الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

NATIONAL HIGHER SCHOOL FOR HYDRAULICS

"The MujahidAbdellah ARBAOUI"

المدرسة الوطنية العليا للري

"المجاهد عبد الله عرباوي"

ⵓⵢⵙⵔⵔⴰⵣ ⵓⵢⵙⵏⵍⵓ ⵉⵎⵉⵙⵙⵉⵡⵏ ⵏ ⵜⵎⵙⵓⵍⵉⵜ

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : CONCEPTION DES OUVRAGES HYDROTECHNIQUES

THEME :

Étude de la protection de la ville de T'kout contre les inondations de l'oued Chénnaoura (Wilaya de Batna)

Présenté par :

Bouchibane Imane

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
A. ZEROUAL	MCA	Président
CH.SALHI	MCB	Examinateur
M.BENSALEH	MCB	Examinateur
HACHEMI Abdelkader	MCA	Promoteur

session2023/ 2024

Dédicace

"Sans vous, je ne serais pas ce que je suis aujourd'hui."

À toi, ma chère maman, **Lina,** pour ton amour incommensurable, ta patience infinie et tes sacrifices sans fin. Tu as toujours été mon pilier, mon guide, et tu as su me montrer, par ton exemple, la force de l'amour et de la détermination. Ce travail est en grande partie le reflet de tout ce que tu m'as donné.

À toi, mon cher papa, **Boualem,** pour ton soutien constant et tes précieux conseils. Ton exemple de courage et de persévérance a toujours été ma source d'inspiration. Tu m'as appris à ne jamais abandonner, à toujours croire en moi et à viser l'excellence.

À toi, mon très cher oncle, **Djamel,** pour ton soutien inébranlable, tes précieux conseils et ton amour toujours présent. Tu as été un modèle de sagesse et de bienveillance.

À mes sœurs, les meilleures sœurs du monde, **Kinza, Salsabil** et **Samah,** pour leur amour sincère, leur encouragement constant et les moments de joie partagés. Vous avez rendu ce parcours plus léger, même dans les moments les plus difficiles. Vous êtes mes amies, mes complices et mes confidents, et sans vous, ce chemin aurait été bien plus ardu.

Je dédie ce travail à ma très chère **Romaissa** merci pour ton soutien durant tout mon parcours

Je vous dédie ce mémoire, car vous êtes les raisons pour lesquelles je me dépasse chaque jour et les piliers sur lesquels je m'appuie.

Remerciement

Je commence ces remerciements en rendant grâce à Dieu Tout-Puissant, source de toute sagesse et de toute force, qui m'a guidé, inspiré et soutenu tout au long de cette aventure intellectuelle. Sans Sa grâce, ce travail n'aurait pas été possible.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à mon promoteur de **Mr Hachemi Abdelkader,** pour sa bienveillance, ses précieux conseils et sa disponibilité. Son expertise et ses orientations ont été des éléments clés dans la réalisation de ce projet.

Je remercie également **Mr ZEROUAL** Ayoub pour ses suggestions enrichissantes et leur soutien constant et son aide précieuses.

Je suis profondément reconnaissant envers mes proches et amis pour leur soutien inébranlable, leur patience et leurs encouragements, qui m'ont permis de surmonter les moments de doute et de persévérer.

Enfin, mes remerciements vont à l'**Ecole National Supérieure d'Hydraulique**, si applicable] pour l'opportunité offerte de mener cette recherche et pour les ressources mises à ma disposition.

À toutes ces personnes , à tous ce qui ont contribuer à la réussite de ce mémoire que ce soit de loin ou de près , je vous adresse un grand merci.

ملخص

تركز هذه الدراسة على تحليل التدابير اللازمة لحماية وسط مدينة تكوت، التابعة لبلدية تكوت، من الفيضانات المتكررة لواد شناورة. يشمل النهج المتبع دراسة شاملة لمخاطر الفيضانات وتقييم التحديات والنقاط الضعيفة، بالإضافة إلى تحديد المناطق الأكثر عرضة تم اختيار حل تقني-اقتصادي يتمثل في إنشاء قناة من .HEC-RAS، وHEC-GEO، ArcGIS باستخدام أدوات محاكاة هيدروليكية مثل الغابيون لواد شناورة، إلى جانب تعزيز البنية التحتية لتحسين تصريف المياه والحد من تأثير الفيضانات. هذا الحل تم تحديده بناءً تسعى هذه .على تحليل مقارن بين عدة سيناريوهات واقتراحات، بهدف تعزيز قدرة المدينة على التكيف مع الكوارث الطبيعية الدراسة إلى توفير نهج استباقي يضمن سلامة السكان واستدامة البنية التحتية، مما يعزز الإدارة المستدامة لمخاطر الفيضانات في المنطقة.

الكلمات المفتاحية: تكوت، واد شناورة، الحماية، الفيضانات، المحاكاة الهيدروليكية، الحلول التقنية الاقتصادية

Résumé

Cette étude vise à analyser les mesures nécessaires pour protéger le centre-ville de T'kout, relevant de la commune de T'kout, contre les inondations récurrentes de l'oued Chénnaoura. Elle s'appuie sur une évaluation approfondie des risques d'inondation, des défis et des vulnérabilités, ainsi que sur l'identification des zones les plus exposées à l'aide d'outils de simulation hydraulique tels que ArcGIS, HEC-GEO et HEC-RAS.
La solution proposée consiste en la construction d'un canal en gabion pour l'oued Chénnaoura, accompagnée d'améliorations des infrastructures visant à optimiser l'écoulement des eaux et à limiter les impacts des inondations. Ce choix a été fait après une analyse comparative de plusieurs scénarios, afin de renforcer la résilience de la ville face aux risques naturels.
Cette démarche proactive a pour objectif de garantir la sécurité des habitants, de préserver les infrastructures urbaines et de promouvoir une gestion durable des risques d'inondation dans la région.

Mots-clés : T'kout, oued Chénnaoura, protection, risques d'inondation, simulation hydraulique, solutions technico-économiques.

Abstract

This study aims to analyze the necessary measures to protect the center of T'kout, located in the commune of T'kout, from the recurring floods of Oued Chénnaoura. It is based on an in-depth assessment of flood risks, challenges, and vulnerabilities, as well as the identification of the most exposed areas using hydraulic simulation tools such as ArcGIS, HEC-GEO, and HEC-RAS.
The proposed solution involves constructing a gabion-lined channel for Oued Chénnaoura, along with infrastructure improvements to optimize water flow and mitigate the impact of floods. This solution was chosen after a comparative analysis of various scenarios to enhance the city's resilience to natural hazards.
This proactive approach aims to ensure the safety of residents, preserve urban infrastructure, and promote sustainable flood risk management in the region.

Keywords: T'kout, Oued Chénnaoura, protection, flood risks, hydraulic simulation, technico-economic solutions.

Sommaire

Introduction générale 12

CHAPITRE I : Problématique des inondations en Algérie dans un contexte de changement climatique 4

Introduction 4

I.1 Définitions des notions abordées 4

I.1.1 Le risque : **4**

I.1.2 L'aléa : **5**

I.1.3 Vulnérabilité : **6**

I.1.4 Lit mineur : **6**

I.1.5 Lit majeur : **6**

I.1.6 La genèse des inondations : **7**

I.2 L'évènement des inondations 8

I.2.1 Dans le monde **8**

I.2.2 En Algérie **10**

I.3 Les crues d'Oued chennaoura 13

Conclusion 16

CHAPITRE II : Description de la zone d'étude 19

Introduction 19

II.1 La situation géographique 19

II.2 Caractéristiques physiques 21

II.2.1 Relief et hydrographie **21**

II.2.2 Le sol **21**

II.2.4 La sismicité : **21**

II.2.5 Hydrographie **22**

II.2.6 Climatologie **23**

Conclusion 29

CHAPITRE III : Etude Hydrologique Hydrologique……38

Introduction 31

III.1 Bassin versant 31

III.1.1 Caractéristiques principale du bassin versant **31**

III.1.1.1 Caractéristique géographique **32**

III.1.1.2 Caractéristiques morphologiques : **32**

III.1.1.3 Caractéristiques géométriques **33**

III.2 Etude du réseau hydrographique 45

III.2.1Caractéristique hydrographique **45**
III.2.6 La densité hydrographique des thalwegs élémentaires « F1 » : **48**
III.3 Etude des crues : 54
III.3.1 L'analyse fréquentielles des pluies des crues maximales annuelles avec la station hydrométrique M'chounech **54**
III.3.2 Présentation de la station hydrométrique **54**
III.3.3 Choix du modèle fréquentiel **55**
III.3.3 Détermination des débits maximums fréquentiels par la méthode du Gradex **62**
II.3.4 Hydrogramme des crues **70**
III.3.5 Choix de la crue de projet **73**
Conclusion 75
CHAPITRE IV : Simulation des écoulements Hydrauliques et cartographie des zones inondables à risque……..84
Introduction : 77
IV.1Généralités : 77
IV.1.2Definition de l'écoulement à surface libre : 78
IV.1.3Définition de l'écoulement stationnaire (permanent) : 78
IV.1.4Définition de l'écoulement non stationnaire (non permanent) : 79
IV.2Dimensionnement des canaux : 79
IV.2.1Détermination du coefficient de Chézy : 79
IV.2.1.1Formule de manning (1981): 79
IV.2.1.2 Formule de Pavlovski (1940) : 80
IV.2.1.3 Formule d'Agroskine : 80
IV.2.1.4 Formule de Bazin (1897) : 80
IV.3Diagnostique et simulation du cours d'eau sans Aménagement : **81**
IV.4Simulation de l'écoulement du cours d'eau : 83
IV.4.1 Choix du type de modèle hydraulique : **83**
IV.4.2 Présentation du logiciel HEC-RAS : **83**
Conclusion 104
CHAPITRE V : Étude des variantes d'aménagement 106
Introduction : **106**
V.1 Présentation des grandes orientations : **106**
V.2 Étude des variantes **108**
Calcul hydraulique des canaux **108**
V.3 Critères d'évaluation de la variante d'aménagement **110**

V.4 Aménagement proposé sur l'oued de Chénnaoura **110**

CHAPITRE VI : Organisation du chantier. 133
Introduction 133
VI. 1 Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier **134**
VI.1.2Le maître d'oeuvre « MOE » **:** **134**
VI.1.3L'entrepreneur : **135**
VI.2Installations du chantier : 136
VI.2.1Installations destinées au personnel : **136**
VI.2.2Installations destinées au stockage des matériaux : **136**
VI.2.2.2La grille en acier galvanisé : **136**
VI.2.2.3Le géotextile : **137**
VI.2.2.4L'énergie électrique : **137**
VI.2.2.5L'alimentation en eau potable : **137**
VI.2.2.6L'alimentation en carburant **137**
1.2VI.2.4 Installations pour la préfabrication : **137**
VI.3Les moyens de chantier : 137
VI.3.1Les moyens humains : **137**
VI.3.2Les moyens matériels : **138**
VI.4Devis quantitatif et estimatif du projet : 138
VI.5La Planification : 139
VI.5.1Définition **:** **139**
VI.5.2Étapes de la planification : **140**
VI.5.4Techniques de la planification : **141**
VI.5.4.1 Méthodes basées sur le réseau : **142**
Conclusion 151
Conclusion générale 152

LISTES DES FIGURES

CHAPITRE I : Problématique des inondations en Algérie dans un contexte de changement climatique

Figure I. 1 : Définition du risque (Samuels, 2005) 5
Figure I. 2 : Lit majeur, lit mineur d'un cours d'eau (Ledoux, 2006) 7
Figure I. 3 : Les inondations et les tempêtes depuis 1990 (Isabelle, 2005). 9
Figure I. 4 : Dégâts causés par les fortes pluies (2012). 14
Figure I. 5 : Inondation d'Oued chennaoura 15
Figure I. 6 : Photos illustrant l'érosion des talus d'oued Chénnaoura 15
Figure I. 7 : Photos illustrant la démolition des constructions sur les rives de l'oued 16

CHAPITRE II : Description de la zone d'étude

Figure II. 1 : Localisation de la zone d'étude 20
Figure II. 2 : La situation de la zone d'étude au sein des wilayas et des communes. 20
Figure II. 3 : Classification sismique des wilayas d'Algérie (Addenda, 2003). 22
Figure II. 4 : Courbes de répartition mensuelle des températures 25
Figure II. 5 : Vitesse moyenne mensuelle du vent pour la période (2006-2016). 27
Figure II. 6: Evolution de la pluviométrie mensuelle (en mm). 28

CHAPITRE III : Etude Hydrologique Hydrologique

Figure III. 1: Carte hypsométrique du sous bassin versant T'kout. 36
Figure III. 2 : Répartition des surfaces et la courbe hypsométrique du sous bassin versant T'kkout. 37
Figure III. 3 : Carte des pentes pour le sous bassin versant de T'kkout 39
Figure III. 4 : Carte des courbes de niveaux du sous bassin versant 40
Figure III. 5 : Réseau hydrographique du bassin versant de T'kkout. 46
Figure III. 6: Situation de la station hydrométrique de M'chounech (Source : ANRH-Alger) 55
Figure III. 7 : Représentation graphique de la loi de Gumbel de la station TKKOUT (061505). 58
Figure III. 8 : Représentation graphique de la loi log normale de la station de TKKOUT (061505) .. 60
Figure III. 9 : Graphe représente ajustement graphique pour les pluies et droite d'extrapolation pour les débits (Laborde,2000). 63
Figure III. 10: Hydrogramme de crue pour période de retour 100 ans pour les différentes stations. .. 73
Figure III. 11 : : Hydrogramme de la crue du projet. 74

CHAPITRE IV : Simulation des écoulements Hydrauliques et cartographie des zones inondables à risque

Figure IV. 1 : Définition des variables hydrauliques intervenant dans les équations de Saint-Venant, d'après (Langdon, 2000) :a) profil en travers, b) profil en long (Roux, 2004). 78
Figure IV. 2: Images illustrants des zones de l'oued avant travaux. 82
Figure IV. 3: Image illustrant une partie de l'oued avant aménagement 82
Figure IV. 4 : Interface du logiciel HEC-RAS (version 6.4.1). 83
Figure IV. 5 : TIN (réseau irrégulier triangulé) de la zone d'étude. 85
Figure IV. 6: Insertion des données du terrain. 86
Figure IV. 7 : Insertion fichier de projection. 86
Figure IV. 8 : Définition du tracé d'oued Chennaoura (RAS-MAPPER). 87
Figure IV. 9: Définition du tracé de l'oued Chennaoura 88
Figure IV. 10: Introduction des données hydrauliques de l'oued. 89
Figure IV. 11 ; Définition des conditions aux limites 89

Figure IV. 12 : Profil en long de l'oued Chennaoura à l'état naturel. 91
Figure IV. 13 : Courbe de tarage du tronçon modélisé d'Oued Chénnaoura. 92
Figure IV. 14 : Les profils en travers de quatre sections choisies de l'oued Chénnaoura. 93
Figure IV. 15 : Carte de profondeur d'eau pour la période de retour 100 ans. 98
Figure IV. 16 : Carte de vitesse d'eau pour la période de retour 100 ans. 99
Figure IV. 17: Carte de l'aléa pour la crue centennale 100
Figure IV. 18 : Carte d'occupation du sol de la zone d'étude 102
Figure IV. 19 : Carte de risque d'inondation de la zone d'étude. 103

CHAPITRE V : Étude des variantes d'aménagement

Figure V. 1 : Coupe en travers d'un canal en gabion. 109
Figure V. 2: Les dimensions du canal trapézoïdale en béton armé du tronçon N°1 à aménager de l'oued Chénnaoura, (source :FLOW MASTER). 111
Figure V. 3 : Profils en travers d'un canal trapézoïdal pour une crue centennale pour le tronçon n°1 de l'oued Chénnaoura. 114
Figure V. 4 : Les dimensions du canal trapézoïdale du tronçon n°2 à aménager de l'oued Chénnouara , (Source : logiciel Flow-master). 115
Figure V. 5 : Profils en travers d'un canal trapézoïdal pour une crue centennale pour le tronçon de l'oued Chénnaoura. 117
Figure V. 6: Profils en travers d'un canal en gabion pour une crue centennale pour le tronçon de l'oued Chénnaoura. 122
Figure V. 7: Les dimensions du canal trapézoïdale du tronçon à aménager de l'oued, (Source : logiciel Flow-master). 124
Figure V. 8 : Profils en travers d'un canal trapézoïdal en enrochement pour une crue centennale pour les deux tronçon de l'oued 127
Figure V. 9: Image représentant l'emplacement proposé pour le mur de soutènement..... **Erreur ! Signet non défini.**

CHAPITRE VI : Organisation du chantier.

Figure VI. 1 : Relation entre les personnes du chantier (Ghomari, 2013) 135
Figure VI. 2 : Schéma représentatif de la méthode de PERT 146
Figure VI. 3 : Réseau P.E.R.T du projet. 150

LISTE DES TABLEAU

CHAPITRE I : Problématique des inondations en Algérie dans un contexte de changement climatique

Tableau I. 1 : Recensement des inondations catastrophiques en Algérie *(1970-2023) (Le CRSTRA, 2004).* 11

CHAPITRE II : Description de la zone d'étude

Tableau II. 1 : Répartition mensuelle des températures (Source : ONM). 24
Tableau II. 2: Classification du climat de T'kout. 26
Tableau II. 3: les précipitations moyennes mensuelles (en mm). 28

CHAPITRE III : Etude Hydrologique

Tableau III. 1 : tableau des paramètres hydro-morphométriques**.** 35
Tableau III. 2: Paramètres Hypsométriques de la zone d'étude. 37
Tableau III. 3 : caractéristiques altimétriques du sous bassin versant. 38
Tableau III. 4 : pente moyenne de T'KKOUT. 41
Tableau III. 5 : Classification ORSTOM du relief à partir de l'indice de pente global. 43
Tableau III. 6: Indice de pente global pour le bassin versant de T'kkout. 43
Tableau III. 7: Classification des reliefs d'après ORSTOM,1963. 44
Tableau III. 8: Résultats de calculs des pentes et la dénivelée spécifique du bassin versant de T'kkout : 45
Tableau III. 9 : calcul du rapport de confluence pour le bassin versant de T'kkout 47
Tableau III. 10: La densité de drainage du bassins versants 48
Tableau III. 11: Résultats du calcul du temps de concentration en heure pour le bassin verssant : 52
Tableau III. 12 : Résultats du calcul du temps de concentration en heure pour le bassin verssant : 53
Tableau III. 13: Paramètres hydrographiques des deux sous bassins versants. 53
Tableau III. 14 : Les caractéristiques de la station hydrométrique 55
Tableau III. 15 : Modèles fréquentielle **:** 56
Tableau III. 16 : Résultats d'ajustement à la loi de Gumbel. 57
Tableau III. 17 : Comparaison des caractéristiques de la loi de GUMBEL et de l'échantillon : 58
Tableau III. 18 : Résultats d'ajustement à la loi de Log-Normal de la station de TKKOUT 59
Tableau III. 19 : Comparaison des caractéristiques de la loi log normale et de l'échantillon 60
Tableau III. 20 : Résultats du test de χ2. 62
Tableau III. 21 : Les caractéristiques des stations station pluviométrique de TKKOUT 65
Tableau III. 22 : Répartition des précipitations maximales journalières prise de la station de TKKOUT (061505) . 66
Tableau III. 23: Répartition des précipitations maximales journalières prise de la station de KHEIRRAN. 66
Tableau III. 24 : Répartition des précipitations maximales journalières prise de la station de Bou Hemmama. 67
Tableau III. 25 : Résultats de calcul de b' pour les trois stations prises. 68
Tableau III. 26 : Résultats de l'ajustement pour déférentes périodes de retours pour les stations prises. 69
Tableau III. 27 : Résultats de l'ajustement des stations prises. 69
Tableau III. 28 : Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue "δ". 71
Tableau III. 29: les valeurs du temps de base, montée et décrue. 71
Tableau III. 30 : Valeurs du débits centennales en fonction du temps pour T'kout 72

Tableau III. 31 : crue de projet recommandée selon la classification du comité national australien des grands barrages (CNAGB). 74

CHAPITRE IV : Simulation des écoulements Hydrauliques et cartographie des zones inondables à risque

Tableau IV. 1 : Principaux paramètres hydraulique d'oued Chennaoura 94
Tableau IV. 2 : Critères d'évaluation de l'intensité d'aléa inondation (DDT, 2012). 100
Tableau IV. 3: Les valeurs de référence de type d'occupation pour la vulnérabilité (Guigo et al., 2002) 101

CHAPITRE V : Étude des variantes d'aménagement

Tableau V. 1: Dimensions de l'aménagement en béton armé du tronçon (1) de l'oued Chénnoura (canal en béton armé) : 111
Tableau V. 2: Résultats de la simulation d'écoulement d'un canal trapézoïdale en béton armé du tronçon aménagé de oued Chénnaoura , (Source : HEC-RAS). 112
Tableau V. 3 : Dimensions de l'aménagement en béton armé du tronçon n°2 de l'oued Chénnoura (canal en béton armé) : 115
Tableau V. 4 : Résultats de la simulation d'écoulement d'un canal trapézoïdale en béton armé du tronçon (n°2) de l'oued Chénnoura , (Source : HEC-RAS). 116
Tableau V. 5 : Devis de la variante canal en béton armé pour le tronçon n°1 de l'oued Chénaoura après aménagement. 118
Tableau V. 6 : Devis de la variante canal en béton armé pour le tronçon n°2 de l'oued Chénaoura après aménagement 118
Tableau V. 7 : résume les résultats des calcules 119
Tableau V. 8: Récapitulatif des paramètres de la variante du gabionnage pour le 1er tronçon : 119
Tableau V. 9: Résultats de la simulation d'écoulement d'un canal gabionné du tronçon n°1 de l'oued Chénnouara (Source : HECRAS). 120
Tableau V. 10 : Récapitulatif des paramètres de la variante du gabionnage pour le 1er tronçon :.... 121
Tableau V. 11: Résultats de la simulation d'écoulement d'un canal gabionné du tronçon n°2 de l'oued Chénnouara (Source : HECRAS). 121
Tableau V. 12: Estimation des coûts pour la variante du canal en gabion sur les deux(2) tronçons de l'oued. 123
Tableau V. 13 : Dimensions de l'aménagement du tronçon de l'oued 124
Tableau V. 14 : Résultats de la simulation d'écoulement d'un canal en enrochement pour le tronçon n°1 de l'oued Chénnouara (Source : HECRAS). 125
Tableau V. 15 : Dimensions de l'aménagement du tronçon n°2 de l'oued Chénnaoura. 125
Tableau V. 16 :Résultats de la simulation d'écoulement d'un canal en enrochement pour le tronçon n°2 de l'oued Chénnouara (Source : HECRAS). 126
Tableau V. 17 : Sections d'enrochement 128
Tableau V. 18 : Volumes d'enrochement 129
Tableau V. 19 : Sections du géotextile du canal de la variante 3. 129
Tableau V. 20: Volume des déblais et remblais du canal de la variante 3 130
Tableau V. 21 : Données des murs de soutènement ..... **Erreur ! Signet non défini.**

CHAPITRE VI : Organisation du chantier.

Tableau VI. 1 : Engins utilisés. 138
Tableau VI. 2 : Le devis des différents travaux de l'aménagement du projet sur l'oued deChénnaoura ville de T'KOUT. 139
Tableau VI. 3 : Liste des tâches pour le projet. 148
Tableau VI. 4 : Succession des tâches pour le projet. 149

Liste des abréviations :

Abréviations	Signification
1D	Unidimensionnel
2D	Bidimensionnel
3M	Minnesota Mining and Manufacturing Company,
ANRH	Agence Nationale des ressources hydrauliques
ARMCO	Arabian American Oil Company
BA	Béton Armé
BV	Bassin versant
Ca	Coefficient d'allongement
CETMEF	Le Centre d'études techniques maritimes et fluviales
CID	Conseil Ingénierie et Développement
CNAGB	Comité national australien des grands barrages
CP	Coefficient de pointe
CRSTRA	Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides
Ct	Coefficient de torrentialité
DA	Dinar Algérien
Dd	Densité de drainage Km/Km² ;
DRCR	La Direction des Routes et de la Circulation Routière (MAROC)
Ds	Le transport solide en (t/Km²/an)
EM-DAT	The Emergency Events Database
ESRI	Environmental systems research institute
Fr	Nombre de Froude
G	Accélération due à la gravité (m/s²)
GIP	Le Groupement d'intérêt public
GRADEX	Gradient de l'exponentielle
HEC- RAS	Hydrologic Engineering Center's River Analysis System
I	Pente hydraulique
IBV	Pente du bassin Versant
Ic	Pente du talweg principale (%)
IFACI	L'Institut français des auditeurs et contrôleurs internes
Im	Pente moyenne du bassin versant m/Km
Imoy	Pente moyenne du cours d'eau m/Km
Ip	Indice de pente de Roche %
IP	Pente piézométrique
Ir	Pente longitudinale du radier
JICA	L'Agence japonaise de coopération internationale
Kc	Indice de compacité
KG	L'indice de compacité de Gravelius
Le	Lamme d'eau écoulée (mm)
MEDD	Ministère de l'Environnement et Développement Durable
MEN	Mécanisme d'examen des normes
MNT	Model numérique du terrain
NGA	Nivellement Général de l'Algérie
OIT	L'Organisation internationale du Travail
OMM	L'Organisation météorologique mondiale

ONA	Office national d'Assainissement
ONM	Office National de la Météorologie
ORSTOM	Office de la recherche scientifique et technique outre-mer
P	Périmètre (Km) ;
Pj.max	Pluie maximal journalière (mm)
PPRI	Plan de Prévention du Risque Inondation
Qmoy	Débit moyen de la crues (m^3/s)
Qt	Débit à l'instant t (m^3/s) ;
RC	Rapport de la confluence
RH	Rayon hydraulique (m)
RL	Rapport des longueurs
RN	Route Nationale
S	Surface du bassin versant
SBV	Sous Bassin versant
SCS	Soil Conservation Service,
SEAAL	Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger
SEACO	La Société de l'Eau et de l'Assainissement de Constantine,
SEOR	La Société de l'Eau et de l'Assainissement d'Oran
SIG	Système d'Information Géographique
Sm	Surface mouillée (Km^2)
SONATRACH	Société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation, et la commercialisation des hydrocarbures
SPW	Le Service public de Wallonie
SST	Sécurité et de santé au travail
Ta	Désigne la dégradation spécifique en (T /Km^2/an)
Tb	Temps de base (h)
Tc	Temps de concentration (heures)
Td	Temps de décrue (h)
TIN	Triangulated Irregular Network
Tm	Temps de montée de la crue (heures)
Tr	Temps de réalisation
TSA	Tout sur l'Algérie
UNISCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
Vr	Vitesse de ruissellement (km/h)

Outils du travail :

ArcGIS :

Suite logicielle SIG développée par ESRI, permettant la capture, l'analyse et la visualisation de données géographiques. Elle inclut des outils comme :

- **ArcMap** : Cartographie et analyse géospatiale.
- **ArcCatalog** : Gestion des données géographiques.
- **ArcToolbox** : Outils pour la transformation et l'analyse des données.

HYFRAN :

Logiciel d'ajustement de distributions statistiques pour l'estimation de quantiles, développé par l'équipe du Professeur Bernard Bobée. Il inclut un Système d'Aide à la Décision pour sélectionner la distribution la plus adaptée.

HEC-RAS :

Logiciel de modélisation hydraulique pour analyser les écoulements d'eau dans les rivières et canaux, permettant l'évaluation des risques d'inondation et la conception d'ouvrages hydrauliques.

RAS Mapper :

Outil intégré à HEC-RAS pour visualiser et analyser graphiquement les résultats des simulations hydrauliques et hydrosédimentaires.

Flowmaster :

Logiciel de simulation des systèmes de fluides (liquides et gaz) utilisé pour concevoir et optimiser des réseaux hydrauliques et pneumatiques.

AutoCAD :

Logiciel de CAO pour la création de dessins techniques en 2D et 3D, largement utilisé en architecture et ingénierie.

MS Project :

Logiciel de gestion de projet permettant de planifier, suivre et gérer les tâches, ressources et délais. Il facilite la gestion des projets de toutes tailles

Introduction générale

Les inondations représentent l'un des aléas naturels les plus fréquents et destructeurs au niveau mondial. Entre 1994 et 2013, elles ont compté pour 43 % des catastrophes naturelles signalées, touchant près de 2,5 milliards de personnes (UNISDR, 2015) .Dans les années à venir, le changement climatique, l'urbanisation croissante et l'augmentation de la population mondiale risquent d'aggraver les effets des inondations côtières, fluviales et pluviales. (Bregje K. van et al. 2017). Les régions méditerranéennes sont particulièrement à risque (Giorgi, 2006).

Les inondations représentent une source significative de pertes économiques (Messner et al., 2007) et figurent parmi les dix risques majeurs identifiés en Algérie, selon la loi 04-20 du 25 décembre 2004, qui traite de la prévention des risques majeurs et de la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable (J.O.R.A., 2004). Ces événements peuvent également avoir des conséquences néfastes sur l'environnement (Yang, 1993 ; Tangara, 2005).

Ces dernières années, les dommages causés par les inondations ont considérablement augmenté, en grande partie en raison de l'urbanisation rapide dans les zones particulièrement vulnérables. Entre 1900 et 1980, les inondations ont touché plus de 339 millions de personnes (Ballais et al., 2011).

En Algérie, le risque d'inondation figure parmi les dix principaux risques majeurs qui constituent un obstacle significatif au développement économique et social, conformément à la loi 04-20 du 25 décembre 2004 sur la prévention des risques majeurs et la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable (Nouri et al., 2016). En moyenne, plus de 30 inondations sont recensées chaque année (Tabet-Aoul, 2008).

La wilaya de Batna a connu un historique mouvementé en matière d'inondations. Plusieurs oueds, dont l'oued Chénnaoura, se transforment en cours d'eau en période de crue, rendant la prédiction de ces événements difficile. Les habitants sont souvent victimes de ces inondations, exacerbées par un système de protection jugé insuffisant.

L'oued Chénnaoura, qui traverse la ville de T'kout, déborde régulièrement durant les périodes de forte pluie, provoquant des blocages dans la circulation et perturbant les activités

quotidiennes des résidents, tout en mettant leur sécurité en péril. Pour prévenir de tels dommages, il est impératif de mettre en place des infrastructures de protection adéquates, y compris des aménagements des cours d'eau et la construction de murs de protection.

Le barrage de Ghriz, situé en aval de T'kout, joue un rôle crucial dans la régulation des eaux et la gestion des crues dans la région. Des solutions telles que la construction de digues supplémentaires, de bassins de rétention et l'amélioration des systèmes de drainage sont également essentielles pour mieux gérer les eaux pluviales.

Enfin, renforcer les systèmes d’alerte précoce et sensibiliser la population aux risques d’inondation sont des mesures cruciales. Élaborer un plan d’aménagement du territoire qui prenne en compte ces risques est indispensable pour garantir la sécurité des citoyens et améliorer leurs conditions de vie.

CHAPITRE I : Problématique des inondations en Algérie dans un contexte de changement climatique.

CHAPITRE I : Problématique des inondations en Algérie dans un contexte de changement climatique

Introduction

Une atmosphère plus chaude à l'avenir pourrait contenir une quantité accrue de vapeur d'eau en vertu de l'équation de Clausius-Clapeyron, ce qui pourrait conduire à une augmentation potentielle des précipitations (Emori & Brown, 2005). Bien que les mécanismes physiques de ce phénomène soient bien compris, les manifestations spécifiques de ces événements dans le contexte des changements climatiques futurs sont conditionnées par les caractéristiques régionales et locales (Takayama et al., 2023). Les inondations représentent l'un des défis majeurs auxquels est confrontée l'Algérie, un pays qui connaît une diversité géographique allant des vastes étendues désertiques du Sahara aux régions côtières méditerranéennes. Ces inondations, autrefois considérées comme des événements météorologiques sporadiques, sont devenues plus fréquentes et plus dévastatrices ces dernières années, en raison des effets du changement climatique.

I.1 Définitions des notions abordées

I.1.1 Le risque :

Selon la perspective scientifique, le risque peut être défini comme "la mesure de la probabilité combinée de la survenue d'un événement indésirable et de la gravité de ses conséquences" (Kaplan & Garrick, 1981). Cette définition met en évidence la notion de probabilité et de conséquences associées à un événement, ce qui permet d'évaluer la vulnérabilité et d'adopter des stratégies de gestion des risques.

Sur le plan littéraire, le risque peut être interprété de manière plus métaphorique, symbolique ou émotionnelle. Il peut représenter "l'exploration de l'inconnu, la confrontation avec l'incertitude et la possibilité de perturbation de l'ordre établi" (Mazzocco, 2006). Dans la littérature, le risque est souvent utilisé pour ajouter de la tension narrative, explorer les limites de la condition humaine et illustrer les défis de la vie.

I.1.2 L'aléa :

En termes scientifiques, l'aléa est défini comme "la caractérisation de la probabilité d'occurrence d'un événement naturel ou technologique spécifique dans une zone donnée, sur une période de temps déterminée" (UNISDR, 2009). Cette définition met l'accent sur la notion de probabilité d'occurrence d'un événement, qu'il soit naturel (comme un tremblement de terre, une inondation ou une tempête) ou technologique (comme un accident industriel).

Comprendre l'aléa est essentiel dans l'évaluation des risques et la prise de décision en matière de gestion des catastrophes.

Selon Griot & Ayral (2002), l'aléa peut être défini comme "un événement offensif d'une durée donnée et doté d'une probabilité d'occurrence sur un territoire". Cette définition met en avant à la fois la nature de l'événement et sa probabilité d'occurrence dans un espace géographique spécifique

En termes scientifiques, l'aléa est défini comme "la caractérisation de la probabilité d'occurrence d'un événement naturel ou technologique spécifique dans une zone donnée, sur une période de temps déterminée" (UNISDR, 2009). Cette définition met l'accent sur la notion de probabilité d'occurrence d'un événement, qu'il soit naturel (comme un tremblement de terre, une inondation ou une tempête) ou technologique (comme un accident industriel).

Comprendre l'aléa est essentiel dans l'évaluation des risques et la prise de décision en matière de gestion des catastrophes.



Figure I. 1 : Définition du risque (Samuels, 2005)

I.1.3 Vulnérabilité :

D'un point de vue littéraire, la vulnérabilité peut être interprétée comme "la fragilité, l'exposition aux dangers et la dépendance émotionnelle ou physique d'un individu" (Goffman, 1963). Cette définition souligne les aspects psychologiques et relationnels de la vulnérabilité, ainsi que sa nature intrinsèquement humaine.

En termes scientifiques, la vulnérabilité peut être définie comme "la propension d'un système ou d'une population à subir des dommages en raison de l'exposition à des perturbations, associée à une incapacité à s'adapter ou à résister efficacement à ces perturbations" (Turner et al., 2003). Cette définition met en avant la notion de susceptibilité face aux risques et la capacité limitée à faire face à ces risques.

En termes techniques, la vulnérabilité peut être définie comme "la mesure de la propension d'un système ou d'une entité à subir des dommages, des pertes ou des conséquences négatives en raison de l'exposition à des menaces ou des risques spécifiques" (Smith et al., 2019). Cette définition met l'accent sur l'évaluation des faiblesses ou des lacunes dans un système, qui peuvent rendre celui-ci plus susceptible aux impacts des dangers ou des événements perturbateurs.

I.1.4 Lit mineur :

Le lit ordinaire d'un cours d'eau est défini en fonction du débit d'étiage ou des crues fréquentes, notamment celles ayant lieu tous les ans ou tous les deux ans (Merabet, 2006).

I.1.5 Lit majeur :

Il englobe les zones basses situées de chaque côté du lit mineur, s'étendant sur une distance allant de quelques mètres à plusieurs kilomètres. La limite de cette zone est déterminée par les crues exceptionnelles, dont la période de retour est d'environ cent ans

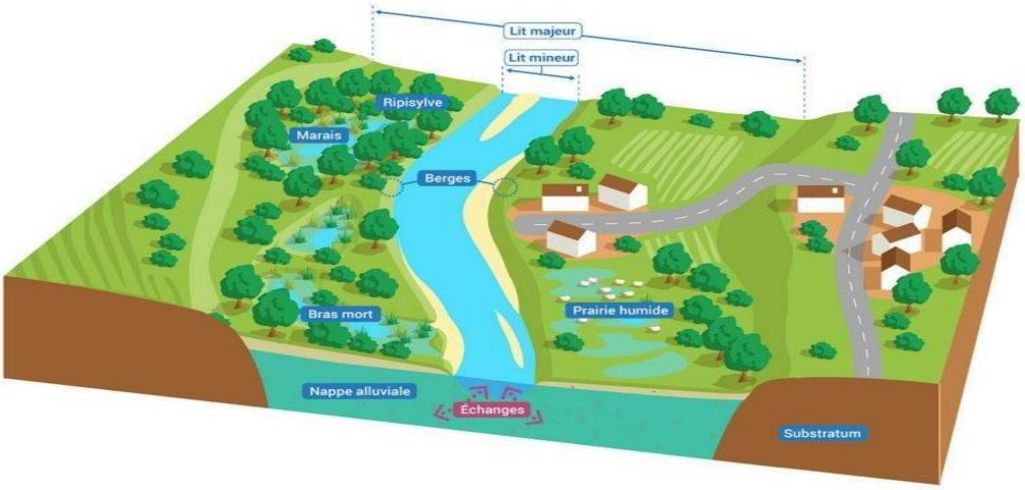


Figure I. 2 : Lit majeur, lit mineur d'un cours d'eau (Ledoux, 2006)

I.1.6 La genèse des inondations :

La genèse des inondations est un sujet complexe étudié par de nombreux chercheurs dans différents domaines scientifiques. Voici une synthèse des principaux facteurs et processus qui contribuent à la survenue des inondations, accompagnée de références pour approfondir chaque aspect :

1. **Précipitations intenses :** Les précipitations abondantes sont l'une des principales causes des inondations. Lorsque de fortes pluies surviennent sur une courte période, elles peuvent saturer les sols et entraîner un ruissellement rapide, augmentant ainsi le risque d'inondations soudaines (Hosking & Wallis, 1997).
2. **Fonte des neiges :** La fonte des neiges peut contribuer de manière significative aux inondations printanières, surtout dans les régions montagneuses où des accumulations importantes de neige se produisent pendant l'hiver (Barnett et al., 2005).
3. **Débordement des cours d'eau :** Le débordement des cours d'eau est un facteur majeur des inondations fluviales. Lorsque le niveau d'eau dépasse la capacité des rivières et des fleuves, ils débordent de leurs berges et inondent les zones avoisinantes (Ward & Robinson, 2000)

4. **Topographie :** La topographie joue un rôle important dans la genèse des inondations. Les zones basses et les bassins versants encaissés sont plus susceptibles de subir des inondations, car elles sont plus susceptibles de retenir l'eau (Bates et al., 2008).
5. **Urbanisation et aménagement du territoire :** L'urbanisation non planifiée et les changements dans l'aménagement du territoire peuvent aggraver les inondations en réduisant la capacité des sols à absorber l'eau et en augmentant la quantité d'imperméabilisation des surfaces (Pickett et al., 2001).
6. **Changements climatiques :** Les changements climatiques peuvent influencer la genèse des inondations en modifiant les schémas de précipitations, en augmentant l'intensité des tempêtes et en provoquant des événements météorologiques extrêmes plus fréquents (IPCC, 2014).

En résumé, la genèse des inondations est le résultat d'une combinaison complexe de facteurs naturels et humains. Une compréhension approfondie de ces facteurs est essentielle pour mieux prévenir et gérer les risques d'inondation dans les régions concernées.

I.2 L'évènement des inondations

I.2.1 Dans le monde

À l'échelle mondiale, les pertes annuelles dues aux crues ont été évaluées à 50 milliards de dollars entre 1990 et 1999, avec une tendance à une augmentation des coûts de 4 % par an (Ketrouci, 2014). Selon la base de données internationale EM-DAT, 2 470 inondations ont été signalées au cours des vingt dernières années (1999-2009). Ces événements ont causé environ 147 457 victimes, et les dommages totaux ont été estimés à 372,5 milliards de dollars (Oujbbour, 2015,).

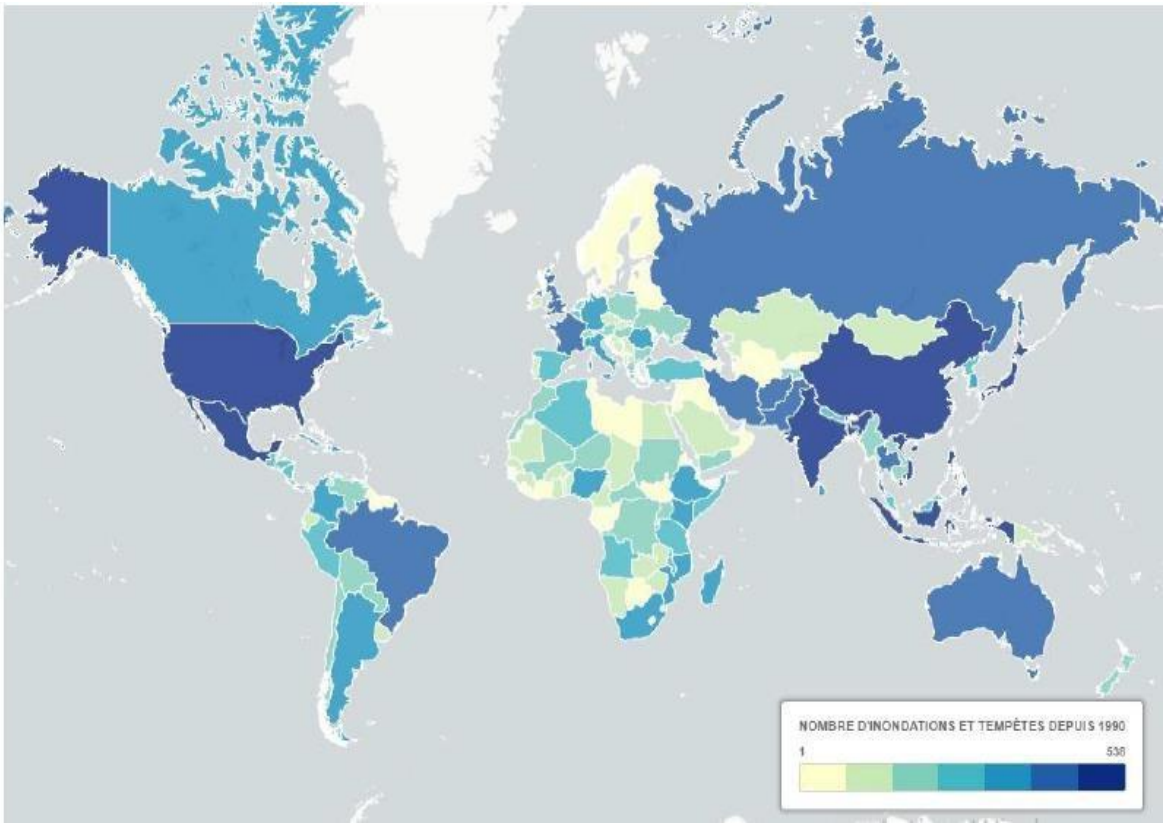


Figure I. 3 : Les inondations et les tempêtes depuis 1990 (Isabelle, 2005).

Actuellement, le monde connaît d'importants changements climatiques dans toutes ses régions (Schmidt et al., 2013), ce qui provoque des catastrophes naturelles, en particulier des inondations causées par des précipitations abondantes (Bekhira et al., 2019).

I.2.1.1 Événements Marquants dans le monde et leurs Conséquences

- En 1953, une violente dépression survenue pendant une marée de vives eaux a causé des destructions majeures dans trois pays bordant la mer du Nord : le Royaume-Uni, la Belgique et les Pays-Bas. Plus de 2 000 personnes ont perdu la vie, dont 1 800 aux Pays-Bas, où un état d'urgence a été décrété (Isabelle, 1953).

- En 1998, des inondations ont frappé le fleuve Yangtsé en Chine, causant un bilan provisoire de 140 morts et disparus dans le bassin du Yangzi Jiang. Plus de 28 000 habitations ont été endommagées, et les autorités estiment à 38 millions le nombre de personnes touchées par ces intempéries. Les provinces les plus affectées sont

Jiangxi, Hubei, Hunan, Anhui, Zhejiang, Jiangsu et Chongqing (La Croix, 2020).

- En 2004, un tsunami provoqué par un séisme de magnitude 9.0 au large de l'île de Sumatra a généré des vagues de 0,5 à 1 mètre. Les effets de ce tsunami ont été dévastateurs, touchant l'ensemble du périmètre de l'Océan Indien, mais les régions les plus touchées ont été l'Indonésie (province d'Aceh), le Sri Lanka, l'Inde et la Thaïlande, entraînant près de 230 000 pertes humaines (R. Brown & Chanson, 2012).

- En 2005, l'ouragan Katrina, l'un des plus puissants de l'histoire des États-Unis, a frappé la Louisiane ainsi que d'autres États du sud, causant environ 2 000 morts, principalement en Louisiane (Isabelle, 2005).

- En 2010, de fortes pluies de mousson ont provoqué des inondations au Pakistan, touchant de vastes régions du pays et entraînant plus de 1 500 décès, ainsi que le déplacement de millions de personnes et des dommages considérables.

I.2.2 En Algérie

Parmi les quatorze risques majeurs identifiés par l'ONU, le risque d'inondation en Algérie figure parmi les dix risques prioritaires sur le territoire, comme le stipule la loi 04-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable (Kaada, 2004).

Selon les analyses réalisées sur une période de 163 ans et portant sur 107 événements, les pertes humaines cumulées comprennent 4 211 décès, 529 blessés, 144 disparus et 78 168 sinistrés. De plus, les pertes économiques totales s'élèvent à 32,86 milliards de dinars algériens, équivalant à environ 284 millions d'euros (Nouri et al., 2016).

Tableau I. 1 : Recensement des inondations catastrophiques en Algérie *(1970-2023) (Le CRSTRA, 2004).*

Date de l'événement	**Zones touchées**	**Nombre de victimes**
12 Octobre 1971	Azzazga (W Tizi Ouzou)	40 morts
28 au 31 Mars 1974	Alger et Tizi Ouzou	52 morts
01 Septembre 1980	EL Eulma (W.Sétif)	44 morts
22 Août 1983	Birrine (W.Djelfa)	10 morts
03 Février 1984	Jijel, Constantine, Skikda,Guelma, Khenchla et OumEl Bouaghi	23 morts
05 Juillet 1987	Batna	02 morts
01 Septembre 1989	Biskra	02 morts
21 Septembre 1989	Msila	01 mort
15 Octobre 1989	Ain Defla	01 mort
03 Juin 1991	Ghardaia	09 morts
26 - 27 Janvier 1992	Alger, Blida, Tipaza, Chlef,Ain Defla, Medea..	10 morts
20 Octobre 1993	Oued R'hiou (W. Relizane)	22 morts
23 Septembre 1994	Bordj Bou Arréridj, Msila,Djelfa, Medea, Bouira, AinDefla et Tiaret	27 morts
29/09 au 02/10/1994	Ghardaia, Laghouat, Biskra, Mascara, Tissemssilt et Sidi Bel Abbés	21 morts
04 Avril 1996	Annaba et El Tarf	5 morts
14 Janvier 1999	Adrar	12 morts
28 Septembre 2000	Bou Saâda (W. M'Sila)	01 mort
14 Octobre 2000	Ain Temochent	04 morts
23 Octobre 2000	Naama	05 morts
24 Octobre 2000	Sidi Bel Abbes, Tissemsilt, Chlef et Ain Defla	01 mort
10 et 11 Novembre 2001	Bab El Oued (Alger)	800 morts
18 et 19 Avril 2007	Ghardaïa	29 morts
01 Octobre 2008	Ghardaïa	Plus de 33 morts,
01-02 Octobre 2011	El Bayadh	13 morts
29 Aout 2015	Khenchela (communes de Babar et Ouled Rechache).	1 personne est disparue
14 septembre 2018	Tébessa	1 mort
12 septembre 2019	Alger, Guelma, Djelfa, Souk-Ahras, Bechar	9 morts
Mai 2021	Médéa	1 mort
20 Octobre 2022	Tiaret	4 morts
Mai 2023	Tipaza	2 morts
Novembre 2023	Béjaia (Bordj Mira)	1 mort et Un porté disparu

I.2.2.1 Les causes des inondations en Algérie

Les inondations en Algérie sont causées par plusieurs facteurs, parmi lesquels :

1. Situations météorologiques extrêmes : Des épisodes de fortes pluies et d'orages violents entraînent une pluviosité intense qui dépasse la capacité d'absorption du sol et des infrastructures (Nouri et al. 2016).
2. Défaillances des infrastructures : Les réseaux d'assainissement et de drainage des eaux pluviales sont souvent insuffisants ou défaillants, ce qui aggrave les inondations lors des averses saisonnières (Kaada, 2004).
3. Urbanisation rapide : L'expansion urbaine non planifiée contribue à l'imperméabilisation des sols, réduisant ainsi leur capacité à absorber l'eau et augmentant le ruissellement (Le CRSTRA, 2004).
4. Topographie : La géographie du pays, avec ses reliefs variés, favorise le ruissellement rapide des eaux, en particulier dans les zones montagneuses et les vallées étroites (Nouri et al. 2016).
5. Gestion des déchets : L'accumulation de débris dans les oueds et les systèmes de drainage obstrue le passage des eaux, augmentant le risque d'inondations (Kaada, 2004).
6. Changements climatiques : Les variations climatiques influencent la fréquence et l'intensité des événements météorologiques extrêmes, exacerbant ainsi les risques d'inondation (Bekhira et al. 2019).

