



Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique
Laboratoire de Recherche en Hydraulique Appliquée et Environnement (LRHAE)

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

Mr. Belkacemi Mahfoud

Mr. Benaouf Mokrane

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

Option : Hydraulique urbaine

INTITULE :

ETUDE D'AMENAGEMENT DE COURS D'EAU IBOUHATHMANE DANS LA COMMUNE DE BEJAIA EN VUE D'UNE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS

Soutenu le **23 / 06/2016** Devant le jury composé de :

- Président : **SEGHIR.A**
- Promoteur : **IKNI.T**
- Examineur (s) : **AMIROUCHE.M**

Remerciements

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

On adresse tous nos respects et nos remerciements à ceux qui nous a aidés de Près ou de loin pour l'élaboration de cette étude et particulièrement :

On tient à remercier notre promoteur **Mr Ikni.T**, de nous avoir encadrés, orienté et encouragé durant toute la période de réalisation de ce travail.

Toutes reconnaissances à nos professeurs et enseignants qui nous ont guidés au Cours de cette formation, nos respects aussi aux membres de jury qui nous feront l'honneur d'apprécier ce travail.

Nos remerciements à **Mr Moussouni. A**, Co-promoteur pour son aide, son encouragement et surtout sa disponibilité.

Nos derniers remerciements on les adresse à tous nos amis de la promotion 2015-2016.

Merci

Dédicace :

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect

- *A mon père et la mémoire de mon grand père ;
A ma mère que dieu le tout puissant la protège ;*
- *A mon frère ;*
- *A mes sœurs ;*
- *A ma grande mère et mes tantes (toute la famille Mouhandi).*
- *A mes nièces et mes neveux.*
- *A toute ma famille.*
- *A tous mes amis (es) sans exception.*

Belkacemi Mahfoud

Dédicace :

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect

- *A mes parents que dieu le tout puissant les protèges ;*
- *A mes frères ;*
- *A mes sœurs ;*
- *A ma grande mère et mes tantes (toute la famille Millikeuche).*
- *A toute ma famille.*
- *A tous mes amis (es) sans exception.*

Benaouf Mokrane

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Généralités sur les inondations

Introduction	2
1. Définition	2
2. Cause	2
3. Typologies	3
4. Caractérisation du phénomène	4
5. Paramètres fondamentaux du cours d'eau.....	4
5.1 Lits du cours d'eau	4
5.1.1 Rive, berge.....	5
5.1.2 Ripisylve.....	5
5.1.3 Alluvions et substratum	6
6. Principaux paramètres d'évaluation des aléas des crues	6
7. Différentes type d'inondations	6
7.1 Les inondations de plaine	6
7.2 Les inondations dues à des crues torrentielles.....	7
7.3 Les inondations par ruissellement	7
7.4 Les inondations par remontée de nappe	8
7.5 Coulées de boue.....	9
7.6 Inondation par rupture d'une protection	9
8. Les inondations en Algérie : un phénomène récurrent.....	9
8.1 Les inondations de Novembre 2001 à Alger	9
8.2 Les inondations au Sud.....	10
8.3 Les inondations à Bejaia.....	14
9. Stratégies de lutte	15
Conclusion.....	15

Chapitre II : Données de base

Introduction	16
1. Situation géographique de la wilaya du Bejaïa	16
2. Localisation de la zone d'étude	17
3. Géologie du sol et sous sol	18
4. végétation	19
5. Climat	19
5.1 La température	21
5.2 L'humidité relative mensuelle	21
5.3 La tension de vapeur (ou humidité absolue) :	22
5.4 La pression atmosphérique	22
5.5 Le vent	22
5.6 La nébulosité mensuelle	22
5.7 Les précipitations	22
6. Description des ouvrages existant	26
Conclusion	28

Chapitre III : Etude hydrologique

Introduction	29
1. caractéristiques du bassin versant de l'Oued Ibouhathmane	29
1.1. Caractéristiques physiques	29
A. Altitude, Surface et périmètre.....	29
B. Largeur moyenne du bassin versant.....	30
1.2 Paramètre de forme	31
A. Coefficient d'allongement	31
B. Indice de compacité de GRAVELIUS	31
C. Rectangle équivalent.....	31
1.3 Paramètres de relief	32
A. Courbe hypsométrique.....	32
B. Les altitudes caractéristiques	33
B.1. Les altitudes minimale et maximale	33
B.2. L'altitude moyenne	34
B.3. Altitude médiane.....	34
B.4. Les altitudes à 5% et 95%	34
C. Indice de pente	34
C.1 Indice de pente globale	34
C.2 Indice de pente de Roche	35
C.3 Pente moyenne du bassin versant	35
C.4 Pente brute de cours d'eau.....	36
D. Dénivelée spécifique	36
1.4 Caractéristiques hydrographiques	36
1.4.1 Le réseau hydrographique	36
1.4.2 Ordre des cours d'eau	36
1.4.3. Densité de drainage	38
1.4.4 Densité hydrographique.....	38
1.4.5 Le coefficient de torrentialité	39
1.5 Temps de concentration.....	39
1.5.1 Estimation du temps de concentration.....	39
1.5.2 Vitesse de concentration.....	40
Remarque	42
2. Analyse des données pluviométriques.....	42

2.1	Caractéristiques de la Série Pluviométrique.....	42
2.2	Choix de la loi d'ajustement.....	45
2.2.1	Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel.....	45
2.2.2	Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON.....	47
2.3	Pluies de courte durée.....	52
3.	Apports.....	54
3.1	Les Apports liquides.....	54
3.1.2	Caractéristiques de l'écoulement.....	55
3.2	Apports solides.....	57
4.	Etude de crues.....	58
4.1	Différentes méthodes d'évaluation des crues.....	58
4.2	Choix de la méthode (application sur les bassins versants).....	59
1.	Formule de Giandotti.....	59
2.	Formule de Turazza :.....	59
3.	Formule de Sokolovski :.....	59
4.	Formule de Mallet Gauthier.....	60
6.	La méthode rationnelle.....	60
4.3	Hydrogramme des crues.....	61
5.	Choix de la Loi et de la fréquence de calcul.....	62
	Conclusion.....	62

C

Chapitre IV : Etude hydraulique

Introduction.....	63
-------------------	----

1. Dimensionnement des Ouvrages	63
2. Généralités.....	63
2.1. Calcul hydraulique.....	63
2.2. Les canaux à ciel ouvert	63
2.3 Dimensionnement des canaux	63
2.4 Détermination de coefficient de Chézy	64
2.5 Les paramètres géométriques	65
2.5.1- Le choix de la section de meilleure conductivité	65
2.5.2 Calculs du rayon hydraulique maximal	65
2.6 Détermination de section économique	66
2.6.1 Détermination de la largeur du fond b.....	66
2.6.2 Détermination de talus m.....	66
2.6.3 Calcul de la profondeur normal hn	66
2.7 Calcul de la profondeur critique h_{cr}	67
2.7.1 Méthode graphique	67
2.7.2 Méthode analytique d'Agroskine	67
2.7.3 Calcul de la pente critique	67
2.8 Calcul de la ligne d'eau	67
2.8.1- Equation de la ligne d'eau.....	67
2.8.2- Calcul de la surface d'eau	68
2.9 Calcul des paramètres de courbure du canal	68
2.10 Ressaut hydraulique	68
2.11 Typologie de ressaut	69
3. Calculs des aménagements.....	70
3.1 Dimensionnement Des Aménagement Projetés Sur l'oued Ibouhathmane.....	70
Conclusion	76

Chapitre V : Modélisation et simulation de la crue

Introduction	77
1.Méthodes de résolutions.....	77
1.2. Description de la méthode.....	77
2. GÉNÉRALISATION DE L'ÉQUATION DE CONTINUITÉ.....	77

2.1 EQUATION DYNAMIQUE ET SA DISCRÉTISATION	80
2.2 STABILITÉ DES SOLUTIONS NUMÉRIQUES ET GÉNÉRALISATION DE LA	81
CONDITION DE STABILITÉ DE COURANT [36].	81
3. Résultat de la simulation pour le débit	82
Conclusion.....	82
Conclusion générale	83

Liste des figures

Figure I.1 : Lit mineur d'un cours d'eau	4
Figure I.2 : Lit moyen d'un cours d'eau	4
Figure I.3 : Lit majeur d'un cours d'eau	5
Figure I.4 : Inondation de Plaine	6
Figure I.5: Inondation par crue torrentielle	7
Figure I.6: Inondation par ruissellement en secteur urbain	8
Figure I.7 Inondation par remontées des nappes phréatiques	8
Figure I.8 : rupture d'une protection	9
Figure I.9 : Inondation du Bab el oued Alger.....	10
Figure I.10 : Inondation du Camps des réfugiés sahraouis	11
Figure I.11 : Inondation du Bechar	12
Figure I.12 : Inondation du Ghardaïa	13
Figure I.13 : Inondation du Bejaïa	14
Figure II.1: découpage administrative de la wilaya	16
Figure II.2: Localisation de la Zone d'Etude.....	17
Figure II.3: Codification ANRH des bassins versants	18
Figure II.4: Extrait de la carte géologique 1/50 000 (1960)	19
Figure II.5: Carte de localisation des stations météorologiques.....	21
Figure II.6: Graphe de Répartition Mensuelle des Température.....	22
Figure II.7: Graphe Humidités à la station de Bejaïa.....	23
Figure II.8: Graphe de Répartition mensuelle des caractéristiques climatiques	24
Figure II.9 : Rose des vents à la station de Bejaïa.....	24
Figure II.10: Graphe des caractéristiques climatiques secondaires.....	25
Figure II.11: Graphe OMBRO-THERMIQUE	26
Figure II.12 : Fissures sur les murs	27
Figure II.13: ordures sous le pont.....	27

Figure II.14: Protection par un mur de	27
soutènement en béton armé d'un seul coté.....	27
Figure II.15 :L'oued sans aménagement	27
Figure III.1: Localisation du bassin versant de l'oued Ibouhathmane	30
Figure III.2: Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Ibouhathmane	33
Figure III.3: Courbe des fréquences altimétriques du bassin versant de l'Oued.....	33
Figure III.4 : Chevelu hydrographique de l'oued Ibouhathmane.....	37
Figure III.5: Histogramme de variation de la Précipitation Moyenne Annuelle.....	44
Figure III.6: Histogramme de variation de la pluie Moyenne Annuelle	44
Figure III.7: Histogramme de la Pluie Annuelle	44
Figure III.8: Ajustement à la loi de Gumbel (Hyfran).	49
Figure III.9: Ajustement à la loi Log normal (Hyfran).	50
Figure III.10: Comparaison des ajustements.....	51
Figure III.11: Courbes des pluies de courte durée fréquentielle.	53
Figure III.12: Courbes des Intensités fréquentielle	53
Figure III.13 : les Hydrogramme de crues	61
Figure IV.1 : caractéristique du canal trapézoïdal.....	70
Figure IV.2 : caractéristique du canal trapézoïdal.....	71
Figure IV.3 : caractéristique du canal trapézoïdal.....	72
Figure IV.4 : graphe de ligne d'eau.....	74
Figure IV.5: Largeur au miroir L(Y).....	75
Figure IV.6 : profile en long du tirant d'eau	75

Figure V.1: Maillage de différences finies autour du point P, projeté sur le plan, $x - t$	79
Figure V.2 : Schéma numérique explicite et conditions limites aux extrémités amont et aval du domaine de solution.....	79
Figure V.3 : Evaluation de la crue en fonction de temps	82

Liste des tableaux

Tableau II.1: Identification des stations climatologiques dans la région d'études.	20
Tableau II.2: Fiabilité des caractéristiques climatologiques observées.	20
Tableau II.3 : Répartition mensuelle des températures 22	22
Tableau II.4: Répartition mensuelle des humidités 23	23
Tableau II.5 : Répartition mensuelle des caractéristiques climatiques..... 23	23
Tableau II.6 : Direction du vent 24	24
Tableau II.7 : Nombre de jours d'apparition de caractéristiques climatiques secondaires..... 25	25
Tableau II.8: Répartition mensuelle des Températures et précipitations Moyennes 26	26
Tableau III.1: Caractéristiques du réseau hydrographique de l'oued Ibouhathmane 37	37
Tableau III.2: Estimation du temps de concentration du bassin versant de l'Oued Ibouhathmane..... 40	40
Tableau III.3: Récapitulation des caractéristiques morphométriques de l'Oued Ibouhathmane 41	41
Tableau III.4: Caractéristiques de la Série pluviométrique 43	43
Tableau III.5 : résultat de l'ajustement à la loi de Gumbel 46	46
Tableau III.6 : Comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon 46	46
Tableau III.7: résultat de l'ajustement à la loi de Galton. 47	47
Tableau III.8 : Comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon 48	48
Tableau III.9: Pluies et intensités maximales de durée t (h) et de période retour..... 52	52
Tableau III.10 : Résultats des apports moyens interannuels 55	55
Tableau III.11 : Les caractéristiques de l'écoulement..... 56	56
Tableau III.12 : α en fonction de la perméabilité..... 57	57
Tableau III.13 : apport solide 57	57
Tableau III.14 Les débit de crues des bassins versants 60	60

Tableau IV.1: Paramètres géométriques d'une section semi –circulaire.....	65
Tableau IV.2: Paramètres géométriques d'un canal à section trapézoïdale	65
Tableau IV.3 paramètre de calcule du canal trapézoïdal.....	70
Tableau IV.4 paramètre de calcule du canal trapézoïdal.....	71
Tableau IV.5 paramètre de calcule du canal trapézoïdal.....	72
Tableau IV.6 : Paramètre de Ligne d'eau du Canal Ibouhathmane	73

Liste des planches

PLANCHE N°1 : PROFILE EN LONG DE L'OUED

PLANCHE N°2 : PLAN D'AMENAGEMENT

PLANCHE N°3 : PLAN DE MASSE

LISTE DES SYMBOLES

A : apport moyen interannuel
A : Coefficient régionale
A₀ : Apport moyen annuel
a : coefficient empirique (varie en fonction de la perméabilité du terrain de bassin versant)
a = 350 (perméabilité moyenne)
a_{p%} : coefficient de ruissellement pour la crue probable
B : largeur du plan d'eau en surface
b : Largeur du fond
Ca : Coefficient d'allongement
C_K : coefficient d'aplatissement
C_S : coefficient d'asymétrie
C_t : Coefficient de torrentialité
C_V : coefficient de variation
C : Coefficient topographique variant entre 0.066 et 0.166.(en prend 0.156).
Ds : Dénivelée spécifique
D_d : Densité de drainage
E_S : taux d'abrasion (t/km²/an)
F : Densité hydrographique (Km⁻²)
f : Coefficient de forme de la crue, peut être calculé par la formule
g : l'accélération gravitaire
h_n : profondeur normal.
H_{moy} : altitude moyenne
H_{min} : altitude minimale
H5% : Altitude à 5% de la surface du bassin versant
H95% : Altitude à 95% de la surface du bassin versant
Hi : Altitude moyenne de l'aire comprise entre deux courbes de niveau
ΔH : Dénivelée
h_{cr} : profondeur critique
I_g : Indice de pente global
I_i : longueur de courbe de niveau d'ordre 1,2...n
I : Pente moyenne du bassin
I_B : Pente brute de cours d'eau
I : Intensité maximale
I : pente de fond du canal (mm)
KG : Indice de compacité de GRAVELIUS
K : Constante du bassin Varie entre 1 et 3, (K=2)
K_s : coefficient de rugosité de STRICKLER
L : Longueur du talweg le plus long
L_{CE} : Longueur du cours d'eau
L_r : Longueur du rectangle équivalent en
Σ Li : Longueur totale cumulée de l'ensemble des talwegs
Le : lame d'eau écoulée
L_r : Largeur du rectangle équivalent
Me : Module de l'écoulement.
m : rang de précipitation
Ni : Nombre de cours d'eau
N1 : Nombre de talwegs d'ordre 1
N : nombre d'observations

n : la rugosité
P : précipitation moyenne annuel
Pct : Pluies de courte durée
P_{BV} : Périmètre stylisé du bassin versant
Q_{max} : Débit maximal de la crue
R_h : rayon hydraulique $R_h = S/P$
R_m : Rayonne moyenne de courbure
S : Superficie du bassin versant (Km²)
S_i : Surface partielle entre deux courbes de niveau
S_i : surface partielle (%) comprises entre 2 courbes du niveau consécutives H_i et H_{i-1} (m)
T : période de retour en années
T_c : Temps de concentration
t : durée de l'averse
tm: Temps de montée de la crue en heures.
td : Durée de la décrue en heures
V_m : vitesse moyenne d'écoulement
V : La vitesse moyenne du courant
x : précipitation maximale journalière (mm).
x₀ : ordonnée à l'origine en (mm)
σ : L'écart type
γ : poids spécifique moyen des sédiments

Introduction Générale

L'Algérie est l'un des pays confrontés aux phénomènes des crues et d'inondations qui se manifestent de façon catastrophique constituant ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et social. Plusieurs régions du pays sont régulièrement menacées par ces catastrophes hydrologiques dont les effets sont souvent intensifiés par une urbanisation anarchique impliquant une occupation des terres inondés et même les rives des oueds.

Les risques d'inondations sont dus à l'interaction complexe de plusieurs composantes, c'est le produit de la concomitance de facteurs topographique, géologique, hydrologique et météorologique.

L'examen des événements catastrophique survenus dans notre pays montre que sur l'ensemble des bassins versants algériens, des superficies importantes de terres agricoles, des plaines et des agglomérations sont fréquemment envahies par la furie des eaux des oueds en crue. La survenance des inondations au niveau de la ville de Bejaia à travers l'oued Ibouhathmane est fréquente, d'où la nécessité d'une étude d'aménagement afin de surmonter ou diminuer au maximum les risques.

Dans ce contexte, notre étude s'articulera sur l'étude de ce cours d'eau, et traiter les moyens de protection de la ville de Bejaia contre ces inondations par des aménagements et des ouvrages de protections.

Pour ce faire nous avons structurée notre travaille comme suit;

On débutera par le premier chapitre qui est consacré pour des généralités sur les inondations. En suite, on présentera dans le deuxième chapitre les données de bases collectées à l'issue des différentes sources.

Tandis qu'au troisième chapitre, on passera à l'étude hydrologique dans la quelle on détermine les déférents caractéristiques morphométriques de notre bassin versant ainsi le débit de pointe de la crue.

Au quatrième chapitre nous allons voir le dimensionnement du canal a aménagé suivie d'une simulation numérique.

Finalement on terminera par une conclusion générale.

Introduction

L'impact des risques naturels sur la société ne cesse de croître, notamment en raison du développement mal contrôlé de l'urbanisation. Selon MASURE (1993), le nombre de victimes des catastrophes naturelles a augmenté de 6 % par an au cours des trente dernières années et la compagnie d'assurances internationale Munich Réestime que les pertes économiques ont triplé entre les années 1960 et 1980. Parmi les risques naturels, ceux qui relèvent de phénomènes météorologiques, en particulier les inondations, sont les plus fréquents et touchent le plus grand nombre d'individus. Selon les sources du département des Affaires humanitaires des Nations unies (DHA), 339 millions de personnes ont été victimes de ce phénomène entre 1900 et 1980. De 1970 à 1981, les inondations ont représenté plus du tiers de l'ensemble des cataclysmes recensés. Les pays qui ont enregistré le plus de victimes entre 1960 et 1981 sont les pays pauvres.

L'augmentation du risque dans les pays pauvres est essentiellement liée à l'accroissement démographique, à la concentration urbaine et à la densité de population dans les zones vulnérables.

1. Définition

Tout d'abord, le **risque** est un croisement de l'**aléa** et de la **vulnérabilité** ; l'aléa peut être défini comme la probabilité d'occurrence d'un phénomène physique ; par exemple, le débit de la crue centennale est défini comme le débit qui a une chance sur cent d'être dépassé au cours d'une année, il est caractérisé par son intensité, son étendue, sa fréquence, sa durée. Tandis que la vulnérabilité étant les personnes, les biens et les activités susceptibles de subir des dommages lorsque survient l'aléa. On peut alors dire qu'une **inondation** est une submersion rapide ou lente d'une zone habitée ordinairement hors d'eau. Ainsi, le risque inondation est la conséquence de deux composantes : l'eau qui peut déborder de son lit habituel d'écoulement et l'homme qui s'installe dans l'espace alluvial. L'importance de l'inondation dépend de la hauteur d'eau, la vitesse du courant et la durée de la crue. Ces paramètres sont conditionnés par la précipitation, l'état du bassin versant et les caractéristiques du cours d'eau (profondeur, largeur, etc.). Ces caractéristiques naturelles peuvent être aggravées par la présence d'activités humaines [15,33].

2. Cause

Elles peuvent avoir de nombreuses causes cumulables :

➤ Causes naturelles : Depuis presque deux décennies, les catastrophes naturelles sont mises sur le devant de la scène avec la Décennie Internationale pour la Prévention des Catastrophes Naturelles (DIPCN) qui a couvert la période 1990-2000. L'ONU a d'ailleurs prolongé cette décennie avec une stratégie internationale pour la réduction des catastrophes. Cette initiative fait suite à une constatation d'une augmentation du nombre de catastrophes depuis les années 1980 (CRED, Sigma, DIPCN). Le réchauffement climatique est désigné comme responsable. Certes, des études cautionnent une multiplication et une aggravation des risques naturels sous l'influence du changement climatique. L'Etat français s'est même engagé sur un « Plan Climat ». Les médias ne lésinent pas sur les moyens ; des films catastrophent aux docu-fictions, tout est opportunité pour rappeler le réchauffement climatique et ses potentielles conséquences. Mais rien n'est moins sûr. En effet, il reste de grandes incertitudes quant à la responsabilité du changement climatique dans l'augmentation des catastrophes notamment si l'on considère le faible recul temporel pour estimer une quelconque intensification des phénomènes évoque même

un mythe de la stationnarité du climat et précise que la variabilité du temps est l'essence même du climat.

Il reste de nombreuses incertitudes sur la part du changement climatique dans l'augmentation des catastrophes naturelles. Aussi, même s'il doit être évoqué, il ne peut être tenu comme unique responsable.

- Causes anthropiques
 - Occupation de zones riveraines : la concentration des personnes et l'accumulation des biens dans les champs d'inondation génère le risque d'inondation par accroissement des enjeux, augmentation des vulnérabilités et absence de prévention-précaution.
 - Imperméabilisation forte (conséquences d'aménagements urbains ou agricoles);
 - Défiance des dispositifs de protection (digues, déversoirs) [28,37].

3. Typologies

Les inondations résultent d'un certain nombre de conditions météorologiques avec une origine, des caractéristiques et une durée différentes. On en distingue trois grands types :

- lentes (inondation étendue) : Faisant suite à une longue période pluvieuse.
- brutales (crue-éclair) : après un orage violent ou un ou deux jours de fortes pluies sur sol sec, certaines inondations peuvent violemment endommager les champs, villages et villes, ainsi que de nombreuses infrastructures, elles s'accompagnent alors souvent de coulées de boue ou de glissements de terrain.
- des inondations (ou submersions) marines peuvent être dues à un tsunami, une rupture de digue ou d'écluse, ou à des conditions météorologiques exceptionnelles (exemple : tempête venant de la mer combinée à une dépression importante et une grande marée comme ce fut le cas avec la tempête Xynthia en Europe en 2010).

Certaines crues éclair sont brèves et très localisées. Elles sont généralement dues à des pluies orageuses courtes mais intenses, qui ne parviennent pas à se disperser par infiltration, ruissellement ou écoulement. La cause la plus fréquente de ces inondations est un orage qui se déplace lentement et peut déverser d'énormes quantités d'eau sur une zone limitée en très peu de temps. Les orages qui se déplacent plus rapidement sont moins gênants à cet égard, car ils donnent de la pluie sur une zone plus étendue. Les crues éclair ennoient souvent des vallées ou des gorges. Quand l'air humide est poussé vers la montagne, il s'élève, et peut provoquer un orage accompagné de pluies Torrentielles. Si le vent maintient l'orage stationnaire, l'eau peut ruisseler sur les pentes de la montagne et descendre jusqu'au fond de la vallée. Les gorges sont comme des entonnoirs qui accélèrent le débit de l'eau, dont la force emporte tout sur son passage.

4. Caractérisation du phénomène

La crue correspond à l'augmentation de la quantité d'eau qui s'écoule dans la rivière et peut concerner l'ensemble du lit majeur de la rivière. De nombreux géographes et hydrologues ont adopté le critère qu'une rivière est en crue lorsque son débit est trois à cinq fois supérieur à son débit moyen. De façon plus pratique, on admet qu'une rivière est en crue lorsqu'elle déborde des limites de son lit mineur. Il s'agit d'un phénomène naturel périodique qui n'est exceptionnel que lorsque les débits deviennent considérables par rapport à son module ; on parle alors de crue critique, laquelle peut engendrer une inondation sur les zones riveraines [37].

Une crue se caractérise par son hydrogramme graphique qui représente les variations de débit en fonction du temps. Plus précisément, c'est la partie montante de cet hydrogramme qui est appelé

« crue », la partie descendante étant « la décrue ». Une crue se définit par différents critères : sa genèse, sa durée, sa fréquence, son débit de pointe et son volume [37].

5. Paramètres fondamentaux du cours d'eau

5.1 Lits du cours d'eau

Le lit d'une rivière étant façonné par les eaux qu'il transporte on conçoit que ses dimensions soient fortement liées aux régimes hydrologiques.

Lit mineur : qui est constitué par le lit ordinaire du cours d'eau, pour le débit d'étiage ou pour les crues fréquentes (crues annuelles) [33].



Figure I.1 : Lit mineur d'un cours d'eau [33].

Lit moyen : Il correspond à l'espace fluvial ordinairement occupé par la ripisylve



Figure I.2 : Lit moyen d'un cours d'eau [33].

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 [33].



Figure I.3 : Lit majeur d'un cours d'eau [33].

Le lit majeur alors fait partie intégrante de la rivière ; si en s'implantant, on s'installe donc dans la rivière elle-même. Cet espace (lit majeur) occupé par un cours d'eau lors d'une inondation peut être partagé en deux zones :

- Une zone d'écoulement, au voisinage du lit mineur.
- Une zone de stockage des eaux, où la vitesse est faible. Ce stockage est fondamental, car il permet le laminage de la crue [33].

5.1.1 Rive, berge

La berge est le talus incliné qui sépare le lit mineur et le lit majeur. Tandis que la rive est le milieu géographique qui sépare les milieux aquatique et terrestre. Elle démarre au sommet de la berge et constitue une partie plate plus ou moins étendue qui reste sous l'influence du milieu aquatique [33].

5.1.2 Ripisylve

C'est la formation végétale naturelle située sur la rive. Elle peut être une véritable forêt alluviale s'étendant sur plusieurs dizaines ou centaines de mètres de part et d'autre du lit mineur. Le rôle de la Ripisylve sur les crues peut être important ; lorsqu'elle occupe une part significative du lit majeur, elle augmente notablement la rugosité du lit, d'où deux conséquences de nature hydraulique :

- Une diminution des vitesses dans le lit majeur, et donc une réduction des effets érosifs du Courant
- Un écrêtement des crues pour l'aval [33].

5.1.3 Alluvions et substratum

Les alluvions sont les grains fins ou grossiers alternativement déposés ou repris par le courant. Elles recouvrent le substratum qui est une couche formée d'une roche dure ou plus ou moins tendre (Schistes, grés, marnes...) [33].

6. Principaux paramètres pour l'évaluation des aléas des crues

- la hauteur et la durée de submersion,
- la période de retour des crues,
- la vitesse d'écoulement,
- la torrencialité du cours d'eau.

La possibilité d'apparition d'une crue dépend de nombreux paramètres, autres que la quantité de pluie tombée : répartition spatiale et temporelle des pluies par rapport au bassin versant, évaporation et consommation d'eau par les plantes, absorption d'eau par le sol, infiltration dans le sous-sol ou ruissellement ... et pour une même quantité précipitée, la crue apparaîtra ou non.

On associe souvent à la notion de crue la notion de période de retour (crue décennale, centennale,...), les débits et l'intensité étant d'autant plus importants que la période de retour est plus longue.

Par ailleurs, les dégâts occasionnés par une inondation dépendent de plusieurs facteurs :

- la hauteur et la durée de submersion,
- la vitesse d'écoulement,
- le volume de matière solide transporté,
- l'érosion des berges.

7. Différentes type d'inondations

On n'en distingue plusieurs, et voici les six principaux types d'inondation

7.1 Les inondations de plaine

Elles sont générées par des crues lentes et progressives (l'eau monte de quelques centimètres par heure). Elles se produisent souvent après une longue période de pluies, lorsque les sols sont saturés d'eau, plutôt durant la période des hautes eaux (en hiver). Elles ne créent pas de danger pour les vies humaines, sauf en cas d'imprudence (noyade de petits enfants dans les dépressions, dérapage de véhicules etc.), mais peuvent s'étaler sur plusieurs semaines, et occasionner des dégâts très importants (interruption des communications, dommages aux biens et aux activités)

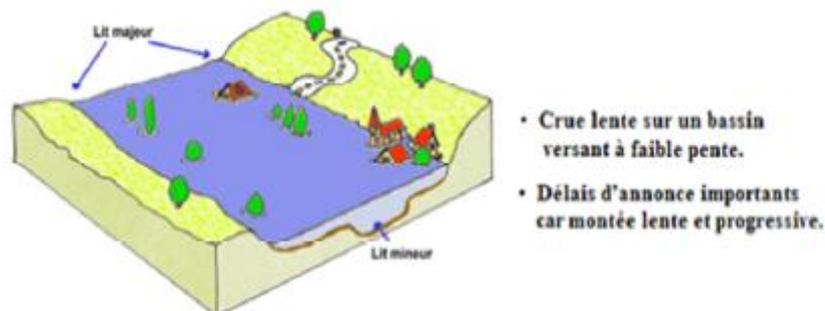


Figure I.4 : Inondation de Plaine [33].

7.2 Les inondations dues à des crues torrentielles

Les crues torrentielles sont des phénomènes brusques et violents résultant d'épisodes pluvieux intenses et localisés, du type orages convectifs. De manière un peut conventionnelle, on parle de

crues torrentielles lorsque la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau tombant sur le point « hydrologiquement » le plus éloigné atteigne l'exutoire est inférieure à 12 heures (ou 24 h pour certains auteurs). Les spécialistes retiennent cinq critères pour définir la crue torrentielle : la rapidité de la réponse du cours d'eau, sa pente, le nombre de Froude, le transport solide, les effets de ces crues.

