

Tableau V.34 : Débits fréquentiels arrêtés pour les calculs.

Période de retour (ans)		10	50	100	1000
Q _{maxp} % (mm ³ /s)	SBVOued El Hai	467,0	857,85	1014,8	1470,4
	SBVOued Djemoura	214	243,17	311,2	340,43
	SBVO.Bisk ra complé	93,79	172,29	204,41	296,18
	BV Oued Biskra	594,28	1091,66	1290,76	1870,27

Conclusion

Ce chapitre évalue les débits maximaux en utilisant des formules empiriques, l'analyse statistique, la méthode Gradex et l'hydrogramme des crues, pour différentes périodes de retour. La méthode Sokolovsky s'avère être la plus proche des valeurs observées, en prenant en compte tous les paramètres climatiques et physiques du bassin. La méthode Gradex est particulièrement adaptée pour évaluer les débits extrêmes.

Le bassin de l'Oued Biskra a un impact significatif sur les crues, avec une montée rapide lors de périodes de retour. Le sous-bassin d'El Hai joue un rôle majeur dans les inondations du bassin de l'Oued Biskra, tandis que Djemoura contribue de manière moins importante. L'Oued Biskra supplémentaire présente une vulnérabilité très faible.

En résumé, cette analyse met en évidence la complexité des interactions dans le bassin de l'Oued Biskra, mettant en évidence les différences de vulnérabilité entre les sous-bassins, ce qui revêt une importance cruciale pour la gestion des risques liés aux crues.



***Chapitre VI : Application du modèle HEC-HMS sur
le BV de O.Biskra.***



Introduction

Le HEC-HMS est un outil polyvalent qui permet de modéliser, simuler, et gérer efficacement les ressources en eau, de prévoir et de gérer les inondations, de concevoir des infrastructures hydrauliques, et d'effectuer des études hydrologiques et de recherche.

Cependant, il nécessite une préparation de données, notamment la création d'une cartographie du bassin fluvial, appelée modèle du bassin versant.

Ce chapitre se concentre sur l'utilisation du HEC-HMS pour la modélisation hydrologique des bassins versants d'Oued Biskra, permettant d'analyser et de gérer efficacement les ressources en eau, peut être utilisé pour évaluer rapidement la situation, et aider à la gestion de crise en fournissant des informations sur les débits attendus.

VI.1 La description du modèle HEC-HMS

HEC-HMS est un logiciel développé par le centre d'ingénierie hydrologique du US Army Corps of Engineers, pour simuler le comportement hydrologique des rivières en réaction à des événements spécifiques.

Il génère des hydrogrammes pour diverses applications, dont l'assainissement urbain, la prévision des crues, la conception de barrages, et la réduction des crues. Le logiciel offre une interface graphique, des composants hydrologiques, un système de stockage de données (DSS) et des outils de gestion... [35]

Le logiciel HEC-HMS peut traiter ou simuler différentes données en même temps :

- **Les précipitations** : Les données en question peuvent être des enregistrements de précipitations réelles, qu'elles soient normales ou exceptionnelles, ou bien des données basées sur des modèles statistiques représentant des événements de précipitations théoriques ;
- **Les pertes** : (par infiltration, rétention ou évapotranspiration) Le logiciel vise à évaluer le ruissellement provoqué par les précipitations, et les caractéristiques du bassin versant;
- **Les ruissellements directs** : L'écoulement direct est analysé en tenant compte de la surface, du stockage et des pertes de charge ;
- **L'hydrologie fluviale** : Cela concerne spécifiquement le débit d'eau dans le lit de la rivière.

VI.1.1 Etapes d'une simulation avec HEC-HMS

La modélisation d'un bassin pluvial dans HEC-HMS se déroule en trois étapes distinctes, allant de la création du modèle de bassin versant à la définition des schémas de précipitations et des spécifications de contrôle.

Cette approche permet de simuler de manière précise la réaction du bassin versant aux précipitations, et d'obtenir des informations importantes pour la gestion des ressources en eau et la

prévision des crues. L'interface et les principaux composants du logiciel HEC-HMS sont représentés schématiquement dans la figure suivante : (voir figure. VI.1).

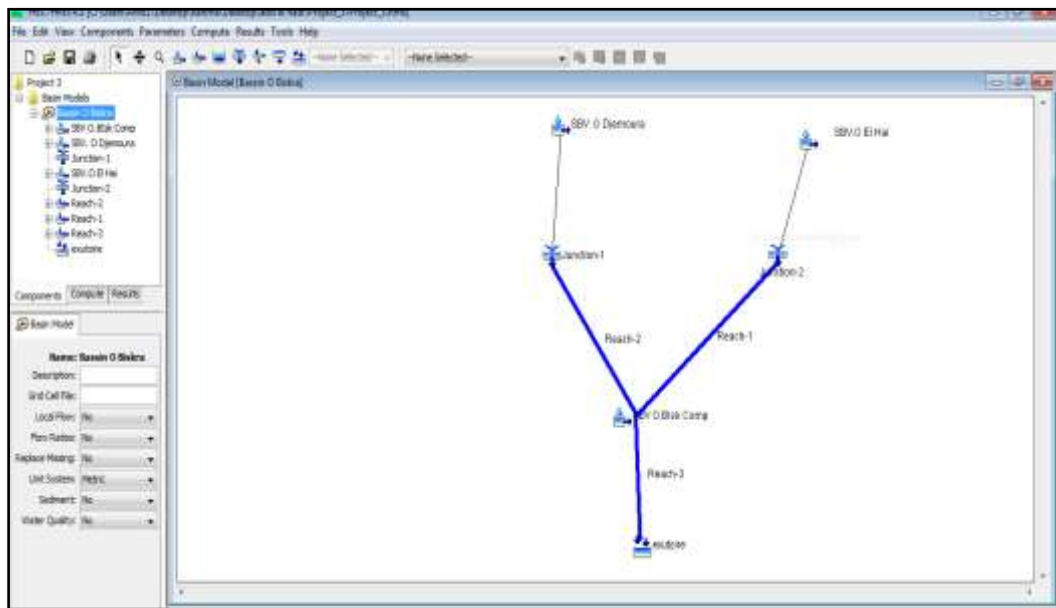


Fig. VI.01. Vue de l'écran HEC-HMS.

VI.1.2 Modélisation du bassin versant

Le modèle proposé vise à estimer le débit maximal probable du bassin versant de l'Oued Biskra, ainsi que le volume à son exutoire. Ce bassin a une superficie d'environ 2787 km². Et divisé en trois (3) sous-bassins comme suit (Figure VI.02) :

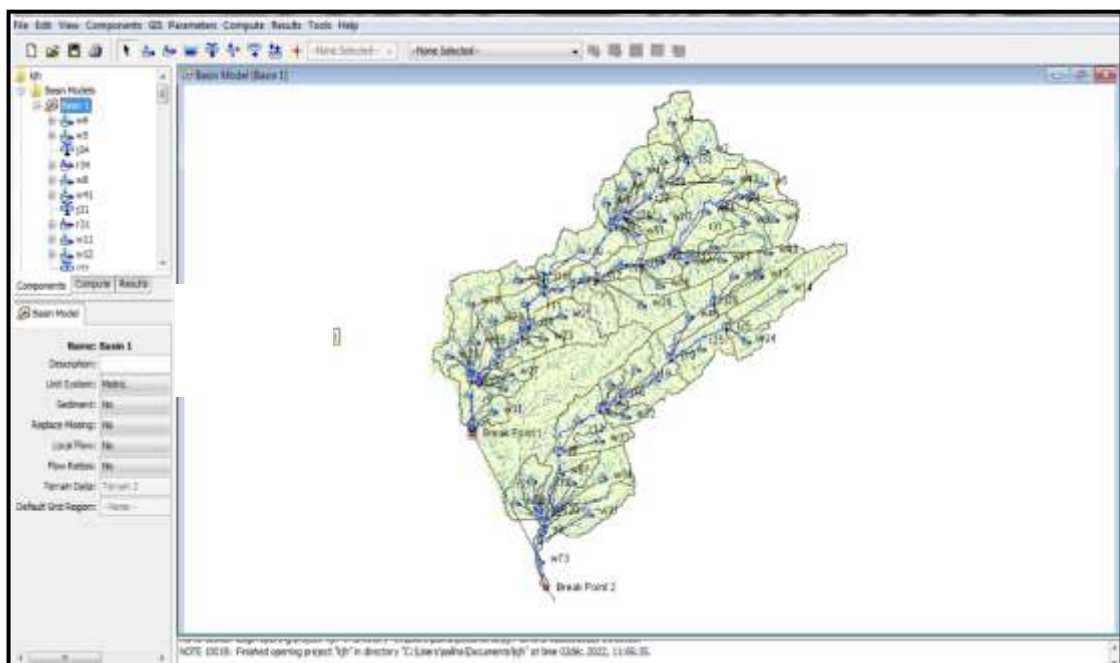


Fig. VI.02.Fenêtre du Bassin versant d'O. Biskra et les sous bassins versants.

VI.2 Banque de données nécessaire à l'application de simulation avec HEC-HMS

L'utilisation du modèle HEC-HMS requiert une base de données spécifique au bassin, ou aux sites d'étude. Parmi les données nécessaires, voici quelques exemples [36] :

- ❖ Caractéristiques morphologiques des vallées (bassins versants) :
 - Surface des sous-bassins fluviaux
 - Type de sol
 - Couverture végétal
- ❖ Les caractéristiques météorologiques :
 - Les précipitations
 - L'évapotranspiration
- ❖ Les données de spécifications de contrôle
 - La date initiale
 - La date finale
 - L'intervalle de temps de calcul

VI.2.1 Choix technique du modèle

La méthode SCS a été choisie en raison de sa capacité à prendre en compte les processus de production et de transfert de ruissellement, à créer des hydrogrammes de ruissellement, à utiliser le coefficient CN pour évaluer l'influence des caractéristiques du sol, à être adaptée aux zones urbaines, périurbaines et aux bassins de grande taille, tout en étant bien adaptée à des études ciblées sur des bassins versants spécifiques.

VI.2.2 Raisons du choix du modèle

Le choix de ce modèle s'est justifié par la simplicité des données nécessaires, l'intégration des facteurs clés influençant les précipitations et le ruissellement, ainsi que par la validation réussie de ce modèle dans des contextes similaires (plus précisément dans le bassin de l'oued Labiod) ce qui renforce sa crédibilité et son applicabilité dans le bassin fluvial Chot Melghigh en Algérie.

VI.2.3 La fonction de production : la fonction utilisée est celle de type NRCS CN

VI.2.3.1 Le concept de base

Cette approche évalue la quantité de précipitations nettes, qui participent au ruissellement en prenant en considération trois facteurs clés : la couverture du sol, le type de sol et le niveau d'humidité.

$$pn = \frac{(p-1a)^2}{p-1a+S} \quad [VI.01]$$

Avec :

Pn : les précipitations propres (nettes) (Précipitation participant au ruissellement Q);

P : Pluie brute (Précipitations totales) (mm) ;

Ia : l'abstraction initiale (pertes initiales de stockage) ;

S : le potentiel maximum de rétention (le stockage potentiel, en mm).

P-Pn-Ia : Les pertes additionnelles ; Ce sont des précipitations infiltrées après le début du ruissèlement (mm).

À la suite de nombreuses expérimentations menées par des chercheurs experts, le NRCS a établi une relation empirique entre la perte initiale et la perte potentielle maximale. [37]

$$Ia = Ca \times S \quad [VI.02]$$

Avec :

Ca : un coefficient fractionnaire ($0.1 \leq Ca \leq 0.2$)

Pour estimer le stockage potentiel (S), le SCS recommande l'utilisation du coefficient CN, qui est influencé par les propriétés du sol dans le bassin, l'occupation du sol en surface, la végétation, et l'humidité du sol. Or, la première équation devient :

$$Pn = \frac{(P - 0.2 \cdot S)^2}{p + 0.8 \cdot S} \quad [VI.03]$$

L'élément CN est relié à S par l'équation :

$$S = \frac{25400 - 254 \cdot CN}{CN} \quad [VI.04]$$

Un tableau répertorie les valeurs du coefficient CN avec $Ca = 0.2$ pour les quatre groupes de sol A, B, C et D, selon la méthode de Horton (voir Annexe 06).

Pour calculer P, Pn et Ia, il est crucial d'obtenir des informations sur les caractéristiques liées à ces valeurs.

Les données sur la couverture du sol sont combinées avec le type de sol pour définir une grille de valeurs du coefficient CN normal pour chaque composant hydrologique du sol, offrant une précision essentielle, couvrant la plupart des catégories possibles sur le terrain.

VI.2.4 Calcul des paramètres de la modélisation

VI.2.4.1 Calcul de CN

Pour chercher la valeur du CN pour le bassin de l'oued Biskra, et celui-ci dans son ensemble, ce dernier comprend plusieurs types d'occupation des sols, pour cela il faut calculer le CN moyen à l'aide de la formule suivante :

$$CN_{\text{moy}} = \frac{\sum Ai \cdot CNi}{\sum Ai} \quad [VI.05]$$

Où :

CN composite : le CN employé pour l'ensemble du bassin par la fonction de production ;

CNi : le CN d'un composé hydrologique du sol (classe d'occupation du sol + classe de sol) ;

Ai : surface de drainage du composé hydrologique du sol ;

✓ **Remarque :**

Pour obtenir la grille du coefficient CN (Nombre de courbes), nous avons combiné deux cartes : la carte d'occupation du sol et la carte des types de sol.

* **Les variables**

La préparation des données spatiales fournit les entrées du modèle ; notamment :

- la délimitation du bassin à partir des données SRTM.

- La carte et la subdivision du bassin comprennent la création de sous-bassins élémentaires.

Dans cette étude de cas, le bassin est divisé en trois sous-bassins principaux : O El Hai, O Djemoura et O Biskra complémentaire. (Fig. VI.03).

- Cartographie des types de sols (carte VI.01).

-Préparation à l'utilisation des terres (l'occupation du sol) (carte VI.02).

-Carte du maillage CN (carte VI.03).

a- Division des bassins

Le bassin versant de O. Biskra été divisé en trois (3) sous-bassins (Voir la figure n° VI.03).

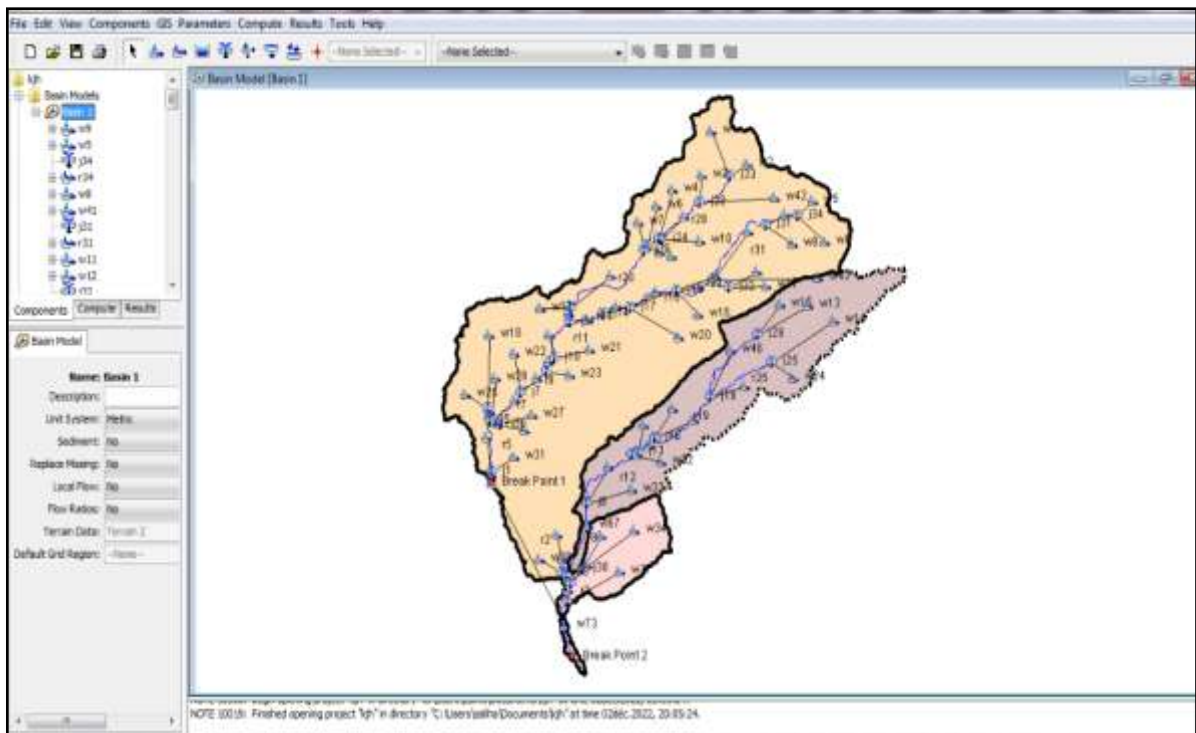


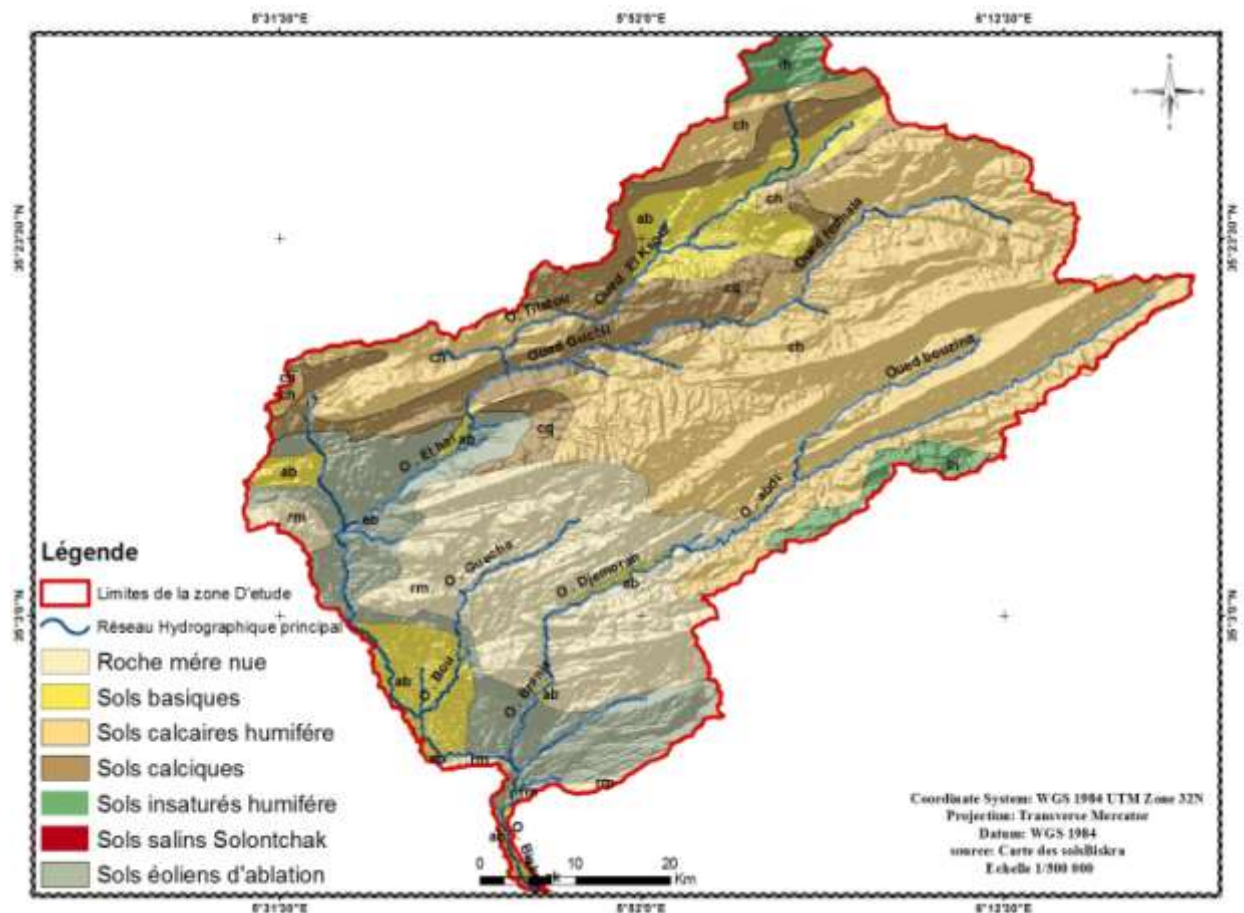
Fig. I.03. Les bassins versants drainants la ville de Biskra (dressés par Hec Hms).

b- La carte des sols

La compréhension du type de sol est essentielle pour évaluer le coefficient CN (Curve Number). Dans notre étude, nous utilisons la carte des sols des zones de l'Est de l'Algérie dans les

régions de Tébessa et Biskra, à l'échelle de 1/500000.

Le bassin versant d'Oued Biskra est caractérisé par trois catégories de sols : sols calciques, sols calcaires et sols calcaires humifères (voir carte VI.01).



Carte. VI.01. Carte des sols du bassin versant de la zone d'étude.

Les sols couvrant la totalité des bassins appartiennent aux groupes B et C.

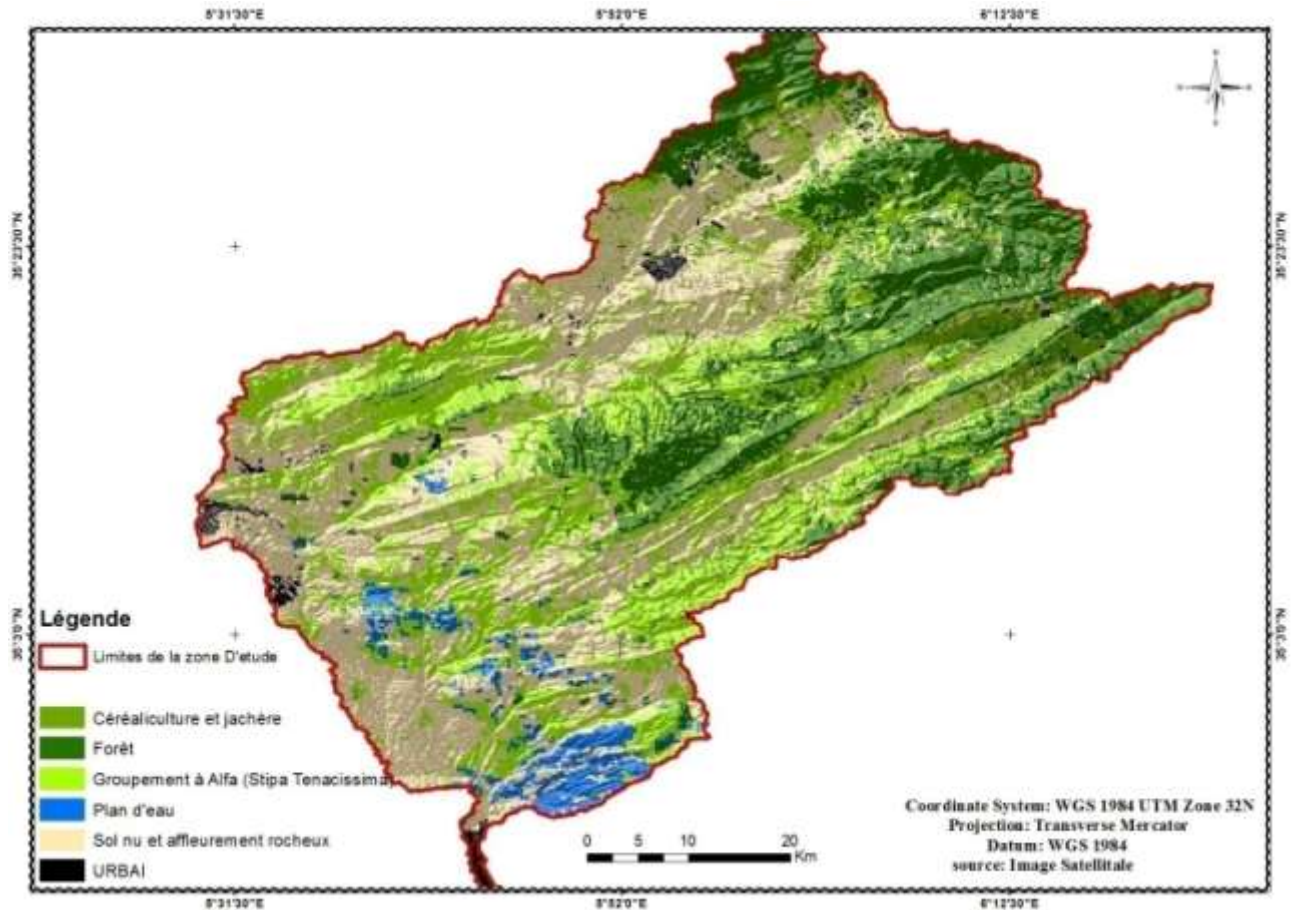
c- La carte d'occupation du sol

La création d'une carte d'occupation du sol sur la totalité de la zone d'étude est impérative, en tenant compte des exigences particulières liées à la méthode CN NRCS en tant que fonction de production.

Les informations figurant sur l'étiquette de la carte d'occupation du sol doivent être vérifiées en utilisant une classification reconnue par le NRCS pour garantir leur exactitude.

La végétation, en particulier lorsqu'elle est dense, exerce un effet protecteur en diminuant la vitesse du flux d'eau. (Voir carte II.12/ chapitre II).

Nous classifions la couverture du sol de la zone d'étude en utilisant des images satellites USGS et le logiciel ENVI (haute résolution), en fonction de l'état réel du terrain : (voir la carte VI.02).



Carte. VI.02. Carte d'occupation du sol du bassin versant de Oued Biskra.

Selon la carte I.05 du bassin versant de l'Oued Biskra, la majorité des terres sont classées comme suit :

1. Terres infertiles (terres nues ou non cultivées).
2. Terres utilisées pour la culture des céréales et en jachère.
3. Présence de groupements d'alpha (végétation spécifique).
4. Quelques zones de forêt.

La classification NRCS divise les sols en quatre groupes principaux en fonction de leurs caractéristiques de drainage :

- Le Groupe "A" se caractérise par des sols très perméables, principalement composés de sable ou de gravier, ce qui leur permet d'infiltrer rapidement l'eau.
- Groupe "B" : Sols ayant une perméabilité modérée, à épaisseur moyenne, allant de textures fines à grossières.
- Groupe « C » : sol à faible taux d'infiltration, faible coefficient de transmission. Ils sont généralement minces, limitent le mouvement de l'eau et ont une texture allant d'assez fine à lisse.

➤ Groupe « D » : sol à haut pouvoir ruisselant. Ce sont des sols avec des taux d'infiltration très lents, et une très faible capacité de transmission. Ils sont généralement argileux, minces, situés sur une couche imperméable et ont une nappe phréatique près de la surface.

d- La carte de grille CN

Cette carte est effectuée en combinant deux cartes de terrain, et sa carte d'occupation des sols. (Voir la carte VI.03)

La valeur de CN varie entre 100 et 30 pour des sols très perméables à haut potentiel d'infiltration. [37]

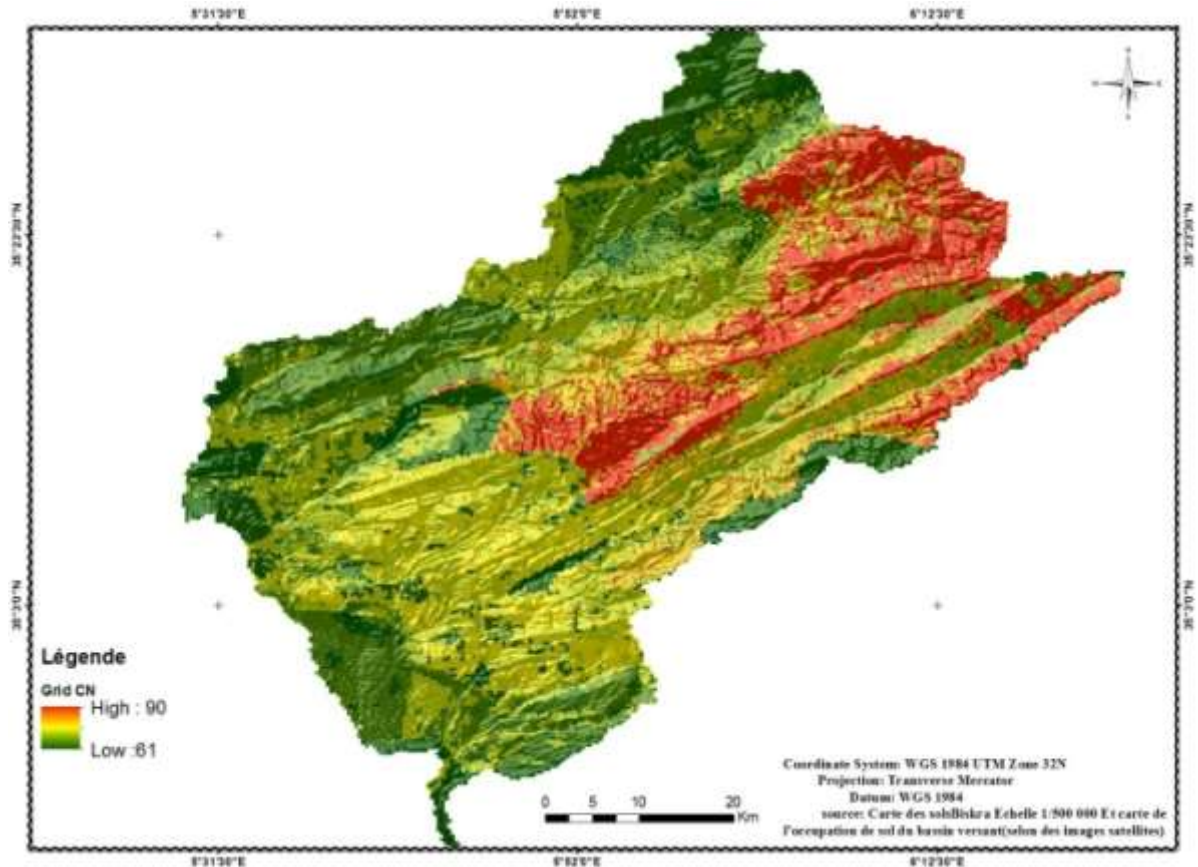
Cette étape de préparation des données d'occupation des sols pour la Grille CN consiste à réorganiser les catégories de sols en les reclassant, puis à convertir ces données reclassées en classes d'entités de type polygone.

En fin de compte, ces classes d'entités sont fusionnées avec les données existantes sur les sols.

Tableau VI.01: Valeurs des CN (Numéro de la courbe).

Ordre	Type de sol	A	B	C	D
01	Les Forêts.	30	58	61	78
02	Les terres agricoles et cultivées.	67	77	83	87
03	Les terres dégradées (Terres nues).	77	86	91	94
04	Les zones urbaines.	59	74	82	86

Les A, B, C et D désignent la perméabilité des sols respectivement ; Très perméable, perméable, peu perméable et imperméable.



Carte. VI.03. Carte de la grille CN du bassin versant de O.Biskra.

Pour un bassin versant composé de plusieurs couches de couverture et types de sols, le CN agrégé doit être calculé selon la formule :

$$CN_{moy} = \frac{\sum A_i C N_i}{\sum A_i} \quad [VI.06]$$

Exemple de calcul

$$C N_{i_o,Elhai} = (465.40 \times 58) + (18.82 \times 100) + (77.81 \times 81) + (847.49 \times 71) + (34.77 \times 88) + (3.46 \times 61) / 1788 = 66.76$$

Tableau VI.02: Détermination de CN moyen pour le bassin versant de oued El Hai.

Nom de classe	surface	Classe	CNi
Forêt	465.40	58	27010.35
Plan d'eau	18.82	100	1882.00
Céréaliculture et	77.81	81	6302.37
Sol nu et affleurement	847.49	71	60171.46
URBAI	34.77	88	3059.42
Groupement à Alfa	343.46	61	20950.78
total	1788.03		119376.38
		CN =	66.76

Tableau VI.03: Détermination de CN moyen pour le bassin versant de oued Djemoura.

Nom de classe	surface	Classe	CNi
---------------	---------	--------	-----

Forêt	138.37	58	8025.67
Plan d'eau	8.32	100	832.33
Céréaliculture et	207.11	81	16776.03
Sol nu et affleurement	287.86	71	20438.11
Urbain	33.24	88	2924.90
Groupement à Alfa	231.62	61	14128.74
	906.53		63125.77
		CN=	69.64

Tableau VI.04: Détermination de CN moyen pour le bassin versant de oued Biskra complémentaire.

Nom de classe	surface	Classe	CNi
Forêt	5.88	58	340.79
Plan d'eau	15.28	100	1528.41
Céréaliculture et jachère	13.01	81	1053.64
Sol nu et affleurement rocheux	29.28	71	2078.88
Urbain	9.49	88	835.12
Groupement à Alfa	20.23	61	1234.03
total	93.17		7070.87
		CN=	75.89

Tableau VI.05: Détermination de CN pour le bassin versant de oued Biskra.

Nom de classe	surface	Classe	CNi
Forêt	609.92	58	35375.31
Plan d'eau	42.43	100	4242.74
Céréaliculture et jachère	297.93	81	24132.04
Sol nu et affleurement rocheux	1164.63	71	82688.44
Urbain	77.49	88	6819.43
Groupement à Alfa	595.30	61	36313.55
total	2787.70		189571.53
		CN=	68.002923

VI.2.4.2 Estimation des débits liquides des averses de différentes périodes de retour par HEC HMS

Dans cette section, nous simulerons l'impact d'averses de périodicité différente sur les hydrogrammes des crues produites par chaque sous-bassin.

Avant de lancer la simulation, nous avons préparé tous les fichiers de simulation des quatre événements (pluies de cycles répétés de 10 ans, 50 ans, 100 ans et 1000 ans).

Nous avons donc 04 fichiers de simulation. Pour chacun des 04 fichiers de simulation, nous aurons les données suivantes :

Tableau VI.06: Données de base du-bassin versant de O. Biskra et son ensemble.

Bassin Versant	Surface (km ²)	CN	les pertes max potentielles (S) (mm)	Les pertes initiales (Ia) (mm)	Lag time (min)
Oued El Hai	1788	66.76	126.47	25.29	540
Oued Djemoura	906	69.64	110.73	22.15	413
Oued Biskra complémentaire	93	75.89	80.69	16.14	346
Oued Biskra	2787	68	119.53	23.91	612

Tlag est le temps de réponse (ou retard), qui est le délai entre le centre de la masse de pluie, et le pic de l'hydrogramme de la crue unitaire. Il est considéré : $T_{lag} = 0,6 T_c$, où T_c est le temps de concentration.

Le tableau VI.07 résume les valeurs estimées des précipitations pour les différents intervalles de répétition à utiliser dans les simulations.

Tableau VI.07 : Hauteurs de pluies de différentes fréquences.

T	10	50	100	1000
Pjmax%				
Fréquence	0,9	0,98	0,99	0,999
Variable de Gumbel	2,300	3,900	4,600	6,900
Biskra	55,50	75,72	84,26	112,50
El kantara	48,23	64,97	72,05	95,45
Djemoura	63,27	89,51	100,60	137,26
T'kout	61,48	83,51	92,82	123,59

VI.3 Résultat de la simulation

Les hydrogrammes de crues ont été calculé pour les différentes périodes de retour (10, 50, 100, et 1000) ans, et ceux pour l'évènement de 27/11/2018 (figures (I.04, I.05, I.06, et I.07)). Ceci est présentés pour la période de retour $T=100$ ans, pour les autres périodes de retour nous avons choisi de les présentées dans l'annexe n°07.

