

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 8 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Hydraulique

Option : Hydraulique Urbaine

Présenté par : BEHLOUL Sawssen

Thème : Etude et aménagement d'oued Fararah

(Oued Fragha- Bouchegouf- Guelma)

Sous la direction de :

Dr. DORBANI Meriem

Juin 2025

Remerciements

Je commence par remercier le dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage, la volonté pour pouvoir réaliser ce modeste travail.

Je tiens à présenter mes sincères remerciements à mon encadreur ***Dr DORBANI Meriem*** qui ma encadrer et ma diriger tout ou long de la réalisation de ce projet et pour tous les conseils instructifs et judicieux et sa disponibilité.

Je tiens à remercier également les membres de jury, pour avoir accepté d'examiner ce travail

Mes vifs remerciements aux responsables et personnels de la direction des ressources en eaux (DRH) de Guelma.

A tous les enseignants du département d'hydraulique qui ont contribué à ma formation.

Résumé

La problématique des risques naturels et plus particulièrement du risque d'inondation est un sujet d'actualité en Algérie et dans le monde entier, notamment au regard des dernières grandes crues catastrophiques donc la gestion de ce risque devient de plus en plus une nécessité qui doit impliquer tous les acteurs concernés (décideurs, techniciens et population) afin d'identifier les enjeux à protéger, les moyens disponibles et alternatives possibles pour atténuer les dégâts humains et matériels provoqués par ce phénomène.

Le but de ce travail est de protéger les zones urbanisées le long d'Oued (Oued Fragha) contre les inondations. Il est question de faire un choix sur les différents aménagements à mettre en place afin d'augmenter la capacité hydraulique du cours d'eau considéré.

Nous avons d'abord estimé le débit de projet .Ensuite, nous avons dressé un diagnostic du cours d'eau et puis nous avons fait une simulation de la crue centennale pour localiser les zones inondables, Enfin nous avons proposé des aménagements.

Pour atteindre notre objectif, des outils étaient nécessaire pour la réalisation de ce travail notamment le code de calcul numérique HYFRAN et le logiciel de dessin AUTOCAD et ARC GIS.

Mots clés : Oued Frarah, inondation, simulation, aménagement, HYFRAN, AUTOCAD, ARC GIS.

الملخص

تعد مسألة المخاطر الطبيعية، وتحديد مخاطر الفيضانات موضوعا ساخنا في الجزائر و العالم ، لا سيما في ضوء الفيضانات الكارثية الكبرى الأخيرة ، وتزداد أهمية إدارة هذه المخاطر ويجب ان تشرك جميع الجهات المعنية (صانعي القرار ، والفنيين ، والجمهور) لتحديد المناطق التي يجب حمايتها و الموارد المتاحة ، والبدائل الممكنة للتخفيف من الأضرار الناجمة عن هذه الظاهرة.

ينظم عملنا هذا تحت إطار حماية المناطق الواقعة على طول وادي فرارح ضد الفيضانات . وهذا يستوجب علينا اختيار التهيئة الملائمة لزيادة قدرة هيدروليكية للمجرى المائي المعني.

قمنا في بادئ الأمر بتقدير تدفق المشروع الأول ثم قدمنا محاكاة الطوفان مائة عام لتحديد المناطق المعرضة للفيضان. لتحقيق هدفنا هذا وانجاز هذا العمل من الضروري توفير بعض الوسائل بما في ذلك برنامج HYFRAN، AUTOCAD، ARC GIS.

كلمة مفتاحية: وادي فرارح، فيضانات، محاكاة، AUTOCAD، HYFRAN، ARC GIS

Abstract

The issue of natural hazards, and more specifically flood risk, is a hot topic in Algeria and around the world, particularly in light of the recent major catastrophic floods. Managing this risk is becoming increasingly necessary and must involve all stakeholders (decision-makers, technicians, and the public) in order to identify the areas to be protected, the available resources and possible alternative to mitigate the human and material damage caused by this phenomenon.

The goal of this work is to protect areas along the river Frarah against flooding. It is a question of making a choice about various installations that can be set up increase the hydraulic capacity of the river considers. We initially estimated the project flow; then we drew up a diagnostic of river and we made asimulation of the hundred-year flood to locate floodplain.

