

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah-
DEPARTEMENT HYDRAULIQUE URBAINE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique

Option : Assainissement

THEME :

**Aménagement de l'Oued Soummam le long des communes
Oued Ghir, Tala Hamza et Bejaia (W.BEJAIA)**

PRESENTE PAR :

M^{elle} SAHBI Hanane

Devant les membres du jury :

Noms et Prénoms	Grade	Qualité
M ^f KHODJET KESBA Omar	Professeur	Président
M ^f DJELLAB Mohamed	M.C.A	Membre
M ^{me} CHENITI Naoual	M.A.A	Membre
M ^{me} BERBACHE Sabah	M.A.A	Membre
M ^{me} BERDANE Kheira	Doctorante	Promotrice

Juin 2017

Dédicace

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

*Mes parents que je ne pourrai jamais remercier pour ce que je suis
devenue grâce à leur éducation et leurs sacrifices*

Ma grand-mère, que dieu lui accorde longue vie et santé

Mes frères, mes sœurs, et mon beau frère

Toute ma famille, particulièrement mes petits poussins

Mon ange gardien pour sa patience et son soutien

Mon consultant, pour ses orientations, ses conseils et sa générosité

La mémoire des étudiants de l'EPST Tlemcen

Mes amis avec qui j'ai partagés des souvenirs inoubliables

Tous les enseignants qui m'ont accompagné durant mes études

Remerciements :

Je remercie Dieu le tout puissant, pour m'avoir donné la santé, le courage et la volonté d'étudier et pour m'avoir permis de réaliser ce modeste travail dans les meilleures conditions.

Je remercie ma promotrice M^{me} Berdane d'avoir accepté de m'encadrer et de m'orienter.

J'aimerais exprimer ma gratitude et ma profonde reconnaissance pour la patience, le soutien et l'aide qu'a pu m'apporter

M^r Saïdani Bilel, que je ne pourrai jamais remercier autant.

Mes remerciements également

Aux ingénieurs de la DRE de Béjaïa

Aux membres du jury qui me feront l'honneur d'examiner mon travail.

Enfin un grand merci à tout ceux qui n'ont jamais cessé de me soutenir et de m'encourager tout au long de mon parcours et de m'avoir plus d'une fois remonté le moral

Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

ملخص :

يعتبر واد الصومام من اكثر الوديان فيضانا في الجزائر، و يترتب عنه خسائر معتبرة للسكان و للدولة، مما استدعى القيام بدراسته للحد من هذه الظاهرة على مستوى مناطق واد غير، تالة حمزة و بجاية بولاية بجاية.

في هذا السياق قمنا بدراسة شاملة لجميع الخصائص التي تتدخل في سلوك الواد اثناء الامطار الموسمية، و قمنا باختيار التهيئة المناسبة من حيث الفعالية و التكلفة.

Résumé :

Oued Soummam est parmi les oueds les plus débordants en Algérie, ce qui provoque des dégâts matériels considérables pour les particuliers et l'Etat ainsi que des vies humaines à plusieurs reprises. Notre étude est l'aménagement de la partie la plus souvent touchée par les débordements dans le but d'éviter les dégâts dans cette dernière qui couvre les communes d'Oued Ghir, Tala Hamza et Béjaia.

L'étude est scindée en deux grandes parties ; la première est consacrée à l'étude de la zone attirée avec un petit aperçu sur les notions de base des aménagements alors que la deuxième est celle qui traite l'aménagement en lui-même.

Au final, suite à une étude technico-économique, le choix s'est porté sur la variante gabionnage vu qu'elle présente le meilleur profil suivant les critères technique et économique.

Abstract

Soummam river is among the overflowing rivers in Algeria. This causes considerable material damage to individuals and the state as well as human lives on several occasions. Our study deals with river layout mainly the part most often affected by the overflows in order to avoid the damage in the latter which covers Oued Ghir and Tala Hamza and Béjaia municipalities. The study is divided into two main parts; the first is devoted to the study of the designated area with a brief overview of the basic notions of river layout, while the second one treats the soummam layout itself. In the end, after technical-economic study, the choice was made on the variant gabionnage as it presents the best profile according to the technical and economic criteria.

Sommaire

Chapitre I : Généralités sur les inondations

Introduction	2
I.1. Définitions.....	3
I.1.1. Bassin versant.....	3
I.1.2. Cours d'eau	3
I.1.3. Morphologie d'un cours d'eau	3
I.1.4. Ripisylve.....	4
I.1.5. Torrent et rivière torrentielle	4
I.2. Crues et inondations.....	5
I.2.1. Différence entre crue et inondation	5
I.2.2. Processus de formation des crues	5
I.2.3. Les délimitations des espaces concernés par les différents types de crues	6
I.2.3.1. Lit mineur	6
I.2.3.2. Lit moyen.....	6
I.2.3.3. Lit majeur	7
I.2.4. Types d'inondations	8
I.2.4.1. Inondations de plaine.....	8
I.2.4.2. Inondation par crues torrentielles	8
I.2.4.3. Inondation par ruissellement pluvial	9
I.2.4.4. Inondation par submersion marine	9
I.2.4.5. Inondation par remontée de nappes	10
I.2.4.6. Inondation par rupture d'embâcle	10
I.2.4.7. Inondation par rupture d'une protection	10
I.2.5. Influence des facteurs naturels	12
I.3. Alea, enjeu, risque et vulnérabilité.....	12
I.3.1. Définitions.....	12
I.3.1.1. Alea.....	12
I.3.1.2. Enjeu	12
I.3.1.3. Risque	12
I.3.1.4. Vulnérabilité	12
I.3.2. Paramètres principaux	13

I.3.2.1. Période de retour de crues.....	13
I.3.2.2. Hauteur et durée de submersion	13
I.3.2.3. Vitesse du courant	14
I.3.2.4. Volume de matière transportée.....	14
I.4. Conséquences.....	15
I.4.1. Atteintes aux hommes, aux biens et aux activités.....	15
I.4.2. Atteintes à l'environnement	15
I.5. Inondations en Algérie	17
I.6. Méthodes d'aménagement des cours d'eau	21
I.6.1. Recalibrage.....	22
I.6.2. Rectification	22
I.6.3. Enrochements	23
I.6.4. Dragage	23
I.6.5. Couverture de cours d'eau.....	23
I.6.7. Déplacement de cours d'eau	24
I.6.8. Protection des berges ou endiguement.....	24
I.6.10. Seuils / ouvrages transversaux	25
I.6.12. Etangs implantés sur un cours d'eau	25
I.6.13. Suppression de la ripisylve.....	26
Conclusion.....	26

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Introduction	28
II.1. Présentation générale du bassin de la Soummam.....	28
II.1.1. Réseau de drainage et affluents.....	29
II.1.1.1. Réseau de drainage.....	29
II.1.1.2. Principaux affluents.....	30
II.2. Aperçu sur Oued Soummam.....	31
II.3. Présentation du cadre général de l'étude :	31
II.3.1. La wilaya de Bejaia.....	31
II.3.2. Situation géographique	31
II.3.3. Géologie, couvert végétal et polarisation.....	32
II.3.4. Sismicité de la région.....	33
II.3.5. Climat.....	34

II.3.6. Températures.....	34
II.3.7.Pluviométrie	34
II.3.8. Evapotranspiration	35
II.4. Grandes infrastructures hydrauliques	35
Conclusion :.....	36

Chapitre III : Etude hydrologique

Introduction	38
III.1. Caractéristiques morphométriques	38
III.1.1. Superficie et périmètre.....	38
III.1.2. Indice de compacité de Gravelius.....	38
III.1.3. Rectangle équivalent.....	39
III.1.4. Courbe hypsométrique.....	39
III.1.5. Altitudes caractéristiques.....	40
III.1.6. Indice de pente globale I_g	41
III.1.7. Indice de pente moyenne I_{pm}	41
III.2. Réseau hydrographique	42
III.2.1. Densité de drainage	42
III.2.2. Pente moyenne du cours d'eau principal	43
III.3. Temps de concentration	43
III.4. Vitesse moyenne de ruissellement	44
III.5. Etude des précipitations	45
III.5.1. Postes pluviométriques	45
III.5.2. Pluies maximales journalières	47
III.5.3. Vérification de l'homogénéité de la série.....	47
III.5.4. Ajustement des pluies maximales journalières.....	48
Station Sour El Ghozlane.....	48
III.5.5. Pluie de courte durée	51
III.5.6. Analyse des précipitations sur le bassin versant de la Soummam avec la méthode de Theissen	56
Conclusion.....	57

Chapitre IV : Etude des crues

Introduction	59
IV.1. Réseau hydrométrique.....	59

IV.2. Série hydrométrique	60
IV.3. Ajustement a la loi GEV	60
IV.4. Hydrogrammes des crues	61
Conclusion.....	63

Chapitre V : Etude des variantes d'aménagement

Introduction	65
V.1. Présentation du logiciel	65
V.2. Données topographiques : Etablissement des profils en travers des oueds.....	66
V.3. Résultats de simulation de l'oued non aménagé	67
V.3.1. Graphique	67
V.3.2. Résultats numériques	68
V.4. Variantes d'aménagement	70
V.4.1. Buts d'aménagements	70
V.4.2. Variantes d'aménagement	70
V.5. Calcul hydraulique	72
V.9.1. Résultats de calculs hydrauliques	73
V.9.1.1. Canal en gabion.....	73
V.9.1.2. Canal trapézoïdal en béton	74
V.9.1.3. Canal trapézoïdale en terre	74
V.7. Estimation du cout.....	75
V.7.1. Canal en gabion	75
V.7.2. Canal trapézoïdal en béton.....	75
V.8. Choix de la variante.....	76
Conclusion :.....	76

LISTE DES FIGURE

Chapitre I : Généralités sur les inondations

Figure I.1. Représentation du bassin versant.....	3
Figure I.2. Exemple d'une morphologie d'un cours d'eau.....	4
Figure I.3. Exemple d'une ripisylve.....	4
Figure I.4. Structure morphologique d'un cours d'eau torrentiel.....	5
Figure I.5. Organisation de la plaine alluviale fonctionnelle	6
Figure I.6. Délimitation du lit mineur.....	6
Figure I.7. Délimitation du lit moyen.....	7
Figure I.8. Délimitation du lit majeur.....	8
Figure I.9. Inondation de plaine sur le Rhône en 2003.	8
Figure I.10. Inondation à montée rapide sur les Gardons et le Vidourle en 2002.....	9
Figure I.11. Inondation par ruissellement à Nîmes en 1988.	9
Figure I.12. Inondation marine à Montpellier en 1970.	10
Figure I.13. Procédés de remontée de la nappe.....	10
Figure I.14. Embâcle formé dans un cours d'eau.....	11
Figure I.15. Inondation par rupture d'une protection.....	11
Figure I.16. Procédés du transport solide.....	14
Figure I.17. Impacts des inondations.....	16
Figure I.18. Inondations en Algérie.....	17
Figure I.19. Rôles de la rivière et objectifs d'aménagements	21
Figure I.20. Rectification, recalibrage et drainage sur le ruisseau de l'étang à Availles	22
Figure I.21. Rectification et recalibrage à Servon 1986.....	22
Figure I.22. Enrochement et recalibrage sur le Dhuy à Sandillon.....	23
Figure I.23. Couverture complète d'un cours d'eaux.....	23
Figure I.24. Déplacement complet de cours d'eau : l'Armanche.....	24
Figure I.25. Travaux de protections des berges d'un cours d'eau.....	25
Figure I.27. Exemples de seuils.....	25
Figure I.28. Exemple d'étang implanté directement sur un cours d'eau : la Bièvre.....	26
Figure I.29. Technique du génie végétal.....	26

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Figure II.1. Les Grands bassins versants d'Algérie	28
Figure II.2. Le réseau hydrographique du bassin versant de la Soummam.....	29
Figure II.3. Les grands sous bassins versants de la Soummam.....	29
Figure II.4. Situation géographique de la wilaya de Béjaïa.....	31
Figure II.5. Découpage administratif de la zone d'étude.....	31
Figure II.6. Carte géologique du bassin de la Soummam	32
Figure II.7. Polarisation du territoire de la wilaya de Bejaïa.....	32
Figure II.8. Zonage sismique administratif du territoire Algérie	33
Figure II.9. Pluviométrie annuelle au bassin de la Soummam.....	34

Chapitre III : Etude hydrologique

Figure III.1. Courbe hypsométrique du bassin de la Soummam.	40
Figure III.2. Situation géographique des postes pluviométriques considérés.	46
Figure III.3. Pluies mensuelles moyennes sur le bassin de la Soummam.	46
Figure III.4. Représentation graphique de l'ajustement à la loi de GUMBEL.	49
Figure III.6. Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Gausse.	50
Figure III.7. Courbes intensités- durées- fréquences.	52
Figure III.8. Courbes intensités- durées- fréquences.	53
Figure III.9. Courbes intensités- durées- fréquences.	53
Figure III.10. Courbes intensités- durées- fréquences.	54
Figure III.11. Courbes intensités- durées- fréquences.	54
Figure III.12. Courbes intensités- durées- fréquences.	55
Figure III.13. Courbes intensités- durées- fréquences.	55
Figure III.14. Méthode de Theissen sur le bassin versant de la Soummam.	56

Chapitre IV : Etude des crues

Figure IV.1. Positionnement des stations hydrométriques.	59
Figure IV.2. Représentation graphique de l'ajustement à la loi GEV.	61
Figure IV.3. Représentation graphique des hydrogrammes des crues.	62

Chapitre V : Etude des variantes d'aménagement

Figure V.1. Aperçu général sur les icones de HEC-RAS.	65
Figure V.2. Tracé de l'oued et de ses différentes sections.	66
Figure V.3. Schématisation d'une section en travers de l'oued.	66
Figure V.4. Profils en travers d'une section pour des crues de 50 ans et 100 ans.	67
Figure V.5. Vue en plan de l'Oued pour une crue de 100 ans.	67
Figure V.6. Profil en long de l'oued pour une crue de 100 ans.	68
Figure V.7. Fenêtre principale du logiciel Canal 21.	73
Figure V.8. Résultats données par Canal 21 pour l'aménagement en gabion.	73
Figure V.9. Résultats données par Canal 21 pour l'aménagement en béton.	74

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Généralités sur les inondations

Tableau.I.1. Correspondances théoriques entre les différentes crues et les unités géomorphologiques concernées	8
Tableau .I.2. Qualification de l'aléa en fonction de la hauteur d'eau et type de crue.....	13
Tableau .I.3. Degré de danger des crues en fonction de la vitesse du courant.Source.....	14

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Tableau II.1. Caractéristiques du réseau hydrographique du bassin de la Soummam.	29
Tableau II.2. Température moyenne mensuelle pour la station de Béjaïa	35
Tableau II.3. Evapotranspiration mensuelle.....	35

Chapitre III : Etude hydrologique

Tableau III.1. Surfaces partielles du bassin versant par tranche d'altitude.....	39
Tableau III.2. Altitudes caractéristiques du bassin de la Soummam.	41
Tableau III.3. Caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant.	45
Tableau III.4. Stations utilisées pour les différents calculs d'extrapolation.	46
Tableau III.5. Résultats de l'ajustement des séries par la méthode de Wilcoxon.	48
Tableau III.6. Récapitulatif des résultats obtenus par l'ajustement à la loi de Gumbel.....	48
Tableau III.7. Récapitulatif des résultats obtenus par l'ajustement à la loi de Galton.	49
Tableau III.8. Récapitulatif des résultats obtenus par l'ajustement à la loi de Gumbel.....	50
Tableau III.9. Résultats d'ajustement des à la loi Gumbel des séries $P_{j,max}$ en mm des 7 stations pour les différentes périodes de retour.	50
Tableau III.10. Pluies et intensités maximales de durées $t(h)$ et de périodes de retour T	52

Chapitre IV : Etude des crues

Tableau IV.1. Débits maximums journaliers de la station de Sidi Aich.	60
Tableau IV.2. Récapitulatif des résultats obtenus par l'ajustement à la loi GEV	60

Chapitre V : Etude des variantes d'aménagement

Tableau V.1. Résultats de la simulation Hec-Ras d'oued Soummam non aménagé.....	69
Tableau V.2. Avantages et inconvénients pour chaque variante.....	71
Tableau V.3. Valeurs du coefficient de Manning pour différents matériaux.....	72
Tableau V.4. Détermination du cout du projet.....	76

[Tapez un texte]

LISTE DES PLANCHES

Planche N° 01 : Plan de masse de la zone d'étude.

Planche N° 02 : Repères des crues.

Planche N° 03 : Profil en long d'oued Soummam (w.Bejaia).

Planche N° 04 : Coupes transversales d'oued Soummam.

[Tapez un texte]

Liste des abréviations

ABH AHS : Agence de Bassin Hydrographique – Algérois Hodna Soummam.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

AZI : Atlas des Zones Inondables.

DEMAA : Direction de l'Eau, des Milieux Aquatiques et de l'Agriculture.

DHA : Département des Affaires Humanitaires.

DGUHC : Direction Générale de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Construction.

DRE : Direction des Ressources en Eau.

EPFL : Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.

GEV : Generalized Extrem Value.

PDAU : Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme.

RPA : Règlement Parasismique Algérien.

Introduction générale

Tremblements de terre, tsunamis, éruptions volcaniques, glissements de terrains, inondations... ; des événements exceptionnels qui déploient une violence accrue d'année en année et qui sont à l'origine de désordres souvent importants, qui n'ont cessé de secouer le bien être de l'homme. Un de ces phénomènes qui s'accroissent et qui deviennent récurrent dans le monde, c'est bien les débordements d'eau qui submergent les terrains environnants, qu'on nomme les inondations.

Les inondations figurant parmi les catastrophes naturelles les plus fréquentes et les plus dévastatrices en Algérie. Touchant plusieurs régions, atteignant parfois l'ampleur d'une catastrophe nationale telles que : Les inondations de Mars 1974 des bassins versants de l'algérois et du Sébaou, les inondations de décembre 1984 sur tout l'Est Algérien ou celles du 9 et 10 novembre 2001 sur la cote Algéroise (Bab El Oued : plus d'un millier de morts et dégâts matériels important)

Le cours aval de la Soummam est un secteur en pleine expansion économique : aéroport, voie ferrée, routes, université, logements, ..., malheureusement soumis au risque d'inondation de oued Soummam.

En effet, l'Oued traverse le centre-ville de Bejaia et déverse à proximité de la zone industrielle. Ce dernier a causé des dégâts importants sur sa partie avale. Les routes, les ouvrages et les terres agricoles de la plaine alluviale (Vallée de la Soummam) coupent nécessairement les terrains et détournent l'écoulement des eaux de leurs voies naturelles.

En décembre 2002, puis en avril 2003, deux inondations catastrophiques ont paralysé l'économie bougiote durant 15 jours à chaque fois.

Pour remédier aux impacts, et d'après la situation du projet, la détermination des crues ne concerne que le cours aval du bassin versant de la Soummam sur lequel nous avons fait une étude complète s'étalant sur les trois communes les plus touchées, voir Oued Ghir, Tala Hamza et Béjaia à commencer par une présentation de la zone d'étude afin de mieux connaître notre région, ses caractéristiques et ses particularités, puis une recherche bibliographique, permettant de comprendre le phénomène pour bien cerner la problématique, en suite une étude hydrologique et une étude des crues, qui vont nous permettre d'avoir les données pluviométriques et hydrométriques nécessaires, que nous allons utiliser dans l'étude des variantes d'aménagement pour simuler le phénomène, voir la crue du projet pour l'exploitation du modèle et le dimensionnement : détecter les zones vulnérables et proposer les variantes aménagements adéquats, et enfin conclure avec une étude d'estimation du coût du projet.

[Tapez un texte]

CHAPITRE I :

GENERALITES SUR LES

INONDATIONS

Chapitre I : Généralités sur les inondations

Introduction

L'humanité se préoccupe des crues et des inondations, en raison des atteintes aux personnes et aux biens qu'elles sont susceptibles de provoquer.

Elles représentent un phénomène naturel largement répandu à la surface du globe. Elles sont à la fois les catastrophes les plus fréquentes et celles qui touchent le plus grand nombre d'individus (voir annexe figure 1).

D'après le Département des Affaires Humanitaires des Nations Unies (DHA), 339 millions de personnes en ont été victimes entre 1900 et 1980. De 1970 à 1981, elles ont constitué plus du tiers de l'ensemble des cataclysmes recensés.

Le débit moyen d'un cours d'eau forme son module, c'est à dire son état le plus fréquent. La variabilité est la règle, et selon la succession des situations météorologiques sur le bassin versant, le débit du fleuve peut varier à la hausse ou à la baisse autour de ce module. Toutefois, les extremums de la distribution sont nettement moins fréquents que les situations normales. L'aléa hydrologique se caractérise donc soit par des situations d'étiage exceptionnelles, soit par des situations de crues exceptionnellement abondantes. La morphologie de la vallée alluviale explique que ces crues provoquent des inondations. Les inondations, « qui menacent une partie de plus en plus importante de la population de notre planète, tout particulièrement les plus pauvres, les plus vulnérables » (**Garnier et al., 2011**), sont l'aléa naturel le plus fréquent.

Les inondations peuvent être l'un des facteurs limitant le développement des capacités de la société humaine, en particulier dans les pays pauvres et en développement où la capacité d'alerte et l'expérience de gestion du risque sont encore limitées. De plus, la pression économique et démographique ainsi qu'une surexploitation inappropriée des ressources naturelles et le changement climatique peuvent aggraver l'amplitude et la fréquence des inondations.

Ce chapitre expliquera et présentera certaines généralités et définitions que l'on retient des concepts fondamentaux liés aux crues et inondations.

I.1. Définitions

Quelques définitions de base doivent être exposées.

I.1.1. Bassin versant

Le bassin versant correspond à l'ensemble d'un territoire drainé par un cours d'eau principal et ses affluents.

Les limites d'un bassin versant, soit la ligne de partage des eaux, sont déterminées par la direction de l'écoulement des eaux à partir du plus haut sommet. [1]

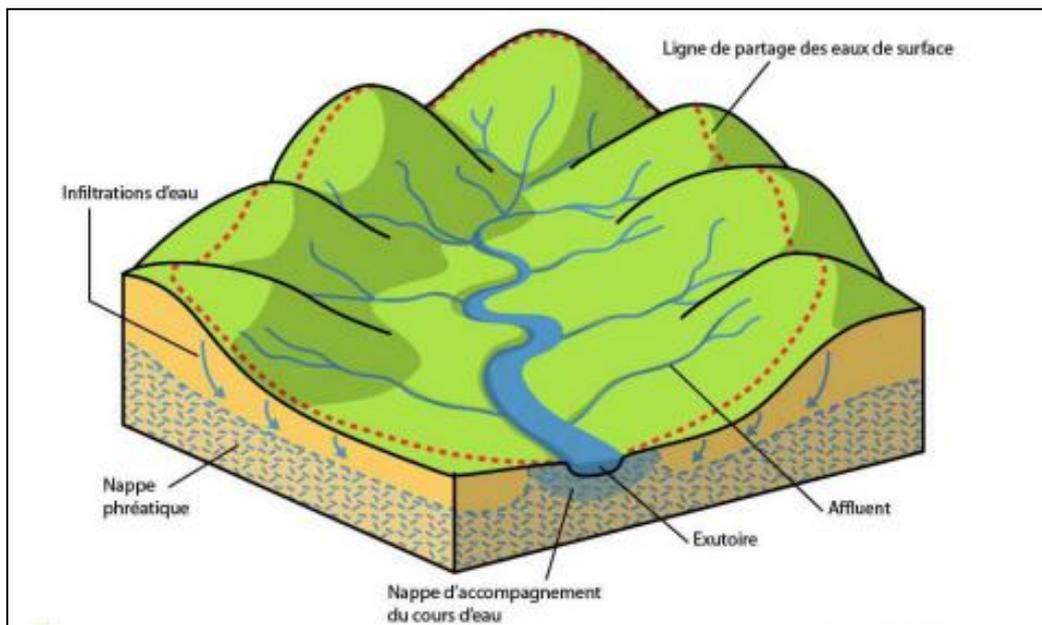


Figure I.1. Représentation du bassin versant.

I.1.2. Cours d'eau

Les cours d'eau sont des milieux dynamiques évoluant perpétuellement en fonction des caractéristiques physiques et saisonnières. La qualité de vie d'un cours d'eau dépend de nombreux facteurs tels que la vitesse du courant, la sinuosité, le débit, la qualité de la ripisylve et le taux d'oxygène dissout.

Ces facteurs peuvent être dégradés ou modifiés, c'est pourquoi les cours d'eau doivent être entretenus ou aménagés afin de maintenir leurs différentes fonctionnalités liées à différents usages. [1]

I.1.3. Morphologie d'un cours d'eau

La morphologie des cours d'eau correspond à la forme qu'ils adoptent en fonction des conditions climatiques et géologiques (nature du sol, débit, pente, granulométrie du fond, etc.). Leur aspect évolue ainsi d'amont en aval mais également de façon transversale : on parle alors de faciès d'écoulement. [1]

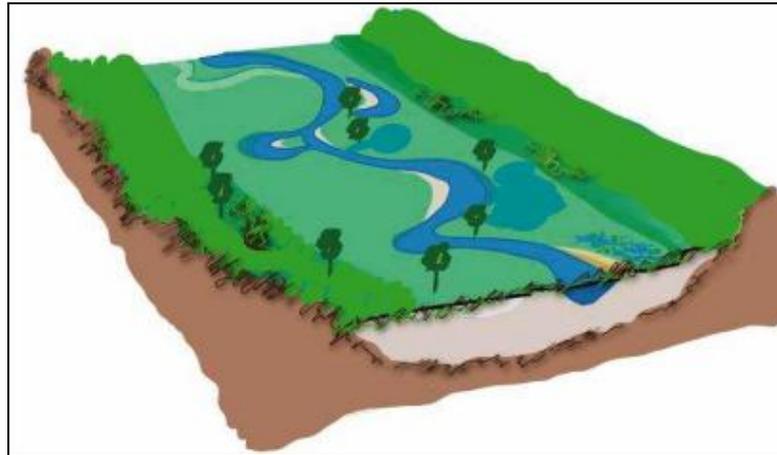


Figure I.2. Exemple d'une morphologie d'un cours d'eau.

I.1.4. Ripisylve

La ripisylve est l'ensemble des formations boisées, buissonnantes et herbacées présentes sur les rives d'un cours d'eau, d'une rivière ou d'un fleuve.

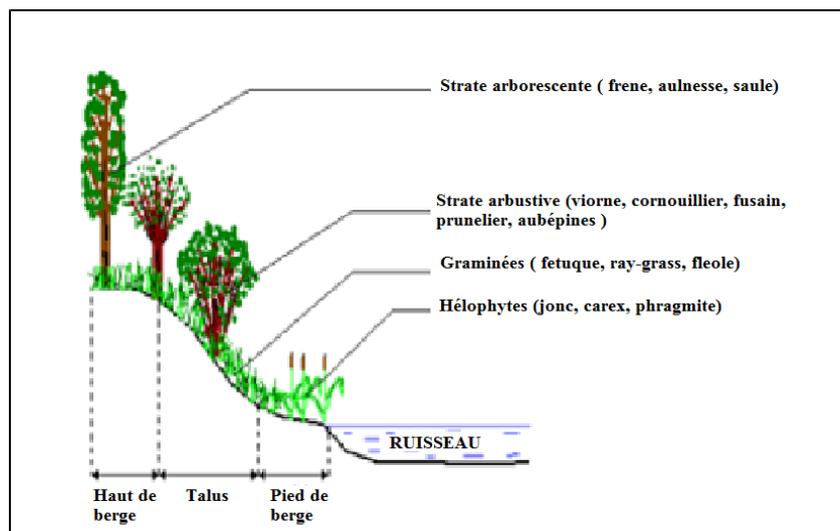


Figure I.3. Exemple d'une ripisylve.

I.1.5. Torrent et rivière torrentielle

Cours d'eau de montagne caractérisé par une forte pente ($> 6\%$) et un écoulement parfois épisodique, souvent tumultueux et caractérisé par un transport solide souvent abondant.

