الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية وزارة
التعليم العالي والبحث العلمي

NATIONAL HIGHER SCHOOL FOR HYDRAULICS
"The Mujahid Abdellah ARBAOUI"

المدرسة الوطنية العليا للري
"المجاهد عبد الله عرباوي"
ⴰⵢⵙⵙⴰⵏ ⴰⵢⵏⵏⵍⵍⵓ ⵉⵎⵉⵙⵙⵉⵍⵏ ⵏ ⵜⵎⵙⵓⵍⵉⵜ

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplome d'ingénieur d'état en Hydraulique

Option: CONCEPTION DES OUVRAGES HYDROTECHNIQUES

THEME:

Étude de protection contre les inondations de la station de pompage de l'Oued SEBAOU (Tizi-Ouzou).

Présenté par:

AMEROUALI Souad

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
A. ZEROUAL	M.C.A	Président
S. TOUMI	M.C.B	Examinateur
D.E. BOURI	M.C.B	Examinateur
N. LAOUCHE	M.C.B	Examinateur
A. HACHEMI	M.C.B	Promoteur

Session: Décembre 2024

Dédicace

J'ai le plaisir de dédier ce travail à :

*A ma chère mère **Noura**,*

*A mon cher père **Djilali**,*

Aucun mot, aussi signifiant soit-il, ne saurait exprimer le degré d'affection, de gratitudes, de respect et de reconnaissance que j'éprouve pour vous. Votre présence à mes cotes m'a toujours apporté confiance et réconfort. Vous n'avez cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, toujours présent à mes côtés pour me consoler quand il fallait et vos conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite.

Que dieu vous procure longue vie avec bonheur et santé chers parents, dont la mérite, les sacrifices et les qualités humaines m'ont permis de vivre ce jour.

*A mes frères **ABDESALEM. ABDELHAK**. Pour leur encouragement et leur bonté qu'il m'ont accordé, j'exprime ma profonde reconnaissance et mon grand respect.*

*A **Imane**, Ma meilleur amie ma sœur, ma confidente, tu es cette personne qui illumine mes journées par ta présence, ton sourire et ta bienveillance. Avec toi, chaque moment devient inoubliable, chaque épreuve plus facile à surmonter. Merci d'être toi, une amie exceptionnelle et irremplaçable.je suis tellement chanceuse de t'avoir dans ma vie. Cette dédicace est un petit rappel de l'immense place que tu occupes dans mon cœur.*

A tous ceux qui me sont chers, je dis : je vous aime de tout mon cœur pour la vie.

AMEROUALI Souad

Remerciement

Avant tout, je rends grâce à Dieu Tout-Puissant et Miséricordieux, qui m'a accordé la force, la patience, et entouré des personnes et des moyens nécessaires pour mener à bien ma formation et achever ce mémoire.

Je tiens à adresser ma profonde gratitude à mon encadrant, ***HACHEMI.Abdelkader****, pour son accompagnement, ses précieux conseils et sa disponibilité tout au long de ce travail. Son expertise et ses encouragements ont été déterminants dans la réussite de ce projet.*

Mes remerciements s'adressent également à ***M. ZEROUAL Ayoub*** *ainsi qu'à l'ensemble des professeurs de l'École Nationale Supérieure d'Hydraulique (ENSH), dont les enseignements de qualité ont enrichi mes années d'études et m'ont permis d'acquérir de solides compétences.*

Je suis également reconnaissant aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail. Leurs remarques et suggestions ont été d'une grande valeur et ont permis d'en affiner la qualité.

Un merci particulier à ***Mr Ait Si Amer, Dehbia, Dihia, Amar et Mustapha****, qui ont généreusement partagé leur savoir et leurs précieuses informations. Leur disponibilité, leur patience et leurs conseils avisés m'ont permis de surmonter les difficultés rencontrées et d'aboutir à une étude rigoureuse et approfondie.*

À ma chère meilleure amie et sœur de cœur, ***BOUCHIBANE Imane****,*
Il m'est difficile de trouver les mots justes pour exprimer toute la gratitude et l'amour que je ressens pour toi. Ta présence à mes côtés, ton soutien inébranlable, et ta capacité à illuminer les moments les plus difficiles m'ont été essentiels tout au long de ce parcours.

Merci pour ton écoute attentive, ta patience, et tes précieux conseils. Dans les moments de doute, tu as toujours trouvé les mots justes pour m'encourager et me rappeler que je pouvais surmonter n'importe quel obstacle. Tu as été une source infinie de motivation et de sérénité, et ta générosité de cœur a grandement contribué à ce que j'atteigne cet objectif.

Plus qu'une amie, tu es une sœur, une alliée de tous les instants. Ce mémoire est en partie le reflet de la force que tu m'as aidé à puiser en moi. Merci d'être toi, avec ton immense gentillesse et ton dévouement sans faille.

À ma famille, et tout particulièrement à mes parents et mes frères ***Abdesselam*** *et* ***Abdelhak****, je ne peux que témoigner une gratitude infinie. Votre amour, votre soutien indéfectible et votre foi en mes capacités ont été ma plus grande source d'inspiration tout au long de mon parcours académique.*

Enfin, je remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire. Que ce soit par des échanges enrichissants, des conseils ou simplement leur présence, chaque contribution a compté.

AMEROUALI Souad

ملخص

من اجل تحسين إمدادات الشرب لمدينة تيزي وزو الجزائر بومرداس، بهدف تعزيز مساهمات سد تكسبت خلال فترة الجفاف المائي هذه، تم انشاء نظام نقل المياه والذي يتكون من استعادة كمية من المياه من وادي سيباو عبر نظام ضخ بطاقة 270 ألف م^3/ يوم. في مارس 2023، غمرت المياه محطة الضخ هذه بسبب الغمر الناجم عن فيضانات سيباو.

الهدف الرئيسي من هذا المشروع هو تحديد الأبعاد اللازمة لنظام الحماية الهيدروليكية لحماية محطة الضخ من فيضانات واد سيباو وواد عيسى التي تدوم لمائة عام. في البداية قمنا بعرض منطقة الدراسة. ثم تم إجراء دراسة هيدرولوجية لتحليل هطول الأمطار وقياس معدلات التدفق. اخيرا، تم إجراء دراسة هيدروليكية معمقة باستخدام برنامج المحاكاة لتحديد المناطق المعرضة للفيضانات. خلال هذه الدراسة الهيدروليكية تم اقتراح خيارين للحماية في النهاية تم اختيار خيار واحد ودراسته بالتفصيل.

الكلمات المفتاحية الحماية، واد سيباو، واد عيسى، الفيضانات، نظام الضخ.

Résumé :

Afin d'améliorer l'alimentation en eau potable du couloir Tizi-Ouzou-Alger-Boumerdès et de renforcer les apports du barrage de Taksebt durant cette période de sécheresse, un système de transfert a été mis en place. Il repose sur le pompage de 270 000 m³/jour depuis l'oued Sebaou. Cependant, en mars 2023, la station de pompage a été inondée en raison d'une crue ayant provoqué sa submersion.

L'objectif de ce projet est de concevoir un aménagement hydraulique permettant de protéger la station contre les crues centennales des oueds Sebaou et Aissi. Pour cela, nous avons d'abord présenté la zone d'étude, puis réalisé une analyse hydrologique afin d'examiner les précipitations et d'estimer les débits. Une étude hydraulique approfondie a ensuite été menée avec le logiciel HEC-RAS pour identifier les zones inondables et évaluer les risques. Deux variantes d'aménagement ont été proposées, avant qu'une solution optimale ne soit retenue et étudiée en détail.

Mots clés : protection ; oued Sebaou ; oued Aissi ; Crues centennales ; station de pompage.

Abstract :

In order to improve the drinking water supply of the Tizi Ouzou-Algiers-Boumerdes corridor and with the aim of strengthening the contributions of the Taksebt dam during this period of drought, a water transfer system was designed. This system consists of recovering a quantity of water from Wadi Sebaou through a pumping system with a capacity of 270,000 m^3/day. In March 2023, this pumping station flooded due to submersion caused by the Sebaou floods. The main objective of this project is to determine the necessary dimensions of a hydraulic development system to protect the pumping station against the hundred-year floods of Wadi Sebaou and Wadi Aissi. First, the study area was presented. Then, a hydrological study was carried out to analyze precipitation and quantify flow rates. Finally, an in-depth hydraulic study was conducted using the HEC-RAS software to define flood zones and assess flood risks. During this hydraulic study, two development variants were proposed. Ultimately, one variant was selected and studied in detail.

Key words : protection ; wadi Sebaou ; wadi Aissi ; Centennial floods ; pumping station

Tables des matières :

Chapitre I : Problématiques des inondations en Algerie dans un contexte de changement climatique

I.1. Aléa, enjeux et vulnérabilité 5

I.1.1. Les enjeux : 5

I.1.2. L'aléa 5

I.1.3 La vulnérabilité 6

I.1.4. Le risque 7

I.2.Le processus de formation des crues 8

I.2.1.Les causes principales des crues 8

I.2.2.Les étapes du processus de formation des crues 9

I.2.3.Types de crues 9

I.2.4.Facteurs influençant la formation des crues 10

I.2.5. conséquences des crues 10

I.3.principaux paramètres nécessaires pour évaluer une catastrophe liée a une inondations ... 10

I.3.1. paramètres physiques 14

I.3.2. paramétres humains et socio-économiques 15

I.3.3.paramétres environnementaux 16

I.3.4. outils et méthodes d'évaluation des paramètres 16

I.4 Paramètres fondamenteaux du cours d'eau 13

I.4.1Lits du cours d'eau 13

I..5. Types d'inondation 17

I.5.1. Inondations de plaine 18

I.5.2.Les inondations par ruissellement urbain 15

I.5.3les inondations par remontée de nappe phréatique 16

I.5.4.inondation par crue torrentielles 16

I.5.5.Inondation marine 17

I.5.6. Les inondations par rupture d'ouvrage hydraulique 18

I.6. les inondations en Algérie 18

I.7. La crue de l'oued Sebaou 20

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.1. Présentation de la zone d'étude 24
II.2. Situation géographique 25
II.3. Géologie 26
II.3.1 situation de la zone d'étude dans l'orogène alpin péri-méditerranéen……..…26
II.3.2. Géologie des unités morpho-structurale : 27
II.3.3. Sismicité de la région d'étude 29
II.4. Pédologie : 30
II.5. Végétation : 30
II.6. La Situation climatologique : 31
II.6.1. Le vent : 31
II.6.2. La température : 32
II.6.3. L'humidité relative de l'air : 32

CHAPITRE III : Etude Hydrologique

III.1 Bassin versant : 34
III.1.1 Caractéristiques Principale du bassin versant : 34
III.1.2. Caractéristiques morphologiques : 34
III.1.3. Caractéristiques géométriques : 35
III.1.4. Caractéristiques hydrographiques : 41
III.1.4.1 Etude du relief 41
III.1.4.2. Courbe hypsométrique : 41
III.1.4.3 les indices de pente ……47
III.1.5 Étude du réseau hydrographique : 54

CHAPITRE IV : Etude des précipitation maximale journalière

IV.1 Equipement du bassin versant 62
IV.2 Analyse de l'homogénéité des données ponctuelles 63
IV .2.1. Reconstitutions des données manquantes et extensions des séries : 70
IV.2.2 Traitement statistique des précipitations annuelles : 75
IV.3. Calcule de la lame d'eau précipitée sur le bassin versant 76
IV.3.1 Méthode arithmétique : 77
IV.3.2 Méthode des polygones de Thiessen 77

II.3.3 Méthode des isohyètes 79
IV.5 Etude des précipitations maximale journalière 81
IV .5.1 choix du modèle fréquentiel 86
II.5.1.1Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL : 87
IV.5.1.2 Ajustement de la série pluviométrique à la loi log normale 91
IV.5 Choix de la loi d'ajustement 95
IV.6 Pluies fréquentielles de courte durée 95

CHAPITRE V : Estimation des débits de crues des cours d'eau

V.1 Détermination des débits maximaux de crue : 103
V.1.1 Formule de GIANDOTTI 103
V.1.2 Formule de TURAZZA : 104
V.1.3 Formule de POSSENTI : 105
V.1.4Formule de SOKOLOVSKY : 106
V.2. Choix du débit de crues (débit de dimensionnement) 108
V.3. Hydrogramme de crue : 108
V.4 Choix de la crue de projet : 116
V.5 Etude des apports : 116
V.6 Répartition mensuelle de l'apport moyen 118
V.6.1 Etude des caractéristiques de l'écoulement 118

CHAPITRES VI : diagnostic et modélisation du cours d'eau non aménagé

VI.1. Généralités 125
VI.1.1 Ecoulement à surface libre 125
VI.1.2 Types découlement 126
VI.1.3 Régime découlement 129
VI.1.4. Canaux à ciel ouvert 131
VI.1.4.1. Type de canaux 132
VI.1.4.2. Propriétés des canaux 133
VI.1.4.2.1 proprieté géométrique 132
VI.1.4.2.2 propriétés hydrauliques 132
VI.2 Diagnostique et modélisation du cours d'eau sans Aménagement : 135
V.2.1 Descriptive de la station de pompage 135
VI.2.2 Descriptif du réseau : 136

VI.3. Simulation de l'écoulement du cours d'eau : 141
VI.3.1 Choix du type de modèle hydraulique : 141
VI.3.2 Présentation du logiciel HEC-RAS :..... 141
VI.4.2.1 Fonctionnement de HEC-RAS :..... 142
VI.4.3 Application d'HECRAS sur l'Oued :..... 142
VI.4.3.1 Banque de données nécessaire à l'application du modèle HEC RAS :..... 142
VI.4.3.2 Les données géométriques : 143

CHAPITRE VII : Etude des variantes d'aménagement

VII.1. Les différents types d'aménagements pour lutter contre les inondations 157
VII.1.1 Protection directe 157
VII.1.2. Protection indirecte..... 159
VII.2.Endiguement du cours d'eau :..... 159
VII.2.1 Caractéristiques des digues de protection contre les inondations :..... 161
VII.3 Etude des variantes : 162
VII.4. Le choix de la digue……161
VII.5 Stabilité de la digue 162
VII.6 Principe de réalisation du plan de la digue 162

CHAPITRE VIII : Organisation du chantier

VIII.1 Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier..... 167
VIII.1.1 Le Maitre de l'ouvrage 167
VIII.1.2 Le Maitre d'œuvre..... 168
VIII.1.3 Entrepreneur 169
VIII.1.3.1 Roles et responsabilités de l'entrepreneur ……169
VIII.1.4 Le Géotechnicien……..……...170
VIII.1.5 Le conducteur de travaux…….170
VIII.1.6 Les fournisseurs de matériaux……..……...170
VIII.1.7 Les controleurs de la qualité et de sécurité……..……171
VIII.2 Installations du chantier :..... 171
VII.2.1 Installations destinées au personnel..... 171
VII.2.2 Installations destinées au stockage des matériaux :..... 171
VIII.2.2.1 La grille en acier galvanisé :..... 171
VIII.2.2.2 Agrégats..... 171

VIII.2.2.3 Le béton 171
VIII.2.2.4 Le Ciment et les aciers 172
VIII.2.2.5 Le géotextile 172
VIII.2.2.6 L'énergie électrique : 172
VIII.2.2.7 L'alimentation en eau potable 172
VIII.2.2.8 L'alimentation en carburant 172
VIII.2.2.9 Installations destinées à la réparation des engins 173
VIII.2.3 Installations pour la préfabrication 173
VIII.3 Les moyens de chantier : 173
VIII.3.1 Les moyens humains : 173
VIII.3.2 Les moyens matériels : 173
VIII.4 Objectif de l'installation de chantier : 174
VIII.5. Devis quantitatif et estimatif du projet : 175

Table des figures :

CHAPITRE I

Figure I.1: les risques d'inondation (source https://multirisques.univ-rouen.fr) 7
Figure I. 2:lit mineur d'un cours d'eau (Ledoux.B,2006) 13
Figure I. 3 : Lit majeur d'un cours d'eau (Ledoux.B,2006) 14
Figure I.4 : Inondation de plaine (www.Noe.gard.fr) 15
Figure I.5: Inondation par ruissellement (https://inondations-agglo-toulousaine.fr) 15
Figure I. 6: Inondation par remontée de nappe (https://www.georisques.gouv.fr) 16
Figure I.7: Inondation par crue torrentielles(https://image.jimcdn.com) 17
Figure I. 8 : Inondation par submersion marine (https://www.eaufrance.fr) 17
Figure I.9:Inondation par débordement au-dessus de la digue 18
Figure I. 10 : Station de pompage d'oued Sebaou (crédit photo : AMEROUALI Souad) 21
Figure I.11: Station de pompage inondé (crédit photo : AMEROUALI Souad) 21

CHAPITRE II

Figure II.1: Présentation de la zone d'étude 25
Figure II.2 : Carte des sous bassins versant du Sebaou (source. ANRH) 26
Figure II.3: Carte Géologique 1/50000 de Tizi Ouzou-dellys (publier en 1984 par institut national de cartographie) (source ANRH Alger) 27
Figure II.4: Les grandes unités morpho structurales de la grande Kabylie (flandrin 1952) ... 28
FigureII.5 : Situation de la zone étudiée dans l'orogène alpine périméditerranéenne (M. durant Delga ,1969) 28
Figure II.6: Carte des zones séismiques du Nord algérien. 29

CHAPITRE III

Figure III.1 :la forme du bassin versant en fonction de l'indice de Gravelius(KG) 36
Figure III.2: Rectangle équivalent du bassin versant de l'oued Sebaou 38
Figure III.3: Rectangle équivalent du bassin versant de l'oued Aissi (source, logiciel Autocad) 40
Figure III.4: Carte hypsométrique des sous bassins versant oued Sebaou et oued Aissi 42
Figure III.5: Répartition des surfaces et la courbe hypsométrique du sous bassin versant oued Sebaou 43
Figure III.6: Répartition des surfaces et la courbe hypsométriques du sous bassin versant oued Aissi 44
Figure III.7: Carte des pentes pour les sous bassins versant oued Sebaou et oued Aissi 47
Figure III.8: Carte des courbes de niveaux des sous bassins versant Sebaou et Aissi 48
Figure III.9: Réseau hydrographique des sous bassins versants Sebaou et Aissi 55

CHAPITRE IV

Figure IV.1: Homogénéisation des précipitations à la station Makouda 65
Figure IV.2 : Homogénéisation des précipitations à la station Azeib Mizrana 66
Figure IV .3 : Homogénéisation des précipitations à la station Yakouren 68
Figure IV.4: Homogénéisation des précipitations à la station Benni Yeni 70
Figure IV.5 : Régression linéaire simple entre Tizi Ouzou et Makouda 71
Figure IV.6: Régression linéaire simple entre Tizi Ouzou et Yakouren 72
Figure IV.7: Régression linéaire simple entre Tizi Ouzou et Beni Yenni 72
Figure IV.8: Hauteurs des précipitations moyennes annuelles de différentes stations. 75
Figure IV.9: Polygone de thiessen 78
Figure IV.10: Méthode des isohyètes 80
Figure IV.11: Représentation des observations sur papier normale 84
Figure IV.12: Histogramme des observations 84
Figure IV.13:Représentation des observations de la station Beni Yenni sur papier normale .. 85
Figure IV.14: Histogramme des observations de la station Beni Yenni 86
Figure IV.15: Représentation graphique de la loi de GUMBEL de la station Yakouren 89
Figure IV.16: Représentation graphique de la loi de GUMBEL de la station Beni Yenni 91
Figure IV.17 : Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Log Normale de la station Yakouren 93
Figure IV.18: Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Log Normale de la station Beni Yenni 95
Figure IV.19 : Courbes des pluies de courte durée fréquentielle du bassin versant d'oued Sebaou 97
Figure IV.20 : Courbes intensité durée fréquence 97
Figure IV.21: Courbes des pluies de courte durée fréquentielle du bassin versant d'oued Aissi 99
Figure IV.22 : Courbes intensité durée fréquence 99

CHAPITRE V

Figure V.1 : Hydrogramme de crues pour différentes périodes de retour d'oued Sebaou 113
Figure V.2: Hydrogramme de crues pour différentes périodes de retour d'oued Aissi 115

CHAPITRE VI

Figure VI.1. Ecoulement permanent 126
Figure VI.2. Ecoulement non permanent 127
Figure VI.3 : Schéma illustrant les différents types découlements (source, Wikipédia) 129
Figure VI.4 : Passage d'un régime fluvial au régime torrentiel (source, Toumi Abdelouaheb,2016) 130

Figure VI.5: Géométrie d'un canal naturel 132
Figure VI.6 : Types de canaux artificiels (couvert et découvert) 133
Figure VI.7 : Image de la station de pompage 136
Figure VI.8 : Image de la digue en Gabion 137
Figure VI.9: Les trois images Représente le canal d'amené en béton cyclopéen 138
Figure VI.10 : Deux images du bassin de décantation prise sur chantier..……..……138

Figure VI.11 : Image du canal d'alimentation 140
Figure VI.13: Logiciel HEC-RAS d'hydrologie Engineering Center 141
Figure VI.14 : TIN de la zone d'étude 144
Figure VI.15: Définition du tracée de l'oued Sebaou et des sections en travers de l'oued 145
Figure VI.16 : Introduction du débit correspondant à 100 ans 146
Figure VI.17 : Fenêtre de simulation pour le régime mixte 147
Figure VI.18 : Profil en long d'oued Sebaou pour une crue centennale 149
Figure VI.19 : Courbe de tarage du tronçon modélisé oued Sebaou 149
Figure VI .20 : Les profils en travers des cinq sections choisies d'oued Sebaou 151
Figure VI .21 : Profil en long d'oued Aissi pour une crue centennale 153
Figure VI.22: Les profils en travers des trois sections choisies d'oued Aissi 154

CHAPITRE VII

Figure VII.1 : coupe en travers de la digue en Gabion coté oued Aissi (source : logiciel Covadis……..……163

Figure VII.2 : coupe en travers de la digue en Gabion coté oued Sebaou (source : logiciel Covadis)……163

CHAPITRE VIII

Figure VIII.1: Relation entre les personnes du chantier 170

Liste des tableaux :

CHAPITRE I

Tableau I.1: Recensement des inondations catastrophiques en Algérie(1980-2023)..... 19

CHAPITRE II

Tableau II.1 : Température moyenne mensuelles de l'air (en °C) maximale, minimale, moyennes) enregistré à Tizi Ouzou période 2015 à 2020 (Source ONM de Tizi Ouzou) 31
Tableau II.2: Moyenne mensuelles des vitesses du vent (Source : ONM) 31
Tableau II.3: Température relative moyenne en 2019..... 32
Tableau II.4: Moyenne mensuelle de l'humidité (1989-2005)..... 32

CHAPITRE III

Tableau III.1: Les données de base du rectangle équivalent du bassin versant d'oued Sebaou 37
Tableau III.2 : Les données de base du rectangle équivalent du bassin versant d'oued Aissi 39
Tableau III.3 : Les paramètres hydro-morphométriques des sous bassins. 41
Tableau III.4: Répartition hypsométrique du bassin versant d'oued Sebaou..... 43
Tableau III.5: Répartition hypsométrique du bassin versant d'oued Aissi 44
Tableau III.6 : Répartition altimétrique des superficies du bassin versant d'oued Sebaou..... 46
Tableau III.7 : Répartition altimétrique des superficies du bassin versant d'oued Aissi 46
Tableau III.8: Pente moyenne de sous bassin oued Sebaou..... 49
Tableau III.9: pente moyenne de sous bassin oued Aissi..... 50
Tableau III.10 : Calcule de l'indice de pente de Roche du bassin versant de l'oued Sebaou.. 51
Tableau III.11 : Calcule de l'indice de pente de Roche du bassin versant de l'oued Aissi..... 51
Tableau III.12: Classification ORSTOM du relief à partie de l'indice de pente globale..... 52
Tableau III.13: Classification des reliefs d'après l'O.R.S.T.O.M..... 53
Tableau III.14 : Résultats de calculs des pentes et la dénivelée spécifique du sous bassin (Oued Sebaou)..... 54
Tableau III.15: Résultat de calculs des pentes et la dénivelée spécifique du sous bassin (Oued Aissi) 54
Tableau III.16: Valeur retenues du temps de concentration pour les deux bassins versants... 58
Tableau III.17: paramètres hydrographiques des deux sous bassins versants. 58
Tableau III.18: Caractéristiques géomorphologiques des deux sous bassins versants 59

CHAPITRE IV

Tableau IV.1: Caractéristiques des stations pluviométriques 63
Tableau IV .2: Homogénéisations des données de la station Makouda par apport à celle de Tizi Ouzou 64
Tableau IV .3 : Homogénéisations des données de la station Azeib Mizrana par apport à celle de Tizi Ouzou 65
Tableau IV.4 : Homogénéisations des donnés de la station Yakouren par apport à celle de Tizi Ouzou 67
Tableau IV .5 : Homogénéisations des données de la station Beni Yenni par apport à celle de Tizi Ouzou 69
Tableau IV.6 : Coefficients de corrélation et droites de régression 73
Tableau IV.7 : La pluviométrie annuelle de chaque station en (mm) 74
Tableau IV.8 : Paramètres statistiques des séries pluviométriques 76
Tableau IV.9: Calcule de la précipitation moyenne par la méthode de Thiessen pour le bassin versant d'oued Sebaou 78
Tableau IV.10 : Calcule de la précipitation moyenne par la méthode de Thiessen pour le bassin versant d'oued Aissi 79
Tableau IV.11: Calcule de la précipitation moyenne par la méthode des isohyètes pour le bassin versant d'oued Sebaou 80
Tableau IV .12 : Calcule de la précipitation moyenne par la méthode des isohyètes pour le bassin versant d'oued Aissi 81
Tableau IV.13: Récapitulatif des résultats obtenus par les différentes méthodes 81
Tableau IV .14: Série des précipitations maximales journalière 82
Tableau IV.15: Caractéristique de la série de données de la station Yakouren avec N=30 ans 83
Tableau IV.16 : Caractéristique de la série de données de la station Beni Yenni avec N=30 ans 85
Tableau IV.17: Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL (Station Yakouren) 88
Tableau IV.18 : Comparaison des caractéristiques de la loi GUMBEL et de l'échantillon 88
Tableau IV.19: Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL (station Beni Yenni) 89
Tableau IV.20 : Comparaison des caractéristiques de la loi GUMBEL et de l'échantillon (station Beni Yenni) 90
Tableau IV.21: Résultats de test d'homogénéité 92
Tableau IV.22 : Résultat de l'ajustement à la loi de Galton. (Station Yakouren) 92
Tableau IV.23 : Comparaison des caractéristiques de la loi log normale et de l'échantillon . 93
Tableau IV.24 : Résultat de l'ajustement à la loi de Galton (station Beni Yenni) 94
Tableau IV.25: Comparaison des Caractéristiques de la loi de log normale et de l'échantillon 94
Tableau IV.26:Pluies et intensités de courtes durées(stationYakouren) ……..….96
Tableau IV.27: Pluies et intensités de courtes durées (station Beni Yenni) 98

CHAPITRE V

Tableau V.1: Débit maximum des crues de différentes périodes de retour pour le bassin versant d'oued Sebaou par la formule de GIANDOTTI..... 104
Tableau V.2 : Débit maximum des crues de différentes période de retour pour le bassin versant d'oued Aissi par la formule de GIANDOTTI 104
Tableau V.3. Débit maximum des crues de différentes périodes de retour pour le bassin versant d'oued Sebaou par la formule de TURAZZA 105
Tableau V.4 : Débit maximum des crues de différentes périodes de retour pour le bassin versant d'oued Aissi par la formule de TURAZZA..... 105
Tableau V.5 : Débit maximum des crues de différentes périodes de retour pour le bassin versant d'oued Sebaou par la formule de POSSENTI..... 106
Tableau V.6: Débit maximum des crues de différentes périodes de retour pour le bassin versant d'oued Aissi par la formule de POSSENTI..... 106
Tableau V.7: Débit maximum des crues de différentes périodes de retour pour le bassin versant d'oued Sebaou par la formule de SOKOLOVSKY..... 107
Tableau V.8: Débit maximum des crues de différentes périodes de retour pour le bassin versant d'oued Aissi par la formule de SOKOLOVSKY 107
Tableau V.9: Débit maximum de crue pour différent période de retour pour le bassin versant d'oued Sebaou..... 107
Tableau V.10 : Débit maximum de crue pour différent périodes de retour pour le bassin versant d'oued Aissi..... 108
Tableau V.11: Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue δ..... 110
Tableau V.12: Tableau récapitulatif des temps de concentration, de montée et de décrue d'oued Sebaou..... 110
Tableau V.13: Débit de crues pour différentes périodes de retour d'oued Sebaou 111
Tableau V.14: Tableau récapitulatif des temps de concentration, de montée et de décrue d'oued Aissi 113
Tableau V.15: Débits de crues pour différentes périodes de retour d'oued Aissi 114
Tableau V.16 : Résultats de calcule d'apport liquide par la formule DERIE II..... 117
Tableau V.17: Résultats de calcule d'apport liquide par la formule ANRH 117
Tableau V.18: Résultats de calcule d'apport liquide par la formule de MEDINGUER..... 118
Tableau V.19: Module d'écoulement de chaque sous bassin..... 118
Tableau V.20: Module d'écoulement relatif de chaque sous bassin 118
Tableau V.21: Lame d'eau écoulée de chaque sous bassin..... 118
Tableau V.22 : Coefficient d'écoulement de chaque sous bassin……..118
Tableau V.23: Coefficient de variation avec la formule SOKOLOVSKY..... 120
Tableau V.24: Coefficient de variation avec la formule L'ANTONOV 121
Tableau V.25: Coefficient de variation avec la formule de KRISTLY MENKEL 121
Tableau V.26: Coefficient de variation avec la formule Algérienne 122
Tableau V.27: Résultats du calcul de coefficient de variation..... 122

CHAPITRE VI

Tableau VI.1: Récapitulatif des résultats de la simulation de l'écoulement pour la période de retour T=100 ans d'oued Sebaou (source : Logiciel HEC-RAS) 152
Tableau VI.2: Récapitulatif des résultats de la simulation de l'écoulement pour la période de retour T=100ans d'oued Aissi (source : Logiciel HEC-RAS) 155

CHAPITRES VIII

Tableau VIII.1: Engins utilisés 174
Tableau VIII.2: Le devis des différents travaux de l'aménagement du projet sur oued Sebaou et oued Aissi (variante 01)..... 176
Tableau VIII.3: Le devis des différents travaux de l'aménagement du projet sur Oued Sebaou et Oued Aissi (variante 02)..... 176

ANNEXES :

Tableau I : la pluviométrie annuelle de chaque station en (mm)…… IV

Liste des planches :

Planche n°1 : vue en plan

Planche n°2 : plan de masse

Planche n°3 : schéma synoptique du projet

Planche n°4 : plan d'aménagement de la protection de la station de pompage (variante -1-)

Planche n°5 : coupe en travée protection de la station de pompage variante -1-

Planche n°6 : plan d'aménagement de la protection de la station de pompage (variante -2-)

Planche n°7 : coupe en travée protection de la station de pompage variante -2-

Liste des abréviations :

Abréviations	Signification
ANRH	Agence Nationale des ressources hydraulique
HEC-RAS	Hydrologique Engineering Center's River Analysis System
OMM	L'organisation météorologique mondiale
MNT	Model numérique du terrain
ONA	Office national d'assainissement
ONM	Office national de la Météorologie
SONATRACH	Société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation, et la commercialisation des hydrocarbures
SIG	Système d'information Géographique
BA	Béton Armé
BV	Bassin versant
Ca	Coefficient d'allongement
CP	Coefficient de pointe
DA	Dinar Algérien
Dd	Densité de drainage km/km^2
Ds	Le Transport Solide en (t/km^2/an)
Fr	Nombre de Froude
I	Pente hydraulique
IBV	Pente du bassin versant
Ic	Pente du thalweg principale (%)
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
KG	L'indice de compacité de Gravelius
Kc	Indice de compacité
Le	Lamme d'eau écoulée (mm)
G	Accélération due à la gravité
P	Périmètre (km)
Pj.max	Pluie maximal journalière (mm)
PPRI	Plan de prévention du risque Inondation
Qmoy	Débit à l'instant t (m^3/s)
RC	Rapport de la confluence
RH	Rayon hydraulique (m)
S	Surface du Bassin versant
SBV	Sous Bassin versant
SEACO	La société de l'eau et de l'assainissement de Constantine
Sm	Surface mouillée (km^2)
SST	Sécurité et de santé au travail
Tb	Temps de base (h)
Tc	Temps de Concentration(heures)
Td	Temps de décrue (h)
Tm	Temps de montée de la crue (heures)
Tr	Temps de réalisation
Vr	Vitesse de ruissellement(km/h)

Outils du travail :

Arc GIS :

Arc Gis est un système d'information géographique (SIG) développé par Esri (Environnemental Systems Research Institue) conçu pour collecter, gérer, analyser et visualiser des données spatiales et géographiques. Il s'agit d'une plateforme logicielle qui permet de créer es cartes interactives, d'analyser des relations spatiales, et de résoudre des problèmes en utilisant des données géolocaliser . ArcGIS permet la publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être accessibles et utilisables par quiconque.la suite comprend des applications telles que :

- ✓ **ArcMap :**

  Fonction : éditer des fichiers au format géodatabase.

  Utilisation : Cartographie et analyse géospatiale.

- ✓ **ArcCatalog :**

  Fonction : Gérer les données ; permettant d'obtenir des informations détaillées sur les objets édités.

  Utilisation : Système de gestion de bases de données géographiques.

- ✓ **ArcToolbox :**

  Fonction : Regrouper des outils dédiés à la transformation des données.

  Utilisation : Faciliter les opérations de traitement et d'analyse sur les données géographiques.

HYFRAN :

Le logiciel HYFRAN-PLUS permet d'ajuster un nombre important de distribution statistiques à une série de donnée qui vérifient les hypothèses d'indépendance, d'homogénéité et de stationnarité. Un système d'aide à la décision (SAD) a été développé pour permettre de choisir la classe de distributions la plus adéquate pour estimer le quantile de période de retour élevé

- **HEC-RAS :**

  Hydrologic engineering centers river Analysis system (système d'analyse des rivières du centre d'ingénierie hydrologique) est un logiciel de modélisation hydraulique destiné à simuler l'écoulement dans les cours d'eau et les canaux.

  HEC-RAS permet de simuler les caractéristiques hydrauliques, telles que les débits, les niveaux d'eau et les vitesses d'écoulement, afin d'évaluer les risques d'inondation.

- **Ras Mapper :**

  Est un module intégré au logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering center's River Analysis System), dévloppé par le US Army Corps of Engineers.ce module est utilisé pour la gestion, la visualisation et l'analyse des données spatiales associées aux modèles hydrauliques et hydrologiques.

  Applications principales de RAS Mapper :

  - **Modélisation des inondations** : délimitation des zones inondables en fonction de différents scénarios hydrologiques.
  - **Planification urbaine** : Evaluation de l'impact des infrastructures sur les écoulements d'eau et les risques d'inondation.
  - **Gestion des crues** : identification des zones à risque pour la mise en œuvre de mesures de protection.
  - **Etude environnementales** : Analyse des impacts des changements climatiques ou des modifications du paysage sur les systèmes fluviaux.

- **Autocad :**

Est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) dévloppé par Autodesk, largement utilisé dans des domaines tels que l'architecture, l'ingénierie, la construction, et là le design industriel.il permet de créer modifier et visualiser des dessins techniques en 2D et des modèles tridimensionnels(3D).

Introduction Générale

Introduction Générale

Les ressources en eau de surface de la wilaya de Tizi-Ouzou proviennent principalement des écoulements des oueds Sebaou et Bougdoura, qui drainent l'essentiel du territoire de la wilaya, ainsi que d'une multitude de petits oueds côtiers.
La wilaya dispose d'un potentiel important en eaux de surface, dont seule une infime partie est actuellement mobilisée.

Le barrage de Taksebt assure l'alimentation de la majorité des communes avec un débit suffisamment stable pour prévenir toute pénurie grave ou prolongée. Cette stabilité du débit, bien qu'en quantités moindres que d'habitude, a été atteinte grâce à la stratégie des pouvoirs publics, qui ont misé sur deux techniques bien définies. La démarche semble porter ses fruits, d'autant que les capacités du barrage de Taksebt sont actuellement à environ 30 %, ce qui garantit une alimentation en eau jusqu'à la fin du mois de décembre 2024.

Depuis quelques années, et conscientes de l'impact de la raréfaction des précipitations sur l'ensemble de l'Afrique du Nord, les autorités ont investi dans des innovations pour préserver les eaux pluviales. Dans ce cadre, les autorités de la wilaya de Tizi-Ouzou ont élaboré une approche visant à exploiter les eaux pluviales grâce à une station de transfert des eaux, située sur l'oued Sebaou, qui recueille chaque hiver plusieurs dizaines de millions de mètres cubes d'eau.

La station a été mise en service progressivement en 2023, après une année de travaux. Avec une capacité de 270 000 m³/jour, elle refoule les quantités d'eaux pluviales de l'oued Sebaou vers le barrage de Taksebt, afin qu'elles soient redistribuées via les réseaux d'alimentation des communes.
Lancé en avril 2022, le chantier devait durer moins de 12 mois, avec un budget estimé à 5 milliards de dinars. Lors de sa première phase, la station a transféré environ 90 000 m³/jour, permettant ainsi d'acheminer quelque 3,5 millions de m³ d'eau durant cette période, avant d'atteindre sa capacité totale de 270 000 m³/jour.

Les travaux ont été confiés au groupe public Cosider, qui a mis en place deux conduites de transfert en PEHD (polyéthylène haute densité) de 630 mm de diamètre, sur une distance de plus de 4 km, reliant la station de pompage au barrage de Taksebt. Une troisième conduite de même diamètre a été installée sur un linéaire de 480 mètres pour capter les fuites du barrage. Pour refouler ces quantités d'eau pluviale tombées durant l'hiver, la station a été équipée de 14 pompes d'une capacité de 360 m³/h chacune, immergées dans deux bassins de rétention d'une capacité totale de 16 000 m³.

Toutefois, cette réussite ne doit pas occulter la nécessité d'un entretien régulier de la station, qui est restée hors service pendant plusieurs mois en raison d'une submersion causée par les crues de l'oued Sebaou (notamment fin février). Cette situation a entraîné l'arrêt complet du pompage. Comme solution à ce problème, les experts préconisent de « reprofiler et recalibrer » le système afin de prévenir les embâcles et les dépôts.

En conclusion, il est important de souligner que l'alimentation en eau potable s'est nettement améliorée dans la wilaya de Tizi-Ouzou grâce à ce projet ambitieux.

Ce mémoire porte sur le dimensionnement et la conception d'un système de protection pour la station de pompage contre les inondations générées par une crue centennale. Le travail est présenté sous forme de huit chapitres répartis comme suit :

Chapitre 01 : Problématiques des inondations en Algérie dans un contexte de changement climatique.

Chapitre 02 : Présentation de la zone d'étude.

Chapitre 03 : Etude hydrologique du bassin versant d'oued Sebaou et oued Aissi.

Chapitre 04 : Etude des précipitations maximale journalières

Chapitre 05 : Estimation des débits de crues des cours d'eau.

Chapitre 06 : Diagnostic et modélisation du cours d'eau non aménagé

Chapitre 07 : Etudes des variantes d'aménagement

Chapitre 08 : Organisation du chantier

CHAPITRE I :

Problématiques des inondations en Algérie dans un contexte de changement climatique

Chapitre I :

PROBLEMATIQUES DES INONDATIONS EN ALGERIE DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Introduction

Les inondations figurent parmi les catastrophes naturelles les plus fréquentes et les plus destructrices au monde. Elles se produisent lorsqu'une quantité excessive d'eau submerge des terres qui sont habituellement sèches. Ce phénomène peut être causé par divers facteurs tels que les fortes précipitations, la fonte des neiges, les crues des rivières des tempêtes côtières, ou encore la remontée des nappes phréatiques.

Les inondations peuvent toucher des régions rurales et urbaines, avec des impacts variés selon la topographie, l'aménagement du territoire et la gestion des ressources hydriques. Leurs conséquences sont souvent graves, incluant des pertes humaines, des dégâts matériels considérables, des perturbations économiques et dégradations environnementales. En outre, les inondations sont exacerbées par le changement climatique, qui entraine des évènements météorologiques extrêmes plus fréquents et intenses.

Cependant, toutes les inondations ne sont pas uniquement négatives. Elles jouent également un rôle écologique important en rechargeant les nappes phréatiques, en fertilisant les sols grâce aux sédiments transportés et soutenant la biodiversité. Ces effets bénéfiques nécessitent toutefois une gestion adaptée pour minimiser les risques pour les populations et les infrastructures.

Comprendre les causes, les types et les conséquences des inondations est essentiel pour élaborer des stratégies de prévention et de gestion afin de réduire leur impact sur les sociétés humaines et les écosystèmes

.

I.1. Aléa, enjeux et vulnérabilité

Dans une société confrontée à des phénomènes naturels, technologiques ou humains, la gestion des risques est devenue un enjeu crucial pour assurer la sécurité des populations et la pérennité des activités humaines. Cette démarche repose sur trois concepts fondamentaux : **l'aléa**, **les enjeux**, et **la vulnérabilité**.

I.1.1. Les enjeux :

Les enjeux désignent l'ensemble des éléments humains, matériels, économiques, sociaux et environnementaux qui peuvent être affectés, endommagés ou détruits en cas de survenue d'un événement dangereux (aléa). Ils représentent ce qui est exposé et possède une valeur pour une société ou une communauté, et ils constituent une composante essentielle dans l'évaluation des risques.

- **Caractéristiques des enjeux**

- **Localisation** : La répartition spatiale des enjeux (par exemple, densité de population ou concentration industrielle) est cruciale pour évaluer les risques.
- **Importance économique ou sociale** : Certains enjeux ont une valeur stratégique ou symbolique pour une société (exemple : un centre économique ou un site classé au patrimoine mondial).
- **Sensibilité** : Certains enjeux sont particulièrement vulnérables à un aléa donné, comme des habitations construites dans des zones instables.
-

I.1.2. L'aléa

Un aléa désigne un phénomène ou un événement d'origine naturelle, technologique ou humaine, qui peut survenir de manière imprévisible ou incertaine, avec une intensité et une probabilité d'occurrence variables. L'aléa est le point de départ de l'évaluation des risques, car il représente le potentiel d'un danger.

Caractéristiques d'un aléa :

1. **Nature** :
   - L'aléa peut être naturel (séisme, cyclone, inondation), technologique (explosion chimique, défaillance industrielle) ou anthropique (conflits, pandémies).
2. **Fréquence ou probabilité** :
   - Certains aléas surviennent fréquemment (crues régulières), tandis que d'autres sont rares (tsunamis, éruptions volcaniques).

3. **Intensité** :

- L'impact potentiel d'un aléa dépend de sa gravité. Par exemple, une tempête légère diffère d'un ouragan de catégorie 5.

4. **Zone géographique** :

- L'aléa est souvent limité à une région ou à un contexte spécifique (exemple : un aléa sismique est associé à des zones tectoniques actives).

I.1.3 La vulnérabilité

La vulnérabilité désigne le degré de fragilité ou d'exposition des enjeux face à un aléa. Elle reflète la capacité d'un système (une communauté, une infrastructure, un écosystème, etc.) à résister, à faire face et à se remettre d'un événement potentiellement dommageable. La vulnérabilité est donc un élément clé dans l'évaluation des risques, car elle influence l'ampleur des impacts d'un aléa.

- **Composantes de la vulnérabilité**

1. **Sensibilité** :
   - La mesure dans laquelle un système peut être affecté par un aléa.
   - Exemple : Une maison construite avec des matériaux peu résistants aux séismes est plus sensible à un aléa sismique.
2. **Exposition** :
   - La présence d'enjeux (personnes, biens, infrastructures, activités) dans une zone où un aléa est susceptible de se produire.
   - Exemple : Une ville située en zone inondable est fortement exposée à l'aléa d'inondation.
3. **Capacité d'adaptation ou de résilience** :
   - La capacité à anticiper, gérer et se remettre d'un événement dangereux. Une communauté bien préparée avec des infrastructures résistantes et des plans de secours est moins vulnérable.
   - Exemple : Des digues efficaces et un système d'alerte réduisent la vulnérabilité face aux inondations.

I.1.4. Le risque

Le risque est l'exposition à un danger potentiel et la mesure de ce danger.il est définie de deux manières dans les textes de normes (cité par previnfo,2006) :

- Soit comme la combinaison de la probabilité d'un évènement et de ses conséquences (ISO/CEL 73). Le risque est donc la possibilité de survenance d'un dommage résultant d'une exposition aux effets d'un phénomène dangereux.
- Soit comme la (combinaison de la probabilité d'un dommage et de sa gravité) (ISO/CEL 51). Le risque est alors l'espérance mathématique de pertes en vies humaines, blessés, dommages aux biens et atteinte à l'activité économique au cours d'une période de référence et dans une région donnée, pour un aléa particulier. Le risque est donc le produit de l'aléa par la vulnérabilité.

Le risque n'est donc que probable, s'il se réalise, il y a alors accident, ou catastrophe. On ne parle de risque que si les dommages sont probables, est-à-dire s'il y a présence d'enjeux vulnérables

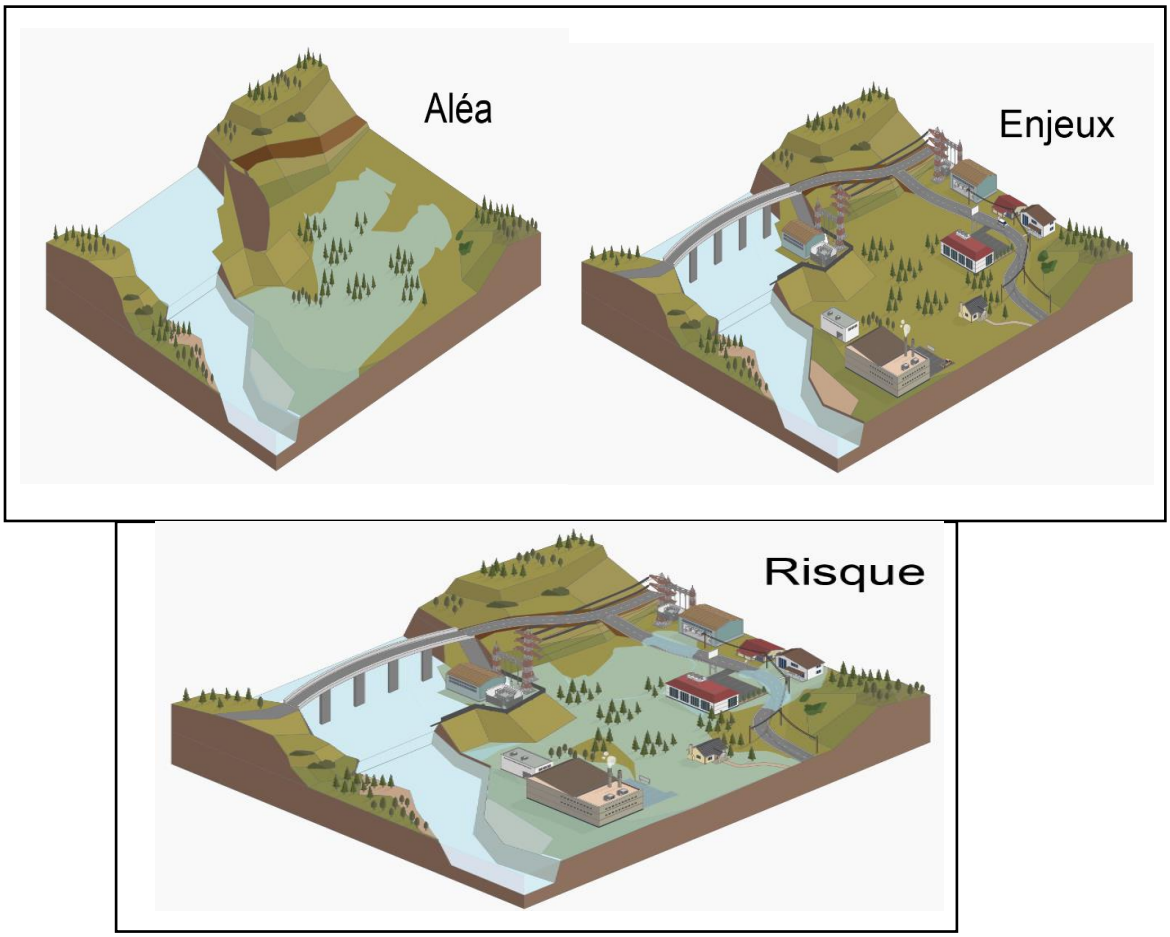


Figure I.1: les risques d'inondation (univ-rouen)

I.2.Le processus de formation des crues

Une crue est un phénomène naturel qui correspond à une montée rapide ou progressive du niveau d'un cours d'eau, souvent causée par des apports d'eau importants. Ce phénomène peut aboutir à un débordement si la quantité d'eau dépasse la capacité d'écoulement du lit du cours d'eau. Voici les étapes principales du processus de formation des crues :

I.2.1. Les causes principales des crues

a. Précipitations importantes

- **Pluies intenses** : Les pluies fortes et concentrées sur une courte période (orages, pluies torrentielles) saturent rapidement le sol, entraînant un ruissellement important.
- **Pluies longues et continues** : Une succession de jours de pluie entraîne une saturation progressive des sols, augmentant les écoulements vers les rivières.

b. Fonte des neiges

- Lors du dégel, en particulier au printemps, la fonte rapide des neiges dans les zones montagneuses alimente massivement les cours d'eau. Ce phénomène est amplifié lorsque les températures montent brusquement.

c. Obstruction ou déviation des écoulements

- Les barrages naturels (glissements de terrain, embâcles de bois ou de glace) peuvent retenir l'eau temporairement et provoquer des crues brutales lors de leur rupture.

d. Activités humaines

- **Urbanisation** : Les surfaces imperméables (routes, bâtiments) augmentent le ruissellement, car l'eau ne peut pas s'infiltrer dans le sol.
- **Modification des lits des cours d'eau** : Les digues et les rectifications des rivières peuvent aggraver la violence des crues en réduisant leur capacité naturelle d'expansion.

I.2.2. Les étapes du processus de formation des crues

Étape 1 : Apports d'eau au bassin versant

- **Bassin versant** : L'eau apportée par les précipitations, la fonte des neiges ou les rejets humains s'accumule sur le bassin versant, c'est-à-dire l'ensemble de la surface drainée par un cours d'eau et ses affluents.

Étape 2 : Infiltration et saturation du sol

- **Infiltration initiale** : Au début, une partie des précipitations s'infiltre dans le sol.
- **Saturation** : Lorsque le sol ne peut plus absorber d'eau (saturation hydrique ou sol gelé/imperméable), l'eau s'accumule en surface.

Étape 3 : Ruissellement

- L'eau qui ne s'infiltre pas s'écoule en surface, rejoignant les ruisseaux, rivières et fleuves. La rapidité de ce ruissellement dépend :
  - De la pente du terrain.
  - De l'état du sol (imperméabilité, végétation).

Étape 4 : Concentration dans le réseau hydrographique

- L'eau de ruissellement converge progressivement vers les cours d'eau. Cette concentration peut être lente (dans les grandes plaines) ou rapide (dans les zones montagneuses).

Étape 5 : Débordement

- Si la quantité d'eau dépasse la capacité du lit mineur du cours d'eau (espace où il s'écoule habituellement), elle envahit le **lit majeur**, qui inclut les zones environnantes (plaines inondables). Cela marque le début d'une inondation.

I.2.3. Types de crues

1. **Crues rapides ou soudaines** :
   - Surviennent suite à des pluies torrentielles sur des sols imperméables ou dans des zones urbaines/montagneuses. L'eau atteint rapidement les cours d'eau et provoque un débordement rapide.
2. **Crues lentes ou de plaine** :
   - Résultent de précipitations longues ou de la fonte des neiges. Ces crues prennent plusieurs jours pour se développer mais peuvent durer longtemps et couvrir de vastes zones.
3. **Crues par embâcles** :
   - Causées par des blocages temporaires du cours d'eau (glace, troncs d'arbres), suivis d'une libération brutale de l'eau retenue.

I.2.4. Facteurs influençant la formation des crues

1. **Caractéristiques du bassin versant** :
    - Taille : Plus il est petit, plus la crue est rapide.
    - Pente : Les bassins avec des pentes fortes accélèrent le ruissellement.
    - Végétation : Une couverture végétale dense réduit la crue en limitant le ruissellement et en augmentant l'infiltration.
2. **Conditions météorologiques** :
    - Intensité et durée des pluies.
    - Conditions initiales du sol (sec, saturé, gelé).
3. **Aménagements humains** :
    - Urbanisation, assèchement des zones humides et construction de digues réduisent les capacités naturelles d'absorption des sols.

I.2.5. Conséquences des crues

Les crues peuvent avoir des conséquences graves :

- **Humaines** : pertes de vies, déplacement des populations.
- **Économiques** : dégâts aux infrastructures, pertes agricoles.
- **Environnementales** : destruction d'écosystèmes, pollution des cours d'eau.

I.3 Principaux paramètres nécessaires pour évaluer une catastrophe liée à une inondation

L'évaluation d'une catastrophe causée par une inondation nécessite de prendre en compte plusieurs paramètres afin d'en analyser les causes, l'ampleur, et les impacts. Ces paramètres se regroupent en trois grandes catégories : **physiques**, **humains et socio-économiques**, et **environnementaux**.

I.3.1. Paramètres physiques

a. Caractéristiques de l'inondation

1. **Type d'inondation** :
   - Crue rapide (flash flood), crue lente (crue de plaine), débordement de rivière, inondation par ruissellement, ou montée des eaux côtières (submersion marine).
2. **Durée** :
   - Combien de temps l'inondation persiste, de quelques heures à plusieurs jours ou semaines.
3. **Amplitude** :
   - Le niveau d'eau atteint, comparé au niveau habituel (mesuré en mètres).
4. **Étendue spatiale** :
   - La superficie inondée (en km²) ou le nombre de zones touchées (villages, quartiers, départements).
5. **Vitesse du courant** :
   - Une eau rapide et torrentielle cause des dégâts plus importants qu'une eau stagnante.

b. Conditions météorologiques et hydrologiques

1. **Volume des précipitations** :
   - Quantité de pluie tombée (en mm) et son intensité (mm/h).
2. **Saturation préalable des sols** :
   - Les sols saturés ou imperméables (zones urbaines, sols gelés) favorisent les ruissellements rapides.
3. **État du réseau hydrographique** :
   - Débit des rivières, capacités des lits fluviaux à absorber l'eau excédentaire.

c. Influence des infrastructures

1. **Digues et barrages** :
   - Présence ou rupture d'ouvrages hydrauliques (ex. : digue qui cède).
2. **Réseaux de drainage urbains** :
   - Capacité des égouts et canalisations à évacuer l'eau.

I.3.2. Paramètres humains et socio-économiques

a. Enjeux humains

1. **Population exposée** :
   - Nombre de personnes vivant dans la zone inondée.
2. **Taux de mortalité et blessures** :
   - Nombre de décès, disparus et blessés.
3. **Niveaux de vulnérabilité** :
   - Personnes vulnérables : enfants, personnes âgées, malades, populations précaires.