To achieve our goal, tools were necessary for the realization of this work, in particular code HYFRAN numerical calculation and drawing software AUTOCAD, ARC GIS..

Key words: the river Frarah, flooding, simulation, HYFRAN, AUTOCAD, ARC GIS.

Sommaire

Introduction générale	i-ii
-----------------------	------

Chapitre I : Généralités sur les inondations

I.1 Introduction	01
I.2 Problématique d'inondation en Algérie	01
I.3 Genèse des crues et des inondations	02
I.4 Connaissance du risque inondation	03
I.4.1 Risque majeurs-inondation	04
I.4.2 Connaissance de l'aléa (inondation)	05
I.5 Mécanismes de l'inondation	06
I.6 Paramètres fondamentaux du cours d'eau	06
I.7 Principaux paramètre spécifiant l'aléa	09
I.8 Types d'inondations	10
I.8.1 inondation de plaines	10
I.8.2 Inondation par remontée des nappes phréatique	11
I.8.3 Les inondations par crues torrentielles	11
I.8.4 les inondations par ruissellement en secteur urbain	12
I.8.5 les inondations par rupture d'un ouvrage artificiel hydraulique	13
I.8.6 Les inondations par submersion marine	13
I.9 Cause des formations des crues et des inondations	13
I.9.1 influence de climat	13
I.9.2 Les crues provoquées par les chevelus hydrographique	14
I.9.3 le processus de formation des crues	14
I.9.4 La période de retour de crues	14
I.9.5 Paramètres influençant les inondations	15
I.10 Les inondations en Algérie	15
I.11 Gestion des inondations	18
I.12 conclusion	18

Chapitre II : Protection et gestion des risques d'inondation en milieu urbain

II.1 Introduction	19
II.2 Evaluation du risque inondation	19
II.2.1 Evaluer l'aléa (inondation) et ses incertitudes	19
II.2.2 Evaluer la vulnérabilité	20
II.3 Procédés de protection des agglomérations contre les inondations	21
II.3.1 Recalibrage du cours d'eau	21
II.3.2 Endiguement du cours d'eau	23
II.3.3 Reboisement	26
II.3.4 Recalibrage des systèmes d'évacuation de l'eau	27
II.3.5 Préservation –Restauration–création des zones d'expansion	27
II.3.6 Barrage ecrêteur	28
II.3.7 Correction torrentielle	29
II.3.8 Les épis	30

II.3.9 Banquette	31
II.3.10 Ouvrage de stockage en dérivation.	31
II.3.11 Retenues d'eau	32
II.4 Gestion des inondations	32
II.5 Politique algérienne de gestion du risque d'inondations	33
II.6 Conclusion	35

Chapitre III : cartographie des zones inondables comme outil d'aide à la gestion des inondations en Algérie

III.1 Introduction	36
III.2 la cartographie des zones inondables : un outil clé pour la gestion des inondation en Algérie	36
III.3 Fondements théoriques et méthodologique de la cartographie des zones inondables	37
III.3.1 Données de base nécessaires	37
III.4 Méthodes et techniques de délimitation des zones inondables	38
III.5 Spécifique de la cartographie des zones inondables en Algérie	40
III.5.1 Défis spécifique liés à la cartographie des zones inondables en Algérie	40
III.5.2 Initiatives existantes en Algérie en matière de cartographie des zones inondables	42
III.5.3 Nécessité de développer des cartographies à différentes échelles	42
III.6 La cartographie des zones inondables comme outil d'aide à la gestion des inondations	43
III.6.1 Pour la prévention	43
III.6.2 Pour la planification de l'urgence	44
III.6.3 Pour la gestion post-inondation	44
III.7 Recommandations pour l'amélioration de la cartographie des zones inondables en Algérie	44
III.8 Conclusion	46