Ces crues touchent principalement les zones montagneuses et les cours d'eau, elles ont des vitesses d'écoulement importantes.

Les crues torrentielles se caractérisent par un très fort transport solide et une profonde modification du lit à l'occasion de l'événement. Les dommages imputables à ces phénomènes sont avant tout liés à la vitesse du courant, renforcés par les matériaux que peuvent charrier les rivières générant de telles crues [28].

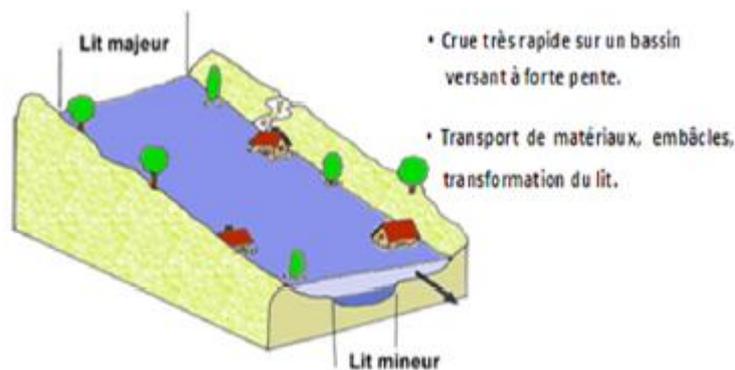


Figure I.5: Inondation par crue torrentielle [33].

7.3 Les inondations par ruissellement

Ce type d'inondation peut se produire en tout point de la zone inondable suite à des pluies particulièrement abondantes (pluies orageuses) ou à des infiltrations dans les habitations construites dans le lit majeur des cours d'eau. Dans les zones urbanisées, les sols imperméabilisés ne permettent pas à l'eau de percoler. Les eaux de pluie ruissellent, s'accumulent dans les points bas, saturent les réseaux d'évacuation, en partie colmatés par la boue, entraînant une remontée d'eaux par les égouts. Elles ont pour conséquence la submersion de la voirie et des constructions.



Figure I.6: Inondation par ruissellement en secteur urbain [28].

7.4 Les inondations par remontée de nappe

Elles correspondent à des inondations par débordement indirect qui se manifestent par la remontée de la nappe phréatique qui affleure en surface et/ou par l'intrusion d'eau dans les différents réseaux d'assainissement [33].

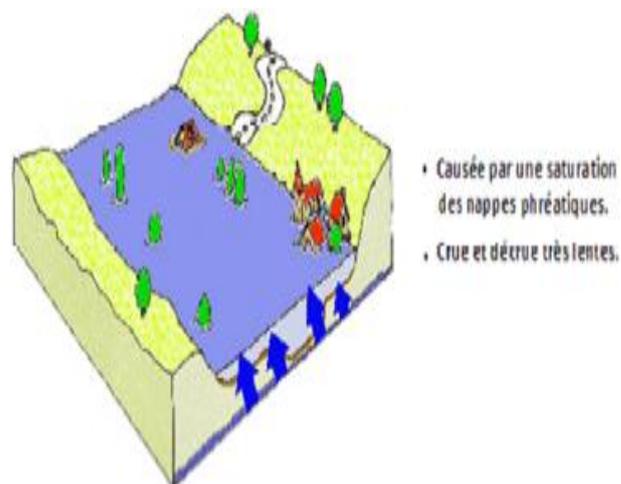


Figure I.7 : Inondation par remontées des nappes phréatiques [33].

Les désordres liés à ce type d'inondation se traduisent par des remontées sous bâtisses, l'engorgement des ouvrages souterrains, la déstabilisation des pentes, des tassements de remblai, des glissements de terrain, des perturbations sur les réseaux publics, des pressions sous les constructions [10].

7.5 Coulées de boue

Le terme de coulée de boue pose un problème délicat de définition car il est utilisé avec des acceptations très diverses. Dès l'origine, les arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle au titre de la loi de juillet 1982 ont utilisé l'intitulé "inondation et coulées de boue", l'expression désignant dans la grande majorité des cas une eau chargée en particules fines, par opposition à une eau "claire". Or, l'eau de la plupart des inondations, même celle des plaines, est toujours chargée en terre, en plus ou moins grandes quantités en fonction des sols du bassin versant et de lit majeur submergé [31].

7.6 Inondation par rupture d'une protection

L'inondation consécutive à une rupture de digue est un phénomène très brutal et d'autant plus dommageable que le site étudié est proche de la digue. Une rupture peut provoquer l'entrée d'un mur d'eau de plusieurs mètres de haut. Il est très difficile de prévoir la rupture d'un ouvrage de protection, ce qui rend la prévention de ce type d'accident particulièrement incertaine [31].

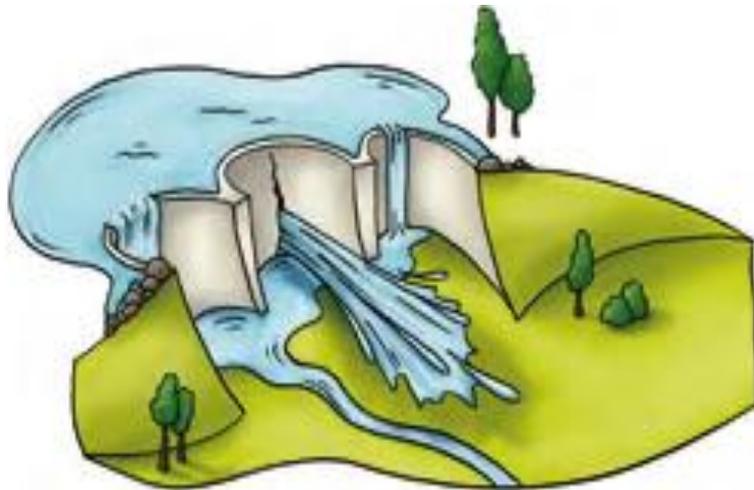


Figure I.8 : rupture d'une protection [31].

8. Les inondations en Algérie : un phénomène récurrent

L'Algérie, similairement aux autres pays du monde, a connu des inondations que paraissent à notre avis plus meurtrières et dévastatrices que celles survenues dans les pays du bassin méditerranéen. Au cours de la décennie écoulée, nous avons pu avoir les données de quelques inondations parmi lesquelles:

8.1 Les inondations de Novembre 2001 à Alger

Les pluies abattues sur Alger (Bâb el Oued) entre le 9 et le 11 Novembre 2001 (262 mm dont 204 mm en 24 heures) ont provoqué l'une des inondations les plus dramatiques qu'a connue l'Algérie. Le bilan de la catastrophe s'est soldé par plus de 700 morts, 115 disparus et 15 des milliers de blessés. Les dommages aux biens (effondrement des constructions, coupures des

routes et de l'électricité, renversement de voitures, arbres et poteaux électriques arrachés, liaisons ferroviaires interrompues entre Alger et les autres villes) ont été estimés à 30 milliards de dinars algériens (300 millions de dollars). Ces pluies torrentielles (130 mm enregistrées à la station de Bouzereah durant la matinée du 10 Novembre), accompagnées de violentes rafales de vent et de coulées de boue, ont provoqué tellement de dégâts que les autorités algériennes ont déclenché le plan ORSEC pour venir au secours des victimes (évacuation des milliers de familles) et ont appelé à la solidarité internationale.



Figure I.9 : Inondation du Bab el oued Alger [19].

8.2 Les inondations du Sud

Des inondations plus isolées ou de grandes envergures ont également marqué le Sud du pays; c'est ce qui s'est produit dans les régions d'Illizi, Adrar et Tamanrasset en Mars 2005, à Tindouf en Février 2006, à Béchar en Octobre 2007 et 2008 et à Ghardaïa en Octobre 2008. Des averses torrentielles et brèves engendrent une concentration des eaux ruisselées dans les lits d'oueds et torrents, le plus souvent à sec (flash flooding), et peuvent provoquer des débordements particulièrement destructeurs. A titre d'exemple, il a suffi d'une pluie quotidienne de 79 mm (soit la quantité enregistrée en deux ans) pour détruire 50 à 60% des infrastructures aux camps des réfugiés sahraouis à Tindouf entre le 9 et 11 février 2006. D'après l'évaluation de l'agence du Haut Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés (HCR) à Tindouf, au moins 70% des stocks de la nourriture des familles ont été ruinés. Le Croissant Rouge Sahraoui (CRS) a lancé un appel à la communauté internationale pour des dons en tentes, médicaments, nourriture et couvertures.



Figure I.10 : Inondation du Camps des réfugiés sahraouis [43].

Suite à de très fortes intempéries qui ont duré plus de 3 jours (oueds Mâadar, Zouzfana et Bechar en crues), la wilaya de Bechar a subi le 18 Octobre 2007 des dommages Considérables. En plus des deux victimes emportées par les eaux, les infrastructures de base ont été fortement endommagées (lignes téléphoniques coupées, circulation automobile arrêtée, routes bloquées suite à l'effondrement de plusieurs dalots et ponts, infiltrations des eaux dans plusieurs habitations). L'inondation du 10 Octobre 2008 causant la mort de 8 personnes et des dommages importants. Cette dernière a été la plus grande depuis 1959.



Bechar: inondations du 10-10-2008

Figure I.11 : Inondation du Bechar [44].

Ces pluies ‘diluviennes’ ont également provoqué un arrêt de l’approvisionnement des produits alimentaires à partir du Nord pendant plusieurs jours, ce qui a engendré un renchérissement sur les prix de ces produits alimentaires, notamment les légumes. Dans la majorité des cas, la météorologie est un facteur déterminant dans la genèse des crues. En effet, ces inondations sont, en général, engendrées par des épisodes pluvieux généralisés (pluies orageuses) longs (plusieurs heures, voire plusieurs jours) ou spontanées ; vingt minutes seulement ont suffi aux pluies ‘diluviennes’ du 01-10-2008 pour causer la mort de plus de 34 personnes et transformer en ruines la vallée du M’Zab à Ghardaïa, totalement inondée par des eaux boueuses (El Watan, Edition du 04-10-2008).



Ghardaïa: inondations du 1-10-2008

Figure I.12 : Inondation du Ghardaïa [45].

Le cumul pluviométrique atteint lors de ces événements est très supérieur aux capacités de stockage des obstacles à l'écoulement (barrages, retenues collinaires et bassins de rétention), aux capacités de rétention des sols et aux capacités d'évacuation des oueds ; le débit de l'oued M'Zab, enregistré le 1er Octobre 2008, a été de l'ordre de 900 m³/s (crue centennale) et la hauteur de submersion a atteint par endroits les 8m. Les dommages aux personnes et aux biens surviennent lorsque l'occupation du sol et le type de construction en zone inondable ne sont pas adaptés aux submersions. Ces dommages sont en augmentation en Algérie et cela n'est pas imputable au seul changement climatique ou à l'aménagement des bassins versants. Le développement inconsidéré de l'urbanisation dans les zones inondables a mené à la situation

délicate dans laquelle se trouvent de nombreux quartiers. A titre d'exemple, le tableau 2, qui présente le nombre de constructions en zones inondables dans quelques wilayas de l'Est Algérien, fournit une idée de la gravité de la situation que peut générer le double phénomène des inondations et de l'urbanisation incontrôlée.

8.3 Les inondations à Bejaia

La ville de Bejaïa n'est pas loin d'une catastrophe similaire à celle qui a touché Bab El-Oued en octobre 2001. Les inondations qui ont touché la ville l'année 2008 et l'avaient bloquée pendant trois jours, provoquant de sérieux dégâts, les infrastructures de base ont été fortement endommagées (lignes téléphoniques coupées, circulation automobile arrêtée, routes bloquées suite à l'effondrement de plusieurs dalots et ponts, infiltrations des eaux dans plusieurs habitations) [16].



Figure I.13 : Inondation du Bejaïa [46].

9. Stratégies de lutte

Elle est basée sur une évaluation des flux (Atlas des zones inondables) et une double approche : préventive et curative. Préventivement, les collectivités et individus peuvent chercher à restaurer des zones d'expansion de crue suffisantes. Puisqu'il y a inadéquation entre la quantité d'eau à évacuer et les capacités hydrauliques, la gestion des inondations vise aussi à :

- Rétablir ou améliorer des capacités d'écoulement (entretien des berges, élimination des embâcles, curage...).
- Limiter l'imperméabilisation des sols en milieu urbain (infiltration des eaux de toitures et de ruissellement (après dépollution le cas échéant), création de noues et d'espaces verts susceptibles de servir de zone tampon). En milieu rural, des pratiques culturelles plus adaptées et une gestion anticipatoire du ruissellement visant à stocker l'eau dès le haut du bassin versant, et en la freinant et l'infiltrant mieux via un réseau de talus, haies, noues, prairies et prés inondables et fossés permet de ne pas grossir les inondations en aval.

Dans certains cas, l'inondation met en jeu des mécanismes hydrologiques plus complexes, comme la remontée de la nappe phréatique. Celle-ci peut contribuer jusqu'à 80 % du débit du fleuve.

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.

Introduction

Dans cette partie nous allons définir les données nécessaires concernant notre région du point de Vue géographique, géologique, climatique. Ces données nous serviront à proposer une solution pour la protection de la ville de Bejaia et la réalisation d'un aménagement d'oued Ibouhathmane.

1. Situation géographique de la wilaya du Bejaïa

La wilaya de Bejaia se situe au nord-est de l'Algérie, Elle est issue du découpage administratif de 1974, entourée de cinq wilayas : Jijel à l'est, Sétif et Bordj Bou Arreridj au sud, Bouira et Tizi Ouzou à l'ouest ; au nord, elle est limitée par la mer méditerranée. Sa topographie a conditionné dans une large mesure la répartition de sa population, la constitution des agglomérations et la concentration de l'activité humaine.



Figure II.1: découpage administrative de la wilaya [42].

2. Localisation de la zone d'étude

L'oued Ibouhathmane (orthographié Ighzer Bou Athmane sur la carte au 1/25 000 è), prend sa Source au niveau du djebel Bouzegua à hauteur de la ligne de crête, aménagée par la RN24 et le CW 34. Les coordonnées de l'exutoire sont (longitude $X= 5.034^{\circ}$; l'attitude $y= 36.748^{\circ}$; altitude $z= 28$ m).

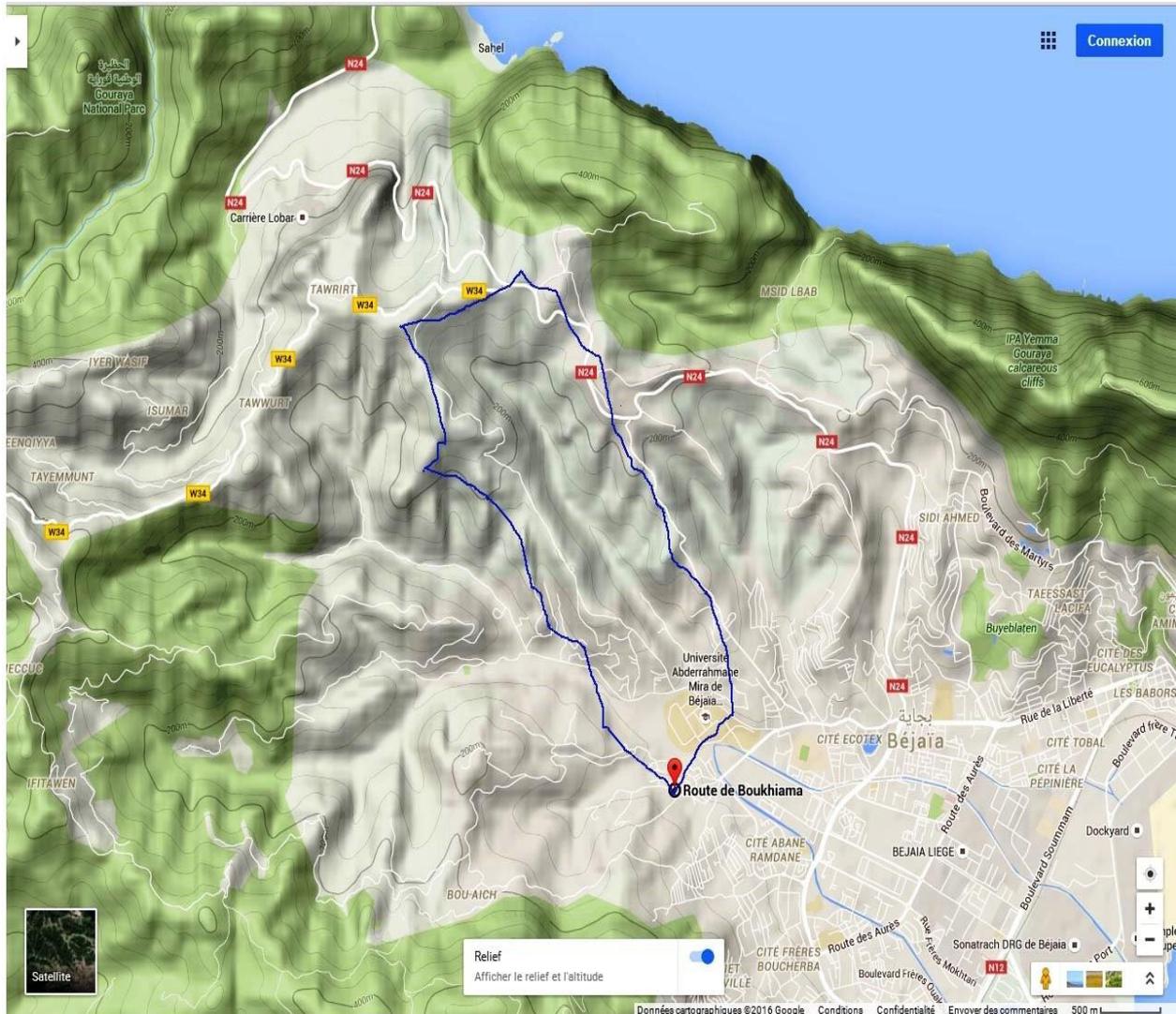


Figure II.2: Localisation de la Zone d'Etude [20].

Du point de vue hydrographique, selon la codification ANRH, cet oued est localisé dans le sous bassin 0209 (côtiers Cap Sigli). Cette délimitation est à actualiser, car l'Oued Seghir qui reçoit cet affluent rejoint le sous bassin de la Soummam Maritime, dont le code: est 15 10. Ce dernier est encadré des sous bassins limitrophes: 0209 et 0301 (Oued Djemaa- Côtiers Constantinois bordent la Soummam Maritime).

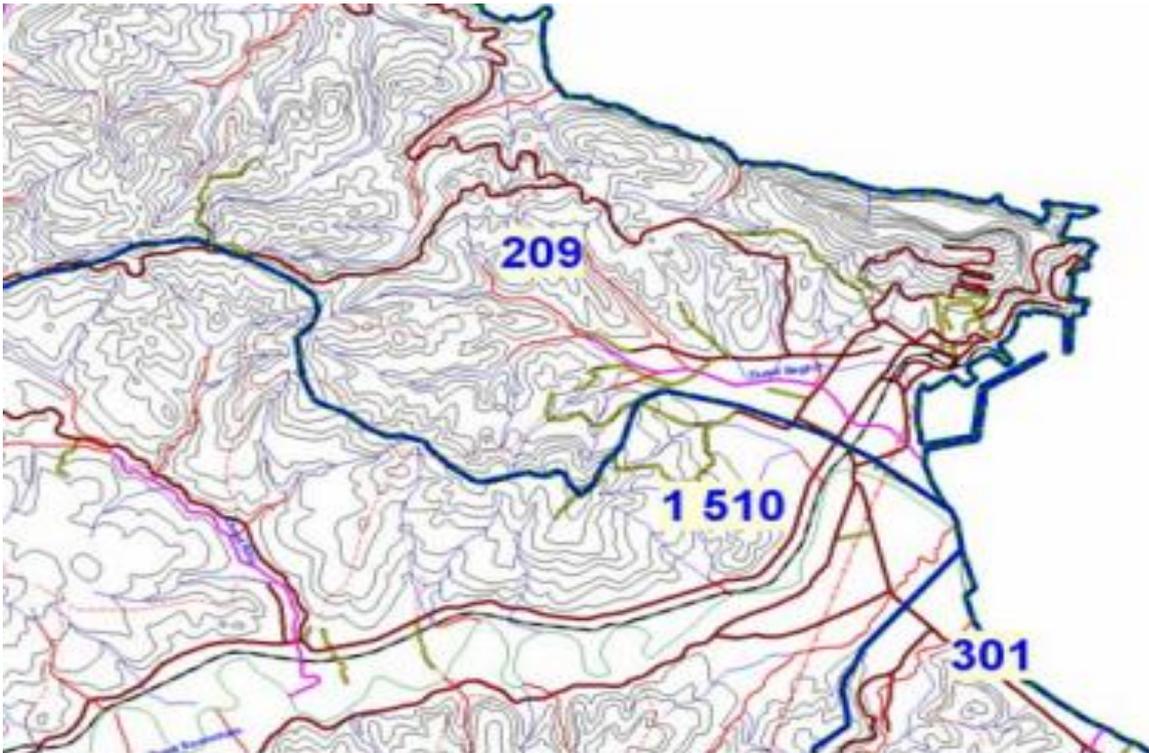


Figure II.3: Codification ANRH des bassins versants [1].

3. Géologie du sol et sous sol

La géologie de la zone d'études est décrite à partir de la carte 1/50 000 de Bougie [21]. La zone d'étude correspondant au bassin versant d'Ighzer Ibouhathmane, en pointillé sur la carte, se répartit sur trois formations géologiques :

- a.** Le Crétacé supérieur (Sénonien) (noté Ci sur la carte) occupe la majeure partie du bassin versant. Le faciès de cette formation est représenté par des formations marnoschisteuses avec de nombreuses lentilles de conglomérats visibles dans la partie amont du bassin versant. Ces conglomérats à éléments de taille très variable sont accompagnés quelque fois de véritables petites « klippes sédimentaires ». Signalons de plus la présence de marno-calcaire lenticulaires et de calcaires chamois en boules, si typiques des formations sénoniennes. La série sénonienne se termine par des faciès très limités à tendance Flysch, observés dans la partie aval du bassin versant.
- b.** Le Mio-pliocène occupe la partie aval du bassin versant. Il est représenté par un faciès argileux de couleur gris bleuâtre au niveau de l'oued Seghir qui constitue l'exutoire d'oued Ibouhathmane.
- c.** Le Quaternaire représenté par des alluvions anciennes d'une basse terrasse caractérisée par des dépôts limoneux et sablo caillouteux.

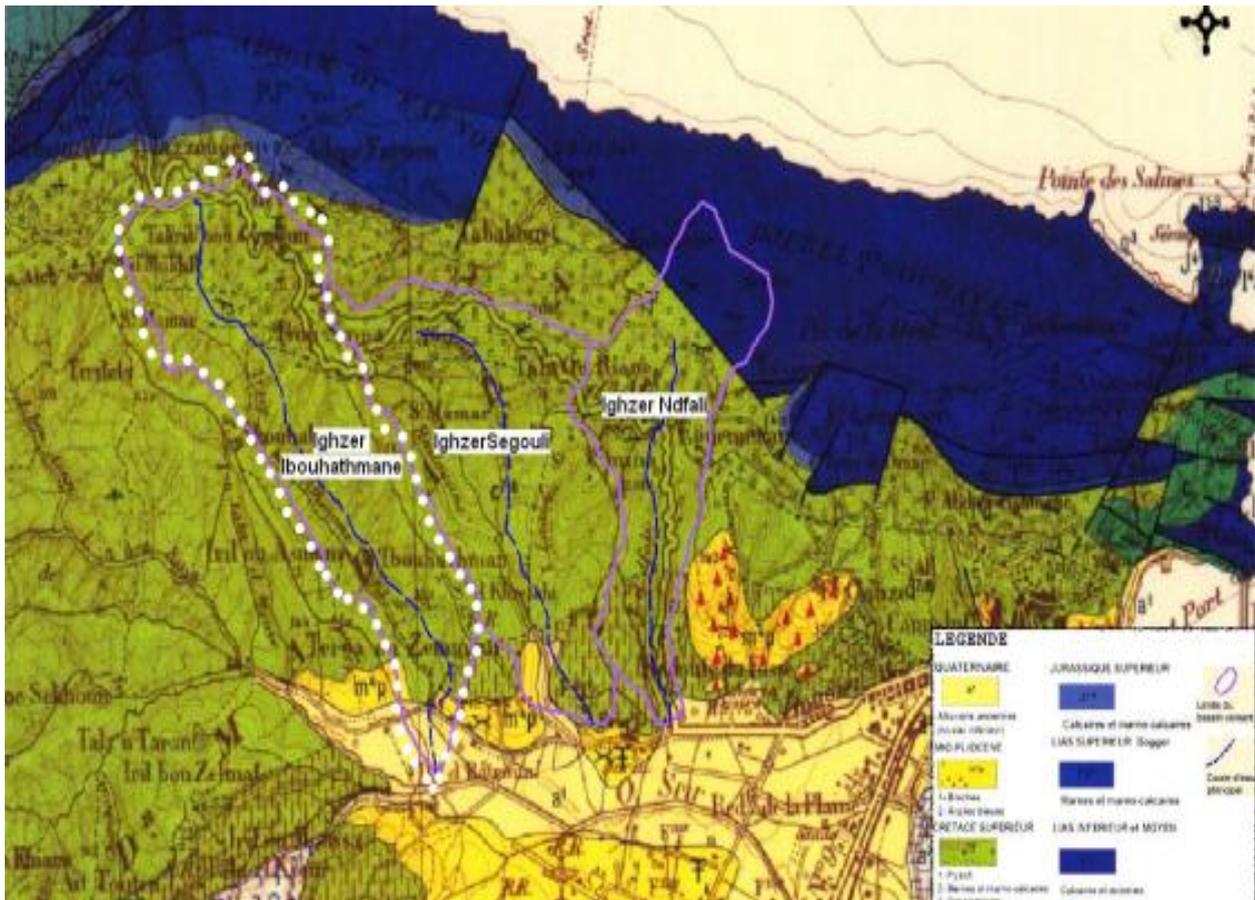


Figure II.4: Extrait de la carte géologique 1/50 000 (1960) [1].

4. végétation

La végétation est en rapport avec le climat et la géologie. Les sommets surtout gréseux sont occupés par des chênaies de chêne Zeen. Plus bas, sur grès comme sur schiste, il y a du chêne liège, des taillis et sous-bois de bruyères à pipes et des arbousiers. Les argiles oligocènes plus sèches ont une végétation très dégradée qui représente une brousse à olivier lentisque aujourd'hui très défrichée et cultivée (figuiers, oliviers, céréales). Les alluvions sont occupées par de superbes cultures (vigne, olivier, cultures maraîchères diverses,.....etc.)

5. Climat

L'analyse du climat a été effectuée procédé sur la base d'une collecte de documents et d'informations au niveau de cinq sources différentes, à savoir :

1. L'office National de la Météorologie (ONM).
2. L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH).
3. L'Agence Nationale des barrages (ANBT).
4. Et le recueil de données climatologiques anciennes Seltzer (1946).

Quatre stations climatologiques, ont existé historiquement au niveau de la zone d'étude.

Tableau II.1: Identification des stations climatologiques dans la région d'études.

N°	n° Seltzer (carte)	Station	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Nombre de paramètres observé*	Period de mesures	Code ANRH	SOURCE
1	26	Bejaia (Direction du Port)	5°5' E	36°45'	9	10 avec Pai	1913-1938		Seltzer
2	10	Bejaia-Soummam	712,75	386,55	1,8	5 avec Pan + Pjmax	1975-1984	15-10	ONM
3	37					3 avec Pan + Pjmax	1970-2006		
	61	El Kseur	692.9	377.7	70	Pan + Pjmax	1903-1974	15-10 - 03	ANRH
4	8	Barrage d'Ighil Emda	731,00	356,20	490	Ev	1946-1953	030201	ANBT - SONELG AZ

*Pai, Pa et Pjmax, Ev: sont respectivement les précipitations interannuelles, annuelles, les pluies maximales journalières et l'évaporation sur une nappe d'eau libre.

La monographie de Seltzer rapporte les observations de l'ensemble des stations météorologiques d'Algérie. Malgré leur ancienneté et le changement climatique, ces informations restent représentatives à l'échelle annuelle.

Tableau II.2: Fiabilité des caractéristiques climatologiques observées.

N°	n° Seltzer (carte)	Températures	Humidité	Pres-sion	Vent	Néb-ulosité	Pluie	Orage	Grêle	Siro-cco	Gelée Blanche	Brouilla rd
2	82*	24Q	58B	78L	87B	112B	132 C	172	183	192	198	-

* Les chiffres indiquent les pages selon Seltzer.

La fiabilité des observations est décrite selon les codes qualité ci-après:

C : Complet: mesures complètes s'étendant sans interruption sur toute la période de 25 ans

Q : Quasi-complet: mesures presque complètes, lacunes reconstituées par comparaison avec les Stations avoisinantes

L : Lacunaire: Mesures présentant d'importantes lacunes, les moyennes brutes sont ramenées à la Période de 25 ans par comparaison avec les moyennes correspondantes dans les stations voisines, à mesures C ou Q.

A : Annuel: Mesures pluviométriques ne s'étendant que sur une petite partie des 21 ans, on a calculé uniquement les moy, an, de la hauteur de pluie, ramenées à la période de 21 ans.

B : Brut: Mesures ne s'étendant que sur une petite partie des 21 ans, Le nombre de données sont des moyennes brutes, non ramenées à cette période; ils ne sont donc pas aux autres moyennes et ne sont donnés qu'à titre indicatif,

: Observations non disponibles.