- Niveau de préparation des populations (formation, accès aux systèmes d'alerte).

b. Enjeux économiques

1. **Infrastructures endommagées** :
   - Maisons, routes, ponts, écoles, hôpitaux, réseaux d'électricité et d'eau potable.
2. **Pertes économiques** :
   - Valeur monétaire des biens endommagés ou détruits.
   - Impact sur les activités économiques (agriculture, commerces, industries).

c. Gestion de la catastrophe

1. **Systèmes d'alerte** :
   - Existence de dispositifs d'alerte rapide et efficacité de leur déploiement.
2. **Réponse et secours** :
   - Mobilisation des secours (pompiers, armée, ONG) et délai d'intervention.
3. **Reconstruction** :

I.3.3. Paramètres environnementaux

a. Impacts sur les écosystèmes

1. **Dégradation des sols** :
   - Érosion, lessivage des terres agricoles, pollution des sols.
2. **Écosystèmes aquatiques** :
   - Contamination des cours d'eau, dégradation des habitats naturels (zones humides, mangroves).
3. **Biodiversité** :
   - Perte d'espèces animales et végétales (terrestres et aquatiques).

b. Pollution liée à l'inondation

1. **Qualité de l'eau** :
   - Contamination par les eaux usées, produits chimiques, hydrocarbures ou déchets solides.
2. **Risques sanitaires** :
   - Propagation de maladies hydriques (choléra, leptospirose) ou vectorielles (paludisme, dengue).

c. Rôle des éléments naturels dans la propagation de l'inondation

1. **Zones tampons** :
   - Présence ou absence de zones tampons naturelles (zones humides, forêts) qui réduisent l'ampleur des inondations.
2. **Dégradation de l'environnement** :
   - Déforestation et urbanisation qui aggravent le ruissellement.

I.3.4. Outils et méthodes d'évaluation des paramètres

- **Cartographie des zones inondées** : Imagerie satellite, drones et SIG (Systèmes d'Information Géographique).
- **Modélisation hydraulique** : Simulation des écoulements d'eau pour comprendre et prévoir les impacts.
- **Indicateurs de vulnérabilité et résilience** : Analyses des capacités des communautés et des infrastructures à gérer les impacts.

I.4.Paramètres fondamentaux du cours d'eau

I.4.1. Lits du cours d'eau :

Les **lits du cours d'eau** sont des éléments essentiels pour comprendre le comportement des rivières et des fleuves, notamment lors des crues. Le **lit** d'un cours d'eau désigne l'espace dans lequel l'eau s'écoule, et il se divise en deux parties principales : le **lit mineur** et le **lit majeur**. La connaissance de ces lits permet d'évaluer la capacité de drainage du cours d'eau et d'identifier les zones sensibles aux inondations.

A. Lit mineur :

Le lit mineur est la partie du cours d'eau qui constitue l'espace où l'eau s'écoule habituellement dans des conditions normales. Il correspond à l'aire de l'écoulement dans la phase de débit faible à moyen, c'est-à-dire lorsque le niveau de l'eau reste dans les limites habituelles du cours d'eau.

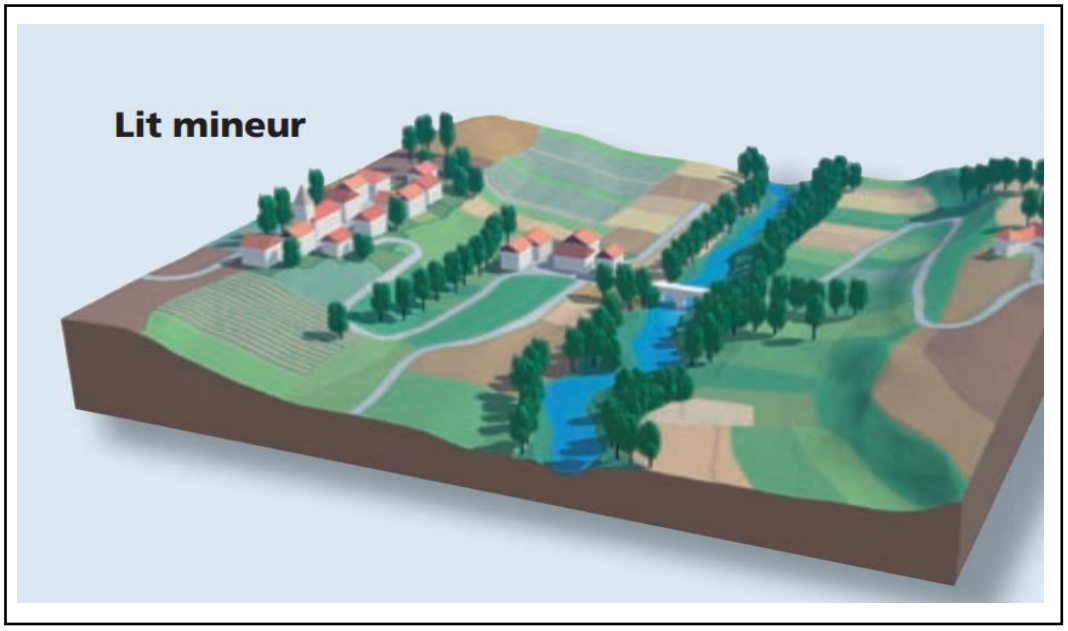


Figure I. 2 :lit mineur d'un cours d'eau (Ledoux.B,2006)

B. Lit majeur

Le **lit majeur** est la zone qui peut être inondée lors de crues importantes, lorsque le niveau de l'eau dépasse les limites du lit mineur. C'est l'espace le plus large et le plus susceptible d'être submergé en période de crue.

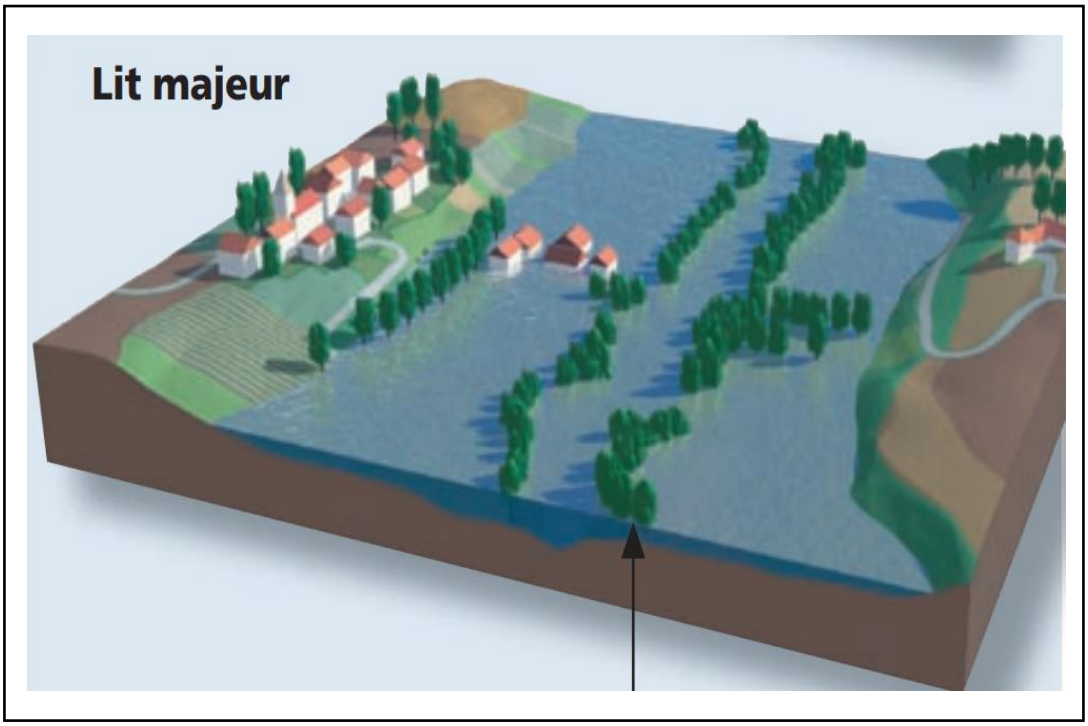


Figure I. 3 : Lit majeur d'un cours d'eau (Ledoux.B,2006)

I.5.Types d'inondation

Les **inondations** peuvent être classées en fonction de leur origine, de leur intensité et de leur impact. Elles peuvent résulter de phénomènes naturels (pluies, crues, montée des eaux marines) ou d'activités humaines (rupture de digues, mauvaise gestion des infrastructures). Voici les principaux types d'inondation :

I.5.1. Inondation de plaine :

Les inondations de plaine (également appelées **inondations fluviales de plaine**) se produisent principalement dans les zones de basse altitude, typiquement sur les plaines alluviales, où les rivières ou les fleuves ont tendance à s'étendre largement. Ces inondations sont souvent causées par une combinaison de facteurs météorologiques, géographiques et hydrologiques, qui entraînent une montée du niveau de l'eau au-delà de son niveau habituel, submergeant ainsi les terres environnantes.

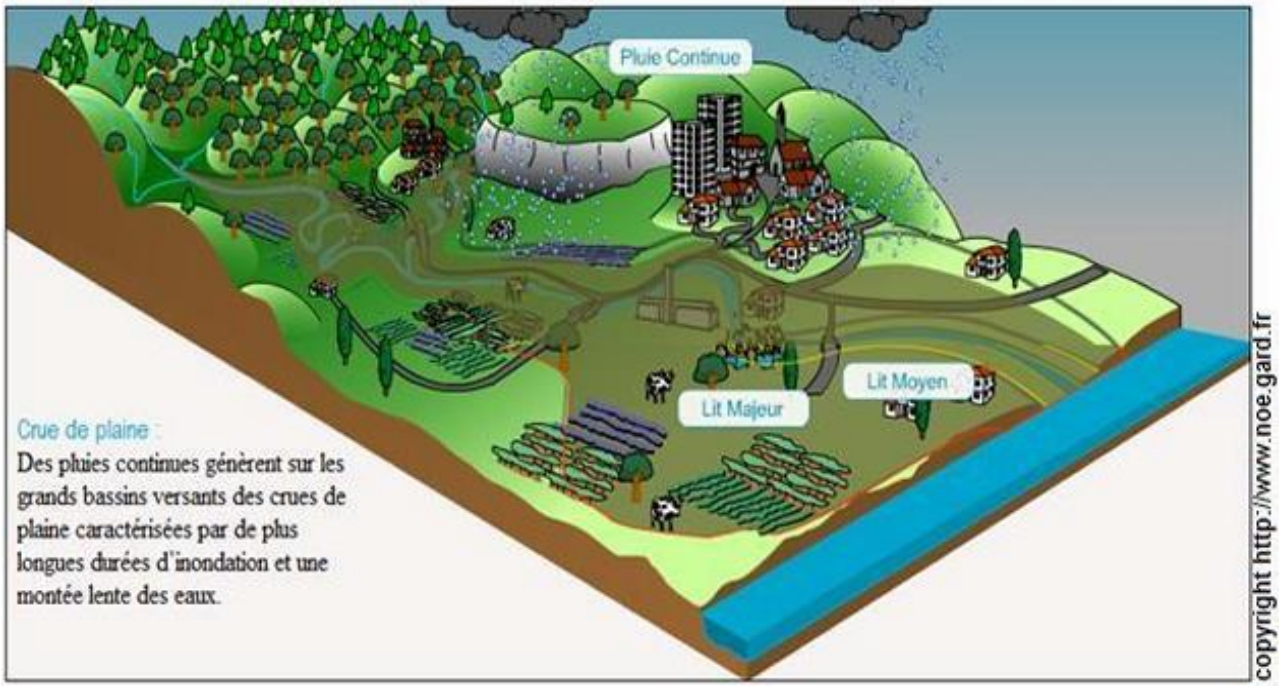


Figure I.4 : Inondation de plaine (Noe.gard.fr)

I.5.2. Les inondations par ruissellement urbain

Les inondations par ruissellement urbain (également appelées **inondations pluviales urbaines**) se produisent lorsqu'une quantité excessive d'eau de pluie s'écoule rapidement sur des surfaces imperméables dans les zones urbaines. Ces surfaces, telles que les routes, les trottoirs, les parkings et les bâtiments, empêchent l'eau de s'infiltrer dans le sol, entraînant un ruissellement rapide qui surcharge les systèmes de drainage et peut causer des inondations.

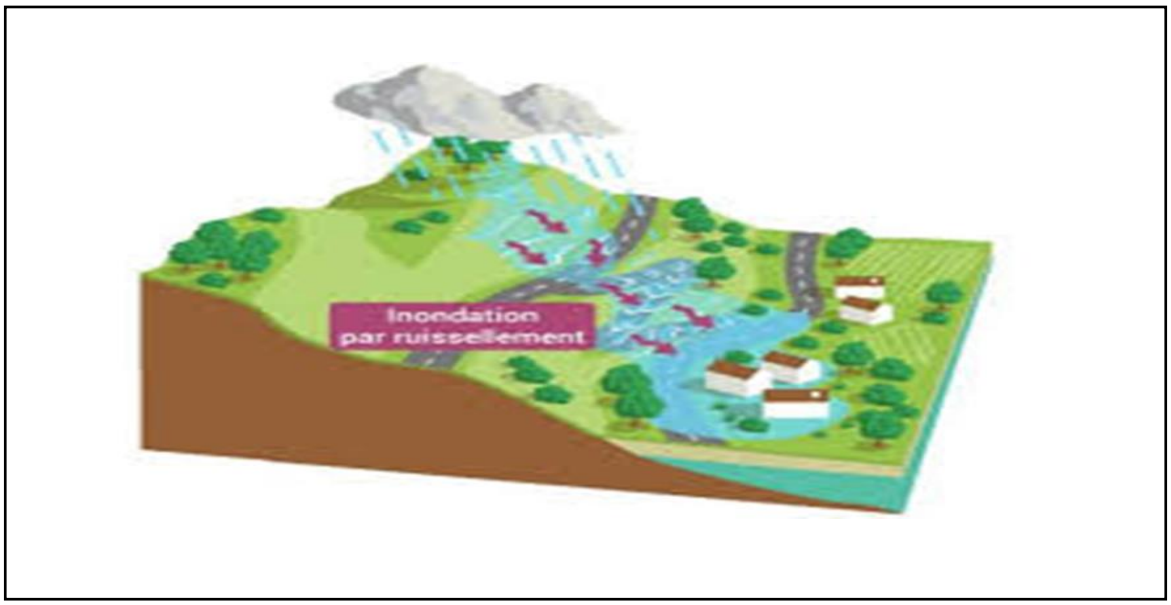


Figure I.5: Inondation par ruissellement (inondations-agglo-toulousaine.fr)

I.5.3. Les inondations par remontée de nappe phréatique

Les inondations par remontée de nappe phréatique se produisent lorsque le niveau de la nappe phréatique (la couche d'eau souterraine qui remplit les pores des sols ou des roches) monte de manière excessive, souvent en raison de conditions météorologiques extrêmes ou de modifications humaines, ce qui conduit à une saturation du sol et à l'inondation des terrains à faible altitude ou des structures en contact avec le sol. Contrairement aux inondations de surface causées par des crues ou des ruissellements, les inondations par remontée de nappe phréatique sont principalement un phénomène souterrain.

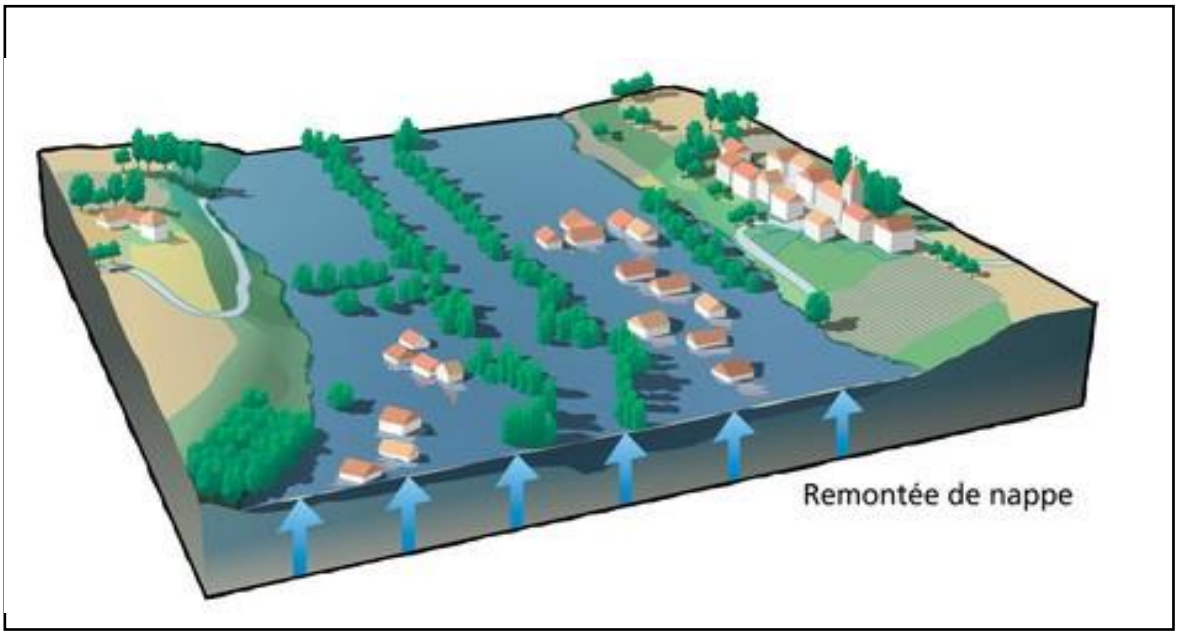


Figure I. 6 : Inondation par remontée de nappe (Ledoux.B,2006)

I.5.4. Inondation par crue torrentielles

Les inondations par crue torrentielle surviennent lorsque de fortes pluies, souvent concentrées sur une courte période, provoquent un écoulement rapide et soudain de grandes quantités d'eau dans des cours d'eau généralement petits, mais avec un débit très important en cas de crue. Les torrents, qui sont des rivières à faible débit normal mais très sensibles aux variations climatiques et géographiques, peuvent se transformer en véritables fleuves en crue à la suite de pluies intenses, ce qui entraîne des inondations rapides et violentes.

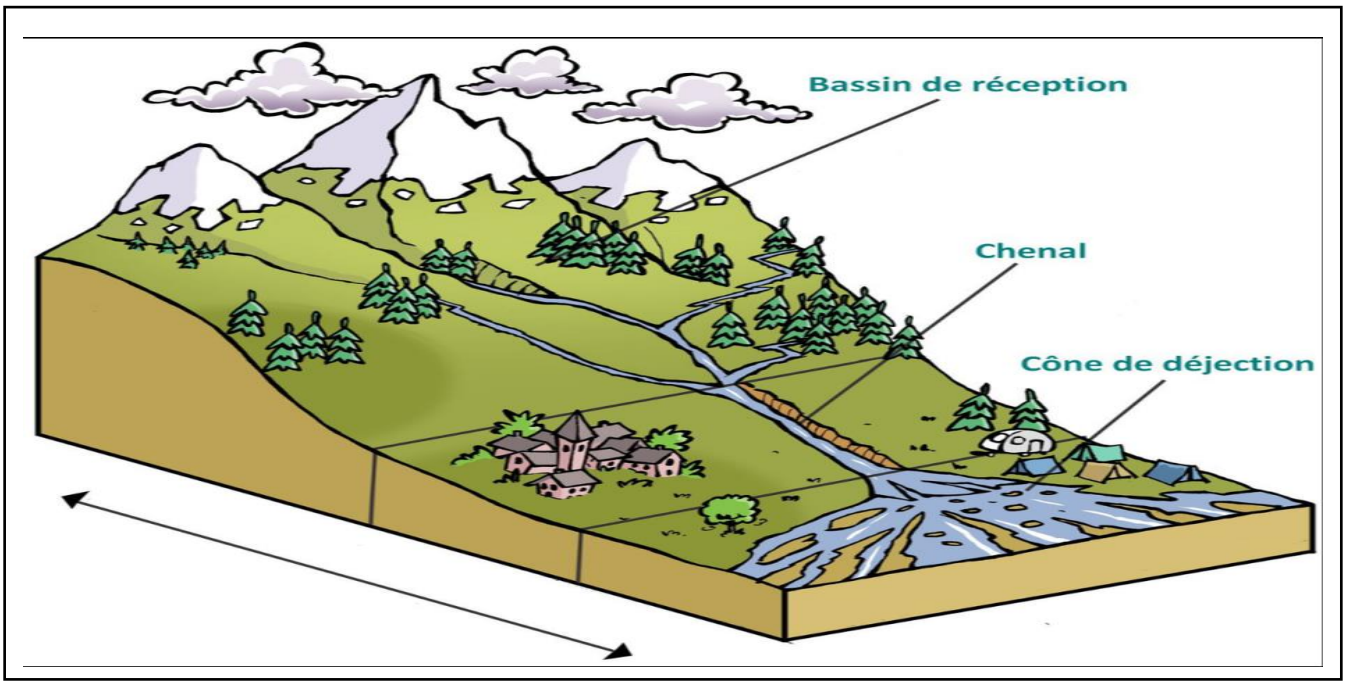


Figure I.7: Inondation par crue torrentielles

I.5.5. Inondation marine

Une inondation marine survient lorsque l'eau de mer envahit des zones côtières ou basses en raison de différents phénomènes naturels ou humains. Ce type d'inondation est souvent associé à des événements climatiques, des changements dans le niveau de la mer, ou des tempêtes. Les inondations marines peuvent affecter des zones urbaines, des terres agricoles, des écosystèmes côtiers et les infrastructures, avec des conséquences graves sur les populations et l'environnement.

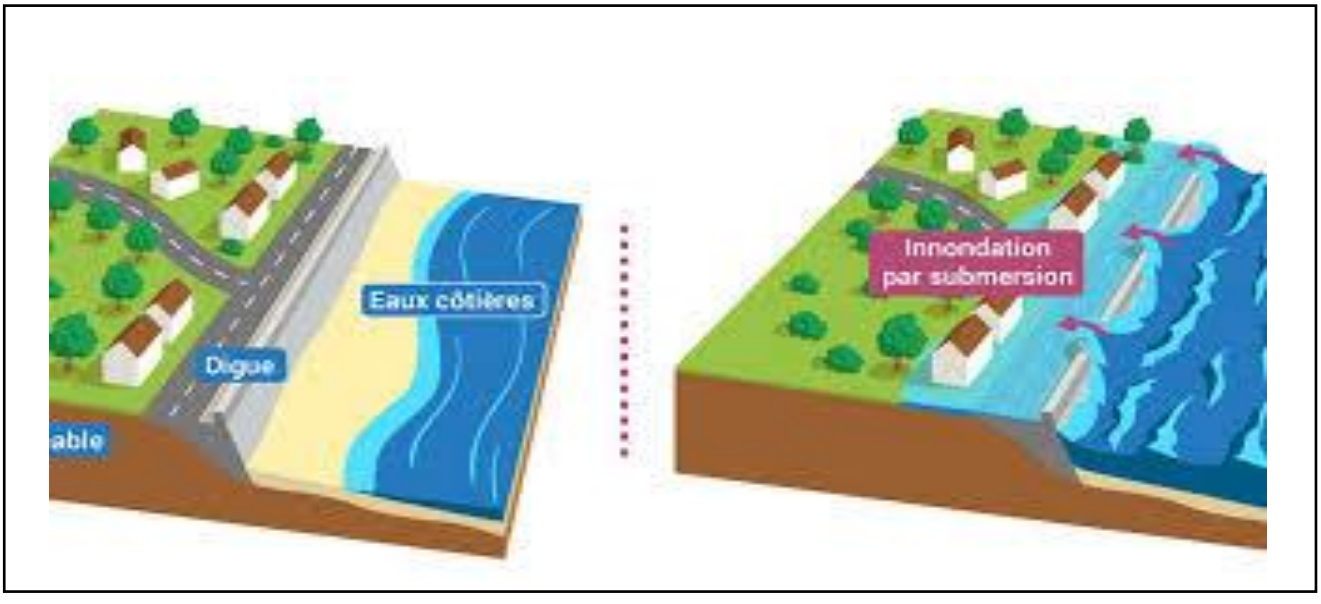


Figure I. 8 : Inondation par submersion marine (Eaufrance.fr)

I.5.6. Les inondations par rupture d'ouvrage hydraulique

Les **inondations par rupture d'ouvrage hydraulique** surviennent lorsqu'un ouvrage conçu pour contrôler ou contenir les eaux, tel qu'un barrage, une digue, un canal, ou un réservoir, cède ou subit une défaillance, entraînant la libération incontrôlée de grandes quantités d'eau et provoquant ainsi des inondations graves. Ce type d'inondation peut avoir des conséquences dramatiques, non seulement en raison de la quantité d'eau déversée mais aussi à cause de la rapidité avec laquelle l'événement peut se produire.



Figure I.9: Inondation par débordement au-dessus de la digue (Noe.gard.fr)

I.6.Les inondations en Algérie

Les inondations constituent l'un des risques naturels les plus fréquents et les plus dévastateurs en Algérie. Ce phénomène touche de nombreuses régions du pays, notamment les zones côtières, les régions montagneuses et les grandes agglomérations urbaines. Les inondations peuvent être provoquées par des facteurs naturels, tels que des pluies torrentielles et des crues soudaines, mais elles sont souvent exacerbées par des facteurs humains, notamment l'urbanisation rapide, la gestion insuffisante des infrastructures d'assainissement, et les changements climatiques.

Au cours des dernières décennies, l'Algérie a été frappée par plusieurs vagues d'inondations catastrophiques, entraînant des pertes humaines, des destructions matérielles considérables et des perturbations économiques majeures. Ces événements mettent en évidence la vulnérabilité du pays face à ce type de catastrophe, surtout dans un contexte où l'urbanisation et les infrastructures ne sont pas toujours adaptées aux défis posés par le phénomène.

Les inondations en Algérie prennent différentes formes, des crues soudaines dans les zones urbaines et rurales, aux inondations dues aux fortes pluies et aux remontées de nappes phréatiques. Les conséquences sont d'autant plus graves que l'infrastructure de drainage des

Eaux pluviales est souvent insuffisante ou mal entretenue, aggravant l'impact de ces événements.

Face à cette réalité, la gestion des risques d'inondation en Algérie demeure un défi majeur. La prévention et la gestion des catastrophes naturelles requièrent une approche intégrée, combinant des stratégies de planification urbaine, de modernisation des infrastructures, ainsi que la mise en place de systèmes d'alerte précoce efficaces pour limiter les pertes humaines et matérielles.

En somme, les inondations en Algérie représentent un problème récurrent et complexe, nécessitant une action coordonnée à l'échelle nationale et locale pour mieux comprendre et maîtriser leurs impacts.

I.12.Recensement des inondations catastrophiques en Algérie (1980-2023)

Tableau I.1 : recensement des inondations catastrophiques en Algérie (1980-2023)

Date	Zones touchées	Nombre de victimes
01 septembre 1980	Sétif	44 morts
22 Aout 1983	Birine W. Djelfa	10 morts
03 février 1984	Jijel, Skikda, khenchla	23 morts
01 Septembre 1989	Biskra	02 morts
21 Septembre 1989	Msila	01 mort
03 Juin 1991	Ghardaïa	09 morts
26-27 Janvier1992	Tipaza Alger, Médéa, Blida	10 morts
23 Septembre 1994	Msila Djelfa, Médéa, Tiaret	27 morts
04 Avril 1996	Annaba et El Tarf	5 morts
23 octobre 2000	Naama	5 morts
10 et 11 Novembre 2001	Bab El Oued (Alger)	800 morts
18 Avril 2007	Ghardaïa	29 morts
01 Octobre 2011	El Bayadh	13morts
14 Septembre 2018	Tébessa	1 mort
12 Septembre 2019	Béchar, Guelma	9 morts
Mai 2021	Tiaret	4 morts
20 Octobre 2022	Tiaret	4 morts
Mai 2023	Tipaza	2 morts
Novembre 2023	Bordj Mira (Bejaia)	01 mort

I.7. La crue d'oued Sebaou

- **La crue de Mars 2023**

Le président de l'APW a demandé (la remise en service de la station de transfert d'eau depuis l'oued Sebaou vers le barrage Taksebt, à l'arrêt actuellement, en raison de son inondation suite à la montée du niveau de l'oued). Ses différentes installations sont partiellement inondées.

Cette station a été d'un apport considérable pour venir à la rescousse du barrage de Taksebt connaissant ces deux dernières années un des plus bas niveaux de son remplissage. Le système de pompage des eaux du Sébaou a permis de compenser d'importantes quantités d'eau qui sortent de cette infrastructure hydraulique pour alimenter des populations des wilayas de Tizi Ouzou, Boumerdès et Alger estimées à pas moins de 230.000 m^3/jour. Ce système pompage, réalisé avec une bagatelle de 04 milliards de dinars, a été mis en service en janvier 2023 pour atteindre en avril de la même année le transfert de 270.000 m^3/jour du Sebaou vers le barrage de Taksebt notamment en période hivernale.

Même si de l'avis des spécialistes ce pompage est déconseillé en période de crue de l'oued de Sebaou en raison de la qualité des eaux (boueuse) mais c'est en ce moment de forte affluence du Sebaou

Qu'une telle capacité de pompage pourrait être atteinte pour contribuer au remplissage du barrage de Taksebt qui ne dépassait pas les 20% avant ce dernier épisode de forte pluviométrie.



Figure I. 10 : Station de pompage d'oued Sebaou (crédit photo : AMEROUALI Souad)



Figure I.11: Station de pompage inondé

Conclusion

Une crue est une période de très hautes eaux qui peut provoquer des inondations si l'eau déborde du lit du cours d'eau. Une crue dure de quelques heures à quelques semaines, en fonction notamment de la pente du bassin versant et du mode d'alimentation du cours d'eau (précipitations et leur intensité, fonte de la neige, débordement de nappe d'eau souterraine).

La station de pompage d'oued Sebaou est confrontée aux phénomènes des crues et des inondations qui se manifestent de façon catastrophique, constituant ainsi une contrainte majeure pour le développement économique.

La protection de ce type de catastrophe nécessite l'implication de plusieurs disciplines afin de déterminer les divers paramètres contribuant dans leur formation ainsi que les solutions appropriées.

CHAPITRE II :

Présentation de la zone d'étude

Chapitre II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Introduction

Le deuxième chapitre de cette étude se focalise sur la présentation globale du bassin versant de la zone d'étude. L'objet de ce chapitre est :

Une connaissance générale des principales caractéristiques du bassin versant de l'oued Sebaou. Nous allons décrire globalement le bassin versant, en le situent géographiquement, en étudiant sa topologie et sa nature géologique et des caractéristiques physiques du bassin versant permettra de mieux appréhender les processus hydrologiques qui y interviennent.

II.1. Présentation de la zone d'étude

La wilaya de Tizi-Ouzou se situe à 100 kilomètres d'Alger et fait partie de ce qu'on appelle≪ la grande kabylie ≫.elle se situe au cœur du massif du Djurdjura et présente ainsi un relief montagneux fortement accidenté qui s'étale sur une superficie de 2 994 km^2, limitant de ce fait le potentiel agricole (32% de la superficie). Les très hautes montagnes (pentes égales ou supérieures à 25 %) occupent plus de la moitié de la superficie de la wilaya. Mais elle possède aussi une large ouverture sur la mer méditerranée avec plus de 70 kilomètres de côtes.

Le bassin versant de l'oued Sebaou est limité : au Nord par la chaine côtière du méditerranéenne, au Sud par la chaine du Djurdjura (wilaya de Bouira, à l'Est par les massifs d'Akfadou et de Béni-Ghobri (wilaya de Bejaia) et à l'Ouest par le massif de Sidi Ali Bounab et Djebel Bouberak (wilaya de Boumerdes). Comprend trois grand sous bassin : Haut Sebaou contient les Sb : 02-15,02-16,02-17. Moyenne Sebaou contient les Sb 02-18,02-19.et le Bas Sebaou représenté par le Sb :02-20.

II.2. Situation géographique

Le bassin versant du Sébaou appartient au tell septentrional.il se positionne entre les latitude Nord 40G 50 (36°30) et 41G 00 (37°00) et les longitudes est 01G 50 (03°30) et 2G50 (04°30), a une centaine de kilomètre à Lest-Sud d'Alger. Il s'intègre dans les bassins versant côtier algérois de code (02), selon la nomenclature de l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH).

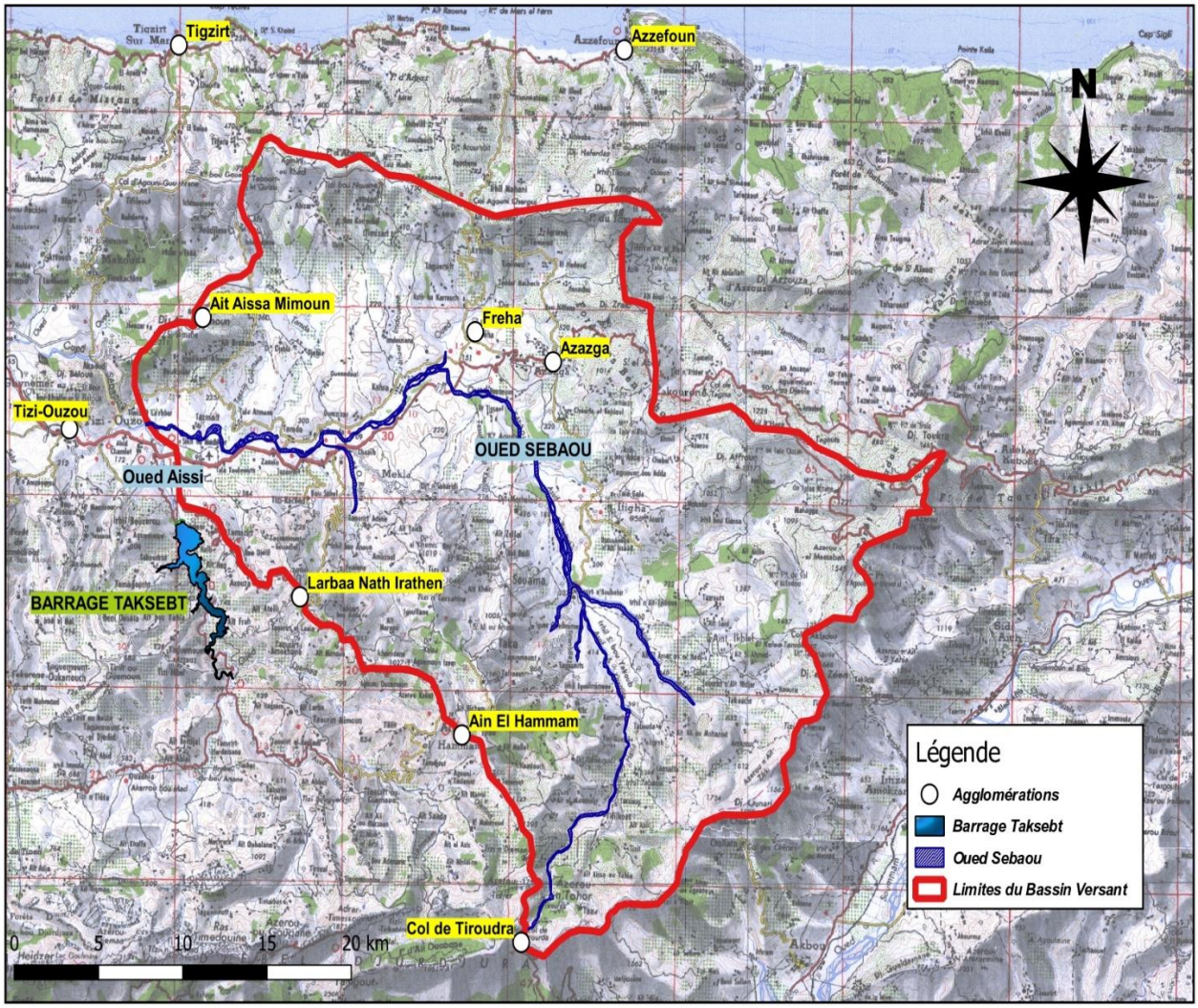


Figure II.1: Présentation de la zone d'étude

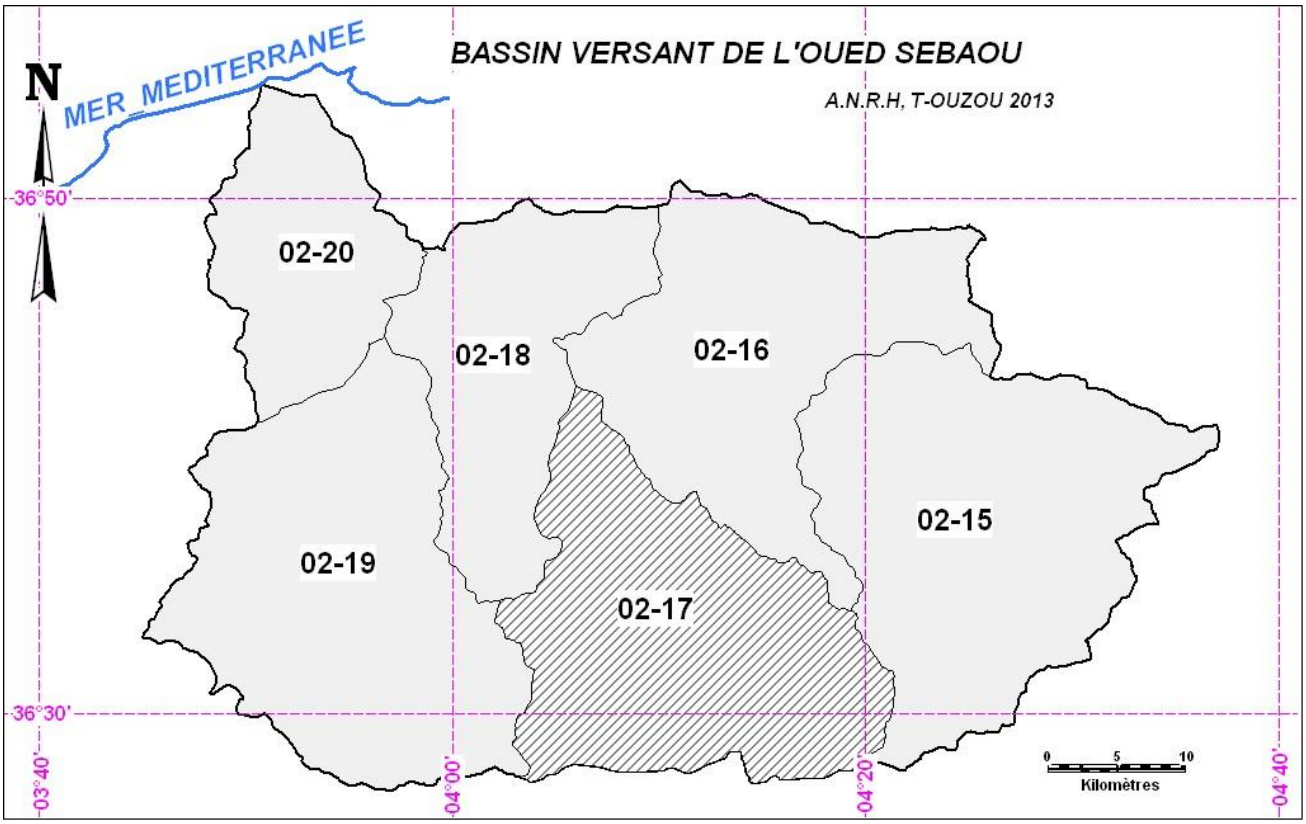


Figure II.2 : Carte des sous bassins versant du Sebaou (source. ANRH)

II.3. Géologie

II.3.1. Situation de la zone d'étude dans l'orogène alpin péri-méditerranéen

La vallée de l'oued sebaou fait partie des maghrébides et appartient à la branche sud méditerranéenne de l'orogène alpine. Elle s'étend dAzazga à dellys et occupe la grande zone synclinale miocène au nord de la grande Kabylie. Dans la chaine des Magrébides on y distingue : les zones internes, les zones externes et le domaine des flysch

Les flysch du haut du Sébaou présentent des affinités avec le massylienet le maurétanien.il est caractérisé par :

Un grand développement du faciès argileux

L'existence d'un repère cénomano-turonien à lithologie très variable avec des phtanites et (ou) calcaires argileux fins.

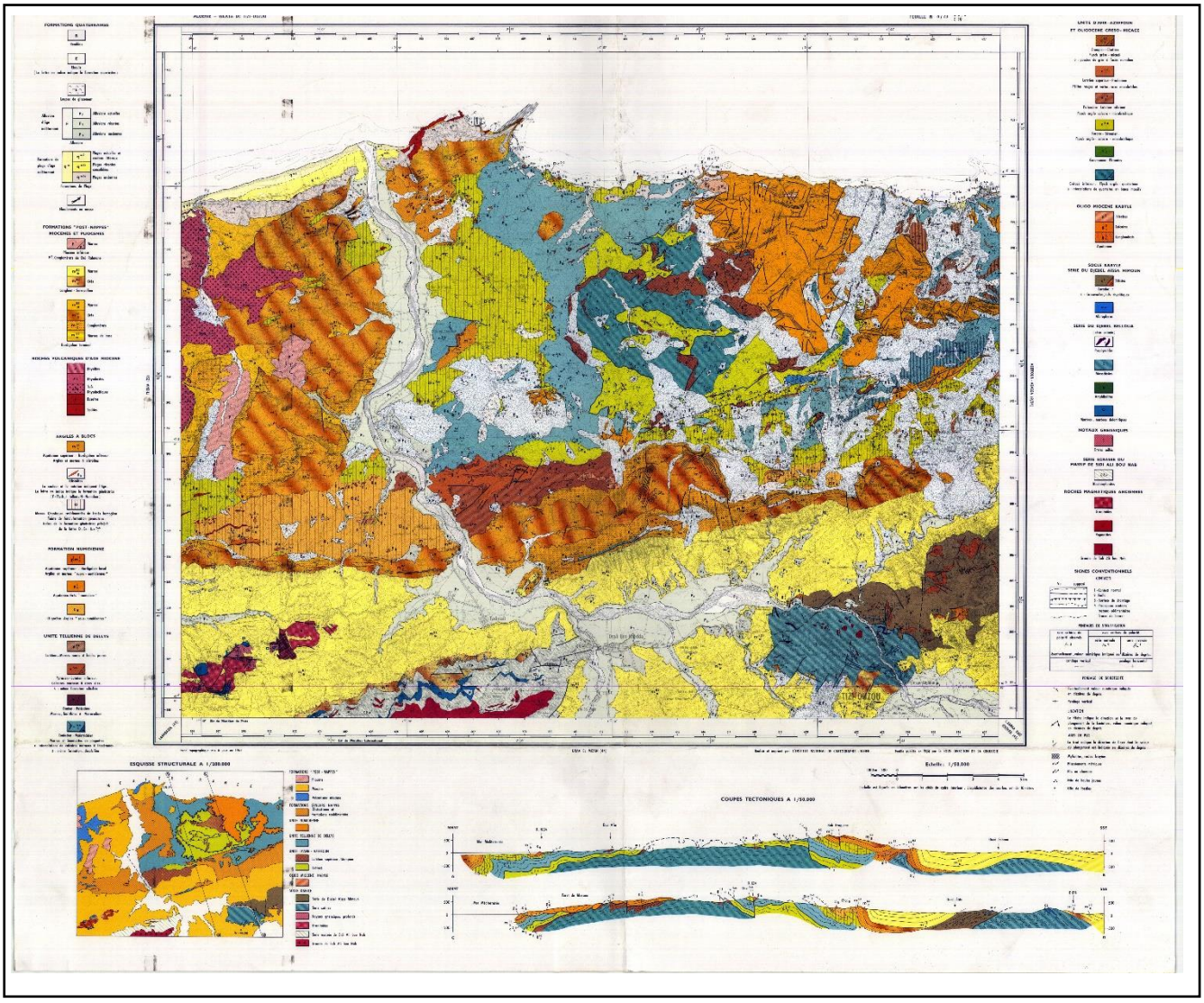


Figure II.3 : Carte Géologique 1/50000 de Tizi Ouzou-dellys (publier en 1984 par institut national de cartographie) (ANRH. Alger).

II.3.2. Géologie des unités morpho-structurale :

- **Le Djurdjura :**

Présente un faciès principal composé essentiellement de terrains calcaires, de roches cristallines et cristallophylliennes de nature magmatique (granites et pegmatie) et métamorphique (micaschistes et quartzites), qui lui confèrent une grande résistance à l'érosion linéaire mais fortement karstifiés.

La lithologie de cette chaine est d'un intérêt hydrogéologique important car elle est à l'origine de nombreux écoulements superficiels et saisonniers et favorise l'existence du phénomène de karstification donnant lieu souvent à des sources en altitude et le développement d'importants gouffres.

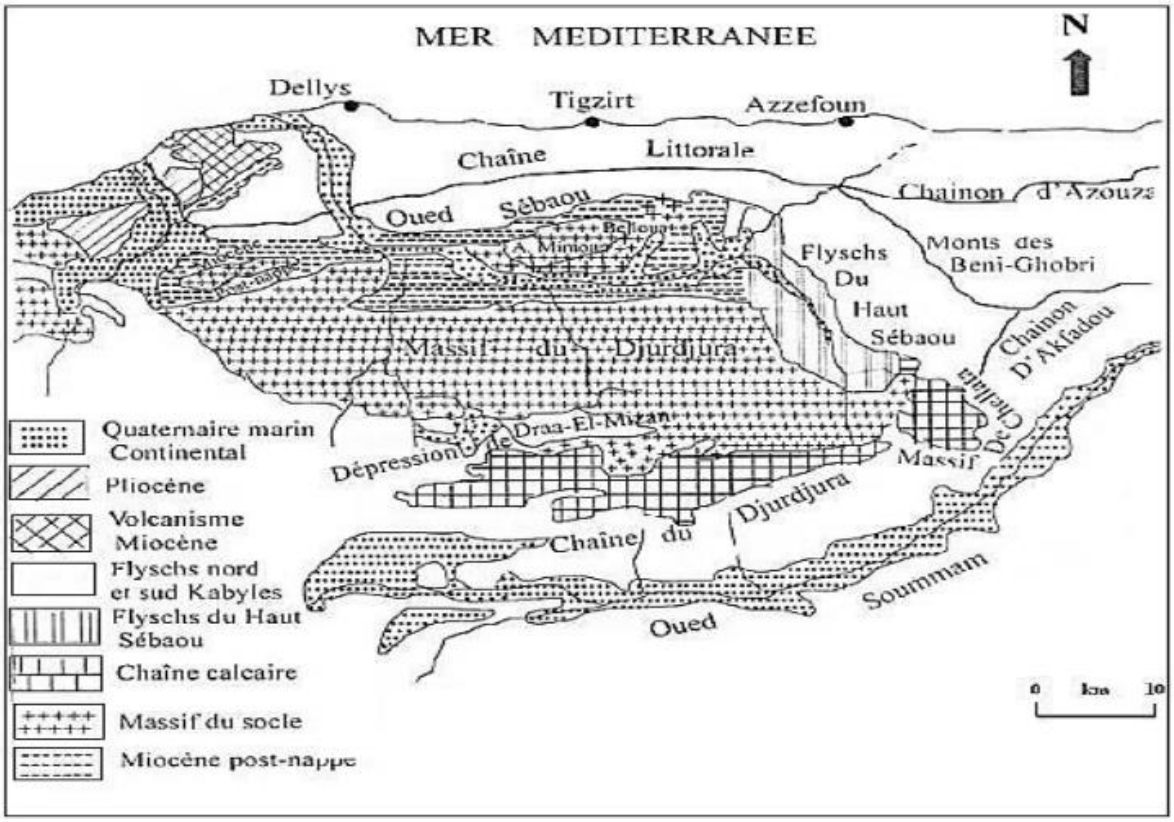
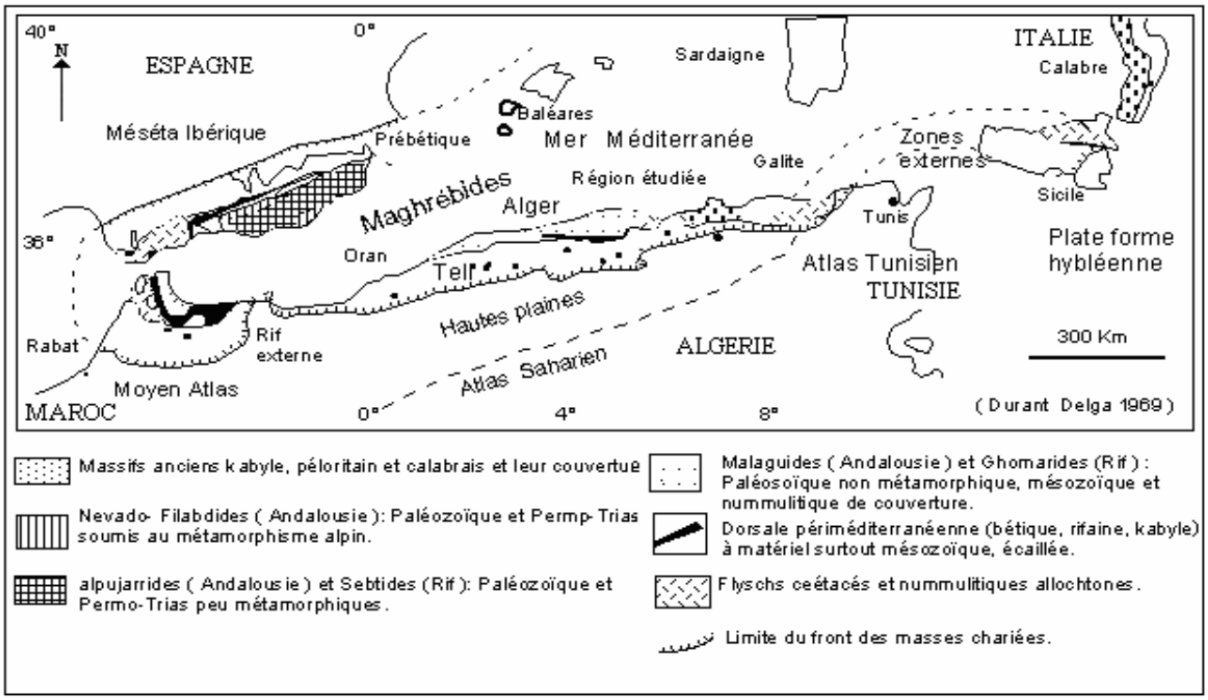


Figure II.4: Les grandes unités morpho structurales de la grande Kabylie (flandrin 1952)



FigureII.5 : Situation de la zone étudiée dans l'orogène alpine périméditerranéenne (M. durant Delga ,1969)

- **Le relief :**

La vallée du haut Sébaou de forme allongée suivant une direction Est-Ouest se distingue par un relief accidenté et est caractérisée par de fortes pentes avec un point culminant à 1425 m dans les montagnes du Djurdjura.

II.3. Sismicité de la région d'étude

La sismicité du Nord algérien est la conséquence des mouvements tectoniques complexes, issus du rapprochement de la plaque africaine au sud et la plaque eurasienne au Nord et donnant lieu à la formation de glissements de terrain et de failles. Elle se manifeste par des séismes d'intensité plus ou moins violent selon les zones d'impact.

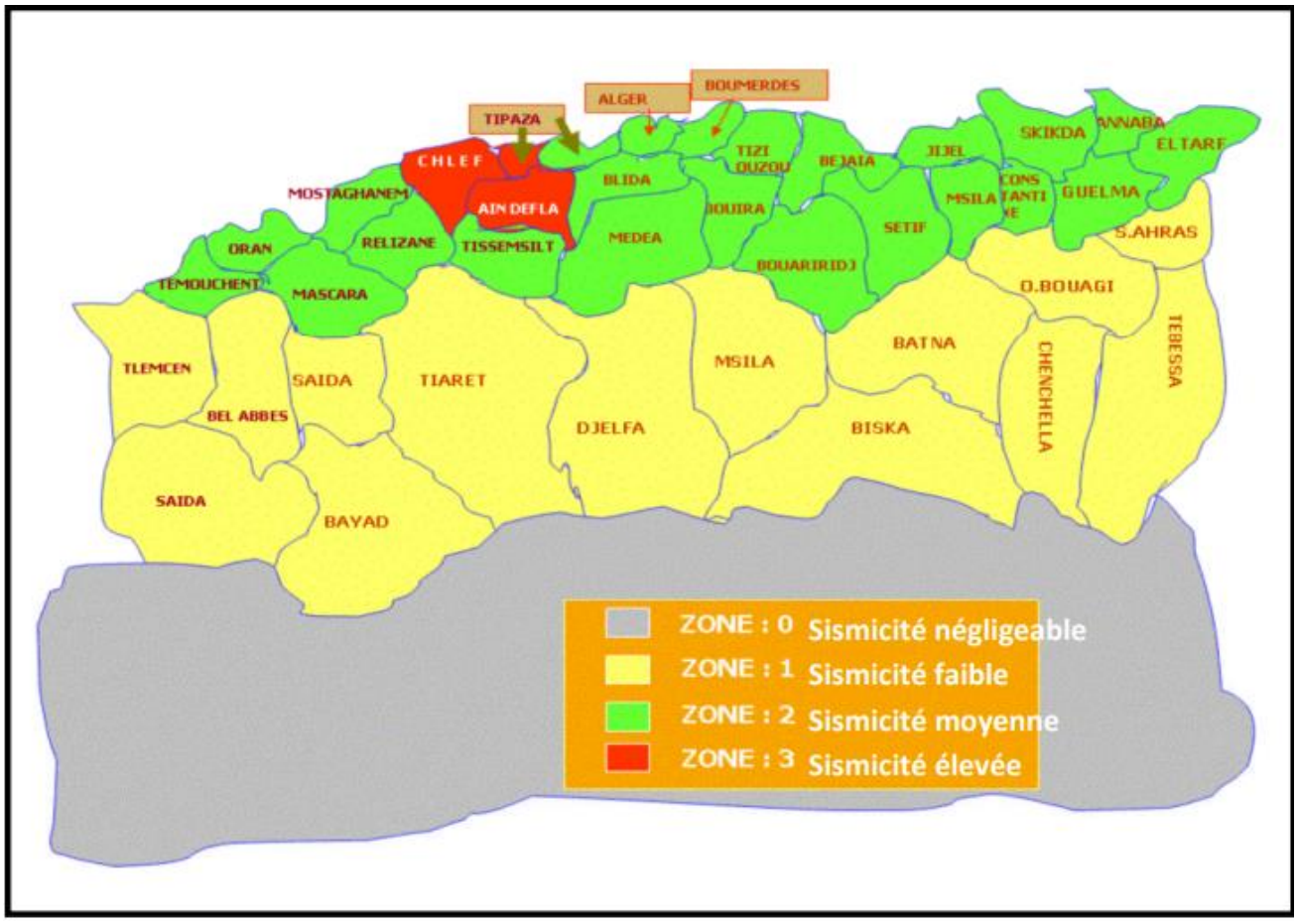


Figure II.6: Carte des zones séismiques du Nord algérien.

II.4. Pédologie :

Sur les phénomènes des crues et d'érosion, un sol agit par sa capacité d'infiltration et son aptitude à la saturation.

Les alluvions recouvrent le fond des vallées de haut Sébaou. En surface ; on observe une multitude de galets. Les colluvions sur schistes ou micaschistes sont de nature essentiellement argileuse. Les dépôts de pente assez importants sont constitués de débris de schistes, de quartzites et degrés.

II.5. Végétation :

La végétation joue un rôle multiple et plus ou moins déterminant suivant sa nature et sa densité. En créant des conditions favorables à l'infiltration, elle réduit l'écoulement de surface, amortir les crues et s'oppose aux phénomènes d'érosion.

Le bassin versant du haut Sébaou et recouvert essentiellement de maquis et d'arbres avec comme essence principale l'Olivier, quelques pratiques agricoles sont effectuées sur les terrasses alluviales.

La répartition de la végétation dans le milieu est conditionnée essentiellement par les facteurs édaphiques, climatiques, l'altitude et la lithologie. Plusieurs types de végétations composent notre sous bassin versant :

- Au niveau du flanc Nord de la chaine calcaire, la réouverture végétale est dominée par le cèdre et divers types de chênes dont l'altitude est comprise entre 1000 et 1600 mètres la ou les grés et les schistes occupent l'essentiel des affleurements géologiques.
- En basse altitude, le maquis et les oliviers sont les plus répandus ainsi que les genets, lentisque, laurier rose et les roseaux dans les lits des oueds, qui sont caractéristique de la végétation de type méditerranéenne.
- Dans le versant Sud et la basse vallée en milieux marno-argileux et schisteux (GANI,1988), le figuier, le frêne, le genet et le figuier de barbarie, sont présents partout.