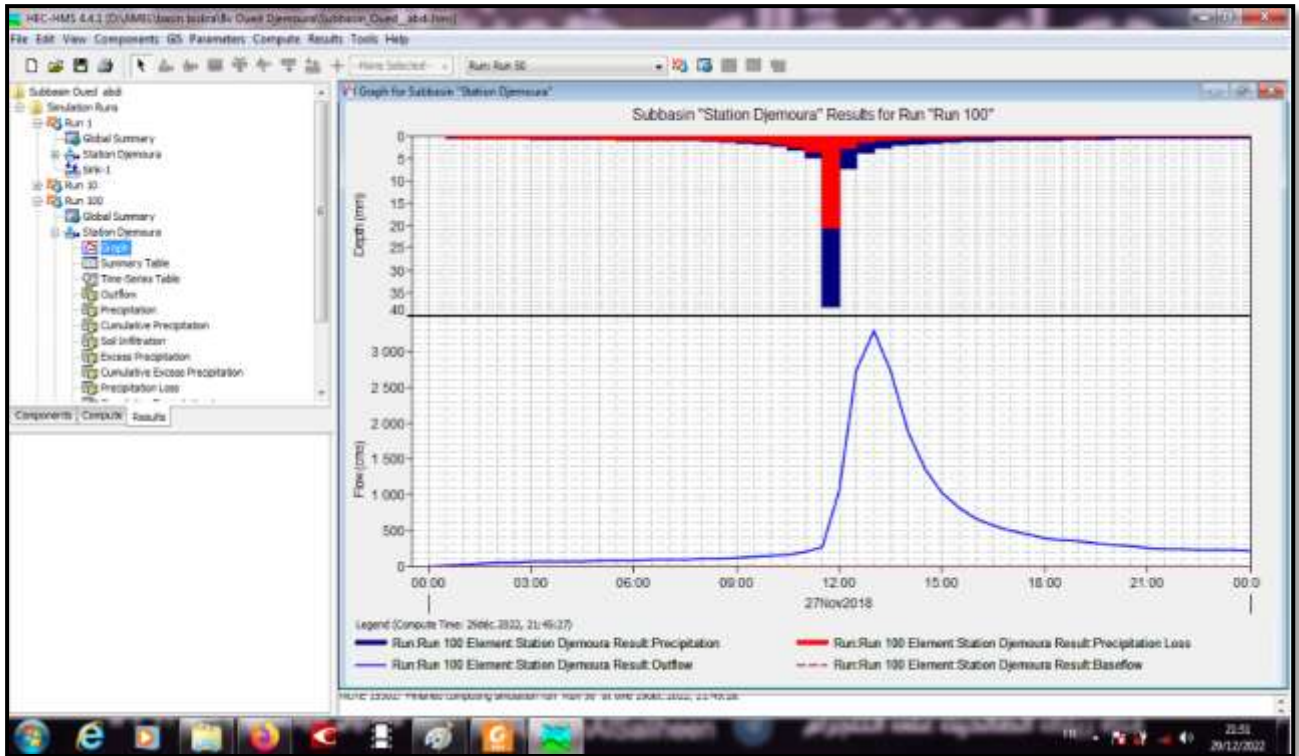


Fig.VI.04. Hydrogramme de crue du sous B.V de O. Djemoura (période de retour 100 ans).

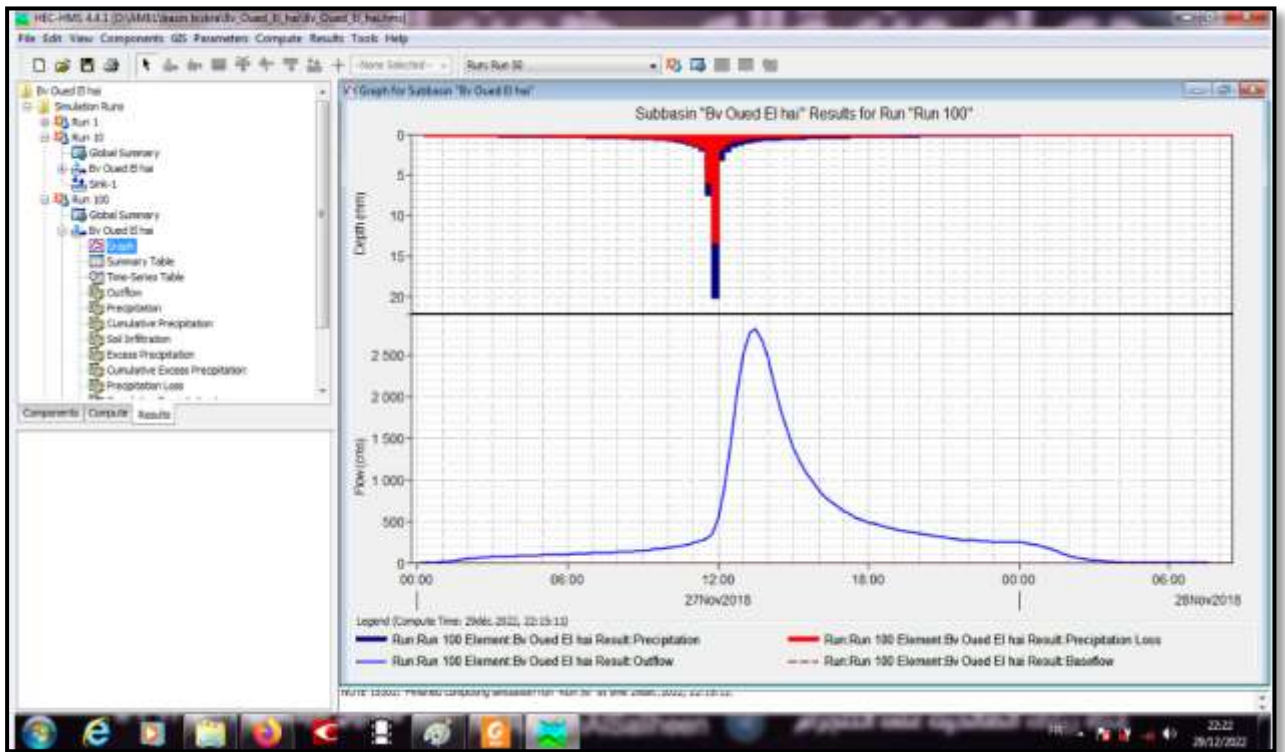


Fig.VI.05. Hydrogramme de crue du sous B.V de O. El Hai (période de retour 100 ans).

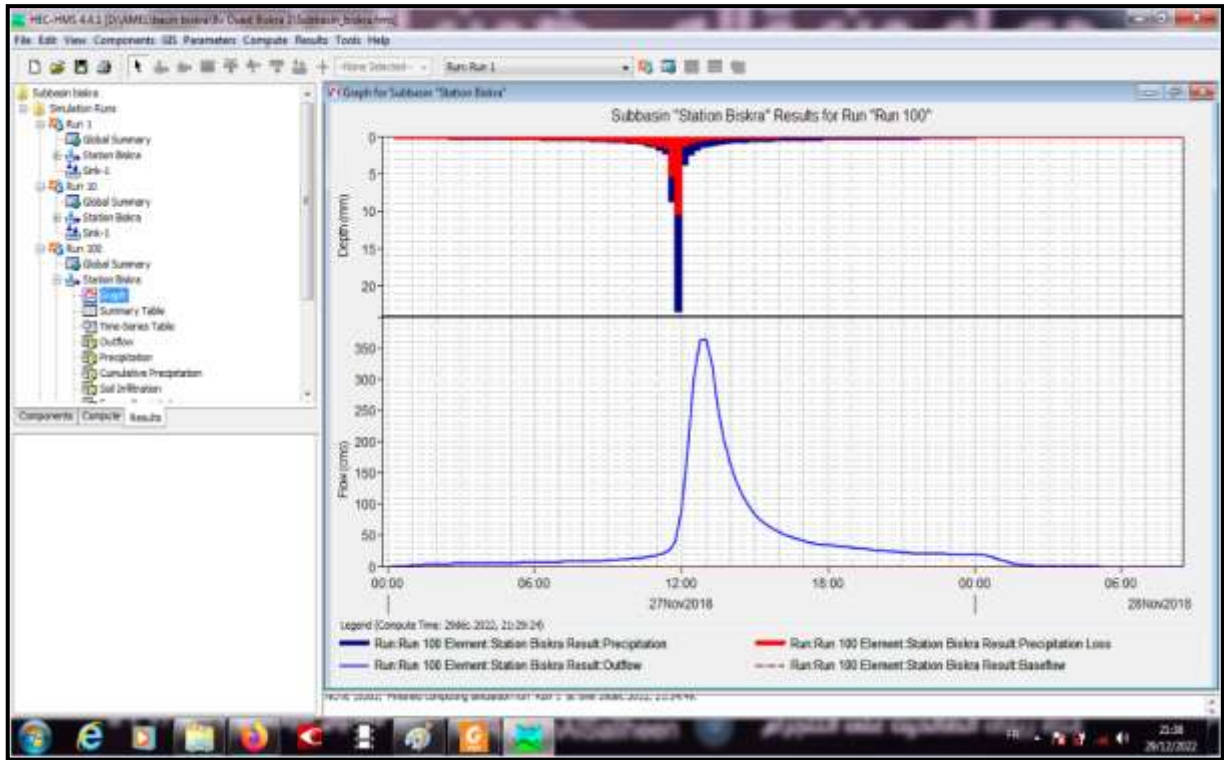


Fig.VI.06. Hydrogramme de crue du sous B.V de O. Biskra complémentaire (période de retour 100 ans).

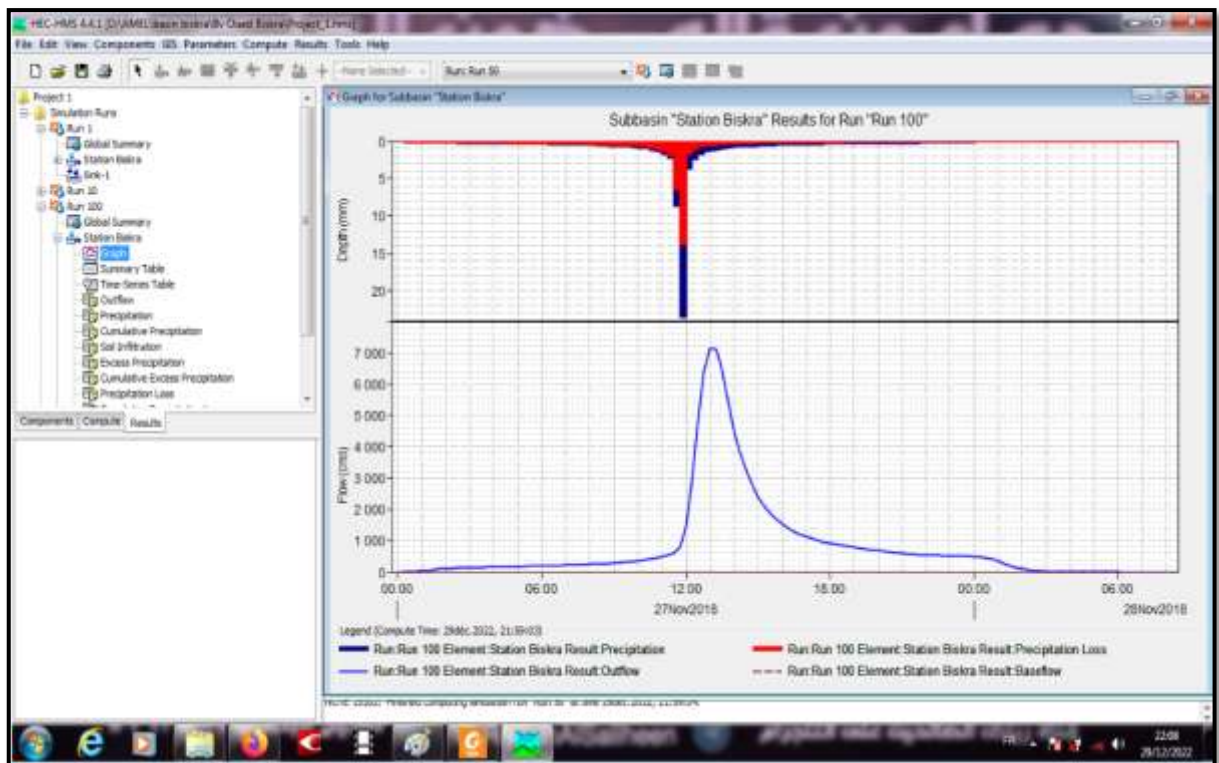


Fig.VI.07. Hydrogramme de crue du sous B.V de O. Biskra (période de retour 100 ans).

Le tableau VI.08 présente les valeurs estimées par le modèle HEC-HMS aux quatre bassins en termes du pic de l'hydrogramme, et du volume du ruissellement jusqu'aux exutoires des principaux oueds drainant le bv de O Biskra.

Tableau VI.08. Les valeurs simulées du débit de pointe et du volume d'eau pour le BV de O.Biskra, et ses sous bassins versants

	T = 10 ans	T =50 ans	T = 100 ans	T = 1000 ans
BV O.El Hai				
Q _p (m ³ /s)	1399,6	2668,5	3268,8	5765,9
Volume (m ³)	22283,8	36786,4	44197,5	67251,6
BV O.Djemoura				
Q _p (m ³ /s)	1351,00	2305,0	2824,5	4675,4
Volume (m ³)	18991,7	33759,4	40713,3	57532,5
BV O Bisk comp				
Q _p (m ³ /s)	172,9	302,7	362,6	578,7
Volume (m ³)	1996,5	3279,2	3893,9	6003,0
BV O Biskra total				
Q _p (m ³ /s)	2334,5	3875,2	5142,8	8929,7
Volume (m ³)	27018,0	48262,2	65067,4	106991,0

Le tableau VI.09 présente les valeurs estimées par la formule empirique (SKOLOVSKY) aux quatre bassins.

Tableau VI.09. Les valeurs calculées par la formule empirique (skolovsky) du débit de pointe pour les averses quantiles.

Période de retour (ans)		10	50	100	1000
Q _{maxp} % (mm ³ /s)	SBVOued El Hai	467,0	857,85	1014,8	1470,4
	SBVOued Djemoura	214	243,17	311,2	340,43
	SBVO.Biskra complémentaire	93,79	172,29	204,41	296,18
	BV Oued Biskra	594,28	1091,66	1290,8	1870,3

VI.3.1 Comparaison entre le débit observé et le débit simulé

D'après la comparaison entre les valeurs données dans les 2 tableaux (VI.08 et VI.09) :

- Nous constatons qu'il y a une nette différence entre le débit obtenu à partir de la formule de Sokolovski, et le débit obtenu à partir du modèle HEC HMS (ex : Q_{max}100 ans (Skolovski) = 1014,8 m³/s, Q_{max}100 ans (simulé) = 3268,8 m³/s), cela donne le BV de O El Hai.
- Pour BV d'O Djemoura : Q_{max}100 ans (Skolovski) = 311,2 m³/s, Q_{max}100 ans (simulation) =

2824,5 m³/s), pour O. Biskra complémentaire : Q_{max100 ans} (Skolovski) = 204 ,41 m³/s, Q_{max100 ans} (simulé) = 362,6 m³/s), et pour le BV de O. Biskra : Q_{max100 ans} (Skolovski) = 1290,8 m³/s, Q_{max100 ans} (simulé) =5142, 8 m³/s).

Nous voudrions montrer que la différence significative mentionnée ci-dessus entre les valeurs calculées et les valeurs simulées n'a pas d'erreur de fonctionnement du logiciel utilisé le HEC HMS, au contraire, ce sont des outils puissants.

A vrai dire, selon notre diagnostic, cette variation est principalement due aux valeurs d'imperméabilité que nous imposons dans les calculs.

En résumé, l'absence d'une étude approfondie du sol du bassin versant, en raison du manque de carottage en profondeur, a entraîné l'imposition de valeurs d'imperméabilité inappropriées dans les calculs. De plus, l'utilisation exclusive des données de la carte des terres à l'échelle de 1/50000 dans les régions de Tébessa et Biskra a conduit à une estimation erronée de 0% d'imperméabilité par HEC-HMS.

Conclusion et recommandation

Les facteurs influençant la méthode SCS-CN dans la prévention des inondations et la gestion des bassins versant sont les suivants :

Le facteur de sensibilité absolu (CN) est essentiel pour la méthode SCS-CN, car il affecte la précision de la prévision des débits. Le choix précis de ce facteur est crucial pour éviter la sous-évaluation ou la surestimation des flux.

La connaissance du type de sol et de son occupation est cruciale pour déterminer l'imperméabilité du sol, et le temps de réponse du bassin versant, ce qui influe sur les modèles hydrologiques comme HEC-HMS et la méthode SCS-CN.

L'élément végétatif joue un rôle important dans la facilitation de la pénétration de l'eau dans le sol, influençant ainsi le bilan hydrique du sol.

Divers facteurs, tels que les conditions du bassin versant, les types de sols et leur occupation, déterminent le calcul des crues et les résultats de l'estimation.

Les résultats de l'étude montrent que le modèle HEC-HMS fournit des résultats acceptables par rapport aux formules empiriques.

Une fois validé, le modèle HEC-HMS peut être utilisé pour la prévention des crues en temps réel, basé sur la restauration des débits en sortie en fonction des données de prélèvement collectées.

La simulation hydrologique vise à estimer le débit de pointe probable du bassin versant de l'Oued Biskra, ainsi que son débit de sortie, pour étudier la délimitation des zones inondables à l'aide du logiciel HEC-RAS.



***Chapitre VII : Cartographie des zones inondables par
HEC RAS.***



Introduction

Ce chapitre met en lumière l'importance du logiciel HEC-RAS dans la modélisation hydraulique des cours d'eau.

Après avoir mené une étude hydrologique pour générer l'hydrologie fréquentielle des crues dans le bassin de Oued Biskra, l'attention se tourne vers une étude hydraulique visant à déterminer la hauteur des aménagements nécessaires, pour protéger la ville de Biskra contre les inondations.

En somme, ce chapitre exploite le potentiel du modèle HEC-RAS pour mieux comprendre et gérer les risques d'inondation dans la région de Biskra.

VII.1. l'état de oued Biskra suite à la crue 20 octobre 2008

Lors de la crue exceptionnelle de l'Oued Biskra en 2008, le débit d'eau a dépassé les limites des berges à certains endroits, entraînant l'érosion et le glissement des pentes des montagnes.

En tenant compte des zones urbanisées de part et d'autre de l'oued, une identification des zones inondables a été réalisée, classées par ordre décroissant de risque :

1. La Zone à Risque N°01 présente un danger élevé avec des constructions proches de la berge, des pentes instables, et un risque élevé de destruction de bâtiments.
2. La Zone à Risque N°02 est caractérisée par une instabilité des remblais, mais ne présente pas de risque immédiat pour les zones résidentielles avoisinantes.
3. La Zone à Risque N°03 comprend des ouvrages de protection existants nécessitant une restauration.

En résumé, cette évaluation hiérarchisée des zones inondables met en évidence les niveaux de risque associés à chaque zone en fonction de divers facteurs. (voir photo VII.1)



Photo VII.1. Inondation de oued Biskra en 2008.

L'Oued Biskra, avec une superficie de bassin versant de 2787 km², une longueur d'oued principal dépassant les 100 km, et un débit de crue 1/1000 dépassant les 5000 m³/s, est parmi les cours d'eau les plus importants de la wilaya de Biskra, et de la région Est de l'Algérie.

Sa traversée du centre-ville de Biskra, où sa largeur est limitée par les constructions environnantes, accentue son importance.

L'objectif principal est de simuler les dommages potentiels d'une crue majeure, d'identifier les zones inondables, et de recommander des solutions adaptées. L'accent est mis sur le maintien d'un écoulement efficace, tout en conservant un impact minimal sur l'environnement.

VII.2. Choix du type de modèle hydraulique

Le choix de HEC-RAS est motivé par sa flexibilité, sa disponibilité facile, et sa capacité à fournir une analyse complète des risques d'inondation. [38]

VII.3. Présentation du logiciel HEC-RAS

HEC-RAS, le River Analysis System du Hydrological Engineering Center, est un logiciel spécialisé dans la modélisation hydraulique des cours d'eau et des canaux. La version 5.0 a étendu ses capacités en permettant la création de modèles 1D ou 2D, offrant ainsi une flexibilité accrue pour des simulations précises.

C'est un outil essentiel dans la modélisation des inondations, offrant des fonctionnalités avancées pour évaluer, et anticiper les risques liés aux crues et aux débordements des cours d'eau. [38]

VII.3.1. Banque de données nécessaires à l'application du modèle HECRAS

L'application du modèle HEC-RAS nécessite une banque de données concernant le site étudié [38] :

1. Les données géométriques relatives à chaque section :

La section en travers, définie par une série de couples distance-altitude; ou bien (Station- Élévation)

- les coefficients de rugosité.
- la distance à la section suivante (Rives et axe canal).
- les coefficients de contraction et d'expansion.

2. Les données de l'écoulement et les conditions aux limites.

VII.3.2. Les étapes d'utilisation du modèle hydraulique HEC-RAS

Le processus de simulation hydraulique avec HEC-RAS comprend plusieurs étapes clés : [38]

- 1. Créer un Projet HEC-RAS** : Lancer le logiciel et établir un nouveau projet dédié à la modélisation hydraulique. Organiser les paramètres et fichiers du projet.
- 2. Préparer les Données de Terrain** : Intégrer la carte MNT pour définir la topographie à partir de données topographiques. Utiliser la carte SRTM pour améliorer la précision avec des données satellitaires.
- 3. Création de la Géométrie de l'Oued** : Définir les sections transversales en utilisant les données topographiques.
- 4. Sélection des paramètres hydrologiques et des conditions aux limites** : choisir les paramètres hydrauliques, tels que la rugosité de Manning. Spécifier les Conditions aux Limites, incluant les débits d'entrée et les hauteurs d'eau initiales.

5. Simulation Hydraulique : Exécuter la Simulation en utilisant les données de terrain, la géométrie du canal, et les paramètres définis.

Analyser les Résultats pour comprendre le comportement de l'écoulement, les variations du débit, les hauteurs d'eau, et autres paramètres hydrauliques.

Chaque étape contribue à la robustesse de la modélisation hydraulique, assurant ainsi des résultats précis et informatifs sur le cours d'eau étudié.

VII.3.3. Préparation des données topographiques

Pour créer la géométrie des aménagements des oueds, une étape importante consiste à préparer les données topographiques. Ce processus inclut l'extraction de la géométrie à partir d'un modèle numérique de Terrain (MNT), ainsi que l'utilisation d'une image satellite provenant de Google Earth.

Dans notre étude de cas, la carte MNT remplace le relevé topographique du projet, fournissant une représentation détaillée du terrain à grande échelle.

Cette approche permet d'obtenir une base solide et précise pour la modélisation hydraulique des oueds, facilitant ainsi la planification et la gestion des aménagements hydrauliques. (Voir les figures VII.01, VII.02 et VII.03).

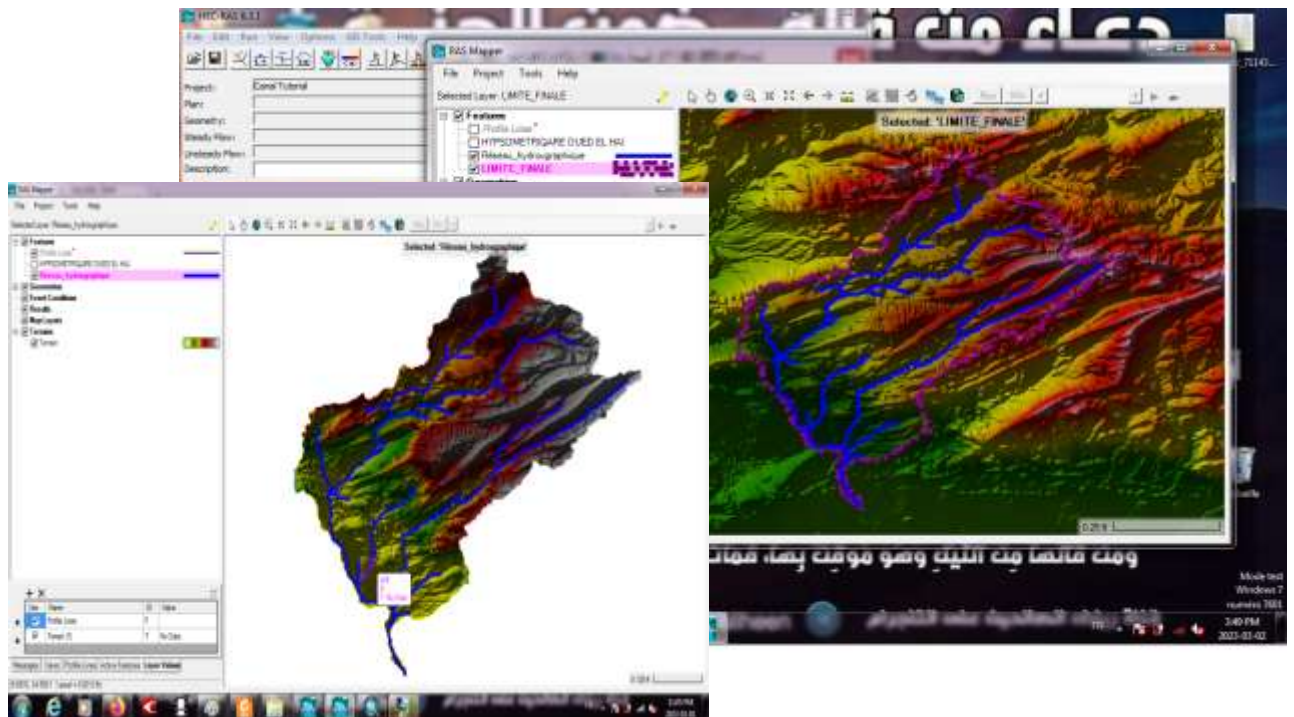


Fig. VII.01. Modèle numérique du terrain MNT du bassin versant de la O Biskra.

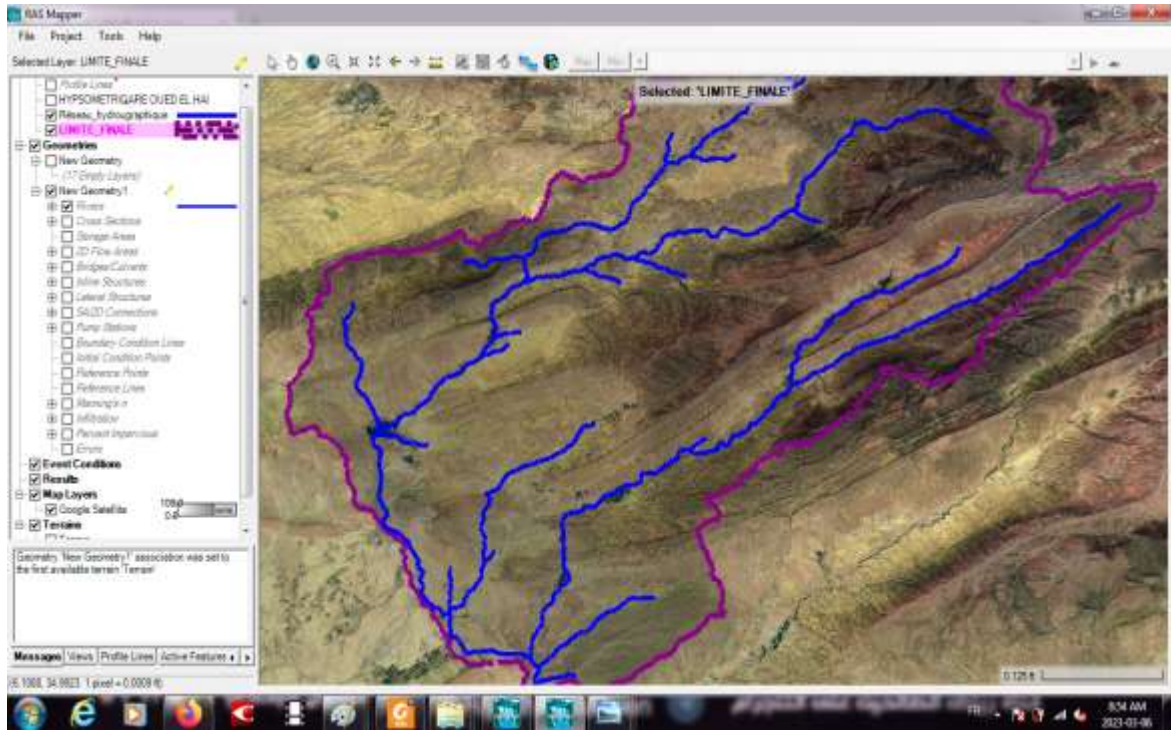


Fig. VII.02. Fenêtre Ras Mapper.

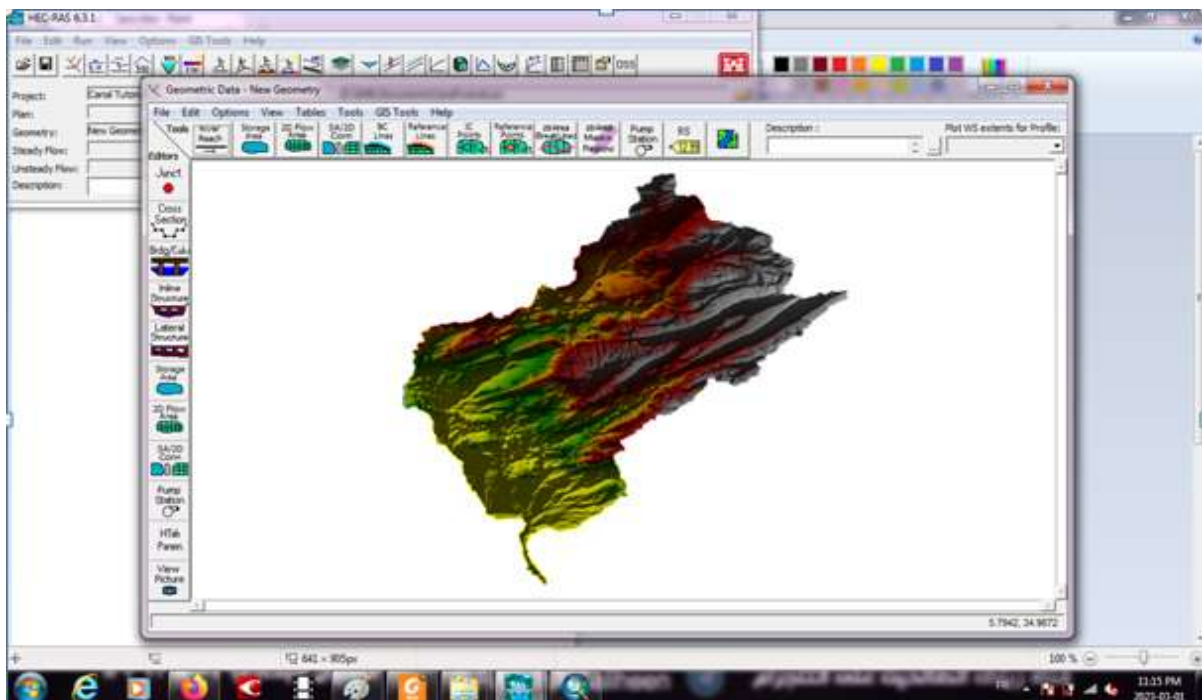


Fig. VII. 03. Bassin versant de oued Biskra sous HEC RAS.

VII.3.3.1 Les données géométriques

La saisie des données géométriques se fait en deux étapes distinctes :

1. le traçage du schéma de système de rivières comme il est montré sur la figure (VII.04).

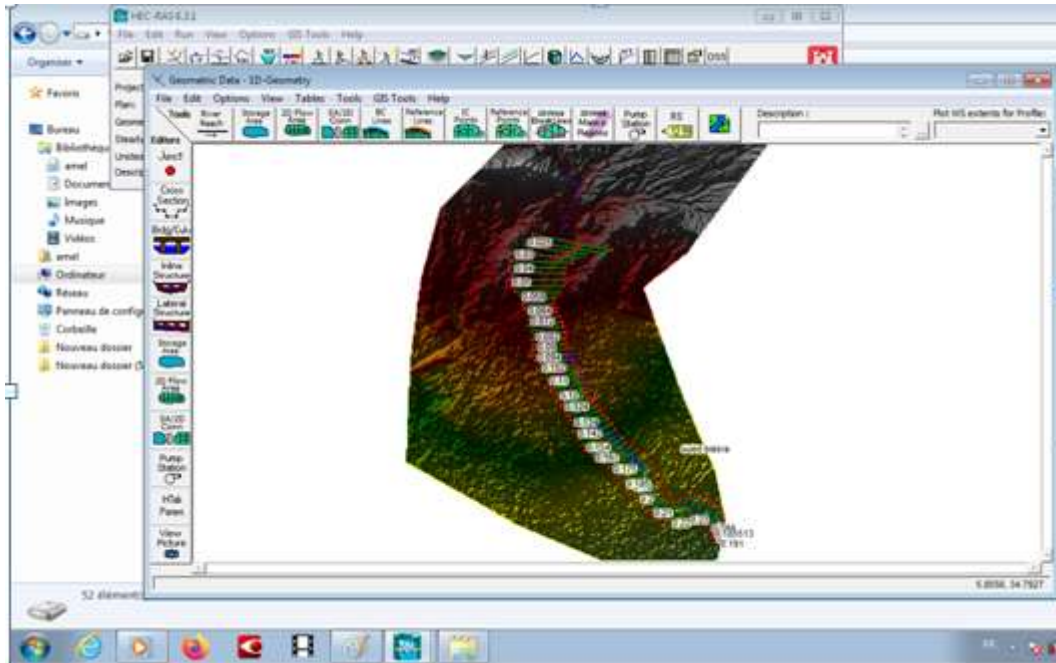


Fig. VII. 04. Open géométrie data de oued Biskra.

Un schéma hydrographique est un schéma représentatif du réseau hydrologique qui, de manière plus ou moins réaliste, prend en compte les méandres (sinuosités) du fleuve. Il est tracé par segments, d'amont en aval (dans le sens positif d'écoulement).

2. Données d'entrée de la section transversale du cours d'eau, et les travaux hydrauliques. Ces données comprennent :

- **les coordonnées X et Y de la section** : chaque point de la section en travers doit être accordé par sa distance par rapport à un point de référence et sa hauteur.
- **La distance à la section suivante** : c'est la longueur retraçant la distance entre la section courante et la proche section aval. Ces distances sont déterminées pour la rive gauche, le canal principal, et la rive droite.
- **Les valeurs de rugosité n de Manning** : la valeur de la rugosité ou le coefficient de Manning n est recommandé pour la rive gauche, le canal principal, et la rive droite.
- **Situation des rives du canal principal (lit mineur)** : les stations des rives du canal principal, sont utilisées pour séparer le lit mineur des deux parties, du lit majeur en rive gauche, et rive droite.
- **Coefficients de contraction et d'expansion** : les coefficients de contraction et d'expansion sont utilisés pour estimer la quantité de perte d'énergie, qui se produit en raison d'une contraction ou d'une expansion d'écoulement.

Le modèle HEC-RAS a généré un schéma géométrique détaillé de l'écoulement principal dans le bassin versant de l'oued Biskra. Ce schéma est subdivisé en cinq parties distinctes, chacune représentant un tronçon spécifique du cours d'eau. Voici la répartition de ces tronçons avec leurs longueurs respectives dans le bassin versant : (Voir l'exemple dans la figure VII.05) :

- a) Tronçon Oued El Hai : 49.23 km
- b) Tronçon (Jonction Oued Djemoura - Oued El Hai) : 17 km
- c) Tronçon (Jonction Oued Djemoura - Oued Biskra) : 12.86 km
- d) Tronçon Oued Biskra avant l'entrée de la ville (Jonction Oued El Hai, Oued Djemoura et Oued Biskra complémentaire) : 14.16 km
- e) Tronçon (Oued Biskra - Centre ville) : 12.78 km

Ces subdivisions permettent une analyse détaillée de chaque tronçon, facilitant la compréhension des caractéristiques géométriques, et hydrauliques spécifiques de chaque segment du cours d'eau dans le bassin versant d'oued Biskra.