Chapitre IV : le bassin versant : contexte et caractéristiques

IV.1 Introduction	47
IV.2 Situation du projet	47
IV.3 le bassin versant et son complexe	49
IV.3.1 Définition du bassin versant	49
IV.3.2 Types de bassins	51
IV.3.3 Caractéristiques d'un bassin versant	51
IV.3.3.1 les caractéristiques géométrique	51
IV.3.3 Temps de concentration	61
IV.4 Vitesse moyenne de ruissellement V_r	63

Chapitre V : Contexte hydrologique et climatique

V.1 Introduction	66
V.2 Etude des précipitations	66
V.2.1 Poste pluviométrique	66
V.2.2 Pluies maximales journalières	67
V.2.3 Teste de l'homogénéité de la série	68

V.2.4 Ajustement de la Série pluviométrique	69
V.2.5 Pluie de courte durée	80
V.2.6 Les apports	83
V.3 Etude des crues	86
V.3.1 Estimation empirique des débits de crues max. Pour les différentes périodes de retour	86
V.4 Hydrogrammes des crues	88
V.5 Diagnostic et état de lieu	91
V.6 Variante proposées pour la protection de la ville Oued Fragha	93
V.6.1 Choix de la protection	93
V.6.2 Descriptif des différentes variantes d'aménagement pour la protection de la ville d'oued Fragha	94
V.7 Conclusion	97
Conclusion général	98

Bibliographie

Liste des tableaux

Chapitre I : connaissance du risque inondation

Tableau I-1: Illustre le nombre de construction, par ville construite sur les zones inondable	16
---	----

Chapitre IV : le bassin versant : contexte et caractéristiques

Tableau IV-1 : caractéristique géométrique du bassin versant	53
Tableau IV-2 : Répartition altimétrique du bassin versant	54
Tableau IV-3 : Réduplicatif des altitudes caractéristiques	56
Tableau IV-4 : calcul de l'indice de pente M.ROCHE Ip	58
Tableau IV-5 : Classification des reliefs d'après O.R.S.T.O.M (type de relief)	59
Tableau IV-6 : Récapitulatif des résultats	63
Tableau IV-7 : les caractéristiques du bassin versant	64

Chapitre V : Contexte hydrologique et climatique

Tableau V-1 : La série de donnée de précipitation	67
Tableau V-2 : Test de WILCOXON	69
Tableau V-3 : La série de donnée de précipitation	70
Tableau V-4 : Résultats de l'ajustement à la loi de GALTON	72
Tableau V-5 : Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL	74
Tableau V-6 : Résultats de l'ajustement à la loi de GAUSS	76
Tableau V-7 : Résultats de l'ajustement à la loi de GEV	78
Tableau V-8 : Paramètres climatiques de Montana et période de retour/ Source ANRH Constantine	81
Tableau V-9 : Pluies de durée t(h) et période de retour (ans)	81
Tableau V-10 : Intensités maximales de durée t(h) et période de retour (ans)	82
Tableau V-11 : Résultats des apports	84
Tableau V-12 : Les caractéristiques de l'écoulement	85
Tableau V-13 : Les valeurs du coefficient de ruissellement / Turazza	86
Tableau V-14 : Intensités maximales pendant une durée égale au temps de concentration	87
Tableau V-15 : Débits max. / méthode Turazza	87
Tableau V-16 : Débits max. / méthode GIANDOTTI	88
Tableau V-17 : Evaluation des crues par les deux méthodes de calcul	88
Tableau V-18 : Valeur de γ à partir du type du cours d'eau	89
Tableau V-19 : Débit de crue pour différents périodes de retour	90

Liste des Figures

Chapitre I : connaissance du risque inondation

Figure I -1 : Eléments descriptif d'une crue	03
Figure I -2: les risques d'inondation	06
Figure I -3: lit mineur d'un cours d'eau	07
Figure I -4: lit moyen d'un cours d'eau	07
Figure I -5: lit majeur d'un cours d'eau	08
Figure I -6: Inondation de pleine	10
Figure I -7: Inondation par remontées des nappes phréatique	11
Figure I -8: Inondation par crues torrentielles	12
Figure I -9 Inondation par ruissellement en secteur urbain	12
Figure I -10: Inondation du à bab El-oued, Ghardaïa et Alger	17