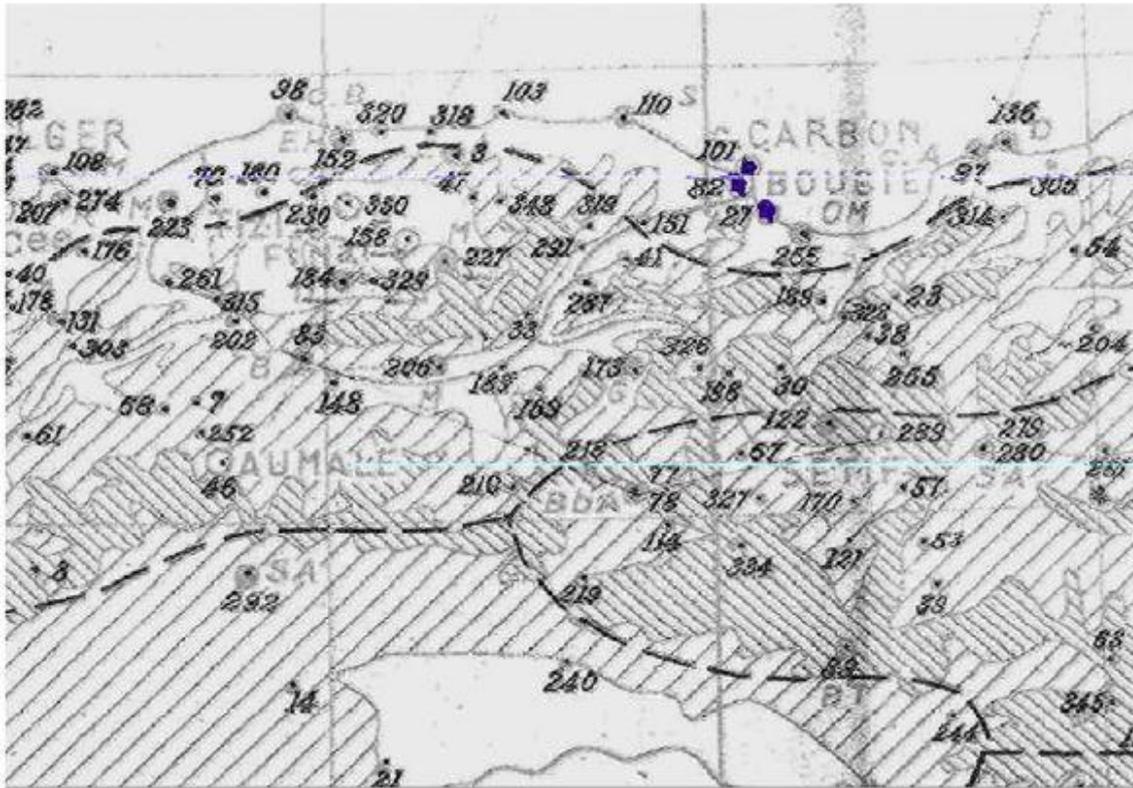


Figure II.5: Carte de localisation des stations météorologiques [39].

Les séries les plus longues, approchent au mieux les paramètres statistiques (moyenne, écart type, Cv, valeur fréquentielle, etc...) Sont utilisées pour la description du climat:

1. La série pluviométrique Bejaïa (ONM, 21 ans) complétée à partir de plusieurs sources d'informations (Université de Béjaïa², WMZ et publication ONM).
2. La série pluviométrique d'El Kseur (ANRH, 61 ans) sert d'analogue.
3. La série du barrage d'Ighil Emda sur l'Oued Agrioun (ANBT-SONELGAZ, 8 années) pour l'évaporation observée à partir d'un Bac Colorado. Les paramètres climatiques secondaires sont évalués en nombre de jours de leur apparition dans le mois.

² Cette série fournit à l'échelle journalière plusieurs paramètres (Températures quotidiennes maximales et minimales, vent stable maximal et Rafale maximale, Précipitation quotidienne totale et Hauteur de neige) observés entre le 01/01/1973 et le 22/06/2008. Malgré d'importantes lacunes d'observations, cette série a été utilisée pour la constitution d'une chronologie de pluies maximales journalières.

-La description du climat s'effectue sur la base des informations de la station de Bejaïa (v.annexe(1)).

5.1 La température

D'après la série de 37 ans (1970-2007), la température moyenne est 18,8 °C et l'amplitude thermique atteint 51,6 °C (-4 à +47,6 °C).

Les résultats des deux sources d'informations sont proches en Terme de moyenne, mais l'amplitude thermique va par contre, en s'amplifiant plutôt dans le Sens des températures négatives (-3°C et +1,6°C) [35].

5.2 L'humidité relative mensuelle

Varie de 47,1% pendant le mois de Novembre à 50,5 % au mois de Janvier. La moyenne annuelle étant de 48,7%.

5.3 La tension de vapeur (ou humidité absolue) :

Suit la même tendance que l'humidité relative, elle passe d'une valeur de près de **8,0** (mm de mercure) en Janvier et Février à **18,2** au mois d'Août; la moyenne annuelle étant de **12,1** mm de Hg.

5.4 La pression atmosphérique

À l'échelle annuelle est de **62,6** mm, les maximal sont atteints en Janvier et les minimal entre Avril et Juillet.

5.5 En terme de puissance, le **vent** Souffle avec force au mois de Décembre et s'affaiblit au mois de Juillet.

5.6 La nébulosité mensuelle

Varie de **1,8** à **4,9** (échelle sur 10; la valeur de 10 correspondant à la visibilité totale du ciel). Elle est de l'ordre de **3,7** dixièmes.

5.7 Les précipitations

Tombent à près de **79 %** en **six** mois entre Octobre et Mars, durant lesquels, il pleut de **10 à 17 jours** par mois; à l'échelle annuelle, il pleut **100** jours à Bejaïa.

La variation mensuelle de ces caractéristiques est représentée dans les figures suivantes :

Tableau II.3 : Répartition mensuelle des températures

Mois	Jan	Fév.	Mar	avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct.	Nov	Déc	AN
Temperature (C°)													
Min	8.1	8.5	10.1	11.5	14.5	18.0	20.8	21.7	20.1	16.1	12.3	9.2	14.2
Min abs	0.2	1.0	2.0	5.0	7.4	11.0	15.0	15.5	12.5	8.0	2.0	-1.0	-1.0
Moy	11.9	12.8	14.6	16.3	19.0	22.3	25.2	26.3	24.8	20.1	16.3	13.0	18.6
Max	15.7	17.1	19.1	21.1	23.5	26.5	29.6	30.9	29.4	25.3	20.2	16.8	22.9
Max abs	31.0	31.5	33.5	38.5	39.5	44.0	45.0	46.0	42.0	40.2	35.0	28.0	46.0

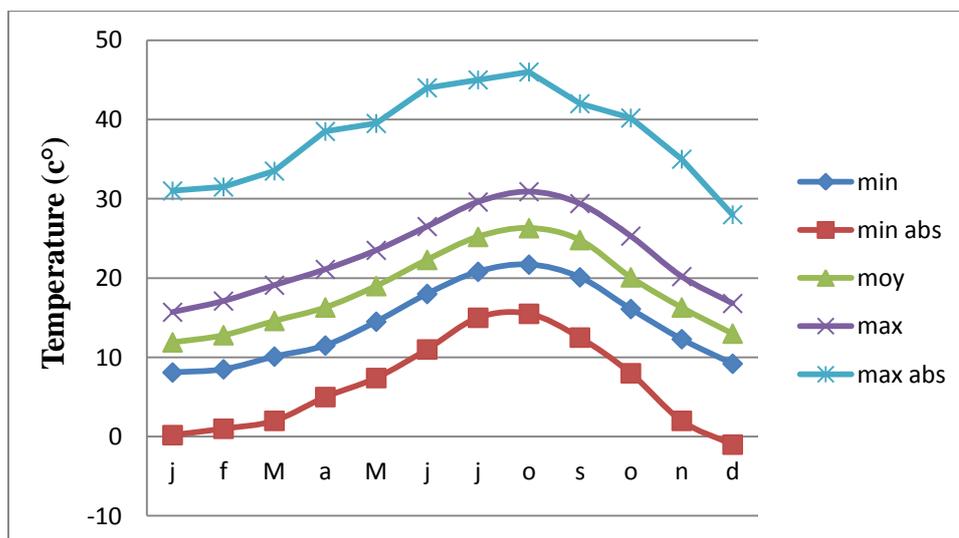


Figure II.6: Graphe de Répartition Mensuelle des Température

Tableau II.4: Répartition mensuelle des humidités

HUMIDITES RELATIVES (%)													
Mois	j	F	m	a	m	j	J	A	s	o	n	d	An
Min	7.4	7.3	8.6	9.5	11.6	14.6	16.7	17.4	15.7	12.6	9.4	7.7	7.3
Moy	50.5	48.1	47.5	47.5	49.2	49.2	50.2	49.2	49.2	47.9	47.1	48.6	48.7
Max	79.0	75.0	73.0	73.0	74.0	73.0	74.0	73.0	73.0	73.0	74.0	76.0	79.0

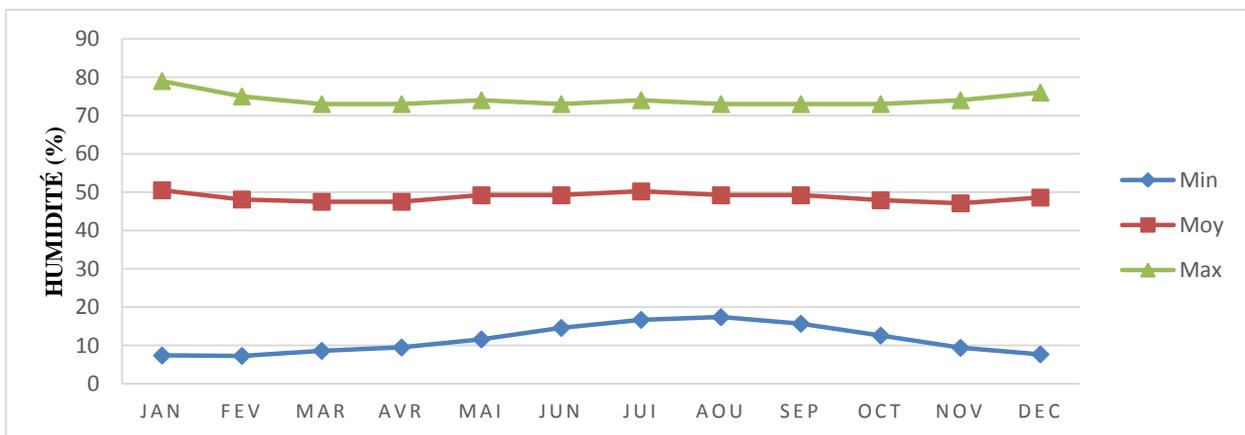


Figure II.7: Graphe Humidités à la station de Bejaia.

Tableau II.5 : Répartition mensuelle des caractéristiques climatiques.

mois	Jan	fev	mar	avr	mai	jun	jui	aou	sep	oct	nov	dec	An
caractéristique climatiques													
Tensions de vapeur (mm de Hg)	8.0	7.9	9.1	10.0	12.0	14.6	17.4	18.2	16.6	13.4	10.0	8.3	12.1
Pression atmosphérique (mm) au niveau de la Mer	65.1	63.4	61.9	60.9	61.6	62.3	62.1	61.9	62.5	62.5	62.6	64.2	62.6
Nébulosités (Echelle sur 10)	4.7	4.4	4.6	3.7	3.5	2.9	1.8	1.9	3.1	3.9	4.6	4.9	3.7
Vitesses du vent	2.1	2.2	2.2	2.1	1.8	1.8	1.6	1.7	1.7	1.9	2.1	2.3	2.0

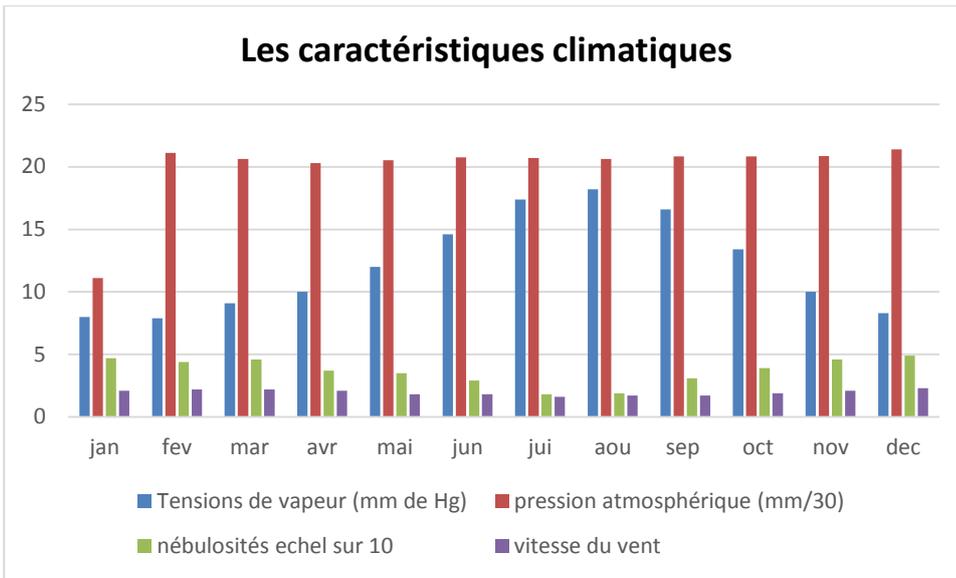


Figure II.8: Graphe de Répartition mensuelle des caractéristiques climatiques

La vitesse moyenne du vent stable est de 17;6 km par an et atteint des pointes de plus de 80,0 km/h (83,6 km/h le 29/11/1984). En terme de direction, le vent souffle dans la matinée, plus fréquemment d'Ouest en Est. En milieu et en fin de la journée, il souffle à partir de toutes les directions, excepté le Nord et le Sud. La rose des vents illustre cette description.

Tableau II.6 : Direction du vent

Direction	7h	13h	18h	Moy
N	8	7	7	7
NE	10	25	27	21
E	7	20	16	14
SE	3	7	5	5
S	4	2	1	2
SH	20	8	5	12
W	33	19	20	24
NW	19	18	21	19

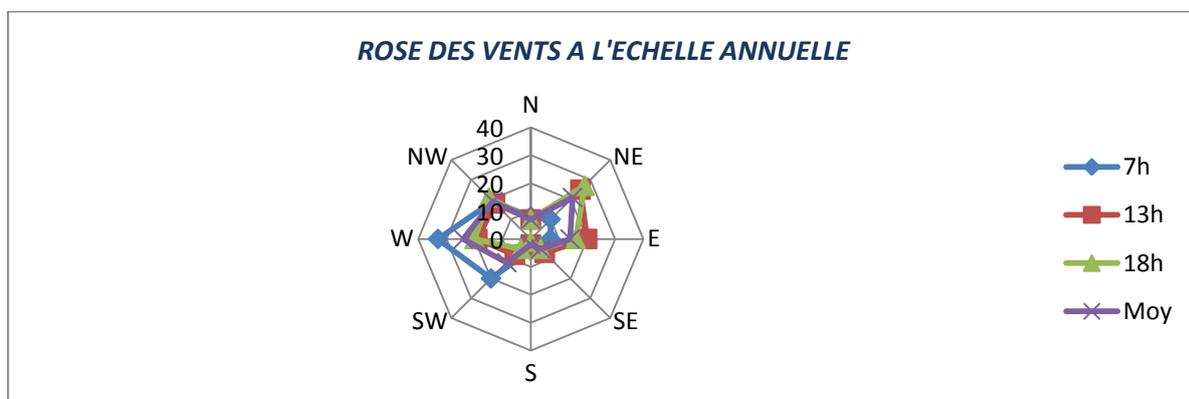


Figure II.9 : Rose des vents à la station de Bejaïa.

Les phénomènes climatiques secondaires (Précipitations, Orages, Grêle, Gelée Blanche, Brouillard et Sirocco) sont observés par décompte du nombre moyen de jours de leur apparition. Cinq phénomènes climatiques sont représentatifs de la période hivernale, le Sirocco par contre est un vent chaud soufflant le plus souvent en d'été.

Le nombre moyen de jours d'apparition des précipitations dans l'année pour la wilaya de **Bejaia** varie de **71 à 104** jours. Il est en moyenne de **87,0** jours dans l'année et reste lié à la répartition mensuelle de la quantité des précipitations.

Les orages sont importants en début et fin de l'été et ne sont pas liés à la quantité des précipitations. Ils sont en moyenne de **24,6** jours par an.

Le phénomène de grêle est très réduit et reste plus prononcé en hiver. Il est en moyenne de **6** jours par an.

Le phénomène de brouillard est rare et apparaît **8** jours à peine par an.

Le phénomène de gelée blanche est également rare et moins fréquent que la grêle. Il est en Moyenne de **4,2** jours par an.

Par contre, le phénomène de Sirocco est important en été (**71%** d'apparition entre **Mai et Septembre**), il atteint **25,9** jours par an.

Tableau II.7 : Nombre de jours d'apparition de caractéristiques climatiques secondaires.

Phénomènes	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	An	min	Max
Pluie	13,0	11,0	11,0	9,0	8,0	4,0	1,0	2,0	6,0	9,0	12,0	14,0	100	1,0	14,0
Gelée	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Grêle	1,2	1,3	1,0	0,4	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,7	1,4	6,3	0,0	1,4
Orage	1,9	1,5	1,9	1,8	2,4	2,5	0,9	1,7	2,9	1,6	1,3	1,3	21,7	0,9	2,9
Sirocco	0,5	0,8	1,6	2,1	1,9	2,7	4,2	4,5	5,5	2,6	0,7	0,3	27,4	0,3	5,5

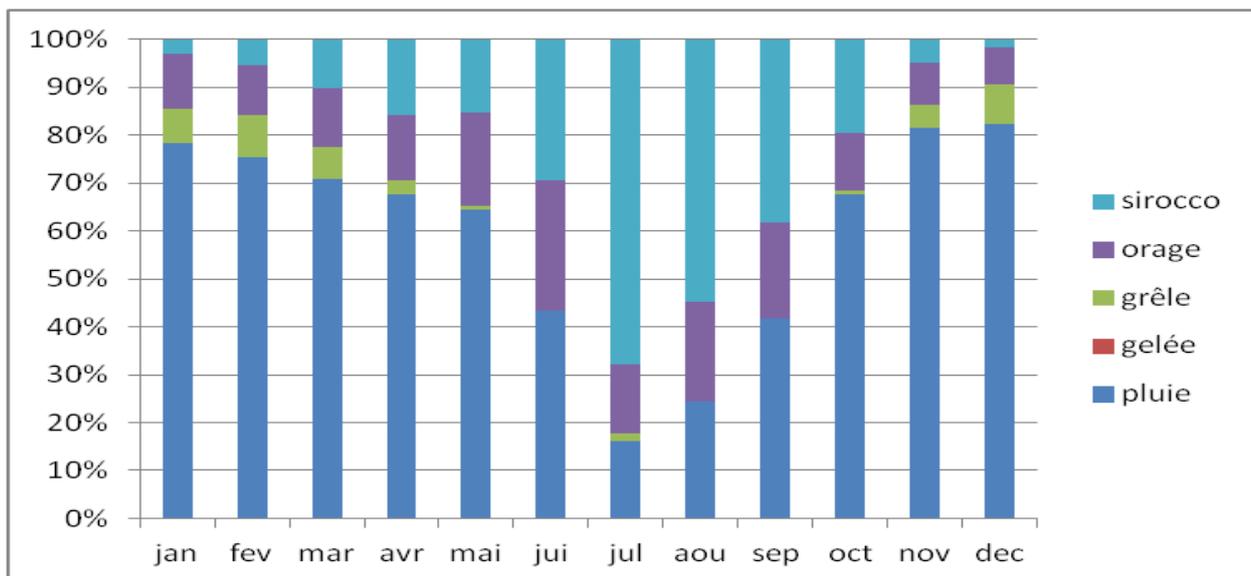


Figure II.10: Graphe des caractéristiques climatiques secondaires.

Tableau II.8: Répartition mensuelle des Températures et précipitations Moyennes

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Températures moyenne (c°)	24.8	20.7	16.3	13.0	11.9	12.8	14.6	16.3	19.0	22.3	25.2	26.3
Précipitation moyenne (mm)	54	99	130	162	159	112	96	68	50	28	3	11

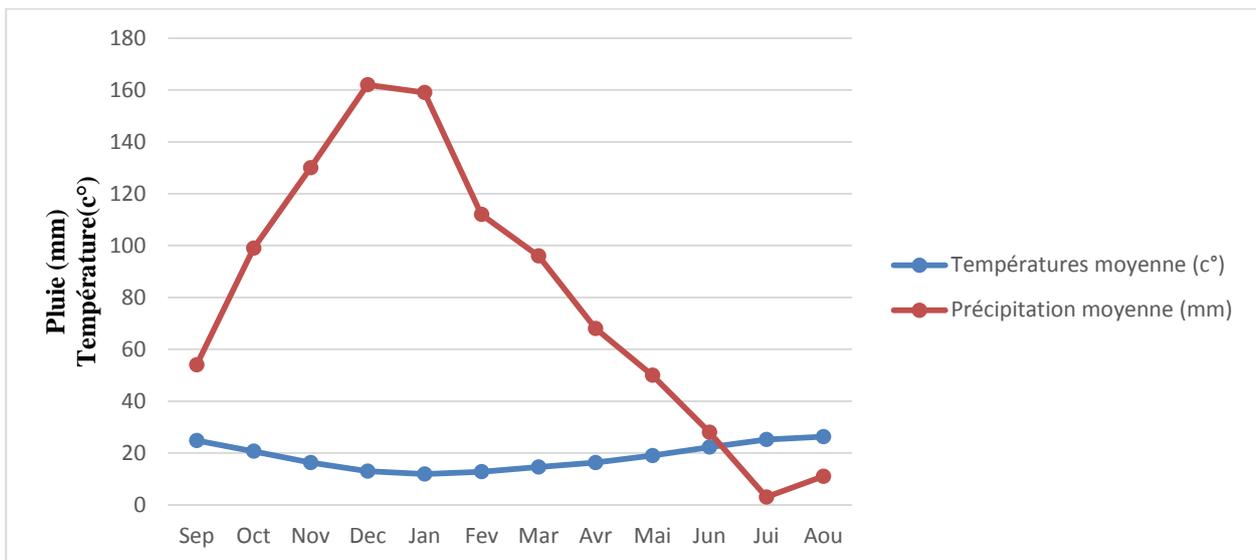


Figure II.11: Graphe OMBRO-THERMIQUE

Le graphique OMBRO-THERMIQUE de la station de BEJAIA, indique une répartition temporelle inverse entre les précipitations et la température.

6. Description des ouvrages existant

Dans cette optique les services techniques de l'APC ont réalisé quelques ouvrages de protection à travers l'oued dans les années précédentes qui n'ont pas résolu les problèmes des crues.



Figure II.12 : Fissures sur les murs



Figure II.13: ordures sous le pont



Figure II.14: Protection par un mur de soutènement en béton armé d'un seul côté



Figure II.15 :L'oued sans aménagement

Remarque

A la suite des visites effectuées sur terrain il a été montré que les ouvrages destinés à protéger l'oued Ibouhathmane contre les crues, sont en mauvais état et incapables d'évacuer les crues exceptionnelles. Généralement, l'inondation a eu lieu à cause:

-Du bouchage des passages en dalots existants

-L'occupation et la pollution de l'Oued par les déchets et les ordures.

-Les ouvrages sont mal réalisés. La projection d'une protection que ce soit par des canaux, une galerie ou par d'autres solutions est s'avère indispensable avec un canal adéquat de débit et surtout par une section et une pente suffisante pour évacuer les crues centennales.

Conclusion

A l'issue de cette collecte de données, on remarque que celles-ci sont assez riche et variée et sur tout complète, maintenant reste à tirer les informations dont nous aurons besoin, et c'est ce que nous allons faire dans la partie qui va suivre.

Introduction

Le But recherché dans cette partie est de mettre en évidence les paramètres hydrologiques tels que les débits des crues, les apports de bassin (apports liquides et solide)...etc. qui constituent la base de dimensionnement des ouvrages constituant l'aménagement.

1. caractéristiques du bassin versant de l'Oued Ibouhathmane

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau les principales caractéristiques physiographiques et géomorphologiques d'un bassin versant étudié ont une importance majeure car elles interviennent, et souvent d'une façon combinée, dans les modalités de l'écoulement superficiel. Les caractéristiques physiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage [25].

Le bassin versant étudié dans le présent mémoire est caractérisé par un contour quelconque, il est déterminé à partir des cartes topographiques à l'échelle 1/50 000ème géo référencées sous un SIG, en suivant la ligne conventionnelle de partage des eaux. La figure (III.1) présente la délimitation du bassin versant en question. Le comportement hydrologique d'un bassin versant est influencé par les facteurs physiographiques suivants :

1.1. Caractéristiques physiques

A. Altitude, Surface et périmètre

La surface du bassin d'un cours d'eau donné en un point de celui-ci est l'aire limitée par le contour, à l'intérieur duquel l'eau précipitée se dirige vers ce point. La superficie d'un bassin versant est une dimension importante à connaître, car elle est la base de tous les calculs hydrologiques (Bilan, module, débit spécifique ... etc.). La mesure de cette surface suppose d'abord la délimitation du bassin par la ligne de partage des eaux qui est matérialisée par les lignes de crêtes. La surface du bassin versant peut être mesurée par superposition d'une grille dessinée sur papier transparent, par l'utilisation d'un planimètre ou, mieux, par des techniques de digitalisation. Dans notre cas, on a utilisé le logiciel MAP INFO pour l'évaluation de la superficie ainsi que le périmètre du bassin versant.

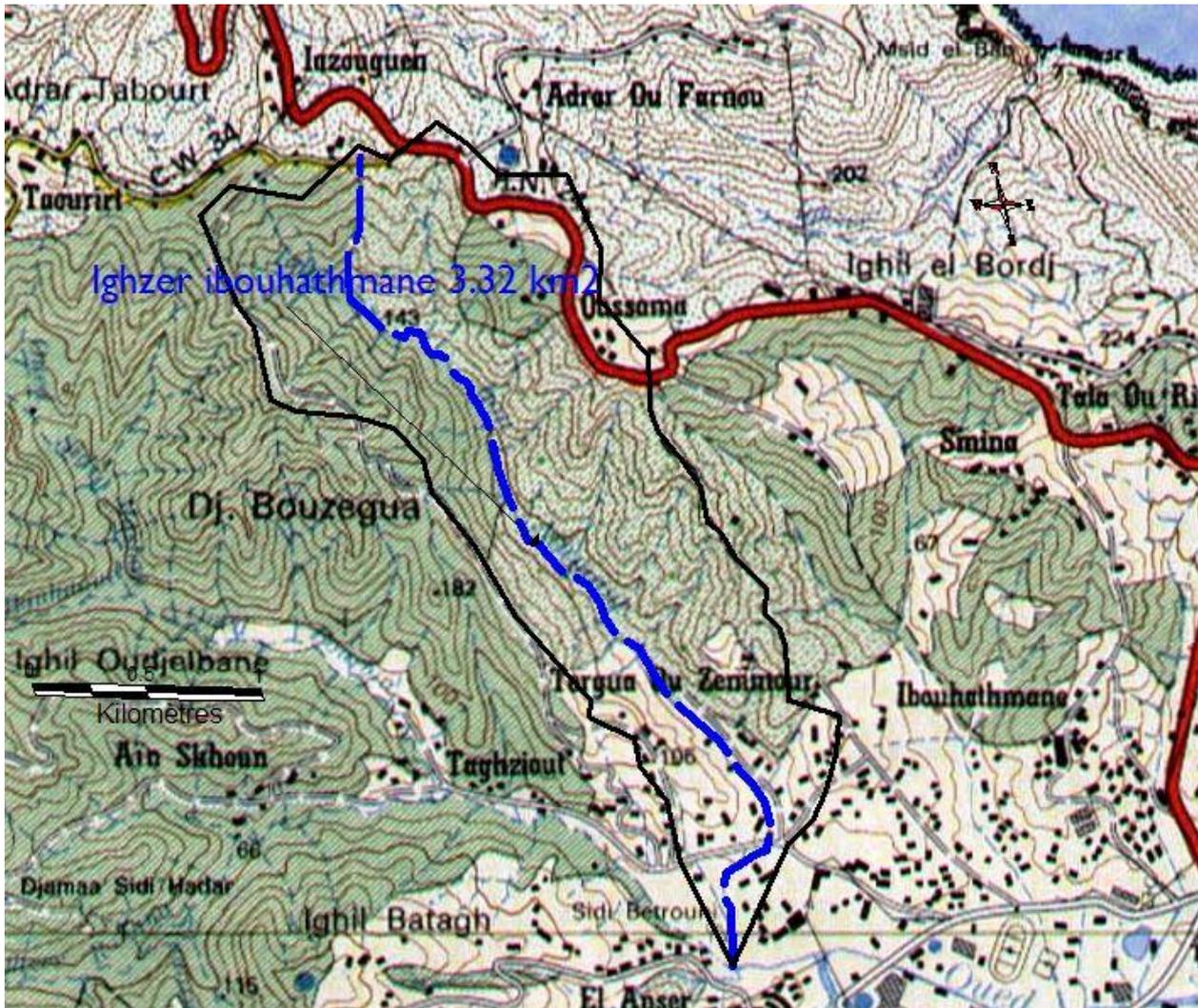


Figure (III.1: Localisation du bassin versant de l’oued Ibouhathmane (Extrait de la carte au 1/25 000 ème, feuille de Bejaïa)

B. Largeur moyenne du bassin versant

La largeur moyenne du bassin versant est calculée selon la relation suivante [6] :

$$L_{\text{moy}} = \frac{S}{L} \tag{III.1}$$

Où,

- S : Superficie du bassin versant (Km²).
- L : Longueur du talweg le plus long (Km).

$$L_{\text{moy}} = 0.97 \text{ km}$$

1.2 Paramètre de forme

A. Coefficient d'allongement

Le coefficient d'allongement est le rapport de la longueur totale du bassin versant au carré par Sa surface. Il est obtenu à partir de la relation suivante [34] :

$$C_a = \frac{L_{CE}^2}{S} \quad (III.2)$$

Où,

- L_{CE} : Longueur du cours d'eau (Km).
- S : Superficie du bassin versant (Km²).

$$C_a = 3.48$$

B. Indice de compacité de GRAVELIUS

L'indice de compacité de GRAVELIUS est défini comme le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface. Il s'exprime par [26] :

$$K_G = 0.28 \times \frac{P_{BV}}{\sqrt{S}} \quad (III.3)$$

Où,

- P_{BV} : Périmètre stylisé du bassin versant (Km).
- S : Superficie du bassin versant en (Km²) [8].

$$K_G = 1.46$$

Une telle valeur ($K_G=1,46$) correspond à un bassin versant de forme allongée $1 < K_G < 1,5$ une autre façon de caractériser l'allongement est de calculer le rectangle équivalent selon Roche (bassin versant de forme rectangulaire de même superficie et ayant le même indice de compacité).