La rivière torrentielle, quant à elle, est de pente moyenne comprise entre 1,5 et 6 % elle n'atteint jamais un profil d'équilibre et est sujette à des crues subites. [1]



Figure I.4. Structure morphologique d'un cours d'eau torrentiel. (Source : AZI)

I.2. Crues et inondations

I.2.1. Différence entre crue et inondation

Il faut bien distinguer crue et inondation. La crue désigne une période de fort débit d'un fleuve ou d'une rivière. Il peut y en avoir plusieurs au cours de l'année, en fait chaque fois que se produit un épisode de pluie ou d'orage intense. On peut parler par exemple de la crue annuelle, qui est le débit le plus élevé observé pour une année donnée. Pour qu'il y ait inondations, il faut que le débit de crue dépasse un seuil donné, au-delà duquel la rivière sort de son « lit mineur », c'est-à-dire son tracé normal, puis déborde dans son lit dit « majeur ». Dès lors, le cours d'eau s'élargit dans la plaine, en général alluviale, formée précisément par le dépôt d'alluvions lors des crues précédentes. Ce sont des phénomènes naturels, qui façonnent l'environnement, avec lesquels les écosystèmes naturels sont en parfait équilibre. [2]

I.2.2. Processus de formation des crues

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

- Eau mobilisable, constituée de l'eau reçue par le bassin versant ;
- Ruissellement, qui correspond à la part de l'eau qui n'a pu s'infiltrer dans le sol. Il dépend de la nature du sol, de son occupation de surface et de l'intensité de l'épisode pluvieux ;
- Temps de concentration, qui est défini par la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau partant du point le plus éloigné de l'exutoire du bassin versant parvienne jusqu'à celui-ci ;
- Propagation de l'onde de crue, qui est fonction de la structure du lit et de la vallée alluviale, notamment de la pente et des caractéristiques du champ d'inondation. [3]

I.2.3. Les délimitations des espaces concernés par les différents types de crues

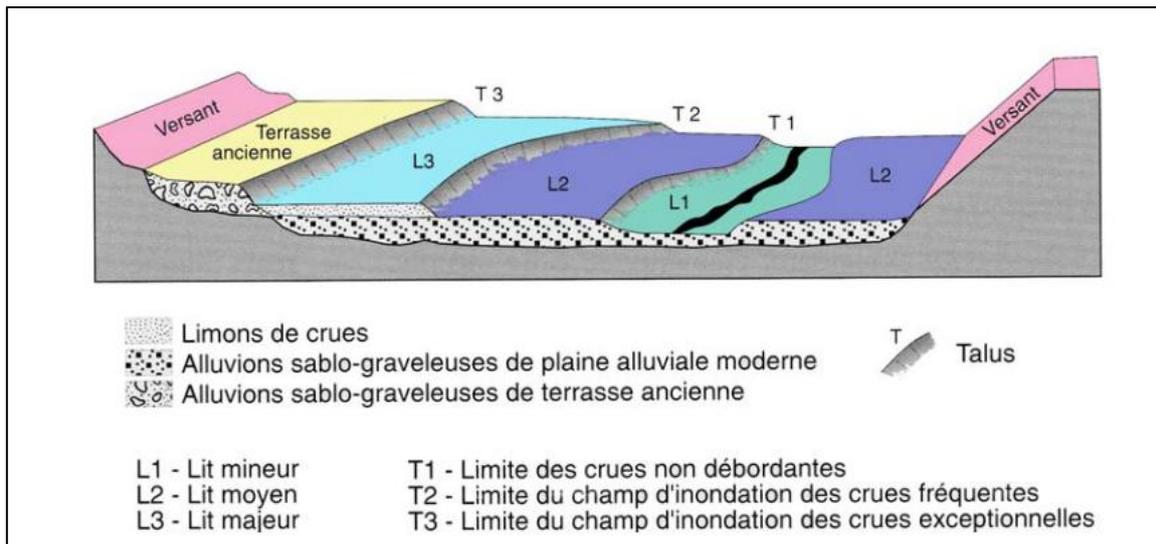


Figure 1.5. Organisation de la plaine alluviale fonctionnelle.

I.2.3.1. Lit mineur

Incluant le lit d'étiage est le lit des crues très fréquentes (annuelles). Il correspond au lit intra-berges et aux secteurs d'alluvionnement immédiats (plages de galets). Il apparaît, sur le support cartographique, sous forme de polygones sans trame lorsque ce dernier est assez large. Si ce lit devient étroit et difficilement représentable dans le SIG, il se transforme en poly ligne bleu marine. [4]

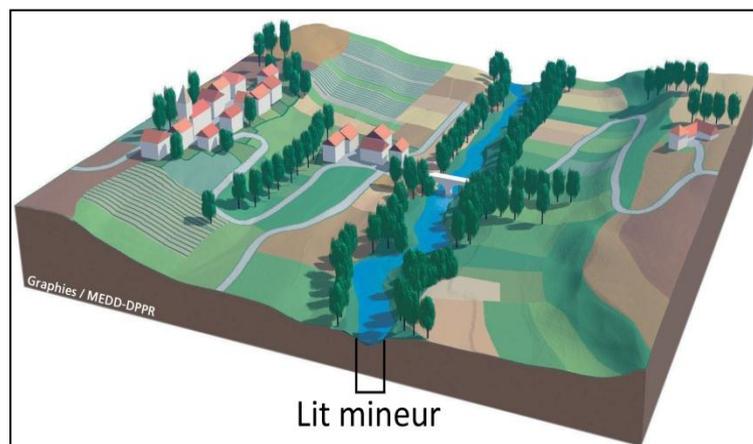


Figure 1.6. Délimitation du lit mineur.

I.2.3.2. Lit moyen

Représenté en bleu foncé qui accueille les crues fréquentes (en principe, les crues de période de retour comprise entre 2 et 10 ans). Dans ce lit, les vitesses d'écoulement et les transferts de charge solide sont importants et induisent une dynamique morphogénique complexe. Ces berges sont souvent remaniées par les crues qui s'y développent. Lorsque

l'espacement des crues le permet, une végétation de ripisylve se développe dessus. Dans notre secteur, ce lit n'est que très peu représenté compte tenu du système de fonctionnement et de la taille des cours d'eau. Il est déterminé plus par la fréquence de débordement que par les caractéristiques morphologiques décrites ci-dessus. [4]



Figure 1.7. Délimitation du lit moyen.

I.2.3.3. Lit majeur

Représenté en bleu clair qui est fonctionnel pour les crues rares à exceptionnelles. Il présente un modelé plus plat et est emboîté dans des terrains formant l'encaissant. Les hauteurs d'eau et les vitesses plus faibles que dans le lit moyen favorisent les processus de décantation. Ces dépôts de sédiments fins rendent ces terrains très attractifs pour les cultures. Toutefois les dynamiques affectant ce lit peuvent être soutenues : les lames d'eau et les vitesses sont parfois importantes de par la topographie et les caractéristiques dynamiques de certains secteurs. [4]

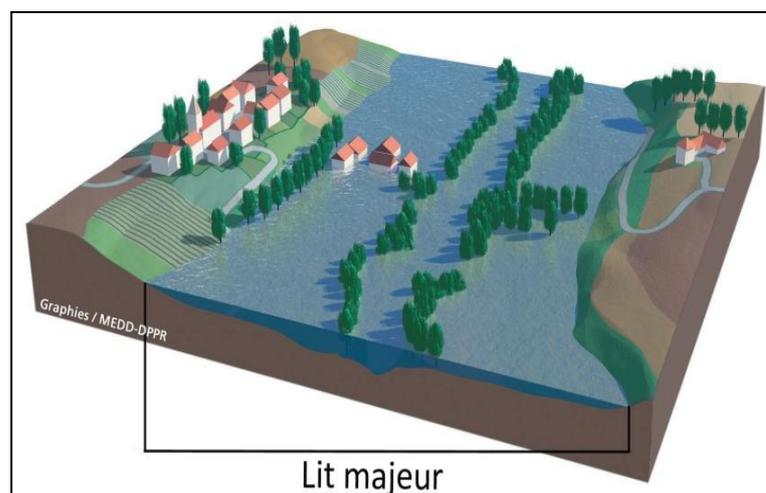


Figure 1.8. Délimitation du lit majeur.

Tableau.I.1. Correspondances théoriques entre les différentes crues et les unités géomorphologiques concernées [DIREN PACA]. (Source : DGUHC)

Expression	Période de retour	Unités géomorphologiques concernées théoriquement
Crue fréquente	Inférieure à 2 ans	Lit mineur.
Crue moyennement fréquente	Entre 2 et 10 ans	Lit mineur et moyen.
Crue rare	Entre 10 et 100 ans	Lit mineur et moyen. Lit majeur, parfois lit majeur exceptionnel.
Crue exceptionnelle	Supérieure à 100 ans	Lit mineur et moyen. Lit majeur, lit majeur exceptionnel. Dans certains cas, terrasses.

I.2.4. Types d'inondations

Il existe plusieurs types d'inondations, dont :

I.2.4.1. Inondations de plaine

Elles se produisent lorsque la rivière sort lentement de son lit mineur et inonde la plaine pendant une période relativement longue. La rivière occupe son lit moyen et éventuellement son lit majeur. [5]



Figure .I.9. Inondation de plaine sur le Rhône en 2003.

I.2.4.2. Inondation par crues torrentielles

Lorsque des précipitations intenses, telles des averses violentes, tombent sur tout un bassin versant, les eaux ruissellent et se concentrent rapidement dans le cours d'eau, engendrant des crues torrentielles brutales et violentes. Elles se produisent sur une période inférieure à 12 h, ce qui rend la prévention très difficile.

Le cours d'eau transporte de grandes quantités de sédiments et de flottants (bois morts, etc.), ce qui se traduit par une forte érosion du lit et un dépôt des matières transportées. [6]



Figura I.10. Inondation à montée rapide sur les Gardons et le Vidourle en 2002.

I.2.4.3. Inondation par ruissellement pluvial

L'imperméabilisation du sol due aux aménagements (bâtiments, routes, parkings...) limitent l'infiltration des précipitations dans le sol et accentuent le ruissellement. Ceci occasionne souvent la saturation et le refoulement du réseau d'assainissement des eaux pluviales. Il en résulte des écoulements plus ou moins importants et souvent rapides dans les rues. Lorsque ce dernier se produit en milieu urbain on appelle ça le ruissellement urbain.



Figure I.11. Inondation par ruissellement à Nîmes en 1988.

I.2.4.4. Inondation par submersion marine

Cette inondation concerne le niveau de la mer qui, lors de conditions météorologiques extrêmes (associant dépressions atmosphériques, vents violents, fortes houles, phénomènes marégraphiques et tempêtes) s'élève considérablement et inonde les zones côtières. Cette inondation peut aussi être déclenchée par des séismes sous-marins qui peuvent entraîner un tsunami selon la magnitude.



Figure I.12. Inondation marine à Montpellier en 1970.

I.2.4.5. Inondation par remontée de nappes

Après la pluie, une partie de l'eau s'infiltré jusqu'à finir dans les nappes phréatiques. Ces dernières sont des masses d'eau contenues dans les vides et fissures du sol. La pluie recharge donc la nappe. Au cours de l'année, les variations du niveau de l'eau sont appelées battements de nappe. En automne, la nappe atteint un niveau faible. C'est l'étiage. L'accumulation des pluies fait augmenter le niveau de l'eau. Lors de très fortes perturbations, l'eau ressortit à la surface de la terre à cause d'un trop plein d'eau. C'est l'inondation par remontée de nappe.

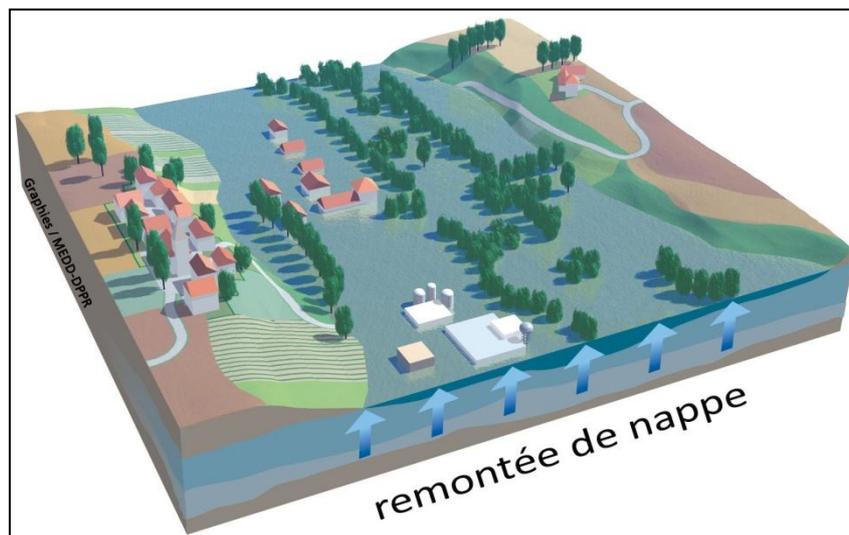


Figure I.13. Procédés de remontée de la nappe.

I.2.4.6. Inondation par rupture d'embâcle

Après de fortes pluies hivernales, des branchages s'accumulent dans les cours d'eau aux endroits les plus étroits.

Puis, lors d'un gros orage estival, de petits branchages viennent «boucher» les ouvertures restantes, dès lors, un petit barrage naturel est créé retenant l'eau. Lorsque le barrage cède, une inondation peut être déclenchée. La grande quantité d'eau retenue est dévastatrice car imprévisible.



Figure I.14. Embâcle formé dans un cours d'eau.

I.2.4.7. Inondation par rupture d'une protection

L'inondation suivant la 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.

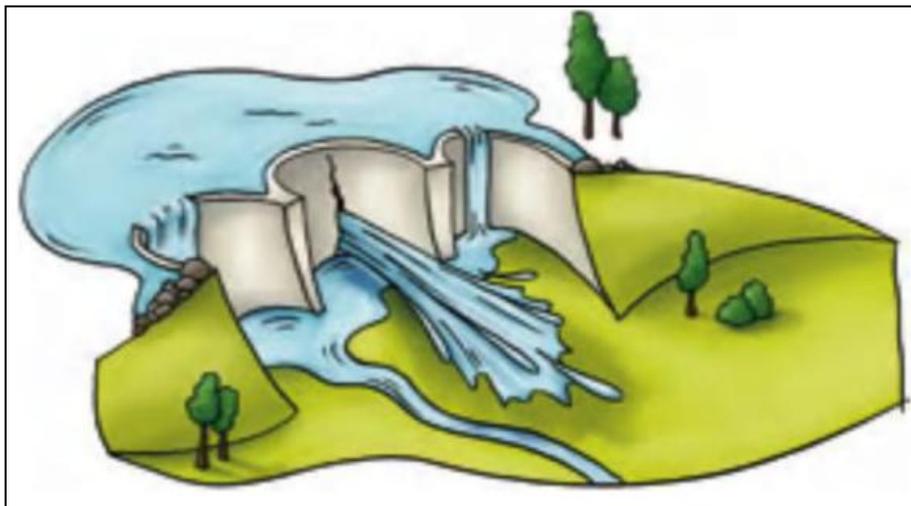


Figure I.15. Inondation par rupture d'une protection.

I.2.5. Influence des facteurs naturels

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

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

À ces paramètres s'ajoutent des facteurs naturels aggravants, comme la formation et la rupture d'embâcles ou la fonte des neiges. Concernant la fonte des neiges, il est rare que des crues importantes soient provoquées uniquement par ce phénomène, même s'il demeure un facteur aggravant.

Les matériaux flottants transportés par le courant peuvent en effet s'accumuler en amont des passages étroits. La rupture éventuelle de ces embâcles provoque une onde puissante et destructrice en aval. [3]

I.3. Alea, enjeu, risque et vulnérabilité

I.3.1. Définitions

I.3.1.1. Alea

Manifestation d'un phénomène, naturel ou résultant de l'activité de l'homme, potentiellement dangereux et destructeur. [7]

I.3.1.2. Enjeu

Ensemble des personnes, des biens et des services susceptibles d'être affectés par le phénomène. L'impact de l'aléa sur les enjeux dépend de leur importance (nombre, nature, etc.) et de leur vulnérabilité. [7]

I.3.1.3. Risque

Un risque est le produit d'un aléa et d'un enjeu. On considère que le risque existe dès qu'un aléa pourrait se manifester dans une zone où des enjeux humains, économiques ou environnementaux sont en présence. Sans conséquences, un aléa n'est donc pas un risque. La gravité du risque est proportionnelle à la vulnérabilité des enjeux. [7]

I.3.1.4. Vulnérabilité

Exprime et mesure le niveau de conséquence prévisible de l'aléa sur les enjeux. Elle caractérise la plus ou moins grande résistance d'un enjeu. [7]

I.3.2. Paramètres principaux

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

a. Période de retour de crues

On associe souvent à la notion de crue, la notion de période de retour (crue décennale, centennale, millennale, etc.): Plus cette période est grande, plus les débits et l'intensité sont importants. On distingue par ordre croissant

- Les crues fréquentes, dont la période de retour est comprise entre un et deux ans ;
- Les crues moyennes, dont la période de retour est comprise entre dix et vingt ans ;
- Les crues exceptionnelles, dont la période de retour est de l'ordre de cent ans ;
- La crue maximale vraisemblable, qui occupe l'intégralité du lit majeur.

Les événements les plus souvent représentés sur la carte d'aléa sont la crue décennale (Q_{10}) et la crue centennale (Q_{100}).

L'aléa de référence servant de base à l'élaboration des documents réglementaires correspond à l'événement centennal ou au plus fort événement connu, s'il présente une fréquence supérieure à cent ans.

b. Hauteur et durée de submersion

La hauteur de submersion peut avoir un impact important sur le bâti, notamment lorsqu'elle dépasse la cote de référence. La structure porteuse de l'habitation peut être endommagée et les sols et murs gorgés d'eau. Lorsque la durée de submersion est importante (supérieure à 24 h voire 48 h), des problèmes sanitaires peuvent survenir, l'eau étant souvent sale, contaminée par les égouts ou parfois le mazout échappé des cuves.

Pour l'homme, on considère généralement que des hauteurs d'eau supérieures à 50 cm sont dangereuses. À titre d'exemple, une voiture commence à flotter à partir de 30 cm d'eau.

Tableau I.2. Qualification de l'aléa en fonction de la hauteur d'eau et type de crue. (Source : DGUHC)

Hauteur d'eau (m)	Crue lente	Crue semi rapide	Crue torrentielle
$H < 0.5$	Modéré	Modéré	Modéré (en fonction des vitesses) - Fort
$0.5 < H < 1$	Modéré	Fort	Fort
$H > 1$	Fort	Fort	Fort

c. Vitesse du courant

La vitesse d'écoulement est conditionnée par la pente du lit et sa rugosité. Elle peut atteindre plusieurs mètres par seconde. La dangerosité de l'écoulement dépend du couple hauteur / vitesse.

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

Tableau .I.3. Degré de danger des crues en fonction de la vitesse du courant. (Source : DGUHC)

	Faible	Moyenne	Forte = dangereuse			
Vitesse en m/s	0.2	0.25	0.5	1	1.25	1.5
Vitesse en Km/h	0.72	0.9	1.8	3.6	4.5	5.4

d. Volume de matière transportée

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

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



Figure .I.16. Procédés du transport solide.

I.4. Conséquences

I.4.1. Atteintes aux hommes, aux biens et aux activités

La vulnérabilité de la population est provoquée en particulier par sa localisation en zone inondable. Sa mise en danger survient surtout lorsque les délais d'alerte et d'évacuation sont trop courts ou inexistant, lors des crues rapides ou torrentielles.

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

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

I.4.2. Atteintes à l'environnement

Les dégâts au milieu naturel sont dus à l'érosion, aux déplacements du lit ordinaire, aux dépôts de matériaux, etc. Les phénomènes d'érosion, de charriage, de suspension de matériaux et d'alluvionnement participent à l'évolution du milieu naturel dans ces aspects positifs comme négatifs.

Pour les zones industrielles situées en zone inondable, un risque de pollution et d'accident technologique est à prendre en compte. [3]

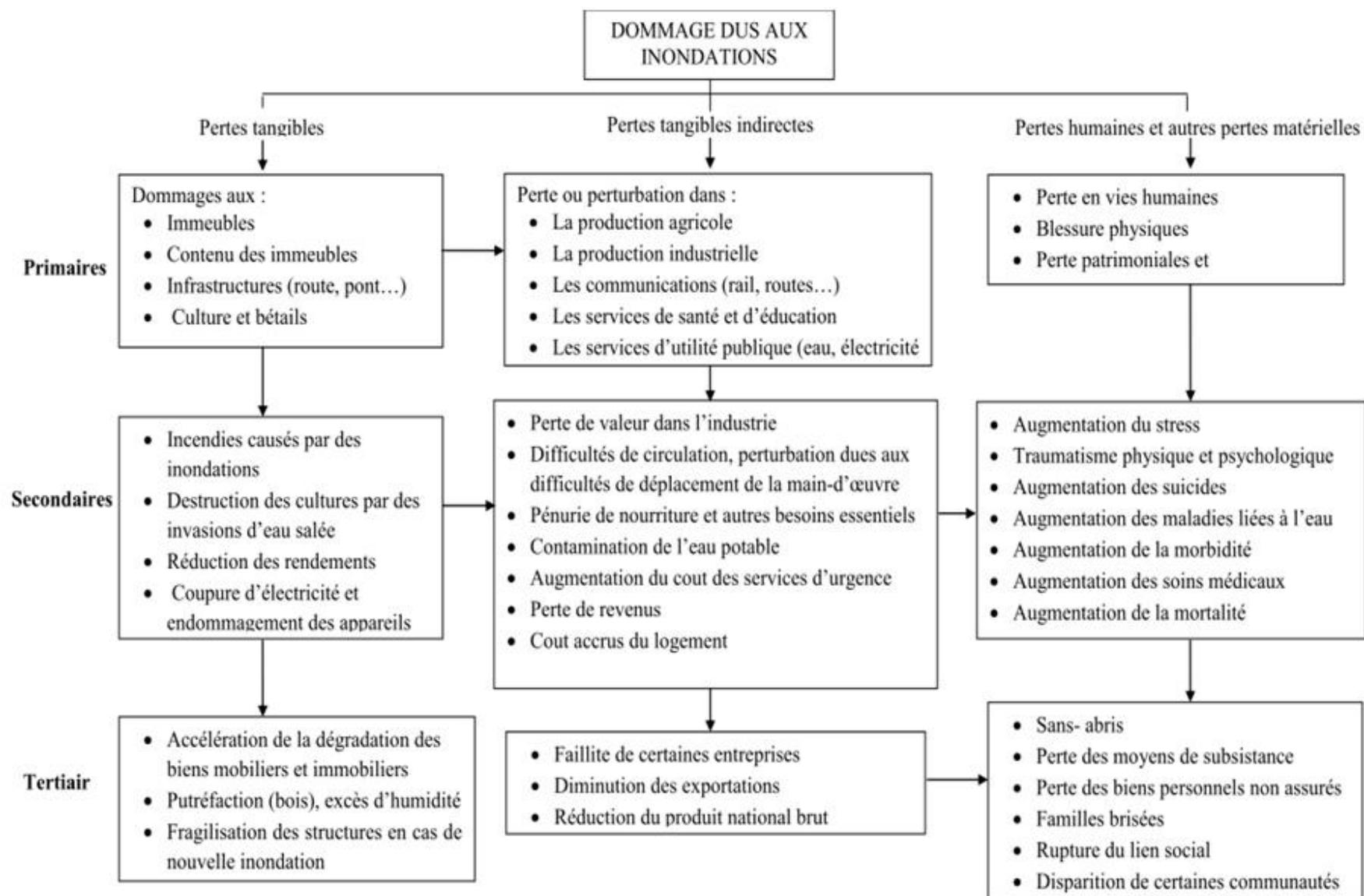


Figure I.17. Impacts des inondations. [8]

I.5. Inondations en Algérie

Comme beaucoup d'autres pays du monde, l'Algérie a connu plusieurs inondations dévastatrices. Si par le passé, ces inondations étaient surtout connues suite aux débordements des grands cours d'eau dans les grandes plaines agricoles, depuis une vingtaine d'années, elles ont surtout touché les grandes villes et centres urbains (Alger 2001, 2007 ; Bejaia 2012), où elles ont engendré de nombreuses pertes en vies humaines et des dégâts matériels considérables. L'examen des événements catastrophiques 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. [9]

On peut rappeler, à titre d'exemple, les crues de Bab El Oued de novembre 2001, une inondation qui a fait près de 800 victimes; ou celles de l'automne 2008, qui ont fait de dizaines de victimes notamment à Ghardaïa, Aïn Defla, Batna et Bechar, ou encore celles de 2012 qui ont touché le nord-est et le nord-ouest de l'Algérie. [9]

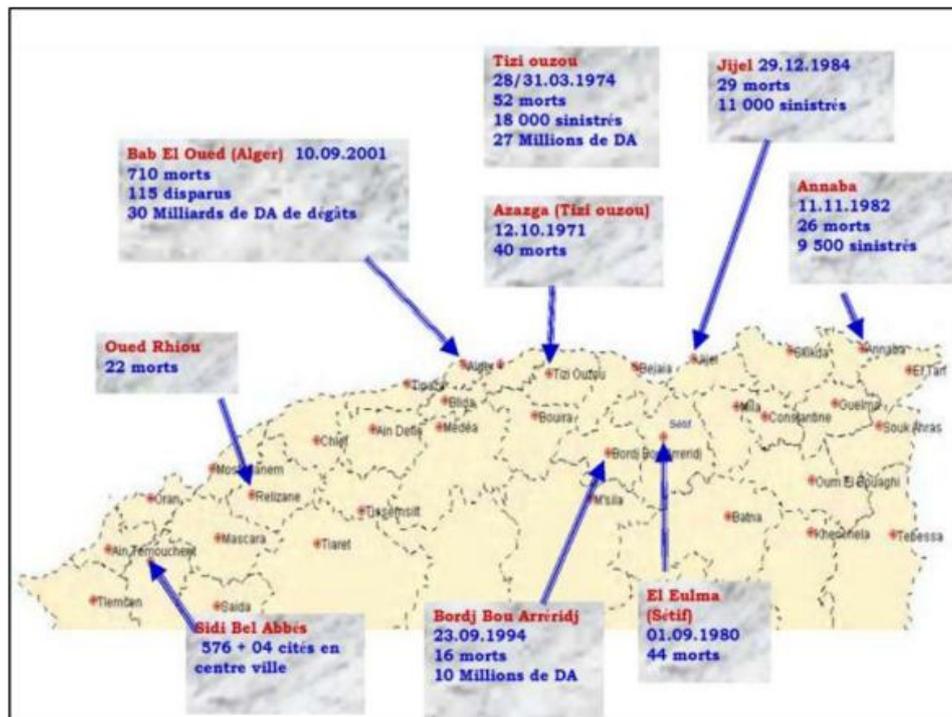


Figure I.18. Inondations en Algérie.

Après ces inondations meurtrières, de nombreux ouvrages de protection ont été réalisés et récemment, le Ministère des Ressources en Eau a lancé des études pour faire un inventaire des zones inondables, étudier l'intensité des phénomènes, calculer des paramètres explicatifs des causes et de leurs conséquences et faire une cartographie des zones à très haut risque. [9]

D'après le recensement effectué par les services de la protection civile, une commune sur trois est susceptible d'être inondée partiellement ou en totalité.

On présente dans ce qui suit par ordre chronologique, un bref aperçu des inondations survenues en Algérie au cours des trente dernières années.

➤ 05 juillet 1987

Pluies orageuses très violentes à Batna (pluie journalière de 57 mm).

Dégâts :

- 05 morts et des dizaines de famille sinistrées ;
- Dégât évalué à 175 millions de centime.

➤ 01 Septembre 1989

Fortes chutes de pluies orageuses à la wilaya de BISKRA accompagnées de grêles et d'un vent d'une rare violence provoquant le débordement des oueds El Arab, El Mellah et El Kheddra.

Dégâts :

- 02 morts et 35 blessés ;
- 400 palmiers, des serres et des cultures de maraichages détruites.

➤ 03 Juin 1991

Orage local et très violent à Ghardaia (80 mm en 03 h)

Dégâts :

- 09 morts et des pertes importantes en cheptel et des palmiers ;
- Destruction partielle de la digue d'El-Atteuf ;
- Ponts, chaussée et réseaux d'assainissements avoisinant oued Mzab dégradé.

➤ 26 - 27 Janvier 1992

Fortes pluies généralisées du 24 au 28 janvier 1992 sur plusieurs régions du centre du pays engendrant des inondations catastrophiques aux wilayas: Alger, Blida, Tipaza, Chlef, Ain Defla, Medea...

Dégâts :

- 10 morts et un nombre important de blessé ;
- 637 familles sinistrées (361 à Alger, 106 à Tipaza, 87 à Medea, 36 à Ain Defla et 23 à Chlef) ;
- Dégâts importants aux infrastructures routières et aux exploitations agricoles.

➤ 20 Octobre 1993

Pluies orageuses intenses à la ville d'Oued Rhiou causant crues violentes d'Oued Grigra, petit cours d'eau situé en amont de la ville d'Oued Rhiou.

Dégâts :

- 22 morts, 20 blessés et plusieurs disparus ;
- Des dizaines de familles sinistrées et d'importants dégâts matériels.

➤ 29 Septembre au 02 Octobre 1994

Inondations catastrophiques dans plusieurs régions du pays (Ghardaia, Laghouat, Biskra, Mascara, Tissemsilt, Sidi Bel Abbés).

Dégâts :

- Biskra : 08 morts 22 familles sinistrées et routes endommagé ;
- Mascara : 02 morts et implorants dégâts matériels ;
- Tissemsilt : 09 morts ;
- Sidi Bel Abbès : 02 morts ;
- Ghardaia : dégâts matérielles évalués à 270 millions DA ;
- Laghouat : dégâts matérielles évalués à 05 millions DA dans le secteur de l'hydraulique.

➤ 06 Février 1996

Forte pluie dans la Daira d'El Khemis à Ain Defla (81 mm en 17h35 mn) provoquant ses débordement catastrophiques des cours d'eaux menant du massif Zaccar vers l'oued Cheliff.

Dégâts :

- 158 familles sinistrées et implorants dégâts matériels.

