

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"

ⵎⵓⵔⵉⵏⵉ ⵙⵉⵎⵓⵔⵉ ⵙⵉⵎⵓⵔⵉ ⵙⵉⵎⵓⵔⵉ ⵙⵉⵎⵓⵔⵉ ⵙⵉⵎⵓⵔⵉ

DEPARTEMENT OUVRAGE HYDROTECHNIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

THEME :

**AMENAGEMENT DE PROTECTION CONTRE LES
INONDATIONS : Birtouta (w.d'Alger)**

Présenté par :

LAOUEDJ Abderrahmane

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
B. BENLAOUKLI	M.C.A	Présidente
I. ZAIBAK	M.A.A	Examinateur
M.D. BENSALAH	M.C.B	Examinatrice
C.SALHI	M.C.B	Promoteur

Dédicace

A ma très chère mère

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon très cher père

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

A mes très chers frères et mes belles sœurs

Puisse Dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite

Remercîment

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à ma directrice de mémoire, Madame C. SALHI. Je la remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

Je remercie mes très chers parents, qui ont toujours été là pour moi. Je remercie mes sœurs, et mes frères, pour leurs encouragements.

Enfin, je remercie tous mes amis BADJOU Mohand et HAMOUDA Saber qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

Je tiens à remercier l'ensemble du personnel de la ANRH Alger, DRE Alger ainsi que les membres du service technique de l'APC de Birtouta.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

ملخص:

في إطار الحد من ظاهرة الفيضانات والاحطار الناجمة عليها، سنحاول في هذه المذكرة تحديد أسباب الفيضانات في بلدية بير توتة. من خلال دراسة مفصلة وزيارة المناطق المتضررة. ومن خلال المعلومات المقدمة الينا تمكنا من تشخيص وضعية الوادي، وسنحاول اقتراح حلول لتهيئة وادي بومعزة وحماية السكان القاطنين على ضفافه

Résumé :

Dans le cadre de la réduction du phénomène des inondations et des dangers qui en résultent, nous tenterons dans le cadre de ce mémoire de déterminer les causes des inondations dans la commune de Birtouta grâce à une étude détaillée et visite des zones touchées. A l'issue des informations disponible, nous avons pu diagnostiquer l'état de la vallée, et nous tenterons de proposer des solutions pour aménager l'oued de Boumaaza et protéger la population habitant dans les alentours.

Abstract:

In the context of reducing the phenomenon of floods and the dangers resulting from them, we will try, in this memorandum, to determine the causes of floods in the municipality of Birtouta. Through a detailed study and a visit to the damaged areas. And through the information provided to us, we were able to diagnose the situation of the valley, and we will try to suggest solutions to the development the Boumaaza Valley and protect the residents living on its banks.

Table des matières

Liste des Figures	i
Liste des tableaux.....	iii
Liste des Planches	iv
Abréviations.....	v
Introduction Générale	vi
Introduction.....	1

Chapitre I

I LE PHÉNOMÈNE INONDATION.....	1
I.1 L'inondation.....	1
I.2 Le processus de formation des crues.....	4
I.3 L'influence des facteurs naturels.....	5
II L'ALÉA INONDATION.....	5
II.1 La période de retour de crues	5
II.2 La hauteur et la durée de submersion.....	6
II.3 La vitesse du courant.....	6
II.4 Le volume de matière transportée	6
III LE RISQUE INONDATION.....	7
III.1 Les atteintes aux hommes, aux biens et aux activités.....	8
III.2 Les atteintes à l'environnement.....	8
IV Les inondations en Algérie	8
IV.1 CAUSES ET TYPES DES CRUES CATASTROPHIQUES EN ALGERIE.....	9
V LES ACTIONS DE PRÉVENTION ET DE SECOURS	10
V.1 L'évaluation du risque inondation en Algérie.....	10
V.2 Planification de la gestion du risque d'inondation en Algérie	11
V.3 Préparation aux catastrophes et plans d'urgence.....	11
V.3.1 L'élaboration des plans	11
V.3.2 La mise en œuvre de la réponse à l'urgence	12
V.4 Les parties prenantes	14
V.4.1 Le rôle central de la Direction générale de la protection civile	14
V.4.2 La coopération entre civils et militaires.....	14
V.5 Les systèmes d'alerte précoce	15
V.5.1 Les systèmes d'alerte précoce en vigueur.....	15

V.5.2	La formation et les exercices	16
Conclusion	16

Chapitre II

Introduction.....	17
I Présentation de la commune de BIRTOUTA	17
Situation géographique	17
I.1 ENVIRONNEMENT DE LA COMMUNE.....	19
I.1.1 La zone d'Activité de BABA-ALI :.....	19
I.1.2 La Décharge Sauvage :	19
I.1.3 Evaluation de la population	20
II Facteurs morphologiques	21
II.1 La géologie de la région	21
II.2 Pédologie de la région	21
III Facteurs climatiques.....	22
III.1 Température.....	22
III.2 Précipitation.....	23
III.3 Le vent	23
IV Etat des lieux.....	23
IV.1 Oued Ben Addèche	23
IV.2 Oued Boumaaza.....	23
IV.3 Oued Abdi.....	23
IV.4 Oued Terro.....	24
IV.5 Oued Mezghani.....	24
IV.6 Oued Sidi M'hamed.....	24
CONCLUSION.....	24

Chapitre III

Introduction.....	26
I Caractéristiques hydro-morphologiques :.....	26
I.1 Définition du bassin versant :.....	26
I.2 Caractéristique morpho métrique :.....	26
I.2.1 La surface :.....	27
I.2.2 Le périmètre :	27
I.2.3 La longueur du cours d'eau principal :	27

Table des matières

I.2.4	Indice de compacité de Gravelius K_c	27
I.2.5	Facteur de forme R_f	28
I.2.6	Rectangle équivalent.....	28
I.3	Relief.....	29
I.3.1	La courbe hypsométrique.....	29
I.3.2	Les altitudes caractéristiques	32
I.3.3	Les indices caractéristiques.....	32
I.4	Caractéristiques du réseau hydrographique.....	36
I.4.1	Hiéarchisation du réseau.....	36
I.4.2	Densité de drainage.....	36
I.4.3	Pente moyenne du cours d'eau principale	36
I.4.4	Temps de concentration du bassin versant T_c	40
I.4.5	Vitesse de ruissellement.....	41
II	Analyse des données pluviométriques	42
II.1	Etude des Pluies maximales journalières	43
II.2	Vérification de l'homogénéisation de la série pluviométrique :	45
II.3	Choix de la loi d'ajustement.....	48
II.3.1	Ajustement a la loi de Gumbel.....	48
II.3.2	Ajustement à la loi log normale (Galton) :	51
II.3.3	Ajustement à la loi de GEV	54
II.3.4	Comparaison	56
III	Pluies de courte durée	57
IV	Etude de la crue.....	61
IV.1	Différentes méthodes d'évaluation des crues	61
IV.1.1	Méthodes historiques :	61
IV.1.2	Méthodes empiriques :.....	61
IV.1.3	Courbes enveloppes :	61
IV.1.4	Méthodes probabilistes :	61
IV.2	Estimation des débits de crues.....	61
IV.2.1	Formule de SOKOLOVOSKY	61
IV.2.2	Formule de Maillet Gautier :.....	63
IV.2.3	Formule de SOGREAH-ANRH.....	63
IV.3	Hydrogramme de crue	64
	Conclusion :	66

Chapitre IV

Introduction.....	66
I Diagnostic du l'oued Boumaaza	66
I.1 État actuelle :	66
I.2 Caractéristiques de l'oued Boumaaza :	72
I.2.1 Premier tronçon :	72
I.2.2 Deuxième tronçon :	72
II Simulation de l'écoulement	72
II.1 Présentation du logiciel	72
II.2 Simulation de l'écoulement.....	74
II.2.1 Choix de coefficient de frottement	74
II.2.2 Délimitation des zones inondables.....	75
III Simulation de l'écoulement canalisé	79
III.1 Présentation du logiciel SWMM	79
III.2 Etapes d'utilisation de SWMM	79
III.3 Modélisation de l'écoulement	79
III.4 Visualisation des résultats	80
Conclusion	80

Chapitre V

Introduction.....	81
I L'objectif d'un aménagement.....	81
II Le principe d'un aménagement :	81
II.1 : Laminage de crue :	81
II.2 Les traçons à aménager	82
III Proposition des variantes d'aménagement :	84
III.1.1 Variante 1	84
III.1.2 Variante 2.....	84
IV Etude des variantes	84
IV.1 Variante 1	84
IV.1.1 Premier tronçon (à ciel ouvert)	84
IV.1.2 Deuxième tronçon.....	86
IV.2 Variante 2	87
V Choix de variante	90

V.1	Variante 1 (canal en béton)	90
V.2	Variante 2 (gabionnage)	90
V.3	Etude comparative.....	90
VI	Etude de stabilité du canal	91
	Conclusion	92

Chapitre VI

	Introduction.....	93
I	Généralité :	93
I.1	Différent type de chantier :	93
I.2	Organisation technique de préparation :	93
I.3	Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier :	93
I.3.1	Le maître de l'ouvrage :	94
I.3.2	Le maître d'œuvre :	94
I.3.3	L'entrepreneur :	94
I.3.4	L'organe de contrôle technique :	94
I.4	Travaux préparatoires et installation de chantier :	94
I.4.1	Installations destinées au personnel :	94
I.4.2	Installations destinées au stockage des matériaux	94
I.4.3	Installations destinées à la réparation des engins.....	94
I.4.4	Installation destinée pour la préfabrication :	94
I.5	Travaux de réalisation :	95
I.5.1	I.5.1. Dragage et curage :	95
I.5.2	Préparation du lit de l'oued :	95
I.5.3	Travaux de terrassements :	95
I.5.4	Travaux de compactages :	95
I.5.5	Enrobage des berges :	95
I.5.6	Les moyens de chantier :	95
I.5.7	Les moyens humains :	96
II	Devis quantitatif et estimatifs des projets :	96
III	La planification	99
III.1	Techniques de la planification	99
III.2	Méthodes basées sur le réseau	99
III.2.1	Réseau à flèches	99
III.2.2	Réseau à nœuds.....	99

Table des matières

IV	Différentes méthodes basées sur le réseau	99
IV.1	Méthode C.P.M (Méthode française)	99
IV.2	Méthode P.E.R.T (Méthode américaine).....	100
IV.3	Les paramètres de calcul dans la méthode C.P.M	100
IV.4	Diagramme de Gantt.....	100
V	Elaboration du réseau selon la méthode C.P.M	101
VI	Elaboration du diagramme de Gantt	102
	Conclusion	102
	Conclusion Générale	103
	Références.....	104
	Annexe	105

Liste des Figures

Liste des Figures

Chapitre I

Figure 1:1 Inondation par remontée de nappe Embâcle sur un torrent	1
Figure 1:2 Le débit de la rivière.....	2
Figure 1:3 Le débit d'étiage	3
Figure 1:4 lit de l'oued	4
Figure 2:1 Le transport solide	6
Figure 3:1 Hydrogramme de crue	7

Chapitre II

Figure 1:1 Image satellite de la zone d'étude – aout 2020	18
Figure 1:2 situation géographique de la ville de Birtouta	19
Figure 1:3 Evaluation de la population	21
Figure 3:1 Variation de la température annuelle.....	22

Chapitre III

Figure I:1 Représentation d'un bassin versant	26
Figure I:2 Courbe hypsométrique du bassin d'oued Boumaaza	30
Figure I:3 Carte hypsométrique de bassin versant	31
Figure I:4 Réseaux hydrographique d'oued Boumaaza.	38
Figure I:5 profil en long de l'oued Boumaaza	39
Figure II:1 Les caractéristiques de la série	Erreur ! Signet non défini.
Figure II:2 Comportement asymptotique de la série.....	47
Figure II:3 Le graphe d'ajustement.....	50
Figure II:4 Le graphe d'ajustement.....	53
Figure II:5 Le graphe d'ajustement.....	55
Figure II:6 Comparaison graphique	57
Figure III:1 Courbes des pluies de courte durée fréquence	60
Figure III:2 Courbes des intensités de courte durée fréquence	60
Figure IV:1 Hydrogramme de crue.....	66

Chapitre IV

Figure I:1 état actuelle de lit de l'oued en amont – aout 2020.....	67
Figure I:2 l'état des rives de l'oued en amont – aout 2020.....	67
Figure I:3 l'état des rives de l'oued en amont – aout 2020.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure I:4 l'état des rives de l'oued en amont – aout 2020.....	68
Figure I:5 cheminement de l'oued au niveau de ALI BOUHADJA	69
Figure I:6 Début de la canalisation par une buse de Ø1000.....	69
Figure I:7 construction sur le lit de l'oued – aout 2020	70
Figure I:8 réalisation d'une école primaire sur le lit de l'oued	70
Figure I:9 logement AADL – aout 2020.....	71
Figure I:10 Exutoire d'oued Boumaaza vers oued Meghdour	71
Figure II:1 Tracé d'oued Boumaaza	73
Figure II:2 Tracé d'oued Boumaaza	73
Figure II:3 Données géométrique de l'oued	74
Figure II:4 carte des zones inondables.....	76
Figure II:5 exemple d'un profil en travers de l'oued	77
Figure II:6 exemple d'un profil en travers à l'amont d'une buse	77

Liste des Figures

Figure II:7 Profil en travers amont de la buse qui traverse la route ALI BOUHADJA	77
Figure II:8 carte explicative sur la situation des profils	78
Figure III:1 Trace de la conduite DN1000.....	79
Figure III:2 Resultat de la simulation	80

Chapitre V

Figure II:1 volume à stocker dans le bassin.....	82
Figure III:1 carte explicative sur les traçons à aménager	83
Figure V:1 La Section d'un canal trapézoïdal	85
Figure V:2 Collecteur DN 1800.....	86
Figure V:4 Section aménagée 1er tronçon.....	86
Figure V:5 Section aménagée 1er tronçon.....	87
Figure V:6 Résultat de la simulation après aménagement.....	87
Figure V:7 coupe transversale d'aménagement en gabion	88
Figure V:8 Section aménagée	89
Figure V:9 Section aménagée	89
Figure VII:1 Efforts tangentiel critique pour des matériaux non cohésifs	91

Chapitre VI

Figure IV:1 Réseau à nœud du projet d'aménagement.....	101
--	-----

Annexe

Figure 0:1 Résultat de la simulation avant aménagement	Erreur ! Signet non défini.
Figure 0:2 Résultat de la simulation avant aménagement	Erreur ! Signet non défini.
<i>Figure 0:3 Habitations inondées et routes coupées</i>	111
Figure 0:4 inondation sur le lit de l'oued	111
Figure 0:5 inondation sur l'autoroute	112
Figure 0:6 débordement de l'oued Boumaaza	112

Liste des tableaux

Chapitre II

Tableau I-1 Evaluation de la population	20
Tableau III-1 La température moyenne mensuelles de Birtouta	22
Tableau III-2 La pluie moyenne mensuelles de Birtouta	23

Chapitre III

Tableau I-1Délimitation et réseau hydrographique des bassins versant	29
Tableau I-2 L'hypsométrie du bassin versant	30
Tableau I-3 Classification du relief.	33
Tableau I-4indice de pente globale	34
Tableau I-5Dénivelée spécifique	34
Tableau I-6Indice de pente moyenne	35
Tableau I-7La densité de drainage	36
Tableau I-8La pente moyenne du cours d'eau	37
Tableau I-9temps de concentration	41
Tableau I-11Caractéristiques hydro-morphologiques.....	42
Tableau II-1 station pluviométrique.....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau II-2pluies maximales journalières	Erreur ! Signet non défini.
Tableau II-3Les caractéristiques de la série	44
Tableau II-4vérification de l'homogénéisation.....	46
Tableau II-5 Paramètres d'homogénéité	47
Tableau II-6Caractéristique de loi	49
Tableau II-7Quantiles	50
Tableau II-8Test d'adéquation	51
Tableau II-9Caractéristique de loi	52
Tableau II-10Quantiles	52
Tableau II-11Test d'adéquation	53
Tableau II-12Caractéristique de loi	54
Tableau II-13Quantiles	55
Tableau II-14Test d'adéquation	56
Tableau II-15Comparaison critères.....	56
Tableau IV-1Les précipitations et les intensités maximales.....	59
Tableau V-1 résultats des débits de crue par les différentes formules.....	64
Tableau V-2Détermination du débit maximal probable	65

Chapitre IV

Tableau II-1 Estimation du coefficient de Manning	75
---	----

Chapitre V

Tableau IV-1 Revanches utilisées (Freeboard).....	85
Tableau IV-2 caractéristique géométrique de la section gabionnée	88
Tableau IV-3 Dimensions du canal en gabions	88
Tableau VI-1 contraintes tractrices au fond.....	92

Chapitre VI

Tableau I-1 Différent types de chantiers.....	93
Tableau II-1 Devis quantitatif et estimatif	97
Tableau IV-1 Temps de réalisation de chaque tâche	101
Tableau V-1 Diagramme de Gantt	102

Liste des Planches

- 1) Carte d'inondabilité de Birtouta.
- 2) Tracé de l'oued Boumaaza.
- 3) Profil en long de l'oued Boumaaza.
- 4) Profils en travers de l'oued Boumaaza.
- 5) Coupes types.

Abréviations

Abréviations

ORSEC : Organisation de la Réponse de Sécurité Civile

DGPC : Direction Générale de la Protection Civile

CENAC : Centre national de coordination

ONM : Office National de Métrologie.

ONS : Office National Des Statistiques.

DRE : Direction des Ressources en Eau.

ANRH : Agence Nationale de De Ressource Hydrauliques.

RN : Route National.

APC : Assemblée Populaire Communal.

AADL : Agence nationale pour l'Amélioration et le Développement du Logement.

HEC-RAS: Hydrologic Engineering Center's River Analysis System.

SWMM: **S**torm **W**ater **M**anagement **M**odel

C.P.M: Critical Path Method.

P.E.R.T: Program Evaluation and Review Technical.

Introduction Générale

L'accroissement constant de l'urbanisation et de l'extension des surfaces imperméabilisées, le ruissellement urbain prend de plus en plus de grande importance depuis plus d'une vingtaine d'années surtout sur l'urbanisation périphérique (grands projets d'habitats collectifs et constructions illicites) des grandes villes dont les terres agricoles ne cessent de disparaître.

Afin de protéger les riverains des centres urbains en aval de ces espaces agricoles à l'image de la côte algéroise de la zone ouest (mont de la Bouzareah).

Les eaux pluviales ont été et sont toujours en partie considérées sous un angle purement hydraulique avec comme seul objectif l'évacuation du volume ruisselé le plus rapidement possible.

Néanmoins, l'urbanisation croissante ne se manifeste pas seulement en matière de débit mais aussi en matière de pollution.

Une approche qualitative des eaux pluviales et donc de leurs impacts pour le milieu naturel doit faire l'objet des préoccupations des autorités locales et régionales.

Aujourd'hui, il est impératif de prendre conscience du phénomène de la maîtrise des eaux de ruissellement qui ne cesse de provoquer des catastrophes (inondations de Bab El Oued et récemment Skikda...).

Des pays comme la France, le Canada ...etc, ont longtemps opté pour un autre mode de gestion des eaux de ruissellement à travers des techniques alternatives qui sont incontournables étant donné que l'assainissement classique a atteint ses limites :

- Gestion des débits plus importants.
- Augmentation des diamètres.
- Développement de l'urbanisme.

Conséquences de l'assainissement classique :

- Inondations, pollutions, nappe phréatique non alimentée.

Techniques alternatives pour la gestion des eaux pluviales :

Les principes sont simples :

- Déconnecter les eaux pluviales des réseaux.
- Favoriser l'infiltration in-situ (puits filtrants, noues, fossés de filtration, espaces filtrants, bassins de retenu)
- Intégrer les eaux pluviales dans tous les projets d'urbanisme.
- Prendre en compte dans la conception d'ouvrages.

En zone urbaine, les contraintes sont essentiellement basées sur :

- La faible disponibilité spatiale.
- Réseau urbain saturé.
- Contraintes d'hygiène fortes.

Introduction générale

Le présent mémoire est limité à l'étude de protection du centre-ville de Birtouta contre les inondations (vu que ce centre a subi plusieurs inondations 2001-2007-2013-2017).

Il s'articule autour des points suivants :

Chapitre I : Généralités sur les inondations.

Chapitre II : Etude Préliminaire et Collecte des Données.

Chapitre III : Etude hydrologique.

Chapitre IV : Diagnostique et simulation de l'écoulement.

Chapitre V : Calculs hydrauliques.

Chapitre VI : Management du projet.

Chapitre 1

Généralités sur les inondations

Introduction

L'inondation peut être définie comme étant une submersion temporaire, naturelle ou artificielle d'un espace terrestre on peut distinguer : L'inondation de plaine c'est la submersion d'une zone par suite du débordement des eaux d'un cours d'eau de plaine, Les inondations par ruissellement se produisent lors de pluies exceptionnelles, d'orages violents, quand la capacité d'infiltration et d'évacuation des sols ou des réseaux de drainage est insuffisante

I LE PHÉNOMÈNE INONDATION

I.1 L'inondation

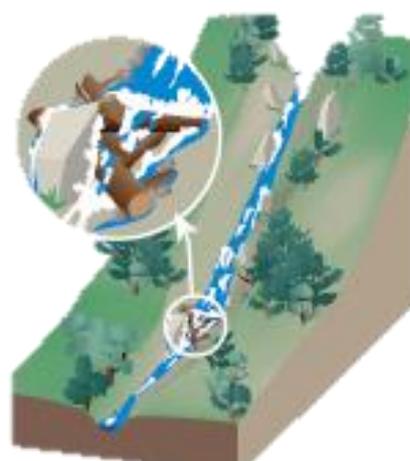
L'inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau. Le risque d'inondation est la conséquence de deux composantes : l'eau qui peut sortir de son lit habituel d'écoulement et l'homme qui s'installe dans l'espace alluvial pour y implanter toutes sortes de constructions, d'équipements et d'activités. On distingue trois types d'inondation. (<http://www.irma-grenoble.com/>)

La montée lente des eaux en région de plaine : Les inondations de plaine se produisent lorsque la rivière sort lentement de son lit mineur et inonde la plaine pendant une période relativement longue. La rivière occupe son lit moyen et éventuellement son lit majeur. Après une ou plusieurs années pluvieuses, il arrive que la nappe affleure et qu'une inondation spontanée se produise : on parle d'inondation par remontée de nappe phréatique. Ce phénomène concerne particulièrement les terrains bas ou mal drainés. Sa dynamique lente perdure plusieurs semaines. (<http://www.irma-grenoble.com/>)

La formation rapide de crues torrentielles : Lorsque des précipitations intenses, telles des averses violentes, tombent sur tout un bassin versant, les eaux ruissellent et se concentrent rapidement dans le cours d'eau, engendrant des crues torrentielles brutales et violentes. Le cours d'eau transporte de grandes quantités de sédiments et de flottants (bois morts, etc.), ce qui se vague pouvant être mortelle. Par une forte érosion du lit et un dépôt des matières transportées. Ces dernières peuvent traduire former des barrages, appelés embâcles, qui, s'ils viennent à céder. (<http://www.irma-grenoble.com/>)



Figure 1: Inondation par remontée de nappe



Embâcle sur un torrent

Le ruissellement pluvial L'imperméabilisation du sol par les aménagements (bâtiments, voiries, parkings, etc.) et par les pratiques culturales limite l'infiltration des précipitations et

accentue le ruissellement. Ceci occasionne souvent la saturation et le refoulement du réseau d'assainissement des eaux pluviales. Il en résulte des écoulements plus ou moins importants et souvent rapides dans les rues. (<http://www.irma-grenoble.com/>)

Au sens large, les inondations comprennent également les inondations par rupture d'ouvrages de protection (brèches dans les digues) et les inondations dans les estuaires. Ces dernières résultent de la conjonction de la crue des fleuves, de fortes marées et de situations dépressionnaires (régime de tempête). (<http://www.irma-grenoble.com/>)

Un cas particulier : les laves torrentielles

Les laves torrentielles se forment dans le lit des torrents au cours d'une crue liquide, lorsqu'une grande quantité de matériaux meubles (éboulis, paquets de terre, etc.) y est mobilisable. Ces écoulements sont composés d'un pourcentage de matériaux solides supérieur à 50 %, de tailles variées, allant des matériaux fins jusqu'à de très gros blocs. (<http://www.irma-grenoble.com/>)

La lave torrentielle se comporte comme un fluide visqueux très dense, dans lequel les blocs paraissent flotter dans une pâte boueuse (mélange d'eau et de fines*). Elle a un pouvoir destructeur plus important qu'une crue torrentielle de débit équivalent, en raison de sa densité élevée, de la vitesse de déplacement (plusieurs km / h selon la pente du torrent) et de la quantité de matériaux charriés. Les blocs transportés peuvent atteindre plusieurs dizaines de tonnes. (<http://www.irma-grenoble.com/>)

Lorsque la lave torrentielle survient, l'écoulement liquide du torrent s'arrête. Alternent alors des successions de bouchons (embâcles) et de coulées boueuses (débâcles) qui déferlent dans le lit du torrent. Par ailleurs, en raison des quantités de matériaux transportés, le colmatage du lit du torrent peut s'accompagner de divagations dans les zones urbanisées de fond de vallée, qui occupent les cônes de déjection torrentiels. (<http://www.irma-grenoble.com/>)

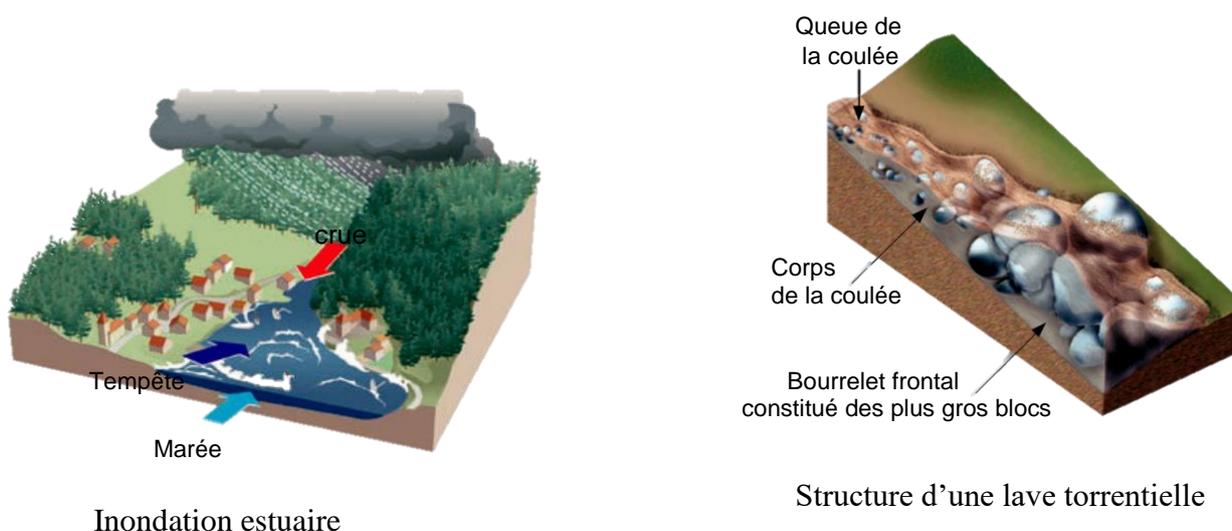


Figure I:2 Le débit de la rivière

La crue

La crue correspond à l'augmentation de la quantité d'eau qui s'écoule dans la rivière (débit) et peut concerner l'ensemble du lit majeur de la rivière. L'importance de l'inondation dépend de trois paramètres : la hauteur d'eau, la vitesse du courant et la durée de la crue.

Ces paramètres sont conditionnés par les précipitations, l'état du **bassin versant** et les caractéristiques du cours d'eau (profondeur, largeur de la vallée, etc.). Ces caractéristiques naturelles peuvent être aggravées par la présence d'activités humaines.

L'étiage

Le débit d'étiage est le débit minimum d'un cours d'eau, observé sur un temps donné en période de basses eaux.

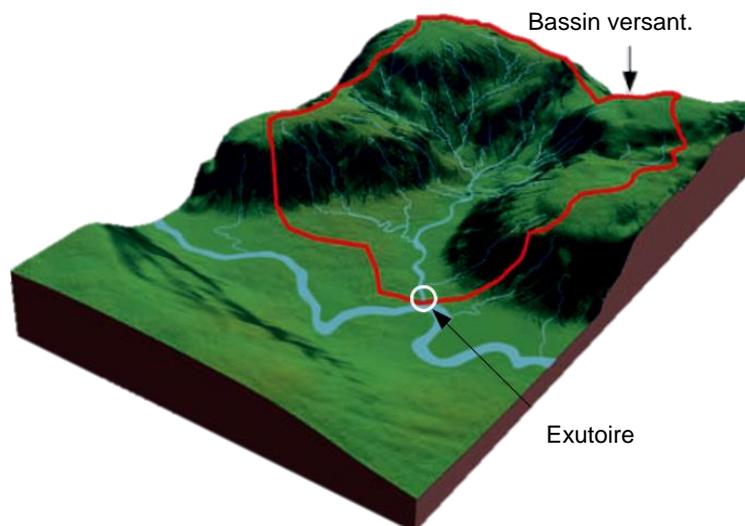


Figure I:3 Le débit d'étiage

Le lit de la rivière

Le lit mineur

Le lit mineur est constitué par le lit ordinaire du cours d'eau, pour le débit d'étiage ou pour les crues fréquentes (crues annuelles).

Le lit majeur

Le lit majeur comprend les zones basses situées de part et d'autre du lit mineur, sur une distance qui va de quelques mètres à plusieurs kilomètres. Sa limite est celle des crues exceptionnelles.

Figure I.4 *Le lit mineur**Le lit moyen**Le lit majeur*

On distingue deux types de zones :

- **Les zones d'écoulement**, au voisinage du lit mineur ou des chenaux de crues, où le courant a une forte vitesse ;
- **Les zones d'expansion** de crues ou de stockage des eaux, où la vitesse est faible. Ce stockage est fondamental, car il permet le laminage de la crue, c'est-à-dire la réduction du débit et de la vitesse de montée des eaux à l'aval.

Le lit moyen

Sous certains climats, notamment méditerranéens, il peut être identifié un lit moyen. Pour les crues de période de retour de 1 à 10 ans, l'inondation submerge les terres bordant la rivière et s'étend dans le lit moyen. Il correspond à l'espace fluvial ordinairement occupé par la *ripisylve*, sur lequel s'écoulent les crues moyennes. (<http://www.irma-grenoble.com/>)

I.2 Le processus de formation des crues

Comprendre ce processus revient à analyser les différents facteurs concourant à la formation et à l'augmentation temporaire des débits d'un cours d'eau. En simplifiant, on distingue :

- **L'eau mobilisable**, constituée de l'eau reçue par le bassin versant ;
- **Le ruissellement**, qui correspond à la part de l'eau qui n'a pu s'infiltrer dans le sol. Il dépend de la nature du sol, de son occupation de surface et de l'intensité de l'épisode pluvieux ;
- **Le temps de concentration**, qui est défini par la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau partant du point le plus éloigné de l'exutoire du bassin versant parvienne jusqu'à celui-ci ;
- **La propagation de l'onde de crue**, qui est fonction de la structure du lit et de la vallée alluviale, notamment de la pente et des caractéristiques du champ d'inondation.

I.3 L'influence des facteurs naturels

De nombreux paramètres influencent l'apparition d'une crue. Tout d'abord la quantité et surtout la répartition spatiale et temporelle des pluies, par rapport au bassin versant, sont déterminantes. Il peut s'agir de pluies répétées et prolongées de régime océanique (celles affectant par exemple les grands bassins de la Loire ou de la Seine) ou d'averses intenses de courte durée, qui touchent de petits bassins versants. (<http://www.irma-grenoble.com/>)

La nature et l'occupation du sol dictent l'évaporation et la consommation d'eau par les plantes. L'absorption d'eau par le sol, l'infiltration dans le sous-sol ou le ruissellement influencent fortement le temps de concentration des eaux. Enfin, la topographie du lit, la pente et la forme du bassin versant jouent également. Ainsi, pour une même quantité de pluie, une crue apparaîtra ou non.

À Ces paramètres s'ajoutent des facteurs naturels aggravants, comme la formation et la rupture d'embâcles ou la fonte des neiges. Les matériaux flottants transportés par le courant peuvent en effet s'accumuler en amont des passages étroits. La rupture éventuelle de ces embâcles provoque une onde puissante et destructrice en aval. Concernant la fonte des neiges, il est rare en France que des crues importantes soient provoquées uniquement par ce phénomène, même s'il demeure un facteur aggravant.

II L'ALÉA INONDATION

Quatre paramètres principaux sont nécessaires pour qualifier l'aléa inondation.

II.1 La période de retour de crues

On associe souvent à la notion de crue la notion de période de retour (crue décennale, centennale, millénaire, etc.) : plus cette période est grande, plus les débits et l'intensité sont importants. (<http://www.prim.net>)

On distingue par ordre croissant :

Les crues fréquentes, dont la période de retour est comprise entre un et deux ans ;

Les crues moyennes, dont la période de retour est comprise entre dix et vingt ans ;

Les crues exceptionnelles, dont la période de retour est de l'ordre de cent ans ;

La crue maximale vraisemblable, qui occupe l'intégralité du lit majeur.

Les événements les plus souvent représentés sur la carte d'aléa sont la crue décennale (Q10) et la crue centennale (Q100).