L'eucalyptus est très présent en particulier sur les terrasses alluviales.

II.6. La Situation climatologique :

Le climat de la région est méditerranéen tempéré, caractérise par un hiver pluvieux et frais et un été et chaud. La période sèche s'étend généralement de la fin du mois de mai jusqu'au début du mois d'octobre.

Tableau II.1 : Température moyenne mensuelles de l'air (en °C) maximale, minimale, moyennes) enregistré à Tizi Ouzou période 2015 à 2020 (Source ONM de Tizi Ouzou)

Mois	**Sep**	**Oct**	**nov.**	**Déc.**	**Jan**	**Fév.**	**Mars**	**Avril**	**Mai**	**Juin**	**Juil**	**Aout**	**Annuel**
T.moy	24.4	20	15.9	12.4	11.1	13	14.4	19.7	20.7	24.7	29.1	30.5	19.5
T.min	18.6	14.4	11.8	8.5	6.9	8.4	9.6	11.7	14.7	18.1	21.6	21.4	13.4
T.max	30.7	26.5	21.2	16.3	15.6	18.1	19.8	21.9	19.7	32.1	36.5	36	25.5

II.6.1. Le vent :

Il constitue en certains biotopes un facteur écologique limitant. Sous l'influence de vents violent, la végétation est limitée dans son développement. Le vent peut être également responsable du façonnement du relief, de l'évapotranspiration et de la formation de la végétation.

Il est également connu pour son effet disséminateur des gaines et des diaspores.

Tableau II.2: Moyenne mensuelles des vitesses du vent (Source : ONM)

Mois	**S**	**O**	**N**	**D**	**J**	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**J**	**A**
Vitesse (Km/h)	1.92	1.63	1.45	1.75	1.57	1.63	1.57	1.85	1.13	2.63	2.21	2.07

D'après les données de l'ANRH on constate que les vents dans la zone d'étude sont généralement d'orientation Ouest à sud-ouest. Force des vents :

Elle est estimée d'après une échelle télégraphique dont les degrés sont les suivants :

0 : vent calme ;

1-2 : vent faible ;

3-4 : vent modéré :

5-6 : vent assez fort ;

7-8 : vent fort ;

9 : vent violent ;

D'après les données disponibles, on constate que la région d'étude est caractérisée par des vents faibles.

II.6.2. La température :

Les températures conditionnent le déficit d'écoulement ainsi que son estimation et jouent un rôle dans le processus de condensation et d'évaporation de l'eau.

Tableau II.3: Température relative moyenne en 2019

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Années
T(°C)	26.1	20	15.8	12.5	9.8	11.6	14.2	16.1	25.4	28.9	29.4	19.6	19.6

(Source A.N.R.H)

II.6.3. L'humidité relative de l'air :

L'humidité relative (HR) de l'air est un indice qui mesure la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air, par rapport à la quantité maximale que l'air peut contenir à une température donnée. Elle est exprimée en pourcentage et reflète donc le niveau de saturation de l'air en vapeur d'eau. Les seuls enregistrements disponibles pour ce paramètre sont ceux effectué à la station de Tizi-Ouzou qui est tout près de notre zone d'étude pour une période de six ans (1989-2005) et dont les valeurs sont consignées dans le tableau ci-après :

Tableau II.4: Moyenne mensuelle de l'humidité (1989-2005)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Humidité (%)	58	71	76	78	74	76	71	70	60	58	51	50

(Source A.N.R.H)

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons rassemblé l'ensemble des données essentielles sur la région concernée, notamment sa géologie, sa topographie et son climat. Ces informations constituent une base fondamentale pour la suite de notre étude, car elles nous permettront d'analyser les phénomènes hydrologiques et d'évaluer les solutions d'aménagement adaptées aux caractéristiques du site. Cette première étape assure ainsi une compréhension approfondie du contexte et facilite l'élaboration d'un projet efficace et cohérent.

CHAPITRE III :

Etude hydrologique

CHAPITRE III : ÉTUDE HYDROLOGIQUE

Introduction :

L'hydrologie est une discipline qui englobe une multitude de phénomènes naturels, depuis les précipitations jusqu'aux processus d'écoulement et d'infiltration. Elle est essentielle pour la gestion des ressources en eau, l'étude des risques naturels (comme les inondations et la sécheresse), et la planification de l'aménagement du territoire. En étudiant le comportement de l'eau, l'hydrologie permet de mieux comprendre et gérer l'impact des phénomènes climatiques sur les environnements et les sociétés humaines.

III.1 Bassin versant :

III.1.1 Caractéristiques Principale du bassin versant :

Un bassin versant (ou zone de drainage) est une unité géographique délimitée par des lignes de crête ou des lignes de partage des eaux, au sein de laquelle toutes les eaux de pluie, de fonte des neiges ou d'autres sources d'eau, s'écoulent vers un exutoire unique, tel qu'un fleuve, une rivière, un lac ou un océan. En d'autres termes, c'est la région dont l'eau de surface se dirige vers un même point de collecte, généralement par le biais des rivières et de leurs affluents.

III.1.2. Caractéristiques morphologiques :

- **La Surface (S) :**

La surface topographique d'un bassin versant est en effet un paramètre essentiel pour comprendre et géré les phénomènes hydrologiques qui s'y produisent. Elle influence directement l'écoulement des précipitations, les infiltrations dans le sol, le ruissellement, et d'autre aspects importants de la gestion de l'eau.

La surface du bassin versant peut-être mesurée par des différentes méthodes par Arc Gis version (10.5) il suffit d'utiliser l'option de calcule géométrique de ce logiciel.

- **Le Périmètre (P)**

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

- **La longueur du thalweg principal :**

La longueur du thalweg principale à pour valeur :

Pour oued Sebaou **Lcp= 61.74 km**

Pour oued Aissi **Lcp = 46.59 km**

Le logiciel Arc Gis a été utilisé pour déterminer ces paramètres. Par la projection topographique du plan sur une image SRTM du site www.USGS.gov .

III.1.3. Caractéristiques géométriques :

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

Il caractérise la forme du bassin versant, et renseigne sur la vitesse de concentration des débits et la puissance des crues ainsi que sur l'érosion. C'est le rapport entre le périmètre du bassin versant et la circonférence du cercle ayant la même superficie que le bassin versant.

L'indice de Gravelius est donné par la formule :

$$K_G = \frac{P}{2\pi\sqrt{\frac{S}{\pi}}} = 0.28\frac{P}{\sqrt{S}} \qquad \text{(III.1)}$$

Avec :

S : surface du bassin versant (Km^2)

P : périmètre du bassin versant (km)

Pour

Si : K_G=1.3le bassin est compact.

Si :1< K_G <1.3 donc le bassin versant est moins compact.

Si : K_G> 1.3 donc le bassin versant est allongé.

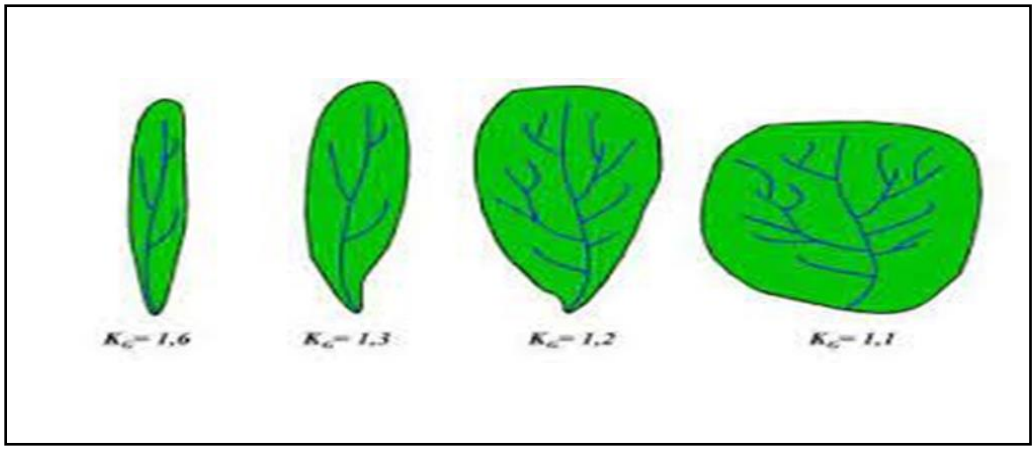


Figure III.1 :la forme du bassin versant en fonction de l'indice de Gravelius (KG)

- **Le Rectangle équivalent :**

On suppose que l'écoulement dans un bassin versant particulier est identique à celui d'un rectangle de même surface, avec le même indice de Gravelius, la même distribution des sols et de la végétation et la même densité de drainage.

- La langueur Lr :

$$L_r = \frac{k_c\sqrt{S}}{1.128}\left[1+\sqrt{1-\left(\frac{1,128}{k_c}\right)^2}\right] \qquad \text{(III.2)}$$

- La largeur lr :

$$l_r = \frac{k_c\sqrt{S}}{1,128}\left[1-\sqrt{1-\left(\frac{1,128}{kc}\right)^2}\right] \qquad \text{(III.3)}$$

L'écartement Li entre deux courbes de niveaux est calculé d'après la relation :

$$Li = L_{re}\frac{Si}{100} \qquad \text{(III.4)}$$

Le rectangle équivalent du bassin versant de l'oued Sebaou est représentée par la figure construite d'après les données du tableau ci – dessous :

Tableau III.1: Les données de base du rectangle équivalent du bassin versant de l'oued Sebaou

N°	Courbes de niveau Hi	Surface Partielle Si	Surface Partielle Si	Ecartement Li	Ecartement cumulé ΣLi
-	(m)	(Km^2)	%	(Km)	(Km)
1	1888-1600	6.66	0.69	0.46	0.46
2	1600-1400	18.93	1.95	1.30	1.76
3	1400-1200	46.51	4.79	3.19	4.95
4	1200-1000	85.49	8.8	5.87	10.82
5	1000-800	125.32	12.9	8.60	19.42
6	800-600	157.15	16.18	10.79	30.21
7	600-400	147.22	15.16	10.11	40.32
8	400-200	215.03	22.14	14.76	55.08
9	200-65	169.07	17.4	11.60	66.68

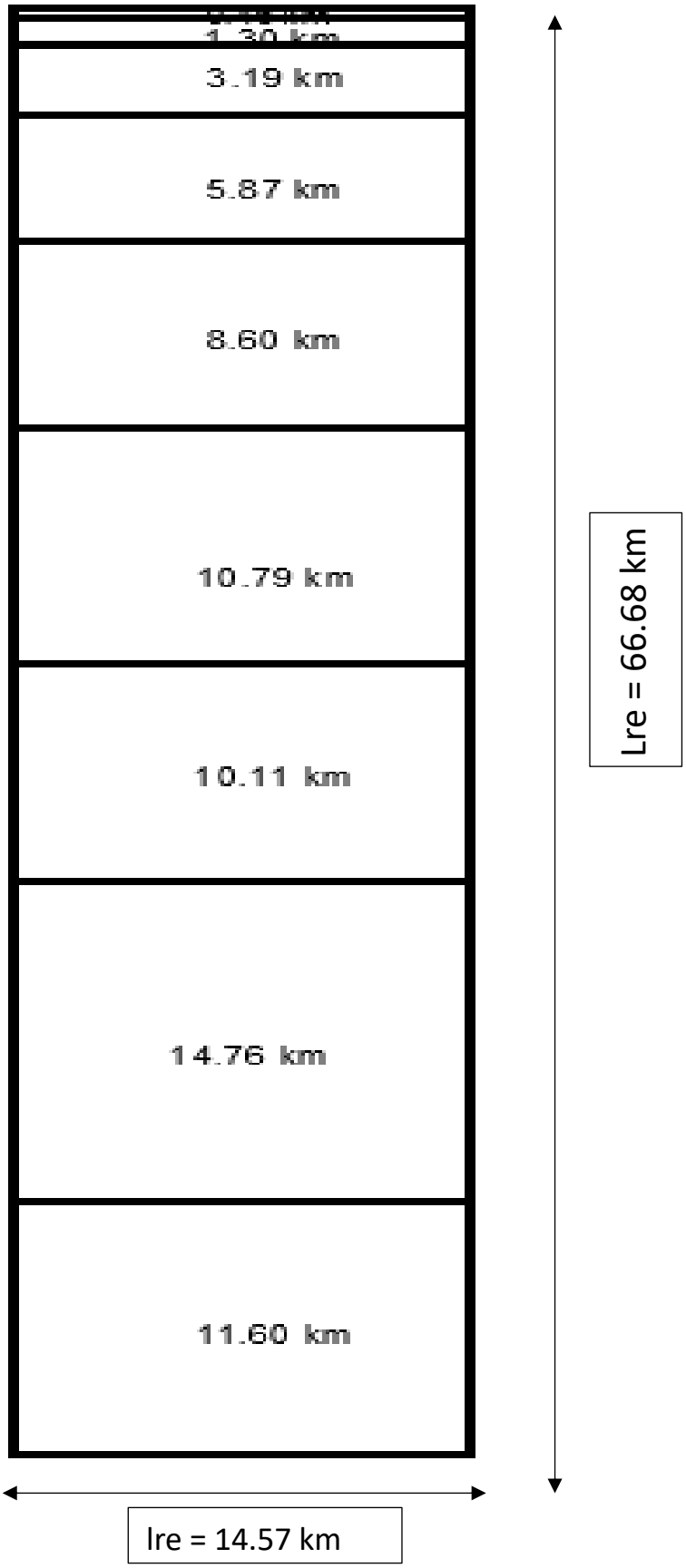


Figure III.2: Rectangle équivalent du bassin versant de l'oued Sebaou (source, Logiciel Autocad)

Tableau III.2 : Les données de base du rectangle équivalent du bassin versant d'oued Aissi

N°	Courbes de niveau Hi	Surface partielle Si	Surface partielle Si	Ecartement Li	Ecartement cumulé ΣLi
-	(m)	(Km^2)	%	(Km)	(Km)
1	2301-2200	0.12	0.02	0.009	0.009
2	2200-2000	0.97	0.21	0.095	0.104
3	2000-1800	5.31	1.13	0.512	0.617
4	1800-1600	13.72	2.92	1.324	1.941
5	1600-1400	19.63	4.18	1.896	3.838
6	1400-1200	20.01	4.26	1.932	5.771
7	1200-1000	32.54	6.92	3.139	8.910
8	1000-800	52.65	11.2	5.081	13.992
9	800-600	97.52	20.75	9.414	23.406
10	600-400	132.18	28.12	12.758	36.164
11	400-200	74.64	15.89	7.204	43.37
12	200-68	20.68	4.4	1.996	45.37

- **Coefficient d'allongement :**

Ce coefficient est obtenu par la relation suivante :

$$Ca = \frac{Lcp2}{S} \qquad \text{(III.5)}$$

Avec :

L_{cp} : longueur du thalweg principal ;

S : la surface du bassin versant (km^2).

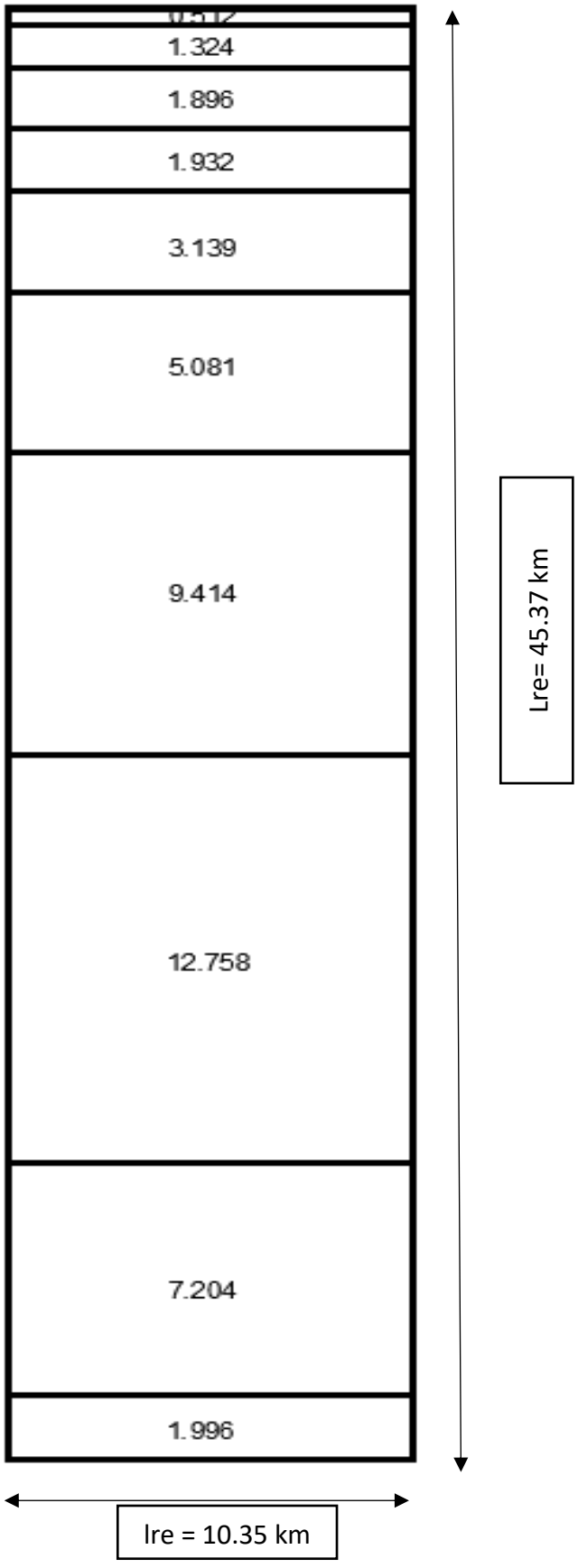


Figure III.3: Rectangle équivalent du bassin versant de l'oued Aissi (source, logiciel Autocad)

Tableau III.3 : Les paramètres hydro-morphométriques des sous bassins.

Désignation		Symbole	Unité	Sous bassins versants	Valeur
Superficie		S	Km^2	Oued Sébaou	972
				Oued Aissi	470
Périmètre		P	Km^2	Oued Sébaou	163.72
				Oued Aissi	112
Indice de compacité de Gravilius		K_G	/	Oued Sébaou	1.47
				Oued Aissi	1.45
Longueur du thalweg principale		L_{cp}	Km	Oued Sebaou	61.74
				Oued Aissi	46.59
Coefficient d'allongement		C_a	/	Oued Sebaou	3.92
				Oued Aissi	4.61
Rectangle Équivalent	**Longueur**	L	Km	Oued Sébaou	66.68
				Oued Aissi	45.37
	Largeur	l		Oued Sébaou	14.57
				Oued Aissi	10.35

III.1.4. Caractéristiques hydrographiques :

III.1.4.1 Etude du relief

L'étude du **r**elief est essentielle dans le cadre de l'hydrologie, car il influence directement le mouvement de l'eau à travers un bassin versant. Le relief façonne le réseau hydrographique, régule le ruissellement, l'infiltration et peut affecter les risques naturels, tels que les inondations et l'érosion. Comprendre la topographie est donc crucial pour la gestion des ressources en eau, la prévention des risques et l'aménagement du territoire.

III.1.4.2. Courbe hypsométrique :

La courbe hypsométrique est une représentation graphique qui montre la distribution des superficies d'un bassin versant en fonction de leurs altitudes. Elle offre une vue synthétique de la topographie ou du relief d'une région. En examinant cette courbe, il est possible de déduire des informations importantes sur la pente du bassin et sur la manière dont les différentes altitudes sont réparties dans la zone étudiée.

Elle est tracée en plaçant les altitudes en ordonnée et les pourcentages de surface en abscisse.

La courbe hypsométrique est générée à partir des calculs qui déterminent la répartition des surfaces du bassin versant par tranches d'altitudes, en calculant les surfaces partielles entre les courbes de niveau successives. Cette courbe représente la fraction de la superficie totale située entre deux courbes de niveau adjacentes.

- La carte hypsométrique obtenue à partir du modèle numérique du terrain (MNT), montre l'existence des altitudes essentiellement faibles d'environs 65 m au niveau de l'exutoire et au fur et à mesure qu'on s'éloigne, les altitudes deviennent de plus en plus élevées jusqu'à atteindre l'altitude maximale de 2301 m.

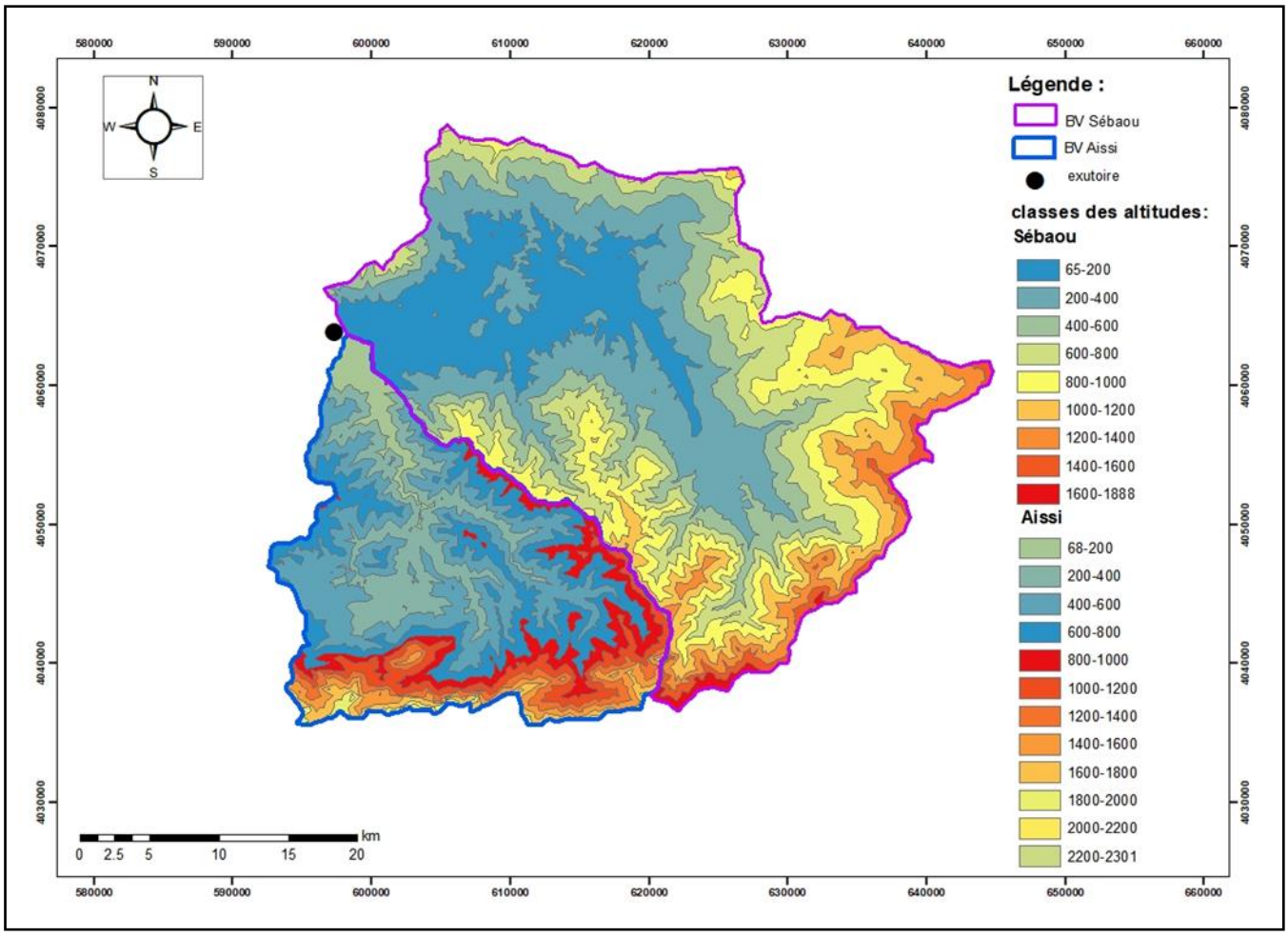


Figure III.4: Carte hypsométrique des sous bassins versant oued Sebaou et oued Aissi

-la répartition des surfaces élémentaires et leurs cumule en fonction des altitudes ont été obtenues avec le logiciel Arc Gis données sous forme des tableaux et la répartition des surfaces et les courbes hypsométriques du bassin versant.

Tableau III.4: Répartition hypsométrique du bassin versant d'oued Sebaou

N°	Courbes de niveau Hi	Surface partielle Si	Surface partielle Si	Surface cumulée
	(m)	(Km^2)	%	%
1	1888-1600	6.66	0.69	0.69
2	1600-1400	18.93	1.95	2.64
3	1400-1200	46.51	4.79	7.43
4	1200-1000	85.49	8.8	16.23
5	1000-800	125.32	12.9	29.13
6	800-600	157.15	16.18	45.31
7	600-400	147.22	15.16	60.47
8	400-200	215.03	22.14	82.61
9	200-65	169.07	17.4	100

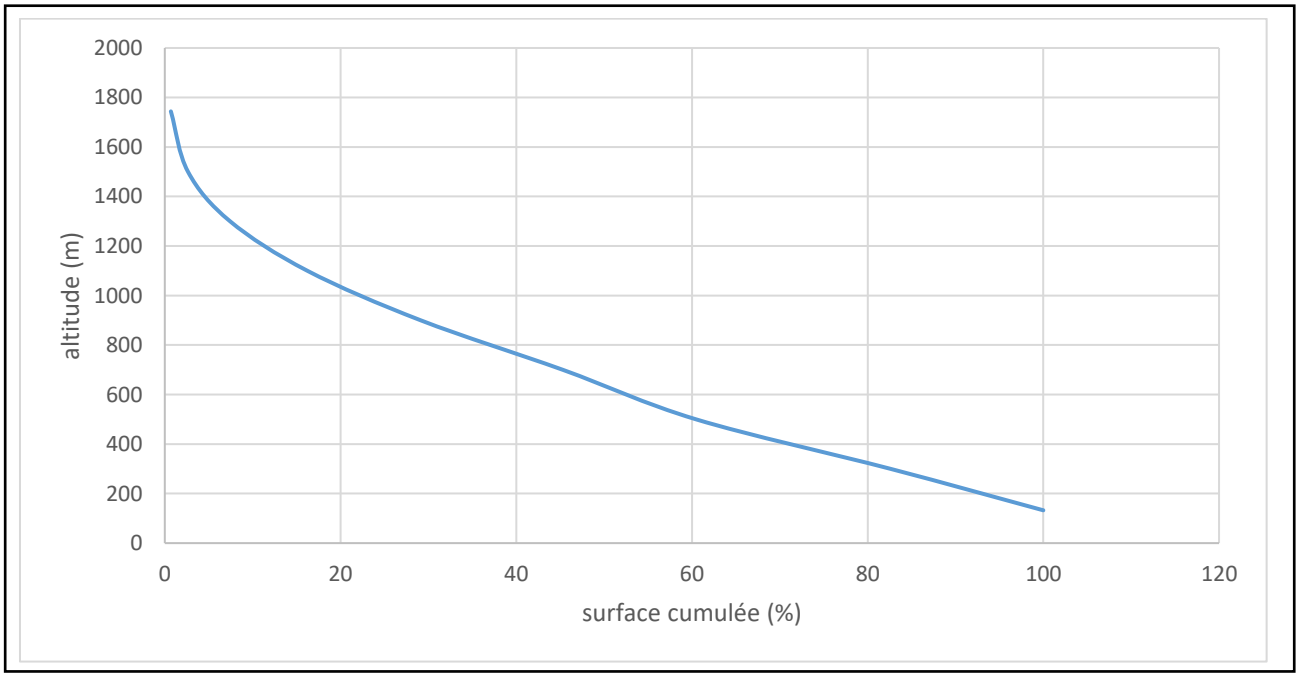


Figure III.5: Répartition des surfaces et la courbe hypsométrique du sous bassin versant oued Sebaou

Tableau III.5: Répartition hypsométrique du bassin versant d'oued Aissi

N°	Courbes de niveau	Surface partielle Si	Surface partielle Si	Surface cumulée ΣLi
	(m)	(Km)	%	%
1	2301-2200	0.12	0.02	0.02
2	2200-2000	0.97	0.21	0.23
3	2000-1800	5.31	1.13	1.36
4	1800-1600	13.72	2.92	4.28
5	1600-1400	19.63	4.18	8.46
6	1400-1200	20.01	4.26	12.72
7	1200-1000	32.54	6.92	19.64
8	1000-800	52.65	11.2	30.84
9	800-600	97.52	20.75	51.59
10	600-400	132.18	28.12	79.71
11	400-200	74.64	15.89	95.6
12	200-68	20.68	4.4	100

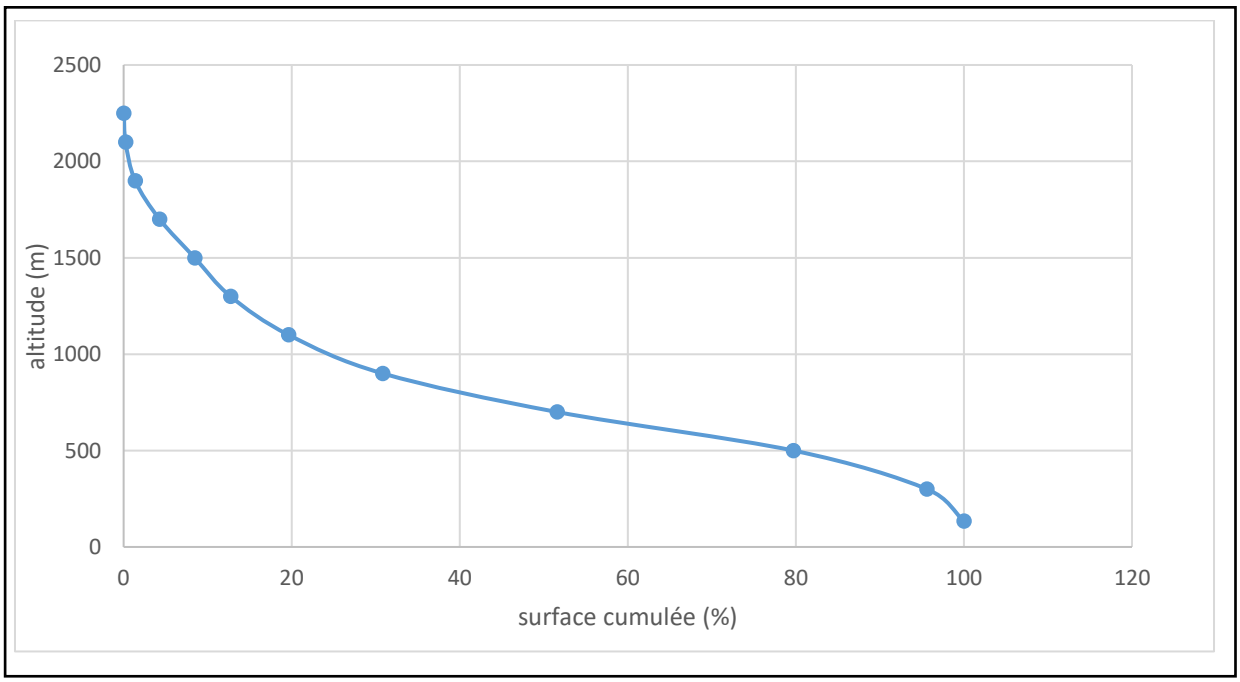


Figure III.6 : Répartition des surfaces et la courbe hypsométriques du sous bassin versant oued Aissi

- **Détermination des altitudes :**

A partir de la courbe hypsométrique du bassin d'oued Sébaou, nous avons extrait les altitudes suivantes :

- Altitude maximale Hmax = 1888 m
- Altitude minimale Hmin = 65 m
- Altitude de fréquence 95 % =260 m
- Altitude de fréquence 5%=1480 m
- Altitude médiane 50% = 750 m
- Altitude moyenne pondérée est calculée à partir de la relation :

  Hmoy $= \Sigma \frac{SiHi}{S}$
- Altitude moyenne Hmoy = 594.47 m

A partir de la courbe hypsométrique du bassin d'oued Aissi, nous avons extrait les altitudes suivantes :

- Altitude maximale Hmax =2301 m
- Altitude minimale Hmin = 68m
- Altitude de fréquence 95 % =320 m
- Altitude de fréquence 5%=1650 m
- Altitude médiane 50% = 720 m
- Altitude moyenne Hmoy = 710.37 m

L'information de base pour le calcul de l'altitude moyenne est présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.6 : Répartition altimétrique des superficies du bassin versant d'oued Sebaou

N°	Courbes de niveau	Surface partielle (Si)	Hi×Si
	(m)	(Km^2)	(m Km^2)
1	1888-1600	6.66	11615.04
2	1600-1400	18.93	28395
3	1400-1200	46.51	60463
4	1200-1000	85.49	94039
5	1000-800	125.32	112788
6	800-600	157.15	110005
7	600-400	147.22	73610
8	400-200	215.03	64509
9	200-65	169.07	22401.775
Total			**577825.815**

Tableau III.7 : Répartition altimétrique des superficies du bassin versant d'oued Aissi

N°	Courbes de niveau	Surface partielle Si	Hi×Si
	(m)	(Km^2)	(m km^2)
1	2301-2200	0.12	270.06
2	2200-2000	0.97	2037
3	2000-1800	5.31	10089
4	1800-1600	13.72	23324
5	1600-1400	19.63	29445
6	1400-1200	20.01	26013
7	1200-1000	32.54	35794
8	1000-800	52.65	47385
9	800-600	97.52	68264
10	600-400	132.18	66090
11	400-200	74.64	22392
12	200-68	20.68	2771.12
Total			**333874.18**

III.1.4.3. Les indices de pente :

Dans l'étude hydrologique, les indices de pente sont utilisés pour analyser le mouvement de l'eau à travers le paysage. Ils contribuent à l'évaluation de la qualité de l'eau, à la modélisation des écoulements d'eau, à l'identification des zones inondables et à l'identification des bassins versant.

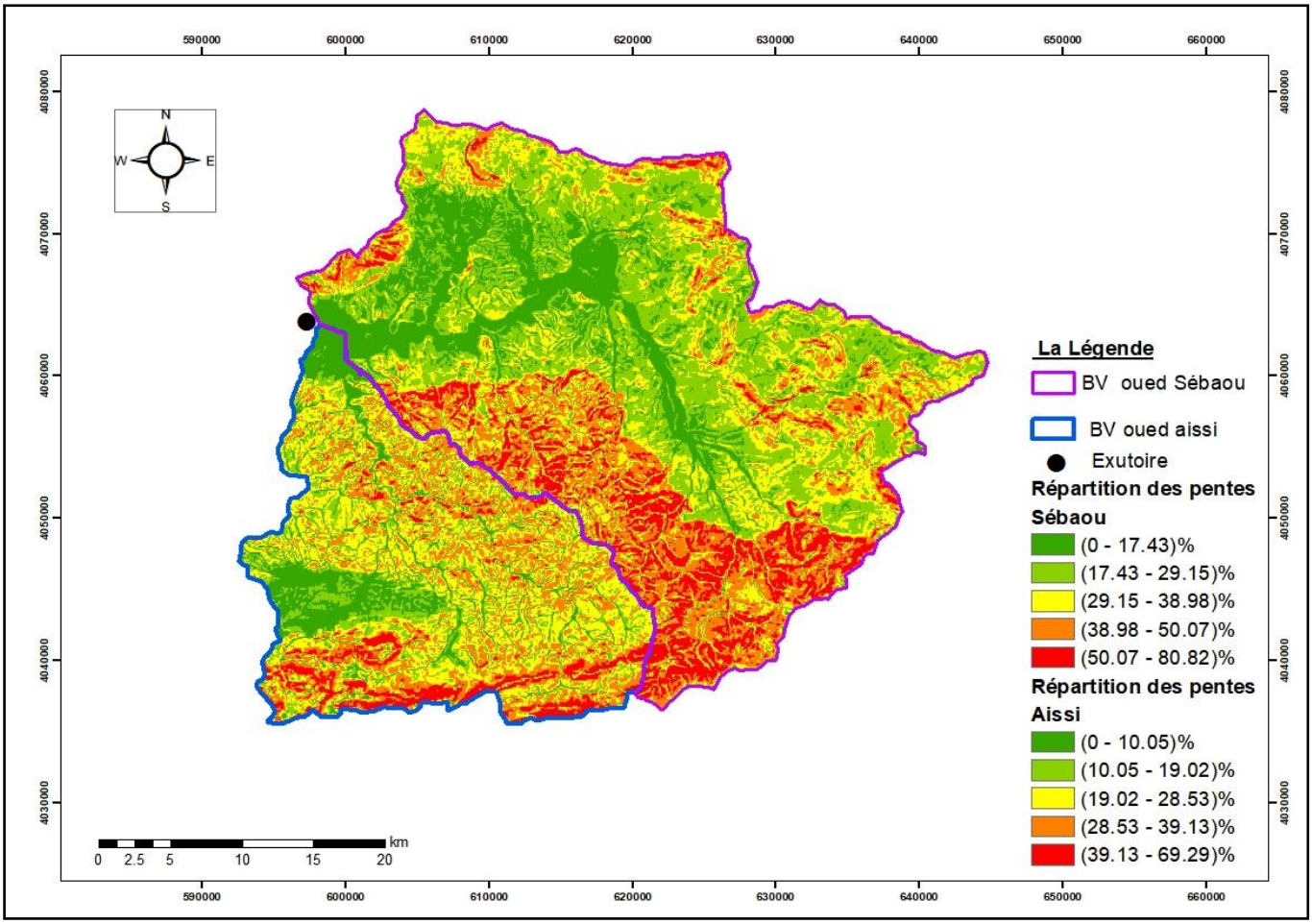


Figure III.7: Carte des pentes pour les sous bassins versant Sebaou et Aissi

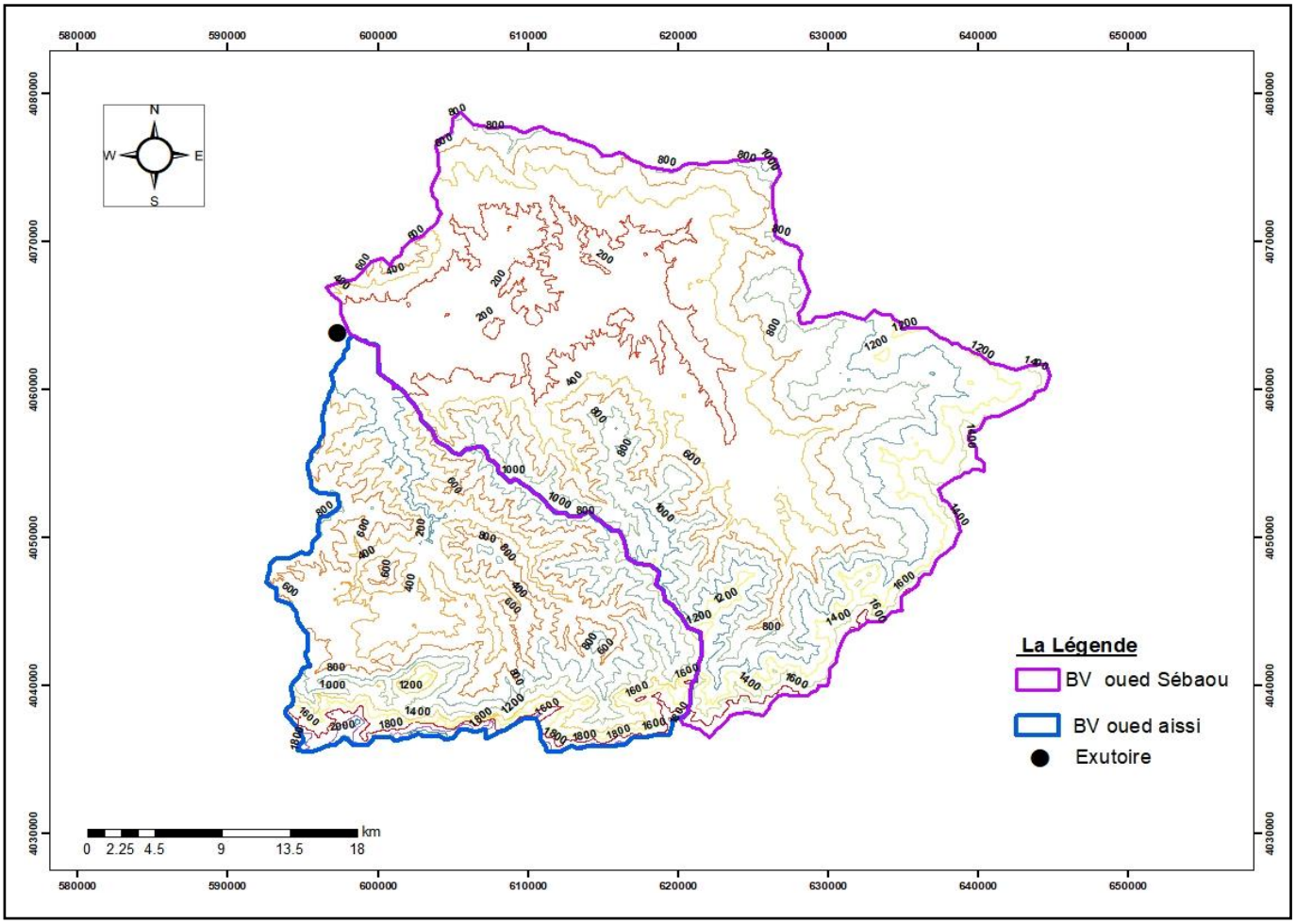


Figure III.8: Carte des courbes de niveaux des sous bassins versant Sebaou et Aissi

- **La pente des sous bassins versants :**

$$I_{BV} = \frac{Hmax - Hmin}{Lcp} \qquad \text{(III.6)}$$

Avec :

Lcp : longueur du cours d'eau principale (km).

Hmax et Hmin : altitudes maximale et minimale (m).

- **La pente moyenne des sous bassins versant :**

Elle est calculée par la formule suivante :

$$Im = \frac{\Delta H(0.5L1+L2+\cdots+0.5Ln)}{SBV} \qquad (III.7)$$

Avec :

ΔH : dénivelés entre deux courbes de niveaux successives (m)

L_1, L_2 …L_n : les longueurs des courbes de niveaux (km)

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

Tableau III.8: Pente moyenne de sous bassin oued Sebaou

Courbes de niveaux	**Longueur(km)**	**ΔH(m)**	**Surface (km^2)**	**Im (m/km)**
200	231.47	200	972	**222.18**
400	178.51			
600	226.57			
800	234.22			
1000	140.16			
1200	107.30			
1400	56.94			
1600	18.59			
1800	3.63			

Tableau III.9: pente moyenne de sous bassin oued Aissi

Courbes de niveaux	**Longueur(km)**	**ΔH(m)**	**Surface (km2)**	**Im (m/km)**
200	45.40	200	470	**371.14**
400	193.41			
600	235.45			
800	131.89			
1000	86.72			
1200	58.82			
1400	58.64			
1600	49.78			
1800	27.09			
2000	7.15			
2200	1.07			

- **Indice de pente de ROCHE (Ip) :**

L'indice de pente I_p de M. Roche sert à déterminer la pente moyenne avec les données réelles du bassin versant.il est données par la formule suivante :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{Lre}} \Sigma \sqrt{S_i(H_i - H_i - 1)} \qquad \text{(III.8)}$$

Avec :

L_{re} = longueur de rectangle équivalent (m).

Si : surface partielle (%) comprise entre deux courbes de niveau

Tableau III.10 : Calcule de l'indice de pente de Roche du bassin versant de l'oued Sebaou

N°	Courbes de niveau	Dénivelée	Surface partielle	$\sqrt{S_i(H_i - H_i - 1)}$
	(m)	(m)	(km^2)	($km.m^{1/2}$)
1	1888-1600	288	6.66	43.79
2	1600-1400	200	18.93	61.53
3	1400-1200	200	46.51	96.44
4	1200-1000	200	85.49	130.75
5	1000-800	200	125.32	158.31
6	800-600	200	157.15	177.28
7	600-400	200	147.22	171.59
8	400-200	200	215.03	207.37
9	200-65	135	169.07	151.07
Total				**1198.13**

Tableau III.11 : Calcule de l'indice de pente de Roche du bassin versant de l'oued Aissi

N°	Courbes de niveau	Dénivelée	Surface partielle	$\sqrt{S_i(H_i - H_{i-1})}$
	(m)	(m)	(Km^2)	($Km.m^{1/2}$)
1	2301-2200	101	0.12	3.48
2	2200-2000	200	0.97	13.93
3	2000-1800	200	5.31	32.59
4	1800-1600	200	13.72	52.38
5	1600-1400	200	19.63	62.66
6	1400-1200	200	20.01	63.26
7	1200-1000	200	32.54	80.67
8	1000-800	200	52.65	102.62
9	800-600	200	97.52	139.66
10	600-400	200	132.18	162.59
11	400-200	200	74.64	122.18
12	200-68	132	20.68	52.25
Total				**888.26**

- **Indice de pente globale (Ig) :**

Le rapport entre l'altitude comprise entre 5% et 95% de la surface du bassin et la longueur du rectangle équivalent est appelé altitude.

Cet indice est déterminé par la formule suivante :

$$Ig = \frac{D}{L} = \frac{(H5\% - H95\%)}{L} \qquad \text{(III.9)}$$

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.12: Classification ORSTOM du relief à partie de l'indice de pente globale

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

- **La Dénivelée spécifique (Ds) :**

La dénivelée spécifique (Ds) permet d'utiliser la classification de L'O.R.S.T.O.M (tableau) qui permet définir les différents types de relief des bassins versant quelque soient leurs superficies.la dénivelée spécifique donne une idée générale sur le relief du bassin, elle est donnée par la formule suivante :

$$Ds = I_g \sqrt{S} = D\sqrt{\frac{I}{L}} \qquad \text{(III.11)}$$

Avec :

Ds : Dénivelée spécifique (m) ;

Ig : Indice de pente globale (m/m) ;

S : Superficie du bassin versant (km^2).

Tableau III.13: Classification des reliefs d'après l'O.R.S.T.O.M

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

Les résultats de calcul des indices de pente sont compilés dans les Tableaux n°III.14 et n°III.15 ci-après

Tableau III.14 : Résultats de calculs des pentes et la dénivelée spécifique du sous bassin (Oued Sebaou)

Paramètres	Symboles	Unités	Valeurs
Pente du bassin versant	I_{BV}	m/km	**29.52**
Pente moyenne de bassin versant	I_{mBV}	m/km	**222.18**
Indice de pente globale	I_g	m/m	**18.30**
Indice de pente moyenne du cours d'eau	I_c	m/m	**24.86**
Indice de pente de Roche	I_p	%	**146.72**
Dénivelée spécifique	D_s	m	**570.53**
Relief	/		**Très fort**

Tableau III.15: Résultat de calculs des pentes et la dénivelée spécifique du sous bassin (Oued Aissi)

Paramètres	Symboles	Unités	Valeurs
Pente du bassin versant	I_{BV}	m/km	**47.94**
Pente moyenne de bassin versant	I_{mBV}	m/km	**371.74**
Indice de pente globale	I_g	m/m	**28.55**
Indice de pente moyenne du cours d'eau	I_c	m/m	**32.88**
Indice de pente de Roche	I_p	%	**131.87**
Dénivelée spécifique	D_s	m	**618.95**
Relief	/		**Très fort**

III.1.5 Étude du réseau hydrographique :

- **Le chevelu hydrographique**

Le réseau hydrographique est l'ensemble des chenaux qui drainent les eaux de surface vers l'exutoire du bassin versant.

Un chenal peut être défini comme l'inscription permanente dans l'espace d'un écoulement concentré plus ou moins permanent. À l'amont de tout chenal les processus hydrologiques sont aréolaires, spatiaux, est-à-dire qu'ils intéressent une surface et non une ligne ; dans le chenal ils deviennent linéaires.

Un réseau hydrographique est donc l'ensemble des cours d'eau, affluents et sous – affluents d'une rivière ou d'un même fleuve. A l'état naturel tous les réseaux sont hiérarchisés, de nombreux auteurs ont proposé des classifications de ces réseaux.

- **Classification de HORTON**

Tout cours d'eau sans affluent est d'ordre 1, tout cours d'eau ayant un affluent d'ordre X est d'ordre X+1, et garde cet ordre sur toute sa longueur. À la confluence de deux talwegs d'importance égale, on donne l'ordre supérieur au plus long.

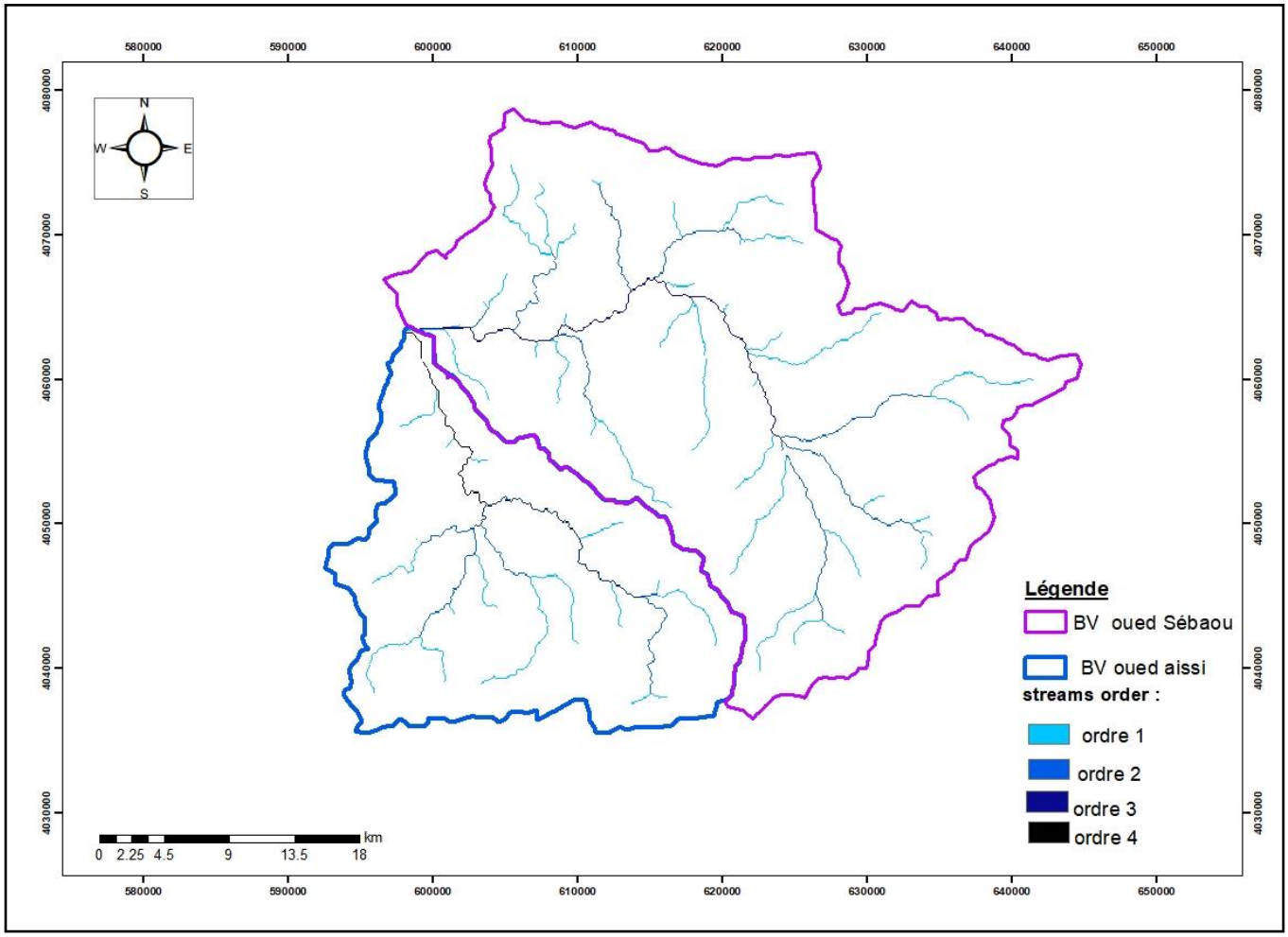


Figure III.9: Réseau hydrographique des sous bassins versants Sebaou et Aissi

- **Le profil en long :**

Le profil en long du cours d'eau On a l'habitude de représenter graphiquement la variation altimétrique du fond du cours d'eau en fonction de la distance à l'émissaire. Il permet de définir sa pente moyenne.

- **Densité de drainage Dd**

La densité de drainage est définie comme le rapport entre la longueur totale de tous les cours d'eau dans un bassin versant donner et la superficie de ce bassin. Cette mesure reflète la complexité et la dynamique du réseau hydrographique. Une valeur élevée de la densité de drainage indique un réseau hydrographique relativement dense. Elle est exprimée en Km/Km^2 et donnée par la formule suivante :

$$Dd = \frac{\sum_{i=1}^{n} Li}{S} \qquad \text{(III.12)}$$

Avec :

Dd : densité de drainage en km/Km^2

ΣLi : la somme des longueurs de tous les cours deau considérés pour le bassin versant

S : la surface du bassin versant en Km^2

- **Le temps de concentration**

Le temps de concentration est le temps écoulé entre le début d'une précipitation et l'atteinte du débit maximal à l'exutoire du bassin versant. Il correspond au temps nécessaire pour permettre à l'eau de ruisseler du point le plus reculé du bassin versant jusqu'à l'exutoire. Pour ce paramètre on tient compte des caractéristiques géométriques et morphologiques du bassin on calcul à partir des formules empiriques.

- **Formule de Giandotti :**

  La formule est donnée par :

$$\mathbf{Tc} = \frac{4\sqrt{S}+1{,}5L}{0{,}8\sqrt{Hmoy - Hmin}} \qquad \text{(III.13)}$$

  Avec :

  S : superficie du bassin versant en km^2

  Lp : longueur de thalweg principale

  Hmoy : Altitude moyenne en mètre

  Hmin : altitude minimale en mètre

- **Formule de SCS ANRH (sogreah 1986/1989) :**

  La formule est donnée par :

$$Tc = \left(\frac{0.87 \times Lc_p^3}{Hmoy - Hmin}\right)^{0.385} \qquad \text{(III.15)}$$

  Avec :

  H_{moy} et H_{min} : altitudes moyenne et minimale du bassin versant (m).

  L_{cp} : longueur du cours d'eau principal (km).

Tableau III.16: Valeur retenues du temps de concentration pour les deux bassins versants.

Formules	Sous bassins versant	
	Oued Sébaou	Oued Aissi
GIANDOTTI	11.80	7.72
SCS ANRH	9.91	6.65

On prend la valeur qui estimée par la formule de GIANDOTTI qui est recommandée pour les grands bassins versant.

- **Vitesse de ruissellement (V_r) :**

Elle est donnée par la formule suivante :

$$Vr = \frac{Lp}{Tc} \qquad \text{(III.16)}$$

Avec :

Lp : longueur du thalweg principal km ;

Tc : temps de concentration en (h) ;

Vr : vitesse de ruissellement ;

On résume les résultats de calcule des paramètres hydrographiques dans le tableau N III.17

Tableau III.17: paramètres hydrographiques des deux sous bassins versants.

Paramètres	Symbole	Unités	Sous bassins	
			Oued Sébaou	Oued Aissi
Densité de drainage	D_d	Km/km^2	**1.76**	**0.98**
Temps de concentration	T_C	Heures	**11.80**	**7.72**
Vitesse de ruissellement	V_r	Km/h	**5.23**	**6.035**

-ci-dessous le tableau qui résume les caractéristiques géométriques des deux sous bassins versants.