Chapitre II: Protection et gestion des risques d'inondation en milieu urbain

Figure II-1: Recalibrage d'un cours d'eau	22
Figure II-2: Oued Mekerra (wilaya de sidi Bel Abbas) rééquilibré dans la traversée de Ras El-Ma	23
Figure II-3: Digue de navigation du Rhône en charge permanence	24
Figure II-4 : Positions de la digue par rapport aux cours d'eau	25
Figure II-5: Digue enrochée	26
Figure II-6: Aménagement des berges de l'oued contre le glissement	27
Figure II-7: Schéma de fonctionnement d'un barrage ecrêteur de crue	28
Figure II-8 : Schéma de fonctionnement d'un barrage ecrêteur de crue	29
Figure II-9: Correction torrentielle	30
Figure II-10: Implantation des épis	30
Figure II-11 : Technique des banquettes	31

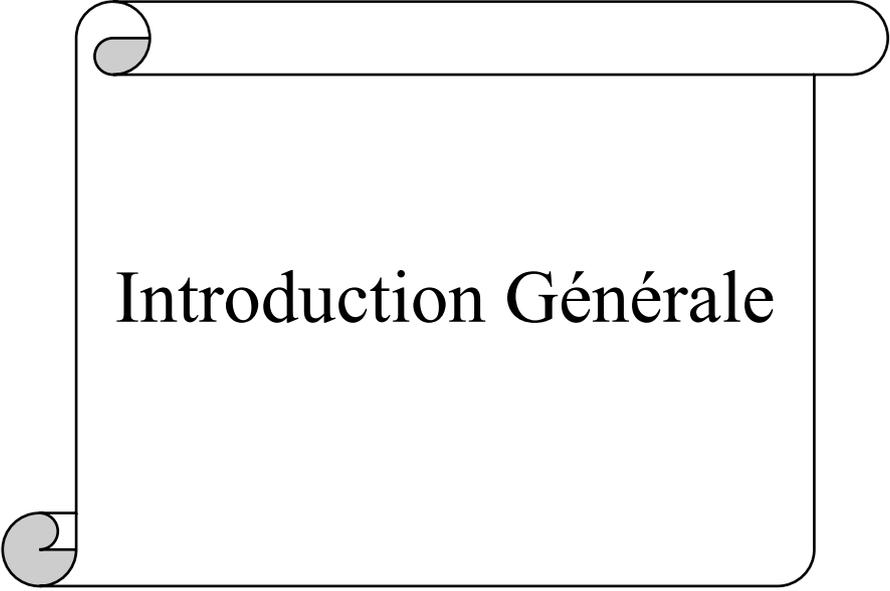
Chapitre IV : Le bassin versant : contexte et caractéristiques

Figure IV-1 : Situation d'oued Frareh dans la zone d'étude Oued Fragha (image illustrée par Google Earth)	48
Figure IV-2 : Bassin versant d'Oued Fragha	49
Figure IV-3 : Délimitation du bassin versant d'Oued Fragha	50

Figure IV-4 : Courbe hypsométrique du bassin versant	54
--	----

Chapitre V : Contexte hydrologique et climatique

Figure V-1 : Représentation de la série de donnée de précipitation	68
Figure V-2 : Ajustement à la loi de GALTON	73
Figure V-3 : Ajustement à la loi de Gumbel	75
Figure V-4 : Ajustement à la loi de Gauss	77
Figure V-5 : Ajustement à la loi de GEV	79
Figure V-6 : Comparaison entre les lois d'ajustement	80
Figure V-7 : Courbes des pluies fréquentielle	82
Figure V-8 : Courbes des intensités- durées- fréquences	83
Figure V-9 : Hydrogrammes de crue	91
Figure V-10 : La présence des passages aléatoires dans l'oued	92
Figure V-11 : La présence des dèches dans l'oued qui nécessite un curage périodique	92
Figure V-12 : Rejet des eaux pluviales de l'agglomération dans l'oued	92
Figure V-13 : colmatage des collecteurs des eaux pluviales à cause du transport solide	92
Figure V-14 : l'absence de la servitude des trottoirs ou bien route sur les deux rives de l'oued	93
Figure V-15 : la présence du remblai dans l'oued	93
Figure V-16 : Schéma d'aménagement d'oued par un canal rectangulaire en béton armé	95
Figure V-17 : Schéma d'aménagement d'oued par un canal rectangulaire en béton armé	95
Figure V-18 : Tracé et implantation des ouvrages de protections	96



Introduction Générale

Introduction général

L'eau peut être une aubaine comme elle peut être une source de problèmes ; elle engendre des situations contradictoires d'une fois de pénuries et d'autre fois d'inondations. Pour ce dernier cas, sa gestion a une importance capitale dans le développement de l'occupation du territoire .