I.2.2.2 La stratégie en Algérie de lutter contre les inondations

Le Ministère des Ressources en Eau mène des études approfondies pour protéger efficacement les zones urbaines exposées aux risques d'inondation, suivies de la mise en œuvre des mesures recommandées. Actuellement, des solutions pour protéger les villes contre les inondations sont effectivement mises en œuvre grâce à divers projets intégrés dans plusieurs programmes de développement.

- **Évaluation des risques** : L'Algérie mène des études pour identifier les zones vulnérables et analyser les causes des inondations (Nouri et al. 2016).

- **Amélioration des infrastructures** : Des efforts sont déployés pour moderniser les réseaux d'assainissement et de drainage afin de mieux gérer les eaux pluviales

(Kaada, 2004).

- **Plans de prévention** : Le pays élabore des plans d'urgence pour atténuer l'impact des inondations sur les populations et les biens (Ministère des Ressources en Eau, 2020)

- **Sensibilisation et formation** : Des campagnes de sensibilisation visent à informer les citoyens sur les risques d'inondation et les comportements à adopter en cas de crise (Le CRSTRA, 2004).

- **Collaboration interinstitutionnelle** : Le gouvernement collabore avec différentes institutions et acteurs locaux pour une gestion intégrée des risques d'inondation (Bekhira et al. 2019).

- **Projets de développement durable** : La gestion des eaux est intégrée dans les projets de développement urbain et rural pour assurer une approche durable (Nouri et al. 2016).

I.3 Les crues d'Oued chennaoura

Les crues marquantes de l'oued Chennaoura ont eu des impacts significatifs sur les zones environnantes avec des crues supérieures à 600 m^3/s :

- **Crue de 2001** : Cette crue a été l'une des plus dévastatrices, causant des dommages importants aux infrastructures, notamment des routes et des habitations. De fortes pluies ont entraîné un débordement des rivières, inondant de nombreuses zones.

- **Crue de 2008** : De fortes pluies automnales ont provoqué une montée rapide du niveau de l'oued, entraînant des évacuations et des pertes matérielles considérables. Les autorités locales ont dû mobiliser des ressources pour faire face aux conséquences de cette inondation.

- **Crue de 2012** : Un épisode de pluie intense a causé une crue rapide, touchant des villages situés à proximité de l'oued. Les services de secours ont dû intervenir pour aider les sinistrés.

- **Crue de 2020** : Cette crue a été marquée par des pluies torrentielles, provoquant des inondations dans plusieurs localités. Des travaux de nettoyage et de réhabilitation des infrastructures ont été nécessaires suite à cet événement.



Figure I. 4 : Dégâts causés par les fortes pluies (2012).



Figure I. 5 : Inondation d'Oued chennaoura



Figure I. 6 : Photos illustrant l'érosion des talus d'oued Chénnaoura



Figure I. 7 : Photos illustrant la démolition des constructions sur les rives de l'oued.

Conclusion

Le cadre théorique établi dans ce premier chapitre sert de fondement pour réfléchir au risque d'inondation. Il explore le phénomène principal qui l'aggrave, la définition du risque et ses concepts connexes, ainsi que les caractéristiques spécifiques du risque d'inondation et les stratégies de gestion appropriées.

Le changement climatique est de plus en plus indiscutable. Ses conséquences peuvent être catastrophiques, entraînant un réchauffement général du climat, une élévation du niveau des mers et une intensification des phénomènes extrêmes. Par conséquent, les risques, notamment celui des inondations, sont exacerbés dans les territoires littoraux, en particulier le long des côtes basses (Verlynde, 2018).

La capacité de gérer l'impact des inondations varie considérablement selon les pays, les régions, les communautés et les groupes de population. Il n'existe pas de solution universelle pour la protection contre les inondations, car les réponses doivent

s'adapter aux conditions locales spécifiques. En effet, chaque zone inondable présente des défis uniques, ce qui implique qu'il y a autant de problèmes à résoudre que de territoires concernés.

De plus, la mise en œuvre de mesures de protection nécessite un ensemble de conditions qui, dans de nombreux cas, limitent les options disponibles et leurs résultats. Il est donc crucial de rechercher le type de protection le plus approprié pour chaque zone, en tenant compte des marges de sécurité nécessaires. Les méthodes d'analyse actuelles ne garantissent pas toujours une précision absolue, ce qui souligne l'importance d'une approche contextuelle et flexible dans la gestion des risques d'inondation (Elfetni, 2019).

En intégrant une planification proactive et des stratégies de sensibilisation, on peut améliorer la résilience des communautés face aux inondations, tout en tenant compte des spécificités de chaque territoire.

CHAPITRE II : Description de la zone d'étude.

CHAPITRE II : DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Introduction

Ce deuxième chapitre se concentre sur la zone d'étude, à savoir la station montagneuse d'Aurès. L'Aurès est un massif compact situé dans le Nord-Est de l'Algérie, entre 35° de latitude Nord et 6 à 7° de longitude Est. Au Sud-Ouest, le djebel Metlili marque la frontière entre l'Aurès et les Ziban, tandis qu'au Nord-Est, les chaînons des hautes plaines constantinoises, ainsi que les synclinaux de Seggana (orienté est) et d'Ain Touta-Batna, délimitent l'Aurès des monts Belezma (Abdessemed, 1981).

La géomorphologie de la région Nord-Est et Sud-Ouest présente un massif montagneux caractérisé par d'importants plissements avec des arêtes longues, rectilignes et minces, parallèles et serrées, orientées sud-ouest-nord-est, s'étendant sur environ soixante kilomètres. Ces arêtes sont séparées par des vallées profondes et parallèles, telles que l'Oued El Kantara, l'Oued Abdi et l'Oued El Arab, ainsi que par une plateforme saharienne et des hautes plaines.

Le massif aurassien est défini par des chaînes de montagnes alternant avec des dépressions orientées sud-ouest/nord-est. Le Djebel Lazreg, qui constitue l'axe principal du massif, se prolonge vers l'est par le pli du Chélia, le sommet le plus élevé d'Afrique du Nord à 2327 mètres. Ce massif s'étend de la plaine de l'Outaya au Sud-Ouest jusqu'à celle de M'dina au Nord-Est. De part et d'autre de cette chaîne se trouvent les deux principales vallées de l'Aurès, créant une rivalité Nord-Sud : l'Oued Abdi et l'Oued El Abiod (de Lartigue, 1904).

II.1 La situation géographique

T'Kout (en berbère : Kukt ou Kukt) est située dans le massif de l'Aurès, une région montagneuse relativement isolée, à 95 km au Sud-Est de Batna et à 71 km au Nord-Ouest de Biskra. Elle se trouve sur le territoire des Ayth Bouslimane, près du fleuve Ighzer Amellal (Oued El Abiod).

La région d'étude se situe à 10 km à l'Ouest de la commune de T'Kout. Elle est délimitée au Nord par le Djebel Zallatou, au Nord-Est par T'Kout, au Sud par le Djebel Hmar Khadou, et au Sud-Ouest par la forêt de M'ZBEL.

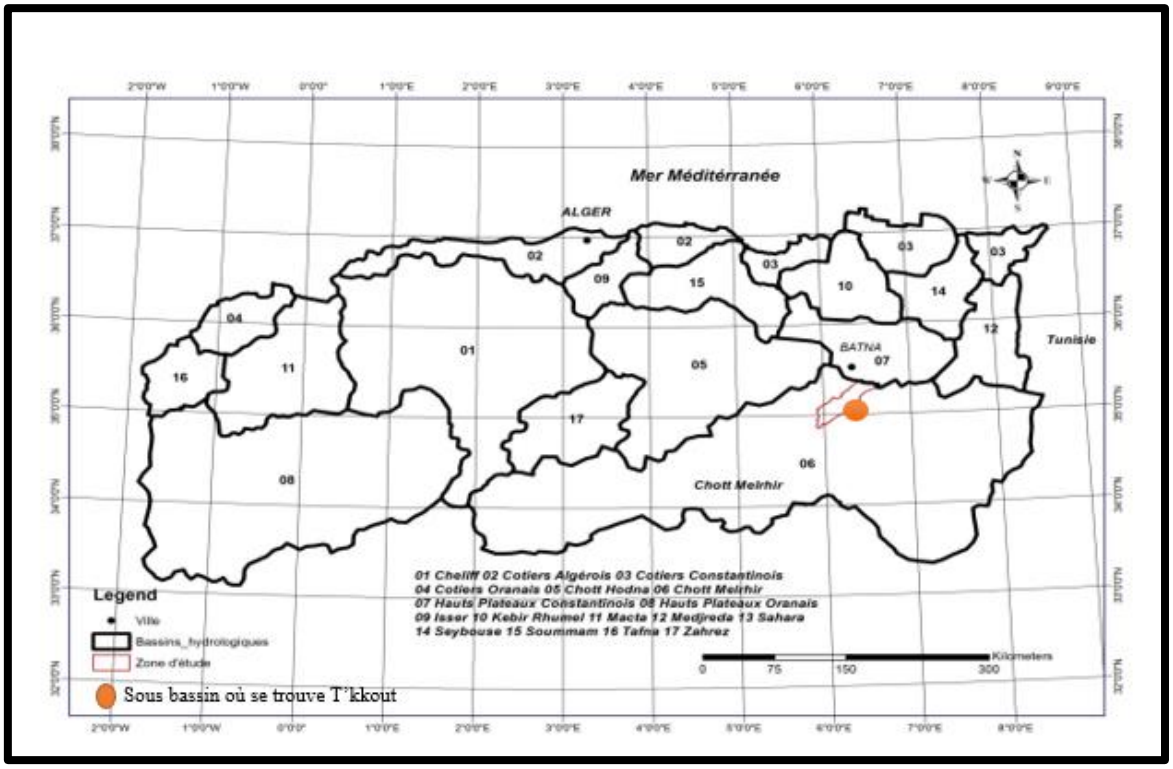


Figure II. 1 : Localisation de la zone d'étude

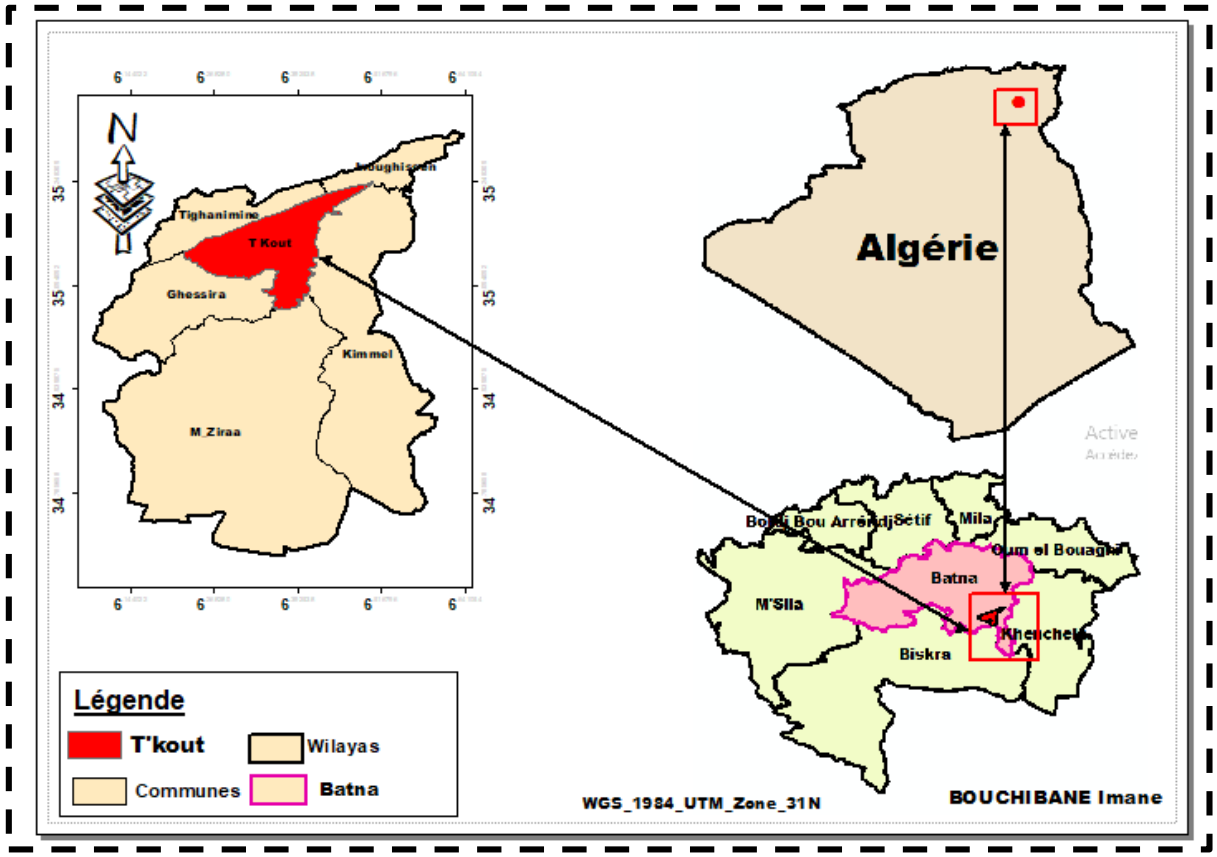


Figure II. 2 : La situation de la zone d'étude au sein des wilayas et des communes.

II.2 Caractéristiques physiques

La topographie de la région se caractérise par une succession d'anticlinaux très élevés et de synclinaux très profonds, ce qui entraîne un réseau hydrographique dendritique particulièrement dense. Cette configuration géologique contribue à une pluviométrie parfois inattendue, surtout sur les zones élevées et les sommets (MEHARZI, 2010) .

II.2.1 Relief et hydrographie

À l'est de T'Kout se dresse le Djebel Ahmar Khaddou. La commune elle-même est située sur un plateau à une altitude de 1 200 mètres, dominant la vallée de l'oued Abiod (appelé Ighzir Amellal en chaoui).

Le village ancien (dechra) de T'Kout, entouré de vergers en terrasses irrigés par la source principale, est perché sur un promontoire. En contrebas, le village moderne surplombe la vallée de l'oued Channaoura et se trouve à proximité de la forêt de Beni Melloul (Ath M'loul), un affluent de l'oued Abiod.

II.2.2 Le sol

La région se distingue par ses sols riches en zones agricoles, particulièrement en vergers, où l'activité agricole est bien développée. En revanche, les sols en dehors de ces zones cultivées sont généralement pauvres en substances organiques et minérales.

Les types de sols prédominants dans la région sont principalement calcaires et argileux, typiques des zones montagneuses. On y trouve surtout des sols calcaires, marneux et argileux.

II.2.3 La sismicité :

En raison de sa position dans une zone de convergence des plaques tectoniques, l'Algérie est une région à forte sismicité. Son histoire est marquée par de nombreux séismes destructeurs.

Le territoire national est réparti en cinq zones de sismicité croissante, définies de la manière suivante :

- Zone 0 : sismicité négligeable ;
- Zone I : sismicité faible ;
- Zone II.a et II.b : sismicité moyenne ;

Zone III : sismicité élevée.

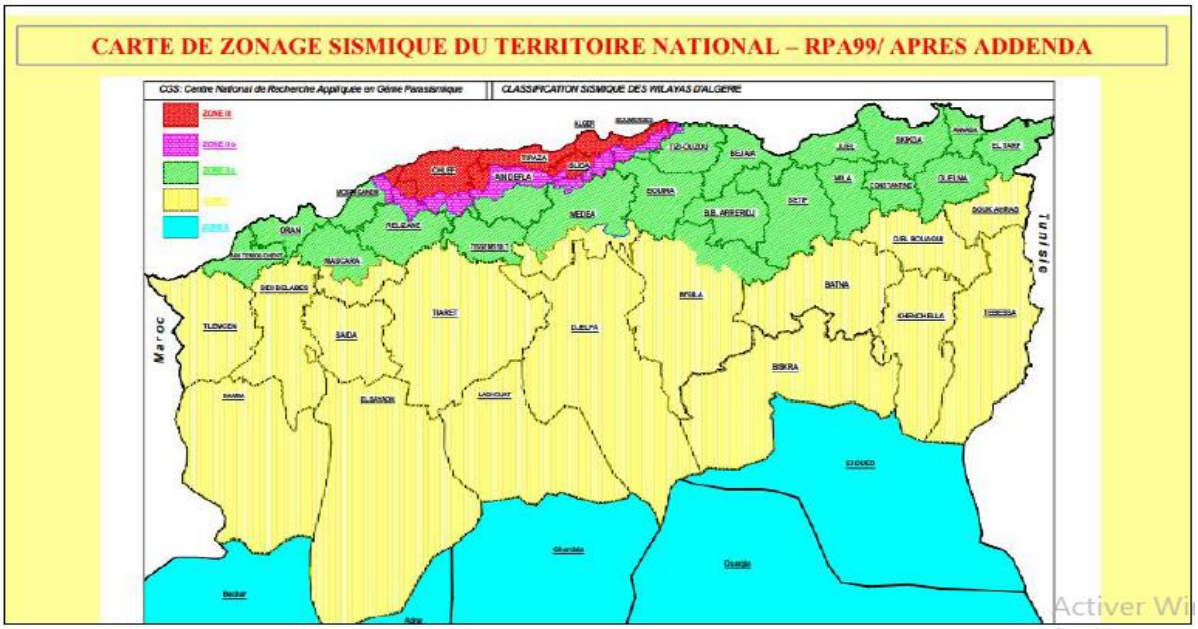


Figure II. 3 : Classification sismique des wilayas d'Algérie (Addenda, 2003).

La figure ci-dessus indique que notre zone d'étude est classée en zone I où la sismicité est faible.

II.2.4 Hydrographie

Selon BELKACEM (2015), le relief et la présence abondante de roches imperméables ont contribué à la formation d'un réseau hydrographique important. Au sud des Aurès, ce réseau est endoréique, avec un régime principalement temporaire, les eaux se perdant dans les dépressions internes (FARAH, 2014).

La majeure partie du territoire de T'Kout est irriguée par l'Oued El Abiod et l'Oued Chenaoura (ou Chabet El Hara), selon DELARTIGUE (1904). Cette rivière prend sa source au Ras Taguecherirt, un nœud géographique important d'où émergent les chaînes du Ras Zouak, du Djebel Zelatou et du Djebel Ahmar Khaddou. Le Ras Taguecherirt atteint une altitude de 1975 mètres. Le Chabet El Hara traverse d'abord des gorges accidentées, irriguant les jardins et les petits villages d'El Hara, Bou Setta, Hembla et Al-Arich.

L'Oued Chenaoura se trouve à environ 6 km du village de T'Kout, sur sa rive gauche. À cet endroit, la vallée s'élargit et devient plus dégagée, bordée par un excellent sentier muletier, tandis que le sol est nu et rouge.

Les principaux affluents de l'Oued Chenaoura sur la rive gauche sont :

- L'Oued El Ma, qui se déverse dans l'Oued Chenaoura à T'Kout et se divise en deux bras provenant de l'Ahmar Khaddou, l'un au nord, venant de Tadjmout, et l'autre au sud, du Djebel Irhed (1779 m).

- L'Oued Djerallah, qui se jette dans l'Oued Chenaoura à Tahammamet. Il prend sa source dans plusieurs têtes de montagnes de l'Ahmar Khaddou, incluant le Djebel Bou Irhed (1779 m), le Ras Essra (1771 m), le Teniet Ferkous et le Kef Berdoud (1795 m). Il passe également par Djerallah (DELARTIGUE, 1904).

II.2.5 Climatologie

La diversité de la structure morphologique du massif Aurassien se reflète dans son climat, qui est marqué par une grande variété de microclimats. Le climat dans la région des Aurès n'est pas homogène en raison des importantes différences d'altitude et d'ensoleillement, ce qui engendre des variations climatiques significatives (Marc Cote, 1993).

Selon Beghami et Bélair (2007), le massif présente principalement un climat méditerranéen de type semi-continental, avec des contrastes modérés. Il se caractérise par une saison sèche et une période humide, dont les caractéristiques varient selon les zones géographiques.

En outre, le massif est défini par des étages bioclimatiques allant de la végétation semi-aride et sub-humide aux limites de l'aridité supérieure au pied méridional du massif, et jusqu'à l'humidité inférieure au sommet du Chélia.

Données climatiques de la région de T'kout

En raison du manque notable de données climatiques pour les zones de répartition du thuya, notamment pour la zone d'étude située à une altitude moyenne de 1700 m, et considérant que les seules données disponibles proviennent de la station de T'Kout, située à 980 m (35° 38' N, 06° 19' E), nous avons utilisé une extrapolation des données de cette station pour estimer le climat de la zone d'étude.

Type de climat

L'analyse des données climatiques enregistrées sur une période de 30 ans révèle que la station de T'Kout se situe dans un étage bioclimatique semi-aride supérieur, caractérisé par des hivers froids. Ces données mettent en évidence une forte irrégularité annuelle des précipitations, avec des périodes humides, notamment en septembre, où la moyenne atteint environ 53,61 mm.

Les précipitations

La pluie est essentielle pour l'approvisionnement en eau des arbres, car c'est la quantité d'eau atteignant le sol qui détermine cet approvisionnement (BOUDY, 1952). Les données météorologiques provenant de stations peuvent être extrapolées pour estimer les conditions dans les zones entre ces stations, ce qui permet de couvrir l'ensemble du territoire. La précision

de ces extrapolations dépend du réseau de stations et de la variabilité climatique et topographique (ROZA et al., 2011). L'altitude et l'exposition sont des facteurs clés influençant la quantité de pluie reçue. Les données climatiques estimées pour la période de 1985 à 2014 ont été extrapolées en fonction de l'altitude pour le versant nord, en utilisant des stations de référence.

Les températures

Les mesures de température dans le bassin versant sont incomplètes. Toutefois, il est pertinent de les évoquer, en mettant en avant l'importance de la saison sèche et l'impact significatif de l'évapotranspiration, un facteur clé du déficit d'écoulement. Comprendre la saison sèche permet d'évaluer la durée pendant laquelle les sols sont exposés aux températures, ce qui agit comme un agent de météorisation, fragilisant la structure des formations superficielles et préparant le matériau à l'érosion. Les stations météorologiques disponibles dans le bassin versant ne fournissent pas de données de température pour la zone, d'où notre choix d'utiliser les données de la station la plus proche (Houbib, 2012).

Les températures moyennes mensuelles et annuelles de la station représentative du bassin versant, incluant les valeurs minimales, maximales, ainsi que les minimales et maximales absolues, sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II. 1 : Répartition mensuelle des températures de 1985 à 2014 , (Source : ONM).

Paramètre	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juill	Aou	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy
M (°C)	9,88	10,5	14,57	18	24	29,97	33,9	32,7	28	21	14,5	9,67	20,56
m (°C)	-0,6	-1,2	1,58	4,8	8,7	13,1	15,1	16,2	13,3	8,64	3,77	-0,7	6,89
(M+m)/2(°C)	4,64	4,65	8,08	11,4	16,35	21,54	24,5	24,45	20,65	14,82	9,14	4,49	13,72
M-m (°C)	10,48	11,7	12,99	13,2	15,3	16,87	18,8	16,5	14,7	12,36	10,73	10,37	13,66

Avec :

M : Température moyenne maximale mensuelle en (°C) ;

m : Température moyenne minimale mensuelle (°C) ;

M+m /2 : Température moyenne mensuelle ;

M-m : Amplitude thermique.

- Le tableau n° II.1 indique que la température moyenne annuelle est de 13,72 °C.

- Les mois les plus chauds de l'année correspondent à l'été, c'est-à-dire juin, juillet, août et septembre, durant lesquels les températures moyennes maximales dépassent 20 °C. Entre 33.9 Décembre et Février , les températures moyennes mensuelles restent inférieures à la moyenne annuelle. Les températures minimales et maximales absolues enregistrées sont de -1.2 °C et 33.9 °C, respectivement, ce qui donne une amplitude thermique annuelle de 35,1 °C.

DEBRACH (dans M'HIRIT, 1982) distingue deux types de climat en se basant sur l'amplitude annuelle maximale (M-m) et la température moyenne annuelle calculée comme (M+m)/2.

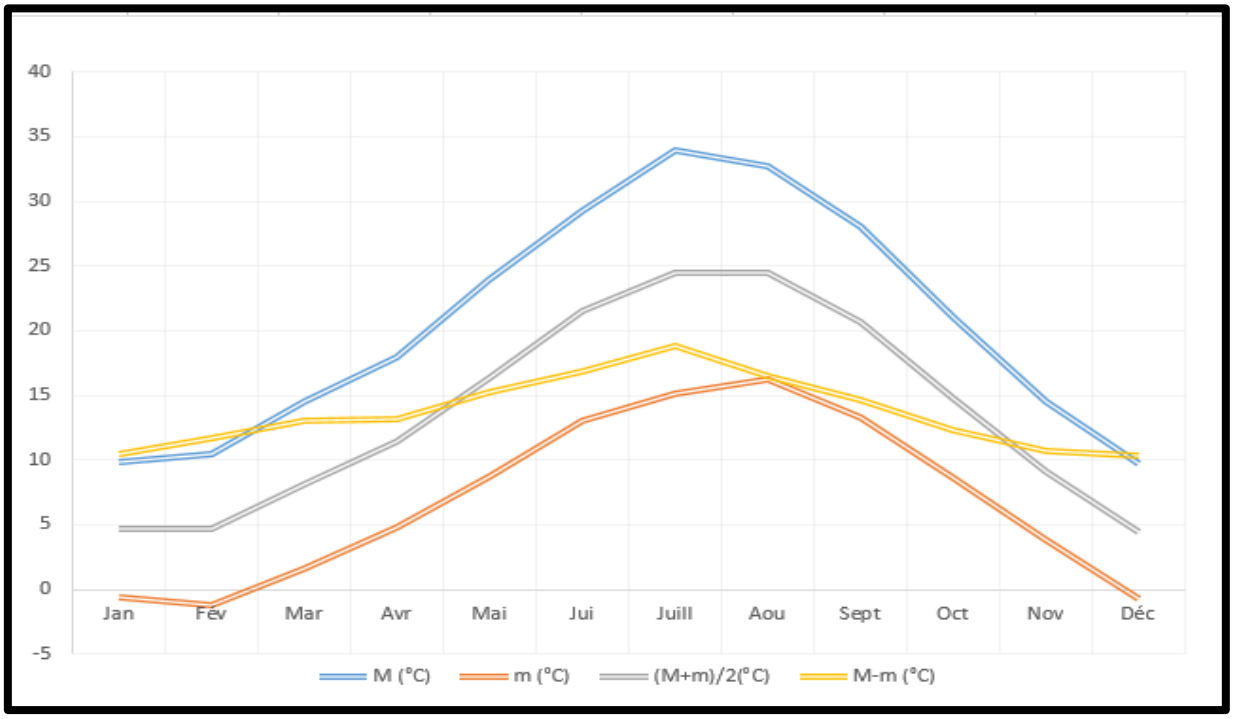


Figure II. 4 : Courbes de répartition mensuelle des températures.

Tableau II. 2: Classification du climat de T'kout.

Climat de type M – m		Station d'étude
M - m <15 °C	Climat insulaire	----
15 °C < M - m <25 °C	Climat littoral	----
25 °C< M - m < 35 °C	**Climat semi- continental**	**T'kout : 34.2 ° C**
M – m > 35 °C	Climat continental	----
Climat de type M + m / 2		
M + m / 2 > 20 °C	Climat chaud	----
15 °C <M + m / 2 < 20 °C	Climat modéré	----
10 °C < M + m / 2 <15 °C	**Climat froid**	**T'kout : 13.72 °C**
M + m / 2 <10 °C	Climat très froid	----

L'humidité de l'air

Dans l'atmosphère, il y a toujours une certaine quantité de vapeur d'eau. Cette humidité atmosphérique réduit la consommation d'eau des arbres en ralentissant leur transpiration. Ainsi, dans une atmosphère humide, une plante peut se satisfaire d'une quantité de pluie moindre (BOUDY, 1951).

L'enneigement

La neige constitue une réserve d'eau qui est progressivement libérée dans le sol et offre également une protection aux plantes qu'elle recouvre. De plus, les accumulations de neige dans certaines montagnes sont notables (BOUDY, 1951). Les chutes de neige se répartissent entre l'hiver et le printemps.

À T'Kout, les données disponibles indiquent une moyenne de 16,4 jours de neige par an, répartis entre l'hiver et le printemps. Cependant, le manteau neigeux ne persiste pas longtemps (AISSI, 2015).

Les gelées

La gelée blanche contribue à la désarticulation des cônes (processus de gel-dégel) et à la germination des graines en levant leur dormance. Selon TOTH (1978), le risque de gelée commence lorsque la température minimale descend en dessous de 10 °C et persiste tant que cette température demeure inférieure à cette valeur.

Dans les Aurès, la gelée blanche se manifeste pendant 31 jours, avec une fréquence élevée en hiver, atteignant 26 jours, et 5 jours au printemps.

Les vents

Le vent est relativement fréquent dans cette région à la fin du printemps et en été. Pendant l'hiver, un vent froid et humide souffle du nord-ouest, avec une vitesse moyenne annuelle de 16,88 km/h pour la période de 2006 à 2016. La distribution des vents est illustrée dans la figure 04.

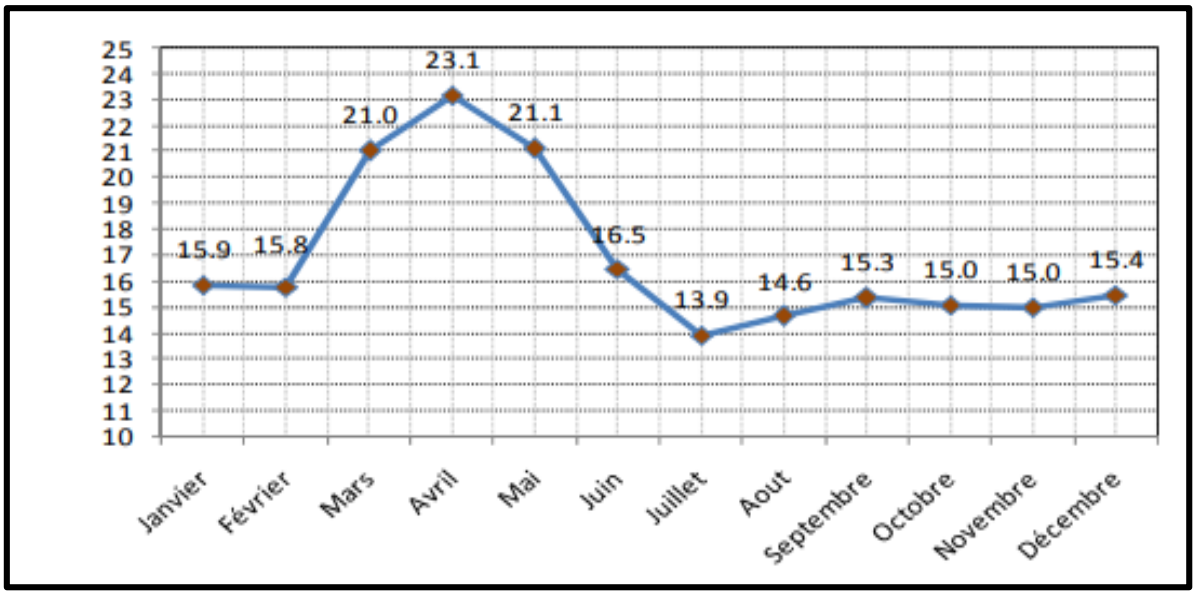


Figure II. 5 : Vitesse moyenne mensuelle du vent pour la période (2006-2016).

Les précipitations mensuelles

Les données du tableau 04 présentent la répartition mensuelle des précipitations sur la période de 1985 à 2014. Par exemple, le mois de juillet a enregistré 14,56 mm de pluie à la station de T'kout, tandis que novembre a dépassé les 53 mm Bien que la pluviométrie soit faible dans les deux mois, avec une variabilité intermensuelle, les versants nord reçoivent davantage de précipitations que ceux situés au sud. De plus, les précipitations diminuent progressivement en direction du sud.

Tableau II. 3: les précipitations moyennes mensuelle de 1985 à 2014 (en mm).

Mois	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy	Total
T'kout	32,69	32,61	52,61	47,46	44,89	32,45	14,56	36,2	53,61	52,77	45,92	38,09	40,32	483 ,86

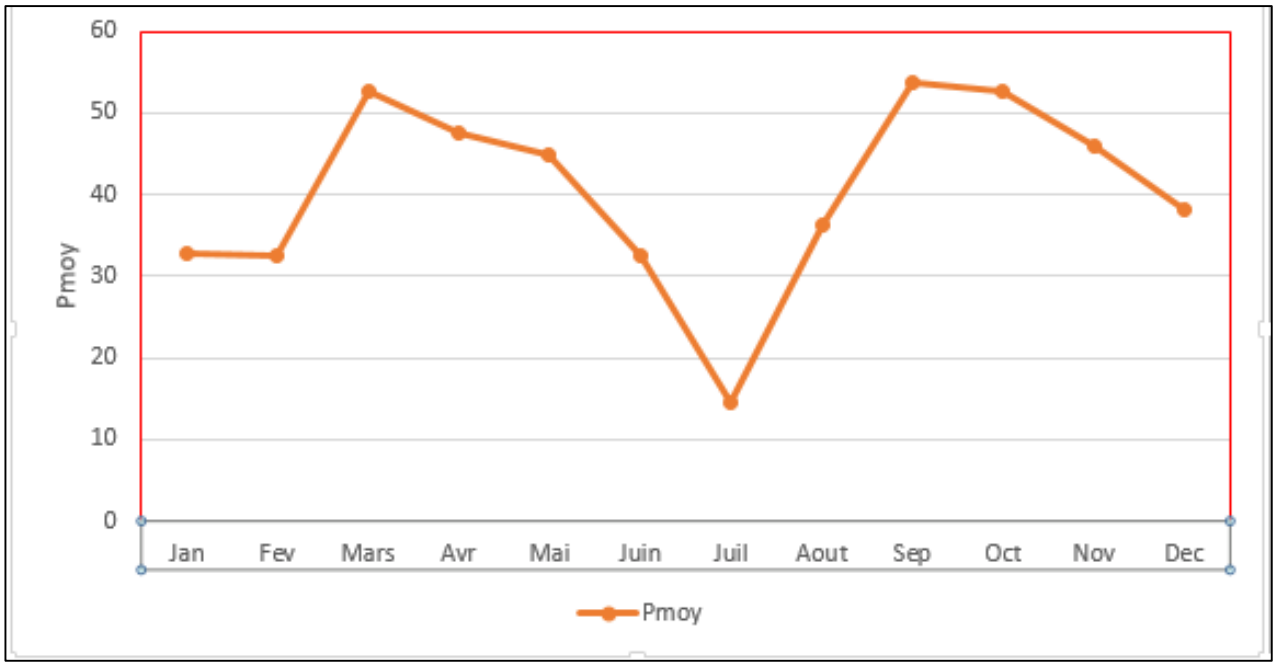


Figure II. 6: Evolution de la pluviométrie mensuelle (en mm).

Conclusion

L'étude diagnostique vise d'abord à obtenir une connaissance approfondie de la zone d'étude sous tous ses aspects (géologique, climatique, hydrologique, etc.). Cela aide à identifier les véritables causes des inondations, qu'elles soient liées aux oueds, aux chaabas ou à leur interaction. En période de crue, cette étude permet également d'anticiper leur comportement. De plus, elle offre une évaluation des dégâts subis et fournit des idées préliminaires sur les mesures à envisager avant de débuter les études hydrologiques et hydrauliques.

L'Aurès est un massif compact situé dans le nord-est de l'Algérie, à 35° de latitude nord et entre 6° et 7° de longitude est. Au sud-ouest, le djebel Metlili sépare l'Aurès des Ziban, tandis qu'au nord-est, les chaînons des hautes plaines constantinoises ainsi que le synclinal de Seggana orienté à l'est et le synclinal faillé d'Ain Touta-Batna délimitent le massif par rapport aux monts Belezma (Abdessemed, 1981).

Ain Beida (T'kout) se trouve dans la wilaya de Batna, l'une des plus grandes wilayas forestières de l'Algérie.

L'analyse des données climatiques sur une période de 30 ans a révélé que la station de T'Kout est classée dans l'étage bioclimatique semi-aride supérieur à hiver froid. Ces données montrent une forte irrégularité annuelle des précipitations, avec des mois humides, notamment septembre, qui présente une moyenne d'environ 53,61 mm. En général, les températures moyennes mensuelles varient d'une saison à l'autre, illustrant une alternance entre des chaleurs intenses et des froids rigoureux, répartis sur deux saisons.

CHAPITRE III : Étude hydrologique

CHAPITRE III : Étude hydrologique

Introduction

L'hydrologie est une discipline scientifique fondamentale qui étudie les propriétés, la distribution et les mouvements de l'eau sur la surface de la Terre, ainsi que dans les sols et les roches souterraines. C'est une science interdisciplinaire qui combine des aspects de la géographie, de la géologie, de la météorologie, de la biologie et de l'ingénierie. L'objectif principal de l'hydrologie est de comprendre le cycle de l'eau, qui implique l'évaporation de l'eau des surfaces terrestres et océaniques, la condensation dans l'atmosphère, les précipitations sous forme de pluie ou de neige, l'écoulement à travers les cours d'eau et les lacs, et l'infiltration dans le sol.

L'étude hydrologique pour la réalisation d'un ouvrage hydrotechnique relève d'une importance considérable. Elle vise au final d'estimer les débits maximums pour différentes périodes de retour (10 ans, 20 ans, 50 ans, 100 ans). Dont elle consiste à :

• Délimiter les bassins versants qui se déversent dans notre zone d'étude.

• Délimiter les différentes caractéristiques des bassins versants délimités.

• Identifier les stations pluviométriques proches et calcul de la moyenne annuelle des précipitations, ainsi que de différentes fréquences (10 ans, 20 ans, 50 ans, 100 ans).

• Calcul des débits correspondant aux périodes de retour de 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100 ans en utilisant des formules empiriques.

III.1 Bassin versant

III.1.1 Caractéristiques principale du bassin versant

Un bassin versant est la région géographique drainée par un cours d'eau principal et ses affluents en amont d'une section de mesure spécifique. Tous les flux d'eau qui naissent à l'intérieur de cette zone doivent obligatoirement passer par cette section avant de continuer leur chemin vers l'aval. Chaque bassin versant est délimité par une ligne de partage des eaux, tracée sur les cartes topographiques en suivant les crêtes naturelles du terrain. Cette délimitation précise permet de comprendre comment les eaux de pluie et de fonte des neiges convergent vers des exutoires communs. L'étude des bassins versants est cruciale en hydrologie pour évaluer les ressources en eau, prédire les débits et gérer les risques associés aux inondations et à la sécheresse (Touaibia,2015).

III.1.1.1 Caractéristique géographique

Les coordonnées géographiques en coordonnés Lambert de l'exutoire sont les suivantes :

X = 800,251 KM

Y =3892 ,831 KM

Z =933 ,065 m

III.1.1.2 Caractéristiques morphologiques :

les caractéristiques morphologiques d'un bassin versant sont cruciales pour comprendre sa réponse hydrologique aux précipitations et aux interventions humaines, et elles jouent un rôle essentiel dans la gestion durable des ressources en eau.

Les caractéristiques physiques d'un bassin versant exercent une influence significative sur sa réponse hydrologique, notamment lors des périodes de crue ou d'étiage. Le temps de concentration Tc, qui mesure la réactivité du bassin aux précipitations, dépend de paramètres morphologiques clés tels que la taille, la forme, l'altitude, la pente et l'orientation du bassin. Ces facteurs, combinés au type de sol, à la végétation et aux propriétés du réseau hydrographique, déterminent la vitesse et l'intensité des écoulements. Leur évaluation précise peut être réalisée à l'aide de cartes spécialisées et de modèles numériques, essentiels pour une gestion efficace des ressources en eau et la gestion des risques liés aux crues.

- **Surface et périmètre**

La surface d'un bassin versant : est définie comme la zone géographique totale drainée par un réseau hydrographique, délimitée par des lignes de partage des eaux. Cette zone collecte toutes les eaux de ruissellement qui convergent vers un point spécifique. Elle est couramment mesurée en unités de surface telles que les kilomètres carrés (km^2) ou les hectares (ha).

Le périmètre d'un bassin versant : représente la longueur totale de ses limites extérieures, correspondant aux crêtes topographiques où les eaux de ruissellement se séparent pour suivre des directions différentes. Il est mesuré en unités de longueur telles que les kilomètres (km).

- **Le thalweg :**

Désigne la ligne imaginaire qui suit le cours principal d'un cours d'eau, généralement le point le plus profond et où l'écoulement est le plus rapide.

III.1.1.3 Caractéristiques géométriques

- **Indice de compacité de Gravelius (K_G)**

L'indice de Gravelius est une mesure utilisée pour évaluer la densité du réseau hydrographique d'un bassin versant. Il se calcule en divisant la longueur totale des cours d'eau principaux par la racine carrée de la superficie du bassin versant.

Formellement, l'indice de Gravelius (G) est défini par la formule suivante :

$$KG=\frac{P}{2\pi\sqrt{\frac{S}{\pi}}}=0,28\frac{P}{\sqrt{S}} \qquad \text{(III.1)}$$

Où :

- P : Périmètre du bassin (Km) ;
- S : est la superficie du bassin versant (en Km^2) ;
- K_G : indice de compactibilité de Gravelius.

Pour

- KG = 1.3 ⟹ bassin est compact ;
- 1< K_G <1,3 ⟹ bassin moins compact ;
- K_G >1,3 ⟹ bassin allongé.

Plus l'indice de Gravelius est élevé, plus le réseau hydrographique est dense par rapport à la taille du bassin versant. Cet indice est utilisé en hydrologie pour comparer la morphologie et la densité des réseaux hydrographiques de différents bassins versants, ce qui peut avoir des implications pour la gestion des ressources en eau et l'analyse des risques d'inondation

- **Le rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius :**

Le rectangle équivalent, également appelé rectangle de Gravelius, est une représentation géométrique transformée du bassin versant. Il conserve la même superficie, le même périmètre, le même indice de compacité, et ainsi la même distribution hypsométrique, tout en adoptant une forme rectangulaire.

$$P=2\times(Lr+lr) \qquad \text{(III.2)}$$

$$S=Lr\times lr \qquad \text{(III.3)}$$

De ces relations (a) ;(b) et (c) on obtient une équation de 2ème degré qui admet deux solutions Lr ; lr :

$$\mathbf{L_R} = \frac{\mathbf{KG}\sqrt{S}}{1{,}128} + \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1{,}128}{\mathbf{KG}}\right)^2}\right) \quad \text{(III.4)}$$

$$\mathbf{l_r} = \frac{\mathbf{KG}\sqrt{S}}{1{,}128} + \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1{,}128}{\mathbf{KG}}\right)^2}\right) \quad \text{(III.5)}$$

avec :

- Lr et lr : la longueur la largeur du rectangle (km)
- S : la surface du bassin versant (km2).
- KG : l'indice de compacité.

- **Coefficient d'allongement :**

Ce coefficient offre des données sur la dynamique hydrologique de la zone examinée.

Un coefficient d'allongement élevé indique un bassin versant plus étendu. Cette configuration peut influencer le cheminement de l'eau à travers le réseau hydrographique, potentiellement réduisant le temps de concentration. Cependant, elle peut aussi entraîner une réponse plus rapide aux précipitations, ce qui peut conduire à des crues plus soudaines et plus intenses.

$$C_a = \frac{L_{cp}^{\,2}}{S} \quad \text{(III.6)}$$

- L_{cp} :longeur du thalweg principal ;
- S :la surface ddu bassin versant .

Ce tableau assemble les paramètres hydro-morphométriques du bassin versant :

Tableau III. 1 : tableau des paramètres hydro-morphométriques**.**

Désignation		Symbole	Unité	Bassin versant	Valeur
Superficie		**S**	**Km^2**	**T'kkout**	**111,9**
Périmètre		**P**	**km**		**57,26**
Indice de compacité de Gravilus		**K_G**	**/**		**1,52 Bassin allongé**
Longueur du Talweg principale		**L_{cp}**	**Km**		**6,43**
Coefficient d'allongement		**C_a**	**/**		**0,37**
Rectangle équivalent	**Longueur**	**L**	**Km**		**23,7**
	Largeur	**L**			**4 ,68**

III.1.1.4 caractéristiques hydrographiques :

- Etude du relief
- L'impact du relief sur l'écoulement est intuitif, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques tels que les précipitations, les températures, et la morphologie du bassin varient avec l'altitude. De plus, la pente joue un rôle crucial dans la vitesse de l'écoulement. Le relief peut également être évalué à l'aide de différents indices ou caractéristiques.

  - La courbe hypsométrique ;
  - L'altitude moyenne ;
  - L'indice de pente globale Ig ;
  - L'indice de pente roche Ip ;
  - Densité de drainage Dg .

III.1.1.5 Courbe hypsométrique

L'hypsométrie désigne la répartition relative des surfaces à différentes altitudes dans une région, tandis que la courbe hypsométrique représente la relation entre la surface et l'altitude, illustrant comment la zone se répartit selon l'élévation (Strahler, 1952). Pour évaluer ces paramètres, il est nécessaire de réaliser une analyse de la répartition hypsométrique après avoir effectué la planimétrie des aires comprises entre les courbes de niveau principales et les diverses cotes. La carte hypsométrique dérivée du Modèle Numérique de Terrain (MNT) révèle une prédominance d'altitudes relativement basses, atteignant environ 932 m au niveau de l'exutoire. En s'éloignant de cette zone, les altitudes augmentent progressivement, culminant à une altitude maximale de 2000 m (figure III.1).