L'aléa de référence servant de base à l'élaboration des documents réglementaires correspond à l'*événement centennal* ou au plus fort événement connu, s'il présente une fréquence supérieure à cent ans. (<http://www.prim.net>)

II.2 La hauteur et la durée de submersion

La hauteur de submersion peut avoir un impact important sur le bâti, notamment lorsqu'elle dépasse la cote de référence. La structure porteuse de l'habitation peut être endommagée et les sols et murs gorgés d'eau. (<http://www.prim.net>)

Lorsque la durée de submersion est importante (supérieure à 24 h voire 48 h), des problèmes sanitaires peuvent survenir, l'eau étant souvent sale, contaminée par les égouts ou parfois le mazout échappé des cuves. (<http://www.prim.net>)

Pour l'homme, on considère généralement que des hauteurs d'eau supérieures à 50 cm sont dangereuses. À titre d'exemple, une voiture commence à flotter à partir de 30 cm d'eau. (<http://www.prim.net>)

II.3 La vitesse du courant

La vitesse d'écoulement est conditionnée par la pente du lit et sa rugosité. Elle peut atteindre plusieurs mètres par seconde. La dangerosité de l'écoulement dépend du couple hauteur / vitesse. (<http://www.prim.net>)

À titre d'exemple, à partir de 0,50 m / s, la vitesse du courant devient dangereuse pour l'homme, avec un risque d'être emporté par le cours d'eau ou d'être blessé par des objets charriés à vive allure. (<http://www.prim.net>)

II.4 Le volume de matière transportée

Ce volume est communément appelé « *transport solide* ». Il s'agit de matériaux (argiles, limons, sables, graviers, galets, blocs, etc.) se trouvant dans les cours d'eau, et dont le transport peut s'effectuer soit par suspension dans l'eau, soit par déplacement sur le fond du lit, du fait des forces liées au courant. (<http://www.prim.net>)

Le terme de transport solide ne comprend pas le ransport des flottants (bois morts...).

Chacun des trois derniers paramètres a plus ou moins d'importance selon les caractéristiques morpho dynamiques de la rivière. Par exemple, l'aléa inondation d'une rivière, dont la pente en long est faible (inférieure à 0,1 %) sera surtout caractérisé par la hauteur et la durée de submersion. L'aléa inondation d'une rivière torrentielle sera essentiellement caractérisé par une vitesse du courant élevé et un fort transport solide. (<http://www.prim.net>)

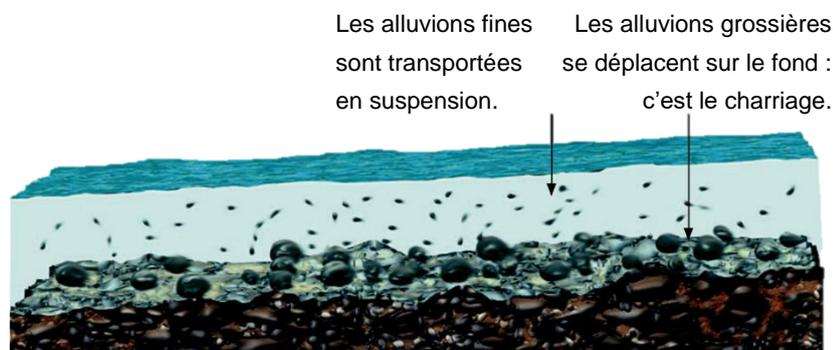


Figure II:1 Le transport solide

III LE RISQUE INONDATION

L'influence des facteurs anthropiques

Les facteurs anthropiques constituent des **facteurs aggravants** et ont un rôle fondamental dans la formation et l'augmentation des débits des cours d'eau. (<http://www.prim.net>)

L'urbanisation et l'implantation d'activités dans les zones inondables

Elles constituent la première cause d'aggravation du phénomène. En parallèle, l'augmentation du niveau de vie et le développement des réseaux d'infrastructures ont accru dans des proportions notables la valeur globale des biens et la fragilité des activités exposées (vulnérabilité). (<http://www.prim.net>)

La diminution des champs d'expansion des crues

Consécutives à l'urbanisation et parfois aggravées par l'édification de digues ou de remblais, elle a pour conséquence une réduction de l'effet naturel d'écrêtement des crues, bénéfique aux secteurs habités en aval des cours d'eau. (<http://www.prim.net>)

L'aménagement parfois hasardeux des cours d'eau

Beaucoup de rivières ont été modifiées localement sans se soucier des conséquences en amont ou en aval. Ces aménagements (suppression de méandres, endiguement, ec.) peuvent avoir pour conséquences préjudiciables l'accélération de crues en aval et l'altération du milieu naturel. (<http://www.prim.net>)

La défaillance des dispositifs de protection

Le rôle des dispositifs de protection (digues, déversoirs) peut être limité. Leur mauvaise utilisation et leur manque d'entretien peuvent parfois exposer davantage la plaine alluviale que si elle n'était pas protégée. (<http://www.prim.net>)

L'utilisation ou l'occupation des sols sur les pentes des bassins versants

Toute modification de l'occupation du sol (déboisement, suppression des haies, pratiques agricoles, imperméabilisation) empêchant le laminage des crues et la pénétration des eaux, favorise une augmentation du ruissellement, un écoulement plus rapide et une concentration des eaux (<http://www.prim.net>)

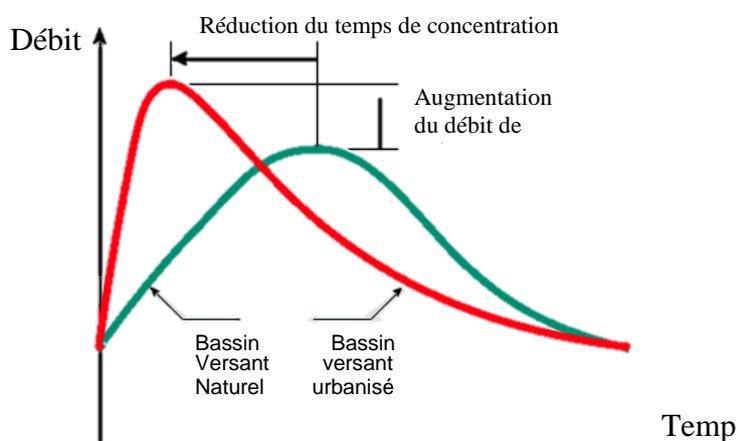


Figure III:1 Hydrogramme de crue

III.1 Les atteintes aux hommes, aux biens et aux activités

La vulnérabilité de la population est provoquée en particulier par sa localisation en zone inondable. Sa mise en danger survient surtout lorsque les délais d'alerte et d'évacuation sont trop courts ou inexistants, lors des crues rapides ou torrentielles. (<http://www.prim.net>)

Le danger se traduit par le risque d'être emporté ou noyé, ainsi que par l'isolement sur des îlots coupés de tout accès. Lors des inondations du Sud-Est des dix dernières années, plus du tiers des victimes étaient des automobilistes surpris par la crue. (<http://www.prim.net>)

L'interruption des communications peut gêner, voire empêcher l'intervention des secours. Par ailleurs, on estime que les dommages indirects (perte d'activité, chômage technique, etc.) sont souvent plus importants que les dommages directs occasionnés aux biens mobiliers et immobiliers (<http://www.prim.net>)

III.2 Les atteintes à l'environnement

Les dégâts au milieu naturel sont dus à l'érosion, aux déplacements du lit ordinaire, aux dépôts de matériaux, etc. Les phénomènes d'érosion, de charriage, de suspension de matériaux et d'alluvionnement participent à l'évolution du milieu naturel dans ces aspects positifs comme négatifs. (<http://www.prim.net>)

Pour les zones industrielles situées en zone inondable, un risque de pollution et d'accident technologique est à prendre en compte. (<http://www.prim.net>)

IV Les inondations en Algérie

L'Algérie connaît épisodiquement des phénomènes de crues et d'inondations qui se manifestent de façon catastrophique constituant ainsi une contrainte pour les activités et une entrave pour le développement économique et social. (S, 2004)

Plusieurs régions de notre pays sont régulièrement menacées par ces catastrophes naturelles dont les impacts sont souvent intensifiés par d'autres facteurs qui aggravent les effets de crues tels que : l'urbanisation anarchique par l'occupation des zones inondables et la défaillance des réseaux d'eaux pluviales. Par conséquent, des inondations dramatiques ne sont pas toujours liées à des situations météorologiques exceptionnelles, mais dans beaucoup de cas, elles surviennent lors d'événements pluvieux ordinaires et saisonniers. (S, 2004)

La réduction des dommages causés par des catastrophes nécessite en premier lieu une connaissance des régions sujettes à ce risque ainsi qu'une identification des facteurs favorisant et amplifiant ces phénomènes. L'élaboration d'une carte de zones inondables serait un outil précieux pour les décideurs et les planificateurs dans la définition d'une stratégie de lutte et de Prévention contre les inondations. (S, 2004)

Dans cette optique, l'ANRH a effectué un inventaire exhaustif des inondations Survenues en Algérie durant ces quarante dernières années. Cet inventaire différencie les Inondations causées par des pluies exceptionnelles généralisées affectant plusieurs wilayas à L'exemple des inondations catastrophiques de mars 1973 et décembre 1984 sur tout l'Est Algérien, et d'autre part les inondations dues à des orages locaux, de forte intensité et Affectant surtout certaines agglomérations et villes rendues plus vulnérables par la Prolifération des constructions anarchiques. (S, 2004)

IV.1 CAUSES ET TYPES DES CRUES CATASTROPHIQUES EN ALGERIE

Les précipitations caractérisées, en Algérie, par une très forte irrégularité tant interannuelle que saisonnière entraînent des étiages extrêmement sévères des cours d'eau et inversement des fortes crues et des inondations engendrant des dégâts humains et matériels considérables. La genèse des fortes crues et leurs impacts sur l'environnement et les activités différentes d'une région à une autre en fonction des conditions géographiques, climatiques et d'occupation des sols qui les caractérisent. (M, 2004)

Bien que la cause fondamentale de la plupart des inondations soit l'arrivée d'importantes chutes de pluie, cependant, elles ne sont pas toutes dues à des phénomènes exceptionnels. En bien des occasions, d'autres facteurs agissent, soit pour aggraver les effets d'une crue, soit pour créer eux-mêmes des phénomènes hydrauliques dans les surfaces de l'eau tels que la présence des détritiques et des troncs d'arbres qui réduisent la capacité du lit de l'oued. D'une manière générale, les causes des inondations survenues en Algérie peuvent être classées en trois types :

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

Les inondations provoquées par des facteurs liés à l'effet de l'homme: la défaillance des réseaux d'assainissement et de collecte des eaux pluviales, le gonflement des oueds par les décombres et les détritiques et d'autres agissements humains qui favorisent des dégâts lors des averses saisonnières; les cas de la ville de Tiaret inondée presque à chaque hiver et la plaine de Mزاب ou des inondations se produisent tous les 02 à 03 ans illustrent parfaitement l'influence de ces facteurs dans l'apparition du phénomène d'inondation. (M, 2004)

Les inondations produites dans des régions présentant un environnement topographique défavorable comme le cas des villes traversées par des oueds (Bordj Bou Arréridj, Oued R'hiau, Sidi Bel Abbés) ou situées au pied d'une montagne (Ain Defla, Batna, Medea).

Ces agglomérations à forte concentration des populations et sous l'effet d'une urbanisation anarchique et non réglementée présentent des grands risques, des pertes humaines et des destructions de constructions sont enregistrés à chaque inondation aussi légère qu'elle soit. (M, 2004)

Ces inondations selon les caractéristiques des crues, leurs durées et leurs étendues sont de deux types :

Les inondations engendrées par des crues torrentielles appelées aussi : crues éclair et affectant les petits bassins versants de quelques dizaines de Km² et sont le plus souvent liées à des chutes de pluies isolées et localement intenses issues de phénomènes de convection sous forme de tempêtes orageuses se produisant généralement en automne et été.

Les crues de ce type sont particulièrement dangereuses en raison de la soudaineté et de la rapidité avec lesquelles elles se produisent, les ruissellements extrêmement rapides et violents peuvent intervenir moins d'une heure après la pluie et les débits des oueds passent de quelques m³/s à plusieurs milliers de m³/s en 02 ou 03 heures seulement. L'inondation de la ville de

Oued R'hiou (le 20 octobre 1993) ou 20 minutes de pluies ont fait : 23 morts, 20 blessés et plusieurs disparus est l'exemple parfait de ce type de crues. (M, 2004)

Les inondations des grands bassins versants ; elles résultent le plus souvent des précipitations importantes généralisées sur des grandes étendues et caractérisées par leur quantité et leur durée qui peut atteindre 10 à 15 jours. Ces crues sont massives, lentes et à évolution facilement prévisibles sauf lorsqu'elles sont brutalement aggravées par des affluents aval plus courts et plus rapides. (M, 2004)

Le tableau suivant présent, par wilaya, le nombre de constructions en zones inondables, il fournit une idée de la gravité de la situation que peut générer le double phénomène des inondations et de l'urbanisation (l'année 2008). (M, 2004)

V LES ACTIONS DE PRÉVENTION ET DE SECOURS

V.1 L'évaluation du risque inondation en Algérie

Dans le cadre des études d'élaboration de la future stratégie nationale de lutte contre les inondations conduites par le ministère de la Ressource en eau, une évaluation des risques d'inondations en Algérie a été effectuée en 2014-2017 avec l'appui d'un consortium européen. Cette phase d'investigation et d'analyse des données existantes a permis d'atteindre un bon niveau de connaissance de l'origine et de la nature des inondations et d'identifier, pour l'ensemble du pays, 689 sites à risque qui ont été classés suivant leur niveau d'exposition. La méthodologie utilisée s'est basée sur la vulnérabilité de chacune des zones à risque, à travers l'analyse des dommages constatés lors d'évènements passés et de l'ensemble des études et documents disponibles sur ces territoires à risque. A été également pris en considération, la fréquence des évènements de ces dernières années. Ces sites ont été classifiés selon différents critères et suivant leur niveau de risque (cf. carte ci-dessous). Une visite de terrain a par ailleurs été effectuée sur 50 sites sélectionnés. Cette évaluation préliminaire montre que les principaux risques d'inondation sont situés dans le nord du pays où est concentrée une grande partie de la population et de l'activité économique : ils trouvent pour l'essentiel leur origine dans les crues d'oued et le ruissellement urbain, ces caractéristiques spécifiques étant très importantes à considérer pour la mise en œuvre opérationnelle de la gestion des risques d'inondation en Algérie. (méthodologique)

Les facteurs aggravants sont la sous-estimation de ces risques dans les Plans directeurs d'aménagement et d'urbanisme (PDAU), une gestion souvent improvisée de la crise, des ouvrages hydrauliques existants à adapter, l'urbanisation des bassins versants, un entretien insuffisant des cours d'eau et le non-respect de règles d'urbanisme et de construction. Ce travail préliminaire à l'échelle du pays constitue une bonne pratique, et un préalable indispensable à la mise en œuvre d'une politique publique nationale de gestion du risque d'inondation en Algérie. Il convient maintenant d'affiner progressivement cette évaluation sur les 689 sites identifiés, en commençant par les 85 territoires à risque élevé ou très élevé (notamment ceux pour lesquels une inondation pourrait entraîner en plus un risque technologique). On relèvera également que 58 % des zones à risque sont impactées par des crues d'oued. Cette évaluation plus précise s'appuiera sur une cartographie détaillée et devra être effectuée sous forme d'un

diagnostic territorial partagé à l'échelle locale entre les différentes parties prenantes (la démarche pilote engagée dans le cadre du programme CapDel constitue une bonne pratique en la matière qui pourrait utilement être renouvelée). (méthodologique)

V.2 Planification de la gestion du risque d'inondation en Algérie

Suivant les éléments présentés par les services du MRE, une stratégie à l'horizon 2030 ainsi qu'un plan d'action à exécuter sur trois quinquennats successifs sont actuellement en cours de finalisation. Ces derniers sont basés sur une étude préalable incluant une évaluation préliminaire du risque sur le territoire national.

Cette stratégie a pour priorités la mise en sécurité des populations à risque, la réduction des dommages, la maîtrise des coûts d'investissement et d'entretien et la réduction des délais de retour à la normale.

Elle est déclinée suivant quatre grands axes stratégiques et 19 objectifs :

1. L'amélioration de la connaissance des risques pour :
 - Améliorer l'acquisition des données
 - Accéder aux données
 - Développer des méthodes et des outils d'analyse du territoire
 - Cartographier les aléas, les vulnérabilités et les risques
 - Former les cadres techniques
2. Une réorientation des actions en faveur de mesures non structurelles :
 - Limiter l'exposition humaine par la prévision des crues, l'alerte en temps réel, la planification et une coordination efficace de la gestion de crise
 - Augmenter la résilience par l'adaptation des pratiques et des comportements, le retour rapide à une activité normale et la sensibilisation des populations
3. La réduction de la vulnérabilité :
 - Favoriser les bonnes pratiques de gestion et de construction
 - Analyser l'efficacité et favoriser la reconstruction
 - Surveiller et entretenir
 - Atténuer l'impact des inondations par une gestion intégrée du bassin versant
4. L'aménagement durable des territoires :
 - Échanger l'information et la connaissance
 - Faciliter une planification participative
 - Faciliter la coordination efficace des actions

V.3 Préparation aux catastrophes et plans d'urgence

V.3.1 L'élaboration des plans

La loi 04-20 constitue la nouvelle base de la politique menée par l'Algérie dans ce domaine. Elle précise les dix risques majeurs pris en charge¹⁴. Elle précise également les principes de la prévention des risques majeurs, les dispositifs de sécurisation stratégiques et les modalités de la gestion des catastrophes (planification des secours et des interventions avec la déclinaison des 5 différents niveaux des plans ORSEC, définition des mesures structurelles pour la prise en charge des catastrophes). Le plan ORSEC, tel que prévu, comporte 3 phases : urgence, évaluation/contrôle, réhabilitation/reconstruction (méthodologique)

La loi prévoit la publication de textes réglementaires (décrets, arrêtés) devant la rendre applicable. Si le cadre général dessiné par cette loi semble cohérent et répondre aux besoins, on peut souligner les délais particulièrement longs de publication des textes d'application ce qui rend la base juridique et institutionnelle insuffisante et incomplète. Ainsi le décret exécutif, fixant les modalités d'élaboration et de gestion des plans d'organisation des secours, a été publié près de 15 ans après la publication de la loi (décret exécutif n°19-59 du 2 février 2019). Le début de rédaction des plans ORSEC tels que prévus ne pourra par ailleurs être effectif qu'après la publication de guides méthodologiques standardisés au niveau national. Actuellement, dans l'attente de la publication du guide sur les modalités d'élaboration des plans ORSEC (art. 13 du décret n° 19-59), l'organisation de la phase de gestion de risque repose sur le décret n° 85-231 de 1985. Le décret « ORSEC » prévoit également la mise en place de modules d'intervention dont la composition reste, à priori, à préciser ainsi que les autorités de direction et de commandement. Le décret exécutif n° 11-194 du 22 mai 2011 précise les missions, l'organisation et le fonctionnement de la Délégation nationale aux risques majeurs. Cette entité doit permettre de faciliter et d'animer le travail de manière intersectorielle. La loi prévoit une planification des secours pour la prise en charge des catastrophes (plans ORSEC) et une planification des interventions particulières pour chaque aléa ou chaque risque majeur identifié, particulièrement en matière de pollution atmosphérique, tellurique, marine ou hydrique. Les plans ORSEC sont développés au niveau national, inter-wilayas, wilaya, communal et pour les sites sensibles. Le plan national est fait de l'ensemble des plans des wilayas du territoire national et le plan inter-wilaya est fait par les plans des wilayas voisines qui sont concernées par le même risque de catastrophe. Les plans ORSEC de la wilaya et de la commune sont réalisés sur la base des connaissances des risques qui existent sur le territoire de la wilaya ou de la commune ; ils recensent les personnels dotés de l'autorité nécessaire à sa mise en œuvre et déterminent les procédures d'alerte et de cheminement des informations. Le décret exécutif n° 19-59 du 2 février 2019 établit que « le plan ORSEC national est mis en état d'alerte, par le Ministre en charge de l'Intérieur lorsqu'au moins, un plan ORSEC inter-wilaya ou plusieurs plans ORSEC de wilayas sont déclenchés. Il est déclenché par le ministre en charge de l'Intérieur, lorsque :

- La catastrophe touche simultanément plusieurs wilayas ;
- Les ressources engagées d'un plan ORSEC inter-wilayas ou plusieurs plans ORSEC de wilayas, s'avèrent insuffisantes pour prendre en charge les effets liés à la catastrophe
- La catastrophe est d'envergure nationale et nécessite la mobilisation de moyens spécifiques complémentaires. »

V.3.2 La mise en œuvre de la réponse à l'urgence

La direction des opérations de secours, lors du déclenchement du plan ORSEC national est assuré au niveau central par le Ministre de l'Intérieur ou son représentant. Le décret exécutif n° 19-59 du 2 février 2019 a établi sous l'autorité du ministre chargé de l'Intérieur, un comité interministériel de gestion de catastrophe dénommé « CIGEC » dont la composition et le fonctionnement devraient être définis par arrêté du ministre. Le CIGEC a pour mission d'évaluer les situations de catastrophe, en coordination avec les Walis concernés et de proposer les mesures nécessaires pour y faire face pendant les différentes phases. La structure au niveau ministériel est complétée par une cellule de veille chargée de la prévision et de l'anticipation de toute menace de catastrophe qui est instituée au niveau des départements ministériels

représentés au CIGEC. Au niveau local une cellule de veille et de suivi, présidée par le Wali, est instituée dans chaque Wilaya et composée des représentants locaux des services de sécurité, de la protection civile, des transports, des travaux publics, de l'hydraulique, de la santé, de l'habitat et de l'environnement. Sur la base du décret exécutif n° 19-59, la direction des opérations de secours au niveau inter-wilayas est faite par le ministre chargé de l'Intérieur ou par l'un des Walis concernés par la catastrophe. La direction des opérations de secours au niveau de la wilaya est assurée par le Wali ou son représentant à partir d'un poste de commandement fixe (PCF). Enfin, la direction au niveau de la commune est assurée par le Président de l'assemblée populaire communale ou son représentant à partir d'un poste de commandement fixe. La gestion de catastrophes au niveau local n'a pas non plus pu être appréciée, vu l'impossibilité de faire des visites au niveau des wilayas, ou des communes dans le court délai de la mission sur place. La revue sur cette partie reste donc essentiellement basée sur les textes législatifs ou réglementaires disponibles. En ce qui concerne l'activation de la réponse aux catastrophes au niveau local, les entretiens conduits ont mis en évidence que, par exemple, lorsqu'un bulletin météo indique une situation à risque (BMS – bulletin météo spécial), la wilaya se prépare et met en place une cellule de veille présidée par le Wali. La wilaya informe la daïra et la commune qui mettent en place une cellule de veille et de suivi ; la commune informe la population (essentiellement via la radio) et, en cas d'évènement, le plan ORSEC est déclenché en fonction de différents facteurs tels que le caractère exceptionnel du risque, la durée de l'évènement, la préparation et les caractéristiques de la région. Dans le cas d'aggravation de l'évènement ou de sinistre particulièrement grave, le déclenchement se fait au niveau national y compris, parfois, l'appel à l'assistance internationale.

La loi 04-20 prévoit également :

La possibilité d'établir des réquisitions de tous moyens humains et matériels nécessaires par l'État ;

Les fonctions de direction et de commandement des opérations de secours sont clairement définies selon le niveau du plan ORSEC activé.

Des différents échanges, il apparaît que, face à une situation d'urgence ou de catastrophe, les acteurs de terrains se mobilisent rapidement et mettent en œuvre des réponses de proximité, mais pas toujours dans un cadre structuré et formalisé. Plus de préparation, de formation et de prévision, devant permettre de faire face à une situation de crise ou une catastrophe, seraient nécessaires.

Ce constat et ces pratiques sont certainement liés, entre autres, à la lenteur de publication des textes réglementaires d'application et ensuite à leur mise en œuvre pratique.

V.4 Les parties prenantes

V.4.1 Le rôle central de la Direction générale de la protection civile

Avec la DGPC, l'Algérie dispose d'une structure nationale et homogène, en mesure de dispenser des secours de bonne qualité sur l'ensemble du territoire, et garante d'une unicité d'analyse et de réponse tant technique qu'opérationnelle.

Grâce au Centre national de coordination (CENAC), la DGPC dispose d'un outil permettant d'avoir une vision centrale sur les moyens opérationnels au sein de l'État-major. La mise en place prochaine (dont la date reste à préciser) d'un système informatisé et partagé entre l'ensemble des structures opérationnelles de la DGPC et piloté à partir du Centre national de coordination (CENAC) devrait de façon significative améliorer la qualité de la réponse opérationnelle. (méthodologique)

Les cadres de la DGPC rencontrés au cours de la mission, ont démontré des compétences certaines (bien formés, motivés par leurs missions) avec un bagage universitaire. Ils disposent d'une véritable expertise dans leur domaine. (méthodologique)

V.4.2 La coopération entre civils et militaires

Enfin, il faut souligner que la participation de l'Armée nationale populaire (ANP) à la protection et aux secours des populations est prévue par la loi 04-20, en conformité avec la loi n° 91-23. L'ANP est appelé à intervenir en cas d'extrême urgence, lorsque la vie de la population est menacée d'un danger imminent ou si les moyens ou formations appropriés pour le type d'intervention de sauvetage et de secours d'extrême urgence font défaut sur la circonscription de la wilaya. Dans les autres cas, la décision sur l'emploi de l'Armée pour les opérations de secours relève du Chef de Gouvernement, après consultation des autorités civiles et militaires concernées (Ministre de l'Intérieur, Ministre de la Défense et Chef d'Étatmajor). Si l'Armée est engagée, son action s'effectue sous la responsabilité et le contrôle de l'autorité civile compétente (Wali ou Ministre de l'Intérieur, selon l'échelle de l'opération). Les documents légaux pertinents qui règlent cette coopération sont les suivants :

- Loi n°91-23 du 06 décembre 1991 consacrant la participation de l'ANP à la protection et aux secours des populations ;
- Décret n°91-488 du 21 décembre 1991 pris en application de la loi suscitée;
- Arrêté n°492 du 21 août 2005 portant sur les modalités d'intervention de l'ANP en cas de catastrophe ;
- Instruction n°154 du 13 juin 2007 relative aux plans d'urgence de l'ANP.

Les unités de l'ANP peuvent être mises en œuvre sur décision du Chef du Gouvernement après consultation préalable des autorités civiles et militaires compétentes pour répondre à des impératifs : de protection et de secours aux populations ; de sûreté nationale et de maintien de l'ordre (méthodologique)

Les unités et formations de l'ANP peuvent être engagées entre autres :

- En cas de calamité publique, de catastrophe naturelle ou de sinistre de gravité exceptionnelle
- En raison ou en prévision de risques graves encourus par la sécurité des personnes et des biens

- En cas de péril imminent pour la survie des populations, le Wali saisit l'autorité militaire territorialement compétente pour pourvoir aux mesures et secours de première urgence.

L'ANP dispose de ressources matérielles qui lui permettent de compléter les dispositifs civils (existence de modules dont la mission n'a pas le détail). Les moyens aériens et de santé sont régulièrement mis à contribution à la demande du ministère de la Santé pour réaliser des évacuations sanitaires. (méthodologique)

V.5 Les systèmes d'alerte précoce

V.5.1 Les systèmes d'alerte précoce en vigueur

La loi n°04-20 prévoit un système national de veille et un système national d'alerte structurés au niveau national, local et par site (art. 17), dont la composition, la gestion et les modalités de déclenchement sont détaillées par règlements. Le défi dans ce cas est de rendre ce système plus efficace en intégrant les informations disponibles pour de nombreux aléas existants et acteurs concernés mais qui ne sont pas systématiquement diffusées à travers des réseaux, et des systèmes d'échanges d'informations. Il s'agit donc ici de développer le maximum de banques de données concernant les différents aléas et d'organiser la diffusion de leur contenu à travers des réseaux et systèmes adaptés, conformément à la législation en vigueur, aussi pour mieux assurer la dimension multi-alea. (méthodologique)

À ce propos, l'évaluation, par l'Agence nationale des barrages, des transferts de l'impact en temps réel des séismes sur les barrages, constitue une bonne pratique assurant le lien entre risque naturel et risque technologique et permettant d'estimer dans les meilleurs délais les risques éventuels pour les ouvrages et de prendre des mesures adaptées pour la sécurité des riverains à l'aval. (méthodologique)

En dehors des BMS de la Météorologie nationale, qui peuvent donner une information qualitative à des prévisionnistes expérimentés et déclencher une vigilance, aucun système de prévision des crues et d'alerte précoce ne permet encore aujourd'hui d'anticiper la survenue d'inondations majeures en Algérie, ce même si, à la date de rédaction du présent rapport, des systèmes locaux sont en cours de développement et d'installation. Développer de tels systèmes en priorité dans les zones déjà urbanisées et à fort ruissellement situé dans les lits d'oued, constitue donc une urgence de sécurité publique. L'exemple de vigicrues en France a notamment été mentionné par Météo Algérie. (méthodologique)

Il faut garder à l'esprit qu' « un oued retrouve toujours son chemin » (parole recueillie par un pair auprès d'une personne auditionnée pendant la mission).

Ce système pourra ensuite être consolidé et étendu progressivement à l'ensemble du territoire national.

Une coopération entre villes algériennes et villes du sud de l'Europe pourrait être encouragée sur ces thématiques techniques particulières

V.5.2 La formation et les exercices

La réalisation d'exercices visant à tester les différents plans ORSEC est prévue par le décret exécutif 19-59 du 2 février 2019 sous l'autorité investie de la direction des opérations. Cependant, il ne semble pas exister de cadre définissant leurs modalités de préparation et d'exécution, à partager par l'ensemble des acteurs appelés à y participer. Il ne semble pas que les personnes qui auront en charge la responsabilité de gérer des situations de crise ou des catastrophes suivent obligatoirement une formation adaptée à l'exercice de cette responsabilité. L'École nationale de la protection civile s'est dotée d'outils de simulation informatisés qui pourraient permettre une mise en condition et un entraînement des différents partenaires. De premières expériences informelles ont été menées. C'est un début, elles mériteraient d'être analysées et généralisées en ciblant le personnel devant les suivre. (méthodologique)

Conclusion

Une crue est, un niveau inhabituel observé dans un cours d'eau, qui peut causer des dommages importants dans les régions avoisinantes. Les crues varient spatialement et temporairement dans leur intensité et sont souvent caractérisées par leur débit de pointe et leur hydro gramme. Ces derniers sont dus à plusieurs facteurs. En premier lieu, la quantité, l'intensité et l'extension spatiale de l'averse génératrice. En deuxième lieu, les propriétés physio - graphiques tels que la taille, la forme, les pentes et l'orientation du bassin exerçant une large influence. En plus l'intervention humaine et les changements naturels des caractéristiques du bassin augmentant la complexité du problème.

Pour toutes ces raisons, le calcul des crues maximales a suscité de nombreuses recherches, le nombre de formules et de méthodes se compte par dizaines ou plus.

Les techniques utilisées pour la détermination des crues dépendent pour une grande part des données disponibles. Presque chaque problème qui se produit est unique, du aux variations des conditions et des données, qui fait que c'est la disponibilité des données plutôt que la nature des problèmes qui conditionnent la procédure. Il n'existe pas encore une unicité de calcul des crues.

Chapitre II
Etude Préliminaire et
Collecte des Données

Introduction

Le présent rapport, objet de la première phase, donne une synthèse des enquêtes et investigations effectuées sur terrains et regroupe toutes les données de base concernant la ville, le site, et collectées auprès des organismes suivants :

- Direction de l'Hydraulique de la Wilaya (DHW) d'Alger ;
- S/Division de l'Hydraulique de la commune de BIRTOUTA.
- A.P.C de la commune de BIRTOUTA.

I Présentation de la commune de BIRTOUTA

Situation géographique

La commune de BIRTOUTA est située dans la MITIDJA (36° 30' a 36° 39' N ; 3° 00' a 3° 03' E.) Centrale et elle sert de trait d'union entre les riches terres de la MITIDJA et les versants sud du sahel, entre deux grandes villes algéroises, plus précisément à **30 Km** de la capitale d'Alger et à **25 Km** de la wilaya de Blida. Elle occupe une superficie globale de son territoire est estimée à **2.800 hectares**.

Depuis le découpage administratif de 1997, la commune de BIRTOUTA est rattachée à la wilaya d'Alger et jouir du rôle de Chef-Lieu.

La commune est structurée de :

1. Un chef-lieu

2. Les agglomérations secondaires :

- Ali Bouhadja est située au sud du chef-lieu de commune, elle est constituée de l'habitat individuel s'étalant sur des terrains privés.
- Sidi M'Hamed est située à l'Est de la commune, elle est constituée d'habitats individuels et des équipements d'accompagnements.
- Douar Baba Ali est située au Sud Est de la commune, et constitué d'habitat individuel, et d'habitat collectif en voie d'achèvement.
- Zouine Ali, c'est une zone d'activité avec d'habitat individuel intégré, elle située à l'Est du chef-lieu.

3. La zone éparse :

Composée de petits hameaux éparpillés, localisés au niveau des terres agricoles, ces hameaux sont plus nombreux dans la partie Est et Ouest de la commune, parallèlement à l'autoroute (RN n°1).



Figure I: Image satellite de la zone d'étude – aout 2020

La commune de BIRTOUTA est délimitée par :

- Les communes de KHRAICIA, DOUERA et SHAOULA au Nord.
- La commune de SIDI MOUSSA à l'Est et Oued EL HARRACH.
- La commune d'OULED CHEBEL au Sud.
- La commune de TESSALA EL MARDJA à l'Ouest.