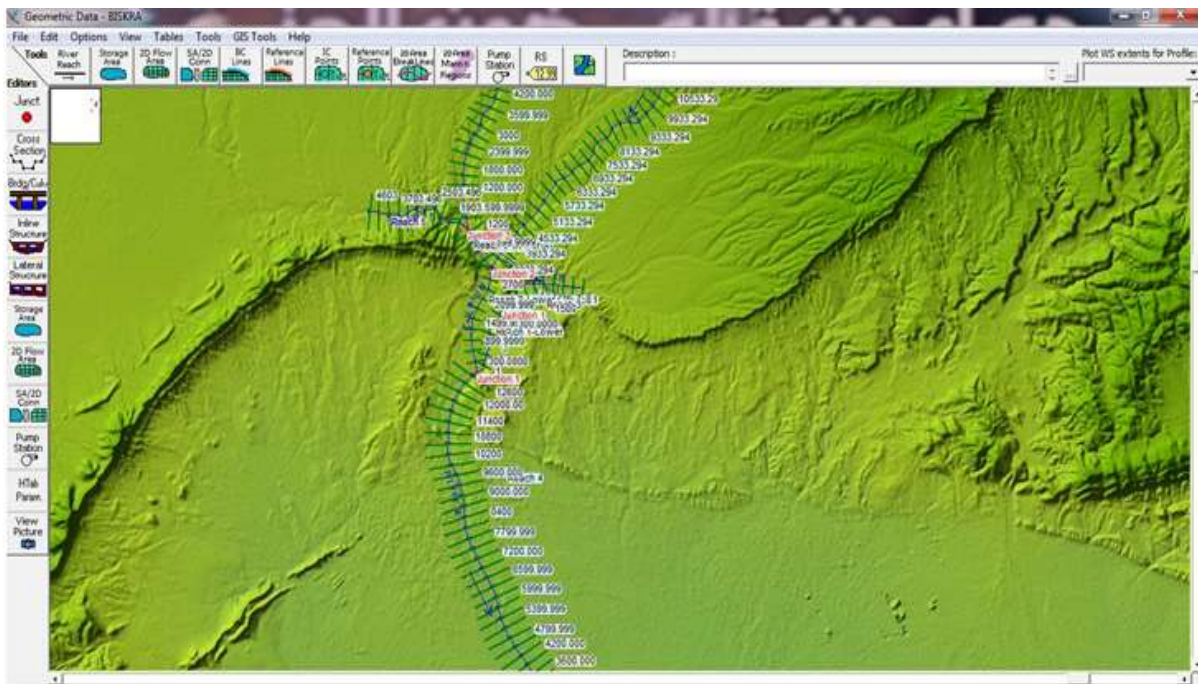


Fig. VII.05. La géométrie du oued principal sous HEC-RAS.

VII.3.3.2 Le choix des valeurs de rugosité de Manning

Les valeurs de la rugosité ou le coefficient de Manning ont été fournies selon la nature du canal, et le matériau qui constitue les berges du cours d'eau (voir le Tableau VII.01, figures VII.06.07.08.09 et 10).

Tableau VII. 01 : 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

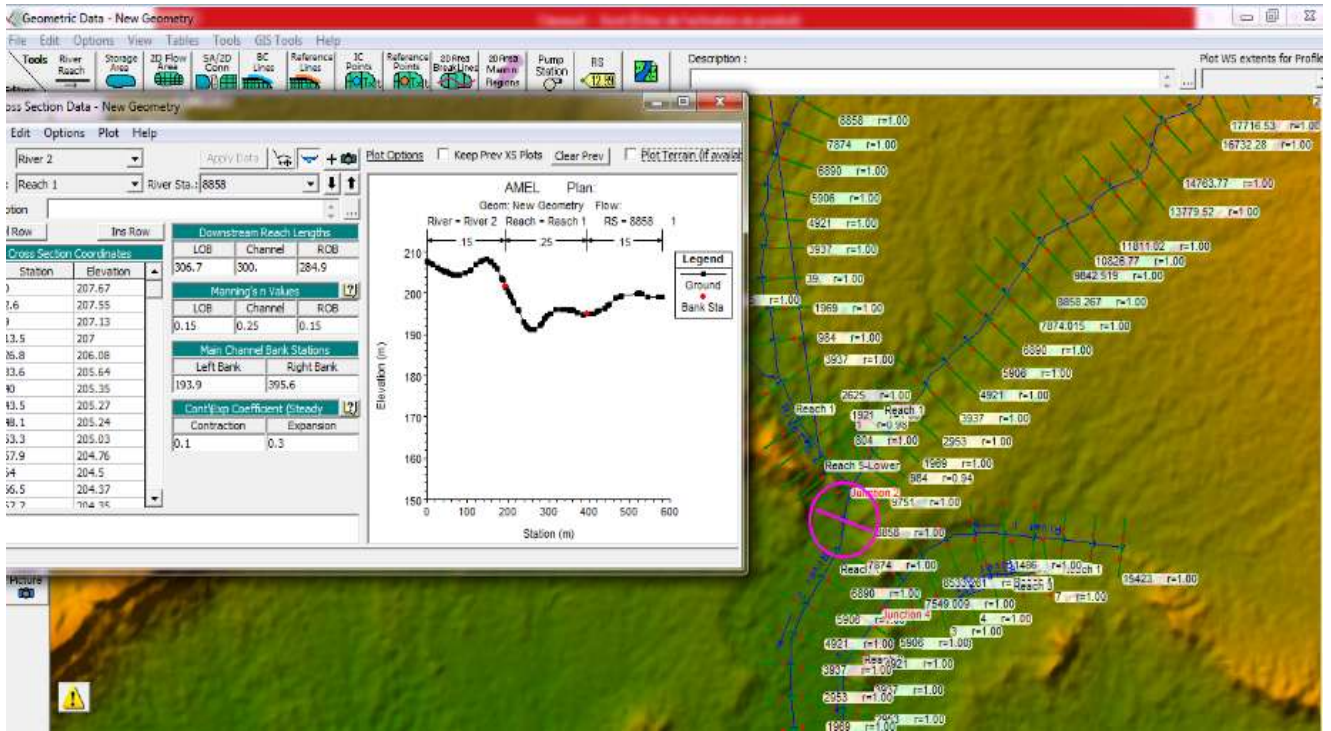


Fig. VII.06. Illustration d'un profil en travers sous- HEC RAS ainsi que la répartition de Coefficient de Manning. (O.Biskra _O. Djemoura 12.86 km).

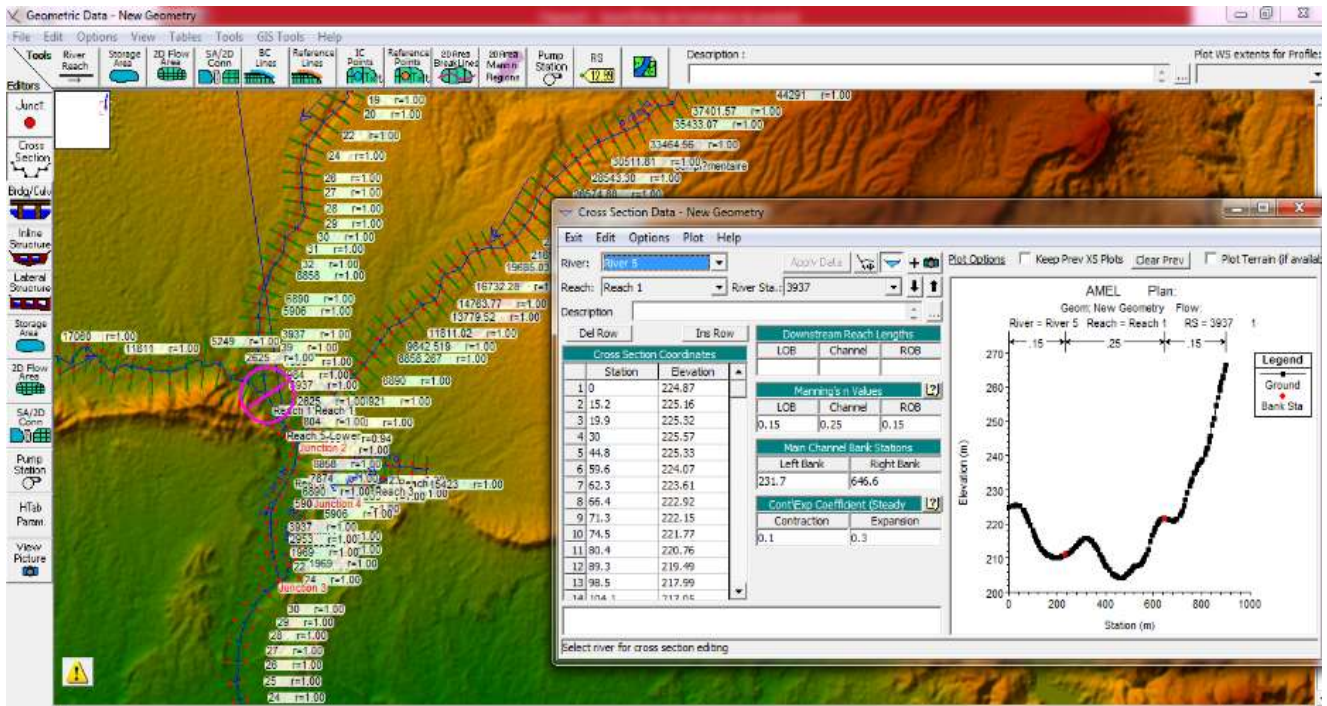


Fig. VII.07. Illustration d'un profil en travers sous- HEC RAS ainsi que la répartition de Coefficient de Manning. (O Djemoura _O El Hai 17 km).

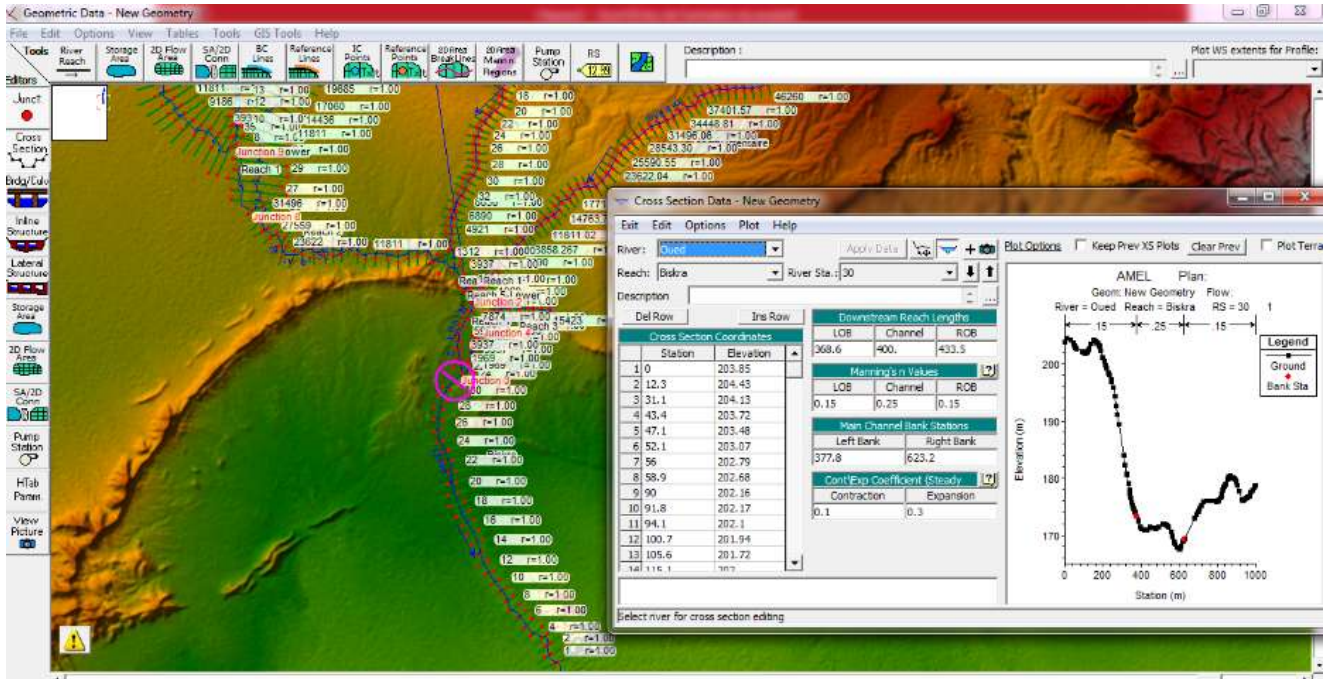


Fig. VII.08. Illustration d'un profil en travers sous- HEC RAS ainsi que la répartition de Coefficient de Manning. (O.Biskra avant l'entrée de la ville) 14,16 km

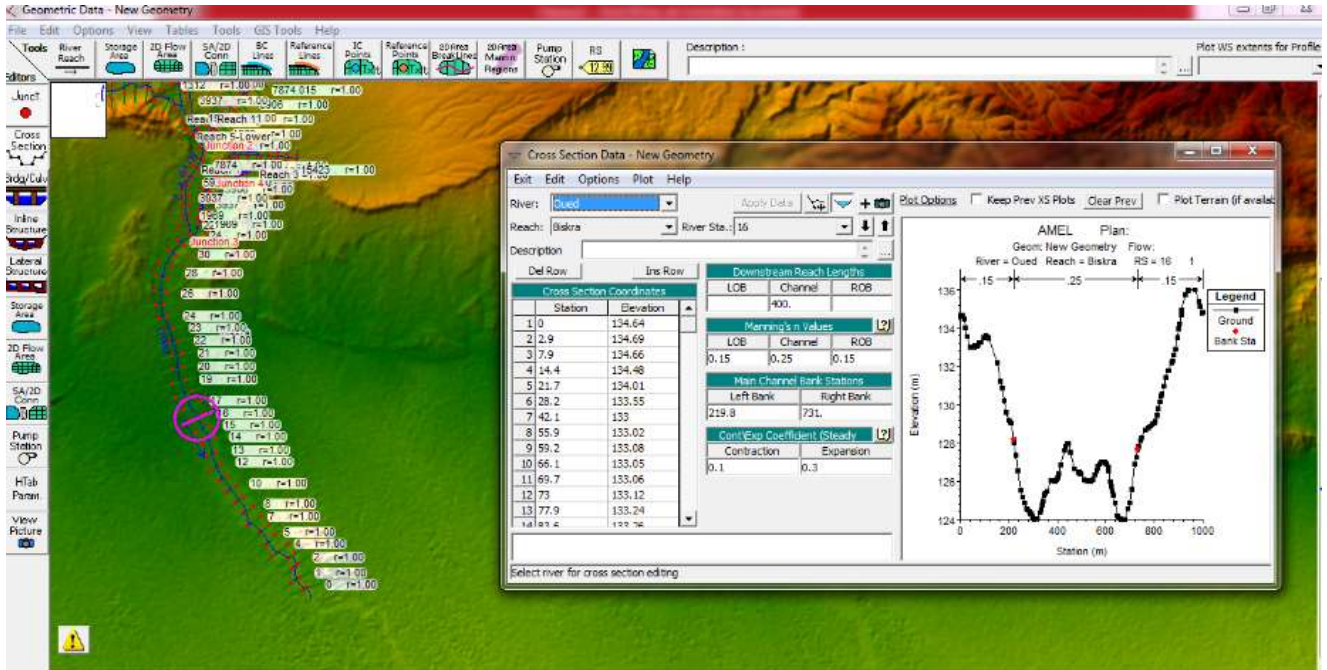


Fig. VII.09. Illustration d'un profil en travers sous- HEC RAS ainsi que la répartition de Coefficient de Manning.(O.Biskra centre ville) 12,78 km.

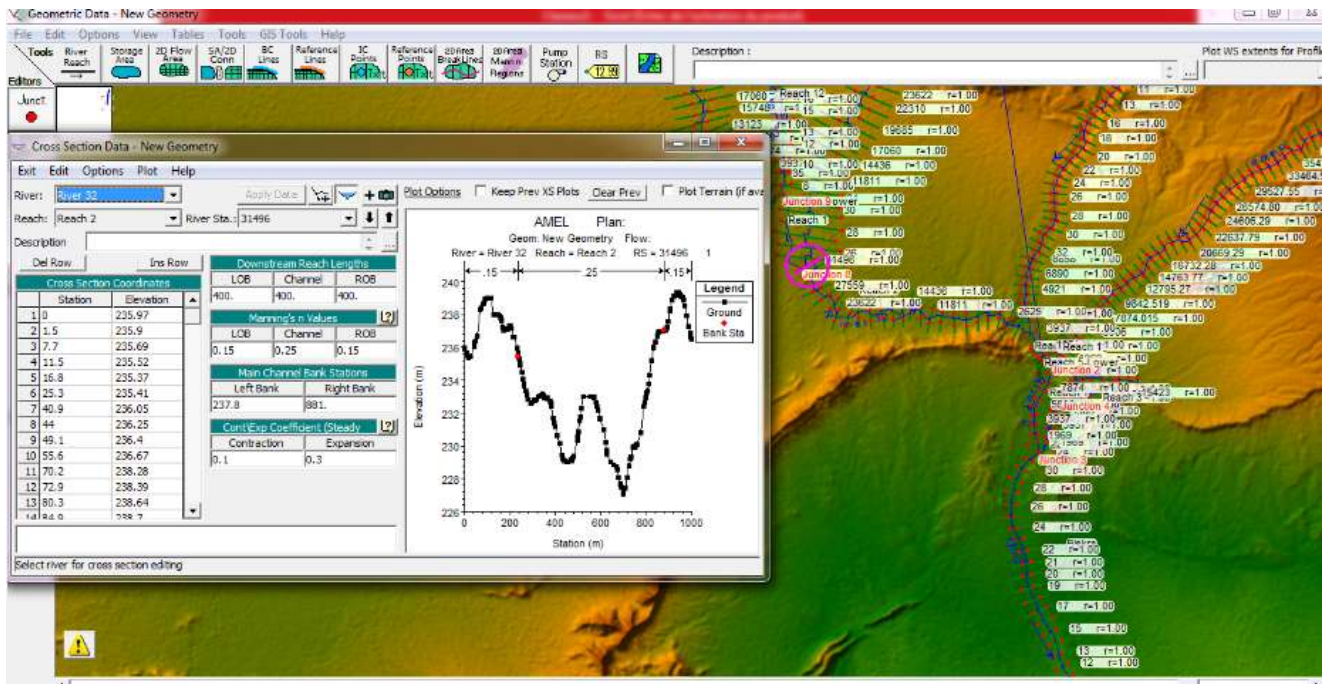


Fig. VII.10. Illustration d'un profil en travers sous- HEC RAS ainsi que la répartition de Coefficient de Manning. (O. El Hai) 49,23 km.

VII.3.3.3 Evaluation des pertes de contraction et d'expansion

Les pertes de contraction et d'expansion dans HEC-RAS présentées dans le tableau VII.02 :

Tableau VII.02: Valeur des coefficients d'expansion et de contraction utilisés par HEC-RAS.

	Coefficient de Contraction	Coefficient d'expansion
Aucune perte de transition calculée	0.0	0.0
Transition progressive	0.1	0.3
Sections typiques de pont	0.3	0.5
Transitions brusques	0.6	0.8

Lorsque le changement de la section transversal de la rivière est petit, et le régime d'écoulement est fluvial, les coefficients de contraction et d'expansion prennent les valeurs de 0.1 et 0.3 respectivement.

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

VII.3.4 Choix des paramètres hydrométriques et conditions aux limites

Après avoir entré les données de la géométrie de chaque section, la prochaine étape sera la modélisation hydraulique à l'aide de HEC-RAS, qui consiste à spécifier les débits entrants, et toutes les conditions aux limites nécessaires, pour pouvoir effectuer les calculs des sections de la surface de l'eau sur chaque section du système fluvial.

Pour cela, nous avons démarré la simulation en régime graduellement varié, avec les valeurs des débits obtenues selon le modèle HEC HMS, et correspondant à des cycles répétitifs de 100 ans et 1000 ans, pour les différents affluents de oued Biskra.

Les calculs peuvent être réalisés simultanément pour plusieurs débits, soit en régime torrentiel, soit en régime fluvial, ou pour les deux régimes d'écoulement.

Dans ce dernier cas, HEC-RAS utilise l'équation de la quantité de mouvement, pour déterminer les changements dans le régime d'écoulement torrentiel fluvial, qui est caractérisé par le ressaut.

❖ Rappel des données hydrologiques

Les débits des crues qui doivent être introduits dans le logiciel présentés dans le tableau VII.03.

Tableau VII. 03 : Les valeurs des débits de points de oued Biskra et ses sous bv.

Débits Oued	T=100 ans	T=1000 ans
O. El Hai	3268,8	5765,9
O.Djemoura	2824,5	4675,4
O.Biskra comp	362.6	578.7
O.Biskra	5142.8	8929,7

VII.4. Lancement de la simulation

Après la détermination et l'enregistrement de la géométrie, des données hydrologiques et des conditions aux limites nécessaires à la simulation, le choix du type de régime est important.

En cas d'incertitude sur le du type de l'écoulement, un écoulement mixte est recommandé, permettant au système de calculer et d'évaluer la progression du flux. Cela marque le début de la simulation hydraulique, où ces paramètres sont analysés en profondeur.

VII.5. Visualisation des résultats

Nous avons présentés nos résultats pour les périodes de retour de 100 et 1000 ans.

VII.5.1 Période de retour de 100 ans

À l'aide de HEC-RAS, nous avons exploré les surfaces inondées associées à chaque débit, obtenues par l'interpolation des profils en travers. Cette approche permet une représentation détaillée des zones susceptibles d'être impactées en fonction des différents débits rapprochés.

Les figures suivantes (Fig. VII.11, 12, 13, 14, et 15) donnent un aperçu des inondations.

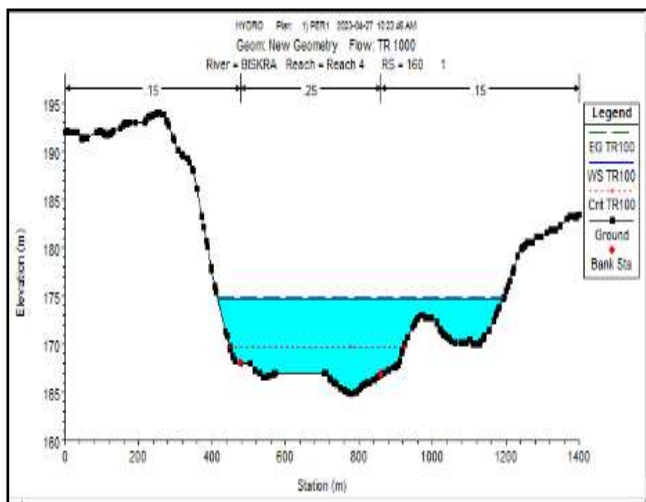


Fig. VII.11. Profil en travers (O. Biskra) amont (100 ans).

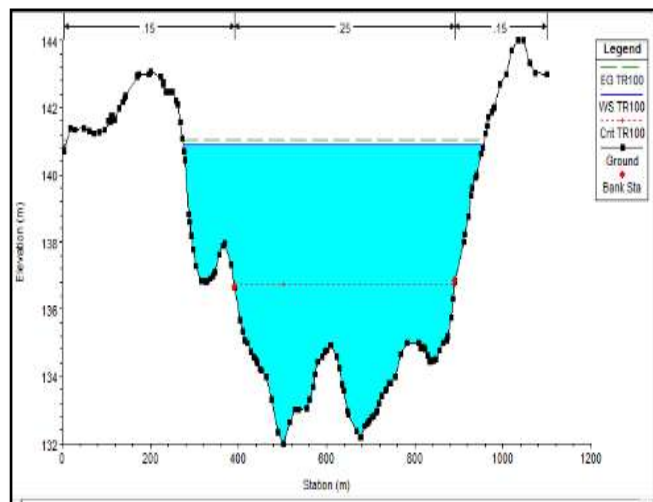


Fig. VII.12. Profil en travers (O. Biskra) centre ville (100 ans).

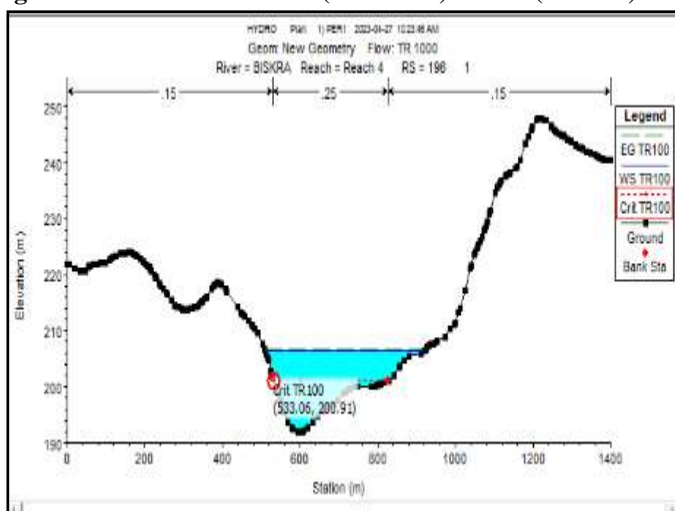


Fig. VII.13. Profil en travers(O.Biskra Comp et Djemoura). (100 ans).

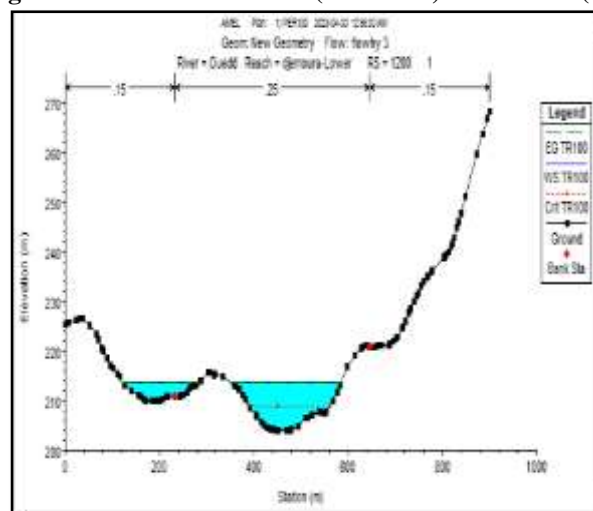


Fig. VII.14. Profil en travers O Djemoura _O El Hai. (100 ans).

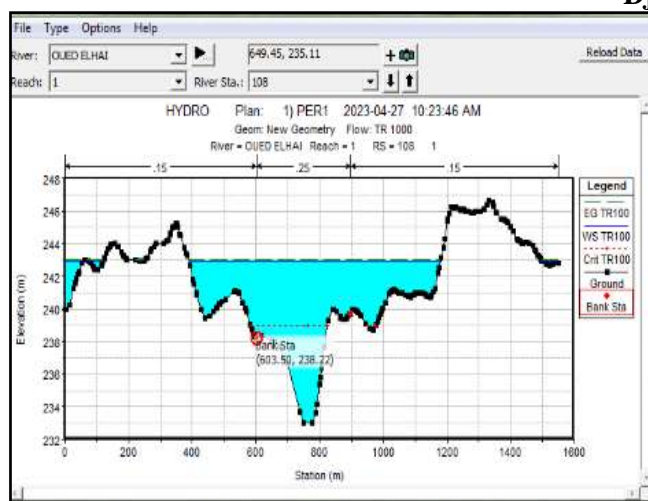


Fig. VII.15. Profil en travers (O. El Hai) (100 ans).

Ainsi, on voit qu'au premier coup d'œil, notamment lors de la crue Q100, les inondations sont importantes. Par conséquent, nous pouvons identifier les principales zones de débordement.

Les profils en long de oued Biskra et ses affluents sont présentés dans les figures (Fig. VII.16, 17, 18, et 19).pour T= 100 ans.

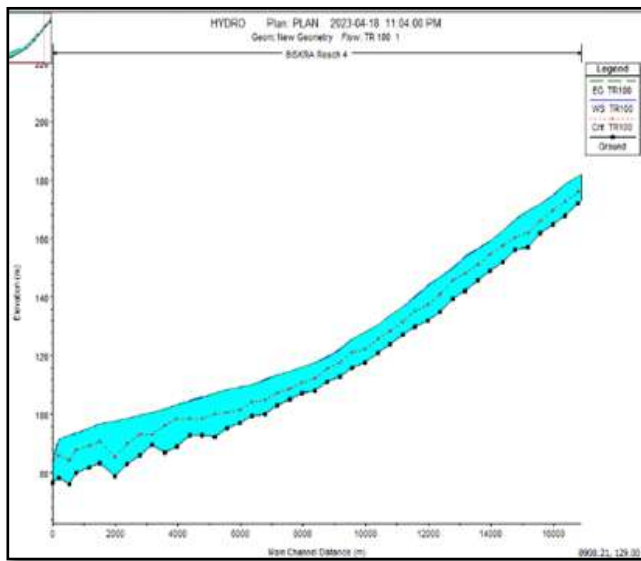


Fig. VII.16. Profil en long (O. Biskra). (100 ans). complémentaire). (100 ans).

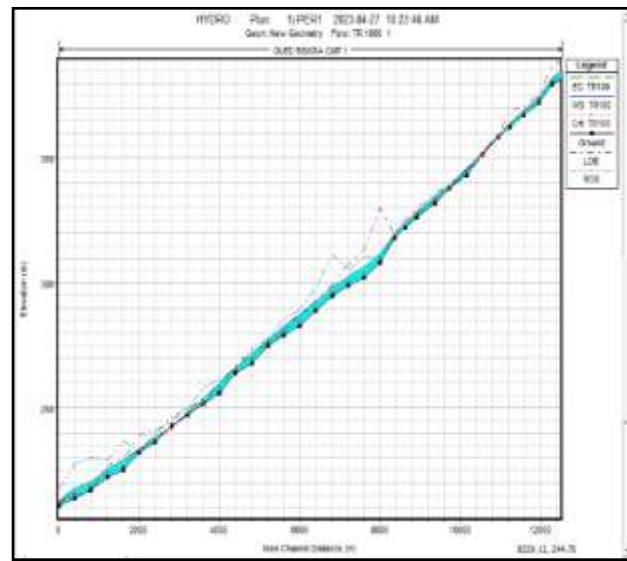


Fig. VII.17. Profil en long (O. Biskra complémentaire). (100 ans).

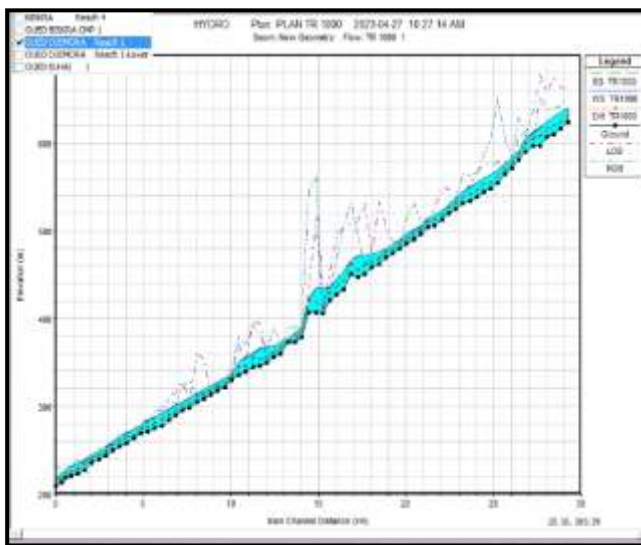
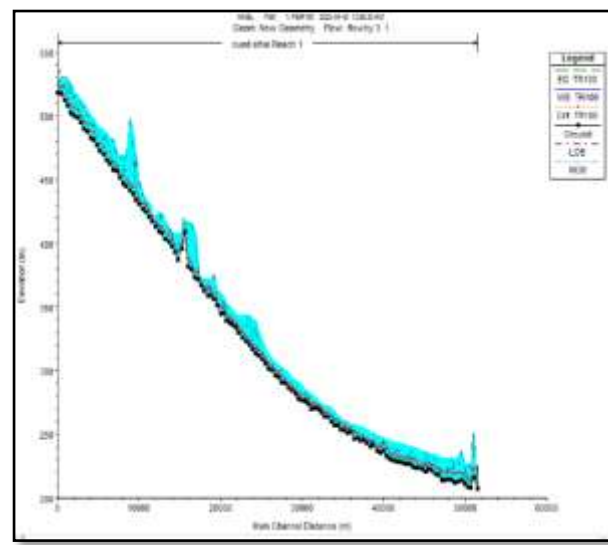
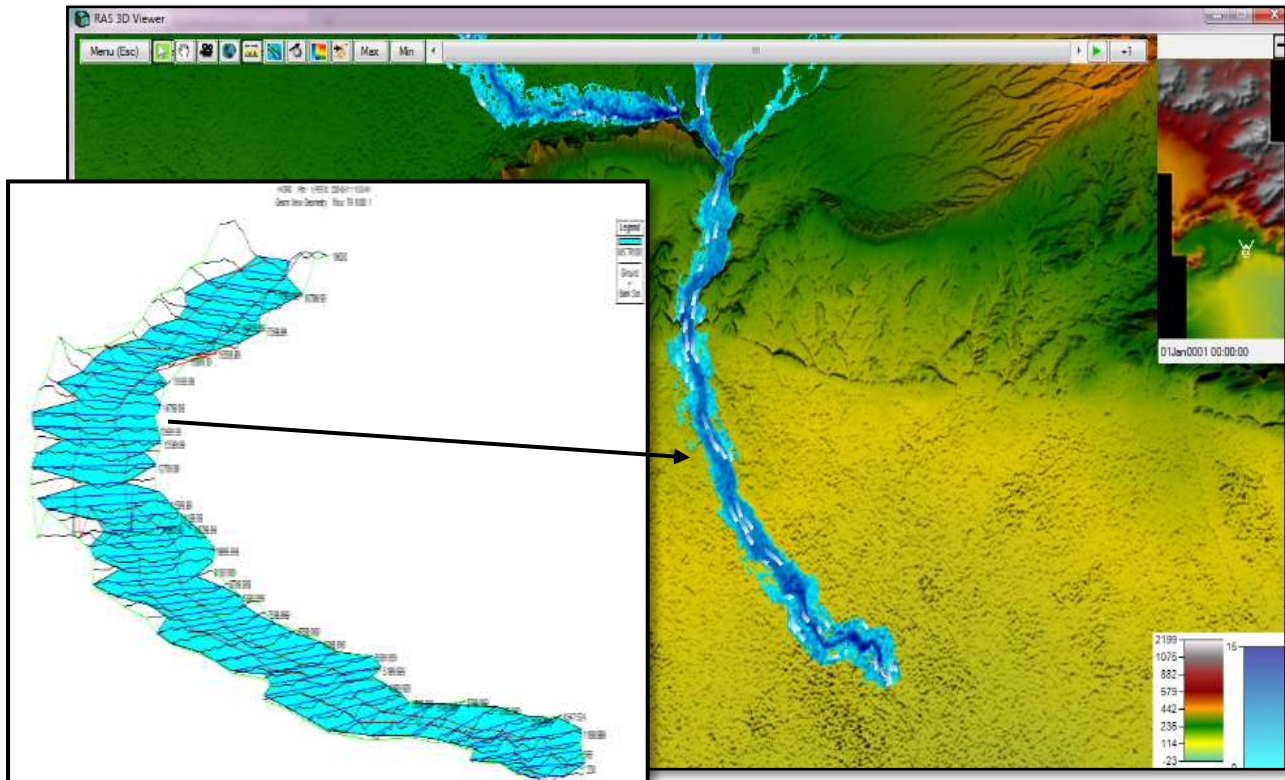


Fig. VII.18 Profil en long (O. Djemoura). (100 ans). Fig. VII.19. Profil en long (O El Hai). (100 ans).



VII.5.1.1 Délimitation des zones inondables sur oued Biskra pour T=100 ans.

La délimitation des zones inondables le long du cours d'eau de oued Biskra pour la période de retour T= 100 ans, avec un débit de 5142,8 m³/s ; se fera avec le logiciel HEC RAS (Carte VII.01).