Tableau III.18: Caractéristiques géomorphologiques des deux sous bassins versants

Paramètres		**Symbole**	**Unités**	**Sous bassins**	
				Oued Sebaou	**Oued Aissi**
Surface		S	Km^2	**972**	**470**
Périmètre		P	km	**163.72**	**112**
Longueur du thalweg principal		L_{CP}	km	**61.74**	**46.59**
Indice de compacité		K_G	/	**1.47**	**1.45**
Coefficient d'allongement		Ca	/	**3.92**	**4.61**
Rectangle Équivalent	Longueur	L	km	**66.68**	**45.37**
	Largeur	l		**14.57**	**10.35**
Altitude	Maximale	H_{max}	m	**1888**	**2301**
	Moyenne	H_{moy}		**594.47**	**710.37**
	Minimale	H_{min}		**65**	**68**
	Médiane	$H_{5\%}$		**1480**	**1650**
		$H_{50\%}$		**750**	**720**
		$H_{95\%}$		**260**	**320**
Pente du bassin versant		I_{BV}	m/km	**29.52**	**47.94**
Pente moyenne de bassins versant		I_{mBV}	m/km	**222.18**	**371.74**
Indice de pente globale		I_g	m/m	**0.18**	**0.29**
Indice de pente de Roche		I_P	%	**146.72**	**131.87**
Dénivelée spécifique		D_S	m	**570.53**	**618.95**
Densité de drainage		D_d	Km/km^2	**1.76**	**0.98**
Temps de concentration		T_c	Heures	**11.80**	**7.72**
Vitesse de ruissellement		V_r	Km/h	**5.23**	**6.035**

Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'analyser en détail les caractéristiques hydrologiques des bassins versants de l'oued Sebaou et de l'oued Aissi. Nous avons calculé les paramètres morphométriques afin de mieux comprendre la morphologie et le comportement hydrographique de la zone d'étude. Ces analyses sont essentielles pour évaluer les débits de crue et anticiper les risques d'inondation, constituant ainsi une base solide pour la conception des aménagements hydrauliques adaptés.

CHAPITRE IV :

Etude des précipitations maximale journalières

CHAPITRE IV : Etude des précipitation maximale journalières

Introduction :

L'écoulement superficiel est la résultant d'un phénomène aléatoire des précipitations sur les caractéristiques physiques et morphométriques d'un bassin versant. Il existe un rapport certain, entre les précipitations et les apports de même période.

Sous le terme de (précipitations) on englobe toutes les eaux météoriques qui tombent à la Surface d'un bassin versant (pluie, neige, grêles…). Les précipitations constituent l'élément le plus important du bilan hydrique.

En régime climatique méditerranéen, les précipitations ont en fait, deux origines principales :

- Les précipitations frontales de convergence, dues à l'opposition des grandes masses d'air Polaires et tropicales, elles sont en partie responsables des chutes de neige en altitude ;
- Les précipitations de convection dues à l'ascension rapide des masses d'air chaude Tropicales provoquant une situation instable orageuse et des averses très violentes.

Les précipitations du front polaire sont les plus fréquentes et les plus abondantes. Elles alimentent à peu près seul le régime des pluies d'hivers, alors que les précipitations de convections sont à l'origine des averses orageuses de printemps et d'été.

IV.1 Equipement du bassin versant

Toutes les diverses précipitations tombées sur le bassin versant sont mesurées, sans discrimination à l'aide des pluviomètres, par leur équivalence en eau.

Dans le guide OMM (office mondial de la météorologie), les normes établies en matière de densité de réseau pluviométrique en régions accidentées.

Au niveau du bassin versant de l'oued Sebaou nous disposons de 06 postes pluviométrique répartie sur l'ensemble du bassin et de son environnement immédiat, ce qui constitue un réseau suffisamment dense pour obtenir une moyenne fiable pour le bassin.

Tableau IV.1: Caractéristiques des stations pluviométriques

N^0	Stations	Code ANRH	Coordonnées Lambert		Altitude (m)
1	Tizi Ouzou	021810	498.55	363.05	67
2	Yakouren	020902	655.2	382.15	820
3	Beni Yenni	021712	635	365.25	760
4	Makouda	021805	622.65	390.15	520
5	Azeib Mizrana	020810	625.05	398.55	150
6	Tizi Medane	021901	611.65	358.35	500

IV.2 Analyse de l'homogénéité des données ponctuelles

Afin d'allonger les séries courtes, notre travail a consisté en premier lieu à combler les lacunes mensuelles par la moyenne inter annuelle des mois respectifs, dont les séries annuelles dont il manque aux plus cinq mois. Ensuite, nous avons contrôlé l'homogénéité des séries à l'échelle des valeurs annuelles.

L'analyse par la méthode du double cumul teste la consistance et l'homogénéisation des mesures à une station donnée en comparant graphiquement ses pluies cumulées saisonnières ou annuelles aux valeurs cumulées de la pluie moyenne d'un groupe de stations avoisinantes pour la même période d'observations. Un changement de pente de la droite représentative des données observées dans un repère cartésien à un moment donné indique une modification dans le régime pluviométrique.

Un changement dû à des causes météorologiques ne causerait pas un changement dans la pente car toutes les stations de base seraient affectées de la même manière que la station testée. Pour rendre les mesures comparables et homogènes, on doit ajuster les données suspectes par le rapport des pentes m/m'. Ou m'/m ; selon le cas ; des deux segments de droites de la courbe du double cumul.

L'homogénéisation ; par la méthode du double cumul, des séries pluviométriques annuelles mesurées au niveau du bassin, a été fait sur la base des données de la station témoin de Tizi Ouzou, caractérisé par une série d'observations de 31 ans valeurs annuelles supposées homogènes. Dans l'ensemble ; les graphiques présentent une certaine homogénéité.

Tableau IV .2 : Homogénéisations des données de la station Makouda par apport à celle de Tizi Ouzou

Années	Tizi Ouzou Xi(mm)	Cumul xi $\sum x_i(mm)$	Makouda Yi (mm)	Cumul yi $\sum Y_i(mm)$
1990	755.6	18517.6	831.9	18929.9
1991	766.6	17762	853.3	18098
1992	689.3	16995.4	810.3	17244.7
1993	551.3	16306.1	528.9	16434.4
1994	865	15754.8	943.6	15905.5
1995	822.8	14889.8	825.2	14961.9
1996	500	14067	477.6	14136.7
1997	1113.2	13567	1021.4	13659.1
1998	689.5	12453.8	744.8	12637.7
1999	556.4	11764.3	606.8	11892.9
2000	606.9	11207.9	665	11286.1
2001	461.8	10601	492.1	10621.1
2002	1217.5	10139.2	1266	10129
2003	832.6	8921.7	802	8863
2004	696.3	8089.1	730.7	8061
2005	732.6	7392.8	810.2	7330.3
2006	793.1	6660.2	835	6520.1
2007	931.6	5867.1	878	5685.1
2008	1010.8	4935.5	933.3	4807.1
2009	963.8	3924.7	843.3	3873.8
2010	1016.6	2960.9	937.6	3030.5
2011	1028.9	1944.3	1133.8	2092.9
2012	915.4	915.4	959.1	959.1

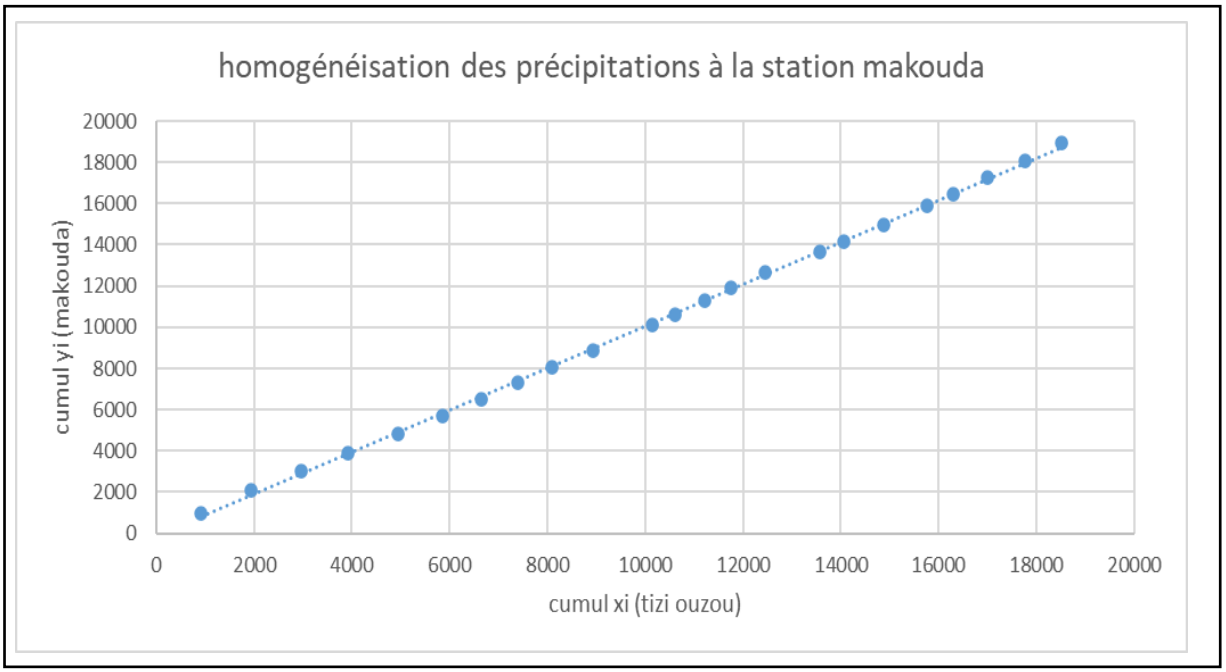


Figure IV.1: Homogénéisation des précipitations à la station Makouda

Tableau IV .3 : Homogénéisations des données de la station Azeib Mizrana par apport à celle de Tizi Ouzou

Années	Tizi Ouzou Xi	Cumul xi $\sum x_i (mm)$	Azeib mizrana Yi	Cumul Yi $\sum y_i (mm)$
1990	755.6	18517.6	927.5	19730.7
1991	766.6	17762	902.2	18803.2
1992	689.3	16995.4	773.9	17901
1993	551.3	16306.1	510.6	17127.1
1994	865	15754.8	843.5	16616.5
1995	822.8	14889.8	868.5	15773
1996	500	14067	573.7	14904.5
1997	1113.2	13567	1052.8	14330.8
1998	689.5	12453.8	695.9	13278
1999	556.4	11764.3	772	12582.1
2000	606.9	11207.9	650.4	11810.1
2001	461.8	10601	704.6	11159.7
2002	1217.5	10139.2	1102.2	10455.1

2003	832.6	8921.7	946.3	9352.9
2004	696.3	8089.1	763.8	8406.6
2005	732.6	7392.8	845.1	7642.8
2006	793.1	6660.2	824.7	6797.7
2007	931.6	5867.1	958.7	5973
2008	1010.8	4935.5	945.7	5014.3
2009	963.8	3924.7	931	4068.6
2010	1016.6	2960.9	929.6	3137.6
2011	1028.9	1944.3	1061.6	2208
2012	915.4	915.4	1146.4	1146.4

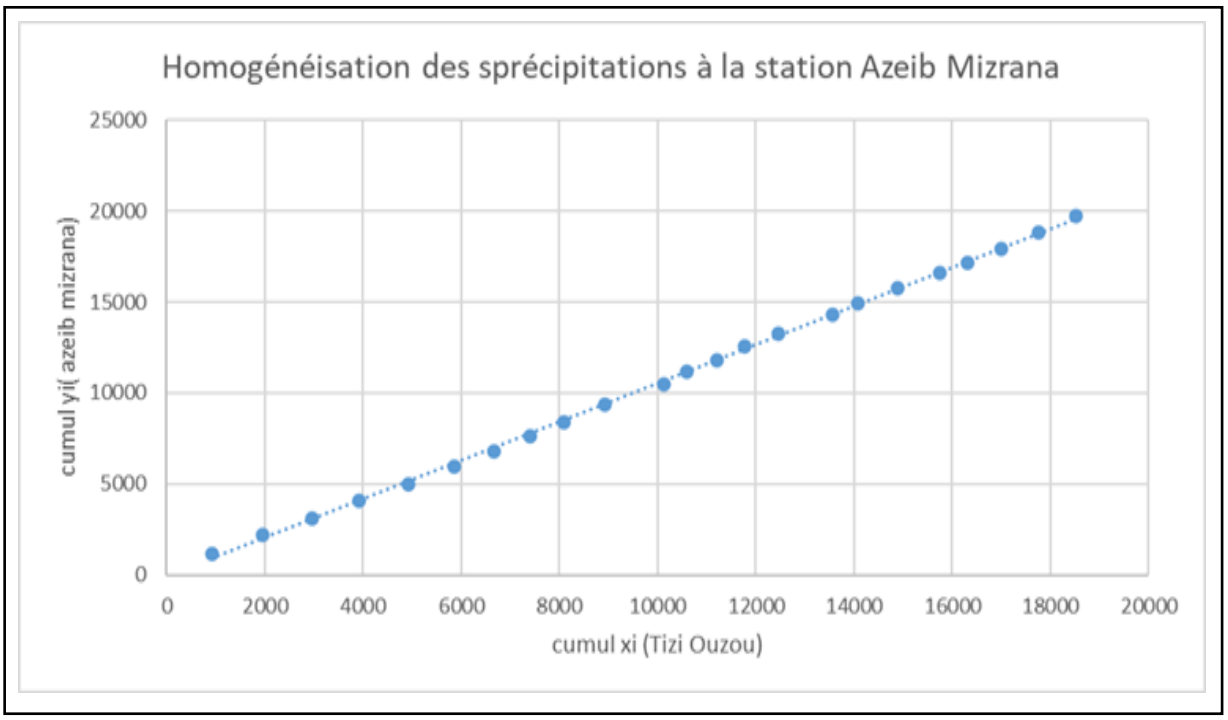


Figure IV.2 : Homogénéisation des précipitations à la station Azeib Mizrana

Tableau IV.4 : Homogénéisations des donnés de la station Yakouren par apport à celle de Tizi Ouzou

Années	**Tizi Ouzou Xi**	**Cumul xi** $\sum x_i(mm)$	**Yakouren Yi**	**Cumul yi** $\sum y_i(mm)$
1990	755.6	24803.8	1163.2	35040
1991	766.6	24048.2	1024.1	33876.8
1992	689.3	23281.6	1033.2	32852.7
1993	551.3	22592.3	806.4	31819.5
1994	865	22041	1173.4	31013.1
1995	822.8	21176	1174.3	29839.7
1996	500	20353.2	696	28665.4
1997	1113.2	19853.2	1663	27969.4
1998	689.5	18740	988.3	26306.4
1999	556.4	18050.5	831.6	25318.1
2000	606.9	17494.1	968.3	24486.5
2001	461.8	16887.2	634.2	23518.2
2002	1217.5	16425.4	1645.7	22884
2003	832.6	15207.9	1120.5	21238.3
2004	696.3	14375.3	1066.9	20117.8
2005	732.6	13679	990.6	19050.9
2006	793.1	12946.4	1220.6	18060.3
2007	931.6	12153.3	1196.8	16839.7
2008	1010.8	11221.7	1374.9	15642.9
2009	963.8	10210.9	1154.6	14268
2010	1016.6	9247.1	1334.5	13113.4
2011	1028.9	8230.5	1268.9	11778.9
2012	915.4	7201.6	1317.8	10510
2013	831.8	6286.2	1232.8	9192.2
2014	942	5454.4	1316.9	7959.4
2015	767.5	4512.4	1354.1	6642.5
2016	618.2	3744.9	803.6	5288.4

2017	947.8	3126.7	1357.6	4484.8
2018	955	2178.9	1331	3127.2
2019	639.8	1223.9	852.8	1796.2
2020	584.1	584.1	943.4	943.4

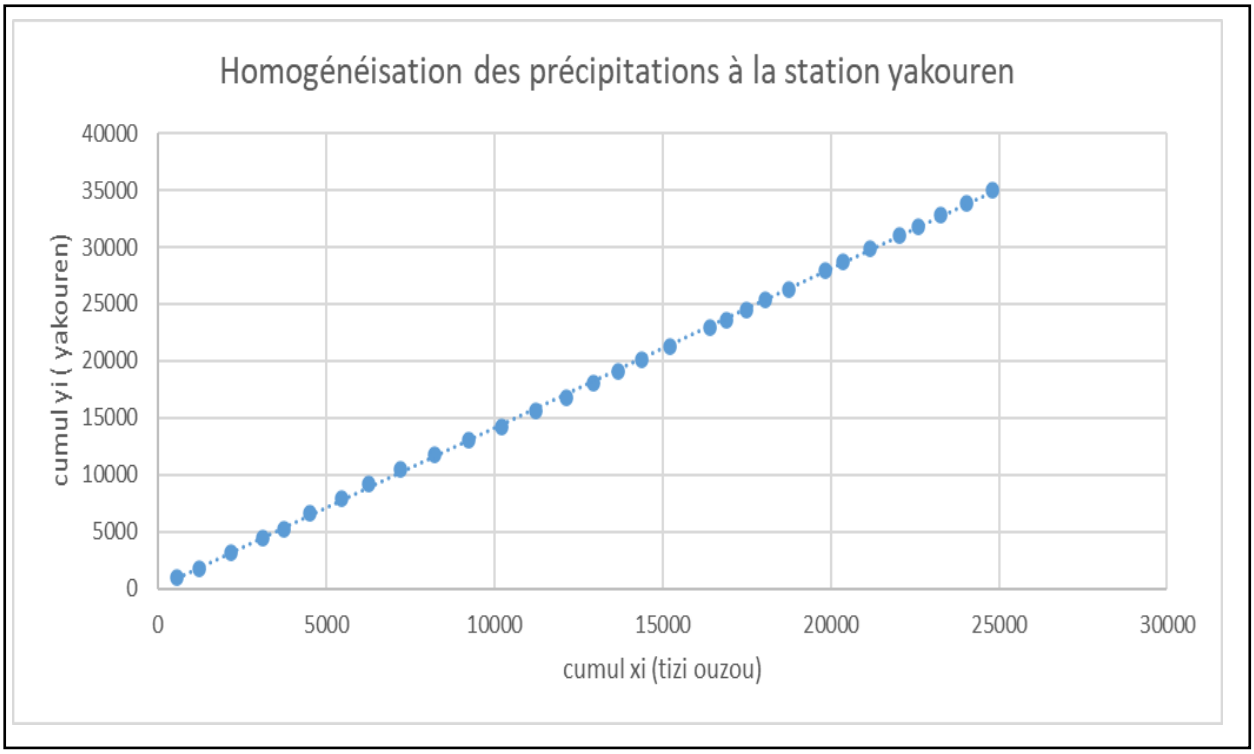


Figure IV .3 : Homogénéisation des précipitations à la station Yakouren

Tableau IV .5 : Homogénéisations des données de la station Beni Yenni par apport à celle de Tizi Ouzou

Années	**Tizi Ouzou Xi**	**Cumul xi** $\sum x_i(mm)$	**Benni yeni Yi**	**Cumul yi** $\sum y_i(mm)$
1990	755.6	24219.7	842.8	25962.2
1991	766.6	23464.1	725.6	25119.4
1992	689.3	22697.5	702	24393.8
1993	551.3	22008.2	618.9	23691.8
1994	865	21456.9	922.5	23072.9
1995	822.8	20591.9	890.8	22150.4
1996	500	19769.1	505.5	21259.6
1997	1113.2	19269.1	1192.3	20754.1
1998	689.5	18155.9	768.4	19561.8
1999	556.4	17466.4	624.2	18793.4
2000	606.9	16910	785.3	18169.2
2001	461.8	16303.1	479.6	17383.9
2002	1217.5	15841.3	1366.5	16904.3
2003	832.6	14623.8	903.6	15537.8
2004	696.3	13791.2	879.5	14634.2
2005	732.6	13094.9	754.2	13754.7
2006	793.1	12362.3	698.2	13000.5
2007	931.6	11569.2	955	12302.3
2008	1010.8	10637.6	1197.9	11347.3
2009	963.8	9626.8	925.8	10149.4
2010	1016.6	8663	1113.2	9223.6
2011	1028.9	7646.4	1023.9	8110.4
2012	915.4	6617.5	980.9	7086.5
2013	831.8	5702.1	922.2	6105.6
2014	942	4870.3	1068.1	5183.4
2015	767.5	3928.3	811.2	4115.3

2016	618.2	3160.8	680.7	3304.1
2017	947.8	2542.6	968.9	2623.4
2018	955	1594.8	966.4	1654.5
2019	639.8	639.8	688.1	688.1

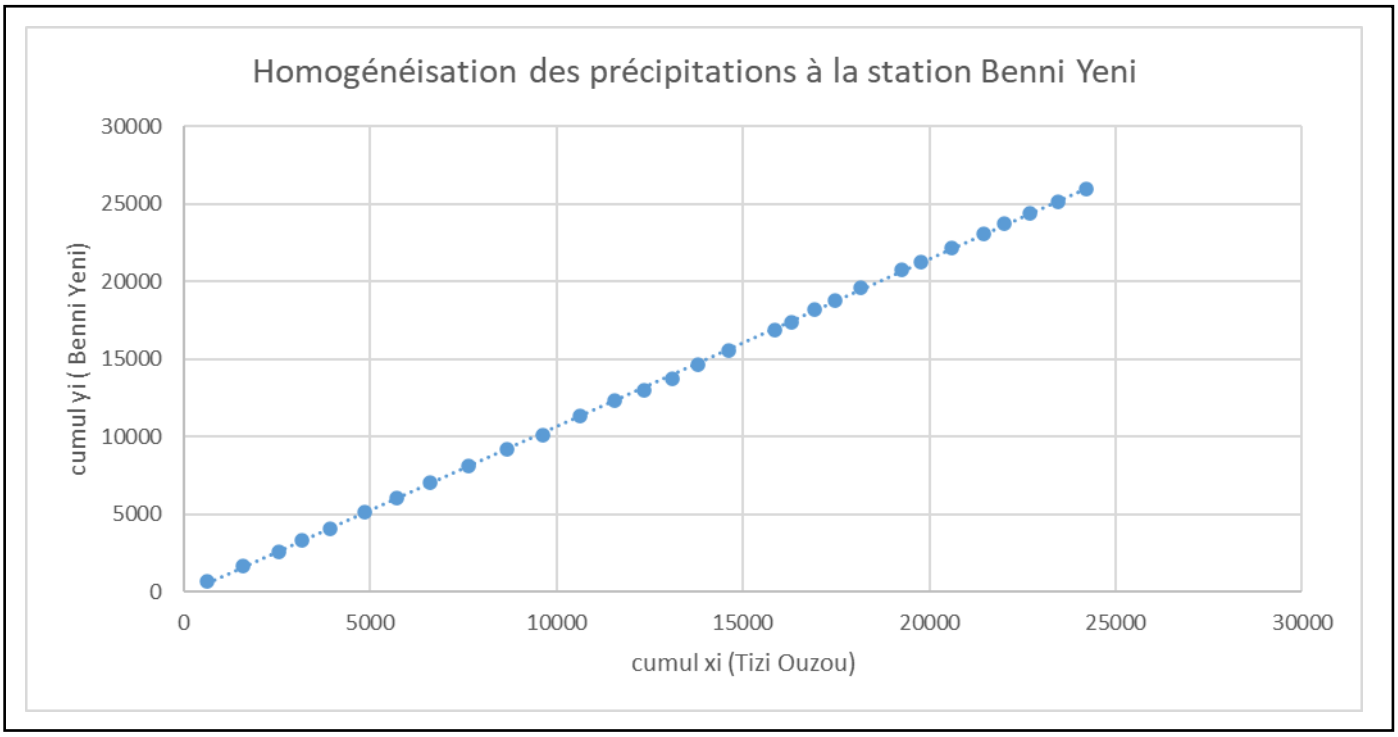


Figure IV.4: Homogénéisation des précipitations à la station Beni Yenni

IV .2.1. Reconstitutions des données manquantes et extensions des séries :

La période de référence ayant été choisi égale à 31 années, nous cherchons à améliorer les séries courtes (inferieures à 31 ans) en complétant les années manquent de manière à porter ces séries à la période commune représentative de 31 ans.

Pour cela nous utiliserons la corrélation simple, cette méthode consiste à porter sur un graphique les relevés pluviométriques annuels Xi d'une station X de référence en regard des relevés pluviométrique annuels Yi correspondants d'une station Y ayant une courte période d'observations.

On cherche, à partir de notre série à déterminer la droite d'équation :

$$Y = ax+b$$

La valeur des coefficients a et b donc de l'équation de régression

$$a = \frac{n\sum xiyi - \sum xi \ \sum yi}{n\sum x_i^2 - (\sum xi)\ 2} \qquad \text{(IV.1)}$$

$$b = \frac{\sum xi \sum y_i^2 - \sum xi \sum yi\ xi}{n\sum x_i^2 - (\sum xi)\ 2} \qquad \text{(IV.2)}$$

Pour mieux juger le degré de liaison entre X et Y, on introduit le coefficient de corrélation r. ce coefficient sans dimension représente l'espérance mathématique de la densité de concentration des points autour de la droite de régression. Il s'exprime par la relation :

$$r = \pm \frac{\sum(xi-\bar{x})(yi-\bar{y})}{\sqrt{\sum(xi-\bar{x})2 \sum(yi-\bar{y})2}} \qquad \text{(IV.3)}$$

Ou $\bar{x}$ et $\bar{y}$ sont des valeurs moyennes

La corrélation est d'autant meilleure que ce coefficient est voisin de l'unité. En hydrologie, il Ya corrélation si r>0 ,70.

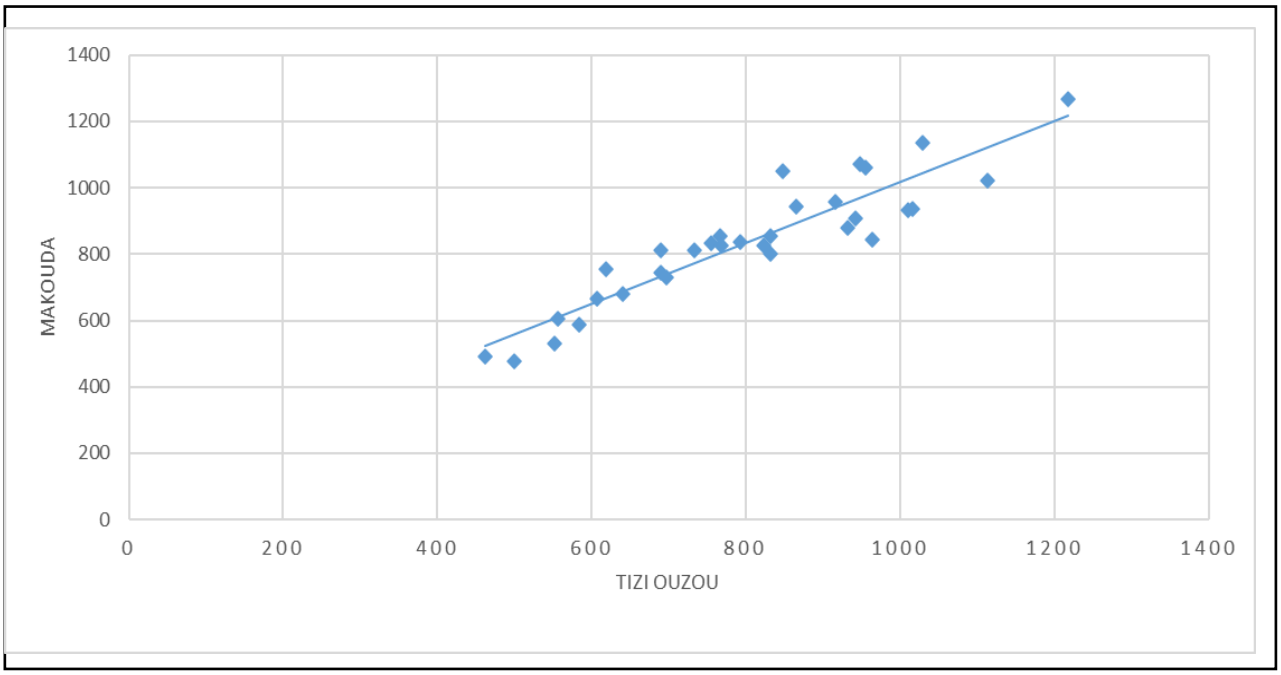


Figure IV.5 : Régression linéaire simple entre Tizi Ouzou et Makouda

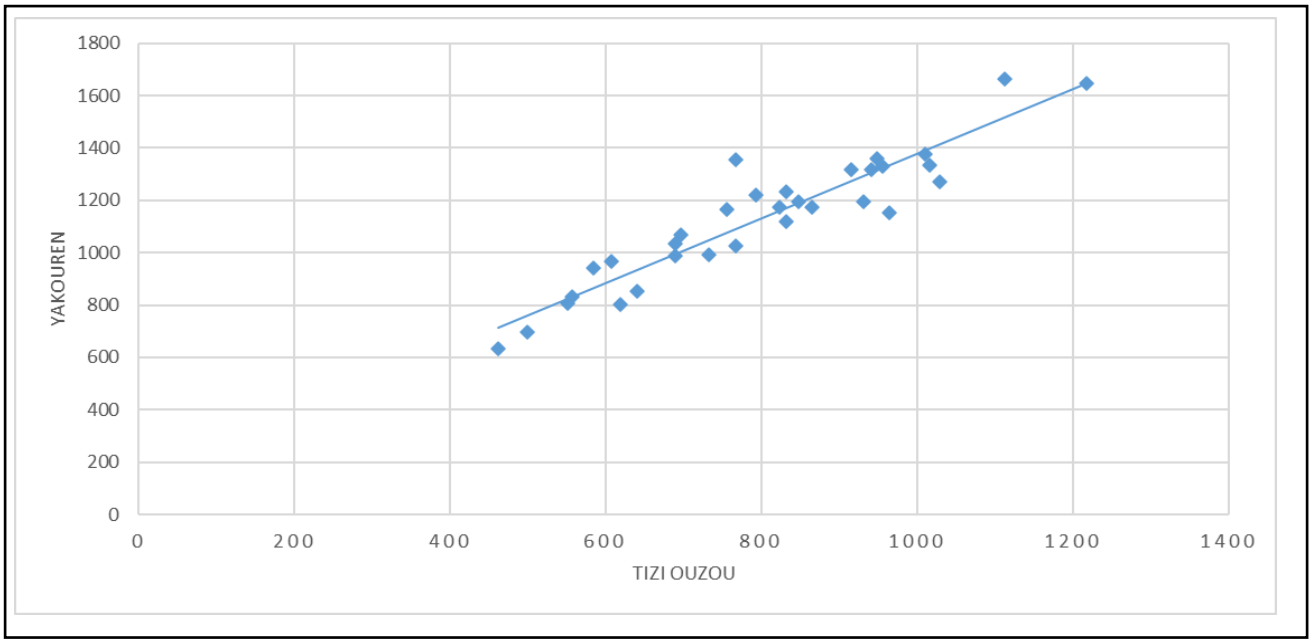


Figure III.6: Régression linéaire simple entre Tizi Ouzou et Yakouren

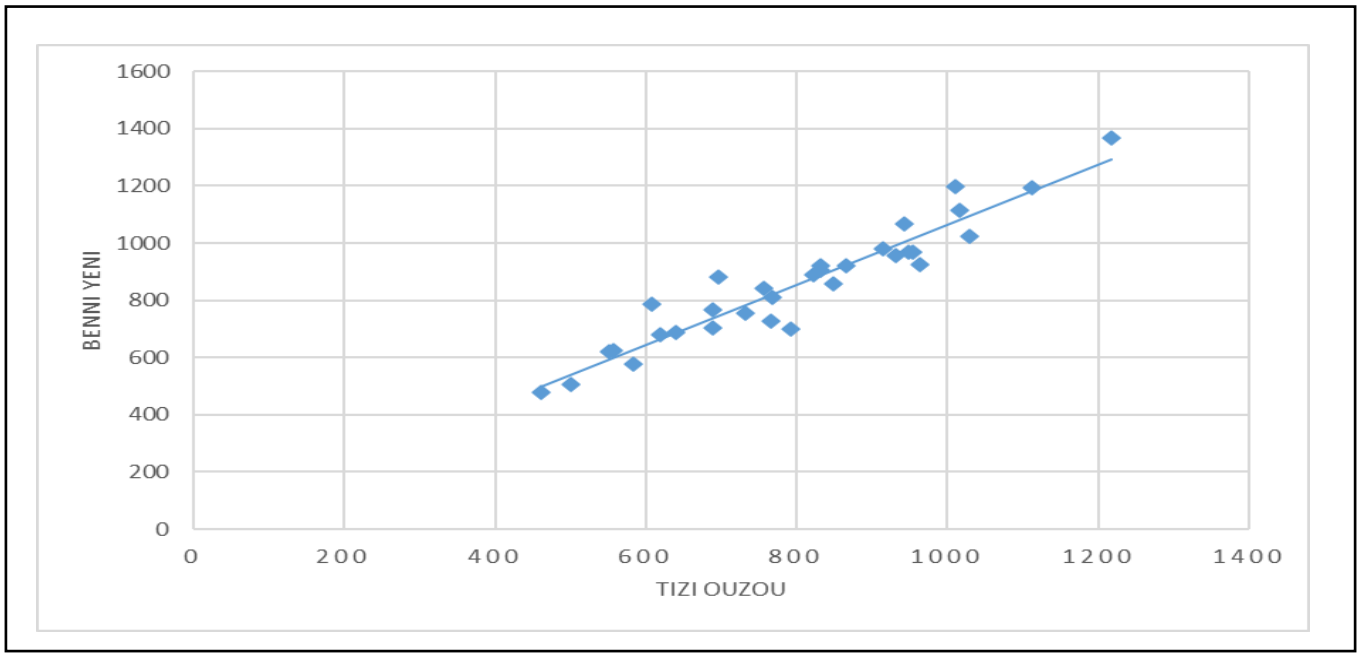


Figure IV.7: Régression linéaire simple entre Tizi Ouzou et Beni Yenni

L'erreur probable sur le coefficient de corrélation est déterminée à partir de la relation :

$$Er = 1+ (1 - \frac{N}{K}) (\frac{1-(k-2)R2}{K-3}) \qquad (IV.4)$$

La corrélation appliquée aux relevés des stations du bassin versant sur la base des relevés de la station de référence de Tizi Ouzou. Donne les résultats suivants :

Tableau IV.6 : Coefficients de corrélation et droites de régression

N°	Stations corrélées avec Tizi Ouzou	Codes	Coefficient de corrélations(r)	Erreur (er)	Droites de régression
1	Yakouren	020902	0.93	0.97	Y=1,233*x+148,5638
2	Beni Yenni	021712	0.94	0.94	Y=1,053*x-36,62565
3	Makouda	021805	0.94	0.74	Y=0,472x+463,163309
4	Azeib Mizrana	020810	0.87	0.71	Y=0,9978*x+56,9926

Notre tableau montre que toutes les stations pluviométriques sont fortement corrélées, dans tous les cas r>0.70. Les lacunes des séries de mesures respectives seront donc reconstituées à partir des données de la station de base de Tizi Ouzou et leurs périodes d'observations portées à la période commune de référence de 31 ans.

Tableau IV.7 : La pluviométrie annuelle de chaque station en (mm)

Années	Tizi Ouzou	Makouda	Azeib Mizrana	Beni Yenni	Tizi Medane	Yakouren
1990	755.6	831.9	927.5	842.8	714.4	1163.2
1991	766.6	853.3	902.2	725.6	658.5	1024.1
1992	689.3	810.3	773.9	702	672.1	1033.2
1993	551.3	528.9	510.6	618.9	535	806.4
1994	865	943.6	843.5	922.5	869.4	1173.4
1995	822.8	825.2	868.5	890.8	853.1	1174.3
1996	500	477.6	573.7	505.5	407.2	696
1997	1113.2	1021.4	1052.8	1192.3	970.1	1663
1998	689.5	744.8	695.9	768.4	694	988.3
1999	556.4	606.8	772	624.2	496.1	831.6
2000	606.9	665	650.4	785.3	670.4	968.3
2001	461.8	492.1	704.6	479.6	371.9	634.2
2002	1217.5	1266	1102.2	1366.5	1172.6	1645.7
2003	832.6	802	946.3	903.6	810.3	1120.5
2004	696.3	730.7	763.8	879.5	805.4	1066.9
2005	732.6	810.2	845.1	754.2	676.1	990.6
2006	793.1	835	824.7	698.2	783	1220.6
2007	931.6	878	958.7	955	788.3	1196.8
2008	1010.8	933.3	945.7	1197.9	887	1374.9
2009	963.8	843.3	931	925.8	732	1154.6
2010	1016.6	937.6	929.6	1113.2	919.5	1334.5
2011	1028.9	1133.8	1061.6	1023.9	1002.6	1268.9
2012	915.4	959.1	1146.4	980.9	841	1317.8
2013	831.8	855.8	887.0	922.2	712.4	1232.8
2014	942	907.8	996.9	1068.1	773.5	1316.9
2015	767.5	825.4	822.8	811.2	661.1	1354.1
2016	618.2	755.0	673.8	680.7	612.3	803.6
2017	947.8	1070.4	1063.2	968.9	879.9	1357.6

2018	955	1059.1	1009.9	966.4	880.8	1331
2019	639.8	681.2	585.2	688.1	557.3	852.8
2020	584.1	587.5	670	578.4	511.8	943.4
2021	848.4	1049.7	932	856.7	813	1194.6

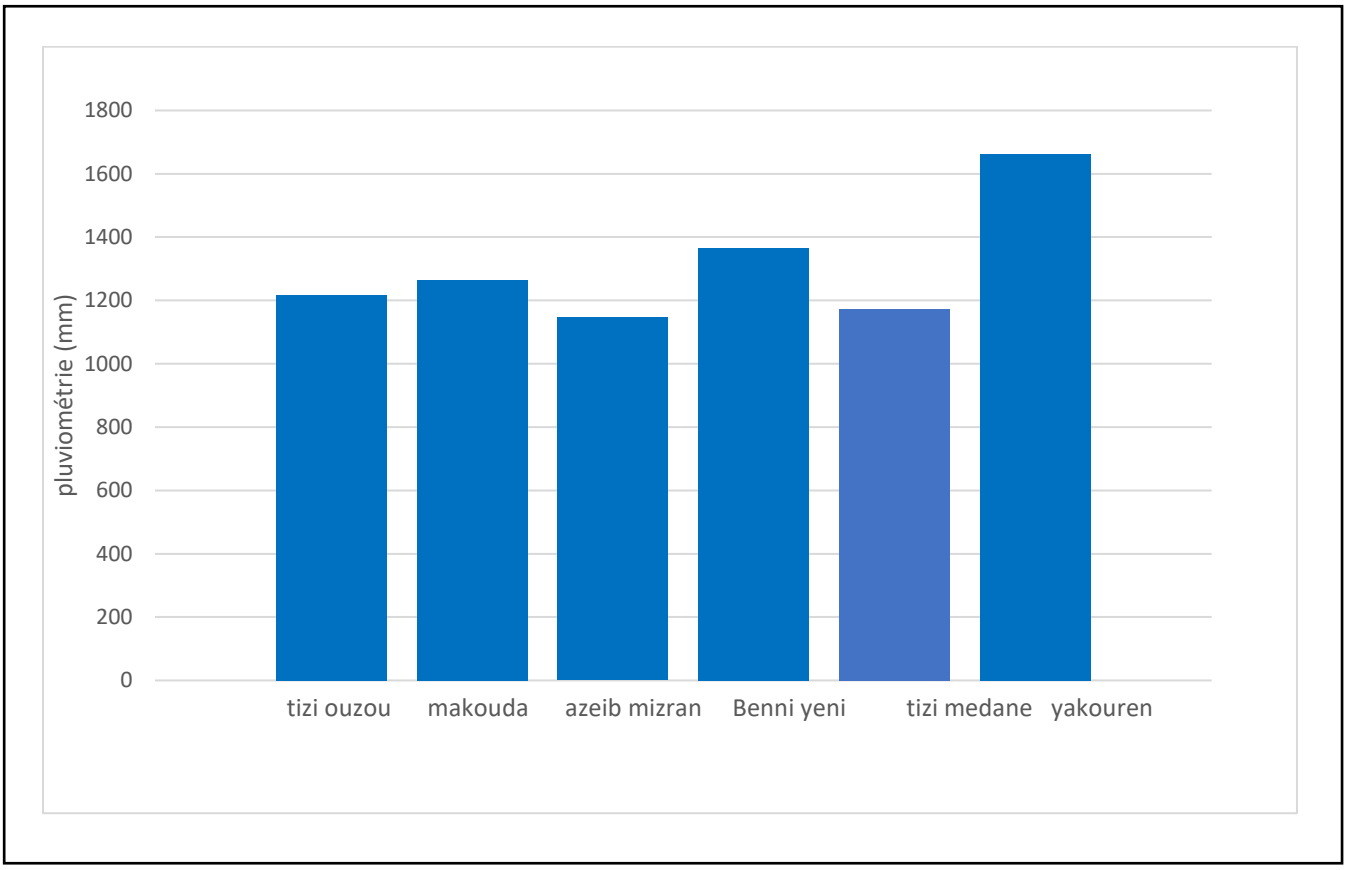


Figure IV.8: Hauteurs des précipitations moyennes annuelles de différentes stations.

IV.2.2 Traitement statistique des précipitations annuelles :

Ce traitement nous donne ($\bar{P}$, C_v , σ)

Moyenne arithmétique : $$\overline{P} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} P_i \qquad \text{(IV.5)}$$

Ecart type : $$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(P_i - \overline{p})^2} \qquad \text{(IV.6)}$$

Coefficient de variation : $$c_v = \frac{\sigma}{\overline{P}} \qquad \text{(IV.7)}$$

Tableau IV.8 : Paramètres statistiques des séries pluviométriques

N°	Station	Codes ANRH	Moyenne (mm)	Ecart – type (mm)	Coefficient de Variation
1	Tizi Ouzou	021810	827.49	189.94	0.23
2	Yakouren	020902	1168.86	251.38	0.22
3	Beni Yeni	021712	883.79	210.05	0.24
4	Makouda	021805	861.99	189.11	0.22
5	Azeib Mizrana	020810	882.95	167.76	0.19
6	Tizi Medane	021901	765.55	178.85	0.24

N : le nombre de données d'observations.

Pi : la pluviométrie annuelle.

$\overline{P}$: la pluviométrie moyenne.

Notre tableau montre des coefficients de variation inferieurs à 0.5, ce qui explique une bonne distribution normale de toutes les séries pluviométriques.

IV.3. Calcule de la lame d'eau précipitée sur le bassin versant

En étudiant les moyennes inters annuels des différents postes pluviométriques, on constate une grande variabilité spatiale. En effet les valeurs calculées ne sont représentatives que pour les zones

D'influence situées autour des pluviomètres repères par la fonction p (x, y).

A Présent, on se propose de calculer la lame moyenne $\bar{P}$BV des P (x, y) postes.la repartions spatiale des précipitations sur toute la surface du bassin versant s'écrit alors

$$\bar{P}\text{BV}=\frac{1}{S\text{BV}}\iint P(x,y)dxdy \qquad \text{(IV.8)}$$

SBV : la surface totale du bassin versant et dx dy, la surface élémentaire.

IV.3.1 Méthode arithmétique :

La méthode la plus simple consiste à calculer la moyenne arithmétique des hauteurs des précipitations relevées dans le même intervalle de temps aux diverses stations du bassin.

La moyenne arithmétique des précipitations annuelles est donnée par la formule suivante :

$$\overline{P} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} pi \qquad \text{(IV.9)}$$

Avec :

pi : pluviométrie moyenne annuelle de la station i, calculée en (mm)

N : nombre de station

La précipitation moyenne Pour le bassin versant d'oued Sebaou est : $\bar{P}$ = 925.02 mm

Pour le bassin versant d'oued Aissi est : $\bar{P}$ = 825.61 mm

IV.3.2 Méthode des polygones de Thiessen

La méthode des polygones de Thiessen est la plus couramment utilisée, parce que son application est aisée et qu'elle donne en général de bons résultats.

Cette méthode permet d'estimer des valeurs pondérées en prenant en considération chaque station pluviométrique. Elle affect à chaque pluviomètre une zone d'influence dont l'Aire, exprimée en %, Représente le facteur de pondération de la valeur locale. Les différentes zones d'influence sont déterminées par découpage géométrique du bassin.

La précipitation moyenne sur le bassin s'écrit :

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i S_i}{S_{Bv}} \qquad \text{(IV.10)}$$

Pi : la pluie moyenne sur la surface élémentaire qui est égale à celle de la station située à

L'intérieur de cette surface élémentaire.

Si : surface élémentaire du polygone en question.

St : surface totale du bassin versant.

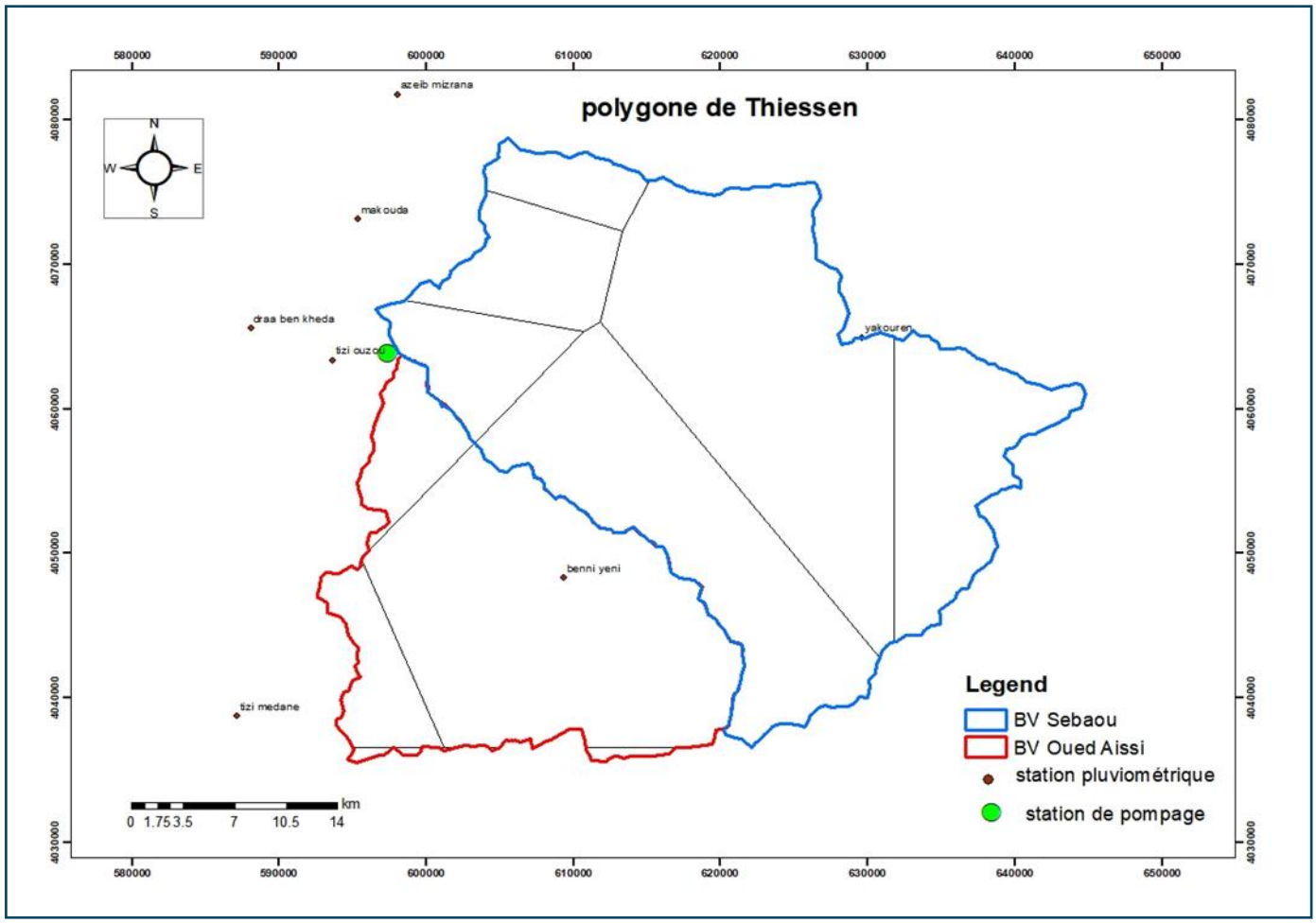


Figure IV.9: Polygone de Thiessen

Tableau IV.9 : Calcule de la précipitation moyenne par la méthode de Thiessen pour le bassin versant d'oued Sebaou

N°	Stations	Codes	Précipitations moyenne Pi (mm)	Surface Si (km^2)	Produit Pi× Si ($mm.km^2$)
1	Yakouren	20902	1168.86	371.90	434699.03
2	Azeib Mizrana	20810	882.95	40.48	35741.82
3	Makouda	21805	861.99	81.14	69941.87
4	Tizi Ouzou	21810	827.49	67.20	55607.33
5	Beni Yenni	21712	883.79	264.50	233762.45

La précipitation moyenne tombée sur le bassin versant d'oued Sebaou d'après cette méthode est :

$$\bar{P} = 1005.49 \text{ mm}$$

Tableau IV.10 : Calcule de la précipitation moyenne par la méthode de Thiessen pour le bassin versant d'oued Aissi

N°	Stations	Codes	Précipitations moyenne Pi (mm)	Surface Si (km^2)	Produit Pi× Si ($mm.km^2$)
1	Beni Yenni	21712	883.79	359.66	317863.91
2	Tizi Ouzou	21810	827.49	50.33	41647.57
3	Tizi Medane	21901	765.55	53.26	40773.19

La précipitation moyenne Pour le bassin versant d'oued Aissi est :

$$\bar{P} = 864.08 \text{ mm}$$

II.3.3 Méthode des isohyètes

L'étude plus au moins précise de variations spatiales des précipitations annuelles moyennes passe par l'élaboration d'une carte en isohyètes, avec la série pluviométrique.

On appelle isohyètes les lignes d'égale hauteur de précipitation, l'utilisation des isohyètes est le procédé le plus rationnel et le plus précis, il tient compte de la répartition spatiale et de l'altitude.

Pour passer à la pluie moyenne précipitée sur la surface totale du bassin versant, on planimètre chacune des surfaces élémentaires délimitées par les isohyètes

La lame d'eau précipitée sur le bassin versant est donnée par la relation suivante :

$$\bar{P} = \frac{1}{s} \Sigma P_i s_i \qquad \text{(IV.11)}$$

Tel que : Si : surface inter-isohyètes.

Pi : pluviométrie moyenne inter – isohyètes considérée

S : surface totale du bassin versant.

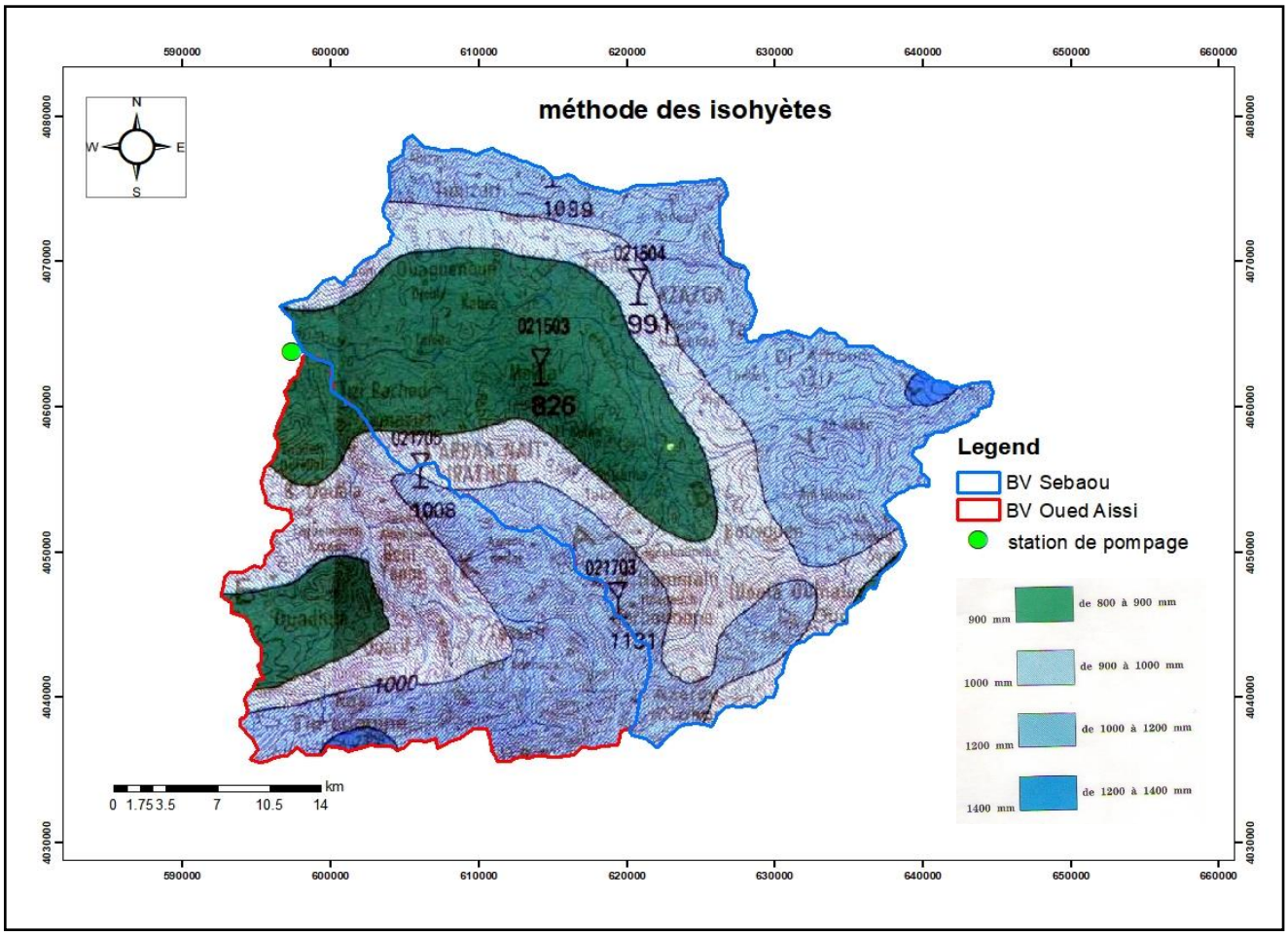


Figure IV.10: Méthode des isohyètes

Tableau IV.11 : Calcule de la précipitation moyenne par la méthode des isohyètes pour le bassin versant d'oued Sebaou

N°	Zone inter-isohyètale	Pluviométrie moyenne inter – isohyètale (mm)	Surface inter-isohyètale (km^2)	Produit Pi×Si ($mm.km^2$)
1	800-900	850	296.75	252237.5
2	900-1000	950	269.58	256101
3	1000-1200	1100	399.03	438933
4	1200-1400	1300	5.28	6864

Par cette méthode, on obtient : $\bar{P}$= 981.62 mm

Tableau IV .12 : Calcule de la précipitation moyenne par la méthode des isohyètes pour le bassin versant d'oued Aissi

N°	Zone inter-isohyetale	Pluviométrie moyenne inter – isohyètale (mm)	Surface inter-isohyétale (km^2)	Produit Pi×Si ($mm.km^2$)
1	800-900	850	93.51	79483.5
2	900-1000	950	157.53	149653.5
3	1000-1200	1100	213.16	234476
4	1200-1400	1300	4.56	5928

Donc la pluviométrie moyenne : $\bar{P} = 999.02$ mm

Tableau IV.13 : Récapitulatif des résultats obtenus par les différentes méthodes

Méthodes	Précipitations moyenne (mm)	
	Sebaou	Aissi
Arithmétique	925.02	825.61
Thiessen	1005.49	864.08
Isohyétes	**981.62**	**999.02**

Etant donné le relief des deux bassins versant, nous considérons que l'altitude est le facteur prédominant qui influe sur la variation des précipitations, d'où nous estimons que la valeur calculée par la méthode des isohyètes est la plus représentative.