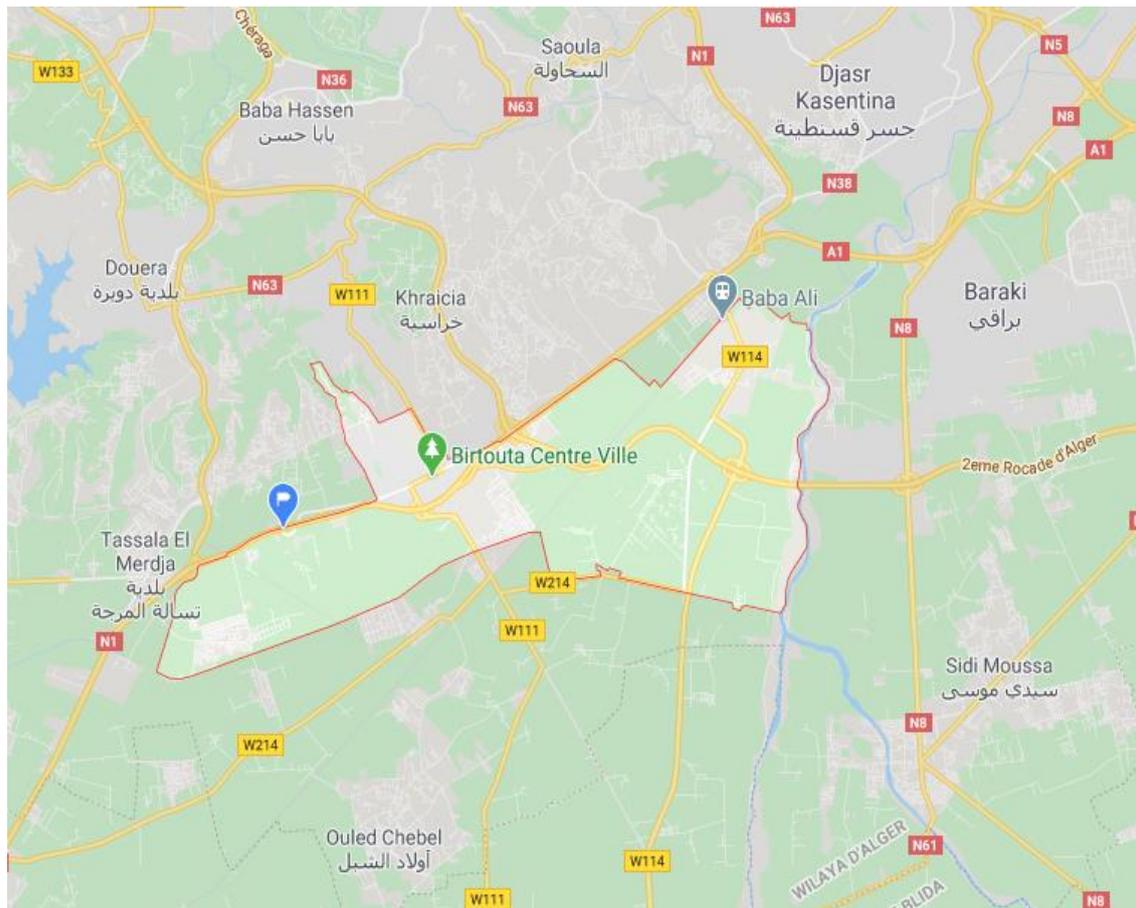


Figure I:2 situation géographique de la ville de Birtouta - google map 2020

I.1 ENVIRONNEMENT DE LA COMMUNE

La commune de BIRTOUTA, considérée comme un pôle d'importance régionale, renferme des activités industrielles assez diversifiées qui permettent d'identifier les différents problèmes liés à l'environnement. Détournée de sa vocation originelle le périmètre d'étude subit toutes les pressions anthropiques, à savoir :

I.1.1 La zone d'Activité de BABA-ALI :

Cette zone d'activité génère plusieurs formes de nuisances, telles que :

- Rejets liquides.
- Rejets solides.
- Rejets gazeux.

Elle est constituée d'entreprises (TRAMAPLAST, ANOLA, STP BERAKI, MINOTERIE, complexe de BRIQUETERIE, YOPLAIT, SOACHLORE, GIPE G), ainsi que d'autres activités du secteur privé.

I.1.2 La Décharge Sauvage :

Elle se trouve au niveau d'oued EL Haouch limitant le site SUD EST c'est le réceptacle de toute sorte de déchets (ordures ménagères, déchets inertes et gravats) provenant de la zone d'activité de BABA ALI et du reste de la commune.

I.1.3 Evaluation de la population

Notre enquête nous a mené auprès du l'O.N. S (Office National Des Statistiques) afin d'estimer la population, il nous a été communiqué le dernier recensement qui est du 16 Avril 2008 de la commune de BIRTOUTA pour une valeur de 30575 habitants avec un taux d'accroissement de 3.5% (APC)

L'étude que nous menons doit tenir compte de la répartition spatiale actuelle de la ville et des perspectives d'extension à un horizon d'étude de 25ans, à partir de 2020, et de référence 2008. Par application de la formule suivante :

$$P = P_0 (1 + t)^n$$

Avec :

P : Population future

P₀ : Population de l'année de référence

t : Taux d'accroissement

n : Nombre d'années compris dans l'intervalle de temps considéré

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau I-1 Evaluation de la population

Années	Population (hab.)			
	A.C. L	A. S	Z. E	Totale
2008	13647	13951	2977	30575
2020	14619	14945	3189	32753
2030	20622	21082	4499	46204
2045	34549	35320	7534	77408

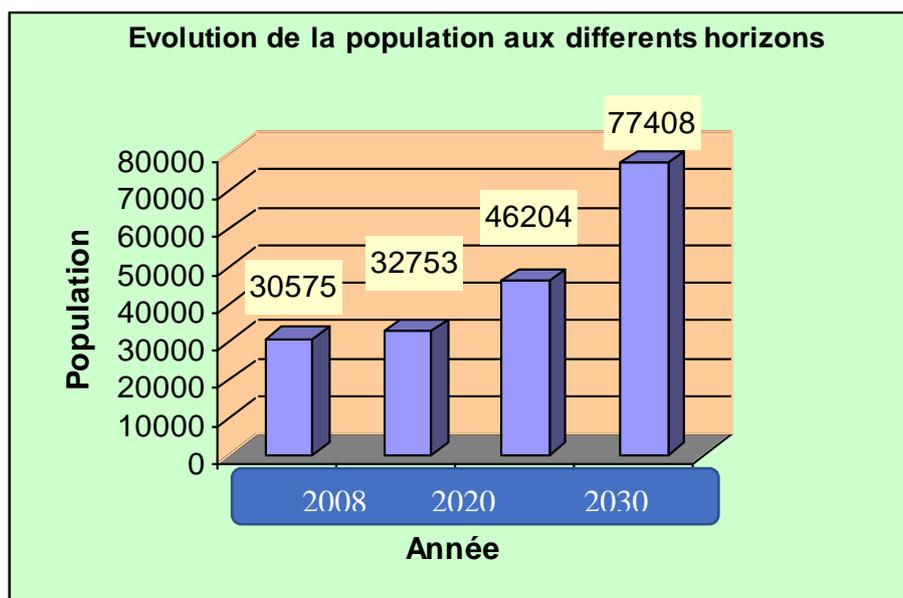


Figure I:3 Evaluation de la population

II Facteurs morphologiques

Les Facteurs morphologiques portent sur des aspects géologiques et pédologiques

II.1 La géologie de la région

La région de Birtouta se trouve à près de 40 m d'altitude à l'exception d'une petite partie septentrionale qui s'élève à 100 m. Il y a deux ensembles géologiques distincts, soit la zone des coteaux et la plaine. D'après le même auteur la zone des coteaux fait partie de sahel oriental, qui est un bloc positif ascendant, ayant subi un mouvement d'érection. Deux formations constituent les sols de cette zone, d'une part les alluvions caillouteuses et marnes jaunes intercalées de poudingues et d'autre part, des sables rouges plus ou moins rubéfiés. La partie qui fait partie de la Mitidja est une zone plane où des formations Flavio-lacustres se sont accumulées en alluvions récentes et en alluvions marécageuses. La superficie qui couvre les alluvions récentes est importante, correspondant aux trois quarts du site. Par contre, les alluvions marécageuses occupent très peu de sol. Elles sont inondées pendant l'hiver.

II.2 Pédologie de la région

La région de Birtouta est caractérisée par des sols peu évolués avec une dominance d'origine alluviale. Cependant une faible superficie qui se trouve au pied des pentes du sahel est d'origine colluviale. Ces sols sont développés sur des alluvions récentes à texture argilo-limoneuse. Par contre les sols sont limono-sableux au pied des pentes du sahel Hydrologie de la région (station de Boufarik)

La région de Birtouta est traversée par de nombreux petits oueds qui coulent depuis les collines du sahel, avant de trouver un exutoire dans la plaine (C.N.E.R.U., 2003). En particulier l'oued de Terro joue le rôle d'intermédiaire entre ces ruisseaux et trois oueds, ceux d'Oued El Harrach, oued Boumaaza et oued Ben Arch en plus de ces oueds, il existe des nappes phréatiques qui sont alimentées par les eaux d'infiltration provenant des oueds des pluies et des reliefs gorgés d'eau qui surplombent de la plaine.

III Facteurs climatiques

Le climat de Birtouta est de type méditerranéen subhumide à deux saisons : une saison froide et humide située généralement entre Septembre à Mai et une saison chaude et sèche qui va de juin à Août.

III.1 Température

Les relevés moyens mensuels des températures ont été enregistrés sur une période de 25 ans (1990 à 2018), par la station de Boufarik, le minima enregistré pendant une série de 25 ans varie entre 11°C et 12°C respectivement pour le mois de Janvier et Août. Le maximum enregistré sur la même série varie de 24 à 27°C au mois de Janvier et Août.

Tableau III-1 La température moyenne mensuelles de Birtouta ANRH-Alger (1990-2015).

Mois	Température C
Janvier	11.63
Février	11.8
Mars	14.47
Avril	17.00
Mai	20.12
Juin	24.16
Juillet	27.23
Aout	27.95
Septembre	24.71
Octobre	21.46
Novembre	16.34
Décembre	12.82

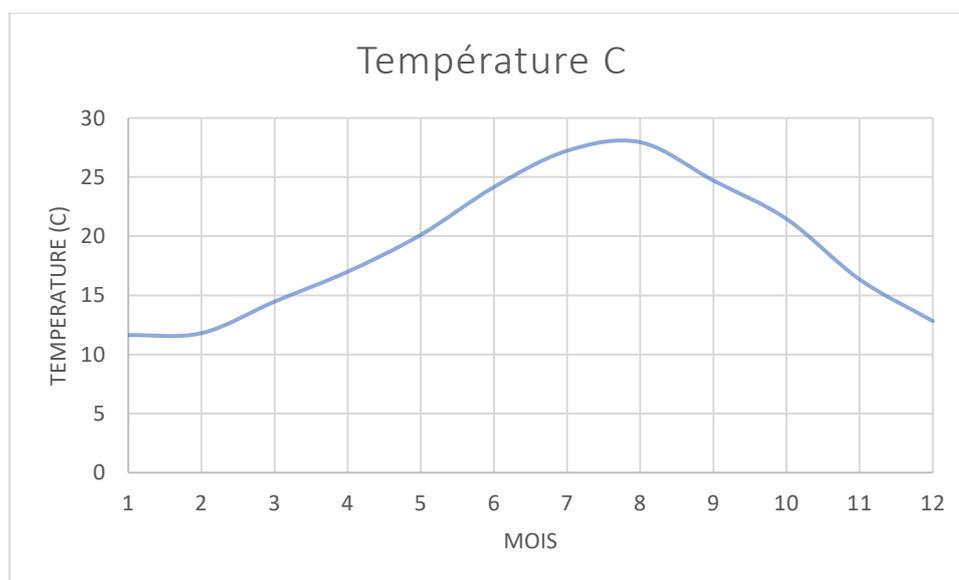


Figure III:1 Variation de la température annuelle

III.2 Précipitation

Les conditions climatiques sont dans l'ensemble favorables. La pluviométrie est généralement supérieure à 600 mm par an en moyenne. Elle est importante dans l'Atlas. Les précipitations atteignent leur apogée en Décembre, Février, mois qui donnent environ 30 à 40% des précipitations annuelles. Inversement, les mois d'été (juin, août) sont presque toujours secs.

Mois	Précipitation
Janvier	80.09
Février	80.29
Mars	51.52
Avril	51.4
Mai	37.27
Juin	7.78
Juillet	2.77
Aout	11.47
Septembre	23.78
Octobre	53.63
Novembre	80
Décembre	47.8

Tableau III-2 La pluie moyenne mensuelles de Birtouta ANRH-Alger (1990-2015).

III.3 Le vent

Les vents dominants dans le périmètre sont ceux qui soufflent de N.E et de l'ouest. Le maximum des forces de vents se situe au cours de l'hiver ; Le minimum se situe aux mois d'été. La vitesse moyenne annuelle des vents varie de 2,7 à 3 m/s, le maxima est de l'ordre de 4 m/s (Station Boufarik).

IV Etat des lieux

IV.1 Oued Ben Addèche

Oued Ben Addèche traverse le centre-ville de Birtouta, les eaux ruissellent à surface libre, puis s'évacuent dans une conduite Ø 800 à l'entrée de la ville.

À ce point, une inondation a eu lieu a cause de la construction d'un mur qui a empêché l'écoulement des eaux.

Par la suite les eaux sont canalisées en partie dans une conduite ovoïdale puis une conduite Ø 600.

Et déversent dans le regard de jonction avec une conduite Ø 1000. (APC)

IV.2 Oued Boumaaza

Oued Boumaaza ruisselle à ciel ouvert, par la suite les eaux sont évacuées dans le collecteur d'assainissement Ø 1000.

Deux autres collecteurs Ø 1000 vont acheminées les eaux vers le regard de jonction.

Après l'échangeur de l'autoroute RN1, les eaux sont collectées dans un canal en béton, puis canalisées dans une conduite Ø 1200 jusqu'à le déversoir d'orage

Le collecteur de sortie Ø 700 draine les eaux vers Oued Terro

IV.3 Oued Abdi

Oued Abdi se trouve à cheval entre Khraissia et Birtouta, l'écoulement est à ciel ouvert

L'Oued est en partie canalisé (2 Ø1000)

Cette région a connu une inondation d'oued Abdi suite à l'affouillement des berges et l'invasion de l'oued par la végétation et les déchets et aussi les constructions sur les berges de l'oued qui rendaient l'évacuation des eaux difficile

Le rejet des eaux usées se fait directement vers Oued Abdi, cela constitue une véritable nuisance pour les riverains.

IV.4 Oued Terro

Oued Terro traverse la commune d'Ouest à l'Est, il constitue le milieu récepteur des eaux usées et pluviales de l'agglomération chef-lieu de Birtouta et Ouled Chbel ainsi que les agglomérations secondaires

Oued Terro est partiellement aménagé en canal

IV.5 Oued Mezghani

Les rejets sont font à ciel ouvert dans Oued Mezghani qui traverse une partie de l'agglomération secondaire BABA ALI.

L'oued est envahi par la végétation, les berges sont invisibles surtout au niveau de la zone industrielle ou une partie est canalisé sans étude, de plus les constructions illicites sur les bords de l'oued

Les rejets émis par les activités industrielles sont déversés directement sans aucun traitement préliminaire.

IV.6 Oued Sidi M'hamed

Il se trouve à la limite entre les deux communes de BIRTOUTA et TASSALA EL MERDJA.

L'Oued reçoit les rejets d'une partie de l'agglomération de Sidi M'hamed qui vont être éliminés et assainis prochainement d'après les services de l'hydraulique.

L'écoulement est à ciel ouvert

CONCLUSION

Le réseau d'assainissement existant de la commune de BIRTOUTA est de type unitaire, les rejets se font vers le milieu naturel qui est Oued TERRO

Cependant, on propose de prolonger les collecteurs pour acheminer ces rejets vers un collecteur principal longeant oued TERRO et passant par des déversoirs d'orage en chaque point de rejet de ces agglomérations, ou le rejet final est vers un ouvrage de traitement afin de préserver et protéger la nappe phréatique

En général, le comblement partiel des oueds traversant la commune de BIRTOUTA par les matériaux charriés en période de crue, leur invasion par la végétation, les rendaient impropres à un drainage efficace vers l'oued TERRO

Chapitre III

Etude Hydrologique

Introduction

L'étude hydrologique est la première étape qui permet d'aboutir à une étude de protection contre les inondations.

Cette partie détaille les paramètres hydrologiques qui interviennent dans les projets de lutte contre les inondations.

L'étude hydrologique a pour but :

- Déterminer les paramètres morphologiques du bassin versant.
- L'étude des pluies maximales journalières.
- Déterminer les caractéristiques de la crue (débit maximal) pour différentes périodes de retour.

I Caractéristiques hydro-morphologiques :

I.1 Définition du bassin versant :

Le bassin versant en un point ou plus précisément dans une section droite d'un cours d'eau, est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de ladite section, tous les écoulements prenant naissance à l'intérieur de cette surface doivent traverser la section droite considérée pour poursuivre leur trajet vers l'aval.

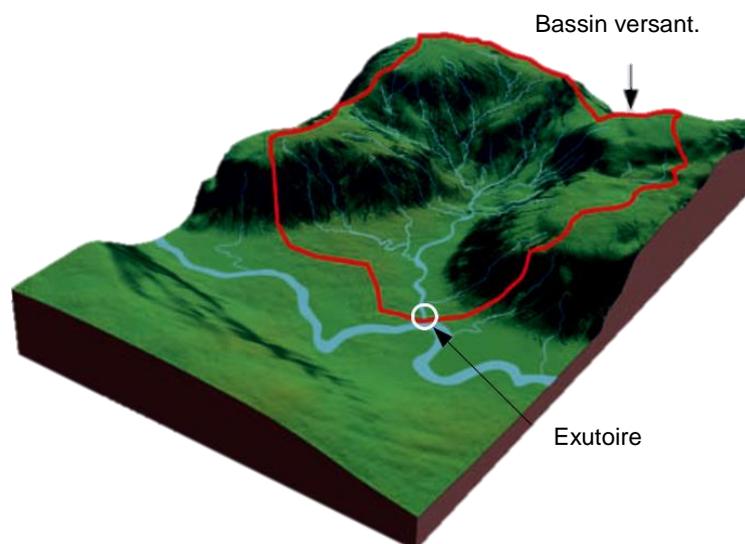


Figure I:1 Représentation d'un bassin versant

I.2 Caractéristique morpho métrique :

N.B : Les différentes caractéristiques de bassin versant sont calculées par le logiciel **ArcGIS 10.7** à partir d'un MNT de résolution 25 m capté par le satellite **ASTER GDEM 2**.

I.2.1 La surface :

C'est le paramètre le plus important du bassin parce qu'il permet de contrôler l'intensité de plusieurs phénomènes hydrologiques tels que le débit le volume de précipitations ou infiltration.

La surface du bassin versant est obtenue par le logiciel ArcGIS sur la carte topographique de BIRTOUTA échelle 1/25 000. Elle sera exprimée en « Km² ».

$$S = 2.14 \text{ Km}^2.$$

I.2.2 Le périmètre :

Le périmètre « p » correspond la limite extérieure du bassin versant, il est défini par les lignes de crêtes.

Le périmètre est obtenu par le logiciel ArcGIS exprimé en « Km ».

$$P = 8.05 \text{ Km}.$$

I.2.3 La longueur du cours d'eau principal :

C'est la longueur du cours d'eau le plus long dans le réseau hydrographique.

La longueur du cours d'eau principale est exprimée en « Km ».

$$L = 2.59 \text{ Km}.$$

I.2.4 Indice de compacité de Gravelius K_c

Appelé aussi indice de forme, il caractérise la forme du bassin versant exprime son allongement, il est défini comme le rapport entre le périmètre du bassin **P** et le périmètre du cercle de rayon **R** ayant la même superficie

$$K_c = \frac{P}{2\pi\sqrt{\frac{S}{P}}} \approx 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{S}}$$

I-1

Avec :

P : le périmètre.

S : surface.

Si $K_c = 1 \Rightarrow$ bassin ramassé.

$K_c > 1 \Rightarrow$ bassin allongé.

Dans notre cas on : **K_c = 1.54** Donc on est en présence d'un bassin versant de forme allongée

I.2.5 Facteur de forme R_f

Le facteur de forme est défini comme le rapport entre la superficie du bassin et le carré de la longueur du bassin. La valeur du facteur de forme serait toujours inférieure à 0,754 (pour un bassin versant parfaitement circulaire). Plus la valeur du facteur de forme est petite varie de 0.54, plus le bassin versant sera allongé

$$R_f = \frac{S}{L_p^2}$$

I-2

Avec,

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

S : Surface totale du bassin versant (Km²).

$R_f = 0.35$

Donc on est en présence d'un bassin versant de forme allongée

I.2.6 Rectangle équivalent

Le rectangle équivalent est défini comme le rectangle de dimension L et l ayant la même surface que le bassin versant. Il permet de comparer les bassins versants entre eux du point de vue de l'écoulement. Les courbes de niveau sont des droites parallèles aux petits côtés du rectangle et l'exutoire est l'un de ces petits cotés.

$$L = \frac{Kc \times \sqrt{S}}{1.128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Kc} \right)^2} \right)$$

I-3

$$l = \frac{Kc \times \sqrt{S}}{1.128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Kc} \right)^2} \right)$$

I-4

On trouve :

$L = 3.35$ km

$l = 0.63$ km

Tableau I-1 Délimitation et réseau hydrographique des bassins versant

N°	Paramètres		Symbole	Unité	Valeurs
01	Surface du bassin versant		S	Km ²	2.14
02	Périmètre du bassin versant		P	Km	8.05
03	Indice de compacité de GRAVELIUS		Kc	/	1.54
04	<i>Rectangles Equivalent</i>	Longueur équivalente	L	Km	3.35
05		Largeur équivalente	l	Km	0.63
06	Longueur de thalweg principal		Lp	Km	2.59
07	Facteur de forme		Rf	/	0.35

I.3 Relief

L'influence du relief sur l'écoulement se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitations, températures... etc.) et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement.

I.3.1 La courbe hypsométrique

Cette courbe exprime le pourcentage de la superficie du bassin versant au-delà d'une certaine altitude. Elle porte en ordonné les altitudes et en abscisse la surface cumulée.

Tableau I-2 L'hypsométrie du bassin versant

Altitude	Hi	Surface	Si x Hi	Surface %	Surface % cumulé
200-250	225	0.11	24.75	5.24	5.24
150-200	175	0.57	99.75	26.78	32.02
100-150	125	0.41	51.25	19.4	51.42
50-100	75	0.81	60.75	37.93	89.35
39-50	44.5	0.23	10.235	10.65	100

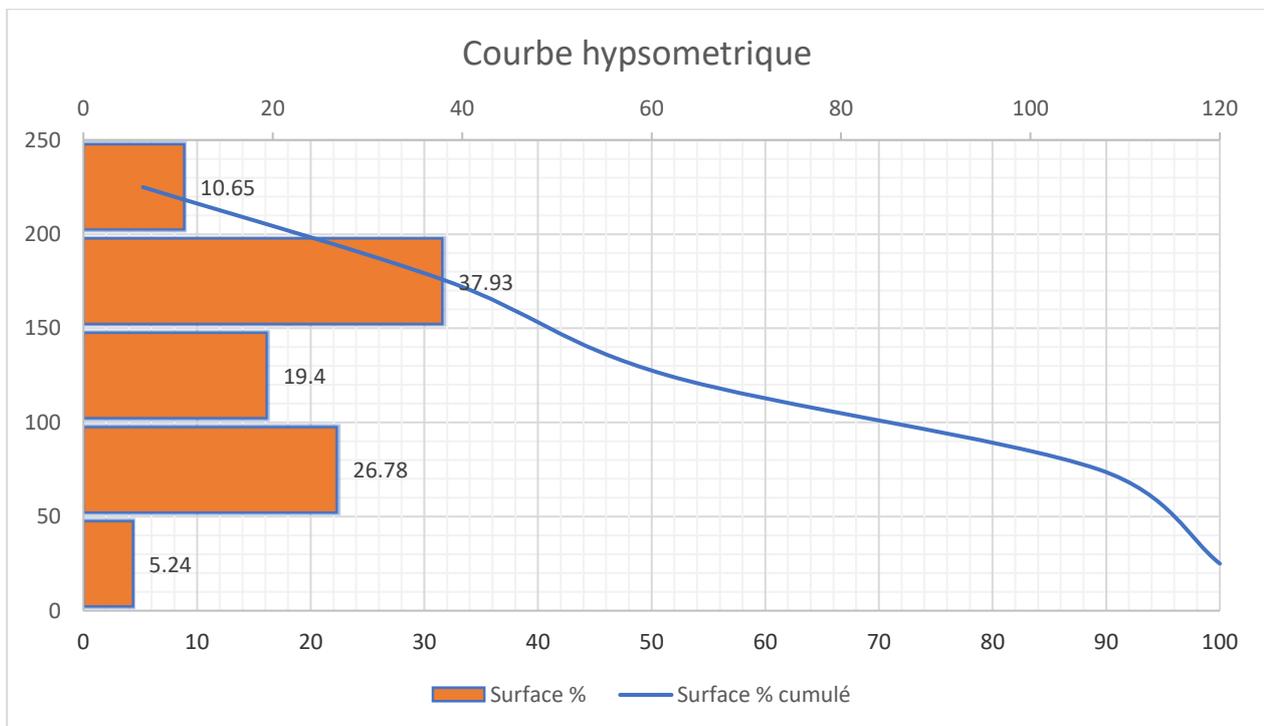


Figure I:2 Courbe hypsométrique du bassin d'oued Boumaaza

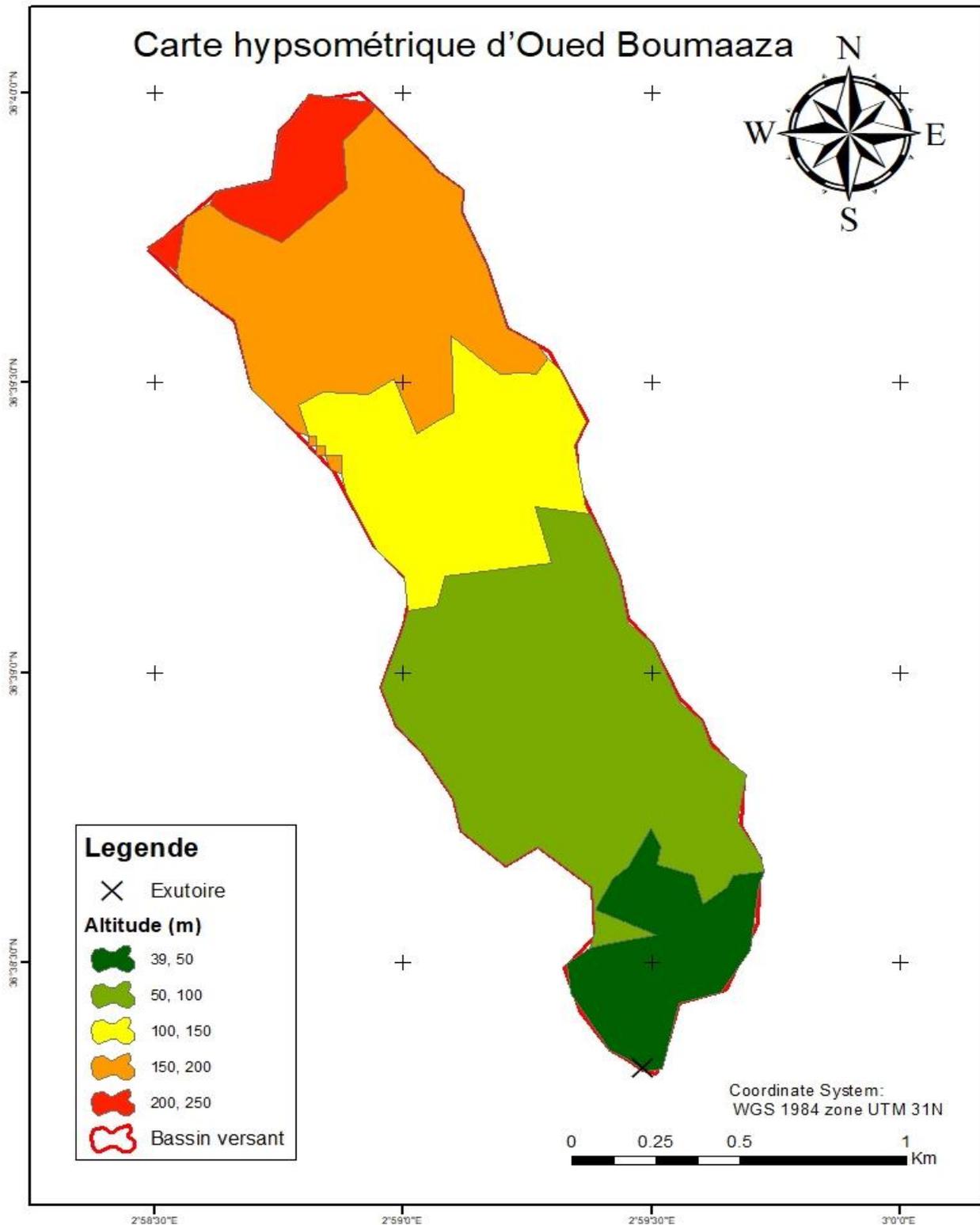


Figure I:3 Carte hypsométrique de bassin versant

I.3.2 Les altitudes caractéristiques

➤ L'altitude minimale et maximale

Elles sont obtenues par le logiciel ArcGIS. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas.

$$H_{\max} = 215 \text{ m NGA}$$

$$H_{\min} = 39 \text{ m NGA}$$

➤ L'altitude moyenne

Elle est donnée par la formule :

$$H_{moy} = \frac{\sum S_i \times H_i}{S}$$

I-5

Avec :

S_i : Surface partielle entre deux courbes de niveaux successives en (Km²) ;

S : Surface totale du bassin versant en (Km²) ;

H_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveaux successives en (m) ;

$$H_{moy} = 115.56 \text{ m};$$

➤ L'altitude médiane

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin sur la courbe hypsométrique. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière.

D'après la courbe hypsométrique, on a :

$$H_{50\%} = 128 \text{ m}$$

I.3.3 Les indices caractéristiques

➤ Indice de pente globale

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

Il sert de base à une des classifications ORSTOM pour des bassins versants dont la surface est de l'ordre de 25 km² (Laborde, 2000)

Les altitudes correspondantes sont lues sur la courbe hypsométrique. L'indice de pente global est donné par la formule suivante :

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

I-6

Avec :

H5% : Altitude correspondante à 5% de la surface du bassin Versant (m) ;

H95% : Altitude correspondante à 95% de la surface du bassin versant (m) ;

L : Longueur du rectangle équivalent (Km) ;

Tableau I-3 Classification du relief. (In Bonnard et Gardel, 1996)

R1	Relief très faible	$I_g \leq 0,002$
R2	Relief faible	$0,002 \leq I_g \leq 0,005$
R3	Relief assez faible	$0,005 \leq I_g \leq 0,01$
R4	Relief modéré	$0,01 \leq I_g \leq 0,02$
R5	Relief assez fort	$0,02 \leq I_g \leq 0,05$
R6	Relief fort	$0,05 \leq I_g \leq 0,1$
R7	Relief très fort	$0.1 \leq I_g$

Les résultats de l'indice de pente globale (I_g) calculé dans notre bassin versant est résumé dans le tableau suivant.

Tableau I-4 indice de pente globale

Bassins	H _{5%} (m)	H _{95%} (m)	H _{5%} - H _{95%}	L (km)	I _g (m/ km)	Classification
Boumaaza	225	60	165	3.35	49.25	Assez fort

➤ **Dénivelée spécifique**

L'indice I_g décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente, il était donc difficile de comparer des bassins de tailles différentes.

La dénivelée spécifique « D_s » ne présente pas cet inconvénient : elle dérive de la pente globale I_g en la corrigeant de l'effet de surface admis étant inversement proportionnel à \sqrt{S} .

$$D_s = I_g \times \sqrt{L_r \times l_r}$$

Avec :

l_r : largeur du rectangle équivalent (Km).

L_r : longueur du rectangle équivalent (Km).

La dénivelée spécifique ne dépend donc que de l'hypsométrie (D = H_{50%} et H_{95%}) et de la forme du bassin (l/L).

Les données du tableau ci-dessous ont servi à calculer l'indice :

Tableau I-5 Dénivelée spécifique

Le bassin	H _{5%} (m)	H _{95%} (m)	H _{5%} - H _{95%}	L _r (m)	l _r (m)	D _s (m)
Boumaaza	225	60	165	3350	630	67.70

➤ **Indice de pente de Roche**

L'indice de pente de ROCHE tient compte de la répartition hypsométrique, il se calcule d'après la relation :

$$I = \frac{1}{\sqrt{L_i}} \sum \sqrt{S_i(H_i - H_{i-1})}$$

I-7

S_i : surface entre deux courbes de niveaux compris entre H₁ et H₂ en pourcentages.

H_i - H_{i-1} : Distance (largeur) qui sépare les deux courbes de niveau du bassin, versant considéré comme rectangle, égale au produit de L_r par le pourcentage de la surface intéressée)

L_r : longueur du rectangle équivalent (en mètres).

Par ailleurs, cet indice simple I_p est étroitement corrélé avec l'indice de pente de ROCHE par :

$$I_p = \frac{1}{0.8} \sqrt{I_g}$$

I-8

Application numérique : $I_p = 0.0841$

➤ Indice de pente moyenne

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

Elle est donnée par

$$I_m = \frac{\Delta H}{L_r} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L_r}$$

I-9

Avec :

H_{max} : altitude maximale (m).

H_{min} : altitude minimale (m).