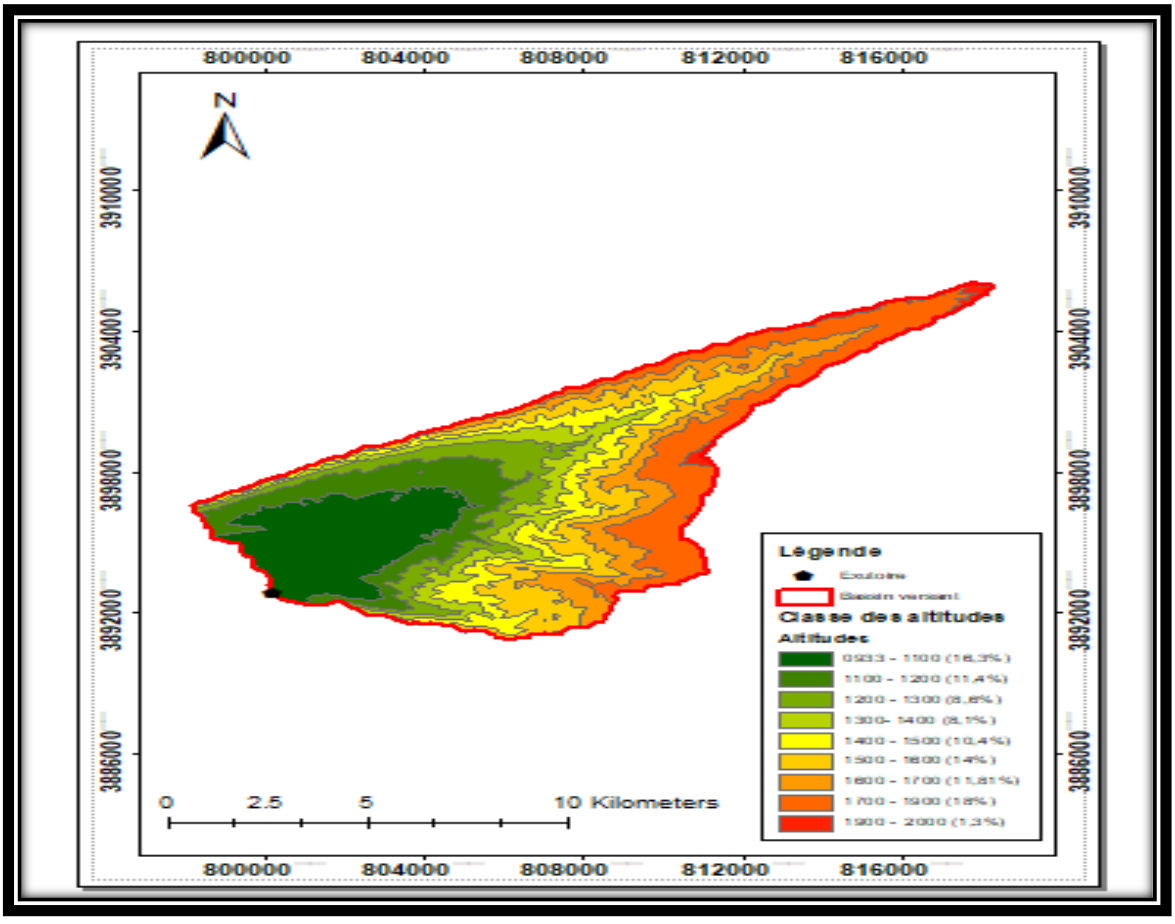


Figure III. 1: Carte hypsométrique du sous bassin versant T'kout.

▪La répartition des surfaces élémentaires et leurs cumule en fonction des altitudes ont été obtenues avec logiciel ArcGIS donnés sous forme des tableaux et la répartition des surfaces et les courbes hypsométriques de chaque sous bassin sont représentées ci-dessous :

Tableau III. 2: Paramètres Hypsométriques de la zone d'étude.

Altitudes (m)	**Elévation (m)**	**Surfaces partielles(Km²)**	**Surfaces partielles (%)**	**Surfaces cumulées (Km²)**
933 - 1100	1016.5	18.26	16.3	18.26
1100 - 1200	1150	12.79	11.4	31.04
1200 - 1300	1250	9.6	8.7	40.65
1300- 1400	1350	9.08	8.1	49.73
1400 - 1500	1450	11.6	10.4	61.33
1500 - 1600	1550	15.69	14	77.02
1600 - 1700	1650	13.24	11.81	90.26
1700 - 1900	1750	20.15	18	110.41
1900 - 2000	1950	1.49	1.3	111.9

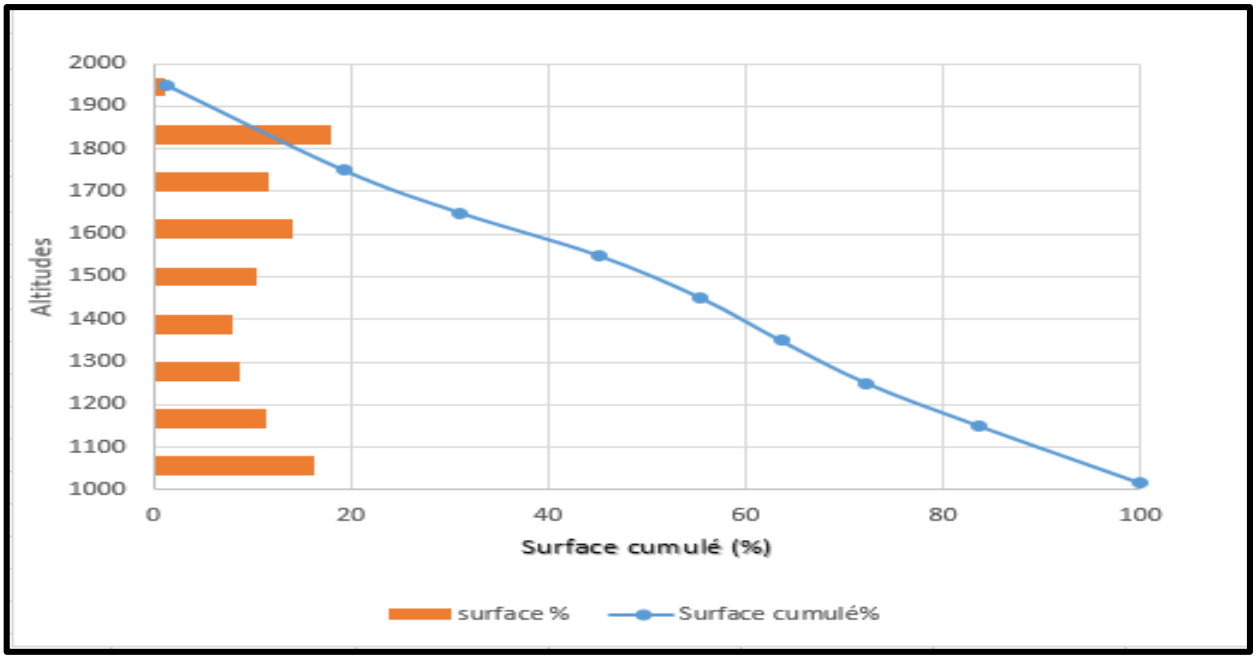


Figure III. 2 : Répartition des surfaces et la courbe hypsométrique du sous bassin versant T'kkout.

III.1.1.6 Déterminations des altitudes

- **Altitude maximale et minimale « Hmax, Hmin » :**

Elles jouent un rôle crucial dans la détermination de la variation d'altitude du bassin versant et sont essentielles pour le calcul de la pente, en utilisant la carte topographique comme référence.

- **Altitude moyenne « Hmoy »**:

L'altitude moyenne du bassin est un paramètre significatif qui reflète l'impact de la variation climatique verticale. Elle est obtenue en additionnant le produit des surfaces partielles Si situées entre les courbes de niveau et des altitudes moyennes correspondantes Hi.

Analytiquement :

$$H_{moy}=\sum\frac{Si\times Hi}{S} \qquad \text{(III.7)}$$

Si : surface partielle entre deux courbes de niveau (Km^2) ;
Hi : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau consécutives n-1 et n en (m) ;
S : Superficie du bassin versant (Km^2).

- **L'altitude médiane « Hméd »**

  - L'altitude médiane **H5% :** c'est la projection du point qui correspond à 5% de la surface cumulée sur la courbe hypsométrique.

  - L'altitude médiane H50% : est déterminée en lisant l'altitude à l'abscisse qui représente 50% de la surface totale du bassin sur la courbe hypsométrique. Cette mesure est analogue à l'altitude moyenne lorsque la courbe hypsométrique du bassin présente une pente uniforme.

  - L'altitude médiane **H95%** : c'est la projection du point qui correspond à 95% de la surface cumulée sur la courbe hypsométrique.

Tableau III. 3 : caractéristiques altimétriques du sous bassin versant.

BASSIN	H_{Max}	H_{min}	H_{moy}	$H_{5\%}$	$H_{50\%}$	$H_{95\%}$
T'kkout	**2000**	**908**	**1418**	**1910**	**1500**	**1050**

III.1.1.7 Les indices de pente :

- L'objectif de ces indices est de définir les inclinaisons d'un bassin versant afin de faciliter les comparaisons et les classifications.

- Elle a un impact direct sur le débit de pointe lors d'une averse.

- La carte des pentes offre une vue d'ensemble de la topographie régionale. La majeure partie de la région présente des pentes abruptes, tandis qu'au point de déversement, les pentes deviennent très douces, caractérisées par un relief plat (voir figure III.3). Bas du formulaire.
- La carte des courbes de niveau illustre le relief d'une région à l'aide d'un système de courbes équidistantes (voir figure III.4).

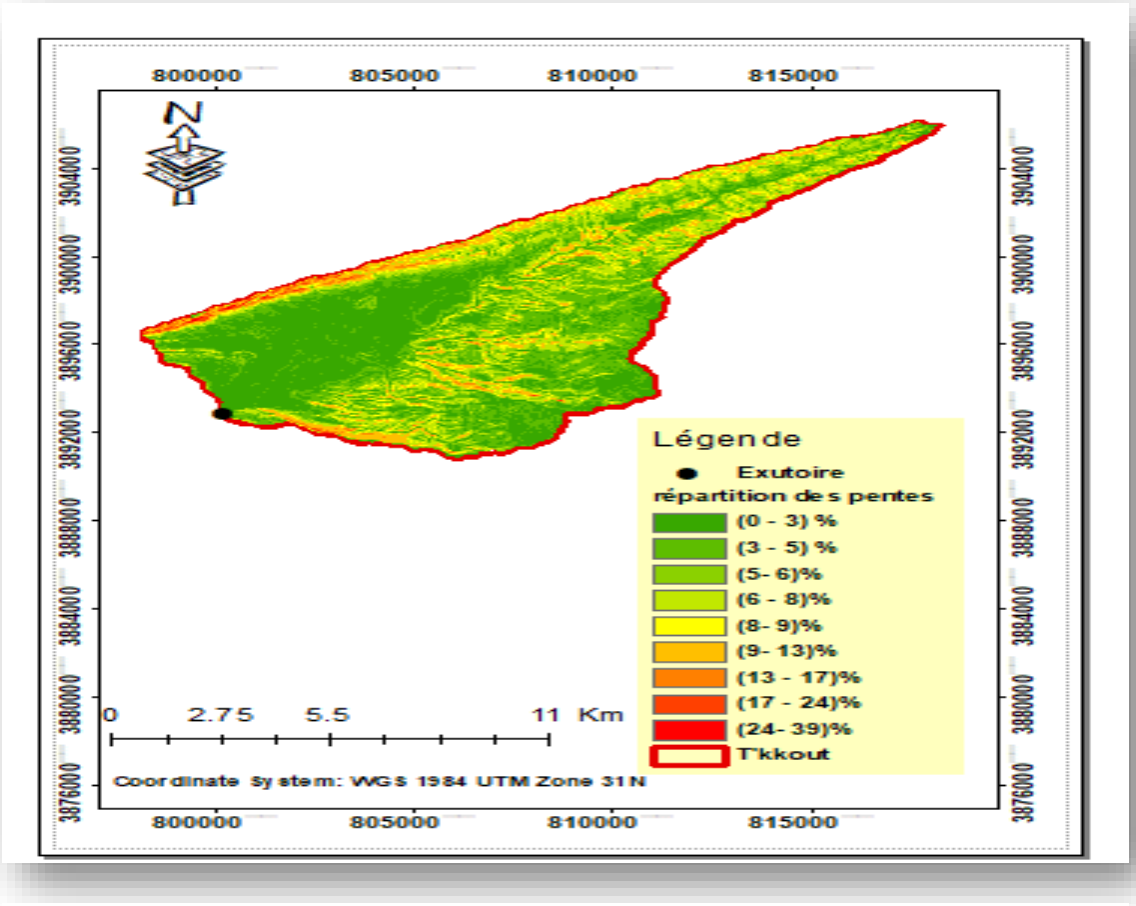


Figure III. 3 : Carte des pentes pour le sous bassin versant de T'kkout

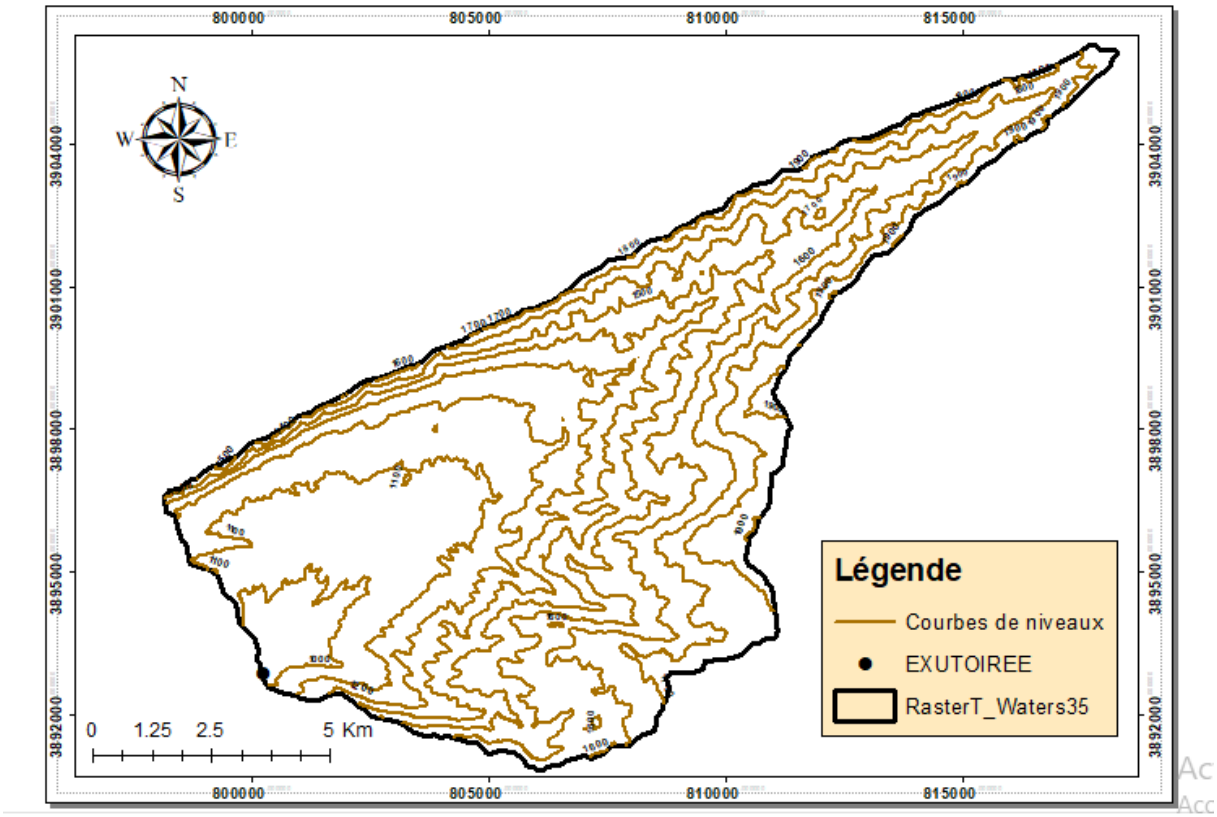


Figure III. 4 : Carte des courbes de niveaux du sous bassin versant

La pente du sous bassin versant de T'kkout :

$$I_{BV} = \frac{Hmax - Hmin}{Lcp} \qquad (III.8)$$

avec:

Lcp: longueur du cours d'eau principale ;

Hmax, Hmin : altitude max et min.

❖ **La pente moyenne du bassin versant :**

La pente moyenne est une caractéristique essentielle qui reflète la topographie d'un bassin versant. En tant que variable indépendante, elle fournit des informations précieuses sur le temps nécessaire au ruissellement direct pour atteindre un point spécifique, ce qui correspond au temps de concentration (Tc). De plus, elle influence directement le débit de pointe durant une averse, car une pente plus accentuée accélère le ruissellement et augmente ainsi le débit maximal. (Touaibia, 2015)

La méthode suggérée par Carlier et Leclerc (1964) repose sur le calcul de la pente moyenne en utilisant une moyenne pondérée des pentes de toutes les surfaces élémentaires situées entre deux altitudes spécifiques. Cette approche permet d'obtenir une estimation approximative de la pente moyenne, selon la formule suivante :

$$I_{Mbv} = \frac{\Delta H\ (0{,}5\ L1 + L2 + L3 + \cdots + 0{,}5Ln)}{S} \qquad \text{(III.9)}$$

Avec

ΔH : Dénivelés entre deux courbes de niveaux successives (m).
L1, L2, …, Ln : Les longueurs des courbes de niveaux (Km).
S : Superficie du bassin versant (Km^2).

Tableau III. 4 : pente moyenne de T'KKOUT.

Courbes de niveaux	Longueur	ΔH (m)	Surface (Km^2)	I_{mBV} (m/Km)
1000	12 ,06	100	111.9	264 ,29
1100	24,29			
1200	26,01			
1300	33,09			
1400	40,24			
1500	46,16			
1600	43,84			
1700	38,6			
1800	31,08			
1900	12,82			

Indice de pente M.ROCHE :

La valeur Ip est calculée comme la moyenne pondérée des racines carrées des pentes mesurées sur le rectangle équivalent, en utilisant comme poids les surfaces entre deux courbes de niveau successives Hi et Hi-1.

Donné par la fomule suivante :

$$\mathbf{Ip}=\frac{1}{\sqrt{L}}\sum_{i}^{n}\sqrt{Si(Hi-Hi-1)} \qquad \textbf{(}\text{III.10)}$$

Avec :

L : longueur de rectangle équivalent (m).

Si : surface partielle (%) comprise entre 2 courbes de niveau consécutives ;

Hi et Hi-1 : la distance entre les courbes de niveau appelée aussi dénivelée.

- **Indice de pente globale Ip :**

Cet indice permet de caractériser la nature du relief en se référant à la classification de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), rebaptisé depuis 1998 comme l'Institut de recherche pour le développement (IRD). Il est défini comme le rapport entre l'altitude comprise entre les positions 5% et 95% de la surface du bassin versant et la longueur du rectangle équivalent. Pour déterminer cet indice, on choisit deux points S1 et S2 sur l'axe des abscisses de telle manière que 95% de la surface du bassin soit comprise entre ces deux valeurs, avec 5% de la surface totale du bassin en dessous de S1 et 5% au-dessus de S2 (Touaibia, 2015).

$$\mathbf{Ig}=\frac{D}{L}=\frac{(H5\%-H95\%)}{L} \qquad \text{(III.11)}$$

Avec :

D : Dénivelée entre H5% et H95% en (m).

L : Longueur du rectangle équivalent en (m).

H5% et H95% : sont respectivement les altitudes correspondantes à S5% et S95%(m).

Tableau III. 5 : Classification ORSTOM du relief à partir de l'indice de pente global.

Relief		Valeur de Ig
1	Relief très faible	Ig <0.002
2	Relief faible	0.002 < Ig <0.005
3	Relief assez faible	0.005< Ig < 0.01
4	Relief modéré	0.01< Ig < 0.02
5	Relief assez fort	0.02< Ig < 0.05
6	Relief fort	0.05< Ig <0.1
7	Relief très fort	Ig>0.1

Tableau III. 6: Indice de pente global pour le bassin versant de T'kkout.

BV	$H_{5\%}$ (m)	$H_{95\%}$ (m)	L(m)	Ig(m/m)	Classification
T'kkout	1910	1050	23,7	0,0 36	Relief assez fort

- **Indice de pente moyenne d'un cours d'eau « Ic » :**

La pente moyenne d'un cours d'eau détermine la rapidité à laquelle l'eau atteint l'exutoire du bassin, influençant ainsi le temps de concentration et le débit observé. Une pente raide favorise un écoulement superficiel rapide, tandis qu'une pente douce ou nulle permet à l'eau de s'infiltrer partiellement ou entièrement dans le sol. Pour calculer les pentes moyennes et partielles des cours d'eau, on analyse le profil longitudinal du cours d'eau principal ainsi que de ses affluents. La méthode couramment utilisée pour calculer la pente longitudinale consiste à diviser la différence d'altitude entre les points extrêmes du profil par la longueur totale du cours d'eau (Touaibia, 2015).

Voici la formulation de cet indice :

$$\mathbf{I_C} = \frac{\Delta H}{L} \qquad \textbf{(III.12).}$$

Avec :

ΔH : dénivelée entre deux points suffisamment distants (m).

ΔL : distance entre ces deux points (km).

- **La dénivelée spécifique « Ds » :**

La dénivellation spécifique Ds, contrairement à l'indice de pente globale, ne diminue pas lorsque la taille du bassin augmente (Touaibia, 2015).

La dénivelée spécifique est donnée par la formule suivante :

$$D_S = I_g \sqrt{S} = D \sqrt{\frac{I}{L}} \qquad \text{(III.13).}$$

Avec :

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

D_S : dénivelée spécifique (m) ;

I_g: indice de pente globale (m/m) .

La dénivelée spécifique est définie comme la différence d'altitude entre deux points le long d'un cours d'eau ou d'un relief, divisée par la distance horizontale entre ces deux points. Elle permet de quantifier la pente locale d'un terrain ou d'un cours d'eau de manière précise (Touaibia, 2015)..

« Ds » permet d'utiliser la classification de l'O.R.S.T.O.M , il permet de définir les différents types de relief des bassins versants, quelle que soit leur taille ou superficie.

Tableau III. 7: Classification des reliefs d'après ORSTOM,1963.

Classe	Intervalle	Type du relief
R1	Ds< 10 m	Relief très faible.
R2	10 <Ds< 25 m	Relief faible.
R3	25 <Ds< 50 m	Relief assez faible.
R4	50 <Ds< 100 m	Relief modéré.
R5	100 <Ds< 250 m	Relief assez fort.
R6	250 <Ds< 500 m	Relief fort.
R7	Ds> 500 m	Relief très fort

Tableau III. 8: Résultats de calculs des pentes et la dénivelée spécifique du bassin versant de T'kkout :

Paramètres	Symboles	Unités	Valeurs
Pente du bassin versant	I_{BV}	m/km	169 ,83
Pente moyenne du bassin versant	Im_{BV}	m/Km	264,29
Indice de pente globale	I_g	m/m	0,036
Indice de pente moyenne du cours d'eau	I_C	%	0.17
Indice de pente de roche	I_P	%	1.9
Dénivelée spécifique	Ds	m	100,71
Relief	/		Relief assez fort

III.2 Etude du réseau hydrographique

III.2.1Caractéristique hydrographique

Un réseau hydrographique désigne l'ensemble des cours d'eau et des rivières ainsi que leur réseau de drainage dans un bassin versant donné. Il comprend également les lacs, les réservoirs et les autres plans d'eau connectés entre eux par des cours d'eau. Ce réseau est essentiel pour l'écoulement et la gestion des ressources en eau dans une région. (Knighton, D. (1998)).

L'analyse des réseaux hydrographiques et leur hiérarchisation jouent un rôle crucial dans la compréhension des processus de ruissellement et de la formation des crues, les réseaux hydrographiques peuvent être classifiés en fonction de deux critères principaux. (Belazreg 2019).

III.2.2 Hiérarchisation du réseau :

- **Classification de Strahler (1957) :**
  - ✓ Deux cours d'eau de même ordre se rejoignent pour former un cours d'eau d'ordre supérieur.
  - ✓ Un cours d'eau sans tributaire est de premier ordre.
  - ✓ Deux cours d'eau de premier ordre se rejoignent pour former un cours d'eau de second ordre, et ainsi de suite.
  - ✓ L'ordre total du réseau hydrographique est déterminé par le plus haut ordre atteint par ses segments.

Cette classification permet de mieux comprendre la structure et la hiérarchie des réseaux hydrographiques, ce qui est essentiel pour l'analyse hydrologique et la gestion des bassins versants.

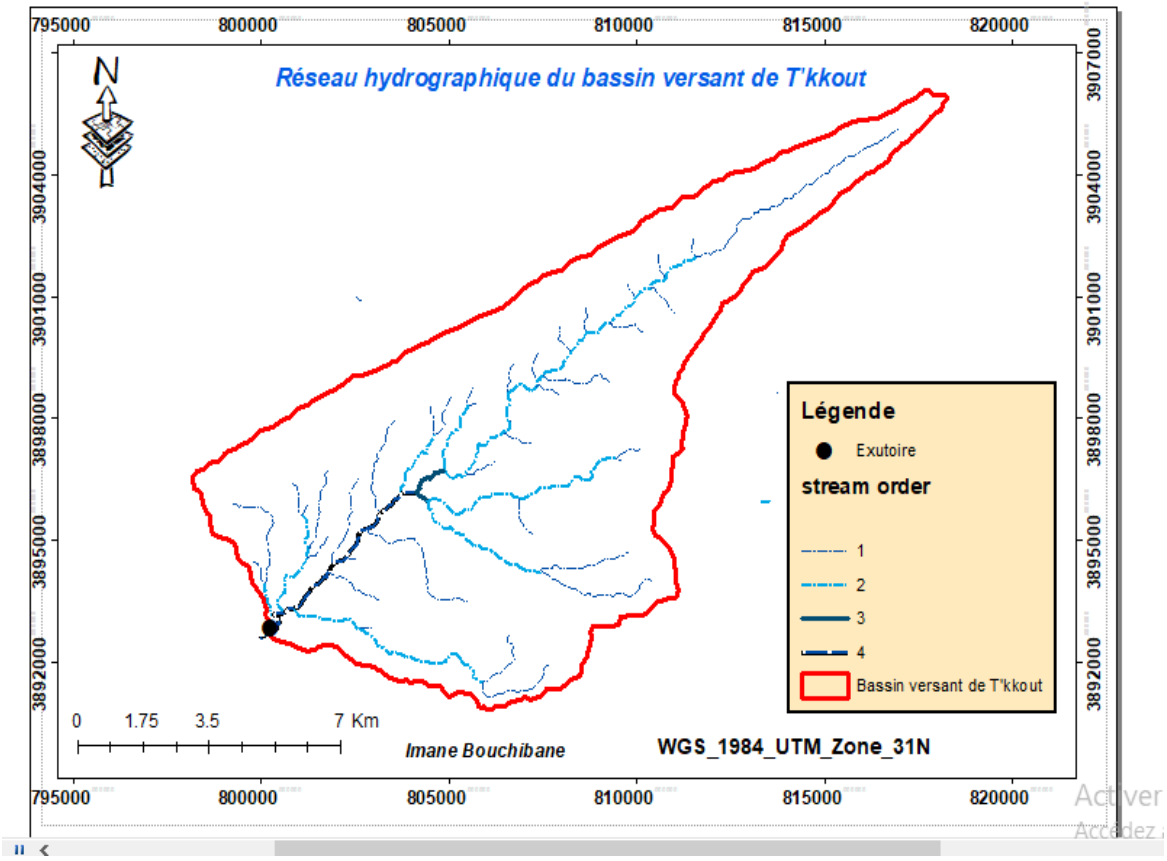


Figure III. 5 : Réseau hydrographique du bassin versant de T'kkout.

III.2.3 Formes du réseau hydrographique

Les lois de Horton : principalement utilisées pour comprendre la distribution des tailles de ruisseaux dans un réseau hydrographique et pour prédire la distribution de la longueur des segments de cours d'eau ; **Loi des longueurs de ruisseaux (Law of Stream Lengths)** ; **Loi des fréquences de ruisseaux (Law of Stream Frequencies).**

III.2.4 Rapport de la confluence « Rc »

C'est un facteur crucial pour établir des corrélations entre différentes régions. Selon Strahler (1964), le Rc, ou coefficient de drainage, varie de 3 à 5 dans des régions où la géologie n'exerce pas d'influence significative.

$$Rc=\frac{N+1}{N} \qquad \text{(III.14)}$$

Avec :

Rc :rapport de confluence ;

N_n : nombre de cours d'eau d'ordre n ;

N_{n+1} : nombre de cours d'eau d'ordre n+1.

En hydrologie, le coefficient de drainage **Rc** évalue l'efficacité du réseau de drainage, influence la gestion des ressources en eau, et aide à la prévision des crues en décrivant la densité et la répartition des cours d'eau (Strehler, 1964).

Tableau III. 9 : calcul du rapport de confluence pour le bassin versant de T'kkout

Ordre	Nombre de thalweg	Rc	Rc
1	**59**	**1,74**	**6,3**
2	**34**	**17**	
3	**2**	**0,16**	
4	**12**	**/**	

.

III.2.5 La densité de drainage « Dd » :

La **densité de drainage** D_d est une mesure qui quantifie la répartition et la densité des cours d'eau dans un bassin versant. Elle est définie comme le rapport entre la longueur totale des cours d'eau dans un bassin versant et la superficie de ce bassin (Strahler, A.N 1964).

$$\mathbf{D_d} = \frac{\sum_{i=1}^{n} L1}{S} \qquad \text{(III.15).}$$

Dd : Densité de drainage en km/km^2;

∑Li : La somme des longueurs de tous les cours d'eaux considérés pour le bassin versant ;

n : L'ordre le plus élevé dans la classification.

S : La surface du bassin versant en km^2.

Tableau III. 10: La densité de drainage du bassins versants

Bassin versant	Ordre	S_i	**Σ Li (Km)**	Dd (Km/km2)
T'kkout	4	111,9	95,97	0,857

III.2.6 La densité hydrographique des thalwegs élémentaires « F1 » :

La densité hydrographique mesure le nombre de canaux d'écoulement par unité de surface. Elle est définie par la formule suivante :

$$\mathbf{F_1} = \frac{\sum N1}{S} \qquad \text{(III.16)}$$

Avec :

F1 : Densité hydrographique (Km^{-2}) ;
N1 : Nombre de cours d'eau d'ordre 1 ;
A : Superficie du bassin versant (Km2).

III.2.7 Le coefficient de torrentialité « Ct »

Le coefficient de torrentialité C_t est un indicateur utilisé en hydrologie pour évaluer l'intensité et le caractère torrentiel des écoulements dans un bassin versant. Il mesure la propension d'un bassin à produire des crues soudaines et violentes en réponse à des épisodes pluvieux.

$$\mathbf{Ct = Dd \times F1} \qquad \mathbf{(III.17).}$$

Bassin versant	**S(Km^2)**	**N_1**	**F_1 (km^{-2})**	**Ct**
T'kkout	**111,9**	**59**	**0,527**	**0,451**

Un Ct faible indique un bassin versant avec une réponse plus graduelle aux pluies, souvent associé à des pentes douces, un sol plus perméable, et un réseau de drainage moins dense (Matheron 1978).

Le temps de concentration « Tc » :

Le temps de concentration est le délai nécessaire pour que les eaux de ruissellement provenant de la partie la plus éloignée du bassin versant atteignent l'exutoire, en prenant en compte le temps de parcours le plus long dans le bassin (Chow, V.T., Maidment, D.R., & Mays, L.W 1988).

$$Tc = \max(\Sigma(Th + Tr + Ta)) \quad \text{(III.18)}$$

Avec :

Th : Le **temps d'humectation** est le délai nécessaire pour que l'eau de pluie s'infiltre dans le sol et l'humecte suffisamment avant que le ruissellement ne commence.

Tr : Le **temps de ruissellement**, ou temps d'écoulement, est la durée pendant laquelle l'eau s'écoule à la surface ou dans les premiers horizons du sol avant d'atteindre un système de collecte.

Ta : Le **temps d'acheminement** est le délai nécessaire pour que l'eau se déplace à travers le système de collecte jusqu'à l'exutoire.

Les méthodes et formules employées présentent un caractère régional, intégrant des paramètres spécifiques à la zone d'application. Il est donc essentiel de sélectionner la formule la plus adaptée au type de bassin versant étudié, en privilégiant celles qui ont été développées dans des conditions physico-géographiques similaires à celles du nord de l'Algérie. L'estimation du temps de concentration se fait à l'aide des formules empiriques suivantes :

Formule de Kirpich 1940 :

pour estimer le temps de concentration (Tc), La formule est particulièrement adaptée pour les petits bassins (0,4 ha et 81 ha) versants avec une topographie relativement simple .

$$Tc = 0{,}0663 \frac{L_{cp}^{0.77}}{I_g^{0.385}} \quad \text{(III.19)}$$

Tc : Temps de concentration (h).
Lcp : Longueur du cours d'eau principal (m).
Ig : Indice de pente globale (%).

Formule de Giandotti 1937

La **formule de Giandotti (1937)** est utilisée pour estimer le temps de concentration (Tc) dans un bassin versant, en tenant compte de la longueur du bassin et de la pente moyenne. Elle est adaptée à différents types de bassins versants, notamment pour les études hydrologiques et les prévisions de crues.

$$Tc=\frac{4\sqrt{S}+1,5Lcp}{0,8\times\sqrt{Hmoy-Hmin}} \quad \text{(III.20)}$$

Avec

Tc : Temps de concentration (h) ;

S :surface du bassin versant (km^2) ;

Lcp : longeur du thalweg principal (Km) ;

Hmoy et Hmin :Altitudes moyenne et minimale du bassin versant(m) .

Formule de SCS ANRH (Sogreah 1986/1989) :

Donnée par la formule suivante :

$$Tc=\left(\frac{0,87\times Lcp^3}{Hmoy-Hmin}\right)^{0,385} \quad \text{(III.21)}$$

Avec

Tc :Temps de concentration ;

Lcp :Longueur du cours d'eau principal ;

Hmax et Hmin :Altitudes maximale et minimale du bassin versant.

Formule de Solovsky (1968) :

$$Tc=\left(\frac{S\times Lcp^{0,333}}{\sqrt{Ibv}}\right)^{0,75}\times 4 \quad \text{(III.22)}$$

Avec :

Tc : Temps de concentration (h) ;

I_{bv} : Pente du bassin versant (m/km) ;

S : Surface du bassin versant (km2) ;

Lcp : Longueur du cours d'eau principal (km).

Pour les petits cours d'eau, la vitesse du ruissellement selon l'auteur est de 1,5m/s .

Formule de Turazza :

$$Tc=\frac{0,108\times(5\times Lcp)^{\frac{1}{3}}}{Ic^{0,5}} \quad \text{(III.23)}$$

Avec :

Tc : Temps de concentration (h) ;
S : Surface du bassin versant (km2) ;
Ic : Pente du cours d'eau principal (m/m) ;
Lcp : Longueur du cours d'eau principal (km).

Formule Espagnole :

Calculée comme suit :

$$\mathbf{Tc=0,126 \times 60 \times} \left(\frac{\boldsymbol{Lcp}}{\boldsymbol{Ic^{0,25}}}\right)^{\mathbf{0,76}} \qquad \text{(III.24)}$$

Avec :

Ic : Pente moyenne du cours d'eau principale

Tc : Temps de concentration (h) ;

Lcp : Longueur du cours d'eau principal (km).

Formule de Passini :

La formule est donnée par :

$$\mathbf{Tc=6,48}\ \frac{(\boldsymbol{S\times Lcp})^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{\boldsymbol{Ic}}} \qquad \text{(III.25)}$$

Avec :

Tc : temps de concentration ;

Ic : Pente moyenne du cours d'eau principale ;

S :surface du bassin versant ;

Lcp : Longueur du cours d'eau principal (km).

Les résultats pour le bassin versant analysé sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau III. 11: Résultats du calcul du temps de concentration en heure pour le bassin verssant :

Méthode de calcule	Tc du Bassin versant (h)
Espagnole	**40,17**
Passini	**1,89**
SCS ANRH	**0,74**
Giandotti	**2,88**
solovsky	**31,93**
Ventura	**0,103**
Turazza	**1,88**
Kirpich	**1,03**

L'examen des résultats obtenus met en évidence une similitude entre certaines formules, permettant

ainsi de les classer en quatre groupes distincts :

- ✓ Le premier groupe inclut la formule de Ventura.
- ✓ Le deuxième groupe rassemble la formule de Kirpich ainsi que celle de SCS ANRH.
- ✓ Le troisième groupe comprend les formules de Giandotti, Turazza et Passini.
- ✓ Le dernier groupe se compose de la formule de Solovsky et de la formule espagnole.

Les valeurs fournies par les formules du premier et du dernier groupe présentent un écart notable par rapport à la tendance générale, ce qui a conduit à leur exclusion lors de la sélection des valeurs moyennes.

Après l'analyse des résultats on retient les valeurs écrites dans le tableau suivant :

Tableau III. 12 : Résultats du calcul du temps de concentration en heure pour le bassin verssant :

Méthodes	**Tc (h)**
KIRPICH	**1,03**
SCS ANRH	**0,737**
GIANDOTTI	**2,88**
TURAZZA	**1,88**
PASSINI	**1,89**
Valeurs retenues moyennes :	**1,68**

III.2.8 Vitesse de ruissellement « Vr » :

Le **ruissellement** désigne l'écoulement gravitaire des eaux météorologiques à la surface du sol, guidé par la pente du terrain et les micro-réseaux hydrographiques, lorsque ces eaux ont évité l'infiltration, l'évaporation et le stockage superficiel. En d'autres termes, il représente le rapport entre la distance parcourue et le temps de concentration.

$$Vr=\frac{Lcp}{Tc} \qquad \text{(III.26)}$$

Avec :

Vr : vitesse de ruissellement (km/h) ;

Lcp : Longueur du cours d'eau principal (km) ;

Tc : Temps de concentration (h).

Tableau III. 13: Paramètres hydrographiques des deux sous bassins versants.

Paramètres	Symboles	Unités	Bassin versant
Densité de drainage	D_d	Km/Km^2	0,857
Densité hydrographique	F_1	Km^{-2}	0,527
Coefficient de torrentialité	C_T	/	0,451
Temps de concentrat	T_c	h	1,68
Vitesse de ruissellement	V_r	Km /h	3,82

III.3 Etude des crues :

Dans un projet de protection contre les inondations, il est crucial de déterminer le débit de crue maximal pour sélectionner les aménagements appropriés et délimiter les zones à risque. Après avoir cartographié les bassins versants et analysé leurs propriétés, l'objectif est d'évaluer les débits pour des périodes de retour de 10 à 100 ans.

III.3.1 L'analyse fréquentielles des pluies des crues maximales annuelles avec la station hydrométrique M'chounech

L'analyse fréquentielle des débits maximaux sur une série temporelle prolongée permet d'estimer la fréquence de retour d'une valeur spécifique. Ce processus repose sur l'utilisation de modèles fréquentiels qui décrivent statistiquement la probabilité d'occurrence d'événements de différentes magnitudes. Le choix du modèle fréquentiel, notamment son type, est crucial pour garantir la validité des résultats de cette analyse (ENAC/ISTE/HYDRAM, 2004). Dans cette étude, nous avons choisi d'utiliser une loi d'ajustement statistique, largement utilisée pour ajuster les séries de pluies maximales et les débits associés.

III.3.2 Présentation de la station hydrométrique

La première phase de l'étude d'aménagement consiste à effectuer une analyse des précipitations maximales annuelles, afin de déterminer les pluies extrêmes associées à diverses périodes de retour. Pour cela, il est crucial de disposer d'une série de données pluviométriques couvrant la plus longue période possible. Toutefois, dans notre zone d'étude, la seule station hydrométrique à notre disposition est celle de M'chounech, qui se trouve dans le bassin versant N°06, sous bassin N°15 de l'Oued l'Abiod.L'oued Abiod, situé sur le versant sud de la partie orientale de l'Atlas Saharien, s'étend depuis le massif des Aurès (monts Chélia) jusqu'aux gorges de Foum el Gherza. Ce bassin versant présente une dissymétrie marquée, avec une partie montagneuse au nord dépassant 2000 m et une zone plus basse au sud, atteignant 295 m à El Habel. Sa superficie est d'environ 1300 km², délimitée par un périmètre de 200 km. L'oued Abiod mesure 85 km de long, formé par la confluence des torrents descendant des pentes abruptes de Chelia (2326 m) et Ichemoul (2100 m). Après avoir traversé Tighanimine, il s'engouffre dans les canyons de Rhoufi et les gorges de M'chouneche, avant de s'ouvrir vers la plaine saharienne jusqu'aux gorges de Foum el Gherza.

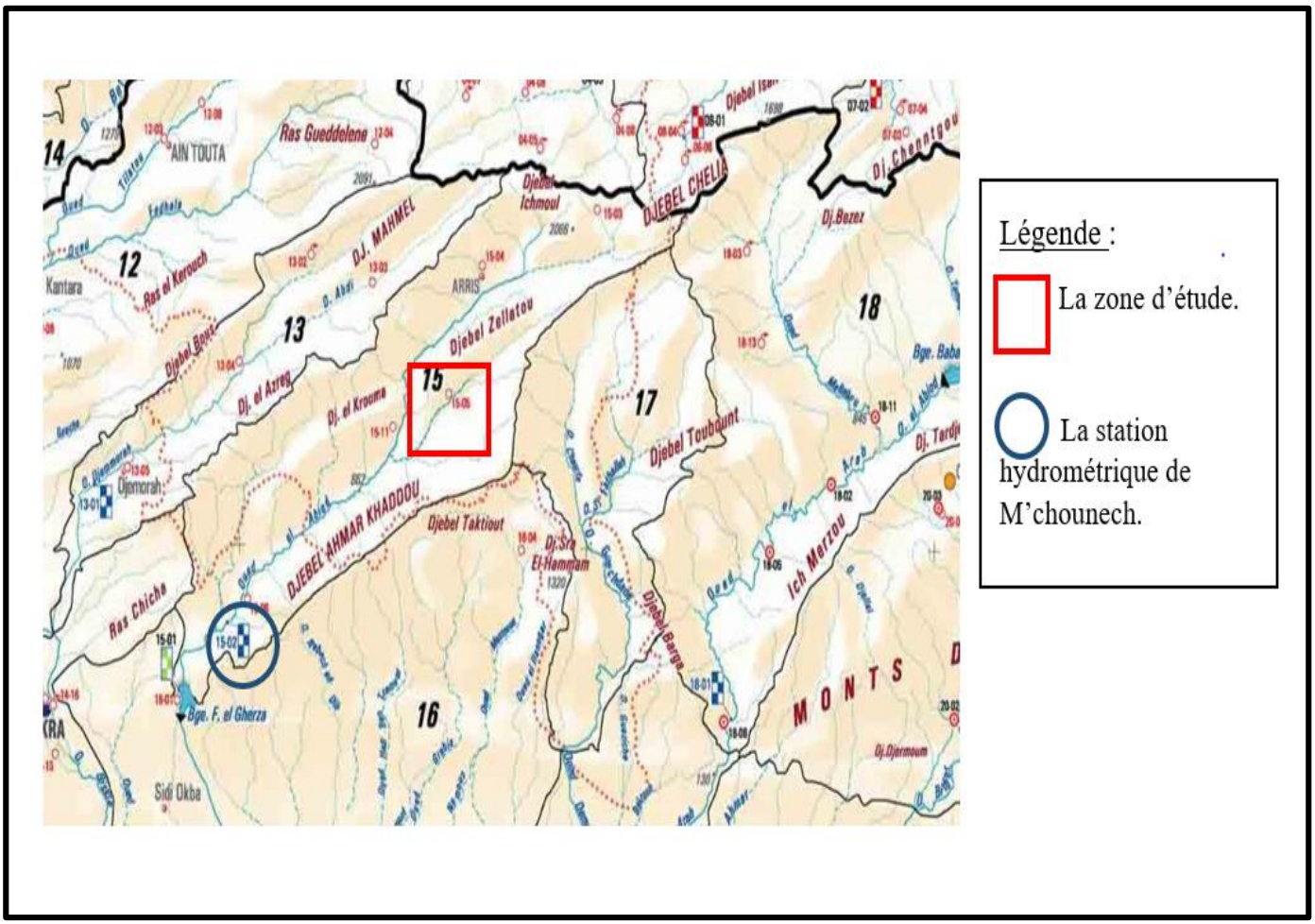


Figure III. 6: Situation de la station hydrométrique de M'chounech (Source : ANRH-Alger)

Les caractéristiques de la station sont montrées dans le Tableau n° III.14 :

Tableau III. 14 : Les caractéristiques de la station hydrométrique

Station	Code	Coordonnés			N année
		X	Y	Z	
Tkkout	**061505**	**828,85**	**210,5**	**980**	**32**

III.3.3 Choix du modèle fréquentiel

La validité des résultats d'une analyse fréquentielle repose sur le choix approprié du modèle fréquentiel et, en particulier, de son type. Bien que plusieurs approches puissent aider à guider

ce choix, il n'existe malheureusement pas de méthode universelle et infaillible pour garantir la meilleure sélection.

Tableau III. 15 : Modèles fréquentielle **:**

Modèle fréquentiel	
Normale	La loi normale, ou loi de Gauss, est une distribution de probabilité en forme de cloche, caractérisée par sa moyenne et son écart-type. Elle est symétrique autour de la moyenne, avec la majorité des valeurs proches de celle-ci et des valeurs extrêmes de moins en moins probables.
Log normal	La loi log-normale peut être considérée comme un cas particulier de la loi normale. Les conditions qui conduisent à une loi log-normale sont similaires à celles de la loi normale, à la différence que les facteurs influent de manière multiplicative plutôt qu'additive. Les variables qui dépendent de cette loi log-normale incluent : les débits maximums annuels, les précipitations journalières, les précipitations annuelles, le volume du ruissellement mensuel et le volume du ruissellement annuel.
Pearson type III	est une distribution asymétrique adaptée aux variables positives avec des queues longues à droite. Elle dépend des variables telles que les débits maximaux annuels, les précipitations journalières, les précipitations annuelles, ainsi que les volumes de ruissellement mensuels et annuels.
Loi de gambel	Appelée aussi loi double exponentielle, Cette loi est asymétrique et sert à l'estimation des valeurs extrêmes des variables hydrologiques. Elle est très appréciée vu sa simplicité, dépend du débit maximum annuel.

Pour notre étude les loi d'ajustement les plus convenable sont

- La loi de Gumbel (droite de Henry) ;
- La loi de log-normale (droite de Galton).

a) Logiciel HYFRAN

Le logiciel HYFRAN (HYdrologie FRéquentielle ANalyse) est conçu pour l'analyse fréquentielle en hydrologie. Il aide les hydrologues et les professionnels de l'eau à réaliser des analyses statistiques et à estimer les quantiles pour diverses périodes de retour.

HYFRAN facilite l'analyse fréquentielle en hydrologie en estimant les paramètres des lois de probabilité, calculant les quantiles, réalisant des tests de validité, et en générant graphiques et rapports.

a) Ajustement par la loi de Gumbel :

Cette loi à décroissance exponentielle est adaptée aux maximas observés sur des périodes allant de 1 heure à quelques jours, ainsi que pour les maximas de 10 ou 15 jours, mensuels, saisonniers ou annuels. Elle est particulièrement utile pour étendre la distribution au-delà de la probabilité de 0,90. Il s'agit d'une fonction double exponentielle (Layan et al., 2007).

$$F(x) = exp^{-\exp(-\frac{x-x_0}{a})} \qquad \text{(III.27).}$$

Avec :

- a : est le Gradex, qui signifie le gradient de l'exponentiel (paramètre d'échelle) ;
- X_0 : est le paramètre de position (le mode) ;
- a et X_0 ont la même dimension que la variable .

$$U = -\ln(-\ln(F(x))) = \frac{x-x0}{a} \qquad \text{(III.28).}$$

Avec :

U : est appelée variable réduite de Gumbel

L'ajustement de la série à la loi de Gumbel a été fait par le logiciel Hyfran, les résultats obtenus sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III. 16 : Résultats d'ajustement à la loi de Gumbel.