➤ 14 Octobre 2000

Fortes pluies (56 mm en l'espace de 04 h) dans la wilaya d'Ain Timouchent et crues catastrophiques de l'oued El Maleh.

Dégâts :

- 04 morts et plusieurs disparues ;
- Plusieurs habitations démolies et immenses dégâts matériels.

➤ 10 et 11 novembre 2001

Des inondations catastrophiques à Bab El Oued (Alger)

Dégâts :

- 733 victimes, 30 000 personnes sans-abris et d'importants dégâts matériels.

➤ 6/7 Décembre 2002

Inondations à Béjaïa :

- 3 morts.
- 200 familles sinistrées.
- RN 9, 12 et 26 menant à Béjaïa, totalement coupées à la circulation pendant la journée du 7.
- Piste de l'aérodrome submergée.
- La digue édifiée à l'intérieur du barrage de Tichi-Haf, à Bouhamza a fini par céder, ce qui causera un arrêt de travail de plusieurs mois.

➤ 3/4/5 Avril 2003

187 mm de pluviosité à la ville de Béjaïa :

- 45 milliards de centimes de dégâts ;
- Dommages occasionnées au niveau de l'aéroport Abane Ramdane qui a nécessité 5 jours de fermeture pour travaux ;
- Détériorations au niveau des réseaux routiers, d'AEP et de gaz de la ville ;
- Le gazoduc reliant Hassi Messaoud à Bejaïa a été endommagé par les flots de l'Oued Soummam à Ouzellaguène ;
- Forages colmatés et puits remplis de boues ;
- Poulailers détruits et pertes de bétails.

➤ 1 Octobre 2008

Des pluies diluviennes s'étaient abattues sur la région de Ghardaïa, à 500 km au sud d'Alger faisant dangereusement monter les cours d'eau.

Dégâts :

- 33 morts et 84 blessés en plus de 600 maisons détruites.

➤ Novembre 2014

Inondations à plusieurs wilayas du pays (Bechar, Khenchela, Bordj Baji Mokhtar).

Dégâts :

- 10 morts et plusieurs blessés et des dégâts considérables.

➤ 24 août 2015

Inondations catastrophiques à Constantine et El-Khroub.

Dégâts :

- 12 morts 50 familles sinistrées ;
- 200 habitations détruites. [10]

I.6. Méthodes d'aménagement des cours d'eau

Les cours d'eau sont des milieux dynamiques évoluant perpétuellement en fonction des caractéristiques physiques et saisonnières. La qualité de vie d'un cours d'eau dépend de nombreux facteurs tels que la vitesse du courant, la sinuosité du lit, le débit, la qualité de la ripisylve, le taux d'oxygène dissous....

Ces facteurs peuvent être dégradés ou modifiés, c'est pourquoi les cours d'eau doivent être entretenus ou aménagés afin de maintenir leurs différentes fonctionnalités pour différents usages, et de restaurer leur bon état écologique.

Sans intervention de l'Homme, la richesse des cours d'eau disparaît. En effet, les lits des cours d'eau s'encombrent de divers détritiques et les berges sont envahies par la végétation. L'envasement prend alors le dessus, les capacités d'écoulement sont réduites et les risques d'inondation augmentent. La qualité écologique diminue, les cours d'eau sont alors moins diversifiés en termes d'espèces (animales et végétales).

Les objectifs et les techniques d'aménagement des cours d'eau ont évolué en relation avec l'intérêt que l'homme attache à certaines des fonctions de la rivière pour l'exploiter ou la protéger. [11]

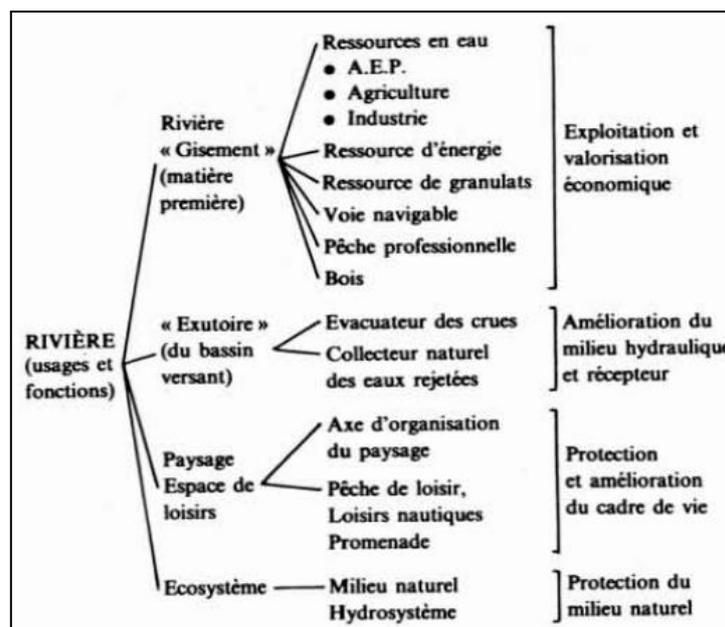


Figure I.19. Rôles de la rivière et objectifs d'aménagements. [12]

I.6.1. Recalibrage

Il s'agit d'un élargissement et d'un approfondissement du cours d'eau. Les berges sont totalement découpées et re-profilées, en général à 45° minimum. Les écoulements se font alors dans le fond d'un « fossé anti-char », de manière linéaire sans que la moindre diversité d'habitat ne puisse se recréer. Ainsi transformés, les cours d'eau font alors également office d'exutoire pour les collecteurs de drains, et accélèrent les écoulements, pouvant provoquer, dans les régions où ces dispositifs sont nombreux, des inondations à l'aval lors des épisodes de pluie importants.



Figure I.20. Rectification, recalibrage et drainage sur le ruisseau de l'étang à Availles Limouzine.
(source : Michel Bramard,(86))

I.6.2. Rectification

L'action consiste à supprimer les méandres du cours d'eau, de manière à obtenir un tracé rectiligne. Cela permet de raccourcir la rivière, et donc, d'augmenter sa pente, ce qui accélère l'écoulement donc diminuer l'emprise de la rivière sur le foncier. La rectification est la plupart du temps accompagnée d'un recalibrage.

Un rescindements est enfin pratiqué pour améliorer la navigabilité des grands cours d'eau. Notons que le rescindement/rectification d'un cours d'eau a souvent été couplé à d'autres interventions telles que le surcalibrage du nouveau lit et la protection des berges contre l'érosion.



Figure I.21. Rectification et recalibrage à Servon 1986. (source : Michel Bramard,(86))

I.6.3. Enrochements

Rochers mis en place au niveau de la berge pour stabiliser celle-ci. Les rochers, souvent des blocs de granite bleus ou gris, voire rouges, sont alors posés voire enfoncés dans la berge pour éviter que celle-ci ne s'érode. [13]



Figure I.22. Enrochement et recalibrage sur le Dhuy à Sandillon.

I.6.4. Dragage

Approfondissement du lit mineur par prélèvement de ses matériaux. Selon les techniques utilisées, les sédiments en suspension lors de cette opération sont plus ou moins nombreux, perturbant la quantité de lumière, remettant en suspension les différents polluants qui étaient piégés dans les sédiments, supprimant la végétation, dénaturant le substrat du fond du lit.

Creuser le lit mineur c'est dans tous les cas, augmenter la pente et donc accélérer le courant et l'enfoncement du lit d'un cours d'eau abaisse le niveau de sa nappe d'accompagnement.

I.6.5. Couverture de cours d'eau

Chenalisation poussée à l'extrême, notamment en milieu urbain ou périurbain, avec la couverture ou la mise sous tuyau complète du cours d'eau sur des linéaires pouvant être très importants. Ces actions ont occasionnellement été conduites en milieu rural dans le but de gagner des terrains agricoles et de favoriser l'intensification de l'agriculture. Les cours d'eau touchés par ce type d'intervention ont donc complètement disparu des cartes... et de la surface de la Terre.

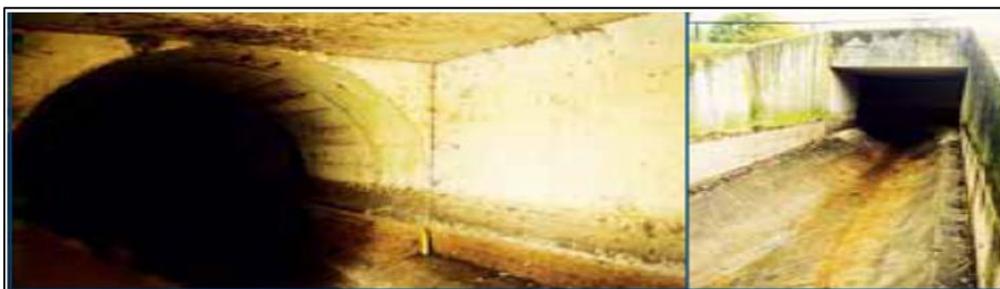


Figure I.23. Couverture complète d'un cours d'eau. Rigole de Guyancourt dans le département des Yvelines.

I.6.7. Déplacement de cours d'eau

Un certain nombre de cours d'eau ont été volontairement déplacés de leur position initiale naturelle vers l'un ou l'autre côté du fond de vallée. Ces déplacements sont souvent très anciens (plusieurs siècles).

L'objectif était principalement de gagner des terres cultivables ou d'améliorer leur exploitabilité en libérant une partie des espaces agricoles de la présence d'un cours d'eau. Ce type d'intervention reste toutefois limité aux petits et moyens cours d'eau (jusqu'à une dizaine de mètres de largeur environ).

Notons que le déplacement d'un cours d'eau a souvent été couplé à d'autres interventions telles que :

- la rectification et le recalibrage du nouveau lit mineur ;
- la protection des berges contre l'érosion ;
- la suppression de la ripisylve (systématique sur au moins l'une des deux berges) ;
- l'endiguement.



Figure I.24. Déplacement complet de cours d'eau : l'Armance. (Source : Geoportail).

I.6.8. Protection des berges ou endiguement

Le principe de l'endiguement est simple : on érige le long du cours d'eau, dans la zone où se situent les enjeux à protéger, des structures linéaires plus ou moins sophistiquées (du simple remblai de terre ou de graviers issus de curages jusqu'à des constructions de génie civil de plusieurs mètres de haut). L'endiguement peut être uni- ou bilatéral, large ou étroit, de faible ou de forte hauteur selon les sites, les enjeux, les moyens techniques et financiers des collectivités.



Figure I.25. Travaux de protections des berges d'un cours d'eau.

I.6.10. Seuils / ouvrages transversaux

La plupart des cours d'eau sont parsemés de nombreux seuils (hauteur de chute inférieure à 5 m) résultant d'anciens usages énergétiques (forges, moulins) ou agricoles (irrigation). Ces ouvrages n'ont pour la plupart plus de vocation économique active. Ils génèrent par contre des impacts importants sur les caractéristiques abiotiques (hydromorphologie, physico-chimie de l'eau, etc.) et biologiques (entraves à la circulation des espèces, dérive typologique, etc.), des hydrosystèmes. Ils peuvent cependant, rarement, présenter des intérêts : maintien d'une lame d'eau en étiage, maintien d'un niveau de nappe pour l'alimentation en eau potable ou l'irrigation, stabilisation du fond du lit, etc.

Ce type d'action anthropique a un effet immédiat sur l'homogénéisation des faciès d'écoulement, donc des habitats aquatiques. Des dizaines de milliers de kilomètres de cours d'eau sont aujourd'hui sous l'influence directe de seuils.

Notons que les seuils sont souvent associés à d'autres interventions telles que :

- La rectification du lit mineur ;
- Le recalibrage ;
- La protection des berges contre l'érosion ;
- La suppression de la ripisylve.



Figure I.27. Exemples de seuils.

I.6.12. Etangs implantés sur un cours d'eau

Il arrive fréquemment que des étangs aient été créés directement sur un cours d'eau, notamment dans un objectif halieutique. Leur ligne d'eau a généralement été calée par un ouvrage (digue perpendiculaire à la vallée + seuil ou vannage) situé à l'extrémité aval du plan d'eau. Ce type d'intervention est donc un cas particulier et aggravé du contexte de seuil.



Figure I.28. Exemple d'étang implanté directement sur un cours d'eau : la Bièvre.

(Source : Géoportail).

I.6.13. Suppression de la ripisylve

Il est fréquent que la végétation des berges des cours d'eau soit partiellement ou intégralement supprimée lors de la réalisation de travaux de chenalisation.

Mais la suppression totale ou partielle de la ripisylve peut aussi être simplement due à des interventions plus ou moins fréquentes des riverains (notamment dans les zones agricoles) ou des organismes gestionnaires (syndicats, collectivités locales, etc.) [14]



Figure I.29. Technique du génie végétal.

Conclusion

La réduction des dommages causés par des catastrophes nécessite en premier lieu une connaissance des régions sujettes à ce risque ainsi qu'une identification des facteurs favorisant et amplifiant ces phénomènes, et pour lutter contre les dégâts, plusieurs techniques d'aménagement s'offre a nous. Le choix d'une technique se fait selon des critères morphologiques, économiques, paysagers, et environnementaux. Lors du choix de la technique, une démarche consiste à aider la nature pour protéger l'objectif, sans causer des grandes modifications sur la dynamique de la rivière afin d'éviter la destruction des caractéristiques de ce milieu vivant.

[Tapez un texte]

CHAPITRE II :

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Introduction

Quelque soit la nature du projet, l'étude du site est indispensable, pour avoir le maximum de données et pour connaître les caractéristiques du terrain de point de vue topologique, géologique, hydrogéologique, climatique, physique et les facteurs influençant sur la conception d'un projet.

II.1. Présentation générale du bassin de la Soummam

L'analyse des caractéristiques géographiques et physiques de la région d'étude constitue un premier diagnostic permettant la mise en évidence des facteurs et paramètres géographiques et physiques contribuant à la formation du ruissellement. Le bassin de l'oued Soummam constitue dans sa globalité le grand bassin de code 15 selon le découpage hydrographique de l'ANRH (figure II.1). Le bassin versant de la Soumma est formé de dix sous-bassins versants dont la plupart sont contrôlés par des stations hydrométriques.

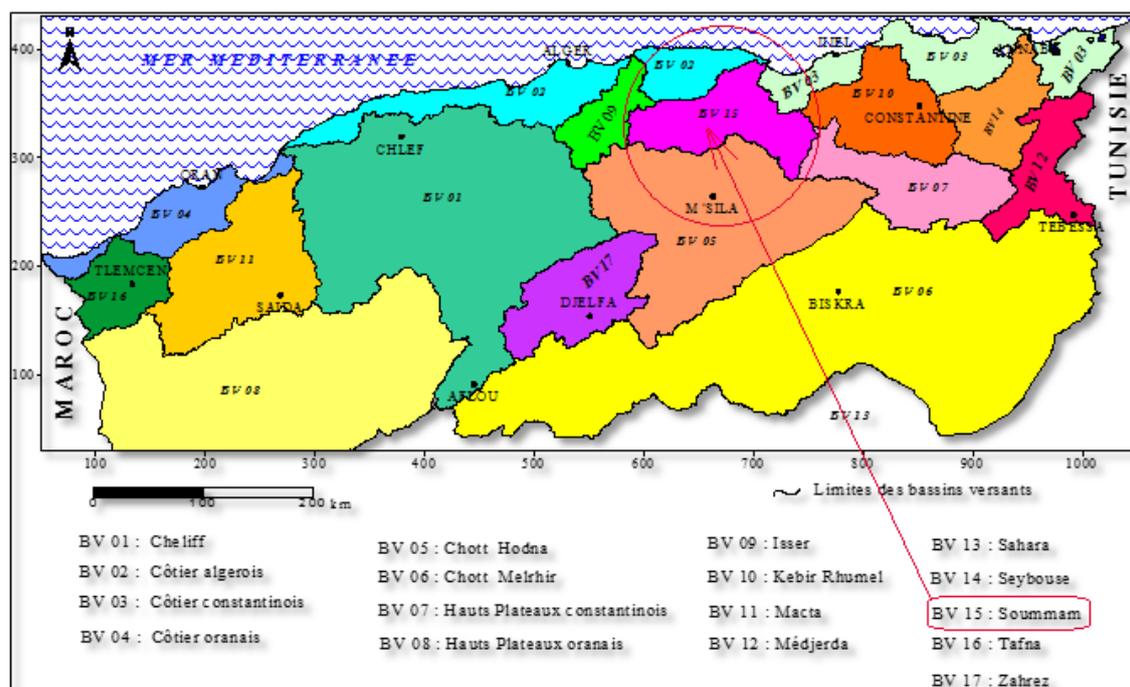


Figure II.1. Les Grands bassins versants d'Algérie. (Source : ANRH)

Il est situé au Nord-Est de l'Algérie, d'orientation générale Est-Ouest. La cuvette est limitée au Nord par le massif du Djurdjura et les chaînes côtières de Béjaia (monts de Taourirt Ighil, de Toudja et de Gouraya). A l'Ouest la limite du bassin est occupée par le plateau de Bouira. Au Sud c'est les contreforts des monts du Hodna qui ferment le bassin alors qu'à l'Est ce sont les chaînes des Babors et le plateau de Sétif.

II.1.1. Réseau de drainage et affluents

a. Réseau de drainage

La carte ci-dessous montre que le réseau de drainage du bassin versant de la Soummam est bien développé. Ce réseau peut être décomposé en thalwegs d'ordre :

- 1 : Tout cours d'eau élémentaire n'ayant pas encore reçu d'affluent,
- 2 : Formé par 2 cours d'eau d'ordre 1,
- 3 : Formé par 2 cours d'eau d'ordre 2, etc.

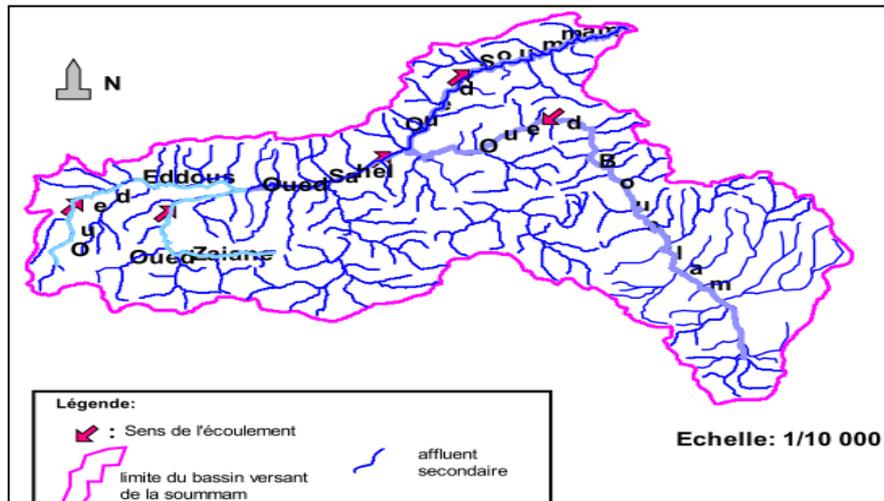


Figure II.2. Le réseau hydrographique du bassin versant de la Soummam.

Le tableau suivant fournit le linéaire cumulé d'oueds d'un ordre donné (Selon Horton et Schum) ainsi que le total :

Tableau II.1. Caractéristiques du réseau hydrographique du bassin de la Soummam.

Ordre des cours d'eau	1	2	3	4	5	6	Total
Longueur (km)	3432	1155	568	239	199	102	5 695

Il apparaît que le cours final de la Soummam est d'ordre 6.

En fait, trois sous bassins versants fondamentaux sont à distinguer (Fig II.3) :

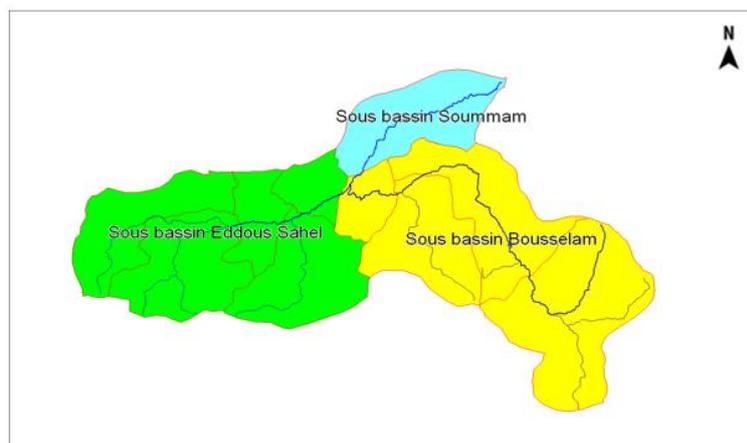


Figure II.3. Les grands sous bassins versants de la Soummam.

- Le bassin versant de l'oued Boussellam, d'une superficie de 4 309 km², intégrant son principal affluent, l'oued El Ham, d'une superficie de 930 km².
- Le bassin versant du Sahel d'une superficie totale de 3 755 km². En fait l'oued Sahel ne prend ce nom qu'à la confluence des oueds Eddous et Zaiane et il possède un affluent important, l'oued Azerou, d'une superficie de 1 084 km².
- Le bassin versant aval de la Soummam d'une superficie de 1 061 km², formé d'affluents de petite taille au régime torrentiel.

Ainsi ces trois sous bassins versants représentent, respectivement : 47.3, 41.1 et 11.6 % de la surface totale du bassin versant de la Soummam.

a. Principaux affluents

➤ **Sur la rive gauche :**

- Oued Illoula situé au Nord-Ouest et à proximité de la ville d'Akbou ;
- Oued Ighzer Amokrane situé au Nord-est et limitrophe de l'agglomération Ighzer Amokrane Mellala ;
- Oued Roumila situé à l'Est de la ville Sidi Aich ; il traverse une partie de cette ville et déverse dans oued Soummam ;
- Oued El-Kseur, vient du Nord-Ouest de la ville d'El-Kseur et traverse en partie le centre de l'agglomération d'El-Kseur pour rejoindre oued Soummam ;
- Oued Ghir est situé au Nord et traverse quelques agglomérations telles que Foukam et la Reunion puis déverse dans oued Soummam.

➤ **Sur la rive droite**

- Oued Boussellam situé au Sud-Est de la confluence avec Illoula et Sahel ;
- Oued Seddouk situé à l'Est de l'Oued Soummam et limitrophe de l'agglomération de Seddouk et se conflue avec oued Soummam aux environs de Bled Ziguemoun ;
- Oued Immoula situé au Sud-Est du Soummam et limitrophe des agglomérations de Himmel, Akabiou et Amssioun ;
- Oued Amizour.

II.2. Aperçu sur Oued Soummam

La Soummam est l'une des principales rivières du pays, elle est formée par la jonction de l'Oued Sahel avec Oued Boussellam, à une centaine de kilomètres de la mer où elle se jette aux pieds de Bejaia. Le débit de la rivière est capricieux, et son itinéraire laborieux est tout en méandres, butant tantôt sur les montagnes de la rive droite, tant sur celles de gauche.

L'espace pris par les mailles et les boucles des méandres définit la plaine de la vallée de la Soummam dont la largeur varie de quelques dizaines de mètres à un maximum de 4 km.

Les trente derniers kilomètres que parcourt la rivière avant de se jeter dans la Méditerranée se trouve justement sur la zone d'étude, lui offrant son espace agricole de prédilection.

II.3. Présentation du cadre général de l'étude :

II.3.1. La wilaya de Bejaia

La wilaya de Bejaia se situe au Nord-Est de l'Algérie. Elle est issue du découpage administratif de 1974, pour une superficie de 3 268 km² pour une population totale estimée à 912 577 habitants (Recensement 2008). Béjaia est entourée de cinq wilayas: Jijel à l'Est, Sétif et Bordj Bou Arreridj au Sud, Bouira et Tizi Ouzou à l'Ouest et la mer méditerranée au Nord. Elle est subdivisée en 52 communes regroupées elles-mêmes en 19 daïras. Sa topographie a conditionné dans une large mesure la répartition de sa population, la constitution des agglomérations et la concentration de l'activité humaine.

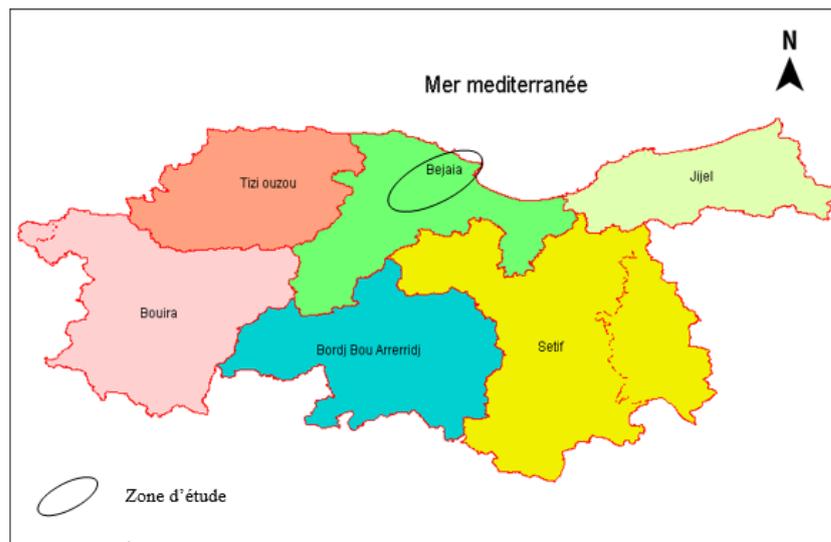


Figure II.4. Situation géographique de la wilaya de Béjaia.

II.3.2. Situation géographique

La zone d'étude proprement dite, appartenant en totalité à la wilaya de BEJAIA, est située à l'exutoire du bassin versant de la Soummam. Elle s'étale sur trois communes toutes en partie (Bejaia, Oued Ghir et Tala Hamza). Cette zone est le siège d'inondations fréquentes à cause des flots tumultueux qui proviennent de l'oued Soummam et ses affluents, particulièrement Oued Toudja.



Figure II.5. Découpage administratif de la zone d'étude.

II.3.3. Géologie, couvert végétal et polarisation

La carte géologique et la légende associée montrent la complexité géologique des terrains formant le bassin versant de la Soummam. Ces terrains sont d'origine sédimentaire (Oligocène, Crétacé, ...): calcaires, marnes, grès, dolomies, ..., et souvent plutôt imperméables ce qui, couplé à de fortes pentes, favorise le ruissellement.



Figure II.6. Carte géologique du bassin de la Soummam (Légende : voir annexe figure 2).

Le relief a aussi participé, et d'une manière prépondérante à la polarisation du territoire de la wilaya de Bejaia. Cette polarisation dont l'orientation se fait des frontières vers l'intérieur a fait de Bejaia un territoire dont les limites sont restées « nettes ». Surtout qu'il n'y a pas à proximité de celles-ci, d'importants centres urbains ou pôles industriels qui pourraient participer à la dilution de ces frontières avec celles d'autres wilayas.

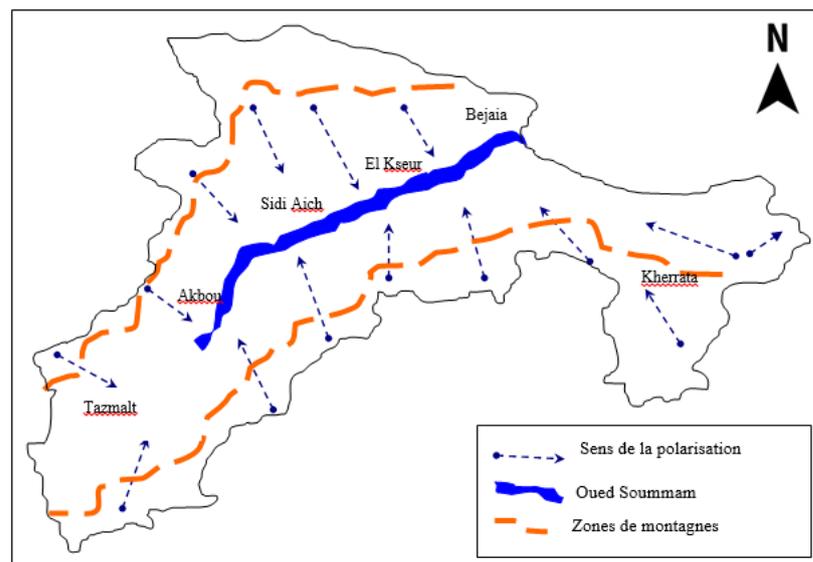


Figure II.7. Polarisation du territoire de la wilaya de Bejaia.

Le couvert végétal est globalement constitué de bois, broussailles et de plantations, dans une proportion non précisément déterminée, mais une part importante est constituée de versants dépourvus de couvert végétal : rochers, bad-lands, ... De plus, il est à noter que le couvert boisé modifie peu le ruissellement lorsque les pentes sont fortes et les averses génératrices de crues intenses.

II.3.4. Sismicité de la région

D'après le nouveau découpage des zones sismiques en Algérie, due au dernier séisme de Boumerdes en mai 2003, la Wilaya se trouve dans la zone II, c'est-à-dire une zone à moyenne sismicité.