IV.5 Etude des précipitations maximale journalière

L'analyse des données pluviométriques disponibles est le premier pas à franchir dans l'étude d'un projet d'aménagement. Pour cela on a besoin d'une série pluviométrique qui comporte les précipitations maximales journalières pour la période la plus longue possible.

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

Tableau IV .14 : Série des précipitations maximales journalière

	Station Yakouren		**Station Beni Yenni**
Années	**Pjmax (mm)**	**Années**	**Pjmax (mm)**
1990	103.5	1989	44.9
1991	67.1	1990	48
1992	67.5	1991	97
1993	53	1992	42.2
1994	67.8	1993	32.8
1995	80.6	1994	59
1996	40.2	1995	48
1997	97.7	1996	79.6
1998	45.9	1997	90.5
1999	107.1	1998	45.4
2000	84.3	1999	88.7
2001	46.3	2000	104.5
2002	172.3	2001	33.6
2003	61.1	2002	130
2004	113.3	2003	55.3
2005	96.6	2004	82.2
2006	148.6	2005	94.7
2007	97.7	2006	93.6
2008	93.2	2007	89.4
2009	51.4	2008	96.2
2010	95.6	2009	44.2
2011	133.6	2010	52.3
2012	83.2	2011	52.7
2013	84.6	2012	60.8
2014	88.2	2013	63.5
2015	81.5	2014	77.9
2016	81.9	2015	62.5
2017	67.9	2016	67.5
2018	82.2	2017	43.4

2019	92.6	2018	65.4
2020	95.5	2019	99.9

Les caractéristiques empiriques de la série de données ont été obtenues par le logiciel HYFRAN sont représenté dans le tableau suivant :

Tableau IV.15: Caractéristique de la série de données de la station Yakouren avec N=30 ans

Caractéristiques	**Valeurs**
Année d'observation	30
Minimum	40.2
Maximum	172
Moyenne	86.5
Ecart – type	29.1
Médiane	84.3
Coefficient de variation (Cv)	0.337
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.949
Coefficient d'aplatissement (Ck)	3.97

La représentation des observations sur le papier normal et leur histogramme sont représentés dans les figures IV.11 et IV.12 respectivement :

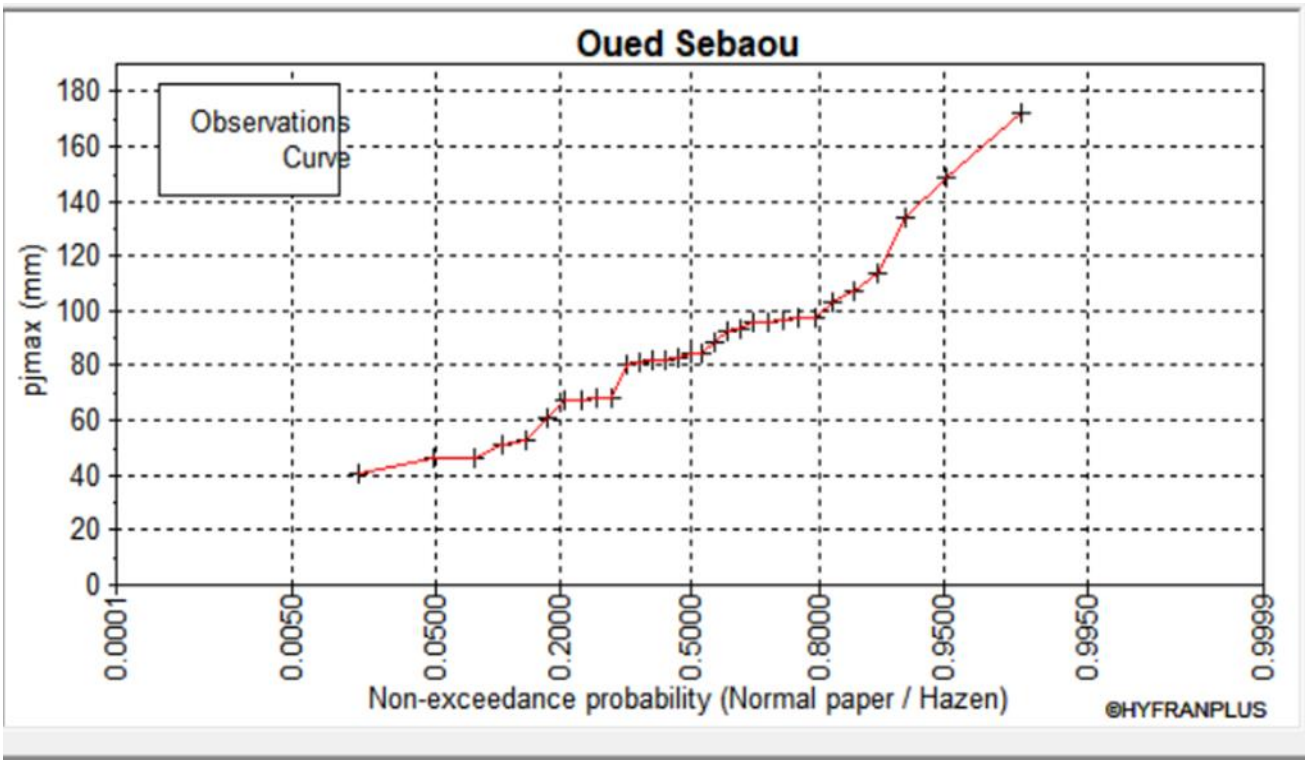


Figure IV.11: Représentation des observations sur papier normale

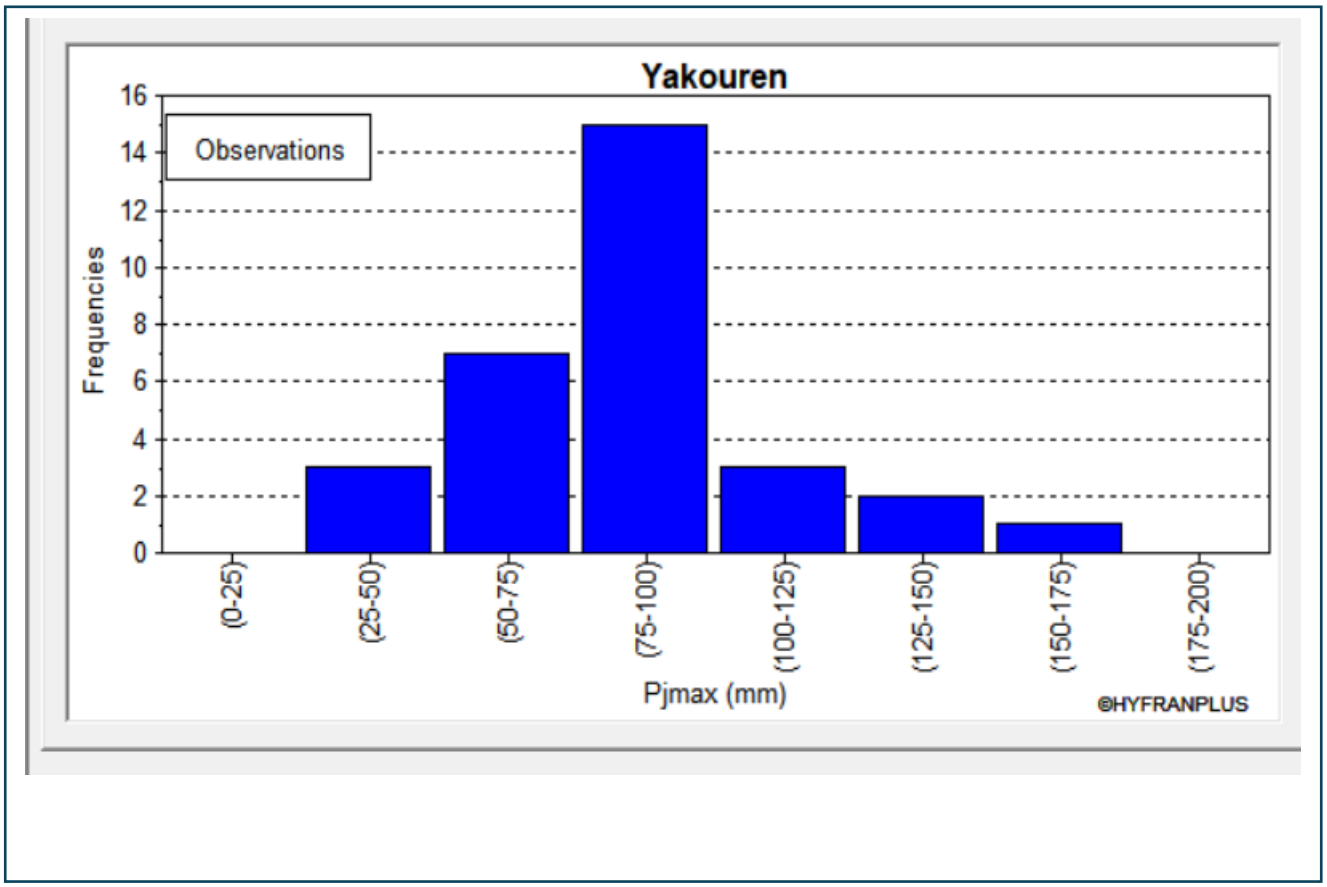


Figure IV.12: Histogramme des observations

Tableau IV.16 : Caractéristique de la série de données de la station Beni Yenni avec N=30 ans

Caractéristiques	Valeurs
Année d'observation	30
Minimum	32.8
Maximum	130
Moyenne	69.2
Ecart – type	24.4
Médiane	63.5
Coefficient de variation (Cv)	0.353
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.467
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2.22

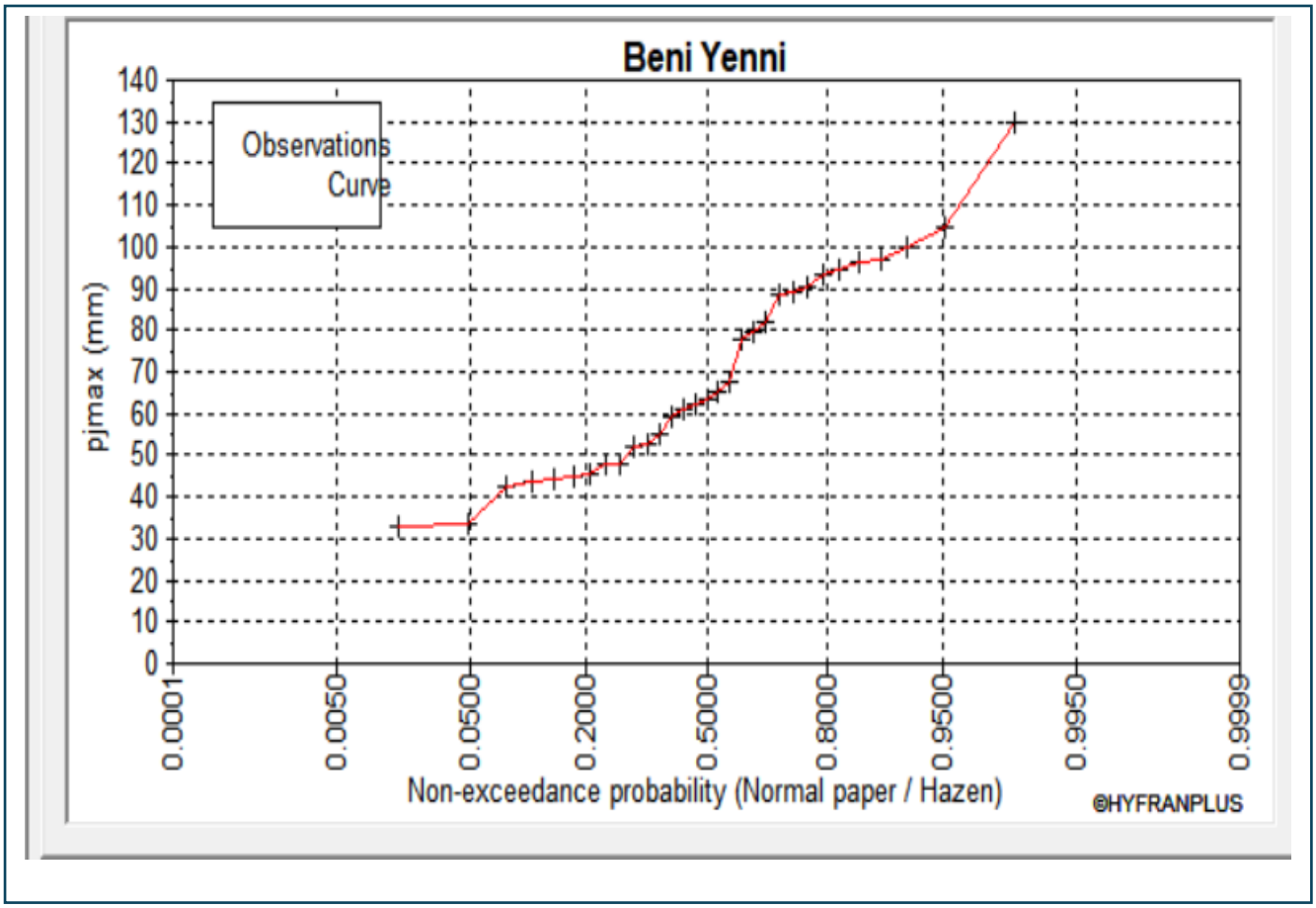


Figure IV.13: Représentation des observations de la station Beni Yenni sur papier normale

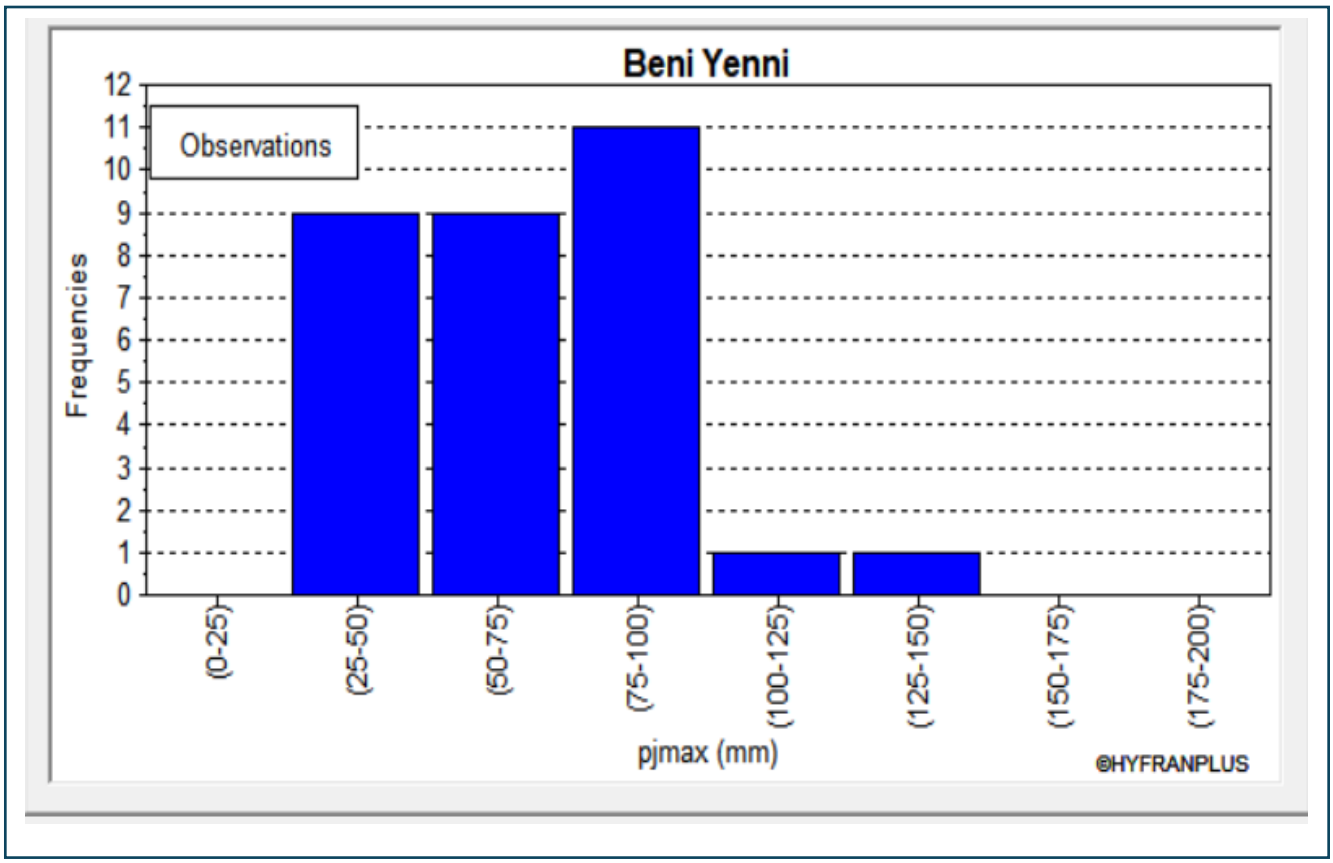


Figure IV.14: Histogramme des observations de la station Beni Yenni

IV .5.1 choix du modèle fréquentiel :

Comme il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométriques, l'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de :

- La loi de probabilité
- La taille de l'échantillon
- Certaines caractéristiques de l'échantillon

Cependant, de nombreuses études comparatives, empiriques et théoriques, ont été menées afin de déterminer dans lesquelles circonstances une méthode d'estimation est la plus efficace pour une loi donnée.

Les lois d'ajustement choisi sont :

1- La loi de GUMBEL

II.5.1.1Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL :

L'ajustement des pluies maximales journalières sera effectué à l'aide du logiciel HYFRAN PLUS cette loi a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$F(x) = e^{-e-(\frac{x-x_0}{\alpha})}$$

(IV.12)

$$F(x) = e^{-e^{-y}}$$

Avec : $y = \left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)$ et on peut écrire : y= -ln(-ln(F(x))

$1/\alpha$: la pente de la droite de GUMBEL

Y : variable réduite de GUMBEL

X : précipitation maximale journalière (mm)

x_0 : paramètre de position (mode)

- GUMBEL (méthode des moments) :
  - **Paramètre :**

Mu =73.4132, sigma = 22.7002

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de GUMBEL sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.17: Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL (Station Yakouren)

Période de retour	**Fréquence au non dépassement**	**Valeurs Théoriques**	**Ecart-Type**	**Intervalle de confiance**
T(ans)	Q	$XT(mm)$	δ	95%
1000	0.9990	230	30.2	171-289
100	0.9900	178	20.5	138-218
50	0.9800	162	17.6	127-197
20	0.9500	141	13.8	114-168
10	0.9000	124	10.9	103-146
5	0.8000	107	8.08	91.6-123
2	0.5000	81.7	4.80	72.3-91.1

Test d'homogénéité : Test d'adéquation du khi carré.

Résultats :

Résultat de la statique : X_2=9.78

P - value : P= 0.0427

Degrés de liberté : 4

Nombre de classes : 7

Tableau IV.18 : Comparaison des caractéristiques de la loi GUMBEL et de l'échantillon

Paramètres	**Caractéristiques de la loi**	**Caractéristique de l'échantillon**
Minimum	Aucun	40.2
Maximum	Aucun	172
Moyenne	86.5	86.5
Ecart – type	29.1	29.1
Médiane	81.7	84.3
Coefficient de variation (Cv)	0.337	0.337
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1.14	0.949
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2.40	3.97

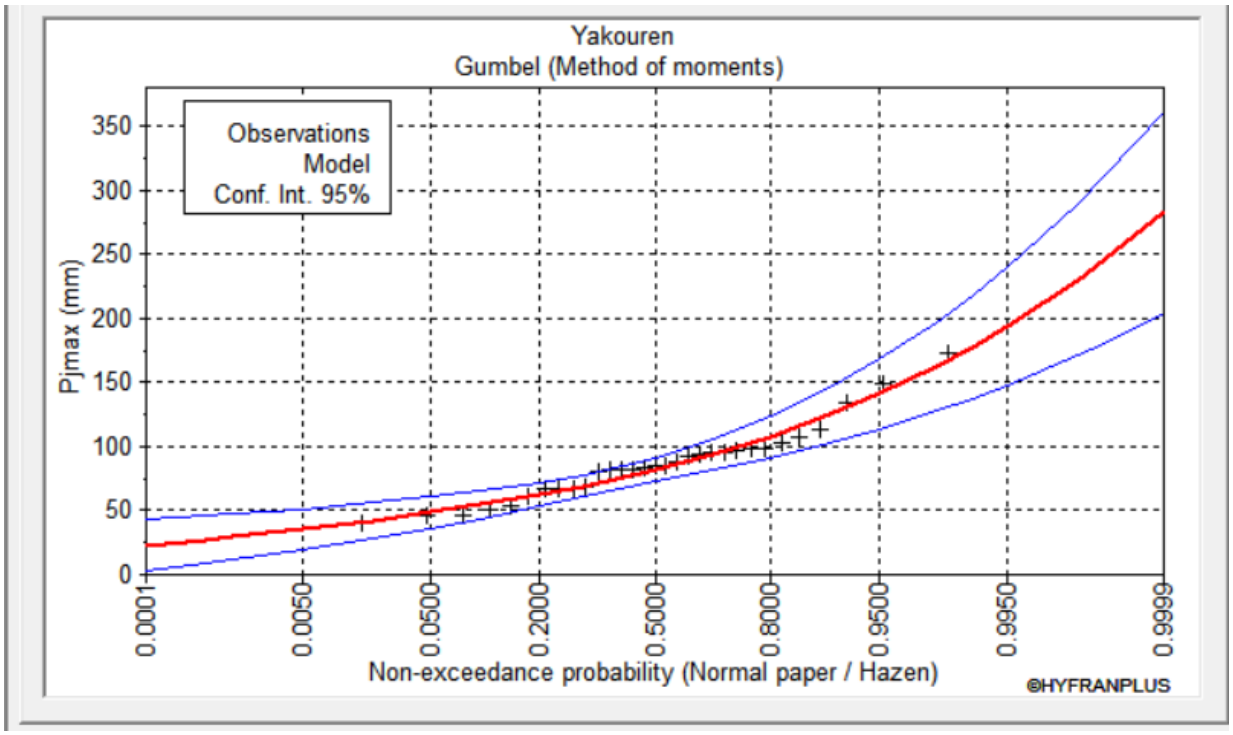


Figure IV.15: Représentation graphique de la loi de GUMBEL de la station Yakouren

Tableau IV.19: Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL (station Beni Yenni)

Période de retour	**Fréquence au non dépassement**	**Valeurs Théoriques**	**Ecart-Type**	**Intervalle de confiance**
T(ans)	Q	$XT(mm)$	δ	95%
1000	0.9990	190	25.4	140-240
100	0.9900	146	17.2	112-180
50	0.9800	133	14.8	104-162
20	0.9500	115	11.6	92.1-138
10	0.9000	101	9.16	83.1-119
5	0.8000	86.8	6.78	73.5-100
2	0.5000	65.2	4.03	57.3-73.1

Test d'homogénéité : Test d'adéquation du khi carré.

Résultats :

Résultat de la statique : X2=5.81

P - value : P= 0.2141

Degrés de liberté : 4

Nombre de classes : 7

Tableau IV.20 : Comparaison des caractéristiques de la loi GUMBEL et de l'échantillon (station Beni Yenni)

Paramètres	**Caractéristiques de la loi**	**Caractéristiques de l'échantillon**
Minimum	Aucun	32.8
Maximum	Aucun	130
Moyenne	69.2	69.2
Ecart – type	24.4	24.4
Médiane	65.2	63.5
Coefficient de variation (Cv)	0.353	0.353
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1.14	0.467
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2.40	2.22

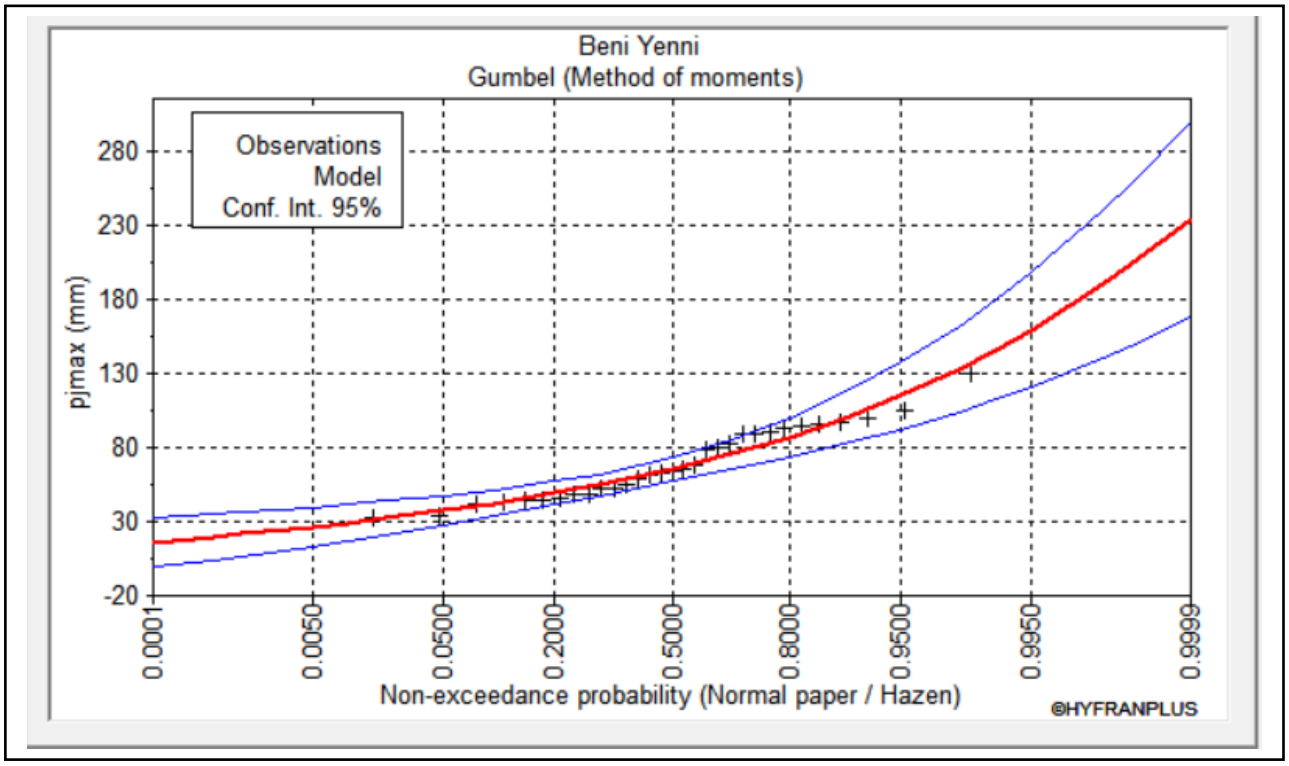


Figure IV.16: Représentation graphique de la loi de GUMBEL de la station Beni Yenni

IV.5.1.2 Ajustement de la série pluviométrique à la loi log normale

Le procède d'ajustement est établi avec une représentation sur des papiers log normale. La loi de log normale a une fonction de répartition qui s'exprime selon la fonction suivante :

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{u} \frac{1}{e^2} u^2 \, du \qquad \text{(IV.13)}$$

Avec la valeur réduite μ est donnée par : $u = \frac{\ln x - \overline{\ln x}}{\sigma_{\ln x}}$.

L'équation de la variable réduite présente sous forme de : $\ln x = \overline{\ln x} + u\sigma_{\ln x}$ est l'équation dune droite sur un papier Gausso – logarithmique en abscisse l'échelle gaussienne et en ordonnée l'échelle logarithmique.

- ❖ Galton (log – normale)
  - Nombre d'observation : n =30 ans

Test d'homogénéité :

TEST d'adéquation du khi carré

Hypothèses :

H0 : l'échantillon provient d'une loi log normale.

H1 : l'échantillon ne provient pas d'une loi log normale.

Tableau IV.21: Résultats de test d'homogénéité

Résultats :	**Station Yakouren**	**Station Beni Yenni**
Résultat de la statique	8.06	3.10
P-value	0.0892	0.5418
Degrés de liberté	4	4
Nombre de classes	7	7

Tableau IV.22 : Résultat de l'ajustement à la loi de Galton. (Station Yakouren)

Période de retour	**Fréquence au non dépassement**	**Valeurs Théoriques**	**Ecart - type**	**Intervalle de confiance**
T(ans)	Q	XT (mm)	δ	95%
1000	0.9990	231	33.8	165-297
100	0.9900	179	20.9	138-220
50	0.9800	163	17.5	129-197
20	0.9500	142	13.3	116-168
10	0.9000	126	10.3	106-146
5	0.8000	109	7.64	93.7-124
2	0.5000	82	4.93	72.3-91.7

Tableau IV.23 : Comparaison des caractéristiques de la loi log normale et de l'échantillon

Paramètres	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum	0.00	40.2
Maximum	Aucun	172
Moyenne	86.7	86.5
Écart – type	29.9	29.1
Médiane	82.0	84.3
Coefficient de variation (Cv)	0.344	0.337
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1.07	0.949
Coefficient d'aplatissement (Ck)	5.12	3.97

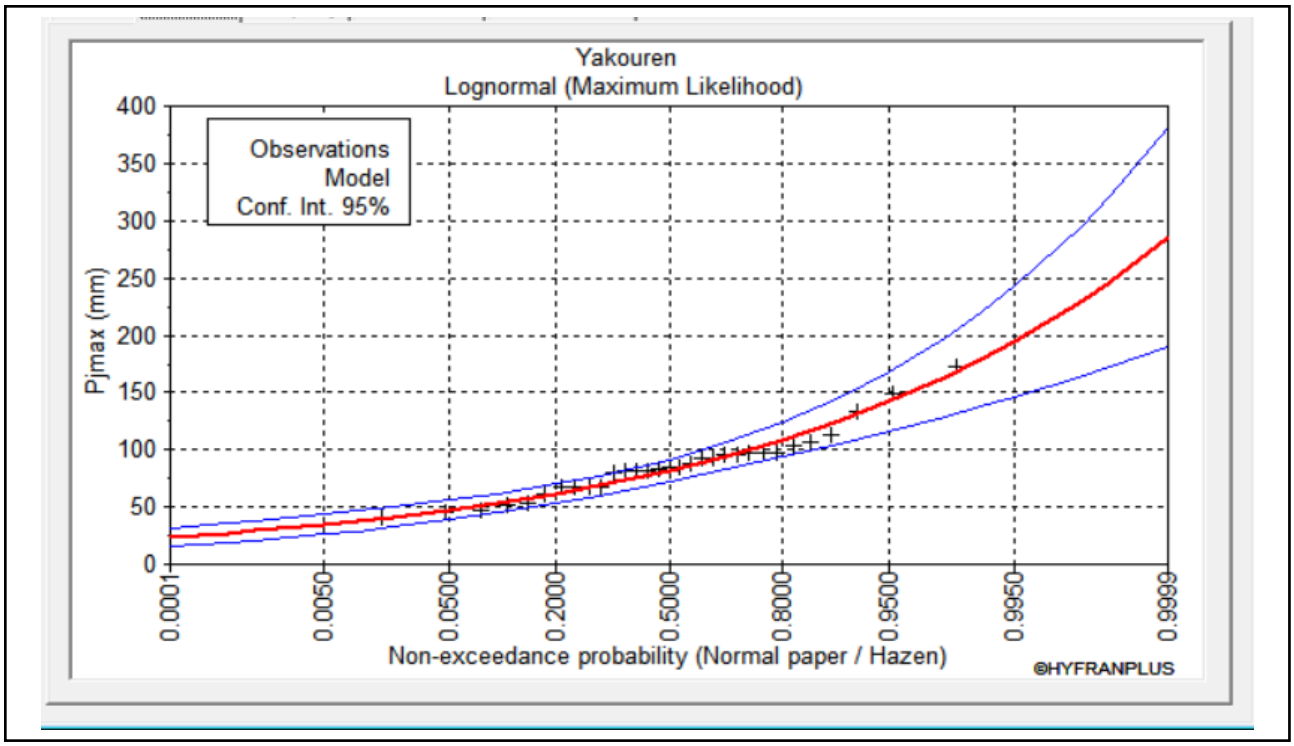


Figure IV.17 : Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Log Normale de la station Yakouren

Tableau IV.24 : Résultat de l'ajustement à la loi de Galton (station Beni Yenni)

Période de retour	**Fréquence au non dépassement**	**Valeurs Théoriques**	**Ecart - type**	**Intervalle de confiance**
T(ans)	Q	XT (mm)	δ	95%
1000	0.990	198	31.3	137-260
100	0.9900	151	19	113-188
50	0.9800	137	15.8	106-167
20	0.9500	118	11.8	94.6-141
10	0.9000	103	9.10	85.5-121
5	0.8000	88.2	6.67	75.1-101
2	0.5000	65.1	4.22	56.8-73.3

Tableau IV.25: Comparaison des Caractéristiques de la loi de log normale et de l'échantillon

Paramètres	**Caractéristiques de la loi**	**Caractéristiques de l'échantillon**
Minimum	0.00	32.8
Maximum	Aucun	130
Moyenne	69.5	69.2
Écart - type	25.9	24.4
Médiane	65.1	63.5
Coefficient de variation (Cv)	0.373	0.353
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1.17	0.467
Coefficient d'aplatissement (Ck)	5.53	2.22

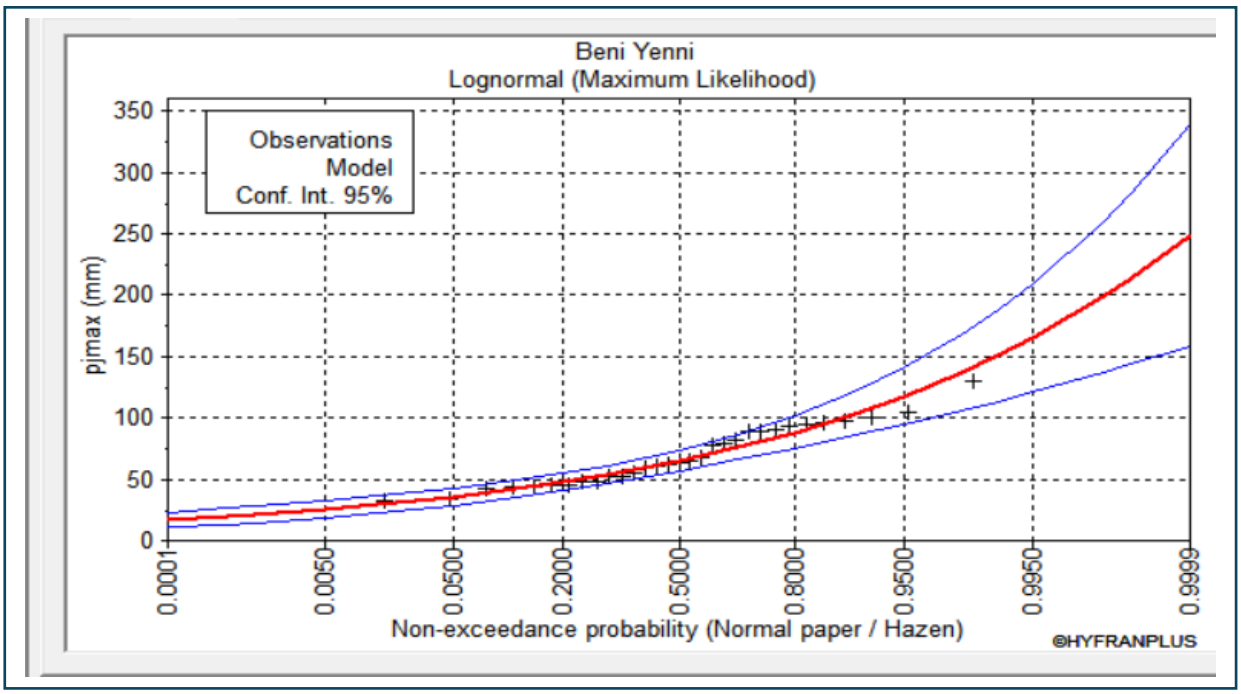


Figure IV.18: Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Log Normale de la station Beni Yenni

IV.5 Choix de la loi d'ajustement

D'après les deux droites d'ajustement ainsi que le test de Khi2 on constate que les pluies journalières maximales s'ajustent mieux à la loi de GUMBEL, donc pour la suite ont considéré les pluies journalières maximales obtenues par l'ajustement de GUMBEL.

IV.6 Pluies fréquentielles de courte durée

Les pluies de courte durée nous donnent la lame d'eau précipité sur une durée donnée pour chaque période de retour, le passage des pluies journalières maximales aux pluies de courte durée à l'origine des crues est effectué au moyen de la relation de montana :

$$P_{c.d} = P_{max,\,j\,\%}\left(\frac{t}{24}\right)^{b} \qquad \text{(IV.14)}$$

$P_{max,\,j}$= pluie maximale journalière Fréquentielle (mm)

t : Durée de l'averse ($t \leq 24h$)

b : exposant climatique (b=0.41 donnée par L'ANRH)

Les intensités maximales de durée t(h) calculées par la relation :

$$I_{c.d} = \frac{Pc.d}{t} \qquad \text{(IV.15)}$$

$I_{c.d}$: l'intensité maximale de la période t(h)

Tableau IV.26: Pluies et intensités de courtes durées (station Yakouren)

Quantiles	**178**		**162**		**141**		**124**		**107**	
T(années)	**100**		**50**		**20**		**10**		**5**	
Durée (h)	**Pct (mm)**	**It(mm/h)**	**Pct (mm)**	**It(mm/h)**	**Pct (mm)**	**It(mm/h)**	**Pct (mm)**	**It(mm/h)**	**Pct (mm)**	**It(mm/h)**
0.25	27.40	72.80	33.13	66.26	28.83	57.67	25.36	50.72	21.88	43.76
1	48.37	48.37	44.02	44.02	38.31	38.31	33.69	33.69	29.07	29.07
2	64.26	32.13	58.49	29.24	50.90	25.45	44.77	22.38	38.63	19.31
3	75.88	25.29	69.06	23.02	60.11	20.04	52.86	17.62	45.62	15.21
4	85.38	21.35	77.71	19.43	67.64	16.91	59.48	14.87	51.33	12.83
5	93.56	18.71	85.15	17.03	74.12	14.82	65.18	13.04	56.24	11.25
6	100.83	16.80	91.76	15.29	79.87	13.31	70.24	11.71	60.61	10.10
7	107.40	15.34	97.75	13.96	85.08	12.15	74.82	10.69	64.56	9.22
8	113.45	14.18	103.25	12.91	89.87	11.23	79.03	9.88	68.20	8.52
9	119.06	13.23	108.36	12.04	94.31	10.48	82.94	9.22	71.57	7.95
10	124.32	12.43	113.14	11.31	98.48	9.85	86.60	8.66	74.73	7.47
11	129.27	11.75	117.65	10.70	102.40	9.31	90.05	8.19	77.71	7.06
11.8	133.05	11.28	121.09	10.26	105.39	8.93	92.68	7.85	79.98	6.78
12	133.97	11.16	121.92	10.16	106.12	8.84	93.33	7.78	80.53	6.71
13	138.44	10.65	125.99	9.69	109.66	8.44	96.44	7.42	83.22	6.40
14	142.71	10.19	129.88	9.28	113.04	8.07	99.41	7.10	85.78	6.13
15	146.80	9.79	133.61	8.91	116.29	7.75	102.27	6.82	88.25	5.88
16	150.74	9.42	137.19	8.57	119.40	7.46	105.01	6.56	90.61	5.66
17	154.53	9.09	140.64	8.27	122.41	7.20	107.65	6.33	92.89	5.46
18	158.20	8.79	143.98	8.00	125.31	6.96	110.20	6.12	95.10	5.28
19	161.74	8.51	147.20	7.75	128.12	6.74	112.67	5.93	97.23	5.12
20	165.18	8.26	150.33	7.52	130.84	6.54	115.07	5.75	99.29	4.96
21	168.52	8.02	153.37	7.30	133.49	6.36	117.39	5.59	101.30	4.82
22	171.76	7.81	156.32	7.11	136.06	6.18	119.65	5.44	103.25	4.69
23	174.92	7.61	159.20	6.92	138.56	6.02	121.86	5.30	105.15	4.57
24	178.00	7.42	162.00	6.75	141.00	5.88	124.00	5.17	107.00	4.46

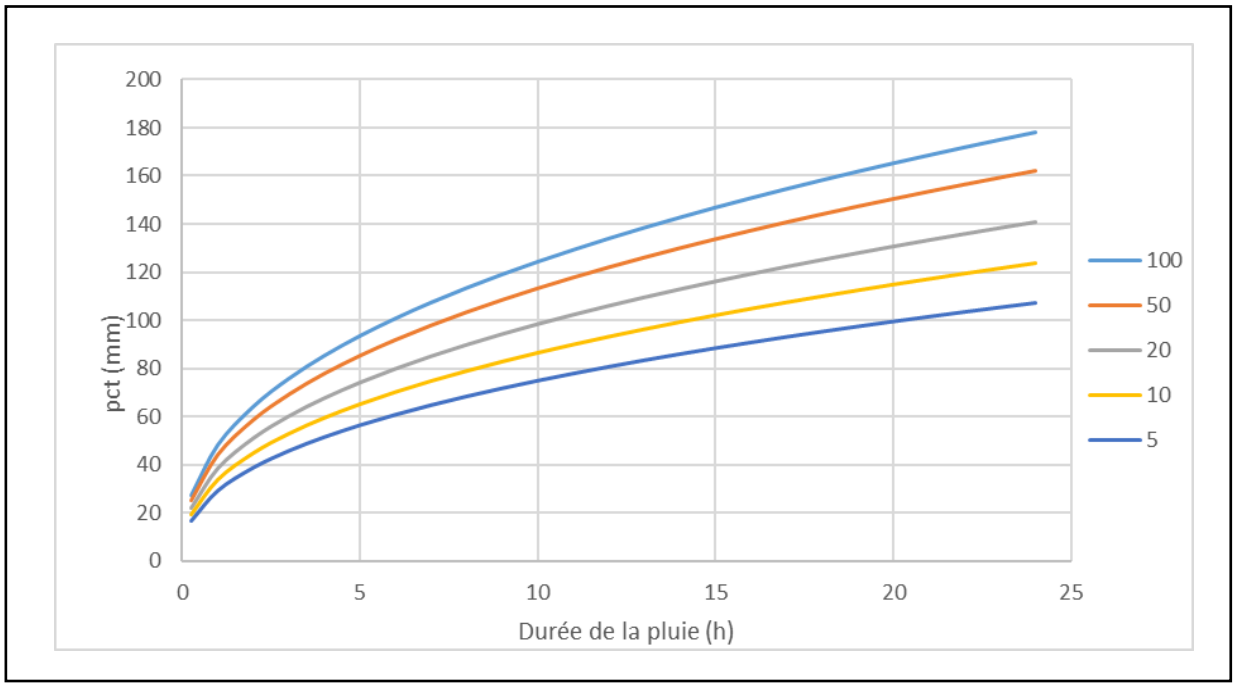


Figure IV.19 : Courbes des pluies de courte durée fréquentielle du bassin versant de l'oued Sebaou

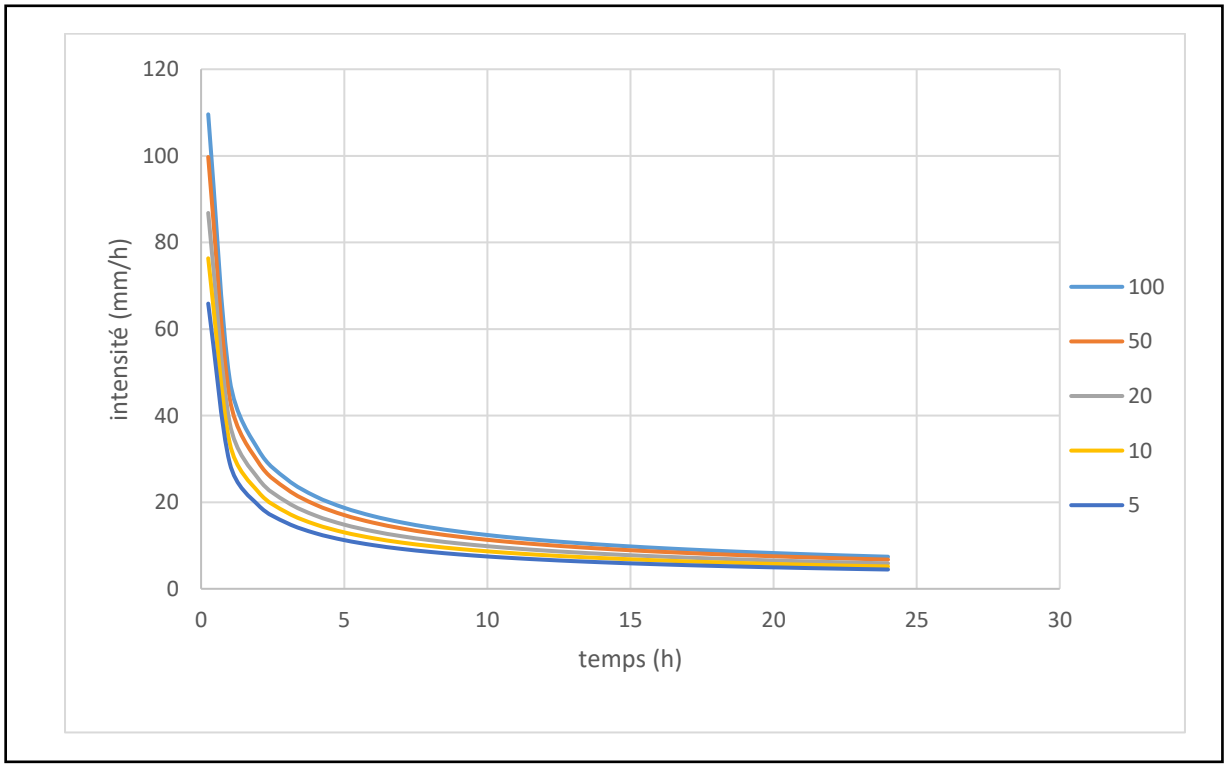


Figure IV.20 : Courbes intensité durée fréquence de l'oued Sebaou

Tableau IV.27: Pluies et intensités de courtes durées (station Beni Yenni)

Quantiles	**146**		**133**		**115**		**101**		**86.8**	
T(années)	**100**		**50**		**20**		**10**		**5**	
Durée (h)	**Pct (mm)**	**It(mm/h)**	**Pct (mm)**	**It(mm/h)**	**Pct (mm)**	**It(mm/h)**	**Pct (mm)**	**It(mm/h)**	**Pct (mm)**	**It(mm/h)**
0.25	22.47	89.88	20.47	81.88	17.70	70.80	15.54	62.18	13.36	53.44
1	39.67	39.67	36.14	36.14	31.25	31.25	27.44	27.44	23.58	23.58
2	52.71	26.35	48.02	24.01	41.52	20.76	36.46	18.23	31.34	15.67
3	62.24	20.75	56.70	18.90	49.03	16.34	43.06	14.35	37.00	12.33
4	70.03	17.51	63.80	15.95	55.16	13.79	48.45	12.11	41.64	10.41
5	76.74	15.35	69.91	13.98	60.45	12.09	53.09	10.62	45.63	9.13
6	82.70	13.78	75.34	12.56	65.14	10.86	57.21	9.54	49.17	8.19
7	88.10	12.59	80.25	11.46	69.39	9.91	60.94	8.71	52.37	7.48
7.7	**91.61**	**11.90**	**83.45**	**10.84**	**72.16**	**9.37**	**63.37**	**8.23**	**54.46**	**7.07**
8	93.05	11.63	84.77	10.60	73.30	9.16	64.37	8.05	55.32	6.92
9	97.66	10.85	88.96	9.88	76.92	8.55	67.56	7.51	58.06	6.45
10	101.97	10.20	92.89	9.29	80.32	8.03	70.54	7.05	60.62	6.06
11	106.03	9.64	96.59	8.78	83.52	7.59	73.35	6.67	63.04	5.73
12	109.88	9.16	100.10	8.34	86.55	7.21	76.01	6.33	65.33	5.44
13	113.55	8.73	103.44	7.96	89.44	6.88	78.55	6.04	67.51	5.19
14	117.05	8.36	106.63	7.62	92.20	6.59	80.97	5.78	69.59	4.97
15	120.41	8.03	109.69	7.31	94.84	6.32	83.30	5.55	71.59	4.77
16	123.64	7.73	112.63	7.04	97.39	6.09	85.53	5.35	73.51	4.59
17	126.75	7.46	115.46	6.79	99.84	5.87	87.68	5.16	75.36	4.43
18	129.76	7.21	118.20	6.57	102.21	5.68	89.76	4.99	77.14	4.29
19	132.66	6.98	120.85	6.36	104.50	5.50	91.77	4.83	78.87	4.15
20	135.48	6.77	123.42	6.17	106.72	5.34	93.73	4.69	80.55	4.03
21	138.22	6.58	125.91	6.00	108.87	5.18	95.62	4.55	82.18	3.91
22	140.88	6.40	128.34	5.83	110.97	5.04	97.46	4.43	83.76	3.81
23	143.47	6.24	130.70	5.68	113.01	4.91	99.25	4.32	85.30	3.71
24	146.00	6.08	133.00	5.54	115.00	4.79	101.00	4.21	86.80	3.62

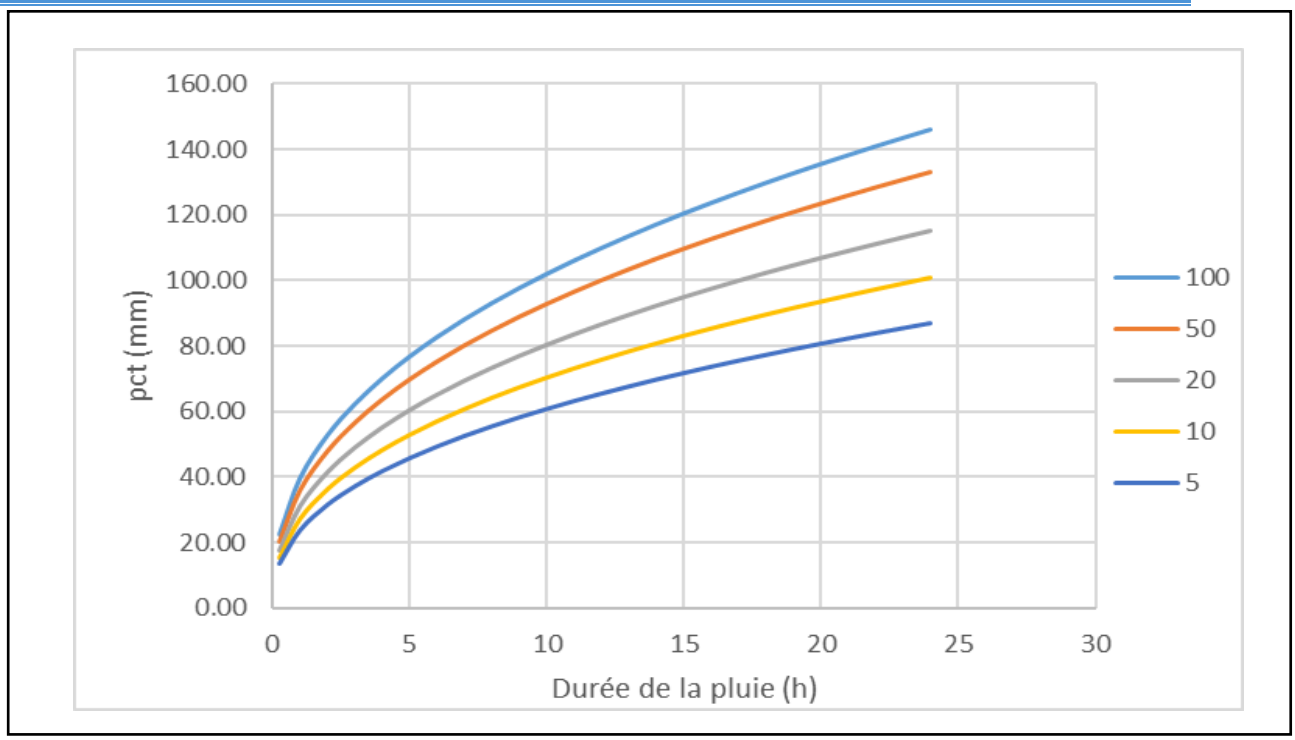


Figure IV.21: Courbes des pluies de courte durée fréquentielle du bassin versant de l'oued Aissi

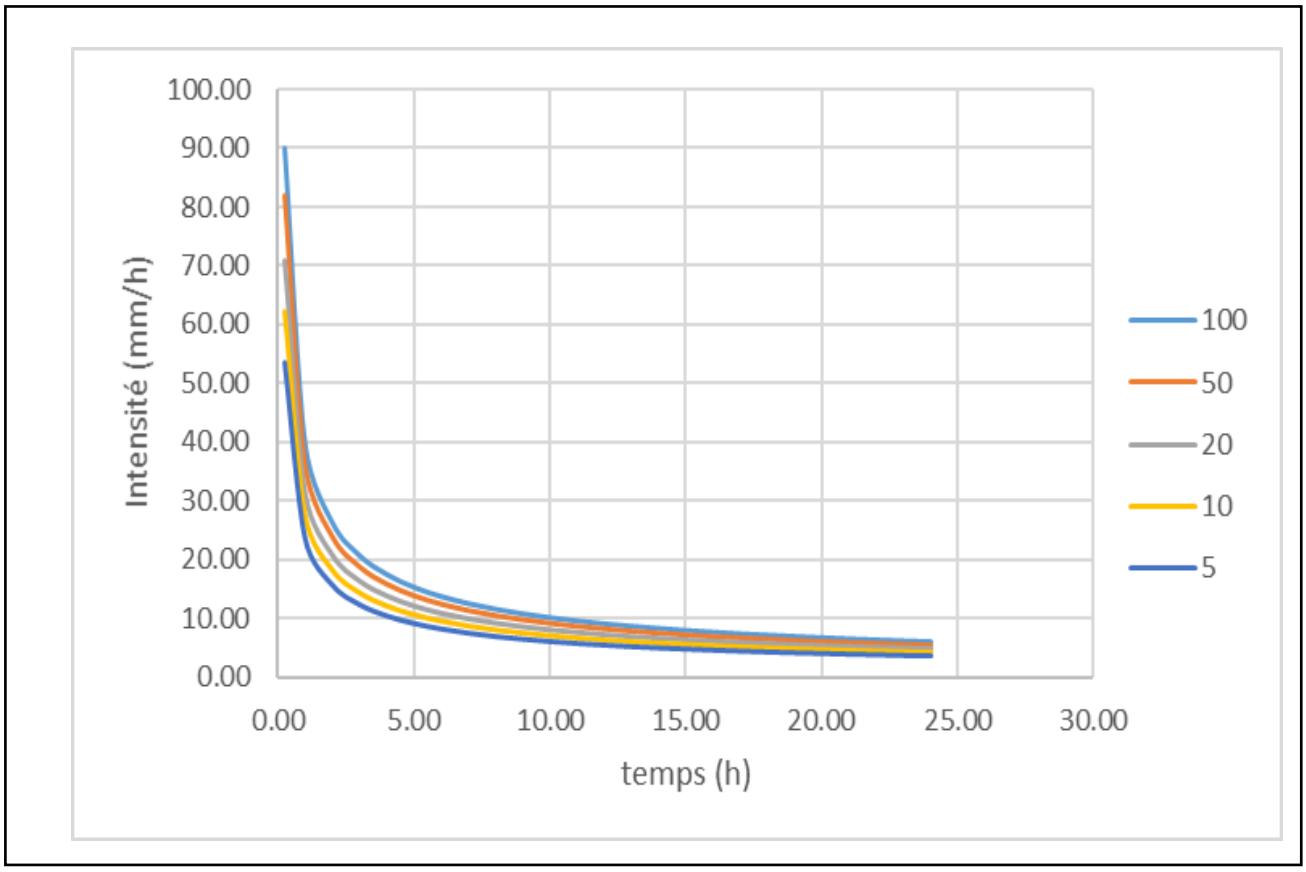


Figure IV.22 : Courbes intensité durée fréquence de l'oued Aissi

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons analysé les précipitations maximales journalières afin de mieux comprendre leur variabilité et leur impact sur la zone d'étude. Après avoir testé plusieurs lois d'ajustement, la loi de GUMBEL s'est révélée être la plus appropriée pour modéliser les précipitations extrêmes des sous-bassins versants de l'oued Sebaou et de l'oued Aissi. Ces résultats constituent une étape clé pour l'estimation des débits de crue et la conception des aménagements hydrauliques adaptés à la gestion du risque inondation.