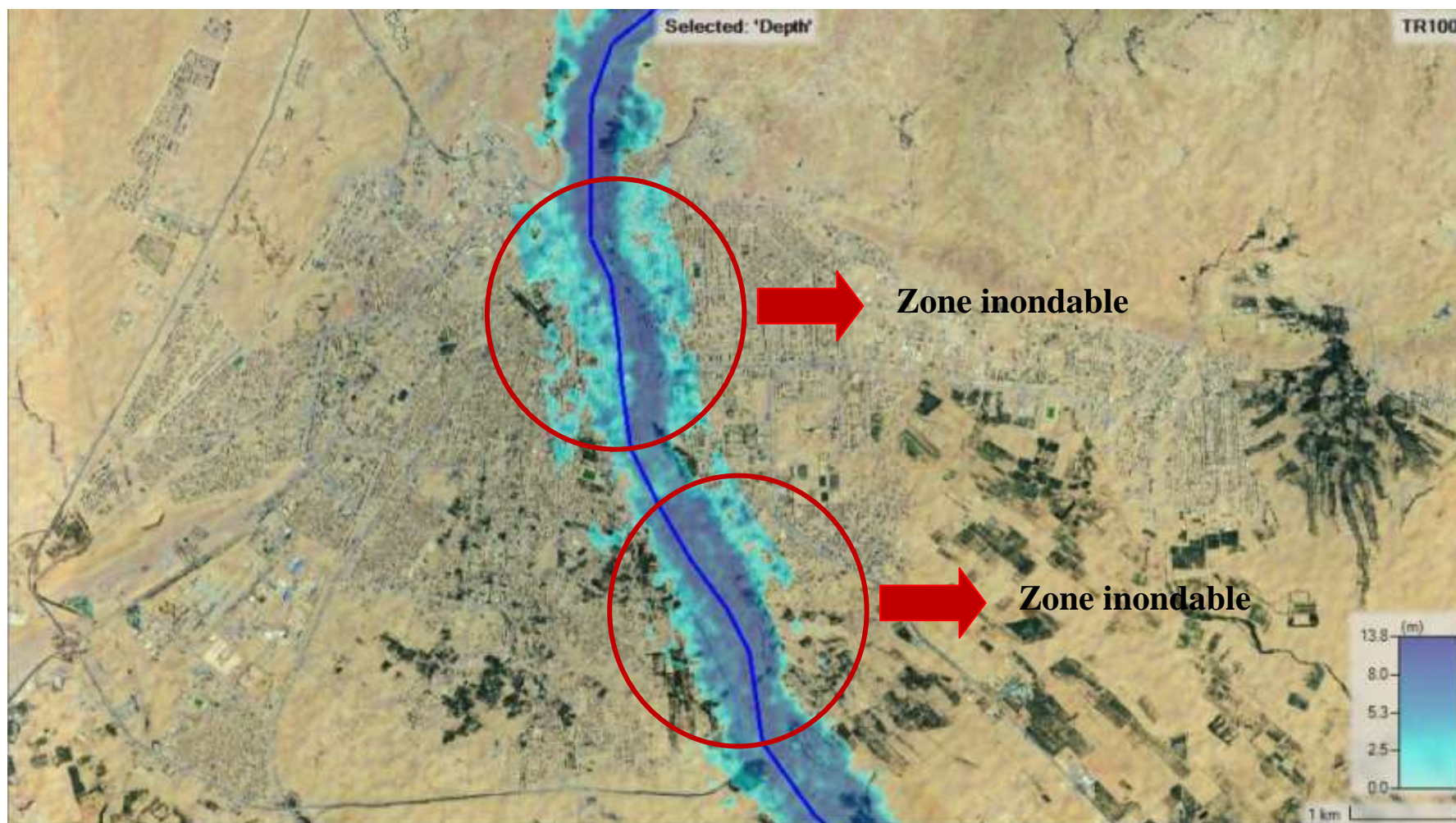
Carte. VII.01. Carte des zones inondables de oued Biskra (crue centennale).

Pour la crue centennale de l'oued Biskra, toutes les zones ont été inondées, avec une expansion notable pour un débit de $5142,8 \text{ m}^3/\text{s}$.

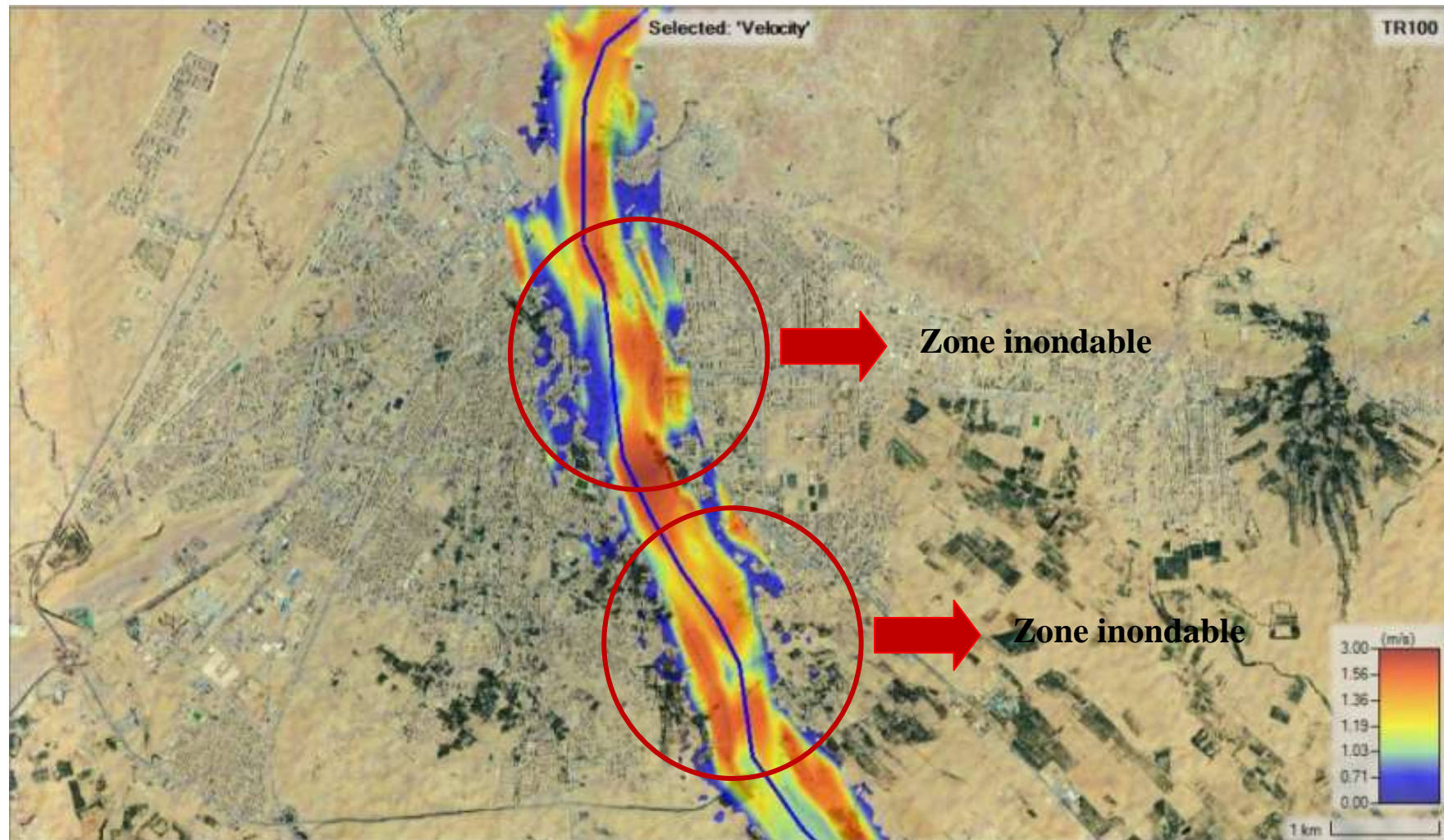
L'analyse des coupes longitudinales et des données d'extension du champ inondable montre que la plaine inondable englobe la totalité de la coupe transversale, rendant difficile la détermination précise de sa limite. Le niveau d'eau varie, dépassant 2 m dans la zone urbaine et atteignant 3 m dans la partie haute de la ville pour un débit de $5142,8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Les vitesses d'écoulement sont significatives, dépassant parfois 1 m/s dans le petit lit et pouvant dépasser 2 m/s aux niveaux de profil élevé. Dans le lit principal, les vitesses sont modérées en moyenne ($0,5 \text{ m/s} < v < 1,5 \text{ m/s}$), mais peuvent être élevées dans certaines zones.

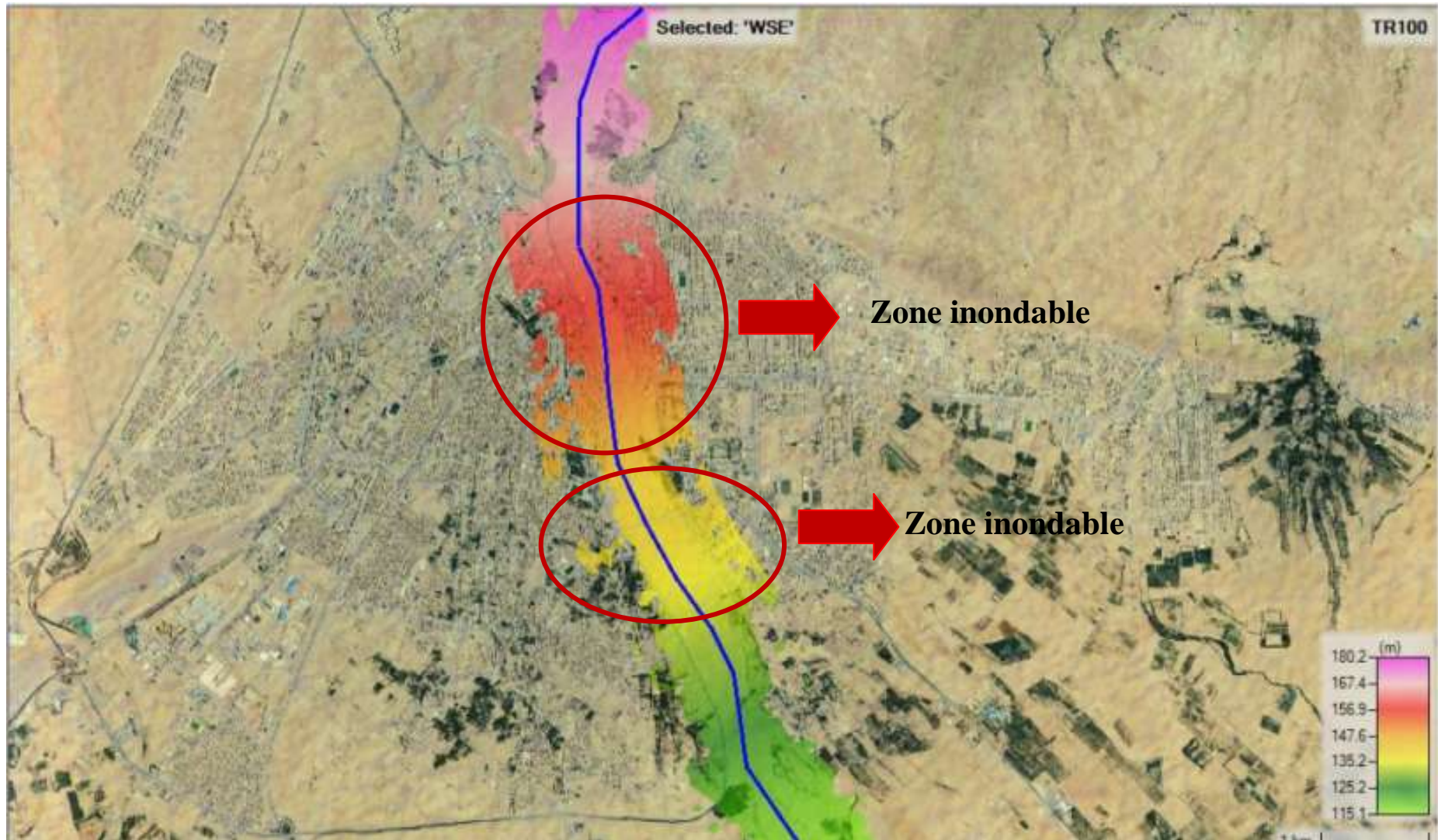
Les cartes .VII.02 : a, b et c donne la profondeur d'eau, la vitesse et la surface d'eau de la zone inondable sur l'Oued Biskra ; pour $T= 100$ ans.



Carte. VII.02. (a). La hauteur de submersion de la crue de oued Biskra T= 100 ans.



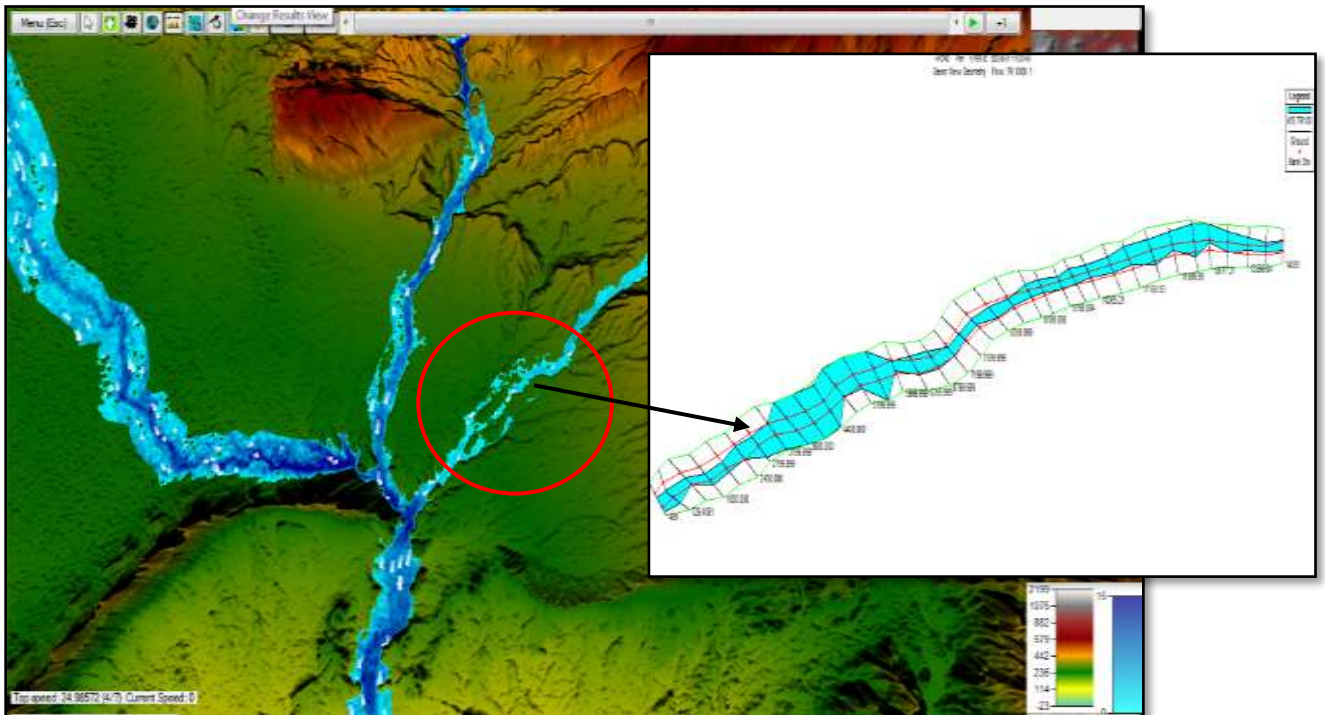
Carte. VII.02. (b). Visualisation de la vitesse d'eau au cours de l'inondation de oued Biskra T= 100 ans.



Carte. VII.02. (c). Etalement spatiale de l'inondation de oued Biskra T= 100 ans.

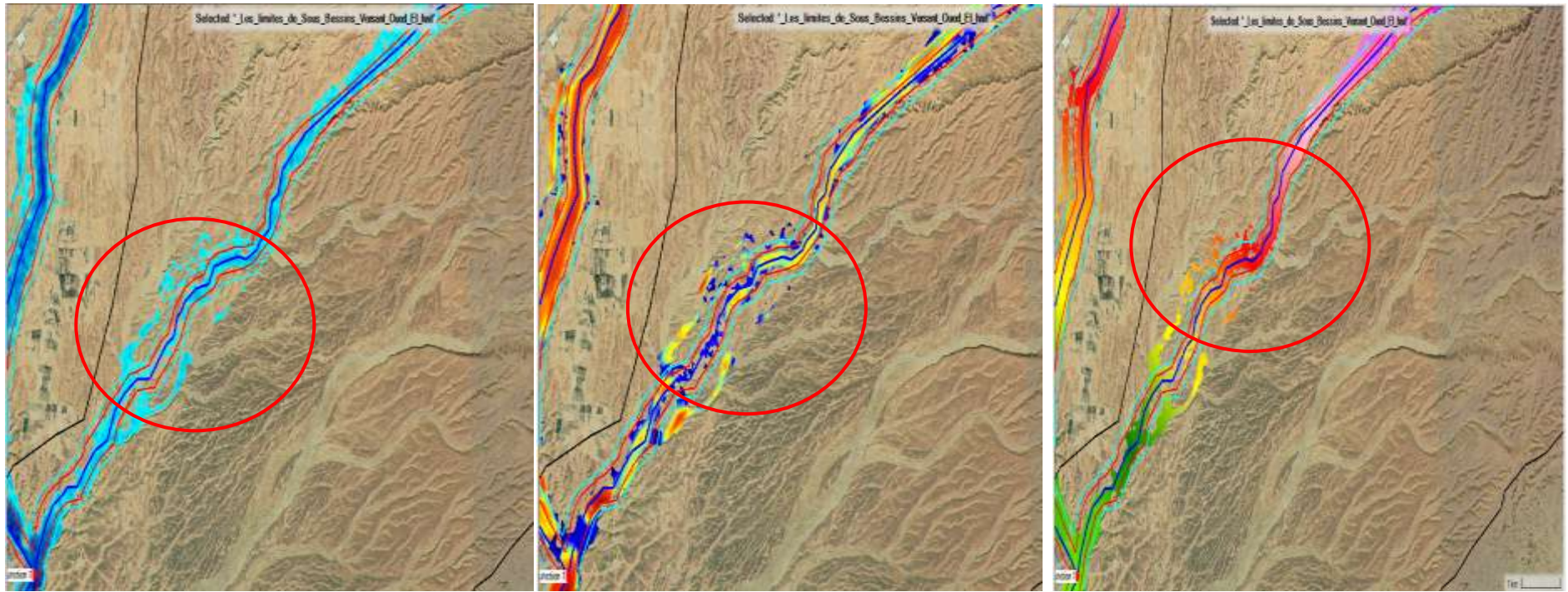
VII.5.1.2 Délimitation des zones inondables sur oued Biskra complémentaire pour T=100 ans.

La délimitation des zones inondables le long du cours d'eau de oued Biskra complémentaire, pour la période de retour T= 100 ans, avec un débit de $362.6 \text{ m}^3/\text{s}$; se fera avec le logiciel HEC RAS (Carte VII.03).



Carte. VII.03. Carte des zones inondables oued Biskra complémentaire (crue centennale).

La carte .VII.04 donne la profondeur d'eau, la vitesse et la surface d'eau de la zone inondable sur l'Oued Biskra complémentaire, pour T= 100 ans.



Profondeur d'eau T=100 ans

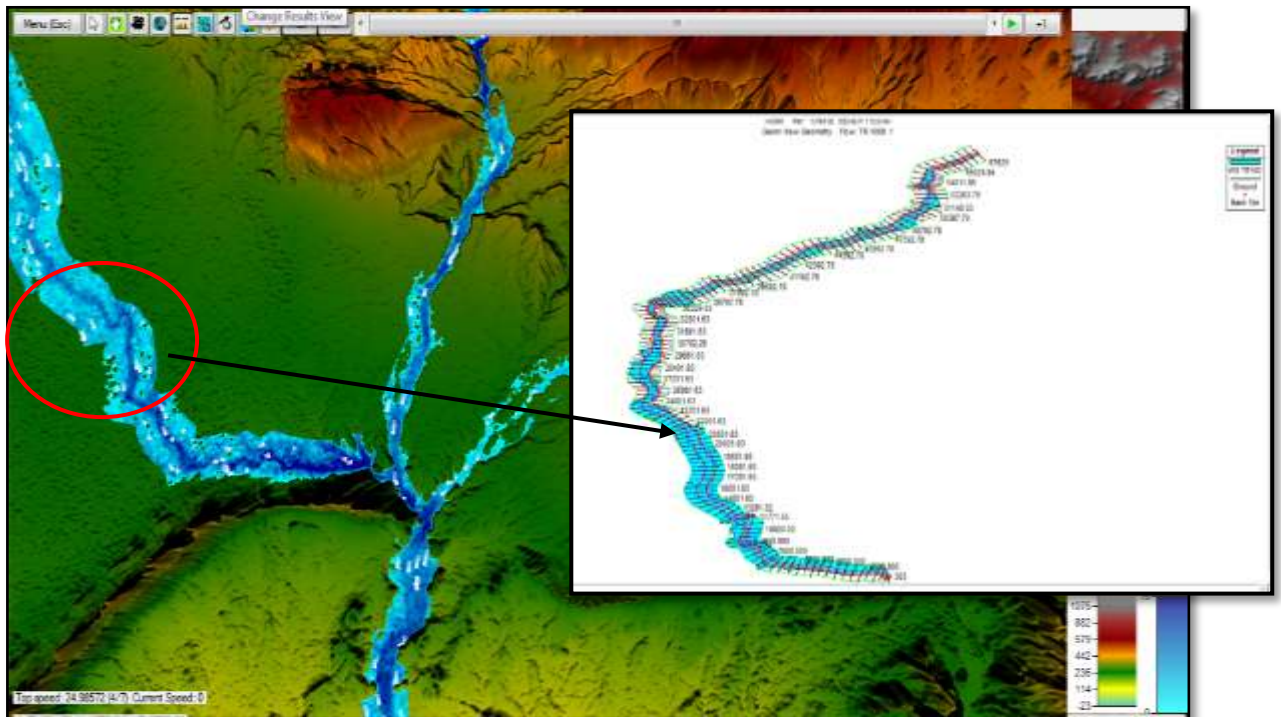
vitesse d'eau T=100 ans

surface d'eau T=100 ans

Carte. VII.04. Visualisation des zones inondables de oued Biskra Complémentaire T= 100 ans.

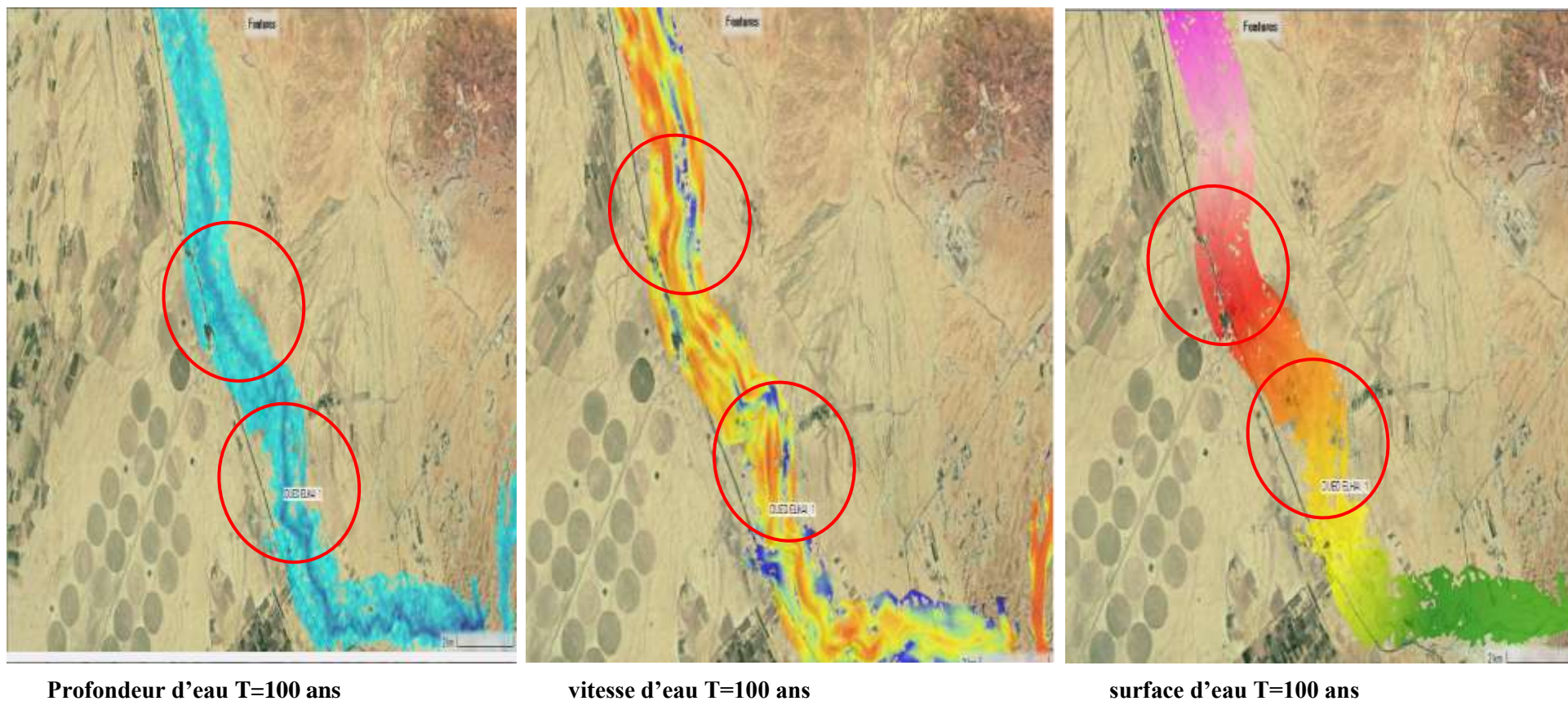
VII.5.1.3 Délimitation des zones inondables sur oued El Hai pour T=100 ans.

La délimitation des zones inondables le long du cours d'eau de oued El Hai, pour la période de retour T= 100 ans, avec un débit de $3268,8\text{m}^3/\text{s}$; se fera avec le logiciel HEC RAS (Carte VII.05).



Carte. VII.05. Carte des zones inondables oued El Hai (crue centennale).

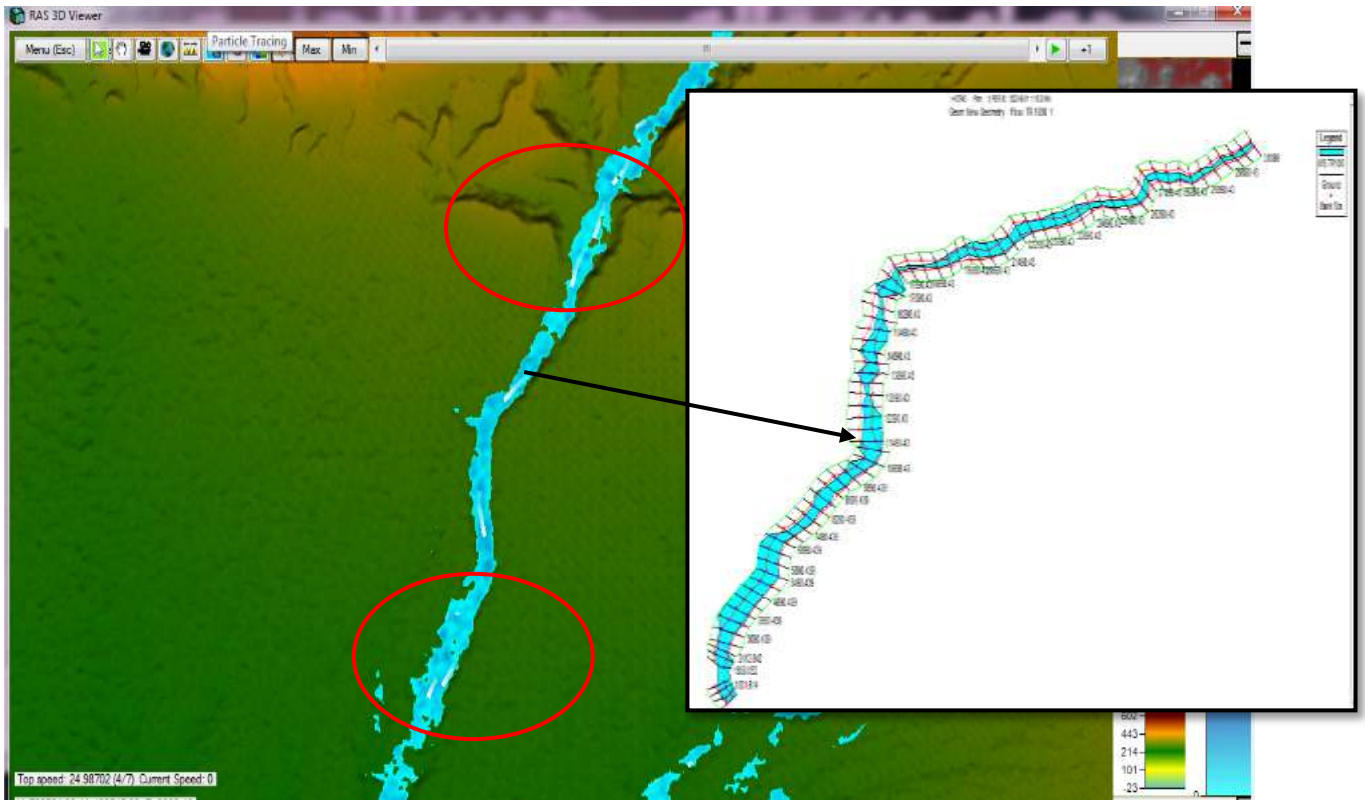
La carte .VII.06 donne la profondeur d'eau, la vitesse et la surface d'eau de la zone inondable sur l'Oued El Hai, pour T= 100 ans.



Carte. VII.06. Visualisation des zones inondables de oued El Hai T= 100 ans.

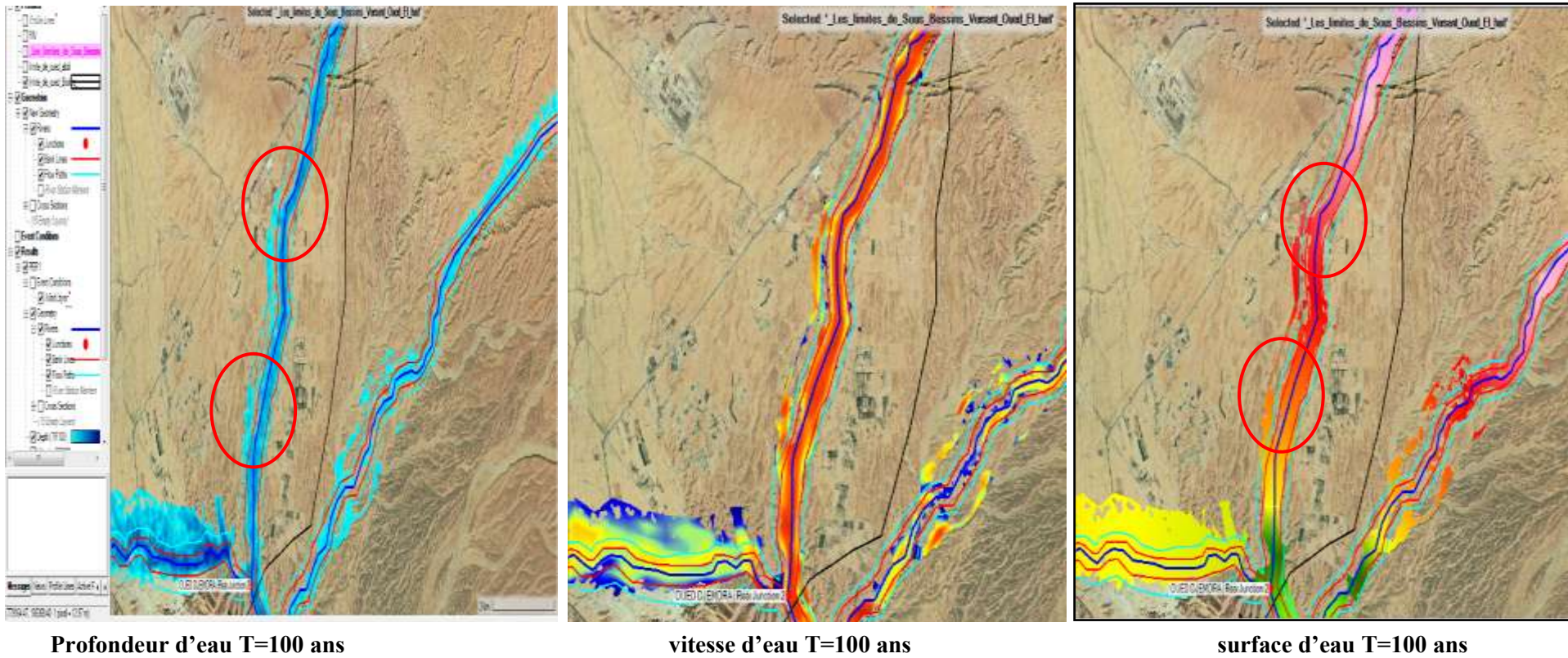
VII.5.1.4 Délimitation des zones inondables sur oued Djemoura pour T=100 ans.

La délimitation des zones inondables le long du cours d'eau de oued Djemoura, pour la période de retour T= 100 ans, avec un débit de 2824,5 m³/s ; se fera avec le logiciel HEC RAS (Carte VII.07).



Carte. VII.07. Carte des zones inondables oued Djemoura (crue centennale).

La Carte .VII.08 donne la profondeur d'eau, la vitesse et la surface d'eau de la zone inondable sur Oued Djemoura, pour T= 100 ans.



Carte. VII.08. Visualisation des zones inondables de oued Djemoura T= 100 ans.

VII.5.2.Période de retour de 1000 ans

Les sections avec les hauteurs d'eau pour T = 1000 ans, de oued Biskra et ses affluents sont présentés dans les figures (Fig. VII.20, 21, 22, 23, et 24) pour T=1000 ans.

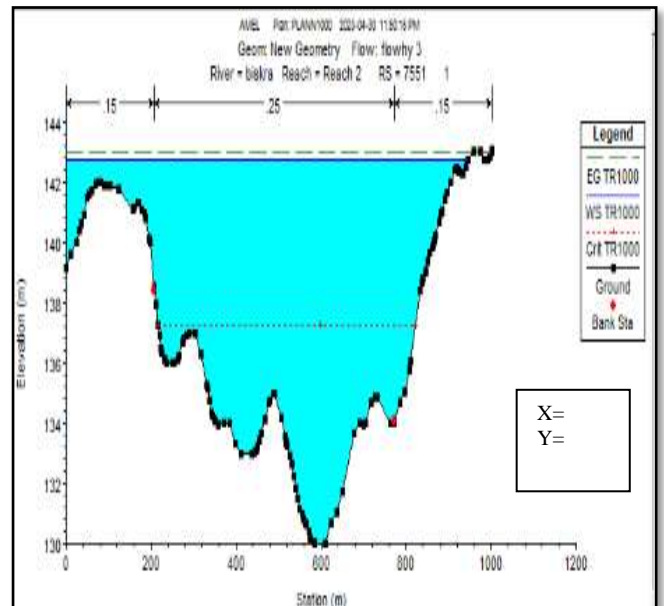
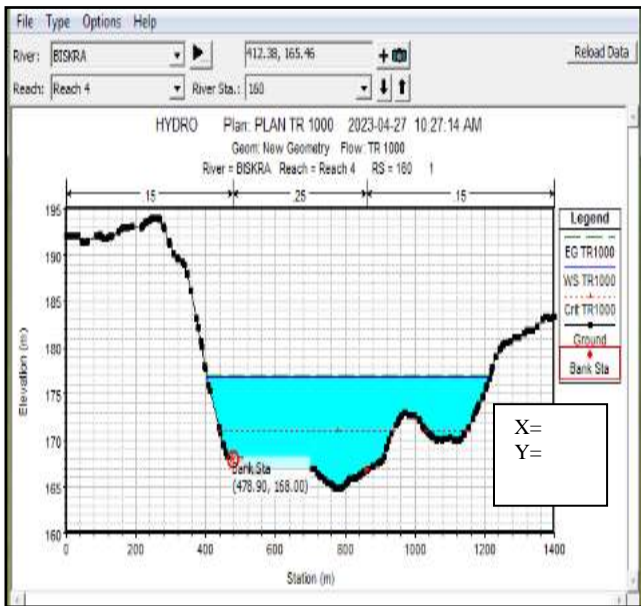


Fig. VII.20. Profil en travers (O. Biskra) amont (1000 ans). Fig. VII.21. Profil en travers (O. Biskra) (1000 ans).centre ville.