ΔH : La plus grande dénivelée (m).

L_r : la longueur du rectangle équivalent (m).

Tableau I-6 Indice de pente moyenne

Bassin	H_{max} (m)	H_{min} (m)	ΔH (m)	L_r (m)	I_m (%)
Boumaaza	215	39	176	3350	5.25

I.4 Caractéristiques du réseau hydrographique

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

Le réseau hydrographique peut se caractériser par trois éléments : sa hiérarchisation, son développement (nombres et longueurs des cours d'eau) et son profil en long

I.4.1 Hiérarchisation du réseau

Pour chiffrer la ramification du réseau, chaque cours d'eau reçoit un numéro fonction de son importance. Parmi toutes ces classifications, nous adapterons celle de R.E. Horton.

La classification d'Horton (1945) est vraisemblablement la plus célèbre en hydrologie. Elle consiste à envisager le déploiement du réseau de l'amont vers l'aval. La numérotation ici choisie est celle de Schumm (1956) et de Strahler (1954a ; 1954b ; 1957) : chacune des sources est numérotée 1, puis chaque fois qu'un drain de même ordre conflue, on passe au numéro supérieur (Forriez *et al*, 2009)

I.4.2 Densité de drainage

La densité de drainage est définie comme étant le rapport entre la longueur totale de tous les talwegs « L_i » du bassin versant, à la surface totale « S ». Elle reflète la dynamique du bassin, la stabilité du chevelu hydrographique et le type de ruissellement de surface.

Elle est exprimée en (Km/ Km²), à l'aide de la formule suivante :

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

I-10

Avec :

D_d : densité de drainage [km/km²].

L_i : longueur de cours d'eau [km].

S : surface du bassin versant [km²].

Tableau I-7 La densité de drainage

Bassin	$\sum L_i$ (Km)	S (Km ²)	Dd (Km/Km ²)
Boumaaza	6.63	2.14	3.1

I.4.3 Pente moyenne du cours d'eau principale

La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau atteint l'exutoire du bassin, donc le temps de concentration, Cette variable influe sur le débit maximal observé.

Une pente abrupte favorise et accélère l'écoulement superficiel tandis qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie dans le sol.

$$I_{cp} = \frac{\Delta H}{\Delta L}$$

I-11

Avec :

I_{cp} : pente moyenne du cours d'eau principale [m/m].

ΔH : dénivellation entre deux points suffisamment distants [m].

ΔL : Distance entre ces deux points [m].

Tableau I-8La pente moyenne du cours d'eau

Bassin	ΔH (m)	ΔH (km)	ΔL (Km)	I_{cp} (%)
Boumaaza	174	49	2	6.75

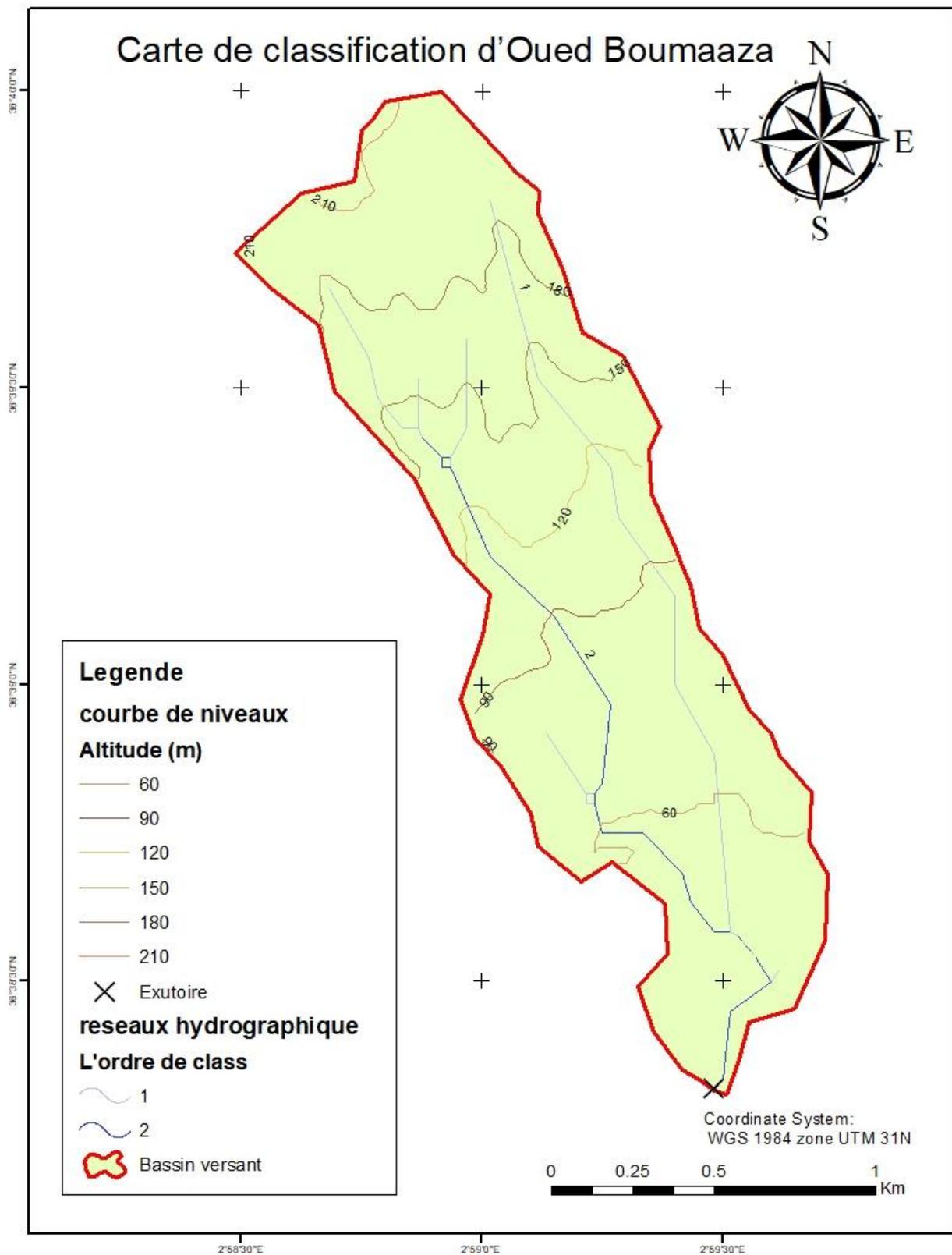


Figure I:4 Réseaux hydrographique d'oued Boumaaza.

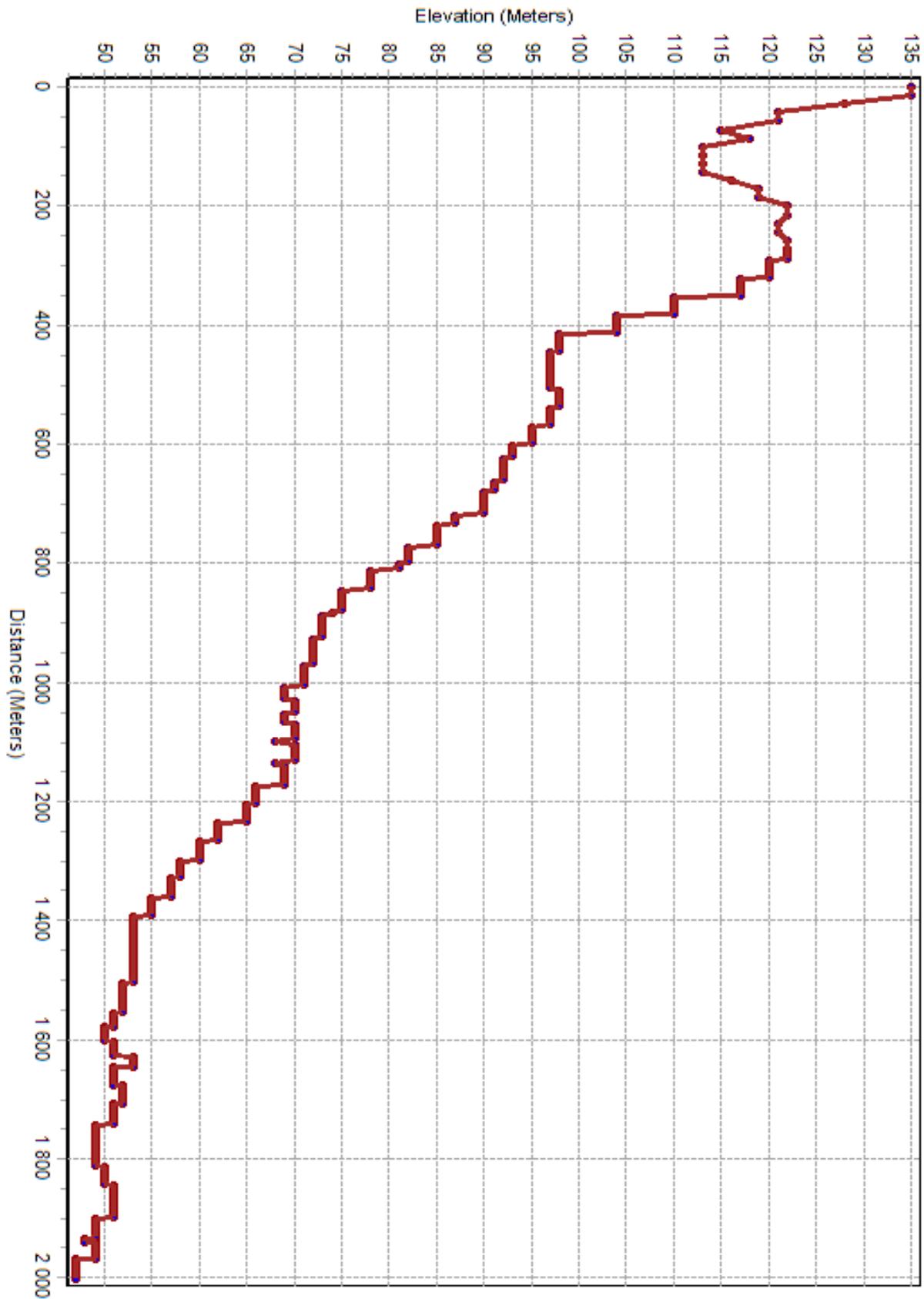


Figure I:5profil en long de l'oued Boumaaza -ArcGis

I.4.4 Temps de concentration du bassin versant T_c

Le temps de concentration est un paramètre très important dans l'étude hydrologique, il est défini comme étant le temps mis par la goutte d'eau la plus hydrauliquement éloignée pour atteindre l'exutoire.

Ce temps a une influence directe sur l'ampleur de la crue, donc il conditionne les débits de la crue.

Le temps de concentration sera estimé à l'aide de 3 formules empiriques :

I.4.4.a Formule de Kirpiche

Cette méthode est adaptée aux bassins versants dont la superficie varie entre 0,4 ha et 81 ha, dont les sols sont argileux et dont la pente moyenne est comprise entre 3% et 10%. Le temps de concentration est alors calculé à partir de l'équation suivante

$$T_c = \frac{0.000325 \times L^{0.77}}{I^{0.358}} \quad I-12$$

Avec :

L : longueur de la cour d'eau principal.

I : la dénivelée

I.4.4.b Formule de Ventura :

Elle s'adapte aux bassins versants dont la surface est comprise entre 1 km² et 20 km²

$$T_c = 7.62 \times \left(\frac{S}{I}\right)^{0.5} \quad I-13$$

Avec :

S : la surface du bassin (km²).

I : la pente moyenne.

I.4.4.c Formule de Turazza :

$$T_c = \frac{0.108 \times \sqrt[3]{A \times L}}{\sqrt{I}} \quad I-14$$

I : pente moyenne du cours d'eau principal, en mm

A : taille du bassin en km²

L : longueur du talweg principal en km

Tc : temps de concentration du bassin versant, en heures

Les résultats de calcul du temps de concentration par ces différentes méthodes sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Tableau I-9 temps de concentration

Formule	Kirpiche	Ventura	Turazza
Tc (min)	25.4	37.70	44.07

Vue que notre bassin est urbanisé et que les terrains agricoles représentent 29% de la surface total du bassin, on va choisir la méthode de KIRPICHE car elle est mieux adaptée pour les bassins urbanise et donne des valeurs plus faibles pour le temps de concentration

I.4.5 Vitesse de ruissellement

C'est la vitesse par laquelle l'eau s'écoule dans le réseau hydrographique pour atteindre L'exutoire, elle est donnée par la formule suivante :

$$V_r = \frac{L_{cp}}{T_c}$$

I-15

Avec :

L_{cp} : Longueur de talweg principal en [Km].

Tc : temps de concentration en [heure].

Tableau I-10 Vitesse de ruissellement

Bassin	L_{cp} (km)	T_c (h)	V_r (km/h)
Boumaaza	2.59	0.423	6.12

Tableau I-11 Caractéristiques hydro-morphologiques

Caractéristiques	Unité	Bassin de Boumaaza
1 - Morphométrie		
Surface	Km ²	2.14
Périmètre	Km	8.05
Rectangle équivalent	Longueur L	3.35
	Largeur l	0.63
L'indice de compacité de Gravelius « Kc »	-	1.54
Le facteur de forme « Rf »		0.35
2 - Les reliefs		
Altitude maximale	m	215
Altitude minimale	m	49
Altitude moyenne	m	115.56
Altitude médiane	m	128
Altitude 5%	m	225
Altitude 95%	m	60
Indice de pente globale	%	47.25
Dénivelé spécifique	%	67.7
Indice de pente de Roche	%	8.41
3 - Le réseau hydrographique		
Densité de drainage	Km/km ²	3.1
Pente moyenne du cours d'eau	%	6.75
Longueur du cours d'eau principal	Km	2.59
Temps de concentration	Min	25.4
Vitesse moyenne de ruissellement	Km/h	6.12

II Analyse des données pluviométriques

Le bassin versant de l'oued Boumaaza est dépourvu d'une station pluviométrique et hydrométrique, nous avons alors eu recours aux stations avoisinantes, dont les caractéristiques sont données dans le tableau ci-dessous

II.1 Etude des Pluies maximales journalières

Tableau II-1 station pluviométrique

Nom de station	Code	X (m)	Y (m)	Z (m)
Boufarik	021209	518.55	363.4	60

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

Tableau II-2 pluies maximales journalières

Année	P _{j.max}						
1970	50.2	1982	59.5	1994	41.1	2006	42
1971	105.9	1983	51.9	1995	58.6	2007	30.2
1972	100.7	1984	105.5	1996	51.1	2008	56.2
1973	69.6	1985	107	1997	45.5	2009	51.5
1974	46.1	1986	59.3	1998	31.6	2010	60.5
1975	41.1	1987	35.9	1999	27.7	2011	54
1976	36.1	1988	45.4	2000	48.9	2012	23
1977	31.6	1989	33	2001	28.4	2013	53.9
1978	36.4	1990	28.2	2002	35.9	2014	56.8
1979	46	1991	108	2003	49.3	2015	41.9
1980	33.4	1992	51.2	2004	45.3	-	-
1981	43	1993	95.4	2005	59.8	-	-

N.B : Les caractéristiques de la série des Pluies maximales journalières [1970-2015] de la Station de Boufarik sont déterminées à l'aide de logiciel HYFRAN 1.2

Les caractéristiques de la série sont données dans le tableau suivant

Tableau II-3 Les caractéristiques de la série

Nombre d'observation	46
Minimum	23
Maximum	108
Moyenne	52.5
Ecart-type	22.7
Variance	515.29
Médiane	47.5
Coefficient de variation (C _v)	0.432
Coefficient d'asymétrie (C _s)	1.38
Coefficient d'aplatissement (C _k)	3.81

II.3 Vérification de l'homogénéisation de la série pluviométrique :

La vérification de l'homogénéisation de la série pluviométrique est indispensable avant de passer à l'ajustement, elle consiste en :

- La détection des anomalies dans la série pluviométrique.
- La correction de ces anomalies par des méthodes appropriées.

Pour vérifier l'homogénéisation de notre série on fait appel au test de la médiane (test de Moody), qui consiste en :

- Classer les valeurs de la série en ordre décroissant.
- Calculer la médiane (M).
- Remplacer la série des valeurs non classées par suite de signe :

+ : pour $X_i > M$.

- : pour $X_i < M$.

- Calculer les quantités N_s et T_s .

Avec

N_s : nombre total de séries de + ou de -.

T_s : taille de la plus grande série de + ou de -.

- Vérification des conditions suivantes :

$$N_s > \frac{1}{2} \left(N + 1 - U_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{N-1} \right)$$

II-1

$$T_s < 3.35 \log_{10}(N + 1)$$

II-2

Avec :

N : taille de l'échantillon.

U : variable réduite de Gauss pour une probabilité de $1 - \frac{\alpha}{2}$

Année	P_{Annuelle}	Rang	Classement	Signe	Année	P_{Annuelle}	Rang	Classement	Signe
1970	717.9	1	384.7	+	1993	443.9	24	640.1	-
1971	919.9	2	386.1	+	1994	469	25	643.1	-
1972	1071.4	3	410.1	+	1995	568.7	26	655.6	-
1973	791.5	4	416.9	+	1996	756.9	27	665.6	+
1974	684	5	422.2	+	1997	386.1	28	674	-
1975	846.5	6	443.9	+	1998	675.9	29	675.9	+
1976	574.5	7	453.7	-	1999	453.7	30	684	-
1977	633	8	469	-	2000	384.7	31	695.6	-
1978	619.7	9	491.9	-	2001	523.5	32	717.9	-
1979	787.7	10	498.6	+	2002	410.1	33	756.1	-
1980	617.8	11	523.4	-	2003	665.6	34	756.9	+
1981	498.6	12	523.5	-	2004	655.6	35	761.6	+
1982	789.2	13	523.8	+	2005	523.4	36	783.9	-
1983	596.7	14	552.3	-	2006	616.6	37	787.7	-
1984	523.8	15	568.7	+	2007	552.3	38	789.2	-
1985	938.4	16	574.5	+	2008	643.1	39	791.5	+
1986	640.1	17	579.2	+	2009	674	40	804.9	+
1987	783.9	18	596.7	+	2010	620	41	846.5	-
1988	422.2	19	616.6	-	2011	858.9	42	858.9	+
1989	579.2	20	617.8	-	2012	761.6	43	865.6	+
1990	416.9	21	619.7	-	2013	756.1	44	919.9	+
1991	491.9	22	620	-	2014	865.6	45	938.4	+
1992	695.6	23	633	+	2015	804.9	46	1071.4	+

Tableau II-4 vérification de l'homogénéisation

Tableau II-5 Paramètres d'homogénéité

Le Médiane M	636.55
Ns	19
Ts	6
$\frac{1}{2} \left(N + 1 - U_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{N-1} \right)$	18.13
$T_s < 3.35 \log_{10}(N + 1)$	6.57
Condition 1 vérifié	19 > 18.13
Condition 2 vérifié	6 < 6.57

Les conditions du sont vérifiées on conclut que notre série est homogène donc on peut procéder à l'ajustement.

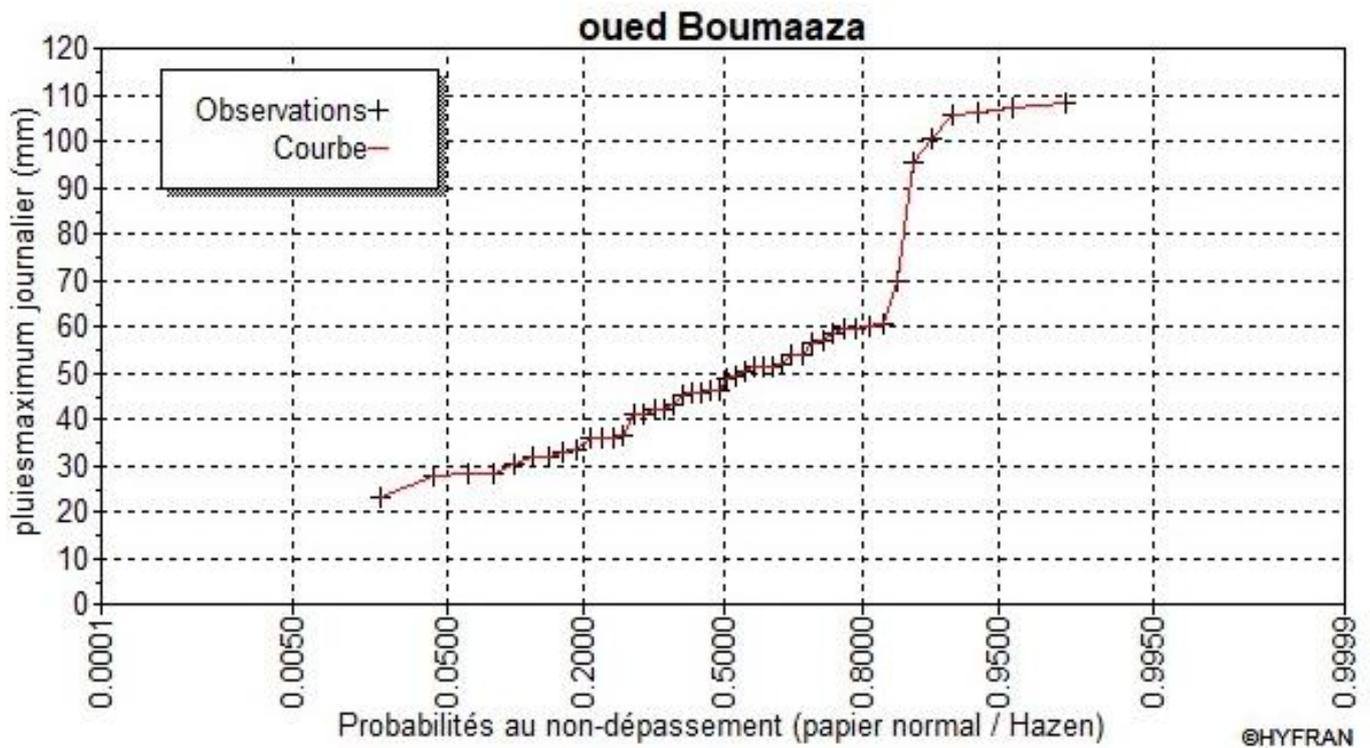


Figure II:1 Comportement asymptotique de la série.

II.4 Choix de la loi d'ajustement

Les lois d'ajustement des séries pluviométriques sont nombreuses, les critères du choix d'une loi sont liés à un ajustement graphique d'abord ensuite à un test de dispersion, l'allure des points sur le papier à probabilité permet d'accepter ou rejeter la loi.

Dans ce travail nous avons fait l'ajustement des pluies maximales journalières à trois lois :

- La loi de Galton (log normal)
- La loi de Gumbel (doublement exponentielle).
- La loi de GEV (loi des extrêmes généralisée)

L'ajustement des pluies maximales journalières nous l'avons fait à l'aide du logiciel **HYFRAN PLUS 1.2** ainsi que le test d'adéquation.

II.4.1 Ajustement à la loi de Gumbel

La fonction de répartition de la loi de Gumbel est donnée par formule suivante :

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

II-3

Avec :

F(x) : Fréquence au dépassement de la valeur de x ;

α , x_0 : Coefficients d'ajustement ;

x_0 est le paramètre de position (mode) ;

α est le paramètre d'échelle différent de zéro et positif appelé aussi « gradex » quand il se trouve sous forme $1/\alpha$.

✓ Par un changement de variable $y = \alpha (x-x_0)$; la loi de Gumbel s'écrit :

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

II-4

$y = \alpha (x-x_0)$ est la variable réduite de Gumbel. L'avantage d'utiliser la variable réduite est que l'expression d'un quantile est alors linéaire.

Et l'équation de la droite de Gumbel est $x = (1/\alpha) y + x_0$.

✓ La fréquence expérimentale en utilisant la formule de Hazen qui s'applique pour les lois normales et quasi normales :

$$F(x) = \frac{m - 0.5}{n} \times 100$$

II-5

m : le rang dans la série de données classée par valeurs croissantes ;

n : la taille de l'échantillon ;

✓ La variable de Gumbel pour chaque valeur observée ;

$$y = -[Ln(-LnF(x))]$$

II-6

1.4.4.a Caractéristique de loi

II Tableau II-6 Caractéristique de loi

	Caractéristique de la loi Gumbel	Caractéristique de l'échantillon
Minimum	Aucun	23.0
Maximum	Aucun	108
Moyenne	51.7	52.5
Ecart-type	19.7	22.7
Médiane	48.4	47.5
Coefficient de variation (Cv)	0.381	0.432
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1.14	1.38
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2.40	3.81

II.1.1.a Quantiles :

Paramètres

u	42.804391
α	15.340011

$q = F(X)$ (probabilité au non-dépassement)

$T = 1/(1-q)$

Tableau II-7 Quantiles

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
10000.0	0.9999	184	17.4	150-2018
2000.0	0.9995	159	14.5	131-188
1000.0	0.9990	149	13.3	123-175
200.0	0.9950	124	10.5	104-145
100.0	0.9900	113	9.26	95.2-132
50.0	0.9800	103	8.05	86.9-118
20.0	0.9500	88.4	6.46	75.7-101
10.0	0.9000	77.3	5.27	67.0-87.7

II.1.1.b Le graphe d'ajustement

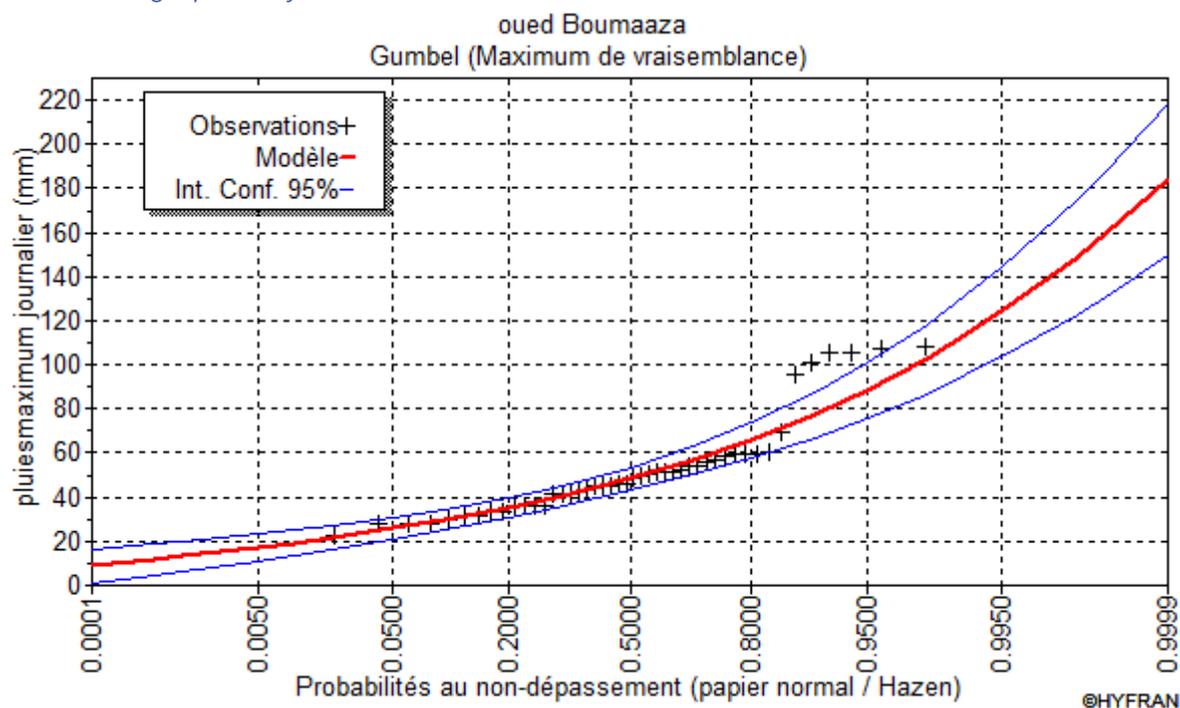


Figure II:2 Le graphe d'ajustement

II.1.1.c Test d'adéquation (khi deux)

Gumbel (Maximum de vraisemblance)

Hypothèses

H0 : L'échantillon provient d'une loi Gumbel

H1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi Gumbel

Résultats :

Tableau II-8 Test d'adéquation

Résultat de la statistique :	$X^2 = 8.78$
p-value	$p = 0.1862$
Degrés de liberté :	6
Nombre de classes :	9

Conclusion

Nous pouvons accepter H_0 au niveau de signification de 5 %

II.4.2 Ajustement à la loi log normale (Galton) :

Cette loi d'ajustement est identique à celle établie par la loi de GUMBEL, seule la représentation graphique change où elle est faite sur du papier log-normale. La loi de GALTON a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$F(X) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} \int_u^{+\infty} e^{-\frac{1}{2}u^2} du$$

II-7

Avec :

$$u = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma_x} \quad (\text{variable réduite de GAUSS})$$

$$\text{Log } x (p \%) = \overline{\text{Log } x} + \sigma \text{Log } u (p \%)$$

C'est l'équation d'une droite sur papier gauss-logarithmique avec en abscisse l'échelle gaussienne et en ordonnée l'échelle logarithmique.

$$\log x = \frac{\sum_{i=1}^{44} \overline{\log x}}{N}$$

II-8

I.4.4.a Caractéristique de loi

Lognormale (Maximum de vraisemblance)

Tableau II-9 Caractéristique de loi

	Caractéristique de la loi Galton	Caractéristique de l'échantillon
Minimum	0.00	23.0
Maximum	Aucun	108
Moyenne	52.3	52.5
Ecart-type	21.0	22.7
Médiane	48.6	47.5
Coefficient de variation (Cv)	0.401	0.432
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1.27	1.38
Coefficient d'aplatissement (Ck)	5.99	3.81

1.4.4.b Quantiles

Paramètres

μ	3.882765
δ	0.386098

$q = F(X)$ (probabilité au non-dépassement)

$T = 1/(1-q)$

Tableau II-10 Quantiles

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
10000.0	0.9999	204	33.0	139 - 269
2000.0	0.9995	173	25.2	124 - 222
1000.0	0.9990	160	22.1	117 - 203
200.0	0.9950	131	15.7	101 - 162
100.0	0.9900	119	13.2	93.4 - 145
50.0	0.9800	107	10.9	86.0 - 129
20.0	0.9500	91.7	8.05	75.9 - 107
10.0	0.9000	79.6	6.15	67.6 - 91.7

1.4.4.c Le graphe d'ajustement

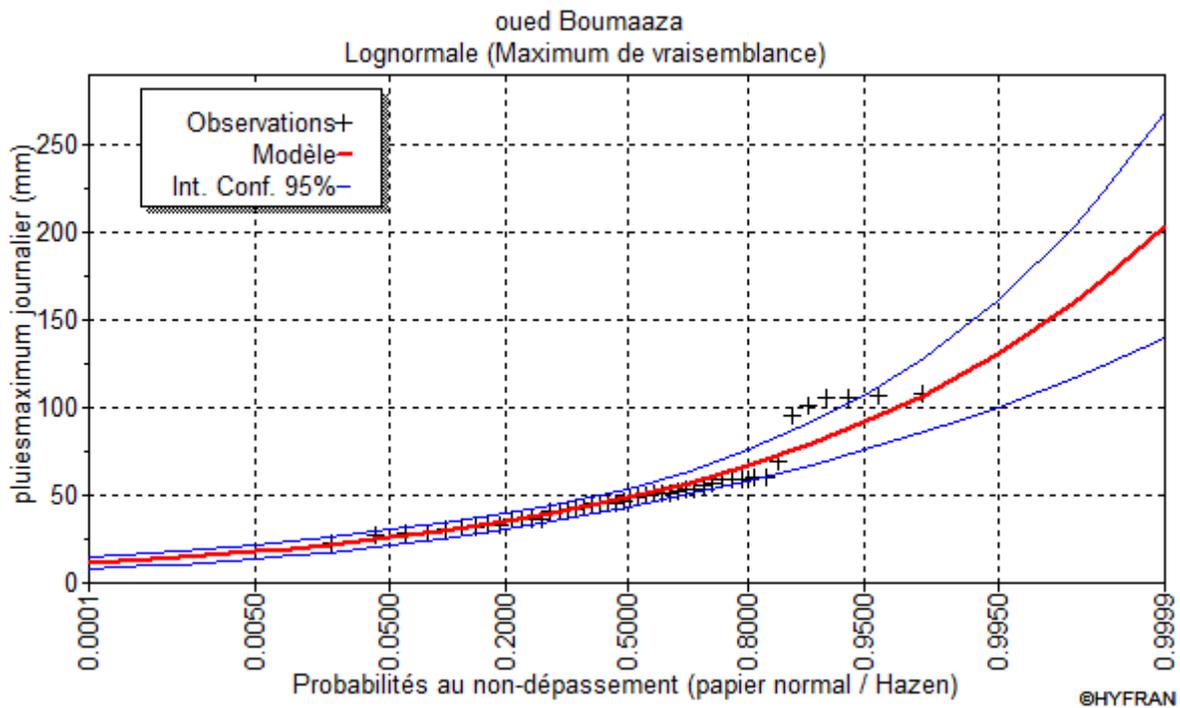


Figure II:3 Le graphe d'ajustement

1.4.4.d Test d'adéquation (khi deux)

Hypothèses

H0 : L'échantillon provient d'une loi Lognormale

H1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi Lognormale

Résultats

Résultat de la statistique :	$X^2 = 6.04$
p-value	$p = 0.4183$
Degrés de liberté :	6
Nombre de classes :	9

Tableau II-11 Test d'adéquation

Conclusion

Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5 %

II.4.3 Ajustement à la loi de GEV

La loi des extrêmes généralisée (GEV) est une loi à trois paramètres qui peut être grossièrement considérée comme une généralisation de la loi de Gumbel.