Le zonage sismique administratif du territoire algérien par wilaya est présenté dans la figure suivante :

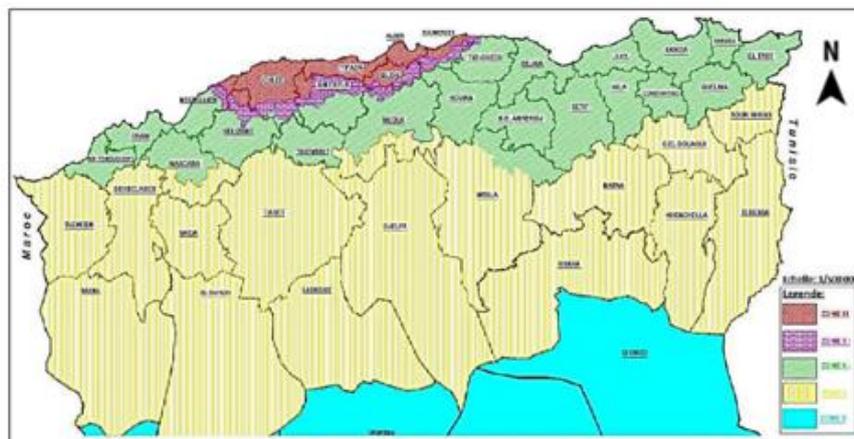


Figure II.8. Zonage sismique administratif du territoire Algérien. (RPA99, 2003)

II.3.5. Climat

Appartenant au domaine méditerranéen, le climat de la wilaya de Bejaia varie d'une zone à une autre.

La zone littorale et la vallée de la Soummam jouissent d'un climat pluvieux et doux en hivers, sec et chaud en été favorable au développement du tourisme balnéaire.

Le climat des zones de montagnes est caractérisé par un été sec et chaud et un hiver pluvieux et froid, la température atteint parfois 0 c° et moins ce qui s'accompagne par la chute de neige, un élément propice au développement du tourisme climatique et les sports d'hiver.

II.3.6. Températures

Les valeurs de la température moyenne mensuelle montrent que le climat du bassin versant de la Soummam est caractérisé généralement par deux saisons :

- Une saison chaude allant du mois de mai au mois d'octobre,
- Une saison froide, allant du mois de novembre au mois d'avril.

Tableau II.2.Température moyenne mensuelle pour la station de Béjaïa. (Source : ABH)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
Max	27.5	24.3	19.9	17.4	16.3	16.8	18.1	16.2	21.9	25.4	29.0	28.7
Moy	22.5	18.7	14.5	12.2	11	11.6	12.6	14.2	17.1	20.8	23.9	24.1
Min	18.0	14.6	10.8	8.5	7.2	7.7	8.3	9.9	12.7	16.3	19.2	19.7

II.3.7.Pluviométrie

D'après la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord (ANRH) qui fournit la pluie moyenne annuelle sur la période 1969-1989. On observe les points suivants :

- Les pluies sont maximum sur le massif du Djurdjura : 1 000 mm et, localement, jusqu'à 1 400 mm (maxi 1 500 mm) ;
- Le bassin du Sahel, au Centre et au Sud, à des précipitations comprises entre 300 et un peu plus de 500 mm ;
- Le bassin du Boussellam comprend deux secteurs : le Sud, caractérisé par un climat aride, a des précipitations inférieures à 400 mm, voire à 300 mm. Le Centre et le Nord du bassin ont des précipitations plutôt supérieures à 500 mm, avec des valeurs moyennes de l'ordre de 600 mm, et jusqu'à des maxi de 700 à 800 mm ;
- Le bassin aval, près de Béjaïa, est soumis à des précipitations de 600 à 900 mm.

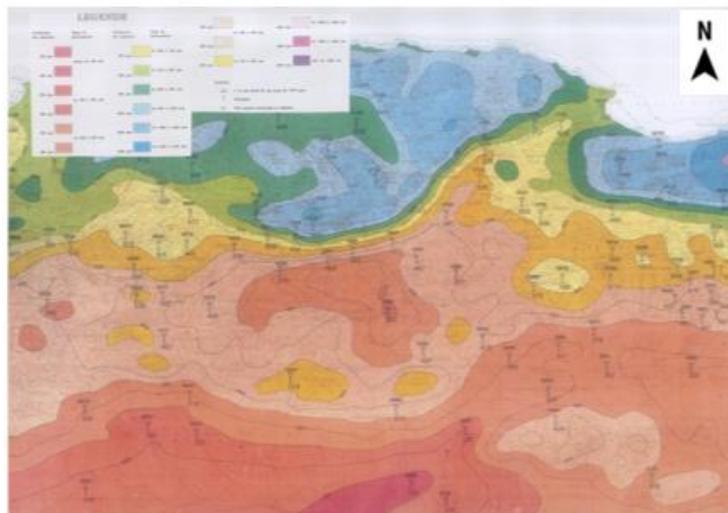


Figure II.9.Pluviométrie annuelle au bassin de la Soummam.

II.3.8. Evapotranspiration

L'évapotranspiration potentielle désigne la quantité d'eau rejetée dans l'atmosphère tant par évaporation directe au niveau du sol, que par transpiration des organes aériens des plantes. Elle constitue la quantité maximale de vapeur d'eau pouvant être produite.

Le tableau suivant, présente les données mensuelles et interannuelles de l'évapotranspiration potentielle, calculées d'après la formule de Penmann.

Tableau II.3. Evapotranspiration mensuelle. (Source : ABH AHS)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Moy
Béjaia	93,74	62,30	39,11	25,59	22,45	32,90	59,97	81,61	105,71	124,94	148,31	133,69	930,32
Bouira	154,94	101,35	64,65	29,49	13,40	13,40	20,81	47,8	62,67	91,35	114,21	125,19	839,26
B.B.A.	114,75	67,52	32,97	13,63	16,67	35,70	67,65	90,51	141,49	162,79	181,07	168,23	1092,98
Sétif	120,04	74,18	37,70	17,75	19,51	35,88	62,44	100,4	156,15	181,70	204,43	183,48	1193,72
Moy	120,87	76,34	43,61	21,62	18,01	29,47	52,72	80,1	116,51	140,2	162,01	152,65	1014,16

L'évapotranspiration est maximale en juillet pour toutes les stations à l'exception pour la station de Bouira où le maximum est atteint en septembre.

II.4. Grandes infrastructures hydrauliques

A ce jour, il existe quatre barrages en exploitation dans le bassin versant de la Soummam :

- **Barrage Lekhel** : situé à la confluence des oueds Lekhel et Fahem en amont du bassin versant du Sahel. Le bassin versant a une superficie de 189 km². La capacité du réservoir est d'environ 30 hm³. Ce barrage est destiné à l'irrigation des périmètres des Arribs et à l'alimentation en eau d'Aïn Bessam, Sour El Ghozlane et la zone industrielle de Bouira ;
- **Barrage Aïn Zada** : situé sur le Bousellam à 40 km de la ville de Bordj Bou Arreridj. Le bassin versant a une superficie de 2 080 km². La capacité du réservoir est de 125 hm³. Ce barrage est destiné à l'alimentation en eau potable et industrielle des villes de Sétif, Bordj Bou Arreridj et El Eulma ;
- **Barrage de Tichy-Haff** : ce barrage est implanté sur l'oued Bousellam, près du village de Malfouda, Daira de Seddouk wilaya de Bejaïa, et en aval du barrage d'Aïn Zada. Le bassin versant a une superficie de 3 980 km². La capacité du réservoir est de 80 hm³. Ce barrage est destiné à l'alimentation des agglomérations situées dans le couloir Akbou – Béjaïa et à l'irrigation de deux périmètres : Sahel et basse Soummam ;
- **Barrage Tilesdit** : ce barrage est situé dans le haut bassin du Sahel à l'Est de Bouira (à 18 km). La capacité du réservoir est de 167 hm³. Ce barrage est destiné à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation ;
- **Barrage de Kherrata** : ce barrage est situé entre la wilaya de Bejaia et Sétif, sa capacité initiale est de 154 Hm³ avec un volume régularisé de 183 Hm³.

Conclusion :

Une présentation fiable de la zone d'étude s'avère d'une grande importance, vu le taux d'informations qu'elle nous fournit, ce qui permet de bien évaluer les risques qui peuvent être engendrés par un phénomène naturel comme les crues.

[Tapez un texte]

CHAPITRE III :

ETUDE HYDROLOGIQUE

Chapitre III : Etude hydrologique

Introduction

L'hydrologie est définie comme la science qui étudie le cycle de l'eau dans la nature et l'évolution de celle-ci à la surface de la terre (**Touaibia, 2004**). Donc elle est considérée comme le fondement de la résolution des problèmes pratiques d'inondation, de sécheresse d'érosion, de transport des sédiments, et de la pollution de l'eau.

L'analyse hydrologique permet d'apprécier le régime hydrologique auquel est soumis un site d'étude et de calculer les débits d'eaux pluviales.

Cette étude sert à déterminer les principales caractéristiques hydrologiques d'oued Soummam, de rassembler les données pluviométriques au niveau de notre bassin versant, et les analyser pour la détermination de la pluie maximale fréquentielle et les pluies de courte durée qui sont généralement génératrices des inondations.

III.1. Caractéristiques morphométriques

Sur la base des cartes topographiques échelle 1/25000 de la région, fournit par l'institut national de cartographie et télédétection de la zone d'étude, une délimitation du bassin versant de la Soummam a été faite dans le but de déterminer les caractéristiques (surface, périmètre, pente, altitude,...) qui interviennent directement sur les paramètres d'écoulement dans les cours d'eau.

III.1.1. Superficie et périmètre

La superficie totale du bassin versant est de 9 125 km² et son périmètre de 554 km.

III.1.2. Indice de compacité de Gravelius

Indice de Gravelius « K_c » Appel aussi indice de forme, cet indice caractérise la forme du bassin, et exprime l'allongement des bassins versants.

$$K_c = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot S}} \dots\dots\dots (1)$$

Avec :

K_c : indice de compacité ;

P : périmètre du bassin en Km ;

A : superficie du bassin en Km².

On obtient :

$$K_c = 1,62.$$

Donc le bassin versant est de forme allongée.

III.1.3. Rectangle équivalent

C'est une transformation purement géométrique en un rectangle de dimensions L et l ayant la même surface et le même indice de compacité. Il permet de comparer les bassins versants entre eux du point de vue de l'écoulement (Touaibia, 2004).

Les dimensions du rectangle équivalent sont obtenues comme suit :

$$L = \frac{Kc \cdot \sqrt{S}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right] \dots\dots\dots (2)$$

$$l = \frac{Kc \cdot \sqrt{S}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right] \dots\dots\dots (3)$$

Ainsi pour le bassin versant de la Soummam, les dimensions sont :

$$L = 238 \text{ km}$$

$$l = 38,3 \text{ km}$$

Le rapport de ces deux dimensions est de **6,2** ce qui confirme le caractère allongé du bassin.

III.1.4. Courbe hypsométrique

Les facteurs hydrologiques sont très liés aux altitudes. Ainsi, il est nécessaire de connaître la répartition des surfaces en fonction de leurs altitudes. La courbe hypsométrique donne la répartition des altitudes en fonction de la superficie du bassin. La répartition des surfaces partielles en fonction des altitudes du bassin est donnée dans le tableau suivant :

Tableau III.1. Surfaces partielles du bassin versant par tranche d'altitude.

Altitudes (m)	Surfaces élémentaires Si (km ²)	Surfaces élémentaires (%)	Surfaces cumulées (%)	Altitudes moyenne Hi (m)	Si.Hi (Km ² . m)
2200-2400	50	0,55	0,55	2300	115 000
2000-2200	0	0,00	0,55	2100	0
1800-2000	0	0,00	0,55	1900	0
1600-1800	50	0,55	1,10	1700	85 000
1400-1600	174	1,91	3,00	1500	261 000
1200-1400	274	3,00	6,01	1 300	356 200
1000-1200	1 105	12,11	18,12	1 100	1 215 500
800-1000	3 119	34,18	52,30	900	2 807 100
600-800	1 825	20,00	72,30	700	1 277 500
400-600	1 425	15,62	87,91	500	712500
200-400	724	7,93	95,85	300	217200
2-200	379	4,15	100,00	100	37 900

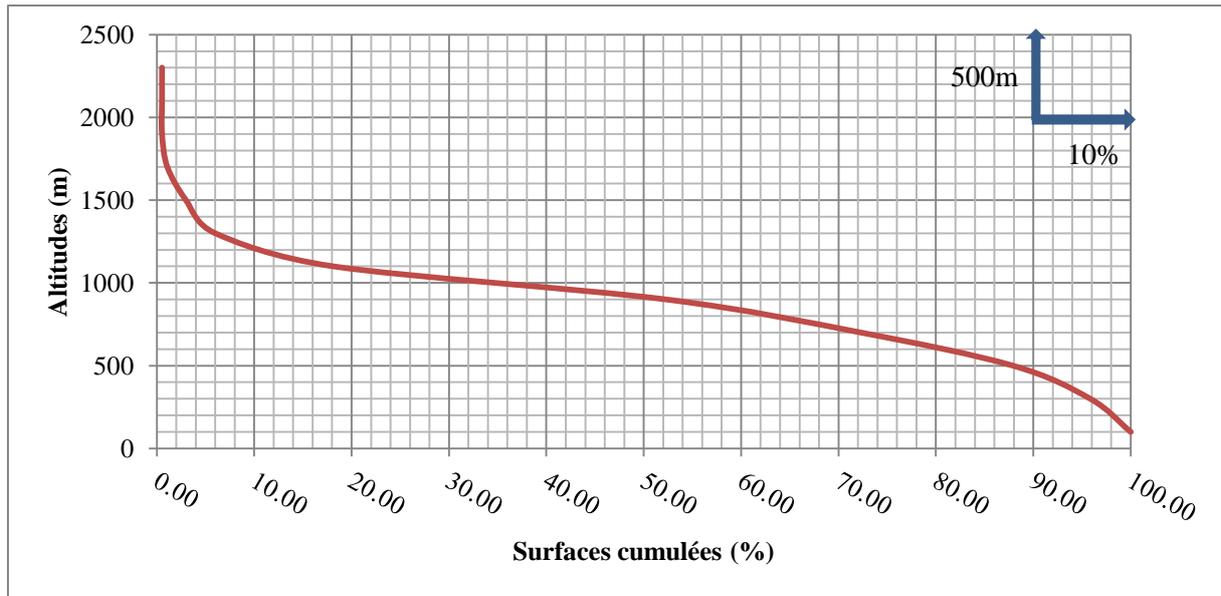


Figure III.1. Courbe hypsométrique du bassin de la Soummam.

III.1.5. Altitudes caractéristiques

Les altitudes sont :

- Altitude maximale : représente le point le plus élevé du bassin ;
- Altitude minimale : montre le point le plus bas, généralement à l'exutoire du bassin.

Les altitudes ci-dessus sont obtenues directement à partir de la carte topographique.

- Altitude médiane ou $H_{50\%}$;
- Altitude à 5% ou $H_{5\%}$;
- Altitude 95% ou $H_{95\%}$.

Ces altitudes sont déterminées sur la courbe hypsométrique.

- Altitude moyenne : calculé par la formule suivante :

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum H_i \cdot S_i}{S_T} \dots\dots\dots (4)$$

Avec :

$$H_i = \frac{H_{I+n} + H_n}{2} \dots\dots\dots (5)$$

- H_{moy} : altitude moyenne du bassin versant en (m) ;
- S_i : aire comprise entre deux courbes de niveau (km^2) ;
- H_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveau en (m).

Le tableau suivant récapitulera les résultats des altitudes caractéristiques :

Tableau III.2. Altitudes caractéristiques du bassin de la Soummam.

Altitude caractéristique	Valeur (m)
Altitude max	2308
Altitude min	2
Altitude médiane (50%)	900
Altitude à 5%	1300
Altitude à 95%	300
Altitude moyenne	776

III.1.6. Indice de pente globale I_g

L'indice global de pente (I_g) permet de caractériser une pente représentative de la pente moyenne des versants. Cet indice est calculé comme suit :

$$I_g = \frac{(H_{5\%} - H_{95\%})}{L_{RE}} \dots\dots\dots (6)$$

Avec :

$H_{5\%}$: altitude ayant 5 % de la surface du bassin au-dessus d'elle;

$H_{95\%}$: altitude ayant 95 % de la surface du bassin au-dessus d'elle;

L_{RE} : longueur du rectangle équivalent.

Soit :

$$I_g = 0,42\%.$$

Il s'agit de caractériser le relief du bassin en se basant sur l'indice de pente globale, selon la classification de l'ORSTOM, il s'agit d'un relief faible qui ne favoriserait pas le ruissellement.

III.1.7. Indice de pente moyenne I_{pm}

C'est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin versant. Elle est considérée comme une variable indépendante. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct (donc sur le temps de concentration T c) et influence directement le débit de pointe lors d'une averse.

Elle est donnée par la formule :

$$I_{pm} = \frac{\Delta H}{L_{cp}} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L_{cp}} \dots\dots\dots (7)$$

Avec :

ΔH : dénivelé entre l'altitude maximale et minimale (m) ;

L_{cp} : longueur du cours d'eau principal qui est de 425 Km.

D'où :

$$I_{pm} = 5.43 \%$$

III.2. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est défini comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. La différenciation du réseau hydrographique d'un bassin est due à plusieurs facteurs principaux (Musy & Higy, 1998).

D'après la classification de Schum on trouve que le talweg principal de la Soummam est d'ordre 6.

III.2.1. Densité de drainage

Ce paramètre est en quelque sorte un reflet de la dynamique du bassin, de la stabilité du réseau hydrographique et du type de ruissellement de surface.

Elle correspond au quotient de la longueur totale des rivières par la surface du bassin versant. Elle est donnée par la formule suivante :

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S} \dots\dots\dots (8)$$

Avec:

D_d : densité de drainage (Km/Km²) ;

L_i : longueur des cours d'eau (Km) ;

S : surface du bassin (Km²).

On obtient :

$$D_d = 0,63 \text{ km/km}^2.$$

III.2.2. Pente moyenne du cours d'eau principal

La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau se déplace vers l'exutoire du bassin, et donc le temps de concentration des eaux. Cette variable influence donc sur le débit maximal observé. Une pente abrupte favorise et accélère l'écoulement superficiel tandis qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer entièrement ou en partie dans le sol.

Le calcul des pentes moyennes et partielles de cours d'eau s'effectue à partir du profil longitudinal du cours d'eau principal et de ses affluents. La méthode la plus fréquemment utilisée pour calculer la pente longitudinale du cours d'eau consiste à diviser la différence d'altitude entre les points extrêmes du profil par la longueur totale du cours d'eau.

$$P_{\text{moy}} = \frac{\Delta H}{\Delta L} \dots\dots\dots (9)$$

Avec :

P_{moy} : pente moyenne du cours d'eau (m/m) ;

ΔH : dénivellation entre deux points suffisamment distance (m) ;

ΔL : longueur du cours d'eau principal (m).

On aura :

$$P_{\text{moy}} = 0.54\%.$$

III.3. Temps de concentration

Le temps de concentration T_C des eaux sur un bassin versant se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier, Il est composé de trois termes différents :

- T_h : Temps d'humectation c'est le temps nécessaire à l'imbibition du sol par l'eau qui tombe avant qu'elle ne ruisselle ;
- T_r : Temps de ruissellement ou d'écoulement c'est le temps qui correspond à la durée d'écoulement de l'eau à la surface ou dans les premiers horizons de sol jusqu'à un système de collecte (cours d'eau naturel, collecteur) ;
- T_a : Temps d'acheminement c'est le temps mis par l'eau pour se déplacer dans le système de collecte jusqu'à l'exutoire.

Le temps de concentration T_C est donc égal au maximum de la somme de ces trois termes,

$$T_C = \max. \left[\sum (T_h + T_r + T_a) \right] \dots\dots\dots (10)$$

Théoriquement on estime que T_C est la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement. Pratiquement le temps de concentration peut être déduit de mesures sur le terrain ou s'estimer à l'aide de formules le plus souvent empiriques.

Dans notre cas on a opté pour la formule de Ventura, car notre bassin satisfait les conditions de son utilisation, voir une superficie supérieure à 10 Km² et une pente faible.

$$T_c = 0.1272 \sqrt{\frac{S}{I_{pm}}} \dots \dots \dots (11)$$

Avec :

S : superficie du bassin versant ;

I_{pm} : indice de pente moyenne.

On obtient :

$$T_c = 52.14 \text{ h.}$$

III.4. Vitesse moyenne de ruissellement

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

$$V_R = \frac{L_{cp}}{T_c} \dots \dots \dots (12)$$

Avec :

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

T_c : temps de concentration (h).

On aura :

$$V_R = 8.15 \text{ Km/h.}$$

Tableau III.3. Caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant.

Caractéristiques	unités	Valeurs
Surface	Km ²	9125
Périmètre	Km	554
Longueur du rectangle équivalent	Km	238
Largeur du rectangle équivalent	Km	38.3
Altitude maximale	m	2308
Altitude moyenne	m	776
Altitude médiane	m	900
Altitude minimale	m	2
Altitude 5%	m	1300
Altitude 95%	m	300
Indice de compacité	/	1.62
Indice de pente globale	m/km	0.42
Pente moyenne du bassin versant	%	0.54
Longueur du cours d'eau principal	Km	425
Densité de drainage	Km/km ²	3.38
Temps de concentration	h	52.14

III.5. Etude des précipitations

L'étude des précipitations est importante dans toute analyse hydrologique, puisqu'elle permet de caractériser le régime pluviométrique et son influence sur les crues, ce qui permet de mieux dimensionner les ouvrages hydrotechniques.

Les données utilisées nous ont été fournies par l'agence nationale des ressources hydrauliques.

III.5.1. Postes pluviométriques

Neuf postes pluviométriques (voir la carte et le tableau ci-dessous) ont été sélectionnés en fonction de leur situation géographique et de leur durée d'observations; celle-ci n'est jamais inférieure à 23 ans et la valeur moyenne est de 58 années.

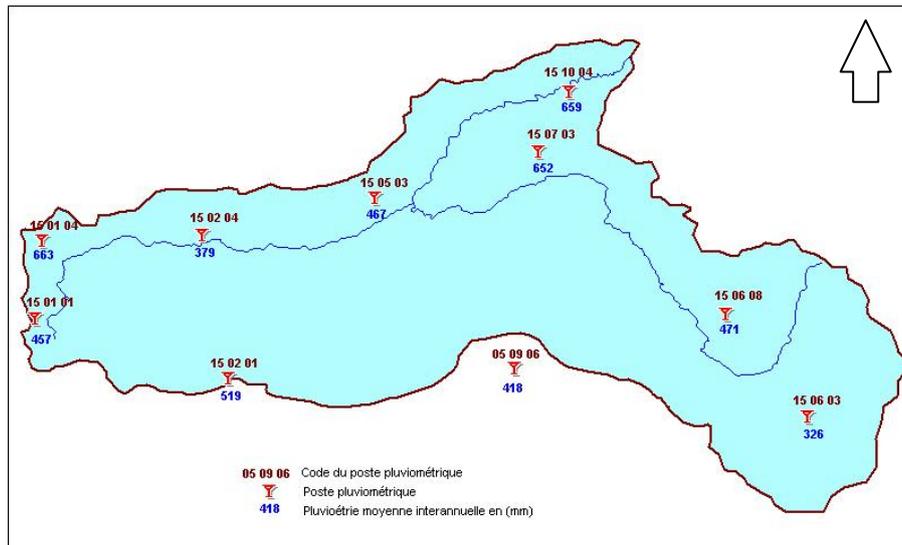


Figure III.2. Situation géographique des postes pluviométriques considérés.

Tableau III.4. Stations utilisées pour les différents calculs d’extrapolation.

Stations	Code	Période d’observation	Nombre d’années d’obs.	Nombre d’années d’enreg.
Sour El Ghozlane	15 01 01	1900 –2004	105	86
Taghdite	15 02 01	1967- 2004	37	38
El Asnam	15 02 04	1920-2004	85	80
Ighil Ali	15 05 03	1922- 2005	84	66
Boubirek	15 07 03	1942-2005	64	50
Bouira Coligny	15 06 08	1911- 2005	94	74
Maouchi Ahmed	15 10 04	1969 - 2004	29	36

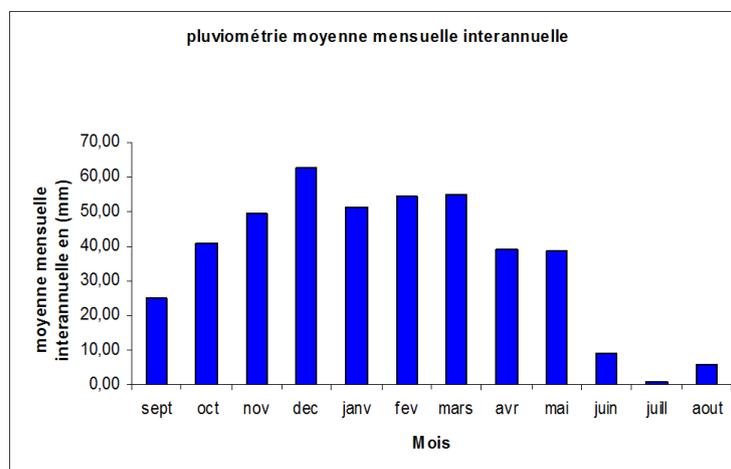


Figure III.3. Pluies mensuelles moyennes sur le bassin de la Soummam.

III.5.2. Pluies maximales journalières

Les pluies journalières sont souvent génératrices de crues exceptionnelles. Pour cela, il est important d'effectuer un ajustement statistique d'une loi théorique à la série d'observations. A partir des données des différentes stations, sur une période de 29 ans, il a été constitué des séries des pluies maximales journalières (voir annexe tableau 1).

III.5.3. Vérification de l'homogénéité de la série

Les échantillons sont dits homogènes, s'ils sont caractérisés par une même loi de probabilité et par les mêmes paramètres, les données recueillies sont alors considérées comme extraites d'une même population. (Llamas, 1993)

Donc afin d'éviter l'utilisation d'une information fautive dans le dimensionnement des ouvrages, on doit s'assurer que notre série est dépourvue des ruptures artificielles. Pour confirmer ou rejeter cette hypothèse on fait appel au test de Wilcoxon.

La vérification de l'homogénéité d'une série pluviométrique par cette méthode repose sur le procédé ci-dessous :

- On divise la série complète en deux sous séries : x et y tel que N_1 et N_2 : représentant respectivement les tailles de ces deux sous séries en considérant généralement $N_2 > N_1$.
- On constitue par la suite, la série x unions y après avoir classé la série de pluie d'origine par ordre décroissant. A ce stade, on attribue à chaque valeur de la série pluviométrique classée, son rang, tout en précisant à quelle sous-série appartient-elle.
- D'après Wilcoxon, la série est homogène avec une probabilité de 95%, si la relation ci-dessous est vérifiée :

$$W_{\min} < W_X < W_{\max} \dots\dots\dots (13)$$

Avec :

W_X : somme des rangs de l'échantillon x;

$$U_{1-\alpha/2} = 1.96;$$

$$W_{\min} = \left[\left(\frac{(N_1 + N_2 + 1) \times N_1 - 1}{2} \right) - 1.96 \left(\frac{N_1 \times N_2 \times (N_1 + N_2 + 1)}{12} \right) \right];$$

$$W_{\max} = [(N_1 + N_2 + 1) \times N_1 - W_{\min}];$$

N_1, N_2 : taille de l'échantillon X, Y.

Dans notre cas :

$$N_1 = 10;$$

$$N_2 = 19.$$

Tableau III.5. Résultats de l'ajustement des séries par la méthode de Wilcoxon.

station	W_x	W_{min}	W_{max}	Observation
Sour El Ghozlane	170	106.78	193.22	Homogène
Tighdite	185	106.78	193.22	Homogène
El Asnam	155	106.78	193.22	Homogène
Ighil Ali	160	106.78	193.22	Homogène
Boubirek	151	106.78	193.22	Homogène
Bouira Coligny	128	106.78	193.22	Homogène
Maouchi Ahmed	127	106.78	193.22	Homogène

III.5.4. Ajustement des pluies maximales journalières

L'analyse fréquentielle d'une longue série de valeurs maximales permet d'estimer le temps de retour d'une valeur particulière. Cette prédiction repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel qui est une équation décrivant (modélisant) le comportement statistique d'un processus. Ces modèles décrivent la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée. (EPFL, 2004)

Pour notre étude, on va ajuster la série des pluies maximales journalières à trois lois différentes :

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

a. Station Sour El Ghozlane

- **Ajustement de la série à la loi de Gumbel**

Tableau III.6. Récapitulatif des résultats obtenus par l'ajustement à la loi de Gumbel.