C. Rectangle équivalent

Le rectangle équivalent ou rectangle de GRAVELIUS correspond à une transformation purement géométrique du bassin versant. Il prend alors une forme rectangulaire tout en gardant la même superficie, le même périmètre, le même indice de compacité et par conséquent la même Répartition hypsométrique. Dans ce cas, les courbes de niveau deviennent parallèles aux côtés du rectangle équivalent. La climatologie, la répartition des sols, la couverture végétale et la densité de drainage restent inchangées entre les courbes de niveau. Plus un rectangle équivalent est allongé moins il sera drainé [23].

Les dimensions du rectangle équivalent sont déterminées par les formules suivantes [17] :

$$\text{➤ Longueur : } L_r = \frac{KG \cdot \sqrt{S}}{1,128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{KG} \right)^2} \right] \quad (\text{III.4})$$

$$\text{➤ Largeur : } l_r = \frac{KG \cdot \sqrt{S}}{1,128} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{KG} \right)^2} \right] \quad (\text{III.5})$$

Avec,

- KG : Indice de compacité de GRAVELIUS.
- S : Superficie du bassin versant en (Km²).
- L_r : Longueur du rectangle équivalent en (Km).
- l_r : Largeur du rectangle équivalent en (Km).

$$L_r = 3.85 \text{ km}$$

$$l_r = 0.86 \text{ km}$$

1.3 Paramètres de relief

La plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques sont en fonction de l'altitude car c'est de la pente du relief dont dépend le gradient pluviométrique et thermique, ainsi que la vitesse d'écoulement qui sera en principe plus importante en montagne qu'en plaine.

A. Courbe hypsométrique

Le relief est également caractérisé par la courbe hypsométrique du bassin versant. Cette dernière qui fournit une vue synthétique de la pente du bassin, représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (Ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus (Ou en-dessous) de l'altitude représentée en ordonnée. La courbe hypsométrique du bassin donne ainsi le pourcentage de la superficie du bassin versant situé au-dessus d'une altitude donnée [4].

Les surfaces partielles, comprises entre les courbes de niveau sont calculées sur la base d'informations topographiques des cartes au 1/50 000ème (v. Annexes(2)). Les figures ci-dessous présentent la courbe hypsométrique et la courbe des fréquences altimétriques. Ces représentations montrent l'importance et la distribution de chaque tranche d'altitude dans notre bassin.

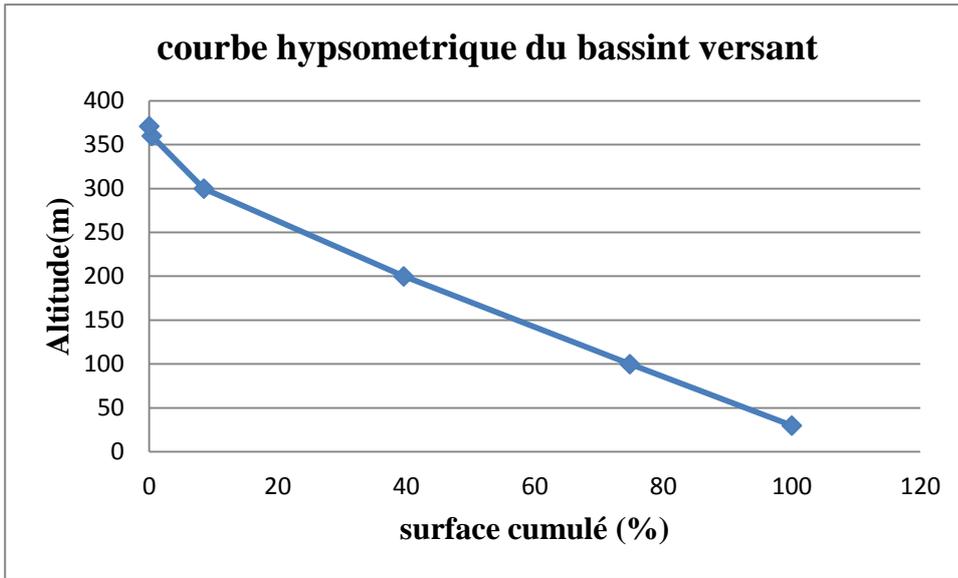


Figure III.2: Courbe hypsométrique du bassin versant de l’Oued Ibouhathmane

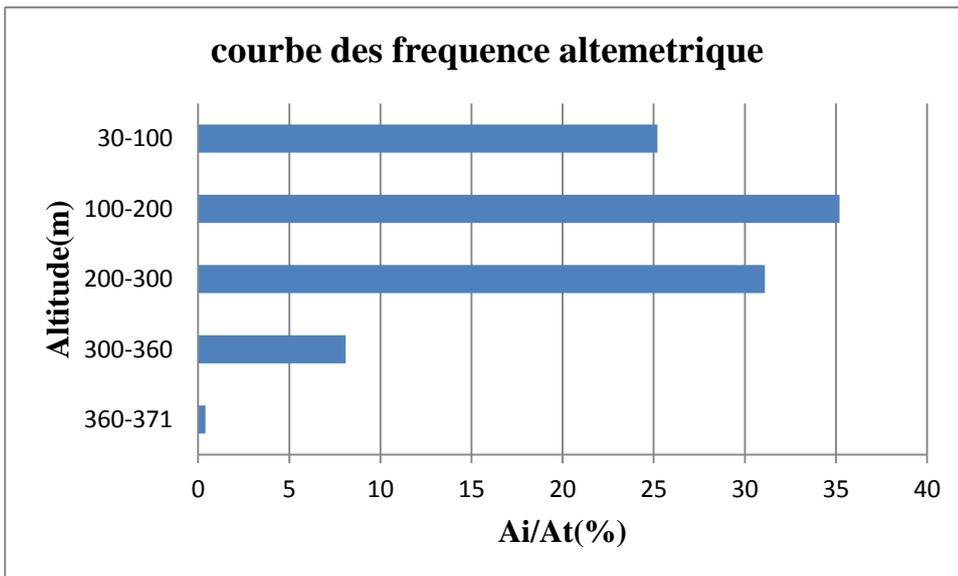


Figure III.3: Courbe des fréquences altimétriques du bassin versant de l’Oued

B. Les altitudes caractéristiques

B.1. Les altitudes minimale et maximale

Les altitudes extrêmes (minimales et maximales) du bassin versant (BV) sont extraites de la carte INCT à l’échelle du 1/25 000 ème. L’altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l’altitude minimale représente le point le plus bas, généralement à l’exutoire.

B.2. L'altitude moyenne

L'altitude moyenne se déduit de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir en divisant le volume montagneux par la surface du bassin versant [7].

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum S_i \times H_i}{S_T} \quad (\text{III.6})$$

Où,

- S_i : Surface partielle entre deux courbes de niveau (Km²).
- H_i : Altitude moyenne de l'aire comprise entre deux courbes de niveau (m).
- S_T : Surface totale du bassin versant (Km²).

$$H_{\text{moy}} = 174.97\text{m}$$

Le bassin de Ibouhathmane atteint 371 m à son point culminant au sommet de Djebel Bouzegua, tandis que le point le plus bas correspond au niveau de cité Aouchich. L'altitude moyenne sur l'ensemble du bassin de l'Oued est de 174.97m.

B.3. Altitude médiane

L'altitude médiane du bassin versant est obtenue pour 50% de la surface du bassin versant, elle est obtenue à partir de la courbe hypsométrique (Figure (III.2)).

$$H_{\text{médiane}} = 167.5\text{m}$$

B.4. Les altitudes à 5% et 95%

Bien souvent, on définit la dénivelée comme étant la différence de cote entre H5% et H95%. Sur la courbe hypsométrique, on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5% de la surface totale. Elles servent à évaluer la pente moyenne du thalweg principal.

C. Indice de pente

La pente topographique est un élément capital dans le comportement hydrologique du bassin, elle détermine en grande partie l'aptitude des terrains au ruissellement et conditionne la vitesse d'écoulement des eaux de surface par l'effet de la pesanteur. L'objet de cet indice est de caractériser les pentes d'un bassin et de permettre des comparaisons et des classifications entre les bassins versants [27].

C.1 Indice de pente globale

C'est le rapport de la dénivelée définie sur la courbe hypsométrique, à la longueur du Rectangle équivalent. Elle se calcule par la formule suivante [22] :

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L_r} \quad (\text{III.7})$$

Où,

- I_g : Indice de pente global.
- $H_{5\%}$: Altitude à 5% de la surface du bassin versant (m).327.5
- $H_{95\%}$: Altitude à 95% de la surface du bassin versant(m).42.5
- L_r : Longueur du rectangle équivalent (Km).

$$I_g = 74.02\text{m/km}$$

L'indice de pente global permet de caractériser une pente représentative de la pente moyenne des versants. par ailleurs cet indice simple est étroitement corrélé avec l'indice de pente de Roche I_p [41].

$$I_g = 0.8 \times I_p^2 \tag{III.8}$$

C.2 Indice de pente de Roche

I_p est la moyenne de la racine carré des pentes mesuré sur le rectangle équivalent, et pondérer par les surfaces comprises entre 2 courbe de niveau consécutives H_i et H_{i-1} . Il est donné par la formule suivante [41] :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_i^n \sqrt{S_i(H_i - H_{i-1})} \tag{III.9}$$

Où,

- L : Longueur du bassin versant en (m).
- S_i : surface partielle (%) comprises entre 2 courbes du niveau consécutives H_i et H_{i-1} (m) .

$$I_p = 0.1\%$$

C.3 Pente moyenne du bassin versant

Elle donné par la formule suivante [41] :

$$P_m = \frac{\Delta H(0.5l_1 + l_2 + l_3 + \dots + 0.5l_n)}{S} \tag{III.10}$$

Où,

- ΔH : Dénivelée (m).
- l_i : longueur de courbe de niveau d'ordre 1,2...n(m).
- S : Surface du bassin versant (Km²).

$$P_m = 270\text{m/km}$$

C.4Pente brute de cours d'eau

La pente brute est également une caractéristique intéressante, voire très importante, car, elle renseigne, graphiquement, sur la topographie du bassin. De plus, elle influence le débit de pointe lors d'une averse [23].

$$I_B = \frac{H_{max} - H_{min}}{L_{CE}} \quad (III.11)$$

$$I_B = 10.1\%$$

D. Dénivelée spécifique

Elle est définie comme étant le produit de l'indice de pente global par la racine carrée de la Surface du bassin versant. Elle se calcule comme suit [18,40]

$$D_s = I_g \times \sqrt{S} \quad (III.12)$$

Où,

- D_s : Dénivelée spécifique (m).
- I_g : Indice de pente global (m/Km).
- S : Surface du bassin versant (Km²).

$$D_s = 134.9\text{m}$$

D'après la deuxième classification de l'ORSTOM (Office de Recherche Scientifique de territoire d'Outre-mer), la dénivelée spécifique du bassin de l'Oued Ibouhathmane se trouve dans la classe R5 (v. Annexe (2)), donc on a un relief assez fort.

1.4 Caractéristiques hydrographiques

1.4.1 Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est l'ensemble des cours d'eau, affluents et sous affluents permanents ou temporaires, par lesquels s'écoulent toutes les eaux de ruissellement et convergent vers un seul point de vidange du bassin versant (Exutoire) [12].

Dans notre cas ce dernier reconstitué à partir des cartes topographiques est ordonné selon la classification de Horton (Figure III.4).

1.4.2 Ordre des cours d'eau

L'ordre est un indice permettant de caractériser le degré d'hierarchisation ou d'organisation du réseau de drainage. Les incisions du relief, le nombre de thalwegs et des affluents sont quantifiées par l'ordre. Il existe plusieurs méthodes, dont la principale et la plus utilisée est celle de Horton, qui énonce que :

- Tout affluent naissant seul est d'ordre 1.
- L'intersection de deux affluents de même ordre, donne naissance à un affluent d'ordre Supérieur.
- L'intersection d'un affluent d'ordre X avec un autre d'ordre inférieur garde son ordre X.

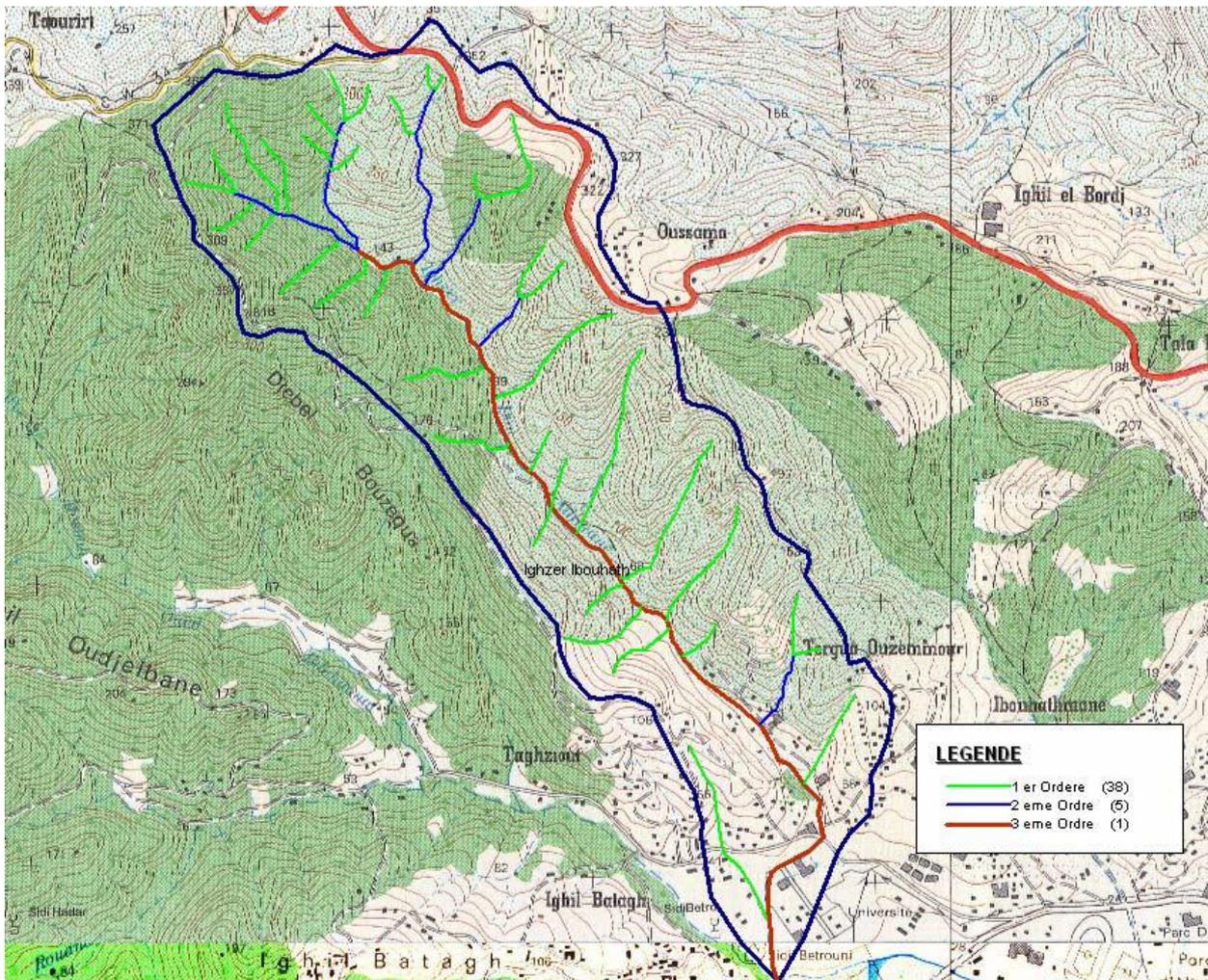


Figure III.4 : Chevelu hydrographique de l’oued Ibouhathmane.

Le réseau hydrographique de ce bassin versant est bien développé, il peut être décomposé en Talweg de différent ordre.

Tableau III.1: Caractéristiques du réseau hydrographique de l’oued Ibouhathmane

Ordre	Nombre	Longueur, [Km]	Longueur moyenne, [Km]
1	38	10.2	0.27
2	6	2.59	0.43
3	1	2.9	2.9
Total	45	15.69	3.6

Nous concluons que, le bassin versant de l’Oued Ibouhathmane est d’ordre 3.

1.4.3. Densité de drainage

La densité de drainage, introduite par Horton, correspond au quotient de la longueur totale des cours d'eaux par la surface du bassin versant. Elle dépend de la géologie (Structure et lithologie), des caractéristiques topographiques du bassin versant et, dans une certaine mesure, des conditions climatologiques et anthropiques. En pratique, les valeurs des densités de drainage varient de 3 à 4 pour des régions où l'écoulement n'a atteint qu'un développement très limité et se trouve centralisé ; elles dépassent 1000 pour certaines zones où l'écoulement est très ramifié avec peu d'infiltration. Selon SCHUMM, la valeur inverse de la densité de drainage, $C=1/D_d$, s'appelle « **constante de stabilité du cours d'eau** ». Physiquement, elle représente la surface du bassin nécessaire pour maintenir des conditions hydrologiques stables dans un vecteur hydrographique unitaire [26].

Elle est donnée par la relation [29] :

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S} \quad (\text{III.13})$$

Où,

- D_d : Densité de drainage en (Km/Km²).
- $\sum L_i$: Longueur totale cumulée de l'ensemble des talwegs (Km).
- S : Superficie du bassin versant (Km²).

$$D_d = 4.72 \text{ km/km}^2$$

Remarque : Plus la densité de drainage n'est élevée, plus elle traduit l'existence de terrain imperméable favorisant le ruissellement.

1.4.4 Densité hydrographique

La densité hydrographique représente le nombre des cours d'eau par unité de surface. La densité hydrographique permet de donner une indication précieuse sur l'érosion qui a eu lieu dans le passé et de l'aggravation du ruissellement à l'heure actuelle : plus la densité est forte, plus l'érosion antécédente est importante et plus le ruissellement actuel est fort. Celle-ci est définie comme la somme des longueurs des cours d'eau pour une superficie donnée [11].

$$F = \frac{\sum N_i}{S} \quad (\text{III.14})$$

Avec,

- F : Densité hydrographique (Km⁻²).
- N_i : Nombre de cours d'eau.
- S : Superficie du bassin (Km²).

$$F = 13.55 \text{ Km}^{-2}$$

1.4.5 Le coefficient de torrentialité

C'est le produit de la densité de drainage par la fréquence des talwegs élémentaires. Il est obtenu par la formule suivante [9] :

$$C_t = \frac{N_1}{S} \times D_d \quad (\text{III.15})$$

Où,

- Ct : Coefficient de torrentialité.
- D_d : Densité de drainage (Km/Km²).
- Nl : Nombre de talwegs d'ordre 1.
- S : Surface du bassin versant (Km²).

$$C_t = 54.02$$

1.5 Temps de concentration

Le temps de concentration est un paramètre important caractérisant le ruissellement. C'est le temps mis par une particule d'eau tombée sur le point le plus éloigné du bassin versant pour arriver à l'exutoire. Il s'exprime en heures. Bien que, ce paramètre intervient pour l'étude des crues, le temps de concentration est largement utilisé comme paramètre hydrologique de grande importance qui sert aussi à la comparaison des bassins différents [12].

1.5.1 Estimation du temps de concentration

De nombreuses approches existent pour caractériser le temps de concentration d'un bassin versant. Ces approches donnent des résultats évidemment différents et ne peuvent donner qu'un Ordre de grandeur du temps de concentration. Ce temps de concentration permet une comparaison entre bassins versants et constitue ainsi un paramètre représentatif de ses caractéristiques morphologiques. Nous avons utilisé les formules empiriques suivantes :

- La plus utilisée est celle de GIANDOTTI (Sud de l'Italie 1937) [30] :

$$T_C = \frac{4 \times \sqrt{S} + 1.5 \times L_{CE}}{0.8 \times \sqrt{h}} \tag{III.16}$$

Avec,

- T_c : Temps de concentration (h).
- S : La superficie du bassin versant (Km²).
- L_{CE}: Longueur du cours d'eau principal (Km).
- h : Différence entre l'altitude moyenne et celle de l'exutoire (m).

- Formule de SCS (1975) qui s'écrit comme suit [40] :

$$T_C = 0.059 \times \frac{L_{CE}^{0.8}}{\sqrt{I}} \tag{III.17}$$

Où,

- T_c : Temps de concentration (h).
- L_{CE}: Longueur du cours d'eau (m).
- I : Pente moyenne du bassin (%).

- La relation du Service Routier de l'Etat de Californie (USA)[30] :

$$T_C = 3.98 \cdot \left(\frac{L_{ce}}{\sqrt{I_{moy}}} \right)^{0.77} \tag{III.18}$$

➤ Formule de KIRPICH, elle s'exprime telle que [24] :

$$T_C = 32.45 \times 10^{-0.5} \times (1000 \times L_{CE})^{0.77} \times \left(\frac{H_{max}-H_{min}}{1000 \times L_{CE}} \right)^{-0.385} \quad (III.19)$$

Le tableau (III.2) résume les différents temps de concentration calculés.

Tableau III.2: Estimation du temps de concentration du bassin versant de l'Oued Ibouhathmane

N°	Formule	Temps de concentration (Tc) en heure
1	Giandotti	1.26
2	SCS	0.98
3	l'Etat de Californie	2.32
4	Kirpich	0.4

La valeur qui est prise pour ce temps de concentration est celle de Giandotti car c'est elle qui est plus proche de la moyenne de toutes ces valeurs et aussi c'est elle qui a été utilisé pour le climat medeteraniéne.

1.5.2 Vitesse de concentration

C'est la vitesse moyenne de l'écoulement, elle est fonction de plusieurs facteurs (Pente, étendue du lit et hiérarchisation du chevelu hydrographique), elle constitue un élément fondamental dans l'évolution spatiale des crues. Elle est calculée par la formule suivante [14]:

$$V_C = \frac{L_{CE}}{T_C} \quad (III.20)$$

Où,

- V_C : Vitesse de concentration (Km/h).
- L_{CE} : Longueur du cours d'eau principal (Km).
- T_c : Temps de concentration (h).

$$V_C = 2.7 \text{ Km/h}$$

Nous récapitulons dans le tableau (III.3) ci-dessous les principales caractéristiques du bassin Versant d'oued Ibouhathmane objet de notre étude.

Tableau III.3: Récapitulation des caractéristiques morphométriques de l'Oued Ibouhathmane

Caractéristique	Unité	Symbole	Valeur
Surface	Km ²	S	3.32
Périmètre	Km	P	9.43
Longueur du cours d'eau	Km	L _{CE}	3.4
Largeur moyenne	Km	L _{moy}	0.97
Coefficient d'allongement	-	Ca	3.48
Coefficient de compacité	-	K _G	1.46
Longueur du rectangle équivalent	Km	L _r	3.85
Largeur du rectangle équivalent	Km	L _r	0.86
Altitude maximale	m	H _{max}	371
Altitude minimale	m	H _{min}	26
Altitude moyenne	m	H _{moy}	174.97
Altitude médiane	m	H50%	167.5
H5%	m	H5%	327.5
H95%	m	H95%	42.5
Indice de pente global	m/Km	I _g	74.02
Indice de pente de Roche	(%)	I _p	0.1
Pente moyenne de bassin	m/Km	P _m	270
Pente brute	m/Km	I _B	10.1
Dénivelée spécifique	m	D _s	134.9
Densité de drainage	Km/Km ²	D _d	4.72
Densité hydrographique	Km-2	F	13.55
Coefficient de torrencialité	-	C _t	54.02
Temps de concentration	Heurs	T _c	1.26
Vitesse de concentration	Km/Heur	V _C	2.7

Remarque

Les résultats des caractéristiques morphométriques, montrent que la densité de drainage est assez importante, d'où le réseau est très développé, de plus le coefficient de torrencialité semble assez élevé ceci est dû vraisemblablement au nombre considérable de talwegs de premier ordre ainsi que les sinuosités qu'ils forment. Quant au temps de concentration, il semble important, puisque le temps qu'a mis une particule d'eau pour arriver à l'exutoire est de 1h et demi. Ceci, explique la complication des chenaux qui traversent les différentes structures et formations d'une part et la forme du bassin versant qu'est peu allongée de l'autre Part. Les altitudes médiane et moyenne du bassin versant sont proches, ce qui traduit que il ne ya pas un manque d'équilibre dans l'évolution morphologique du bassin versant.

2. Analyse des données pluviométriques

La superficie de bassin versant étudiés est **inférieure à 20 km² (3.32 km²)**, entre dans la gamme des petits bassins, les observations hydrométriques disponible ne sont pas représentatives au site d'étude, cas extrêmement rare qui n'a lieu que quand le réseau d'observations a été remarquablement bien planifié (cas de sites de barrages), car les stations hydrométriques de la région sont au niveau de grands bassins versants, et pour un dimensionnement économique des ouvrages il convient mieux de recourir aux données pluviométrique.

NB : La Méthodologie ainsi que toutes les lois et procédures de travail dans cette partie sont tirés (voir réf 41).

2.1 Caractéristiques de la Série Pluviométrique

L'étude consiste à faire un ajustement pour la série de données des précipitations maximales journalières par une loi théorique afin de déterminer une intensité de pluie de durée et de période de retour donnée. Mais avant nous devons procéder au calcul de certains paramètres statistiques de la série pour en connaitre la répartition arithmétique, et ces paramètres sont les suivants :

- Le maximum et le minimum :

$$p_{\max, \min} = \max(\min)[P_i] \tag{III.21}$$

- La moyenne Arithmétique:

$$P = \frac{\sum P_i}{n} \tag{III.22}$$

- L'écart type :

-

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (P_i - P)^2}{n-1}} \tag{III.23}$$

Dans notre cas $N < 30$ donc on devise par $(n-1)$

- Le coefficient de variation :

$$C_v = \frac{\sigma}{P} \tag{III.24}$$

- Le coefficient d'asymétrie :

$$C_s = \frac{\sum_1^n (P_i - P)^3}{(n-1)\sigma^3} \tag{III.25}$$

- Le coefficient d'aplatissement

$$C_K = \frac{\sum_1^n (P_i - P)^4}{(n-1)\sigma^4} \tag{III.26}$$

Tableau III.4:Caractéristiques de la Série pluviométrique [35]

année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	O	Pm axj	Pm an	P an
1994	132,9	73,6	18,2	149,4	238,4	55,8	95,7	35,6	1,8	22,8	0,3	20,0	59,5	70,4	845
1995	71,4	15,9	51,5	60,8	105,7	220,4	58,9	118,3	43,9	38,8	9,6	4,1	42,3	66,5	799
1996	37,6	47,0	95,1	54,0	50,1	24,5	16,3	53,9	11,3	22,2	2,4	21,4	27,2	36,3	436
1997	58,2	222,1	107,6	93,0	16,1	79,6	60,7	95,4	160,3	3,3	0,0	10,2	83,8	75,6	907
1998	45,9	81,4	184,7	129,3	125,8	119,9	52,6	29,8	14,7	1,4	0,6	2,7	50,5	65,8	789
1999	47,8	24,4	93,4	227,1	72,9	21,7	13,9	27,3	53,7	5,3	1,4	0,0	42,3	49,1	589
2000	13,0	76,5	30,9	65,5	212,0	70,2	9,1	65,9	37,1	0,0	0,0	12,1	45,4	49,3	592
2001	47,3	2,9	103,8	70,9	68,8	103,6	57,5	18,1	23,5	0,0	107,5	28,1	90,8	52,7	632
2002	61,7	36,1	193,2	315,0	310,0	69,0	30,7	220,6	26,5	1,0	2,2	1,6	138	105	1268
2003	113,9	75,5	45,6	205,5	147,9	54,6	86,9	110,4	69,9	26,0	0,0	5,0	38,5	78,4	941
2004	18,8	30,4	177,7	128,4	165,5	167,5	60,4	41,9	7,7	0,0	0,4	6,1	63,6	67,1	805
2005	28,2	31,7	107,1	172,4	126,7	141,0	46,5	17,3	53,3	4,8	1,2	20,4	59,5	62,6	751
2006	35,3	21,3	13,3	132,7	9,3	20,4	175,1	132,0	12,1	9,9	2,6	6,7	30,3	47,6	571
2007	63,4	149	174,7	207,0	9,3	20,4	175,1	132,0	12,1	9,9	2,6	6,7	56,1	80,2	962
2008	144,3	60,6	131,3	72,5	7,1	20,3	120,3	37,4	66,1	7,2	3,3	4,1	58,2	56,2	674
2009	189,8	40,0	128,5	132,9	237,2	65,9	62,6	86,3	54,4	0,5	3,8	15,1	74,4	84,8	1017
2010	38,8	135,1	162,0	70,2	52,7	55,0	106,9	43,5	57,4	38,3	0,9	6,3	78,2	63,9	767
2011	7,7	159,0	67,5	116,9	55,1	138,8	34,5	73,5	81,5	34,1	0,4	0,2	51,1	64,1	769
2012	65,6	55,4	105,1	56,0	90,2	321,5	70,9	91,6	10,3	3,3	1,4	86,0	94,2	79,8	957
2013	44,7	35,7	185,5	56,7	133,5	187,4	78,5	54,7	104,7	3,2	10,8	68,7	32,3	80,3	964
2014	6,4	76,5	9,0	295,6	84,5	64,0	132,5	16,3	9,3	66,3	0,8	1,7	65,5	63,5	762
Maximum	189,8	222,1	193,2	295,6	238,4	321,5	175,1	220,6	104,7	66,3	107,5	86,0	138	105	1268
Minimum	6,4	2,9	9,0	54,0	7,1	20,3	9,1	16,3	1,8	0,0	0,0	0,2	27,2	36,3	571
Moyenne	60,6	69,1	104,1	133,9	110,4	96,3	73,6	71,5	43,4	14,2	7,24	15,58	61,03	66,70	799,8
Ecart type	47,5	55,1	60,8	78,1	84,4	77,6	47,2	50,9	38,9	17,7	23,2	22,1	26,02	15,6	187,1
Cv	0,78	0,79	0,58	0,58	0,76	0,81	0,64	0,71	0,89	1,25	3,2	1,42	0,43	0,23	0,23
Cs	1,26	1,27	-0,06	0,93	0,71	1,3	0,75	1,19	1,36	1,43	4,01	2,21	1,18	0,32	0,33
Médiane	47,3	55,4	105,1	128,4	90,2	69	60,7	54,7	37,1	5,3	1,4	6,7	58,2	65,5	789
Ck	3,83	3,89	1,72	2,82	3,07	4,3	2,8	4,21	4,69	4,34	17,44	6,89	4,46	3,18	3,18