CHAPITRE V :

Estimation des débits de crues des cours d'eau

CHAPITRE V : Estimation des débits de crues des cours d'eau

Introduction

Les crues, caractérisées par des écoulements variables atteignant des débits élevés, sont des phénomènes essentiels à comprendre pour assurer la sécurité des ouvrages hydrauliques. Leur étude vise à établir des hydrogrammes de crues fréquentes sur un bassin versant et à estimer les débits maximaux probables.

L'analyse des crues revêt une importance cruciale, notamment pour garantir la solidité et la durabilité des infrastructures.

Les principaux paramètres définissant une crue sont :

- **Le débit maximal de la crue (débit de pointe)**, qui représente le flux le plus intense.
- **Le volume de la crue**, correspondant à la quantité totale d'eau écoulée.
- **La forme de la crue**, représentée par l'hydrogramme, qui illustre l'évolution du débit dans le temps.
- **Le temps de base**, indiquant la durée totale de l'événement hydrologique.

V.1 Détermination des débits maximaux de crue :

En l'absence de données hydrométriques sur les cours d'eau, il devient nécessaire de recourir à des formules empiriques pour estimer le débit maximal probable des crues. Ces calculs s'appuient sur les caractéristiques clés du bassin versant, telles que la superficie, la pluviométrie et la fréquence des crues. Ces outils permettent de pallier le manque d'observations directes tout en fournissant des estimations essentielles pour l'étude du bassin.

V.1.1 Formule de GIANDOTTI

Le débit maximum probable est donné par la formule suivante :

$$Qmax = \frac{C \times S \times Pct \times \sqrt{Hmoy - Hmin}}{4\sqrt{S} + 1.5L} \qquad (V.1)$$

Avec :

Qmax : Débit Max de la crue en m^3/s

S : superficie du bassin versant en Km^2

Pct : pluie de courte durée correspondant au temps de concentration en m

L : longueur du thalweg principal en km

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

C : coefficient topographique variant entre 100 et 166, on prend C=105

Tableau V.1: Débit maximum des crues de différentes périodes de retour pour le bassin versant d'oued Sebaou par la formule de GIANDOTTI

Période de retour (ans)	**100**	**50**	**20**	**10**	**5**
Pct (mm)	133.05	121.09	105.39	92.68	79.98
Qmax (m^3/s)	1437.79	1308.55	1138.89	1001.54	864.30

Tableau V.2 : Débit maximum des crues de différentes période de retour pour le bassin versant d'oued Aissi par la formule de GIANDOTTI

Période de retour (ans)	100	50	20	10	5
Pct (mm)	91.61	83.45	72.16	63.37	54.46
Qmax (m^3/s)	731.68	666.51	576.34	506.13	434.97

V.1.2 Formule de TURAZZA :

La formule de TURAZZA tient compte des pluies maximales de courtes durées, de l'intensité des pluies, de la superficie et du temps de concentration.

$$Qmax = \frac{Cr \times Pct \times S}{3.6 \times Tc} \qquad (V.2)$$

Où :

Pct : pluie de courte durée pour un temps T

S : surface du bassin versant en km^2

Tc : temps de concentrations

Cr : coefficient de ruissellement (0.6-0.8)

Tableau V.3. Débit maximum des crues de différentes périodes de retour pour le bassin versant d'oued Sebaou par la formule de TURAZZA

Période de retour (ans)	**100**	**50**	**20**	**10**	**5**
Pct (mm)	133.05	121.09	105.39	92.68	79.98
C	0.8	0.75	0.7	0.65	0.6
Qmax (m^3/s)	2435.49	2078.03	1688.03	1378.42	1098.03

Tableau V.4 : Débit maximum des crues de différentes périodes de retour pour le bassin versant d'oued Aissi par la formule de TURAZZA

Période de retour (ans)	**100**	**50**	**20**	**10**	**5**
Pct (mm)	91.61	83.45	72.16	63.37	54.46
C	0.8	0.75	0.7	0.65	0.6
Qmax (m^3/s)	1239.40	1058.44	854.23	696.59	552.59

V.1.3 Formule de POSSENTI :

$$Q_{max} = \frac{\mu \times P\,\max,j \times S}{L} \qquad (V.3)$$

Avec :

P_{maxj} : pluie maximale journalière correspondante à chaque période de retour en m

µ : coefficient compris entre 700 et 800, on prend ($\mu = 750$)

L : longueur du cours d'eau principal en km

S : superficie du bassin versant en km^2

Tableau V.5 : Débit maximum des crues de différentes périodes de retour pour le bassin versant d'oued Sebaou par la formule de POSSENTI

Période de retour (ans)	**100**	**50**	**20**	**10**	**5**
Pct (mm)	133.05	121.09	105.39	92.68	79.98
Qmax (m^3/s)	1571	1429.78	1244.40	1094.33	944.37

Tableau V.6: Débit maximum des crues de différentes périodes de retour pour le bassin versant d'oued Aissi par la formule de POSSENTI

Période de retour (ans)	**100**	**50**	**20**	**10**	**5**
Pct (mm)	91.61	83.45	72.16	63.37	54.46
Qmax (m^3/s)	693.12	631.38	545.96	479.46	412.04

V.1.4Formule de SOKOLOVSKY :

$$Qmax, p\% = \frac{0.28 \times Xp\% \times a_{P\%} \times S \times f}{Tc} \qquad (V.4)$$

Avec :

$a_{P\%}$: coefficient de ruissellement pour la crue probable

S : surface du bassin versant (km^2)

f : coefficient de forme de la crue.

Tc : temps de concentration du bassin versant (h)

Xp % : précipitation de probabilité p% correspondant au temps de concentration (mm)

Le coefficient de forme de la crue est donné par la formule suivant :

$F=12/4+3\times \gamma$

Pour noter bassin on prend $\gamma = 2.5$

Tableau V.7: Débit maximum des crues de différentes périodes de retour pour le bassin versant d'oued Sebaou par la formule de SOKOLOVSKY

Période de retour (ans)	**100**	**50**	**20**	**10**	**5**
Pct (mm)	133.05	121.09	105.39	92.68	79.98
$a_{P\%}$	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5
Qmax (m^3/s)	2234.03	1887.98	1516.80	1222.71	959.24

Tableau V.8: Débit maximum des crues de différentes périodes de retour pour le bassin versant d'oued Aissi par la formule de SOKOLOVSKY

Période de retour (ans)	**100**	**50**	**20**	**10**	**5**
Pct (mm)	91.61	83.45	72.16	63.37	54.46
$a_{P\%}$	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5
Qmax (m^3/s)	1136.88	961.64	767.57	617.90	482.75

Le tableau suivant nous donne tous les résultats de calcul de toutes les méthodes de calcul.

Tableau V.9: Débit maximum de crue pour différent période de retour pour le bassin versant de l'oued Sebaou

Formule	**Période de retour**	**100**	**50**	**20**	**10**	**5**
GIANDOTTI	Qmax (m^3/s)	1437.79	1308.55	1138.89	1001.54	864.30
TURAZZA		2435.49	2078.03	1688.03	1378.42	1098.03
POSENTI		1571	1429.78	1244.40	1094.33	944.37
SOKOLOVSKY		2234.03	1887.97	1516.79	1222.71	959.24

Tableau V.10 : Débit maximum de crue pour différent périodes de retour pour le bassin versant de l''oued Aissi

Formule	Période de retour	100	50	20	10	5
GIANDOTTI	Qmax (m^3/s)	731.68	666.51	576.34	506.13	434.97
TURAZZA		1239.40	1058.44	854.23	696.59	552.59
POSENTI		693.12	631.38	545.96	479.46	412.04
SOKOLOVSKY		1136.88	961.64	767.57	617.90	482.75

V.2. Choix du débit de crues (débit de dimensionnement)

D'après les résultats obtenus par les différentes méthodes de calcul de débit de crues (GIANDOTTI, TURAZZA, POSENTI et celle de SOKOLOVSKY). On opte pour les résultats de la formule de SOKOLOVSKY pour les simples raisons suivantes : la plus détaillée, elle donne des hydrogrammes complets, qui seront nécessaires pour étudier le laminage des crues. Elle est aussi d'usage très répandue chez les hydrologues du Nord d'Afrique, car elle tient compte de tous les paramètres caractéristiques du bassin versant, de la surface, du temps de concentration, du coefficient de forme, du coefficient de ruissèlement ainsi que de la précipitation correspondante au temps de concentration.

V.3. Hydrogramme de crue :

Par définition, l'hydrogramme de crue représente la variation des débits d'un cours d'eau en fonction du temps. Il permet de déterminer les caractéristiques de la crue :

-la forme de la crue

- le volume de la crue

-la durée de la crue

- le temps de montée

- le temps de base

L'hydrogramme de crue sera établit selon la méthode de SOKOLOVSKY. Cette méthode assimile l'hydrogramme de crue à deux équations paraboliques lune pour la montée de la crue et l'autre pour la décrue.

Pour la montée de la crue : $$Q_m=Q_{max}\left(\frac{t}{t_m}\right)^n \quad (V.5)$$

Pour la décrue : $$Q_d=Q_{max}\left[\frac{(tb-t)}{t_d}\right]^m \quad (V.6)$$

Avec :

Q_m : débit instantané de la montée (m^3/s) ;

Q_d : débit instantané de la décrue (m^3/s) ;

t_m : temps de la montée de la crue en heures ;

t_d : temps de la décrue en heures ;

Q_{max} : débit maximum de la crue de fréquence considérées en (m^3/s) ;

n, m : puissance des courbes ;

n = 2 pour la montée de la crue.

m=3 pour la décrue.

Pour les crues d'averses, c'est à dire les crues engendrées par la pluie, cette méthode prend :

- tm=tc , avec tc est le temps de concentration du bassin versant (heures).
- td =δtm ;

Ou δ : coefficient dépendant des caractéristiques du bassin versant, il est pris en général compris entre (2.4), celui – ci est en fonction du cours d'eau (longueur), de la perméabilité et du boisement du bassin on prend δ =3.5

Tableau V.11: Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue δ

Condition	δ
Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants dénudés et Faiblement perméables	2 à 2.5
Petit cours d'eau et vallons dans des bassins versant brisée ou perméables, moyens cours d'eau avec terrasses de lit majeur normales.	3 à 4
Grands et moyens cours d'eau avec des terrasses de débordements étendues.	4 à 7

Tableau V.12: Tableau récapitulatif des temps de concentration, de montée et de décrue d'oued Sebaou

Bassin	**δ**	**tc=tm**	**t_d**	**t_b**
B.V de Sébaou	3.5	11.80	41.30	53.10

Pour construire l'hydrogramme de crue de notre oued Sébaou, nous avons utilisé les valeurs des débits de crues pour différentes périodes de retour, les résultats obtenus sont exposés dans les tableaux ci- après.

Tableau V.13: Débit de crues pour différentes périodes de retour d'oued Sebaou

	Débits de crues pour différentes périodes de retour (m^3/s)				
T (h)/années	**100**	**50**	**20**	**10**	**5**
1	16.044	13.559	10.893	8.781	6.889
2	64.178	54.237	43.573	35.125	27.556
3	144.400	122.033	98.040	79.032	62.002
4	256.711	216.947	174.294	140.501	110.226
5	401.111	338.979	272.334	219.533	172.228
6	577.600	488.130	392.161	316.127	248.008
7	786.178	664.400	533.774	430.284	337.567
8	1026.845	867.787	697.174	562.004	440.903
9	1299.601	1098.293	882.361	711.286	558.018
10	1604.446	1355.918	1089.335	878.131	688.911
11	1941.379	1640.661	1318.095	1062.539	833.583
11.8	2234.030	1887.980	1516.790	1222.710	959.240
12	2201.731	1860.684	1494.861	1205.033	945.372
13	2044.899	1728.146	1388.380	1119.197	878.032
14	1895.698	1602.055	1287.080	1037.537	813.968
15	1753.936	1482.252	1190.831	959.949	753.099
16	1619.424	1368.576	1099.505	886.329	695.343
17	1491.971	1260.866	1012.971	816.573	640.617
18	1371.388	1158.960	931.101	750.576	588.842
19	1257.483	1062.699	853.765	688.235	539.933
20	1150.066	971.922	780.835	629.444	493.811
21	1048.948	886.467	712.181	574.101	450.394
22	953.938	806.173	647.674	522.101	409.598
23	864.845	730.881	587.185	473.340	371.344
24	781.480	660.429	530.584	427.713	335.549
25	703.652	594.657	477.743	385.117	302.132
26	631.171	533.403	428.532	345.447	271.010
27	563.846	476.506	382.822	308.599	242.102

28	501.487	423.807	340.484	274.470	215.327
29	443.905	375.144	301.388	242.954	190.602
30	390.908	330.357	265.406	213.949	167.847
31	342.307	289.284	232.409	187.348	146.979
32	297.911	251.765	202.266	163.050	127.916
33	257.530	217.638	174.849	140.949	110.577
34	220.973	186.744	150.029	120.941	94.881
35	188.051	158.922	127.677	102.922	80.744
36	158.572	134.009	107.662	86.788	68.087
37	132.348	111.847	89.857	72.435	56.827
38	109.187	92.274	74.132	59.759	46.882
39	88.899	75.128	60.358	48.655	38.171
40	71.294	60.251	48.405	39.020	30.612
41	56.182	47.479	38.144	30.749	24.123
42	43.372	36.654	29.447	23.738	18.623
43	32.674	27.613	22.184	17.883	14.029
44	23.898	20.196	16.226	13.080	10.261
45	16.854	14.243	11.443	9.224	7.237
46	11.350	9.592	7.706	6.212	4.874
47	7.198	6.083	4.887	3.940	3.091
48	4.207	3.555	2.856	2.302	1.806
49	2.186	1.847	1.484	1.196	0.938
50	0.945	0.798	0.641	0.517	0.406
51	0.294	0.248	0.199	0.161	0.126
52	0.042	0.036	0.029	0.023	0.018
53	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
53.1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

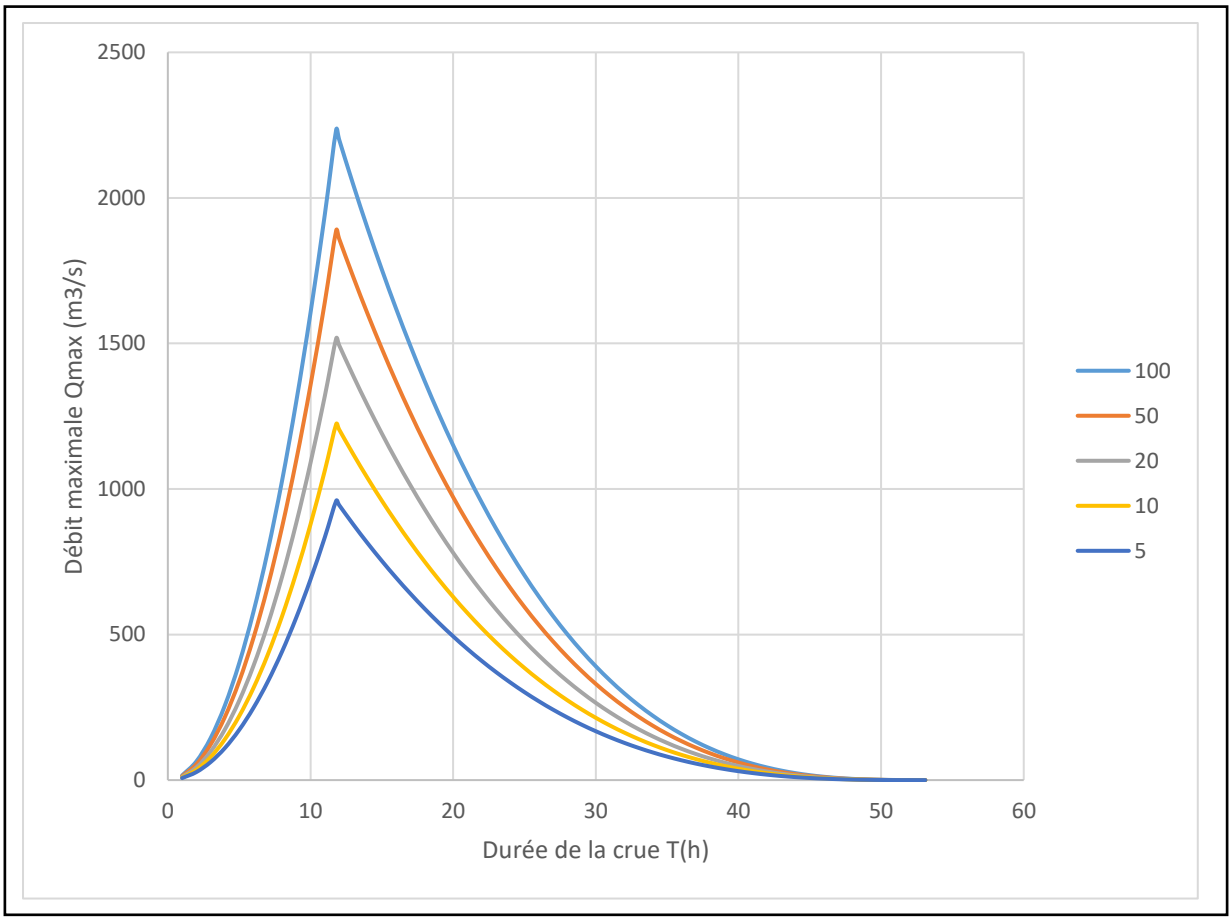


Figure V.1 : Hydrogramme de crues pour différentes périodes de retour d'oued Sebaou

Tableau V.14: Tableau récapitulatif des temps de concentration, de montée et de décrue d'oued Aissi

Bassin	***δ***	**t_c=t_m**	**t_d**	**t_b**
B.V oued Aissi	3.5	7.72	27.02	34.74

Tableau V.15: Débits de crues pour différentes périodes de retour d'oued Aissi

	Débits de crues pour différentes périodes de retour (m^3/s)				
T (h)/années	**100**	**50**	**20**	**10**	**5**
1	19.076	16.135	12.879	10.368	8.100
2	76.303	64.541	51.516	41.471	32.400
3	171.681	145.218	115.911	93.310	72.900
4	305.211	258.165	206.065	165.884	129.601
5	476.892	403.383	321.976	259.193	202.501
6	686.724	580.872	463.645	373.238	291.602
7	934.708	790.631	631.073	508.019	396.902
7.72	1136.880	961.640	767.570	617.900	482.750
8	1101.902	932.053	743.954	598.889	467.897
9	982.843	831.347	663.571	534.180	417.342
10	872.685	738.169	589.198	474.309	370.566
11	771.082	652.227	520.600	419.087	327.422
12	677.688	573.229	457.545	368.327	287.765
13	592.157	500.882	399.798	321.841	251.446
14	514.144	434.893	347.127	279.440	218.319
15	443.302	374.971	299.298	240.937	188.238
16	379.286	320.823	256.077	206.144	161.055
17	321.751	272.156	217.232	174.873	136.624
18	270.349	228.677	182.528	146.936	114.798
19	224.736	190.095	151.732	122.145	95.429
20	184.566	156.117	124.610	100.312	78.372
21	149.492	126.449	100.930	81.250	63.478
22	119.170	100.801	80.458	64.769	50.603
23	93.253	78.879	62.960	50.683	39.598
24	71.396	60.391	48.203	38.804	30.317
25	53.252	45.044	35.953	28.943	22.612
26	38.476	32.545	25.977	20.912	16.338
27	26.723	22.604	18.042	14.524	11.347

28	17.646	14.926	11.914	9.591	7.493
29	10.899	9.219	7.359	5.924	4.628
30	6.138	5.191	4.144	3.336	2.606
31	3.015	2.550	2.036	1.639	1.280
32	1.186	1.003	0.800	0.644	0.503
33	0.304	0.257	0.205	0.165	0.129
34	0.023	0.020	0.016	0.013	0.010
34.5	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
34.74	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

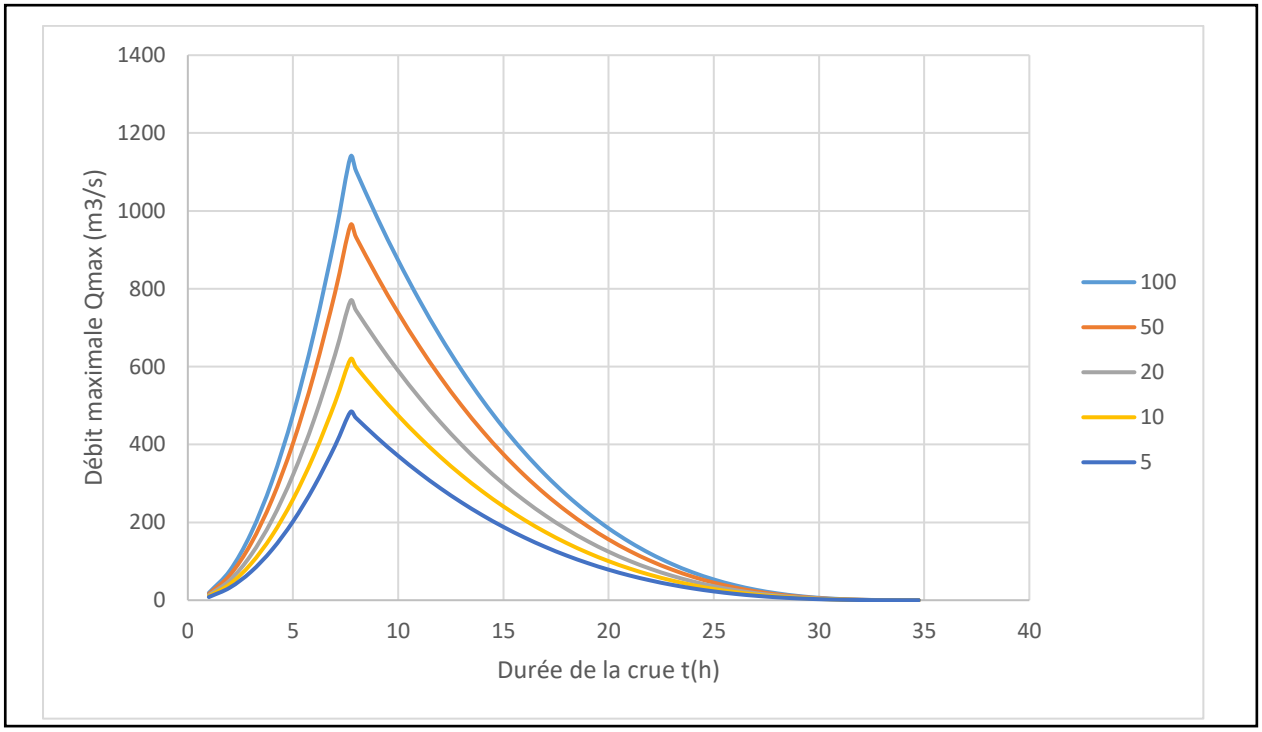


Figure V.2: Hydrogramme de crues pour différentes périodes de retour d'oued Aissi

V.4 Choix de la crue de projet :

La crue de projet représente la crue maximale que l'ouvrage doit pouvoir évacuer sans causer de dommages significatifs en aval. Son choix repose sur plusieurs critères essentiels : l'importance de l'ouvrage à construire, les impacts potentiels sur les zones en aval, ainsi que les contraintes technico-économiques liées à l'aménagement.

Dans le cadre d'un projet de protection contre les inondations, une période de retour de 100 ans a été retenue pour garantir un niveau de sécurité adapté. Voici les débits maximaux associés :

- **Bassin versant de l'oued Sebaou :** Qmax (100 ans) = **2234,03 m³/s**
- **Bassin versant de l'oued Aissi :** Qmax (100 ans) = **1136,88 m³/s**

Ce choix permet d'assurer une gestion optimale des risques liés aux crues dans ces bassins versants.

V.5 Etude des apports :

La détermination des apports hydriques repose prioritairement sur les observations hydrométriques disponibles, qu'elles proviennent directement du bassin versant étudier ou, par analogie, d'un bassin voisin. En l'absence de telles données, il est nécessaire de recourir à des modèles et formules empiriques basés sur les caractéristiques pluviométriques. Ces modèles s'appuient notamment sur la précipitation et le déficit hydrique pour fournir des estimations fiables.

Apport moyen interannuels (A0) :

L'apport moyen interannuel est estimé par l'utilisation des formules empiriques, des différents auteurs, suivantes :

✓ **Formule de DERIE II**

$$A=0.513\times P^{2.683}\times Dd\times S^{0.84} \qquad \textbf{(V.7)}$$

Avec :

- P : pluie moyenne annuelle (mm).
- Dd : Densité de drainage (km/km^2).
- S : Surface du bassin versant (km^2).

Tableau V.16 : Résultats de calcule d'apport liquide par la formule DERIE II

SBV	P(m)	S(km^2)	Dd(km/km^2)	A(Mm^3)
Sebaou	1.16886	972	1.76	443.69
Aissi	0.88379	470	0.98	63.38

- ✓ **Formule de l'ANRH**

$$A=0.915\times P_{moy}^{2.684}\times S^{0.84} \quad \textbf{(V.8)}$$

Avec :

- Pmoy : pluie moyenne annuelle (m).
- S : superficie du bassin versant (km^2)

Tableau V.17: Résultats de calcule d'apport liquide par la formule ANRH

SBV	P(m)	S(km^2)	A(Mm^3)
Sebaou	1.16886	972	449.71
Aissi	0.88379	470	115.34

- ✓ **Formule de MEDINGUER**

$$A=Le\times S \quad \textbf{(V.9)}$$

$$Le=1024\,(Pmoy-0.26)^2$$

Avec :

- Pmoy : pluie moyenne annuelle en (m)
- S : surface du bassin versant en km^2
- Le : lame d'eau écoulée en (mm)

Tableau V.18: Résultats de calcule d'apport liquide par la formule de MEDINGUER

SBV	P(m)	S(km²)	A(m³)
Sebaou	1.16886	972	822167303.8
Aissi	0.88379	470	187272768.6

Vu les résultats des déférentes méthodes. On a choisi la formule de MEDINGUER.

V.6 Répartition mensuelle de l'apport moyen

La distribution des apports mensuels en pourcentage de l'apport interannuel a été établi sur la base de la répartition mensuelle de la pluviométrie en question étant génératrice des apports de l'oued.

Cette technique d'adoption de la répartition mensuelle de la pluie a été considérée en raison de l'absence d'informations hydrométriques au niveau de l'oued concerné.

V.6.1 Etude des caractéristiques de l'écoulement

- **Module de l'écoulement :**

$$\mathbf{M_e}=\frac{A0}{T} \qquad \text{(V.10)}$$

Avec :

- A_0 : Apport moyen annuel (l).
- T : Temps d'une année en secondes =365*24*3600 =31536000 s

Tableau V.19: Module d'écoulement de chaque sous bassin

SBV	S(km²)	A(l)	T(s)	Me(l/s)
Sebaou	972	$8.22167*10^{11}$	31536000	26070.74
Aissi	470	$1.87273*10^{11}$	31536000	5938.38

- **Module de l'écoulement relatif :**

$$M_0=\frac{Me}{S} \qquad (V.11)$$

Avec :

- Me : Module de l'écoulement (l/s)
- S : superficie du bassin (km^2)

Tableau V.20: Module d'écoulement relatif de chaque sous bassin

SBV	S(km^2)	Me(l/s)	M_0(l/s/km^2)
Sebaou	972	26070.74	26.82
Aissi	470	5938.38	12.63

- **Lame d'eau écoulée :**

$$L_e=\frac{A0}{S} \qquad (V.12)$$

Avec :

- A : apport moyen annuel
- S : superficie du bassin (km^2)

Tableau V.21: Lame d'eau écoulée de chaque sous bassin

SBV	S(km^2)	A(Mm^3)	L (mm)
Sebaou	972	822.17	845.85
Aissi	470	187.27	398.45

- **Coefficient de l'écoulement**

$$Ce = \frac{Le}{Pmoy} \qquad (V.13)$$

Avec :

- Pmoy : pluie moyenne annuelle (mm).
- Le : Lame d'eau écoulée (mm).

Tableau V.22 Coefficient d'écoulement de chaque sous bassin

SBV	L(mm)	Pmoy (mm)	Ce
Sebaou	845.85	1168.86	0.7236
Aissi	398.45	883.79	0.4508

- **Coefficient de variation**

Pour le calcul du coefficient de variation (CV), et en l'absence d'une série d'observations hydrologiques, il est nécessaire de recourir à des formules empiriques adaptées. Ces formules permettent d'estimer le CV à partir des données disponibles ou des caractéristiques du bassin versant.

Formule de SOKOLOVSKY

$$Cv=a-0.063\log(s+1) \qquad (V.14)$$

Avec :

$a = 0.78-0.29\log(M_0)$

- M_0 : Module de l'écoulement relatif (l/s/km^2)

Tableau V.23: Coefficient de variation avec la formule SOKOLOVSKY

SBV	S(km^2)	M_0(l/s/km^2)	A	Cv
Sebaou	972	26.82	0.36	0.17
Aissi	470	12.63	0.46	0.29

❖ **Formule de L'ANTONOV**

$$\mathbf{Cv}= \frac{\mathbf{0.7}}{(\boldsymbol{S}+\mathbf{1000})\mathbf{0.097}} \qquad \text{(V.15)}$$

Avec :

S : superficie du bassin en (km^2)

Tableau V.24: Coefficient de variation avec la formule L'ANTONOV

SBV	**S (km^2)**	**Cv**
Sebaou	972	0.34
Aissi	470	0.35

❖ **Formule de KRISTIKLY MENKEL**

$$\mathbf{Cv}= \frac{\mathbf{0.83}}{(\boldsymbol{S}\ \mathbf{0.06}\times \boldsymbol{M}\ \mathbf{0.27})} \qquad \text{(V.16)}$$

Avec :

M_0 : module de l'écoulement relatif ($l/s/km^2$)

S : superficie du bassin en (km^2)

Tableau V.25: Coefficient de variation avec la formule de KRISTLY MENKEL

SBV	**S(km^2)**	**M_0($l/s/km^2$)**	**Cv**
Sebaou	972	26.82	0.23
Aissi	470	12.63	0.29

❖ **Formule algérienne**

$$Cv = 0.93K/M_0^{0.23} \quad (V.17)$$

Avec :

M_0 : module spécifique du bassin versant en ($l/s/km^2$)

K : coefficient de réduction on prend K=0.66

Tableau V.26: Coefficient de variation avec la formule Algérienne

SBV	**K**	**M_0(l/s/km²)**	**Cv**
Sebaou	0.66	26.82	0.29
Aissi	0.66	12.63	0.34

Tableau V.27: Résultats du calcul de coefficient de variation

Formule	**Cv**	
	Sebaou	**Aissi**
SOKOLOVSKY	0.17	0.29
L'ANTONOV	0.34	0.35
KRISTELY MENKEL	0.23	0.29
Algérienne	**0.29**	**0.34**
Moyenne	0.26	0.32

Après avoir calculé le coefficient de variation (CV) à l'aide des différentes méthodes disponibles, on privilégie les valeurs obtenues par la formule algérienne, car elles s'avèrent être très proches de la moyenne, offrant ainsi une estimation plus représentative.

Conclusion

Ce chapitre nous a permis de déterminer les paramètres hydrologiques essentiels à l'aménagement de l'oued Sebaou, dans le but de protéger la station de pompage contre les crues centennales. Nous avons estimé les apports annuels du bassin versant, évalué les crues à l'aide de différentes méthodes hydrologiques et analysé le transport solide. Enfin, nous avons identifié les paramètres clés liés à l'écoulement, fournissant ainsi une base solide pour la conception des aménagements de protection contre les inondations.

CHAPITRE VI :

Diagnostic et modélisation du cours d'eau non aménagé

CHAPITRES VI : diagnostic et modélisation du cours d'eau non aménagé

Introduction

Avant toute étude d'aménagement, l'analyse hydraulique constitue une étape cruciale. Elle consiste à examiner les écoulements dans les canaux, qu'ils soient naturels ou artificiels, en surface libre ou en charge.

Le calcul hydraulique repose sur le principe des valeurs extrêmes (débit et vitesse d'écoulement), garantissant que les canaux puissent évacuer rapidement et de manière continue l'ensemble des volumes d'eau.

L'objectif principal de cette étude est d'analyser le comportement des lames d'eau associées aux différents débits déterminés lors de l'étude hydrologique. Ces données serviront à :

- Élaborer des cartes de profondeur.
- Identifier les zones inondables.
- Concevoir un programme d'aménagement du cours d'eau répondant à des critères précis et adaptés aux besoins identifiés.

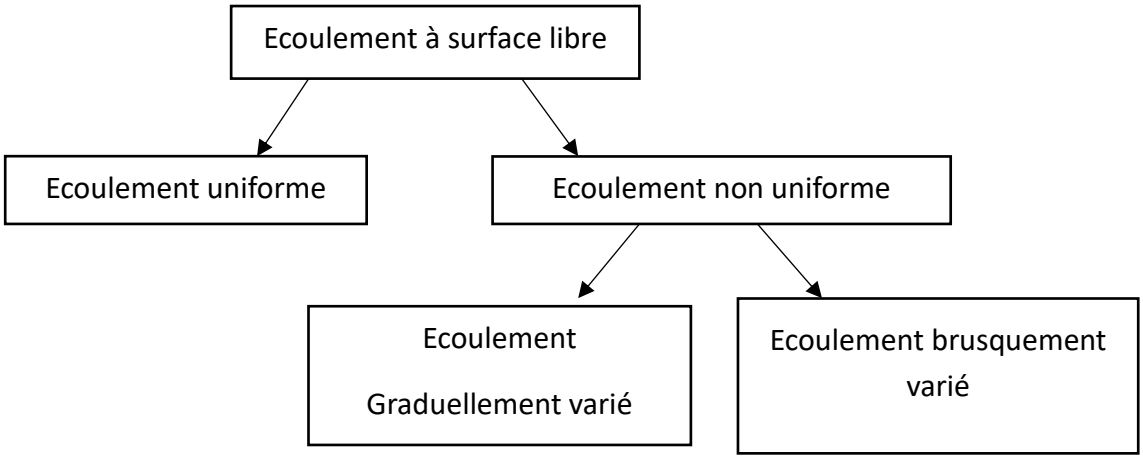
VI.1. Généralités

L'hydraulique fluviale est la science qui traite les écoulements dont la surface d'eau est soumise à la pression atmosphérique appelé écoulement à surface libre. Cet écoulement est dû essentiellement à la pente du canal et non pas à la différence de charge entre deux sections comme il est le cas dans les conduites en charge. Les concepts d'hydraulique fluviale sont indispensables à la conception d'ouvrage hydrauliques.

VI.1.1 Ecoulement à surface libre

Les écoulements à surface libre sont des écoulements qui comportent une surface libre en contact avec l'aire, généralement soumise à la pression atmosphérique. L'écoulement à surface libre se fait gravitairement.

Si la pente longitudinale (c.à.d. dans le sens d'écoulement) et la section transversale (section perpendiculaire à l'écoulement) sont constantes tout le long de la masse liquide, donc le régime est **uniforme.** Dans le cas contraire, le régime est **non uniforme.**



VI.1.2 Types découlement

La classification des écoulements se fait selon la variation de la profondeur h ou Dh par apport au temps et à l'espace

a. Variabilité dans le temps

i. Ecoulement permanent

L'écoulement est permanent si les vitesses moyens et ponctuelles (V et U) ainsi que les profondeur h ou dh restent invariables dans le temps en tout point dans l'espace dans toutes les directions, par conséquent le débit est constant entre les diverses sections du canal (sans apport latéral).

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dQ}{dt} = \frac{dh}{dt} = \frac{du}{dt} = 0 \qquad \text{(VI.1)}$$

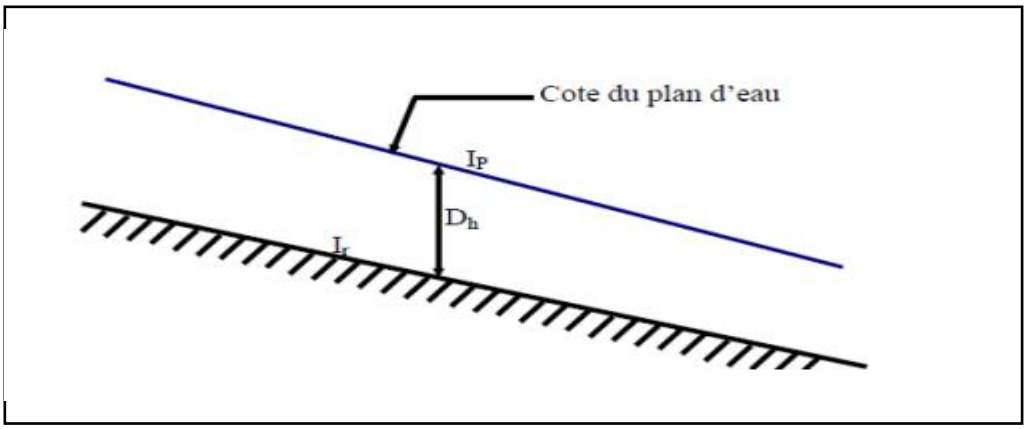


Figure VI.1. Ecoulement permanent

ii. Ecoulement non permanant

L'écoulement est non permanent si la profondeur d'eau dh ainsi que les autres paramètres (V et U) variant avec le temps et par conséquent le débit n'est pas constant.

$$\frac{dv}{dt} \neq \frac{dQ}{dt} \neq \frac{dh}{dt} \neq \frac{du}{dt} \neq 0 \qquad \text{(VI.2)}$$

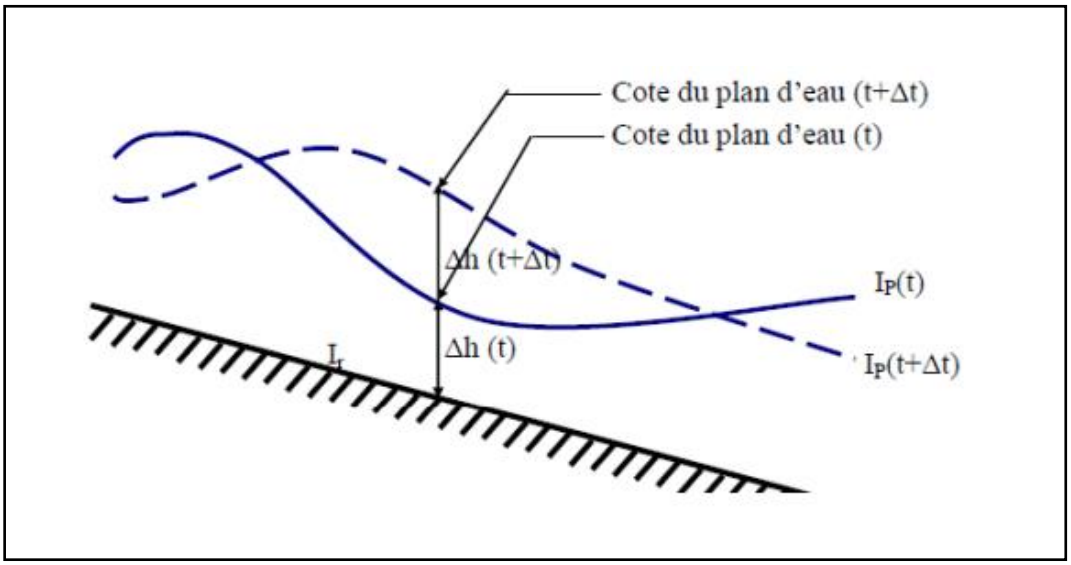


Figure VI.2. Ecoulement non permanent

b. Variabilité dans l'espace

i. Ecoulement uniforme

Un écoulement est dit permanent si les vitesses moyennes, v, et ponctuelles, v, ainsi que la profondeur, h ou dh reste invariables dans le temps en grandeur et en direction ; le débit est constant, Q = v*S

$$\frac{dV}{dt} = \frac{dv}{dt} = \frac{dh}{dt} = \frac{dQ}{dt} = 0 \qquad \text{(VI.3)}$$

ii. Ecoulement non uniforme

Un écoulement et non uniforme lorsque les paramètres tels que la vitesse, la pente, la rugosité, la profondeur et la section variant tout le long de l'espace.

$$\frac{dv}{dx} \neq \frac{dQ}{dx} \neq \frac{dh}{dx} \neq \frac{du}{dx} \neq 0 \qquad \text{(VI.4)}$$

- Ecoulement non uniforme graduellement varié :
  Le régime d'écoulement considéré se caractérise par une très faible variation de hauteur dans la direction de l'écoulement. Typiquement, si L représente une longueur d'écoulement et Δh la variation de hauteur, cette condition s'exprime mathématiquement par : Δh/L<< 1.
- Écoulement non uniforme rapidement varié :
  Le régime d'écoulement considéré se distingue par une variation importante de hauteur dans la direction de l'écoulement. Typiquement, si L représente une longueur d'écoulement et Δh une variation de hauteur, cette condition s'exprime par : Δh/L=1.

  Ce type de régime est souvent observé à l'approche d'une singularité ou lors de la formation d'un ressaut hydraulique. Dans de tels cas, l'écoulement entre dans un régime dit **rapidement varié**, caractérisé par des transitions abruptes et des changements significatifs dans les paramètres hydrauliques.

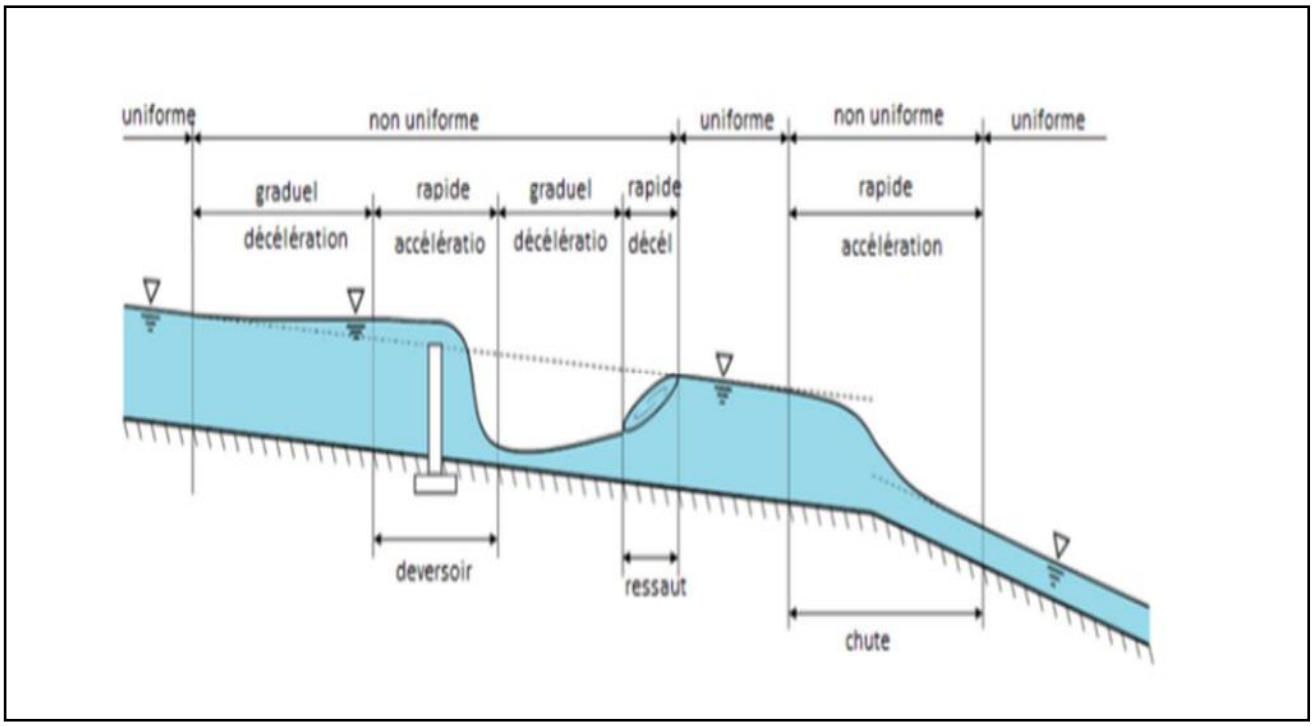


Figure VI.3 : Schéma illustrant les différents types découlements (source, Wikipédia)

VI.1.3 Régime découlement

Un écoulement peut être classé en différents types selon le **nombre de Froude**, qui tient compte des forces d'inertie et des forces de gravité (Lancastre, 1996).

Le nombre de Froude est défini comme le rapport entre les forces d'inertie et les forces de gravité, permettant de caractériser le comportement de l'écoulement. Il s'exprime par la formule :

$$\mathrm{Fr} = \frac{v}{\sqrt{g\ Dh}} \qquad \text{(VI.5)}$$

Avec :

V : vitesse moyenne de l'écoulement ;

Dh : profondeur hydraulique ;

G : accélération gravitationnelle.

Quand :

Fr = 1 : le régime est critique

Fr < 1 : le régime est fluvial

Fr > 1 : le régime est torrentiel.

les notions de régime fluvial, torrentiel ou critique s'appliquent spécifiquement au cas particulier du régime uniforme.

Quand :

Yn < Yc : écoulement uniforme torrentiel.

Yn > Yc : écoulement uniforme fluvial.

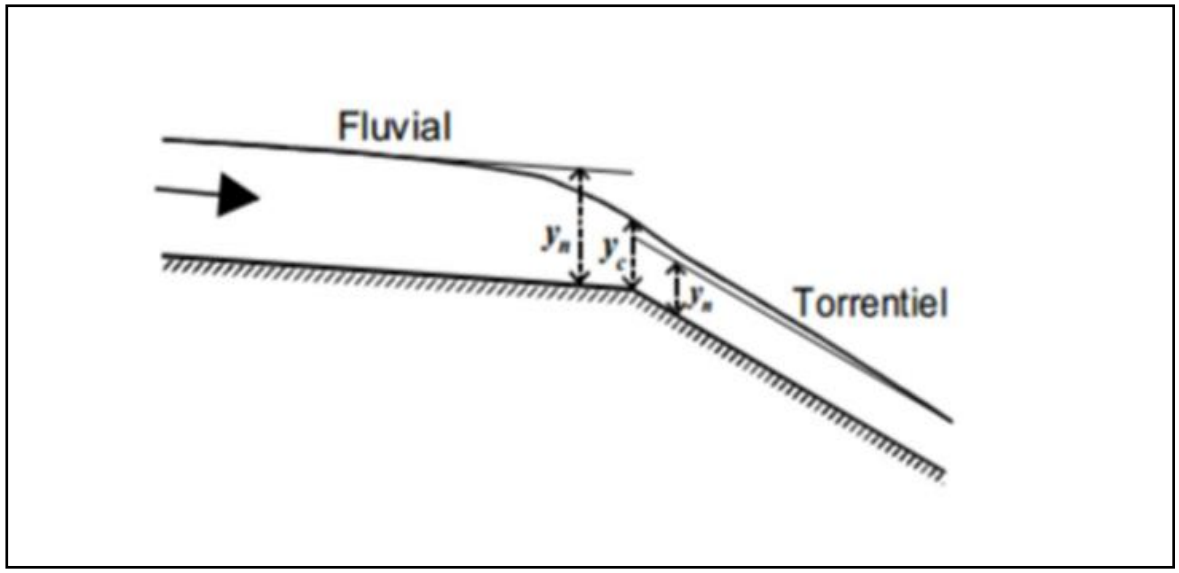


Figure VI.4 : Passage d'un régime fluvial au régime torrentiel (source, Toumi Abdelouaheb,2016)

Un autre nombre adimensionnel clé dans l'étude hydraulique, en complément du nombre de Froude, est le **nombre de Reynolds**. Ce dernier permet de définir trois régimes d'écoulement distincts en fonction du rapport entre les forces de viscosité et les forces d'inertie.

Il s'exprime par la formule :

$$\mathrm{Re} = \frac{v \times h}{v} \qquad \text{(VI.6)}$$

Le rôle du nombre de Reynolds est de permettre le classement des écoulements comme suit :

Re < 500 : écoulement laminaire.

Re> 2000 : écoulement turbulent.

500< Re< 2000 : écoulement de transition

Ainsi, la combinaison des deux nombres adimensionnels — le **nombre de Froude** et le **nombre de Reynolds** — permet de classer les régimes d'écoulement de manière plus précise

Fr < 1, Re <500 : écoulement fluvial – laminaire.

Fr <1, Re >2000 : écoulement fluvial – turbulent.

Fr> 1, Re < 500 : écoulement torrentiel – laminaire.

Fr >1, Re >2000 : écoulement torrentiel – turbulent.

VI.1.4. Canaux à ciel ouvert

Un canal à ciel ouvert est un système de transport dans lequel la pression de la surface d'eau équivalent à la pression atmosphérique.

VI.1.4.1. Type de canaux

Il existe deux types de canaux :

A. Les canaux naturels :

Les cours d'eau naturels incluent une variété de formes, allant des ruisselets aux torrents, rivières, fleuves et estuaires. Ces écoulements, qui se produisent naturellement sur (ou sous) la surface terrestre, sont souvent caractérisés par une grande diversité.

Dans les canaux naturels, les écoulements sont fréquemment non uniformes et non permanents, en raison des variations de débit et de la géométrie irrégulière des lits de cours d'eau. Cette variabilité impose l'utilisation de modèles mathématiques plus complexes pour leur étude, contrairement aux canaux artificiels où les conditions sont souvent plus stables et prévisibles.

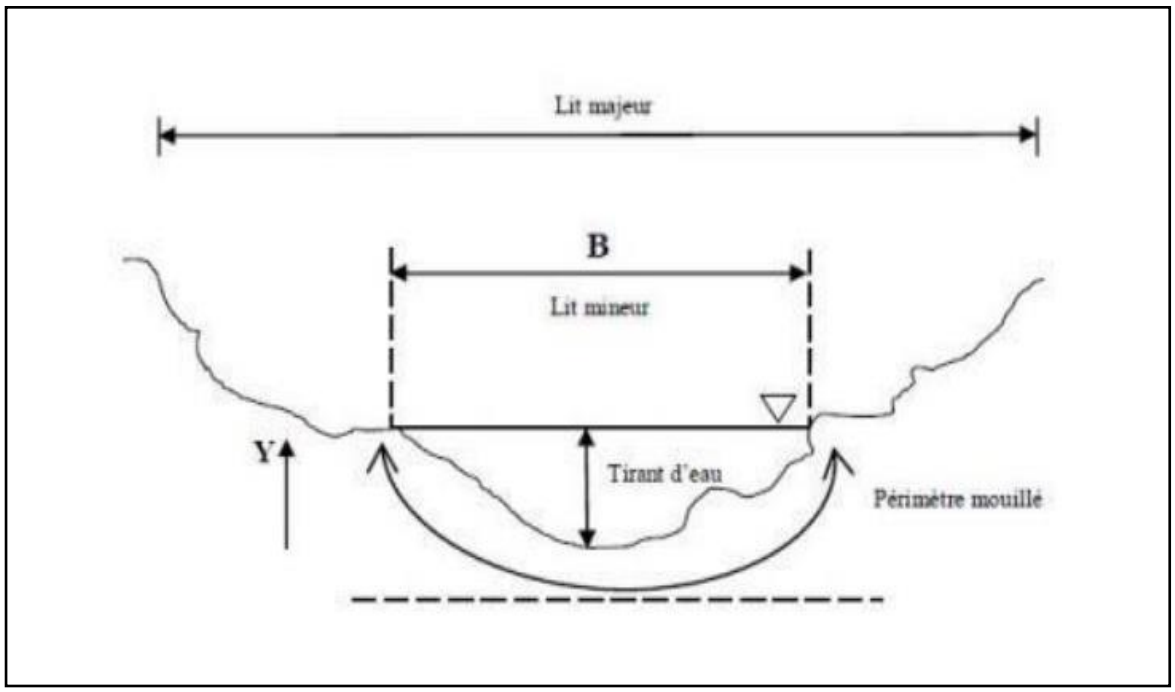


Figure VI.5: Géométrie d'un canal naturel

B. Les Canaux artificiels :

Les canaux artificiels sont des ouvrages réalisés par l'homme, tels que les canaux ouverts construits au ras du sol (pour la navigation, l'adduction et l'évacuation d'eau, l'irrigation et le drainage) ou les canaux couverts dans lesquels les liquides ne remplissent pas entièrement la section (comme les tunnels ou les égouts).

Les propriétés hydrauliques des canaux artificiels sont généralement plus régulières que celles des canaux naturels. Cela permet une application plus fiable de la théorie hydraulique, qui donne souvent des résultats précis et réalistes pour la conception et l'analyse de ces infrastructures.

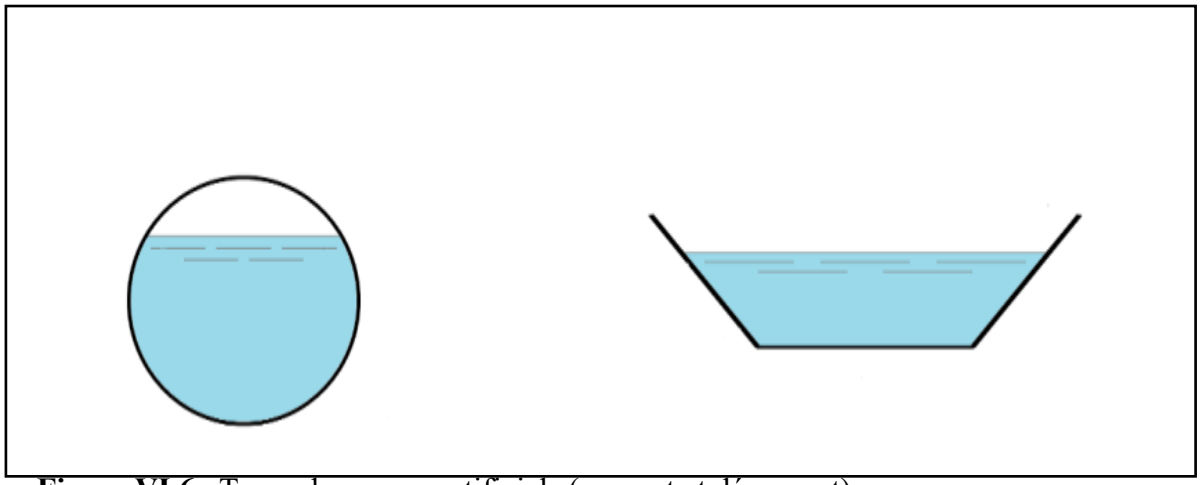


Figure VI.6 : Types de canaux artificiels (couvert et découvert)

VI.1.4.2. Propriétés des canaux

VI.1.4.2.1Propriété géométrique

Un canal est composé des éléments géométrique défini ci – dessous

- La section transversale A ;
- La section mouillée Sm ;
- Le périmètre mouillé Pm ;
- Le rayon hydraulique $Rh=\frac{Sm}{Pm}$
- La largeur en surface du canal b est la distance séparant les berges opposées ;
- La profondeur hydraulique Dh du canal est défini par : $Dh = \frac{Sm}{b}$
- Ecoulement dans les canaux

VI.1.4.2.2. Propriétés hydrauliques

1- Poids volumique :

Le **poids volumique** de l'eau, noté γw est défini comme le produit de l'accélération due à la gravité g et de la masse volumique de l'eau ρw . Pour l'eau pure, sans matière en suspension, le poids volumique est de **9.81 kN/m³**. La masse volumique de l'eau, ρw , vaut **1000 kg/m³**, et l'accélération de la pesanteur, est de **9.81 m/s²**.