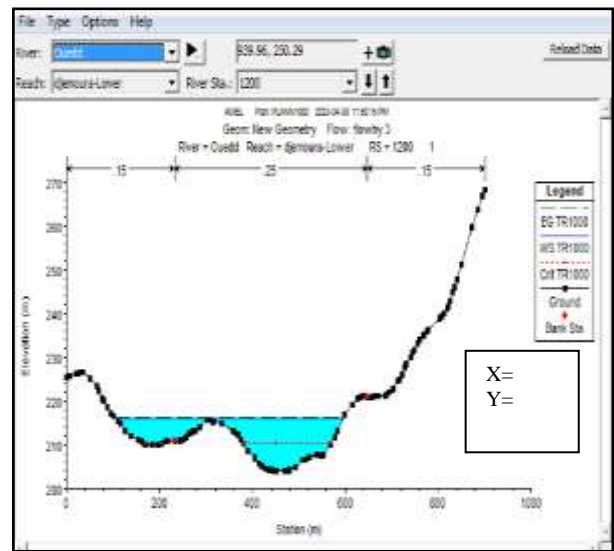
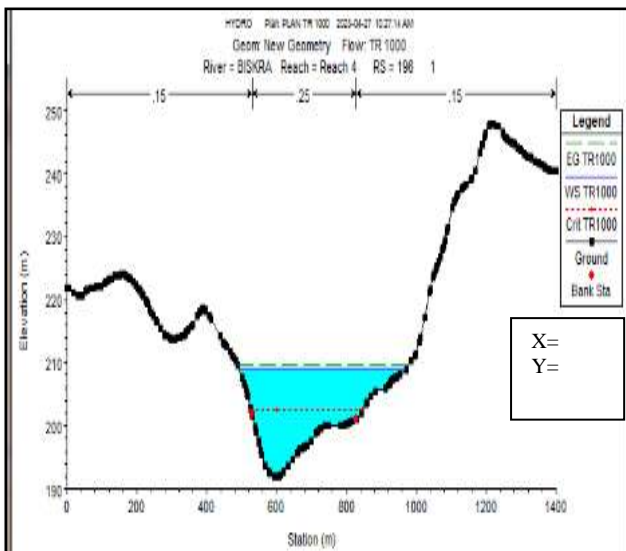


Fig. VII.22. Profil en travers (O.Biskra comp et Djemoura). (1000 ans). Fig. VII.23.Profil en travers O Djemoura _O El Hai. (1000 ans).

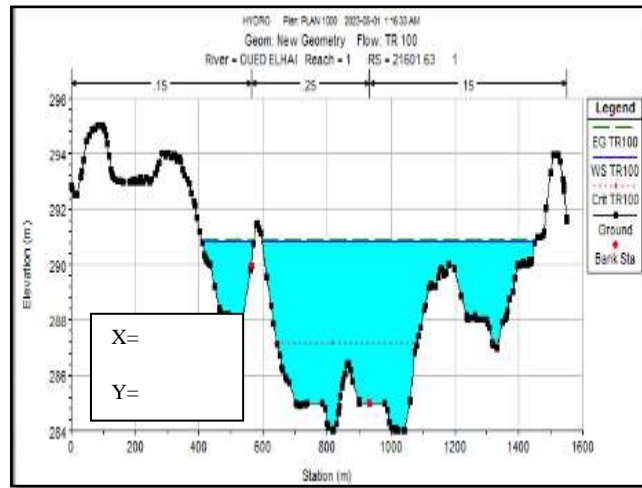


Fig. VII.24. Profil en travers (O. El Hai) (1000 ans).

Ainsi, on voit qu'au premier coup d'œil, notamment lors de la crue Q1000, les inondations sont importantes. Par conséquent, nous pouvons identifier les principales zones de débordement.

Les profils en long de oued Biskra et ses affluents pour une période de retour T=1000 ans, sont présentés dans les figures (Fig. VII.25, 26, 27, et 28).

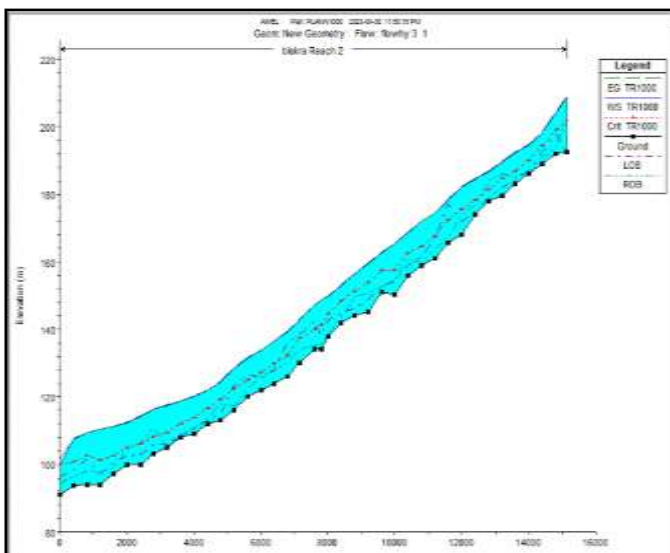


Fig. VII.25. Profil en long (O. Biskra). (1000 ans).

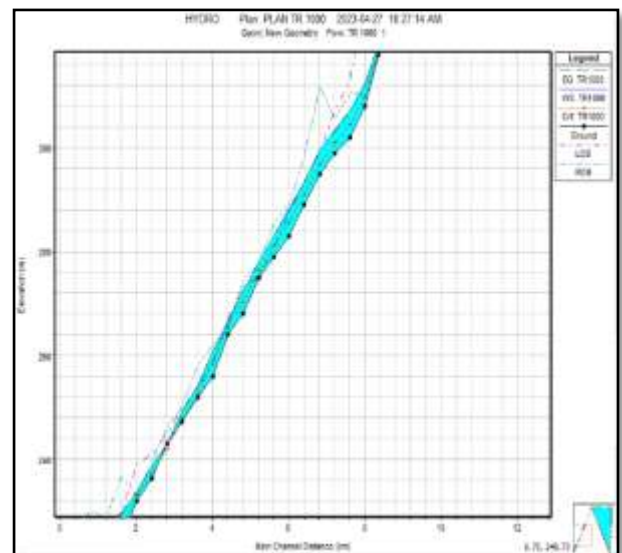


Fig. VII.26. Profil en long (O. Biskra comp).

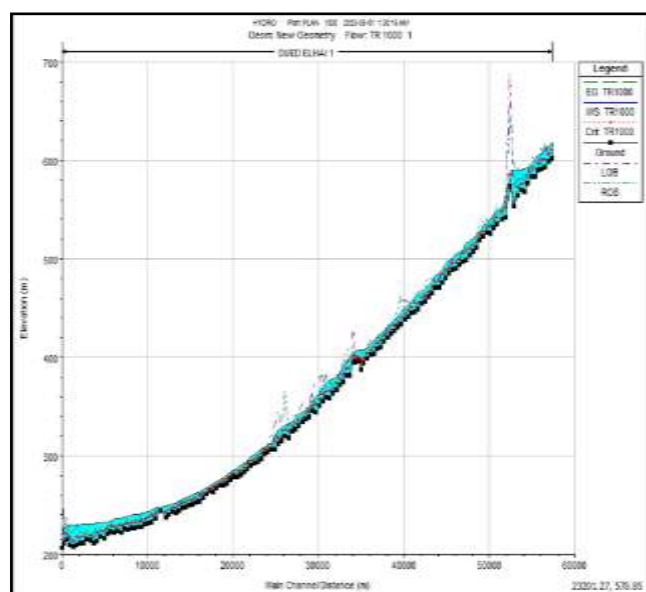
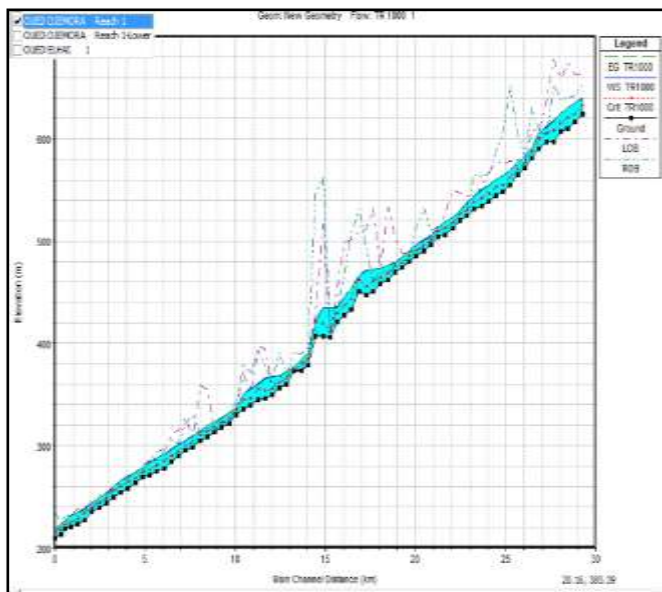
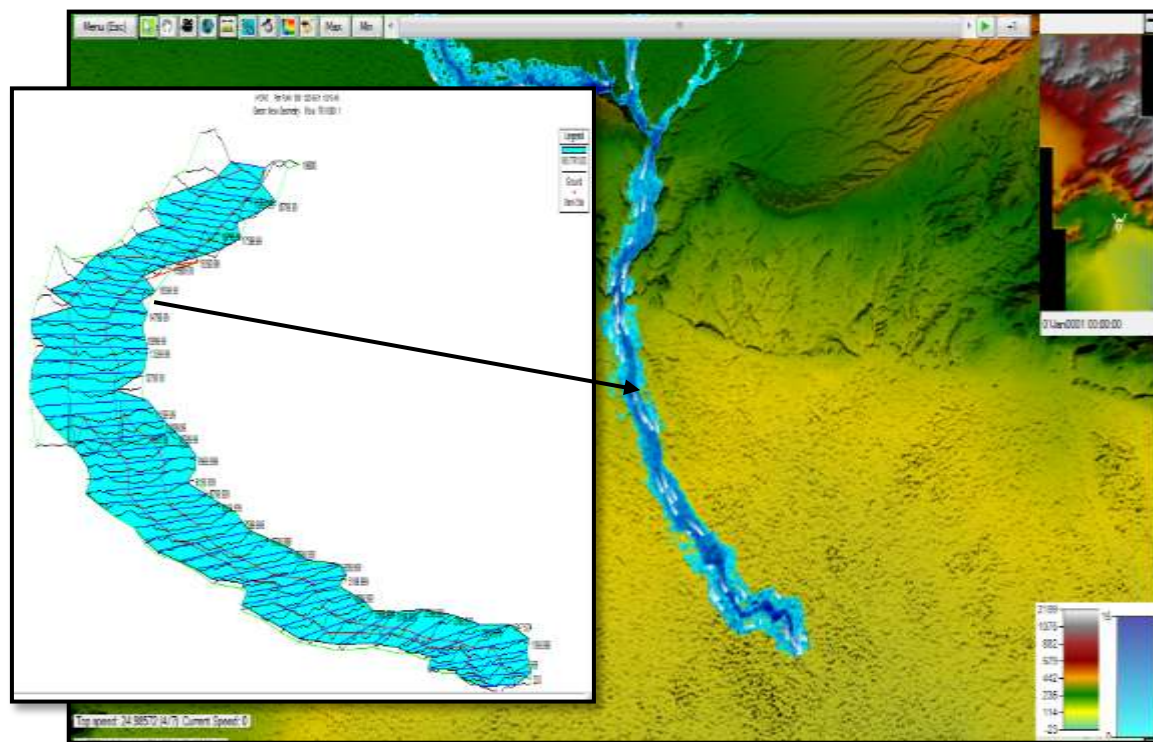


Fig. VII.27. Profil en long (O. Djemoura). (1000 ans). Fig. VII.28. Profil en long (O El Hai). (1000 ans).

VII.5.2 .1 Délimitation des zones inondables sur oued Biskra pour T=1000 ans.

La délimitation des zones inondables le long du cours d'eau de oued Biskra pour T= 1000 ans, avec un débit de 8929,7 m³/s ; se fera avec le logiciel HEC RAS (carte VII.09).



Carte. VII.09. Carte des zones inondables oued Biskra (crue millénaire).

Lors de la crue millénaire, les zones à enjeux majeurs sont significativement touchées par les submersions, soulignant la nécessité de leur protection.

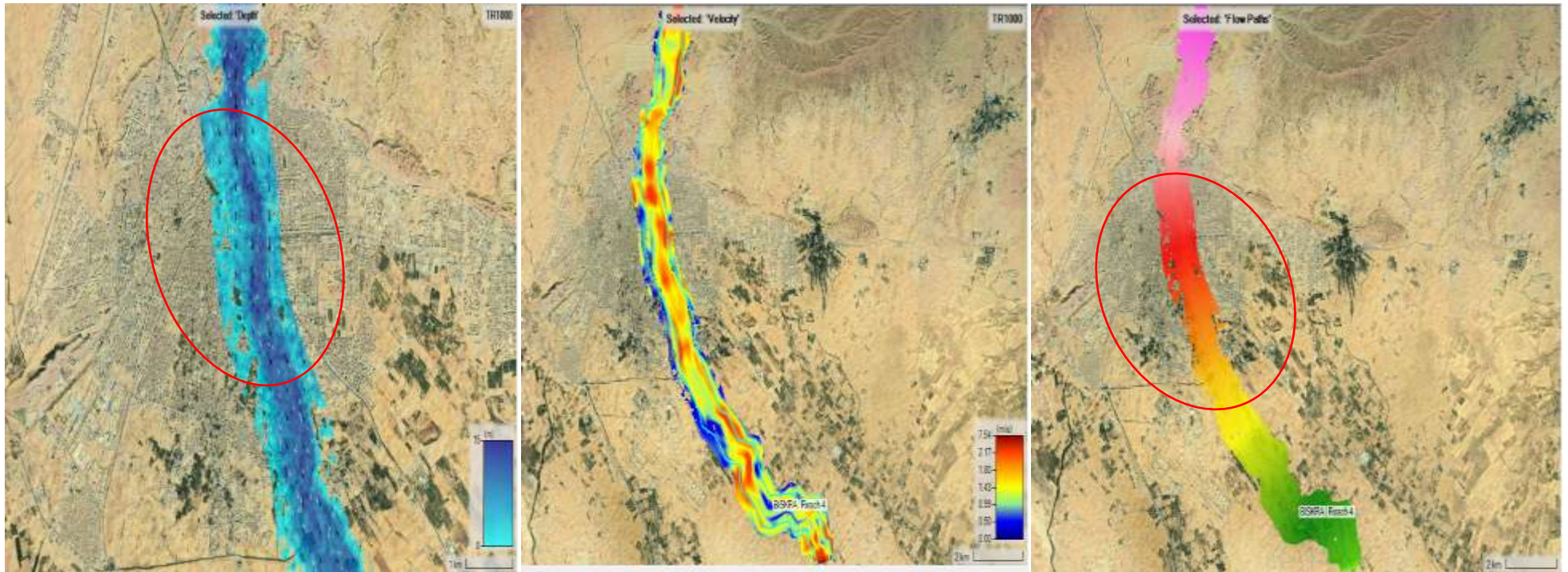
Les hauteurs d'eau dans le lit majeur, pour un débit de 8929,7m³/s, dépassent 2,50 m dans la zone urbaine et se situent entre 2,5 m et 4,5 m en amont de la ville.

Les vitesses dans le lit mineur sont élevées, atteignant parfois plus de 1 m/s, et dépassant 2 m/s à des profils importants. Dans le lit majeur, les vitesses restent modérées en moyenne ($0,5 \text{ m/s} < v < 1,5 \text{ m/s}$), mais peuvent être élevées dans certaines zones.

Il est souligné que la plupart des profils en travers ne sont pas suffisamment longs pour représenter pleinement l'étendue de l'inondation, car la limite du profil est considérée comme un mur par le logiciel lorsqu'elle est mouillée.

Pour obtenir des informations précises sur les limites de l'inondation, il est recommandé que les profils en travers se terminent sur des points spécifiques.

Carte .VII .10 donne la profondeur d'eau, la vitesse et la surface d'eau de la zone inondable sur l'Oued Biskra ; pour $T= 1000$ ans.



Profondeur d'eau T=1000 ans

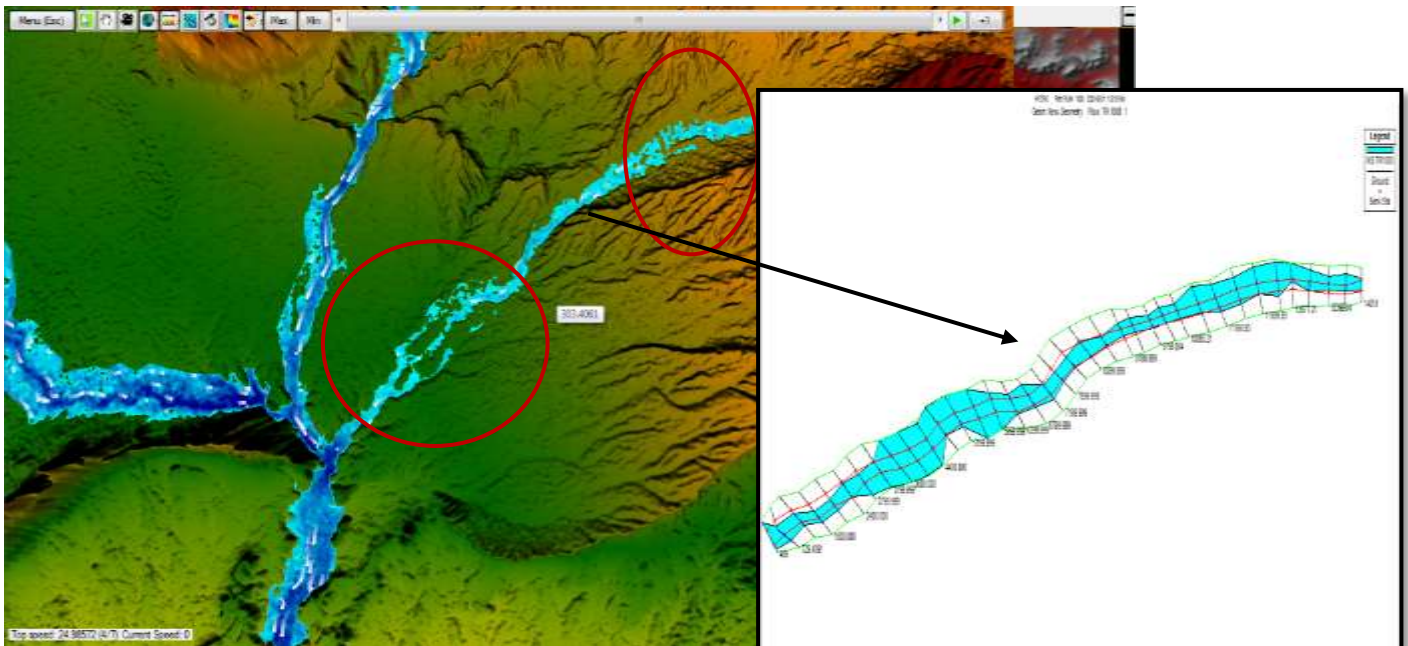
vitesse d'eau T=1000 ans

surface d'eau T=1000 ans

Carte. VII.10. Visualisation des zones inondables de oued Biskra T= 1000 ans.

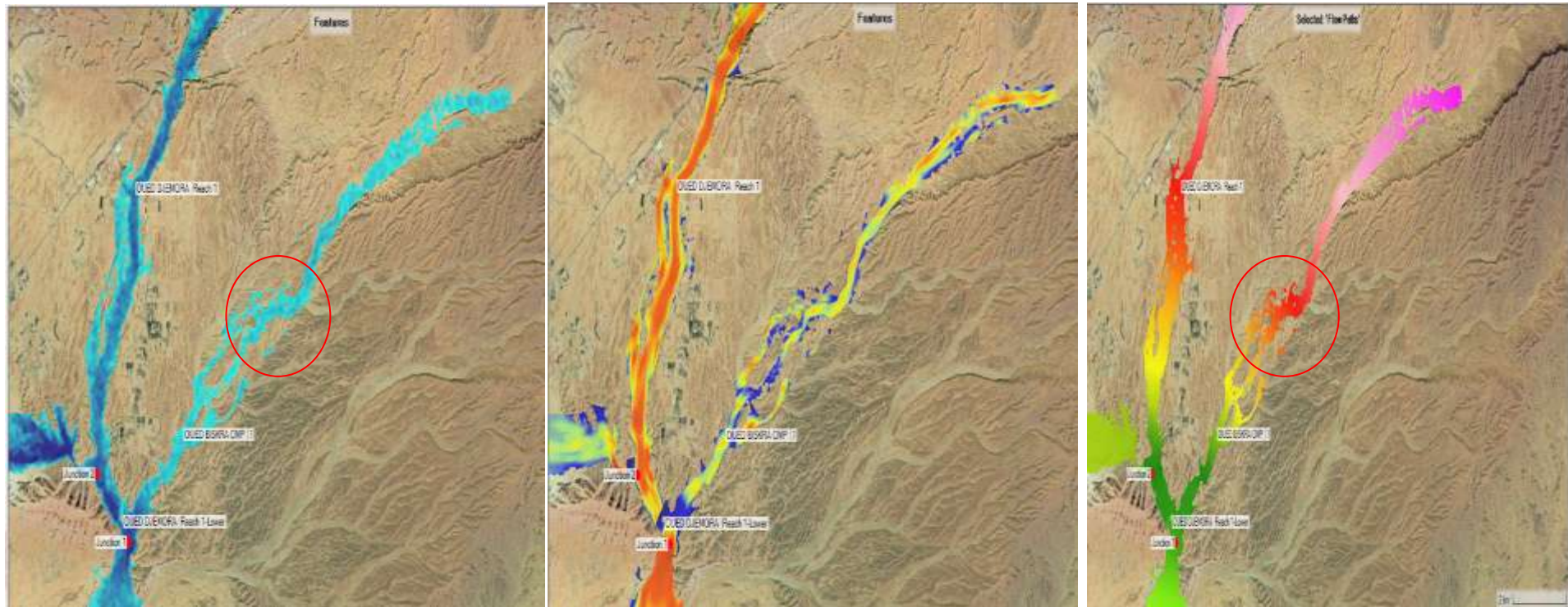
VII.5.2 .2 Délimitation des zones inondables sur oued Biskra complémentaire pour T=1000 ans

La délimitation des zones inondables le long du cours d'eau de oued Biskra complémentaire, pour la période de retour T= 1000 ans, avec un débit de $578.7\text{m}^3/\text{s}$, est présentée dans la figure suivante (Carte VII.11).



Carte. VII.11. Carte des zones inondables oued Biskra complémentaire (crue millénaire).

La Carte .VII.12 donne la profondeur d'eau, la vitesse et la surface d'eau de la zone inondable sur l'Oued Biskra complémentaire, pour T= 1000 ans.



Profondeur d'eau T=1000 ans

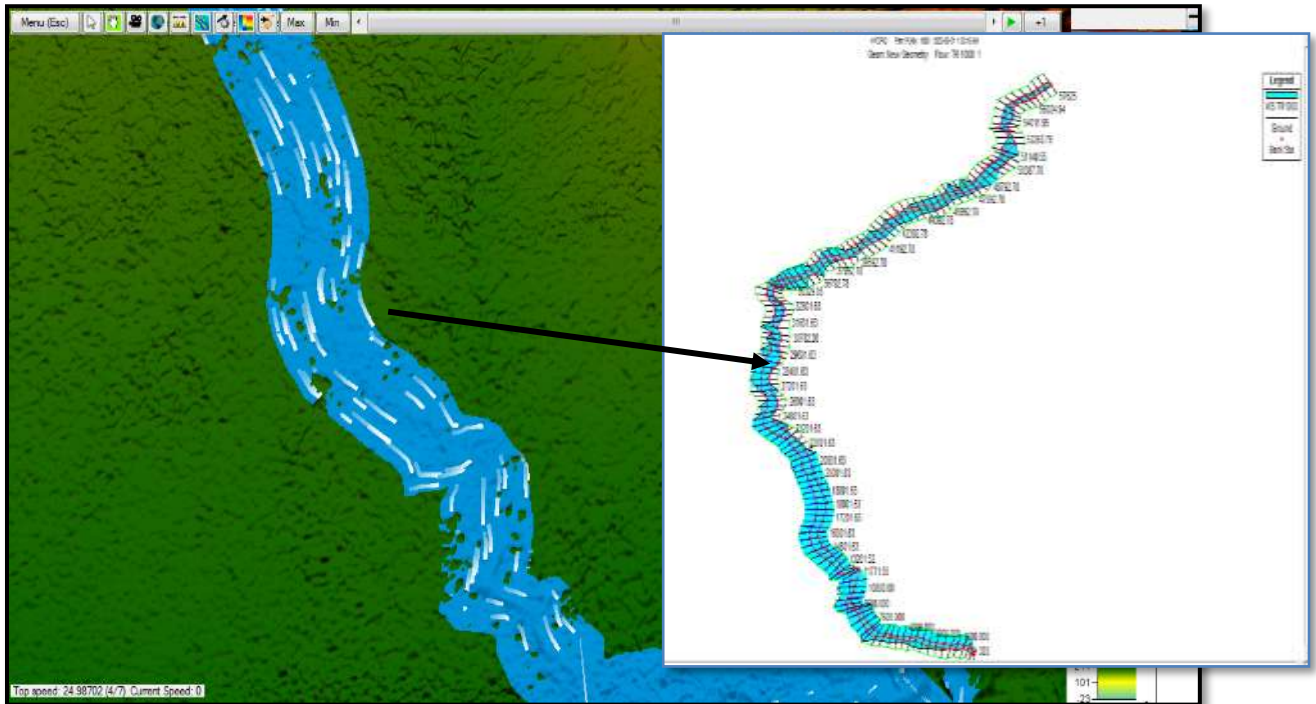
vitesse d'eau T=1000 ans

surface d'eau T=1000 ans

Carte .VII.12. Visualisation des zones inondables de oued Biskra Complémentaire T= 1000 ans.

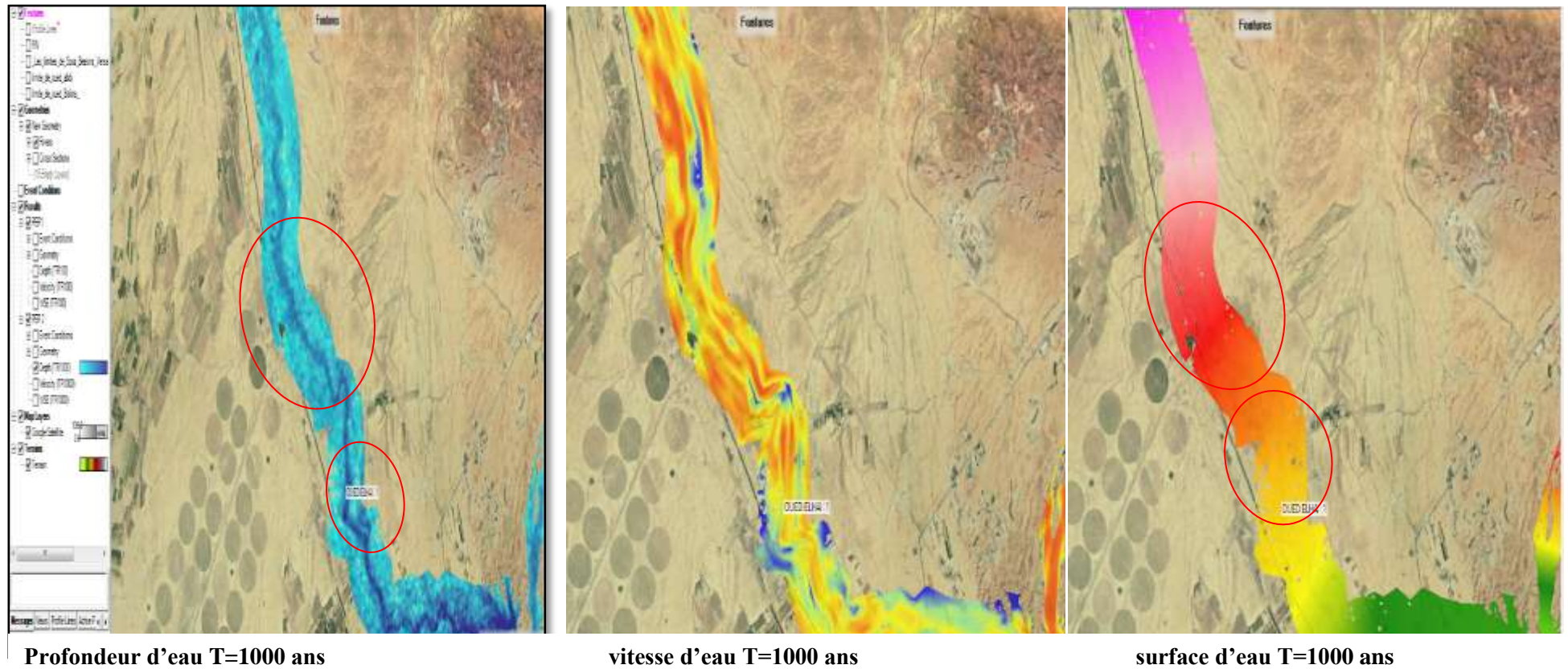
VIII.5.2 .3 Délimitation des zones inondables sur oued El Hai pour T=1000 ans.

La délimitation des zones inondables le long du cours d'eau de oued El Hai, pour la période de retour T= 1000 ans, avec un débit de $5765,9 \text{ m}^3/\text{s}$, est présentée dans la carte suivante (Carte VII.13).



Carte. VII.13. Carte des zones inondables oued El Hai (crue millénaire).

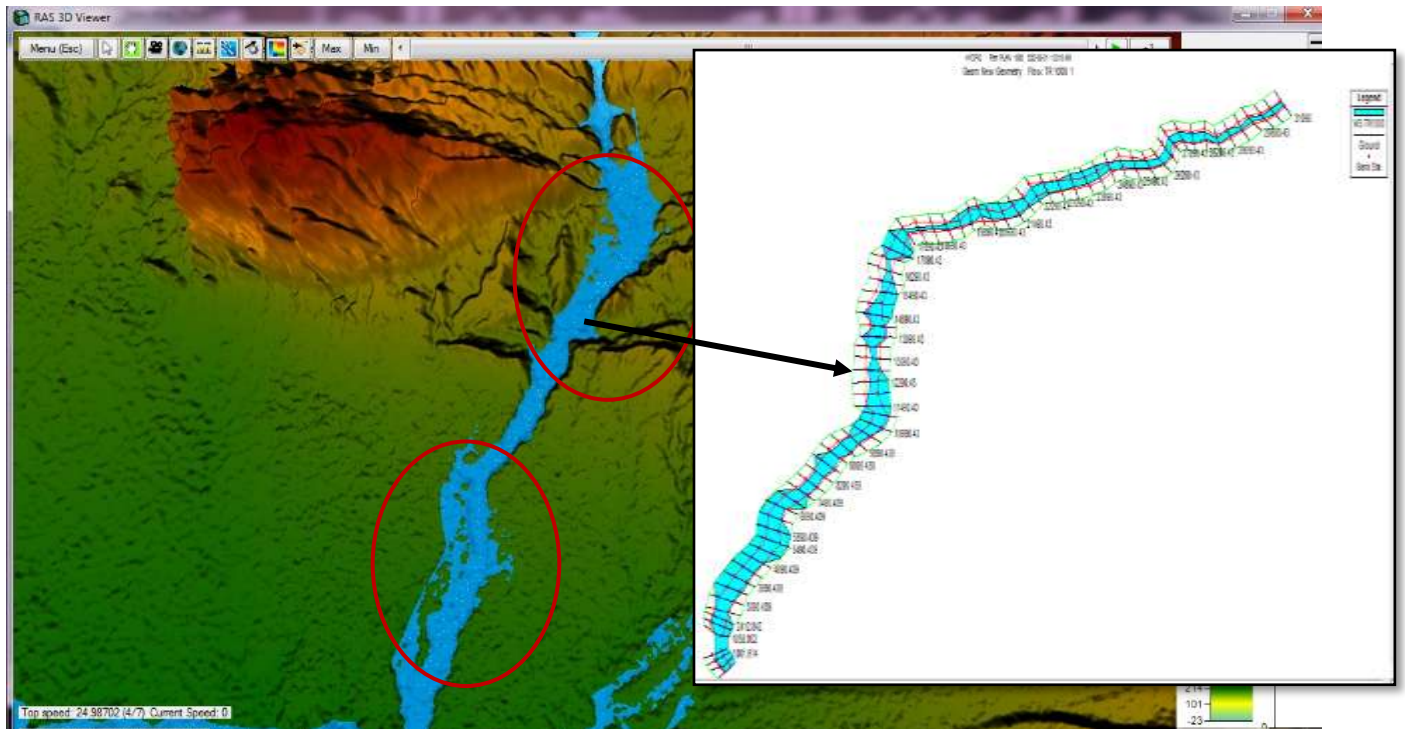
La Carte .VII.14 donne la profondeur d'eau, la vitesse et la surface d'eau de la zone inondable sur l'Oued El Hai, pour T= 1000 ans.



Carte .VII.14. Visualisation des zones inondables de oued El Hai T= 1000 ans.

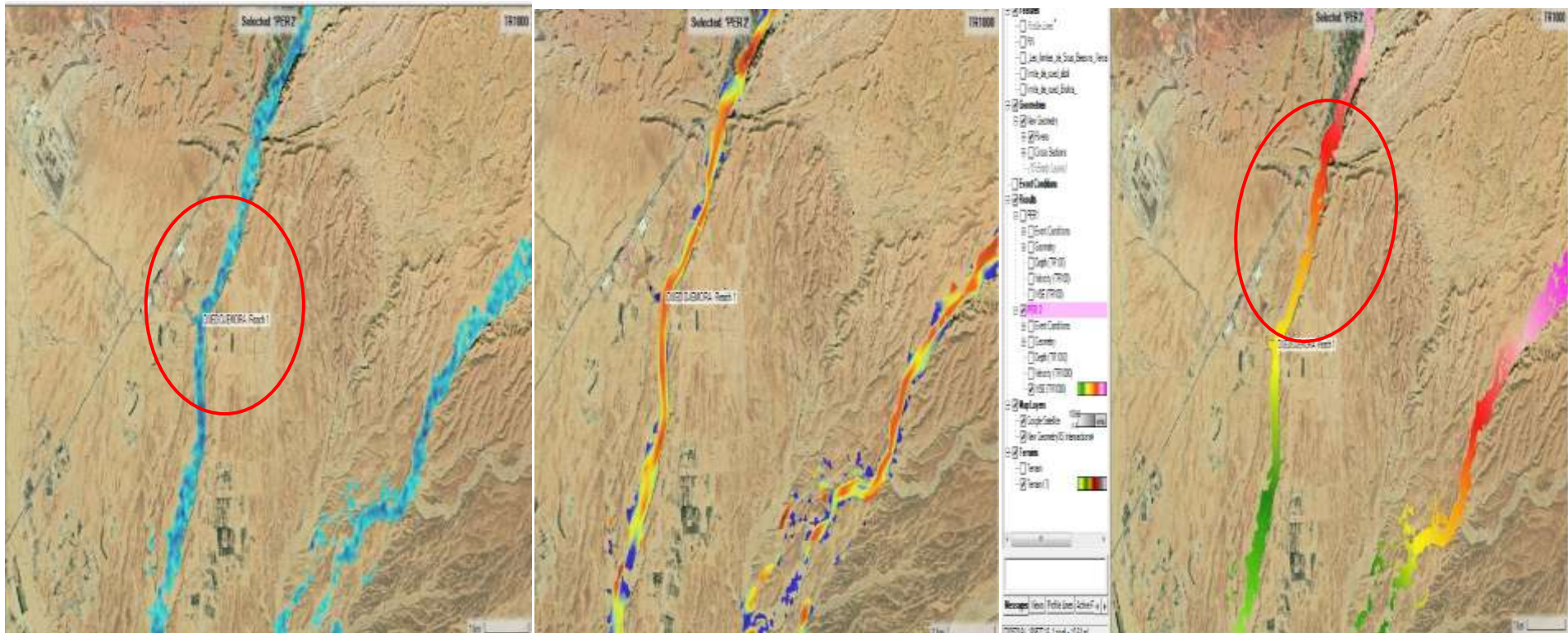
VII.5.2.4 Délimitation des zones inondables sur oued Djemoura pour T=1000 ans.

La délimitation des zones inondables le long du cours d'eau de oued Djemoura, pour la période de retour T= 1000 ans, avec un débit de $4675,4\text{m}^3/\text{s}$, est présentée dans la carte suivante (Carte VII.15).



Carte. VII.15. Carte des zones inondables oued Djemoura (crue millénaire).