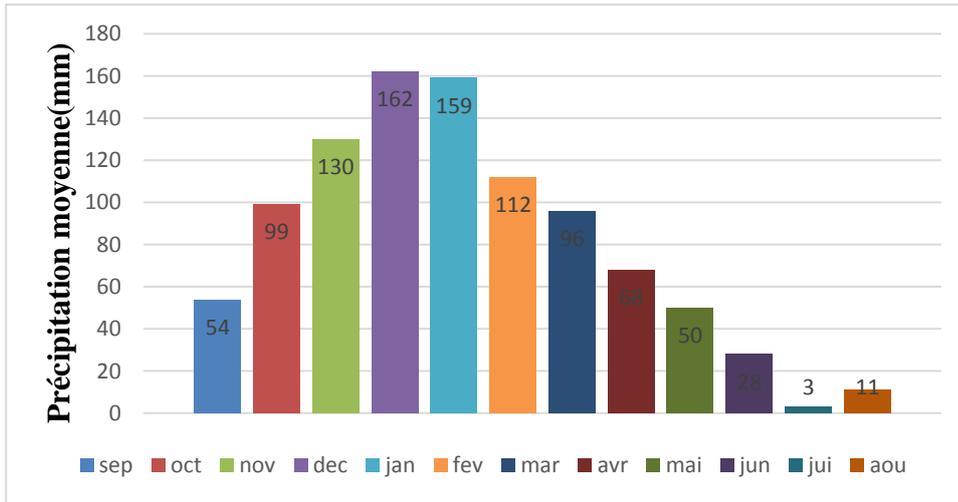


Figure III.5: Histogramme de variation de la Précipitation Moyenne Annuelle

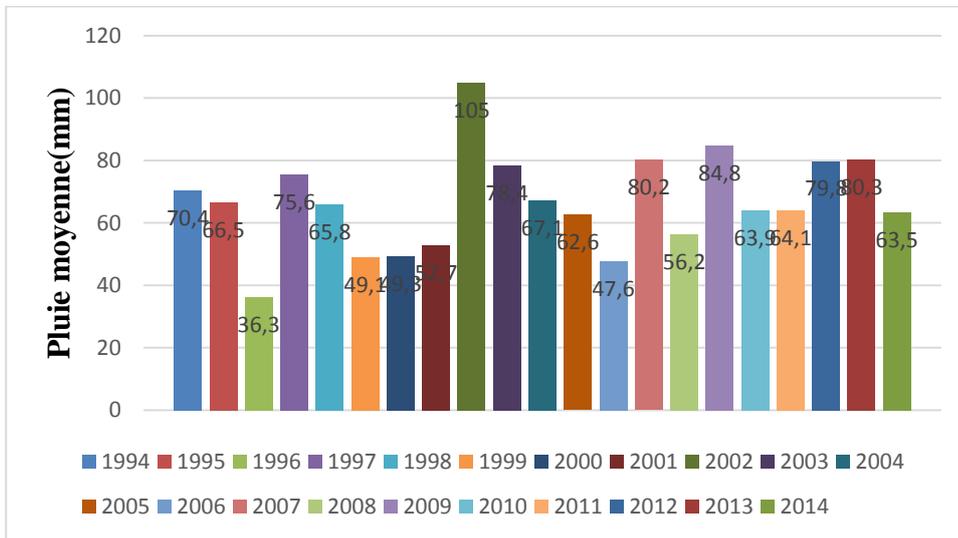


Figure III.6: Histogramme de variation de la pluie Moyenne Annuelle

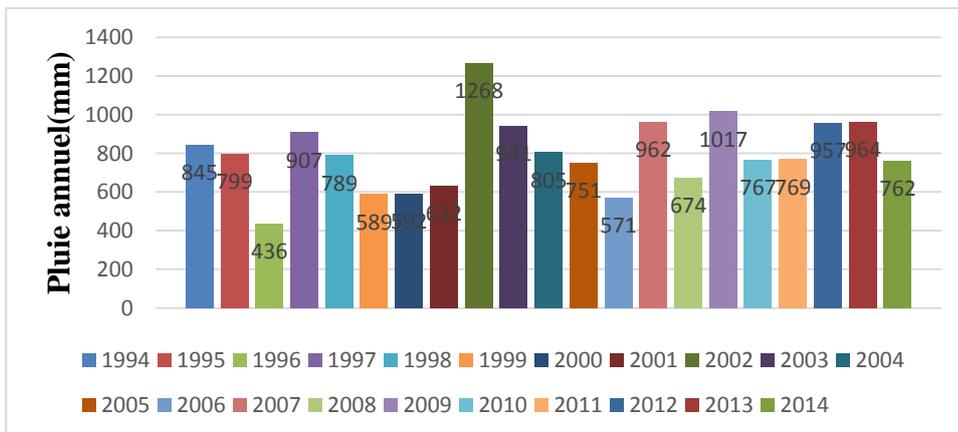


Figure III.7: Histogramme de la Pluie Annuelle

2.2 Choix de la loi d'ajustement

Les critères de choix d'une loi sont liés à un ajustement graphique d'abord et en suite à un test de dispersion. L'allure des points sur du papier à probabilité permet à prime abord d'accepter ou de rejeter une loi. L'ajustement des pluies maximales journalières sera traité par logiciel "Hyfran". On a effectué l'ajustement de la série des pluies maximales journalières pour les deux lois suivantes: la loi de Gumbel (doublement exponentielle), loi de Galton (log Normale), puis une comparaison des graphes de régression obtenue après les ajustements.

2.2.1 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel

Cette loi a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \quad (\text{III.27})$$

Tel que : $y = \alpha(X - X_0)$

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

y : variable réduite de GUMBEL

x : précipitation maximale journalière (mm)

x_0 : ordonnée à l'origine en (mm)

On peut écrire ; $Y = -\text{Ln}(-\text{Ln}(f(x)))$

Avant de procéder à l'ajustement il faut suivre les étapes suivantes :

Classer les valeurs des précipitations par ordre croissant avec attribution d'un rang 1, 2, 3, ..., n.

Calculer pour chaque valeur de précipitation la fréquence expérimentale par la formule de HAZEN.

$$F(x) = \frac{m-0.5}{N} \quad (\text{III.28})$$

m : rang de précipitation.

N : nombre d'observations

Calculer la variable réduite de Gumbel donnée par la formule suivante

$$Y = -\text{Ln}(-\text{Ln}(f(x))) \quad (\text{III.29})$$

Calculer les paramètres d'ajustement « a » et « x_0 »

Représenter graphiquement les couples (x_i, y_i) sur papier Gumbel.

Résultats de l'ajustement

Nombre d'observations : 21

Paramètre :

$u = 48.95$

Alpha = 20.29

Quantiles :

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

$T = 1 / (1-q)$

Tableau III.5 : résultat de l'ajustement à la loi de Gumbel

T	Probabilité q	XT(quantile)	Ecart-type	Intervalle de confiance
1000.0	0.9990	189	32.8	125-253
200.0	0.9950	156	25.5	107-206
100.0	0.9900	142	22.3	98.6-186
50.0	0.9800	128	19.1	90.6-166
20	0.9500	109	15.0	79.9-139
10.0	0.9000	94.6	11.9	71.4-118
5.0	0.8000	79.4	8.78	62.2-96.6
3.0	0.6667	67.3	6.62	54.3-80.3

Test d'adéquation :

Gumbel (Méthode des moments)

Hypothèses :

H0 : L'échantillon provient d'une loi Gumbel.

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

Résultats :

Résultats de la statistique : $X^2 = 1.00$

p- value : $p = 0.8013$

Degrés de liberté : 3

Nombres des classes : 6

Tableau III.6 : Comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon

Gumbel (Méthode des moments)	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum	Aucun	27
Maximum	Aucun	138
Moyenne	60.7	60.7
Ecart – type	26	26.0
Médiane	56.4	58.0
Coefficient de variation (CV)	0.429	0.429
Coefficient d'asymétrie (CS)	1.14	1.32
Coefficient d'aplatissement (CK)	2.4	4.31

2.2.2 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON

Le procédé d'ajustement est identique à celui établi pour la loi de Gumbel, seul la représentation graphique change ou elle est faite sur du papier log-normale. La loi de Galton une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\mu}^{+\infty} e^{-\frac{1}{2}u^2} du \text{ (III.30)}$$

$$\text{Ou : } \mu = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma_X} \text{ (III.31)}$$

L'équation de la droite de GALTON est la suivante :

$$\text{Log } x \text{ (p \%)} = \overline{\text{Log } x} + \sigma \cdot \text{log } \mu(p\%) = 2.769 + \mu_{p(\%)} \cdot 0.119 \text{ (III.32)}$$

$$\text{Log } X = \frac{\sum_{i=1}^{42} \text{Log } X_i}{N} \text{ (III.33)}$$

Résultats de l'ajustement

Mu = 4.02546

Sigma = 0.406946

Quantiles

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

T = 1/ (1-q)

Log normale (Maximum de vraisemblance)

Tableau III.7: résultat de l'ajustement à la loi de Galton.

T	Probabilité (q)	XT (quantile)	Ecart type	Intervalle de confiance
1000.0	0.9990	197	42.9	113-281
200.0	0.9950	160	30.0	101-219
100.0	0.9900	144	25.1	95.1-194
50.0	0.9800	129	20.6	88.9-170
20.0	0.9500	109	15.1	79.8-139
10.0	0.9000	94.4	11.4	71.9-117
5.0	0.8000	78.9	8.20	62.8-95.0
3.0	0.6667	66.7	6.21	54.6-78.9

Test d'adéquation

Log normale (Maximum de vraisemblance)

Hypothèses :

H0 : L'échantillon provient d'une loi- Log normale

H1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi- Log normale

Résultats

Value statistique $T = 1.79$

P-Value: $P = < 0.675$

Tableau III.8 : Comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon

Galton (Maximum de vraisemblance)	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum	0	27
Maximum	aucun	138
Moyenne	60.8	60.7
Ecart – type	25.8	26.0
Médiane	56	58.0
Coefficient de variation (CV)	0.424	0.429
Coefficient d'asymétrie (CS)	1.35	1.32
Coefficient d'aplatissement (CK)	6.50	4.31

Remarque

Comme les tests d'adéquation ne donne pas de critère de choix définitif alors on passe au teste graphique qui consiste à la superposition des deux graphes d'ajustement.

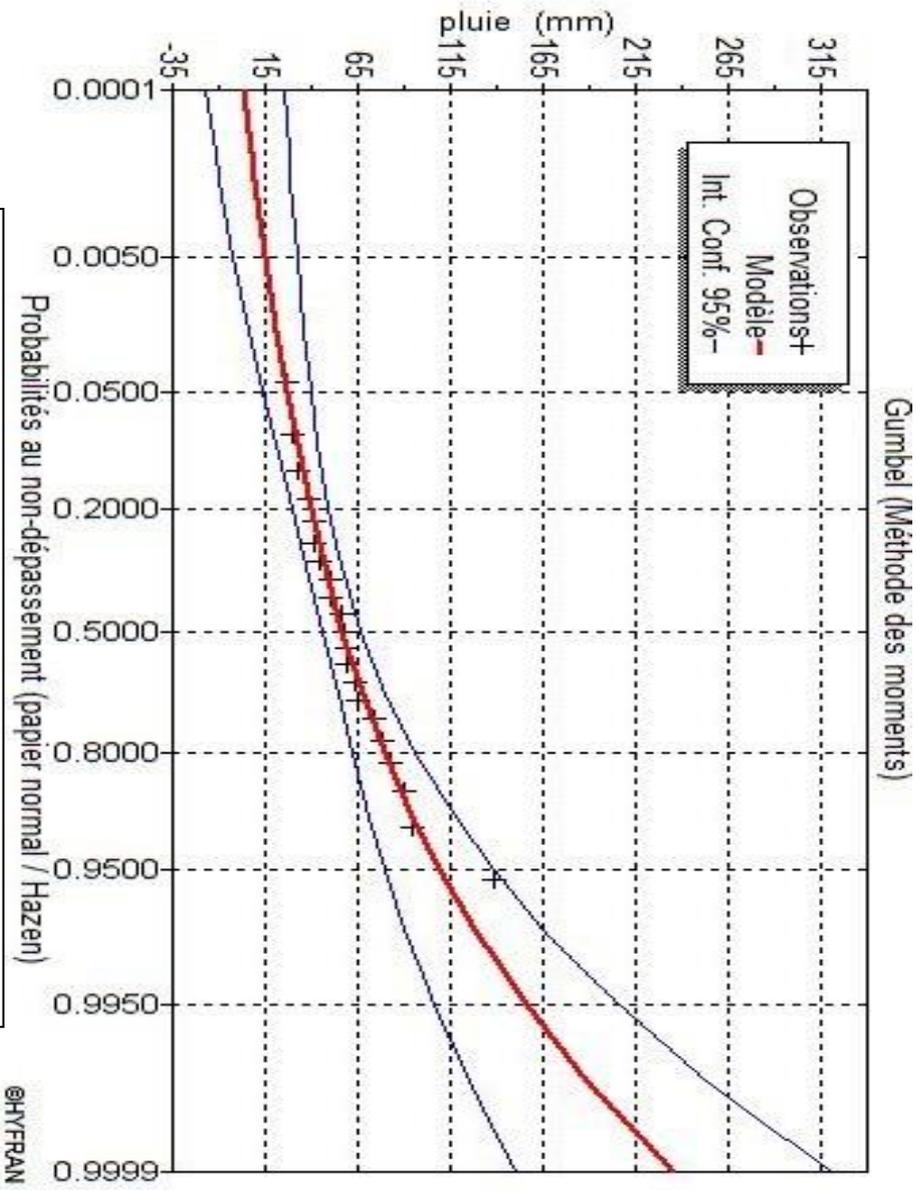


Figure III.8: Ajustement à la loi de Gumbel (Hyfran).

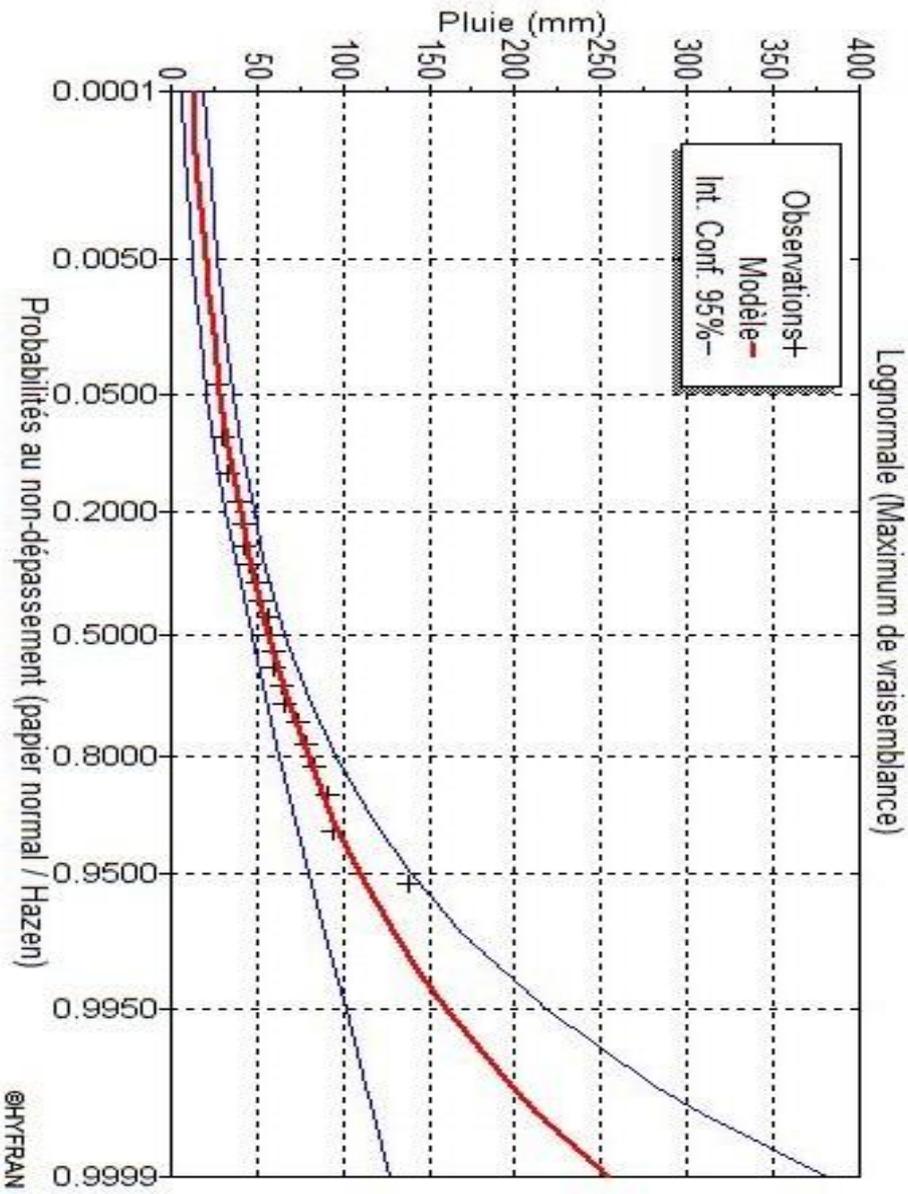


Figure III.9: Ajustement à la loi Log normal (Hyfran).

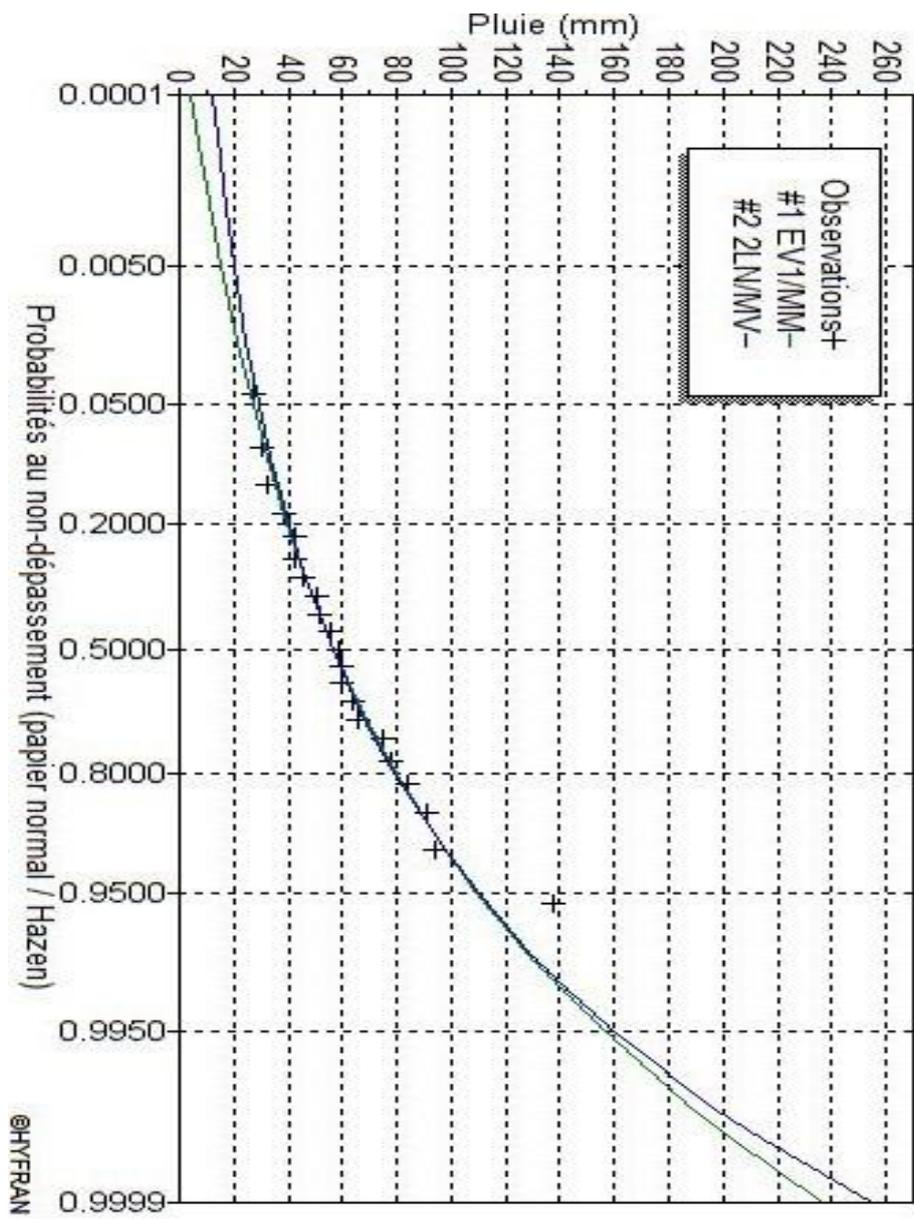


Figure III.10: Comparaison des ajustements

Analyse

On constate que les droites d'ajustement des deux lois : Gumbel et Log normal, sont bien ajustés par rapport aux nuages de points expérimentaux, dans notre cas en a opté pour celle de Gumbel parce que c'est la plus utiliser en Algérie.

2.3 Pluies de courte durée

Le passage des pluies journalières maximales aux pluies de courtes durées est effectué au Moyen de la formule K. Body (ANRH 1984).

$$P_{tc} = P_{max j} \left(\frac{t}{24}\right)^b \tag{III.34}$$

t : durée de l'averse

b : exposant climatique, **b = 0,36** selon les études régionales de l'AN RH.

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

$$I_t = \frac{P_{ct}}{t} \tag{III.35}$$

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

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

Pct : Pluies de courte durée (mm).

I : Intensité maximale (mm/h).

Tableau III.9: Pluies et intensités maximales de durée t (h) et de période retour

Période de retour (ans)	1000		200		100		50		20		10		5		3	
	P _{ct}	I _t														
0,25	37	146	30	120	27	109	25	99	21	85	18	73	15	61	13	52
0,50	47	93	38	77	35	71	32	64	27	54	23	47	20	39	17	33
1	60	60	49	50	45	45	41	41	35	35	30	30	25	25	21	21
2	77	39	63	32	58	29	52	26	45	22	39	19	32	16	28	14
3	89	30	73	25	67	22	61	20	52	17	45	15	38	13	32	11
4	99	25	81	20	75	19	67	17	57	14	50	12	42	10	35	9
6	114	19	95	16	86	14	78	13	66	11	57	10	48	8	41	7
8	127	16	105	13	96	12	86	11	73	9.1	64	8	53	7	45	6
10	137	14	113	11	103	10	93	9	80	8	69	7	58	6.5	49	5
12	147	12	121	10	110	9	100	8	85	7	74	6	62	6.1	52	4
15	159	11	132	9	119	8	108	7	92	6	80	5	67	5	57	3.8
18	170	10	140	8	128	7	115	6	98	5	85	4.7	72	4	61	3
21	180	9	148	7	135	6	121	5	104	4	90	4.2	76	3	64	2.8
24	189	8	156	6	142	5	128	4	109	3,2	94.4	3	79.4	2	67.3	1

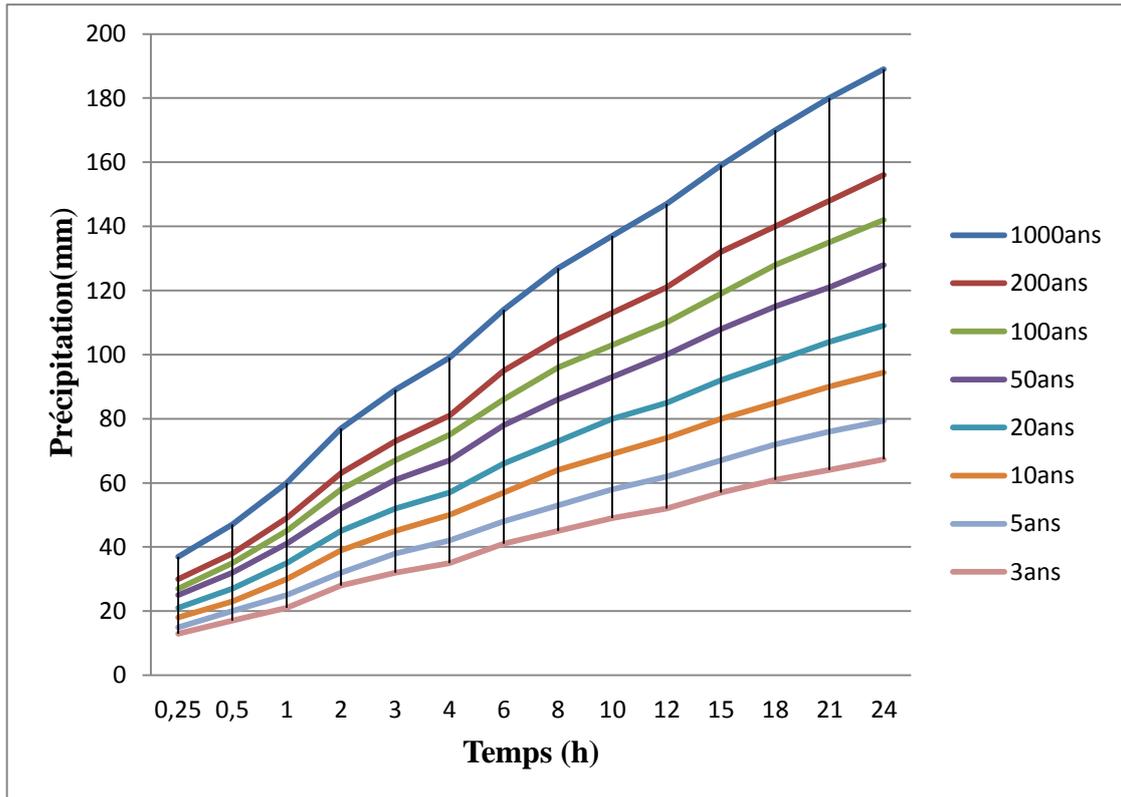


Figure III.11: Courbes des pluies de courte durée fréquentielle.

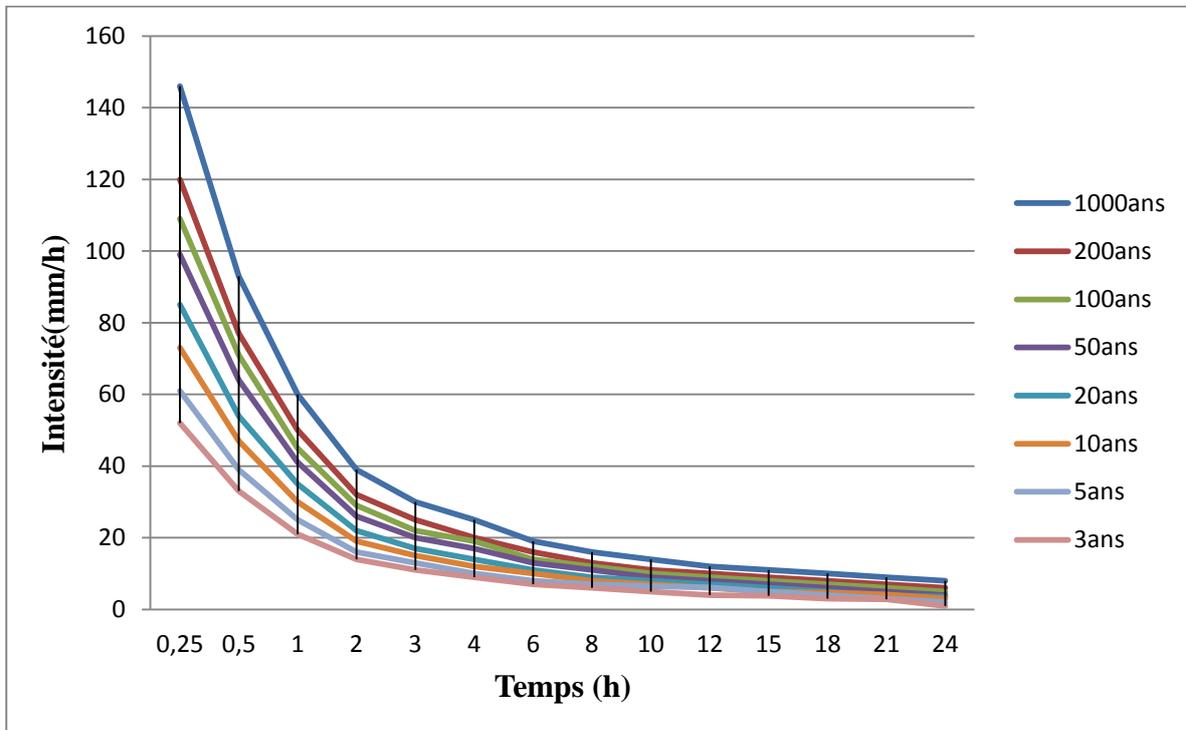


Figure III.12: Courbes des Intensités fréquentielle

3. Apports

3.1 Les Apports liquides

Comme les données hydrométriques représentatives ne sont pas disponibles dans la région, c'est pour cela que l'apport moyen inter annuel sera estimé par l'utilisation des formules empiriques suivantes :

a). Formule de SAMIE

$$A_0 = L_e \cdot S \tag{III.36}$$

$$L_e = P^2 (293 - 2.2\sqrt{S}) \tag{III.37}$$

L_e : lame d'eau écoulée [mm].

P : précipitation moyenne annuel [mm].

S : la superficie en Km² du bassin versant.

b). Formule de Derie II

$$A = 0,31 P^{2.683} \cdot S^{0.842} \tag{III.38}$$

A : apport moyen interannuel [hm³].

P : précipitation moyenne [m].

S : superficie [Km²].

c). Formule de Medinger

$$L_e = 1.024 (P - 0.26)^2 \tag{III.39}$$

$$A_0 = L_e \cdot S \tag{III.40}$$

P : précipitation moyenne annuel [m].

L_e : lame d'eau écoulée [mm].

d). Formule de Chaumont

Cette relation donne le coefficient de ruissellement par la relation suivante :

$$C_e = 0.6(1 - 10^{-0.36P^2}) \tag{III.41}$$

P : précipitation moyenne (m).