T(Années)	q	Q maxj (m^3/s)	Écart-type	Intervalle de confiance
5	0.8	56.3	6.41	43.7 - 68.9
10	0.9	67.4	8.65	50.4 - 84.4
20	0.95	78.1	10.9	56.6 - 99.5
50	0.98	91.9	14	64.5 - 119
100	0.99	102	16.3	70.3 - 134
200	0.995	113	18.6	76.1 - 149
1000	0.999	136	24	89.4 - 183

Les observations sont représentées dans le graphe suivant :

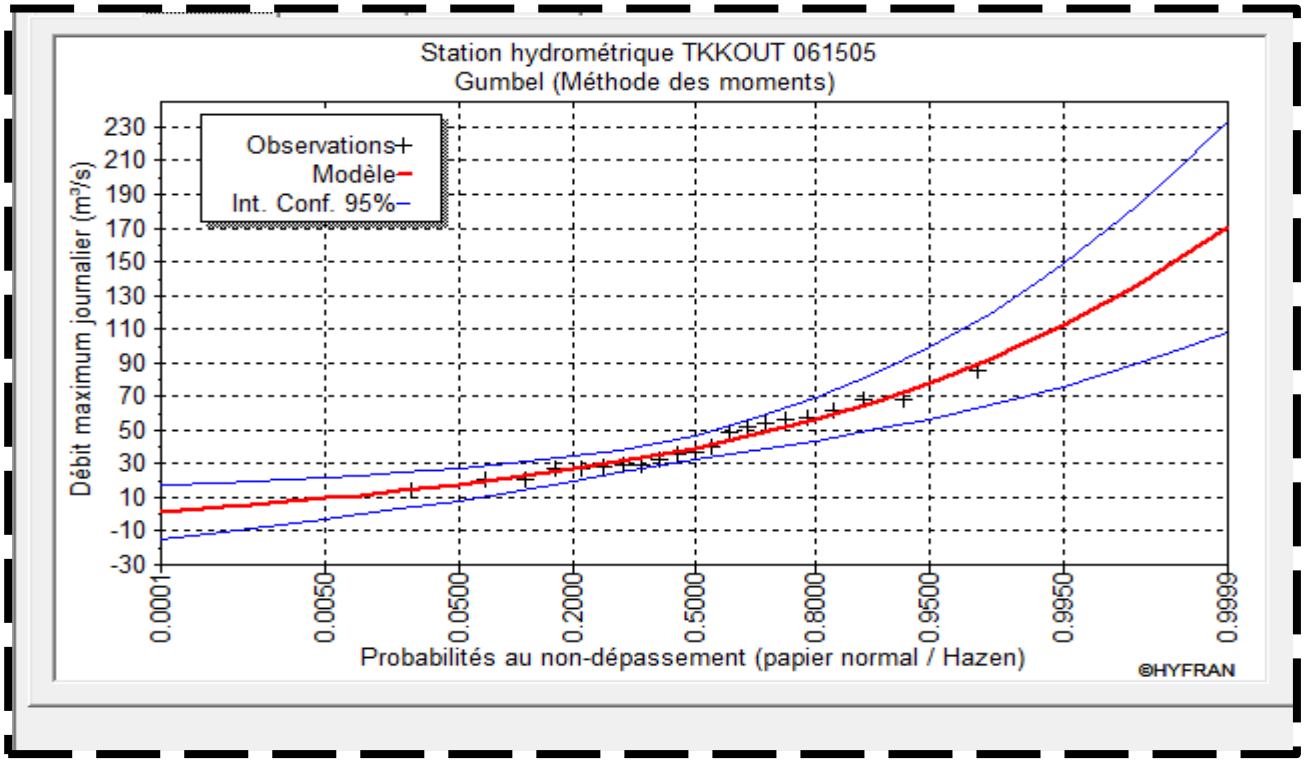


Figure III. 7 : Représentation graphique de la loi de Gumbel de la station TKKOUT (061505).

Les résultats de comparaison des caractéristiques de la loi de Gumbel et l'échantillon sont présentés dans le tableau suivant .

Tableau III. 17 *:* Comparaison des caractéristiques de la loi de GUMBEL et de l'échantillon :

Paramètres	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de la loi
Minimum	Aucun	13,9
Maximum	Aucun	85,9
Moyenne	42,6	42,6
Ecart-type	19	19
Médiane	39,5	36,6
Coefficient de variance C_v	0,446	0,446
Coefficient d'asymétrie Cs	1,14	0,564

Coefficient d'aplatissement C_k	2.4	2,2

b) Ajustement à la loi Log Normale (Loi de Galton)

Une variable aléatoire **x** suit une distribution log-normale lorsque v=ln x suit une distribution normale. La loi de Galton découle de la loi normale, mais elle devient asymétrique à cause d'une transformation de variable.

$$F(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{u} e^{-\frac{U^2}{2}}\ dt \qquad \text{(III. 29).}$$

$$U(x)=\frac{lnx-\overline{lnx}}{\sigma_{lnx}} \qquad \text{(III. 30)..}$$

Le logiciel HYFRAN a été employé pour ajuster la série de données à la loi log-normale, et les résultats sont présentés dans le tableau n°(III.18) ci-dessous :

Tableau III. 18 *:* Résultats d'ajustement à la loi de Log-Normal de la station de TKKOUT

T(Année)	q	Qjmax(m^3/s)	Écart-type	Intervalle de confiance
5	**0.8**	**57.3**	**6.86**	**43.8 - 70.7**
10	**0.9**	**70.4**	**9.82**	**51.1 - 89.6**
20	**0.95**	**83.5**	**13.3**	**57.4 - 109**
50	**0.98**	**101**	**18.5**	**64.7 - 137**
100	**0.99**	**115**	**23**	**69.7 - 160**
200	**0.995**	**129**	**28**	**74.3 - 184**
1000	**0.999**	**164**	**41.2**	**83.5 - 245**

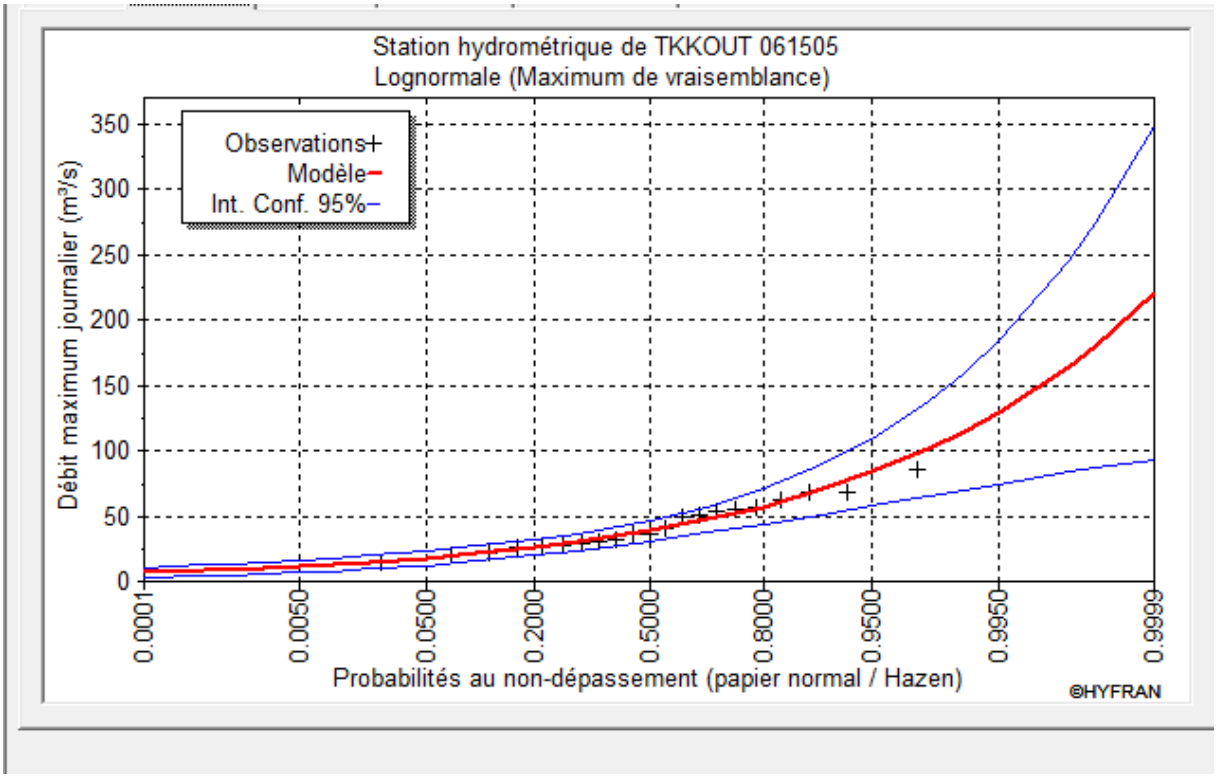


Figure III. 8 : Représentation graphique de la loi log normale de la station de TKKOUT (061505)

La comparaison entre les caractéristiques de la loi de Log Normal et de l'échantillon, est montrée dans le tableau suivant :

Tableau III. 19 : Comparaison des caractéristiques de la loi log normale et de l'échantillon

Paramètres	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de la loi
Minimum	0	13,9
Maximum	Aucun	85,9
Moyenne	43,1	42,6
Ecart-type	21,4	19
Médiane	38,6	36,6
Coefficient de variance C_v	0,496	0,446
Coefficient d'asymétrie Cs	1,61	0,564
Coefficient d'aplatissement C_k	7.93	2,2

c) Choix de l'ajustement

Des écarts apparaissent toujours entre les fréquences expérimentales des valeurs observées et celles estimées à partir d'une fonction de répartition quelconque. Bien que l'ajustement graphique constitue une première étape importante, il est souvent insuffisant pour choisir la loi théorique définitive. Le test statistique d'adéquation permet de comparer différentes lois afin de sélectionner celle offrant le meilleur ajustement (Touaibia, 2015).

Les tests les plus couramment utilisés sont le test du χ2 (chicarré) et le test de Kolmogorov-Smirnov.

- **Ajustement graphique (visuelle):**

Les figures 10 et 11 présentent les graphiques des résultats obtenus, montrant les probabilités empiriques et théoriques pour les distributions de Gumbel et log-normale, générées avec le logiciel Hyfran. Il n'est pas possible de déterminer visuellement quel ajustement est le plus approprié ; une analyse statistique est donc nécessaire.

- Le test d'adéquation de χ2

- L'objectif d'un test d'adéquation (ou test d'ajustement) est de déterminer si le modèle sélectionné est compatible avec les données. Concrètement, il consiste à élaborer une méthode pour vérifier si l'hypothèse selon laquelle les observations suivent une loi particulière est valide. Le test du χ^2 (chi-carré) est le plus fréquemment employé à cet effet.
- Le test du chi-carré (χ^2) est généralement effectué avec un seuil de signification de 5 % et un degré de liberté « γ » avec : γ=k−m−1. Ici, k représente le nombre de classes et m le nombre de paramètres de la loi (Touaibia, 2015).

La variable aléatoire χ2, dont la répartition a été étudiée par Person, est définie par l'expression suivante :

$$\chi 2 = \sum_{i=1}^{K} \frac{(ni - \mu i)}{\mu i} \qquad \text{(III.31).}$$

Avec :

ni : Nombre d'observation contenue dans la classe i ;

μi : Nombre d'observation théorique calculée dans la classe i.

- ✓ Ce test n'est significatif que si μi >5.

On compare χ2calculé avec la valeur tabulée (théorique), χ2tabulé fonction du nombre de degré de liberté et du seuil de signification α et γ :

- Si χ2calculé > χ2tabulé, μ : on rejette l'hypothèse nulle.

- Si $\chi 2$calculé $\leq \chi 2$tabulé, μ : la loi d'ajustement sera retenue.

Les résultats du test du chi-carré ont été générés à l'aide du logiciel Hyfran-plus et sont présentés dans le tableau ci-dessus :

Tableau n°III. 20 : Résultats du test de $\chi 2$.

Loi de distribution	Degré de liberté γ	Nombre de classe	χ^2 calculé	χ^2 théorique
Gumbel	**3**	**6**	**5**	**7,82**
Log normale	**3**	**6**	**3,29**	**7,82**

Selon le test du χ^2, les deux lois d'ajustement sont valides et fiables, on choisit alors la loi de Log normale pour ajustement.

III.3.3 Détermination des débits maximums fréquentiels par la méthode du Gradex

III.3.3.1 Description de la méthode

La méthode du GRADEX est une approche hydro-pluviométrique probabiliste pour estimer les débits de crues extrêmes d'un cours d'eau sur des périodes de retour de 100 à 10 000 ans. Développée par Guillot & Durand en 1969, elle est adaptée aux bassins versants de quelques dizaines à plusieurs milliers de km², caractérisés par des précipitations relativement uniformes spatialement. En utilisant les données pluviométriques, le GRADEX représente une amélioration significative des méthodes de prédétermination des crues par rapport aux approches statistiques basées uniquement sur les débits observés (Garavaglia, 2011).

III.3.3.2 Principe de la méthode

Le principe de la méthode de GRADEX repose sur une approche hydro-pluviométrique probabiliste pour estimer les débits de crues extrêmes. Elle utilise des informations pluviométriques pour modéliser les événements de crue sur des périodes de retour allant de 100 à 10 000 ans. Cette méthode est adaptée aux bassins versants de taille moyenne à grande, caractérisés par des précipitations homogènes spatialement (Guillot, P., & Durand, M. 1969).

Selon la méthode, lorsque le débit dépasse un seuil spécifique, le sol est considéré comme saturé. Ce seuil, appelé débit seuil ou point pivot, peut varier du débit décennal au débit cinquantennal, en fonction des caractéristiques des sols et du bassin versant. Pendant la période de base de ruissellement D, assimilée à la durée caractéristique, toute augmentation de précipitations entraîne une augmentation proportionnelle du débit (Egis Eau, 2013).

III.3.3.3 Hypothèses de la méthode

- **Hypothèse 1 :** La fonction de répartition des précipitations sur le bassin est asymptotiquement décrite soit par une loi de Gumbel, soit par une loi exponentielle, en fonction du type d'échantillonnage utilisé. Le Gradex correspond à la pente de cette fonction de répartition sur un graphique qui représente les précipitations en fonction du logarithme de la période de retour.
- **Hypothèse 2 :** Le déficit d'écoulement, qui correspond à la différence entre le volume d'eau précipité et celui écoulé à l'exutoire du bassin versant sur un intervalle de temps donné, cesse d'augmenter en moyenne au-delà d'un seuil critique de précipitation. En d'autres termes, une fois que le bassin versant atteint un certain niveau de saturation, la distribution du déficit d'écoulement n'est plus influencée de manière significative par les variations des précipitations ou des débits. Cette hypothèse se reflète graphiquement par un parallélisme entre la fonction de répartition des précipitations et celle des écoulements pour un intervalle de temps équivalent. Le point de départ de cette extrapolation, appelé point pivot, est généralement défini à une période de retour Tp comprise entre 10 et 50 ans, en fonction du bassin versant considéré.

- **Hypothèse 3 :** Le débit de crue maximal, indépendamment de sa fréquence ou de sa période de retour, peut être estimé à partir du volume écoulé sur un intervalle de temps donné, en utilisant un coefficient multiplicatif moyen spécifique au bassin versant, appelé coefficient de forme ou coefficient d'affinité. Ce coefficient est déterminé à partir des hydrogrammes enregistrés lors des crues sur le bassin versant.

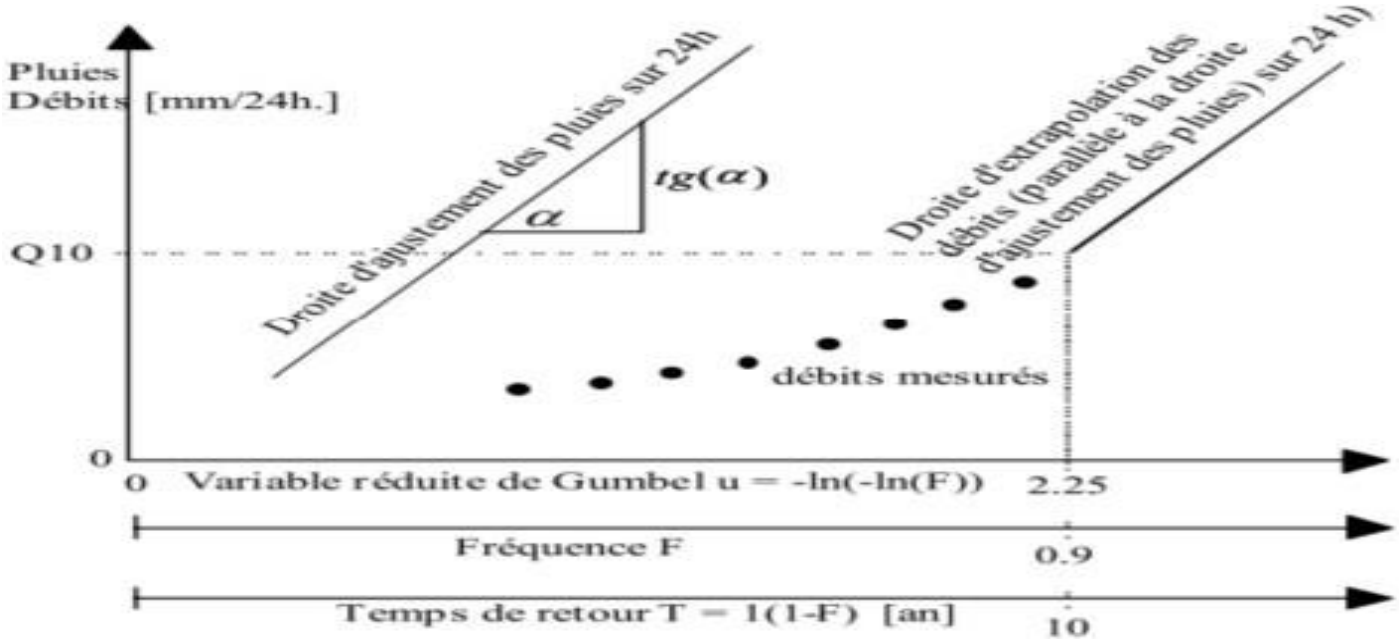


Figure III. 9 : Graphe représente ajustement graphique pour les pluies et droite d'extrapolation pour les débits (Laborde,2000).

Les étapes de la méthode

Les étapes nécessaires pour appliquer cette approche sont listées ci-dessous :

- Choisir un pas de temps de n heures, qui est généralement égal à la moyenne des temps de base des hydrogrammes de crues disponibles. Pour simplifier les calculs, il est recommandé d'utiliser une valeur arrondie, telle que 2, 4, 6, ou 48 heures.
- Ajuster les pluies maximales journalières à l'aide de la loi de Gumbel.
- Calculer le Gradex des précipitations, noté « a », qui correspond à la pente de la droite ajustée selon la loi de Gumbel.

$$(mm)=a\mu+b \qquad \text{(III.32) .}$$

Avec :

: Variable réduite de Gumbel.

♣ Ajuster la série des débits observés selon la loi de Gumbel et déterminer le débit décennal, utilisé comme point pivot pour l'extrapolation des débits. Exprimer ce débit décennal en lame d'eau équivalente à l'aide de la formule suivante :

$$\mathbf{R(mm)}=\frac{Q\left(\frac{m^2}{s}\right)\times 3{,}6\times n(heures)}{S(KM)} \qquad \text{(III.33) .}$$

♣ Extrapoler la distribution des débits au-delà de la probabilité de 0,9 (correspondant à une période de retour de 10 ans) en utilisant une droite ayant une pente égale au Gradex des précipitations.

$$(\mu\%)=a*\mu+b' \qquad \text{(III.34)}$$

Avec :

a : Gradex de la pluie ;

μ : Variable réduite de Gumbel.

$$\mu=-\ln(-\ln(F)) \qquad \text{(III.36)}$$

$$F=\frac{1}{1-T} \qquad \text{(III.37)}$$

Pour T=10 ans :

$$b'=Q10ans-a\mu \qquad \text{(IIII.38)}$$

- Tracer la droite décrite par l'équation **($U_{\%}$)=$a*\mu$+b'** sur le même graphique que celui de l'ajustement des Pjmax.
- Ensuite, déterminer les débits Q pour chaque période de retour en millimètres. Puis, convertir ces débits en mètres cubes par seconde en utilisant la formule suivante :

$$\mathbf{Q}=\frac{S(km^2)\times Q(mm)}{3{,}6\times n(h)} \qquad \text{(IIII.39)}$$

Calcul de débit de pointe :

▪Calculer sur les hydrogrammes des crues observées le rapport « CP » « coefficient de pointe » :

Donc **:**

$$\mathbf{Cp}=\frac{Q_{max}}{Q_{moy}}$$

$$\mathbf{Qp}=Cp\times Q \qquad (\mathbf{m^3/s}) \qquad \text{(III.40).}$$

Application de la méthode

Nous appliquerons la méthode du GRADEX à la station pluviométrique de TKKOUT (061505) pour estimer les débits de crues extrêmes à partir des données pluviométriques de cette station. Nous étendrons également cette méthode à d'autres stations pluviométriques afin de déterminer les débits maximaux et de comparer les résultats entre toutes les stations.

Tableau III. 21 : Les caractéristiques des stations station pluviométrique de TKKOUT

Station	**Code**	**Coordonnés**			**N année**
		X	**Y**	**Z**	
Tkkout	**061505**	**828,85**	**210,5**	**980**	
KHEIRANE	**061805**	**870,55**	**197,1**	**560**	
BOU HAMMAMA	**061803**	**867**	**228,5**	**1140**	

Tableau n°III. 22 : Répartition des précipitations maximales journalières prise de la station de TKKOUT (061505) .

Année	Pjmax	Année	Pjmax
2000	**36,6**	**2011**	**85.9**
2001	**26.8**	**2012**	**68.6**
2002	**27.6**	**2013**	**13.9**
2003	**49.2**	**2014**	**51.5**
2004	**57**	**2015**	**55.8**
2005	**32.5**	**2016**	**28.1**
2006	**20.6**	**2017**	**54.2**
2007	**40.1**	**2018**	**36.2**
2008	**62.1**	**2019**	**21.2**
2009	**29.2**	**2020**	**29.8**
2010	**68.4**	/	/

Tableau n°III. 23: Répartition des précipitations maximales journalières prise de la station de KHEIRRAN.

code	année	Pjmax	année 2	Pjmax
061805	1971	19.1	1982	30.5
	1972	57.5	1983	32
	1973	35.7	1984	48
	1974	21.5	1985	65.9
	1975	24.5	1986	17.5
	1976	44	1987	30.9
	1977	95.2	1988	14.5
	1978	58	1989	76.3
	1979	65	1990	32
	1980	22.2	1991	39
	1981	47	/	/

Tableau n°III. 24 : Répartition des précipitations maximales journalières prise de la station de Bou Hemmama.

code	année	Pjmax	année	Pjmax
061803	1985	57.5	1998	42.8
	1986	18.5	1999	42
	1987	37.2	2000	18
	1988	42.8	2001	32
	1989	72	2002	61.4
	1990	32.2	2003	60
	1991	32.3	2004	43.8
	1992	37.3	2005	74.5
	1993	67.7	2006	29.2
	1994	33.8	2007	82.3
	1995	74.9	2008	56.7
	1996	38.1	2009	40.5
	1997	75		

a. Ajustement de la série à la loi du Gumbel :

Les équations de la droite de Gumbel pour chaque station pluviométrique, obtenues à l'aide du logiciel Hyfran-Plus, sont présentées comme suit :

Station de TKKOUT :

$$\mathbf{P(mm)=14,8\mu+34,09} \qquad \text{(III.41)}$$

Donc le GRADEX est a=14,8.

La station de KHEIRRAN.

$$\mathbf{p(mm)= 16,69\ \mu+32,09} \qquad \mathbf{(\ III.42)}$$

Donc le Gradex a=**16,69**

La station de BOU HAMMAMA :

$$\mathbf{P(mm)=14,83\ \mu + 40\ ,45} \qquad \text{(III.43)}$$

Donc le GRADEX est a= 14,83

Le débit décennal de la station hydrométrique est M'Chounech 061502 :103,5

Conversion du débit décennal (m3 /s) en lame d'eau (mm) :

$$\mathbf{R_{10ans}(mm)} = \frac{Q_{10ans} \times 3,6 \times n(heures)}{S(km^2)} \qquad \text{(III.44)}$$

$$\mathbf{R_{10\ ans}(mm)=80,05mm/24h}$$

Extrapoler de la distribution des débits au-delà de 0.9 (T=10 ans) par une droite de pente égale au Gradex de la pluie :

$Q10ans = a*\mu + b'$ $b' = Q10ans - a*\mu$

$\mu 10 = -\ln(-\ln(F)) = 2,25$ avec $F = \frac{1}{1-T}$.

$\mu_{10\%}$: variable réduite de Gumbel.

On calcule maintenant les b' :

Tableau n°III. 25 : Résultats de calcul de b' pour les trois stations prises.

STATION	R (mm)	μ	a	b'
TKKOUT	**80,05**	**2,25**	**14,8**	**46,75**
KHEIRRAN			**16,69**	**42,49**
Bou HAMMAMA			**14,83**	**46,63**

Les équations des stations sont représentées comme suit :

- Tkkout : $Q_{\%} = 14,8\mu_{\%} + 46,75$;
- Kheirran : $Q_{\%} = 16,69\mu_{\%} + 42,49$;
- Bou Hammama : $Q_{\%} = 14,83\mu_{\%} + 46,63$;

Calcul des débits de pointe

Nous avons utilisé un coefficient de pointe Cp=1, étant donné que les débits maximums ont été employés pour déterminer le débit décennal. Les résultats sont compilés dans le Tableau n° III.25.

Les résultats de l'ajustement pour les diverses périodes de retour sont synthétisés dans le Tableau n°III.26.

Tableau n°III. 26 : Résultats de l'ajustement pour déférentes périodes de retours pour les stations prises.

T	μ	Tkkout			Kheirran			Bou Hammama		
		P	Q	Q_{max}	P	Q	Q_{max}	P	Q	Q_{max}
10	2,25	67,39	80,05	103,5	69,64	80	103,45	73,82	80	103,45
20	2,97	78,06	90,7	117,46	81,65	92,06	119,23	84,49	90,68	117,44
50	3,9	91,81	104,47	135,3	97,18	107,58	139,33	98,29	104,47	135,3
100	4,6	102,17	114,83	148,72	108,86	108,86	141	108,66	114,85	148,74
1000	6,91	136 ,36	149,02	193	147,42	157,82	204,39	142,92	149,1	193,1

Avec :

- ♣ T : période de retour ; μ : variable réduite de Gumbel.
- ♣ P en : (mm/24h) ; Q en : mm/24h; Q_{max} : en m^3/s.

Tableau n°III. 27 : Résultats de l'ajustement des stations prises.

Période de retour	Station hydrométrique (M'chounech)	Station pluviométrique		
		T'kkout	Kheirrane	Bou Hammama
10	229,68	103,5	103,45	103,45
20	308,53	117,46	119,23	117,44
50	441,37	135,3	139,33	135,3
100	539,35	148,72	141	148,74
1000	1008,05	193	204,39	193,1

Selon les calculs des débits réalisés avec la méthode de GRADEX, la station hydrométrique de M'chounech affiche un débit centennal plus élevé que celui des autres stations pluviométriques.

Par conséquent, le débit de projet recommandé pour l'aménagement de l'oued Chennaoura est de 539 m³/s.

II.3.4 Hydrogramme des crues

- Cette courbe montre l'évolution des débits au fil du temps pendant une crue et permet d'estimer certaines caractéristiques de la crue, telles que sa forme, son volume, le temps de montée et le temps de base. Pour tracer l'hydrogramme, nous utilisons la méthode de Sokolovsky (Touaibia, 2015).
- Cette méthode repose sur l'utilisation de deux équations paraboliques : l'une pour représenter la montée de la crue et l'autre pour la décrue.

$$\mathbf{Q(t)=Q_{max}\left(\frac{t}{tc}\right)^n} \qquad \text{(III.41)}$$

Tm = Tc (pour les petits bassins versants) ;

Avec :

- Tc qui est le temps de concentration du bassin versant (heures) ;
- Qm : Débit instantané de montée (m^3/s).

❖ **Branche de décrue (descente) :**

$$\mathbf{Q(t)=Q_{max}\left(\frac{(Tb-t)}{Td}\right)^m} \qquad \text{(III.42)}$$

$$\mathbf{T_b=T_m+T_d}$$

Avec :
Qt : Débit à l'instant t (m3/s) ;
Qmax : Débit maximal de la crues (m3/s) ;
Tm : Temps de montée de la crue (h) ;
Td : Temps de décrue (h) ;
Tb : Temps de base (h) ;
m, n : puissance des paraboles (m=3, n=2).

Pour les crues d'averses, c'est-à-dire les crues causées par la pluie, cette méthode utilise :

$Tm=Tc$, *ou* Tc:*temps de concentration.*

$Td=\delta\ .Tm$, δ *c'est* le coefficient de forme de l'hydrogramme de crue .

Tableau n°III. 28 : Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue "δ".

C	Valeur de "δ"
Petits cours d'eau et vallons situés dans des bassins versants dénudés et à faible perméabilité	2,0 – 2,5
Petits cours d'eau et vallons situés dans des bassins versants fragmentés ou perméables, ainsi que des cours d'eau moyens avec des terrasses de lit majeur habituelles.	3,0 – 4,0
Grands et moyens cours d'eau avec des terrasses de débordementsétendues.	4,0 – 7,0

On prend : $\delta = 2.5$

Les valeur sont dans le tableau ci-dessous :

Tableau n°III. 29: les valeurs du temps de base, montée et décrue.

Paramètere	**Unité**	**Valeur**
T_C	**Heures**	**1,68**
T_m	**Heures**	**1,68**
T_d	**Heures**	**4,2**
T_b	**Heures**	**5,88**
m	**/**	**3**
n	**/**	**2**

Tableau n°III. 30 : Valeurs du débits centennales en fonction du temps pour T'kout

T(h)	TKKOUT	KHEIRAN	BOU HAMMAMA	M'CHOUNECH
0	0	0	0	0
0.25	3.29	3.12	3.29	11.94
0.5	13.17	12.49	13.15	47.77
0.75	29.64	28.10	29.59	107.49
1	52.69	49.96	52.60	191.10
1.25	82.33	78.06	82.19	298.59
1.5	118.56	112.40	118.36	429.97
1.68	148.72	141.00	148.47	539.35
1.75	141.41	134.07	141.17	512.83
2	117.25	111.16	117.05	425.22
2.25	96.02	91.03	95.85	348.21
2.5	77.51	73.49	77.38	281.11
2.75	61.55	58.36	61.45	223.23
3	47.95	45.46	47.87	173.90
3.25	36.52	34.62	36.46	132.43
3.5	27.06	25.66	27.02	98.14
3.75	19.40	18.39	19.37	70.35
4	13.34	12.65	13.32	48.37
4.25	8.69	8.24	8.68	31.53
4.5	5.28	5.00	5.27	19.13
4.75	2.90	2.75	2.89	10.50
5	1.37	1.30	1.37	4.96
5.25	0.50	0.48	0.50	1.82

5.5	**0.11**	**0.10**	**0.11**	**0.40**			
5.75	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.02**			
5.88				**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**

- *Les hydrogrammes de crue sont représentés dans les figures suivantes :*

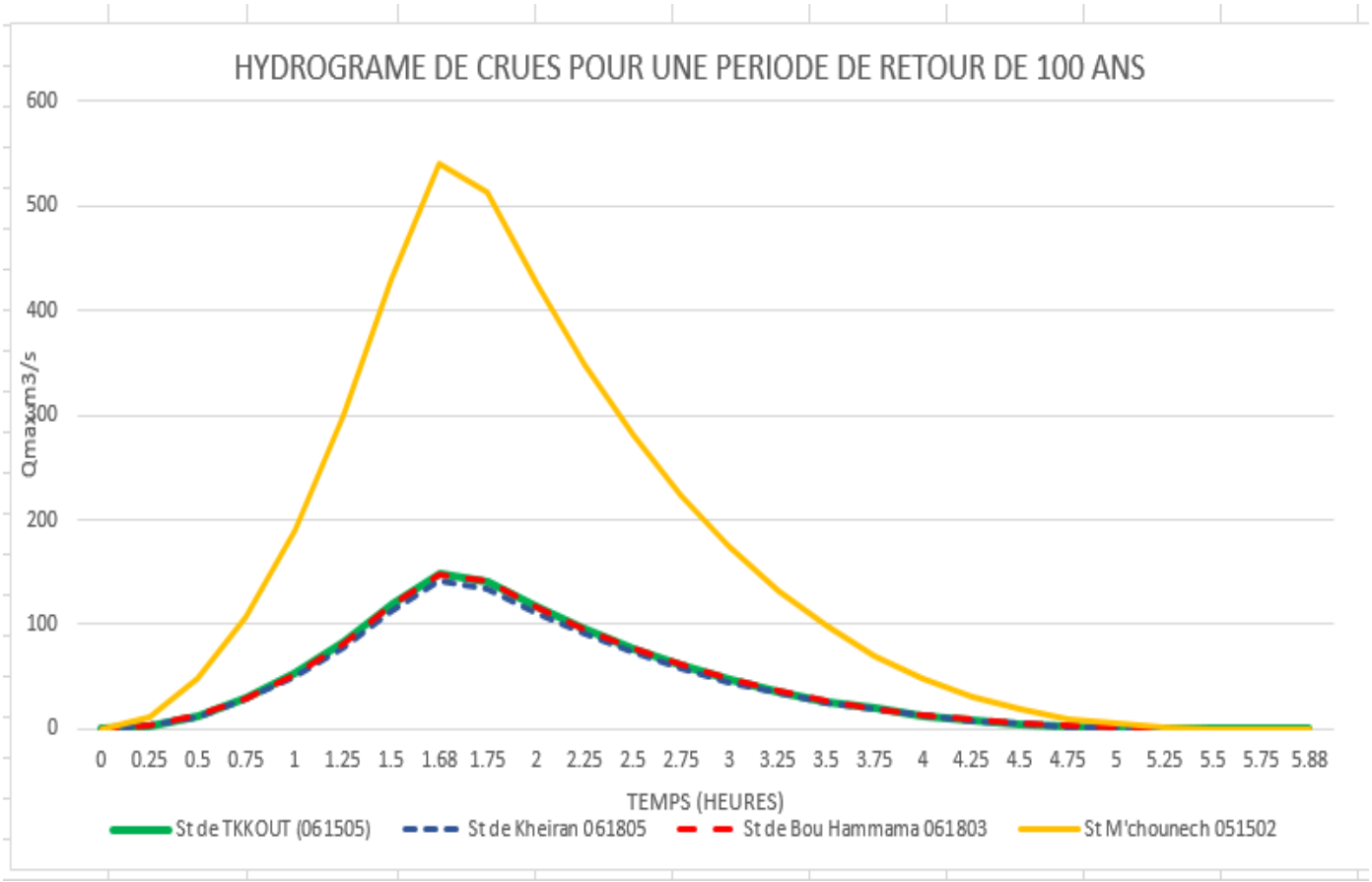


Figure III. 10: Hydrogramme de crue pour période de retour 100 ans pour les différentes stations.

III.3.5 Choix de la crue de projet

La crue de projet représente le niveau maximal de crue que la structure doit pouvoir évacuer avec une probabilité déterminée. Le choix de ce niveau de crue est principalement influencé par l'importance de la construction, les potentielles conséquences en aval, ainsi que les considérations technico-économiques liées à l'aménagement et à l'environnement.

Tableau n°III. 31 : crue de projet recommandée selon la classification du comité national australien des grands barrages (CNAGB).

Catégories des dommages	Crue de projet recommandé de probabilité de dépassement annuelle
Élevés : Perte de vie, dommage considérable.	1/100000 à 1/10000
Importants : Pas de perte de vie, dommagesimportants.	1/10000 à 1/1000
Faibles : Pas de perte de vie, dommages légers.	1/1000 à 1/100

Étant donné qu'il s'agit d'une étude de protection contre les inondations, nous considérons une période de retour de 100 ans.

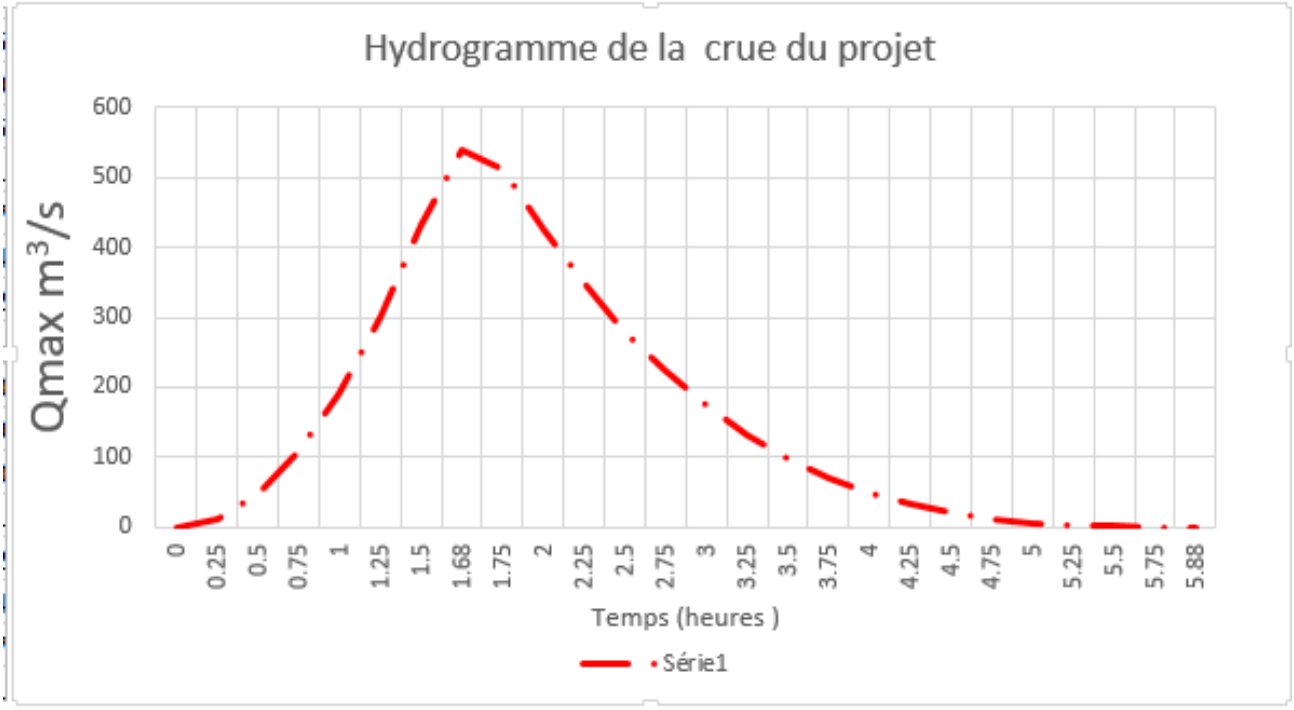


Figure III. 11 : : Hydrogramme de la crue du projet.

CONCLUSION

L’étude hydrologique réalisée dans ce chapitre met en lumière l'importance de l'estimation précise des débits de crue dans la gestion des risques d'inondation. En appliquant la méthode GRADEX aux stations pluviométriques de TKKOUT, KHEIRRAN, et Bou Hammama, nous avons pu estimer les débits maximaux pour différentes périodes de retour, avec des valeurs spécifiques pour chaque station. Ces résultats permettent de mieux comprendre l'évolution des crues extrêmes dans la région et fournissent des bases solides pour la modélisation hydraulique des cours d'eau.

Le calcul des débits décennaux et centennaux, associé à l'extrapolation des données de précipitation, permet de prendre des décisions éclairées pour la gestion des aménagements hydrauliques et la protection contre les inondations. Les débits calculés et les hydrogrammes de crue qui en résultent jouent un rôle essentiel dans la conception d'infrastructures capables de faire face à des événements climatiques extrêmes.

En outre, la comparaison des différentes stations montre que la station hydrométrique de M'chounech enregistre des débits centennaux plus élevés, ce qui renforce la nécessité d'adopter des mesures de protection adaptées pour cette zone. Le choix de la crue de projet, basé sur la classification du comité national australien des grands barrages (CNAGB), suggère l’importance de prendre en compte une période de retour de 100 ans pour garantir la sécurité des structures et minimiser les risques de dégâts.

En conclusion, cette étude hydrologique fournit des informations essentielles pour la planification d’aménagements hydrauliques adaptés et pour la réduction des risques d'inondation dans la région. Ces résultats devraient être utilisés pour orienter les futures politiques de gestion de l'eau et la mise en place de stratégies de prévention des inondations.

CHAPITRE IV : Simulation des écoulements Hydrauliques et cartographie des zones inondables à risque.

CHAPITRE IV : SIMULATION DES ECOULEMENTS HYDRAULIQUES ET CARTOGRAPHIE DES ZONES INONDABLES A RISQUE.

Introduction :

Une étude hydraulique constitue une étape incontournable avant la mise en œuvre de tout projet d'aménagement. pour analyser les écoulements dans les canaux, qu'ils soient artificiels ou naturels. La prévention des inondations est complexe Lors de fortes crues et d'une accélération des vitesses d'écoulement, l'accent est généralement mis sur la gestion de la hauteur d'eau dans la conception des infrastructures de protection, plutôt que sur la prévention de l'érosion.

La modélisation hydraulique permet de prévoir numériquement les débits, les vitesses et les hauteurs d'eaulors d'une crue. Cela aide à déterminer les surfaces inondées, les durées de submersion et la vitesse de montée des eaux. Un modèle est une représentation schématique, donc simplifiée, d'un système réel.

IV.1 Généralités :

IV.1.1 La physique d'un modèle hydraulique :

Les modèles hydrauliques utilisés pour l'analyse des inondations en plaine s'appuient principalement sur la résolution des équations tridimensionnelles de Barré de Saint-Venant de Navier- Stokes intégrées sur la verticale (Roux, 2004).

✵ Équation de conservation de la masse :

$$\frac{\partial \mathrm{S}}{\partial \mathrm{t}} + \frac{\partial \mathrm{Q}}{\partial \mathrm{x}} = q_L \qquad \text{(IV.1)}$$

✵Équation de conservation de la quantité de mouvement :

$$\frac{\partial \mathrm{Q}}{\partial \mathrm{t}} + \frac{\partial}{\partial \mathrm{x}}\left(\frac{Q^2}{\partial}\right) + \boldsymbol{gS}\left(\frac{\partial \mathrm{Z}}{\partial \mathrm{X}} + \boldsymbol{J}\right) = \boldsymbol{K_L}.\boldsymbol{q_l}.\boldsymbol{V} \qquad \textbf{(IV.2)}$$

Avec :

S: la surface mouillée, c'est-à-dire l'aire de la section transversale occupée par le fluide (m2);
Q : le débit (m3/s) ;

qL : le débit par unité de longueur (m2/s) d'apport (qL ≥ 0) ou de fuite (qL < 0) ;g : l'accélération de la pesanteur (m/s2) ;

Z : la cote de la surface libre (m) ;

J : la pente de la ligne d'énergie (m/m), également appelée perte de charge linéaire ;kL : un coefficient tel que :

$$kL = \begin{cases} 1 \text{ si } qL < 0 ; \\ 0 \text{ si } qL \geq 0. \end{cases}$$

V : la vitesse moyenne dans une section transversale (m/s) ;x: l'abscisse curviligne (m) ;

t : le temps (s). La figure (IV.1) schématise ces différents paramètres

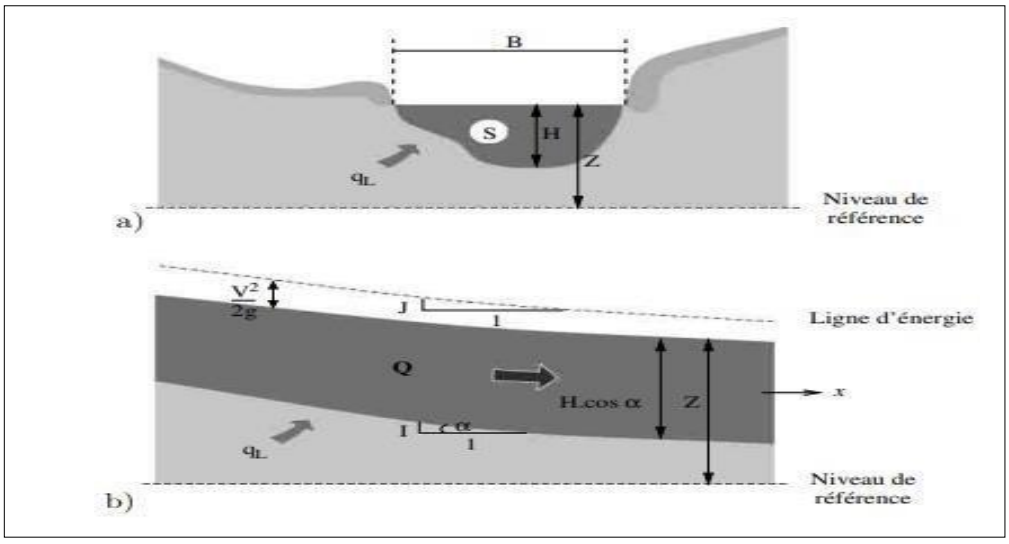


Figure IV. 1 : Définition des variables hydrauliques intervenant dans les équations de Saint-Venant, d'après (Langdon, 2000) :a) profil en travers, b) profil en long (Roux, 2004).

IV.1.2 Definition de l'écoulement à surface libre :

Un écoulement à surface libre est un écoulement dont la surface libre est soumise à la pressionatmosphérique

IV.1.3 Définition de l'écoulement stationnaire (permanent) :

L'écoulement est dit permanent si les caractéristiques d'écoulement, en tout point, sont invariantes dans letemps ($\partial v/\partial t = 0$; $\partial h/\partial t = 0$, etc.).

IV.1.4 Définition de l'écoulement non stationnaire (non permanent) :

L'écoulement est dit non stationnaire si les caractéristiques d'écoulement, en tout point, sont en fonctiondu temps ($\partial v/\partial t \neq 0$; $\partial h/\partial t \neq 0$, etc.).

IV.2 Dimensionnement des canaux :

Pour l'écoulement à surface libre et dans le cas du régime uniforme la vitesse moyenne d'écoulement estdonnée par la formule IV.4 appelée formule de Chézy :

$$V = C\sqrt{R_H.I} \qquad \text{(IV.4)}$$

On a : Q=V.S

$$Q = C.S\sqrt{R_H.I} \qquad \text{(IV.5)}$$

Avec :

C : Le coefficient de Chézy, il a comme unité le ($m^{0,5}/s$) ;

R_H :Le rayon hydraulique (m) ;

I : Le gradient hydraulique ou la perte de charge par unité de longueur ; dans le cas del'écoulement uniforme I est égale à la pente du radier (du fond) du canal.

IV.2.1 Détermination du coefficient de Chézy :

Pour le calcul du coefficient de Chézy il existe une panoplie de formules, parmi ces formulesnous mentionnerons dans ce qui suit celles les plus souvent utilisée

IV.2.1.1 Formule de manning (1981):

Voici la formule de manning

$$C = \frac{1}{n}.R_H^{\frac{1}{6}} \qquad \text{(IV.6)}$$

Où n est le coefficient de rugosité et RH est le rayon hydraulique. Blench (1939) considère le coefficient C comme une variable qui dépend non seulement de n mais aussi de R_H et dont l'exposant dépend à son tour de n et de R_H. C'est la formule dite de Pavlovski.

IV.2.1.2 Formule de Pavlovski (1940) :

$$C = \frac{1}{n}.R_H^y \qquad \text{(IV.7)}$$

Avec :

n : est le coefficient de rugosité ;

RH : est le rayon hydraulique ;

y : est un exposant déterminé soit d'après la relation complète :

$$y = 2.5\sqrt{n} - 0.13 - 0.75\sqrt{(n - 0.1)} \qquad \text{(IV.8)}$$

IV.2.1.3 Formule d'Agroskine :

La formule d'Agroskine qui calcule coefficient de Chézy est la suivante :

$$C = 4\sqrt{2.g(K + logR_H)} \qquad \text{(IV.9)}$$

Où :

k : est le paramètre de Poli.

Étant donné que la formule d'Agroskine est semi empirique et que les grandeurs incluses dans le deuxième terme sont exprimées uniquement en unité de longueur, à savoir le mètre, on recommande l'utilisation de la formule suivante :

$$c = \frac{1}{n} + 17.72.logR_H \qquad \text{(IV.10)}$$

IV.2.1.4 Formule de Bazin (1897) :

Bazin considère que la valeur du coefficient C de Chézy dépend du rayon hydraulique RH maisne dépend pas de la pente I du canal.

Le coefficient C peut alors être déterminé par l'expression :

$$C = \frac{87}{1+\frac{m}{\sqrt{R_H}}} \quad \text{(IV.11)}$$

m : est le coefficient de rugosité dépendant de la nature du matériau constituant le canal considéré (Toumi, 2016

IV.3 Diagnostique et simulation du cours d'eau sans Aménagement :

IV.3.1 Étendue de la zone d'étude :

La zone d'étude comprend la modélisation de l'oued Chénnaoura, qui traverse la ville de T'kout.