Période de retour (ans)	Fréquence (%)	$P_{max,j p\%}$
100	1	100
50	2	89.8
20	5	76.3
10	10	65.8
5	20	54.9

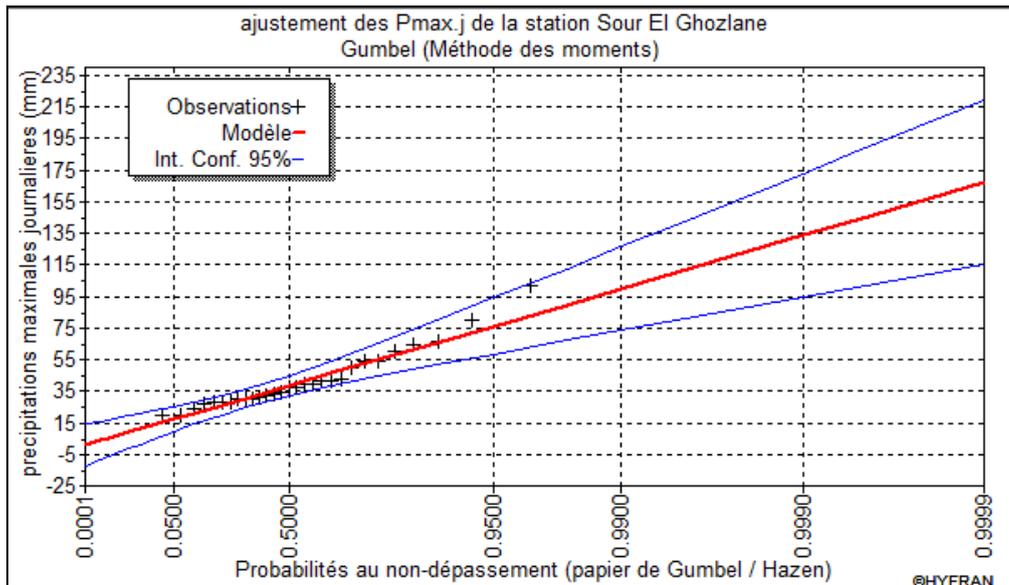


Figure III.4. Représentation graphique de l'ajustement à la loi de GUMBEL.

- Ajustement de la série à la loi de Galton (log normale)

Tableau III.7. Récapitulatif des résultats obtenus par l'ajustement à la loi de Galton.

Période de retour (ans)	Fréquence (%)	$P_{max,j p\%}$ (mm)
100	1	96.2
50	2	86.4
20	5	73.5
10	10	63.6
5	20	53.4

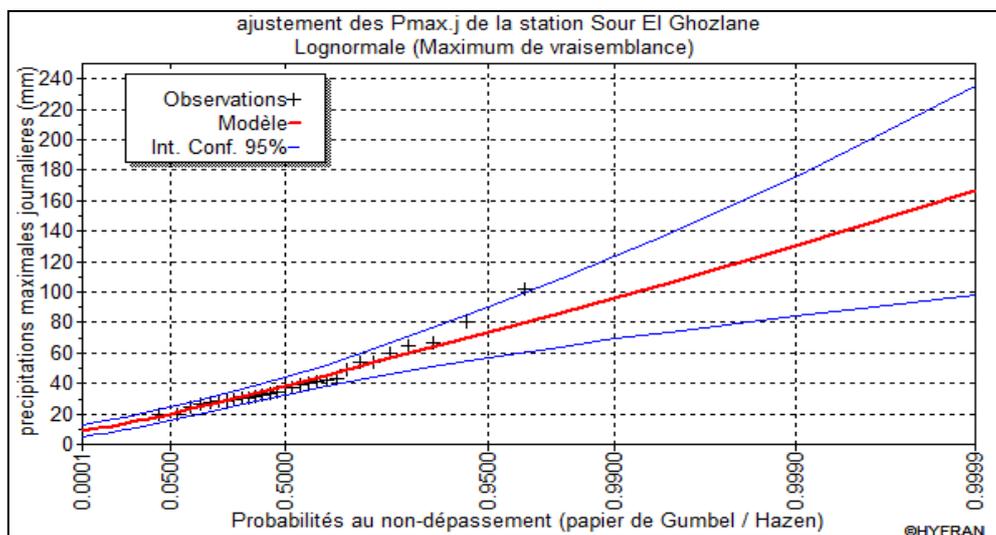


Figure III.5. Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Galton.

- **Ajustement de la série à la loi de Gausse (normale)**

Tableau III.8. Récapitulatif des résultats obtenus par l’ajustement à la loi de Gumbel.

Période de retour (ans)	Fréquence (%)	$P_{max,j p\%}$ (mm)
100	1	84.9
50	2	79.8
20	5	72.2
10	10	65.4
5	20	57.2

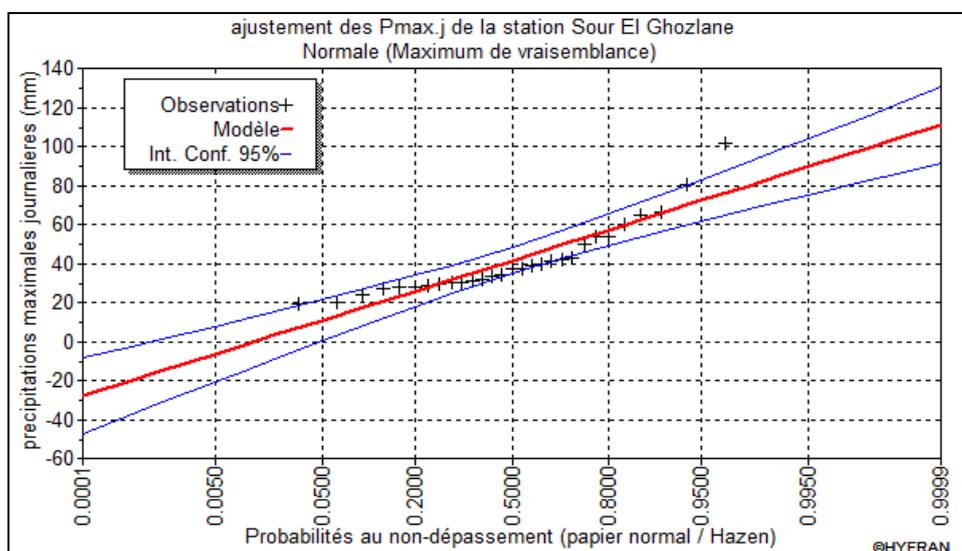


Figure III.6. Représentation graphique de l’ajustement à la loi de Gausse.

On a effectué l'ajustement de la série des pluies maximales journalières à l'aide du logiciel Hyfran, avec une comparaison des graphes de régression obtenue par les ajustements. La loi à retenir doit être la plus adéquate à notre série mais aussi la plus simple et celle qui fait intervenir un minimum de paramètre, pour cela on a opté pour la loi de Gumbel et on l’a utilisé pour l’ajustement des six autres séries.

Tableau III.9. Résultats d’ajustement des à la loi Gumbel des séries $P_{j,max}$. en mm des 7 stations pour les différentes périodes de retour.

Station	Période de retour (ans)				
	100	50	20	10	5
Sour El Ghozlane	100	89.8	76.3	65.8	54.9
Tighdite	84.9	79.8	72.2	65.4	57.2
El Asnam	54.4	50.2	44.5	40.1	35.6
Ighil Ali	88.2	79.8	68.6	60	51
Bouira Coligny	78.6	71.1	61.2	53.5	45.5
Maouchi Ahmed	83.6	76.5	67	59.6	52
Boubirek	138	123	102	86.6	70.2

III.5.5. Pluie 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).

$$P_{cd} = P_{\max.j} \left(\frac{t}{24} \right)^b \dots\dots\dots (14)$$

Avec :

P_{cd} : pluie de courte durée (mm) ;

$P_{j \max p\%}$: pluie maximale journalière pour chaque fréquence (mm) ;

t : durée en heure ;

b : exposant climatique ($b=0,32$ donnée par l'ANRH).

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

$$I_t = \frac{P_{cd}}{t} \dots\dots\dots (15)$$

I_t : l'intensité maximale de période t (mm /h).

• **Station Sour El Ghozlane**

Tableau III.10. Pluies et intensités maximales de durées t(h) et de périodes de retour T.

P.R (ans)	100		50		20		10		5	
P(F)	100		89.8		76.3		65.8		54.9	
Durée (h)	P _{cd} (h)	I _t (mm/h)								
0.25	23.21	92.84	20.84	83.36	17.71	70.84	13.18	52.72	12.74	50.96
0.5	28.97	57.94	26.02	52.04	22.11	44.22	16.46	32.92	15.91	31.82
1	36.17	36.17	32.48	32.48	27.6	27.6	20.54	20.54	19.86	19.86
2	45.15	22.73	40.55	20.28	34.45	17.23	25.65	12.83	24.79	12.4
6	64.17	10.7	57.63	9.6	48.96	8.12	36.45	6.08	35.23	5.87
12	80.11	6.68	71.94	6	61.12	5.1	45.5	3.79	43.98	3.67
24	100	4.17	89.8	3.74	76.3	3.18	65.7	2.73	45.9	1.91

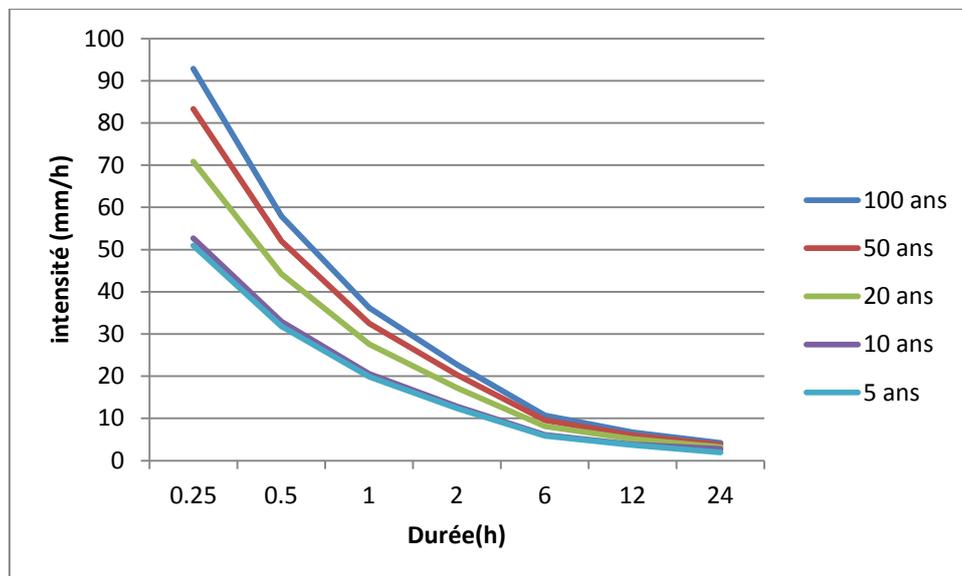


Figure III.7. Courbes intensités- durées- fréquences.

On a procédé de la même façon pour le reste des stations et on a obtenu pour chacune d'elles les courbes intensité- durée- fréquence suivants :

- **Station Tighdite**

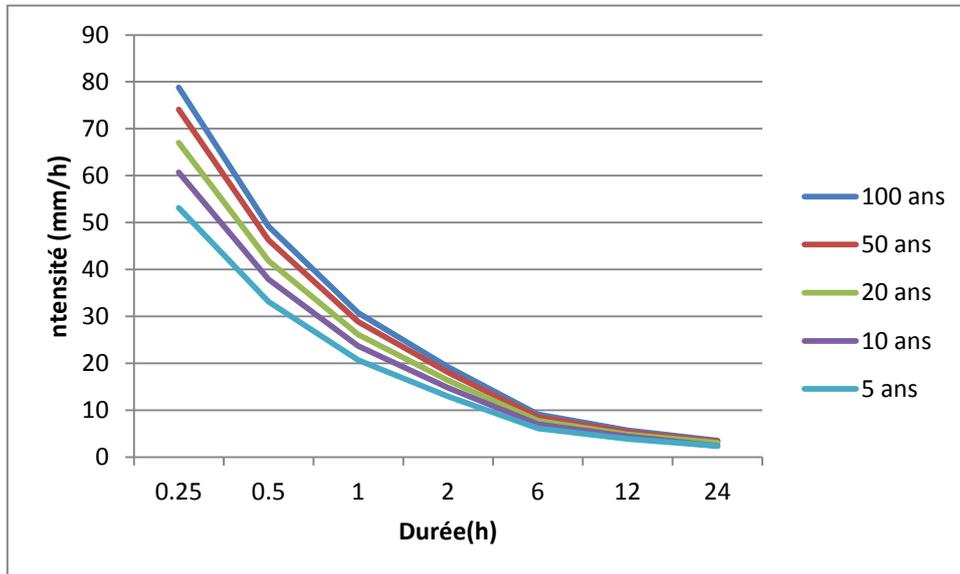


Figure III.8. Courbes intensités- durées- fréquences.

- **Station El Asnam**

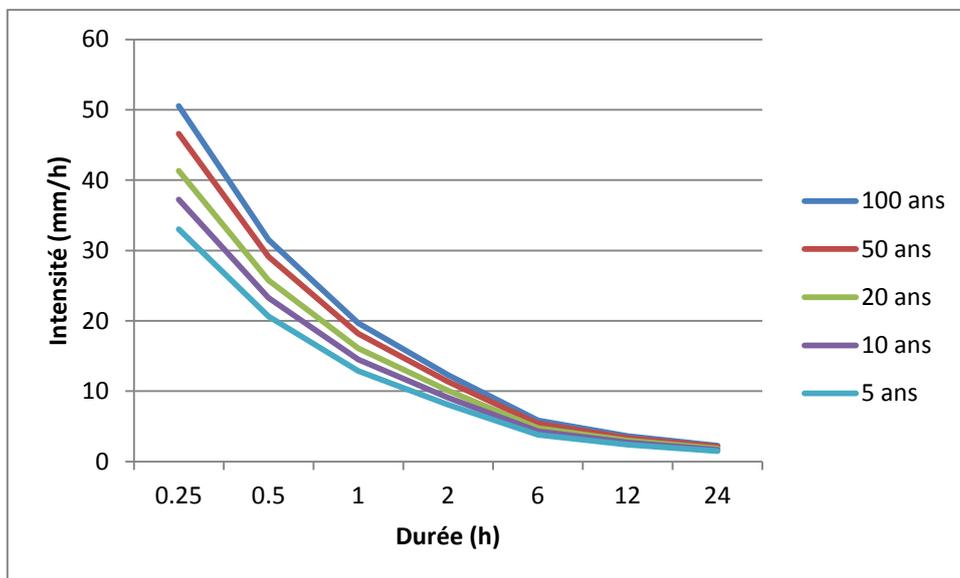


Figure III.9. Courbes intensités- durées- fréquences.

- **Station Ighil Ali**

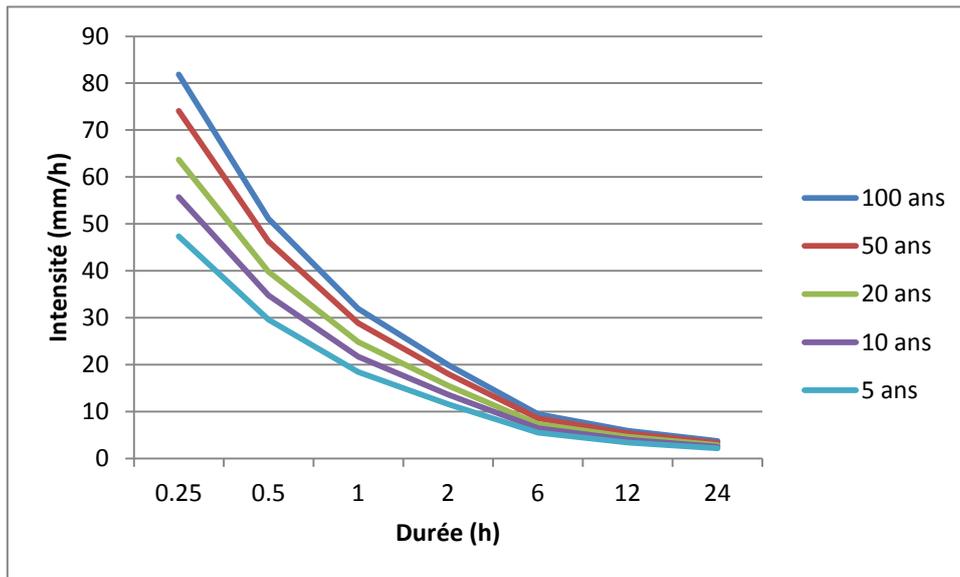


Figure III.10. Courbes intensités- durées- fréquences.

- **Station Bouira Coligny**

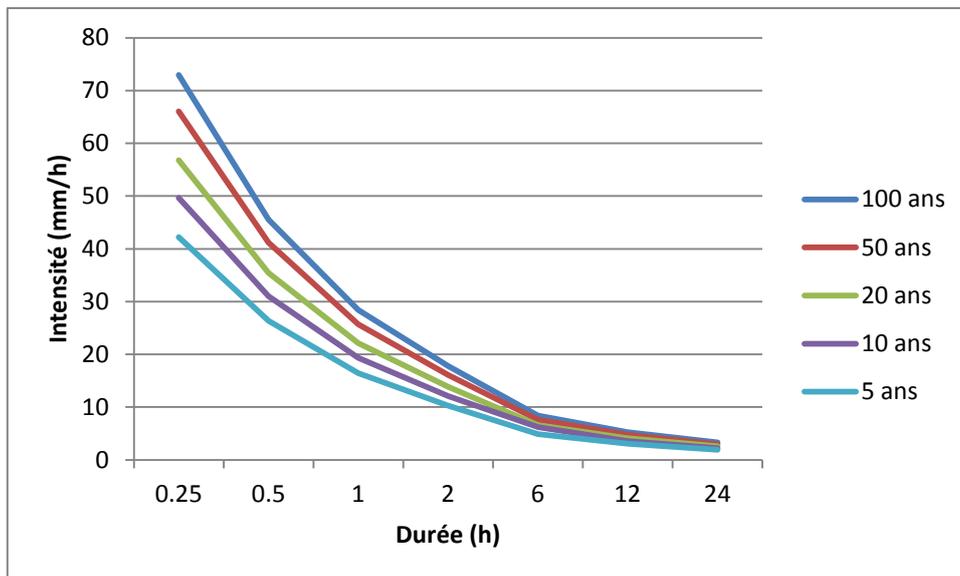


Figure III.11. Courbes intensités- durées- fréquences.

- **Station Maouchi Ahmed**

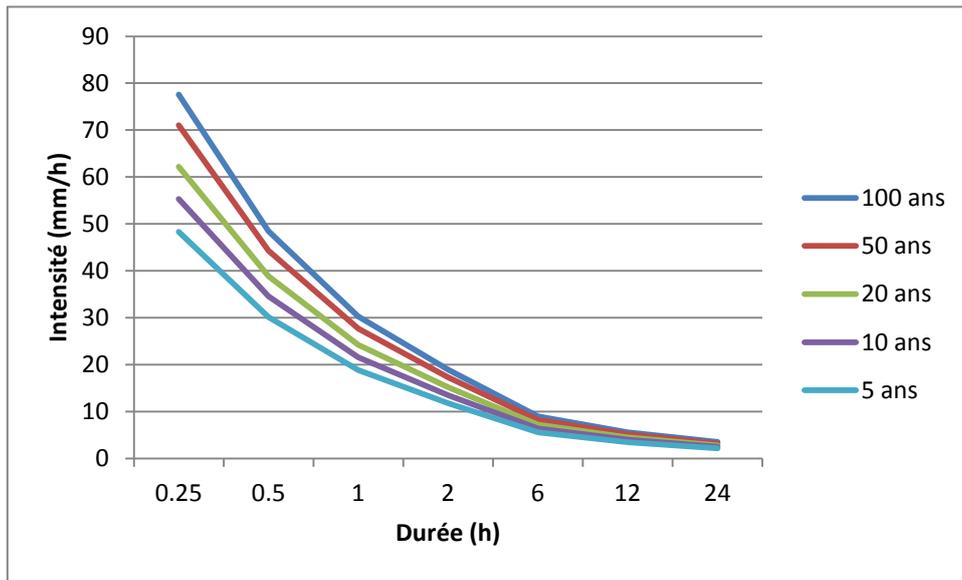


Figure III.12. Courbes intensités- durées- fréquences.

- **Station Boubirek**

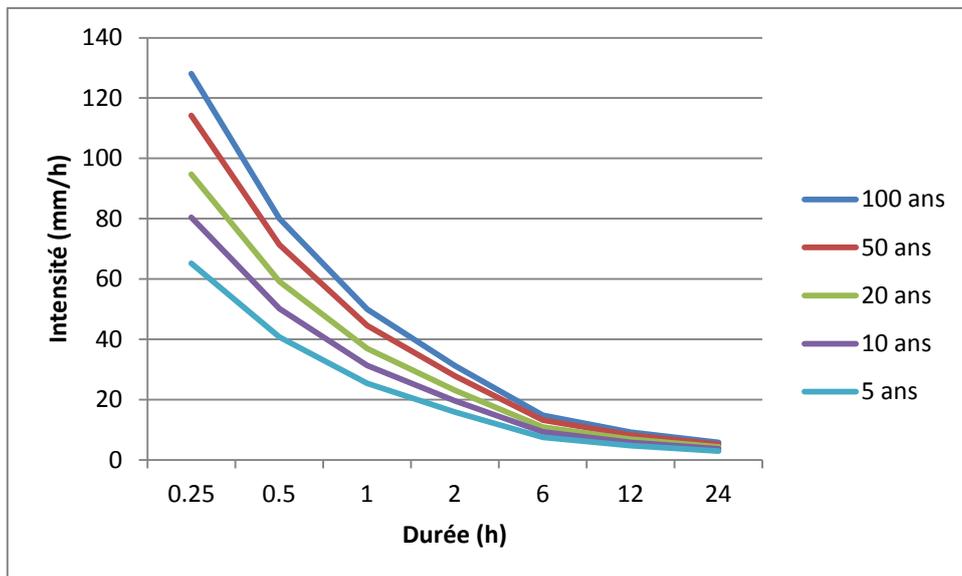


Figure III.13. Courbes intensités- durées- fréquences.

III.5.6. Analyse des précipitations sur le bassin versant de la Soummam avec la méthode de Theissen

La détermination de la précipitation moyenne représentative de l'ensemble du bassin versant peut être calculée par diverses méthodes. La plus utilisée c'est celle de Theissen. C'est une méthode purement géométrique, elle permet d'identifier à partir de la densité du réseau pluviométrique, les zones d'influences et la précipitation moyenne. Cette dernière est donnée par la formule :

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \times P_i}{S} \dots\dots\dots (16)$$

Avec :

S_i : surface d'influence du pluviomètre i ;

P_i : précipitation au poste i ;

S : surface du bassin versant.

Donc :

$$P_{moy} = 77.94 \text{ mm}$$

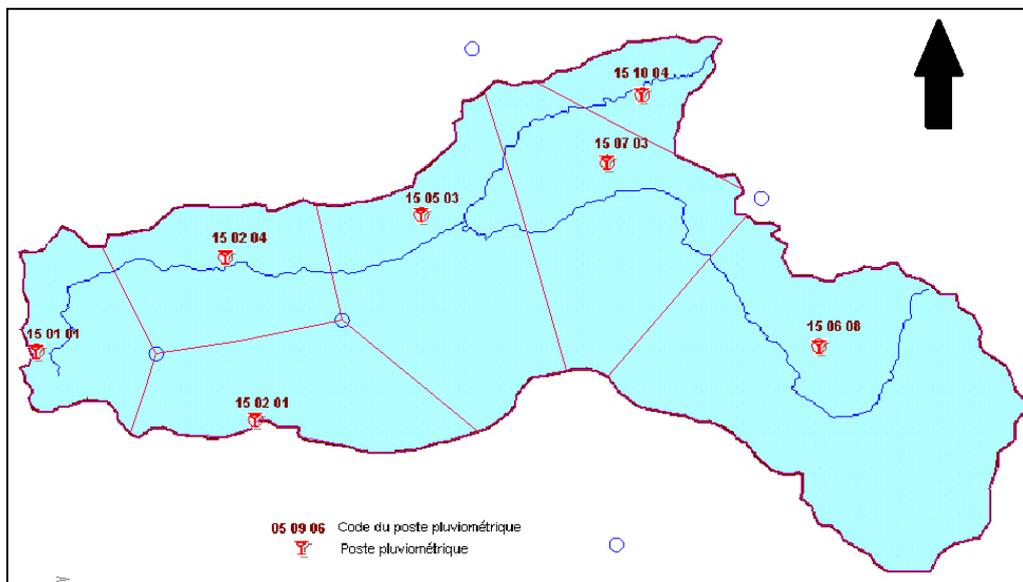


Figure III.14. Méthode de Theissen sur le bassin versant de la Soummam.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé les caractéristiques physiographiques et morphologiques du bassin versant de la Soummam. Nous avons ainsi procédé à une analyse hydrologique, qui nous a permis de choisir le modèle fréquentiel auquel s'ajuste mieux nos séries pluviométriques.

En effet, l'analyse hydrologique a permis de quantifier les pluies maximales journalières pour différentes périodes de retour pour les différentes stations, ainsi que les intensités moyennes maximales pour les pluies de courtes durées.

Cette étude sera complétée dans le prochain chapitre par l'étude des débits de crues, nécessaire au dimensionnement hydraulique des oueds.

[Tapez un texte]

CHAPITRE IV :

ETUDE DES CRUES

Chapitre IV : Etude des crues

Introduction

Lors du dimensionnement des ouvrages, le débit maximal ou la pointe de crue est une donnée primordiale qui intervient dans les calculs hydrologiques. Toute sous-estimation de ce débit peut avoir des conséquences néfastes sur la sécurité de l'ouvrage et des populations.

La maîtrise du risque de crue, constitue donc une préoccupation importante et légitime, à laquelle les hydrologues, se doivent d'être sensibles et d'accorder une attention soutenue et continue.

Dans les études hydrologiques des crues, le principal objectif est la détermination de la crue de conception, presque toujours est abordée en termes de probabilité, ce qui permet le calcul pour une certaine période de retour le débit de projet. En effet, prévoir une crue c'est dire à l'avance quel sera le débit ou la cote de la rivière en une station donnée.

IV.1. Réseau hydrométrique

Pour l'étude des crues de la Soummam aval, la station de Sidi Aïch (15 10 01), est la station la plus intéressante car c'est elle qui contrôle la plus grande partie du bassin versant (8 420 km² sur 9 125 km²) et dont la durée d'observations serait la plus grande (42 ans).

Quatre autres stations contrôlent des bassins versants notables. L'une, Sidi Yahia (15 09 01), contrôle la totalité du bassin de Bousselam, les trois autres contrôlent des bassins amont de l'oued Sahel.

La station de Tilesdit I (code 15 01 06) est rejetée car elle est influencée fortement par le barrage de Lekhal, les 2 autres stations (Porte de fer et El Asnam) sont également rejetées car elles n'apportent pas d'information notable sur les crues à Sidi Aïch, également celle de Sidi Yahia car elle est très éloignée par rapport à notre zone d'étude.

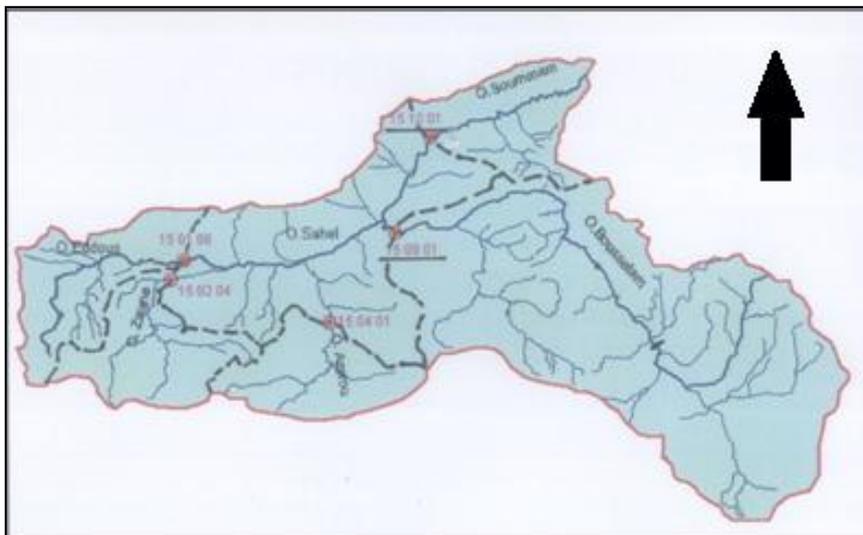


Figure IV.1. Positionnement des stations hydrométriques.

IV.2. Série hydrométrique

La série des débits maximums journaliers de la station de Sidi Aich est représentée dans le tableau suivant :

Tableau IV.1. Débits maximums journaliers de la station de Sidi Aich. (Source : DRE)

Année	$Q_{\max,j}$ [m ³ /s]	Année	$Q_{\max,j}$ [m ³ /s]	Année	$Q_{\max,j}$ [m ³ /s]
1954	372	1968	518	1982	939
1955	354	1969	1600	1983	619
1956	126	1970	374	1984	455
1957	530	1971	1429	1985	1644
1958	413	1972	734	1986	759
1959	233	1973	1820	1987	481
1960	524	1974	151	1988	739
1961	130	1975	746	1989	1067
1962	320	1976	189	1990	669
1963	655	1977	502	1991	546
1964	350	1978	447	1992	528
1965	620	1979	573	1993	670
1966	350	1980	1196	1994	745
1967	350	1981	655	1995	515

IV.3. Ajustement a la loi GEV (Generalized Extreme Value)

On procède à l'ajustement avec la loi GEV (maximum de vraisemblances), car c'est la plus adéquate pour notre région.