La lame d'eau écoulée est donnée par la relation :

$$L_e = P \cdot C_e \tag{III.42}$$

$$A_0 = L_e \cdot S \tag{III.43}$$

e). Formule de l'ANRH

L'apport moyen interannuel est donnée par:

$$A_0 = 0.915 \cdot \bar{P}^{2.684} \cdot S^{0.842}$$

P : précipitation moyenne [m].

S : superficie [Km²].

Les résultats des apports moyens interannuels dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.10: Résultats des apports moyens interannuels

B.V	Apport (hm ³)
<i>P_{moy, annuelle} (mm)</i>	799.8
<i>S (km²)</i>	3.32
<i>ANRH</i>	1.3798
<i>MEDINGER</i>	0.9906
<i>SAMIE</i>	0.6137
<i>CHAUMONT</i>	0.6557
<i>DERIE II</i>	0.5329
<i>Moyenne</i>	0.83

On prend la valeur de l'ANRH car c'est la plus adapté en Algérie.

3.1.2 Caractéristiques de l'écoulement

a) Module de l'écoulement (Me) :

Il est donné par la formule :
$$M_e = \frac{A_0}{T} \tag{III.44}$$

A0 : Apport moyen annuel [litres].

T : Temps d'une année en [secondes] "T = 31.536.10⁶Secondes".

b) Module de l'écoulement relatif ou spécifique (M0) :

Il est donné par la formule :
$$M_0 = \frac{M_e}{S} \tag{III.45}$$

Me : Module de l'écoulement [l/s].

S : Superficie du bassin [Km²].

c) lame d'eau écoulée (Le) :

On a:
$$L_e = \frac{A_0}{S} \tag{III.46}$$

A0 : Apport moyen annuel [litres].

S : Superficie du bassin.

d) Coefficient de l'écoulement (Ce) :

Il est donné par :
$$C_e = \frac{L_e}{P_{moy}} \tag{III.47}$$

P_{moy} : Pluie moyenne annuelle en [mm].

Le : lame d'eau écoulée en [mm].

e) Coefficient de variation (Cv) :

Pour le calcul du coefficient de variation (Cv) et en absence d'une série d'observation. On doit utiliser les formules empiriques, qui sont comme suite :

a). Formule de Sokolovsky

$$C_v = a - 0.063 \cdot \log_{10}(S + 1) \tag{III.48}$$

$$a = 0.78 - 0.029 \cdot \log_{10}(M_0) \tag{III.49}$$

b). Formule de Kristekly Menkel

$$C_v = 0.83 / (S^{0.06} \cdot M^{0.27}) \tag{III.50}$$

M0 : Module de l'écoulement relatif [l/s/km²].

c). Formule d'Ourkguiprovodkhoz

$$C_v = \frac{0.7}{M_0^{-0.127}} \tag{III.51}$$

M0: Module de l'écoulement relatif [l/s/km²].

d). Formule de L'antonov

$$C_v = \frac{0.7}{(S+1000)^{0.097}} \tag{III.52}$$

S : Superficie du bassin en [km²]

Les résultats des caractéristiques d'écoulement sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.11: Les caractéristiques de l'écoulement

B.V	S (km²)	A0 (hm³)	Me (l/s)	M0 (l/s.km²)	Le (mm)	Ce				
							SOKOLOVSKY	KRISTEKLY MENKEL	OURKGUIPROVODKHOZ	ANTONOV
	3.32	1.37	43.4	13.08	412.65	0.51	0.42	0.39	0.97	0.36

On prend la valeur calculée par la formule de Sokolovski puisque sa valeur est proche de celle de la moyenne.

3.2 Apports solides

Le manque de données de mesure du transport solide dans la région d'étude nous ramène à accepter toute méthode empirique, qui nous permet d'estimer l'ordre de grandeur acceptable de l'écoulement solide et l'évaluation du transport solide qui permet de connaître le degré d'érosion du bassin versant, qui sont comme suit

a). Formule de T'ixeront :

C'est la formule la plus utilisée en Algérie pour l'évaluation du taux d'abrasion :

$$E_s = a \cdot Le^{0.15} \tag{III.53}$$

ES : taux d'abrasion (t/km²/an),

Le : lame d'eau ruisselée en (mm),

a : coefficient empirique (varie en fonction de la perméabilité du terrain de bassin versant)

a = 350 (perméabilité moyenne).

Tableau III.12 : *α* en fonction de la perméabilité

<i>α</i>	Degrés de perméabilité
8.5	Élevée
75	Moyenne
350	Moyenne faible
1400	Faible
3200	Imperméabilité

En tenant compte du poids spécifique moyen des sédiments : $\gamma=1.4 \text{ T/m}^3$.

$$V_s = \frac{E_s \cdot S}{\gamma} \tag{III.54}$$

Les résultats des apports solides sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.13 : apport solide

B.V	Surface (km ²)	Le (mm)	Es (t/km ² /ans)	T'ixeront (m ³ /ans)
	3.32	412.65	863.7	2048.2

4. Etude de crues

4.1 Différentes méthodes d'évaluation des crues

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 les méthodes de calcul différent aussi selon le chargé d'études. Nous rappelons ci-dessous les différentes méthodes de calcul des crues.

a). Méthodes historiques

Etudes des archives en quêtes auprès des populations et recherches d’anciennes traces des crues (les niveaux atteints par les crues du passé).

b). Méthodes empiriques

Relations établies entre le débit et la surface du bassin versant la pluie et la période de retour comme les formules de Greager, Fuller, Snyder, Possenti, etc.

c). Courbes enveloppes

Les pointes de crues maximales observées dans une région de caractéristiques hydrologiques homogènes sont reportées en fonctions de la surface du bassin versant permettant de tracer une courbe enveloppée (Francu-Rodier, Chaumont...).

d). Méthodes probabilistes

Analyse des débits afin de déterminer la loi de probabilité à laquelle ils répondent (Gumbel. Galton. Pearson III. Log Pearson III). Méthode du Gradex basée sur l’hypothèse que durant des pluies fortes. Alors que le sol du bassin approche de la saturation chaque augmentation de la pluie tend à produire une augmentation du débit. En conséquence sur un graphique de Gumbel les droites de répartitions des fréquences des pluies et des débits sont parallèles.

e). Méthodes déterministes

Modélisent fondamentalement le processus pluie-écoulement du bassin et elles ont pour objectif de déterminer non seulement le débit de pointe mais également l’hydrogramme correspondant à la crue que celui aussi permet d’estimer le volume de cette crue.

f). Méthode de l’hydro gramme unitaire

Basée sur un travail de dépouillement averse – crues (version de Sherman). Dans notre étude on va utiliser les méthodes empiriques, Car en vue des données dont nous disposons, et les conditions de la région d’étude ce sont les plus adéquates à être utilisées.

4.2 Choix de la méthode (application sur les bassins versants)

Partant des données morphologiques et pluviométriques existantes une évaluation des débits de pointes des crues sera faite à partir des cinq formules empiriques suivantes :

1. Formule de Giandotti

Dans leurs études sur les problèmes de l’eau en Algérie, ils ont établi une formule exprimant le débit maximum en crue en fonction des précipitations, de la surface du bassin versant et d’un coefficient K caractéristiques géographique et climatique du bassin versant.

$$Q_{max,p\%} = \frac{P_{tc\%} \cdot C \cdot S (H_{moy} - H_{min})^{\frac{1}{2}}}{4 \cdot S^{\frac{1}{2}} + 1.5L} \tag{III.55}$$

S : surface en km²,

H_{moy} : altitude moyenne en m,

H_{min} : altitude minimale en m,

L : longueur du cours d'eau principale en km,

C : Coefficient topographique variant entre 0.066 et 0.166. (en prend 0.156).

2. Formule de Turazza :

Cette formule utilise l'intensité moyenne maximale de précipitations déterminées sur un intervalle de référence égal au temps de concentration du bassin versant.

$$Q_{max,p\%} = \frac{a.P_{tc\%}.A}{3.6.T_c} \quad (III.56)$$

A : Surface du bassin versant.

$P_{tc\%}$: Intensité de la pluie de fréquence (P%) pour une durée égale au temps de concentration.

α = le coefficient de ruissellement de la crue, il est tabulé dans la documentation spécialisée, la différence dans le contenu de ces tables réside dans les caractéristiques physiques utilisées pour expliciter sa variation. Nous utilisons la table qui a l'avantage de tenir compte, en plus des caractéristiques lithologiques, des précipitations de 24 h et de la taille de l'impluvium. Dans les conditions du bassin versant d'Ibouhathmane, il est égal à **0,55** (v. annexe(4)).

3. Formule de Sokolovski :

Le débit maximum probable est donné par la formule suivante :

$$Q_{max,p\%} = 0.28. \frac{P_{tc\%}.a_{p\%}.S.f}{t_m = t_c} \quad (III.57)$$

S : Surface du bassin versant en Km².

T_c : Temps de concentration du bassin versant en h,.

$P_{tc\%}$: précipitation en mm de probabilité p% correspondant à un temps tc.

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

$$a_{p\%} = \frac{\sqrt{P_{tc\%}} - \sqrt{H_0}}{\sqrt{P_{tc\%}} + \sqrt{H_0}} \quad (III.58)$$

H_0 : la perte d'eau initial ($H_0=7mm$)

0.28 : coefficient de changement d'unité.

f : Coefficient de forme de la crue, peut être calculé par la formule :

$$f = \frac{12}{4+3\gamma} \quad (III.59)$$

Pour :

$S \leq 50km^2$, on a : $\gamma = 2$

Des petits bassins non boisé et sol peu perméable, on a : $\gamma = 2 \div 2.5$

Bassin boisé et sol perméable, on a : $\gamma = 3 \div 4$

Sachant que nos deux bassins versant ont une surface inférieure à 50 Km² on prend.

$$f = \frac{12}{4+3\gamma} = 1.2$$

Les débits des crues de bassin versant calculés par les différentes formules sont représentés dans les tableaux suivants.

4. Formule de Mallet Gauthier

$$Q_{max, p\%} = \frac{2 * K * \log(1 + A * P) * S * \sqrt{1 + 4 \log T - \log S}}{\sqrt{L_p}} \tag{III.60}$$

- S : superficie du Bassin versant, (Km2).
- P : pluie moyenne annuelle en (m).
- A : Coefficient régionale. 20
- K : Constante du bassin Varie entre 1 et 3, (K=2).
- T : période de retour en années.
- Lp : longueur du talweg principale en (km).
- LCE: longueur du talweg principale en (km).
- S : superficie du Bassin versant en (Km2).
- μ: Coefficient compris entre 700-800, on prend 750.
- p j max p% : pluie maximale journalière pour chaque fréquence (mm).

5. La méthode rationnelle

$$Q = C * I * A \tag{III.61}$$

- C : coefficient de ruissellement.
- I : intensité de pluie en (mm/s) de fréquence donnée.
- A : surface de bassin versant.

$$I\% = 0,278 \times \left(\frac{P T\%}{T_c}\right) \tag{III.62}$$

Les débits de crues des bassins versants calculés par les différentes formules sont représentés dans les tableaux suivants Tableau III.14 Les débit des crues de bassin versant

Période de retour	1000	200	100	50	20	10	5	3
L.talweg (km)	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
Surface (km²)	3.32	3.32	3.32	3.32	3.32	3.32	3.32	3.32
Hmoy (m)	174.97	174.97	174.97	174.97	174.97	174.97	174.97	174.97
Hmin (m)	26	26	26	26	26	26	26	26
Le (km)	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
C	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
PMAx (mm)	189	156	142	128	109	94.6	79.4	67.3
Ptc (mm)	65.42	53.99	49.15	44.3	37.73	32.75	27.48	23.29
Tc (h)	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26
Imax (mm/h)	8	6	5	4	3.2	3	2	1
Itc (mm/h)	2.74	2.26	2.06	1.86	1.58	1.37	1.15	0.98
I% (mm/s)	14.43	11.91	10.84	9.77	8.32	7.22	6.06	5.13
Giandotti	33.38	27.55	25.45	23.92	19.25	16.71	14.02	11.88
Turazza	26.33	21.73	19.58	16.4	13.15	12.18	11.07	9.38
Sokolovski	29.36	22.48	19.67	16.59	13.29	10.66	8.01	6.02
Mallet Gauti	31.30	27.57	25.80	23.9	21.12	18.75	16.04	13.70
Rationnelle	26.35	21.75	19.4	16.32	13.1	12.9	11.01	10.07

4.3 Hydrogramme des crues

La schématisation géométrique proposée par Sokolovski pour le tracé des hydrogrammes de crues permet de pallier l'absence de stations de mesures hydrométriques ; Cet auteur donne à l'hydrogramme de crue la forme d'une courbe fermée par deux paraboles jointes au sommet dont les équations sont les suivantes :

Equation de la courbe de la montée de crue

$$Q_t = Q_{max,p\%} \cdot \left[\frac{t}{t_m} \right]^2 \tag{III.63}$$

Qt : Débit à l'instant t en heures après le début de la crue (m3/s),

Qmax : Débit maximal de la crue (m3/s),

tm: Temps de montée de la crue en heures, l'auteur préconise pour les petits bassins.

(**tm = tc**).

n : Exposant de la parabole, pour les crues pluviales (n = 2).

Equation de la courbe de décrue

$$Q_{t'} = Q_{max,p\%} \cdot \left[\frac{t_d - t'}{t_d} \right]^3 \tag{III.64}$$

Q(t') : Débit à l'instant t' en heures, après la pointe de la crue (m3/s),

td : Durée de la décrue en heures. , (**tm = Tc**), prend δ = 2 donc : td = 2 x tm.

m: Exposant de la parabole pour les crues pluviales, m = 3.

Le détail des calculs est reporté dans le tableau (v. annexe(4)).

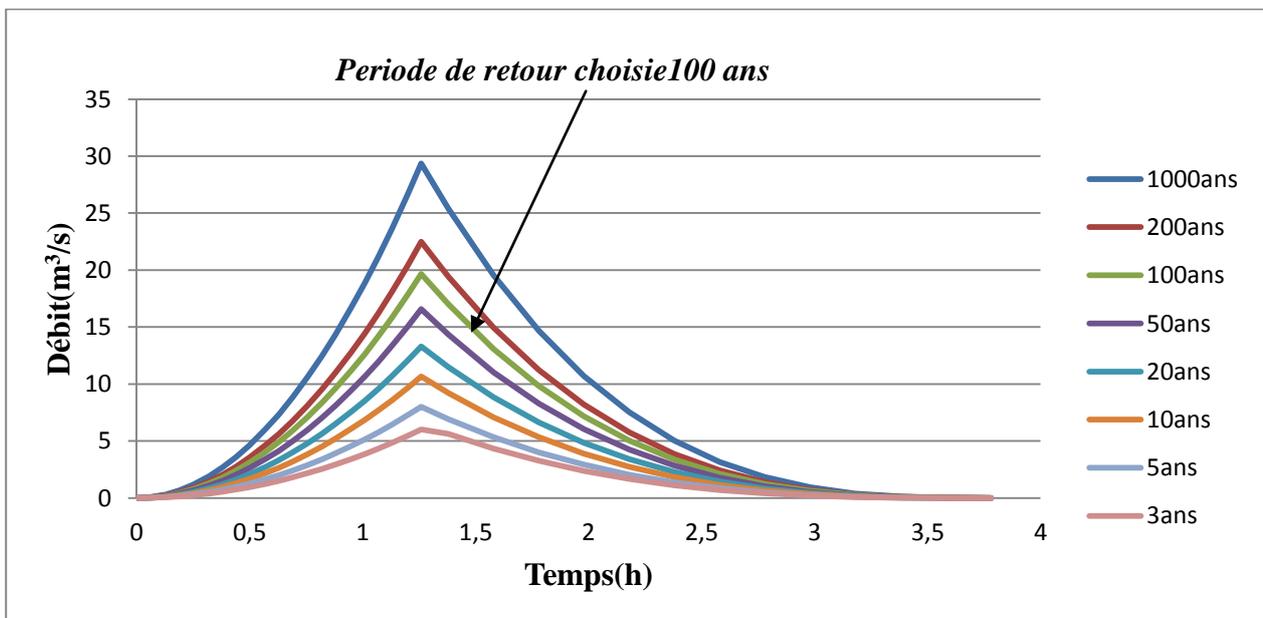


Figure III.13 : les Hydrogramme des crues

5. Choix de la Loi et de la fréquence de calcul

D'après les résultats obtenus par les différentes méthodes de calcul de débit de crues, on adopte celle de **Sokolovski**, vu sa vaste utilisation et fiabilité dans les pays du bassin méditerranéen. Celle-ci tient compte de plusieurs paramètres caractérisant le bassin versant (la pluie fréquentielle qui correspond au temps de concentration, le coefficient de ruissellement, la surface du bassin versant, la forme de la crue et du temps de montée de la crue), et pour une période de Retour de 100 ans.

Conclusion

L'objectif de ce chapitre est de calculer les caractéristiques du bassin versant influent sur l'oued à aménager et de présenter les principales méthodes utilisées pour l'estimation des crues ainsi que choisir la méthode adéquate pour tracer les hydrogrammes de crues qui nous permettent de voir leur évolution dans le temps et d'obtenir le débit optimal pour l'utiliser dans le dimensionnement.

Introduction

Sur la base des résultats obtenus (étude hydrologique), le calcul hydraulique s'inspire de la règle des valeurs extrêmes (débit et vitesse), donc les ouvrages d'évacuation doivent satisfaire les conditions d'évacuation rapide et continue de toute la quantité des eaux, d'ont le but d'assurer une protection contre l'inondation.

1. Dimensionnement des Ouvrages

Pour un écoulement lentement variable, on peut admettre qu'en toute section la pente de la Ligne de charge est celle d'un régime uniforme. Pour le dimensionnement de la variante choisie, il nous faut un débit de dimensionnement qui est une fonction de la période de retour, nous avons opté pour une période de retour de **100ans**, au quel il faut ajouter le débit correspondant aux apports solides. Toutefois ce débit est négligeable devant le débit de crue probable mais on ajoute une hauteur qui correspond ou compense ce débit dans le dimensionnement du canal. Le dimensionnement proprement dit, consiste à calculer en écoulement à surface libre la hauteur d'eau dans le canal en fixant sa largeur, selon les valeurs trouvées, on augmente ou on diminue la largeur. A cette hauteur d'eau dite «Normale» s'ajoute une revanche qui est prise comme mesure de sécurité.

Donc, les paramètres clés pour le dimensionnement sont :

- La hauteur normale
- La hauteur critique
- Le régime d'écoulement

2. Généralités [13]

2.1. Calcul hydraulique

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

2.2. Les canaux à ciel ouvert

On appelle canal, un système de transport dans lequel l'eau s'écoule et dont la surface libre est soumise à la pression atmosphérique. Le profil de meilleure conductivité est le profil qui véhicule le débit maximum. Pour un canal de pente "J" et de coefficient de rugosité "n", la section qui véhicule le débit maximum est celle où le rayon hydraulique est maximal, et la section est minimale. Parmi toutes les formes de section, la semi-circulaire est celle qui satisfait au rayon hydraulique maximum. Dans les conditions techniques de réalisation, la forme semi-circulaire sera plus coûteuse que celle de forme trapézoïdale qui présente des avantages de simplicité de réalisation.

2.3 Dimensionnement des canaux[3].

La formule de calcul principale pour un écoulement permanent uniforme de l'eau est la formule de Chézy :

La vitesse moyenne du courant sous la forme suivant :

$$V = C \cdot \sqrt{R \cdot I} \text{ (IV.1)}$$

On utilisant le rapport suivant : $Q = V \times S$, on obtient :

$$Q = C.S.\sqrt{R.I} \quad (IV.2)$$

Avec :

C : coefficient de Chézy ($m^{0.5}/s$)

S : section mouille (m^2)

Rh : rayon hydraulique $R_h = S/P$ (m)

I : pente de fond du canal (mm).

2.4 Détermination de coefficient de Chézy

En utilisant les formules empiriques pour détermination de coefficient de Chézy :

1-formule de PAVLOVSKI

$$C = \frac{1}{n} R^y \quad (IV.3)$$

Avec :

n : la rugosité

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

$$y = 2.5\sqrt{n} - 0.13 - 0.75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0.1) \quad (IV.4)$$

Soit d'après les égalités simplifiées :

$$y = 1.5\sqrt{n}a \quad R < 1m \quad (IV.5)$$

$$y = 1.3\sqrt{n}a \quad R > 1m \quad (IV.6)$$

2-formule d'AGROSKINE

$$C = \frac{1}{n} + 17.72 \log R \quad (IV.7)$$

3- La formule de MANING-STRICKLER

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \quad (IV.8)$$

La formule de MANING-STRICKLER permet de transformer la formule de Chézy pour obtenir

$$V = ks.R_h^{\frac{2}{3}}.I^{\frac{1}{2}} \quad (IV.9)$$

Ks : coefficient de rugosité de STRICKLER, dépend de la nature du matériau du canal

- Ks = 25 pour un lit naturel;
- Ks = 40 pour le cas d'enrochement ou gabionnage;
- Ks = 75 pour le cas du Béton; donc n (0.0133) (v. annexe(5)).
- Ks = 100 pour le cas du PVC ou PEHD;

2.5 Les paramètres géométriques

2.5.1 Le choix de la section de meilleure conductivité

Le profil de meilleure conductivité est le profil qui véhicule le débit maximum. Pour un canal de pente J_e et de coefficient de rugosité n , la section qui véhicule le débit maximum Q_{max} est celle où le rayon hydraulique R_h est maximal, et la section S est maximale. (R_h étant la surface mouillée S_m sur le périmètre mouillé P_m). Parmi toutes les formes de section, la semi-circulaire est celle qui satisfait au rayon hydraulique maximum.

On a:

Tableau IV.1: Paramètres géométriques d'une section semi-circulaire

La section	Paramètre		
Semi-circulaire	S	P	R
	$\pi \times r^2 / 2$	$\pi \times r$	$r / 2 = h / 2$

Mais cette forme ne se réalise que dans les canaux artificiels en béton ou en métal. Dans les conditions techniques de réalisation la forme semi-circulaire sera plus coûteuse que la forme trapézoïdale qui présente des simplicités de réalisation. A cet effet notre choix portera sur la section trapézoïdale, dont les caractéristiques sont les suivantes : cependant et selon les conditions dans notre travail nous avons dimensionné les sections trapézoïdale – rectangle ou circulaire.

Tableau IV.2: Paramètres géométriques d'un canal à section trapézoïdale

Désignation	Expression
b (m)	$2h(\sqrt{1 + m^2} - m)$
B (m)	$b + 2mh$
S (m ²)	$h(b + mh)$
P (m)	$b + 2h\sqrt{1 + m^2}$
R_h	$\frac{h \cdot (b + mh)}{b + 2h \cdot \sqrt{1 + m^2}} = \frac{h}{2}$

2.5.2 Calculs du rayon hydraulique maximal

On a: $R_h = \frac{S}{P} = \frac{h}{2}$ (IV.10)

Alors: Le rayon hydraulique sera max pour une valeur de P_{min} .

Le périmètre soit min pour $dP=0$.

On a:

$dS = h db + (b + m \cdot h) dh = 0$ (IV.11)

$dP = db + 2(1 + m^2)^{0.5} dh = 0$ (IV.12)

2.6 Détermination de section économique [32]

2.6.1 Détermination de la largeur du fond (b)

En a :

$$P = b + 2h\sqrt{1 + m^2} \quad (\text{IV.13})$$

$$S = (b + mh)h \Leftrightarrow b = \frac{S}{h} - mh \quad (\text{IV.14})$$

$$\frac{dp}{dy} = -\frac{S}{h^2} - m + 2\sqrt{1 + m^2} \quad (\text{IV.15})$$

$$\text{Donc } -s - mh^2 + 2h^2\sqrt{1 + m^2} = 0$$

$$-bh - mh^2 + 2h^2\sqrt{1 + m^2} = 0$$

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

2.6.2 Détermination de talus (m)

$$\frac{dp}{dm} = -h + h(1 + m^2)^{-\frac{1}{2}} \times 2m \quad (\text{IV.16})$$

$$-h + h(1 + m^2)^{-\frac{1}{2}} \times 2m = 0$$

$$-h + \frac{2mh}{\sqrt{1+m^2}} = 0$$

$$2h\sqrt{1 + m^2} + 2mh = 0$$

$$2m = \sqrt{1 + m^2}$$

$$4m^2 = 1 + m^2$$

$$m = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$\tan\theta = \frac{1}{m} \Leftrightarrow \tan\theta = \sqrt{3} \Leftrightarrow \theta = 60^\circ$$

En remplaçons la valeur de m dans (l'équation IV.12) en trouve $b = \frac{2h}{\sqrt{3}} \Leftrightarrow h = \frac{2b}{\sqrt{3}} \quad \text{IV.17}$

Pour notre cas en a un débit de pointe de 19.67 m³/s et une pente de 0.0028

En remplaçons h dans la formule de Manning, il nous reste qu'un seul inconnu qui est bien sur la largeur du font, en obtient :

$$b = \left(\frac{nQ}{\sqrt{i}}\right)^{\frac{3}{8}} \cdot \frac{(1+2n\sqrt{1+m^2})^{\frac{1}{4}}}{[n(1+mn)]^{\frac{5}{8}}} \quad (\text{IV.18})$$

2.6.3 Calcul de la profondeur normal h_n[5]

Pour la détermination de h_n en utilise la méthode itérative. On tire la valeur de (b) à partir de l'équation générale de l'écoulement uniforme:

Donc, on fixe la valeur de (H) et on donne des valeurs a (b) et on détermine Q Jusqu'à une Valeur de débit très proche on égale au Q n, par suite on trace la courbe $Q = f(b)$, et on détermine la valeur de b (m) correspondante à Q n, C'est à- dire on cherche b (m) pour le débit Q_{max}.

2.7 Calcul de la profondeur critique h_{cr}

Le calcul de h_{cr} se fait aussi par plusieurs méthodes :

Parmi ces méthode on a, La méthode graphique, la méthode itérative et finalement la méthode D'AGROSKINE.

2.7.1 Méthode graphique

La méthode graphique est basée sur le graphe de l'énergie en fonction de h. Et puisque la valeur de h_{cr} est la valeur qui corresponde une énergie spécifique et minimale. Donc on construit le graphe : $H_s = f(h)$ sachant que $H_s = E_p + E_c$, E_p : Energie potentielle et est égale à h ; ($E_p = h$), E_c : Energie cinétique et égale à ; ($E_c = V^2/2g$).

2.7.2 Méthode analytique d'Agroskine

La méthode d'Agroskine utilise la formule suivante :

La condition de criticité est : $\frac{\alpha \times Q^2 \times B_{cr}}{S_{cr}} = 1$

Avec :

- B : largeur du plan d'eau en surface
- g : l'accélération gravitaire prise égale 9.81
- Pour un canal trapézoïdal :

$h_{cr(R)} = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{\frac{1}{3}}$ (IV.19)

2.7.3 Calcul de la pente critique

La pente critique correspondant à la profondeur critique. La pente critique est donnée par la formule suivante :

$Q = C.S.\sqrt{R_h \cdot I_{cr}}$ (IV.20)

Donc : $I_{cr} = \frac{Q^2}{C^2.S^2.R_h}$ (IV.21)

2.8 Calcul de la ligne d'eau

2.8.1 Equation de la ligne d'eau

L'équation de la surface libre de la ligne d'eau, est une équation liée à l'abscisse et à l'ordonnée de chaque point de la ligne d'eau pour un débit et une pente du canal donnée. En se basant sur l'équation d'énergie [5]

$H = Z + V^2 / 2g + h$ (IV.21)

Et sur l'équation de la continuité :

$Q = V / S$ (IV.22)

Dérivant l'équation (IV.21) par rapport à x, on trouve :

$$\frac{d}{dx} \cdot \left(\frac{Q^2}{2gS} \right) + \frac{dh}{dx} + \frac{dz}{dx} = \frac{dH}{dx} \quad (IV.23)$$

Comme : $\frac{dz}{dx} = -J_f$ et $\frac{dH}{dx} = J_e = -\frac{Q^2}{C^2.R}$

On trouve $\frac{dh}{dx} = J_f \frac{1 - \frac{Q^2}{C^2.R.J_f}}{1 - \frac{Q^2}{g.S/B}}$ (IV.24)

2.8.2 Calcul de la surface d'eau

Pour le tracé de la surface d'eau, on doit passer par l'intégration de l'équation N° (IV.24)

On peut distinguer pour cela 3 méthodes de calcul :

- La méthode par approximation successive.
- La méthode par intégration directe.
- La méthode par intégration graphique

2.9 Calcul des paramètres de courbure du canal

Compte tenu de la topographie du terrain naturel, le canal d'évacuation d'eaux pluviales présente des courbures aux plusieurs points. Une courbe qui se trouve dans un canal rectiligne provoque un changement de direction de l'écoulement. Le débit Q, la vitesse moyenne U et la surface S restent constants à travers la courbe. La répartition de la profondeur h (y) donne toutefois une pente transversale, et la force centrifuge qui s'exerce sur l'écoulement en courbe provoque une surélévation ΔH, sur le bord extérieur. L'expression de ΔH est donnée par [38] :

$$\Delta H = \frac{V_m^2 \cdot B}{R_m \cdot g} \quad (IV.25)$$

Ou

V_m : vitesse moyenne d'écoulement

B : largeur de miroir

R_m : Rayonne moyenne de courbure

g : force de gravitation (9.81 m²/s)

2.10 Ressaut hydraulique [2]

Lorsqu'un écoulement torrentiel rencontre un écoulement fluvial, la jonction se fait avec une forte discontinuité du tirant d'eau, et une importante agitation qui dissipe une grande part de l'énergie acquise dans le tronçon torrentiel. L'observation montre de grande turbulence, des remous ainsi que de nombreuses bulles d'air entraînées. Cette zone agitée est baptisée ressaut hydraulique.

D'autre part la dissipation d'énergie se produit lorsqu'un écoulement passe brusquement du régime sur critique Fr > 1 (amont), au régime sous critique Fr < 1 (aval). Il se manifeste par une brusque surélévation (discontinue) du niveau d'eau (h₂ - h₁), sur une très courte distance. Il est accompagné par des mouvements très turbulents avec des instabilités à la surface. Le ressaut provoque une dissipation importante de l'énergie mécanique (HRH = HS₂ - HS₁).