IV.3.2 Descriptif du réseau :

Une analyse détaillée du linéaire a été réalisée. Un rapport sur la situation hydraulique a été rédigé à l'occasion de cette inspection, dont nous vous présentons ci-après un extrait.

La ville de Tkkout, située le long du cours d'eau Chénnaoura, fait face à une menace constante d'inondations qui engendre l'érosion des berges et des talus. Ce phénomène naturel fragilise progressivement les vergers et menace la stabilité des constructions limitrophes, mettant en péril à la fois les espaces agricoles et les infrastructures urbaines. Les inondations récurrentes aggravent également l'érosion des pistes, principalement celles qui bordent les rives du Chénnaoura, rendant la circulation de plus en plus difficile. Ainsi, Tkkout se trouve confrontée à un défi majeur : protéger son environnement tout en assurant la sécurité et la pérennité de ses structures face aux risques croissants d'inondations.



Figure IV. 2: Images illustrants des zones de l'oued avant travaux.



Figure IV. 3: Image illustrant une partie de l'oued avant aménagement

IV.4 Simulation de l'écoulement du cours d'eau :

IV.4.1 Choix du type de modèle hydraulique :

Pour la simulation de l'écoulement dans les cours d'eau, le logiciel HEC-RAS (version 6.3.1) a été sélectionné en raison des nombreux avantages qu'il offre.

IV.4.2 Présentation du logiciel HEC-RAS :

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) est un logiciel développé par le Corps des ingénieurs de l'armée des États-Unis (USACE). Il est utilisé principalement pour l'analyse hydraulique et hydrologique des cours d'eau, des rivières et des canaux. HEC-RAS est un outil essentiel pour la modélisation des écoulements d'eau, l'analyse des inondations et la conception d'infrastructures hydrauliques (USACE, 2024).

Ce logiciel s'occupe principalement de :

- **Simulation des Écoulements** : HEC-RAS permet de modéliser les écoulements dans les rivières et les canaux, qu'ils soient permanents ou temporaires.
- **Analyse des Inondations** : Il évalue les risques d'inondation en simulant les conditions de crue et en identifiant les zones susceptibles d'être inondées.
- **Conception et Évaluation** : Le logiciel est utilisé pour concevoir et évaluer l'efficacité des aménagements hydrauliques tels que les digues, les barrages et les systèmes de gestion des eaux.

IV.4.2.1 Objectif du logiciel :

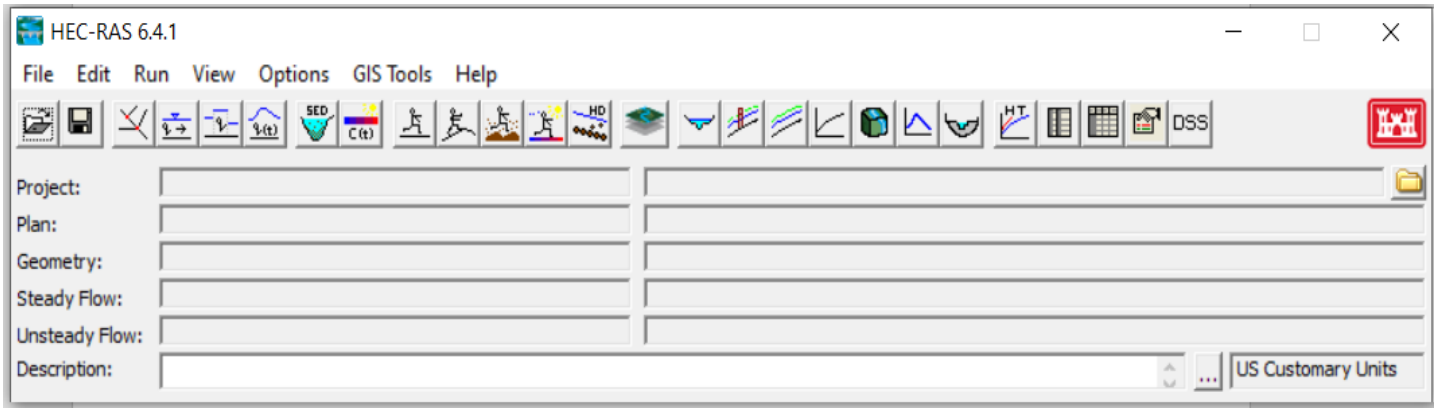


Figure IV. 4 : Interface du logiciel HEC-RAS (version 6.4.1).

L'objectif principal de HEC-RAS est de réaliser des calculs hydrauliques unidimensionnels pour les réseaux de canaux, qu'ils soient naturels ou artificiels. Le logiciel permet de déterminer les hauteurs de la surface de l'eau à différentes sections d'intérêt en utilisant des données d'écoulement en régime permanent et de simuler les écoulements en régime non permanent à l'aide d'hydrogrammes de crue.

HEC-RAS repose sur le modèle unidimensionnel de Saint-Venant, applicable en régime permanent ou non-permanent, pour le calcul des lignes d'eau en écoulement graduellement varié. Le logiciel résout l'« équation de l'énergie unidimensionnelle », avec les pertes évaluées à l'aide de la formule de frottement de Manning-Strickler et des formules pour les contractions et expansions de l'écoulement. Pour les cas d'écoulement rapidement varié, tels que les ressauts hydrauliques, les écoulements proches des ponts, et les confluences de rivières, l'équation de l'énergie est remplacée par l'équation de la quantité de mouvement (Cheloufi & Foual, 2018).

IV.4.2.2 Fonctionnement de HEC-RAS :

HEC-RAS offre une modélisation très précise d'un large éventail de conditions d'écoulement. Le centre de contrôle, qui constitue le cœur du logiciel, permet de gérer et d'intégrer efficacement les différents types de données :

▪ Géométrie ;

▪ Débits et conditions aux limites ;

▪ Conditions de calcul ;

▪ Résultats (Idrici, 2017).

IV.4.3 Application d'HEC-RAS sur l'Oued :

Pour appliquer le modèle HEC-RAS, il est nécessaire de disposer des données suivantes pour la zone d'étude :

- **Une série de couples distance-altitude** pour toutes les sections transversales.
- **Les distances entre les sections successives**, y compris celles des rives et de l'axe du canal.
- **Les coefficients de contraction et d'expansion**.

- **Les informations sur l'écoulement** ainsi que les conditions aux limites (Jabbour, 2006).

IV.4.3.2 Les données géométriques :

Les données géométriques nécessaires incluent la définition de la connectivité du système fluvial (schéma du réseau fluvial), les données sur les sections transversales, ainsi que les informations concernant les ouvrages hydrauliques existants ou prévus, tels que les ponts, les digues, les structures latérales et les déversoirs (Idrici, 2017).

1. **Construction du TIN « Terrain Irregular Network » :**

Le relief peut également être représenté par un échantillonnage semi-dirigé irrégulier qui tient compte des caractéristiques structurales du terrain, sous la forme d'un réseau triangulaire irrégulier appelé TIN (Triangular Irregular Network). Nous utilisons le logiciel ArcGIS pour créer ce TIN afin de visualiser l'écoulement dans RAS Mapper et de générer des cartes de profondeur, de vitesse, etc. La Figure IV.2 illustre le TIN ainsi créé

Après la construction du TIN, nous exportons les données en utilisant un fichier de projection ESRI (extension file.Prj), qui contient les informations sur le système de coordonnées spécifique à notre zone d'étude.

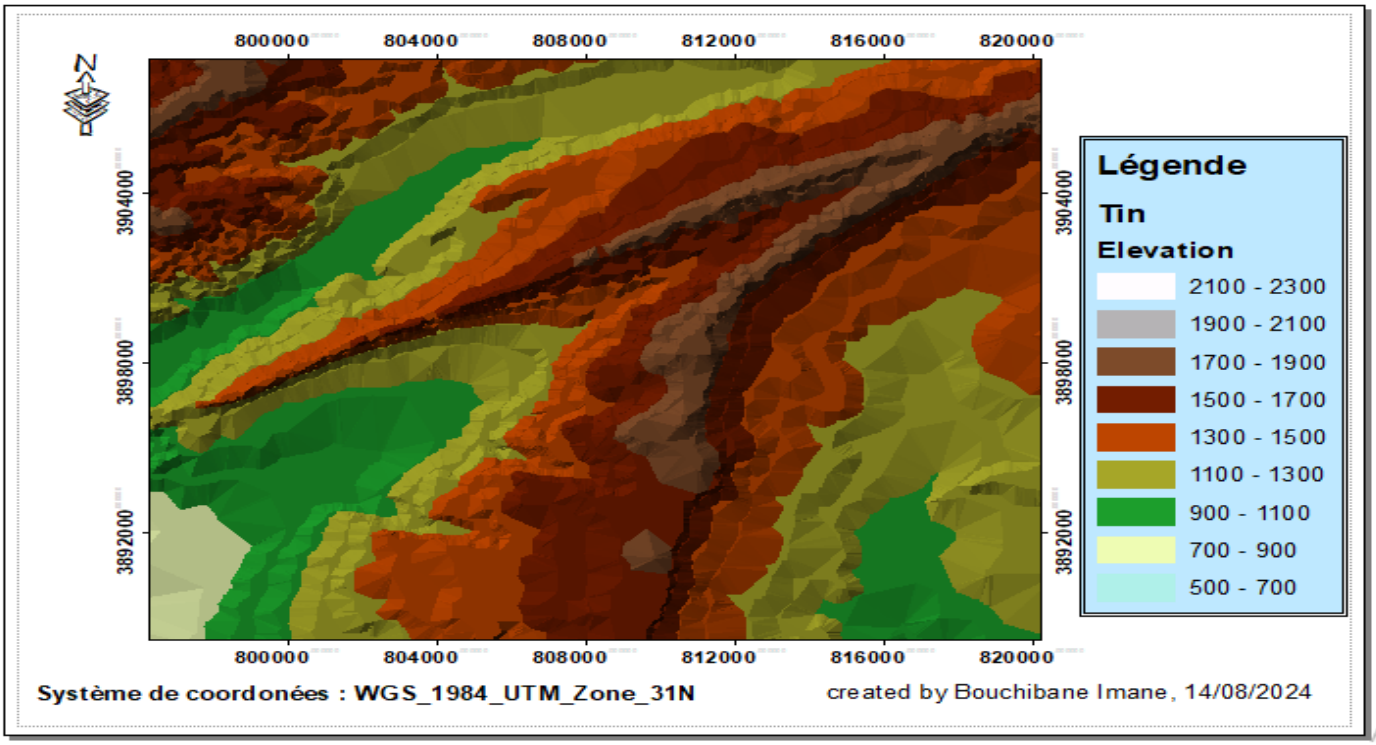


Figure IV. 5 : TIN (réseau irrégulier triangulé) de la zone d'étude.

- Puis un fichier est téléchargé depuis le site web « USGS » et importé dans le logiciel HEC-RAS pour permettre à RAS-MAPPER de réaliser la simulation.

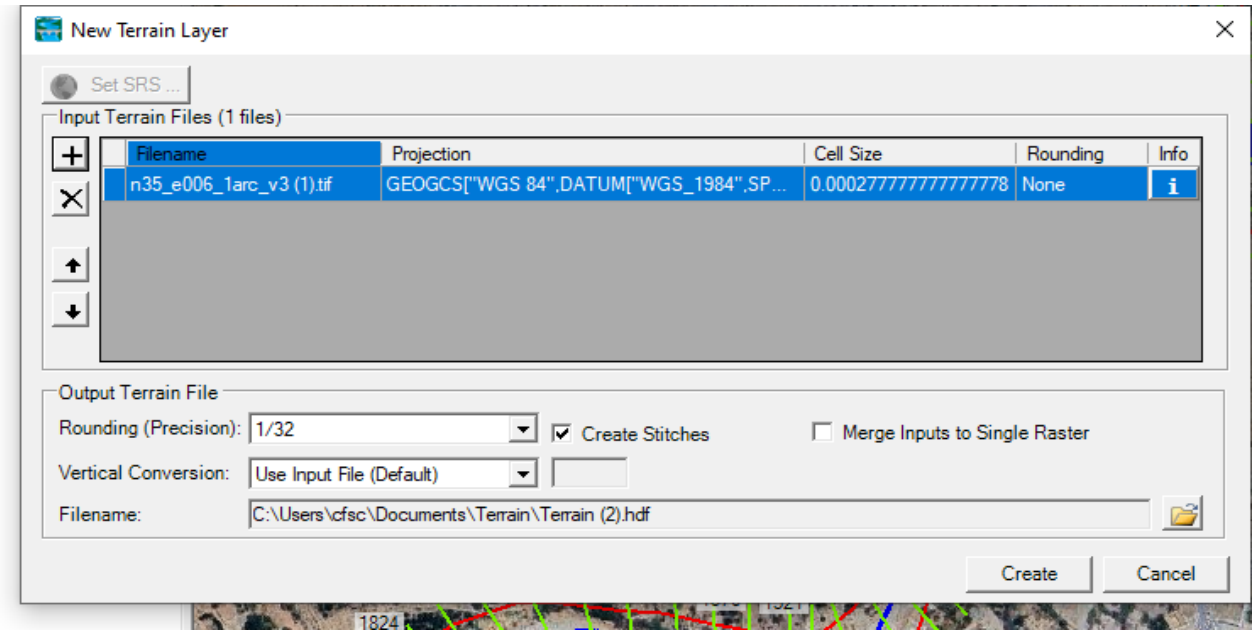


Figure IV. 6: Insertion des données du terrain.

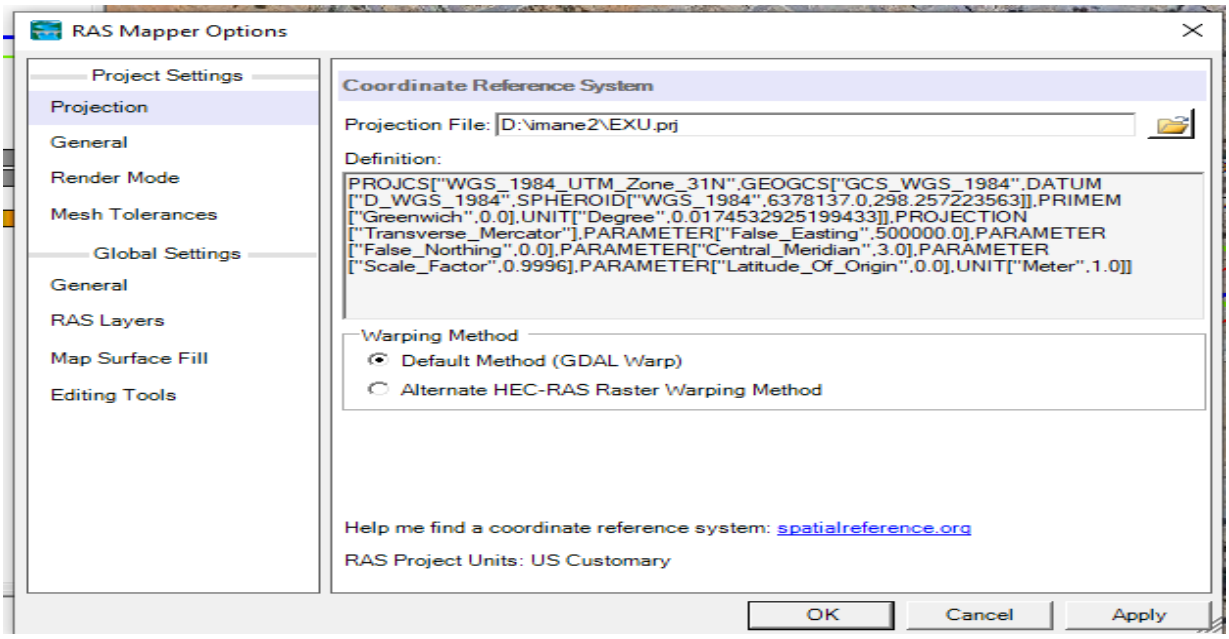


Figure IV. 7 *:* Insertion fichier de projection.

• Dans RAS-MAPPER, nous traçons l'axe des oueds, le lit mineur, le lit majeur et les sections transversales.

• Les profils obtenus sont dépourvus de profondeur, ce qui nécessite une correction de leur géométrie pour obtenir des sections avec des caractéristiques adéquates.

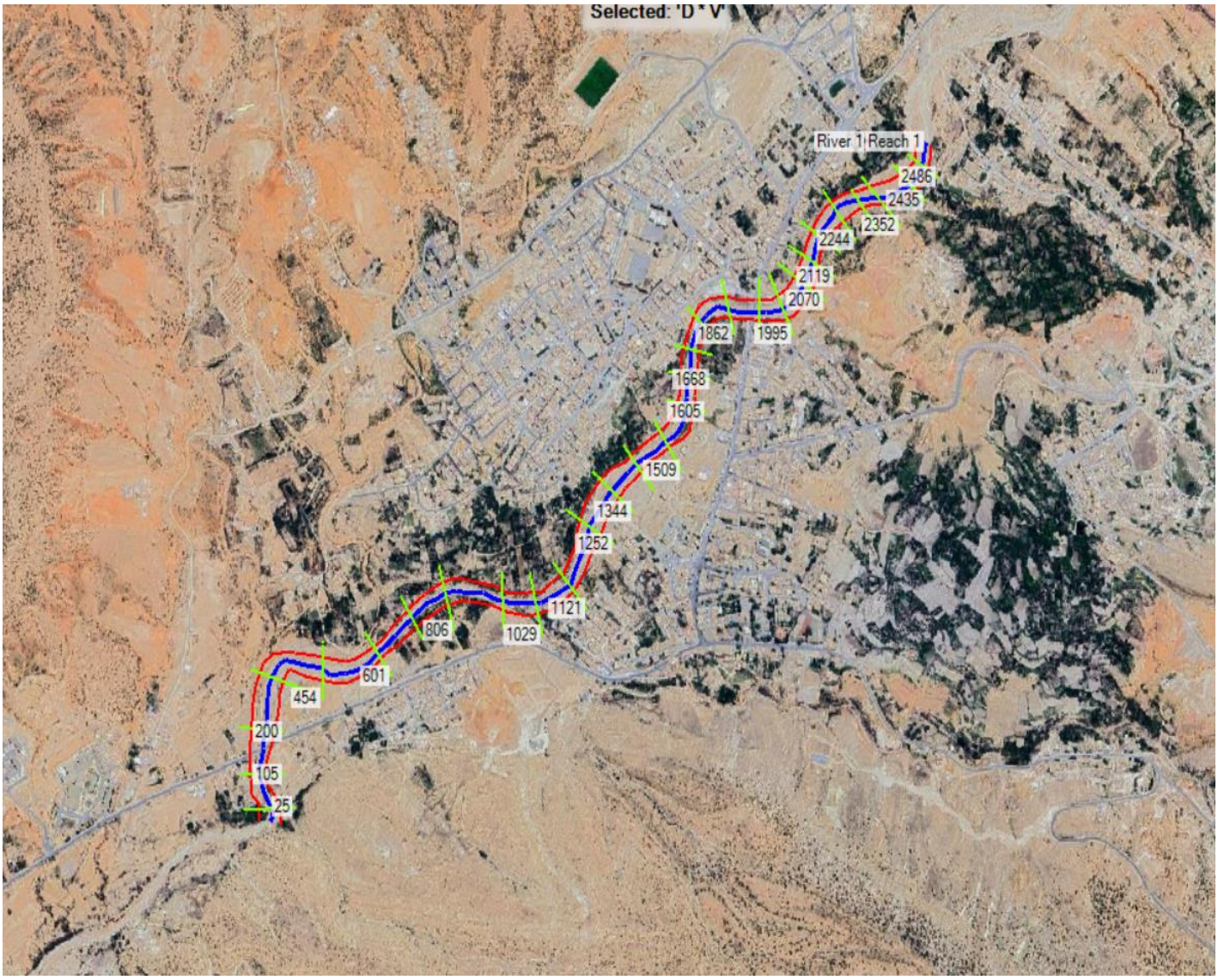


Figure IV. 8 : Définition du tracé d'oued Chennaoura (RAS-MAPPER).

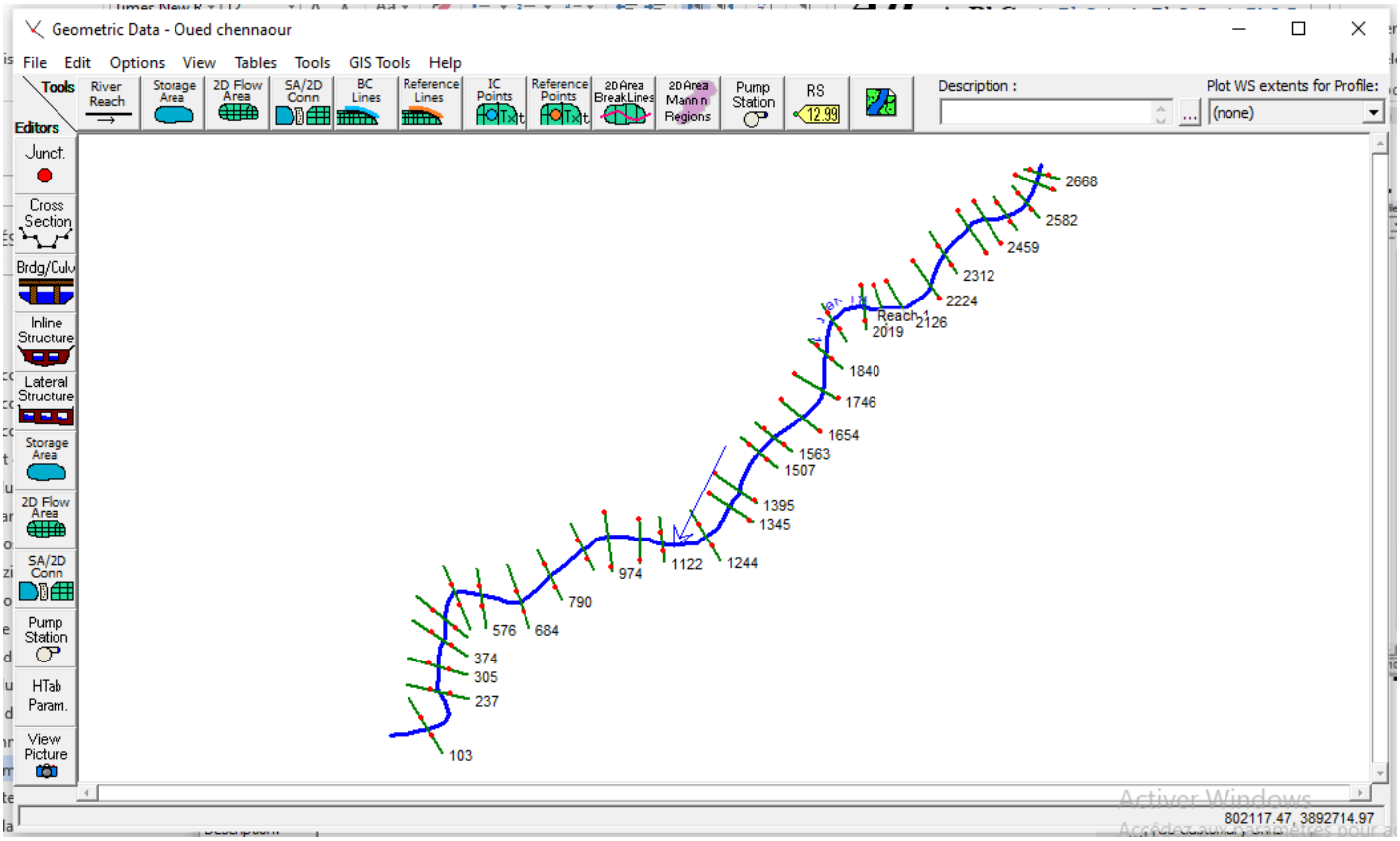


Figure IV. 9: Définition du tracé de l'oued Chennaoura.

2. Les données hydrométriques et les conditions aux limites :

▪ Après avoir enregistré les données géométriques de chaque section, la prochaine étape dans la modélisation hydraulique avec HEC-RAS est de définir les débits d'entrée et les conditions limites nécessaires pour calculer les profils de la surface de l'eau dans chaque section du réseau fluvial.

▪ Les conditions aux limites sont cruciales pour la modélisation hydraulique. Pour simuler un écoulement permanent, il est essentiel de spécifier les conditions limites amont, aval, ou les deux, afin de déterminer l'élévation de la surface de l'eau aux extrémités de chaque segment de cours d'eau. HEC-RAS peut ensuite commencer les calculs hydrauliques.

▪ Dans notre étude, étant donné que l'écoulement est en régime mixte, il est nécessaire d'introduire des conditions aux limites aux extrémités amont et aval. Nous avons choisi la profondeur normale comme condition, ce qui implique la définition d'une pente d'énergie. HEC-RAS utilisera cette pente pour calculer la profondeur en utilisant l'équation de Manning. Pour estimer cette pente d'énergie, nous mesurons la pente du tronçon en aval du tronçon modélisé.

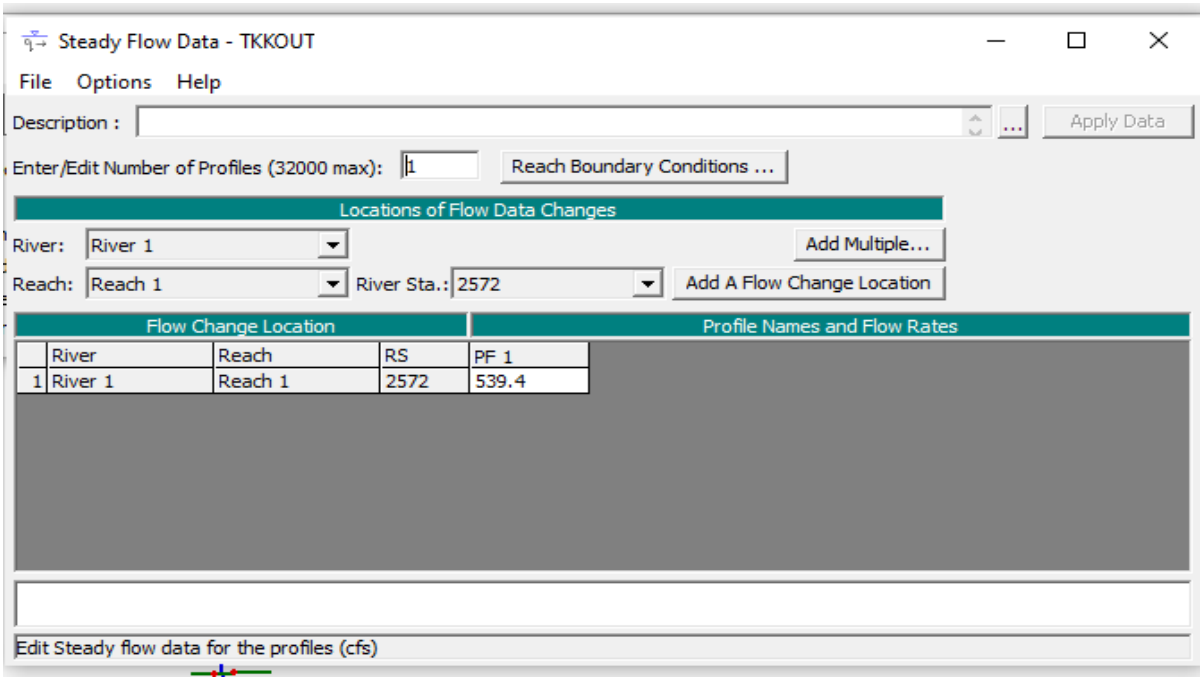


Figure IV. 10: Introduction des données hydrauliques de l'oued.

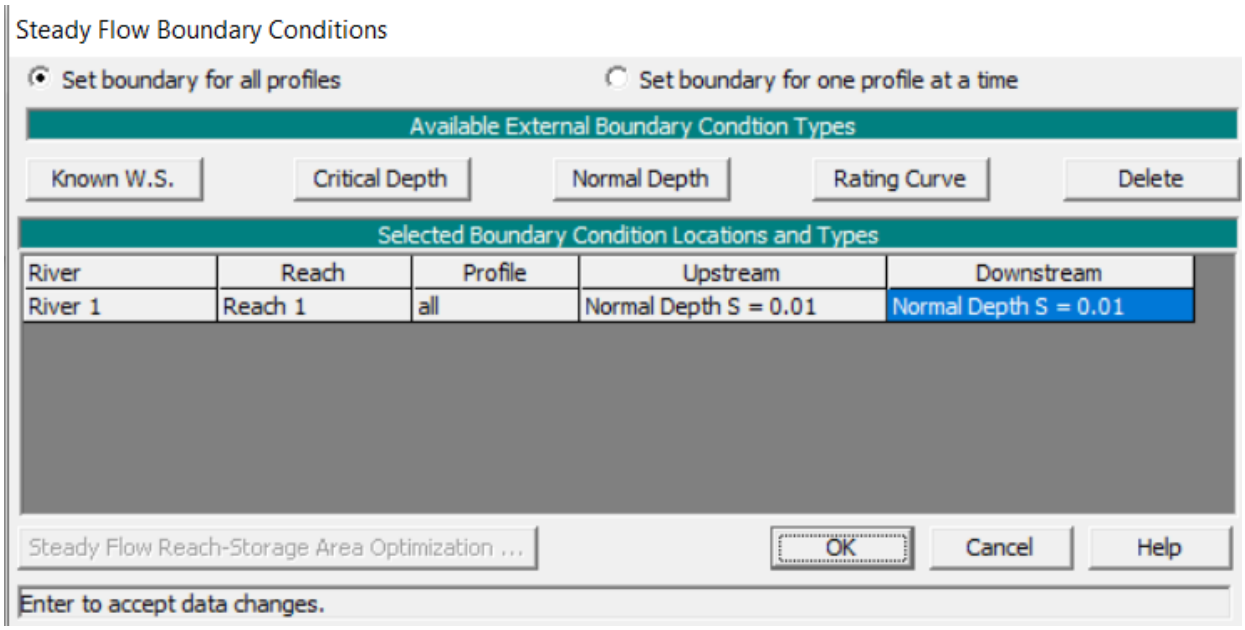


Figure IV. 11 ; Définition des conditions aux limites

3. Simulation et interprétations des résultats :

Après avoir saisi les données géométriques et hydrométriques et défini les conditions aux limites, il est essentiel de choisir le régime fluvial approprié parmi les options proposées : fluvial, torrentiel ou mixte. Dans ce contexte, nous avons opté pour un régime mixte et avons alors lancé la simulation.

- **Le choix du coefficient de frottement (coefficient de Manning-Strickler) :**

Le frottement au fond du lit est décrit par un coefficient de rugosité n , où le coefficient de Manning est l'inverse du coefficient de Strickler K=1/n . En fonction de la nature du fond du lit, la valeur du coefficient de Manning pour le lit mineur peut être déterminée à partir du tableau présenté en Annexe N°4.

Le coefficient de rugosité dépend des matériaux d'oued, dans notre cas le lit d'oued présente des conditions d'écoulement mauvaises en présence des pierres, des joncs et des fosses. Donc la rugosité qui sera prendre en considération est de 0.04 ce qui donne un coefficient de STRICKLER : Ks= 25.

4. Résultat de la simulation :

La saisie des données géométriques concernant les profils des sections transversales, les débits de crue pour diverses périodes de retour, et les conditions aux limites dans le logiciel HEC-RAS a permis de réaliser les calculs nécessaires et de générer plusieurs résultats. Ceux-ci comprennent une coupe du tronçon simulé, les niveaux d'eau pour chaque période de retour le long des profils, une visualisation en trois dimensions des niveaux d'eau dans la section d'étude à l'aide de tableaux descriptifs, ainsi que la courbe de tarage.

Le profil en long de l'oued

La ligne d'eau fournit une coupe transversale du tronçon d'étude, montrant le niveau et la surface de l'Oued ainsi que le niveau d'eau pour une période de retour de cent ans.

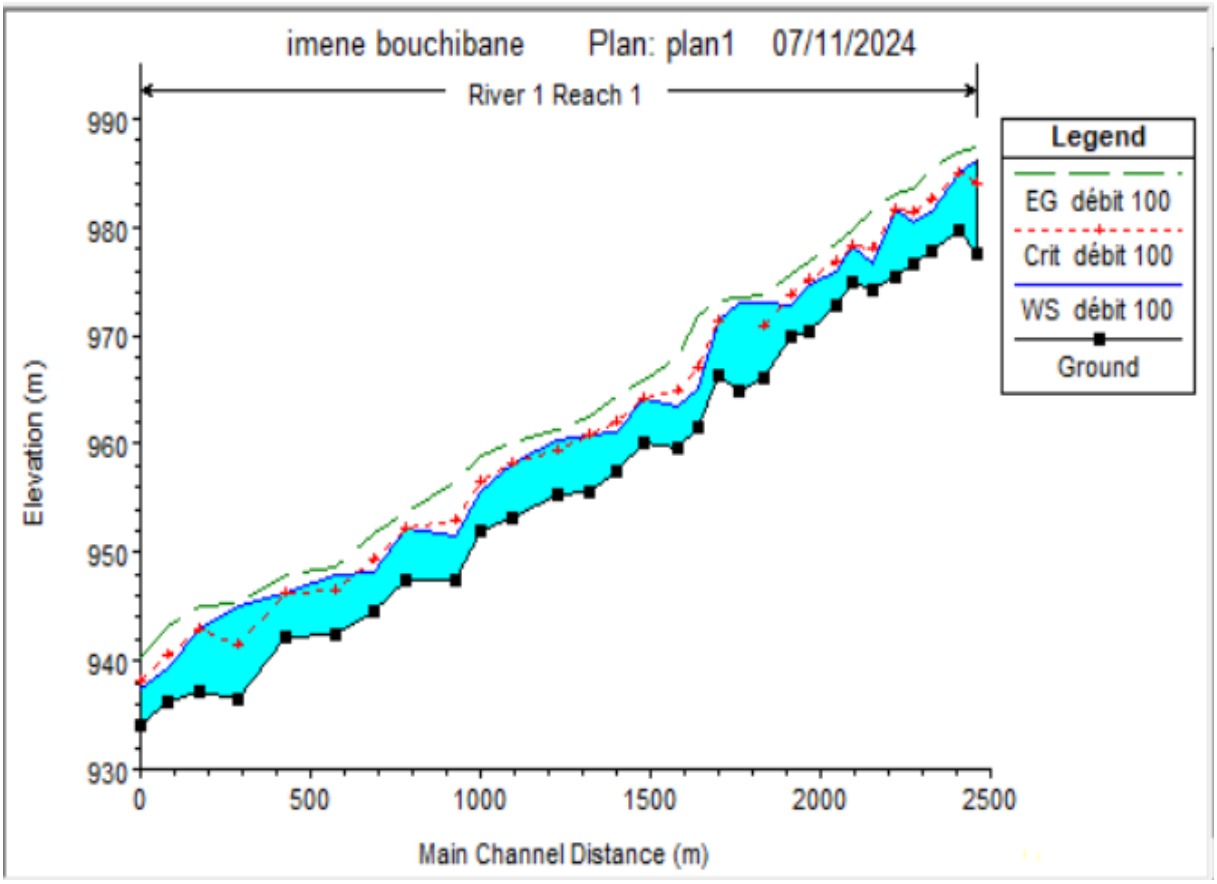


Figure IV. 12 : Profil en long de l'oued Chennaoura à l'état naturel.

Restitution de la courbe de tarage :

HEC-RAS a permis de créer un graphique illustrant la variation de la hauteur d'eau (en mètres) en fonction du débit (en mètres cubes par seconde).

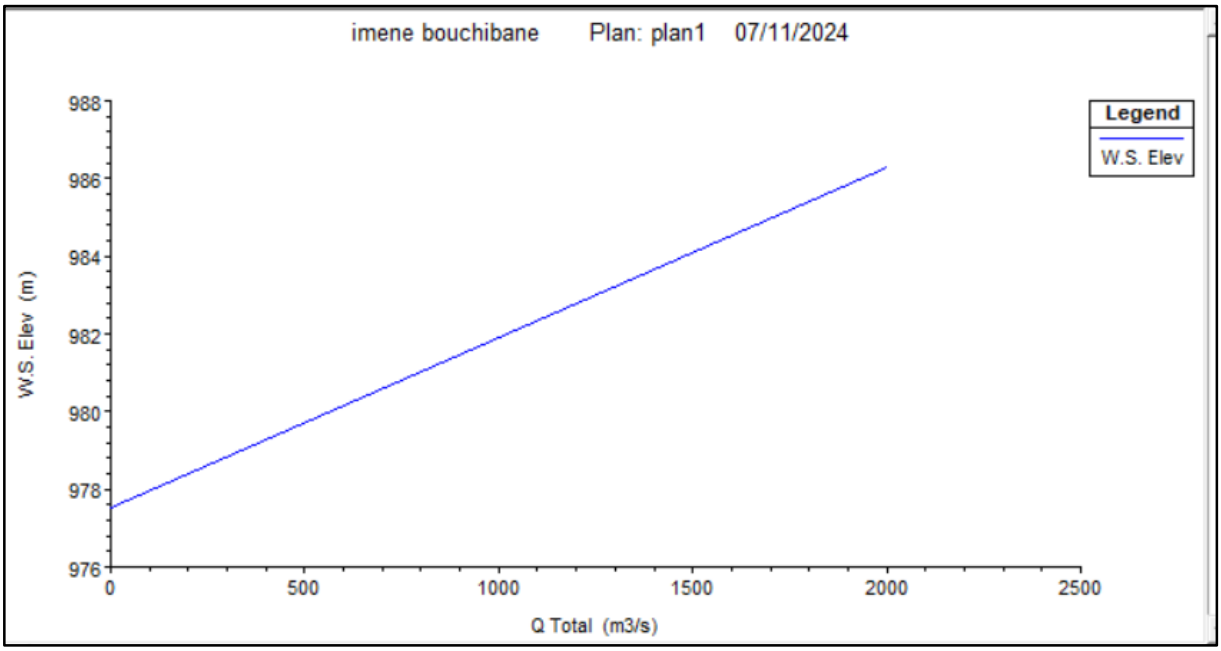
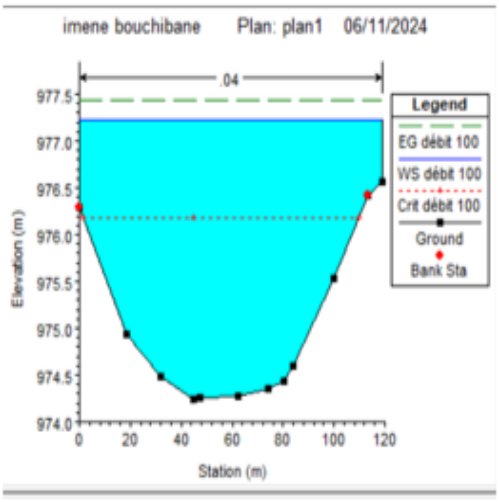


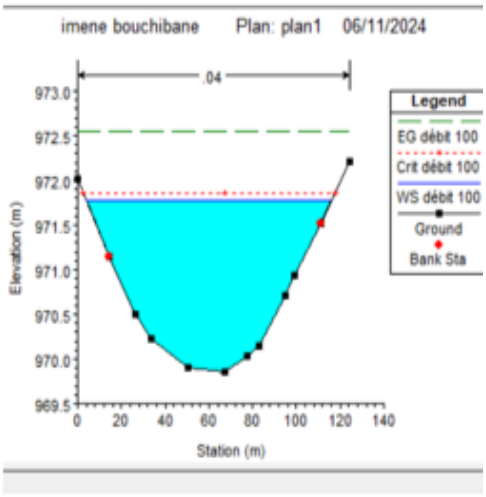
Figure IV. 13 : Courbe de tarage du tronçon modélisé d'Oued Chénnaoura.

Les profils en travers :

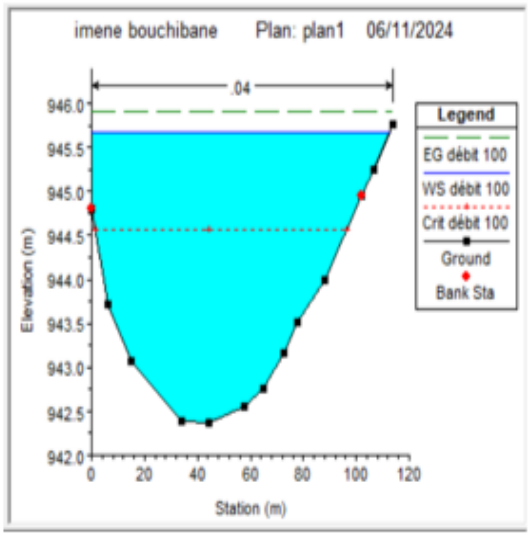
L'option d'affichage des résultats par profil transversal permet de recueillir des détails précis pour chaque emplacement sélectionné le long du tracé du cours d'eau. Elle révèle que presque toutes les sections risquent d'être submergées..



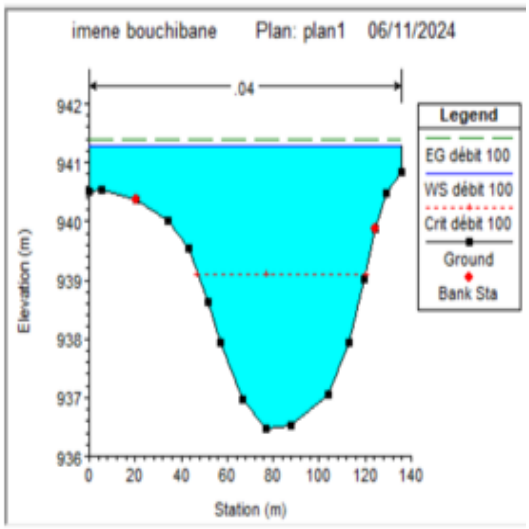
Section 2117



Section 1939



Section 601



Section 311

Figure IV. 14 : Les profils en travers de quatre sections choisies de l'oued Chénnaoura.

Tableau IV. 1 : Principaux paramètres hydraulique d'oued Chennaoura

River Sta	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
2486	977.52	982.42	980.1	982.76	0.001671	2.02	215.33	51.47	0.38
2435	979.77	981.05	981.05	981.48	0.011284	1.74	105.11	40.76	0.76
2352	977.79	980.03	980.26	981.17	0.019732	4.73	114.16	72.81	1.21
2303	976.64	978.79	979.13	980.07	0.025235	5	107.98	76.25	1.34
2244	975.41	978.11	978.11	979.34	0.012322	4.9	110.21	45.47	1
2177	974.24	977.23	976.18	977.44	0.002121	2.02	269.64	118.76	0.42
2119	974.92	976.55	976.55	977.14	0.013834	3.53	160.28	131.6	0.98
2070	972.82	974.54	974.99	975.97	0.042143	5.29	102.14	97.61	1.65
1995	970.29	972.49	972.77	973.7	0.02178	4.87	110.81	72.78	1.26
1939	969.86	971.78	971.85	971.55	0.015426	3.91	140.7	112.16	1.05
1862	966.12	969.61	968.47	969.93	0.002749	2.28	216.1	80.49	0.57
1784	964.81	969.63	968.5	969.78	0.00075	1.34	318.86	81.17	0.26
1723	966.3	968.57	968.57	969.58	0.011226	3.18	126.55	63.58	0.88
1668	961.52	963.3	964.49	967.8	0.109897	9.4	57.43	47.32	3
1605	959.63	963.11	962.36	963.54	0.003993	2.95	186.64	80.19	0.59
1509	960.08	962.19	962.19	962.91	0.011506	4.18	149.9	101.38	0.96
1424	957.41	959.28	959.86	961.09	0.044083	5.96	90.59	74.73	1.73
1344	955.55	958.51	958.42	959.32	0.011259	3.98	135.69	73.56	0.94
1252	955.3	957.4	957.4	958.17	0.013676	3.87	139.57	91.49	1

1121	953.14	955.37	955.41	956.41	0.01292	3.71	121.91	62.42	0.97
1029	951.94	953.5	953.86	954.93	0.019372	3.11	106.52	64.75	1.08
951	947.53	949.58	950.45	952.35	0.060035	7.37	73.28	55.34	2.4
806	947.47	950.01	950.02	950.81	0.013772	3.95	136.77	87.42	1.1
712	944.55	946.12	946.81	948.37	0.05577	6.21	81.77	68.58	1.91
601	942.36	945.67	944.56	945.9	0.002178	2.12	257.22	112.77	0.43
454	942.26	944.56	944.56	945.2	0.01405	3.55	154.23	119.6	0.99
311	936.48	941.27	939.1	941.4	0.000856	1.58	357.58	136	0.28
200	937.29	939.97	939.97	941.06	0.012044	3.92	119.57	55.19	0.96
105	936.27	938.2	938.51	939.34	0.030245	4.74	114.61	103.58	1.41
25	934.07	935.89	936.22	937.09	0.026314	5.19	114.52	99.31	1.38

Avec :

- Min Ch. El : Altitude du radier du canal ;
- Vel chnl : Vitesse d'écoulement ;
- W.S Elev : Altitude du plan d'eau calculé ;
- Flow area : Section mouillée ;
- Top Width : Largeur au miroir ;
- E.G Elev : Altitudes de la ligne d'énergie ;
- Froude chl : Nombre de Froude ;
- E.G slope : Pente de la ligne d'énergie.

IV.4.3 Interprétation des résultats :

- En observant les variations du niveau d'eau le long des différentes sections transversales de l'oued, on peut constater que les risques d'inondation sont particulièrement plus élevés à l'amont et à l'aval du tronçon analysé. Ces zones présentent des caractéristiques topographiques et hydrauliques susceptibles de favoriser l'accumulation et le débordement des eaux, augmentant ainsi la probabilité d'inondation.

- Les variations de vitesses d'écoulement, allant de 1,58 m/s à 9,4 m/s, indiquent des zones où l'écoulement est lent, favorisant l'accumulation d'eau, particulièrement dans les sections à faible pente. En revanche, les vitesses élevées, observées dans les zones à pentes plus marquées ou dans les rétrécissements du canal, reflètent un écoulement plus rapide et plus dynamique.
- Les valeurs du nombre de Froude, variant de 0,38 à 3, reflètent une transition entre des régimes d'écoulement subcritique à supercritique le long du tronçon.

IV.5 La cartographie du risque d'inondation :

Après avoir établi les profils d'inondation à l'aide du logiciel HEC-RAS, la prochaine étape consiste à délimiter et cartographier les zones inondables à risque. Pour cela, il est essentiel de déterminer les hauteurs d'eau à différents points le long des oueds.

Afin d'identifier les zones de débordement et les zones inondables à risque, nous avons simulé une crue centennale en utilisant l'outil RAS-MAPPER de HEC-RAS. Cette simulation a permis de générer les cartes nécessaires, qui seront présentées lors de la prochaine étape de l'analyse.

La cartographie des risques vise à localiser les zones à risques majeurs en fonction de plusieurs critères, tels que l'impact potentiel, la probabilité d'occurrence et le niveau actuel de gestion des risques. L'objectif de cette cartographie est de mieux cerner les enjeux et d'orienter les stratégies de prévention et de gestion des risques.

- Instaurer un contrôle interne ou un dispositif de gestion des risques adapté ;

- Soutenir la direction dans la définition de sa stratégie et dans le processus décisionnel ;

- Orienter le plan d'audit interne en identifiant les processus et activités présentant les risques les plus significatifs.

La gestion du risque peut être définie comme l'articulation entre l'organisation et les ressources permettant de se préparer à une crise, de réagir face à sa survenue et de faciliter la prise de décision. Ce processus se divise en trois étapes clés :

- La prévision : il s'agit de mettre en place des mesures pour anticiper un événement risqué et ainsi optimiser sa gestion.

- La protection et la prévention: un risque peut être exprimé comme le produit de sa gravité et de sa probabilité. La protection vise à réduire la gravité de l'impact, tandis que la prévention cherche à diminuer la fréquence ou la probabilité que le risque dépasse le seuil d'acceptabilité déterminé par les autorités compétentes.

- L'information : elle est essentielle pour assurer une communication claire et efficace entre tous les acteurs impliqués dans la gestion des risques, allant des citoyens aux autorités, comme le Préfet.