La fonction de répartition est donnée comme suit :

$$F(x) = \exp \left[- \left(1 - c \frac{x - a}{b} \right)^{\frac{1}{c}} \right]$$

a : Paramètre de position ;

b : Paramètre de dispersion ;

c : Paramètre de forme.

I.4.4.a Caractéristique de loi

GEV (Maximum de vraisemblance)

Tableau II-12 Caractéristique de loi

	Caractéristique de la loi GEV	Caractéristique de l'échantillon
Minimum	-27.4	23.0
Maximum	Aucun	108
Moyenne	52.6	52.5
Ecart-type	25.0	22.7
Médiane	46.6	47.5
Coefficient de variation (Cv)	0.475	0.432
Coefficient d'asymétrie (Cs)	3.52	1.38
Coefficient d'aplatissement (Ck)	47.2	3.81

I.4.4.b Quantiles

Paramètres

α	13.707716
k	-0.199253
u	41.401135

$q = F(X)$ (probabilité au non-dépassement)

$T = 1/(1-q)$

Tableau II-13 Quantiles

T	Q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
10000.0	0.9999	404	256	-
2000.0	0.9995	285	138	-
1000.0	0.9990	245	103	-
200.0	0.9950	170	49.1	-
100.0	0.9900	145	34.2	77.5 - 212
50.0	0.9800	122	23.1	77.0 - 168
20.0	0.9500	96.9	13.0	71.5 - 122
10.0	0.9000	80.3	8.04	64.6 - 96.1

I.4.4.c Le graphe d'ajustement

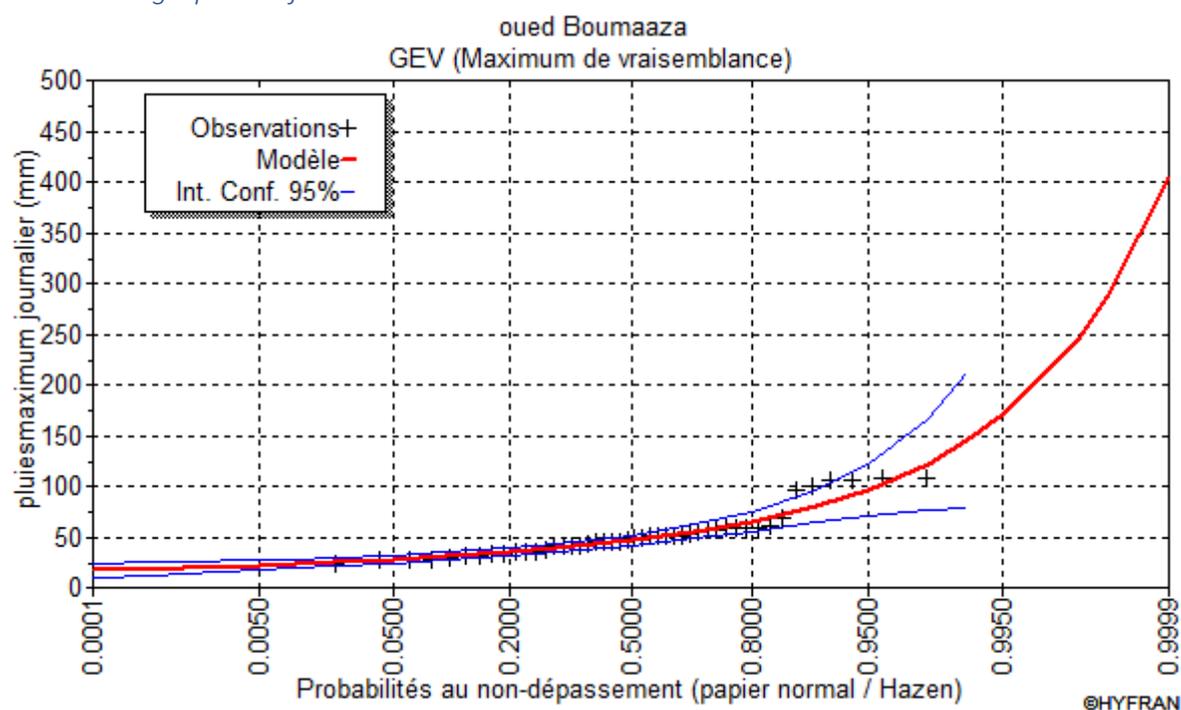


Figure II:4 Le graphe d'ajustement

I.4.4.d Test d'adéquation (khi deux)

Hypothèses

H0 : L'échantillon provient d'une loi GEV

H1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi GEV

Résultats

Résultat de la statistique	$X^2 = 8.00$
p-value	$p = 0.1562$
Degrés de liberté :	5
Nombre de classes	9

Tableau II-14 Test d'adéquation

Conclusion

Nous pouvons accepter H_0 au niveau de signification de 5 %

II.4.4 Comparaison

1.4.4.e Comparaison critères

Oued Boumaaza

Nombre d'observations : 46

T= 100

Tableau II-15 Comparaison critères

Modèle	Nb param.	XT	P(Mi)	P (Mi x)	BIC	AIC
Lognormale	2	119.239	33.33	44.05	406.861	403.204
Gumbel	2	113.371	33.33	33.04	407.436	403.779
GEV	3	144.646	33.33	22.91	408.169	403.683

P(Mi) : Probabilité a priori

P (Mi | x) : Probabilité a posteriori (Méthode de Schwartz)

BIC : Critère d'information Bayésien

AIC : Critère d'information d'Akaike

❖ Moyenne pondérée des quantiles : 123.1206

1.4.4.f Comparaison graphique

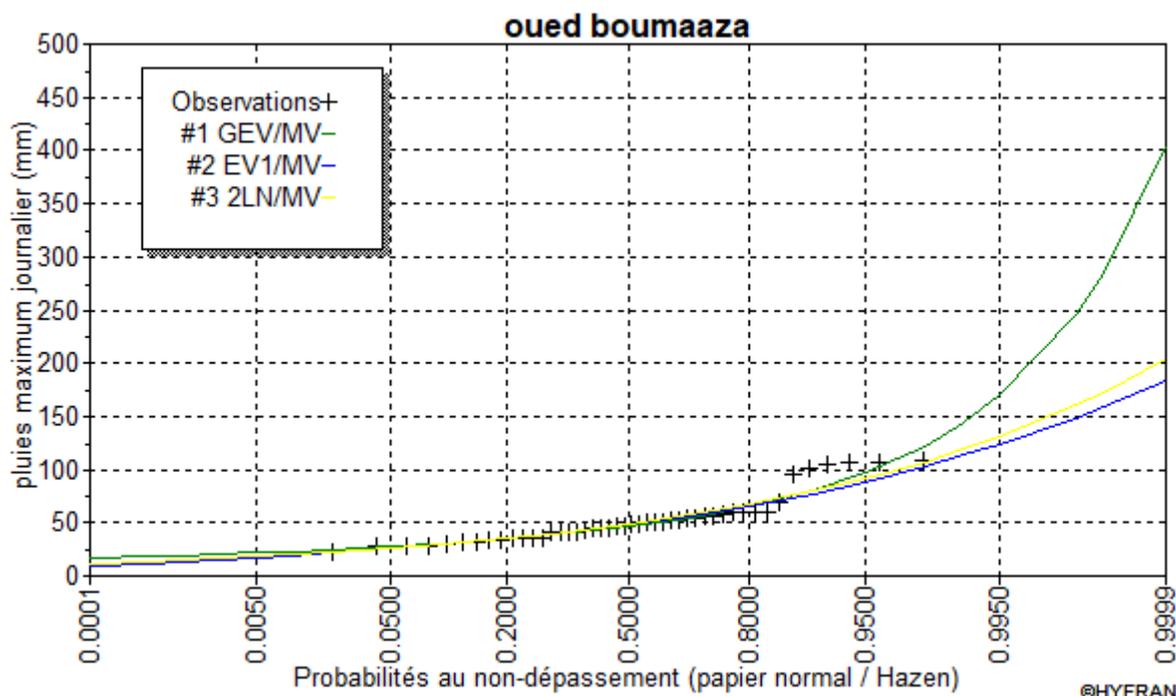


Figure II:5 Comparaison graphique

1/ GEV

2/Gumbel

3/Galton

Le critère d'information d'Akaike, est une mesure de la qualité d'un modèle statistique proposée par Hirotugu Akaike en 1973.

Lorsque l'on estime un modèle statistique, il est possible d'augmenter la vraisemblance du modèle en ajoutant un paramètre. Le critère d'information d'Akaike, tout comme le critère d'information bayésien, permet de pénaliser les modèles en fonction du nombre de paramètres afin de satisfaire le critère de parcimonie. On choisit alors le modèle avec le critère d'information d'Akaike le plus faible

Le critère d'information bayésien est un critère d'information dérivé du critère d'information d'Akaike proposé par Gideon Schwarz en 1978.

À la différence du critère d'information d'Akaike, la pénalité dépend de la taille de l'échantillon et pas seulement du nombre de paramètres.

Sélection du modèle

Le modèle qui sera sélectionné est celui qui minimise le critère BIC, donc on va choisir le modèle de la loi log-normale.

III Pluies de courte durée

Pour une période donnée la quantité de pluie tombée dans un temps donnée "t" est donnée par la formule de Body (ANRH 1984) :

$$P_{ct} = P_{j.max} \times \left(\frac{t}{24}\right)^b$$

III-1

Avec :

t : durée de l'averse.

b : exposant climatique (**b = 0.37**, selon l'ANRH).

Les intensités maximales de période t (h) et période de retour T=100 (ans) sont calculées par la relation :

$$I_t = \frac{P_{ct}}{t}$$

III-2

Avec :

I : l'intensité maximale de période t (h).

P_{ct} : Pluies de courte durée (mm).

I_t : Intensité maximale (mm/h).

Les précipitations et les intensités maximales pour différentes durées sont représentées au tableau suivant :

Tableau III-1 Les précipitations et les intensités maximales

Quantiles mm	119		107		91.7		79.6	
T (ans)	100		50		20		10	
t (h)	P _{ct} (mm)	I _t (mm/h)						
1	36.72	36.72	33.01	33.01	28.29	28.29	24.56	24.56
2	47.45	23.73	42.67	21.33	36.57	18.28	31.74	15.87
3	55.13	18.38	49.57	16.52	42.48	14.16	36.88	12.29
4	61.32	15.33	55.14	13.79	47.26	11.81	41.02	10.26
5	66.60	13.32	59.89	11.98	51.32	10.26	44.55	8.91
6	71.25	11.87	64.07	10.68	54.90	9.15	47.66	7.94
7	75.43	10.78	67.83	9.69	58.13	8.30	50.46	7.21
8	79.25	9.91	71.26	8.91	61.07	7.63	53.01	6.63
9	82.78	9.20	74.43	8.27	63.79	7.09	55.37	6.15
10	86.07	8.61	77.39	7.74	66.33	6.63	57.58	5.76
11	89.16	8.11	80.17	7.29	68.71	6.25	59.64	5.42
12	92.08	7.67	82.79	6.90	70.96	5.91	61.59	5.13
13	94.85	7.30	85.28	6.56	73.09	5.62	63.44	4.88
14	97.48	6.96	87.65	6.26	75.12	5.37	65.21	4.66
15	100.01	6.67	89.92	5.99	77.06	5.14	66.89	4.46
16	102.42	6.40	92.09	5.76	78.93	4.93	68.51	4.28
17	104.75	6.16	94.18	5.54	80.72	4.75	70.06	4.12
18	106.98	5.94	96.20	5.34	82.44	4.58	71.56	3.98
19	109.15	5.74	98.14	5.17	84.11	4.43	73.01	3.84
20	111.24	5.56	100.02	5.00	85.72	4.29	74.41	3.72
21	113.26	5.39	101.84	4.85	87.28	4.16	75.76	3.61
22	115.23	5.24	103.61	4.71	88.79	4.04	77.08	3.50
23	117.14	5.09	105.33	4.58	90.27	3.92	78.36	3.41
24	119.00	4.96	107.00	4.46	91.70	3.82	79.60	3.32

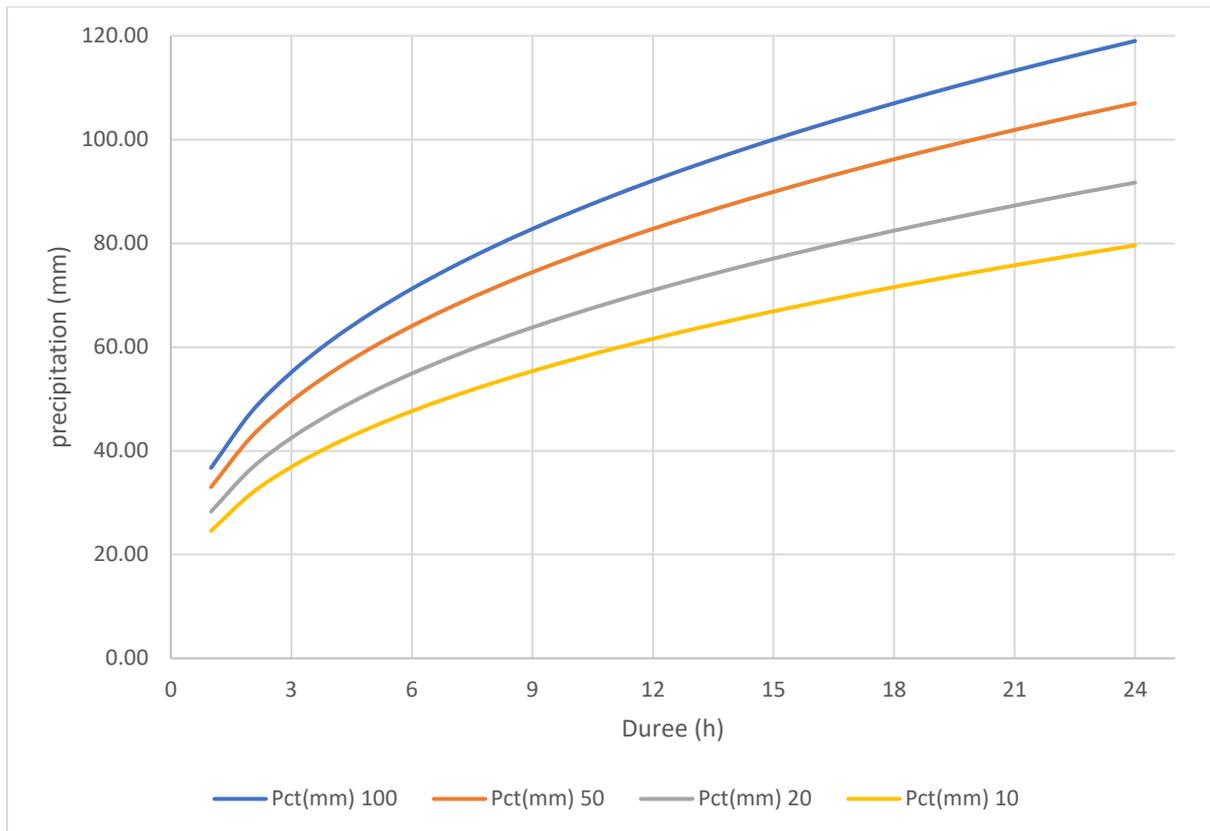


Figure III:1 Courbes des pluies de courte durée fréquence

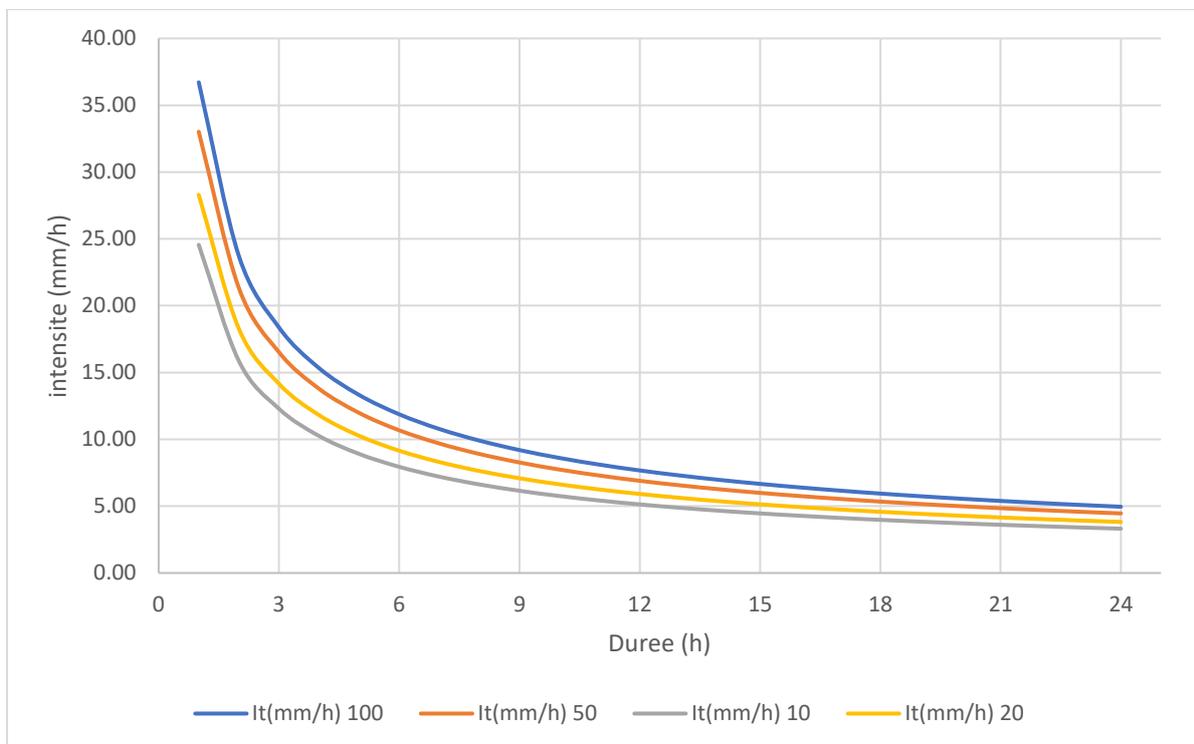


Figure III:2 Courbes des intensités de courte durée fréquence

IV Etude de la crue

Les crues étant des événements correspondant à la circulation des débits exceptionnels dans les bassins versants, elles sont influencées par des nombreuses variables parmi lesquelles l'intensité, la durée et la distribution de la pluie dans le bassin, sa topographie ...etc.

Les débits de crues ont une influence directe sur le régime hydrologique particulièrement en Algérie ou les oueds, à cause de la grande irrégularité, passant des débits nuls à des débits exceptionnels

Les crues dépendent essentiellement de l'abondance et de l'intensité de la pluie, de plus le rôle physique du bassin versant. De ce fait, l'évolution de la crue obéit principalement à la puissance et l'intensité de l'averse, sa vitesse et largement influencée par le couvert végétal, la lithologie, les paramètres morpho métriques du bassin, par la pente des thalwegs, la forme du lit, la largeur de la vallée.

IV.1 Différentes méthodes d'évaluation des crues

Les méthodes d'évaluation des débits de crues sont nombreuses, elles dépendent essentiellement des données disponibles, plus la disponibilité est importante plus les problèmes qui se posent sont moindres, dans ce qui suit un rappel des différentes méthodes qui ont été établies.

IV.1.1 Méthodes historiques :

Méthode ancienne basée sur l'étude de l'archive, les enquêtes auprès de la population rechercheront des traces d'anciennes crues exceptionnelles atteintes dans le passé.

IV.1.2 Méthodes empiriques :

Des formules établissent des relations entre le débit, la surface du bassin versant, l pluie et la période de retour.

IV.1.3 Courbes enveloppes :

Cette méthode consiste à reporter les pointes de crues maximales observées dans une région de caractéristiques hydrologiques homogènes en fonction de la surface du bassin versant, permettant ainsi de tracer une courbe enveloppée (Francou et Rodier 1967).

IV.1.4 Méthodes probabilistes :

Basée sur l'analyse des débits afin de déterminer la loi de probabilité à laquelle ils répondent (Gumbel, Galton, Pearson III, log Pearson III)

IV.2 Estimation des débits de crues

Pour notre étude nous avons utilisée des formules empiriques :

IV.2.1 Formule de SOKOLOVOSKY

Le débit maximum probable est donné par la formule suivante :

$$Q_{msx.p\%} = 0.28 \times \frac{(P_{p\%,t_c} - H_0) \times \alpha_{p\%} \times S \times f}{t_c}$$

IV-1

Avec :H₀ : Pertes initiales en (mm) ;α_{p%} : Coefficient de ruissellement pour la crue probable;S : Surface du bassin versant en km² ;

F : Coefficient de forme de la crue ;

t_c : Temps de concentration du bassin versant en h ;P_{p%, t_c} : Précipitation en (mm) de probabilité p% correspondant une durée t_c ;

0.28 : Coefficient de changement d'unité ;

Le coefficient f peut être calculé par la formule :

$$f = \frac{12}{4 + 3\gamma}$$

IV-2

Pour S ≤ 50 km² on a γ = 2;

Pour des petits bassins non boisés, sol peu perméable, on a γ = 2 : 2 .5 ;

Pour des bassins versant boiser, sol peu perméable, on a γ = 3 : 4 ;

Le temps de base T_b = t_m + t_d avec t_d = γt_m ;

$$\alpha = \frac{\sqrt{P_{p\%,t_c}} - \sqrt{H_0}}{\sqrt{P_{p\%,t_c}} + \sqrt{H_0}}$$

IV-3

Dans notre cas, nous avons plusieurs petits sous bassins, pour lesquels on appliquera la formule précédente en prenant :

- Le déficit initial H₀ = 7mm (au Nord de l'Algérie)
- Le coefficient γ = 2 bassin < 50 Km²
- Le temps de concentration calculé par la formule de Kirpich.
- Les pluies de périodes de retour 100, 50, 20 et 10 ans.

IV.2.2 Formule de Maillet Gautier :

Cette formulé a été déterminée par des études sur les bassins Algériens :

$$Q_{max.p\%} = 2K \log(1 + 20H) \times \frac{S}{\sqrt{L}} \times \sqrt{1 + 4 \log(T) - \log(S)}$$

IV-4

Avec :

S : la surface du bassin versant (km²).

L : la longueur du thalweg principale (km).

T : période de retour ans

H : est la hauteur moyenne annuelle des précipitations en m.

K : coefficient dépend des caractéristiques géomorphologiques du bassin compris entre 1 et 3. Pour notre étude on le prend égale à 3).

IV.2.3 Formule de SOGREAH-ANRH

$$Q_t = C_q \times (P_t - P1)$$

IV-5

Avec

Qt : Débit de pointe en m³/s de période de retour T ;

P1 = 20 mm, en Algérie du nord ;

Cq : Coefficient de ruissellement statistique ;

Pt : Pluie journalière max de période de retour T.

$$C_q = \left(\frac{S}{6}\right) \times T_b^{-0.77}$$

IV-6

$$T_b = T_{b0} + \frac{L \times 1.7 \times (P_a \times V_i)^{0.57}}{1000}$$

IV-7

$$V_i = \frac{H_{max} + H_{min}}{L_r}$$

IV-8

Avec :

T_b : Temps de base en heures ;

T_{bo} = 2.33, pour les stations du nord Algérie ;

L : Longueur du talweg principale en Km ;

P_a : Pluie annuelle en mm, (P_a= 390mm) ; (DRE)

S : Superficie du BV en Km² ;

V_i : Pente brute du bassin en % ;

H_{max}, H_{min} : Altitude max et min ;

L_r : Longueur du rectangle équivalent.

- ❖ Les résultats de calcul de débit de crue par les différentes formules pour différents périodes de retour sont donnés le tableau ci-dessous :

Tableau IV-1 résultats des débits de crue par les différentes formules

methode	T	100	50	20	10
	Ptc	26.64	23.95	20.53	17.82
Sokolovsky	Q m3/s	10.75	8.59	6.04	4.22
Maillet Gautier	Q m3/s	12.43	10.83	8.75	7.13
sogreah ANRH	Q m3/s	12.33	10.84	8.93	7.42

En tenant compte les résultats obtenus par les méthodes, Sokolovsky, Maillet Gautier et sogreah ANRH, on choisit la méthode de Maillet Gautier, Cette formule a été déterminée par des études sur les bassins algériens et donne des valeurs de débit plus proche a la méthode de Sogreah de l'ANRH qui a établie dans le cadre d'établissement des études méthodologiques sur l'hydrologie des retenues collinaires en Algérie.

IV.3 Hydrogramme de crue

L'hydrogramme de crue nous renseigne sur les différentes caractéristiques de la crue (la forme, la durée, le volume et le débit de pointe).

L'hydrogramme de crue est établi par la méthode de Sokolovski, qui le trace à la base de deux équations, l'une pour la montée de la crue et l'autre pour la décrue

Pour la montée de la crue :

$$Q_{max} = Q_{max,P} \times \left(\frac{t}{t_m} \right)^n$$

IV-9

Pour la descente :

$$Q_{max} = Q_{max,P} \times \left(\frac{t_d - t}{t_m} \right)^n$$

IV-10

t_m : Temps de montée pris égal au temps de concentration du bassin versant ;

t_d : Temps de descente ($t_d = \gamma t_m$);

γ : pour une surface inférieure à 50 km² on le prend égal à 2.

Avec $n=2$ et $m=3$;

Tableau IV-2 Détermination du débit maximal probable

t (h)	Période de retour (ans)			
	10	20	50	100
0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.40	0.49	0.61	0.69
0.2	1.59	1.96	2.42	2.78
0.3	3.59	4.40	5.45	6.25
0.4	6.38	7.82	9.68	11.12
0.423	7.13	8.75	10.83	12.43
0.5	3.90	4.79	4.79	6.80
0.6	1.40	1.72	2.13	2.44
0.7	0.29	0.36	0.45	0.51
0.8	0.01	0.01	0.01	0.02
0.85	0.00	0.00	0.00	0.00

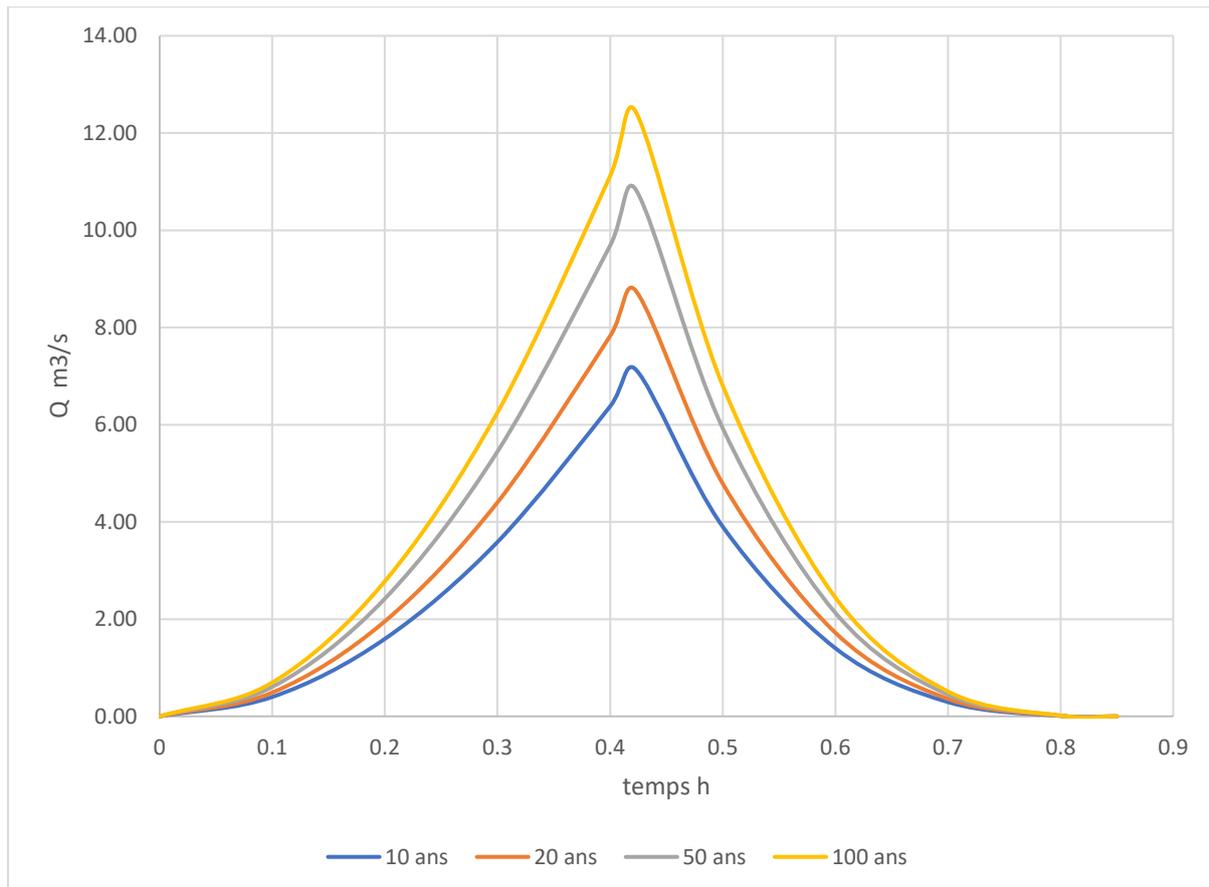


Figure IV: 1 Hydrogramme de crue

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons déterminé les caractéristiques hydromorphologiques du bassin versant et analyser les pluies maximales journaliers de la station de Boufarik, on a fait l'ajustement à trois lois, loi de Gumbel, Galton et de GEV d'après les résultats du test d'adéquation et l'analyse des droites d'ajustement on a opté pour la loi de Galton (log normal).

En ce qui concerne le débit nous avons pris les valeurs calculées par la formule de Maillet Gautier, et la construction de l'hydrogramme de crue nous a permis de voir l'évolution de la crue dans le temps.

Chapitre IV
Diagnostic et simulation
de l'écoulement

Introduction

Cette phase du présent mémoire consiste en la visite du site du projet, afin de recueillir de visu le maximum d'information, de faire un constat détaillé de l'état de l'oued objet de ce projet.

I Diagnostic du l'oued Boumaaza

Traversant le chef-lieu de la circonscription administrative de Birtouta, la rue Ali-Bouhadja connaît chaque hiver et à chaque fois que de grosses pluies viennent à tomber le même phénomène des inondations. La route principale devient alors impraticable pour les piétons à moins de se prémunir du nécessaire pour la traverser d'un côté à l'autre

Les eaux qui ne stagnaient qu'au niveau de l'entrée de la ville occupent de plus en plus de terrain pour s'étendre jusqu'au centre et se prolonger à la sortie vers l'autoroute.

Le rapport descriptif sera agrémenté de photographie y afférents.

Comme décrit précédemment dans ce mémoire l'oued Boumaaza qui a perdu sa forme réelle d'oued, due à des transformations :

- Travaux de terrassements devers.
- Conséquence d'une urbanisation sauvage et incontrôlée.
- Décharge de gravât incontrôlé.

Il prend naissance sur les hauteurs du centre-ville de Birtouta à 64 mètres au-dessus de niveau de la mer à l'aval d'une zone pratiquement plane dénommer le plutôt au lieu-dit Boumaaza, il est à rappeler que le plutôt fut jadis réservé à l'agriculture

I.1 État actuelle :

Un vaste programme de logement collectif (AADL, LSP, LPA) est en cours de réalisation (selon nos informations ce programme avoisine les 22 000 logements).

Juste en contre bas de ce vaste programme de logement c'est-à-dire le lit même de l'oued et ces berges une multitude de construction illicite s'érige d'une manier anarchique défiant toutes les règles d'urbanisme.

Il est également à signaler le déversement sur les berges d'oued d'importante quantité gravât et de produits de terrassement issu des travaux de réalisation des logements cité ci-dessus, par un apport massif de divers gravât et de boue lors de forte pluie en est la conséquence (les inondations de 2001, 2007, 20013).



Figure I:1 état actuelle de lit de l'oued en amont – aout 2020



Figure I:2 l'état des rives de l'oued en amont – aout 2020

On constate qu'à l'approche de la cité 1680 logement le lit de l'oued est investi de végétation dense de roseaux et de lentisques, bordé sur la rive droite d'habitations en dur en R+1 et R+2.



Figure I:3 l'état des rives de l'oued en amont – aout 2020

Oued Boumaaza ruisselle à ciel ouvert, Par la suite les eaux sont évacuées dans le collecteur d'assainissement Ø 1000,

Au niveau de la roue ALI BOUHADJA, les eaux de l'oued seront déviées vers oued MAGHDOUR.

Le débit supplémentaire d'oued BOUMAAZA est pris en compte dans une étude d'aménagement de ce dernier.



Figure I:4 cheminement de l'oued au niveau de ALI BOUHADJA – aout 2020

Un collecteur d'assainissement \varnothing 500mm des eaux usées chargé de recueillir les eaux usées de quartier AADL suit le cheminement de lit de l'oued jusqu'à l'autoroute est-ouest où il est raccordé au réseau principal de la ville \varnothing 1200mm, et c'est là aussi que le cheminement de l'oued est interrompu et repris par une buse de \varnothing 1000mm traversant la route ALI BOUHADJA (APC Birtouta).



Figure I:5 Début de la canalisation par une conduite de \varnothing 1000 – aout 2020



Figure I:6 construction sur le lit de l'oued – aout 2020



Figure I:7 réalisation d'une école primaire sur le lit de l'oued – aout 2020



Figure I:8 logement AADL – aout 2020

Un vaste programme de logement collectif (AADL, LSP, LPA) est en cours de réalisation (selon nos informations ce programme avoisine les 22 000 logements).



Figure I:9 Exutoire d'oued Boumaaaza vers oued Meghdour – aout 2020

I.2 Caractéristiques de l'oued Boumaaaza :

Fiche technique :

L'oued Boumaaaza ci-dessus peut être divisé en deux parties :

I.2.1 Premier tronçon :

Boulevard colonel Othmane

Longueur approximative : 1252 ml.