2- Débits :

Le **débit** Q est le volume d'eau qui traverse une section perpendiculaire à l'axe du chenal par unité de temps.

3- Vitesse en un point de l'écoulement :

La vitesse Ven un point donné de l'écoulement est celle de la particule d'eau qui passe en ce point à un moment précis.

4- Vitesse moyenne :

La **vitesse moyenne** V d'un écoulement est définie par la relation : $V=\frac{Q}{S}$

où S est la section transversale du chenal.

5- Charge hydraulique en un point d'un liquide en mouvement :

La charge hydraulique désigne l'énergie par unité de poids du liquide. La charge en un point ppp d'une ligne de courant est donnée par l'expression suivante :

$$Hp = Zp + \frac{P}{yw} + \frac{v2}{2g} \qquad (VI.9)$$

ou :

Zp : est la cote du point ;

P : la pression en ce point ;

V : la vitesse au point P.

6- **Poussée sur un paroi du canal :**

L'eau exerce une poussée sur la paroi du canal, équivalente à celle qu'elle exercerait si elle était au repos. Cette poussée est appliquée sur un élément de section S.

7- **Frottement sur une paroi du canal :**

Lorsque l'eau est en mouvement, elle exerce une **force de frottement** sur la paroi du chenal. La force de frottement est exprimée par :

$$dF = T_0 ds \qquad (VI.10)$$

Avec :

T_0 : la force de frottement par unité de surface ou contrainte tangentielle à la paroi.

VI.2 Diagnostique et modélisation du cours d'eau sans Aménagement :

Introduction

La station de pompage située à Oued AISSI consiste donc à transférer les eaux de l'oued SEBAOU, sur plus de 10 kilomètres, vers le barrage de TAKSEBT via un système de pompage reposant sur 14 pompes. D'une capacité de transfert de 270000 m3/jour,

Le présent travail vise à protéger et sécuriser la station de pompage ; d'oued SEBAOU (Tizi-Ouzou) contre les inondations.

V.2.1 Descriptive de la station de pompage

La station de pompage définitive sera conçue pour acheminer jusqu'à **270 000 m³/jour** en utilisant des pompes submersibles (3+1), avec un transit de l'eau depuis l'étang inférieur (station de pompage 1) vers la station définitive, puis vers le barrage de Taksebt via des pompes immergées (6+1).

Le bâtiment de la station de pompage sera aménagé pour abriter les équipements hydrauliques, hydromécaniques principaux et auxiliaires, ainsi que l'appareillage électrique et les locaux du personnel. Parmi les éléments clés de l'équipement de la station, on trouvera :

- Une bâche de 1200 m³ et des pompes immergées (6+1)
- Des vannes et tuyaux de refoulement
- Des collecteurs et un clapet anti-retour pour éviter l'inversion du débit en cas de disjonction du moteur d'entraînement
- Un réservoir d'air pour protéger la conduite de refoulement contre les coups de bélier



Figure VI.7 : Image de la station de pompage

VI.2.2 Descriptif du réseau :

Ce projet comprend les éléments suivants :

- La captation des volumes d'eau de l'oued Sebaou et leur transfert vers le barrage de Taksebt.
- Une digue en gabion comportant deux ouvertures : un déversoir en gabion situé au centre et une prise d'eau sur la rive droite.

La digue joue un rôle crucial dans la dérivation des eaux de l'oued Sebaou. Elle est ancrée dans ce cours d'eau à partir de la cote 103, sur une assise d'enrochement de 14 mètres de largeur et 1 mètre de hauteur. Cette assise est réalisée couche par couche jusqu'à atteindre la cote 111.



Figure VI.8 : Image de la digue en Gabion

- Un canal d'amené de forme trapézoïdale, aménagé en béton cyclopéen, de même largeur et hauteur que la prise d'eau à laquelle il est relié.





Figure VI.9: Les trois images Représente le canal d'amené en béton cyclopéen

- Un bassin décanteur d'un volume de 10 000 m^3





Figure VI.10 : Deux Image du bassin de décantation prise sur chantier

- Un canal d'alimentation est lié d'un dégrilleur de 12900m^3 qui infiltre les eaux brutes qui s'achemineront par la suite vers une station de pompage N°1



Figure VI.11 : Image du canal d'alimentation

- Une conduite en acier du diamètre 1200 mm fait remontée l'eau vers la bâche de la station de pompage définitive de 1200 m^3
- Quatre pompes et une de secours d'un débit de 2100 m^3/h et un HMT=110 aspire de l'eau de la bâche pour le refouler dans une conduite en acier transférée vers le barrage.

VI.3. Simulation de l'écoulement du cours d'eau :

VI.3.1 Choix du type de modèle hydraulique :

Le choix d'utilisation du HEC-RAS (version 6.5) réside dans :

- L'accès gratuit et téléchargement en ligne.
- Étude de l'impact de la construction d'ouvrage.
- Etude d'inondation.
- Exploitation des résultats cartographiques (identification des zones à risques).
- La possibilité d'intégration d'aménagement hydrauliques (digues, ponts, vannages…).

VI.3.2 Présentation du logiciel HEC-RAS :

HEC-RAS est un logiciel intégré utilisé pour l'analyse et la simulation hydraulique des écoulements à surface libre. Développé par le Hydrologic Engineering Center du U.S. Army Corps of Engineers, il offre des outils puissants pour modéliser différents types d'écoulements.

Le logiciel dispose désormais d'une interface graphique conviviale qui facilite l'édition, la modification et la visualisation des données d'entrée. Il permet également de présenter les résultats sous forme de tableaux et de graphiques clairs et détaillés.

HEC-RAS est capable de simuler des écoulements permanents et non permanents, le transport de sédiments, l'érosion, et soutient la conception de certains types d'ouvrages hydrauliques. C'est un outil essentiel pour l'analyse des systèmes hydrauliques et l'optimisation des infrastructures liées à l'eau.

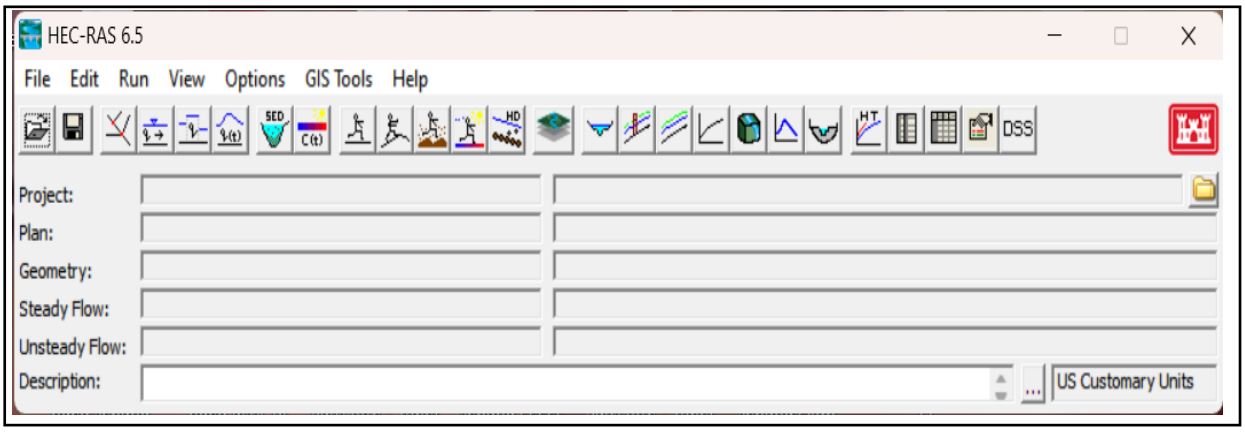


Figure VI.13: Logiciel HEC-RAS d'hydrologie Engineering Center

La barre de menu dans HEC-RAS regroupe toutes les fonctions disponibles pour l'utilisateur. Le menu FILE permet d'ouvrir, de créer et de sauvegarder un projet, avec

l'extension. Prj. Il offre également des options pour modifier le titre du projet ou effacer tous les fichiers associés à ce dernier. Cette dernière option doit être utilisée avec précaution.

En plus du menu FILE, le menu EDIT est essentiel. Il permet de spécifier les données de base qui décrivent le système hydrographique à modéliser, ainsi que les conditions de débit dans ce système.

L'étape principale de la création d'un projet de modélisation dans HEC-RAS consiste à définir la géométrie du cours d'eau, généralement à l'aide de sections transversales. Cette étape se réalise via l'option Geometric Data.... Toutes les données relatives à la géométrie du cours d'eau sont sauvegardées dans des fichiers ayant une extension spécifique.

Une autre option dans le menu EDIT est Steady Flow Data..., qui permet de définir les valeurs de débit à modéliser dans le cours d'eau, ainsi que les conditions limites de l'écoulement. Les informations spécifiées dans cette option sont également sauvegardées dans des fichiers dédiés.

VI.4.2.1 Fonctionnement de HEC-RAS :

HEC-RAS offre une modélisation extrêmement précise d'un vaste éventail de conditions d'écoulement. Au cœur de cet outil se trouve le centre de contrôle, véritable pièce maîtresse, qui facilite la gestion et la combinaison de divers types de données essentiels :

- **Géométrie** : pour définir les caractéristiques physiques du système.
- **Débit et conditions aux limites** : pour intégrer les paramètres d'entrée spécifiques.
- **Conditions de calcul** : pour adapter les simulations à vos besoins.
- **Résultats** : pour visualiser et analyser les performances du modèle.

VI.4.3 Application d'HECRAS sur l'Oued :

VI.4.3.1 Banque de données nécessaire à l'application du modèle HEC RAS :

L'application du modèle HEC-RAS nécessite une banque de données complète et détaillée sur la zone d'étude. Les informations essentielles incluent :

- **Couples distance-altitude** : pour toutes les sections en travers de la zone d'étude.
- **Distances entre sections successives** : couvrant à la fois les rives et l'axe du canal.
- **Coefficients de contraction et d'expansion** : pour caractériser les écoulements.
- **Données d'écoulement et conditions aux limites** : indispensables pour paramétrer le modèle hydrodynamique.

VI.4.3.2 Les données géométriques :

Les données géométriques requises jouent un rôle clé dans l'établissement de la connectivité et de la structure du système fluvial. Elles comprennent :

- **Le schéma du système de rivière** : pour définir la connectivité des différentes composantes.
- **Les données des sections transversales** : représentant les profils en travers de la rivière.
- **Les informations sur les ouvrages hydrauliques existants ou projetés** : tels que les ponts, digues, et structures latérales.

Nous avons élaboré les profils en travers en suivant une méthodologie précise, qui sera détaillée dans les étapes présentées ultérieurement.

1. **Construction du TIN ≪ Terrain Irregular network≫**

Le relief peut être représenté à l'aide d'un échantillonnage semi-dirigé irrégulier qui intègre les caractéristiques structurales du terrain. Cette méthode génère un réseau triangulaire irrégulier, communément appelé **TIN (Triangulated Irregular Network)**.

Pour cela, nous utilisons le logiciel **ArcGIS** afin de créer un TIN, qui permet :

- De visualiser l'écoulement dans **RAS Mapper** ;
- De produire des cartes détaillées de **profondeur** et de **vitesse** ;
- D'assurer une représentation fidèle du terrain pour optimiser les simulations hydrauliques.

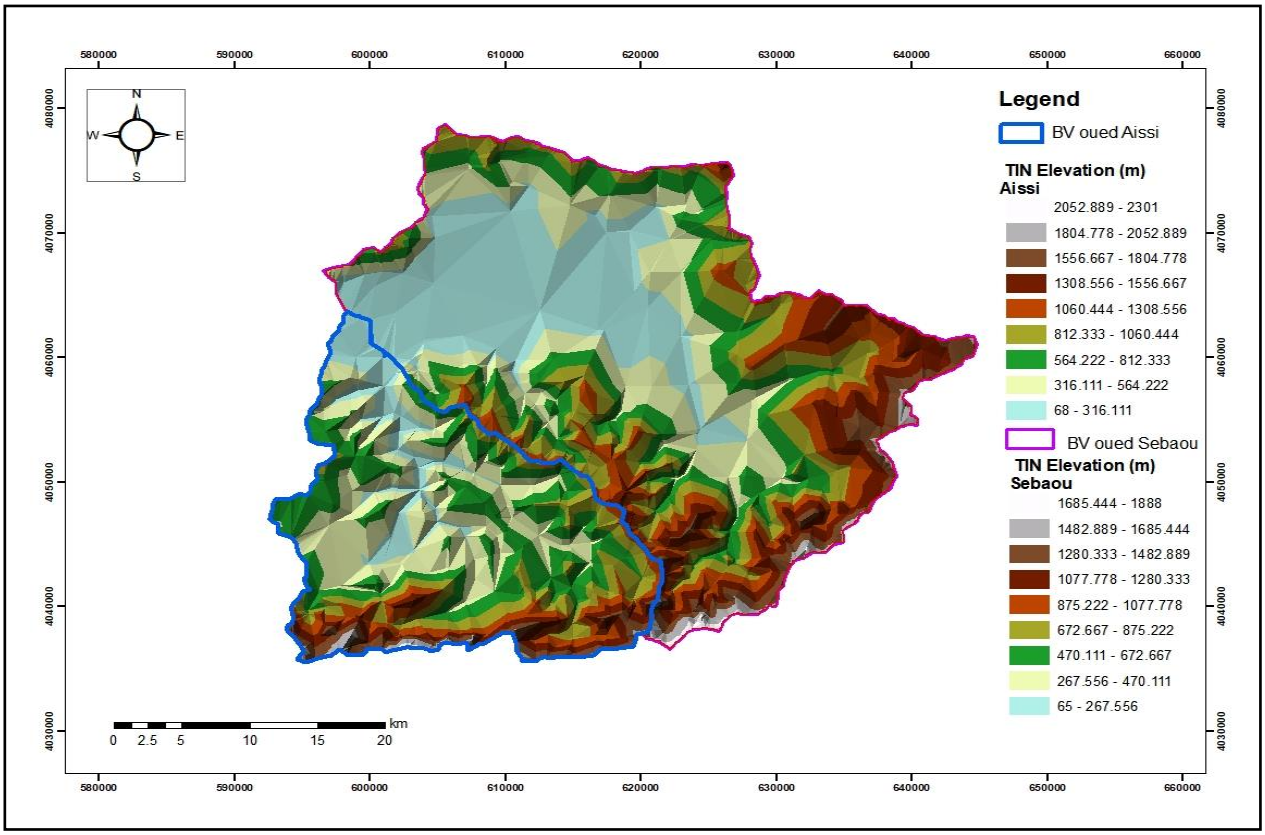


Figure VI.14 : TIN de la zone d'étude

Après avoir construire notre TIN, puis nous exportons vers le logiciel HEC-RAS accompagné par un fichier de projection ESRI, qui contient des informations sur un système de coordonnées particulier adéquat à notre zone d'étude pour que RAS MAPPER puisse le simuler. L'importance du TIN en imagine image vers RAS MAPPER.

- Les sections transversales tirées à partir du RAS MAPPER sont représentées dans la figure

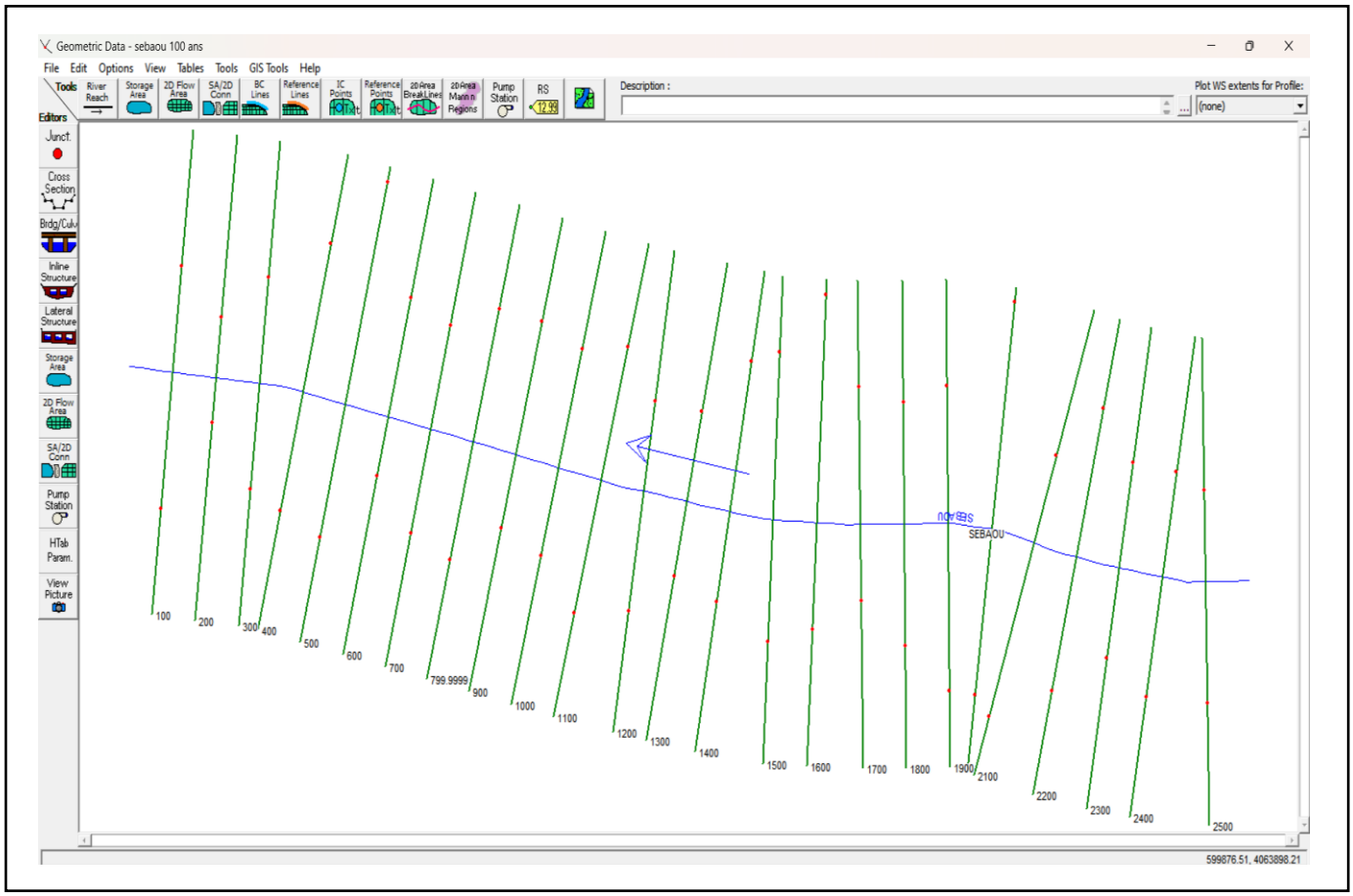


Figure VI.15: Définition du tracée de l'oued Sebaou et des sections en travers de l'oued

2. Les données de l'écoulement et les conditions aux limites :

Une fois les données géométriques de chaque section saisies, l'étape suivante de la modélisation hydraulique avec **HEC-RAS** consiste à définir :

1. **Les débits d'entrée** : indispensables pour représenter les écoulements correspondant à chaque période de retour analysée.
2. **Les conditions aux limites** : éléments cruciaux pour assurer la cohérence et la précision des calculs des profils de surface de l'eau tout au long du système fluvial.

Ces conditions incluent des données telles que :

- Les débits entrants aux sections amont ;
- Les niveaux d'eau ou les débits imposés en aval ;
- Toute contrainte spécifique à la zone d'étude.

L'intégration rigoureuse de ces données permet à HEC-RAS de calculer les profils de surface de l'eau avec une précision optimale, garantissant des résultats fiables pour chaque période de retour désirée.

Steady Flow Data - sebaou 1

File Options Help

Description :

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max): 1 Reach Bou

Locations of Flow Data Chang

River: SEBAOU

Reach: SEBAOU River Sta.: 2500

Flow Change Location

	River	Reach	RS	100 ans
1	SEBAOU	SEBAOU	2500	2234.03
2	SEBAOU	SEBAOU	2400	2234.03
3	SEBAOU	SEBAOU	2300	2234.03
4	SEBAOU	SEBAOU	2200	2234.03
5	SEBAOU	SEBAOU	2100	2234.03
6	SEBAOU	SEBAOU	2000	2234.03
7	SEBAOU	SEBAOU	1900	2234.03
8	SEBAOU	SEBAOU	1800	2234.03
9	SEBAOU	SEBAOU	1700	2234.03
10	SEBAOU	SEBAOU	1600	2234.03
11	SEBAOU	SEBAOU	1500	2234.03
12	SEBAOU	SEBAOU	1400	2234.03
13	SEBAOU	SEBAOU	1300	2234.03
14	SEBAOU	SEBAOU	1200	2234.03
15	SEBAOU	SEBAOU	1100	2234.03
16	SEBAOU	SEBAOU	1000	2234.03
17	SEBAOU	SEBAOU	900	2234.03
18	SEBAOU	SEBAOU	799.9999	2234.03
19	SEBAOU	SEBAOU	700	2234.03
20	SEBAOU	SEBAOU	600	2234.03
21	SEBAOU	SEBAOU	500	2234.03
22	SEBAOU	SEBAOU	400	2234.03
23	SEBAOU	SEBAOU	300	2234.03
24	SEBAOU	SEBAOU	200	2234.03
25	SEBAOU	SEBAOU	100	2234.03

Figure VI.16 : Introduction du débit correspondant à 100 ans

3. Simulation :

Une fois les données **géométriques**, **hydrométriques** et les **conditions aux limites** saisies, l'étape suivante consiste à définir le régime fluvial approprié pour effectuer les calculs. Les régimes possibles incluent :

- **Régime fluvial** (écoulement subcritique) ;
- **Régime torrentiel** (écoulement supercritique) ;
- **Régime mixte**, qui combine des zones subcritiques et supercritiques.

Dans notre cas, nous avons supposé un **régime mixte**, ce qui permet de modéliser des transitions complexes entre les différents types d'écoulements. Après avoir défini ce paramètre, nous lançons la **simulation** dans HEC-RAS pour obtenir les résultats relatifs au profil de surface de l'eau et aux autres variables hydrauliques pertinentes.

Ce choix garantit une représentation réaliste des conditions d'écoulement au sein du système fluvial.

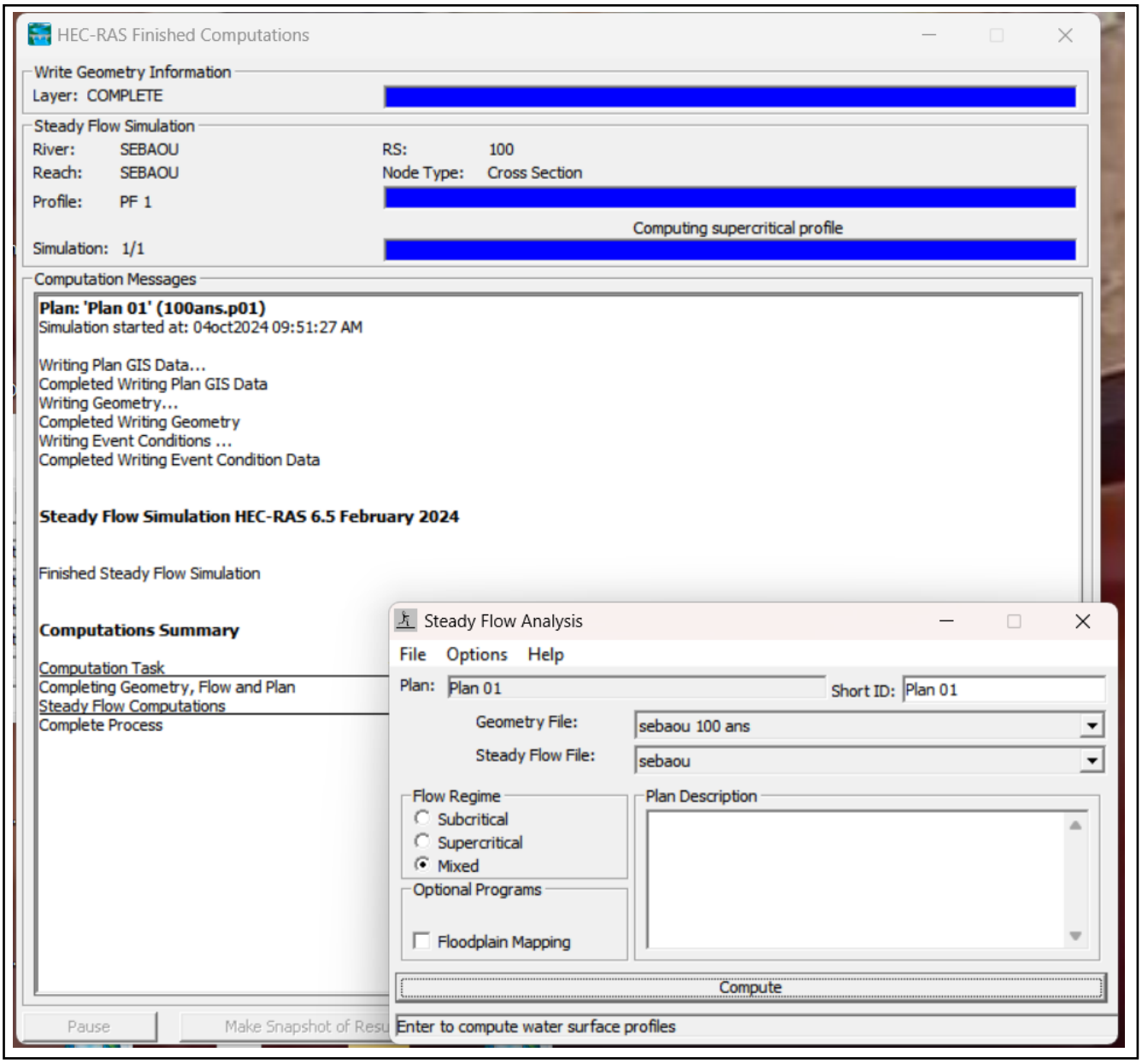


Figure VI.17 : Fenêtre de simulation pour le régime mixte

4. Résultat de la simulation

L'encodage des données **géométriques** relatives aux sections transversales, des **débits de pointe** pour différentes périodes de retour, ainsi que l'établissement des **conditions aux limites** dans le logiciel **HEC-RAS**, a permis de générer des résultats significatifs et exploitables.

Parmi ces résultats, on peut mentionner :

- **La représentation en profil longitudinal** du tronçon simulé, permettant une vue détaillée de l'évolution du système fluvial.
- **L'évolution du niveau d'eau pour chaque période de retour**, visualisée directement sur les profils simulés.
- **Une visualisation tridimensionnelle du niveau d'eau** dans le tronçon étudié, offrant une perspective réaliste et intuitive.
- **Des tableaux descriptifs** contenant des données clés sur les écoulements et les hauteurs d'eau.
- **La courbe de tarage**, qui relie les débits aux hauteurs d'eau pour différentes conditions hydrauliques.

Ces éléments permettent une analyse approfondie et facilitent l'interprétation des dynamiques hydrauliques du tronçon étudié.

- **Le profil en long :**

La ligne d'eau offre une représentation en coupe transversale du segment d'analyse, mettant en évidence :

- Le niveau de la surface aquatique de l'oued, tel qu'il est simulé dans les conditions actuelles.
- Le niveau d'eau correspondant à une période de retour centennale, permettant d'illustrer l'impact potentiel des événements hydrologiques extrêmes.

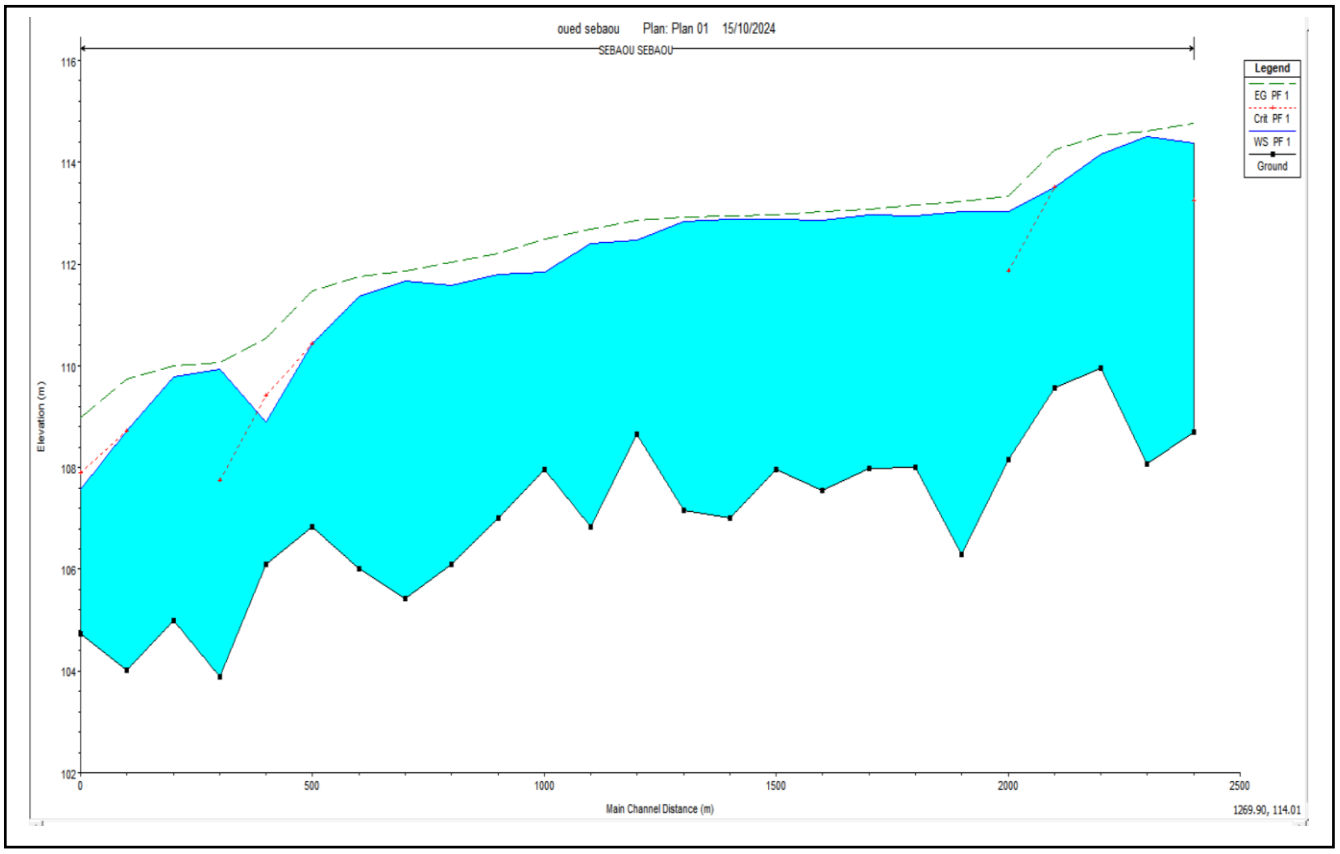


Figure VI.18 : Profil en long d'oued Sebaou pour une crue centennale

- **Restitution de la courbe de tarage :**

HEC – RAS a permis de fournir une représentation de la variation de la hauteur d'eau en (m) en fonction de débit en m^3/s.

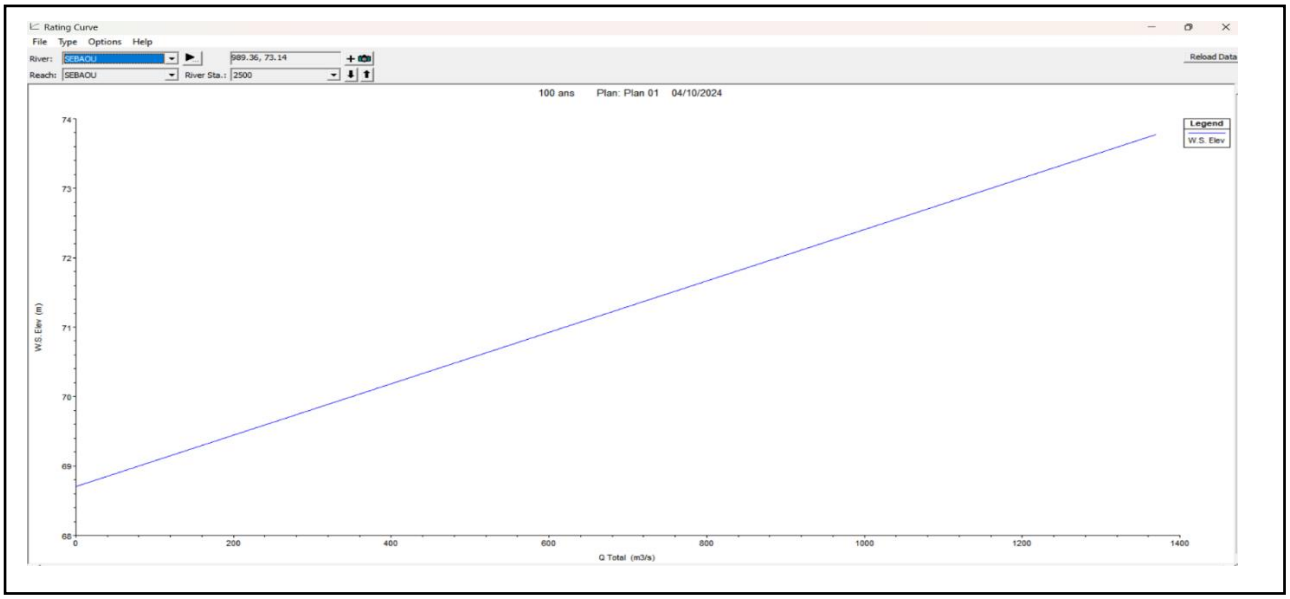
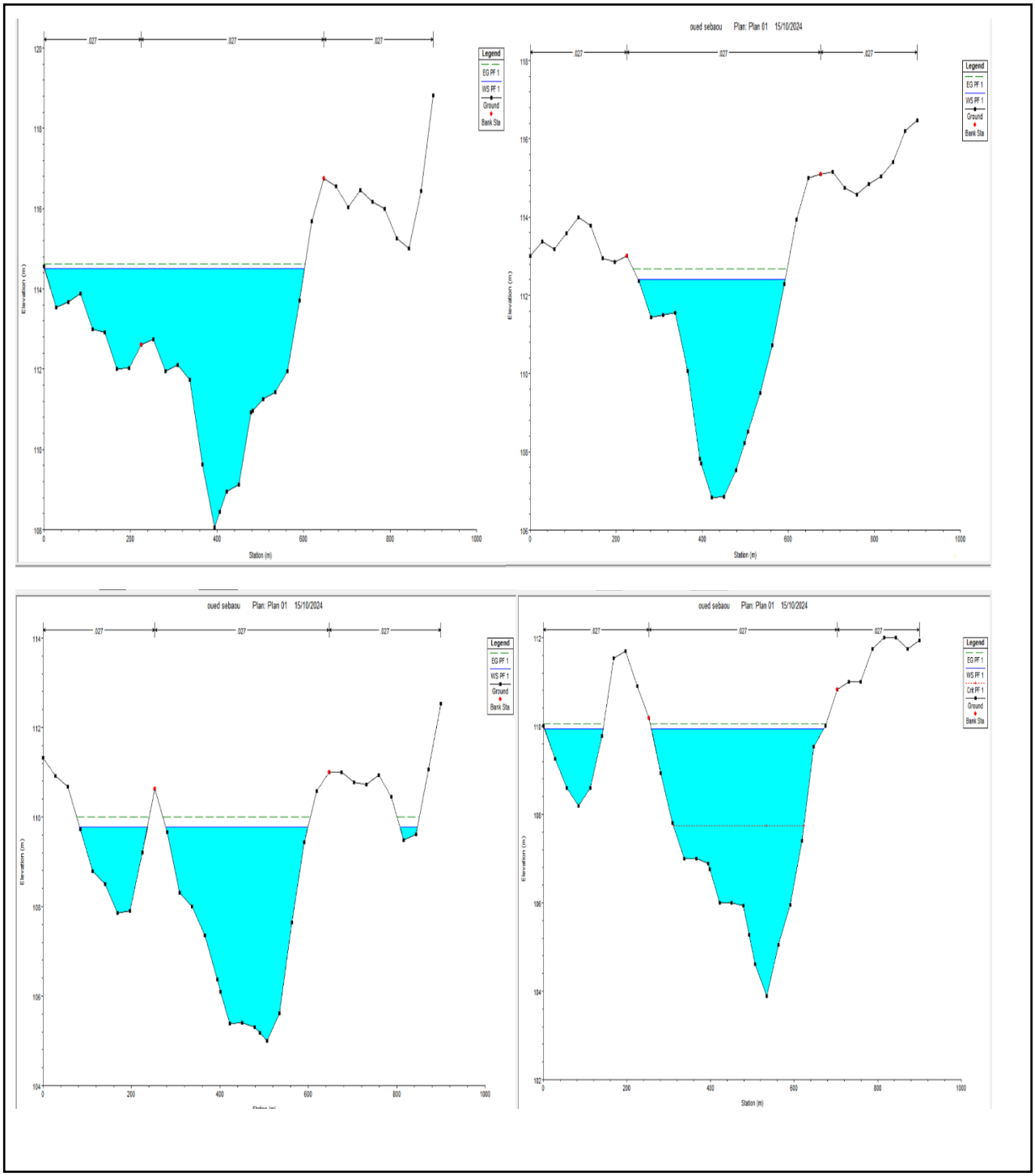


Figure VI.19 : Courbe de tarage du tronçon modélisé oued Sebaou

- **Les profils en travers :**

L'option d'affichage des résultats par profil transversale permet de recueillir le maximum de détail à chaque emplacement sélectionnée le long du tracé du cours d'eau.



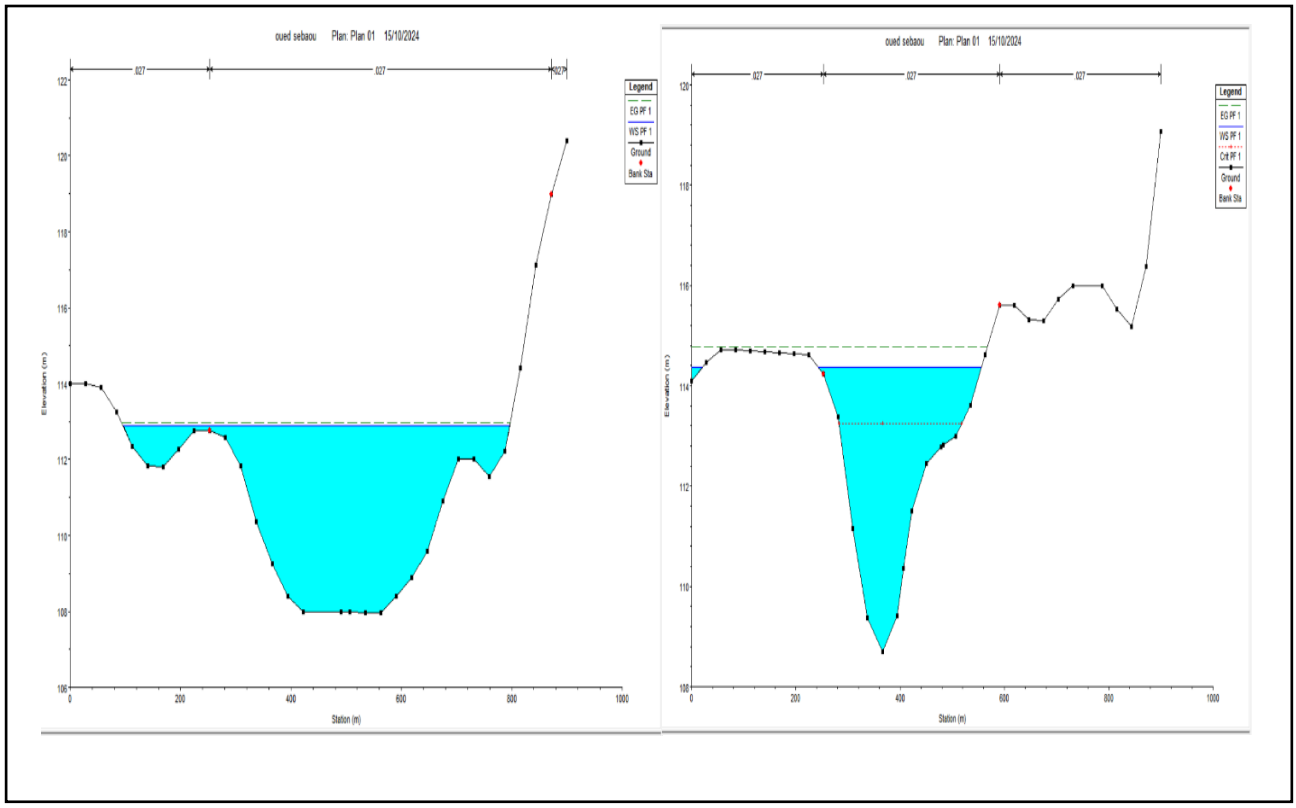


Figure VI .20 : Les profils en travers des six sections choisies d'oued Sebaou

- Le logiciel permet également de créer des tableaux récapitulatifs détaillant l'ensemble des paramètres hydrauliques, qu'il s'agisse de la surface de stockage ou des données spécifiques à chaque station (profil en travers). Ces tableaux peuvent être générés pour une station individuelle ou pour l'ensemble des stations simultanément, offrant ainsi une vue d'ensemble complète des conditions hydrauliques tout au long du tronçon simulé. Cela facilite l'analyse et l'interprétation des résultats sur différentes échelles, tout en optimisant la gestion des données pour des décisions éclairées.

Tableau VI.1: Récapitulatif des résultats de la simulation de l'écoulement pour la période de retour T=100 ans d'oued Sebaou (source : Logiciel 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)	(m^2)	(m)	/
2500	108.70	114.37	113.25	114.77	0.001583	2.81	799.40	334.01	0.55
2400	108.06	114.51		114.62	0.000328	1.52	1610.91	600.67	0.26
2300	109.95	114.15		114.53	0.001641	2.77	873.26	496.00	0.56
2200	109.56	113.51	113.51	114.23	0.004760	3.83	625.02	470.77	0.90
2100	108.16	113.03	111.86	113.34	0.001219	2.46	908.56	346.27	0.48
2000	106.30	113.04		113.22	0.000620	1.87	1197.02	415.56	0.35
1900	108.00	112.94		113.15	0.000629	2.02	1106.61	345.24	0.36
1800	107.98	112.96		113.08	0.000360	1.54	1447.42	446.23	0.27
1700	107.54	112.87		113.03	0.000431	1.81	1236.55	343.08	0.30
1600	107.95	112.89		112.98	0.000291	1.33	1747.19	700.26	0.24
1500	107.00	112.87		112.95	0.000182	1.26	1772.55	442.51	0.20
1400	107.15	112.83		112.93	0.000224	1.39	1610.40	406.21	0.22
1300	108.66	112.46		112.85	0.001957	2.83	858.32	518.73	0.60
1200	106.83	112.41		112.68	0.000987	2.32	962.12	341.10	0.44
1100	107.97	111.83		112.48	0.003191	3.57	625.77	280.59	0.76
1000	107.01	111.80		112.20	0.001423	2.80	796.46	279.67	0.53
900	106.10	111.59		112.03	0.002115	2.94	760.78	335.81	0.62
800	105.43	111.66		111.86	0.000524	1.95	1147.26	329.32	0.33
700	106.01	111.35		111.76	0.001207	2.82	791.32	243.16	0.50
600	106.83	110.44	110.44	111.47	0.005628	4.50	496.86	246.20	1.00
500	106.09	108.89	109.40	110.54	0.015335	5.68	393.43	285.49	1.54
400	103.88	109.93	107.73	110.06	0.000402	1.61	1462.36	552.16	0.29
300	105.00	109.78		109.99	0.000784	2.13	1137.26	514.62	0.40
200	104.01	108.72	108.72	109.74	0.005704	4.48	498.67	245.49	1.00
100	104.74	107.57	107.90	108.97	0.009763	5.24	426.17	248.43	1.28

Min Ch. El : altitude du radier du canal **;**

E.G Elev : altitudes de la ligne d'énergie ;

Vel chnl : vitesse découlement ;

Froude chl : nombre de Froude ;

W.s Elev : altitude du plan d'eau calculé ;

E. G slope : pente de la ligne d'énergie

Flow area : section mouillée ;

TOP Width : largeur au miroir ;

Application d'HECRAS sur oued AISSI

- **Le profil en long :**

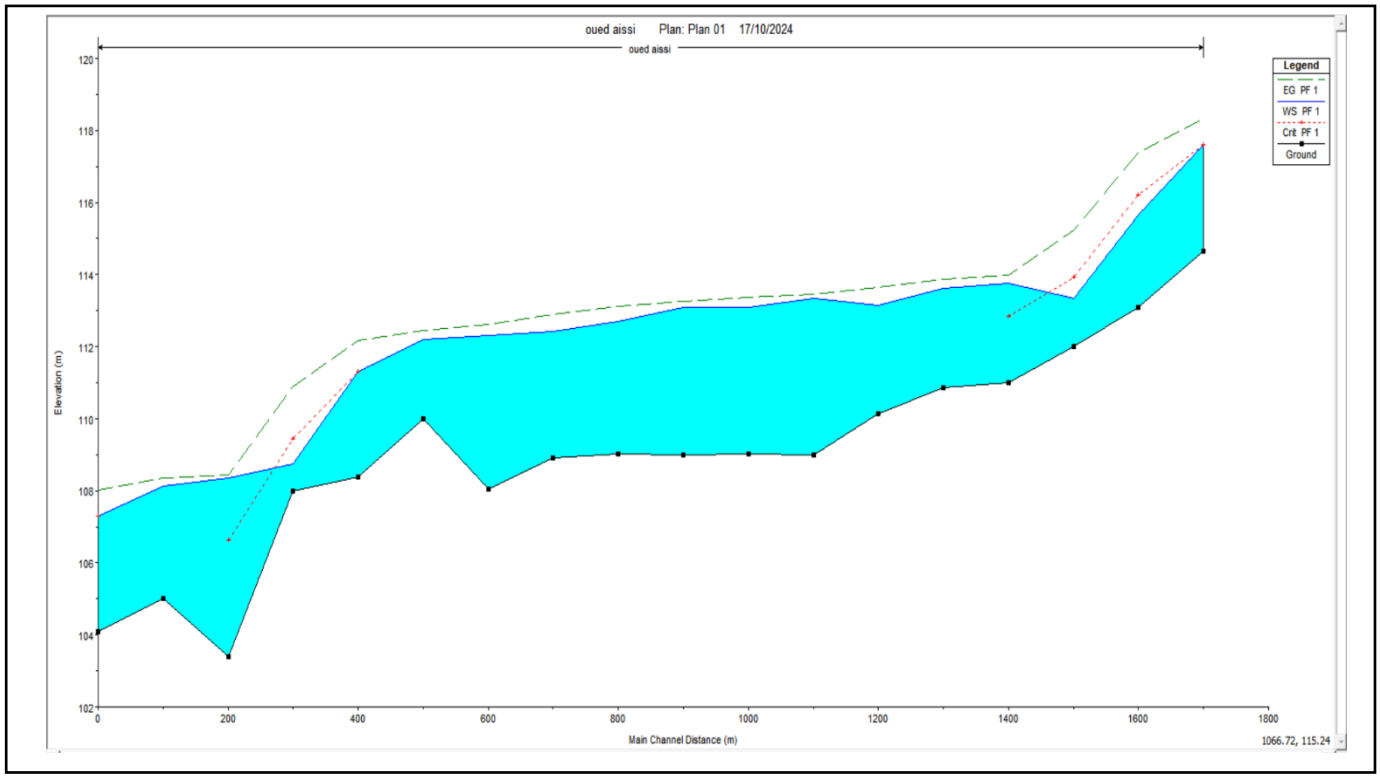


Figure VI .21 : Profil en long d'oued Aissi pour une crue centennale

Les profils en travers :

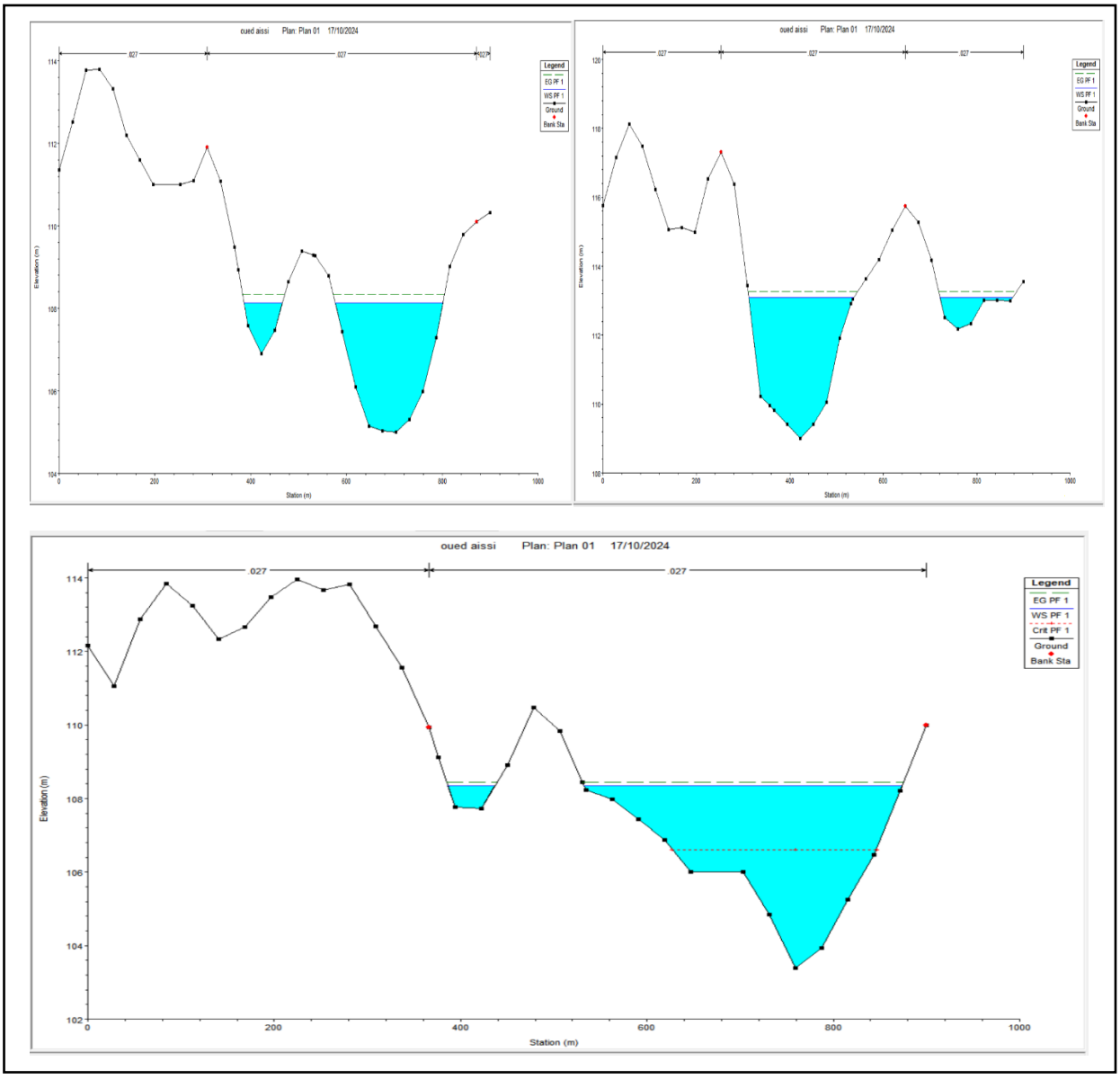


Figure VI.22: Les profils en travers des trois sections choisies d'oued Aissi

Tableau VI.2: Récapitulatif des résultats de la simulation de l'écoulement pour la période de retour T=100ans d'oued Aissi (source : Logiciel 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)	(m^2)	(m)	
1900	1136.87	114.64	117.60	117.60	118.32	0.005988	3.78	303.95	225.03
1800	1136.87	113.09	115.65	116.20	117.38	0.012647	5.82	195.19	117.89
1700	1136.87	112.00	113.34	113.93	115.23	0.036167	6.26	187.69	237.55
1600	1136.87	111.00	113.76	112.84	113.98	0.001249	2.07	548.10	274.56
1500	1136.87	110.86	113.62		113.86	0.001139	2.14	530.55	236.76
1400	1136.87	110.15	113.16		113.66	0.003051	3.13	362.98	191.42
1300	1136.87	109.00	113.33		113.46	0.000396	1.62	701.24	215.61
1200	1136.87	109.03	113.09		113.38	0.001174	2.40	476.67	220.23
1100	1136.87	109.00	113.10		113.26	0.000627	1.81	674.30	379.27
1000	1136.87	109.02	112.69		113.13	0.002094	2.92	391.69	183.04
900	1136.87	108.92	112.43		112.88	0.002818	3.00	399.14	303.38
800	1136.87	108.06	112.30		112.63	0.001712	2.60	491.45	370.77
700	1136.87	110.00	112.19		112.45	0.001505	1.76	560.55	395.27
600	1136.87	108.38	111.29	111.29	112.18	0.005956	4.17	272.84	154.88
500	1136.87	108.00	108.75	109.44	110.90	0.015597	2.71	186.35	149.25
400	1136.87	103.40	108.34	106.61	108.44	0.000564	1.42	801.85	391.56
300	1136.87	105.00	108.13		108.35	0.001452	2.08	546.17	304.67
200	1136.87	104.09	107.30	107.30	108.03	0.006527	3.77	301.54	212.89

Conclusion

L'utilisation du modèle HEC-RAS, nous a permis d'avoir les niveaux de la ligne d'eau à plusieurs points du lit d'oued Sebaou et oued Aissi et de localiser les zones envahies par les débordements, nous a permis de déterminer plusieurs paramètres cruciaux, tels que la vitesse d'écoulement et le nombre de Froude. L'objectif sera d'explorer des solutions innovantes et durables pour renforcer la protection contre les inondations, en prenant en compte les caractéristiques spécifiques des points critiques identifiés.

CHAPITRE VII :

Etudes des variantes d'aménagement

CHAPITRE VII : Etude des variantes d'aménagement

Introduction

Les inondations constituent un risque majeur pour les infrastructures hydrauliques, en particulier les stations de pompage situées à proximité des cours d'eau. Ces phénomènes, souvent imprévisibles, nécessitent une analyse approfondie et des solutions adaptées pour garantir la pérennité et le bon fonctionnement de ces installations essentielles. Dans ce contexte, cette étude se concentre sur la protection de la station de pompage menacée par les crues des oueds Sebaou et Aissi, en proposant des aménagements efficaces et durables.

L'objectif principal de cette étude est d'assurer la protection de la station de pompage contre les inondations des oueds Sebaou et Aissi. Pour y parvenir, nous privilégions des solutions d'aménagement techniquement réalisables et économiquement viables, tout en tenant compte des spécificités du terrain. L'analyse porte principalement sur les variantes d'aménagement les plus adaptées et concrètement applicables dans le cadre de ce projet.