L'Algérie, par sa position géographique et ses caractéristiques climatiques diversifiées, fait face de manière récurrente au phénomène des inondations qui constituent l'un des risques naturels majeurs du pays. Ces événements hydrométéorologiques touchent aussi bien les régions côtières du nord que les zones sahariennes du sud, révélant la vulnérabilité du territoire national face aux aléas climatiques.

Elles présentent plusieurs particularités. D'une part, elles résultent de la combinaison de facteurs naturels - relief accidenté, précipitations intenses et concentrées, sols peu perméables - et de facteurs anthropiques liés à l'urbanisation rapide et parfois anarchique. D'autre part, leur intensité et leur fréquence semblent s'accroître dans le contexte du changement climatique global.

Elles sont devenues de plus en plus complexes à gérer. En effet, la construction de nombreux ouvrages et aménagements, de même que l'installation de résidences permanentes sur les rives des cours d'eau, ont eu pour conséquence d'augmenter, ou du moins modifier, le risque face aux crues exceptionnelles.

Les événements récents illustrent parfaitement cette problématique. Bab El Oued – Alger en 2001, de Sidi Bel Abbes en 2006, de Ghardaïa en 2008 et El Bayadh en 2011 sont frappants. Les inondations de septembre 2024 et mai 2025 ont causé plusieurs victimes et d'importants dégâts matériels touchant notamment les wilayas de Djelfa, Ouled Djellal, Tipaza et Souk Ahras. Ces phénomènes exceptionnels, particulièrement dans les régions sahariennes, résultent d'épisodes météorologiques inhabituels provoquant des pluies diluviennes.

L'impact de ces inondations dépasse la simple dimension physique pour engendrer des conséquences socio-économiques considérables : pertes humaines, déplacements de populations, destruction d'infrastructures, perturbation des activités économiques et dégradation de l'environnement.

De plus, l'absence ou la mauvaise transmission vers les intervenants des connaissances sur l'hydrologie fluviale a eu pour conséquence le manque ou l'absence de règlements régissant la construction dans les zones inondables. Ceci a permis à de nombreux citoyens de s'installer en permanence sur les plaines inondables et d'obtenir des droits acquis face aux lois et règlements subséquents.

Face à ces défis, l'Algérie développe progressivement des stratégies de prévention et de gestion des risques, impliquant les services de la Protection civile, les autorités locales et les organismes techniques spécialisés.