Dénivelée : 63m

Pente : 6.75%

Écoulement : ciel ouvert

I.2.2 Deuxième tronçon :

Rue Ali Bouhadja

Longueur approximative : 1000m

Dénivelée : 4

Écoulement : canalisé.

II Simulation de l'écoulement

Pour la simulation de l'écoulement de l'oued on va utiliser deux logiciels :

HEC-RAS : pour simuler la partie qui ruisselle à ciel ouverte

SWMM : pour l'écoulement canalisé

II.1 Présentation du logiciel

HEC-Geo RAS

HEC-Geo RAS est un ensemble de procédures, d'outils et d'utilitaires pour le traitement des données géospatiales dans ArcGIS à l'aide d'une interface utilisateur graphique (GUI). L'interface permet de préparer les données géométriques pour l'importation dans HEC-RAS et de traiter les résultats de simulation exportés depuis HEC-RAS. Pour créer le fichier d'importation, l'utilisateur doit disposer d'un modèle numérique de terrain (MNT) du réseau hydrographique. L'utilisateur crée une série de thèmes de lignes pertinents pour le développement de données géométriques pour HEC-RAS. Les thèmes créés sont Stream Centerline, Flow Path Centerlines (facultatif), Main Channel Banks (facultatif) et Cross Section Cut Lines, appelés RAS Themes.

HEC-RAS

Le logiciel HEC-RAS a été créé en 1995 par les ingénieurs de l'HEC (hydrologic engineering center) dans le but de prévoir les dégâts provoqués par un pic de débit de pointe donné, il permet de simuler les écoulements permanents et non permanents,

Il utilise les équations de Saint-Venant pour résoudre les problèmes en régime transitoire et les, et l'équation de l'énergie est la quantité de mouvement respectivement dans le cas des écoulements graduellement variables et rapidement variables.

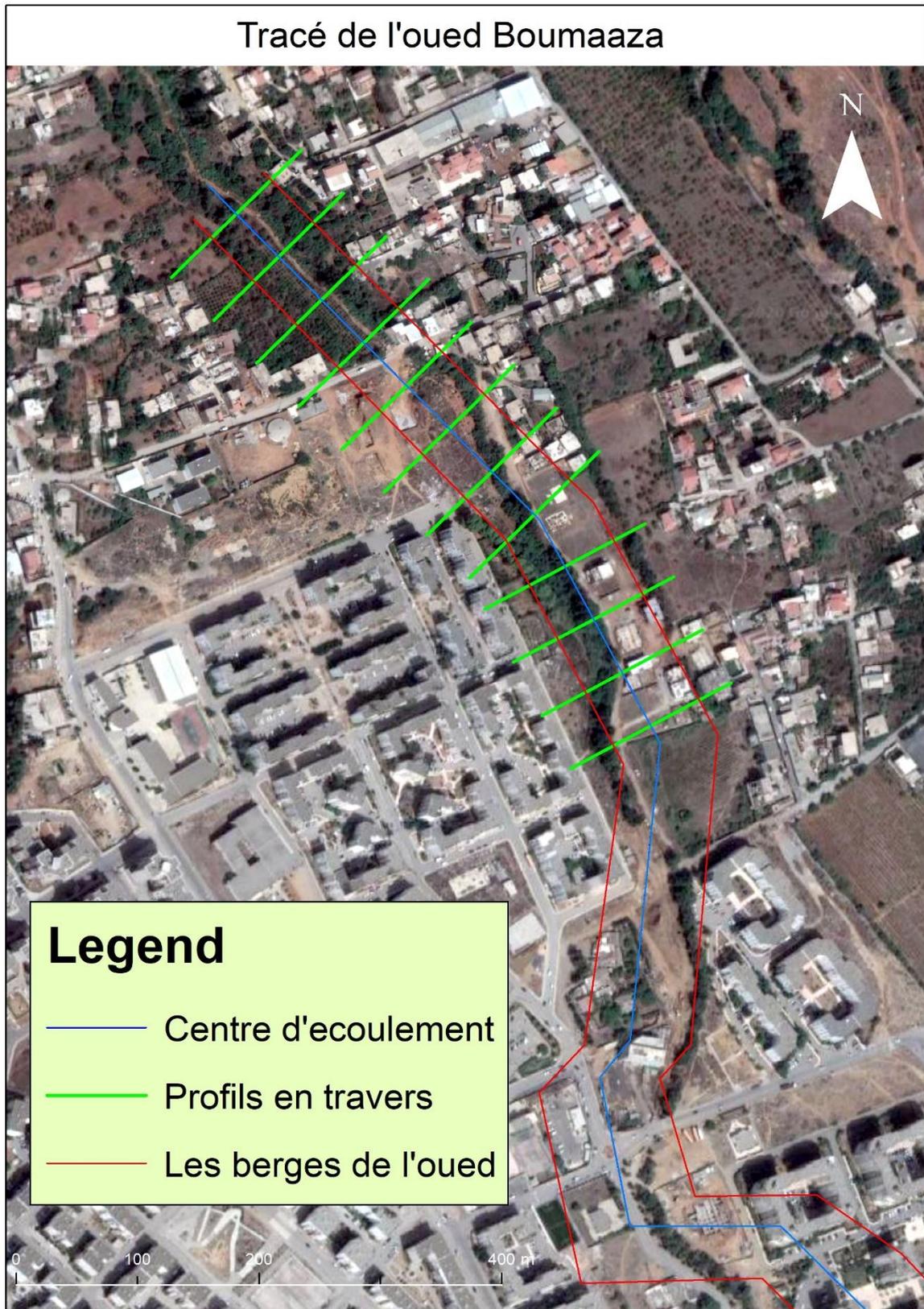


Figure II:1 Tracé d'oued Boumaaza

II.2 Simulation de l'écoulement

A l'ouverture de logiciel HEC-RAS, on définit un nouveau projet, les sections transversales et les contractions, expansions, et les différentes distances sont récupérés directement à travers le fichier Géo, ainsi la géométrie est définie.

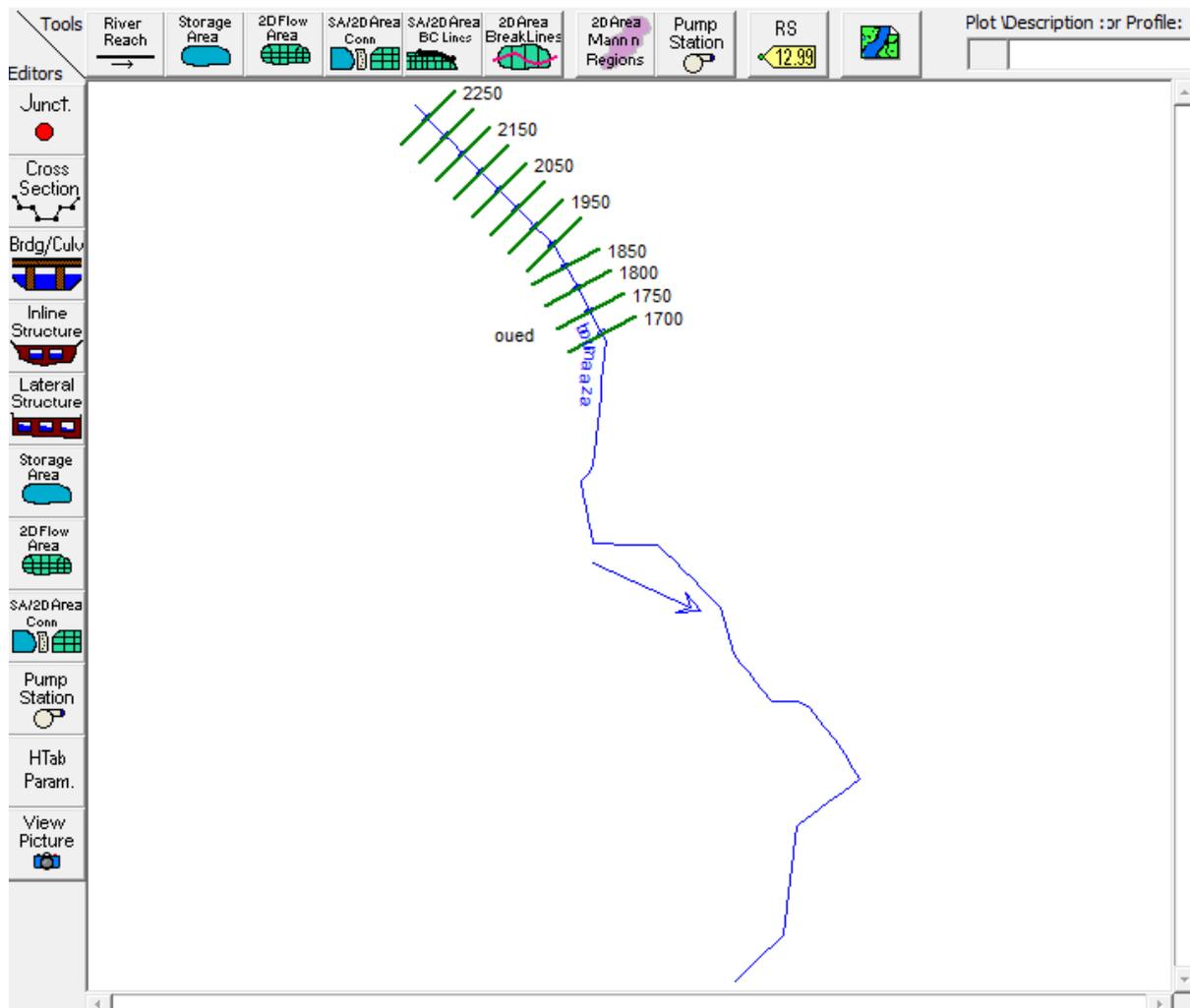


Figure II:3 Données géométrique de l'oued

II.2.1 Choix de coefficient de frottement

Comme il n'existe pas de loi précise qui nous permet d'estimer la rugosité « n » (coefficient de Manning) avec exactitude, afin de pouvoir bien l'estimer on doit prendre en considération plusieurs paramètres :

- ✓ Matériaux de lits et dimension moyenne de particules solides.
- ✓ Irrégularités des surfaces des lits d'oued.
- ✓ Formes des lits d'oued (comme les rides, dunes, chutes et autres),
- ✓ Caractéristiques d'érosion et de sédimentation,
- ✓ Tendances à la formation de méandres.
- ✓ Obstacles à l'écoulement (arbres déracinés, souches d'arbres, remblais et autres).
- ✓ Changement dans la géométrie entre les sections d'oueds.
- ✓ Végétation sur les terrasses d'inondations et le lit mineur de l'oued.

Pour estimer le coefficient de rugosité « n », l'ingénieur hydraulicien se base généralement sur les valeurs relatives à la végétation, l'occupation des sols ou les deux ensembles.

Le tableau ci-dessous repère quelques valeurs de la rugosité :

Tableau II-1 Estimation du coefficient de Manning

Catégorie	Type de recouvrement	Gamme de profondeur d'écoulement		
		0-0.15	0.15-0.6	> 0.6
Rigide	Béton	0.015	0.013	0.013
	Roche bétonnée	0.04	0.03	0.028
	Maçonnerie	0.042	0.032	0.03
	Sol-ciment	0.2025	0.022	0.02
	Asphalte	0.018	0.016	0.016
Non recouvert	Sol nu	0.023	0.02	0.02
	Roche excavé	0.045	0.035	0.025
Temporaire	Papier tissé	0.016	0.015	0.015
	Jute	0.028	0.022	0.019
	Papier avec filet	0,065	0,033	0,025
	Matelas de fibre en bois	0,066	0,035	0,028
	Fibre de verre	0,028	0,021	0,019
Graviers	D50 25 mm	0,044	0,033	0,030
	D50 50 mm	0,066	0,041	0,034
Enrochement	D50 150 mm	0,104	0,069	0,035
	D50 300 mm	-	0,078	0,040

www.grr.ulaval.ca/gae_3005-1

Nous pouvons ainsi observer la variation de la vitesse d'écoulement sur le lit mineur et les deux rives suivant chaque profil en travers

II.2.2 Délimitation des zones inondables

Après avoir calculé les profils d'inondation avec HEC-RAS, notre objectif dans cette partie est la délimitation des plaines inondables. Pour ce faire, nous avons besoin d'obtenir la surface de l'eau par l'option Water Surface Generation inclut dans Inundation Mapping de RAS Mapping (un modèle de mappage inclut dans HEC-Geo RAS version 5.1.0) à partir des données exportées de HEC-RAS. Une fois la surface de l'eau est délimitée, on peut facilement produire la zone inondable par l'option Floodplain Delineation Using Rasters

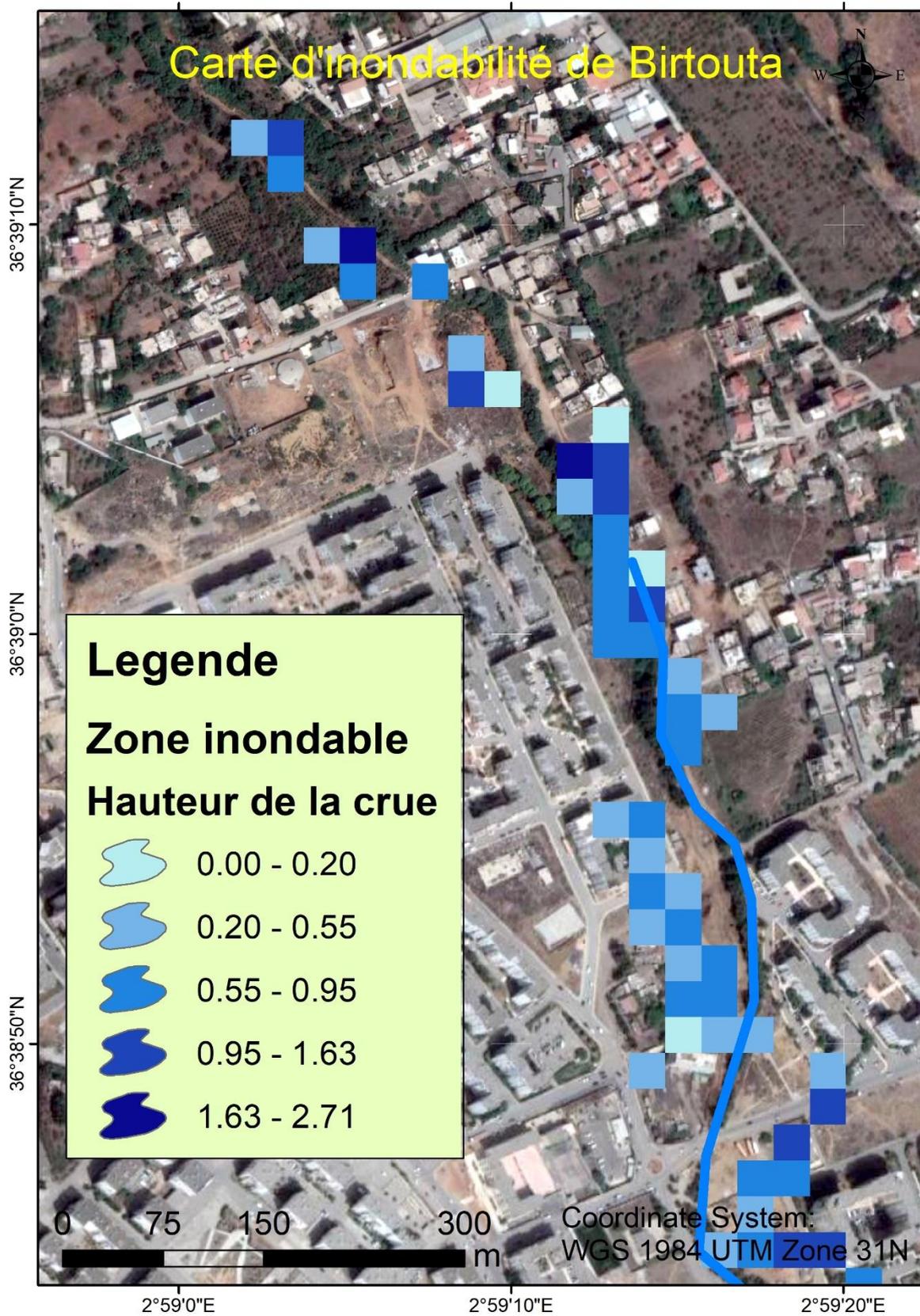


Figure II:4 carte des zones inondables

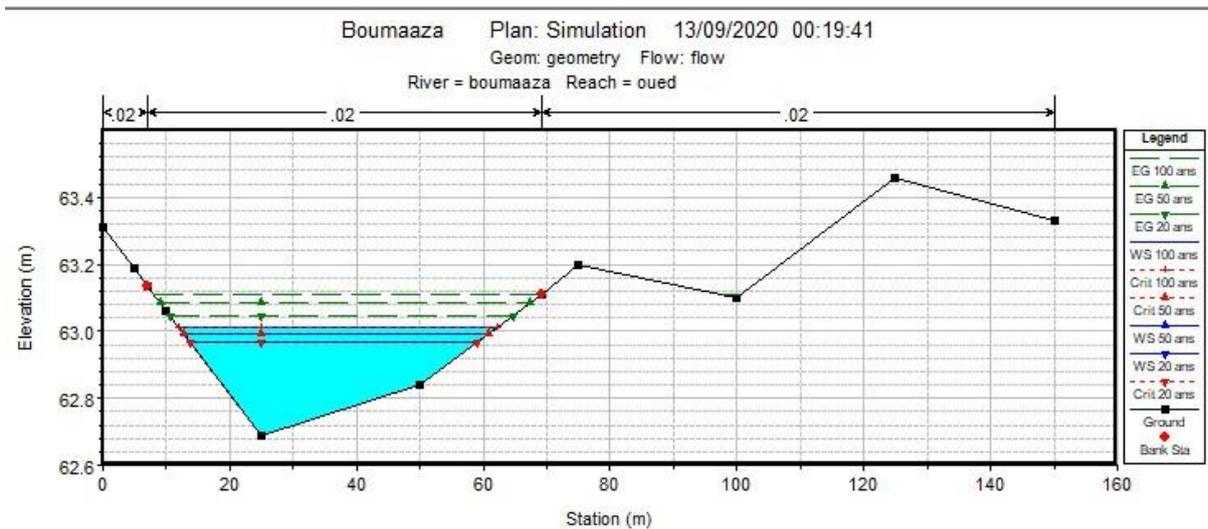


Figure II:5 exemple d'un profil en travers de l'oued (numéro 1950)

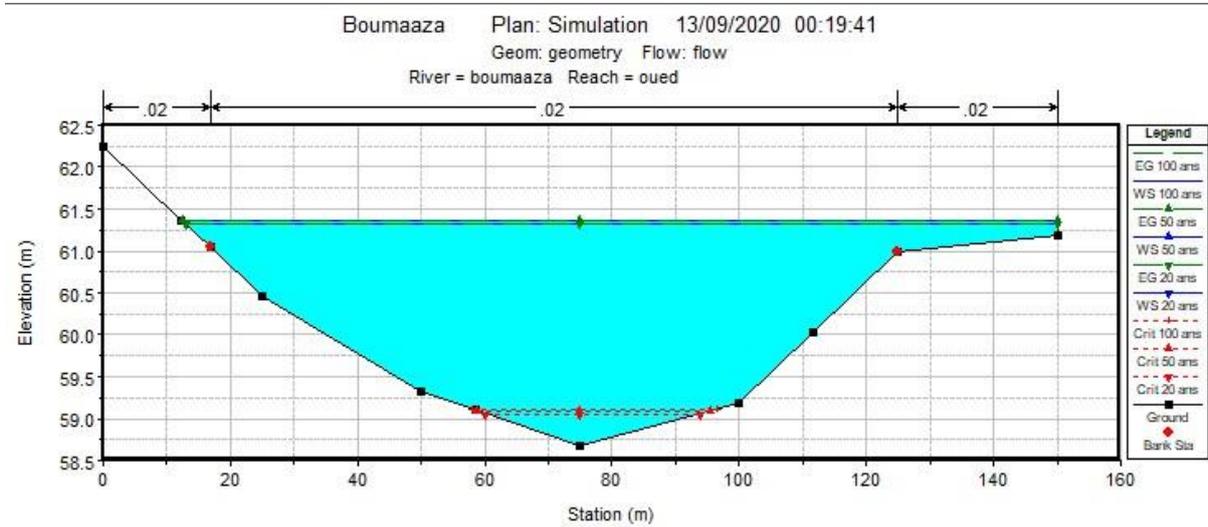


Figure II:6 exemple d'un profil en travers à l'amont d'une buse (numéro 1800)

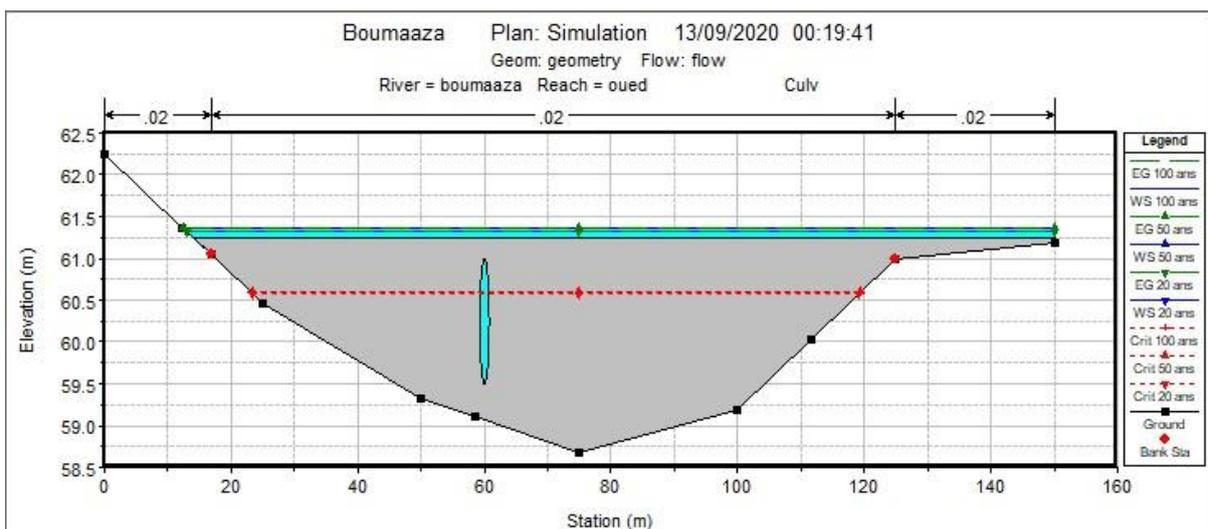


Figure II:7 Profil en travers amont de la canalisation (numéro 1700)



Figure II:8 carte explicative sur la situation des profils

III Simulation de l'écoulement canalisé

III.1 Présentation du logiciel SWMM

SWMM (Storm Water Mangement Model) est un programme de simulation hydrologique développé par l'Agence de la Protection de l'Environnement aux Etats-Unis (USEPA) en collaboration avec un groupe de recherche situé à l'université de Floride et à l'université de l'état d'Oregon. Depuis son premier développement en 1971, ce modèle a suivi des évolutions successives et en est actuellement à sa cinquième version. (telliez, mars 2010)

Ce programme permet la simulation du comportement des eaux pluviales tant d'un point de vue quantitatif que qualitatif. Il est particulièrement bien adapté au bassin urbain pour le calcul des réseaux d'assainissement simples ou complexes et s'applique soit pour des évènements ponctuels ou pour des simulations continues. (telliez, mars 2010)

III.2 Etapes d'utilisation de SWMM

On réalise généralement les étapes suivantes lorsque vous utilisez EPA SWMM pour modéliser une zone d'étude :

- Définir un ensemble d'options par défaut et propriétés d'objet à utiliser.
- Tracer une représentation du réseau des composants physiques de la zone d'étude.
- Modifier les propriétés des objets qui composent le système.
- Sélectionnez un ensemble d'options d'analyse.
- Exécuter une simulation.
- Voir les résultats de la simulation.

III.3 Modélisation de l'écoulement

Après avoir introduit les données géométrique et hydrométrique de notre oued, On fait le choix de régime d'écoulement, dynamic flow, et en lance la simulation.

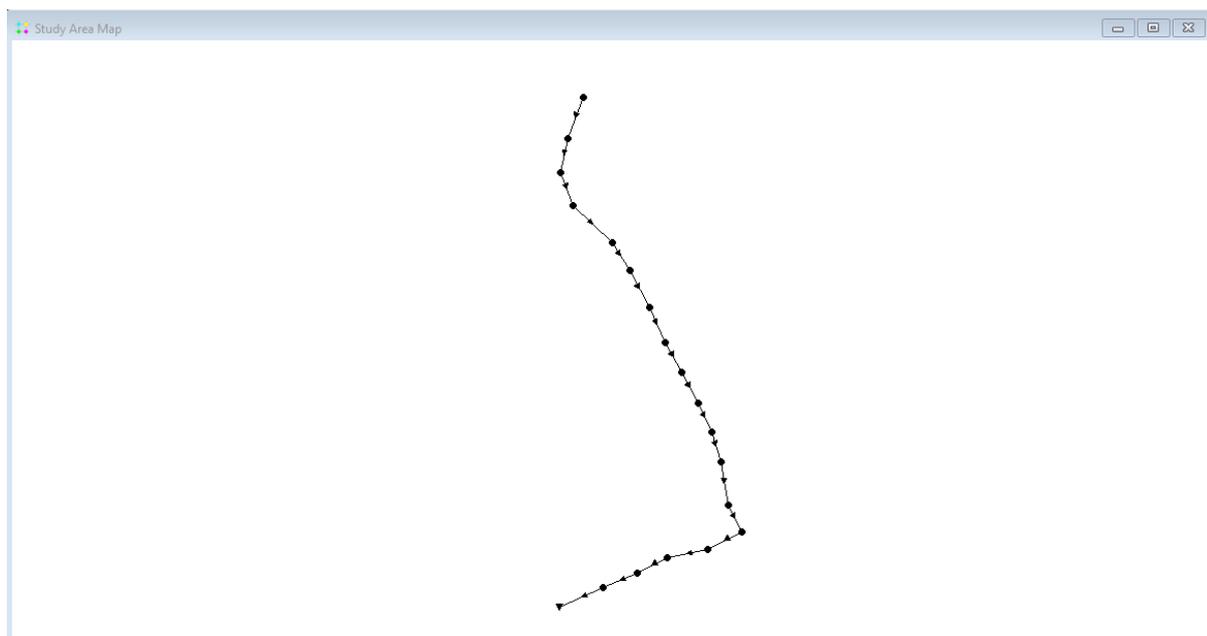


Figure III:1 Trace de la conduite DN1000 -SWMM

III.4 Visualisation des résultats

Les résultats de simulation d'oued Boumaaza sont donnés sous forme de graphes et tableaux exprimant la variation des différents paramètres hydrauliques (Vitesse, profondeur de la ligne d'eau, profondeur de la ligne d'énergie, section mouillée, les profils des zones inondables selon le débit considéré,) en fonction de la longueur du cours d'eau.

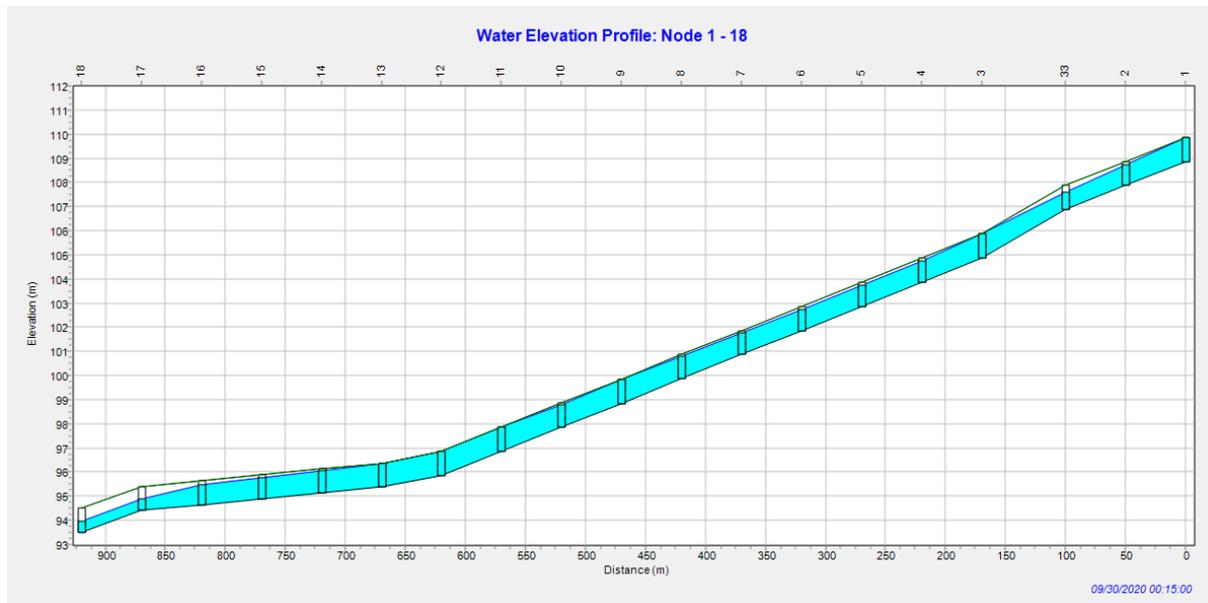


Figure III:2 Resultat de la simulation

Conclusion

Oued Boumaaza ruisselle à ciel ouvert, la section de l'oued est capable d'évacuer le débit de crue centennale.

Par la suite les eaux sont évacuées dans le collecteur d'assainissement $\varnothing 1000$, qui est incapable d'évacuer le débit de crue à différent période de retour, cela peut constituer un risque sur les îlots d'habitation du chef-lieu de la commune de BIRTOUTA (logements AADL) en cas l'arrivé des fortes averses

On va chercher la solution adéquate qui résoudra la problématique d'inondations de la ville de Birtouta.

Chapitre V

Calcul hydraulique

Introduction

Après avoir évalué le débit de crue et fait la simulation de l'écoulement dans l'oued avec le logiciel HecRas afin de vérifier sa capacité et déterminer les zones inondables, dont le but de le réaménager en fonction des données obtenues.

Dans ce chapitre nous proposons deux variantes d'aménagement ayant pour objectif la protection du centre-ville de Birtouta contre les inondations.

Des deux variantes qui seront étudiées ci-dessous, il est évident que la variante la fiable techniquement et économiquement sera retenue

I L'objectif d'un aménagement

Un aménagement a pour but :

- Améliorer les conditions d'écoulement des eaux superficielles afin de protéger le voisinage du cours d'eau contre le risque des inondations.
- Préserver les espaces urbains et améliorer l'hygiène public.

II Le principe d'un aménagement :

Afin de protéger les enjeux sensibles, trois types d'aménagements sont envisageables :

- La réduction de l'apport en amont dans les zones à protéger.
- L'amélioration du routage du débit de crue et la capacité d'écoulement.
- La maîtrise du ruissèlement sur le bassin versant.

II.1 : Laminage de crue :

Le laminage de crue sert à atténuer l'ampleur du débit de crue en réalisant un stockage d'eau à l'amont des zones à protéger.

La réduction du débit de pointe peut être obtenue en créant des zones naturelles d'expansion de crues. Autrement dit en favorisant un débordement dans les zones à vulnérabilité réduite, tel que les prairies et certaines cultures, où on peut prévoir des ouvrages aménagés en déblai ou en remblai avec un volume de rétention important et une certaine hauteur de stockage appelés **les bassins de rétention**, permettent le laminage des crues en stockant temporairement les débits de pointe pour qu'ils soient évacués lors de la décrue, et ainsi : [9]

- Limiter la fréquence des débordements en aval.
- Réduire les dimensions des ouvrages à réaliser en aval (réduire le cout du projet).

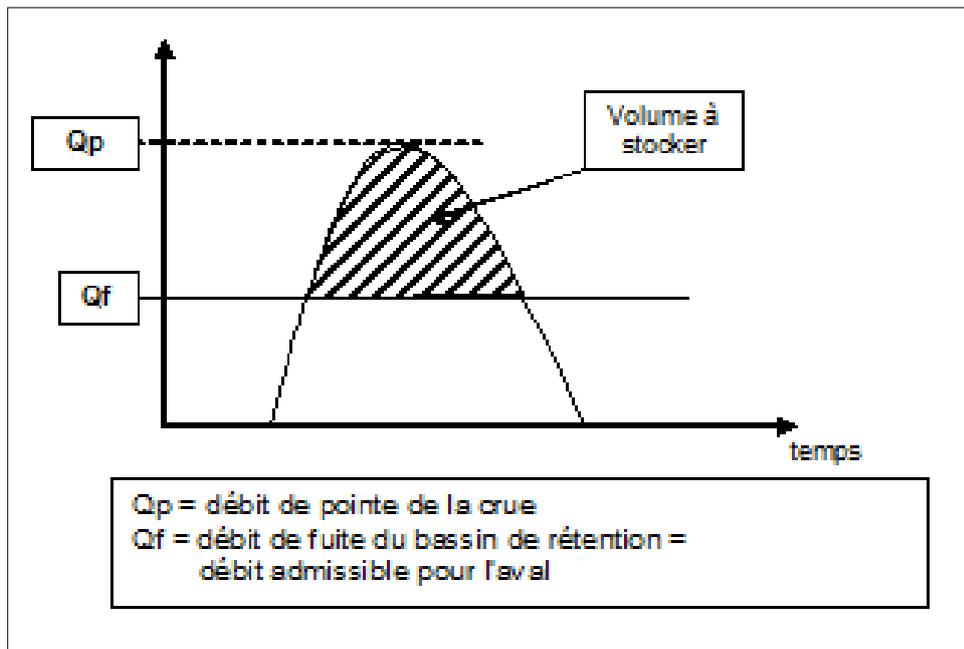


Figure II:1 volume à stocker dans le bassin

II.2 Les tronçons à aménager

Pour faciliter les calculs de dimensionnement nous avons subdivisé l'oued en deux tronçons :

1^{er} tronçon : la partie où l'oued ruisselle à ciel ouvert (340m).