Tableau IV.2. Récapitulatif des résultats obtenus par l'ajustement à la loi GEV.

Période de retour (ans)	Fréquence (%)	$Q_{\max,j p\%}$ (m ³ /s)
100	1	2090
50	2	1770
20	5	1380
10	10	1120
5	20	873

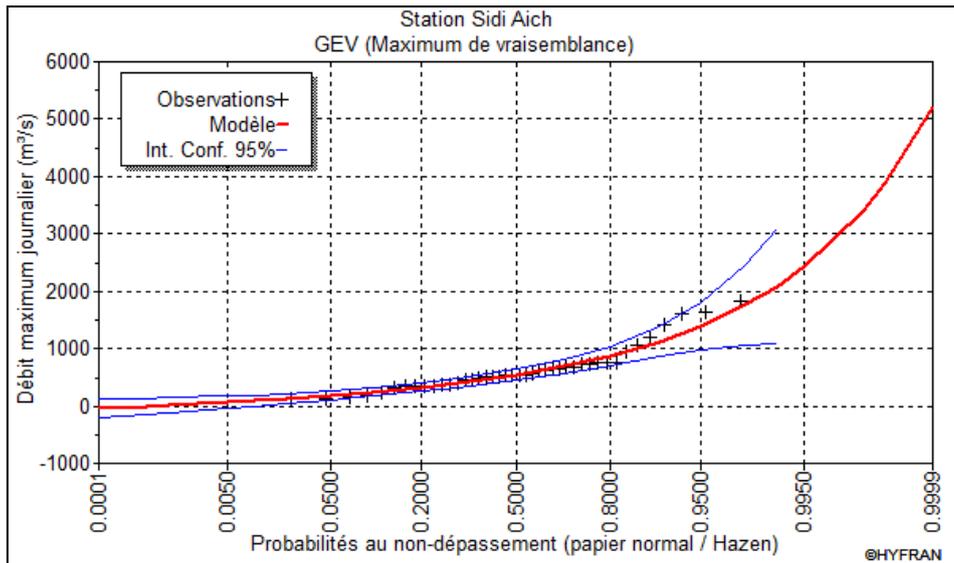


Figure IV.2. Représentation graphique de l’ajustement à la loi GEV.

On constate d’après de test visuel que notre série des débits s’ajuste bien à la loi GEV et le choix de la crue de projet s’est porté sur la période de retour de 100 ans pour un débit de **2090 m³/s**

IV.4. Hydrogrammes des crues

On utilisera la méthode de SOKOLOVSKI pour tracer les Hydrogrammes des différentes crues.

- **Débit de montée**

$$Q_m = Q_{max,p\%} \left(\frac{t}{t_m} \right)^2 \dots\dots\dots (17)$$

- **Débit de décrue**

$$Q_d = Q_{max} \left(\frac{t_d - t}{t_d} \right)^3 \dots\dots\dots (18)$$

Avec :

$Q_{max,p\%}$: débit maximum de crue (de pointe) en m³ / s ;

$Q_m(t)$: débit instantané au moment de la montée en m³ / s ;

$Q_d(t)$: débit instantané au moment de la décente (décrue) en m³ / s ;

t_m : temps de montée en heures ;

t_d : temps de décente en heures ;

t : temps en heures.

Temps de base :

$$t_b = t_m + t_d$$

On considère généralement que:

$$t_d = 3t_m ;$$

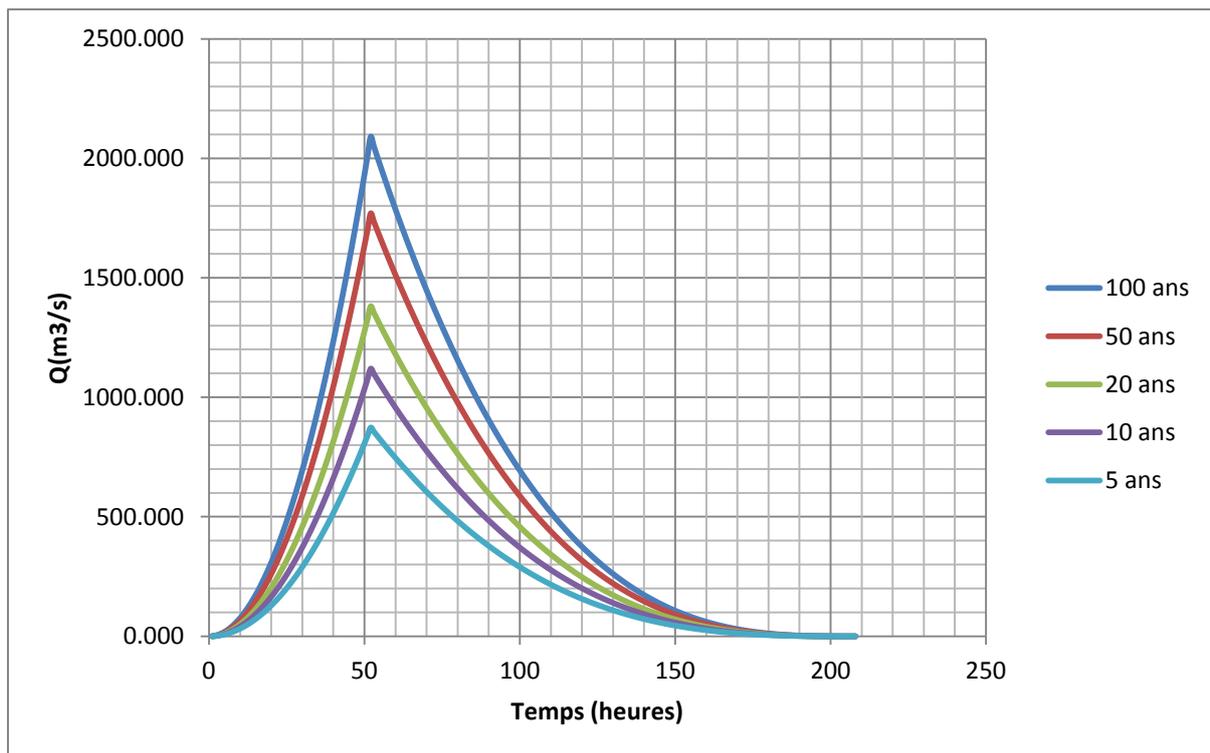
$$t_m = t_c.$$

Donc on aura :

$$t_m = 52 \text{ h} ;$$

$$t_d = 156 \text{ h} ;$$

$$t_b = 208 \text{ h}.$$



IV.3. Représentation graphique des hydrogrammes des crues.

Conclusion

L'estimation des crues est une étape cruciale en hydrologie, puisqu'elle permet de bien dimensionner les ouvrages hydrauliques.

En se basant sur les données issues de la station hydrométrique de Sidi Aich sur une période qui s'étale sur 42 ans, on a ajusté la série avec la loi GEV, et on a obtenu les débits maximaux pour différentes périodes de retour, avec lesquelles on a établi les hydrogrammes des crues correspondant à chacune d'elles.

[Tapez un texte]

CHAPITRE V :
ETUDE DES VARIANTES
D'AMENAGEMENT

Chapitre V : Etude des variantes d'aménagement

Introduction

Les causes des inondations sont multiples, pour cette raison on se trouve devant différents types. Dans le but de projeter des moyens de protection adéquats. Ainsi, une bonne connaissance de l'état des lieux, une détermination des facteurs entraînant et accentuant ce phénomène avec la localisation des zones qui sont exposées aux risques, s'avèrent indispensable.

Dans cette partie on va construire un système qui s'approche de la réalité, pour étudier le comportement de l'écoulement dans les cours d'eau non aménagés. Pour simuler les différentes crues déterminées précédemment, et déterminer les zones submergées par les eaux et ceci à l'aide du logiciel HEC-RAS.

V.1. Présentation du logiciel

HEC-RAS (Hydrologic Engineer Center Rivers Analysis System), est un logiciel de simulation des écoulements (permanant et non permanent) a surface libre dans les cours d'eau naturels, la modélisation du transport solide ainsi que l'analyse de la qualité de l'eau. Il tient compte des aménagements transversaux (ponts, dalots...etc) et propose des aménagements des les cours d'eau.

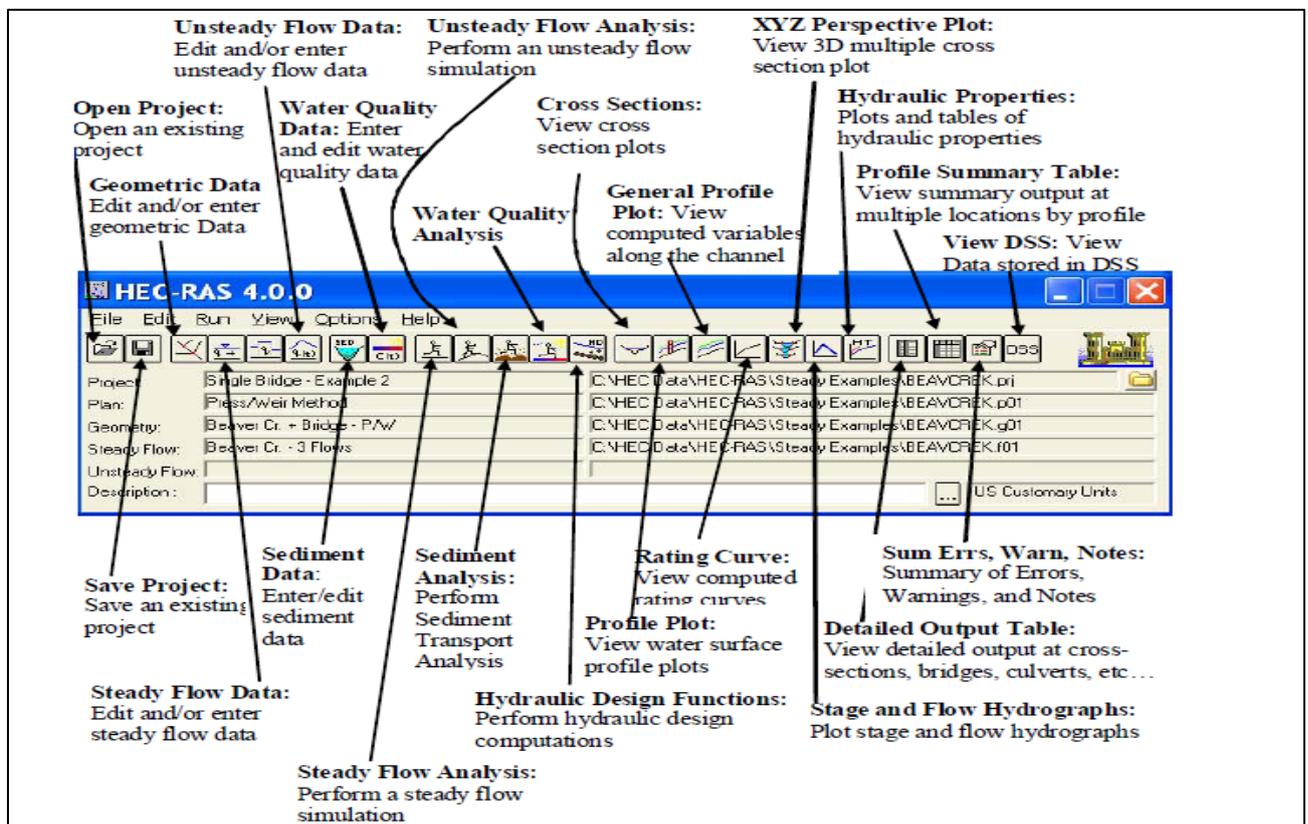


Figure V.1. Aperçu général sur les icones de HEC-RAS.

V.2. Données topographiques : Etablissement des profils en travers des oueds

Le calcul des hautes eaux des oueds par simulation se base par l'établissement des profils en travers des oueds qui vont permettre de limiter les différentes sections d'amont en aval.

Ces profils topographiques sont représentés par des coordonnées X-Y, où X est la distance par rapport à un point de référence, et Y est l'élévation correspondante.

La distance entre deux sections est généralement de 100 à 300 m, cette donnée est essentielle au logiciel, elle permet la convergence du modèle. La largeur des profils est en fonction de la largeur des rives, de l'importance du débit de la rivière, et du relief. En zones de montagnes, les profils en travers présentent des largeurs moins importantes qu'en zones de plaines. L'introduction de la pente, du lit de l'oued (m/m) et de la rugosité (valeur de Manning) permettent de faire des simulations concernant la hauteur d'élévation du plan d'eau, vitesse, ligne d'énergie

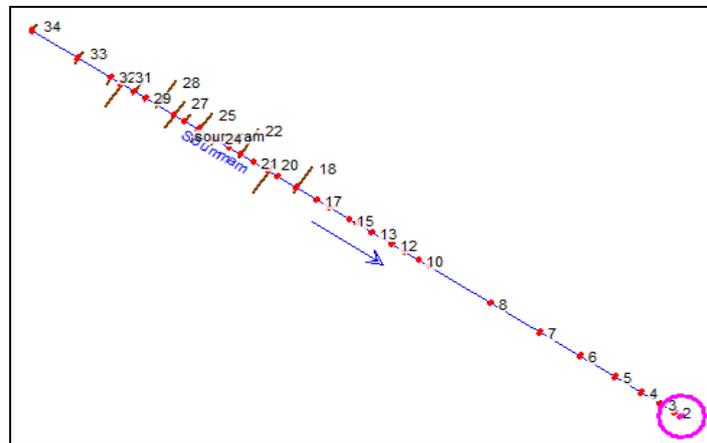


Figure V.2. Tracé de l'oued et de ses différentes sections.

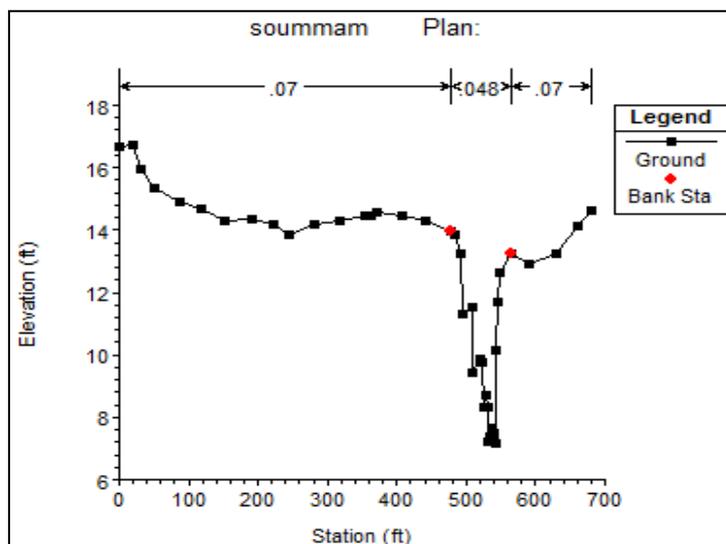


Figure V.3. Schématisation d'une section en travers de l'oued.

V.3. Résultats de simulation de l'oued non aménagé

Les résultats de la simulation à l'état naturel de l'oued nous indiquent la hauteur d'eau dans chaque section transversale dans le but de déterminer les endroits de débordement dans le cas de crue fréquentiel avec le logiciel HEC-RAS :

V.3.1. Graphique

- Sections en travers

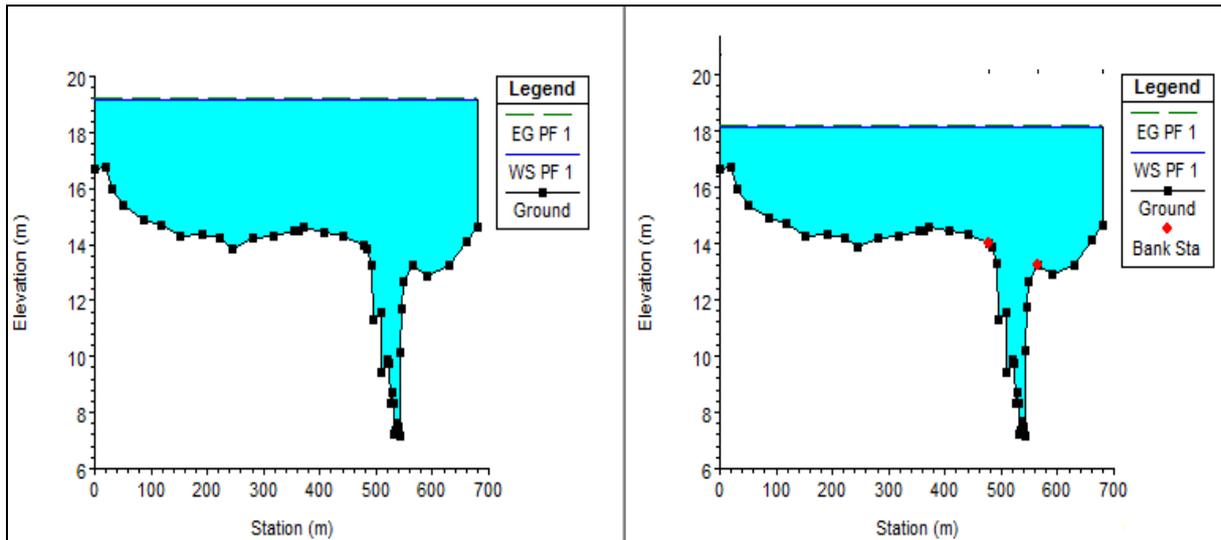


Figure V.4. Profils en travers d'une section pour des crues de 50 ans et 100 ans.

- Vue en plan

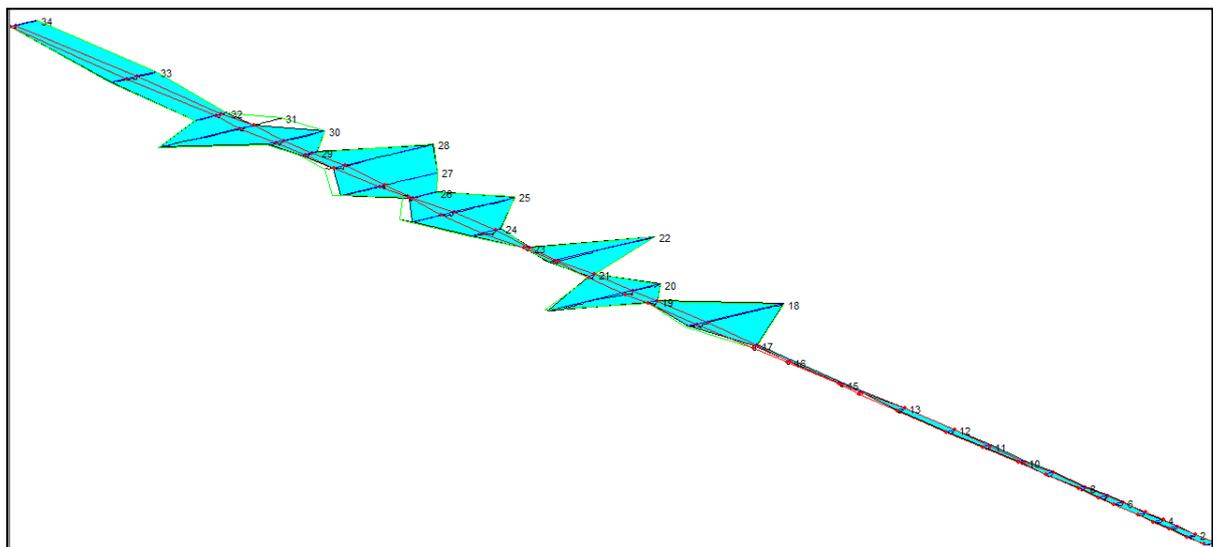


Figure V.5. Vue en plan de l'Oued pour une crue de 100 ans.

- **Profil en long**

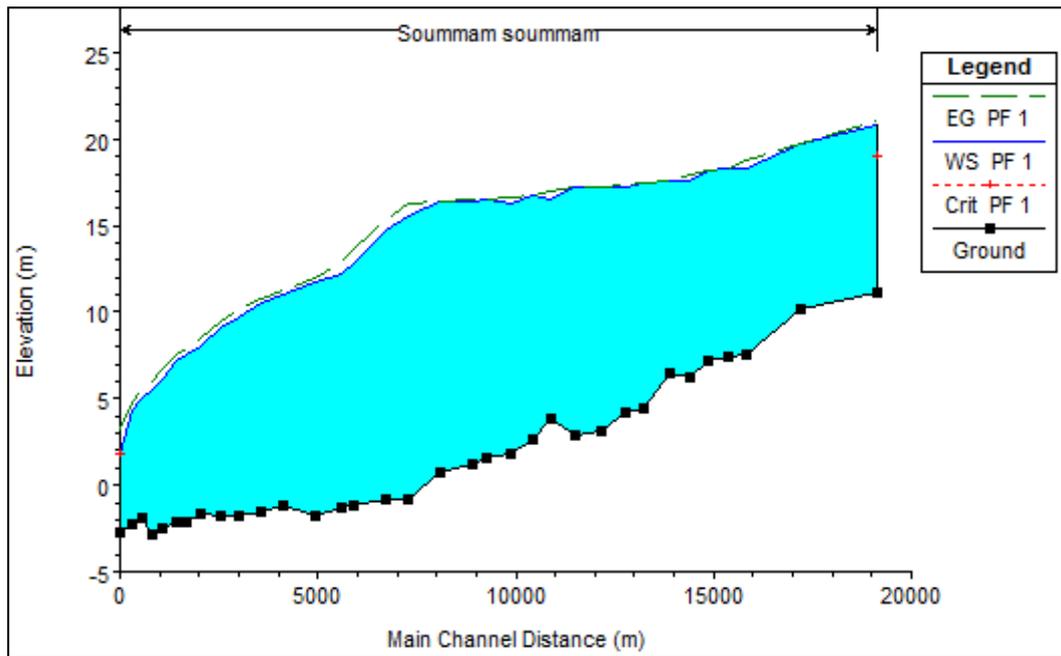


Figure V.6. Profil en long de l'oued pour une crue de 100 ans.

- **Interprétation**

On remarque d'après les schémas donnés par le logiciel que le lit majeur de la Soummam est complètement inondé pour une crue de 100 ans.

V.3.2. Résultats numériques

Vu le nombre important de sections et la nature du projet nous avons opté pour exposer les résultats de simulation pour une crue de 100 ans.

Tableau V.1. Résultats de la simulation Hec-Ras d'oued Soummam non aménagé.

St	Q _{total} (m/s)	Cote Fond (m)	Niveau d'eau (m)	Cote energie (m)	Pente (m/m)	V (m/s)	S mouillé	L mouillé	N Froude
34	2090	10.43	20.51	20.59	0.0005	1.6	1984.23	462.87	0.2
33	2090	10.14	20.3	20.35	0.0003	1.29	2413.42	529.09	0.16
32	2090	7.53	19.18	19.47	0.0015	2.97	1233.37	384.25	0.34
31	2090	7.42	19.19	19.21	0.0002	0.92	4504.78	1460.7	0.12
30	2090	7.18	19.09	19.12	0.0002	1.03	3493.15	680.37	0.11
29	2090	6.26	18.63	18.93	0.0012	2.7	1039.98	213.3	0.31
28	2090	6.45	18.69	18.71	0.0001	0.83	4626.98	1265.06	0.1
27	2090	4.44	18.63	18.64	0.0001	0.66	5456.36	1215.08	0.08
26	2090	4.19	18.51	18.57	0.0003	1.49	2210.56	331.51	0.15
25	2090	3.13	18.51	18.51	0.0000	0.48	7187.91	1256.98	0.05
24	2090	2.85	18.43	18.48	0.0001	1.16	2820.32	350.01	0.11
23	2090	3.87	17.7	18.25	0.0017	3.29	635.68	66.77	0.34
22	2090	2.66	18.06	18.06	0.0000	0.4	8094.99	1301.95	0.04
21	2090	1.84	17.54	17.98	0.0011	2.97	726.62	66.61	0.28
19	2090	1.52	17.82	17.82	0.0000	0.48	9306.09	1363.69	0.04
18	2090	1.26	17.62	17.79	0.0004	1.78	1171.24	109.54	0.17
17	2090	0.7	17.69	17.69	0.0000	0.56	8161.1	1171.08	0.05
16	2090	-0.76	16.82	17.56	0.0022	3.81	548.88	46.3	0.35
15	2090	-0.79	15.83	16.52	0.0017	3.67	569.14	39.5	0.31
14	2090	-1.13	13.76	14.71	0.0028	4.32	483.97	42.88	0.41
13	2090	-1.35	13.04	13.88	0.0024	4.06	515.18	42.5	0.37
12	2090	-1.73	12.56	12.86	0.0009	2.43	860.05	91.75	0.25
11	2090	-1.21	11.91	12.18	0.0008	2.34	893.41	103.98	0.25
10	2090	-1.56	11.36	11.68	0.0009	2.52	830.69	87.64	0.26
9	2090	-1.77	10.41	10.98	0.0017	3.35	624.7	67.32	0.35
8	2090	-1.78	9.81	10.22	0.0014	2.85	732.66	94.82	0.33
7	2090	-1.69	8.64	9.28	0.0023	3.54	590.61	75.78	0.4
6	2090	-2.19	8.2	8.6	0.0015	2.78	751.13	106.64	0.33
5	2090	-2.13	7.85	8.23	0.0015	2.72	767.01	114.19	0.34
4	2090	-2.45	6.71	7.4	0.0032	3.67	569.28	96.13	0.48
3	2090	-2.81	6.14	6.63	0.0023	3.13	668.52	114.21	0.41
2	2090	-1.88	5.61	6.11	0.0021	3.13	668.29	100.91	0.39
1	2090	-2.24	4.8	5.41	0.0029	3.45	605.32	102.27	0.45

- **Interprétation**

D'après les résultats on remarque que le lit majeur de l'oued est totalement inondé sur toute la longueur de l'oued pour les crues centennales, avec des élévations et des vitesses qui peuvent atteindre 15 m et 4 m/s respectivement, ce qui explique l'aspect destructeur de l'oued en période de crue.

V.4. Variantes d'aménagement

Il existe plusieurs types d'aménagements, dont le choix est basé sur les résultats obtenus par l'aménagement choisi tout en garantissant le meilleur rendement.

V.4.1. Buts d'aménagements

Les aménagements hydrauliques des oueds ont pour but d'atteindre un ou plusieurs des objectifs suivants:

- Ecoulement rapide et sans danger des eaux de crues.
- Charriage efficace des sédiments en suspension et des dépôts sur le fond.
- Concentration des courants dans une section déterminée du lit.
- Stabilité du cours avec minimum d'érosion des berges.
- Profondeur suffisante et parcours aisée pour la navigation.

V.4.2. Variantes d'aménagement

Du point de vue choix de matériaux, outre l'aspect économique, le canal peut être dimensionné :

- 1- soit en gabions pour permettre une meilleure stabilisation du canal ;
- 2- soit en terre bien creusée ;
- 3- soit en béton, pour une meilleure débectance, et donc une meilleure protection contre les crues, Cette variante est onéreuse vu le linéaire total.

L'aménagement du canal sera fait après curage de l'oued, et nettoyage de ses déchets le canal prévu sera de forme trapézoïdale ou rectangulaire.

La partie hydraulique, consiste donc en premier lieu à vérifier les capacités des ouvrages (dalots, et sections des oueds) à évacuer les débits de projet à différentes périodes de retour.

Il s'agit donc d'appliquer un modèle hydraulique de type Manning-Strickler, qui fait introduire des paramètres tels que le coefficient de Strickler K, la pente en m/m, le rayon hydraulique, ainsi que les dimensions de l'ouvrage.

Tableau V.2. Avantages et inconvénients pour chaque variante.

variante	Avantages	Inconvénients
Terre	<ul style="list-style-type: none"> • Pas cher • Pas d'impact sur l'aspect esthétique Matériel local 	<ul style="list-style-type: none"> • Représente une mauvaise stabilité par rapport au béton • Fortement exposé au phénomène d'érosion
Canal en béton de forme trapézoïdale	<ul style="list-style-type: none"> • le rendement hydraulique est efficace. • les résultats de calcul sont réalistes. • la durée de vie est importante. • les matériaux de constructions sont disponibles. • entretient très facile. • la durée de réalisation très courte par rapport à un revêtement en gabion. • très répandu dans la protection contre les inondations. • gagner de l'espace. • Assurer la protection des riverains surtout dans le cas où le canal traverse une zone urbanisée. 	<ul style="list-style-type: none"> • risque réel d'être utilisé comme décharge par les riverains (ce problème peut être évité tout en procédant au curage périodique et l'entretien de l'ouvrage). • Volume très important du béton, surtout dans le cas des dalles. • Risque d'affouillement entre les parois verticales et le terrain naturel. • rugosité élevée
Gabionnage	<ul style="list-style-type: none"> • utilisation de la matière locale (cout faible). • la mise en œuvre est facile. • bonne protection contre l'érosion. • assure un drainage naturel et forme une belle harmonie avec la nature car les matériaux utilisés sont des pierres naturelles. • résiste à des crues importantes. • transport et stockage aisé, cout moins élevé. 	<ul style="list-style-type: none"> • faible stabilité surtout aux périodes des crues. • l'insuffisance des cailloux de diamètres demandés. • modification du régime hydraulique le long du linéaire mis en place. • l'écoulement est en effet accéléré car on a diminué la rugosité de la berge. • l'amont et l'aval sont les points les plus sensibles de la ligne d'enrochement, si l'eau arrive à passer derrière les blocs amont tout l'ouvrage est menacé par l'érosion et peut assez rapidement s'effondre.