IV.5.1 La carte de l'aléa inondation

La carte de l'aléa d'inondation est un outil de référence essentiel pour évaluer le risque auquel un bien peut être exposé dans une zone donnée. Elle permet de déterminer les mesures préventives et protectrices nécessaires pour préserver les biens, les personnes et l'environnement. Cette carte distingue deux types d'aléa d'inondation :

- Inondation par débordement de cours d'eau : désignée comme zone d'aléa d'inondation.

- Inondation par ruissellement dans un vallon sec, appelée axe d'aléa d'inondation.

L'intensité de l'aléa d'inondation est classifiée en quatre niveaux : très faible, faible, moyen ou élevé. Cette évaluation se base sur la combinaison de deux facteurs :

- La récurrence : la fréquence ou période de retour des inondations ou des pluies responsables du ruissellement.

- Son importance : la profondeur de la submersion ou le débit de pointe associé à l'inondation (SPW, 2021).

IV.5.1.1 Carte des profondeurs :

La submersion causée par une inondation est définie principalement par son étendue et sa profondeur. Pour évaluer ces caractéristiques, il est nécessaire d'utiliser des modèles hydrauliques ou de créer une représentation numérique de la topographie des lits mineurs et majeurs des cours d'eau (Graguid, 2011).

Ainsi, les catégories de submersion sont classifiées selon la profondeur :

- Submersion faible : profondeur inférieure à 0,5 mètre ;

- Submersion moyenne: profondeur comprise entre 0,5 et 1 mètre ;

- Submersion élevée : profondeur supérieure à 1 mètre (Graguid, 2011).

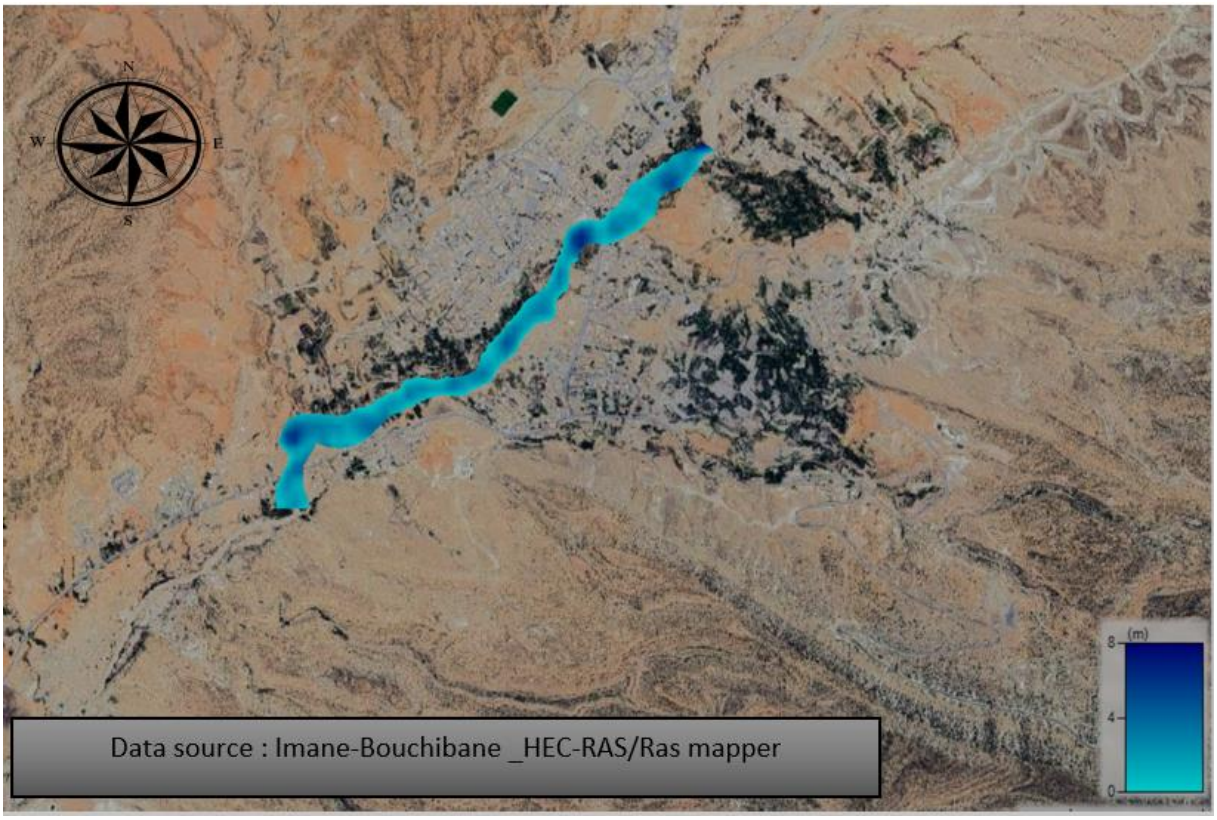


Figure IV. 15 : Carte de profondeur d'eau pour la période de retour 100 ans.

Interprétation

La carte de profondeur d'eau révèle des variations allant de 0,8 m à 8 m le long du cours d'eau. Ces différences indiquent des zones peu profondes, souvent en amont, et des zones plus profondes, liées à des courants forts ou à des lits encaissés, ce qui peut influencer la dynamique hydraulique et les risques d'inondation.

IV.5.1.2 Carte des vitesses :

Les vitesses d'écoulement de l'eau sont réparties en trois catégories :

- Vitesse faible: inférieure à 0,2 m/s ;

- Vitesse modérée : comprise entre 0,2 m/s et 0,5 m/s ;

- Vitesse forte: supérieure à 0,5 m/s.

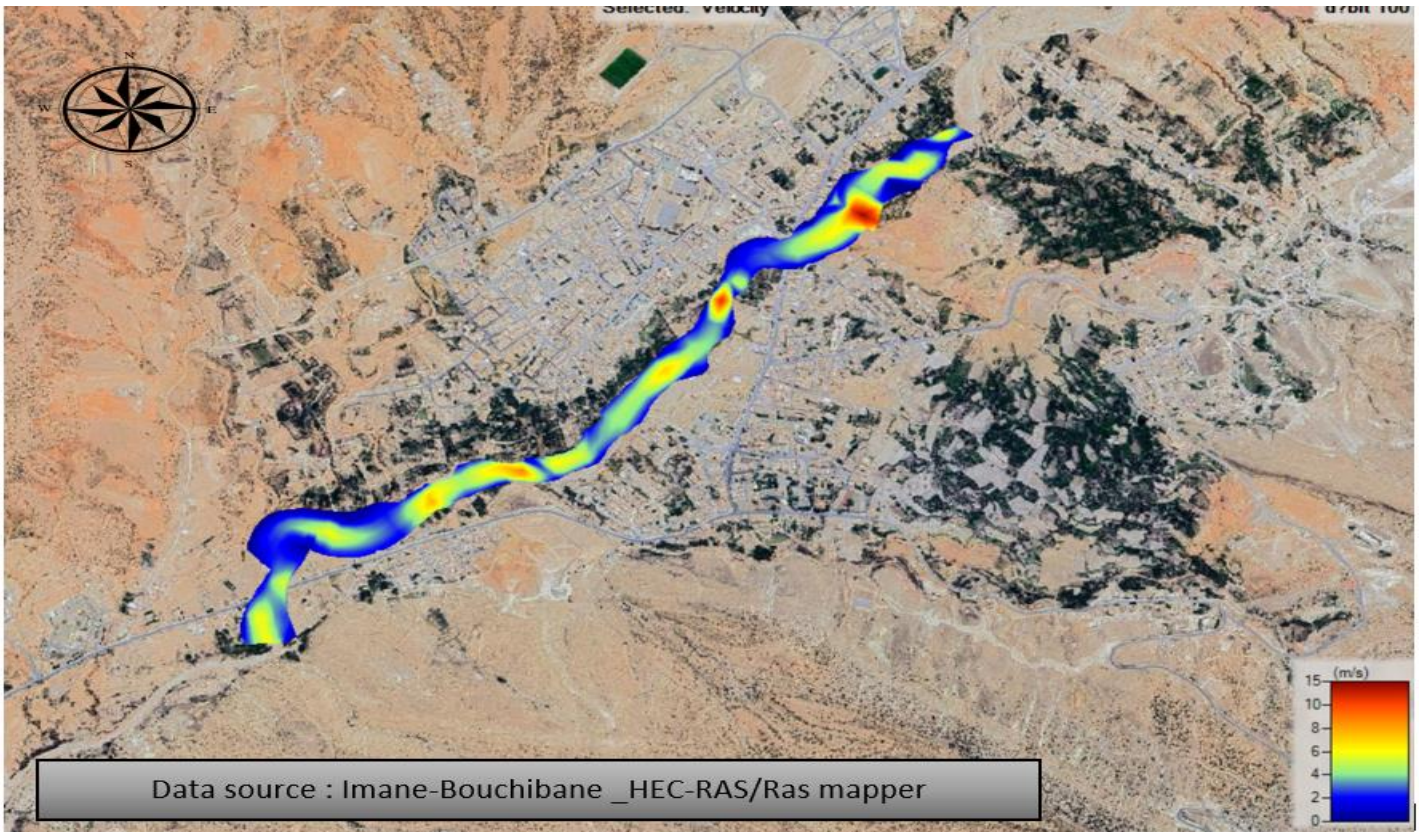


Figure IV. 16 : Carte de vitesse d'eau pour la période de retour 100 ans.

La carte des vitesses d'eau montre des zones à haute vitesse, principalement en amont de l'oued, où la pente et les rétrécissements du lit accélèrent l'écoulement. Ces variations influencent le transport des sédiments et les risques d'érosion, tout en étant cruciales pour la gestion des crues et des ressources en eau.

IV.5.1.3 Classes d'aléa :

Pour quantifier les aléas liés aux inondations, on combine deux facteurs : la vitesse d'écoulement et la hauteur de submersion. Quatre zones de danger sont clairement définies par des couleurs distinctes, selon les critères d'évaluation présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV. 2 : Critères d'évaluation de l'intensité d'aléa inondation (DDT, 2012).

Vitesse Hauteur	Faible V < 0.2 m/s	Moyenne 0.2 m/s < V < 0.5 m/s	Forte V > 0.5 m/s
H< 0.5 m	Faible	Moyen	Fort
0.5 m< H< 1 m	Moyen	Moyen	Fort
1.0 m< H< 2.0 m	Fort	Fort	Fort
H > 2.0 m	Très fort	Très fort	Très fort

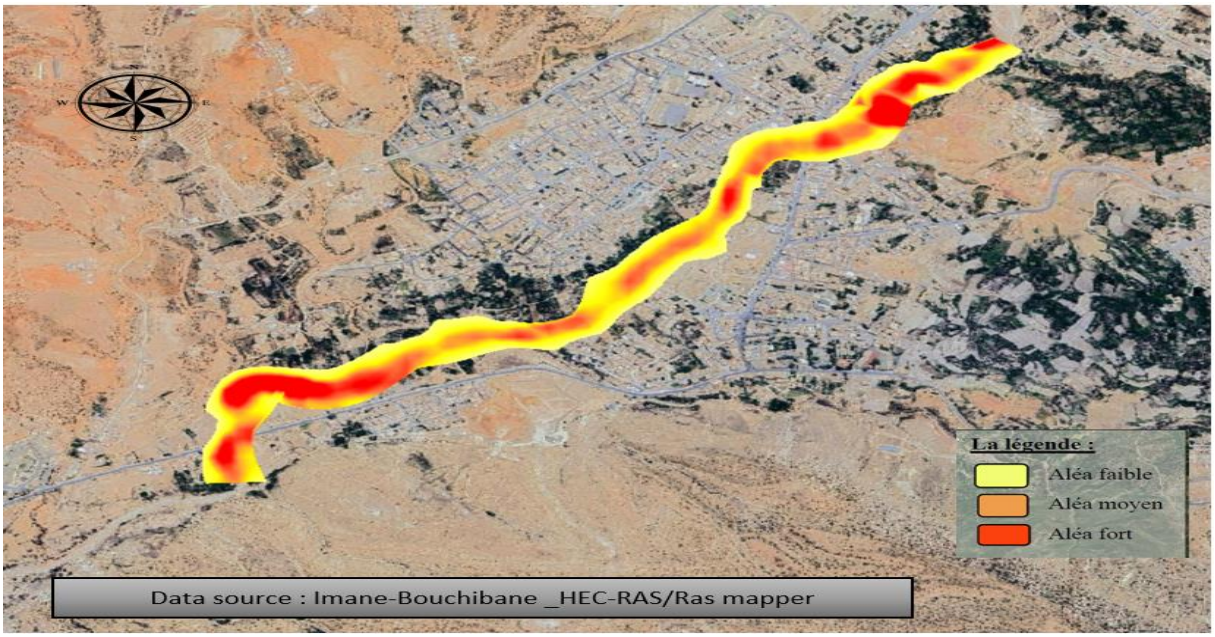


Figure IV. 17: Carte de l'aléa pour la crue centennale

Les zones de risque élevé se trouvent principalement le long du cours d'eau, comme l'indiquent les données de profondeur d'eau. Ces zones à haut risque se situent aussi dans des sections du lit du cours d'eau où les pentes sont plus marquées, ce qui augmente la probabilité d'inondations lors de crues importantes.

De plus, il est remarquable que les zones identifiées comme à risque élevé sur la carte des aléas d'inondations correspondent souvent aux secteurs où les vitesses d'écoulement sont les plus élevées, selon la carte des vitesses d'eau. Cette relation entre les risques d'inondation et les dynamiques d'écoulement met en évidence des zones critiques qui nécessitent une attention particulière pour la prévention des inondations.

IV.5.2 Cartographie de la vulnérabilité

La gestion de l'espace dans les zones à risque d'inondation vise à intégrer la gestion des risques dans l'aménagement du territoire. Il est donc essentiel d'analyser précisément comment la dynamique du risque évolue en réponse aux changements urbains. Le niveau de risque varie en effet considérablement selon le type d'occupation du sol (Guigo et al., 2002).

Chaque type d'occupation du sol peut être attribué une valeur de référence selon une échelle de 1 à 6, où 1 représente la vulnérabilité la plus faible et 6 la vulnérabilité la plus élevée.

Tableau IV. 3: Les valeurs de référence de type d'occupation pour la vulnérabilité (Guigo et al., 2002).

Occupation du sol	Vulnérabilité agricole	Vulnérabilité urbano-industrielle
Friches	1	-
Agriculture à ciel ouvert	2	-
Agriculture sous serres	3	-
Infrastructures de loisirs	-	1
Habitat collectif	-	2
Habitat mixte	-	3
Habitat individuel	-	4
Commerces et administrations	-	5
Aéroport	-	5
Industries	2	6

IV.5.3 Cartographie du risque :

Pour cartographier le risque, il est crucial de croiser la répartition spatiale de la vulnérabilité avec celle de l'aléa. Cette fusion est réalisée en utilisant une requête dans un système d'information géographique (SIG), ce qui permet de superposer les deux ensembles de données nécessaires. Cette démarche permet de créer des niveaux de risque en intégrant à la fois les niveaux de vulnérabilité agricole et urbaine, ainsi que les niveaux d'aléa.

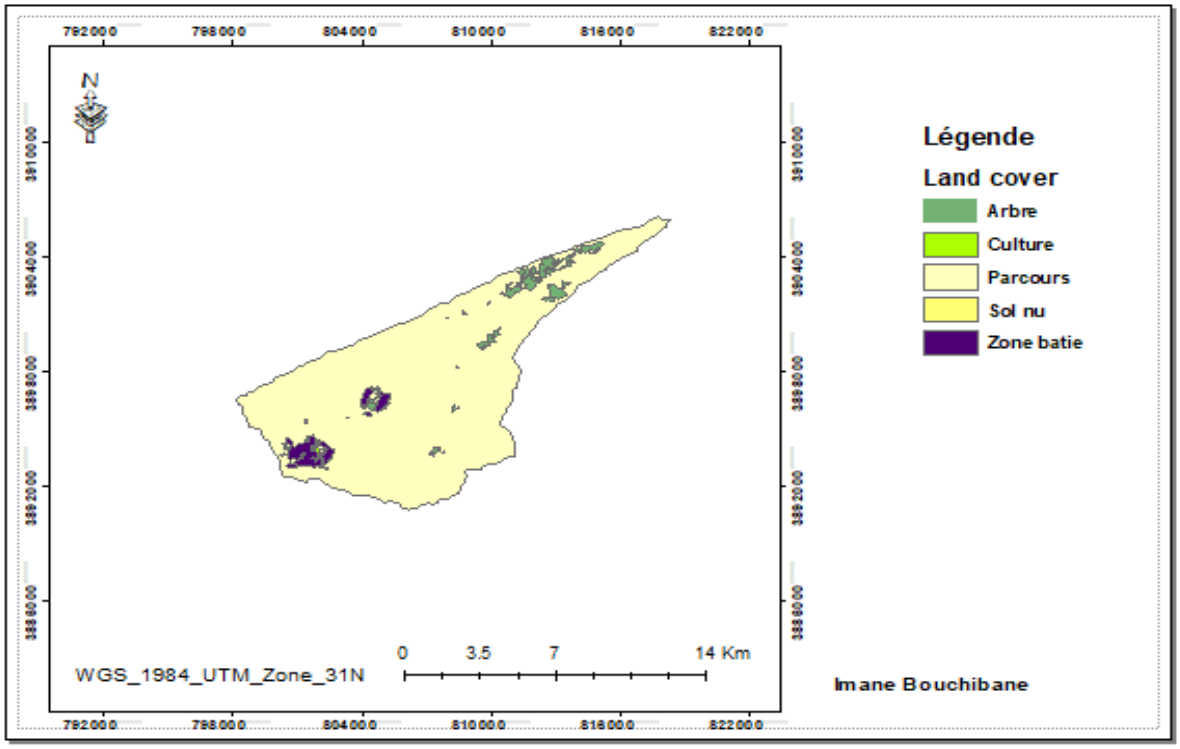


Figure IV. 18 : Carte d'occupation du sol de la zone d'étude

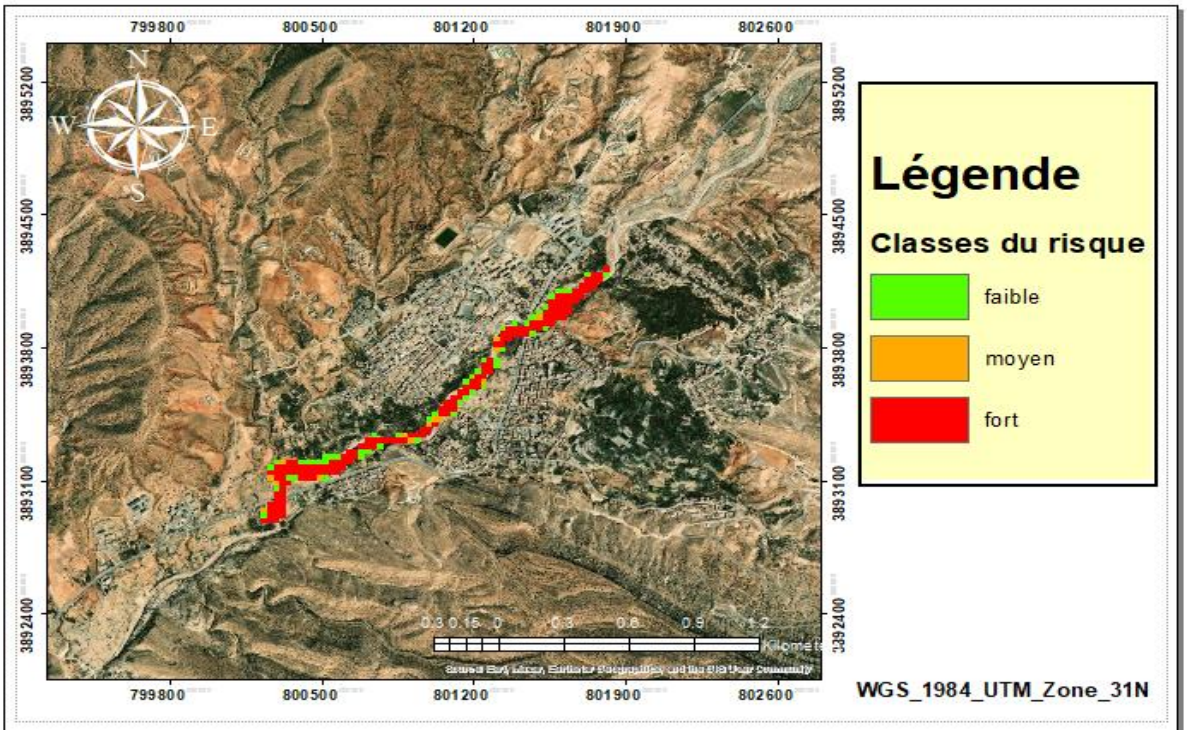


Figure IV. 19 : Carte de risque d'inondation de la zone d'étude.

La carte des risques d'inondation offre une analyse détaillée des zones présentant un haut niveau de vulnérabilité dans la région étudiée. Elle fournit des éléments essentiels pour la gestion des risques et la planification urbaine, permettant ainsi une anticipation efficace des défis potentiels liés aux inondations.

Identification des Zones Critiques :

La carte d'inondation réalisée avec ArcGIS pour l'Oued de Chénnaoura montre que les zones à risque d'inondation sont principalement concentrées le long du cours de l'oued, en particulier au début et à la fin de la ville. Toutefois, une autre zone de risque est également identifiée au milieu de l'oued, suggérant des points sensibles où l'eau pourrait s'accumuler en cas de crue. Cette cartographie permet ainsi de cibler les interventions nécessaires pour protéger ces zones vulnérables et d'optimiser la gestion des risques d'inondation.

Conclusion

L'étude hydraulique est cruciale pour l'analyse et la gestion des risques d'inondation, notamment dans les zones urbaines ou agricoles. Elle consiste à modéliser les écoulements d'eau dans les canaux afin de mieux comprendre les phénomènes de crue et de dimensionner les infrastructures de protection. À travers des équations telles que celles de Barré de Saint-Venant, la modélisation permet d'obtenir des simulations précises des débits, des vitesses d'écoulement et des hauteurs d'eau en cas de crue, éléments indispensables pour prévoir les zones inondées et la durée des submersions. Les méthodes classiques de dimensionnement des canaux, comme les formules de Chézy, Manning et Pavlovski, permettent de calculer les vitesses d'écoulement et d'estimer les coefficients de rugosité selon les caractéristiques du terrain.

Dans cette étude, le logiciel HEC-RAS a été utilisé pour modéliser l'écoulement de l'Oued Chénnaoura, permettant d'évaluer les risques d'inondation et de concevoir des ouvrages de protection efficaces. Grâce à des données géométriques et hydrométriques précises, le modèle a simulé différents scénarios de crue pour mieux identifier les zones sensibles. En combinant des approches traditionnelles et modernes, cette modélisation offre une vision précise des comportements des cours d'eau lors des crues et permet de concevoir des aménagements adaptés tout en optimisant la gestion des infrastructures hydrauliques pour réduire les risques d'inondation.

CHAPITRE V : Étude des variantes d'aménagement.

CHAPITRE V : Étude des variantes d'aménagement

Introduction :

L'objectif de cette étude est d'assurer une protection efficace contre les inondations pour la ville de T'KOUT . Pour atteindre cet objectif, nous devons identifier et sélectionner les solutions d'aménagement les plus adaptées, en nous appuyant sur les options proposées et les résultats des chapitres précédents, tout en prenant en compte les caractéristiques naturelles de la zone étudiée.

Les options seront choisies pour garantir la protection de la ville de TKOUT . Cela impliquera d'évacuer les eaux de crue vers un exutoire, en respectant les exigences relatives au débit, à la stabilité des berges, et en considérant l'impact environnemental des aménagements. Le processus de sélection des options se déroulera en plusieurs étapes distinctes pour garantir une évaluation complète et rigoureuse.

V.1 Présentation des grandes orientations :

V.1.1 La protection contre l'érosion *:*

Deux sortes d'érosion sont analysées :

- L'érosion des berges ;
- L'érosion du fond du lit.

V.1.1.1 Érosion des berges :

- Processus d'érosion :

L'érosion des berges, le ravinement et la migration des cours d'eau modifient la morphologie des rivières. En plus d'apporter des sédiments (Odgaard, 1987; Walling, 1988) et des nutriments (Laubel et al., 2000), ces processus entraînent la dégradation des habitats riverains (réduction de la qualité des habitats) et aquatiques (ensablement des frayères) du milieu récepteur (Hébert et Légaré, 2000).

- L'éboulement, ou effondrement, est un processus où un volume de berges cohérentes en surplomb se détache en raison de l'affouillement qui se produit à leur base.
- L'affouillement est un type d'érosion, mais il est désigné ainsi lorsqu'il se produit à la base d'une berge ou d'une construction. On le considère donc comme une forme spécifique de l'érosion des berges (GIP, 2015).

Les revêtements sont la méthode la plus couramment utilisée pour aménager les berges fluviales. Ils consistent en une couche de matériau résistant à l'érosion qui recouvre le matériau plus susceptible d'être érodé. On emploie divers matériaux pour cela, tels que des enduits, des géotextiles et des enrochements.

Les épis sont employés pour diminuer la largeur d'un bras de rivière lors des faibles débits, afin de faciliter la navigabilité. Ils servent également de méthode indirecte pour réduire l'érosion en détournant les courants rapides loin des berges susceptibles de s'éroder.

V.1.1.2 Érosion du lit :

L'érosion du lit peut être causée par plusieurs facteurs principaux :

1. **Variation du débit d'eau :** Les variations de débit influencent directement la capacité de l'eau à éroder et transporter les sédiments, ce qui peut conduire à une érosion accrue du lit (Howard, A. D., 1994).
2. **Activités humaines :** Les activités humaines, telles que l'extraction de matériaux et la modification du cours d'eau, peuvent intensifier le processus d'érosion du lit en perturbant l'équilibre naturel des sédiments (Morris, G. L., 1996.).
3. **Modification de la couverture végétale :** La perte de couverture végétale due à des pratiques telles que la déforestation ou l'agriculture favorise l'érosion en réduisant la résistance du sol et en augmentant le ruissellement (Trimble, S. W., 1997).

V.1.2 La protection contre les crues :

La protection contre les crues consiste en mesures et infrastructures visant à réduire les risques et les impacts des inondations.

1. **Digues et barrages :** Les digues et barrages sont conçus pour contrôler les débits fluviaux et protéger les zones en aval des crues **(Hansen, E. M., 2000).**
2. **Systèmes de drainage urbain** : Infrastructure pour évacuer les eaux de ruissellement et prévenir les inondations urbaines **(Gordon, N. D., 2001).**
3. **Zones d'inondation contrôlées :** Les zones d'inondation contrôlées sont conçues pour capturer et stocker les excès d'eau durant les crues, minimisant les impacts sur les zones habitées **(Jansen, H. G., 2003).**
4. **Restauration des zones humides** : Réhabilitation des zones humides pour améliorer leur capacité à absorber les eaux de crue **(Mitsch, W. J., 2000).**
5. **Curage** : Améliore nettement l'écoulement des eaux en éliminant obstacles et dépôts, et en effectuant le débroussaillage, crucial pour la traversée des agglomérations et réduire la rugosité.
6. **Recalibrage :** Permet d'élargir et d'approfondir les sections des cours d'eau pour accroître leur capacité d'évacuation des eaux et garantir une section mouillée conforme aux normes de protection requises.

V.2 Étude des variantes

À la suite de l'évaluation des risques liés aux inondations de l'oued Chénnaoura et sur la base des résultats de l'étude hydrologique ainsi que de la morphologie de l'oued, les mesures de protection des berges peuvent être résumées comme suit :

- Protection des berges contre l'érosion et les glissements par la mise en place d'ouvrages rigides tels que des murs en béton armé ou en pierres maçonnées, ainsi que par des solutions souples comme le gabionnage et les matelas Réno.

- Recalibrage du lit de l'oued et évacuation des dépôts qui entravent l'écoulement des eaux.

- Augmentation de la capacité d'écoulement sous le pont en éliminant les dépôts alluvionnaires, les déchets domestiques et le gabionnage existant.

- Création d'une zone d'épandage en amont du centre de T'kout pour amortir les crues.

Calcul hydraulique des canaux

Canal en béton armé

La variante proposée consiste à concevoir un canal trapézoïdal en béton armé. Nous choisissons un coefficient m = 1 pour le talus afin de faciliter la réalisation d'un angle de 45° sur le terrain. Les avantages d'un canal en béton sont les suivants :

- Une durée de vie prolongée ;

- Une forme étroite adaptée aux environnements urbains ;

- Des caractéristiques hydrauliques optimales ;

- Une période de construction courte et une meilleure protection.

Pour la simulation de ces canaux, nous utilisons le logiciel FLOW MASTER pour déterminer leurs caractéristiques, puis nous effectuons une simulation sur HECRAS.

V.2.1 Canal en béton armé *:*

La proposition consiste à construire un canal en béton armé de forme trapézoïdale, qui présente plusieurs avantages. En effet, cette forme permet d'assurer une durée de vie plus longue, une structure plus étroite adaptée aux zones urbaines, de meilleures performances hydrauliques, ainsi qu'une construction rapide et une protection renforcée. Nous avons choisi un coefficient de pente m = 1 pour le talus, ce qui facilite la réalisation d'un angle de 45° sur le terrain d'un point de vue technique.

V.2.2 Canal en gabions :

Les gabions sont principalement utilisés pour la construction de revêtements et de protections contre l'érosion. Ils se présentent en diverses dimensions, les plus courantes étant 2,0 x 1,0 x 0,5 mètres et 2,0 x 1,0 x 1,0 mètres. Dans la réalisation de canaux avec des gabions, ceux-ci

sont agencés de manière spécifique, les sacs étant disposés en escalier pour garantir la stabilité des berges.

Avantages des structures en gabion :

- Flexibilité des ouvrages : Les gabions, grâce à leur souplesse, permettent aux structures de s'adapter aux déformations du terrain, notamment au niveau des organes de dissipation d'énergie, des bajoyers, et des protections contre les affouillements.

- Facilité de mise en œuvre : Certains types de barrages ou de seuils en gabions peuvent être construits en l'espace de deux ans, avec un risque réduit de destruction pendant la saison des pluies intermédiaire. De plus, il est relativement facile de procéder à une surélévation de l'ouvrage si nécessaire. Les formes géométriques des gabions sont par ailleurs généralement simples à réaliser.

- Coût réduit pour les ouvrages déversants: Les structures en gabion permettent de créer des ouvrages totalement déversants à un coût bien inférieur à celui des équivalents en béton.

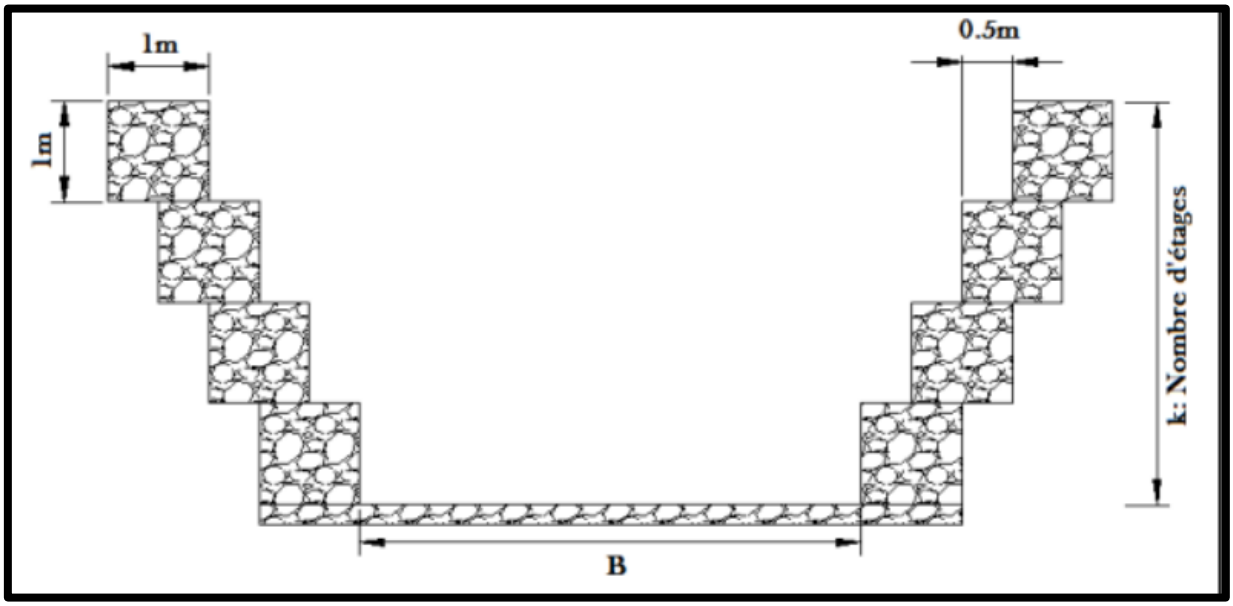


Figure V. 1 : Coupe en travers d'un canal en gabion.

V.2.4 Canal en enrochement

La troisième variante suggérée implique la construction d'un canal trapézoïdal en enrochement, dont la conception a été sélectionnée pour sa capacité élevée à évacuer les eaux et à gérer les crues sans difficulté.

Les avantages d'un canal en enrochement incluent :

- une bonne résistance aux érosions
- une capacité de gestion des crues et une intégration esthétique dans le paysage.
- il favorise la biodiversité en créant des habitats naturels.

En revanche, les inconvénients peuvent être le coût de construction élevé, l'entretien régulier nécessaire et la possibilité de dégradation des matériaux au fil du temps.

V.3 Critères d'évaluation de la variante d'aménagement

La sélection de la variante reposera sur plusieurs critères :

- ✓ **Efficacité hydraulique** : cet indicateur permet d'évaluer le potentiel d'amélioration de la capacité hydraulique des différentes options ;
- ✓ **Difficultés de réalisation** : cet aspect évalue le niveau de complexité technique associé à la mise en œuvre ;
- ✓ **Impacts environnementaux** : cette évaluation considère l'utilisation des terrains environnants, ainsi que les conséquences environnementales, qu'elles soient favorables ou défavorables ;
- ✓ **Durabilité** : cet aspect évalue la durée de vie anticipée de l'aménagement ;
- ✓ Coût : cet élément estime les dépenses associées à la construction.

V.4 Aménagement proposé sur l'oued de Chénnaoura

- Lors des crues exceptionnelles d'oued Chénnaoura en 2011, la lame d'eau écoulée a travers l'oued a dépassé les limites des berges de l'oued dans quelques endroits et a provoqué l'érosion et le glissement des talus.
- La zone où les constructions se situent près des berges de l'oued, caractérisée par des talus instables et un risque élevé de destruction des structures.

V.4.1 Première variante : Canal en béton armé

- ➢ La première proposition consiste en la création d'un canal trapézoïdal en béton armé.

V.4.1.1.1 Dimensionnement :

Les caractéristiques du canal sont établies à l'aide du logiciel Flow-Master. Les résultats du calcul hydraulique pour le canal trapézoïdal sont présentés ci-dessous :

Tableau V. 1: Dimensions de l'aménagement en béton armé du tronçon (1) de l'oued Chénnoura (canal en béton armé) :

Tronçon	Section de départ	Section d'arrivé	Longueur (m)	Pente du projet (%)	Fruit de talus	Largeur du fond (m)	La largeur au miroir (m)	Hauteur du canal (m)
1	2486	1939	546	0.002	1	21.98	40	4

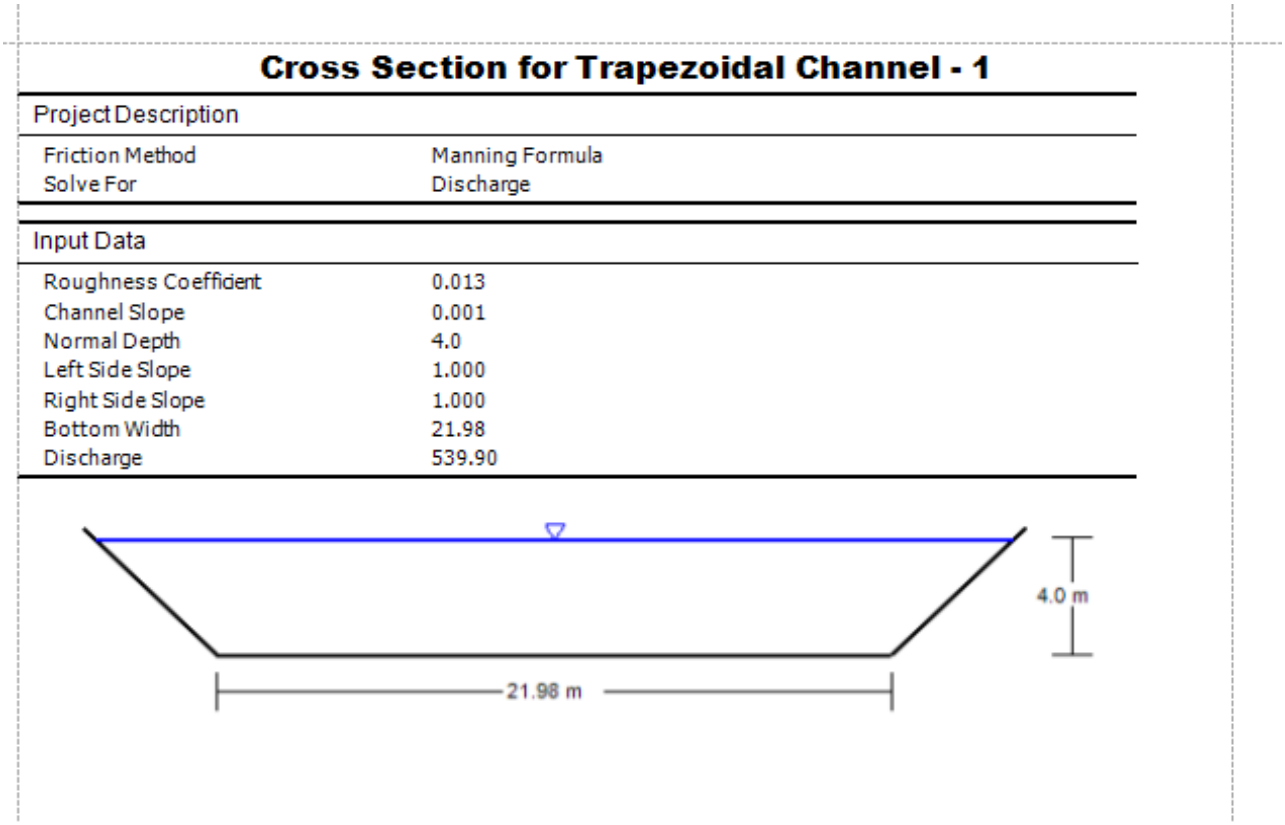


Figure V. 2: Les dimensions du canal trapézoïdale en béton armé du tronçon N°1 à aménager de l'oued Chénnaoura, (source :FLOW MASTER).

V.4.1.1.2 Paramètres d'écoulement :

Les résultats de la simulation sont détaillés dans le tableau ci-dessous.

Tableau V. 2: Résultats de la simulation d'écoulement d'un canal trapézoïdale en béton armé du tronçon aménagé de oued Chénnaoura , (Source : HEC-RAS).

River Sta	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
2486	977.52	982.19	979.44	982.4	0.000099	1.95	274.95	56.14	1
2435	976.81	980.57	980.57	982.24	0.00129	5.72	96.23	29.14	1.03
2352	975.64	978.22	979.35	981.84	0.00624	8.43	65.24	37.93	2.05
2303	974.95	979.54	977.45	979.72	0.00014	1.88	292.09	90.62	1.33
2244	974.13	977.89	977.89	979.55	0.00129	5.71	96.34	29.25	1
2177	973.19	977.85	975.83	977.96	0.00007	1.48	376.22	118.76	1.26
2119	972.38	976.13	976.13	977.79	0.00129	5.71	96.31	29.22	1
2070	971.05	973.79	974.91	977.49	0.00411	8.51	64.62	25.28	1.7
1995	970.29	971.61	972.77	976.77	0.01893	9	54.68	58.76	3.33
1939	969.86	970.91	971.86	975.41	0.022507	9.39	58.56	79.65	3.5
1862	966.12	967.43	968.49	971.82	0.144397	9.08	59.29	61.07	3
1784	964.81	969.66	966.94	969.82	0.000758	1.35	321.76	81.43	1.26
1723	966.3	968.6	968.6	969.62	0.011207	3.2	128.27	63.87	1.29
1668	961.52	963.32	964.52	967.85	0.108896	9.43	58.35	47.59	2.72
1605	959.63	963.13	962.38	963.57	0.004027	2.97	188.34	80.34	1.05
1509	960.08	962.21	962.21	962.94	0.011498	4.2	151.74	101.56	0.96
1424	957.41	959.3	959.88	961.12	0.043823	5.98	91.96	75.14	1.73
1344	955.55	958.53	958.44	959.35	0.011339	4.01	137.12	73.85	1.2
1252	955.3	957.42	957.42	958.2	0.013635	3.89	141.49	91.9	1
1121	953.14	955.4	955.44	956.44	0.012698	3.72	124.1	62.63	1.2
1029	951.94	953.52	953.88	954.97	0.019547	3.15	107.55	64.96	1.09
951	947.53	949.52	950.47	952.64	0.042777	7.82	70.32	54.42	2.2
806	945.66	949.18	949.19	950.14	0.007668	4.35	126.54	66.6	1.01

712	944.26	945.97	946.88	949.12	0.009657	8.58	89.1	66.52	2.25
601	942.36	943.71	944.57	946.93	0.061093	7.94	69.25	75.58	2.65
454	940.44	944.01	944.02	944.82	0.009667	4	138.31	90.31	1.01
311	936.48	940.42	939.13	940.68	0.00265	2.26	244.55	112.75	1.3
200	936.66	939.15	939.15	940.19	0.005711	4.91	131.14	63.73	1.08
105	935.25	937.84	938.2	939.14	0.026922	5.05	108.89	100.12	1.54
25	934.07	935.75	936.4	937.9	0.009073	6.95	104.47	96.25	1.89

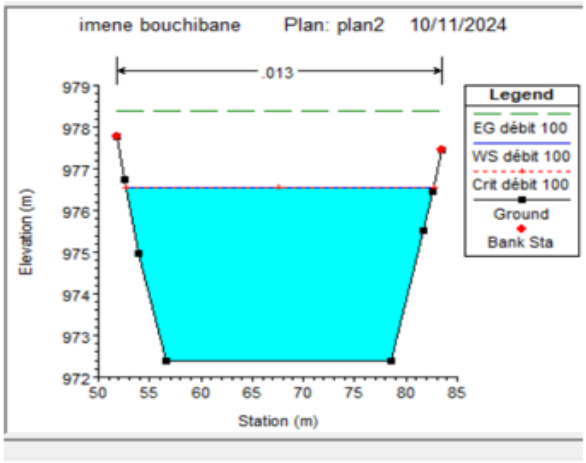
D'après les résultats du tableau, on observe que

- Les résultats du nombre de Froude montrent que l'écoulement est en régime torrentiel, étant donné que Fr >1.
- La vitesse d'écoulement ne dépasse pas 10 m/s, ce qui évite l'érosion du béton.
- En termes techniques, la conception trapézoïdale en béton armé d'un canal garantit une protection satisfaisante.

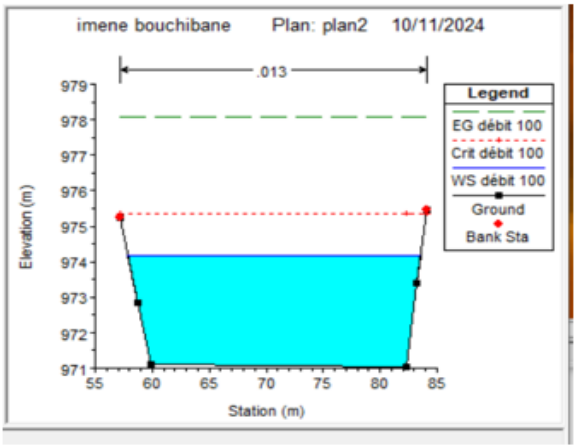
V.4.1.1.3 Les sections en travers :

▪ Les sections en travers de l'oued aménagé après la simulation sont représentées dans la figure suivante :

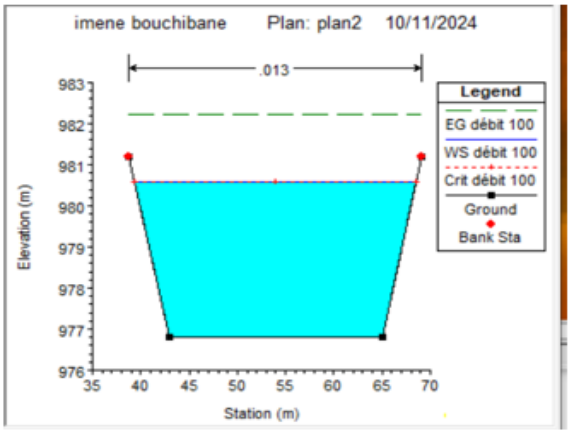
- Lors d'une crue centennale de 540 m³/s, il est évident que notre canal trapézoïdal en béton offre une protection suffisante, évitant tout débordement d'eau.



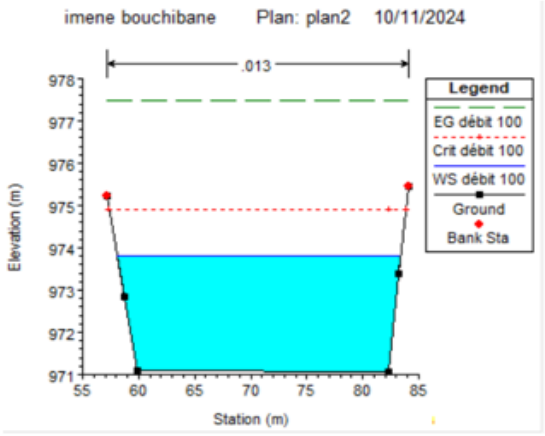
Section 2119



Section 2070



Section 1939



2230 Section

Figure V. 3 : Profils en travers d'un canal trapézoïdal pour une crue centennale pour le tronçon n°1 de l'oued Chénnaoura.