Carte .VII.16 donne la profondeur d'eau, la vitesse et la surface d'eau de la zone inondable sur l'Oued Djemoura, pour T= 1000 ans.



Profondeur d'eau T=1000 ans

vitesse d'eau T=1000 ans

surface d'eau T=1000 ans

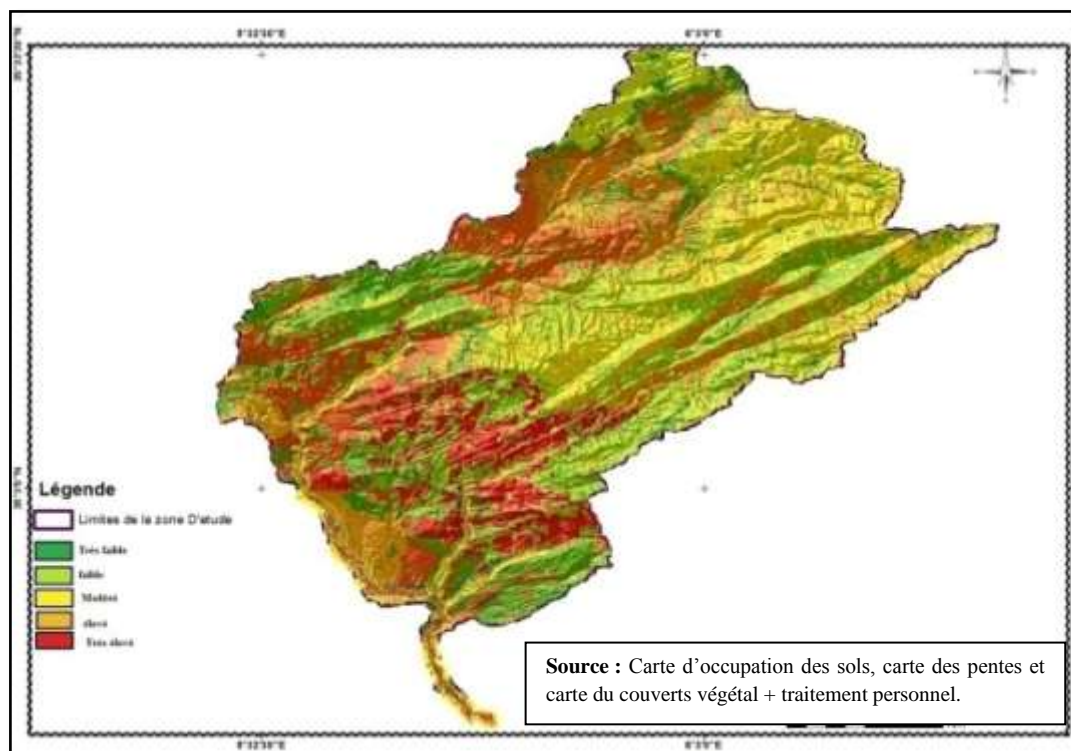
Carte. VII.16. Visualisation des zones inondables de oued Djemoura T= 1000 ans.

VII.6 Interprétations des résultats

La cartographie des menaces d'inondation révèle une extension de la plaine inondable lors de crues centennales et millénaires, affectant la zone centrale de la ville de Biskra. Les surfaces submergées varient selon les débits, avec des simulations montrant des variations des niveaux d'eau dépassant parfois 4 m à certains endroits. Malgré la hauteur des berges, les débordements sur les habitations persistent.

Les risques d'inondation en aval de la ville sont élevés, en particulier dans le sous-bassin d'El Hai, suivi par Oued Djemoura et Oued Biskra.

La carte VII.17 de vulnérabilité classe les zones en cinq niveaux (de 1 à 5) en fonction de l'occupation des sols, du couvert végétal et des pentes, fournissant une représentation visuelle claire des zones à risque pour guider la mise en œuvre de mesures de gestion et de prévention appropriées.



Carte. VII.17. Carte de vulnérabilité aux inondations dans le bassin versant de oued Biskra.

La répartition des classes de vulnérabilité dans le bassin versant d'Oued Biskra, montre une prédominance des zones à vulnérabilité élevée à très forte, couvrant environ 60% de la superficie. Ces zones se situent principalement le long du lit mineur et aux points les plus bas du lit majeur, comme illustré dans la carte VII.17.

Dans des zones spécifiques telles que le bassin de Oued El Hai à El Kantara, la rive droite de l'oued Abdi et la partie sud du bassin de Oued Biskra (intersection des trois sous-bassins), la vulnérabilité est encore plus forte. Ces zones, caractérisées par des terrains plats et une imperméabilité significative, représentent des zones sensibles aux risques.

Environ 31% de la superficie totale appartient à une classe de vulnérabilité moyenne, incluant la partie du bassin de Oued Djemoura et la partie nord du bassin de Oued Biskra. Cette vulnérabilité

moyenne est attribuée à une imperméabilité modérée à faible et à un couvert végétal moyennement dense, avec des pentes moyennes qui empêchent l'eau de stagner.

Enfin, la classe de faible vulnérabilité, couvrant environ 9% de la superficie totale du bassin, concerne des zones principalement dédiées à l'agriculture céréalière. Ces zones présentent une forte perméabilité en raison d'une pente significative et sont localisées au sud d'El Outaya, Ain Touta, et au nord des tamarins.

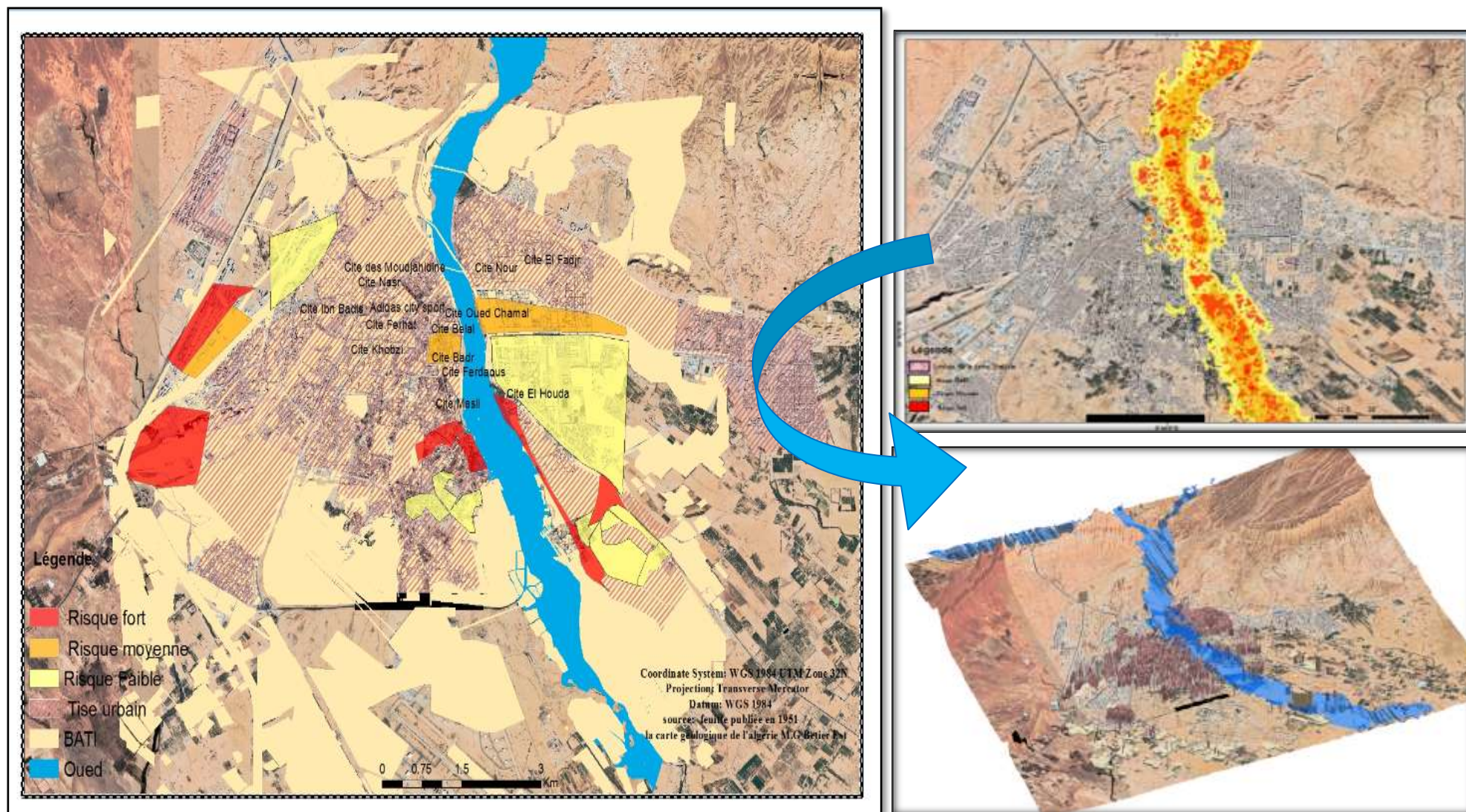
VII.7. L'importance de la cartographie des inondations

La carte de risque d'inondation a été conçue pour la ville de Biskra, dont le but de montrer le risque d'inondation dans cette ville à trois niveaux : (voir les figures VII.18).

a. Zones à risque faible (25% de la surface totale) : Risque très faible ou inexistant, illustré en jaune. Notable dans des zones densément peuplées et anciennes comme Ben Badis, Al Alia, Salem, Dalia, Zhun Ouest, et El Outaya.

b. Zones à risque moyen (16% de la surface totale) : Risque modéré, indiqué en orange, incluant certains quartiers d'urbanisation récente comme Quartier 726, Haret El Oued, Route de Touggourt, Sidi Barket, Zhun Est, et zones d'équipement.

c. Zones à risque élevé (59% de la surface totale) : Risque important ou fréquent, signalé en rouge. Inclut le 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. Caractérisé par le grand risque de l'oued Biskra, le lit moyen de l'oued Z'mor, et les zones proches des lits d'oueds.



Carte. VII.18. Carte des risques d'inondations et vue en 3D de la ville de Biskra.
(HEC RAS, ARC GIS, image satellitaire +traitement personnel).

- **Analyse des résultats**

Pour évaluer la fiabilité des résultats du logiciel, nous nous basons sur les données qualitatives de l'Agence de la gestion intégrée des ressources en eau. Ces données traduisent les niveaux de risque d'inondation en trois catégories distinctes. Cette approche qualitative a permis une évaluation numérique des résultats obtenus par le logiciel. (Voir tableau VII.04).

Tableau VII.04: Zones exposées aux risques d'inondation dans la ville de Biskra.

Classification des zones	Zones et quartiers
Milieus menacés par le risque d'inondation	Centre-Ville, Sidi Ghazel, Vieux Biskra, Bab ElDareb, Beb el Fath, Quartier de la rive droite deoued Biskra, Quartier de la rive droite Quatier Feliache et El Houda.
Milieus risque d'inondation modéré	Quartier 726, Haret El Oued, Route ee Tougourt, Sidi Barket, Zhune Est et Zones D'équipement
Milieus relativement non inondables	Ben Badis, El Alia, Quartier Salem, QuartierDalia et Zhune Ouest.

En se fondant sur le tableau et la cartographie des risques d'inondation, une évaluation de la fiabilité de la carte a été effectuée en comparant les données du logiciel avec celles de l'Agence de la gestion intégrée des ressources en eau (AGIRE). Cette comparaison révèle une concordance entre certaines zones inondables identifiées par le logiciel et celles repérées comme à risque par l'AGIRE.

Les zones les plus exposées comprennent le centre-ville de Biskra et Haret El Oued le long des rives de l'Oued, ainsi que Beb El Dareb et Sidi Ghazel légèrement à l'ouest de la rive droite, expliquant leur niveau élevé de menace. En revanche, l'accès au quartier Ben Badis est classé à faible risque environnemental, ce qui suggère que le logiciel ne prévoit pas d'inondation pour cette région.

Cette comparaison renforce la confiance dans les performances du logiciel HEC-RAS, indiquant une concordance avec les données de l'AGIRE.

Conclusion

L'utilisation de l'outil avancé de modélisation hydraulique HEC-RAS a permis la création et l'étude d'un modèle hydraulique du tronçon de l'Oued Biskra. Ce modèle offre un diagnostic détaillé de la zone pour différents événements hydrauliques, calculant le niveau d'eau et déterminant le débordement. Les résultats indiquent qu'une crue centennale pourrait submerger l'Oued Biskra avec une hauteur d'eau moyenne de 2,00 m et un débit de 5142,8 m³/s.

La carte de vulnérabilité aux inondations devient une référence cruciale pour les services d'ingénierie municipale et de wilaya, facilitant la protection contre le risque d'inondation.

L'analyse comparative entre les résultats du logiciel HEC-RAS et l'étude des zones à risques induites par AGIRE renforcent la crédibilité de HEC-RAS, démontrant sa capacité à produire des résultats réalistes. Les zones riveraines de la rivière Biskra sont identifiées comme les plus vulnérables en raison des crues torrentielles du bassin versant O. Biskra, accentuées par la topographie et l'insuffisance du réseau d'assainissement.

Bien que le phénomène des inondations persiste indéniablement dans cette zone, des solutions seront exposées dans le chapitre suivant.



***Chapitre VIII : Les travaux d'aménagement et les
moyens de protections proposées.***



Introduction

Pour lutter contre les inondations, il existe différentes stratégies visant à réduire l'aléa (probabilité d'occurrence des crues) et la vulnérabilité des territoires. Réduire l'aléa peut se faire par des aménagements hydrauliques régulant les débits. Réduire la vulnérabilité implique de limiter l'urbanisation dans les zones à risque.

Une approche multifactorielle combinant diverses solutions à l'échelle d'un bassin versant est nécessaire. La lutte contre les inondations repose aussi sur une gouvernance partagée entre acteurs publics et citoyens.

Les principales stratégies et mesures permettant de lutter efficacement contre les inondations dans le bassin versant de Oued Biskra et la ville, seront détaillées par la suite.

VIII.1 Proposer des solutions d'aménagement pour la zone d'étude

Suite aux simulations effectuées sur l'Oued Biskra, cinq zones inondables ont été identifiées, classées par ordre de sévérité :

1. Premier pont de la ville (photo VIII.01) : Cette zone est particulièrement vulnérable. De plus, la présence d'une digue du côté droit ne suffit pas à protéger la ville, mettant ainsi toute cette zone à risque d'inondation.
2. Poste de Sonalgaz : Une probabilité élevée d'inondation est associée à ce site, posant ainsi un deuxième problème critique.
3. Palmeraie devant l'entrée de la ville sur la rive gauche : représentant le troisième point clé à risque d'inondation.
4. Pont n°01 sur pieu (en construction) à l'entrée de la ville : ce point devant le pont en construction présente un quatrième niveau de risque.
5. Rive droite du pont n°02 : une autre zone sensible à l'inondation.

Ces résultats soulignent la nécessité d'une gestion proactive des risques d'inondation dans ces zones identifiées, mettant en lumière les points critiques à prendre en considération pour renforcer la résilience de la ville face aux crues potentielles de l'Oued Biskra.



Photo VIII.01 : Inondation oued Biskra 19 mai 2018.

Pour réduire les inondations et atténuer les dommages potentiels aux personnes et aux biens le long de l'Oued Biskra, plusieurs améliorations structurelles sont suggérées.

Ces suggestions émanent d'analyses détaillées indiquant que l'eau s'écoule des berges, simulant les crues centenaires et millénaires de l'oued Biskra et de ses affluents dans la plupart des cas.

Les principaux domaines d'atténuation proposés, pour maintenir les eaux de crue dans des limites acceptables le long de l'Oued Biskra sont les suivants :

VIII.2 Solution pour la crue centennale (période de retour 1/100)

Pour prévenir la crue centennale dans les zones urbaines, trois types d'aménagements sont préconisés :

VIII.2.1 Surélévation du premier pont busé de la ville sur pieu

La surélévation du premier pont busé de la ville sur pieu est préconisée pour atténuer le risque d'inondation. Actuellement, ce pont limite le débit à $2100 \text{ m}^3/\text{s}$, mettant toute une zone de la ville en danger, malgré la présence d'une digue du côté droit. La proposition consiste à le remplacer par un autre

pont sur pieux, tout en surélevant sa structure de 0,5 à 1 mètre.

Il est recommandé de remplacer et surélever ce pont busé par un nouvel ouvrage adapté au transit de la crue de 5000 m³/s, afin de lever le verrou hydraulique qu'il représente actuellement sur le parcours de la crue centennale.

Cette modification vise à éliminer l'obstacle majeur lors de la crue centennale, permettant ainsi une gestion plus efficace du débit, et réduisant les risques d'inondation dans la zone urbaine.

VIII.2.2 Recalibrer le lit de l'oued

En vue des défis actuels liés à l'état du fond de l'oued, caractérisé par des plaines de dépôts de terre entravant l'écoulement des crues centennales, et augmentant le niveau de l'eau, une solution complète est préconisée.

Celle-ci inclut le recalibrage et le nettoyage du fond de l'oued, visant à éliminer les obstacles et à faciliter le passage des crues.

De plus, il est recommandé d'installer un drain central, tel qu'une cunette, pour les petits débits, assurant ainsi un écoulement optimal. Cette approche globale a pour objectif d'améliorer la capacité de l'oued à gérer les crues, réduisant ainsi les risques d'inondation et favorisant un écoulement plus efficace.

VIII.2.3 Protection des berges

Voici un résumé des solutions proposées après le remplacement du premier pont et le recalibrage du lit de l'oued :

Malgré ces aménagements, des zones comme la Sonalgaz, la palmeraie et les rives de l'oued restent exposées aux débordements de la crue centennale.

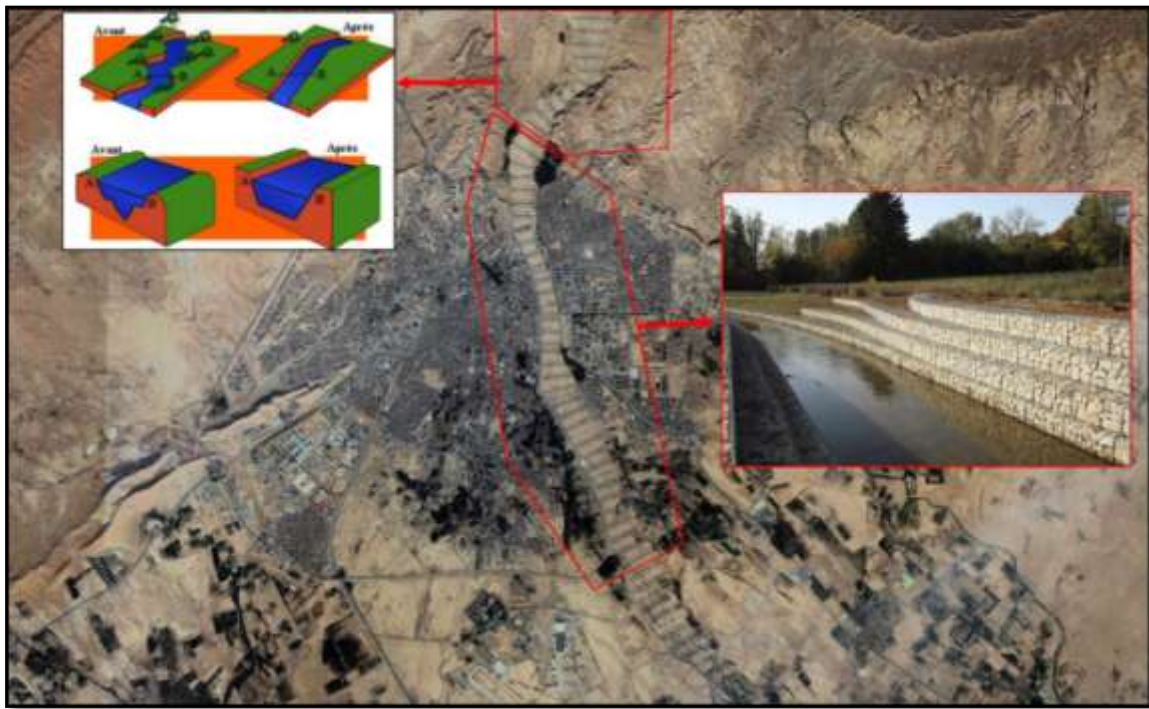
Pour les protéger, des digues de protection sont nécessaires. Dans les zones urbaines proches du centre ville, des digues en béton sont recommandées pour une protection optimale.

Dans les zones où l'oued est plus large, des digues en gabions (cages métalliques remplies de pierres) sont une solution plus économique.

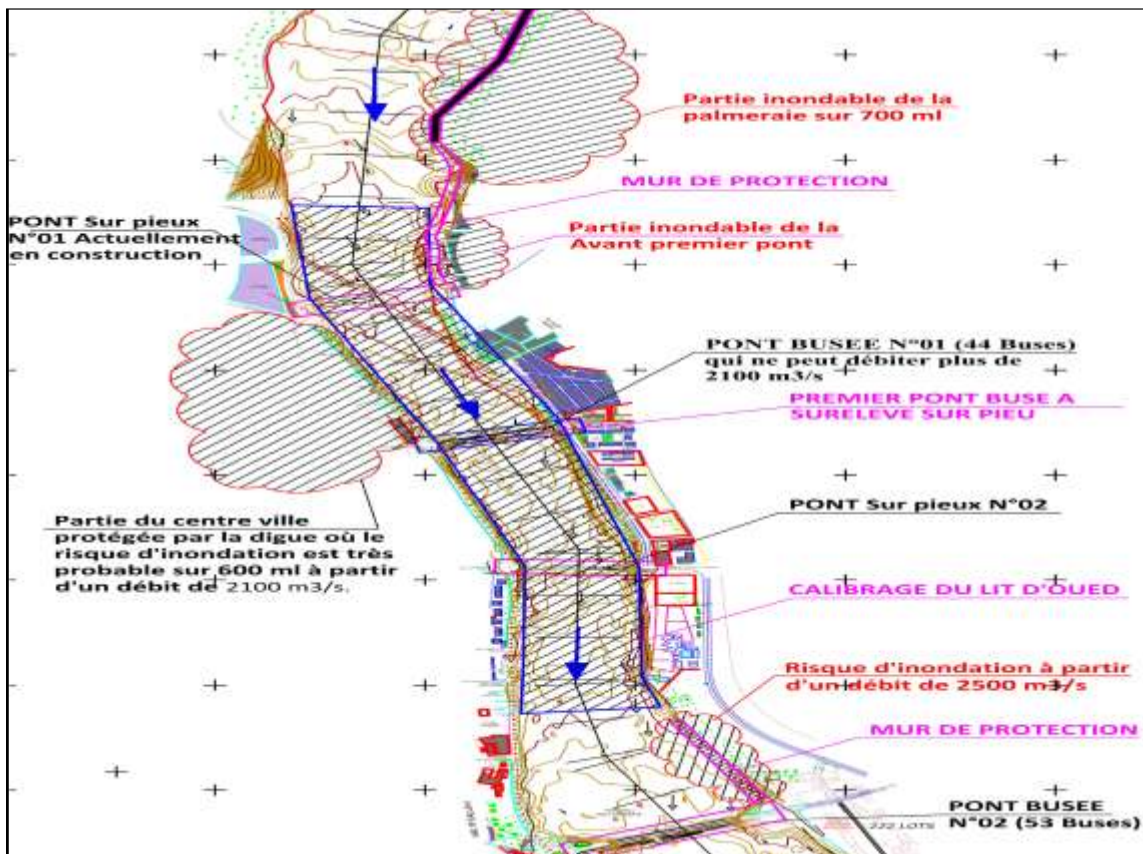
Ces digues permettront de sécuriser des enjeux importants comme la Sonalgaz, la palmeraie, ainsi que les berges devant le premier pont et au niveau du quatrième pont.

En résumé, le recalibrage de l'oued, et le remplacement du pont doivent être complétés par des digues de protection en béton ou gabions selon les secteurs, afin de se prémunir totalement contre les débordements de la crue centennale.

En vue de l'aménagement de la portion de l'oued Biskra traversant le tissu urbain sur environ 6 km, l'utilisation d'un mur en gabion est préconisée. Cette recommandation tient compte de la disponibilité de la matière première et des coûts de réalisation moins élevés par rapport à un mur en béton armé. Opter pour un mur en gabion offre une solution économique et efficace pour renforcer la protection contre les crues, assurant ainsi la durabilité de l'oued à travers le tissu urbain. (Carte VIII.01 et 02).



Carte VIII.01. Aménagement d'oued Biskra traversant la ville par des murs de gabions en pierre.



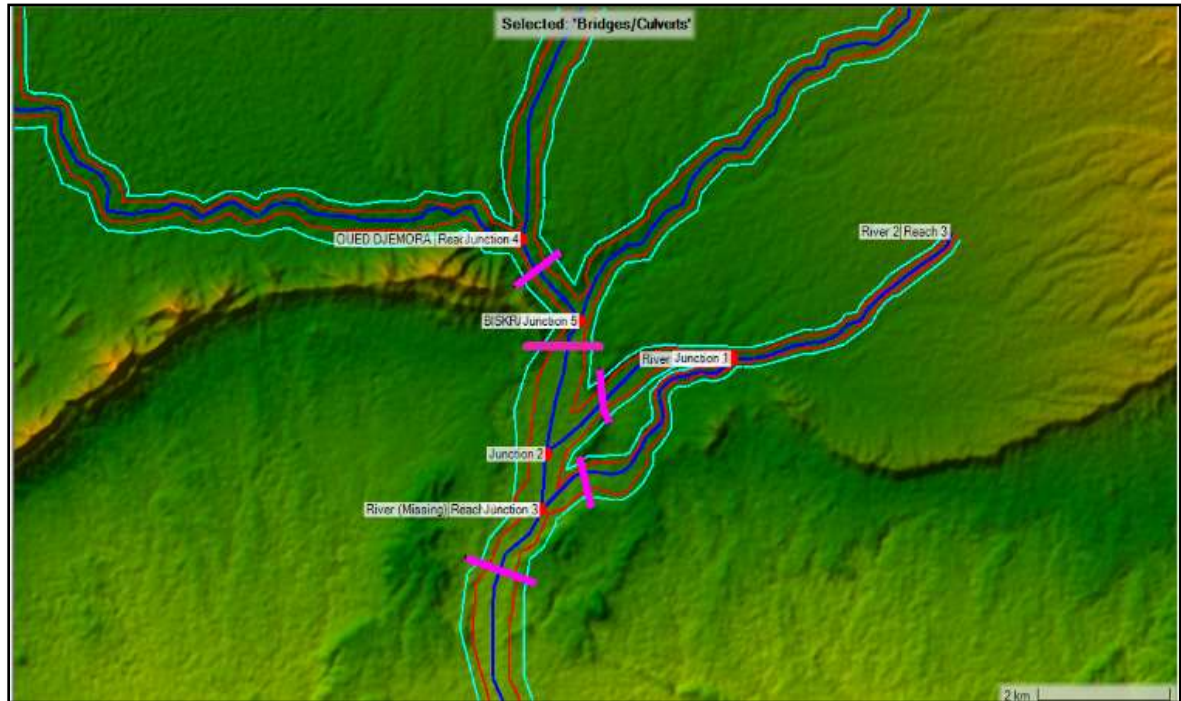
Carte VIII.02. Vue générale des Aménagements proposés pour la crue centennale.

VIII.3. Solution pour la crue millénaire (période de retour 1/1000)

Face aux crues avec une période de retour de 1/1000, la solution optimale se situe à 4 km en amont de la ville, à l'intersection des trois bassins versants.

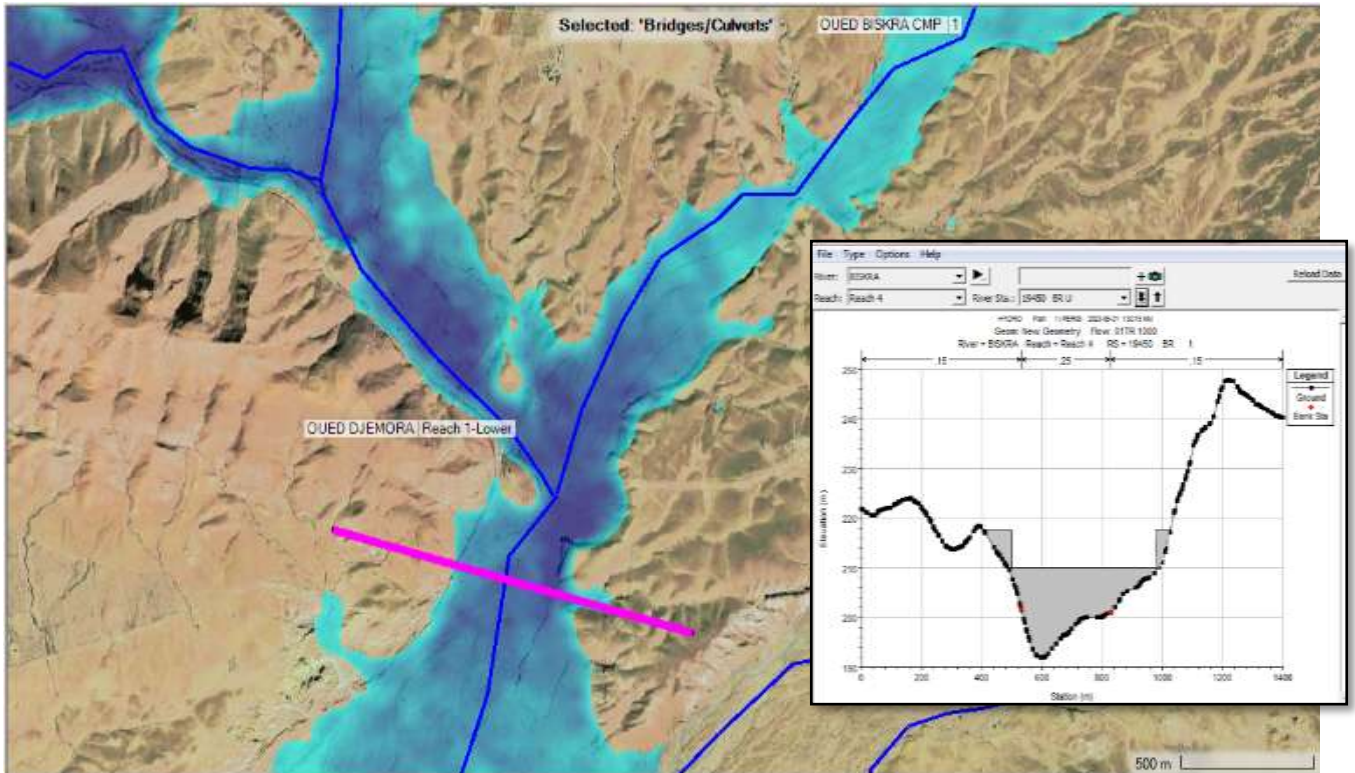
Pour renforcer la protection, il est recommandé de construire cinq digues le long de cinq axes d'oueds principaux, assurant ainsi une défense stratégique contre les crues sur l'ensemble du réseau hydrographique.

Cette approche vise à anticiper et à minimiser les risques d'inondation, offrant une solution robuste face aux événements extrêmes. (Carte VIII.03).



Carte VIII.03. Positionnement des digues en amont de la ville.

1. La première sur oued Djemoura (après l'intersection de celui la avec oued Biskra complémentaire). (voir Carte VIII.04 et figure VIII.01).



Carte. VIII.04 Digue sur oued Djemoura _oued Biskra complémentaire avec profil en travers.

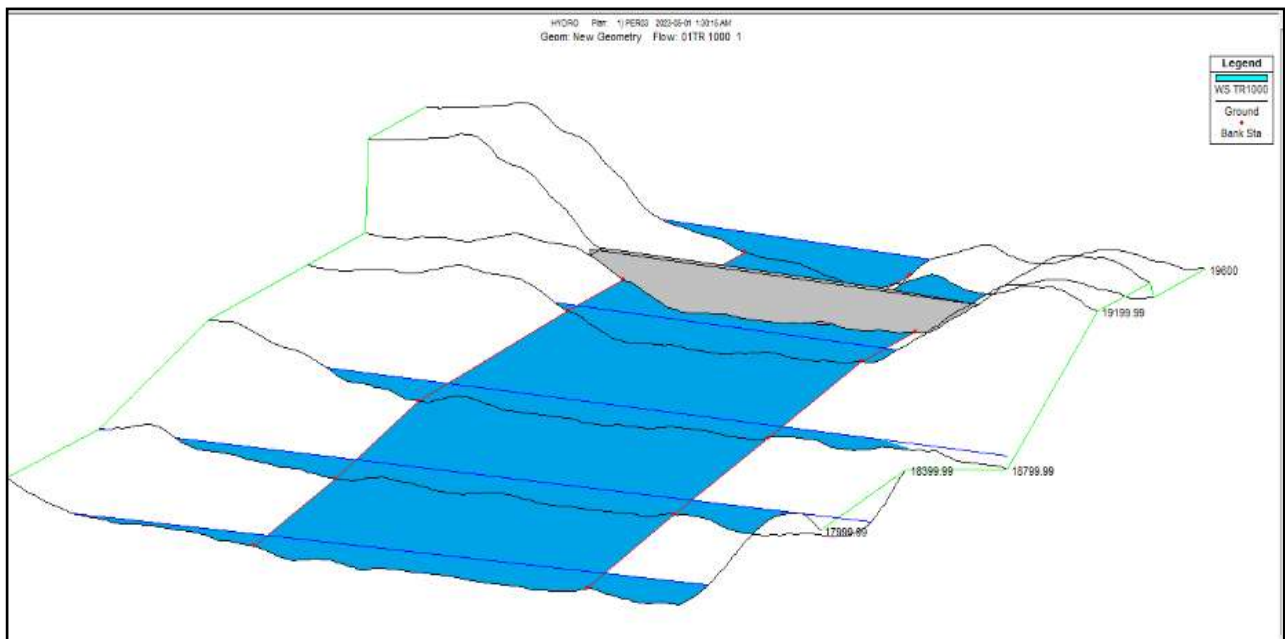


Fig. VIII.01. Digue sur oued Djemoura _oued Biskra complémentaire en 3D.

2. La deuxième sur oued Djemoura (après l'intersection de celui la avec oued El Hai. (voir figures VIII.02).

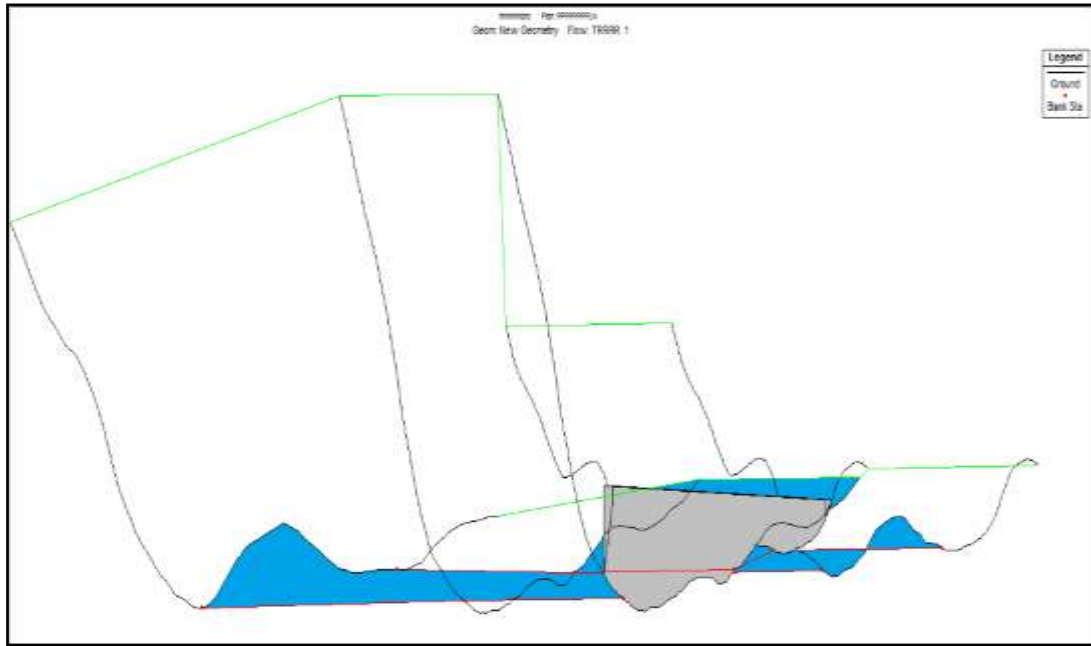


Fig. VIII.02. Digue sur oued Djemoura _oued El Hai.