V.5. Calcul hydraulique

Pour trouver les dimensions du canal, en fonction du débit de projet, on se base sur l'équation universelle de Manning-Strickler, qui est de la forme suivante :

$$Q = \frac{1}{n} I^{1/2} R^{2/3} S \dots\dots\dots(19)$$

Où :

Q : débit de projet pour une période de retour donnée ;

n : coefficient de rugosité égal à 1/K (K = coefficient de Strickler) ;

I : pente hydraulique assimilée à la pente du lit du canal ;

R : rayon hydraulique, qui est égal au rapport de la section mouillée au périmètre mouillé;

S : section du canal.

Pour ce qui est des valeurs de Manning, on s'est référée sur les valeurs présentées par Degoutte (2012).

Tableau V.3. Valeurs du coefficient de Manning pour différents matériaux.

Nature de la paroi	Valeur de k en m ^{1/3} /s
Béton lisse	75 - 90
Canal et terre, non enherbé	60
Canal et terre, enherbé	50
Rivière de plaine sans végétation arbustive	35 - 40
Rivière de plaine large, végétation peu dense	30
Rivière à berges étroites très végétalisées	10 - 15
Lit majeur en prairie	20 - 30
Lit majeur en vigne ou taillis	10 - 15
Lit majeur urbanisé	10 - 15
Lit majeur en forêt	<10

Pour l'aménagement de l'oued nous préconisons de dimensionner l'oued pour une période de retour de 100 ans.

V.6. Calcul hydraulique avec le logiciel canal 21

L'exécution des calculs hydrauliques a été effectuée sous le logiciel Canal 21, la fenêtre principale pour les calculs hydrauliques est présentée comme suit :

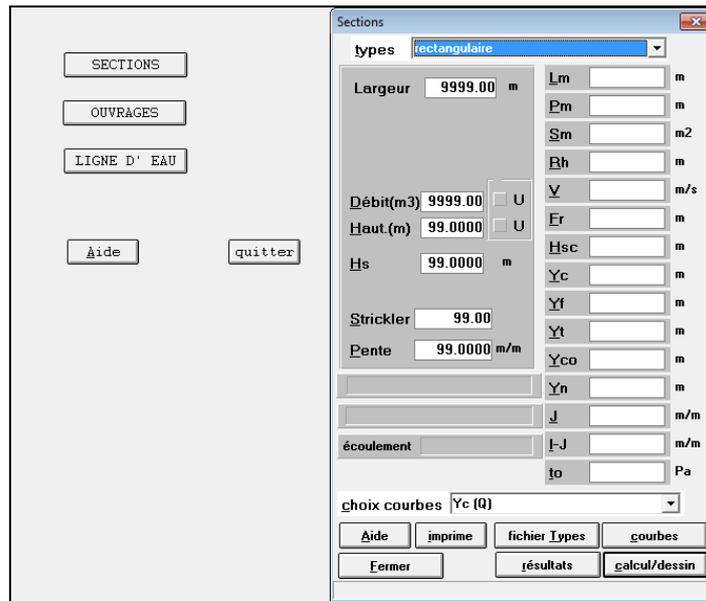


Figure V.7. Fenêtre principale du logiciel Canal 21.

V.9.1. Résultats de calculs hydrauliques

V.9.1.1. Canal en gabion

Dans les aménagements hydrauliques, les gabions sont utilisés fréquemment disposés en épi perpendiculairement à la berge ou parallèlement aux rives pour lutter contre l'érosion fluviale ou torrentielle. On réalise aussi des seuils ou petits barrages.

L'utilisation des gabions se fait en générale sous forme de sacs déposés suivant la section transversale du cours d'eau en escaliers pour augmenter leurs stabilités.

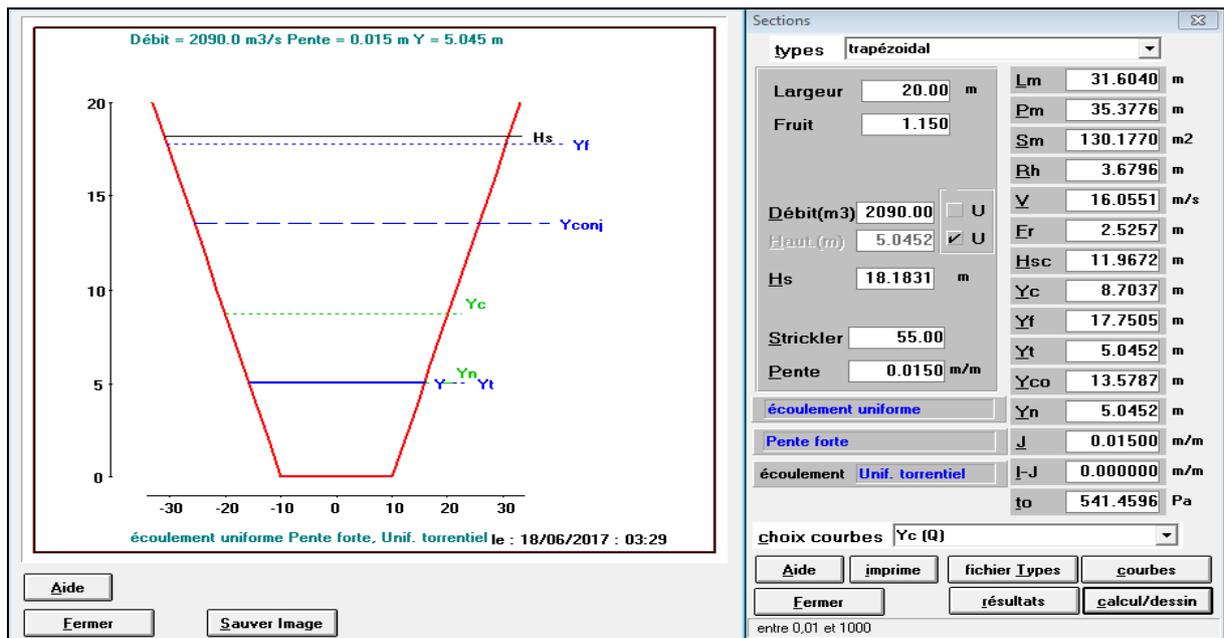


Figure V.8. Résultats données par Canal 21 pour l'aménagement en gabion.

V.9.1.2. Canal trapézoïdal en béton

Cette variante consiste à projeter un canal trapézoïdal en béton. Les dimensions de ce canal sont calculées à l'aide de la formule de Manning-Strickler.

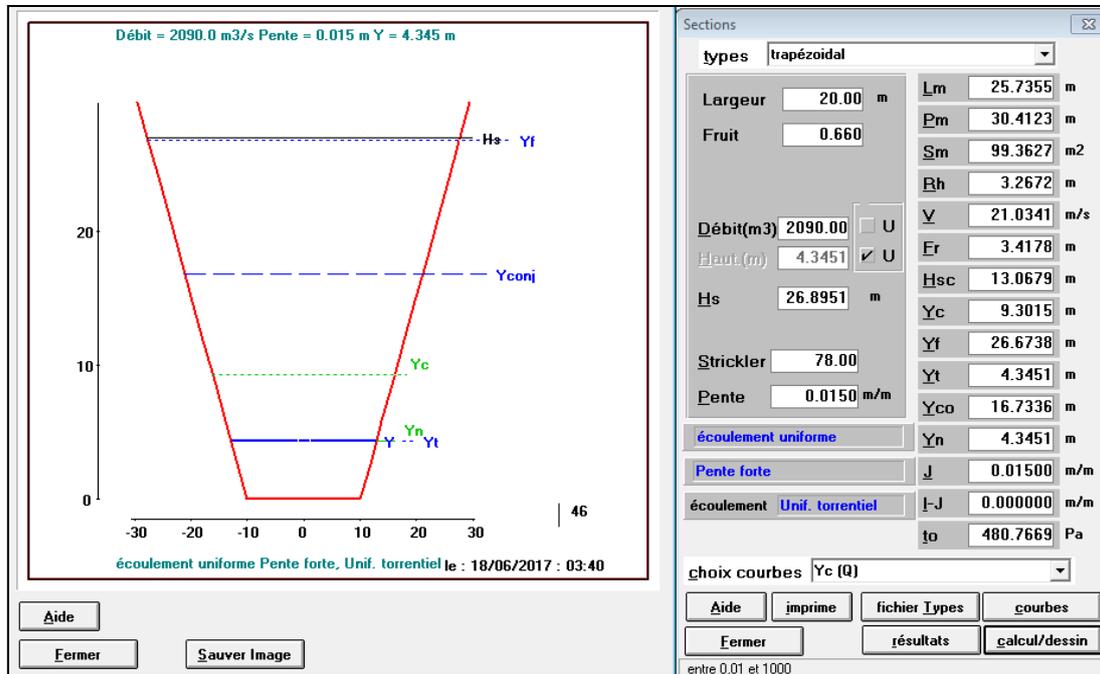


Figure V.9. Résultats données par Canal 21 pour l'aménagement en béton.

V.9.1.3. Canal trapézoïdale en terre

Pour réaliser cette variante il nous faut des talus lisses car les terrains sont de nature alluviale, ce qui impose de grands volumes de déblais. D'autre part un canal trapézoïdal en terre est caractérisé par une mauvaise stabilité par rapport au béton et il est fortement exposé au phénomène d'érosion, c'est pour quoi on a écarté cette variante car elle ne convient pas à notre aménagement.

V.7. Estimation du coût

V.7.1. Canal en gabion

- Berges

$$C_{bg} = V_{bg} \cdot PU \dots \dots \dots (20)$$

$$V_{bg} = L \cdot h \cdot m \cdot e \dots \dots \dots (21)$$

Avec :

V_{bg} : Volume du gabion des berges (m).

L: Longueur totale du tronçon (m).

h: Hauteur des berges (m).

e: Epaisseur de la couche de gabion (e = 1m).

m : fruit de talus.

- **Fond**

$$C_{fg} = V_{fg}.PU \dots\dots\dots(22)$$

$$V_{fg} = L * b * e \dots\dots\dots(23)$$

Avec :

V_{fg} : Volume du gabion du fond (m).

L: Longueur de l'oued (m).

b: Largeur de l'oued (m)

e: Epaisseur de la couche de gabion (e = 0.5 m).

V.7.2. Canal trapézoïdal en béton

- **Berges**

$$C_{bg} = V_{bg}.PU \dots\dots\dots(24)$$

$$V_{bg} = L * h * m * e \dots\dots\dots(25)$$

Avec :

V_{bb} : Volume du béton des berges (m).

L: Longueur totale du tronçon (m).

h: Hauteur des berges (m).

e: Epaisseur de la couche de béton (e = 0.25 m).

m : fruit de talus.

- **Fond**

$$C_{fg} = V_{fg}.PU \dots\dots\dots(26)$$

$$V_{fg} = L * b * e \dots\dots\dots(27)$$

Avec :

V_{bf} : Volume du béton du fond (m).

L: Longueur du bassin (m).

b: Largueur du bassin (m)

e: Epaisseur de la couche de béton ($e = 0.25$ m).

Tableau V.4. Détermination du cout du projet. (Source DRE)

Variante	Volume des berges (m ³)	Volume du fond (m ³)	Volume total (m ³)	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Gabion	276 000	200 000	476 000	5 000	2 380 000 000
Béton	83 333	100 000	183 333	30 000	54 9999 0000

Les prix sont fixés selon ceux du marché pendant l'année 2015.

V.8. Choix de la variante

En se basant sur une analyse technico-économique, et ceci sur les caractéristiques hydrauliques et le cout du projet, nous avons opté pour la première variante qui est en gabion vu son rendement, sa disponibilité, sa facilité de mise en œuvre, sa longévité et particulièrement son faible cout par rapport au canal en béton qui est très onéreux.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons abordé l'étude hydraulique en vue d'un aménagement de l'oued Soummam.

Pour cela nous avons en premier lieu établi des profils en travers de l'oued qui ont été analysés par simulation avec un logiciel spécialisé qui est le logiciel Hec Ras.

Le diagnostic de l'oued est porté sur une longueur totale à savoir $L = 19115$ m et a été analysé pour une période de retour de 100 ans.

Les résultats de la simulation ont montré que la capacité du cours d'eau est insuffisante pour permettre le passage des crues centennales ($Q=2090$ m³/s), ce qui s'est traduit par des débordements importants sur les rives de l'oued et même la submersion du lit majeur sur plusieurs kilomètres.

Devant cette situation, un aménagement s'impose pour permettre une protection contre les crues de l'oued et des populations. En effet, nous avons opté pour des aménagements selon plusieurs variantes en choisissant des matériaux et des sections adéquates.

Après une analyse technico-économique, nous avons opté pour un aménagement en gabion, avec une hauteur de 6 m, qui va couter **2 380 000 000 DA**.

[Tapez un texte]

Conclusion générale

Au terme de ce travail, nous avons pu saisir l'ampleur des inondations et leurs influence sur la vie des riverains en général. En outre, nous avons pu contribuer à l'étude de protection contre les inondations des communes Oued Ghir, Tala Hamza et Béjaia situées dans la wilaya de Béjaia.

Dans un premier temps on a commencé avec des notions sur les inondations, afin de mieux comprendre le phénomène et mieux le cerner pour en trouver des solutions valables.

En second lieu, l'étude géomorphologique du bassin versant de la Soummam a révélé que celui-ci est allongé et caractérisé par une faible pente, ce qui engendre inévitablement des inondations pouvant atteindre le lit majeur.

L'analyse hydrologique a permis de quantifier les pluies maximales journalières pour différentes périodes de retour pour les différentes stations, ainsi que les intensités moyennes maximales pour les pluies de courtes durées.

Dans l'étude des crues et sur la base des données issues de la station hydrométrique de Sidi Aich sur une période de 42 ans, et en ajustant la série, on a obtenu les débits maximaux pour différentes périodes de retour, avec lesquelles on a établi les hydrogrammes des crues correspondant à chacune d'elles.

Dans le chapitre de l'étude des variantes d'aménagement, nous avons abordé l'étude hydraulique en vue d'un aménagement de l'oued Soummam, et dans ce but trois plans ont été proposés et l'étude technico-économique des trois variantes a favorisé la première qui se caractérise par un aménagement en gabion.

Enfin le coût de ce gabionnage a été estimé à **2 380 000 000 DA** auquel s'ajoute les autres frais.

La réalisation de tels projets demeure délicate en milieu urbain, mais le vrai dilemme est la gestion et l'entretien à court et à long terme afin d'assurer un meilleur service et une plus grande longévité.

REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [3] **Ministère de l'écologie et du développement durable. Aout 2004** « Les inondations». Dossier d'information
- [4] **Direction Départementale des Territoires et de la Mer de l'Hérault. Décembre 2012** « Etude de définition des zones inondables du bassin versant du Libron». Commune de Boujan-sur-Libron.
- [7] **direction des ressources en eau de Bejaia. Mars 2014** « Rapport PDAU Tazmalt phase II».
- [8] **SOLOFONIRINA.RP. Août 2011** « Analyse des impacts socio-économiques des risques et vulnérabilités liés à l'inondation à Andohatapenaka». P55 Université d'Antananarivo.
- [9] **B .TOUAIBIA, A.BENAOUDJ, P.HUBERT. 2005** «Les inondations dans la vallée du M'ZAB».
- [10] **LAHLAH. S. décembre 2004** «Actes des Journées Techniques/ Risques Naturels : Inondation, Prévision, Protection» P15, 16. Batna.
- [12] **Sormail. L. Juillet 2011** «La demande sociale d'aménagement des cours d'eau, Recensement des principaux objectifs. Les besoins et les priorités en pays développés». Agence de l'Eau, Adour-Garonne, Toulouse.
- [13] **France, nature, environnement. Septembre 2012** « Morphologie des cours d'eau». France.
- [14] **Direction de l'eau, des milieux aquatiques et de l'agriculture (DEMAA), service eaux de surface, Décembre 2007** « Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau». France.

REFERENCES SITOGRAPHIQUES

- [1] <http://www.wikipedia.org>. 25 Février 2017 à 17h15.
- [2] <http://www.leauquichante.com>. 28 Fevrier 2017 à 20h38.
- [5] <http://www.noe.gard.fr/index.php/le-gard-et-le-risque-inondation/comprendre-le-phenomene-inondation>. 1 Mars 2017 à 10h32.
- [6] <http://tpe-inondation-1s1.e-monsite.com/pages/types-d-inondations.html>. 5 Mars 2017 à 13h09
- [11] <http://www.environnement-poitou-charentes.org/Les-amenagements-de-cours-d-eau.html> l'Environnement en Poitou-Charentes - Thème Patrimoine Naturel. 5 Mars 2017 à 16h56.

ANNEXES

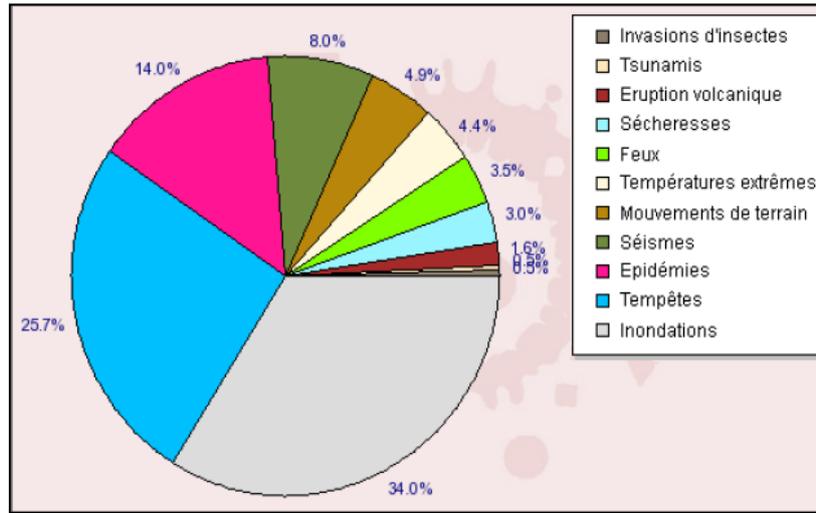


Figure 1. Types de catastrophes survenues dans le monde de 1990 à 2007 en nombre de sinistrés. (Source : International Disaster Database).

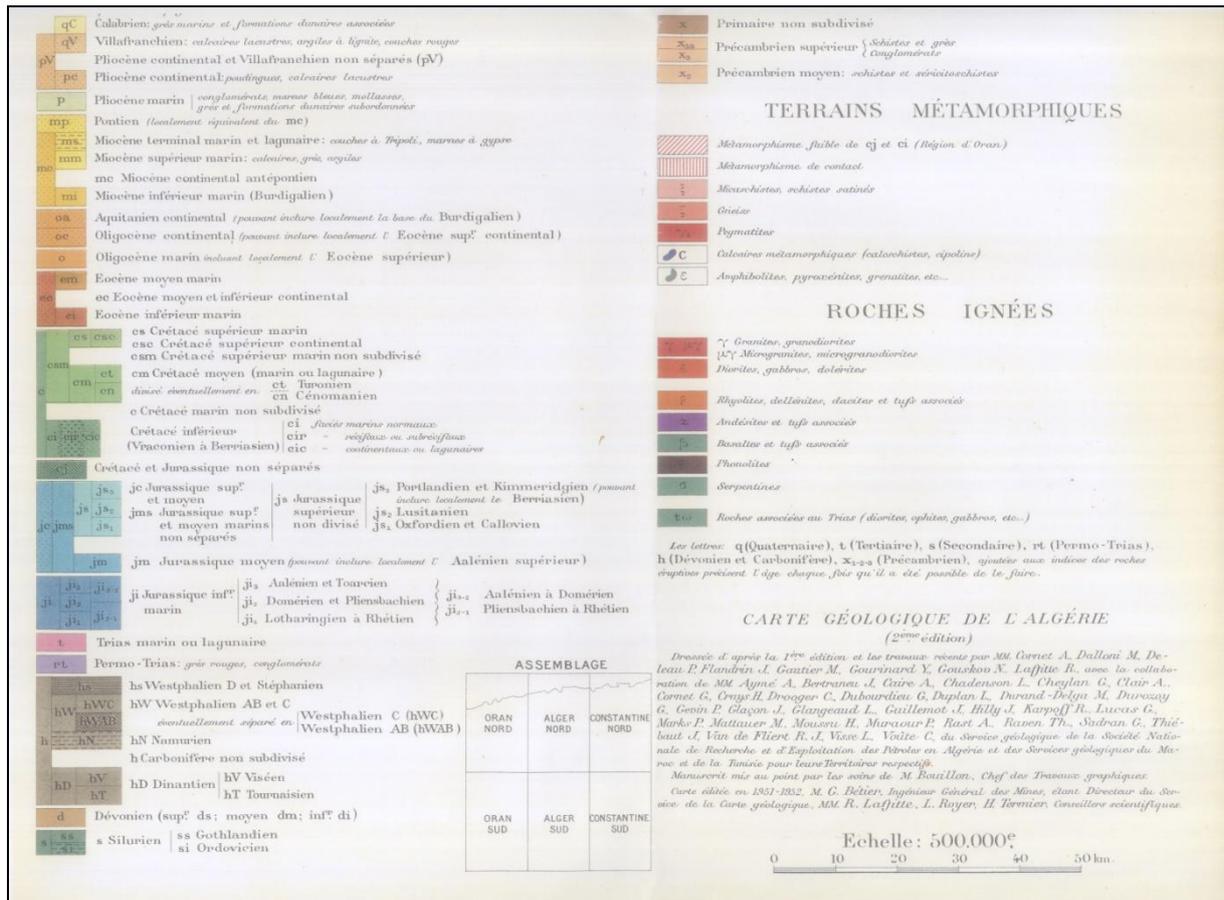


Figure 2. Légende de la carte géologique.

Tableau 1. Pluies maximales journalières des stations : Sour El Ghozlane, Tighdite et Ighil Ali.

Sour El Ghozlane		Tighdite		El Asnam		Ighil Ali	
Année	P _{max,j} (mm)	Année	P _{max,j} (mm)	Année	P _{max,j} (mm)	Année	P _{max,j} (mm)
1975	30.3	1975	26	1975	37	1975	31.8
1976	34.3	1976	24	1976	18.4	1976	37.3
1977	32	1977	25	1977	26.5	1977	33.7
1978	33.1	1978	33	1978	25.4	1978	34
1979	101.6	1979	15	1979	19.6	1979	24.5
1980	53.8	1980	15	1980	38.6	1980	39
1981	27.6	1981	24.3	1981	38.4	1981	51.5
1982	28	1982	18.7	1982	22.1	1982	33.5
1983	30.3	1983	23.9	1983	38.5	1983	69
1984	19.9	1984	13	1984	30.4	1984	33.5
1985	28.4	1985	33.5	1985	28.4	1985	49
1986	64.6	1986	57	1986	41	1986	30
1987	29.6	1987	31.8	1987	29.3	1987	37.5
1988	24.2	1988	27.3	1988	32	1988	40
1989	80.2	1989	30.8	1989	30.3	1989	34
1990	37.4	1990	33	1990	28.4	1990	30
1991	66.2	1991	30.5	1991	24	1991	34
1992	59.9	1992	29	1992	26.7	1992	31
1993	39.8	1993	21.4	1993	22.5	1993	36
1994	41.4	1994	24.7	1994	23.4	1994	42
1995	42.7	1995	29.3	1995	34.2	1995	70
1996	39	1996	23.5	1996	32.2	1996	17
1997	19.6	1997	19.4	1997	18.5	1997	9
1998	37	1998	52	1998	35.2	1998	67
1999	26.9	1999	29	1999	17	1999	56
2000	41.8	2000	25	2000	25.8	2000	41
2001	49.5	2001	36.3	2001	41.5	2001	37
2002	31.3	2002	23.5	2002	37.2	2002	33.2
2003	53.8	2003	37.7	2003	46.4	2003	76

Tableau 2. Pluies maximales journalières des stations : Bouira Coligny, Maouchi Ahmed et Boubirek.

Bouira Coligny		Maouchi Ahmed		Boubirek	
Année	P_{max,j} (mm)	Année	P_{max,j} (mm)	Année	P_{max,j} (mm)
1975	63.8	1975	44.3	1975	26
1976	32.4	1976	45.6	1976	38.2
1977	37.7	1977	21.6	1977	33.5
1978	35	1978	36.5	1978	36.5
1979	30.7	1979	52.3	1979	37.2
1980	85	1980	36.9	1980	39
1981	37.4	1981	66.3	1981	64
1982	36.9	1982	41.4	1982	46
1983	24	1983	53.4	1983	96
1984	35	1984	68	1984	68
1985	27.5	1985	40.5	1985	66.1
1986	43.1	1986	55.5	1986	49.2
1987	48.4	1987	48	1987	172
1988	19.7	1988	29.5	1988	32
1989	37.5	1989	46.3	1989	41
1990	33.3	1990	29.2	1990	29.5
1991	27.3	1991	56.2	1991	55.3
1992	41	1992	40	1992	38.8
1993	33	1993	38.4	1993	45.8
1994	30.3	1994	37.2	1994	35
1995	28.5	1995	39	1995	48.3
1996	37.3	1996	62.6	1996	58.7
1997	15.5	1997	18.6	1997	21.5
1998	35.3	1998	52.5	1998	45.6
1999	44.7	1999	26.5	1999	36.3
2000	40.3	2000	36.1	2000	55.5
2001	15.8	2001	32.3	2001	45.8
2002	21.3	2002	24	2002	30.8
2003	35.3	2003	56.6	2003	58.7

Tableau 3. Procédure du test de Wilcoxon sur la station Sour El Ghozlane (15 01 01).

Série brute	Série classée	Rang	N ₁	Rang N ₁	N ₂	Rang N ₂
30.3	101.6	1	30.3	20	28.4	23
34.3	80.2	2	34.3	16	64.6	4
32.0	66.2	3	32.0	18	29.6	22
33.1	64.6	4	33.1	17	24.2	27
101.6	59.9	5	101.6	1	80.2	2
53.8	53.8	6	53.8	6.5	37.4	14
27.6	53.8	7	27.6	25	66.2	3
28.0	49.5	8	28.0	24	59.9	5
30.3	42.7	9	30.3	21	39.8	12
19.9	41.8	10	19.9	28	41.4	11
28.4	41.4	11			42.7	9
64.6	39.8	12			39.0	13
29.6	39.0	13			19.6	29
24.2	37.4	14			37.0	15
80.2	37.0	15			26.9	26
37.4	34.3	16			41.8	10
66.2	33.1	17			49.5	8
59.9	32.0	18			31.3	19
39.8	31.3	19			53.8	6.5
41.4	30.3	20				
42.7	30.3	21				
39.0	29.6	22				
19.6	28.4	23				
37.0	28.0	24				
26.9	27.6	25				
41.8	26.9	26				
49.5	24.2	27				
31.3	19.9	28				
53.8	19.6	29				

Annexes

Tableau 4. Procédure du test de Wilcoxon sur la station Tighdite (15 02 01).

Série brute	Série classée	Rang	N_1	Rang N_1	N_2	Rang N_2
26.0	57.0	1	26.0	15	33.5	5
24.0	52.0	2	24.0	20	57.0	1
25.0	37.7	3	25.0	16.5	31.8	8
33.0	36.3	4	33.0	6.5	27.3	14
15.0	33.5	5	15.0	27	30.8	9
15.0	33.0	6	15.0	28	33.0	6.5
24.3	33.0	7	24.3	19	30.5	10
18.7	31.8	8	18.7	26	29.0	12
23.9	30.8	9	23.9	21	21.4	24
13.0	30.5	10	13.0	29	24.7	18
33.5	29.3	11			29.3	11
57.0	29.0	12			23.5	22
31.8	29.0	13			19.4	25
27.3	27.3	14			52.0	2
30.8	26.0	15			29.0	13
33.0	25.0	16			25.0	16.5
30.5	25.0	17			36.3	4
29.0	24.7	18			23.5	23
21.4	24.3	19			37.7	3
24.7	24.0	20				
29.3	23.9	21				
23.5	23.5	22				
19.4	23.5	23				
52.0	21.4	24				
29.0	19.4	25				
25.0	18.7	26				
36.3	15.0	27				
23.5	15.0	28				
37.7	13.0	29				

Tableau 5. Procédure du test de Wilcoxon sur la station El Asnam (15 02 04).

Série brute	Série classée	Rang	N_1	Rang N_1	N_2	Rang N_2
37.0	46.4	1	37.0	8	28.4	16
18.4	41.5	2	18.4	28	41.0	3
26.5	41.0	3	26.5	19	29.3	15
25.4	38.6	4	25.4	21	32.0	12
19.6	38.5	5	19.6	26	30.3	14
38.6	38.4	6	38.6	4	28.4	17
38.4	37.2	7	38.4	6	24.0	22
22.1	37.0	8	22.1	25	26.7	18
38.5	35.2	9	38.5	5	22.5	24
30.4	34.2	10	30.4	13	23.4	23
28.4	32.2	11			34.2	10
41.0	32.0	12			32.2	11
29.3	30.4	13			18.5	27
32.0	30.3	14			35.2	9
30.3	29.3	15			17.0	29
28.4	28.4	16			25.8	20
24.0	28.4	17			41.5	2
26.7	26.7	18			37.2	7
22.5	26.5	19			46.4	1
23.4	25.8	20				
34.2	25.4	21				
32.2	24.0	22				
18.5	23.4	23				
35.2	22.5	24				
17.0	22.1	25				
25.8	19.6	26				
41.5	18.5	27				
37.2	18.4	28				
46.4	17.0	29				

Tableau 6. Procédure du test de Wilcoxon sur la station Ighil Ali (15 05 03).