V.4.1.2 Le tronçon de l'oued Chennaoura n°2 :

V.4.1.3 Dimensionnement

Tableau V. 3 : Dimensions de l'aménagement en béton armé du tronçon n°2 de l'oued Chénnoura (canal en béton armé) *:*

Tronçon	Section de départ	Section d'arrivé	Longueur(m)	Pente du projet (%)	Fruit de talus	Largeur du fond (m)	La largeur aumiroir (m)	Hauteur du canal (m)
N°2	951	25	926	0.004	1	17.81	28.8	4.5

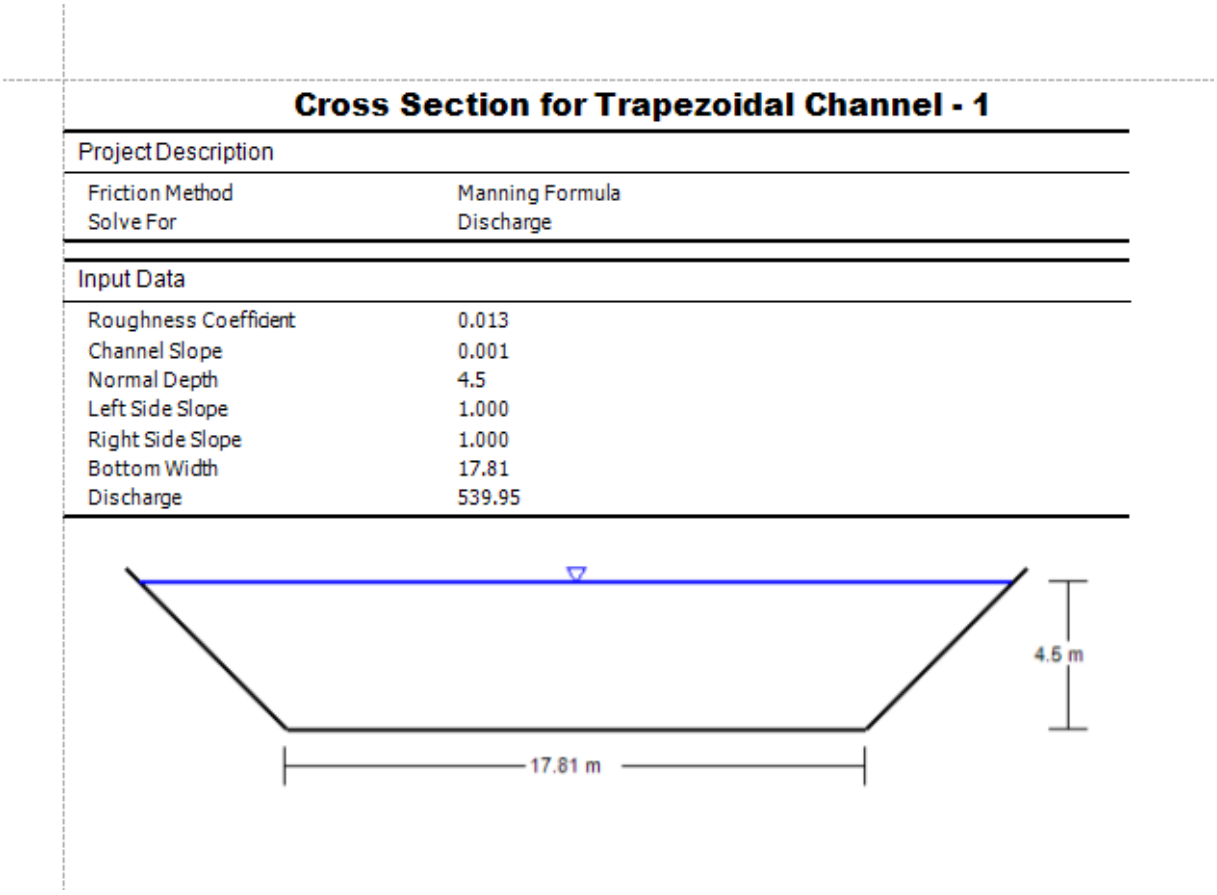


Figure V. 4 : Les dimensions du canal trapézoïdale du tronçon n°2 à aménager de l'oued Chénnouara , (Source : logiciel Flow-master).

V.4.1.4 Paramètres d'écoulement

Les résultats de la simulation sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

Tableau V. 4 : Résultats de la simulation d'écoulement d'un canal trapézoïdale en béton armé du tronçon (n°2) de l'oued Chénnoura , (Source : HEC-RAS).

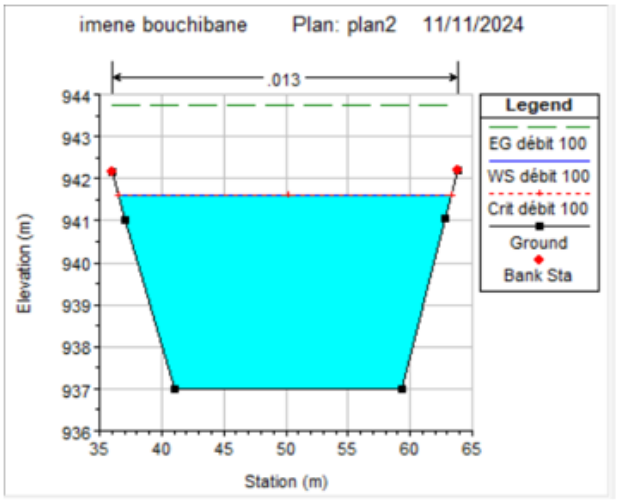
River Sta	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m^2)	Top Width (m)	Froude # Chl
951	947.82	949.47	950.43	952.57	0.044432	7.8	69.17	50.16	2.12
806	945.66	948.22	948.33	949.35	0.009751	4.7	114.72	58.81	1.07
712	944.26	945.77	946.34	947.71	0.03435	6.67	91.07	73.92	1.79
601	942.62	944.72	944.34	945.26	0.005713	3.47	171.84	97.14	0.77
454	940.44	943.09	943.09	944.17	0.008929	4.6	117.35	55.39	1.01
311	936.48	938.22	939.06	941.16	0.073483	7.59	71.02	59.71	2.22
200	936.66	938.83	938.76	939.65	0.008919	4.3	138.62	74.86	1.2
105	935.25	937.88	937.88	938.61	0.012886	3.8	142.04	100.49	1.02
25	934.07	935.71	936.15	937.18	0.023568	5.95	108.85	95.45	1.51

Interprétation des résultats :

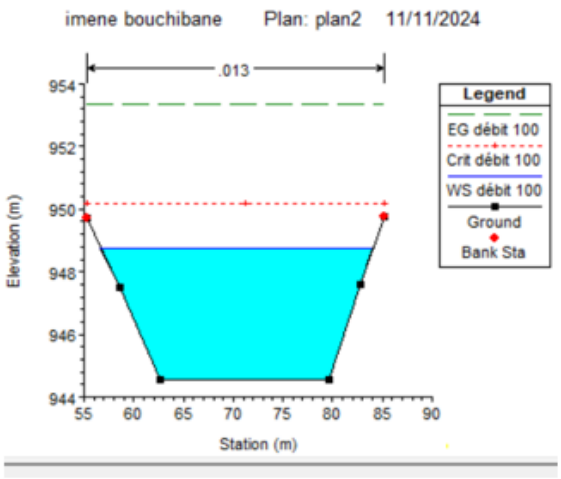
- Les résultats du nombre de Froude montrent que l'écoulement est en régime torrentiel, étant donné que Fr >1.
- La vitesse d'écoulement ne dépasse pas 10 m/s, ce qui évite l'érosion du béton.
- En termes techniques, la conception trapézoïdale en béton armé d'un canal garantit une protection satisfaisante .

V.4.1.5 Les sections en travers :

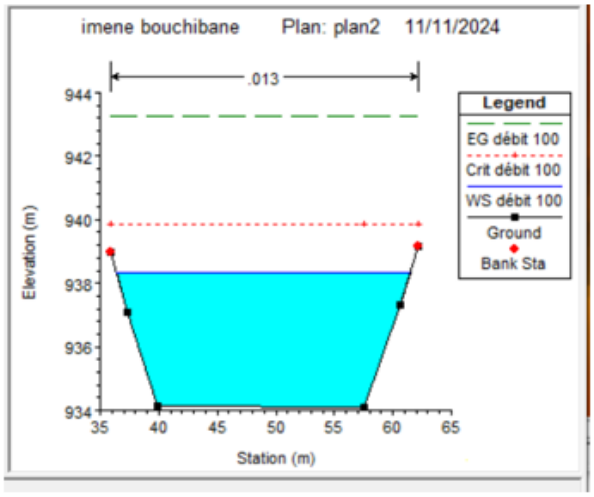
Les sections en travers de l'oued aménagé après la simulation sont représentées dans la figure suivante :



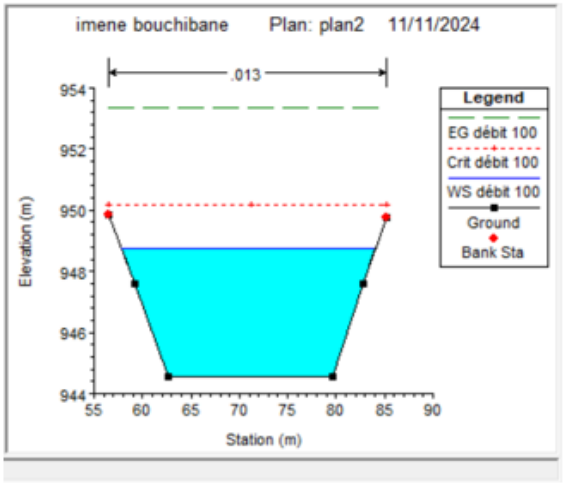
Section 951



Section 712



Section 105



Section 200

Figure V. 5 : Profils en travers d'un canal trapézoïdal pour une crue centennale pour le tronçon de l'oued Chénnaoura.

- En cas de crue centennale de 539 m³/s, le canal trapézoïdal en béton armé assure une protection adéquate en empêchant le débordement de l'eau.

V.4.1.6 Estimation du coût de la variante

Le devis pour la variante du canal en béton armé est élaboré à partir des quantités de terrassements, de remblai et de déblai fournies par HEC-RAS. L'épaisseur du béton armé est fixée à 15 cm, tandis que celle du béton de propreté est de 5 cm.

Tableau V. 5 : Devis de la variante canal en béton armé pour le tronçon n°1 de l'oued Chénaoura après aménagement.

Désignations des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA/mL)
Terrassement	Déblais	m³	29039	250	7259750
	Remblais	m³	1820	700	1274000
Béton de propreté		mL	2 561,25	13000	33271875
Béton dosé à 350 Kg/m³		M³	**7 686,25**	40000	307450000
Montant total					349255625

Tableau V. 6 : Devis de la variante canal en béton armé pour le tronçon n°2 de l'oued Chénaoura après aménagement

Désignations des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA/mL)
Terrassement	Déblais	m³	24997	250	6249250
	Remblais	m³	1305	700	913500
Béton de propreté		mL	2 561,25	13000	33271875
Béton dosé à 350 Kg/m³		M³	**7 686,25**	40000	307450000

Montant total	347884625

Malgré les protections efficaces et les avantages hydrauliques notables qu'offre cette variante, sa construction est coûteuse en matériaux et en main-d'œuvre. De plus, elle a un impact négatif sur l'environnement en modifiant le cours naturel de l'eau et en perturbant les écosystèmes locaux. Par ailleurs, sa réalisation nécessite la démolition de bâtiments, de routes et d'autres infrastructures le long de l'oued.

V.4.2 Deuxième variante : Canal en gabions

V.4.2.1 Les deux tronçons de l'oued Chénnaoura :

V.4.2.1.1 Dimensionnement

Pour dimensionner ce canal, on suppose une largeur b et utilise un coefficient de Manning (n) de 0,03 ainsi qu'une pente du canal (I = 0,003). Ensuite, on calcule le nombre de gabions nécessaires, noté (K), pour un débit centennal.

Tableau V. 7 : résume les résultats des calcules

K	Q	S	P	Rh
1	48.9	22	24	0.92
2	149.1	45	27	1.67
3	283.4	69	30	2.30
4	445.2	94	33	2.85
5	**631.1**	**120**	**36**	**3.33**
6	839.2	147	39	3.77
7	1068.1	175	42	4.17

- Dans notre cas, on prend un canal composé de 3 étages de gabions, garantissant un débit de $631.1 m^3/s$, qui nous assure un débit supérieur au débit de dimensionnement 539 .

Tableau V. 8: Récapitulatif des paramètres de la variante du gabionnage pour le 1^{er} tronçon :

Tronçon	B (m)	K	H (m)	n	I (m/m)	Qdim (m^3/s)	Qévacuer(m^3/s)
N°1	22	5	5.5	0.03	0.005	540	631.1

V.4.2.1.2 Paramètres d'écoulement :

Les paramètres d'écoulement sont synthétisés dans le tableau suivant :

Tableau V. 9: Résultats de la simulation d'écoulement d'un canal gabionné du tronçon n°1 de l'oued Chénnouara (Source : HECRAS)**.**

River Sta	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
2486	977.52	980.47	979.41	980.96	0.002055	2.82	179.14	54.15	1
2435	976.81	980.22	979.32	980.81	0.003508	3.5	160.94	59.92	1.2
2352	975.64	979.34	979.34	980.35	0.007864	4.46	123.3	61.41	1.01
2303	974.95	977.46	978.11	979.57	0.028956	5.43	85.51	66.16	1.81
2244	971.06	978.64	974.76	979.02	0.000856	2.74	200.92	27.71	1.3
2177	970.65	978.64	974.8	978.95	0.00066	2.48	221.69	29	1.2
2119	972.38	978.19	978.19	978.86	0.001943	3.62	151.73	27.71	1.1
2070	969.25	978.45	978.45	978.69	0.000433	2.14	256.88	29	1.2
1995	973	976.7	976.7	978.45	0.008122	5.86	93.79	27	1
1939	970.54	972.92	974.24	977.37	0.032988	5.64	58.91	26	2.5

V.4.2.1 Le 2ème tronçon de l'oued Chénnaoura

V.4.2.2.1 Dimensionnement

Tableau V. 10 : Récapitulatif des paramètres de la variante du gabionnage pour le 1er tronçon :

Tronçon	B (m)	K	H (m)	n	I (m/m)	Qdim (m^3/s)	Qévacuer(m^3/s)
N°2	22	5	5.5	0.03	0.005	540	631.1

V.4.2.2.2 Paramètres d'écoulement

Tableau V. 11*:* Résultats de la simulation d'écoulement d'un canal gabionné du tronçon n°2 de l'oued Chénnouara (Source : HECRAS).

River Sta	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
951	947.53	949.44	950.47	953.01	0.047815	8.37	65.69	52.96	2.4
806	945.66	949.18	949.18	950.13	0.007833	4.33	126.93	66.49	1
712	944.26	945.75	946.55	948.55	0.038699	5.5	75.57	63.8	2.14
601	942.36	945.12	944.56	945.51	0.002891	2.77	198.5	104.82	1.1
454	940.44	944.01	944.01	944.81	0.007981	3.95	139.97	90.31	1
311	936.48	938.08	939.13	942.01	0.062031	8.77	62.69	57.57	2.68
200	936.66	939.03	939.03	940.02	0.007966	4.49	124.57	63.25	1.01
105	935.25	937.95	938.2	939	0.014961	4.55	121.08	101.18	1.32
25	934.07	935.67	936.2	937.42	0.025137	5.7	97.16	94.45	1.75

En se référant aux résultats du tableau, on observe que :

En fonction des valeurs du nombre de Froude, il apparaît que le régime d'écoulement est torrentiel (Fr > 1) dans les deux tronçons La vitesse d'écoulement atteint 5,45 m/s dans le 1er tronçon et une vitesse de 5.4m/s dans le 2ème tronçon , donc elle ne dépassant pas 6 m/s dans ces 2 derniers , ce qui est considéré comme une valeur acceptable pour les gabions

V.4.2.2.3 Section en travers :

Les sections en travers de l'oued aménagé après la simulation sont représentées dans la figure suivante :

- Lors d'une crue centennale de 539 m³/s, il est évident que nos aménagements en gabion offrent une protection suffisante, prévenant ainsi tout débordement.

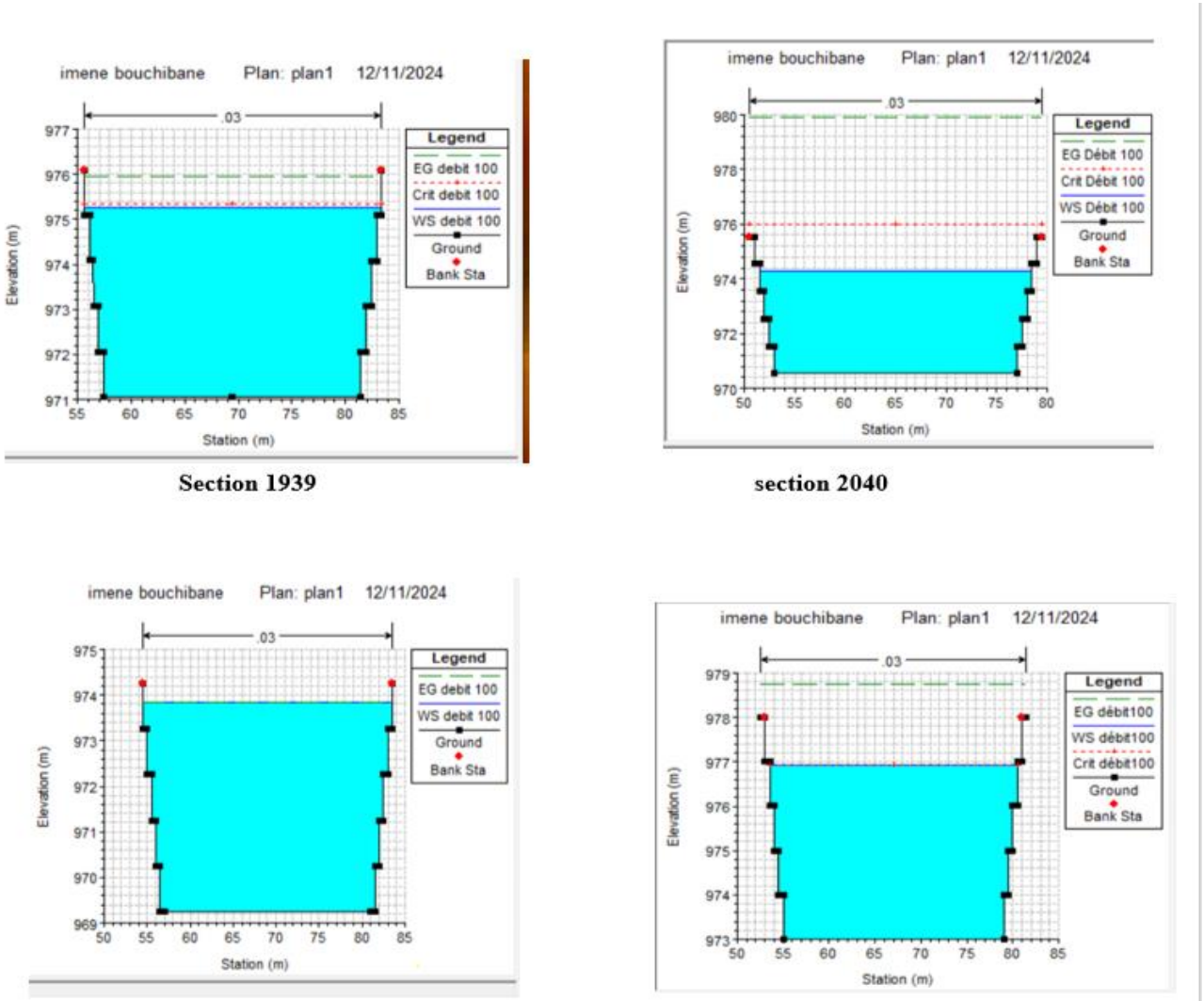


Figure V. 6: Profils en travers d'un canal en gabion pour une crue centennale pour le tronçon de l'oued Chénnaoura.

V.4.2.2.4 Estimation du coût de la variante :

Le Tableau n° V.12 présente un résumé des coûts de construction d'un canal en gabion sur le tronçon de l'oued.

Tableau V. 12: Estimation des coûts pour la variante du canal en gabion sur les deux(2) tronçons de l'oued.

Désignations des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA/mL)
Terrassement	Déblais	m³	53262	250	13315500
			55057		13764250
	Remblais	m³	1824	700	1276800
			1912		1338400
Géotextile		mL	1320	2500	3300000
			1450		3625000
Gabions		m³	1230	4500	5535000
			1500		6750000
Montant total					48904950
TVA19%					9291940.5
TOTAL					58196891

Les deux alternatives, le gabionnage et le canal en béton, semblent toutes deux aptes à gérer le débit de crue sans risque de débordement. Néanmoins, sur le plan financier, le gabionnage se distingue comme la solution la plus rentable. Nous prévoyons maintenant d'explorer une troisième option avant de faire notre choix définitif.

V.4.3 Troisième variante : Canal en enrochement

La troisième proposition consiste à créer un canal en enrochement avec une forme trapézoïdale.

V.4.3.1 Le 1er tronçon de l'oued Chénnaoura

V.4.3.1.1 Dimensionnement

- Les caractéristiques du canal sont établies à l'aide du logiciel Flow-Master. Les résultats du calcul hydraulique pour le canal trapézoïdal sont présentés ci-dessous :

Tableau V. 13 : Dimensions de l'aménagement du tronçon de l'oued

Tronçon	Section de départ	Section d'arrivé	Longueur(m)	Pente du projet (m/m)	Fruit de talus	Largeur du fond (m)	La largeur au miroir (m)	Hauteur du canal (m)
Tronçon aménagé	2486	1939	546	0.001	2	36.2	56.6	5.1

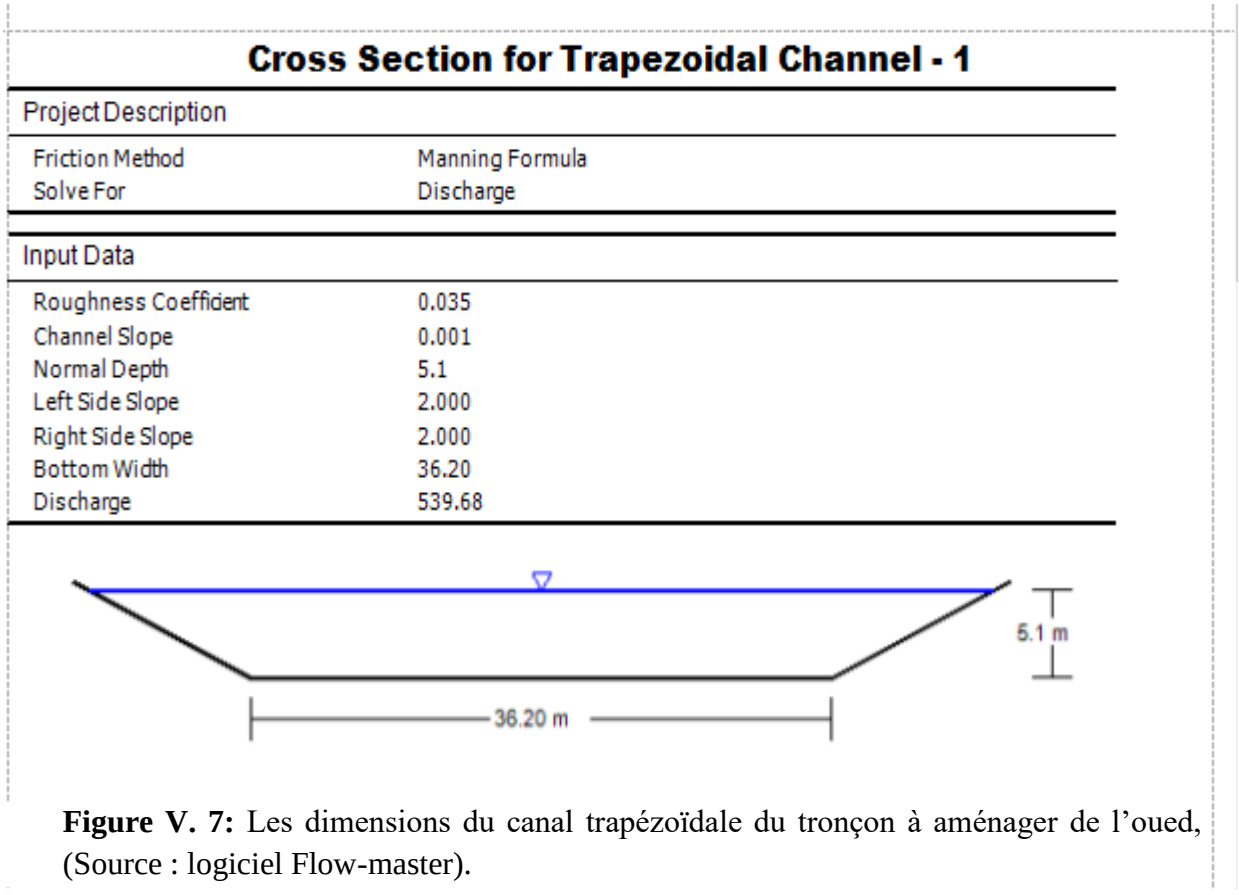


Figure V. 7: Les dimensions du canal trapézoïdale du tronçon à aménager de l'oued, (Source : logiciel Flow-master).

V.4.3.1.2 Paramètres d'écoulement

Les résultats de la simulation sont détaillés dans le tableau suivant :

Tableau V. 14 : Résultats de la simulation d'écoulement d'un canal en enrochement pour le tronçon n°1 de l'oued Chénnouara (Source : HECRAS)**.**

River Sta	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m^2)	(m)	
2486	977.52	979.63	979.22	980.27	0.005051	3.16	154.57	65.58	0.72
2435	976.81	979.45	978.96	979.99	0.004933	3.4	167.92	80.12	0.72
2352	975.64	978.26	978.26	979.37	0.009462	4.68	115.25	51.9	1.1
2303	974.96	977.07	977.57	978.7	0.018062	5.76	101.07	78.38	1.35
2244	974.13	976.68	976.74	977.87	0.010415	4.83	111.6	51.47	1.05
2177	973.19	974.99	975.53	976.78	0.024533	5.28	98.7	90.18	1.55
2119	972.38	974.97	974.98	976.11	0.009746	4.73	114.11	51.77	1.02
2070	971.69	973.82	974.35	975.44	0.017678	5.63	95.84	68.77	1.52
1995	970.65	971.76	972.31	973.55	0.038046	5.31	91.02	83.05	1.74
1939	969.86	971.82	971.82	972.52	0.009309	3.72	147.99	113.61	0.98

V.4.3.2 Le tronçon n°2 de l'oued Chennaoura

V.4.3.2.1 Dimensionnement

Tableau V. 15 : Dimensions de l'aménagement du tronçon n°2 de l'oued Chénnaoura.

Tronçon	Section de départ	Section d' arrivé	Longueur (m)	Pente du projet (m/m)	Fruit de talus	Largeur du fond (m)	La largeur au miroir (m)	Hauteurdu canal(m)
Tronçon aménagé	951	25	926	0.001	2	36.2	56.6	5.1

V.4.3.2.2 Paramètres d'écoulement

Les résultats de la simulation sont détaillés dans le tableau suivant :

Tableau V. 16 :Résultats de la simulation d'écoulement d'un canal en enrochement pour le tronçon n°2 de l'oued Chénnouara (Source : HECRAS).

River Sta	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	(m)	(m)	(m)	(m)		(m/s)	(m^2)	(m)	
951	947.82	949.47	950.43	952.57	0.044432	6.8	69.17	50.16	2.12
806	945.66	948.22	948.33	949.35	0.009751	4.7	114.72	58.81	1.07
712	944.26	945.77	946.34	947.71	0.03435	6.67	91.07	73.92	1.79
601	942.62	944.72	944.34	945.26	0.005715	3.47	171.81	97.13	1.2
454	940.44	943.09	943.09	944.17	0.00892	4.6	117.39	55.39	1.01
311	936.48	938.22	939.06	941.16	0.073483	6.59	71.02	59.71	2.22
200	936.66	938.84	938.76	939.65	0.008951	4.26	139.17	74.89	1.1
105	935.25	937.88	937.88	938.61	0.012886	3.8	142.04	100.49	1.02
25	934.07	935.71	936.15	937.18	0.023559	5.95	108.86	95.45	1.51

Observation

En analysant les résultats des deux tableaux, on observe les éléments suivants :

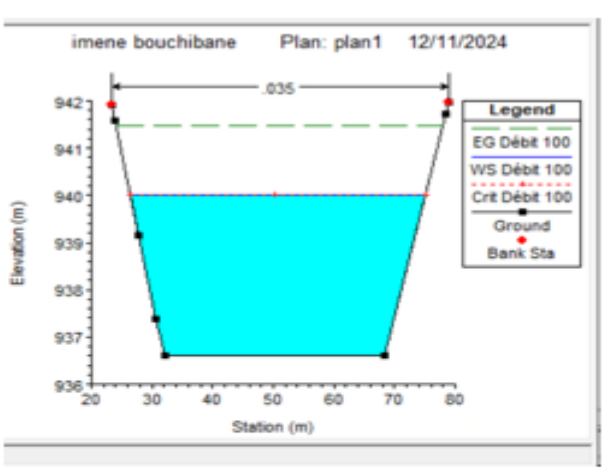
- Les valeurs du nombre de Froude indiquent que le régime d'écoulement est d'abord fluvial (Fr < 1) avant de devenir torrentiel (Fr > 1) dans le 1er tronçon et torrentiel dans le 2ème.

- La vitesse d'écoulement ne dépasse pas 6 m/s dans le 1er tronçon, et n'atteint pas 7m/s dans le 2ème ce qui est acceptable pour un aménagement en enrochement.

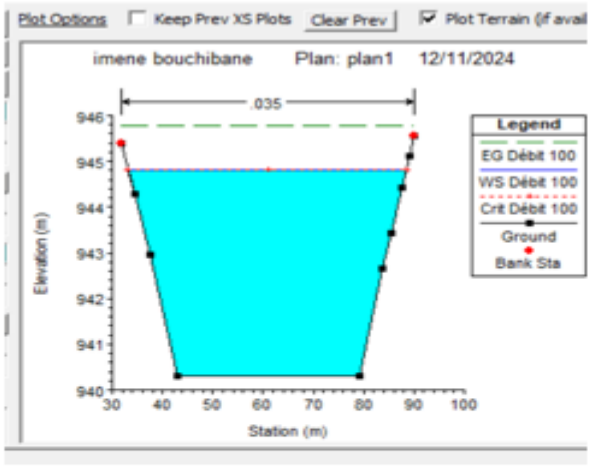
D'un point de vue technique, le canal en enrochement de forme trapézoïdale assure une protection efficace.

V.4.3.2.3 Les sections en travers

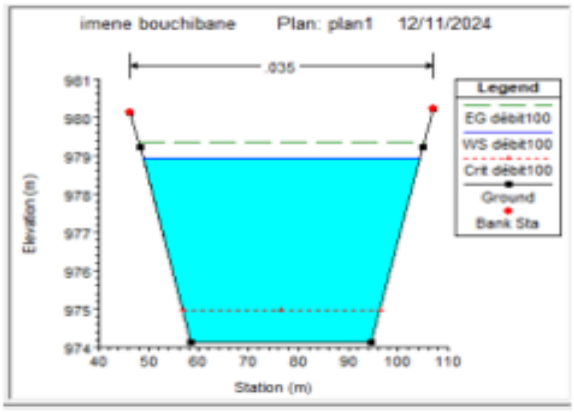
Les sections en travers de l'oued aménagé après la simulation sont représentées dans la figure suivante :



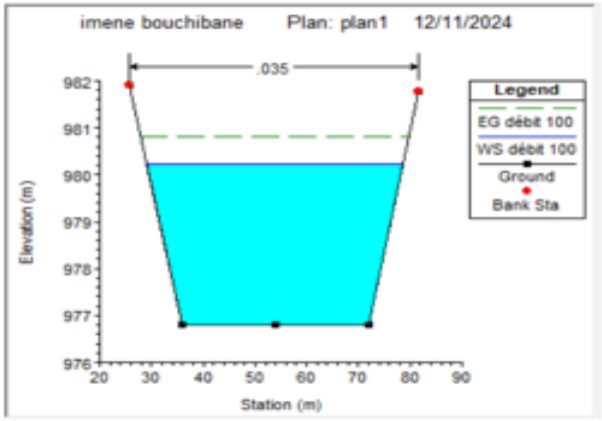
Section 2070

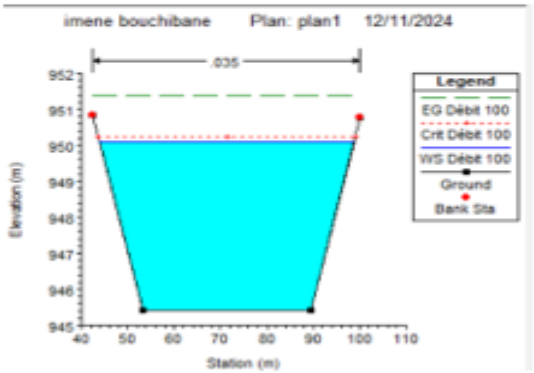


1939 Section



Section 806





Section 325

Figure V. 8 : Profils en travers d'un canal trapézoïdal en enrochement pour une crue centennale pour les deux tronçon de l'oued

V.4.4 Conception du canal en enrochement

L'enrochement est une méthode largement employée pour stabiliser les berges et le fond des cours d'eau. Cette technique repose sur l'empilement de pierres extraites de carrières, avec des talus inclinés de manière modérée, généralement entre 3/2 et 2/1, sans utiliser de béton pour les liaisons.

Pour aménager l'oued Chénnaoura en enrochement, dans le but de protéger la ville de Tkkout des crues, le tonnage estimé nécessaire se situe entre 1 et 1,5 tonnes. Les pierres employées présentent un diamètre médian (D50) d'environ 1 mètre.

- Epaisseur orthogonale théorique td (m) :

$$td = n \times D50 \quad \text{(IV. 1)}$$

- Volume globale de dimensionnement $\vartheta_{b.d}$ (m3) :

$$\vartheta_{b.d} = A.\ t_d \quad \text{(IV. 2)}$$

Avec : n: nombre de couche n = 1 ;

D50 : Diamètre médian D50 = 1 m ;

A : Aire (surface) (m²).

Calcul des sections d'enrochement de la variante 3 :

$$A = L.l \quad \text{(IV. 3)}$$

$$l_{talus} = H \times \sqrt{1 + m^2} \quad \text{(IV. 4)}$$

Tableau V. 17 : Sections d'enrochement

		L (m)	l (m)	A (m²)
Tronçon 1	**Fond**	546	18.1	9882.6
	Talus droite	546	11.4	6224.4
	Talus gauche	546	11.4	6224.4
Tronçon 2	**Fond**	926	18.1	16760.6
	Talus droite	926	11.4	10556.4
	Talus gauche	926	11.4	10556.4

Tableau V. 18 *:* Volumes d'enrochement

		n	D50 (m)	td (m)	A (m^2)	V (m^3)
Tronçon 1	**Fond**	1	1	1	9882.6	9882.6
	Talus droite	1	1	1	6224.4	6224.4
	Talus gauche	1	1	1	6224.4	6224.4
Tronçon 2	**Fond**	1	1	1	16760.6	16760.6
	Talus droite	1	1	1	10556.4	10556.4
	Talus gauche	1	1	1	10556.4	10556.4
				Volume global (m^3)		60204.8

Calcul des sections du géotextile de la variante :

Tableau V. 19 : Sections du géotextile du canal de la variante 3.

		A (m^2)	A total (m^2)
Tronçon 1	**Fond**	9882.6	60204.8
	Talus droite	6224.4	
	Talus gauche	6224.4	
Tronçon 2	**Fond**	16760.6	
	Talus droite	10556.4	
	Talus gauche	10556.4	

Volume des déblais et remblais

Tableau V. 20: Volume des déblais et remblais du canal de la variante 3

	Volume (m^3)		Volume totale (m^3)	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA)
	TR1	**TR2**			
déblai	52521	50558	103079	250	25769750
Remblai	5605	5420	11025	700	7717500
Enrochement	22331.4	37873.4	60205	1500	90307500
Montant total					123794750
TVA 19%					23521003
Total					14731575

Résultats:

Cette variante offre une protection efficace et présente des avantages hydrauliques significatifs, mais sa construction peut être coûteuse. Les dépenses élevées résultent du prix des roches, de leur transport, ainsi que de la main-d'œuvre spécialisée nécessaire pour assurer une installation correcte.

De plus, les canaux en enrochement requièrent généralement plus d'espace que d'autres types de canaux, ce qui peut poser des difficultés dans des zones à espace limité. Il est également important de noter que les roches peuvent se déplacer ou s'éroder avec le temps, ce qui implique une maintenance régulière pour garantir leur efficacité.

Conclusion

Ce chapitre a examiné trois solutions pour le contrôle des crues : le canal en gabions, en béton et en enrochement. Le canal en gabions est économiquement avantageux et répond bien aux besoins hydrauliques, mais il requiert un entretien fréquent et a une durabilité limitée. Le canal en béton, bien que plus coûteux, offre une meilleure stabilité à long terme. Le canal en enrochement, robuste et résistant aux crues extrêmes, est plus coûteux et nécessite plus d'espace, ce qui en fait une option moins rentable à court terme. En conclusion, le choix optimal dépend des contraintes locales, des coûts et de la maintenance, et le canal en gabions apparaît comme la solution la plus appropriée sur le plan économique, à condition d'assurer une gestion correcte des infrastructures.

CHAPITRE VI : Organisation du chantier.

CHAPITRE VI : Organisation du chantier.

Introduction

L'organisation d'un chantier est essentielle pour garantir la réussite d'un projet de construction. Ce chapitre aborde les principes clés de la planification et de la gestion des ressources, ainsi que les méthodes pour optimiser l'efficacité et la sécurité. En examinant les stratégies de communication etla gestion des imprévus, nous poserons les bases d'un chantier bien orchestré, permettant

D'atteindre des résultats de qualité.

L'installation des chantiers a pour but de :

- ✓ **Structurer le chantier :**

- Optimiser le temps d'exécution.

- Réduire les pertes de matériaux et éviter les doublons de matériel.

- Renforcer la sécurité, tant pour les personnes que pour les équipements, tout en améliorant laqualité.

- ✓ **Positionner les éléments :**

- Organiser efficacement les déplacements des engins et des véhicules sur le chantier.

- Assurer un bon positionnement des livraisons.

- Définir les réseaux à l'aide de grillages avertisseurs et de bandes de couleurs normalisées.

La réalisation de ces constructions peut poser de nombreux défis. Face à ces difficultés, il est crucialde bien comprendre l'organisation du chantier. Pour y parvenir, il est nécessaire de :

- Définir précisément les méthodes d'exécution et les procédures pour appliquer des techniquesmodernes de construction efficaces.

- Répartir et coordonner les tâches en faisant appel à une main-d'œuvre spécialisée.

- Organiser adéquatement les postes de travail, en stabilisant les processus où une mécanisationavancée est mise en place.

- Évaluer avec soin la quantité et la qualité de la main-d'œuvre nécessaire, car le coût de celle-ciinfluence considérablement le prix de revient.

VI. 1 Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier

VI.1.1 Le maître de l'ouvrage « MOA » :

Le maître d'ouvrage désigne la personne, qu'elle soit morale ou physique, pour laquelle l'ouvrage est réalisé. En tant que principal responsable, il exerce une fonction d'intérêt général qu'il ne peut déléguer. Il doit s'assurer de la faisabilité et de l'opportunité du projet,déterminer sa localisation, définir le programme, établir un budget prévisionnel, garantir lefinancement, choisir le processus de réalisation et conclure des contrats avec le maître d'œuvre et les entrepreneurs pour les études et l'exécution des travaux.

Afin de garantir la réussite du projet, le maître d'ouvrage doit s'entourer des compétences nécessaires pour la définition, la conception et la réalisation du projet (Benoit & Gülseren, 2021). Dans le cadre d'un barrage, il est courant que ce dernier prenne en charge l'ensemble des étapes, de la construction initiale à la mise en eau, y compris la gestion du processus de première mise en eau.

VI.1.2 Le maître d'oeuvre « MOE »

Le maître d'œuvre (MOE) est la personne, qu'elle soit physique ou morale, sélectionnée par le maître d'ouvrage. Sa mission consiste à concevoir la construction ou la réhabilitation d'un bâtiment ou d'une infrastructure, en veillant à ce que cela réponde aux exigences du maître d'ouvrage. Il s'assure également que cette conception soit respectée durant l'exécution des travaux et que ceux-ci soient réalisés selon les règles de l'art. La fonction de maîtrise d'œuvre est généralement distincte de celle des titulaires des marchés de travaux (Benoit & Gülseren, 2021).

VI.1.3 L'entrepreneur :

Une personne physique ou morale, détentrice du contrat de projet, est chargée de la construction de l'ouvrage conformément aux plans et spécifications définis., dessins et descriptions fournis par le maître d'œuvre. Elle doit :

- Installer les équipements nécessaires et veiller à la sécurité du chantier.
- Effectuer, en tout ou en partie, les études d'exécution.
- Réaliser l'ouvrage en respectant les conditions du contrat et la réglementation en vigueur.
- Demander la réception de l'ouvrage.
- Garantir l'achèvement complet de l'ouvrage (Benoit & Gülseren, 2021).

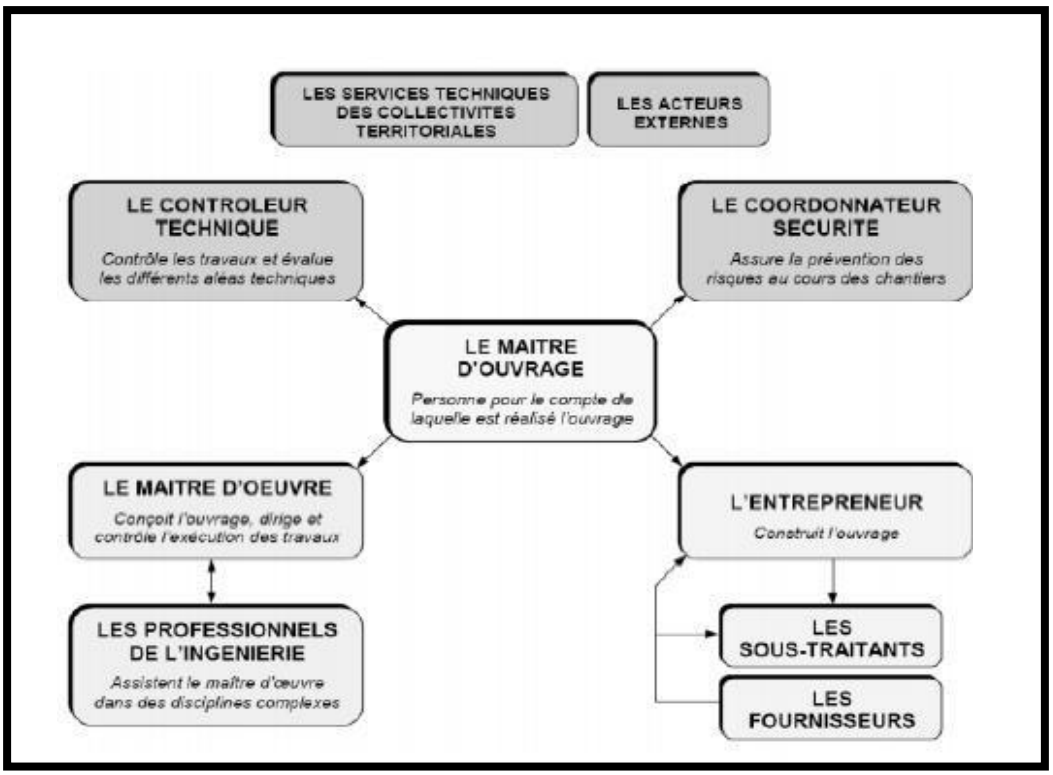


Figure VI. 1 : Relation entre les personnes du chantier (Ghomari, 2013)

VI.2 Installations du chantier :

VI.2.1 Installations destinées au personnel :

Ces installations comprennent habituellement des dortoirs, des vestiaires, des réfectoires, dessanitaires et des bureaux de chantier.

VI.2.2 Installations destinées au stockage des matériaux :

VI.2.2.1 Pierres :

Les pierres destinées aux enrochements et au gabionnage doivent avoir une taille, une forme et une qualité appropriées pour résister à l'érosion et aux forces hydrauliques des cours d'eau. Elles doivent généralement être anguleuses et uniformes en taille pour garantir une bonne liaison et une répartition efficace des forces. Il est essentiel de stocker ces pierres dans un endroit sec et propre, protégé de la pluie et du gel. De plus, il est important de ne pas les placer directement sur le sol afin d'éviter toute contamination par des matériaux fins, ce qui pourrait compromettre leur stabilité.

VI.2.2.2 La grille en acier galvanisé :

La grille en acier galvanisé constitue l'élément central de la structure du gabion. Composée defils d'acier tressés et recouverte d'une couche de zinc, elle est conçue pour résister à la corrosion. La taille des mailles de la grille est adaptée à celle des pierres destinées à remplir les gabions. Les grilles doivent être entreposées dans un endroit sec et propre, à l'abri de la lumière directe du soleil et des intempéries. Il est également crucial de ne pas plier ni empilerles grilles pour éviter toute déformation.

VI.2.2.3 Le géotextile :

Un géotextile est un tissu perméable installé sous les enrochements et les gabions pour prévenir l'érosion du sol en dessous et assurer une séparation entre le sol et les pierres. Il permet également le drainage de l'eau et empêche la formation de poches d'eau qui pourraientcompromettre la stabilité des enrochements et des gabions. Le géotextile doit être conservé dans un endroit frais et sec, protégé de la lumière directe du soleil. Il est essentiel de ne pas plier ou déchirer le géotextile afin de maintenir son intégrité.

VI.2.2.4 L'énergie électrique :

L'alimentation en énergie électrique sera assurée par un groupe électrogène, ce qui rend inutile une connexion à un réseau électrique à moyenne tension. (SONELGAZ).

VI.2.2.5 L'alimentation en eau potable :

L'approvisionnement en eau potable sera garanti par un réservoir de stockage, qui seraréapprovisionné chaque jour.

VI.2.2.6 L'alimentation en carburant

Les réparations majeures ne sont généralement pas réalisées directement sur le chantier. Cependant, il est essentiel d'avoir un atelier bien équipé pour assurer l'entretien régulier et lesréparations d'urgence des différents équipements**.**

1.1 VI.2.4 Installations pour la préfabrication :

Ce sont généralement des structures équipées des outils nécessaires à la production des éléments de l'ouvrage, comme les poutres, les dalles, les conduites et les murets.

VI.3 Les moyens de chantier :

VI.3.1 Les moyens humains :

Concernant les compétences humaines requises pour la réalisation de l'ouvrage., il est essentiel de justifier l'engagement de personnel compétent pour les études préliminaires et la construction.Des informations détaillées sur leurs qualifications, titres et compétences doivent être fournies.

VI.3.2 Les moyens matériels :

Le matériel utilisé se compose d'équipements fréquemment employés sur les chantiers de travaux publics. L'emploi de gros engins mécaniques permettra de réduire considérablementles coûts et les délais liés aux travaux de terrassement.

Tableau VI. 1 : Engins utilisés.

Tâches	Engins	Actions
Travaux de preparation	Dozers	Retirer les obstacles et les herbes.
	Pelles	
	Camions	
	Chargeurs	
Terrassement	Pelles	Définir la forme précise du canal.
	Niveleuse	
	Camions	
	Dozers	
	Chargeurs	
	Dumpers	
Compactage	Compacteurs à pied de mouton	Consolider les berges de l'Oued pour prévenir l'affaissement.
	Tous types de compacteurs à rouleaux lisses	

VI.4 Devis quantitatif et estimatif du projet :

Les estimations des coûts des travaux d'aménagement incluent les éléments suivants :

- Le prix unitaire des travaux de terrassement.

- Le prix unitaire pour la fourniture et l'installation de gabions ainsi que des matériaux envrac.

- Le devis du projet est donné ci-dessous :

Tableau VI. 2 : Le devis des différents travaux de l'aménagement du projet sur l'oued de Chénnaoura ville de T'KOUT.

Désignations des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA/mL)
Terrassement	Déblais	m^3	108319	250	27079750
	Remblais	m^3	3736	700	2615200
Géotextile		mL	2770	2500	6925000
Gabions		m^3	2730	5000	13650000
Montant total					50269950
TVA (19%)					9551290.5
Montant Total +TVA					59821241

Le montant total du projet est de 59821241 DA, Cinquante-neuf millions huit cent vingt et un mille deux cent quarante et un dinars algériens.

VI.5 La Planification :

VI.5.1 Définition :

Cette activité consiste à identifier, organiser et planifier les différentes tâches d'un projet, tout en déterminant les compétences nécessaires à leur réalisation. En d'autres termes, c'est un outil utilisé par le responsable de projet pour maximiser son efficacité opérationnelle. Les objectifs de la planification incluent :

- L'organisation des postes de travail.
- La gestion des opérations en temps réel.
- L'examen des diverses tâches impliquées.
- L'évaluation du temps nécessaire à leur accomplissement (mesure du temps).
- L'identification de solutions pour optimiser les méthodes de travail.

VI.5.2 Étapes de la planification :

La planification est un processus qui oriente la réalisation des travaux et comprend les étapes suivant :

Collecte d'informations: Cette étape consiste à synthétiser et analyser les données issues d'études comparatives, ce qui permet d'utiliser efficacement le plan de réalisation du projet.

- Décomposition du projet : Le projet est divisé en tâches distinctes, chacune ayant un responsable, des besoins en équipements et une durée de réalisation déterminée par le rythme de travail de chaque engin ou équipe.

- Relations entre les tâches : Dans le cadre de la réalisation du projet, deux types de relations entre les tâches sont essentielles. La première repose sur une logique séquentielle, où une tâche doit être terminée avant que la suivante puisse commencer. La seconde se base sur des préférences, permettant à certaines tâches d'être réalisées en parallèle ou dans un ordre spécifique.