2^{ème} tronçon : la partie où les eaux sont évacuées dans le collecteur d'assainissement Ø 1000 (900m).



Figure II:2 carte explicative sur les traçons à aménager

III Proposition des variantes d'aménagement :

III.1.1 Variante 1

Elle consiste en un aménagement par un canal de forme trapézoïdal en béton armé avec une largeur égale à la largeur moyenne de lit de l'oued estimé à 5m pour le premier tronçon, et une buse de DN1800 avec une pente de 1%.

III.1.2 Variante 2

Elle consiste en un aménagement par un canal dont les deux rives en gabion, pour le premier tronçon (on garde les mêmes buses proposées pour la première variante pour le deuxième tronçon).

IV Etude des variantes

IV.1 Variante 1

IV.1.1 Premier tronçon (à ciel ouvert)

Le calcul se fera par la formule de « Manning Strickler » dont la formule est donnée par la relation suivante :

$$Q = \frac{1}{n} \times R_h^{2/3} \times S_m \sqrt{I}$$

IV-1

Avec :

Q : le débit de dimensionnement en (m³/s).

n : le coefficient de Manning Strickler représente la rugosité du béton .

I : la pente du canal (m/m).

R_h : le rayon hydraulique.

$$R_h = \frac{S_m}{P_M}$$

IV-2

S_m : la surface mouillée en (m²).

P_m : le périmètre mouillé en (m).

✓ **La surface mouillée :**

$$S_m = h \times b + m \times h^2$$

IV-3

✓ **Le périmètre mouillé :**

$$P_m = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$$

IV-4

Avec m : le fruit de talus

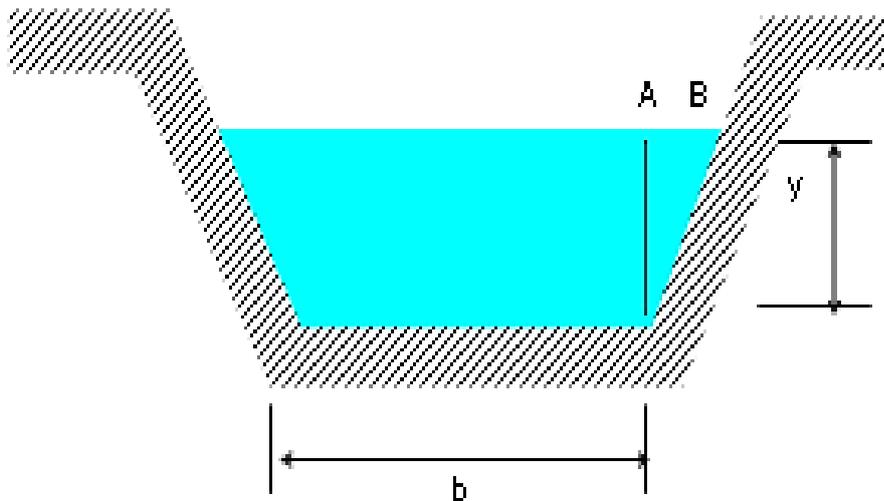


Figure IV:1 La Section d'un canal trapézoïdal

Le rayon hydraulique s'écrit sous la forme suivante :

$$R_h = \frac{h \times b + m \times h^2}{b + 2h\sqrt{1 + m^2}}$$

IV-5

Après des calculs on obtient :

$$\frac{n \times Q}{\sqrt{I}} = \frac{[(b + mh)h]^{\frac{5}{3}}}{[b + 2h\sqrt{1 + m^2}]^{\frac{2}{3}}}$$

IV-6

Les termes n , Q et I étant connus on procède à un calcul itératif en fixant suivant la largeur moyenne du lit naturel, en choisissant a priori un fruit de talus soit $m = \frac{1}{\sqrt{3}}$ pour la section avantageuse, ou bien $m=1$ pour la facilité technique de réalisation d'un angle de 45° .

En ce qui concerne la pente nous avons fait un système étagé d'une pente qui varie entre 2%

I (%)	b (m)	Q (m ³ /s)	N	m	H (m)	Fr	V(m/s)
2	5	12.43	0.014	1	1.3	0.86	1.47

Choix de la revanche :

Tableau IV-1 Revanches utilisées (Freeboard)

Débit (m ³ /s)	<0.75	0.75 à 1.5	1.5 à 85	>85
Revanche (m)	0.45	0.6	0.75	0.9

Pour un débit de 12.43 m³/s on prend 0.75m comme revanche

IV.1.2 Deuxième tronçon (canalisé)

On va remplacer la buse de DN1000 par une buse de DN1800 pour évacuer le débit supplémentaire de la crue (le dimensionnement de la conduite et inclus dans l'annexe)

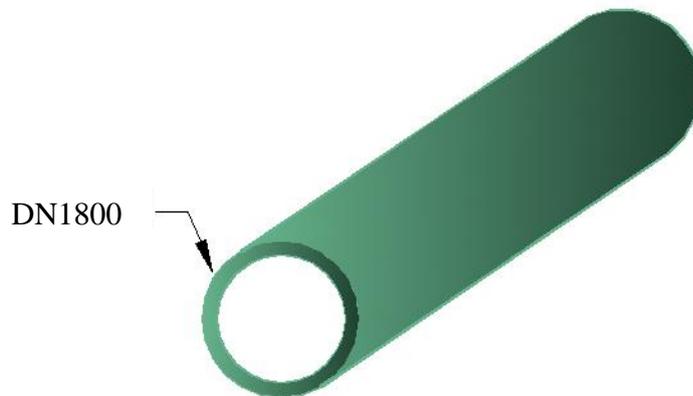


Figure IV:2 Collecteur DN 1800

Tronçon	Ø (mm)	Q (m ³ /s)	I (m/m)
2	1800	12.43	0.01

Les eaux d'oued Boumaaza sont déviée vers oued Maghdour, pour rester dans le même niveau d'oued Maghdour a l'exutoire d'oued Boumaaza, on a ajouté 3 regards de chute a fin de maintenir la même altitude.

A partir du logiciel HEC-RAS on peut visualiser les sections après l'aménagement.

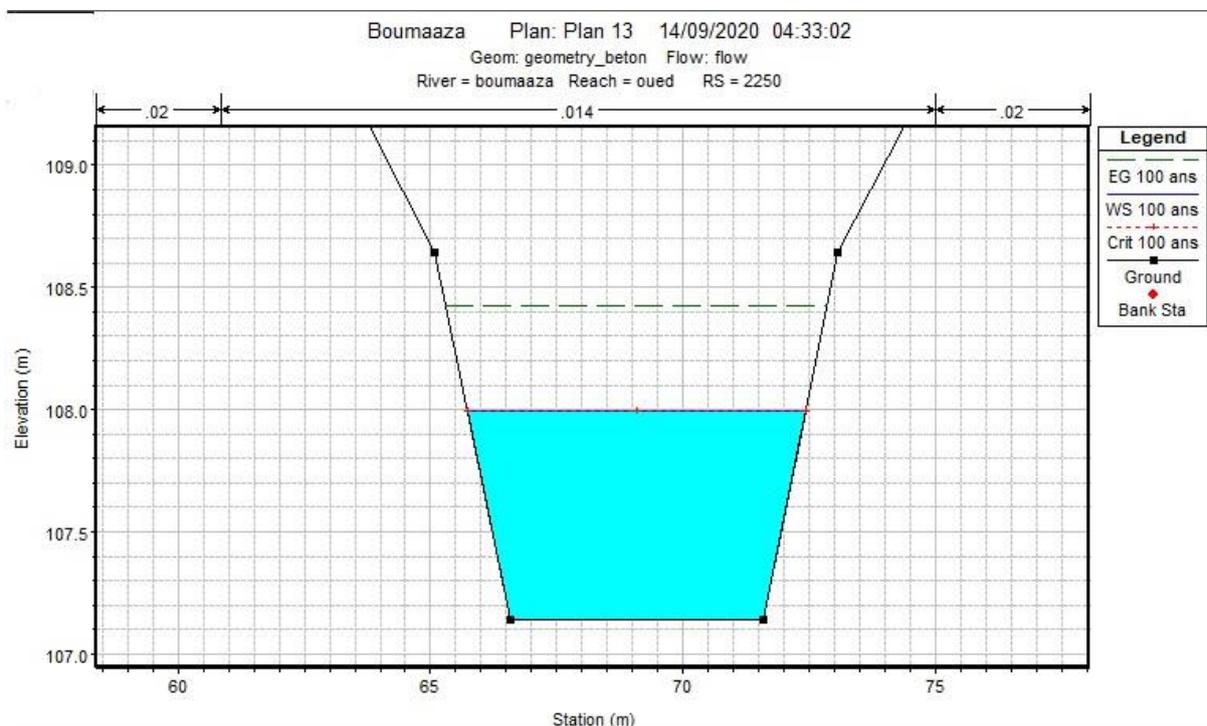


Figure IV:3 Section aménagée 1er tronçon (numéro 2250)

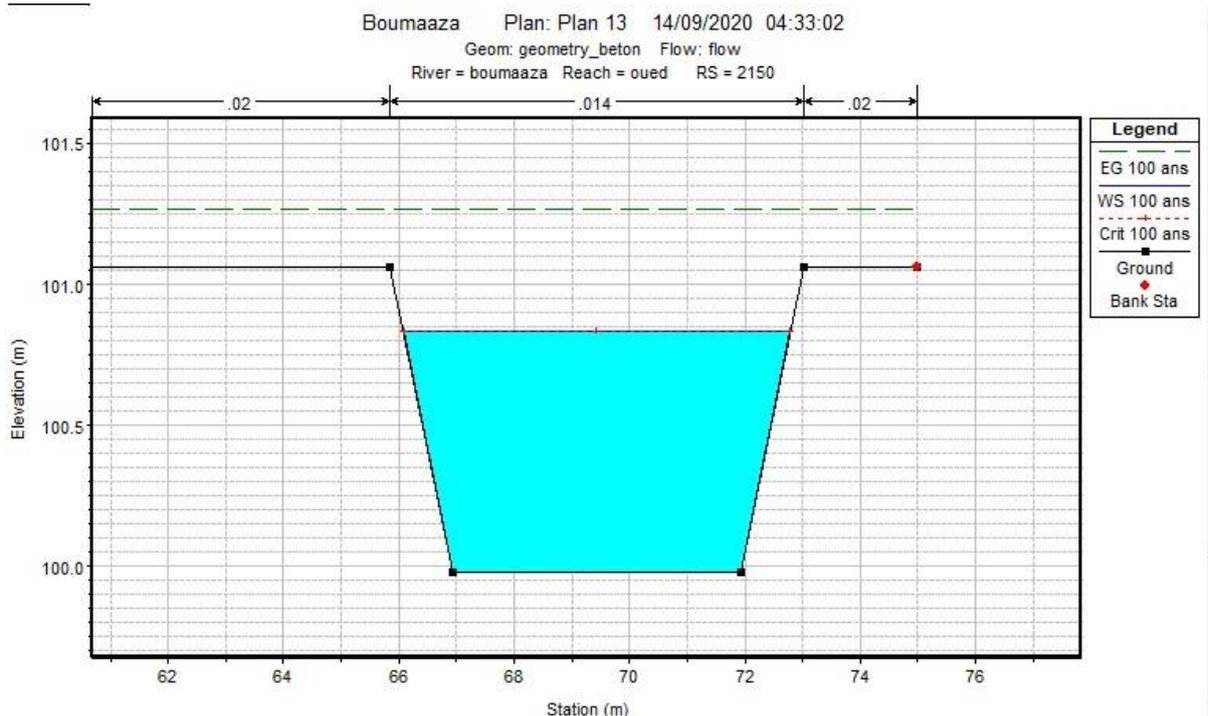


Figure IV:4 Section aménagée 1er tronçon (numéro 2150)

Visualisation des résultats avec SWMM

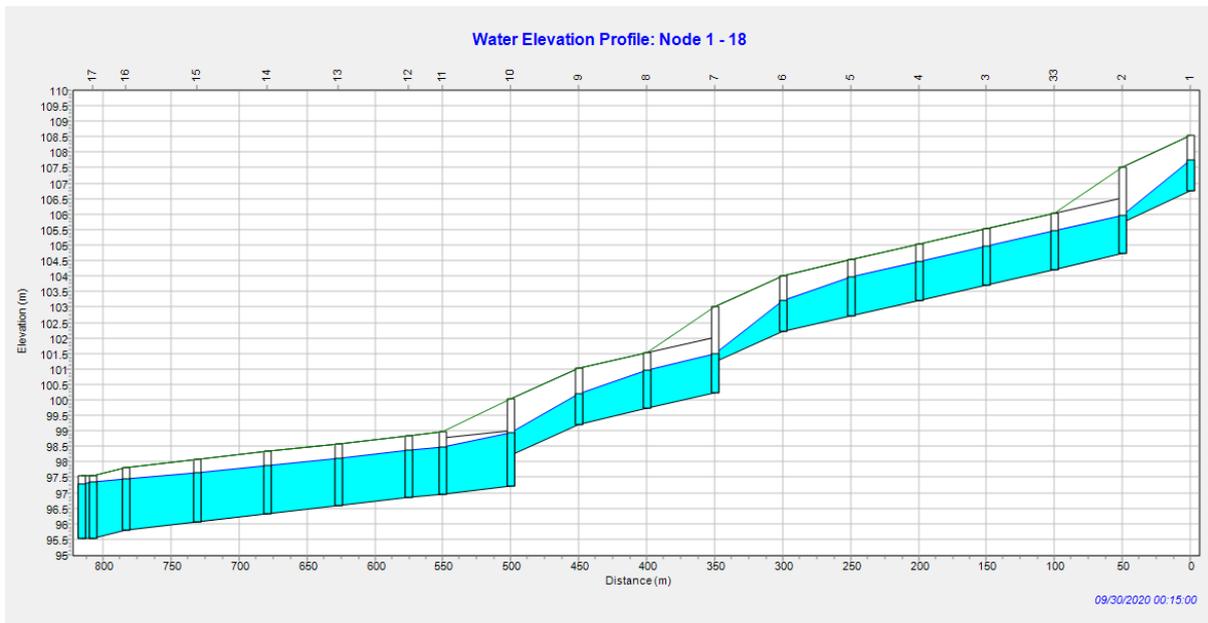


Figure IV:5 Résultat de la simulation après aménagement

IV.2 Variante 2

Les murs en gabions sont utilisés principalement pour réaliser les revêtements et les protections anti-affouillements sur les berges de l’oued. Ils se présentent sous forme de dimensions variées, Les murs en gabion, sont mis en œuvre d’une façon spéciale ; les sacs sont agencés de manière à créer un escalier qui permet la stabilité des berges.

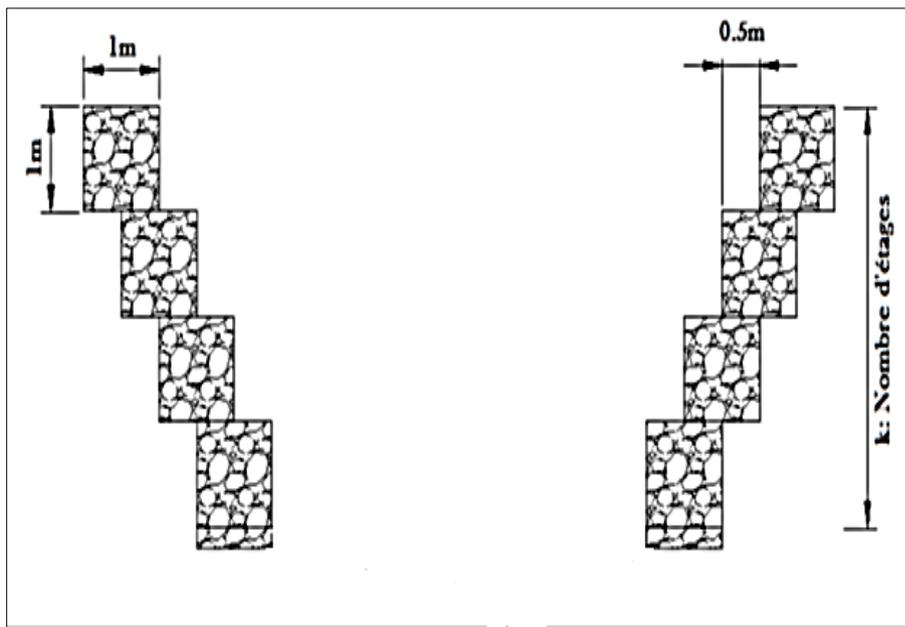


Figure IV:6 coupe transversale d'aménagement en gabion

Tableau IV-2 caractéristique géométrique de la section gabionnée

Caractéristique	Section S_m (m^2)	Périmètre P_m (m)	Rayon hydraulique R_h (m)
Relation	$\frac{1}{2}K(K - 1) + b.K$	$b + 3K - 1$	$\frac{0.5K(k - 1) + B.K}{b + 3K - 1}$

Avec :

K : Le nombre des étages,

b : Largeur du lit d'oued.

On fixe la largeur de la base b puis on calcule le nombre d'étages (cages de gabions qui puissent évacuer le débit de crue sans débordement éventuel.

Tableau IV-3 Dimensions du canal en gabions

I(m/m)	Nombre d'étiage	b(m)	n	S(m^2)	P(m)	V(m/s)	Fr
0.04	2	5	0.027	10.5	10	1.18	0.41

Pour le tronçon 2 en garde les dimensions de la première variante.

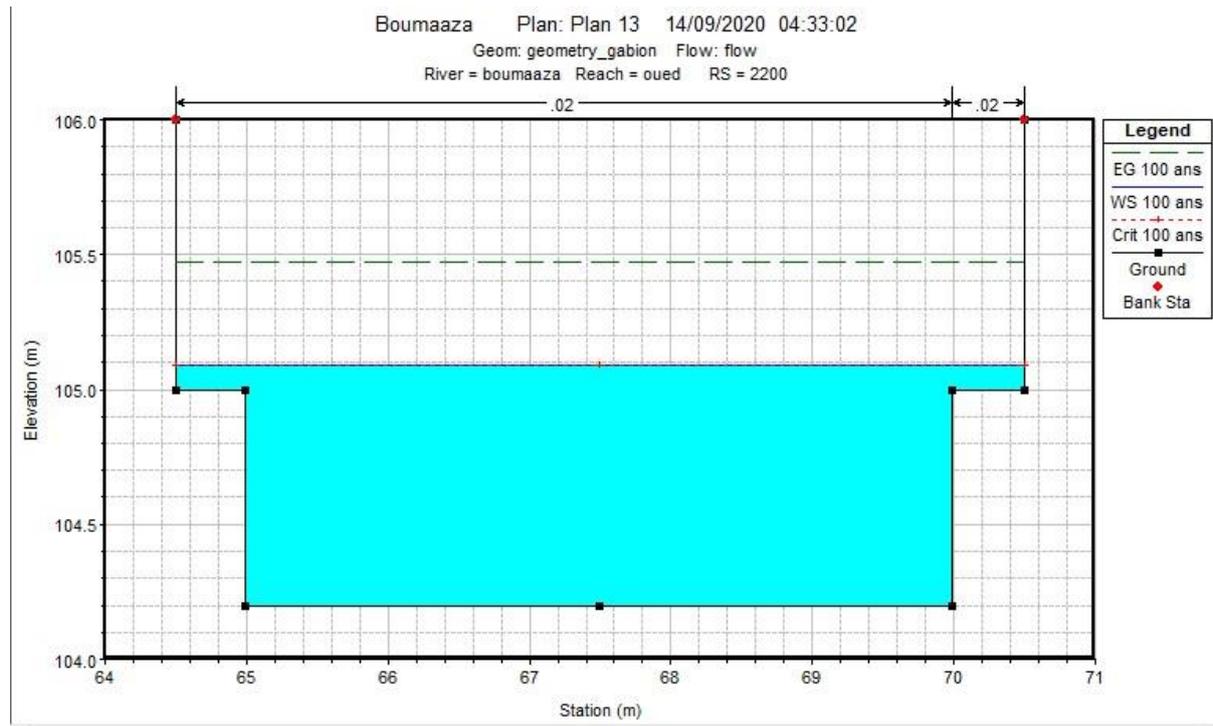


Figure IV:7 Section aménagée (numéro 2200)

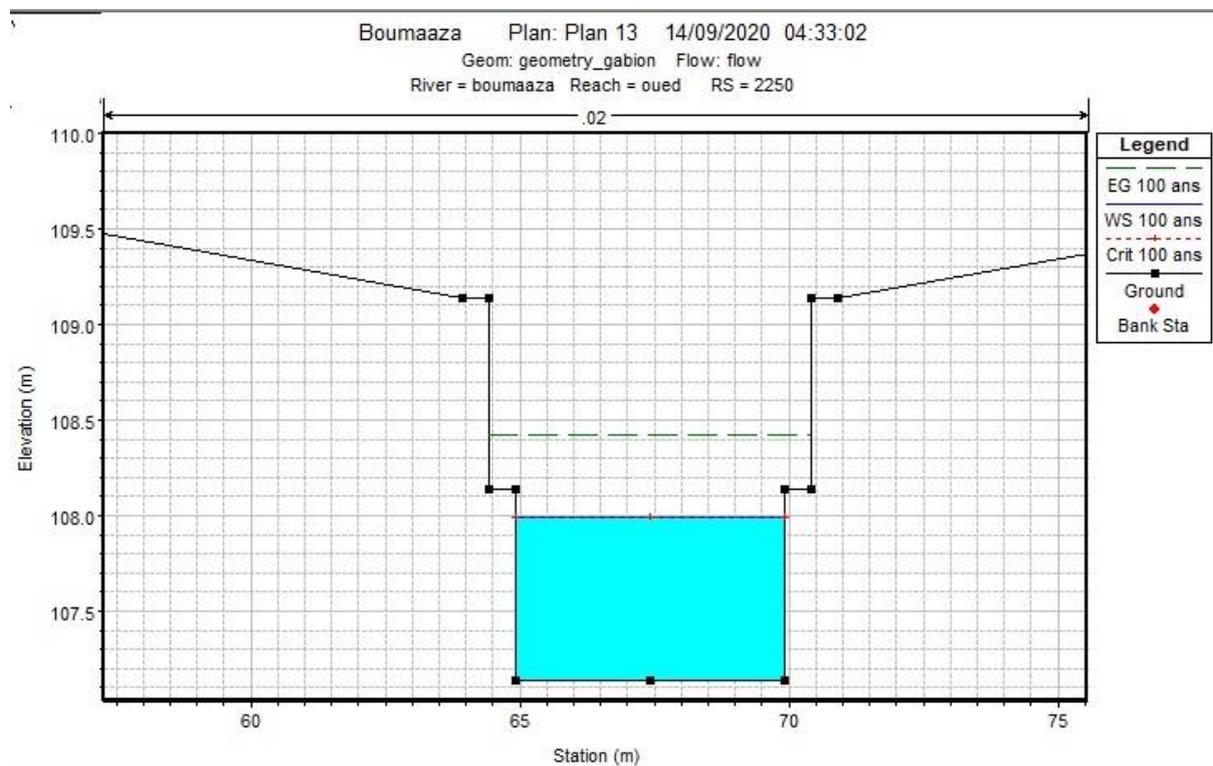


Figure IV:8 Section aménagée (numéro 2250)

V Choix de variante

V.1 Variante 1 (canal en béton)

Les différents avantages et inconvénient du béton armé sont :

- Meilleures caractéristiques hydrauliques de l'écoulement.
- Les matériaux de construction sont disponibles.
- La forme étroite est adaptée à la ville.
- Une durée de vie importante.
- En cas d'obstruction, une facilité de nettoyage.
- Assurance d'une propreté relative de ne pas être utilisé comme une décharge. Simple à réaliser.
- Un cout de génie civil élevé.

V.2 Variante 2 (gabionnage)

Les différents avantages et inconvénient du béton armé sont :

- Perméabilité : elle rend possible le contact entre l'eau et la berge ce qui est indispensable pour permettre l'épuration naturelle et le développement de la biodiversité.
- Souplesse : c'est cette souplesse mécanique qui rend possible l'adaptation dès la structure en gabions aux mouvements du sol.
- Appui : l'appui de soubassement est intéressant dans les techniques mixtes (gabions et matelas en gabions).
- Coût : le coût d'approvisionnement et de mise en œuvre des gabions est relativement raisonnable dans le cadre d'une reconstruction de berges altérées dans des zones à fortes contrainte d'occupation des sols.
- L'amont et l'aval sont les points les plus sensibles de la ligne d'engrochement, si l'eau arrive à passer d'arrière les blocs amont tout l'ouvrage est menacé par l'érosion et peut assez rapidement s'effondrer
- Pendant le curage, l'endommagement de certains éléments est inévitable.
- Il demande une main d'œuvres qualifiés pour sa bonne exécution

V.3 Etude comparative

Variante	Note				
	Coût	Environnement	Entretien et Opération	Stabilités	Totale
Variante N°1	4	2	5	4	15
Variante N°2	5	5	4	5	19

Bon	Moyen	Mauvais
5	4	2

Après avoir comparé les deux variantes, on a choisi la variante N°2, qui est la meilleure de point de vue technico-économique et environnementale.

L'aménagement de la 1ere partie est optionnel mais préférable pour maintenir la forme de l'oued en amont de la canalisation.

VI Etude de stabilité du canal

Pour le dimensionnement d'un canal, il est nécessaire d'en garantir la stabilité, afin d'éviter les érosions provoquées par les forces hydrodynamiques engendrées par l'écoulement. Les conditions dans lesquelles les particules du matériau non cohérent qui constituent le fond et les berges d'un canal commencent à se déplacer, appelées conditions critiques, peuvent s'exprimer en fonction des vitesses de l'écoulement (vitesses critiques), ou des tensions tangentielles exercées sur les particules (forces tractrices critiques).

Les étapes de l'étude de stabilité du fond du canal suivant cette méthode sont comme suit : Détermination de la contrainte tangentielle admissible à partir du diamètre moyen des grains et avec l'utilisation de l'abaque présenté dans la figure, calculer la contrainte tangentielle au fond, calculer la contrainte tangentielle des berges.

On doit vérifier que la contrainte tangentielle au fond τ_0 est inférieure à la contrainte admissible. Calculer la contrainte tangentielle au fond :

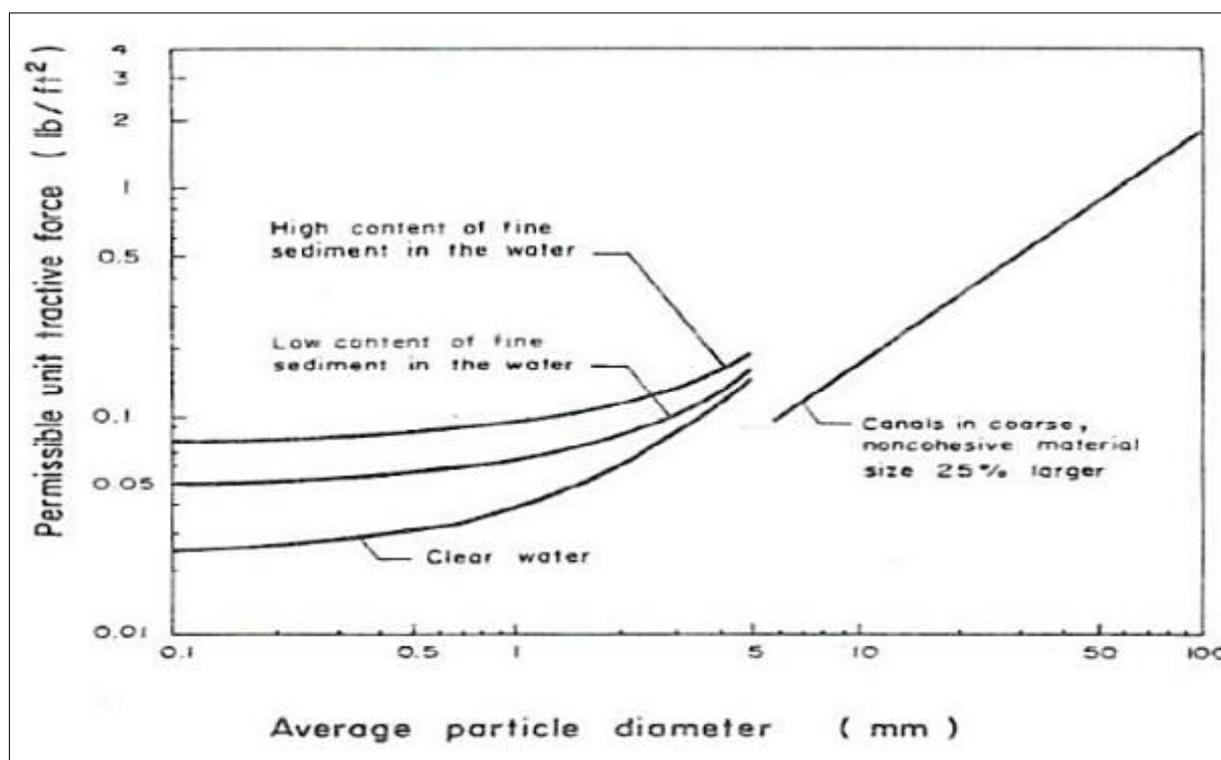


Figure VI:1 Efforts tangentiels critiques pour des matériaux non cohésifs (Chaudhry, 2014).

$$\tau_0 = \gamma_w R_h i$$

Avec :

- τ_0 : La tension tangentielle critique exercée sur le fond en $[N/m^2]$,

- **R** : Le rayon hydraulique en [m],
- **γ_w** : Le poids volumique de l'eau en [N/m^3],
- **i** : La pente du fond en [m/m].

e dans notre cas on a un diamètre des grains $d=50\text{mm}$.

Tableau VI-1 contraintes tractrices au fond

Contrainte tractrice (N/m^2)	τ_0	$\tau_0 \text{ adm}$
I=0.067m/m	0,7	0.96

Vu que la contrainte tangentielle est inférieure à la contrainte admissible, la stabilité du canal est bien vérifiée et la réalisation d'un tel aménagement est possible.

La simulation par HEC-RAS nous rassure que ces aménagements supportent le débit de la crue centennale.

Conclusion

A la fin de ce chapitre et après une étude des variantes on a abouti à la meilleure variante de point de vue technique, et économique pour assurer une protection contre les crues de l'oued Boumaaza

Chapitre VI

Management de projet

Introduction

L'organisation d'un chantier est l'ensemble des dispositions envisagées pour l'élaboration d'un projet dans les meilleures conditions possibles.

Elle permet une l'utilisation économique des différents moyens (mains d'œuvres et matériels) disponible lors du projet, et pour cela il est nécessaire de :

- Définir avec précision les méthodes d'exécution et les modes opératoires permettant la mise en œuvre des techniques modernes de construction avec un haut rendement,
- Opter pour une mécanisation de plus en plus poussée,
- Disposer d'un personnel à employer en quantité et en qualité,
- Structurer convenablement les postes de travail,
- Repartir et coordonner les tâches par l'utilisation d'une main d'œuvre spécialisée et qualifiée.

I Généralité :

Le chantier est un lieu où s'effectuent les travaux.

I.1 Différent type de chantier :

Dans le monde de la réalisation et les chantiers, il existe trois types de chantiers qui se distinguent selon la durée et le nombre de travailleurs comme le montre le Tableau suivante.

Tableau I-1 Différent types de chantiers

Type de chantier	Remarques
Chantier de type 1	Chantier de moins de 15 jours, quel que soit le nombre de travailleurs, ou de 15 jours à 4 mois jusqu'à 20 travailleurs
Chantier de type 2	Chantier de 15 jours à 4 mois et de plus de 20 travailleurs
Chantier de type 3	Chantier de plus de 4 mois quel que soit l'effectif

I.2 Organisation technique de préparation :

Les opérations essentielles de préparation dans l'organisation technique pour la construction hydro-technique commencent par la préparation des documents qui donnent droit à l'organisme de réaliser les travaux de construction.

L'organisation technique de préparation passe par les étapes suivantes :

- Période de préparation, consiste à établir l'ordre chronologique et la cadence de réalisation des travaux en qualités et en quantités.
- Mesure d'approvisionnement du chantier en matériaux de construction concernant le lieu et la qualité.

I.3 Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier :

Avant de commencer les travaux de réalisation du barrage, il paraît indispensable de rappeler le rôle de chacune des différentes parties concernées par l'intervenir dans l'acte de construction.

I.3.1 Le maître de l'ouvrage :

C'est une personne physique ou morale pour le compte de laquelle sont exécutés les travaux. Son rôle est de définir le but à atteindre (programme), d'organiser un financement, de passer les marchés et de régler les situations de travaux.

I.3.2 Le maître d'œuvre :

C'est une personne physique ou morale, chargée par le maître de l'ouvrage de concevoir l'ouvrage, d'établir le dossier de consultation pour les entreprises, d'assister le maître d'ouvrage dans le dépouillement des offres, de contrôler l'exécution des travaux et de proposer leur réception et leur règlement, après en avoir établi les décomptes

I.3.3 L'entrepreneur :

Personne physique ou morale, titulaire d'un marché de travaux conclu avec le maître de l'ouvrage, chargée de l'exécution des travaux et, parfois, de la conception détaillée des ouvrages. L'entrepreneur est responsable du chantier et de l'ouvrage en cours de construction jusqu'à la réception provisoire.