Les principales caractéristiques d'un ressaut sont les suivantes :

- Hauteurs conjuguée (h'' et h').
- Hauteur de ressaut ($h'' - h'$).
- La longueur du ressaut qui part définition est la distance entre sa surface amont et la zone attient lorsque toute l'énergie est pratiquement dissipée et ne provoque plus d'érosion.
- Le nombre de Froude est un nombre sans dimension d'ont le carré représente le rapport de l'énergie cinétique du liquide en mouvement à l'énergie potentielle de la pesanteur.

Il a un rôle tout à fait fondamental pour caractériser les écoulements.

2.11 Typologie de ressaut [2]

- Ressaut ondulé obtenus pour des valeurs de nombre du Froude comprise entre 1 et 1.7 la différence des profondeurs conjugués en amont et en aval est très faible, et le ressaut caractérisé de légères rides à la surface libre, aspect qui diffère peu de celui que l'on observe dans le régime critique.
- Le ressaut faible est obtenu pour des nombres de Froude compris entre 1.7 et 2.5, des petits tourbillons ou rouleaux prennent naissance.
- Le ressaut oscillant apparaît pour des nombres de Froude compris entre 2.5 et 4.5. des turbulences fortes se produisent non seulement en surface, mais aussi au fond et cela de manière irrégulière. Ces turbulences peuvent se propager lions à l'aval.
- Lorsque le nombre de Froude est compris entre 4.5 et 9, le ressaut est dit établi ou stationnaire. Il est bien localisé et efficace en terme de dissipation de l'énergie.
- en fin, au-delà d'un nombre de Froude de 9, ce qui ne rencontre pas en rivière, le ressaut est dit fort.
- De véritables paquets d'eau sont projetés par intermittence.
- D'une manière générale, lorsque le nombre de Froude croit, le ressaut devient moins Ondulé et présente un rouleau marqué, il est donc plus facile à stabiliser.

Remarque :(1°) Pour notre étude, on va utiliser le logiciel " **CANAL 21** " dont le principe de calcul est basé sur la première méthode (La méthode par approximation successive).

Ce logiciel permet trois types d'études différents :

1) Etude d'une section transversale de bief

- calcul des paramètres hydrauliques liés à la section
- Etude de l'écoulement uniforme dans la section

2) Etude d'un ouvrage considéré isolément.

- déversoir (surface libre)
- vanne ou orifice (en charge)

3) Etude de la ligne d'eau en écoulement permanent dans un "canal" complexe, constitué d'éléments divers. (Biefs, ouvrages...).

(2°) Pour la détermination des pentes de projet on s'est basé sur le levé topographique de la Commune d'Ibouhathmane, qui nous a permis de tracer les profils en long de chaque tronçon.

3. Calculs des aménagements

3.1 Dimensionnement Des Aménagement Projetés Sur l’oued Ibouhathmane

Le Canal est calculé pour drainer les eaux pluviales provenant du bassin versant d’Ibouhathmane pour un débit centennale, de $Q=19.67\text{m}^3/\text{s}$.

Tronçon P1-P3

La variante retenue est un canal de forme trapézoïdale et le béton armé.

$$Q = c. s. \sqrt{R. I}$$

Tronçon P1-P23

- la pente de talus $m = 0.57$
- La pente est de 0.0028% sur un linéaire de 266.52m .
- K_s : coefficient de rugosité de STRICKLER, dépend de la nature du matériau du canal.

$K_s = 75$ pour le cas du Béton

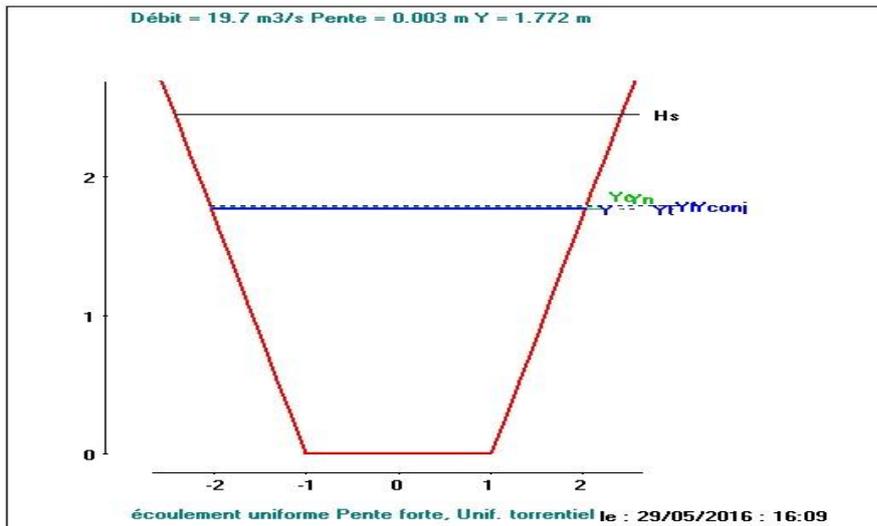


Figure IV.1 caractéristique du canal trapézoïdal

Tableau IV.3 paramètre de calcul du canal trapézoïdal.

P2-P3	Débit (m ³ /s)	Pm (m)	Sm (m ²)	Lm (m)	Rh (m)	Nombre de froude	V (m/s)	Yn (m)	Hsc (m)	Yc(m)	J(m/m)
Type (Trap)	19.67	6.110	5.389	4.064	0.341	1.012	3.649	1.77	2.45	1.783	0.0028

Les dimensions du tronçon p1-p22 du canal Ibouhathmane sont :

Largeur du fond $b = 2.02 \text{ m}$

Hauteur totale $H = 1.77 \text{ m}$

La pente des talus $m = 0.577$

Largeur au miroir (à la surface) $B = 4.06 \text{ m}$

Remarque : Pour le tronçon P22-P23 de linéaire 48.73m et de rayon de 19m en ajoute à la hauteur normal une revanche de $\Delta h = 0.28 \text{ m}$ donc H devienne 2.05 m

Tronçon P23-P42

- la pente de talus $m = 0.57$
- La pente est de 0.0013% sur un linéaire de 338.3 m.
- K_s : coefficient de rugosité de STRICKLER, dépend de la nature du matériau du canal.

$K_s = 75$ pour le cas du Béton.

Tableau IV.4 paramètre de calcule du canal trapézoïdal.

P2-P3	Débit (m ³ /s)	Pm (m)	Sm (m ²)	Lm (m)	Rh (m)	Nombr e de froude	V (m/s)	Yn (m)	Hsc (m)	Yc(m)	J (m/m)
Type (Trap)	19.67	7.056	7.186	4.687	1.011	0.705	2.7373	2.05	2.325	1.677	0.0013

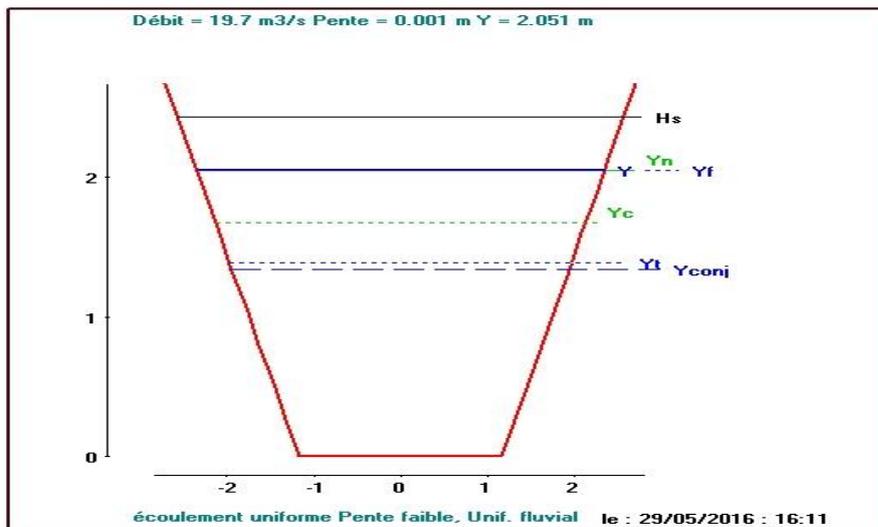


Figure IV.2 caractéristique du canal trapézoïdal

Les dimensions du tronçon p23-p42 du canal Ibouhathmane sont :

Largeur du fond $b = 2.32 \text{ m}$

Hauteur totale $H = 2.1 \text{ m}$

La pente des talus $m = 0.577$

Largeur au miroir (à la surface) $B = 4.64 \text{ m}$

Tronçon P42-P56

- la pente de talus $m = 0.57$
- La pente est de 0.0019% sur un linéaire de 338.2 m.
- K_s : coefficient de rugosité de STRICKLER, dépend de la nature du matériau du canal.

$K_s = 75$ pour le cas du Béton.

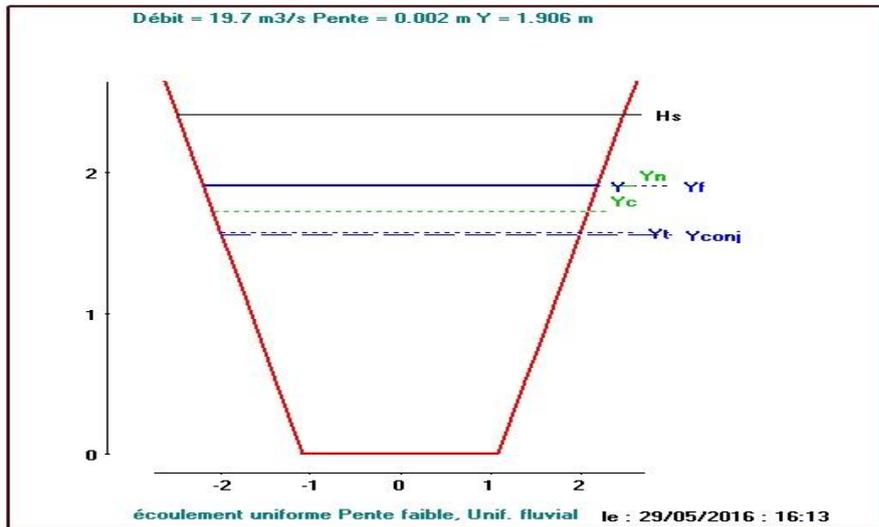


Figure IV.3 caractéristique du canal trapézoïdal

Tableau IV.5 paramètre de calcul du canal trapézoïdal.

P2-P3	Débit (m ³ /s)	Pm (m)	Sm (m ²)	Lm (m)	Rh (m)	Nombre de froude	V (m/s)	Yn (m)	Hsc (m)	Yc(m)	J (m/m)
Type (Trap)	19.67	6.571	6.232	4.369	0.94	0.84	3.155	1.906	2.386	1.729	0.0019

Les dimensions du tronçon p43-p45 - p 46 p 51 du canal Ibouhathmane sont :

Largeur du fond $b = 2.17$ m

Hauteur totale $H = 1.906$ m

La pente des talus $m = 0.577$

Largeur au miroir (à la surface) $B = 4.34$ m

Remarque : Pour le tronçon P42-P43 d'un linéaire 98.43 m et de rayon 20 m en ajoute à la hauteur normal une revanche $\Delta h = 0.17$ m donc H devienne 2.07 m et pour le tronçon P45 – P46 d'un linéaire 35.86 m et de rayon 28 m en ajoute une revanche $\Delta h = 0.05$ donc $H = 1.96$ m.

Tableau IV.6 : Paramètre de Ligne d'eau du Canal Ibouhathmane

x	y	v	j	h	hs	f	reg
0.00	1.772	3.650	0.0028	2.450	2.450	1.012	tor
121.17	1.772	3.650	0.0028	2.111	2.450	1.012	tor
193.88	1.772	3.650	0.0028	1.908	2.450	1.012	tor
199.93	1.772	3.650	0.0028	1.891	2.450	1.012	tor
205.99	1.772	3.650	0.0028	1.874	2.450	1.012	tor
212.05	1.772	3.650	0.0028	1.857	2.450	1.012	tor
218.11	1.772	3.650	0.0028	1.840	2.450	1.012	tor
225.71	1.772	3.650	0.0028	1.840	2.450	1.012	tor
245.96	1.772	3.650	0.0028	1.819	2.450	1.012	tor
256.09	1.824	3.509	0.0025	1.762	2.452	0.710	flu
258.62	1.833	3.486	0.0025	1.735	2.453	0.953	flu
261.16	1.842	3.464	0.0024	1.729	2.454	0.945	flu
263.69	1.851	3.442	0.0024	1.722	2.455	0.937	flu
266.22	1.859	3.422	0.0024	1.716	2.456	0.930	flu
266.22	2.044	2.749	0.0013	1.684	2.430	0.710	flu
284.03	2.044	2.750	0.0013	1.661	2.429	0.710	flu
402.73	2.039	2.760	0.0013	1.504	2.427	0.713	flu
521.43	2.029	2.777	0.0014	1.345	2.422	0.719	flu
580.78	2.022	2.790	0.0014	1.264	2.419	0.724	flu
586.71	2.021	2.792	0.0014	1.256	2.418	0.724	flu
592.65	2.020	2.793	0.0014	1.248	2.418	0.725	flu
598.58	2.019	2.795	0.0014	1.240	2.418	0.725	flu
604.52	2.018	2.797	0.0014	1.232	2.417	0.726	flu
604.52	1.906	3.156	0.0019	1.229	2.414	0.844	flu
615.69	1.906	3.156	0.0019	1.207	2.414	0.844	flu
638.02	1.906	3.156	0.0019	1.165	2.414	0.844	flu
640.25	1.906	3.156	0.0019	1.161	2.414	0.844	flu
642.48	1.906	3.156	0.0019	1.156	2.414	0.844	flu
644.72	1.906	3.156	0.0019	1.152	2.414	0.844	flu
646.95	1.906	3.156	0.0019	1.148	2.414	0.844	flu
646.95	1.906	3.156	0.0019	1.148	2.414	0.844	flu
658.68	1.906	3.156	0.0019	1.126	2.414	0.844	flu
682.15	1.906	3.156	0.0019	1.081	2.414	0.844	flu
684.50	1.906	3.156	0.0019	1.077	2.414	0.844	flu
686.85	1.906	3.156	0.0019	1.072	2.414	0.844	flu
689.19	1.906	3.156	0.0019	1.068	2.414	0.844	flu
691.54	1.906	3.156	0.0019	1.063	2.414	0.844	flu
691.54	1.906	3.156	0.0019	1.063	2.414	0.844	flu
700.83	1.906	3.156	0.0019	1.046	2.414	0.844	flu
719.42	1.906	3.156	0.0019	1.010	2.414	0.844	flu
721.28	1.906	3.156	0.0019	1.007	2.414	0.844	flu
723.14	1.906	3.156	0.0019	1.003	2.414	0.844	flu
725.00	1.906	3.156	0.0019	1.000	2.414	0.844	flu
726.86	1.906	3.156	0.0019	0.996	2.414	0.844	flu
726.86	1.906	3.156	0.0019	0.996	2.414	0.844	flu
756.69	1.906	3.156	0.0019	0.939	2.414	0.844	flu
943	1.906	3.156	0.0019	0.929	2.414	0.844	flu

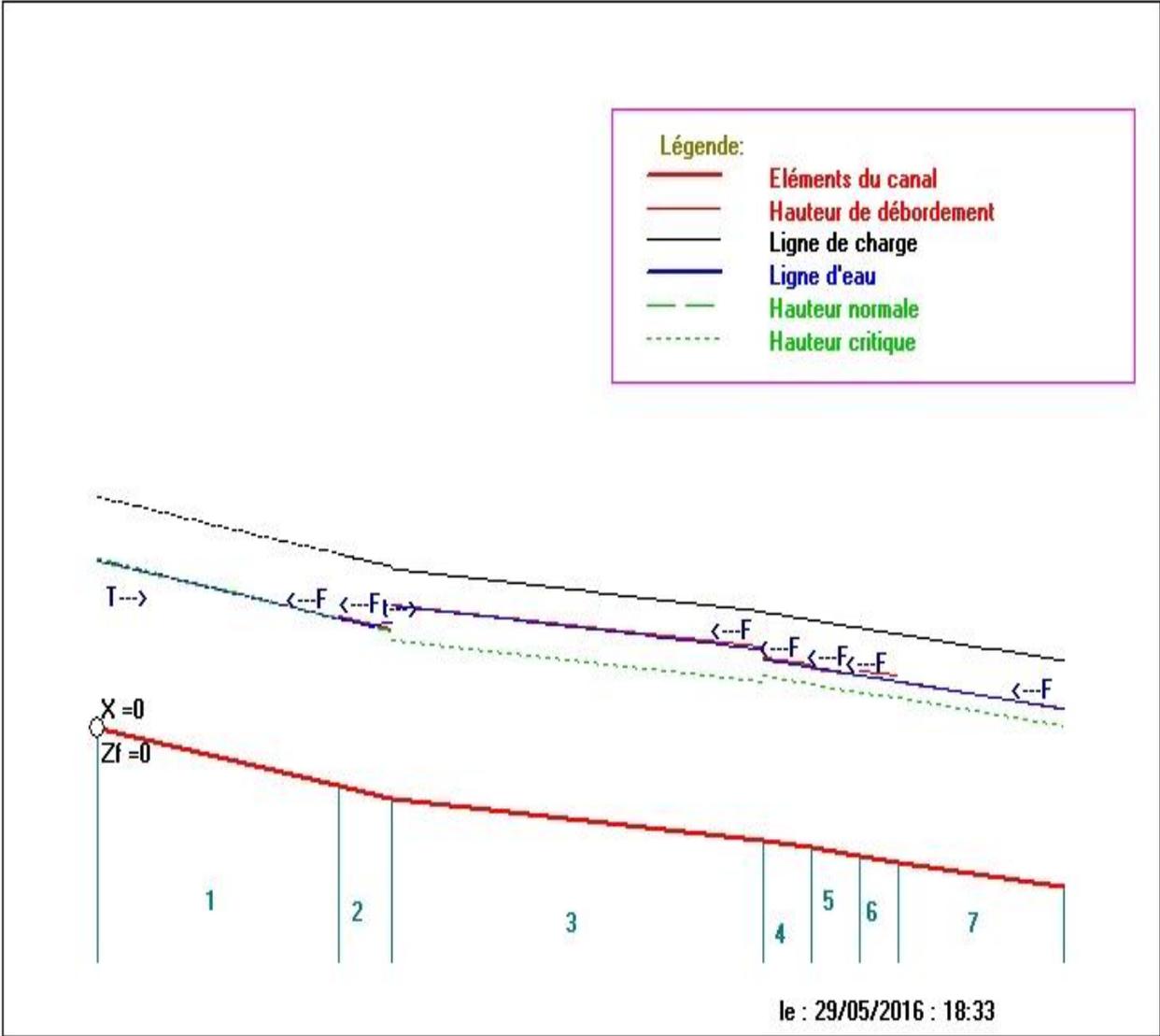


Figure IV.4: graphe de ligne d'eau

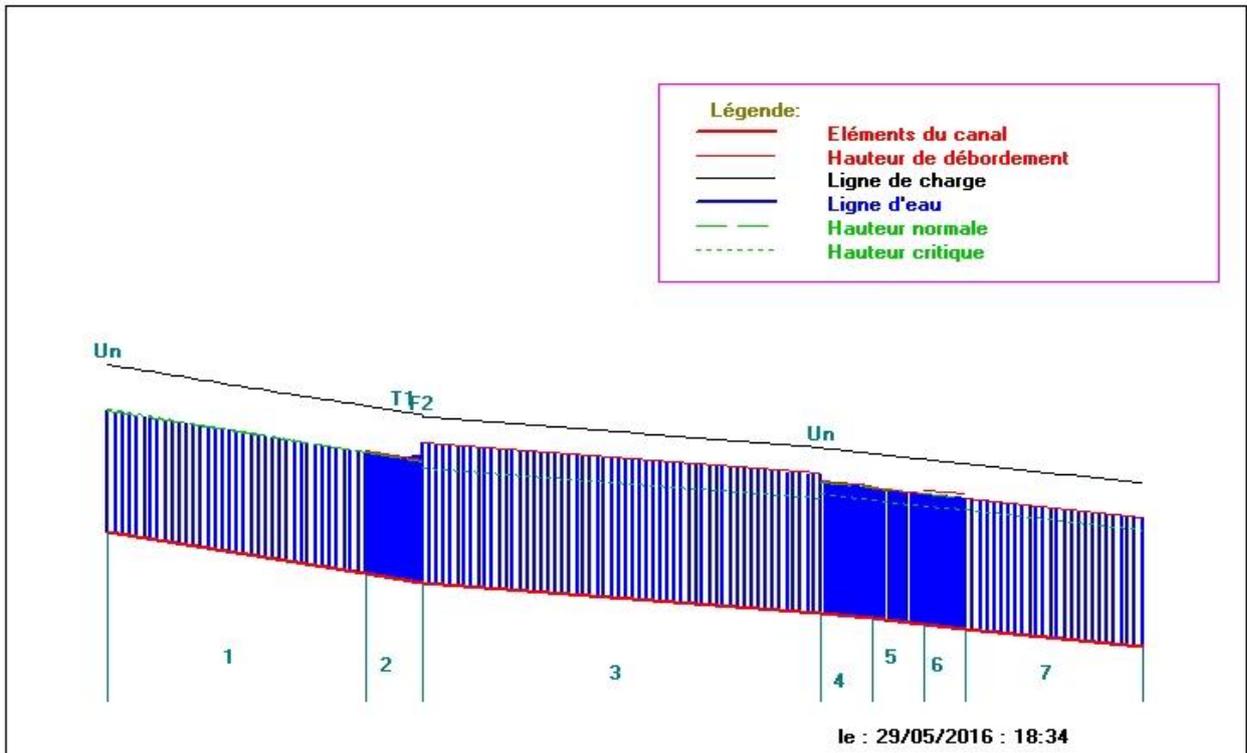


Figure IV.5: Largeur au miroir L(Y)

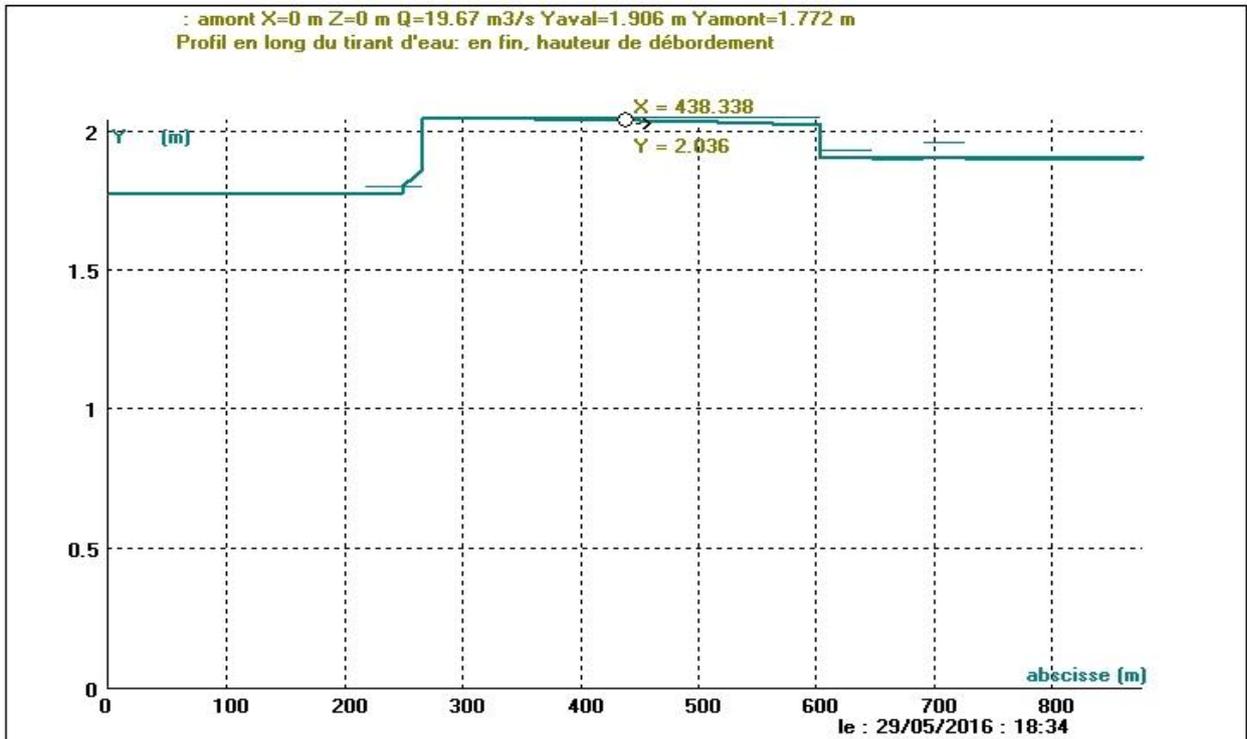


Figure IV.6 profile en long du tirant d'eau

Conclusion

Le dimensionnement a été établi en tenant compte des différentes contraintes. On a ressorti un écoulement torrentiel pour le bief de 245.96m. Ceci engendre des vitesses importantes pour des hauteurs d'eau inférieures à la hauteur critique avec des nombres de Froude comprises entre 1 et 1.7 ; ce qui nous indique la présence d'un ressaut ondulé, Pour le bief aval (697.04m), le régime est fluvial.

N.B : pour le point de transition de régime torrentielle au régime fluvial en prévoie un ouvrage de dissipation d'énergie.

Introduction

Pour analyser un phénomène naturel en générale ou un problème d'ingénierie en particulier, on est souvent amené à développer un modèle mathématique pouvant décrire d'une manière aussi fiable que possible le problème en question.

La résolution analytique d'équations différentielles pose parfois des difficultés insurmontables, et une solution exacte décrivant bien le problème étudié n'est pas toujours facile à trouver. Le recours aux modèles physiques et à la simulation expérimentale pour la recherche d'une solution analogue à la solution recherchée peut s'avérer coûteux en temps et en moyens.

Avec les progrès enregistrés dans le domaine de l'informatique et les performances des ordinateurs de plus en plus grandes, il est devenu possible de résoudre des systèmes d'équations différentielles très complexes. Plusieurs techniques de résolution numérique ont été ainsi développées et appliquées avec succès pour avoir des solutions satisfaisantes à des problèmes d'ingénierie très variés.

1. Méthodes de résolutions

Parmi les méthodes existantes en site :

- Méthode de différence finis
- Méthode de volume finis
- Méthode des éléments finis

Dans notre cas nous avons utilisé la méthode des différences finis.

1.2. Description de la méthode

Comme c'est le cas dans le programme EXPLIC, l'espace-temps est visualisé comme un Système de coordonnées cartésiennes, x - t , sur un plan horizontal (Fig V.1 et Figure V.2). L'axe du canal, d'une longueur de $LT = 0.943$ [km], coïncide avec l'axe x . Il est divisé en plusieurs tronçons de longueur Δx (variable DX). Le nombre de nœuds ainsi obtenu est de NN.

L'axe de temps (variable T) commence au temps $t = 0$ à l'origine et va jusqu'à l'infini, par pas de temps Δt (variable DT). Pour les besoins du problème, on admettra toutefois que la solution s'arrête au temps $t = TMAX$.

La valeur de TMAX sera fournie par l'utilisateur comme donnée d'entrée.

On désire connaître les profondeurs, $h(x,t)$, et les vitesses, $U(x,t)$ à chaque point de cet espace-temps. De telles variables peuvent être représentées sous forme d'un troisième axe perpendiculaire au plan de l'espace-temps, x - t [36].

2. GÉNÉRALISATION DE L'ÉQUATION DE CONTINUITÉ

L'équation de continuité est donnée par :

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial S}{\partial t} = 0 \quad (V.1)$$

Où Q est le débit, S la surface mouillée. Etant donné que $Q = US$ et $dS = Bdh$, on peut écrire :

$$\frac{\partial(US)}{\partial x} + B \frac{\partial h}{\partial t} = S \frac{\partial U}{\partial x} + U \frac{\partial S}{\partial x} + B \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (V.2)$$

Les éléments géométriques pour un canal trapézoïdal sont présentés dans le Tableau 1.1 :

Surface mouillée : $S = (b + mh)h = bh + mh^2$

Largeur à la surface : $B = b + 2mh$

Considérons maintenant la dérivée de la surface mouillée, S , par rapport à la distance, x :

$$\frac{\partial S}{\partial x} = b \frac{\partial h}{\partial x} + S \frac{\partial U}{\partial x} + 2mh \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\partial h}{\partial x} (b + 2mh) \quad (V.3)$$

En introduisant cette relation dans éq. V.2, on obtient :

$$(b+mh)h \frac{\partial U}{\partial x} + U(b + 2mh) \frac{\partial h}{\partial x} + (b + 2mh) \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (V.4)$$

Eq. V.3 peut être simplifiée en divisant tous les termes par la largeur à la surface libre, c.-à-d. par $B = (b+2mh)$:

$$\left(\frac{b+mh}{b+2mh} \right) h * \frac{\partial U}{\partial x} + U \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (V.5)$$

Le multiplicateur du terme d'accélération, $\frac{\partial u}{\partial x}$, n'est rien d'autre que la profondeur hydraulique pour un canal trapézoïdale.

$$D_h = \frac{S}{B} = \left(\frac{b+mh}{b+2mh} \right) h \quad (V.6)$$

Il convient de noter que pour un canal rectangulaire, c.-à-d. quand $m = 0$ et $b > 0$, la profondeur hydraulique est égal à la profondeur d'écoulement, $D_h = h$, et l'éq. V.4 se réduit à l'éq. V.5 [36].

$$h \frac{\partial U}{\partial x} + U \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (V.7)$$

Il est également intéressant de relever que pour un canal à section triangulaire, $m > 0$ et $b = 0$, la profondeur hydraulique est égale à la moitié de la profondeur d'écoulement, $D_h = h/2$.

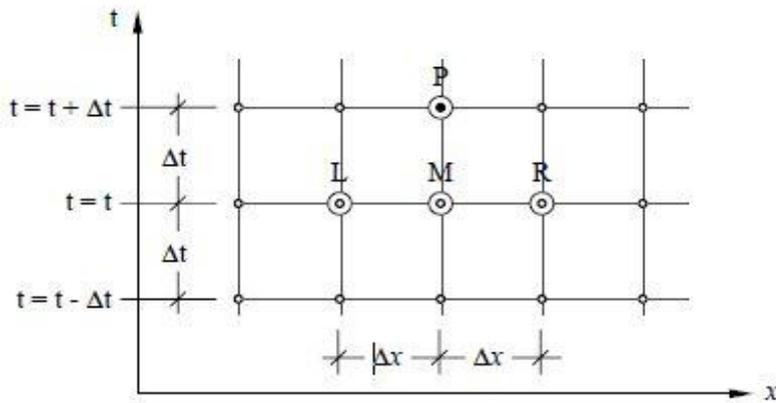


Figure V.1 Maillage de différences finies autour du point P, projeté sur le plan, x - t.