3. La troisième sur un petit oued (oued Besbas) (après oued Biskra complémentaire). (voir figure VIII.03).

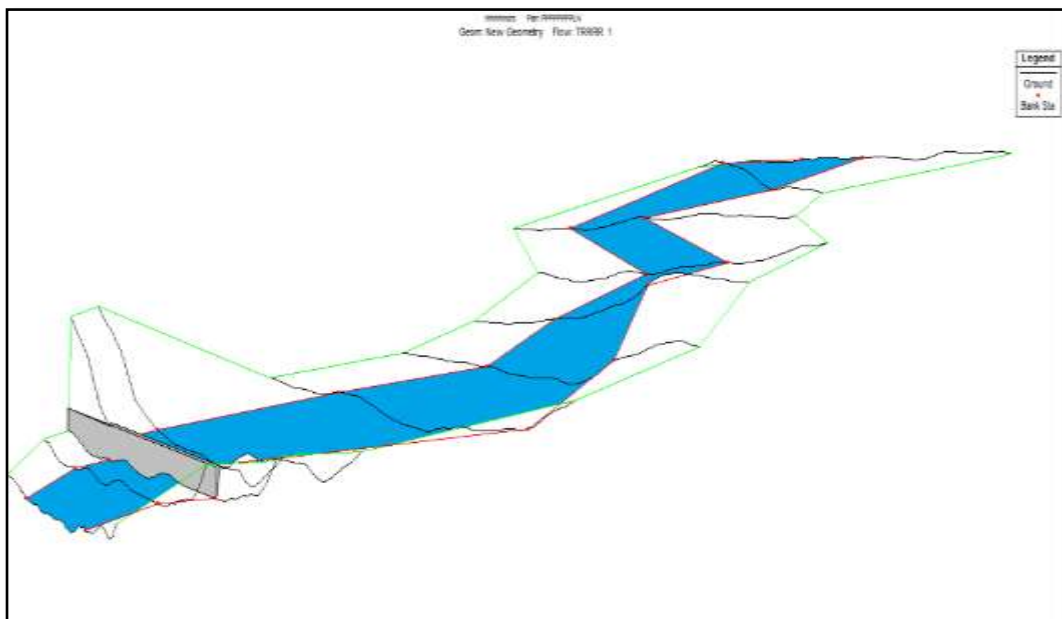


Fig. VIII.03. Digue sur oued Besbes _oued Biskra complémentaire en 3D.

4. La quatrième sur oued Biskra complémentaire (après l'intersection d'oued Biskra complémentaire et oued Lafrah). (voir figure VIII.04).

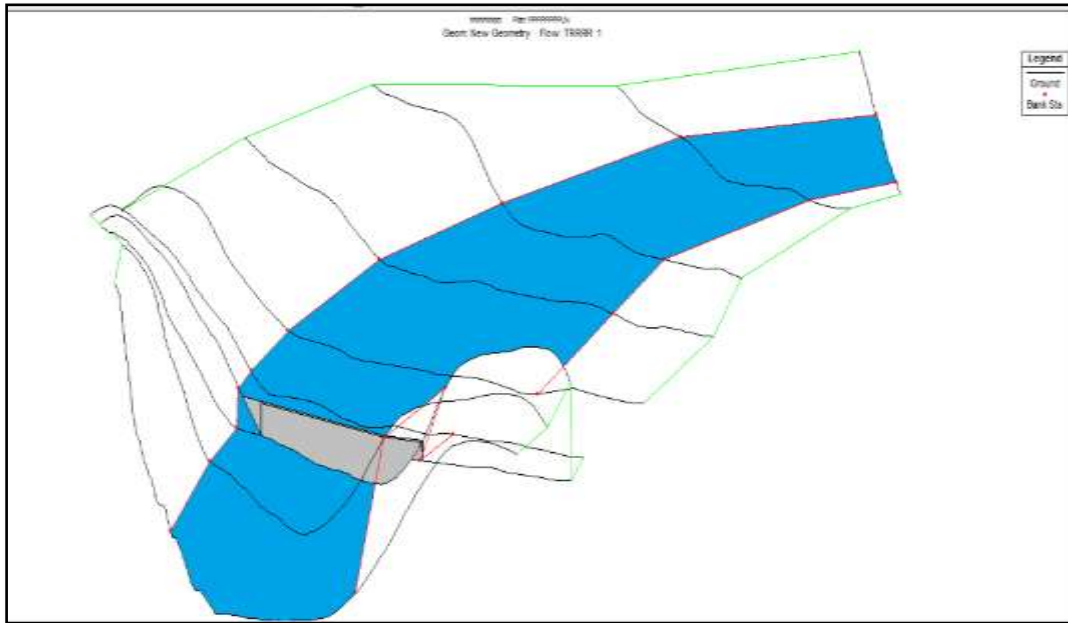


Fig. VIII.04. Digue sur Biskra complémentaire _oued Lafrah en 3D.

5. Et la cinquième sur oued Biskra (Avant l'entrée de la ville), (voir figure VIII.05).

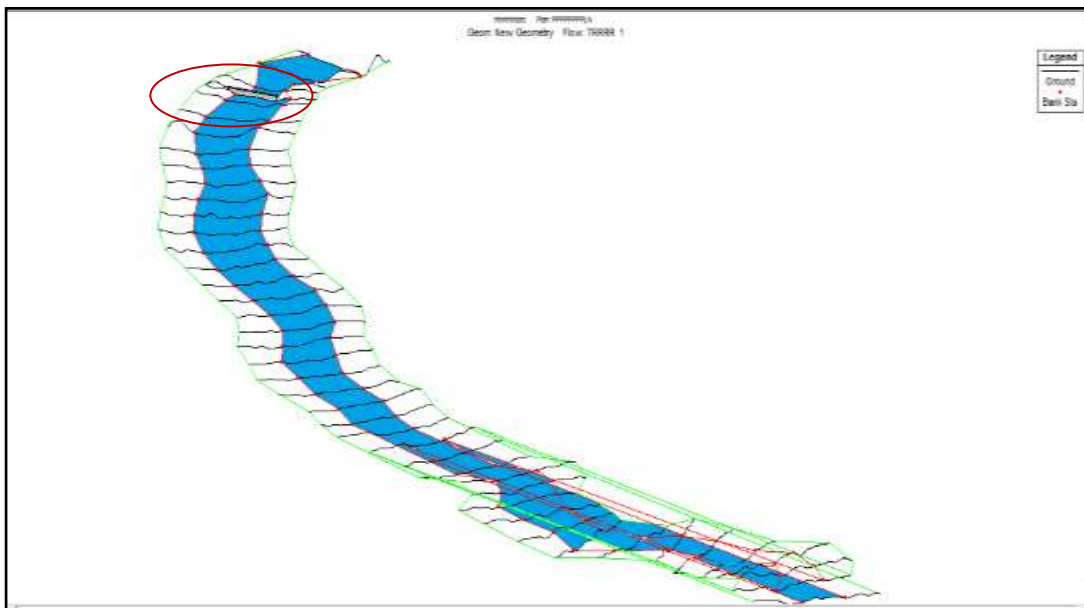


Fig. VIII.05. Digue sur oued Biskra (Avant l'entrée de la ville).

Il existe déjà une ancienne diguette sur oued El Hai (voir photo VIII.02), donc le but est de réaménagé cette digue au lieu de construire une autre. Elle se trouve au niveau du village Tamarin.



Photo. VIII.02. Ancienne digue sur oued El Hai (Tamarin) (5 mai 2023 Effort personnel).

VIII.4. Développement d'un espace de plaisance ou de parcs d'attractions

Voici des propositions d'aménagement d'espaces récréatifs dans l'oued Biskra :

- L'objectif est d'exploiter les grandes surfaces de l'oued, à sec la majeure partie de l'année, pour créer des espaces de loisirs.
- La localisation à proximité du centre-ville très fréquenté est un atout pour ces aménagements récréatifs.
- Les aménagements envisagés (aires de jeux, terrains de sport, promenades, etc) seront conçus de façon à ne pas gêner l'écoulement de la crue centennale.
- Ils devront être résistants à une inondation : installations démontables, équipements fixés mais insensibles à l'eau, matériaux imputrescibles, etc.

En résumé, l'oued sera valorisé par des aménagements récréatifs légers, résistants aux crues, conçus pour ne pas perturber l'écoulement centennal. Ils rendront ces espaces attractifs en temps normal sans aggraver le risque d'inondation. (Fig. VIII.06).



Fig. VIII.06. Espace De Plaisance sur oued Biskra. (NEE, 2019)

VIII.5 d'autres aménagements proposés

VIII.5.1 Projets d'aménagements du bord de vallée à Biskra 19/08/2021

Nous présentons le projet de réhabilitation de la vallée d'Al-Aqiq en Arabie Saoudite comme un exemple réussi de transformation d'un espace naturel en parc respectueux de l'environnement et bénéfique aux habitants et visiteurs.

Les aménagements réalisés tels que les sentiers, pistes cyclables, espaces verts, zones familiales ainsi que les services et investissements ont permis de valoriser cet espace.

Il serait intéressant d'étudier la faisabilité d'un projet similaire pour la ville de Biskra. Cela pourrait contribuer de manière positive au développement de la ville et améliorer la qualité de vie des habitants, à condition de prendre en compte les spécificités du site et d'impliquer les populations locales.

Une telle initiative éco-responsable, si menée à bien, représenterait un atout pour le développement durable de Biskra, dans le respect de l'environnement et au bénéfice des habitants, si Dieu le veut. La réussite d'un tel projet nécessiterait une planification et une gestion rigoureuses.

(Voir la photo VIII.03).



Photo. VIII.03. Projets d'aménagements proposés du bord de vallée à Biskra 19/08/2021.

Et voila un autre aménagement proposé par Issam Tiar Bureau d'études architecturales et urbaines wilaya de Biskra. (Voir la photo VIII.04).

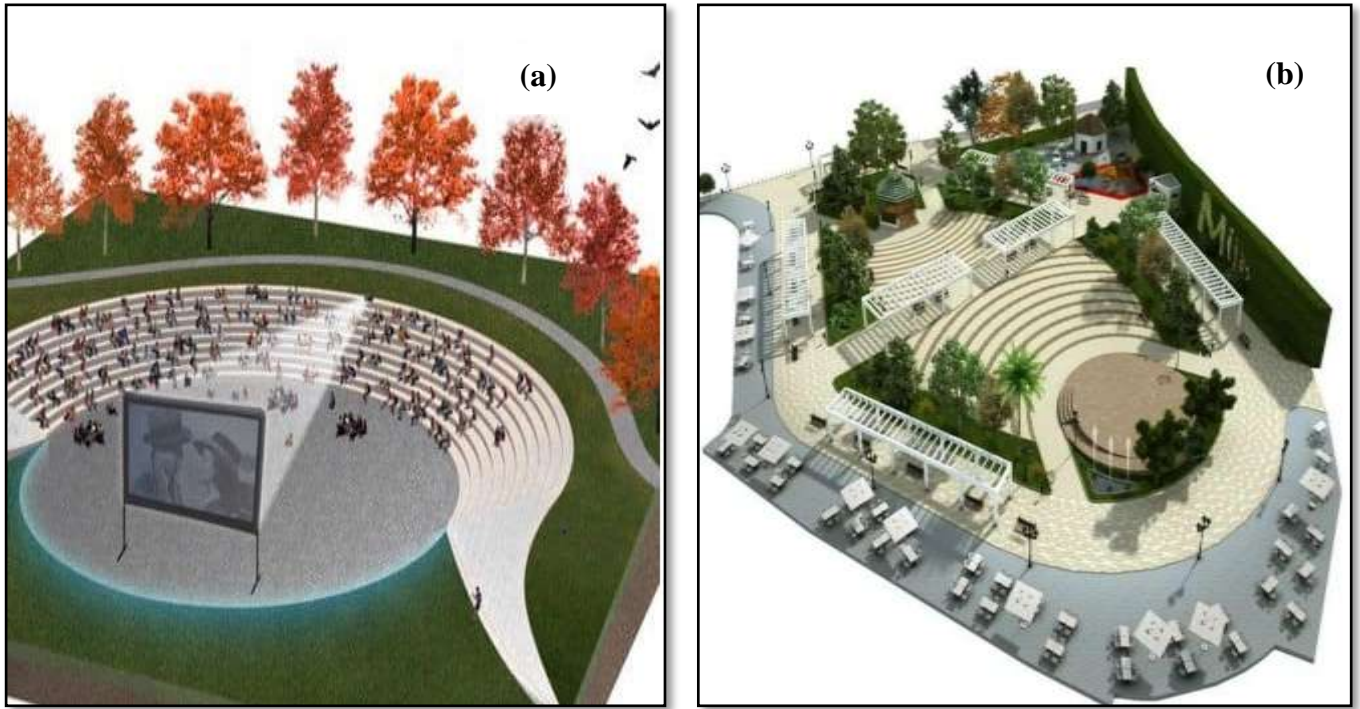


Photo. VIII.04. Proposition d'espaces théâtraux et cinématographiques dans les espaces jouxtant l'Oued Sidi Zarzour 12/03/2022.

C'est ainsi que s'est déroulé le projet d'aménagement des abords de l'Oued Sidi Zarzour en l'an 2016.



Photo VIII. 05. Aménagement des abords de l'Oued Sidi Zarzour en l'an 2016.

Voici un résumé de la rencontre du Conseil de l'Etat du Peuple concernant les projets d'aménagement et d'urbanisme dans la ville de Biskra:

Date: Mercredi 18 mai 2022, Lieu: Biskra

Participants: Wali de Biskra Abdullah Abi Nouar, Président de l'Assemblée Populaire de l'État Qarbaz Toumi, Directeur d'Unité ADE, Bureaux d'études, ainsi que d'autres personnalités locales.

Points discutés:

- Aménagement esthétique des 6 entrées de la ville en respectant l'histoire et l'architecture locale.
- Progression des projets: grand parc public, **aménagement de la vallée de Sidi Zarzour, rénovation du centre-ville.**

Réunion de suivi dans 15 jours pour faire le point sur l'avancement.

Instructions du Wali: accélérer les procédures pour la réalisation des projets de développement urbain.

Conclusion

Définitivement, nous concluons que les zones situées sur les rives de oued Biskra sont les plus vulnérables au risque d'inondation, dû aux crues torrentielles du bassin versant O. Biskra.

Voici un résumé des principales étapes entreprises en réponse aux inondations provoquées par les crues de l'oued Biskra:

- Évaluation détaillée des dégâts pour comprendre l'ampleur des dommages et identifier les zones les plus touchées
- Mobilisation de ressources au niveau local et régional pour répondre aux besoins immédiats des populations touchées
- Aménagement des zones à risque élevé par des infrastructures de réduction des risques (cela peut comprendre la construction de digues, la réhabilitation des systèmes d'assainissement, ...etc.)
- Amélioration des plans d'utilisation des terres pour prendre en compte les risques d'inondation
- Engagement communautaire à travers réunions, informations et sensibilisation
- Mise en place d'un système d'alerte précoce des risques d'inondation
- Suivi et évaluation des mesures prises pour ajuster les stratégies selon l'évolution des risques

En somme, une réponse proactive et globale visant à réduire les risques dans les zones vulnérables aux crues de l'oued Biskra, avec une implication des autorités et des communautés locales.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

La ville de Biskra, située au Sud-Est du massif des Aurès, est fréquemment touchée par des inondations du fait de son relief accidenté et l'articulation de ses unités topographiques. Une grande partie de la population fait face à un risque important d'inondation.

Les quartiers bas au nord et à l'ouest de la ville, sont particulièrement vulnérables lors de pluies torrentielles. L'intensité et la récurrence de ces inondations à Biskra révèlent la nécessité de mieux comprendre la dynamique hydrologique de la région, et d'envisager des modèles d'analyse spatiales permettant d'évaluer objectivement le niveau de risque selon des scénaris récurrentiels.

Les particularités hydroclimatologiques, géomorphologiques, géologiques et hydrodynamiques de la région de Biskra la rendent vulnérable aux inondations.

Cette thèse vise d'abord à expliquer la notion de risque d'inondation en soulignant qu'elle est de nature binaire, impliquant non seulement l'aléa (phénomène physique) mais également la vulnérabilité face aux conséquences néfastes de cet aléa pour les individus leur bien et l'environnement.

Ainsi, la gestion efficace du risque d'inondation exige une compréhension approfondie de deux notions essentielles : premièrement, une compréhension du fonctionnement de l'aléa, et deuxièmement, une maîtrise de l'occupation des sols.

La puissance des crues est directement liée d'une part au régime des précipitations et leur intensité et d'autres parts à la taille du bassin versant, avec le comportement hydrologique influencé par des facteurs tels que la lithologie, la pente et le couvert végétal.

Ces éléments jouent un rôle capital dans la modification du régime des cours d'eau, soulignant ainsi l'importance de considérer ces aspects dans l'évaluation des risques d'inondation. Une compréhension approfondie de ces facteurs contribue à une gestion plus efficace des crues et à la réduction des impacts potentiels sur les zones concernées.

Les observations effectuées ont révélé des variations dans le débit, tant au niveau annuel que mensuel, directement influencées par l'irrégularité du régime pluviométrique.

Ces fluctuations soulignent l'impact significatif des prélèvements sur le débit, mettant en évidence l'importance de comprendre et de surveiller les schémas pluviométriques, pour anticiper les variations du débit et améliorer la gestion des ressources hydriques.

L'inondation de l'Oued Biskra, avec un temps de retour de plus de 100 et 1000 ans, s'est révélée beaucoup plus intense que prévu, dépassant les attentes basées sur une représentation probabiliste

unique des crues. Ces résultats soulignent l'importance d'intégrer des approches plus complexes et diversifiées dans l'évaluation des risques d'inondation, afin de mieux anticiper et gérer les événements hydrologiques extrêmes.

Pour évaluer les zones inondables le long de l'Oued Biskra et déterminer les valeurs associées aux crues, il est impératif d'adopter une approche de modélisation. L'utilisation de HEC-HMS et HEC-RAS se révèle nécessaire pour mener une modélisation précise.

Le modèle HEC-HMS offre la capacité de calculer le débit de crue pour diverses périodes de retour. Cette fonctionnalité permet d'évaluer de manière approfondie les débits associés à différents niveaux de rareté des événements, fournissant ainsi des informations essentielles pour la gestion des risques liés aux crues et la planification des infrastructures hydrauliques.

Le modèle HEC-RAS a été utilisé pour simuler l'impact des débits d'événements (inondations) provenant de tous les sous-bassins du bassin versant de oued Biskra ; définis par HEC-HMS. Cette approche permet d'évaluer de manière détaillée les conséquences des inondations, offrant ainsi une base solide pour la planification et la mise en œuvre de mesures de prévention, et de protection contre les crues dans les zones spécifiques délimitées par les sous-bassins.

Les résultats issus du logiciel de calcul HEC-RAS ont permis d'identifier cinq zones à risque d'inondation. En vue du contrôle des inondations, diverses améliorations ont été examinées :

1. Afin d'éviter les débordements en cas de crue, une réévaluation et une gestion du débit d'eau en amont sont préconisées.
2. Élargir les sections de route critiques pour améliorer la capacité d'écoulement et prévenir les inondations.
3. Ajuster la pente pour faciliter l'écoulement approprié des eaux et réduire les risques d'inondation.
4. Utiliser des gabions ou des murs de soutènement pour protéger les bords des routes, minimisant ainsi l'érosion des sols.
5. Projet d'un mur en gabions d'une hauteur de 1,5 m, ajustable en fonction des besoins après rééquilibrage aval.
6. Examiner et améliorer les systèmes d'évacuation des eaux usées et pluviales de la ville pour prévenir les inondations.
7. Création d'égouts pluviaux : Mettre en place des égouts pluviaux pour mieux gérer le ruissellement des eaux de pluie.

8. Construction de digues : Pour faire face aux crues millénaires, proposer la construction de cinq digues le long de cinq axes fluviaux pour réguler l'alimentation en eau de l'Oued Biskra.

En conclusion, nous aspirons à la réussite des travaux d'entretien et de réparation, dans le but de maintenir la continuité et le fonctionnement optimal de nos ouvrages.

En résumé, l'étude de protection contre les inondations avec la modélisation numérique réalisée à l'aide des logiciels HEC HMS et HEC-RAS a démontré l'efficacité d'une approche de prévention réaliste et rapide. Les fonctionnalités avancées des logiciels, basées sur des données topographiques et hydrologiques, ont contribué à la création d'une solution de protection fiable et conforme à la réalité.

La gestion des risques d'inondation nécessite une approche holistique impliquant une coopération étroite entre les pouvoirs publics, les communautés locales et les citoyens individuels. En travaillant ensemble, il est possible de minimiser les impacts des inondations et de créer des environnements plus sûrs et plus résilients.

En Algérie, le discours officiel a toujours préféré expliquer par la 'volonté divine' des catastrophes dans lesquelles l'absence de contrôle de la croissance de la ville avait, pourtant, une grande part. En plus, les populations ne savent rien des plans ORSEC (plans d'évacuation de la ville en cas de catastrophe) auxquels elles ne sont pas (ou rarement) associées et aucune donnée n'est disponible (pour le grand public) sur les mesures prises pour protéger les villes.

Pour la ville de Biskra, prise comme un exemple, la vulnérabilité à l'inondation est complexe. Elle est définie par un ensemble de conditions et de procédures résultant de facteurs physiques, sociaux, économiques et environnementaux qui accroissent la fragilité des annabis exposés à ce type d'aléa. Comprendre cette vulnérabilité est essentiel pour se prémunir du phénomène d'inondation et envisager une mitigation ainsi que des politiques et des programmes d'assistance.

La gestion des risques liés aux inondations se divise en trois phases : la prévention, la prévision et la gestion de crise. La prévention implique l'analyse des inondations passées ou potentielles pour mieux comprendre les phénomènes, protéger les zones à risque, informer le public et réguler l'urbanisation dans ces zones.

Mon engagement futur dans la recherche vise à contribuer de manière significative à la compréhension et à la gestion des risques d'inondation. Je suis déterminé à explorer des approches novatrices, à intégrer des technologies avancées et à collaborer avec des experts divers pour développer des solutions durables et adaptées à l'évolution des défis liés aux inondations.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Chapitre 01 : les inondations définitions, ampleur et gestion

- [01] Salomon Jean-Noël (1997) : « L’homme face aux crues et aux inondations », Presses Universitaire de Bordeaux, Université Michel de Montaigne - Bordeaux.
- [02] Conférence Nationale sur les risques majeurs CIC / 22-23 octobre 2018 prise en charge de la problématique des inondations.
- [03] Lahlah. Salah, Les inondations en Algérie : actes des journées techniques/ risques naturels : inondation, prévision, protection /Batna, 15/16/décembre 2004. Organisées par: Le CRSTRA, en collaboration avec l’université de Batna, le département des sciences de la terre, Le laboratoire LRNAT Et Le réseau euro méditerranéen des centres spécialisés EUR- OPA -
- [04] Yahiaoui A., 2012. Inondations torrentielles-Cartographie des zones vulnérables en Algérie du nord (cas de l’oued Mekerra, Wilaya de Sidi Bel Abbes). Ecole Nationale Polytechnique-Laboratoire de mobilisation et valorisation des ressources en eau, Alger, 210 p.

Chapitre 02 : l’aire d’étude un échantillon pour l’évaluation.

- [05] Menacer, s. (2012). Influence des facteurs microclimatiques de la palmeraie sur la diversité du peuplement aphidien dans la région de Biskra. Mémoire de magister. Alger, algérie : école nationale supérieure agronomique el harrach. 80 p.
- [06] Boumessenegh, A. (2007). Les inondations dans la ville de Biskra causes et impacts. *Mémoire de magister. Batna*, Algérie: université du Colonel El Hadj Lakhdar.
- [07] Bouzahzah, f. (2015, décembre). Dynamique urbaine et nouvelle centralité. Thèse de doctorat. Constantine, Algérie : université des frères Mentouri. 352 p.
- [08] Armature urbaine, 2008, v° recensement général de la population et de l’habitat– 2008 – Collections Statistiques N° 163/2011 Série S : Statistiques Sociales (résultats issus de l’exploitation exhaustive) l’agriculture et de la Cartographie.
- [09] Agence nationale d’intermédiation et de régulation foncière, 2015, rubrique monographie de wilaya Biskra.

Chapitre 03 : Les facteurs climatiques et leurs variabilités.

- [10] Teegavarapu, R.S.V., 2009. Estimation of missing precipitation records integrating surface interpolation techniques and spatio-temporal association rules. *Journal of Hydroinformatics* 11 (2), 133-146.
- [11] Wilcoxon, F., 1945: Individual Comparisons by Ranking Methods. *Biometrics Bull*, 1, 80,83.

[12]Body K. (1981). Analyse fréquentielle des pluies de l'Algérie – Synthèse régionale: Détermination des paramètres principaux par station et leur répartition spatiale, ANRH Constantine. Algérie.

[13] Mebarki A., 2007 : Une nouvelle cartographie du déficit hydrique : application à l'Est algérien (et l'Algérie du Nord), *Bulletin des Sciences Géographiques* 20 : 39-45.

[14] Laborde, j,p. (2009), éléments d'hydrologie de surface, Nice: université de nice - sophia antipolis.

[15] Thornthwaite, C. W.1948, An Approach Toward a Rational Classification of Climate, dans *Geogr. Rev.*, p. 55-94.

[16] Thornthwaite, C. W., et MATTER, J. R., 1957, Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance, Centerton, New-Jersey, Drexel Inst. Techn. Public, dans *Climatol.*, Vol. X, n° 3, 311 pages.

[17] Pédelaborde, P. (1968). Les bilans hydriques. *Cahiers de géographie du Québec*, 12(25), 5–23.

[18] Turc. L, 1961: Evaluation des besoins en eau d'irrigation; évapotranspiration potentielle. *Ann. Agr.* n°12. P 13 - 49.

[19] Coutagne A., et DE Martonne, 1958: Evaporation et déficit d'écoulement. *Ass. Int. Hydrologie. Sci.*, s. d. p 97 - 128.

[20] Coutagne .A, 1953. Quelques considérations sur le pouvoir évaporant de l'atmosphère, le déficit d'écoulement effectif et le déficit d'écoulement maximum. *La Houille blanche.* p 360 – 369.

Chapitre 4 : Etude hydrologique et hydrométrique.

[21] Nemaska. L, 2012 : Etude hydrologique, projet Whabouchi, l'environnement, un choix d'affaires, 450, de garde de Paris Québec.

[22] ANRH, 2015, agence notionnelle des ressources hydriques, d'Alger.

[23] Laure Lebecherel, Vazken Andréassian, Bénédicte Augéard, al,2003, connaître les débits des rivières : quelles méthodes d'exploitation lorsqu'il n'existe pas de station de mesures permanentes ? ONEMA : Office nationale de l'eau et des milieux aquatiques, La Faye à Giroux (Augerolles, 63), code hydro K2884010, France.

[24] Guidoum, A (2017), caractérisation hydrologique et analyse du transport solide en suspension dans trois ensembles hydrographiques du nord-est Algérien, Etude de cas dans la Seybouse, les hautes plaines Constantinoises et chott Melghir (coupe nord-sud), thèse doctorat en sciences de l'hydraulique.

[25] Thomas Haller, Felix Hauser, Rolf Weingartner, (2007). Atlas hydrologique de la Suisse, Institut de géographie de l'Université de Berne, Berne.

[26] Bennis, S 2009,hydraulique et hydrologie, 2eme édition, revue et augmentée, université du Québec, école de technologie supérieur.

[27] Bouanani, A, (2004). Hydrologie, transport solide et modelisation. Étude de quelques sous bassins de la tafna (NW–Algérie) . Thèse de Doctorat, université Abou bekr belkaid Tlemcen, 250P.

Chapitre 5: Etude des crues de Oued Biskra.

[28] Boutoutaou, D. & Zeggane, H. Méthode de calcul des crues et des hydrogramme de crue des oueds non jauges de l'Algérie, Revue scientifique et technique, LJEF NO 24 et 25, 2014.

[29] Casenave A., Guiguen N., Simon J-M., 1982. Etude des crues décennales des petits bassins versants forestiers en Afrique tropicale, *Cahiers Orstom, Série hydrologie*, vol. 19 (4), 229-252.

[30] EMI (1999). Méthodes de calcul d'un débit de projet (Chapitre IX). Notes de cours de l'École Mohammadia d'Ingénieurs (EMI), Maroc, 24 p. Environnement Canada (1987).

[31] Beloulou , L, (2008) Vulnérabilité aux inondations en milieu urbain. Cas de La Ville d'Annaba (Nord-est Algérien). Thèse de Doctorat d'Etat, Université Badji Mokhtar-Annaba.

[32] Suárez, Jorge Julián Vélez Upegui and al, 2013, Diseño hidráulico e hidrológico de obras de ingeniería para proyectos viales, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

En français : Suárez, Jorge Julián Vélez Upegui, al, 2013 : Conception hydraulique et hydrologique des travaux d'ingénierie pour projets routiers, Université nationale de Colombie Campus de Manizales Faculté d'ingénierie et d'architecture. ISBN: 978-958-761- 287-5

[33] Guillot, P. & Duband, D.1981, La méthode du GRADEX pour le calcul de la probabilité des crues à partir des pluies. In : Colloque International sur les crues et leur évaluation, Leningrad. p. 15-22.

[34] Sghara Nacer. (2013), Protection de la ville de Béni- Ounif (Béchar) contre les inondations : Application de logiciels HEC-HMS et HEC-RAS, Mémoire de Magister, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf 194P. P69/76.

Chapitre 6: Application du modèle HEC-HMS sur le BV de O.Biskra.

[35] HEC-HMS, 2000. Hydrologic Engineering Center, Hydrologic Modelling System HECHMS, Technical Reference Manual, March 2000.

[36] Mokhtari, E. H., Remini, B., & Hamoudi, S. A. (2016). Modelling of the rain-flow by hydrological modelling software system HEC-HMS-watershed's case of wadi Cheliff-Ghrib, Algeria. *Journal of Water and Land Development*, 30(1), 87-100.

[37] TRAMBLAY Y. (2012): Modélisation des crues dans le bassin du barrage Makhazine. -United States, Department of Agriculture (1986): Urban hydrology for small watersheds, Technical Release.

Chapitre 7 : cartographie des zones inondables par HEC RAS.

[38] River Analysis System HEC-RAS, (2010) Version 4.1: User's Manuel Hydrologic Engineering.

Sites:

<https://www.catnat.net/>

<http://floodobservatory.colorado.edu>

http://www.wilayabiskra.dz/Service_Agricoles.aspx.

<http://www.meteo.dz>

<https://fr.wikipedia.org>

LISTES DES ANNEXES

ANNEXE 1 / Estimation des données manquantes :

Régression basée sur l'analyse par composante principales (ACP).