- Choix de la méthode de calcul : Le choix de la méthode de calcul dépend principalement du type d'ouvrage à réaliser. Dans les situations où les opérations s'enchaînent, comme dans notre cas, la méthode du CPM (Critical Path Method) estgénéralement privilégiée.

VI.5.3 Plannings des travaux :

Il existe trois catégories de plans de travail :

1. Plan de travail au plus tôt** : Dans ce cas, toutes les opérations commencent à la date laplus précoce possible. Ce type de planning est privilégié par les entreprises disposant deressources abondantes et travaillant sur plusieurs chantiers en parallèle.
2. Plan de travail au plus tard** : Ici, toutes les opérations débutent à leur date la plus tardive.Les tâches ne subissent pas de retard, ce qui en fait une option favorite pour les entreprisesavec des ressources limitées, rendant ce plan plus économique.
3. Plan de travail intermédiaire** : Dans ce type de planning, les opérations commencent à une date intermédiaire, se situant entre la date au plus tôt et la date au plus tard. Les entreprises choisissent ce plan lorsque leurs ressources sont suffisantes et qu'elles se concentrent sur un seul chantier, permettant ainsi une optimisation de l'utilisation de leurs moyens .

VI.5.4 Techniques de la planification :

Il existe deux méthodes principales de planification :

- Méthodes basées sur le réseau : Ces méthodes de planification, comme le CPM (Critical Path Method) et le PERT (Program Evaluation and Review Technique), utilisent des réseaux de tâches et d'événements pour modéliser et gérer les projets. Elles se concentrent sur l'identification des séquences critiques de tâches qui influencent la durée totale du projet.
- Méthodes graphiques** : Ces méthodes, telles que le diagramme de Gantt, utilisent des représentations graphiques pour illustrer les tâches et leur chronologie. Les diagrammes de Gantt sont particulièrement efficaces poursuivre l'avancement du projet au fil du temps, mais ils fournissent moins d'informations sur les interdépendances entre les tâches par rapport aux méthodes basées sur le réseau.

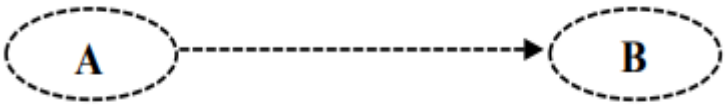
VI.5.4.1 Méthodes basées sur le réseau :

Le réseau constitue une représentation visuelle d'un projet, permettant d'illustrer les relations entre les différentes opérations, qu'elles soient successives, parallèles ou convergentes, ainsi que leurs durées d'exécution. On distingue principalement deux types de réseaux :

Réseau à nœuds

Dans un réseau à nœuds, chaque nœud représente une opération ou une étape du processus, tandis que les flèches (ou arêtes) symbolisent la séquence ou le flux d'information entre ces opérations. Les flèches, orientées, indiquent l'ordre dans lequel les opérations doivent être réalisées. Cette structure permet de visualiser et de comprendre les interactions entre les différentes étapes du processus.

L'opération (B) ne peut débuter qu'une fois l'opération (A) complètement achevée.



Réseau à flèches :

Dans un réseau à flèches, chaque opération est illustrée par une flèche, tandis que les nœuds représentent les points de jonction qui définissent la succession des opérations**.**

Il est important de noter que le graphique ne peut être élaboré sans passer par le réseau, car ce dernier constitue un outil de calcul permettant d'obtenir des résultats en réponse à des questions précises. Le graphique, quant à lui, sert à interpréter et à présenter de manière plus claire et



•L'opération A est antérieure à l'opération B.

compréhensible les données issues du réseau et de ses résultats.

Construction du réseau

Pour construire le réseau, il est essentiel de suivre les six étapes clés suivantes :

 Élaboration de la liste des tâches : Cette phase consiste à établir une liste détaillée de toutes les actions nécessaires à la réalisation du projet. Chaque tâche doit être clairement définie, en précisant sa durée estimée, les ressources nécessaires, les dépendances et les responsabilités associées.

 Identification des tâches préalables : Une fois la liste des tâches établie, il convient de déterminer les dépendances entre elles. Certaines tâches doivent être terminées avant que d'autres puissent commencer, ce qui permet de définir un ordre logique pour leur exécution.

 Création des graphes partiels : À cette étape, des graphes partiels ou diagrammes de réseau sont élaborés pour représenter visuellement les relations entre les différentes tâches. Les deux types de diagrammes les plus utilisés sont les graphes PERT et les diagrammes de Gantt.

 Fusion des graphes partiels : Si le projet comporte plusieurs sous-projets ou domaines distincts, les graphes partiels peuvent être regroupés pour former un plan global du projet.

Cela permet de mieux appréhender la structure globale et d'avoir une vue d'ensemble cohérente.

 Identification des tâches de début et de fin : Il est essentiel de déterminer quelles tâches marquent le début et la fin du projet. La tâche de début, souvent désignée comme "tâche de démarrage", et la tâche de fin, appelée "tâche de clôture", servent de repères pour suivre l'avancement du projet.

 Constitution du réseau global : Enfin, tous les éléments précédemment identifiés sont intégrés pour former le réseau complet du projet. Ce réseau met en lumière les relations entre les tâches, les échéances, les ressources nécessaires et les jalons importants, et constitue un outil visuel précieux pour la planification, le suivi et la gestion du projet.

VI.5.5 Différentes méthodes basées sur le réseau :

VI.5.5.1 Méthode C.P.M {Critical Path Method} (Méthode française) :

- **Première étape** : Identifier le nombre de personnes nécessaires pour accomplir la tâche spécifiée.
- **Deuxième étape** : Analyser de manière approfondie le réseau, en détaillant les activités sur une base horaire et quotidienne, selon l'unité de temps sélectionnée.
- **Troisième étape** : Adapter le réseau en fonction des contraintes ou des exigences particulières imposées par l'entreprise (Benlaoukli, 2004).

VI.5.5.2 Méthode P.E.R.T (Program Evaluation and Review Technical):

VI.5.6.1 Les paramètres de la méthode P.E.R.T :

En d'autres termes, la méthode d'ordonnancement des tâches et de gestion des programmes consiste à organiser un ensemble de tâches sous forme de réseau, où leur ordre et leurs interdépendances sont déterminants pour l'accomplissement du produit final.

VI.5.5.3 Méthodes basées sur le graphique :

Méthode linéaire (Line of Balance technique) :

Cette méthode est idéale pour la planification de projets de construction caractérisés par des tâches récurrentes, où des opérations ou activités identiques sont réalisées de façon régulière. Elle se révèle particulièrement utile pour les projets de grande ampleur, comme la construction de bâtiments similaires ou d'infrastructures linéaires telles que les routes et les voies ferrées.

Méthode à barres :

Cette approche implique la création de deux réseaux, accompagnée de l'élaboration d'un diagramme à barres (plan de travail).. Elle permet de visualiser les relations de dépendance entre les tâches et de définir l'ordre dans lequel elles doivent être réalisées. Cela simplifie la gestion du projet en offrant une vue d'ensemble des différentes activités et de leur calendrier.

Choix de la méthode de calcul :

Le choix de la méthode de calcul est principalement déterminé par le type d'ouvrage en cours de construction. Lorsque les opérations doivent être réalisées dans un ordre spécifique, comme c'est le cas dans notre situation, il est conseillé d'utiliser la méthode P.E.R.T (Program Evaluation and Review Technique) (Benlaoukli, 2004).

VI.5.6 Méthode de calcul de P.E.R.T :

VI.5.6.1 Les paramètres de la méthode P.E.R.T :

Lors de l'application de la méthode P.E.R.T (Program Evaluation and Review Technique), plusieurs paramètres clés doivent être considérés :

- **DCP (Date de début au plus tôt)** : C'est la première date possible pour démarrer une tâche, en tenant compte des dépendances et des contraintes du projet.
- **Tr (Temps de réalisation)** : Il s'agit du temps estimé nécessaire pour accomplir une tâche donnée.
- **DFP (Date de fin au plus tôt)** : C'est la date la plus précoce à laquelle une tâche peut être terminée, selon les contraintes du projet.

- **DCPP (Date de début au plus tard)** : Cette date représente le dernier moment possible pour commencer une tâche sans perturber le calendrier global du projet.
- **DFPP (Date de fin au plus tard)** : C'est la dernière date à laquelle une tâche peut être achevée sans compromettre l'échéancier global du projet.
- **MT (Marge Totale)** : La marge totale désigne le temps supplémentaire disponible pour réaliser une tâche sans impacter le chemin critique du projet. Elle correspond à la différence entre la date de début au plus tôt (DCP) et la date de début au plus tard (DCPP), ou entre la date de fin au plus tôt (DFP) et la date de fin au plus tard (DFPP).

$$DFP = DCP + T_r \; et \; DCPP = DFPP - T_r$$

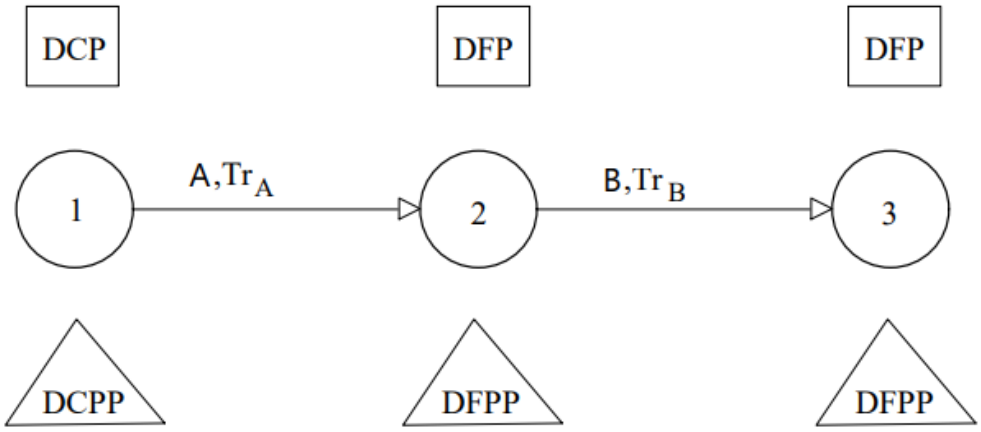


Figure VI. 2 : Schéma représentatif de la méthode de PERT

VI.5.6.2 Chemin critique (C.C) :

- Le chemin critique correspond à la séquence d'opérations qui détermine la durée totale du projet (DTR), et ces opérations se caractérisent par une marge totale nulle (0).
- Pour identifier le chemin critique, deux conditions principales doivent être vérifiées :
    1. La marge totale (MT) de chaque opération sur ce chemin doit être égale à zéro (MT = 0).
    2. La somme des durées de ces opérations doit être égale à la durée totale du projet (DTR).

VI.5.7 Diagramme de Gantt :

Le diagramme de Gantt, un outil couramment utilisé en gestion de projet, est l'un des moyens les plus efficaces pour illustrer visuellement l'avancement des différentes tâches ou activités d'un projet. À gauche du diagramme figure une liste de toutes les tâches à réaliser, tandis que l'en-tête indique les unités de temps appropriées au projet, telles que les jours, les semaines ou les mois. Chaque tâche est représentée par une barre horizontale dont la position et la longueur reflètent la date de début, la durée et la date de fin de la tâche concernée. En un coup d'œil, ce diagramme permet de visualiser :

- La séquence des tâches et leurs interdépendances.
- Les dates de début et de fin prévues pour chaque tâche.
- La durée de chaque tâche.
- e diagramme de Gantt permet de visualiser facilement les chevauchements ou les lacunes entre les tâches du projet. Il offre également une vue d'ensemble de l'état d'avancement actuel, en comparant les dates planifiées avec les dates réelles. Cela facilite grandement la gestion et le suivi de l'exécution du projet.
- D'autre part, la méthode PERT (Program Evaluation Review Technique) est une approche de planification qui vise à optimiser le temps et les coûts de réalisation d'un projet, tout en améliorant l'efficacité des ressources. Dans le cadre de la construction du réseau, la première étape consiste à définir les différentes tâches nécessaires à la réalisation des travaux

Calcul de la durée des travaux *:*

Ci-dessous figure la liste des tâches à accomplir pour le projet.

Tableau VI. 3 : Liste des tâches pour le projet.

Tâche	Symbole
Préparation générale :	
Délimitation de la zone de travail et sécurisation du périmètre	0
Prévision d'un accès pour les engins de chantier et les matériaux	⊖
Terrassement et compactage :	
Terrassement tronçon a (gabionnage)	⊼
Compactage tronçon a (gabionnage)	∧
Terrassement tronçon c (enrochement)	⊧
Compactage tronçon c (enrochement)	⁞
Terrassement tronçon b (gabionnage)	⊣
Compactage tronçon b (gabionnage)	⊮
Terrassement tronçon d (enrochement)	⊕
Compactage tronçon d (enrochement)	⊀
Pose de géotextile :	
Pose de géotextile tronçon a (gabionnage)	€
Pose de géotextile tronçon c (enrochement)	⊓
Pose de géotextile tronçon b (gabionnage)	⊱
Pose de géotextile tronçon d (enrochement)	⊕
Assemblage des gabions et Pose de la première rangée d'enrochement :	
Assemblage des gabions tronçon a (gabionnage)	○
Pose de la première rangée d'enrochement tronçon c (enrochement)	⊻
Assemblage des gabions tronçon b (gabionnage)	⊙
Pose de la première rangée d'enrochement tronçon d (enrochement)	⊄

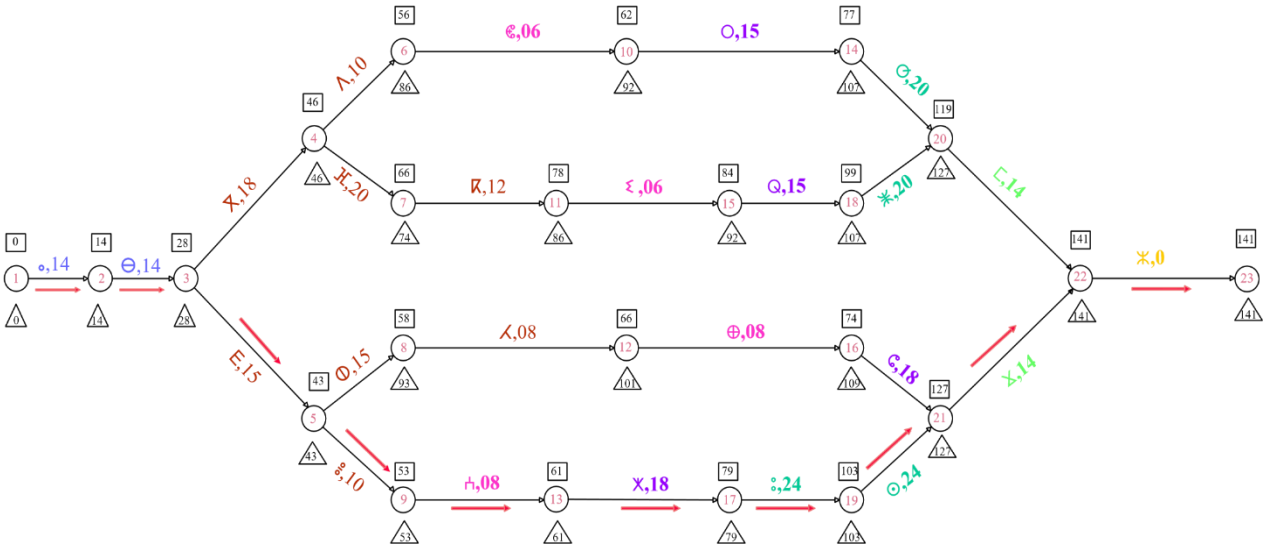
Mise en place des gabions et Pose des rangées suivantes d'enrochement :	
Mise en place des gabions tronçon a (gabionnage)	⊘
Pose des rangées suivantes d'enrochement tronçon c (enrochement)	⁘

Le tableau ci-dessous illustre l'enchaînement des différentes tâches de mise en œuvre dans le cadre de la protection de la ville de Bordj Mira, réalisée par gabionnage et revêtement en enrochement.

Tableau VI. 4 : Succession des tâches pour le projet.

Tâche		Succède		Durée en jours
A	0	B	⊖	14
B	⊖	G,Ḍ	⊼,⊑	14
G	⊼	D,F	⋀,⋕	18
D	⋀	č	⋐	10
Ḍ	⊑	H,E	⦶,⁘	15
E	⁘	ε	⋔	10
F	⋕	K	⋰	20
K	⋰	I	⋷	12
H	⦶	Ḥ	⋏	15
Ḥ	⋏	⊕	⊕	8
č	⋐	R	○	6
ε	⋔	kh	⁘	8
I	⋷	Ṛ	⍜	6
bh	⊕	sh	⋾	8
R	○	Ṣ	⊘	15
kh	⤫	U	⁘	18
Ṛ	⍜	Ẓ	◉	15

sh	☪	Y	⧖	18
Ṣ	☋	M	⊏	20
U	⁖	S	◉	24
Ẓ	✳	M	⊏	20
S	◉	Y	⧖	24
M	⊏	Z	✳	14
Y	⧖	Z	✳	14
Z	✳	/	/	1



Chemin critique

Figure VI. 3 : Réseau P.E.R.T du projet.

Conclusion

En conclusion, l'organisation minutieuse du chantier, incluant la gestion des ressources humaines, matérielles et des installations, est essentielle pour la réussite du projet. Grâce à une planification soignée et une coordination efficace des tâches, les objectifs de qualité, de sécurité et de respect des délais peuvent être atteints. Le coût total du projet, incluant la TVA, est estimé à **144 370 741 DA**, reflétant l'ampleur et la complexité des travaux à réaliser.

Conclusion générale

Ce mémoire a exploré en profondeur la gestion du risque d'inondation, en mettant l'accent sur les facteurs aggravants, les solutions techniques et la planification nécessaire à la gestion des crues. Le cadre théorique a permis de comprendre l'impact du changement climatique sur l'intensification des phénomènes extrêmes, en particulier sur les zones littorales et les régions sensibles comme l'Aurès. En analysant les spécificités géographiques, climatiques et hydrologiques de la région de T'kout, nous avons pu établir un diagnostic précis des causes des inondations, qu'elles soient liées aux cours d'eau ou à leurs interactions avec les sols et les infrastructures.

L'étude hydrologique a constitué une étape clé dans la modélisation des risques d'inondation. Grâce à l'application de la méthode GRADEX et aux calculs des débits de crue, nous avons pu anticiper les évolutions des crues extrêmes et définir des stratégies adaptées pour les aménagements hydrauliques. Cette approche a été renforcée par l'étude hydraulique qui a permis d'identifier les comportements des cours d'eau à travers la modélisation HEC-RAS et d'étudier différentes solutions de gestion des crues, telles que les canaux en gabions, en béton et en enrochement. Le canal en gabions, bien que nécessitant un entretien régulier, s'est révélé être la solution la plus économique et viable à court terme.

L'analyse des coûts du projet a permis de définir un budget global de 144 370 741 DA, soulignant l'importance d'une planification rigoureuse et de la gestion optimale des ressources humaines et matérielles. En outre, la réussite du projet repose sur une coordination efficace, une gestion des risques adaptée et une prise en compte des spécificités locales.

Enfin, ce travail a démontré que la gestion des risques d'inondation nécessite une approche intégrée et multidisciplinaire, alliant des méthodes de prévision avancées, des infrastructures adaptées et une planification méticuleuse pour minimiser les dégâts et renforcer la résilience des territoires face aux catastrophes naturelles. La mise en œuvre de ces solutions, en tenant compte des contraintes locales et des évolutions climatiques, constitue un pas important vers la sécurisation des zones vulnérables et la protection durable des populations.

Références bibliographiques :

- **MEN.** (2022). *Document de synthèse : Informations générales pour l'examen des instruments relatifs aux accidents du travail et aux maladies professionnelles (Mécanisme d'examen des normes ; p. 13)*. Disponible sur : https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_norm/---normes/documents/genericdocument/wcms_852784.pdf

- **Menad, W.** (2012). *Risques de crue et de ruissellement superficiel en métropole méditerranéenne : Cas de la partie ouest du Grand Alger*. Université Paris-Diderot - Paris. Disponible sur : https://theses.hal.science/tel-00787142/file/thA_se_Wahiba.pdf

- **Menad, W.** (2019). *Approche modèle pour une prise en charge globale des risques hydrologiques dans le bassin méditerranéen*. Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, 88, 21. Disponible sur : https://doi.org/10.25518/0037-9565.8402

- **Nedelec, Y., Kao, C., & Chaumont, C.** (2004). *Réduction des transferts de crues dans les bassins versants agricoles fortement drainés : État des connaissances et des recherches*. Disponible sur : https://hal.science/hal-00471236

- **Nouri, M., Ozer, A., & Ozer, P.** (2016). *Etude préliminaire sur le risque d'inondation en milieu urbain (Algérie)*. Geo-Eco-Trop : Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d'Écologie Tropicales, 40(3). Disponible sur : https://orbi.uliege.be/handle/2268/204062

- **OIT.** (2021). *Améliorer la sécurité et la santé au travail dans les petites et moyennes entreprises [manuel du participant]*. 84. Disponible sur : https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_dialogue/---lab_admin/documents/publication/wcms_792225.pdf

- **OMM.** (2008). *Guide Des Pratiques Hydrologiques—Vol1 PDF | Hydrogéologie | Hydrologie : Vol. Volume 1 Hydrologie – De la mesure à l'information hydrologique (2008e éd.)*. Disponible sur : https://www.scribd.com/document/406358185/Guide-des-pratiques-hydrologiques-Vol1-pdf

- **OMM/UNESCO.** (1992). *International Glossary of Hydrology—UNESCO Digital Library*. Disponible sur : https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000221862

- **Oujbbour, B.** (2015). *Annonce de crue et la mise en place d'un système d'alarme dans le bassin de Guelmim—Sécheresse info*. Disponible sur : http://www.secheresse.info/spip.php?article72096

- **Pardé, M.** (1968). *Les crues de novembre 1966 en Italie*. Annales de géographie, 77(420), 187-193. Disponible sur : https://doi.org/10.3406/geo.1968.15633

- **Parvis, M.** (1950). *Drainage Pattern Significance in Air photo Identification Of Soils And Bedrocks*. Photogrammetric Engineering. Disponible sur : https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1950journal/jun/1950_jun_387-409.pdf

- **Racin, J. A., Hoover, T. P., Crossett Avila, C. M., & California. Dept. of Transportation. Office of Structural Foundations.** (2000). *California Bank and Shore Rock Slope Protection Design: Practitioner's Guide and Field Evaluations of Riprap Methods (FHWA-CA-TL-95-10; p. 109)*. Disponible sur : https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/40832

- **Roche, M.** (1963). *Hydrologie de surface*. Disponible sur : https://www.pseau.org/outils/ouvrages/ird_hydrologie_de_surface_marcel_roche_1963.pdf

- **Roux, H.** (2004). *Estimation de paramètres en hydraulique fluviale, à partir de données caractéristiques de l'imagerie aérienne [PhD]*. Disponible sur : https://oatao.univ-toulouse.fr/7360/1/roux.pdf

- **Scarwell, H.-J., & Laganier, R.** (2004). *Risque d'inondation et aménagement durable des territoires*. Presses Univ. Septentrion. Disponible sur : https://books.openedition.org/septentrion/15670?lang=fr

- **Schmidt, A., Ivanova, A., & Schäfer, M. S.** (2013). *Media attention for climate change around the world: A comparative analysis of newspaper coverage in 27 countries*. Global Environmental Change, 23(5), 1233-1248. Disponible sur : https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.07.020

- **Sedrati, C.** (2018). *Étude d'une retenue collinaire sur l'oued Charchar, commune de Hadjadj (Mostaganem) [mémoire de fin d'études]*. École Nationale Supérieure d'Hydraulique - Arbaoui Abdellah.

- **Smith, G. P., Davey, E. K., & Cox, R.** (2014). *Flood Hazard*. E Water Research Laboratory, School of Civil and Environmental Engineering, University of New South, 59. Disponible sur : https://knowledge.aidr.org.au/media/2334/wrl-flood-hazard-techinical-report-september-2014.pdf

- **SPW.** (2021, mars 4). *Carte de l'aléa d'inondation—Inondations en Wallonie*. Inondations en Wallonie. Disponible sur : http://inondations.wallonie.be/cms/render/live/fr/sites/inondations/home/urbanisme/cartes-inondations/carte-alea-inondation.html

- **Strahler, A. N.** (1952). *HYPSOMETRIC (AREA-ALTITUDE) ANALYSIS OF EROSIONAL TOPOGRAPHY*. Geological Society of America Bulletin, 63(11), 1117. Disponible sur : [https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[111

- **Brown, R., & Chanson, H. (2012).** Suspended sediment properties and suspended sediment flux estimates in an inundated urban environment during a major flood event: Sediments In An Urban Environment During A Major Flood. Water Resources Research, 48(11).

  Disponible sur : https://doi.org/10.1029/2012WR012381

- **Brown, S. A., & Clyde, E. S. (1989).** Design of Riprap Revetment (FHWA-IP-89-016; p. 169).

  Disponible sur : https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/41174

- **Cartier, V., & Sabater, C. (2004).** La Signalisation De Sante Et De Securite Au Travail (projet

Master Prévention des Risques). P.R.N.T., 30.

1.1.1.1.1.1.1 Disponible sur : https://www.sante-securite-paca.org/d/YTozOntzOjQ6InJlZjAiO2k6MTtzOjQ6InJlZjEiO3M6MzoiNjAwIjtzOjQ6InJlZjIiO 3M6MDoiIjt9/la-signalisation-de-sante-et-de-securite-au-travail

• **Cheloufi, N. E. Y., & Foual, I. (2018)**. Modélisation hydraulique du bassin versant de l'oued EL Hammam par HEC-RAS [mémoire de master, Badji Mokhtar Annaba].

Disponible sur : https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2018/10/Cheloufi- Nour-Elyakine-Foual-Imene.pdf

• **CID. (2008).** Guide de conception des routes rurales : Vol. Volume A (conseil ingénierie et développement).

Disponible sur : https://fr.slideshare.net/Haffoudiabdelhaq/guide-de-conception-des-routes-version-finale

• **Cosandey, C. (1990).** L'origine des crues dans les bassins-versants élémentaires : Du ruissellement sur les versants à l'écoulement de crue. Annales de Géographie, 99(556), 641-659.

Disponible sur : https://www.jstor.org/stable/23452703

• **Coulon, C. (2015).** Etude de la sensibilité de la densité de drainage aux hypothèses de calcul.

Disponible sur : https://www.metis.upmc.fr/~ducharne/documents/coulon2015.pdf

• **Dauphiné, André, V. (2001).** Risques et catastrophes. Observer-Spatialiser-Comprendre-Gérer. Paris, Armand Colin (Coll. « U Géographee »), 288 p. (ISBN 2-200-25042-8). Cahiers de géographie du Québec, 46(127), 106.

Disponible sur : https://doi.org/10.7202/023025ar

• **DDT. (2012).** Plan de prévention des risques naturels liés aux inondations de la Coise. Direction Départementale des Territoires de la Loire.

Disponible sur :https://www.rhone.gouv.fr/contenu/telechargement/7990/44268/file/20-2012_11_27_R_Presentation_HTV_VD_cle7e6b55.pdf

• **De Ploey, J., Imeson, A., & Oldeman, L. R. (1991)**. Soil Erosion, Soil Degradation and Climatic Change. In F. M. Brouwer, A. J. Thomas, & M. J. Chadwick (Éds.), Land Use Changes in Europe (Vol. 18, p. 275-292). Springer Netherlands.

https://doi.org/10.1007/978-94-011-3290-9_12

• **Dervaux I. (1983).** Risque et sécurité. Culture et Technique, 8-9.

Disponible sur : https://hal.science/tel-01572602/document

• **Dottori, F., Szewczyk, W., Ciscar, J.-C., Zhao, F., Alfieri, L., Hirabayashi, Y., Bianchi, A., Mongelli, I., Frieler, K., Betts, R. A., & Feyen, L. (2018).** Increased human and economic losses from river flooding with anthropogenic warming. Nature Climate Change, 8(9), 781-786.

Disponible sur : https://doi.org/10.1038/s41558-018-0257-z

• **Dunne, T., Moore, T., & Taylor, C. H. (1975).** Recognition and prediction of runoff-producing zones in humid regions. Hydrol. Sci. Bull, 20(3), 305-327.

Disponible sur : https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0022169483902093

• **Egis Eau. (2013).** Annexe 2—methode du gradex -

Disponible sur : https://docplayer.fr/51813197-Annexe-2-methode-du-gradex.html

• **El Harti, Y., & Ait Ichou, I. (2017).** Étude de protection de la ville de Marrakech contre les inondations [Université Mohammed Premier Ecole Nationale Des Sciences Appliquées D'al Hoceima].

Disponible sur : https://geniecivilpdf.com/wp-content/uploads/%C3%89tude-de-protection-de- la-ville-de-Marrakech-contre-les-inondations.pdf

• **Eleutério, J. (2012)**. Flood risk analysis: Impact of uncertainty in hazard modelling and vulnerability assessments on damage estimations.

Disponible sur : https://theses.hal.science/tel-00821011/document

• **Elfetni, khaoula. (2019).** Etude de protection contre les inondations de la ville de Doucen (Oued Tamda).

Disponible sur : http://archives.univ-biskra.dz:80/handle/123456789/14970

• **Emori, S., & Brown, S. J. (2005).** Dynamic and thermodynamic changes in mean and extreme precipitation under changed climate: MEAN AND EXTREME PRECIPITATION CHANGES. Geophysical Research Letters, 32(17).

Disponible sur : https://doi.org/10.1029/2005GL023272

• **ENAC/ISTE/HYDRAM. (2004).** Estimations du débit de pointe de temps de retour 20 et 100 ans par la méthode statistique et celle du GRADEX - Application au bassin versant de la Viège à Viège (VS, Suisse).

Disponible sur : http://hydrologie-2.org/Hydrotheque/Hydrologie_Appliquee/08_EtudedesCrues/Exercice_HA0802/HA0802_corri ge.pdf

• **Faye, C. (2018).** Périmètre du bassin versant.

1.1.1.1.1.1.2 Disponible sur :
https://www.google.com/search?q=p%C3%A9rim%C3%A8tre+du+bassin+versant&oq=p%C3%A9rimetre+du+ba&aqs=chrome.1.69i57j0i22i30l2j0i10i22i30j0i15i22i30j0i22i30l5.5553j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8

• **Galay, V., Yaremko, E., & Quazi, M. (1987, novembre 5).** River bed scour and construction of stone riprap protection.

Disponible sur : https://www.semanticscholar.org/paper/River-bed-scour-and-construction-of- stone-riprap-Galay-Yaremko/c75d00ebe6484ecf55f2cd2f0d3c8f1f1c7878d6

• **Galland J-P. (1998).** Les responsabilités des experts et le principe de précaution. Nature Sciences Sociétés, 6(1), 46-49.

Disponible sur : https://doi.org/10.1016/S1240-1307(97)89517-9

• **Garavaglia, F. (2011).** Méthode SCHADEX de prédétermination des crues extrêmes : Méthodologie, applications, études de sensibilité.

Disponible sur : https://theses.hal.science/tel-00579507

• **Gendreau N. (1999).** La méthode Inondabilité.

Disponible sur : http://www.cemagref.fr.

• **Giorgi, F. (2006).** Climate change hot-spots. Geophysical Research Letters, 33(8).

Disponible sur : https://doi.org/10.1029/2006GL025734

• **GIP. (2015).** Normes Et Techniques De Protection Des Berges Du NAKANBE.

Disponible sur : https://eaunakanbe.bf/wp-content/uploads/2019/06/Manuel-Normes-et-techniques-de-protection-des-berges.pdf

• **Glatron S. (2003)**. Questions de Géographie, Les Risques Ouvrages collectif coordonné par Vincent Moriniaux, Ouvrage collectif, Editions Temps, Nantes-Francia, 256p.

Disponible sur : https://side.developpement-durable.gouv.fr/PAE/doc/SYRACUSE/71968/questions-de-geographie-les-risques

• **GOV.BC.CA. (2000)**. Riprap design and construction guide. Ministry of Environment, Lands & Parks, Water Management Branch, Public Safety Section.

Disponible sur : https://a100.gov.bc.ca/pub/eirs/lookupDocument.do?fromStatic=true&repository=EPD&documentId=5230

• **GPE. (2010)**. /Guide/La Planification De Projet A L'aide Du Logiciel Ms Project.

Disponible sur : https://www.gpe-afrique.com/moodledata/filedir/b7/15/b7152b1dee2c8419ae91dfcaac80a944e4126f5d

• **Graguid, T. B. (2011)**. Système d'informations et représentations cartographiques pour la gestion des inondations à Cotonou [institut international d'Ingénierie de l'Eau et l'environnement].

Disponible sur : http://documentation.2ie-edu.org/cdi2ie/opac_css/doc_num.php?explnum_id=135

• **Griot, C., & Ayral, P. A. (2002).** Terminologie en science du risque : Recueil de définitions. (Rapport). GEM.

Disponible sur : https://theses.hal.science/tel-00009093/file/tel-00009093.pdf

• **Guigo, M., Voiron, C., Graillot, D., & Olivier, F. (2002).** Système d'aide à la décision pour la limitation des risques d'inondation dans les agglomérations urbaines méditerranéennes.

Disponible sur : https://hal.science/hal-00410038

• **Guillot, & Durand. (1969).** La Méthode du gradex pour le calcul de la probabilité des crues à partir des pluies—UNESCO Digital Library.

Disponible sur : https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000014626

• **Heyman, M. (2023, septembre 14).** Les images des inondations meurtrières en Libye. Le Point.

Disponible sur : https://www.lepoint.fr/monde/les-images-des-inondations-meurtrieres-en-libye-14-09-2023-2535420_24.php

• **Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., Kim, H., & Kanae, S. (2013).** Global flood risk under climate change. Nature Climate Change, 3(9), 816-821.

Disponible sur : https://doi.org/10.1038/nclimate1911

• **Hmidi, N. (2019).** Inondation dévastatrice dans la ville de Soliman (Tunisie) : cas de sa zone industrielle lors de l'événement pluviométrique du 22 septembre 2018.

Disponible sur : https://www.researchgate.net/profile/Nesrine-Hmidi/publication/335928801_INONDATION_DEVASTATRICE_DANS_LA_VILLE_DE_SOLIMAN_TUNISIE_CAS_DE_SA_ZONE_INDUSTRIELLE_LORS_DE_L'EVENEMENT_PLUVIOMETRIQUE_DU_22_SEPTEMBRE_2018/links/5d84ad9192851ceb791cc8a5/INONDATION-DEVASTATRICE-DANS-LA-VILLE-DE-SOLIMAN-TUNISIE-CAS-DE-SA-ZONE-INDUSTRIELLE-LORS-DE-LEVENEMENT-PLUVIOMETRIQUE-DU-22-SEPTEMBRE-2018.pdf#page=152

Hồng Nga, N. (2017, novembre 18). Inondations meurtrières en Grèce : Après le deuil, l'évaluation des dégâts. lecourrier.vn.

Disponible sur : https://lecourrier.vn/inondations-meurtrieres-en-grece-apres-le-deuil-levaluation-des-degats/449798.html

• **Horton, R. E. (1945).** Erosional development of streams and their drainage basins; hydro physical approach to quantitative morphology. Geological Society of America Bulletin, 56(3), 275.

Disponible sur : https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2

• **Houbib, H. (2012).** Analyse Multicritères des composantes du Milieu à l'aide des techniques de la géomatique pour un aménagement intégré de la vallée d'Oued Mellagou- Bouhmama W. KHENCHELA [Université El Hadj Lakhdar -Batna].

Disponible sur : http://eprints.univ-batna2.dz/574/1/sce%20HOUBIB%20hanane.pdf

• **Humbert, J. (1982).** Cinq années de bilans hydrologiques mensuels sur un petit bassin-versant des Hautes-Vosges (1976-1980) : Le bassin du Ringelbach. Cinq années de bilans hydrologiques mensuels sur un petit bassin-versant des Hautes-Vosges (1976-1980): le bassin du Ringenbach, 19-20-21, 105-122.

Disponible sur : https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/39728/1/SOBEG%201990.pdf

- **drici, A. (2017).** Modélisation et simulation numérique d'écoulement d'eau à surface libre avec HEC-RAS : Cas d'Oued de Saida.
  Disponible sur : *https://butec.univ-saida.dz/admin/opac_css/doc_num.php?explnum_id=523*.
- **Isabelle, L. (1953, février).** Catastrophe naturelle dans des pays longeant la mer du Nord | Événements | Perspective Monde.
  Disponible sur : *https://perspective.usherbrooke.ca/bilan/servlet/BMEve/2020*.
- **Isabelle, L. (2005, août).** Déferlement de l'ouragan Katrina sur le sud des États-Unis | Événements | Perspective Monde.
  Disponible sur : *https://perspective.usherbrooke.ca/bilan/servlet/BMEve/937*.
- **Jabbour, D. (2006).** Étude expérimentale et modélisation de la dispersion en champ lointain suite à un rejet accidentel d'un polluant miscible dans un cours d'eau : Application à la gestion de crise.
  Disponible sur : *https://theses.hal.science/tel-00218245/document*.
- **JICA. (2014).** Consignes pour la gestion de la sécurité des travaux de construction de l'APD japonaise.
  Institution administrative indépendante, Agence japonaise de coopération internationale (JICA).
  Disponible sur :
  https://www.jica.go.jp/Resource/english/our_work/types_of_assistance/c8h0vm00008zx0m8-att/guidance_fr.pdf.
- **Kaada, D. E. (2004).** Correspondant au 29 décembre 2004. *Journal Officiel de la République Algérienne démocratique et populaire (JORA)*, Alger.
  Disponible sur : *https://www.joradp.dz/FTP/jo-francais/2004/F2004084.PDF*.
- **Ketrouci, K. (2014).** Application de modèles hydrologiques dans l'estimation des crues extrêmes en Algérie.
  Disponible sur : *https://docplayer.fr/55738944-Application-de-modeles-hydrologiques-dans-l-estimation-des-crues-extremes-en-algerie.html*.
- **Khandekar, M. L. (2010).** 2010 Pakistan Floods: Climate Change or Natural Variability? *CMOS Bulletin SCMO, 38(5)*.
  Disponible sur :
  https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=f83ef94976a575011813a34da3e66575b047d6cd.

- **Koerner, M. R. (1986).** Designing with Geosynthetics (Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.).

Disponible sur : https://www.semanticscholar.org/paper/Designing-with-Geosynthetics-Koerner/3467bd85470778986613f4b5d9f1c64aee4c9ee2

- **La croix. (2020, juillet 14).** En Chine, la crue du Yangzi Jiang menace la métropole de Wuhan. La Croix.

Disponible sur : https://www.la-croix.com/Monde/Asie-et-Oceanie/En-Chine-crue-Yangzi- Jiang-menace-metropole-Wuhan-2020-07-14-1201104937

- **Lang, M., Chastan, B., & Grelot, F. (2009).** La méthode Inondabilité : Appropriation par les hydrologues de la vulnérabilité dans le diagnostic sur le risque d'inondation. HAL, Post-Print.

Disponible sur : https://hal.science/hal-00493184

• **Layan, B., Dridri, A., Benaabidate, L., & Zemzami, M. (2007).** Détermination des crues de projet par les aspects du débit de pointe et de l'hydrogramme de crue au niveau de la commune Ain Boukellal, bassin versant de l'oued Larbaa, Maroc.

Disponible sur : https://doi.org/10.1051/lhb:200403008

• **Le CRSTRA. (2004, décembre).** Des journées techniques : risques naturels : inondation, prévision, protection.

Disponible sur : https://crstra.dz/telechargement/seminaires/les-actes-des-journees-techniques-risque-naturels-iniondatio.pdf

• **Ledoux, B. (2006).** La gestion du risque inondation.

Disponible sur : https://complements.lavoisier.net/9782743008291_la-gestion-du-risque-inondation_Sommaire.pdf

• **Mekaouche, N. (2017).** Contribution à l'étude hydro sédimentaire dans l'oued Agrioune a l'aval du barrage de Kharrat.

Disponible sur : http://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/handle/123456789/14085

• **MEN. (2022).** Document de synthèse : Informations générales pour l'examen des instruments relatifs aux accidents du travail et aux maladies professionnelles (Mécanisme d'examen des normes ; p. 13).

Disponible sur : https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_norm/---normes/documents/genericdocument/wcms_852784.pdf

• **Menad, W. (2012).** Risques de crue et de ruissellement superficiel en métropole méditerranéenne : Cas de la partie ouest du Grand Alger. Université Paris-Diderot - Paris.

https://theses.hal.science/tel-00787142/file/thA_se_Wahiba.pdf

• **Menad, W. (2019).** Approche modèle pour une prise en charge globale des risques hydrologiques dans le bassin méditerranéen. Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, 88, 21.

Disponible sur : https://doi.org/10.25518/0037-9565.8402

• **Nedelec, Y., Kao, C., & Chaumont, C. (2004).** Réduction des transferts de crues dans les bassins versants agricoles fortement drainés : État des connaissances et des recherches.

Disponible sur : https://hal.science/hal-00471236

• **Nouri, M., Ozer, A., & Ozer, P. (2016)**. Etude préliminaire sur le risque d'inondation en milieu urbain (Algérie). Geo-Eco-Trop : Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d'Écologie Tropicales, 40(3).

Disponible sur : https://orbi.uliege.be/handle/2268/204062

• **OIT. (2021).** Améliorer la sécurité et la santé au travail dans les petites et moyennes entreprises [manuel du participant]. 84.

Disponible sur : https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_dialogue/---lab_admin/documents/publication/wcms_792225.pdf

• **OMM. (2008).** Guide Des Pratiques Hydrologiques—Vol1 PDF | PDF | Hydrogéologie | Hydrologie : Vol. Volume 1 Hydrologie – De la mesure à l'information hydrologique (2008e éd.).

Disponible sur : https://www.scribd.com/document/406358185/Guide-des-pratiques-hydrologiques-Vol1-pdf#

• **OMM/UNISCO. (1992).** International Glossary of Hydrology—UNESCO Digital Library.

Disponible sur : https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000221862

• **Oujbbour, B. (2015).** Annonce de crue et la mise en place d'un système d'alarme dans le bassin de Guelmim—Sécheresse info.

Disponible sur : http://www.secheresse.info/spip.php?article72096

• **Pardé, M. (1968).** Les crues de novembre 1966 en Italie. Annales de géographie, 77(420), 187-193.

Disponible sur : https://doi.org/10.3406/geo.1968.15633

• **Parvis, M. (1950).** Drainage Pattern Significance in Air photo Identification Of Soils And Bedrocks. Photogrammetric Engineering.

Disponible sur : https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1950journal/jun/1950_jun_387-409.pdf

• **Racin, J. A., Hoover, T. P., Crossett Avila, C. M., & California. Dept. of Transportation. Office of Structural Foundations. (2000).** California Bank and Shore Rock Slope Protection Design: Practitioner's Guide and Field Evaluations of Riprap Methods (FHWA-CA-TL-95-10; p. 109).

Disponible sur : https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/40832

• **Roche, M. (1963)**. Hydrologie de surface.

Disponible sur :
https://www.pseau.org/outils/ouvrages/ird_hydrologie_de_surface_marcel_roche_1963.pdf

• **Roux, H. (2004).** Estimation de paramètres en hydraulique fluviale, à partir de données caractéristiques de l'imagerie aérienne [Phd].

Disponible sur : https://oatao.univ-toulouse.fr/7360/1/roux.pdf

• **Scarwell, H.-J., & Laganier, R. (2004).** Risque d'inondation et aménagement durable des territoires. Presses Univ. Septentrion.

Disponible sur : https://books.openedition.org/septentrion/15670?lang=fr

• **Schmidt, A., Ivanova, A., & Schäfer, M. S. (2013).** Media attention for climate change around the world: A comparative analysis of newspaper coverage in 27 countries. Global Environmental Change, 23(5), 1233-1248.

Disponible sur : https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.07.020

• **Sedrati, C. (2018).** Étude d'une retenue collinaire sur l'oued Charchar, commune de Hadjadj (Mostaganem) [mémoire de fin d'études]. École Nationale Supérieure d'Hydraulique -Arbaoui Abdellah-.

• **Smith, G. P., Davey, E. K., & Cox, R. (2014).** Flood Hazard. E Water Research Laboratory, School of Civil and Environmental Engineering, University of New South, 59.

Disponible sur : https://knowledge.aidr.org.au/media/2334/wrl-flood-hazard-techinical-report-september-2014.pdf

• **SPW. (2021, mars 4).** Carte de l'aléa d'inondation—Inondations en Wallonie. Inondations en Wallonie.

Disponible sur :
http://inondations.wallonie.be/cms/render/live/fr/sites/inondations/home/urbanisme/cartes-inondations/carte-alea-inondation.html

• **Strahler, A. N. (1952).** HYPSOMETRIC (AREA-ALTITUDE) ANALYSIS OF EROSIONAL
TOPOGRAPHY. Geological Society of America Bulletin, 63(11), 1117.

Disponible sur : https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2

• **Tabet-Aoul, M. (2008).** Impacts du changement climatique sur les agricultures et les ressources hydriques au Maghreb. CIHEAM, N ° 4 8, 6.

Disponible sur : http://portail2.reseau-concept.net/Upload/ciheam/fichiers/Nal_n%C2%B048_-_Changement_climatique.pdf

• **Takayama, R., Nakamura, R., Esteban, M., Mäll, M., & Ohizumi, K. (2023).** Pseudo global warming experiment of flood inundation in the upper White Volta River, Ghana. Journal of Hydrology: Regional Studies, 45, 101297.

Disponible sur : https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101297

• **Talha, H. (2014, novembre 25).** Maroc : Pluies et inondations meurtrières dans le Sud. Le Point.

Disponible sur : https://www.lepoint.fr/afrique/maroc-pluies-et-inondations-meurtrieres-dans-le- sud-25-11-2014-1884380_3826.php

• **Thomas, N. (2007).** Signalisation de santé et de sécurité au travail Réglementation (p. 68). INRS, Institut National de Recherche et de Sécurité.

Disponible sur : https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206293

• **Thouret, J.-C., & d'Ercole, R. (1996).** Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain : Effets, facteurs et réponses sociales. Cahiers des sciences humaines. ORSTOM, 32(2), 407.

Disponible sur : https://hal.science/hal-01180445

• **Touaibia, bénina. (2015).** Manuel pratique d'hydrologie (2ème Edition).

Disponible sur :
https://ia801004.us.archive.org/19/items/manuelpratiquedhydrologie/Manuel_pratique_d_hydrol ogie.pdf

• **Toumi, A. (2016).** Hydraulique à surface libre (cours & exercices). 197.

Disponible sur : https://dspace.univ-guelma.dz/jspui/bitstream/123456789/601/1/H.S.L%28Cours%20%26%20Exercices%29-01.pdf

• **UNISDR, C. (2015).** The human cost of natural disasters 2015 : A global perspective - World | ReliefWeb (p. 57). relief web.

Disponible sur : https://reliefweb.int/report/world/human-cost-natural-disasters-2015-global-perspective

• **Verlynde, N. (2018).** De la perception du risque d'inondation aux propositions d'adaptation en territoire de côtes basses densément peuplées : Le cas de la communauté urbaine de Dunkerque.

1.1.1.1.1.1.3 *Disponible sur :*

https://theses.hal.science/tel-02085107/preview/These_VERLYNDE_Nicolas.pdf

• **Veyret, Y., BEUCHER, S., & REGHEZZA, M. (2004)**. Les risques. (Comprendre Rechercher, S'entraîner). Quercy, Bréal, 17-47.

Disponible sur : https://journals.openedition.org/rge/2423

• **Vinet, F. (2003).** Crues et inondations dans la France méditerranéenne. Les crues torrentielles des 12 et 13 novembre 1999 (Aude, Tarn, Pyrénées-Orientales et Hérault).

Disponible sur : https://hal.science/hal-01895590/document

Ben Ali Aghogal, H. (2022). *Contribution à l'étude qualitative des eaux d'irrigation de source et forage de T'kout, wilaya de Batna*. Mémoire de fin d'études, Université de Biskra.