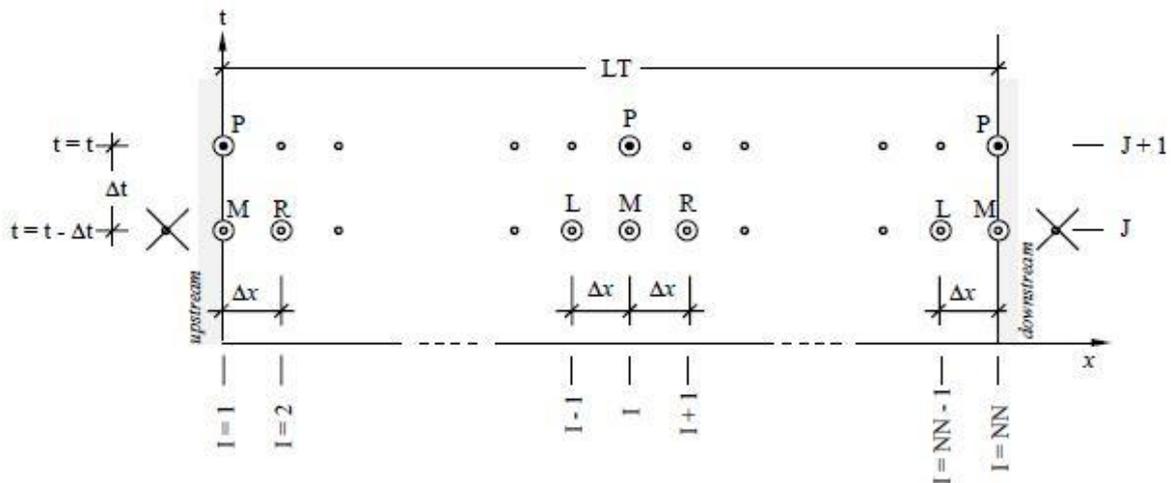


Figure V.2 Schéma numérique explicite et conditions limites aux extrémités amont et aval du domaine de solution.

L'équation V.5 peut être discrétisée aussi en utilisant les équations de différences finies suivants :

$$\frac{\partial u}{\partial x} \Big|_M = \frac{u_R - u_L}{2\Delta x} \quad \text{Ou} \quad \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{i,j} = \frac{u_{i+1}^j - u_{i-1}^j}{2\Delta x} \quad (\text{V.8})$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} \Big|_M = \frac{h_R - h_L}{2\Delta x} \quad \text{Ou} \quad \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{i,j} = \frac{h_{i+1}^j - h_{i-1}^j}{2\Delta x} \quad (\text{V.9})$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} \Big|_p = \frac{u_p - u_M}{\Delta t} \quad \text{Ou} \quad \frac{\partial u}{\partial t} \Big|_{i,j+1} = \frac{u_i^{j+1} - u_i^j}{\Delta t} \quad (\text{V.10})$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} \Big|_p = \frac{h_p - h_M}{\Delta t} \quad \text{Ou} \quad \frac{\partial h}{\partial t} \Big|_{i,j+1} = \frac{h_i^{j+1} - h_i^j}{\Delta t} \quad (\text{V.11})$$

Qui ont été obtenus en utilisant un schémacentré pour les dérivées spatiales, $\partial/\partial x$, et un schéma progressif pour les dérivées temporelles, $\partial/\partial t$. En introduisant ces relations dans l'éq. V.5, on obtient :

$$\left[\frac{b+mh_i^j}{b+2mh_i^j} \right] h_i^j \frac{u_{i+1}^j - u_{i-1}^j}{2\Delta x} + u_i^j \frac{h_{i+1}^j - h_{i-1}^j}{2\Delta x} + \frac{h_i^{j+1} - h_i^j}{\Delta t} = 0 \quad (V.12)$$

d'où on tire une équation pour la profondeur au prochaine pas de temps, $j+1$, en fonction des valeurs connues au pas de temps actuel, j .

$$h_i^{j+1} = h_i^j + \frac{\Delta t}{2\Delta x} \{ u_i^j (h_{i-1}^j - h_{i+1}^j) + \left[\frac{b+mh_i^j}{b+2mh_i^j} \right] h_i^j (u_{i-1}^j - u_{i+1}^j) \} \quad (V.13)$$

C'est l'éq. V.13 qui a été codée dans le programme EXPLIC [36], dans le but de pouvoir l'utiliser pour résoudre des problèmes d'écoulement non permanent dans les canaux à section trapézoïdale, rectangulaire et triangulaire.

L'éq. V.12 est basée sur le schéma centré pour l'approximation des dérivées spatiales.

Elle ne peut être utilisée que pour des nœuds d'intérieur, $i = 2$ à $NN-1$.

A l'extrémité amont du domaine de solution, $i = 1$, le nœud NN n'existe pas. Les dérivées spatiales dans l'éq. V.4 sont discrétisées en utilisant le schéma progressif qui ne contient que les nœuds, i et $i+1$

$$h_i^{j+1} = h_i^j + \frac{\Delta t}{2\Delta x} \{ u_i^j (h_i^j - h_{i+1}^j) + \left[\frac{b+mh_i^j}{b+2mh_i^j} \right] h_i^j (u_i^j - u_{i+1}^j) \} \quad (V.14)$$

A l'extrémité aval du domaine de solution, $i = NN$, le nœud $i+1$ n'existe pas. Les dérivées spatiales dans l'éq. V.4 sont discrétisées en utilisant le schéma rétrograde qui ne contient que les nœuds, $i-1$ et i

$$h_i^{j+1} = h_i^j + \frac{\Delta t}{2\Delta x} \{ u_i^j (h_{i-1}^j - h_i^j) + \left[\frac{b+mh_i^j}{b+2mh_i^j} \right] h_i^j (u_{i-1}^j - u_i^j) \} \quad (V.15)$$

2.1 EQUATION DYNAMIQUE ET SA DISCRÉTISATION [36]

L'équation dynamique :

$$\frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{g} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} = S_f - S_e \quad (V.16)$$

est valable pour tous les canaux prismatiques. La discrétisation de l'éq. V.16 proposée dans le livre est donc utilisée directement dans le programme

$$U_i^{j+1} = \frac{1}{2} \left[-\Gamma + (\Gamma^2 + 4\Gamma\beta)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (V.17)$$

Avec :

$$\beta = [u_i^j + \frac{\Delta t}{2\Delta x} u_i^j (u_{i-1}^j - u_{i+1}^j) + \frac{g\Delta t}{2\Delta x} (h_{i-1}^j - h_{i+1}^j) + g\Delta t J_f] \quad (V.18)$$

$$\Gamma = \frac{(R_{hi}^{j+1})^4}{n^2 g \Delta t} \quad (\text{V.19})$$

Pour des canaux à section trapézoïdaux, la formule de rayon hydraulique est :

$$(R_h)^{j+1}_i = \frac{h_i^{j+1}(b+mh_i^{j+1})}{b+2mh_i^{j+1}\sqrt{1+m^2}} \quad (\text{V.20})$$

2.2 STABILITÉ DES SOLUTIONS NUMÉRIQUES ET GÉNÉRALISATION DE LA CONDITION DE STABILITÉ DE COURANT [36].

Pour une solution numérique stable en utilisant le schéma explicite, il est toujours nécessaire, mais pas suffisant, de respecter la condition de stabilité de Courant partout dans le domaine de solution. Cette condition est exprimée par :

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{|U|+c} \quad (\text{V.21})$$

où c représente la célérité relative de l'onde par rapport à un observateur qui se déplace avec une vitesse égale à celle de l'écoulement, U . Dans le cas particulier d'un canal à section rectangulaire, cette célérité relative est donnée par :

$$C^2 = gh \quad \text{donc } C = \pm\sqrt{gh} \quad (\text{V.22})$$

Pour des canaux trapézoïdaux, il faut utiliser l'expression générale suivante :

$$C^2 = gD_h \quad \text{donc } C = \pm\sqrt{gD_h} \quad (\text{V.23})$$

qui est valable pour les canaux à section trapézoïdale. C'est cette relation qui a été codée dans le programme EXPLIC. L'expérience montre que, le pas de temps, Δt , pour obtenir une solution stable avec un schéma numérique explicite doit être plus petit que 20% de la valeur indiquée par la condition de stabilité de Courant. Le lecteur est encouragé à lancer le même problème avec différents pas de temps et d'espace afin de se faire une idée sur le problème de la stabilité.

3. Résultat de la simulation pour le débit

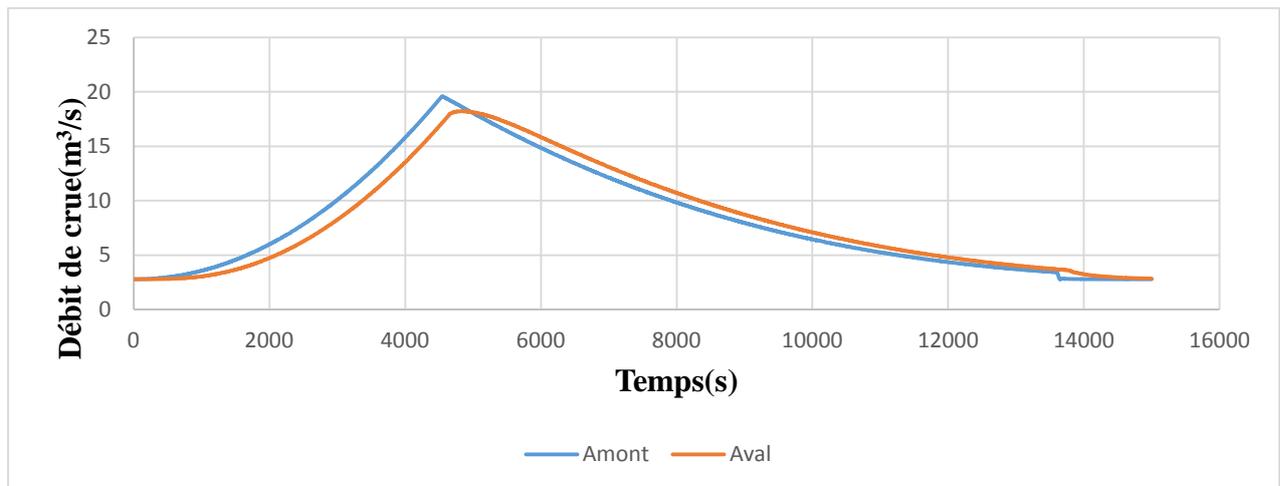


Figure V.3 Evaluation de la crue en fonction de temps

Conclusion

Le phénomène de laminage des crues est la transformation de l'onde de crue entre un point amont et un point aval d'un cours d'eau. Il a pour effet de diminuer le débit de pointe (le débit maximal) en répartissant le volume de la crue dans le temps. Ceci est possible grâce au stockage temporaire d'une partie du volume de la crue dans le lit du cours d'eau (laminage naturel).

Conclusion Générale

Constat fait, l'aménagement d'un oued en majeure partie en milieu urbain diffère de ceux en milieu rural. Cette différence s'explique surtout par le contexte environnemental.

Pour notre projet, le calcul des débits de crue s'est fait par des méthodes empiriques avec une période de retour de 100 ans, notre choix s'est basé sur la méthode qui tient compte de plusieurs paramètres caractérisant le bassin versant.

La méthode des différences finies est choisie pour la simulation de la crue en utilisant les équations de Saint Venant à une dimension de forme conservative.

Dans le but d'éviter des travaux de terrassement beaucoup trop importants, nous avons opté pour un tracé qui suit presque le cours d'eau naturel et de donner une autonomie de fonctionnement au dispositif projeté, les pentes du fil d'eau ont été choisies de manière à assurer les vitesses d'entraînement des particules fines.

D'après les calculs qu'on a fait, nous avons conclu les points suivants :

- Aménagement de l'oued par la protection des talus et le fond de l'oued Ibouhathmane s'avère indispensable pour l'agrandissement des sections et par conséquent maîtriser l'écoulement des eaux.
- Démolition des passages existants et les remplacer par des nouvelles traversées qui peuvent évacuer les débits de crues.
- Un nettoyage périodique du canal projeté avant chaque saison pluviale pour extraire tous les objets indésirables.

Références bibliographiques

- [1] ANRH : Agence national des ressources en eau.
- [2] ARMANDO. L'encastre, Hydraulique général, Edition 2008, Portugal.
- [3] BADNIT .N1997 protection de la ville Bouali (wilaya de chlef) contre les inondations.
- [4] BAOU A. & SAADI Z., 2005 : Conséquences géographiques et socio-économiques des Inondations dans la vallée de l'OURIKA (MAROC), Exemple des crues du 17/08/1995 et du 28/10/1999, Mém. de fin d'études. Univ. CADI AYYAD, MAROC.
- [5]-BENAMOR .M.F.2010, etude de la protection de la commune Bouarfa (w ; Blida) contre les inondations, mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique, (ENSH)
- [6] BENDJOUDI H. & Hubert P., 2002 : Le coefficient de compacité de GRAVELIUS: Analyse critique d'un indice de forme des bassins versants, Hydrological Sciences Journal. 47(6) 921-930.
- [7] BENSEGHIR A., 2006 : Contribution à l'étude de l'état nutritionnel par la méthode du Diagnostic foliaire de trois variétés d'abricotier (*Prunus armeniaca* L.) en zone Aride (Commune de DOUCEN - W. BISKRA). Mém. d'Ing. Univ. BISKRA (ALGERIE).
- [8] BENTEKHICI N. et ZEBBAR Z-d., 2008: Utilisation d'un SIG pour l'évaluation des Caractéristiques physiques d'un bassin versant et leurs influences sur l'écoulement des eaux (Bassin versant d'Oued El MALEH, Nord-Ouest d'ALGERIE). 1ère Conférence International Sur le Web et l'Information Technologie. Sidi Bel Abbes, ALGERIE.
- [9] BOUANANI A., 2011 : Etude de quelques sous bassins de la TAFNA (NW- ALGERIE). Thèse de Doctorat d'état en géologie appliquée : Univ. ABOU BEKRBELKAID TLEMENEN, ALGERIE.
- [10]-BOUBCHIR Abdallah (2007) : « Risques d'inondation et occupation des sols dans le Thore (région de Labruguière et de Mazamet) », Mémoire de Master en Géographie et Aménagement, Institut Daniel Faucher-Université de Toulouse.
- [11] BOU KHEIR R. & MICHEL-CLAUDE G., 2002 : Utilisation d'une classification Structurale OASIS pour la cartographie de la densité de drainage dans une région Représentative du LIBAN. Conseil National de la Recherche Scientifique Libanais/Centre National de Télédétection, Institut National Agronomique PARIS-GRIGNON, France.
- [12] BOUMESSENEGH A., 2007: Les inondations dans la ville de BISKRA, Causes et Impacts. Mém. de Magister. Univ. BISKRA.
- [13] CARLIER, M 1986, P166, Hydraulique général et appliqué,ed ivrolles.
- [14] CHEVALLIER, P. & RODIER JEAN A. 1996 : L'hydrologie tropicale : géoscience et Outil pour le développement. Publication n ° UK.IAHS 238ISBN 0-947571-99-X. International Association of Hydrological Sciences, FRANCE.
- [15]-CORTE 2006 : « L'appropriation active du risque inondation : intérêts et limites de la

Références bibliographiques

Réglementation. Etude de cas entre Seyssel et Bregnier Cordon (Haut Rhône) », Rapport de stage Ingénieur Maître-Institut de la Montagne.

[16] Elyes, Benares (2008, 29 December), El watan, no 619, p.3.

[17] ENAC/ISTE/HYDRAM HYDROTHERQUE 2003 : Base de données d'exercices en Hydrologie. École Polytechnique Fédérale de LAUSANNE.

[18] GAAGAI A., 2009 : Etude hydrologique et hydrochimique du bassin versant du barrage de BABAR sur Oued El ARAB région Est de l'ALGERIE. Mém. de Magistère en Hydraulique, Univ. De BATNA.

[19]-GIOVANOLA et HERITIER, 2002 Photo - Alger - Bab el Oued: (à la recherche de biens récupérables).

[20] Google Maps.

[21] GRAVELLE.M et DUPLAN. L (1960). Carte géologique de Bougie au 1/50 000 service de la carte géologique de l'Algérie 2ème édition.

[22] HADJ-SAID S., 2007: Contribution à l'étude hydrogéologique d'un aquifère en zone Côtière : Cas de la nappe de GUERBES. Thèse de Doctorat en Hydrogéologie. Univ. BADJI MOKHTAR-ANNABA.

[23] HAOUES C., 2008 : Evaluation par analyse multicritères du risque d'érosion dans la vallée de l'oued LABIOD (Approche systémique). Mémoire de Magister en aménagement du territoire. Université. Colonel El HADJ LAKHDAR de BATNA

[24] ISL/LEM, 2007 : Protection du couloir KHERRATA SOUK EL TENINE contre les Crues de l'oued AGRIOUN, Mission C : Etude hydrologique. Bureau d'ingénieurs Conseils.

[25] ISL/LEM, 2007 : Schéma de réalisation dynamique des crues de la LOIRE dans le Département de la haute LOIRE, étape A2 : Efficacité hydraulique des sites. Rapport 2007. Bureau d'ingénieurs Conseils.

[26] KISANGALA M., 2008: Analyse des paramètres morphométriques, climatologiques et Hydrométriques du bassin du KASAI, dans sa partie CONGOLAISE. Mém. de Diplôme D'Etudes Approfondies. Univ. KINSHASA.

[27] LABORDE J.P., 2000: Eléments d'hydrologie de surface. Univ. de NICE-SOPHIA ANTIPOLIS, Centre National de la Recherche Scientifique, Ed 2000.

[28]-LEDOUX Bruno (2006) : « La gestion du risque inondation », Edition TEC et DOC,

[29] LO R. & EL MABROUK S., 2003: Etude hydrologique du bassin versant de la commune de BAHO. INP ENSEEIHT.

[30] MEHEMAI F., 2009 : Essai de modélisation de l'écoulement et risques d'inondation dans le piémont Nord-est des AURES, approche géo systémique. Mém. de Magister en aménagement des milieux physiques. Univ. De BATNA.

Références bibliographiques

- [31]- MEMOIRE DE FIN D'ETUDES SIAD SI MOKRANE : (étude du système d'évacuation des eaux pluviales de la vallée des jardins « w. Mostaganem ».)
- [32]-MEMOIRE, MAGISTER LAMRI AHMED AMINE intitulé contribution à l'étude de l'écoulement uniforme dans un canal de forme trapézoïdal.
- [33]-MERABET Abbés (2006) : «Etude de la protection de la ville de Sidi Bel Abbés contre les inondations», Mémoire de Magister, Université de Djilali Liabes-Sidi Bel Abbés.
- [34] MUSY A. & HIGY C. 2004: Hydrologie: Une science de la nature. Presses Polytechniques et Univ ROMANDES, 326 pages.
- [35]Office National de la Météorologie D'Alger
- [36]-PRESS .W.H., S.A.TEUKOLSY.W.T. VETTERLING et B.P.FLANNERY (1992).NUMERICAL RECIPES in FORTRAN. The Art of scientific computation Cambridge UNIVERSITY PRESS. 2nd ED
- [37]-SALOMON 1997, Jean-Noël (1997) : « L'homme face aux crues et aux inondations », Presses Universitaires de Bordeaux, Université Michel de Montaigne - Bordeaux.
- [38] SCHÜREN M., 2000 : Détermination des paramètres hydrauliques et hydrochimiques d'un aquifère alluvial dans une vallée alpine (Valais, SUISSE), Thèse de Doctorat d'état Univ. NEUCHATEL.
- [39]- Seltzer, 1946 atlas climatologique de l'Algérie.
- [40] STAUB M., 2007 : Amélioration de la compréhension des phénomènes hydrologiques dans un bassin versant du Sud-est Asiatique sous régime de MOUSSON. Mém. d'Ing denl'ENGEES et du diplôme de Master recherche de l'INPL. Ecole nationale du génie de l'eau et de l'environnement de STRASBOURG et institut national polytechnique de LORRAINE.
- [41] TOUAIBIA, B 2004 : Manuel Pratique d'Hydrologie. Presses Madani Frères. Blida. Algérie.
- [42] wilaya de Bejaïa année 2009 : Répartition de la population par sexe et par âge.
- [43]- consulté le <http://www.reliefweb.int/>
- [44]- consulté le <http://www.youtube.com/watch>
- [45]- consulté le <http://video-aol.com/video-detail>
- [46]-consulté le [http : // www.Djazairess.com](http://www.Djazairess.com)

Annexe (1) : Caractéristiques climatologiques à la station de Bejaïa-ONM (1973-2008)

Date		Paramètre	Température quotidienne maximum	Température quotidienne minimum
			(°C)	(°C)
1973	1974	Min	8,0	-
		Moy	21,8	12,8
		Max	41,0	26,0
1974	1975	Min	11,0	-
		Moy	21,6	12,5
		Max	39,0	27,0
1975	1976	Min	9,0	4,0
		Moy	21,2	12,5
		Max	35,0	23,0
1976	1977	Min	11,0	2,0
		Moy	21,9	12,9
		Max	40,0	24,0
1977	1978	Min	9,0	- 0,1
		Moy	22,7	13,0
		Max	43,0	25,0
1978	1979	Min	9,0	-
		Moy	21,6	12,1
		Max	40,0	25,0
1979	1980	Min	12,0	-
		Moy	21,2	11,9
		Max	39,0	25,0
1980	1981	Min	8,0	-
		Moy	21,6	12,6
		Max	36,0	24,0
1981	1982	Min	8,6	-
		Moy	22,8	13,4
		Max	40,6	25,7
1982	1983	Min	6,5	0,9
		Moy	22,4	12,9
		Max	43,4	25,6
1983	1984	Min	9,7	2,1
		Moy	22,3	13,2
		Max	41,9	26,2
1984	1985	Min	5,0	0,3
		Moy	22,2	13,5
		Max	35,6	24,5
1985	1986	Min	10,2	1,7
		Moy	22,7	13,5
		Max	44,6	25,5
1986	1987	Min	9,3	2,2
		Moy	22,4	13,4
		Max	41,7	25,7
1987	1988	Min	7,3	1,3
		Moy	23,5	14,1
		Max	47,6	28,3
1988	1989	Min	10,1	3,9
		Moy	22,4	13,3
		Max	36,9	26,3
1989	1990	Min	11,3	3,5
		Moy	22,8	14,3
		Max	35,5	25,2
1990	1991	Min	7,6	3,1
		Moy	22,4	13,4
		Max	38,4	25,7
1991	1992	Min	9,8	2,1

Date		Paramètre	Température quotidienne maximum (°C)	Température quotidienne minimum (°C)
		Moy	21,7	12,7
		Max	37,1	25,6
1992	1993	Min	8,4	-
		Moy	22,4	13,2
		Max	44,7	25,7
1993	1994	Min	10,0	1,4
		Moy	23,2	13,8
		Max	45,6	27,0
1994	1995	Min	8,1	0,7
		Moy	23,0	13,8
		Max	39,7	26,9
1995	1996	Min	8,7	1,6
		Moy	22,9	14,1
		Max	37,5	25,9
1996	1997	Min	11,0	- 2,4
		Moy	23,0	13,6
		Max	42,8	27,0
1997	1998	Min	9,9	2,8
		Moy	22,8	14,1
		Max	36,0	24,8
1998	1999	Min	6,8	1,0
		Moy	22,5	13,6
		Max	42,5	28,3
1999	2000	Min	7,1	3,4
		Moy	23,0	13,6
		Max	44,0	27,0
2000	2001	Min	11,4	3,0
		Moy	23,6	13,7
		Max	37,4	25,6
2001	2002	Min	11,3	1,7
		Moy	22,9	13,4
		Max	38,3	24,5
2002	2003	Min	10,3	- 4,0
		Moy	23,6	14,4
		Max	42,1	27,6
2004	2005	Min	9,4	2,1
		Moy	22,8	13,7
		Max	42,0	27,0
2005	2006	Min	3,0	- 1,0
		Moy	22,6	13,4
		Max	40,5	26,9
2006	2007	Min	10,6	3,2
		Moy	23,2	13,8
		Max	40,0	24,8
2007	2008	Min	17,7	8,4
		Moy	27,7	18,0
		Max	44,4	26,0
2008		Min	10,2	3,0
		Moy	21,8	12,4
		Max	36,4	23,0
1973	2008	Min	3,0	- 4,0
		Moy	24,1	13,6
		Max	47,6	28,3
		Amplitude		51,6

Annexe (2) : Tableau de répartition des altitudes en fonction de la surface

Tranche D'altitude	s_i (Km^2)	$\sum S_i$ (Km^2)	S_i/S_t (Km^2)	S_i/S_t (%)	$\sum S_i/S_t$ (%)	H_{moy} (m)	$S_i \times H$ (Km^3)
360 - 371	0.013	0.013	0.004	0.4	0.4	365.5	4.752
300 - 360	0.269	0.281	0.081	8.1	8.5	330	88.44
200 - 300	1.033	1.312	0.311	31.1	39.6	250	257.75
100 - 200	1.168	2.482	0.352	35.2	74.8	150	175.5
26 - 100	0.837	3.32	0.252	25.2	100	65	54.47
							580.91

Annexe (2): Tableau Classification d'ORSTOM

Classe	Type de relief	Intervalle de D_s
R1	Relief très faible	05 à 10 m
R2	Relief faible	10 à 25 m
R3	Relief assez faible	25 a 50 m
R4	Relief modéré	50 à 100 m
R5	Relief assez fort	100 à 250 m
R6	Relief fort	250 à 500 m
R7	Relief très fort	500 à 750 m

Annexe (3) : Coefficients de ruissellement (K. P. Klibachev et I. F. Gorochkov, 1970 p. 321)

Catégorie de sol	Appellation des sols	Pjmax en mm	Superficie des B,V en km ²				
			< 0,1	0,1 - 1,0	1 - 10	10 - 100	< 100
1	Asphalte, Roche non fissurée, Béton	-	1	1	1	1	1
2	Sols argileux gras, croûtes et sols encroûtés	< 80	0,8	0,7	0,65	0,65	0,6
		81 - 150	0,9	0,85	0,8	0,8	0,8
		151 - 200	0,95	0,9	0,9	0,9	0,9
		> 200	0,95	0,95	0,95	0,9	0,9
3	Sols argileux, podzols, sols podzolisés sols forestiers d'argiles grises, sols argileux gris et lourds, Sols des toundras et marais	< 80	0,7	0,6	0,55	0,5	0,45
		81 - 100	0,8	0,75	0,7	0,65	0,65
		101 - 150	0,85	0,8	0,75	0,65	0,65
		151 - 200	0,85	0,85	0,8	0,7	0,7
		> 200	0,9	0,9	0,8	0,75	0,75
4	Tchernozeems, Sols châtaîns, Loess, Sols carbonatés	< 80	0,55	0,45	0,4	0,35	0,3
		81-150	0,65	0,55	0,5	0,45	0,4
		151-200	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55
		>200	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6
5	Limons sableux, sols marrons et gris- marrons des zones steppiques et désertique sols gris et limono sableux	<80	0,35	0,28	0,2	0,2	0,15
		81-150	0,45	0,35	0,25	0,25	0,2
		151-200	0,55	0,45	0,4	0,35	0,3
		>200	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4
6	Sols sablonneux, graviers, sols à cailloux friables.	-	0,25	0,2	0,15	0,1	0,1

Annexe (5) : Coefficient de rugosité selon le type de paroi

N°	Type de la paroi du canal	Coef η
1	Surface très lisse	0,009
2	Planches très bien usinées et ajustées. Meilleur enduit en ciment pur	0,010
3	Meilleur enduit de ciment. Tuyaux propres neufs en céramiques, en fonte et en fer, bien posés et raccordés.	0,011
4	Bétonnage des canaux dans des conditions moyennes	0,0133
5	Maçonnerie en briques médiocres, revêtement en pierres de taille dans les conditions moyennes	0,015
6	Maçonnerie en moellons bonne, vieille maçonnerie en brique, bétonnage relativement brut	0,017
7	Canaux à couche de vase épaisse stable	0,017
8	Maçonnerie en pierres de taille médiocre, pavé de pierre. Canaux réalisés assez proprement dans la roche.	0,020
9	Canaux dans l'argile compacte. Grands canaux de terre dans les conditions d'entretien et de réparation au-dessus de celles moyennes.	0,0225
10	Bonne maçonnerie sèche. Grands canaux de terre dans les moyennes conditions d'entretien et de réparation et petits canaux de terre dans les bonnes conditions. Rivières dans les conditions favorables (lit droit propre à courant libre sans chutes de terre ni fosses d'affouillement profondes).	0,025

Résumé :

Notre travail a pour objet de faire une étude sur l'oued Ibouhathmane qui se situe à la commune de Bejaïa, wilaya de Bejaïa, dont le but de l'aménager afin qu'en diminue le risque d'inondation. Notre étude comprend plusieurs parties fondamentales qui sont :

- collecte de donnée de la région
- une étude hydrologique du bassin versant pour quantifier le débit de crue probable.
- une étude de dimensionnement du canal.
- Simulation de la crue.

Mots clés : inondation, bassin versant, crue, oued, simulation

Abstract:

Our job is to make a study on the river which is at the Ibouhathmane, which lies the town of Bejaia wilaya of Bejaia, the purpose of to develop that reduces the risk of flooding. Our study has several basic parts which are:

- Collection of data from the region
- a hydrological study of the watershed to quantify the probable flood flow.
- a channel sizing study.
- Simulation Of the flood.

Keywords: flooding, watershed, flood, river, simulation

ملخص :

مهمتنا هي تقديم دراسة واد إبو حاتمن الذي يقع في بلدية بجاية ، ولاية بجاية ، والتي تهدف الى تطوير النهر من اجل تقليل خطر الفيضانات في الولاية. هذه الدراسة تتضمن عدة أجزاء أساسية وهي مجموعة من البيانات حول المنطقة. دراسة هيدرولوجية لمستجمعات المياه لقياس تدفق طوفان محتمل. دراسة قناة التحجيم. محاكاة من الفيضان.

كلمات مفتاحية:

فيضان، مستجمعات المياه، طوفان، محاكاة، واد