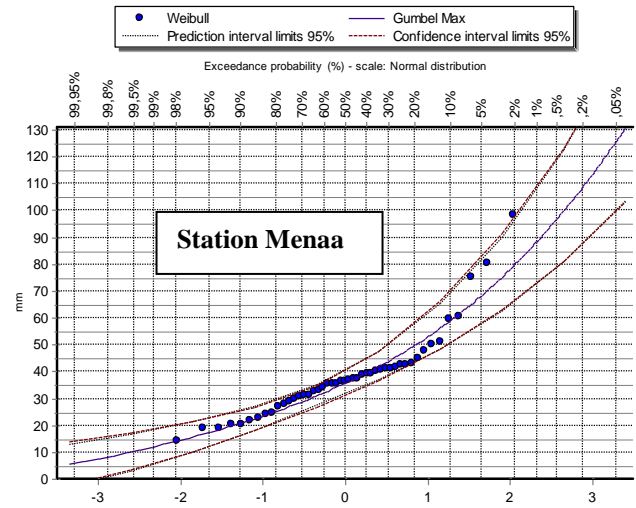
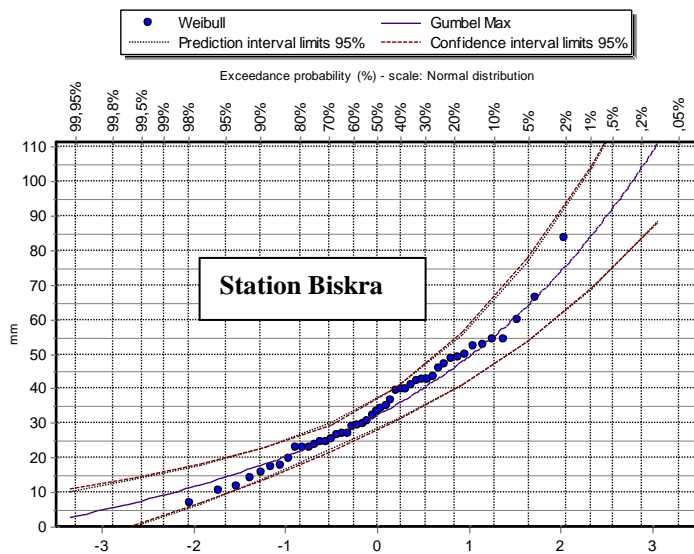
Observation	Station Mena	Station Batna	Station Biskra	Station de T'kout
Obs2	31,200	28,200	43,500	25,000
Obs3	24,600	37,500	54,300	40,100
Obs4	47,500	31,400	35,000	40,100
Obs5	42,500	64,400	23,000	45,000
Obs6	33,100	32,700	54,300	4,500
Obs7	37,100	25,800	7,000	54,000
Obs8	21,900	20,700	17,300	16,300
Obs11	31,100	22,800	29,500	33,500
Obs12	27,900	30,500	39,800	34,700
Obs15	32,800	59,600	23,000	48,100
Obs16	50,200	48,400	24,600	27,600
Obs19	39,300	41,100	27,000	41,200
Obs22	35,300	60,000	23,000	48,100
Obs23	24,000	39,700	14,200	40,100
Obs25	39,300	40,800	27,000	41,200
Obs26	80,200	31,400	43,500	17,200
Obs27	22,900	47,000	42,300	41,400
Obs29	14,400	27,300	23,100	40,100
Obs31	19,100	21,000	17,300	16,300
Obs32	18,900	26,800	39,800	85,900
Obs33	35,400	39,800	66,300	36,600
Obs34	38,800	20,300	29,500	26,800
Obs35	75,000	52,400	32,000	27,600
Obs36	35,400	45,200	42,300	49,200
Obs37	35,400	42,800	11,600	57,000
Obs38	75,000	49,900	32,000	27,600
Obs40	40,600	36,200	52,500	40,100
Obs41	35,400	39,200	54,300	40,100
Obs42	80,200	32,600	45,900	17,200
Obs43	27,100	64,600	24,500	68,400
Obs45	35,400	54,200	48,000	68,600
Obs46	35,400	39,800	40,800	13,900
Obs47	35,400	42,600	11,600	57,000

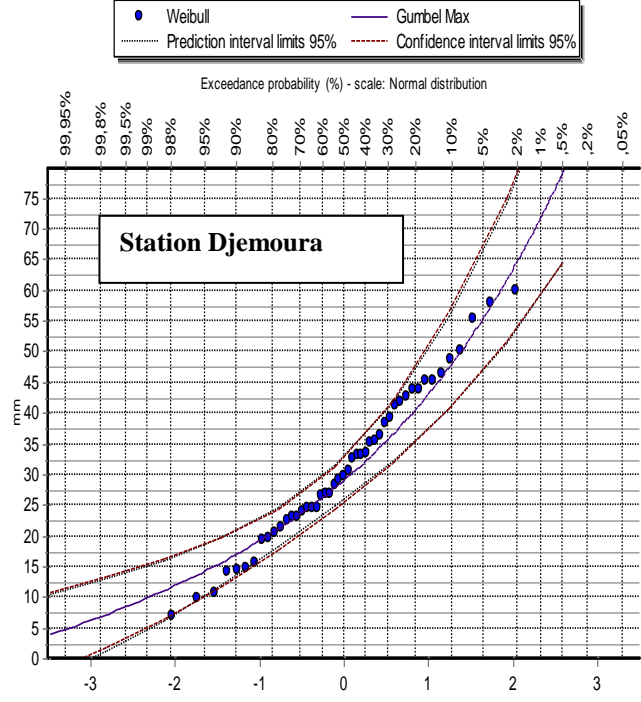
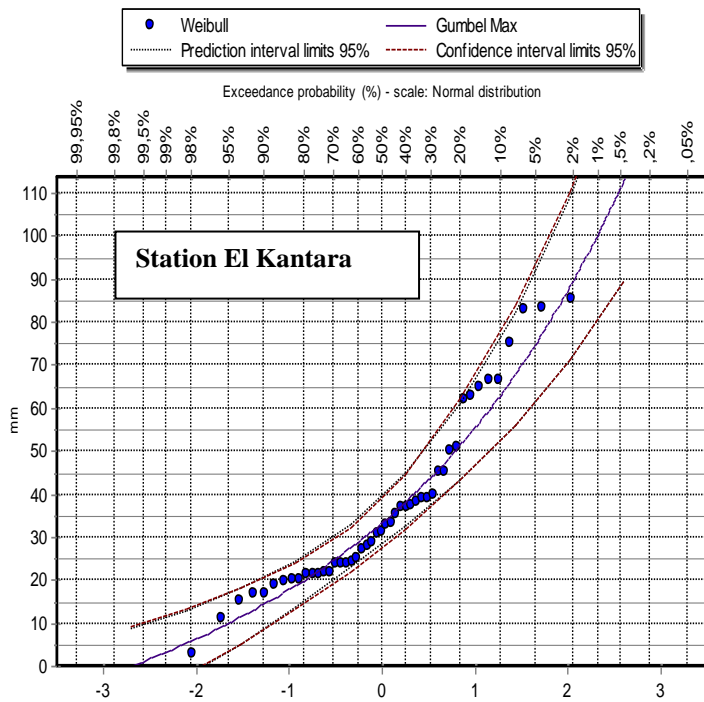
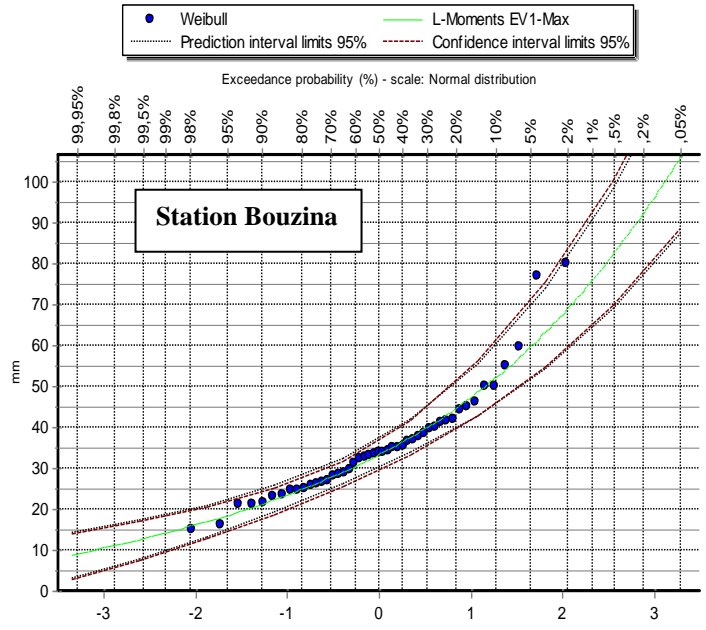
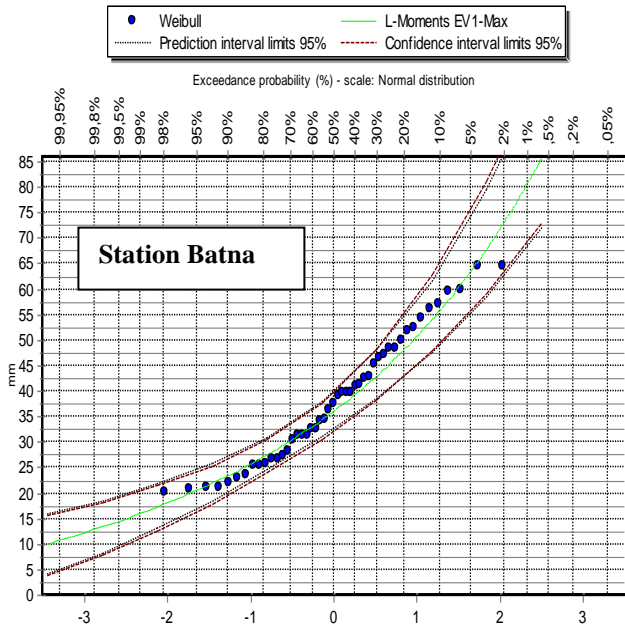
Statistiques descriptive:

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Var1	47	0	47	14,400	98,400	39,381	17,451
Var2	47	0	47	20,300	64,600	38,300	12,711
Var3	47	0	47	7,000	66,300	31,564	14,668
Var4	47	0	47	4,500	85,900	40,096	18,283

ANNEXE 02/

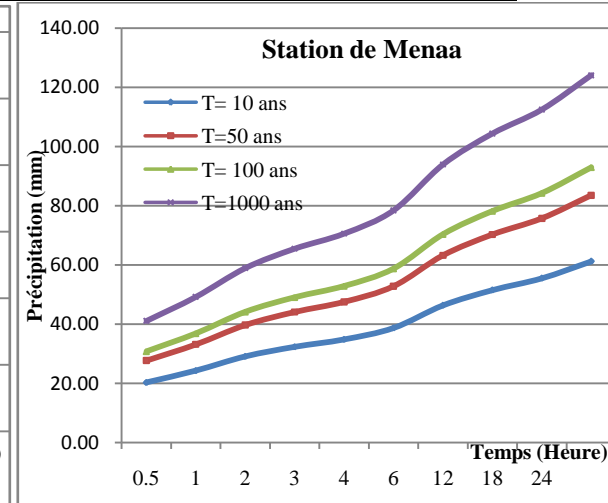
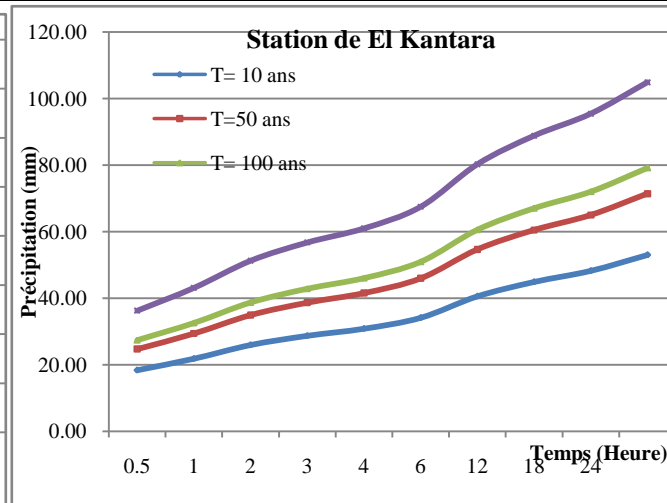
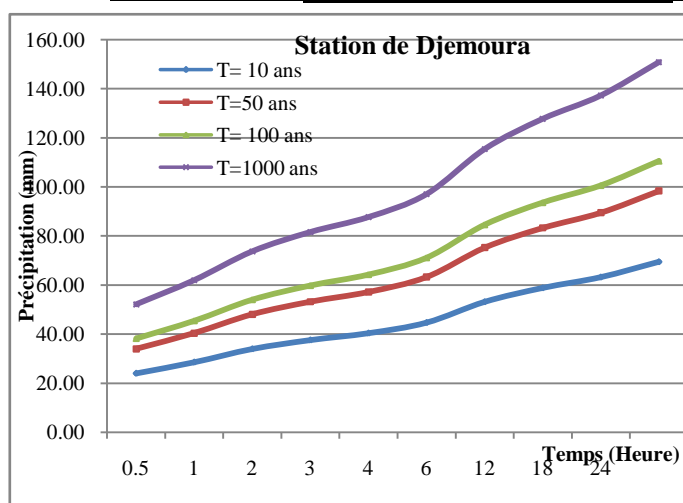
Ajustement des précipitations journalières maximales à la loi de Gumbel stations Biskra, Menaä, Batna, Bouzina, Djemoura et El kantara (1968/2014).





Annexe 03/ pluie de courte duree (mm) stations de Djemoura El Kantara et Mena.

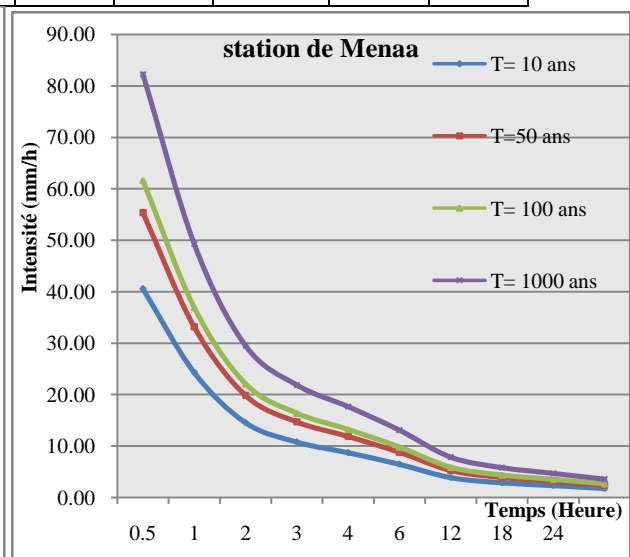
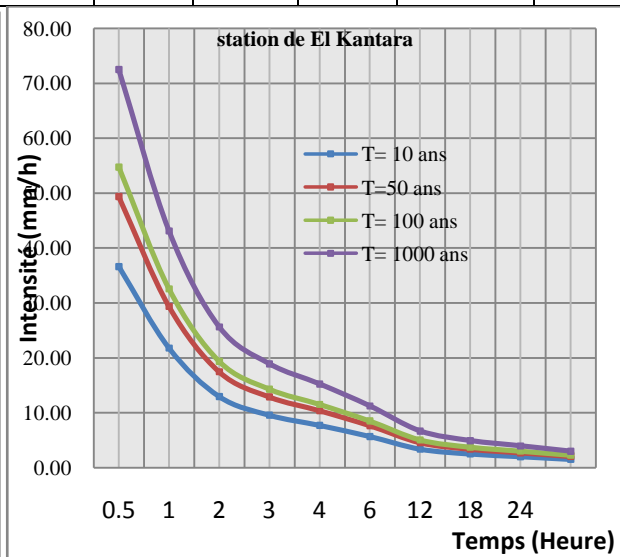
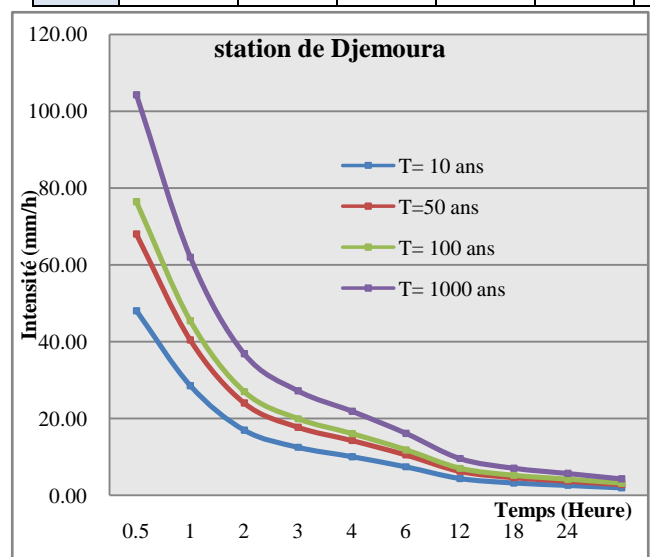
t (h)	Djemoura				El Kantara				Mena			
	10	50	100	1000	10	50	100	1000	10	50	100	1000
	0,9	0,98	0,99	0,999	0,9	0,98	0,99	0,999	0,9	0,98	0,99	0,999
0,500	24,04	34,006	38,220	52,148	18,32	24,683	27,373	36,263	20,28	27,675	30,796	41,118
1,000	28,59	40,441	45,451	62,014	21,79	29,354	32,552	43,124	24,29	33,140	36,878	49,238
2,000	33,99	48,092	54,051	73,748	25,91	34,907	38,711	51,284	29,09	39,685	44,161	58,961
3,000	37,62	53,223	59,817	81,615	28,68	38,631	42,841	56,755	32,32	44,097	49,070	65,516
4,000	40,43	57,192	64,278	87,701	30,82	41,512	46,036	60,987	34,83	47,522	52,881	70,605
6,000	44,74	63,293	71,135	97,057	34,10	45,941	50,947	67,493	38,70	52,805	58,761	78,454
12,000	53,20	75,269	84,594	115,421	40,56	54,633	60,587	80,264	46,35	63,233	70,365	93,947
18,000	58,88	83,298	93,619	127,735	44,88	60,461	67,050	88,826	51,50	70,263	78,188	104,392
24,000	63,27	89,510	100,600	137,260	48,23	64,970	72,050	95,450	55,50	75,720	84,260	112,500
35,000	69,53	98,364	110,551	150,837	53,00	71,397	79,177	104,891	61,22	83,524	92,945	124,095



Courbes Hauteurs – durées – Fréquences (H.D.F) stations de Djemoura El Kantara et Mena.

Tableau : intensité des pluies i pour stations de T'kout, Batna, Bouzina et Biskra.

T'kout					Batna				Bouzina				Biskra			
	10	50	100	1000	10	50	100	1000	10	50	100	1000	10	50	100	1000
t (h)	0,9	0,98	0,99	0,999	0,9	0,98	0,99	0,999	0,9	0,98	0,99	0,999	0,9	0,98	0,99	0,999
0,5	41,59	56,50	62,79	83,61	38,60	50,11	54,98	71,07	41,69	55,24	60,97	79,90	47,36	64,62	71,91	96,01
1	25,25	34,30	38,12	50,76	23,27	30,21	33,15	42,85	24,62	32,62	36,00	47,18	27,58	37,63	41,88	55,91
2	15,33	20,82	23,14	30,82	14,03	18,22	19,98	25,83	14,54	19,26	21,26	27,86	16,06	21,92	24,39	32,56
3	11,45	15,55	17,28	23,01	10,44	13,55	14,86	19,21	10,68	14,15	15,62	20,47	11,71	15,97	17,78	23,73
4	9,31	12,64	14,05	18,71	8,46	10,98	12,05	15,57	8,58	11,37	12,55	16,45	9,35	12,76	14,20	18,96
6	6,95	9,44	10,49	13,97	6,29	8,17	8,96	11,58	6,31	8,36	9,22	12,09	6,82	9,30	10,35	13,82
12	4,22	5,73	6,37	8,48	3,79	4,92	5,40	6,98	3,72	4,94	5,45	7,14	3,97	5,42	6,03	8,05
18	3,15	4,28	4,76	6,33	2,82	3,66	4,02	5,19	2,74	3,63	4,00	5,25	2,89	3,95	4,39	5,87
24	2,56	3,48	3,87	5,15	2,29	2,97	3,26	4,21	2,20	2,91	3,22	4,22	2,31	3,16	3,51	4,69
35	1,95	2,65	2,95	3,92	1,74	2,25	2,47	3,20	1,65	2,19	2,41	3,16	1,72	2,35	2,62	3,49



Courbes Intensité – Durée – fréquence (IDF) stations de Djemoura El Kantara et Mena.

ANNEXES 4/ débit moyen annuel, indice centré réduit coefficient d'hydraulicité, Débit spécifique.

bassin	El Hai			Djemoura				
	Qmoy	U	ch	Qsp	Qmoy	U	ch	Qsp
station	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)
1968	0,27	0,87	2,16	0,151				
1969	1,16	3,71	9,27	0,647				
1970	0,19	0,60	1,51	0,105				
1971	1,01	3,24	8,09	0,565				
1972	1,36	4,36	10,90	0,761	0,98	4,975	3,161	1,082
1973	0,35	1,12	2,80	0,196	0,07	0,355	0,226	0,077
1974	0,35	1,12	2,80	0,196	0,26	1,320	0,839	0,287
1975	0,22	0,71	1,76	0,123	0,55	2,792	1,774	0,607
1976	0,26	0,83	2,08	0,145	0,41	2,081	1,323	0,453
1977	0,19	0,61	1,54	0,107	0,22	1,117	0,710	0,243
1978	0,21	0,67	1,68	0,117	0,23	1,168	0,742	0,254
1979	0,67	2,15	5,37	0,375	0,2711	1,376	0,875	0,299
1980	0,736	2,36	5,90	0,412	0,3892	1,976	1,255	0,430
1981	0,147	0,47	1,18	0,082	0,1341	0,681	0,433	0,148
1982	0,320	1,03	2,56	0,179	0,3003	1,524	0,969	0,331
1983	0,166	0,53	1,33	0,093	0,2084	1,058	0,672	0,230
1984	0,32	1,03	2,56	0,179	0,5525	2,805	1,782	0,610
1985	0,428	1,37	3,43	0,239	0,3002	1,524	0,968	0,331
1986	0,37	1,19	2,96	0,207	0,2412	1,224	0,778	0,266
1987	0,36	1,15	2,88	0,201	0,41	2,081	1,323	0,453
1988	0,064	0,21	0,51	0,036	0,2049	1,040	0,661	0,226
1989	0,15	0,48	1,20	0,084	0,2638	1,339	0,851	0,291
1990	0,219	0,70	1,75	0,122	0,2806	1,424	0,905	0,310
1991	0,31	0,99	2,48	0,173	0,275	1,396	0,887	0,304
1992	0,44	1,41	3,53	0,246	0,1188	0,603	0,383	0,131
1993	0,41	1,31	3,29	0,229	0,0828	0,420	0,267	0,091
1994	0,36	1,15	2,88	0,201				
1995	0,25	0,80	2,00	0,140				
moyenne	0,403	1,292	3,230	moyenne	0,31	1,56	0,99	0,34
Ecart type	0,312	1,000	2,499	Ecart type	0,20	1,00	0,64	0,22
max	1,36	4,36	10,90	max	0,98	4,97	3,16	1,08
min	0,06	0,21	0,51	min	0,07	0,36	0,23	0,08
cv	0,77	0,77	0,77	cv	0,64	0,64	0,64	0,64

R	21,25	21,25	21,25	R	14,00	14,00	14,00	14,00
---	-------	-------	-------	---	-------	-------	-------	-------

(1) : débit moyen annuel m^3/s .

(2) : Indice centré réduit U.

(3) : Ch : coefficient d'hydraulicité

(4) : Débit spécifique $l/s/km^2$.

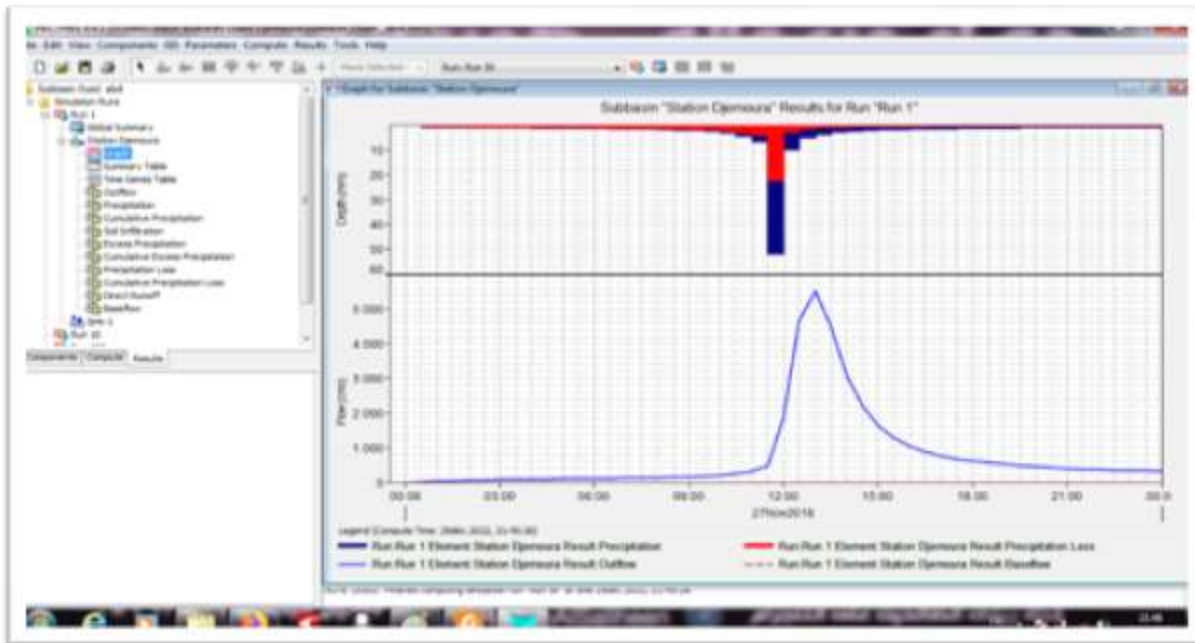
R= Max/min : coefficient d'immodération ou d'irrégularité.

Annexe 05/ débits journaliers des crues de l'oued El Hai et Djemoura.

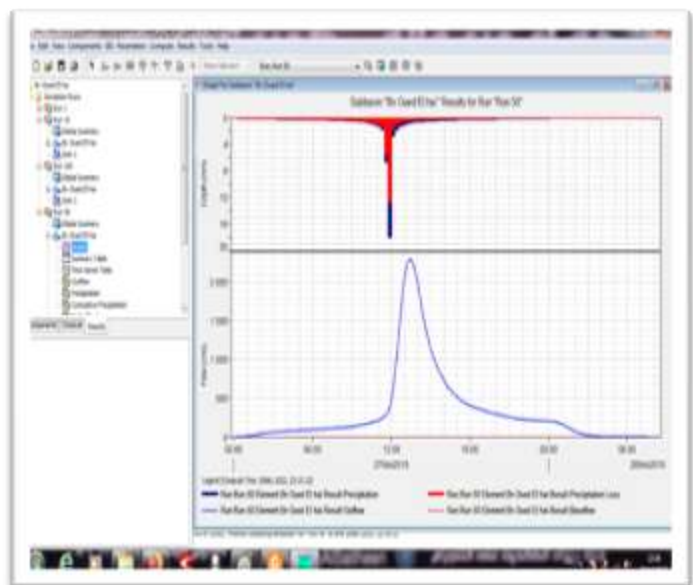
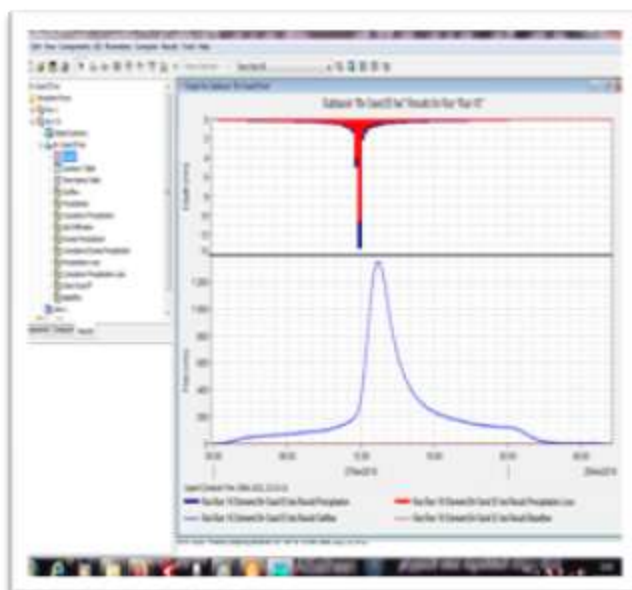
Oued El Hai à la station d'El Kantara								Oued Djemoura à la station de Djemoura							
Saison froide				Saison chaude				Saison froide				Saison chaude			
Qmax (m ³ /s)	date	Hauteur (cm)	heure	Qmax (m ³ /s)	date	Hauteur (cm)	heure	Qmax (m ³ /s)	date	Hauteur (cm)	heure	Qmax (m ³ /s)	date	Hauteur (cm)	heure
105,00	07/12/71	180	09h00	172	04/09/72	235	07h00	2,18	11/02/73	24	18h00	55,00	28/06/76	100	00h00
5,00	29/03/74	70	08h00	45,85	07/05/75	134	08h00	7,48	30/03/75	48	17h30	37,90	11/07/76	81	19h00
34,32	15/04/79	104	01h00	107,00	24/09/75	100	07h00	8,14	10/02/76	38	15h00	56,92	04/09/80	126	08h00
53,90	22/12/81	183	21h10	196,05	07/09/76	171	07h00	2,83	24/11/77	37	12h00	314,80	31/10/82	282	13h00
7,16	31/03/73	76	06h00	100,00	06/09/77	180	19h00	21,48	06/04/78	76	22h00	102,88	29/08/84	166	02h00
5,68	22/04/75	72	20h00	283,00	03/09/79	293	21h30	56,92	05/03/80	126	10h00	44,80	09/10/84	110	23h50
150,00	06/01/77	140	19h00	178,20	25/06/81	324	03h00	104,60	22/12/81	165	20h00	35,84	07/10/85	96	13h00
23,38	11/02/80	98	08h00	246,60	31/10/82	383	11h30	39,52	03/02/84	102	22h00	114,00	30/09/86	174	05h00
12,40	14/02/82	98	20h45	127,60	29/08/84	274	03h05	19,49	12/02/85	66	07h00	34,66	05/11/87	95	118h00
2,86	12/02/85	52	03h00	261,00	22/10/84	130	23h00	39,52	14/03/91	102	19h15	109,50	11/07/89	171	20h00
1,00	16/03/94	0,00	02h00	96,50	30/05/86	240	21h15	150,00	23/04/95	198	02h00	159,40	10/09/89	204	09h00
12,30	14/03/96	136	09h00	63,06	30/09/86	198	05h00	64,30	16/04/96	200	16h30	91,45	11/10/91	157	23h00
69,20	22/04/98	275	08h30	19,96	27/05/88	116	04h10	46,50	07/12/97	170	06h00	141,00	17/11/92	192	04h45
				83,31	20/06/89	225	05h00	55,70	22/04/98	186	18h05	23,86	01/11/93	74	21h25
				297,00	21/09/89	432	08h00					12,26	15/10/95	92	20h00
				1,00	19/08/92	0,00	06h00								
				5,50	07/11/92	60	05h00								
				1,27	02/11/93	09	00h00								
				10,30	12/05/95	90	08h30								
				218,00	03/09/95	500	01h30								
				42,60	02/08/97	220	06h00								
				230,00	17/09/97	360	11h30								

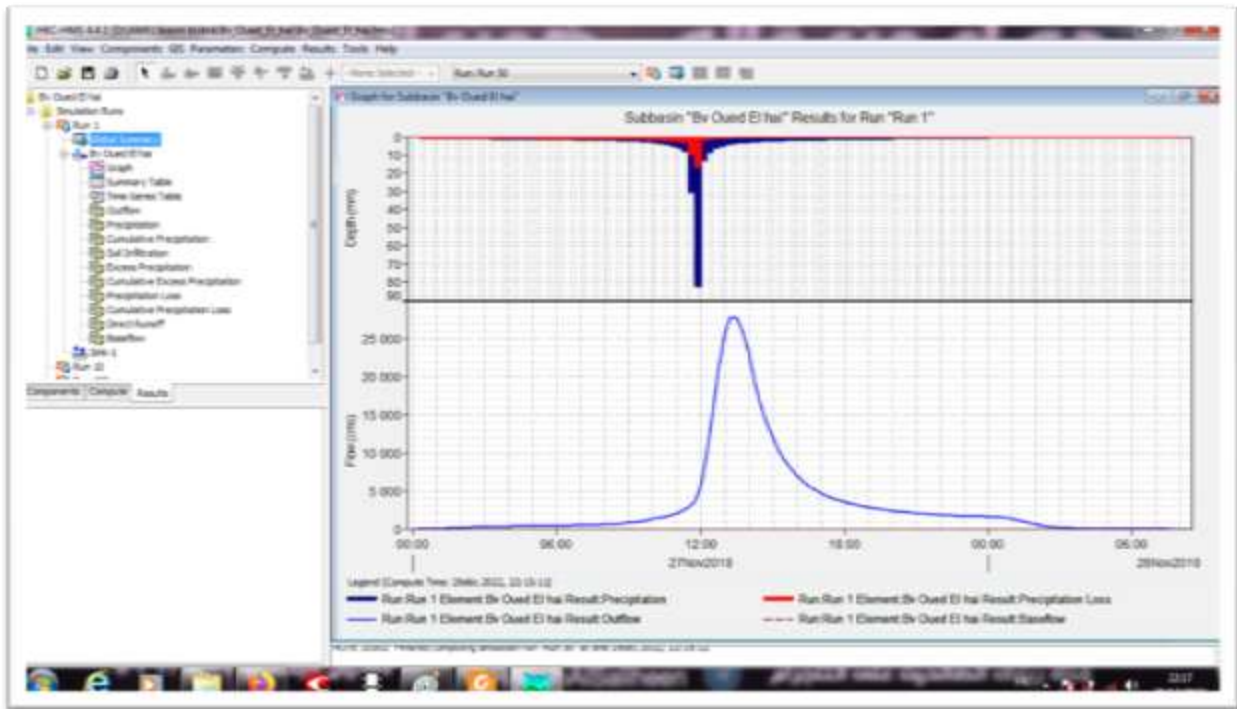
Annexe 6/ Valeurs de CN dans les tables : pour AMCII ((Conditions antécédentes d'humidité moyennes (II), Ia = 0,2S

Occupation du sol	Classes de sol			
	A	B	C	D
Sols cultivés bien entretenus	72	81	88	91
Sols cultivés mal entretenus	62	71	98	81
Pâturage dans de bonnes conditions	68	79	86	89
Pâturage dans de mauvaises conditions	39	61	74	80
Prés	30	58	71	78
Forêts à faible taux de couverture	30	58	71	78
Forêts à taux de couverture élevé	25	55	70	77
Place de jeux, parcs, golfs, cimetières:	39	61	74	80
-plus de 75% de la surface est enherbée,	49	69	79	84
-50 à 75% de la surface est enherbée				
Zones commerciales (85% de la surface imperméable)	89	92	84	95
Zones industrielles (72% de la surface imperméable)	81	88	91	92

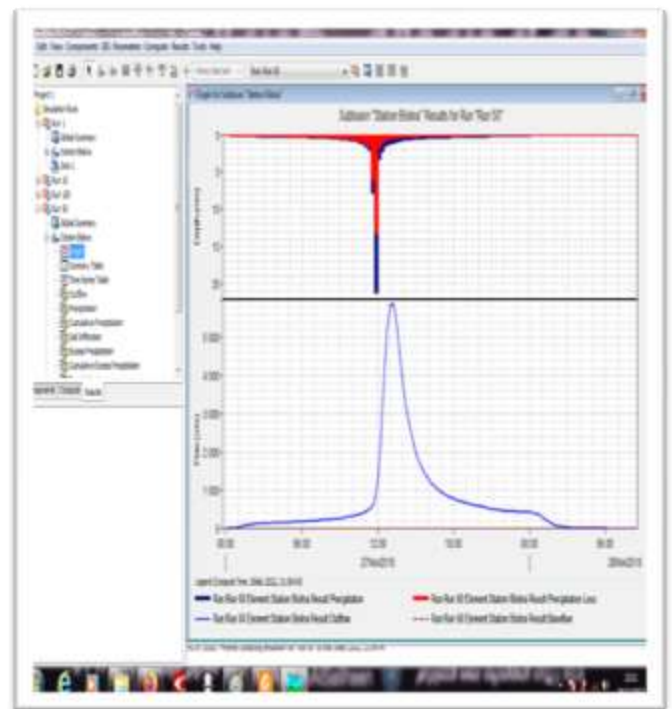
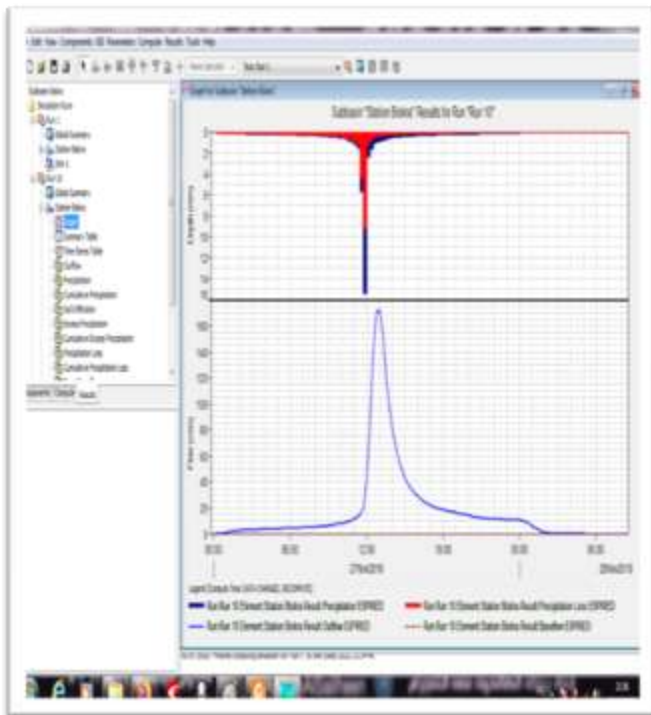


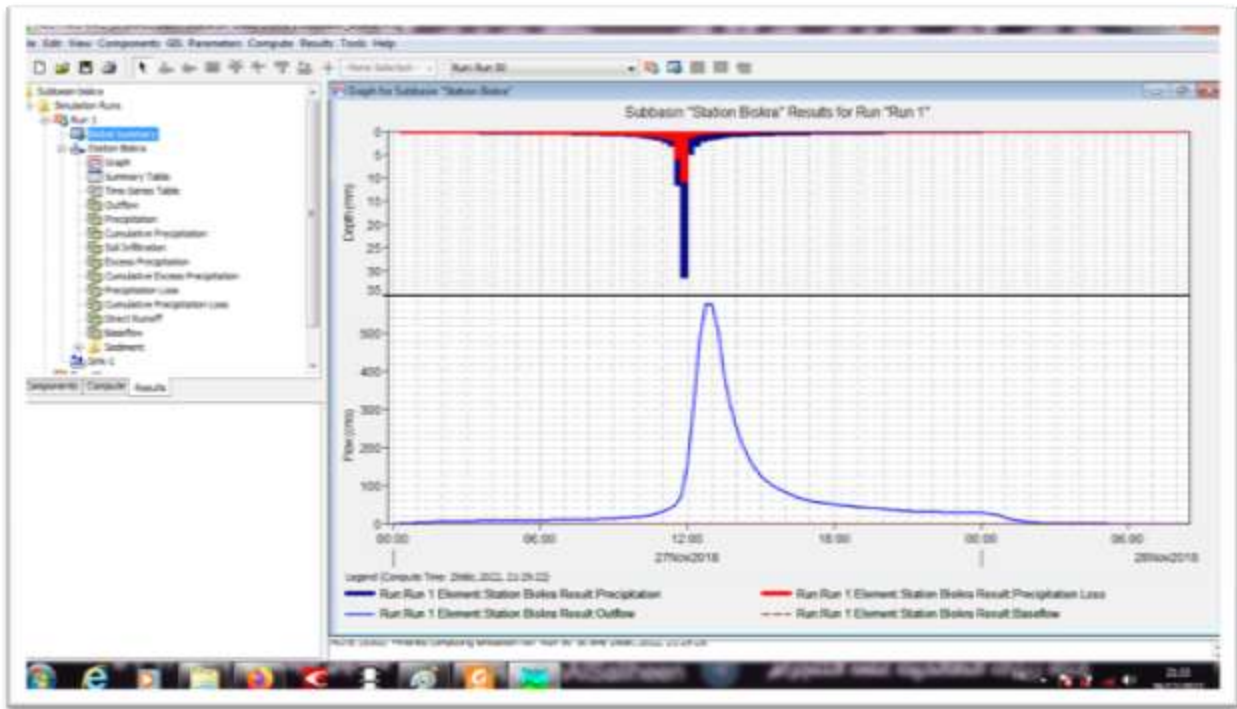
Hydrogramme de crue du sous B.V de O.El Hai (période de retour 10,50 et 1000 ans).





Hydrogramme de crue du sous B.V de O.Biskra complémentaire (période de retour 10,50 et 1000 ans).





Hydrogramme de crue du sous B.V de O.Biskra (période de retour 10,50 et 1000 ans).