VII.1. Les différents types d'aménagements pour lutter contre les inondations

Pour prévenir les inondations, il est possible non seulement de réduire leur fréquence, mais aussi d'en atténuer les effets, en se concentrant en priorité sur les zones les plus sensibles et exposées. Ces mesures de protection peuvent être classées en deux groupes : direct et indirect

VII.1.1 Protection directe

La **protection directe** consiste à intervenir directement sur les sites menacés, en mettant en œuvre des actions spécifiques pour améliorer la gestion des risques d'inondation. Ces actions incluent :

- **Curage** : Cette opération permet une amélioration significative des conditions d'écoulement en éliminant les obstacles et les dépôts qui entravent le passage des eaux dans le cours d'eau. Le débroussaillage, notamment dans les zones urbaines, est aussi essentiel pour des raisons sanitaires et pour réduire la rugosité dans les sections courantes, ce qui favorise une meilleure capacité d'écoulement.
- **Reprofilage** : Cette intervention consiste à modifier et homogénéiser le profil en long du cours d'eau (pente), dans le but d'augmenter sa capacité d'évacuation. Le profilage uniformise la pente du cours d'eau, ce qui peut nécessiter la suppression de la végétation

rivulaire et le nettoyage du lit du fleuve. Cette opération améliore la vitesse et l'efficacité du transport des eaux. (AFB, 2018)

- **Calibrage** : Le calibrage consiste à modifier la section du cours d'eau pour répondre à de nouveaux besoins en termes de débits de ruissellement ou d'évacuation des eaux de drainage souterrain. Les sections trapézoïdales sont souvent privilégiées lors de ces travaux, car elles offrent une meilleure capacité d'écoulement et une gestion plus efficace des débits.

- **Réalisations des canaux**

Cette solution consiste à recréer le couloir initial de l'oued, en cas d'obstruction totale de son lit et de son domaine hydraulique, souvent causée par l'urbanisation (bâtiments, voiries, etc.). La création de canaux permet de rétablir un flux d'écoulement fonctionnel et de restaurer l'habitat hydraulique naturel, tout en réduisant les risques d'inondation.

- **Protections des berges**

Les protections des berges comprennent tous les ouvrages visant à maintenir la stabilité des rives face à l'action de l'eau, notamment pendant les crues. Les berges sont fréquemment attaquées par les courants perturbateurs générés par les crues, et les terres peuvent glisser suite à l'infiltration de l'eau après la décrue. Il est donc essentiel de protéger ces zones, particulièrement à proximité d'ouvrages comme les ponts, pour éviter l'érosion et garantir la stabilité des infrastructures riveraines.

- **Endiguement des oueds**

L'endiguement des oueds consiste à réaliser des digues le long des berges du cours d'eau, pour protéger les zones adjacentes des inondations. Ce type de protection est relativement simple à mettre en œuvre, en utilisant des ressources locales en main-d'œuvre et matériaux. Les digues permettent de protéger de manière sélective les zones les plus vulnérables, en priorisant par exemple les zones les plus peuplées ou les plus sensibles aux crues. Cependant, l'inconvénient majeur de cette approche est qu'elle peut entraîner une surélévation du niveau des eaux, ce qui peut rendre plus difficile le drainage des terrains bas et entraîner des risques d'inondation ailleurs.

VII.1.2. Protection indirecte

La protection indirecte consiste à intervenir en dehors des zones menacées, à l'extérieur du périmètre d'aménagement, en mettant en place des ouvrages sur les oueds responsables des inondations. Ces mesures visent à réduire les risques en régulant les flux d'eau en amont ou en périphérie des zones sensibles. Parmi les principales actions, on trouve :

- **Création des canaux périphériques**

Cette solution consiste à dévier les eaux des oueds vers des canaux périphériques, afin de les restituer dans des zones situées en dehors des aires à protéger. Cela peut concerner une partie ou la totalité des eaux, réduisant ainsi la pression sur les zones à risque.

- **Réalisation des barrages ou seuils**

Les barrages ou seuils sont installés en amont des zones menacées pour stockage et laminage des crues, permettant de réguler les débits et de diminuer l'impact des crues en aval. Le volume et la capacité de laminage du barrage doivent être optimisés pour répondre au mieux aux besoins de protection de la zone ciblée.

- **Aménagement des bassins versants**

Ces aménagements visent à lutter contre l'érosion en utilisant des méthodes biologiques et/ou la construction de seuils en gabions. Ces structures permettent de réduire la vitesse des écoulements et de favoriser le dépôt des sédiments en amont, contribuant ainsi à limiter l'ampleur des crues et à protéger les terrains en aval. (Nedelec, 2004)

- **Recalibrage du cours d'eau**

Le recalibrage consiste à augmenter la débitance du lit mineur en élargissant ou en approfondissant le lit du cours d'eau, ou les deux. Cette intervention vise à améliorer l'écoulement de l'eau, en particulier dans les zones urbaines et périurbaines, pour réduire la fréquence des inondations. Ce type de travaux a été fréquemment utilisé, en particulier entre les années 1950 et 1980, pour protéger les terres agricoles vulnérables aux submersions, notamment celles cultivées en maïs et céréales.

Les travaux associés au recalibrage incluent :

- La rectification du lit mineur pour améliorer la capacité d'écoulement.
- La protection des berges contre l'érosion pour prévenir la déstabilisation des rives.
- La suppression de la ripisylve, souvent sur l'une des deux rives, pour faciliter l'écoulement.
- L'endiguement rustique, réalisé avec les matériaux issus du recalibrage, pour créer des protections supplémentaires.

VII.2. Endiguement du cours d'eau :

Une **digue** est une structure construite dans le but de **contenir les eaux** ou de **protéger les zones environnantes** des effets de ces eaux. Cette définition, d'ordre général, englobe l'ensemble des types de digues existants, quelles que soient leur conception ou leur usage.

Les digues peuvent remplir **deux fonctions principales** :

1. **Dérivation de l'eau** : orienter ou dévier les flux hydriques vers des zones spécifiques, souvent pour protéger des zones sensibles ou pour gérer les écoulements de manière contrôlée.
2. **Canalisation ou protection contre les inondations** : agir comme une barrière pour empêcher les eaux de déborder et d'inonder les zones vulnérables, qu'il s'agisse d'habitations, de terres agricoles ou d'infrastructures.

a) Les digues en charge en permanence :

Une **digue en charge permanente** est soumise en continu à la **pression hydraulique** dans le cadre d'une utilisation normale. Ce type de digue est typique des infrastructures telles que les digues de navigation ou celles destinées à des usages industriels spécifiques, comme l'hydroélectricité ou les centrales nucléaires.

- **Digues de navigation** :

  Les digues le long des **canaux à grand gabarit** sont généralement récentes et en bon état. Cependant, celles situées le long des **canaux de plus petit gabarit** sont souvent anciennes, certaines remontant au 19e siècle. Ces ouvrages, hétérogènes et parfois mal documentés, posent des défis aux gestionnaires. En moyenne, on recense environ **10 ruptures par an** sur les **6 700 km de canaux navigables**. De plus, les digues de

navigation présentent des profils variés en fonction de la **topographie** des sites où elles se trouvent.

- **Effet d'endiguement** :

  Le rôle d'une digue est d'empêcher le débordement des eaux pour des crues dont le débit est inférieur à celui de la **crue de projet**. Toutefois, lorsque ce débit est dépassé, un débordement se produit, souvent avec des **conséquences aggravées**. En effet, la submersion entraîne des vitesses d'écoulement plus élevées à certains endroits, augmentant ainsi les risques et les dommages associés.

b) Les digues de protection contre les inondations :

Les **digues de protection contre les inondations** sont des ouvrages construits, en tout ou partie, au-dessus du niveau naturel du terrain. Leur rôle principal est de contenir temporairement un flux d'eau afin de protéger des zones naturellement sujettes aux inondations.

Ces digues constituent le **deuxième grand type de digues** et sont généralement situées le long des cours d'eau. Elles peuvent être :

- En contact direct avec la berge, où elles forment une continuité avec le lit du cours d'eau.
- Éloignées de plusieurs mètres de la berge, dans le but de créer une zone tampon ou de protéger des secteurs spécifiques.

Ces aménagements longitudinaux servent à protéger des zones à forts enjeux, comme des habitations, des zones commerciales ou industrielles, contre les risques d'inondation. Ils jouent donc un rôle crucial dans la gestion des crues et la préservation des infrastructures et des populations situées dans les zones vulnérables.

VII.2.1 Caractéristiques des digues de protection contre les inondations :

Le fonctionnement hydraulique d'une **vallée endiguée** peut être décrit de la manière suivante :

- **Crues faibles à modérées** : Lors d'une crue, la rivière déborde de son lit mineur et commence à inonder progressivement le lit majeur endigué. L'endiguement permet de limiter l'emprise de l'inondation sur ces crues, mais il a pour effet d'augmenter la hauteur de la ligne d'eau, notamment dans les zones où les digues réduisent significativement la largeur du lit naturel (situation fréquente dans les traversées urbaines).

- **Crues importantes** : Lorsque les débits dépassent la capacité des digues, leur rôle devient limité, et la vallée est progressivement submergée.
- **Déversoirs de protection** : Pour protéger les digues contre les risques de surverse, des déversoirs peuvent être aménagés. Ces dispositifs permettent de contrôler les débordements en répartissant les eaux de manière plus sécurisée.
- **Crues extrêmes** : En cas de crues exceptionnelles, l'ensemble de la vallée peut être inondé. Cela peut se produire soit par le fonctionnement des déversoirs, soit à la suite de ruptures des digues. Dans ces conditions, la rivière ou le fleuve retrouve l'étendue de son lit majeur, comme si aucune protection n'était en place.

VII.3 Etude des variantes :

Dans cette étude, deux variantes ont été proposées pour la protection de la station de pompage :

1. **Digue en gabion pour protéger la station de pompage uniquement** :
    - Protection limitée à la station de pompage.
    - Longueur totale : **445 m**.
    - Hauteur : **2,5 m**.
2. **Digue en gabion pour protéger la station de pompage ainsi que le bassin de décantation** :
    - Protection de la station de pompage accompagnée d'un bassin de décantation.
    - Longueur totale : **870 m**.
    - Hauteur : **2,5 m**.

Ces variantes visent à assurer une protection efficace tout en prenant en compte les contraintes techniques et économiques du projet.

VII.4. Le choix de la digue

Parmi les différentes techniques envisagées, le choix s'est porté sur une **digue en gabion**, en raison des nombreux avantages qu'elle offre :

- **Facilité de réalisation** : La mise en œuvre de cette solution est simple et rapide.
- **Disponibilité des matériaux sur le site** : Les matériaux nécessaires à la construction des gabions sont facilement accessibles localement, réduisant ainsi les coûts et les délais.

- **Urgence du projet** : Cette technique permet de répondre efficacement à la nécessité d'une mise en œuvre rapide.
- **Adaptabilité aux formes topographiques** : Les digues en gabion s'ajustent facilement aux reliefs variés des vallées, garantissant une intégration optimale au terrain.

VII.5 Stabilité de la digue

Avant de procéder à la réalisation de la digue, un **prédimensionnement** est indispensable pour garantir la stabilité et la durabilité de l'ouvrage. Dans le cadre de ce projet, l'**étude de stabilité** a été menée par un géotechnicien à l'aide du logiciel **Géo5 Gabion**.

Les vérifications effectuées portent sur les aspects suivants :

- **Glissement** : Analyse des forces susceptibles de provoquer un déplacement horizontal de la digue.
- **Capacité portante** : Évaluation de la résistance du sol sous-jacent pour supporter le poids de la digue.
- **Renversement** : Vérification de la stabilité face aux moments de basculement, pour éviter tout risque de rotation de l'ouvrage.

Ce travail préliminaire est essentiel pour s'assurer que la digue en gabion répond aux exigences de sécurité et s'adapte parfaitement aux conditions du site.

VII.6 Principe de réalisation du plan de la digue

Avant d'entamer les travaux, il est indispensable de réaliser des **études topographiques** et **géotechniques** afin de déterminer la nature du sol et les caractéristiques du terrain où l'ouvrage sera implanté. Ces études permettent d'assurer une conception fiable et adaptée.

Une fois ces études effectuées, la réalisation du plan suit les étapes suivantes :

1. **Importation des données topographiques** :
    - Les données topographiques sont injectées dans le logiciel **AutoCAD** pour initier la conception.
2. **Création du profil en long avec Covadis** :
    - À l'aide du module **Covadis**, un profil en long est établi, représentant le terrain naturel avec ses pentes et les différentes altitudes.
3. **Excavation selon le rapport géotechnique** :
    - En tenant compte des recommandations du **rapport géotechnique**, l'excavation est réalisée jusqu'à atteindre le « bon sol », c'est-à-dire un sol suffisamment résistant pour supporter l'ouvrage.

- Dans ce projet, le rapport fourni par l'entreprise **Cosider** indique que le bon sol se situe à une profondeur de **4 mètres**.

Ces étapes garantissent une base solide pour la construction de la digue, en assurant la stabilité et la sécurité de l'ouvrage dans le temps.

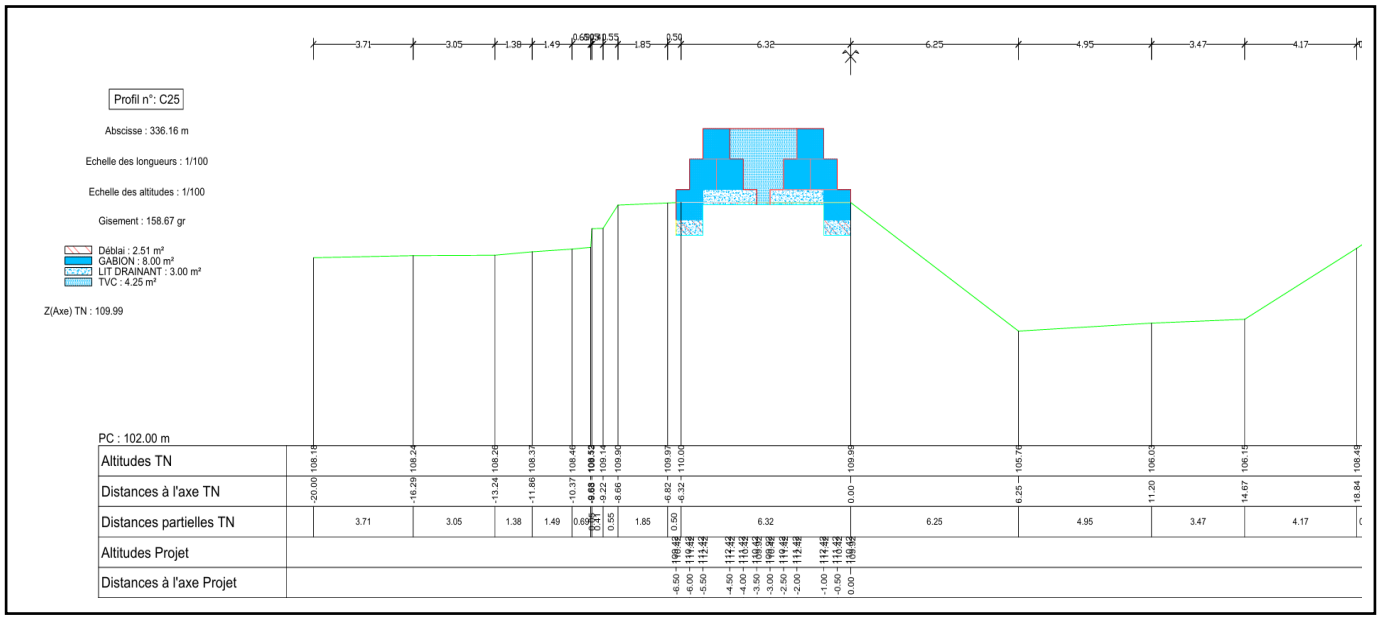


Figure VII.1 : coupe en travers de la digue en Gabion coté oued Aissi (source : logiciel Covadis)

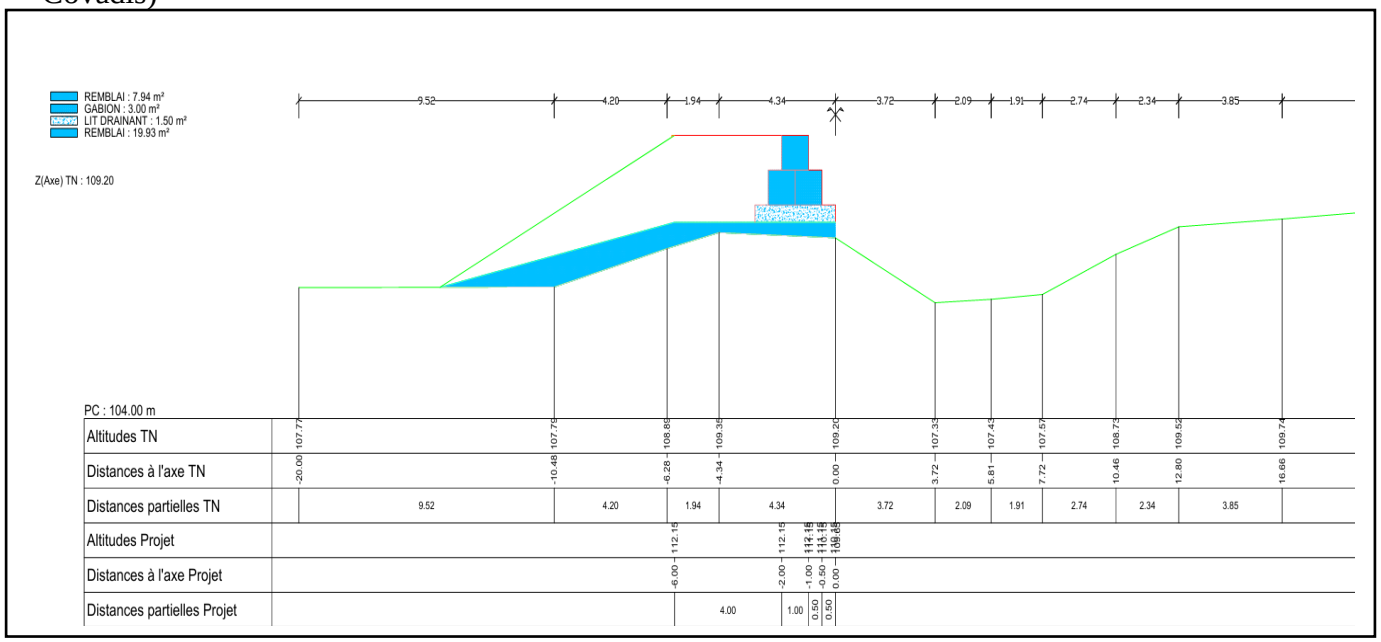


Figure VII.2 : coupe en travers de la digue en Gabion coté oued Sebaou (source : logiciel Covadis)

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons analysé différentes solutions pour protéger la station de pompage contre les crues centennales. Après avoir comparé plusieurs variantes, nous avons retenu la première option, qui consiste à construire une digue en gabions autour de la station de pompage et du bassin de décantation. Ce choix repose sur son efficacité en matière de protection contre les inondations, sa faisabilité technique et son intégration dans l'environnement. Cette solution constitue ainsi une réponse adaptée aux contraintes hydrauliques et garantit une meilleure sécurisation des installations.

CHAPITRE VIII :

Organisation du chantier

CHAPITRE VIII : Organisation du chantier

Introduction

L'organisation d'un chantier repose sur l'anticipation et la planification de toutes les ressources nécessaires : **moyens humains**, **matériels** et **matériaux**. Elle vise à établir un rythme de travail optimal pour garantir trois objectifs clés : **rapidité**, **qualité** et **économie**.

Par exemple, pour réaliser des ouvrages en béton armé, des matériaux comme le **ciment**, le **sable**, le **gravier** et l'**acier** sont utilisés. Le prix de vente final est souvent déterminé avant même que le produit soit fabriqué.

Cependant, l'évaluation précise des coûts et des ressources nécessaires s'avère complexe. Elle repose sur des hypothèses initiales qui ne peuvent être confirmées qu'au fur et à mesure de l'avancement, voire à la fin du projet.

Cette incertitude impose à l'entreprise de réviser régulièrement ses prévisions tout au long de l'exécution, afin d'ajuster les moyens en fonction des imprévus et de maintenir la viabilité économique et opérationnelle du projet.

VIII.1 Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier

Sur un chantier de construction, plusieurs intervenants jouent des rôles essentiels pour assurer la bonne réalisation des travaux. Voici un aperçu des principales responsabilités de chacun :

VIII.1.1 Le Maitre de l'ouvrage

Le **Maître d'ouvrage** est l'entité responsable de la réalisation d'un projet de construction. Que ce soit une personne physique (particulier) ou morale (entreprise, collectivité), il est celui pour lequel les travaux sont exécutés. Avant de lancer le projet, le Maître d'ouvrage s'assure de sa faisabilité, détermine son emplacement, son programme, et fixe l'enveloppe financière prévisionnelle. Ensuite, il choisit le processus de réalisation et signe des contrats avec le maître d'œuvre et les entrepreneurs sélectionnés.

Rôles et responsabilités du Maître d'ouvrage :

1. **Gestion du projet** : Le Maître d'ouvrage veille à la bonne marche du projet, depuis la conception jusqu'à la réalisation.
2. **Organisation des investissements** : Il organise et assure le financement de l'opération.
3. **Choix du Maître d'œuvre ou du bureau d'études** : C'est lui qui sélectionne l'expert ou l'équipe qui s'occupera de la conception du projet.
4. **Coordination et cohésion de l'équipe de projet** : Le Maître d'ouvrage doit garantir que les parties prenantes (maître d'œuvre, entrepreneurs, fournisseurs, etc.) travaillent

de manière harmonieuse et selon les contrats signés. Il veille également au respect des délais, des budgets et à la qualité des travaux.

VIII.1.2 Le Maitre d'œuvre

Le **Maître d'œuvre** est un professionnel ou une entité désignée par le Maître d'ouvrage pour superviser et gérer l'exécution d'un projet de construction. En fonction des travaux, le Maître d'œuvre peut être un architecte, un bureau d'étude technique (BET), ou tout autre expert spécialisé, tel qu'un bureau de contrôle ou un ingénieur en génie civil, hydraulique ou géotechnique. Il est responsable de la conception, du suivi et du contrôle de la qualité de l'ouvrage, en s'assurant que celui-ci respecte les normes et exigences du Maître d'ouvrage.

Rôles et responsabilités du Maître d'œuvre :

1. **Assurer la faisabilité du projet** : Le Maître d'œuvre vérifie si le projet est techniquement réalisable et conforme aux attentes du Maître d'ouvrage.
2. **Sécuriser les travaux** : Il garantit la sécurité des biens et des personnes sur le chantier.
3. **Établir les dispositions réglementaires** : Le Maître d'œuvre s'assure que les normes légales et techniques sont respectées tout au long de l'exécution du projet.
4. **Veiller à la bonne exécution** : Il contrôle la qualité des travaux réalisés par les entreprises et veille au respect des délais.
5. **Vérifier la conformité du projet** : Le Maître d'œuvre s'assure que l'ouvrage réalisé correspond au projet initial et aux documents contractuels.
6. **Rédiger les procès-verbaux** : Il rédige les documents officiels relatifs à l'avancement des travaux et aux vérifications techniques.
7. **Supervision des paiements** : Il contrôle les versements d'acomptes aux entreprises de construction.
8. **Coordonner les entreprises** : Le Maître d'œuvre est également responsable de la consultation des entreprises et de la gestion des marchés de travaux.
9. **Conception et évaluation des ouvrages** : Il élabore les plans d'exécution des ouvrages, y compris les notes de calcul et les instructions techniques nécessaires.

VIII.1.3 Entrepreneur

L'**entrepreneur** est une personne physique ou morale responsable de la réalisation des travaux sur un chantier, en suivant des conditions et des objectifs définis dans le contrat. Son rôle est crucial pour l'exécution et la qualité de l'ouvrage final.

VIII.1.3.1. Rôles et responsabilités de l'entrepreneur :

1. **Détermination des prix unitaires** : L'entrepreneur est chargé de déterminer le coût de chaque ouvrage à réaliser, en se basant sur les prix unitaires des matériaux, de la main-d'œuvre et des ressources nécessaires.
2. **Étude du projet côté prix** : Avant de commencer les travaux, il doit analyser le projet sous l'angle économique, en veillant à respecter le budget alloué tout en garantissant la qualité.
3. **Réalisation des ouvrages prévus** : L'entrepreneur exécute les travaux de construction en suivant les plans, les spécifications techniques et les délais définis par le maître d'œuvre.
4. **Assurer le parfait achèvement de l'ouvrage** : Une fois les travaux terminés, l'entrepreneur est responsable de la finition du chantier et de la correction des éventuels défauts, garantissant ainsi le parfait achèvement de l'ouvrage.

En résumé, l'entrepreneur doit veiller à ce que les travaux soient réalisés dans le respect des délais, du budget et des spécifications techniques, tout en s'assurant de la conformité et de la qualité de l'ouvrage final.

Le lien contractuel entre les intervenants traditionnels d'un chantier peut être illustré par la figure suivante :

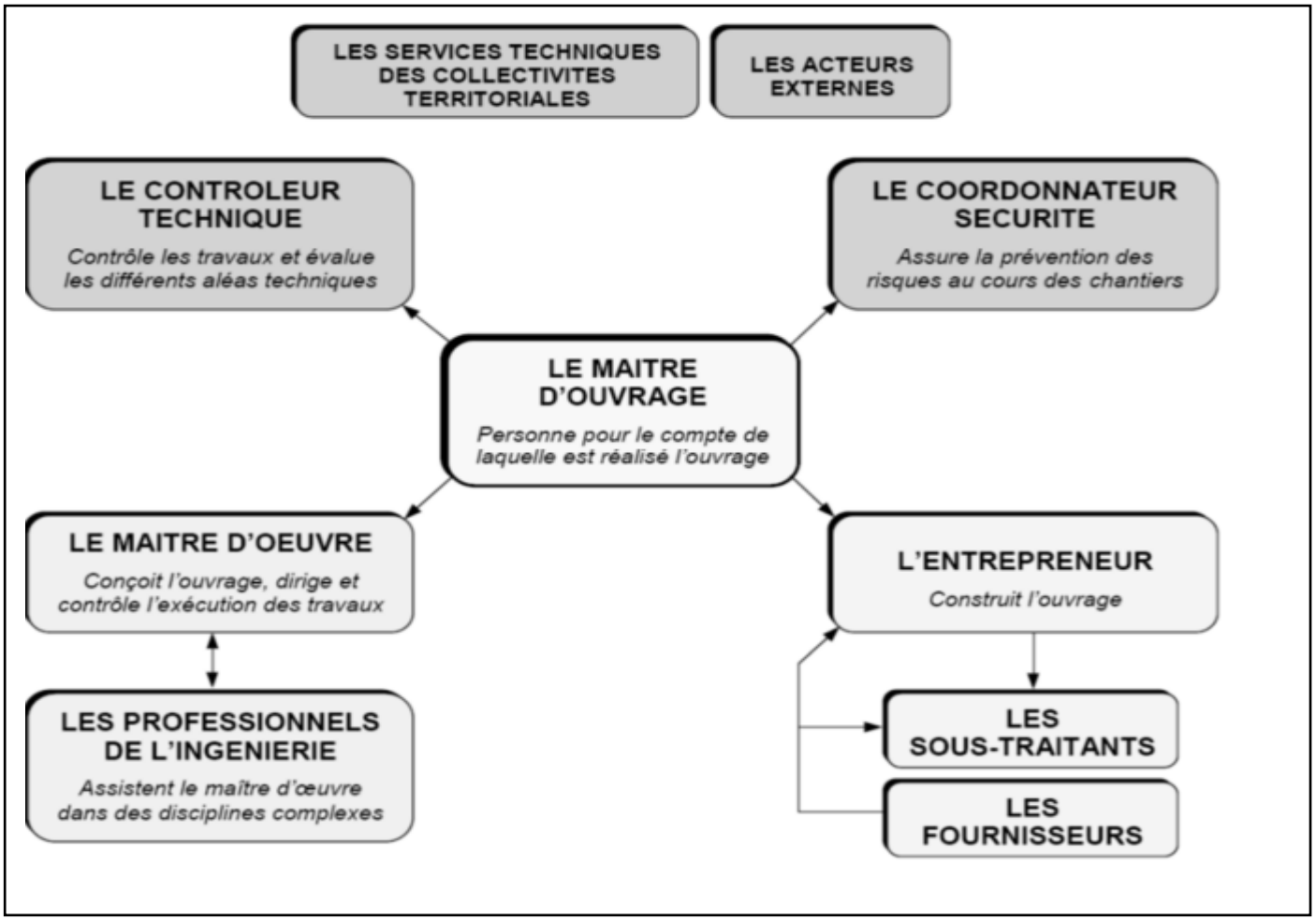


Figure VIII.1: Relation entre les personnes du chantier

VIII.1.4. Le Géotechnicien :

- Avant les travaux, le géotechnicien étudie la nature du sol pour déterminer les fondations adéquates et évaluer la stabilité du terrain.
- Pendant le chantier, il peut être sollicité pour des vérifications spécifiques, comme les tests de portance ou de consolidation du sol.

VIII.1.5. Le Conducteur de travaux :

- Il assure la gestion opérationnelle du chantier : coordination des équipes, gestion du planning, contrôle de la qualité et de la sécurité.
- Il est le lien direct entre le maître d'œuvre et les ouvriers, s'assurant que tout est conforme aux plans.

VIII.1.6. Les Fournisseurs de Matériaux :

- Ce sont les entreprises ou les particuliers qui fournissent les matériaux nécessaires à la construction : gravier, béton, acier, etc.
- Ils doivent livrer les matériaux en quantité et qualité suffisantes et respecter les délais de livraison.

VIII.1.7 Les Contrôleurs de la qualité et de la sécurité :

- Ces intervenants, souvent des experts externes ou des agences de contrôle, veillent à ce que les normes de qualité et de sécurité soient respectées sur le chantier.
- Ils réalisent des inspections régulières et fournissent des rapports sur les conditions de travail et la conformité des matériaux.

VIII.2 Installations du chantier :

VII.2.1 Installations destinées au personnel

Les installations de chantier sont des infrastructures temporaires mises en place pour assurer le bon déroulement des travaux et garantir un environnement de travail sécurisé et confortable pour le personnel. Ces installations sont cruciales pour assurer la communication entre les intervenants et permettre un stockage adéquat des matériaux et équipements sensibles. Elles comprennent généralement des bureaux, un réfectoire, des sanitaires, des hébergements, un magasin et des caravanes.

VII.2.2 Installations destinées au stockage des matériaux :

VIII.2.2.1 La grille en acier galvanisé :

La grille en acier galvanisé est l'élément central de la structure du gabion. Elle est constituée de fils d'acier tressés, recouverts d'une couche de zinc afin de garantir une protection contre la corrosion. Afin de préserver leurs propriétés, il est essentiel de stocker ces grilles dans un endroit sec et propre, loin de l'humidité qui pourrait nuire à leur durabilité.

VIII.2.2.2 Agrégats

Les agrégats utilisés pour la fabrication du béton, comme le sable et les graviers, doivent être soumis à un contrôle rigoureux dès leur réception. Il est primordial de réaliser une analyse granulométrique en prélevant des échantillons pour vérifier que les matériaux respectent les exigences techniques. Cette vérification permet de s'assurer que la taille et la distribution des particules sont adaptées aux spécifications, ce qui garantit la performance et la durabilité du béton.

VIII.2.2.3 Le béton

Le béton est un matériau de construction composé d'un mélange de ciment, d'eau, de granulats (sable, graviers, etc.) et, dans certains cas, d'adjuvants destinés à améliorer ses propriétés. Les composants du béton ont des caractéristiques très variées, notamment en termes de densité, qui peut aller de 1 pour l'eau à 3 pour le ciment.

VIII.2.2.4 Le Ciment et les aciers

Le ciment sera stocké en vrac dans des silos. Lors de sa réception, il est important de contrôler la température et d'effectuer certaines analyses en laboratoire, notamment pour mesurer sa résistance et son temps de prise. Des vérifications sont également nécessaires concernant la qualité des aciers utilisés dans le béton.

VIII.2.2.5 Le géotextile

Le géotextile, également appelé toile, film ou bâche, est fabriqué à partir de fibres synthétiques comme le polypropylène ou le polyester. Ces fibres peuvent être tissées, non tissées ou tricotées, offrant ainsi une variété de textures et de propriétés. Ce matériau est conçu pour être durable et résistant aux déchirures ainsi qu'aux conditions climatiques difficiles.

Le géotextile remplit quatre fonctions principales :

- **Séparation** : Il empêche le mélange des matériaux,
- **Filtration** : Tout en laissant passer l'eau, il retient les particules solides, facilitant ainsi le drainage sans risque de colmatage.
- **Drainage** : Il permet la distribution uniforme de l'eau, évitant les stagnations et contribuant ainsi à la gestion des eaux de pluie.
- **Renforcement** : Il améliore la résistance du sol,

VIII.2.2.6 L'énergie électrique :

L'énergie électrique sera fournie par un groupe électrogène, éliminant ainsi le besoin de se connecter à un réseau électrique à moyenne tension tel que celui de SONALGAZ.

VIII.2.2.7 L'alimentation en eau potable

L'alimentation en eau potable sera assurée par un réservoir de stockage, dont la capacité sera adaptée aux besoins quotidiens du chantier. Ce réservoir sera réalimenté quotidiennement pour garantir une disponibilité constante et répondre aux besoins des travailleurs ainsi que des activités du site.

VIII.2.2.8 L'alimentation en carburant

L'approvisionnement en carburant sera assuré par des camions citernes, permettant un ravitaillement régulier du site. Le stockage du carburant se fera dans des réservoirs enterrés, équipés d'un système de pompage adapté pour alimenter les équipements et véhicules du chantier en toute sécurité.

VIII.2.2.9 Installations destinées à la réparation des engins

Les réparations majeures des équipements ne sont généralement pas réalisées directement sur le chantier. Toutefois, il est crucial de mettre en place un atelier bien équipé, capable de gérer l'entretien de routine et les réparations d'urgence. Cet atelier doit permettre de garantir la continuité des travaux en minimisant les interruptions causées par des pannes ou des défaillances imprévues.

VIII.2.3 Installations pour la préfabrication

Ces installations sont généralement des hangars équipés du matériel nécessaire pour la fabrication et l'assemblage des éléments constitutifs de l'ouvrage, tels que les poutres, les dalles et les conduites.

VIII.3 Les moyens de chantier :

VIII.3.1 Les moyens humains :

Le nombre de personnels requis sur un chantier varie selon les phases de travaux. Pendant les périodes critiques, il peut être nécessaire de mobiliser un effectif important pour répondre à la charge de travail.

VIII.3.2 Les moyens matériels :

Les équipements utilisés sur le chantier sont principalement des outils classiques des travaux publics. L'emploi de gros engins mécaniques permet de réduire considérablement les coûts et le temps nécessaires pour les opérations de terrassement, en optimisant l'efficacité et la rapidité des travaux.

Tableau VIII.1: Engins utilisés

Tache	Engin	Action
Travaux de préparation	Engins	Enlever les obstacles et les Chargeurs herbes
	Dozers	
	Chargeurs	
	Camions	
	Pelles	
Terrassements	Niveleuse	Donner la forme exacte du Dumpers Canal
	Dumpers	
	Chargeurs	
	Camions	
	Dozers	
Compactage	Tous types de compacteurs à rouleaux lisses	Consolider les berges de l'oued pour éviter l'affaissement
	Compacteurs à pied de mouton	
Bétonnage	Camion Cocotte	Coulage de béton

VIII.4 Objectif de l'installation de chantier :

L'objectif du plan d'installation de chantier est de garantir un environnement de travail organisé et sécurisé. Il repose sur trois axes principaux :

1. **Organiser le déroulement du chantier** :
    - Lors de la préparation, il est essentiel d'étudier la planification des différentes phases des travaux, en minimisant les déplacements des hommes, des matériels et des matériaux (y compris lors du démantèlement du chantier).
    - Une bonne gestion de l'espace et une planification efficace permettent de faciliter les interactions et la communication entre les différents corps de métiers.
    - Optimiser l'utilisation de l'espace, en particulier dans les chantiers urbains, où la surface disponible est souvent restreinte.

2. **Ordonnancer le chantier** :
    - L'objectif est de gagner du temps en réduisant les durées des tâches (temps unitaire) et en limitant les pertes de matériaux ou les doublons dans l'utilisation du matériel.
    - Il est aussi primordial de garantir la sécurité des travailleurs et des équipements, notamment en installant des clôtures, du gardiennage, et des systèmes d'alarme.
    - Cette organisation vise également à améliorer la qualité des travaux et à valoriser l'image de l'entreprise en montrant un haut niveau de maîtrise technique.
3. **Positionner les éléments du chantier** :
    - Concernant le personnel, il est important de créer des espaces dédiés aux réunions et de prévenir les risques d'accidents.
    - Pour le matériel, il faut organiser des zones de livraison et définir des circuits de déplacement clairs, tout en assurant la sécurité grâce à des dispositifs comme des clôtures et du gardiennage.
    - Il est essentiel d'identifier les réseaux existants pour éviter tout problème lié aux fuites ou pannes, en utilisant des avertisseurs visuels comme des grillages et des tubes colorés, ainsi que des raccordements temporaires.

Ce plan a pour but de créer un environnement de travail optimal, sécurisé et efficace, favorisant la réussite du projet tout en préservant la qualité et la sécurité.

VIII.5. Devis quantitatif et estimatif du projet :

Les estimations des couts des travaux d'aménagement comprennent les éléments suivants :

- Le prix unitaire des travaux de terrassement.
- Le prix unitaire de la fourniture et de gabions et de matériaux en vrac.

Le volume des travaux sera calculé par l'outil informatique (logiciel Auto-cad et Covadis)

Le devis du projet est donné ci -dessous :

Tableau VIII.2: Le devis des différents travaux de l'aménagement du projet sur oued Sebaou et oued Aissi (variante 01)

Désignations des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (Da/Ml)
Lit Drainant	m^3	806.72	4500	3630240
TVC	m^3	447.45	5000	2237250
Gabion	m^3	1795.98	6000	10775880
Remblai	m^3	6891.51	2000	13783020
Béton Armée	m^3	30.20	35000	1057000
Montant total				31483390
TVA (19%)				5981844.1
Montant Total + TVA				**37465234.1**

Tableau VIII.3: Le devis des différents travaux de l'aménagement du projet sur Oued Sebaou et Oued Aissi (variante 02)

Désignations des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (Da/Ml)
Enrochement	m^3	11544.15	4000	46176600
Lit Drainant	m^3	1678.22	4500	7551990
TVC	m^3	1064.99	5000	5324950
Gabion	m^3	4641.87	6000	27851220
Béton Armée	m^3	91.08	35000	3187800
Pierre Roulée	m^3	11135.10	10000	111351000
Montant total				201443560
TVA (19%)				38274276.4
Montant Total + TVA				**239717836.4**

Conclusion

L'organisation du chantier joue un rôle crucial dans la réussite d'un projet de construction, et une gestion rigoureuse peut significativement optimiser la productivité, la sécurité, et la rentabilité. Elle repose sur plusieurs principes clés qui incluent la planification efficace des ressources humaines et matérielles, l'organisation de l'espace de travail, et la coordination entre les différents intervenants du projet.

Une bonne organisation permet de :

1. **Minimiser les déplacements inutiles** : En prévoyant les différentes étapes du chantier et en limitant les mouvements des travailleurs, matériaux et équipements, on réduit le temps de travail et les coûts associés.
2. **Assurer la sécurité et le bien-être des travailleurs** : Un chantier bien organisé comprend des zones dédiées pour le stockage, des circuits de circulation bien définis et des installations adaptées pour le personnel.
3. **Optimiser les ressources** : L'utilisation rationnelle de l'espace, la gestion efficace des matériaux et la prévention des pertes sont essentielles pour garantir que les coûts restent sous contrôle.
4. **Maintenir la qualité** : Un chantier bien structuré favorise la qualité des travaux, grâce à une supervision continue et un contrôle rigoureux des matériaux et des techniques utilisées.
5. **Améliorer l'image de l'entreprise** : Une organisation de chantier réussie est souvent perçue positivement par les parties prenantes, renforçant ainsi la réputation de l'entreprise en matière de compétence et de fiabilité.

- Dans le cadre de cette étude, deux variantes d'aménagement ont été proposées, toutes deux techniquement viables et économiquement adaptées. Après avoir dimensionné ces deux options, une analyse comparative a été effectuée en s'appuyant sur divers critères.

Les résultats de cette comparaison ont permis de conclure que la deuxième variante était la plus appropriée pour assurer la protection de la station de pompage ainsi que du bassin de décantation. Cette variante, en plus de garantir la sécurité de ces infrastructures, s'avère capable de maîtriser les crues centennales des oueds Sebaou et Aissi, confirmant ainsi son efficacité et sa pertinence.

En somme, l'organisation du chantier est essentielle pour atteindre les objectifs de délais, de coûts, et de qualité tout en assurant la sécurité et le confort des travailleurs. Pour réussir, il faut anticiper les besoins, planifier les étapes et maintenir une communication fluide entre tous les acteurs impliqués.

Conclusion générale

Conclusion générale

La protection contre les inondations de la station de pompage de l'oued Sebaou revêt une importance capitale pour garantir la continuité de l'approvisionnement en eau et préserver l'intégrité des infrastructures hydrauliques stratégiques. Ce mémoire a permis de cerner les risques d'inondation auxquels cette station est exposée, d'identifier les vulnérabilités spécifiques, et de proposer des solutions pratiques et durables pour y remédier.

L'étude que nous avons menée est divisée en plusieurs partis. Dans la première, nous nous sommes intéressés à décrire l'aspect géographique, géologique, hydrologique météorologique, de la zone d'étude, de plus nous avons retracé l'historique des inondations ayant touché l'Algérie, en mettant particulièrement l'accent sur la ville de Tizi Ouzou.

L'étude hydrologique a consisté en la détermination des paramètres morphologiques de la zone d'étude montre que le sous bassin de Sebaou est d'une forme allongée et pour Aissi allongé. L'analyse du drainage a révélé que le réseau hydrographique de la zone d'étude peut être hiérarchisé en 04 ordres.

Pour le calcul de la lame précipitée sur les deux sous bassins, dans l'ensemble les résultats obtenus par les différentes méthodes sont assez homogènes, la préférence pour la méthode des isohyètes est dictée par le caractère montagneux du bassin versant de l'oued Sebaou et oued Aissi, d'autant plus qu'un gradient pluviométrique a été mis en évidence et a permis le tracé des isohyètes dans la partie montagneuse du bassin dépourvue de postes pluviométriques.

Ensuite, un traitement statistique des données hydrologiques effectué à l'aide du logiciel HYFRAN qui comporte des fonctionnalités offrant une large gamme de lois d'ajustement.il est noté que la loi GUMBEL est la seule loi qui s'adapte mieux au type de la série des pluies maximales journalières.

La méthode SOKOLOVSKY a été employée pour estimer le débit de crue centennale, évaluer à 2234.03 m^3/s pour l'oued Sebaou et 1136.88 m^3/s pour l'oued Aissi.

Conclusion Générale

L'utilisation du logiciel HEC-RAS nous a permis d'obtenir les niveaux de la ligne d'eau à plusieurs points dans les lits des oueds. A l'issue de cette simulation, nous avons pu visualiser l'évolution des paramètres hydrauliques hauteurs et débit et les régimes d'écoulement qui caractérisent chaque section du tronçon.

Après la localisation des zones à risques nous avons tenté de choisir la variante d'aménagement hydraulique adéquate, et la solution retenue pour le dimensionnement d'une digue en gabion qui protégé le bassin de décantation et la station de pompage contre les inondations d'oued Sebaou et oued Aissi.

Le cout de ce projet est estimé à 122317630.80 DA, et comme tout projet celui-ci doit être suivi afin de garantir un meilleur service et une longévité acc

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

Aigoune C. (1983) Etude hydrogéologique de la nappe alluviale du bas Sebaou (grande Kabylie). Mémoire d'ingénieur, IST, USTHB,212p.

BARAKA S (1990) synthèse des études hydrogéologiques de la vallée de l'Oued Sebaou (grande Kabylie) mémoire d'ingénieur, IST, USTHB,208 p

HAMITOUCHE Yasmine (2020). Etude d'aménagement hydraulique d'oued Allala pour la protection de la ville de Ténès contre les inondations (W. CHLEF).

HADJOU Fatiha (2008). Etude hydrologique par modélisation mathématique en vue d'une approche rationnelle et optimale de la gestion des eaux souterraines de la valle de l'oued Sebaou**.**

IKHLEF Roumaissa (2023). Etude de protection contre les inondations par Modélisation des affluents cas : du centre de Bordj Mira (Bejaïa).

Touaibia Bénina ,2004. Manuel pratique d'hydrologie. Presse Madani frères, blida, Algérie.

TOUMI A.H : cours de l'hydraulique II, université Badji Mokhtar Annaba.

ZEROUAL, Ayoub, ASSANI, Ali. A, MEDDI, M et al, 2019.Assessment of climate change in Algeria from 1951 to 2098 using the Koppen-Geiger climate classification scheme. Clim Dyn 52,227-243(2019).

Disponible à l'adresse : https://doi.org/10.1007/s00382-018-4128-0

Références Sitographiques :

https://earthexplorer.usgs.gov/

https://www.youtube.com/watch

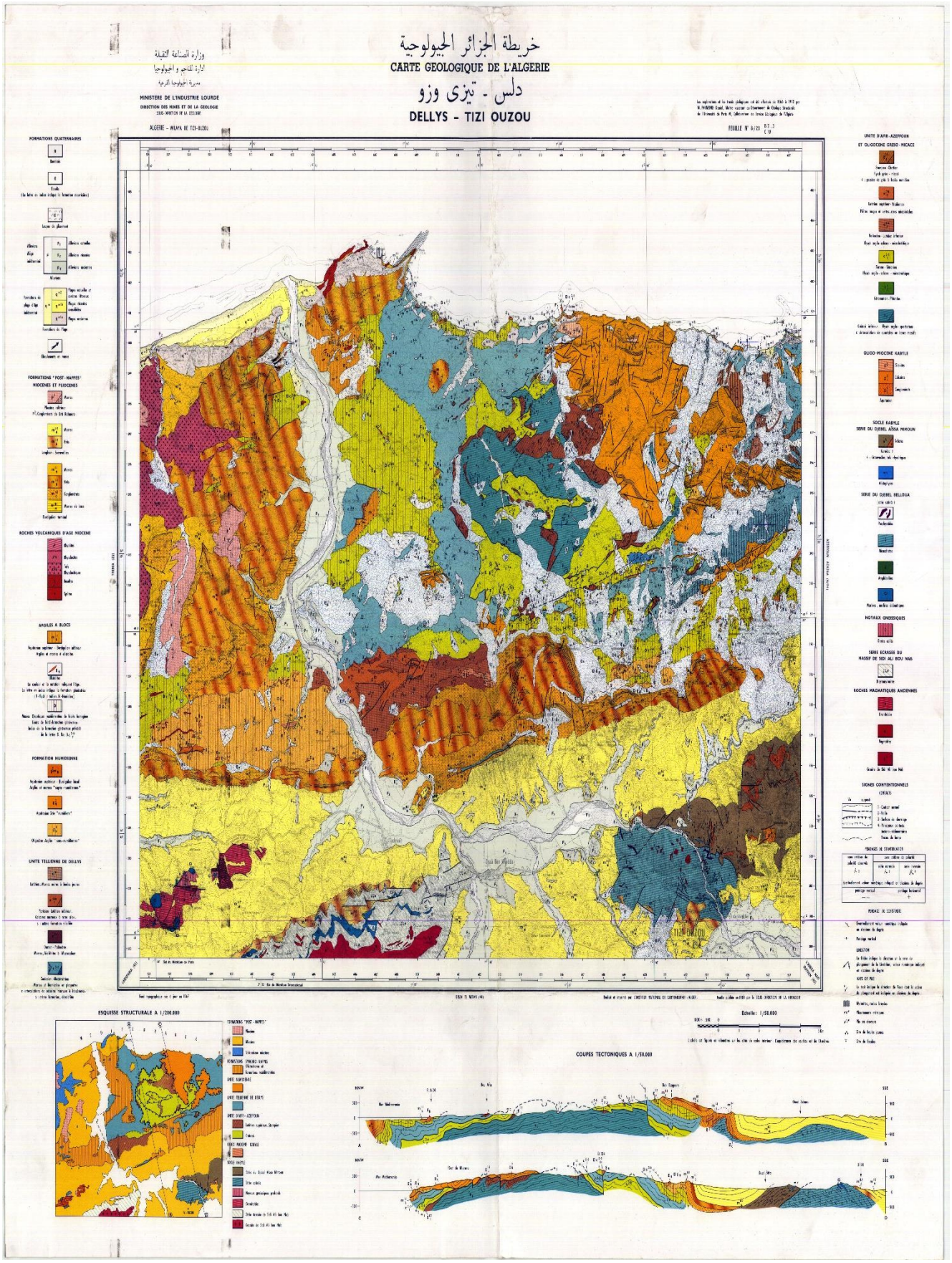
https://www.arcgis.com/home/item

https://www.surfacewater.biz/hazard/

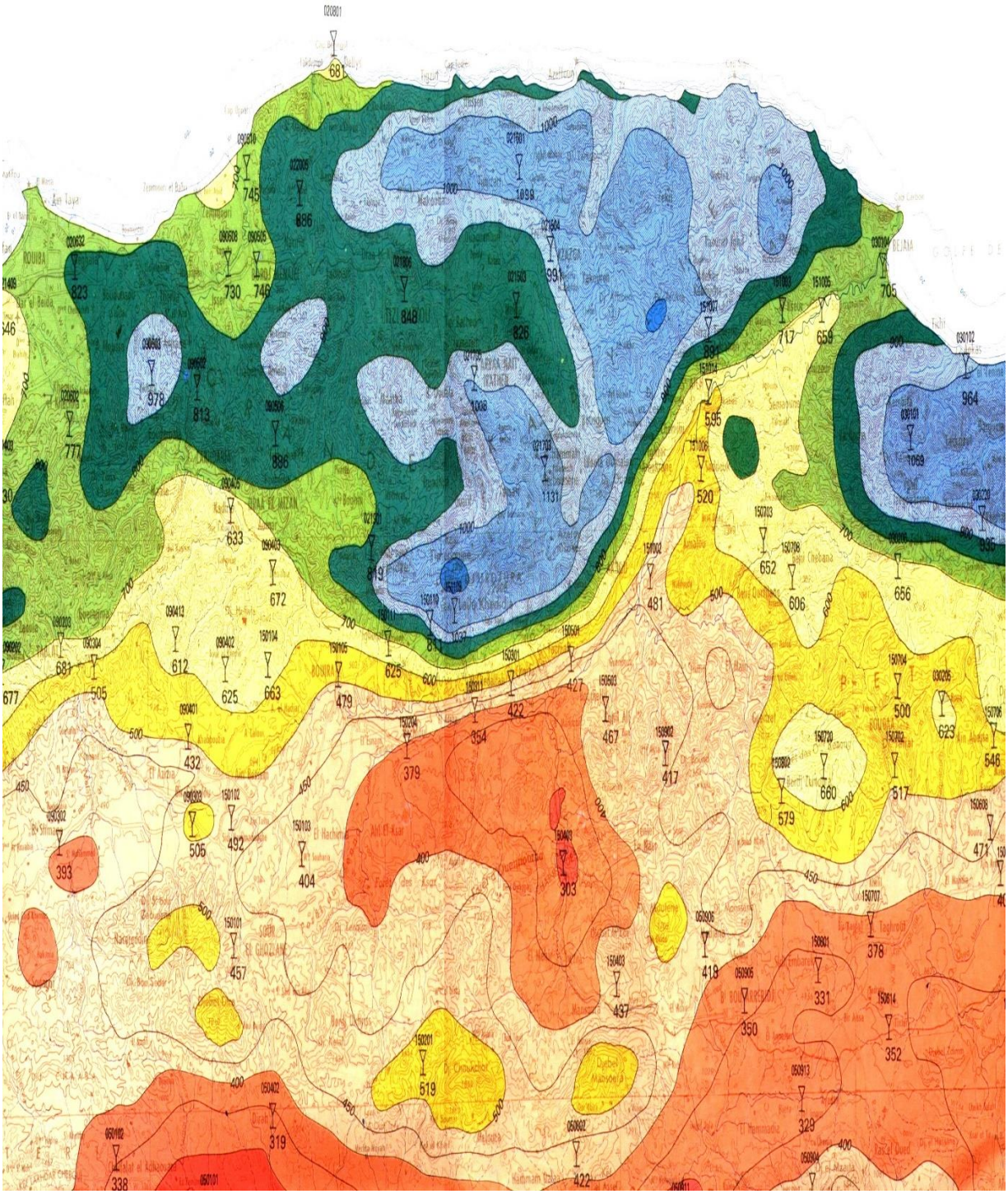
https://fr.climate-data.org/location/54255/

ANNEXES

Annexe N° 01 : Carte géologique



Annexe N°02 : carte pluviométrique



LEGENDE

Graduation des isohyètes	Plage de pluviométrie
150 mm	moins de 200 mm
200 mm	
250 mm	de 200 à 300 mm
300 mm	
350 mm	de 300 à 400 mm
400 mm	
450 mm	de 400 à 500 mm
500 mm	
600 mm	de 500 à 600 mm

Graduation des isohyètes	Plage de pluviométrie
700 mm	de 600 à 700 mm
800 mm	de 700 à 800 mm
900 mm	de 800 à 900 mm
1000 mm	de 900 à 1000 mm
1200 mm	de 1000 à 1200 mm
1400 mm	de 1200 à 1400 mm
1600 mm	de 1400 à 1600 mm
1800 mm	de 1600 à 1800 mm
2000 mm	plus de 1800 mm

Symboles

040507 — n° de code (bassin 04, sous bassin 05, 7ieme poste)

Pluviométre

261 — Pluie moyenne interannuelle en millimètre.



Annexe N°03 : la pluviométrie annuelle de chaque station en (mm)

Années	Tizi Ouzou	Makouda	Azeib Mizrana	Beni Yenni	Tizi Medane	Yakouren
1990	755.6	831.9	927.5	842.8	714.4	1163.2
1991	766.6	853.3	902.2	725.6	658.5	1024.1
1992	689.3	810.3	773.9	702	672.1	1033.2
1993	551.3	528.9	510.6	618.9	535	806.4
1994	865	943.6	843.5	922.5	869.4	1173.4
1995	822.8	825.2	868.5	890.8	853.1	1174.3
1996	500	477.6	573.7	505.5	407.2	696
1997	1113.2	1021.4	1052.8	1192.3	970.1	1663
1998	689.5	744.8	695.9	768.4	694	988.3
1999	556.4	606.8	772	624.2	496.1	831.6
2000	606.9	665	650.4	785.3	670.4	968.3
2001	461.8	492.1	704.6	479.6	371.9	634.2
2002	1217.5	1266	1102.2	1366.5	1172.6	1645.7
2003	832.6	802	946.3	903.6	810.3	1120.5
2004	696.3	730.7	763.8	879.5	805.4	1066.9
2005	732.6	810.2	845.1	754.2	676.1	990.6
2006	793.1	835	824.7	698.2	783	1220.6
2007	931.6	878	958.7	955	788.3	1196.8
2008	1010.8	933.3	945.7	1197.9	887	1374.9
2009	963.8	843.3	931	925.8	732	1154.6
2010	1016.6	937.6	929.6	1113.2	919.5	1334.5
2011	1028.9	1133.8	1061.6	1023.9	1002.6	1268.9
2012	915.4	959.1	1146.4	980.9	841	1317.8
2013	831.8	855.8	887.0	922.2	712.4	1232.8
2014	942	907.8	996.9	1068.1	773.5	1316.9
2015	767.5	825.4	822.8	811.2	661.1	1354.1
2016	618.2	755.0	673.8	680.7	612.3	803.6
2017	947.8	1070.4	1063.2	968.9	879.9	1357.6
2018	955	1059.1	1009.9	966.4	880.8	1331
2019	639.8	681.2	585.2	688.1	557.3	852.8
2020	584.1	587.5	670	578.4	511.8	943.4
2021	848.4	1049.7	932	856.7	813	1194.6