I.3.4 L'organe de contrôle technique :

Il est sensé contrôler et approuver les plans fournis par le maître d'œuvre avant le lancement des travaux de réalisations, il contrôle aussi les agrégats utilisés et l'exécution de l'ouvrage.

I.4 Travaux préparatoires et installation de chantier :

L'implantation d'un chantier nécessite des terrains spacieux, afin de pouvoir aménager les diverses aires de stockages, ouvrir des pistes de circulation d'engins, les occupations progressives par les locaux, les engins, les postes fixes de travail. On peut distinguer les installations suivantes :

I.4.1 Installations destinées au personnel :

Généralement, ce sont des dortoirs, des réfectoires, des installations sanitaires et des bureaux de chantier.

I.4.2 Installations destinées au stockage des matériaux

Pour les ciments, nous utilisons soit des silos métalliques, soit des baraquements en bois ou en métal. Les agrégats peuvent être stockés en plein air. Pour éviter leur mélange et faciliter le dosage du béton on doit prévoir un croisement entre les différents types d'agrégats. Les aciers sont stockés dans baraquements ou des hangars afin d'éviter leur oxydation...etc...

I.4.3 Installations destinées à la réparation des engins

En général, les grosses réparations ne se font pas sur le chantier, mais il importe de disposer d'un atelier suffisamment équipé pour assurer l'entretien courant et les réparations d'urgence des différents matériels.

I.4.4 Installation destinée pour la préfabrication :

Cette installation est constituée de hangars munis de matériel nécessaire permettant la réalisation des éléments de l'ouvrage tels que les poutres, dalles, conduites.

I.5 Travaux de réalisation :

Les principaux travaux de réalisation sont :

- Dragage et curage,
- Préparation du lit de l'oued,
- Terrassement,
- Compactage,
- Enrobage de berges de l'oued avec du gabion matelas.

I.5.1 I.5.1. Dragage et curage :

Le curage exclut un approfondissement ou un élargissement, il consiste à l'extraction d'un mélange fait d'eau et de dépôts minéraux ou organiques, séparation des éléments solides (dépôts) de liquide (l'eau) en résultant ce dernier dans son bassin d'origine.

I.5.2 Préparation du lit de l'oued :

Elle consiste à enlever tout obstacle qui gêne l'écoulement dans le cours d'eau (arbre, déchets...).

I.5.3 Travaux de terrassements :

Ils consistent à donner aux cours d'eau, la forme du profil en travers choisi lors de l'étude.

Pour la réalisation des travaux de terrassements, il est nécessaire d'établir la balance des masses volumiques de terrassement en adoptant les travaux les plus économiques. En ce qui concerne la répartition et le transport des matériaux de construction sur le chantier, ainsi que le choix par les caractéristiques techniques des outils mécaniques.

I.5.4 Travaux de compactages :

C'est l'action de tasser un matériau à l'aide de moyens mécaniques (pour réduire les vides et augmenter sa cohésion).

I.5.5 Enrobage des berges :

C'est l'action d'installer des protections en gabion sur les berges.

I.5.6 Les moyens de chantier :

En ce qui concerne les moyens en personnel, l'entreprise devra indiquer nommément la personne physique responsable du chantier et son intérimaire en précisant leurs titres, références et compétences.

Les mêmes indications devront être fournies pour les techniciens spécialisés tels que géotechniciens spécialistes en travaux d'étanchéité, d'injection etc. qui auraient à intervenir sur le chantier.

La construction d'une digue en terre nécessite l'utilisation de nombreux engins mécaniques destinés à excaver, niveler, compacter et transporter les matériaux.

Afin de distinguer le matériel de compactage : la fonction, les caractéristiques principales et le rendement des différents engins de terrassement et de compactage susceptibles d'être utilisés lors de la réalisation du petit barrage sont très importants.

I.5.7 Les moyens humains :

En ce qui concerne les moyens humains, indispensables pour la réalisation de l'ouvrage, on doit justifier la mise en place du personnel compétent pour la réalisation des études préalables et pour la construction en précisant leurs titres et leurs compétences et leurs expériences.

II Devis quantitatif et estimatifs des projets :

Le Tableau suivant donne un devis quantitatif et estimatif de la variante d'aménagement retenu :

Tableau II-1 Devis quantitatif et estimatif (National eau et environnement)

N°	DESIGNATION DES TRAVAUX	U	Qté	P-U DA	MONTANT DA
	I- TERRASSEMENT				
I.1	Déblais en tranchée exécutée mécaniquement en terrain meuble	M3	11.209,00	400,00	4.483.600,00
I.2	Fourniture, transport et pose d'un lit de sable de 10cm d'épaisseur	M3	518,00	1.500,00	777.000,00
I.3	Remblais de la tranchée avec un matériau provenant des terres épierrées par couche successives	M3	34.228,00	600,00	20.536.800,00
I.4	Amenée des terres pour les remblais	M3	23.019,00	350,00	8.056.650,00
	II - CANALISATION EN BETON ARME				
II.1	Fourniture, transport et pose de canalisation en béton armé longueur minimale 2,50 m emboîtement, série 6000				
II.1.1	DN 2000	ML	1.875,00	20.000,00	37.500.000,00
II.2	Réalisation de regards et regards aveugles en béton armé dosé à 400 Kg/M3 de ciment avec tampon en fonte, y compris échelons en acier galvanisé, série lourde, béton propreté sous radier, (radier, parois et dalles 25-30 cm d'épaisseur en double nappe d'acier Ø10, Ø 12 et Ø 14 avec espacement de 15 cm, dimension intérieurs 2.40x 2.40 m de profondeurs : -Profondeurs 2,60 – 3.00 m	U	27		
II.2.1	Fourniture et mise en œuvre de béton de propreté dosé 150Kg/m3	M3	23,00	10.000,00	230.000,00
II.2.2	Fourniture et mise en œuvre de béton dosé à 400Kg/m3 de ciment	M3	104,00	20.000,00	2.080.000,00
II.2.3	Ferraillage	Kg	10400,00	100,00	1.040.000,00

II.2.4	Coffrage	M ²	1.040,00	600,00	624.000,00
II.2.5	Fourniture et mise en œuvre de 02 couches de flinkot	M2	1.166,00	100,00	116.600,00
II.2.6	Tampon en fonte	U	27	15.000,00	405.000,00
II.3	Réalisation de regards et regards aveugles en béton armé dosé à 400 Kg/M3 de ciment avec tampon en fonte, y compris échelons en acier galvanisé, série lourde, béton propre sous radier, (radier, parois et dalles 25-30 cm d'épaisseur en double nappe d'acier Ø10, Ø 12 et Ø 14 avec espacement de 15 cm, dimension intérieurs 2.40x 2.40 m de profondeurs : - Profondeurs 3,01 – 4,80 m	U	7		
II.3.1	Fourniture et mise en œuvre de béton de propreté dosé 150Kg/m3	M3	6,00	10.000,00	60.000,00
II.3.2	Fourniture et mise en œuvre de béton dosé à 400Kg/m3 de ciment	M3	76,00	20.000,00	1.520.000,00
II.3.3	Ferrailage	Kg	7.600,00	100,00	760.000,00
II.3.4	Coffrage	M ²	760,00	600,00	456.000,00
II.3.5	Fourniture et mise en œuvre de 02 couches de flinkot	M ²	490,00	100,00	49.000,00
II.3.6	Tampon en fonte	U	7	15.000,00	105.000,00
	IV. Divers				
IV.1	Etablissement d'un dossier de recollement comprenant lever topographique en bande, tracé en plan et profil en long en cinq (05) exemplaires	U	05	20.000,00	100.000,00
Montant en HT DA					78.899.650,00
TVA 17%					13.412.940,50
Montant TTC DA					92.312.590,50

III La planification

C'est une méthode dont dispose le cadre opérationnel pour rendre son travail efficace, elle consiste :

- L'installation des postes de travail.
- L'observation instantanée.
- L'analyse des tâches.
- Le chronométrage.
- La définition des objectifs et des attributions.
- La simplification des méthodes.
- La stabilisation des postes de travail.

III.1 Techniques de la planification

Il existe deux principales méthodes de planification à savoir :

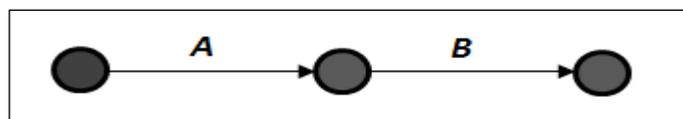
- Méthodes basées sur le réseau.
- Méthodes basées sur le graphique.

III.2 Méthodes basées sur le réseau

Le réseau est une représentation graphique d'un projet qui permet d'indiquer la relation entre les différentes opérations qui peuvent être successives, simultanées, convergentes et la durée de réalisation. On distingue deux types de réseaux :

III.2.1 Réseau à flèches

L'opération est représentée par une flèche et la succession des opérations par des nœuds.



L'opération **A** précède l'opération **B**

III.2.2 Réseau à nœuds

L'opération est représentée par un nœud et la succession des opérations par des flèches.



L'opération (B) ne peut commencer que si l'opération (A) est complètement achevée.

IV Différentes méthodes basées sur le réseau

IV.1 Méthode C.P.M (Méthode française)

L'objectif de cette méthode est de réduire les temps de réalisation d'un ouvrage en tenant compte de trois phases :

- **1^{ère} phase** : l'effectif nécessaire pour effectuer le travail considéré,
- **2^{ème} phase** : analyser systématiquement le réseau, heure par heure, jour par jour, selon l'unité de temps retenue,
- **3^{ème} phase** : adapter le réseau aux conditions ou contraintes fixées par l'entreprise.

IV.2 Méthode P.E.R.T (Méthode américaine)

C'est-à-dire technique d'ordonnancement des tâches et contrôle des programmes, c'est une méthode consistant à mettre en ordre sous forme de réseau plusieurs tâches qui grâce à leur chronologie et leur dépendance concourent toutes à l'obtention d'un produit fini.

IV.3 Les paramètres de calcul dans la méthode C.P.M

Les paramètres indispensables dans l'exécution de cette méthode sont les suivants :

DCP	t_r
DFP	DCPP
DFPP	MT

Avec :

- **t_r** : Le temps de réalisation de la tâche,
- **DCP** : La date de commencement au plus tôt,
- **DCPP** : La date de commencement au plus tard,
- **DFP** : La date de finition au plus tôt,
- **DFPP** : La date de finition au plus tard,
- **MT** : La marge totale, intervalle de temps nécessaire pour le déroulement de l'opération.

Où :

$$\begin{cases} \text{DCP}_i + \text{tr}_i = \text{DFP}_i \\ \text{DCP}_j = \text{DFP}_i \end{cases}$$

Chemin critique (C.C)

C'est le chemin qui donne la durée totale du projet (DTR) reliant les opérations possédant la marge totale nulle (0).

Donc pour retrouver un chemin critique il suffit de vérifier la double condition suivante :

$$\text{C. C} \Leftrightarrow \begin{cases} \text{MT} = 0 \\ \sum \text{tr}_{cc} = \text{D. T. P} \end{cases}$$

IV.4 Diagramme de Gantt

C'est un outil que l'ingénieur concepteur doit mettre à disposition, afin que toute personne concernée par le projet puisse visualiser et comprendre le déroulement des travaux. La colonne de gauche du diagramme énumère toutes les tâches à effectuer, tandis que la ligne d'en-tête représente les unités de temps les plus adaptées au projet (jours, semaines, mois etc.). Chaque tâche est matérialisée par une barre horizontale, dont la position et la longueur représentent la date de début, la durée et la date de fin. Ce planning permet ainsi de voir :

Les différentes tâches à envisager :

- Les dates de début et de fin de chaque tâche,
- La durée escomptée de chaque tâche,
- Le chevauchement éventuel des tâches, et la durée de ce chevauchement,
- La date de début et la date de fin du projet dans son ensemble

V Elaboration du réseau selon la méthode C.P.M

Pour la construction du réseau il faut d’abord établir les différentes tâches des travaux et le temps de réalisation de chaque tâche, Ces derniers sont les suivantes :

Tableau V-1 Temps de réalisation de chaque tâche

Notation	Opération	Durée [jour]
A	Installation de chantier	10
B	Débroussaillage et décapage de la végétation et abattage et déracinement des arbres	30
C	La pose des gabionnage	25
D	Excavation des terres de toute nature	20
E	Remblais Compactage	30
F	La pose des canalisations	80
G	Travaux de finition	10

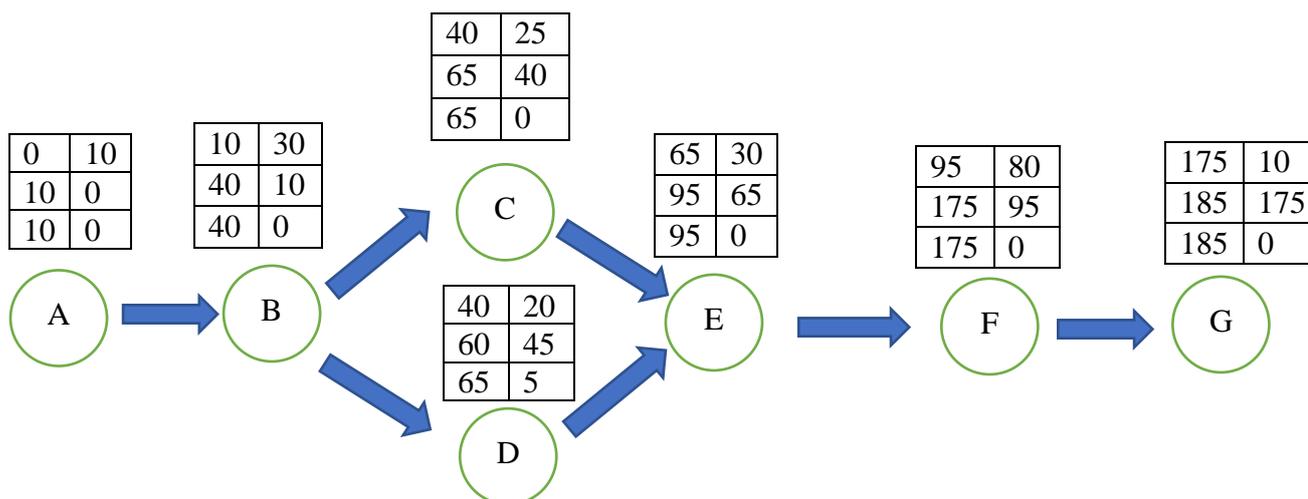


Figure V:1 Réseau à nœud du projet d’aménagement

Chemin critique : A-B-C-E-F

VI Elaboration du diagramme de Gantt

Le diagramme de Gantt est un outil utilisé en ordonnancement et gestion de projet, permettant de visualiser dans le temps les diverses tâches liées composant un projet (il s'agit d'une représentation d'un graphe connexe). Il permet de représenter graphiquement l'avancement du projet.

Tableau VI-1 Diagramme de Gantt

Tache Durée (jr)		Durée (mois)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	10												
B	30	→	↓										
C	25		→	↓									
D	20			→	↓								
E	30			→	↓								
F	80				→	↓							
G	10					→	↓						

Conclusion

L'exécution d'un ensemble de travaux par gestion rationnelle de temps, demande conjointement des moyens humains, techniques et matériels, afin d'aboutir à un but ultime qui est la livraison du projet dans les délais prévus, sans sortir des couts d'investissement initiaux.

A l'issue de ce volet nous avons pu estimer le cout global du projet d'aménagement de l'oued Boumaaza qui est de 92.312.590,50DA pour un délai de réalisation de 185 jours

Conclusion Générale

A travers cette étude, mes propositions pour l'aménagement de l'Oued Boumaaza permettent de protéger le centre-ville de Birtouta contre les inondations que pourraient provoquer les eaux de ruissellement (pluviales) lors d'événement pluviométrique à caractère torrentiel (pluie orageuse).

Le fonctionnement de ce système et intimement lié à une gestion rigoureuse basée sur :

- Une maintenance permanente par la collectivité locale notamment en matière de curage de caniveaux et avaloirs ; dégagement de divers détritiques et objets encombrants accompagnant les écoulements dans l'Oued.
- Le suivi et contrôle par des services techniques efficaces de son fonctionnement.
- L'évacuation immédiate de toutes constructions érigées sur l'emprise de l'Oued notamment son lit et ses berges et surtout à son exécutoire.
- Un suivi efficace des projets de logements collectifs en amont de l'Oued concernant les réseaux d'assainissement (EP et EU).
- Le contrôle d'évacuation des terres et gravas issus des travaux de terrassement.
- Protection du bassin versant de l'Oued par l'aménagement d'espace public boisé dans la continuité de la pinède limitrophe.

Il est regrettable de constater que les zones d'habitats collectifs créés ou en cours de réalisation sont dépourvus de toute stratégie pour la maîtrise des eaux pluviales.

De nos jours ; avec le changement climatique que nous vivons ; il est impératif que les autorités communales et régionales prennent conscience de ce nouveau phénomène (gestion des eaux pluviales).

De ce fait, il est souhaitable que les autorités locales intègrent graduellement dans tous les futurs projets liés aux aménagements urbains les techniques alternatives dans la gestion des eaux pluviales.

Références

APC. (s.d.). APC Birtouta.

<http://www.irma-grenoble.com/>. (s.d.). *Synthèse du livre « Inondation - Guide pratique », avril 1988, détaillant les précautions à prendre avant, pendant et après une inondation.*

<http://www.prim.net>. (s.d.). *Site sur la prévention des risques majeurs.*

M, C. (2004). Apport des nouveaux outils d'investigations pour les prédictions des inondation. Batna.

méthodologique, G. (s.d.). *Plans de prévention des risques naturels (PPR) : Risques d'inondation - 1999.*

S, L. (2004). les inondation en Algerie.

telliez, M. (mars 2010). *Définition du risque d'inondation et références des documents de synthèse existants en matière d'inondations.*

ZEBIRI, A. (s.d.). Identification et caractérisation du risque d'inondation, Le cas de la ville de Constantine et d'une section de l'Oued Boumerzoug.

Annexe

Tableau 0-1 Résultat de la simulation avant aménagement

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
oued	2250	100 ans	12.43	108.50	109.02	109.02	109.15	0.006365	1.63	7.61	28.96	1.02
oued	2250	50 ans	10.83	108.50	108.99	108.99	109.12	0.006442	1.57	6.89	28.04	1.01
oued	2250	20 ans	8.75	108.50	108.95	108.95	109.07	0.006647	1.51	5.80	25.73	1.01
oued	2200	100 ans	12.43	104.20	104.80	104.80	104.95	0.006048	1.74	7.14	23.79	1.01
oued	2200	50 ans	10.83	104.20	104.77	104.77	104.91	0.006157	1.69	6.40	22.52	1.01
oued	2200	20 ans	8.75	104.20	104.72	104.72	104.86	0.006336	1.62	5.39	20.68	1.01
oued	2150	100 ans	12.43	98.00	98.97	98.97	99.21	0.005232	2.20	5.64	11.69	1.01
oued	2150	50 ans	10.83	98.00	98.92	98.92	99.15	0.005195	2.12	5.10	11.11	1.00
oued	2150	20 ans	8.75	98.00	98.84	98.84	99.05	0.005476	2.05	4.26	10.16	1.01
oued	2100	100 ans	12.43	94.42	94.81	94.81	94.97	0.005562	1.78	7.15	23.11	0.99
oued	2100	50 ans	10.83	94.42	94.78	94.78	94.93	0.005730	1.71	6.47	22.63	0.99
oued	2100	20 ans	8.75	94.42	94.74	94.74	94.87	0.005936	1.60	5.57	21.99	0.99
oued	2050	100 ans	12.43	92.00	92.26	92.26	92.36	0.007003	1.36	9.17	49.72	1.01
oued	2050	50 ans	10.83	92.00	92.24	92.24	92.33	0.007035	1.30	8.32	48.11	1.00
oued	2050	20 ans	8.75	92.00	92.22	92.22	92.30	0.007432	1.24	7.05	45.58	1.01
oued	2000	100 ans	12.43	86.43	86.98	86.98	87.12	0.006213	1.67	7.45	27.05	1.01
oued	2000	50 ans	10.83	86.43	86.95	86.95	87.09	0.006333	1.62	6.67	25.60	1.01
oued	2000	20 ans	8.75	86.43	86.91	86.91	87.03	0.006510	1.55	5.63	23.51	1.01
oued	1950	100 ans	12.43	83.47	83.93	83.93	84.06	0.006421	1.60	7.78	30.87	1.02
oued	1950	50 ans	10.83	83.47	83.90	83.90	84.02	0.006589	1.54	7.05	30.22	1.02
oued	1950	20 ans	8.75	83.47	83.87	83.87	83.98	0.006903	1.45	6.04	29.30	1.02
oued	1900	100 ans	12.43	78.14	78.78	78.78	78.95	0.005911	1.80	6.90	21.46	1.01
oued	1900	50 ans	10.83	78.14	78.75	78.75	78.91	0.006022	1.75	6.18	20.31	1.01
oued	1900	20 ans	8.75	78.14	78.70	78.70	78.84	0.006199	1.68	5.21	18.65	1.02
oued	1850	100 ans	12.43	76.42	76.94	76.94	77.08	0.006311	1.62	7.67	29.38	1.01
oued	1850	50 ans	10.83	76.42	76.91	76.91	77.04	0.006427	1.58	6.87	27.81	1.01
oued	1850	20 ans	8.75	76.42	76.87	76.87	76.99	0.006609	1.51	5.79	25.54	1.01
oued	1800	100 ans	12.43	74.44	74.95	74.95	75.08	0.006376	1.60	7.75	30.40	1.01
oued	1800	50 ans	10.83	74.44	74.92	74.92	75.05	0.006496	1.56	6.94	28.77	1.01
oued	1800	20 ans	8.75	74.44	74.88	74.88	75.00	0.006683	1.50	5.85	26.42	1.01
oued	1750	100 ans	12.43	74.00	74.44		74.47	0.001284	0.85	14.67	45.10	0.47
oued	1750	50 ans	10.83	74.00	74.41		74.44	0.001216	0.80	13.59	43.94	0.46
oued	1750	20 ans	8.75	74.00	74.38		74.40	0.001114	0.72	12.08	42.28	0.43
oued	1700	100 ans	12.43	73.91	74.25	74.25	74.35	0.005954	1.43	9.34	50.17	0.96
oued	1700	50 ans	10.83	73.91	74.23	74.23	74.32	0.006332	1.38	8.34	48.51	0.98
oued	1700	20 ans	8.75	73.91	74.21	74.21	74.29	0.006671	1.30	7.12	46.38	0.98

Annexe

E.G. Elev (m)	107.94	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.16	Wt. n-Val.		0.020	
W.S. Elev (m)	107.78	Reach Len. (m)	50.00	50.00	50.00
Crit W.S. (m)	107.78	Flow Area (m2)		6.95	
Q Total (m3/s)	12.43	Flow (m3/s)		12.43	
Top Width (m)	21.78	Top Width (m)		21.78	
Vel Total (m/s)	1.79	Avg. Vel. (m/s)		1.79	
Max Chl Dpth (m)	0.64	Hydr. Depth (m)		0.32	
Conv. Total (m3/s)	161.9	Conv. (m3/s)		161.9	
Length Wtd. (m)	50.00	Wetted Per. (m)		21.84	
Min Ch El (m)	107.14	Shear (N/m2)		18.39	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		32.91	
Frctn Loss (m)	0.31	Cum Volume (1000 m3)	2.53	26.59	0.67
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	9.24	83.23	5.57

Tableau 0-2 Résultat de la simulation avant aménagement

Link	Type	Maximum Flow CMS	Day of Maximum Flow	Hour of Maximum Flow	Maximum Velocity m/sec	Max / Full Flow	Max / Full Depth
1	CONDUIT	3.300	0	00:01	4.32	1.05	1.00
3	CONDUIT	3.299	0	00:08	4.32	1.05	1.00
4	CONDUIT	3.345	0	00:03	4.54	1.06	1.00
5	CONDUIT	3.352	0	00:03	4.53	1.06	1.00
6	CONDUIT	3.392	0	00:04	4.51	1.08	1.00
7	CONDUIT	3.370	0	00:05	4.45	1.07	1.00
8	CONDUIT	3.343	0	00:06	4.30	1.05	1.00
9	CONDUIT	3.260	0	00:03	4.22	1.05	1.00
10	CONDUIT	3.300	0	00:03	4.26	1.05	1.00
11	CONDUIT	3.149	0	00:08	4.01	1.00	1.00
12	CONDUIT	2.495	0	00:03	3.24	1.12	1.00
13	CONDUIT	2.103	0	00:03	2.89	1.36	1.00
14	CONDUIT	2.025	0	00:03	2.81	1.31	0.95
15	CONDUIT	1.978	0	00:04	2.90	1.28	0.88
16	CONDUIT	1.969	0	00:04	3.61	1.28	0.70
24	CONDUIT	2.048	0	00:04	3.89	0.44	0.54
25	CONDUIT	3.372	0	00:01	4.91	1.07	0.95
26	CONDUIT	3.723	0	00:01	4.98	0.99	0.94

Annexe

Coll	Tron	CT,am (m)	CT,av (m)	CR,am (m)	CR,av (m)	Dist (m)	I (m/m)	Qpl (m ³ /s)	Qeu (m ³ /s)	Qt (m ³ /s)	Ks	Dex (mm)	Dcal (mm)
CI	rf1-2	107.72	108.49	106.72	106.22	50	0.0100	12.43	0	12.43	100	300	1678.96
	rf2-3	108.49	107.02	104.72	104.22	50	0.0100	12.43	0	12.43	100	300	1678.96
	rf3-4	107.02	106.28	104.22	103.72	50	0.0100	12.43	0	12.43	100	300	1678.96
	rf4-5	106.28	104.98	103.72	103.22	50	0.0100	12.43	0	12.43	100	300	1678.96
	rf5-6	104.98	104.07	103.22	102.72	50	0.0100	12.43	0	12.43	100	400	1678.96
	rf6-7	104.07	102.97	102.72	102.22	50	0.0100	12.43	0	12.43	100	400	1678.96
	rf7-8	102.97	102.35	102.22	101.62	50	0.0120	12.43	0	12.43	100	400	1622.54
	rf8-9	102.35	101.19	100.12	99.71	50	0.0100	12.43	0	12.43	100	500	1678.96
	rf9-10	101.19	100.32	99.71	99.22	50	0.0098	12.43	0	12.43	100	500	1685.33
	rf10-11	100.32	99.46	99.22	98.72	50	0.0100	12.43	0	12.43	100	500	1678.96
	rf11-12	99.46	98.2	97.22	96.97	50	0.0050	12.43	0	12.43	100	500	1911.98
	rf12-13	98.2	97.87	96.97	96.87	25	0.0040	12.43	0	12.43	100	500	1993.68
	rf13-14	97.87	97.81	96.87	96.61	52	0.0050	12.43	0	12.43	100	500	1911.98
	rf14-15	97.81	97.73	96.61	96.33	52	0.0054	12.43	0	12.43	100	500	1885.60
	rf15-16	97.73	97.56	96.33	96.06	52	0.0052	12.43	0	12.43	100	500	1898.50
	rf16-17	97.56	97.14	96.06	95.84	52	0.0042	12.43	0	12.43	100	500	1972.82
	rf17-18	97.14	96.58	95.84	95.53	53	0.0058	12.43	0	12.43	100	500	1856.57
	rf18-19	96.58	95.88	95.53	95.5	8	0.0038	12.43	0	12.43	100	800	2017.95

Annexe

Dnor (mm)	Vps (m/s)	Qps (m³/s)	Rq	Rv	Rvmin	Rh	Rhmin	V (m/s)	Vmin (m/s)	H (mm)	Hmin (mm)
1800	5.87	14.936	0.83	1.125	0.18	0.70	0.03	6.604	1.057	1.255	0.052
1800	5.87	14.94	0.83	1.125	0.18	0.70	0.03	6.604	1.057	1.255	0.052
1800	5.87	14.94	0.83	1.125	0.18	0.70	0.03	6.604	1.057	1.255	0.052
1800	5.87	14.94	0.83	1.125	0.18	0.70	0.03	6.604	1.057	1.255	0.052
1800	5.87	14.94	0.83	1.125	0.18	0.70	0.03	6.604	1.057	1.255	0.052
1800	5.87	14.94	0.83	1.125	0.18	0.70	0.03	6.604	1.057	1.255	0.052
1800	5.87	14.94	0.83	1.125	0.18	0.70	0.03	6.604	1.057	1.255	0.052
1800	6.43	16.36	0.76	1.096	0.18	0.65	0.03	7.053	1.158	1.172	0.052
1800	5.87	14.94	0.83	1.125	0.18	0.70	0.03	6.604	1.057	1.255	0.052
1800	5.81	14.79	0.84	1.127	0.18	0.70	0.03	6.553	1.046	1.264	0.052
1800	5.87	14.94	0.83	1.125	0.18	0.70	0.03	6.604	1.057	1.255	0.052
2000	4.45	13.99	0.89	0.980	0.18	0.73	0.03	4.365	0.802	1.461	0.058
2000	3.98	12.51	0.99	0.976	0.18	0.80	0.03	3.889	0.717	1.606	0.058
2000	4.45	13.99	0.89	0.972	0.18	0.73	0.03	4.330	0.802	1.461	0.058
2000	4.62	14.52	0.86	0.984	0.18	0.71	0.03	4.549	0.832	1.423	0.058
2000	4.54	14.25	0.87	0.980	0.18	0.72	0.03	4.449	0.817	1.442	0.058
2000	4.10	12.87	0.97	0.987	0.18	0.78	0.03	4.044	0.738	1.560	0.058
2000	4.82	15.13	0.82	0.977	0.18	0.69	0.03	4.707	0.867	1.381	0.058
2000	3.86	12.11	1.03	0.981	0.18	0.84	0.03	3.784	0.694	1.677	0.058

Annexe

$Q_{ps}/10 - Q_{eu}$	$Q_{ps}/100 - Q_{eu}$	Vitesse Autocurage
1.49	0.1494	Autocurage vérifié
1.64	0.1636	Autocurage vérifié
1.49	0.1494	Autocurage vérifié
1.48	0.1479	Autocurage vérifié
1.49	0.1494	Autocurage vérifié
1.40	0.1399	Autocurage vérifié
1.25	0.1251	Autocurage vérifié
1.40	0.1399	Autocurage vérifié
1.45	0.1452	Autocurage vérifié
1.43	0.1425	Autocurage vérifié
1.29	0.1287	Autocurage vérifié
1.51	0.1513	Autocurage vérifié
1.21		Autocurage vérifié

Annexe

Tableau 0-3 Résultat de la simulation après aménagement

Link	Type	Maximum [Flow] CMS	Day of Maximum Flow	Hour of Maximum Flow	Maximum [Velocity] m/sec	Max / Full Flow	Max / Full Depth
1	CONDUIT	14.347	0	00:00	8.66	0.68	0.91
3	CONDUIT	16.907	0	00:01	8.64	0.80	1.00
4	CONDUIT	17.918	0	00:01	8.64	0.85	1.00
5	CONDUIT	17.636	0	00:01	8.64	0.83	1.00
6	CONDUIT	17.768	0	00:01	8.64	0.84	1.00
7	CONDUIT	17.753	0	00:01	8.67	0.84	1.00
8	CONDUIT	18.069	0	00:02	8.63	0.85	1.00
9	CONDUIT	17.773	0	00:02	8.60	0.85	1.00
10	CONDUIT	18.038	0	00:02	8.61	0.85	1.00
11	CONDUIT	17.021	0	00:02	7.67	0.81	1.00
12	CONDUIT	17.340	0	00:02	5.71	0.88	1.00
13	CONDUIT	14.658	0	00:02	4.67	1.07	1.00
14	CONDUIT	14.136	0	00:03	4.59	1.03	1.00
15	CONDUIT	14.319	0	00:03	4.57	1.04	0.99
16	CONDUIT	14.610	0	00:03	4.65	1.07	1.00
24	CONDUIT	13.826	0	00:03	7.27	0.94	0.97
25	CONDUIT	15.934	0	00:00	9.22	0.75	0.93
26	CONDUIT	18.701	0	00:00	9.22	0.74	0.99

Node	Hours Flooded	Maximum Rate CMS	Day of Maximum Flooding	Hour of Maximum Flooding	Total Flood Volume 10 ⁶ ltr	Maximum Poned Depth Meters
1	0.01	8.662	0	00:00	0.048	0.000
2	0.01	5.861	0	00:00	0.035	0.000
3	0.01	7.899	0	00:00	0.085	0.000
4	0.01	6.291	0	00:00	0.057	0.000
5	0.01	7.330	0	00:01	0.085	0.000
6	0.01	7.393	0	00:01	0.082	0.000
7	0.01	7.231	0	00:01	0.085	0.000
8	0.01	6.139	0	00:01	0.067	0.000
9	0.01	7.400	0	00:01	0.094	0.000
10	0.01	6.336	0	00:02	0.069	0.000
11	0.01	6.089	0	00:02	0.073	0.000
12	0.01	6.725	0	00:02	0.053	0.000
13	0.01	8.410	0	00:02	0.120	0.000
14	0.01	6.653	0	00:02	0.048	0.000
15	0.01	7.228	0	00:03	0.050	0.000
16	0.01	6.685	0	00:03	0.040	0.000
17	0.01	9.153	0	00:03	0.108	0.000
33	0.01	5.322	0	00:00	0.030	0.000



Figure 0:1 Habitations inondées et routes coupées – liberté Algérie 2017



Figure 0:2 inondation sur le lit de l'oued -- dzayerinfo.com 2016



*Figure 0:3 inondation sur l'autoroute
Est-Ouest – météo Alger 2019*



Figure 0:4 débordement de l'oued Boumaaza -- www.wakteldjazair.com 2018