Série brute	Série classée	Rang	N_1	Rang N_1	N_2	Rang N_2
31.8	76.0	1	31.8	23	49.0	7
37.3	70.0	2	37.3	13	30.0	25
33.7	69.0	3	33.7	19	37.5	12
34.0	67.0	4	34.0	17	40.0	10
24.5	56.0	5	24.5	27	34.0	17
39.0	51.5	6	39.0	11	30.0	26
51.5	49.0	7	51.5	6	34.0	17
33.5	42.0	8	33.5	20	31.0	24
69.0	41.0	9	69.0	3	36.0	15
33.5	40.0	10	33.5	21	42.0	8
49.0	39.0	11			70.0	2
30.0	37.5	12			17.0	28
37.5	37.3	13			9.0	29
40.0	37.0	14			67.0	4
34.0	36.0	15			56.0	5
30.0	34.0	16			41.0	9
34.0	34.0	17			37.0	14
31.0	34.0	18			33.2	22
36.0	33.7	19			76.0	1
42.0	33.5	20				
70.0	33.5	21				
17.0	33.2	22				
9.0	31.8	23				
67.0	31.0	24				
56.0	30.0	25				
41.0	30.0	26				
37.0	24.5	27				
33.2	17.0	28				
76.0	09.0	29				

Tableau 7. Procédure du test de Wilcoxon sur la station Boubirek (15 07 03).

Série brute	Série classée	Rang	N_1	Rang N_1	N_2	Rang N_2
26.0	172.0	1	26.0	28	66.1	4
38.2	96.0	2	38.2	19	49.2	10
33.5	68.0	3	33.5	24	172.0	1
36.5	66.1	4	36.5	21	32.0	25
37.2	64.0	5	37.2	20	41.0	16
39.0	58.7	6	39.0	17	29.5	27
64.0	58.7	7	64.0	5	55.3	9
46.0	55.5	8	46.0	12	38.8	18
96.0	55.3	9	96.0	2	45.8	13
68.0	49.2	10	68.0	3	35.0	23
66.1	48.3	11			48.3	11
49.2	46.0	12			58.7	6
172.0	45.8	13			21.5	29
32.0	45.8	14			45.6	15
41.0	45.6	15			36.3	22
29.5	41.0	16			55.5	8
55.3	39.0	17			45.8	14
38.8	38.8	18			30.8	26
45.8	38.2	19			58.7	7
35.0	37.2	20				
48.3	36.5	21				
58.7	36.3	22				
21.5	35.0	23				
45.6	33.5	24				
36.3	32.0	25				
55.5	30.8	26				
45.8	29.5	27				
30.8	26.0	28				
58.7	21.5	29				

Tableau 8. Procédure du test de Wilcoxon sur la station Bouira Coligny (15 06 08).

Série brute	Série classée	Rang	N ₁	Rang N ₁	N ₂	Rang N ₂
63.8	85.0	1	63.8	2	27.5	23
32.4	63.8	2	32.4	19	43.1	5
37.7	48.4	3	37.7	8	48.4	3
35.0	44.7	4	35.0	15	19.7	27
30.7	43.1	5	30.7	20	37.5	9
85.0	41.0	6	85.0	1	33.3	17
37.4	40.3	7	37.4	10	27.3	24
36.9	37.7	8	36.9	12	41.0	6
24.0	37.5	9	24.0	25	33.0	18
35.0	37.4	10	35.0	16	30.3	21
27.5	37.3	11			28.5	22
43.1	36.9	12			37.3	11
48.4	35.3	13			15.5	29
19.7	35.3	14			35.3	13
37.5	35.0	15			44.7	4
33.3	35.0	16			40.3	7
27.3	33.3	17			15.8	28
41.0	33.0	18			21.3	26
33.0	32.4	19			35.3	14
30.3	30.7	20				
28.5	30.3	21				
37.3	28.5	22				
15.5	27.5	23				
35.3	27.3	24				
44.7	24.0	25				
40.3	21.3	26				
15.8	19.7	27				
21.3	15.8	28				
35.3	15.5	29				

Tableau 9. Procédure du test de Wilcoxon sur la station Maouchi Ahmed (15 10 04).

Série brute	Série classée	Rang	N_1	Rang N_1	N_2	Rang N_2
44.3	68.0	1	44.3	13	40.5	15
45.6	66.3	2	45.6	12	55.5	6
21.6	62.6	3	21.6	28	48.0	10
36.5	56.6	4	36.5	21	29.5	24
52.3	56.2	5	52.3	9	46.3	11
36.9	55.5	6	36.9	20	29.2	25
66.3	53.4	7	66.3	2	56.2	5
41.4	52.5	8	41.4	14	40.0	16
53.4	52.3	9	53.4	7	38.4	18
68.0	48.0	10	68.0	1	37.2	19
40.5	46.3	11			39.0	17
55.5	45.6	12			62.6	3
48.0	44.3	13			18.6	29
29.5	41.4	14			52.5	8
46.3	40.5	15			26.5	26
29.2	40.0	16			36.1	22
56.2	39.0	17			32.3	23
40.0	38.4	18			24.0	27
38.4	37.2	19			56.6	4
37.2	36.9	20				
39.0	36.5	21				
62.6	36.1	22				
18.6	32.3	23				
52.5	29.5	24				
26.5	29.2	25				
36.1	26.5	26				
32.3	24.0	27				
24.0	21.6	28				
56.6	18.6	29				

Tableau 10. Récapitulatif des résultats obtenus par l'ajustement à la loi de Gumbel de la station Sour El Ghozlane.

Période de retour (ans)	Fréquence (%)	$P_{\max,j p\%}$
100	1	84.9
50	2	79.8
20	5	72.2
10	10	65.4
5	20	57.2

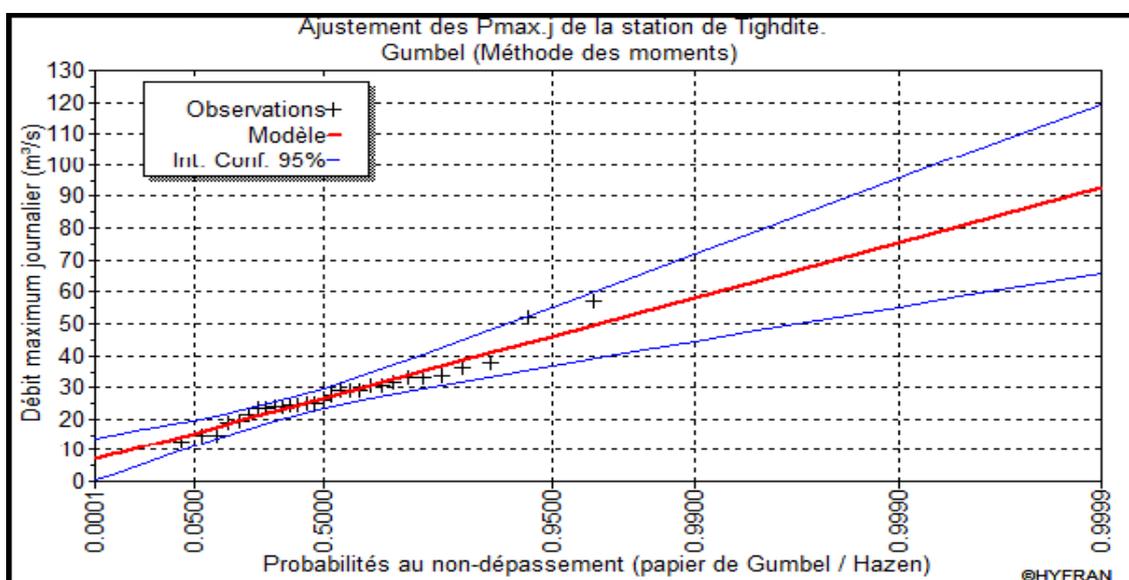


Figure 3. Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Gausse de la station Sour El Ghozlane.

Tableau 11. Récapitulatif des résultats obtenus par l'ajustement à la loi de Gumbel de la station El Asnam.

Période de retour (ans)	Fréquence (%)	$P_{\max,j p\%}$
100	1	54.4
50	2	50.2
20	5	44.5
10	10	40.1
5	20	35.6

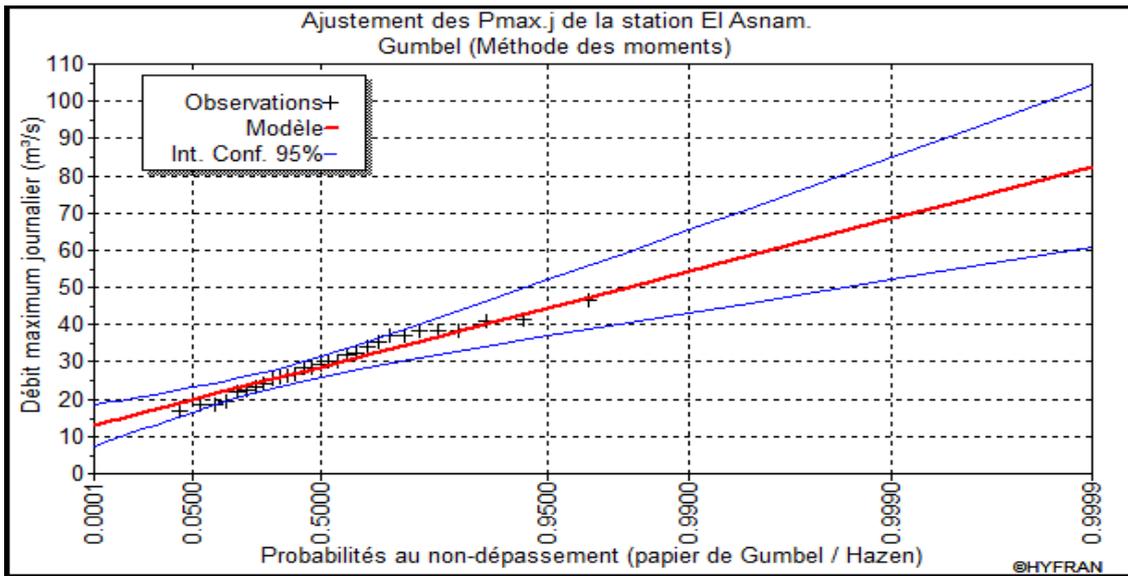


Figure 4. Représentation graphique de l’ajustement à la loi de Gausse de la station El Asnam.

Tableau 12. Récapitulatif des résultats obtenus par l’ajustement à la loi de Gumbel de la station Ighil Ali.

Période de retour (ans)	Fréquence (%)	P _{max,j} p%
100	1	88.2
50	2	79.8
20	5	68.6
10	10	60
5	20	51

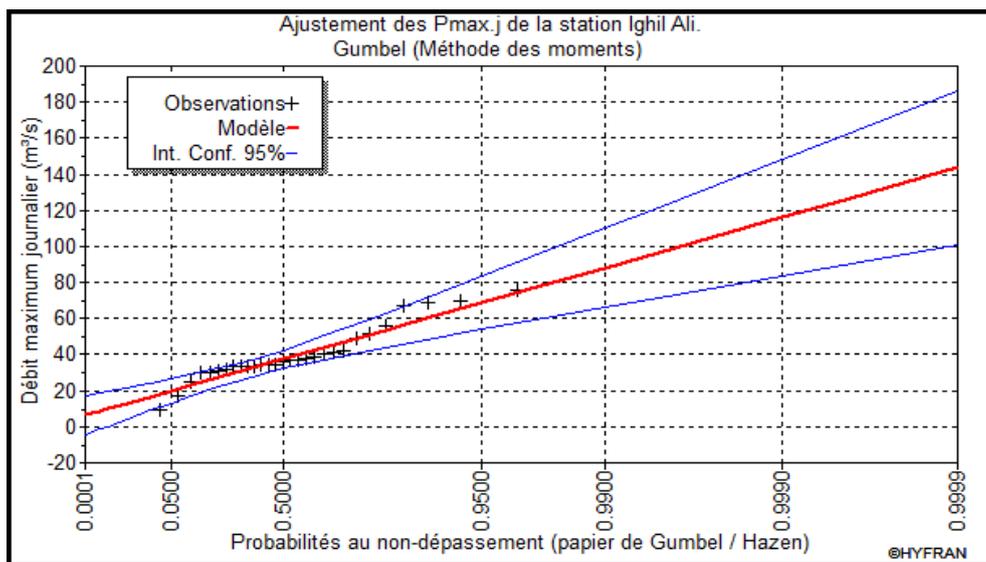
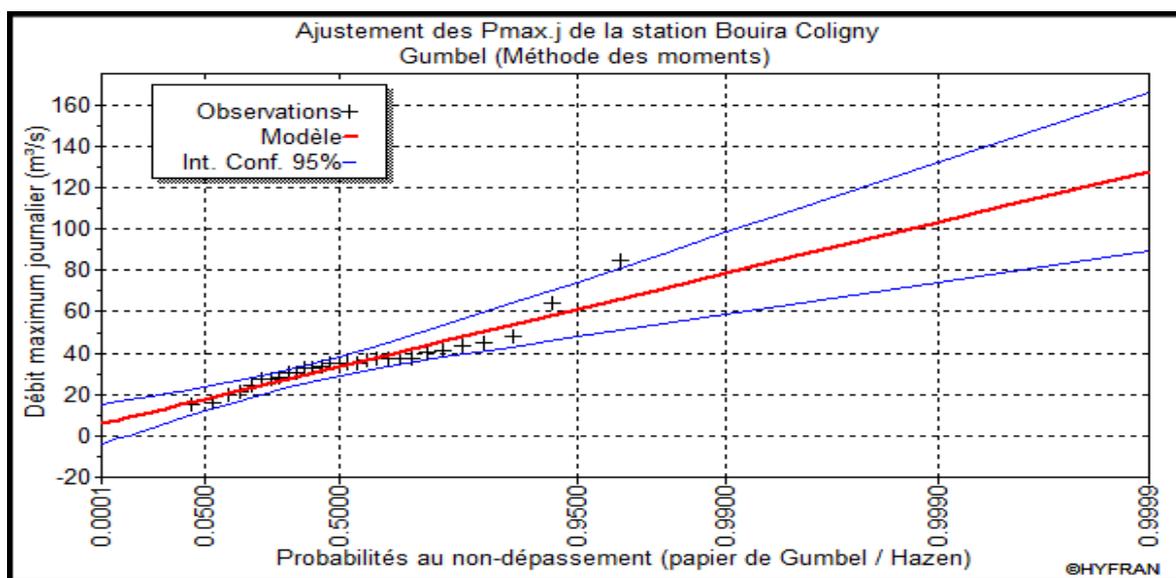


Figure 5. Représentation graphique de l’ajustement à la loi de Gausse de la station Ighil Ali.

Tableau 13. Récapitulatif des résultats obtenus par l'ajustement à la loi de Gumbel de la station Bouira Coligny.

Période de retour (ans)	Fréquence (%)	$P_{\max,j p\%}$
100	1	78.6
50	2	71.1
20	5	61.2
10	10	53.5
5	20	45.5

**Figure 6.** Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Gausse de la station Bouira Coligny.**Tableau 14.** Récapitulatif des résultats obtenus par l'ajustement à la loi de Gumbel de la station Maouchi Ahmed.

Période de retour (ans)	Fréquence (%)	$P_{\max,j p\%}$
100	1	83.6
50	2	76.5
20	5	67
10	10	59.6
5	20	52

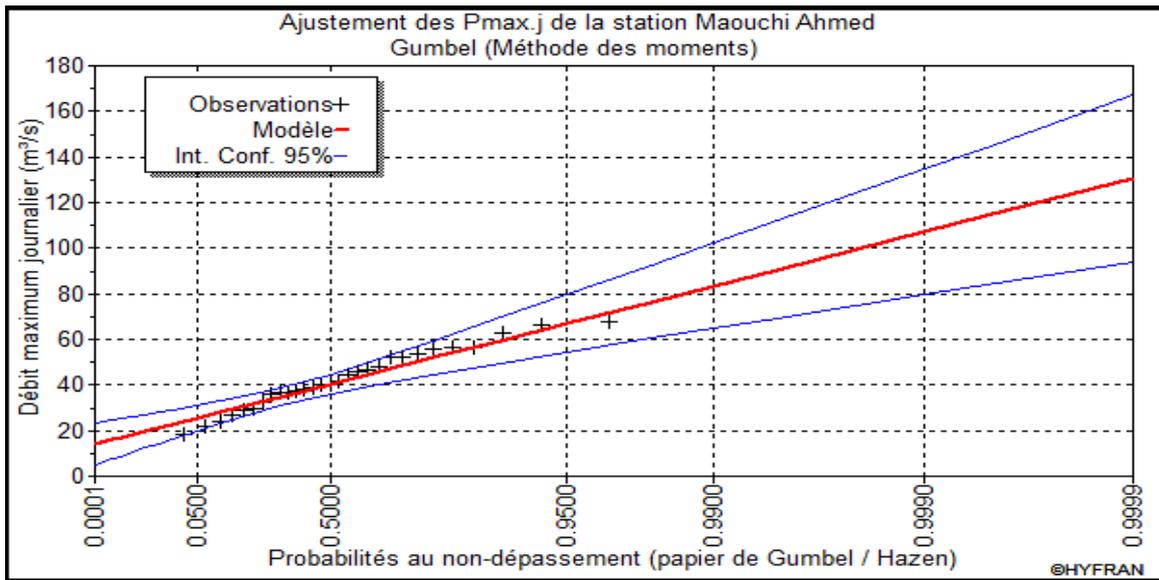


Figure 7. Représentation graphique de l’ajustement à la loi de Gausse de la station Maouchi Ahmed.

Tableau 15. Récapitulatif des résultats obtenus par l’ajustement à la loi de Gumbel de la station Boubirek.

Période de retour (ans)	Fréquence (%)	$P_{max,j p\%}$
100	1	138
50	2	123
20	5	102
10	10	86.6
5	20	70.2

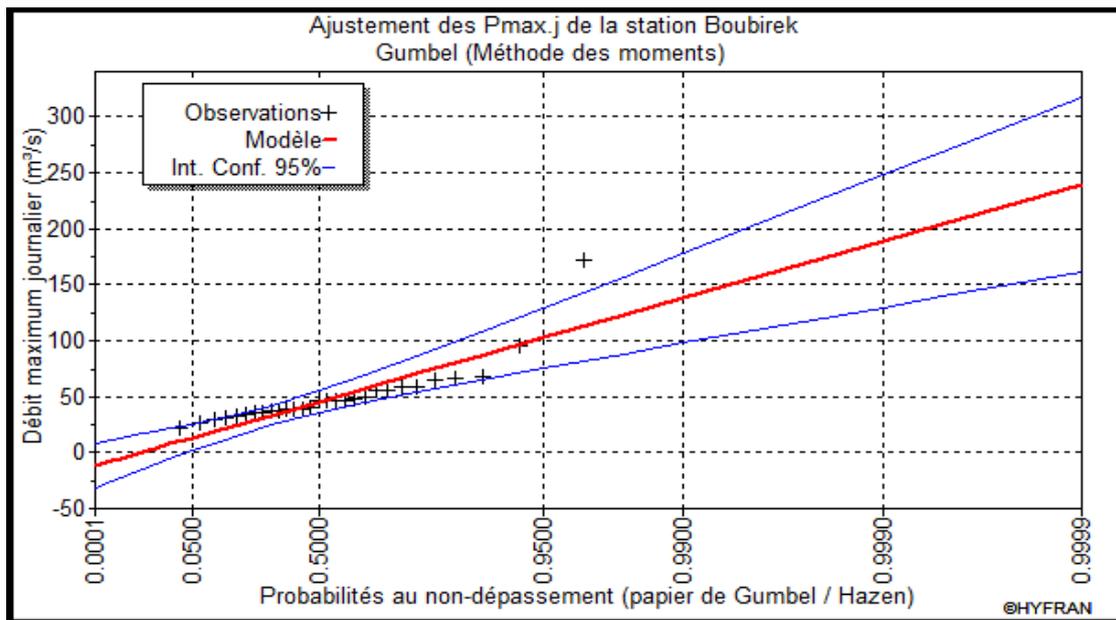


Figure 8. Représentation graphique de l’ajustement à la loi de Gausse de la station Boubirek.

Annexes

Tableau 16. Pluies et intensités maximales de durées t(h) et de périodes de retour T de la station Tighedite.

P.R (ans)	100		50		20		10		5	
P(F)	84.9		79.8		72.2		65.4		57.2	
Durée (h)	P_{cd}(h)	I_t(mm/h)								
0.25	19.7	78,8	18.52	74,08	16.76	67,04	15.18	60,72	13.28	53,12
0.5	24.6	49,2	23.12	46,24	20.92	41,84	18.95	37,9	16.57	33,14
1	30.71	30,71	28.86	28,86	26.11	26,11	23.65	23,65	20.69	20,69
2	38.33	19,17	36.03	18,02	32.59	16,3	29.53	14,77	25.83	12,92
6	54.48	9,08	51.21	8,54	46.33	7,72	41.97	7	36.71	6,12
12	68.01	5,67	63.93	5,33	57.84	4,82	52 .39	4,37	45.82	3,82
24	84.9	3,54	79.8	3,33	72.2	3,01	65.4	2,35	57.2	2,38

Tableau 17. Pluies et intensités maximales de durées t(h) et de périodes de retour T de la station SEG.

P.R (ans)	100		50		20		10		5	
P(F)	54.4		50.2		44.5		40.1		35.6	
Durée (h)	P_{cd}(h)	I_t(mm/h)								
0.25	12.63	50,52	11.65	46,6	10.33	41,32	9.31	37,24	8.26	33,04
0.5	15.76	31,52	14.55	29,1	12.89	25,78	11.62	23,24	10.31	20,62
1	19.68	19,68	18.16	18,16	16.1	16,1	14.5	14,5	12.88	12,88
2	24.56	12,28	22.67	11,34	20.09	10,05	18.11	9,06	16.07	8,04
6	34.91	5,82	32.21	5,37	28.56	4,76	25.73	4,29	22.84	3,81
12	43.58	3,63	40.21	3,35	35.65	2,97	32.12	2,68	28.52	2,38
24	54.4	2,27	50.2	2,09	44.5	1,85	40.1	1,67	35.6	1,48

Tableau 18. Pluies et intensités maximales de durées t(h) et de périodes de retour T de la station IA.

P.R (ans)	100		50		20		10		5	
P(F)	88.2		79.8		68.6		60		51	
Durée (h)	P_{cd}(h)	I_t(mm/h)								
0.25	20.47	81,88	18.52	74,08	15.92	63,68	13.93	55,72	11.84	47,36
0.5	25.55	51,1	23.12	46,24	19.88	39,76	17.38	34,76	14.78	29,56
1	31.9	31,9	28.86	28,86	24.8	24,8	21.7	21,7	18.45	18,45
2	39.82	19,91	36.03	18,02	30.93	15,47	27.09	13,55	23.03	11,52
6	56.6	9,43	51.21	8,54	44.02	7,33	38.5	6,42	32.73	5,46
12	70.65	5,89	63.92	5,33	54.95	4,58	48.06	4,01	40.85	3,4
24	88.2	3,68	79.8	3,33	68.6	2,86	60	2,5	51	2,13

Tableau 19. Pluies et intensités maximales de durées t(h) et de périodes de retour T de la station BC.

P .R (ans)	100		50		20		10		5	
P(F)	78.6		71.1		61.2		53.5		45.5	
Durée (h)	P_{cd}(h)	I_t(mm/h)								
0.25	18.24	72.96	16.51	66.04	14.2	56.8	12.42	49.68	10.56	42.24
0.5	22.77	45.54	20.6	41.2	17.73	35.46	15.5	31	13.18	26.36
1	28.43	28.43	25.72	25.72	22.14	22.14	19.35	19.35	16.46	16.46
2	35.49	17.75	32.1	16.05	27.63	13.82	24.16	12.08	20.54	10.27
6	50.44	8.41	45.63	7.61	39.27	6.55	37.33	6.22	29.2	4.87
12	62.96	5.25	56.96	4.75	49.03	4.09	42.86	3.57	36.45	3.04
24	78.6	3.28	71.1	2.96	61.2	2.55	53.5	2.23	45.5	1.9

Tableau 20. Pluies et intensités maximales de durées t(h) et de périodes de retour T de la station MA.

P.R (ans)	100		50		20		10		5	
P(F)	83.6		76.5		67		59.6		52	
Durée (h)	P_{cd}(h)	I_t(mm/h)								
0.25	19.4	77,6	17.76	71,04	15.55	62,2	13.83	55,32	12.07	48,28
0.5	24.22	48,44	22.16	44,32	19.41	38,82	17.27	34,54	15.07	30,14
1	30.24	30,24	27.67	27,67	24.23	24,23	21.56	21,56	18.81	18,81
2	37.75	18,88	34.54	17,27	30.25	15,13	26.91	13,46	23.48	11,74
6	53.65	8,94	49.09	8,18	42.99	7,17	38.25	6,38	33.37	5,56
12	66.97	5,58	61.28	5,11	53.67	4,47	47.74	3,98	41.66	3,47
24	83.6	3,48	76.5	3,19	67	2,79	59.6	2,48	52	2,17

Tableau 21. Pluies et intensités maximales de durées t(h) et de périodes de retour T de la station Bou.

P.R (ans)	100		50		20		10		5	
P(F)	138		123		102		86.6		70.2	
Durée (h)	P_{cd}(h)	I_t(mm/h)								
0.25	32.03	128.12	28.55	114.2	23.67	94.68	20.1	80.4	16.29	65.16
0.5	39.98	79.96	35.64	71.28	29.55	59.1	25.09	50.18	20.34	40.68
1	49.9	49.9	44.49	44.49	36.89	36.89	31.32	31.32	25.39	25.39
2	62.31	31.16	55.54	27.77	46.05	23.03	39.1	19.55	31.7	15.85
6	88.56	14.76	78.93	13.16	65.45	10.91	55.57	9.26	45.05	7.51
12	110.55	9.21	98.53	8.21	81.71	6.81	69.37	5.78	56.24	4.69
24	138	5.75	123	5.13	102	4.25	86.6	3.61	70.2	2.93

Tableau 22. Liste des notations pour le logiciel Canal 21.

Notation	Élément correspondant	Unités (S.I.)
Cd	Coefficient de débit en dénoyé (vanne, orifice)	
Cn	Coefficient de débit en noyé (orifice)	
exp	Exposant pour décrire la section parabolique (module SECTION)	
f	Fonction impulsion	N.s-1
F	Nombre de Froude	
F _p	Force de pression	N
g	Accélération de la pesanteur	m.s-2
h	Hauteur pour définir la section parabolique ou charge à la sortie d'une vanne ou orifice (§ 2.2.2, §2.2.3)	m
H	Charge	m
H _s	Énergie spécifique	m
H _{sc}	Énergie spécifique critique	m
I	Pente du fond	m/m
J	Perte de charge linéaire par unité de longueur	m/m
k	Coefficient de Borda	
K	Coefficient de Strickler	U.S.I.
L	Largeur au plafond (rectangle, trapèze) ou largeur pour définir la section parabolique ou largeur déversante (déversoir, vanne, orifice)	m
L _M	Largeur au miroir	m
m	Fruit des berges (trapèze, triangle)	
n	Exposant pour décrire la forme "parabolique" (annexe 1)	
p	Pelle (déversoir, vanne, orifice)	m
P _M	Périmètre mouillé	m
Q	Débit	m ³ .s-1

Tableau 22. Suite de la liste des notations pour le logiciel Canal 21.

Notation	Élément correspondant	Unités (S.I.)
r,s,t	Coefficients pour le calcul de la vanne	
R	Rayon de la section circulaire ou semi-circulaire	m
R _H	Rayon hydraulique	m
S	Section en travers	m ²
S _M	Section mouillée	m ²
V	Vitesse moyenne dans une section	m.s ⁻¹
W	Ouverture (vanne, orifice)	m
x	Abscisse en long	m
y	Tirant d'eau	m
y _c	Tirant d'eau critique	m
y _n	Tirant d'eau normal	m
y _f	Tirant d'eau fluvial	m
y _t	Tirant d'eau torrentiel	m
y _{co}	Tirant d'eau conjugué de y par le ressaut (module SECTION)	m
\bar{Y}_G	Hauteur d'eau au-dessus du centre de gravité de la section	m
z	Cote de la surface libre	m
z _f	Cote du fond	m
θ	Demi-angle au centre pour la section circulaire ou semi-circulaire	radians
μ et μ _d	Coefficients de débit en dénoyé (déversoir)	
μ' et μ' _d	Coefficients de débit en noyé (déversoir)	
ρ	Masse volumique de l'eau	kg.m ⁻³
τ ₀	Contrainte tangentielle moyenne sur le périmètre mouillé (force tractrice par unité de surface)	Pa