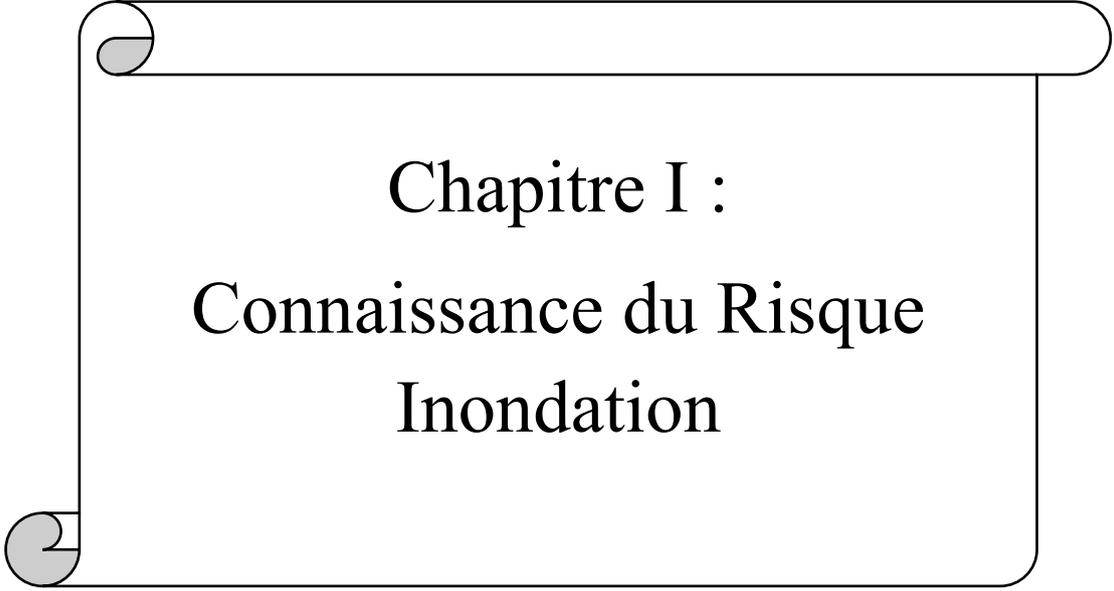
Oued Frarah (Oued Fragha) est un cours d'eau côtier qui se situe dans la Wilaya de Guelma. L'inondation ne peut être, dans le cas de cette commune qu'aléatoire ou accidentelle lors d'une crue produite par des pluies exceptionnelles, car elle se produit lorsque de l'eau en excès ne peut être évacuée par les voies naturelles (lits mineurs des cours d'eau) ou artificielles prévues à cet effet (réseaux d'évacuation des eaux pluviales).

Le diagnostic du site nous a montré que le lit de l'oued et les ouvrages de protection mis-en place sont insuffisants et incapables d'évacuer les débits portés par chaque crue.

Ce travail a donc pour objectif de protéger les zones habitées le long de l'Oued Frarah contre les inondations. L'atteinte de cet objectif passe par différents aménagements (reprise d'ouvrages, curage, recalibrage, endiguement...).

- Le premier chapitre est consacré à la connaissance du risque d'inondation
- Le deuxième chapitre consiste à illustrer les différents moyens de protection et de lutte contre les inondations qui existe et leur évolution ainsi que leurs domaines d'application.
- Le troisième chapitre est consacré à la cartographie des zones inondables comme outil d'aide à la gestion des inondations en Algérie.
- Le quatrième chapitre consiste en une représentation du milieu naturel, et des différents éléments caractérisant le territoire communal d'Oued Frereh sur le plan physique, climatique et hydrologique.
- Le cinquième et le dernier chapitre concerne l'étude de protection du centre de Oued Fragha pour évaluer les paramètres hydrologiques nécessaires pour le dimensionnement du réseau d'évacuation des crues, aux différents sites présumés être névralgiques des zones urbaines.

Une étude qui, sera basée sur le traitement statistique des données hydrométriques, mettra en relief les aspects fondamentaux de l'écoulement et l'évaluation des débits de crues afin d'évaluer les paramètres servant à la conception des ouvrages de protection.



Chapitre I :
Connaissance du Risque
Inondation

Chapitre I :

Connaissance du risque inondation

1.1. Introduction

L'eau peut être une source bénéfique comme elle peut être une source de problèmes. Elle présente des situations de paradoxe, d'une part de pénuries et d'une autre part d'inondations. Ce dernier cas constitue un risque majeur sur le territoire national et dans le monde entier. Au cours des derniers siècles, les progrès techniques et scientifiques ont permis de mettre au point des dispositifs d'utilisation et de protection contre la puissance des eaux, autorisant une colonisation du milieu encore plus efficiente et effective. Les sciences ont donné les moyens d'exercer une maîtrise extrêmement forte sur la nature.

Les zones inondables sont soumises à différents types d'inondations dont les caractéristiques influencent le déroulement des crises et l'ampleur des impacts humains et économique.

Le risque n'est pas le même sur les différents territoires exposés puisque ni l'ampleur ni la vulnérabilité ne sont les mêmes, les crues surviennent de manière plutôt lente sur le bassin plat alors qu'elles se produisent de manière extrêmement rapide et brutale sur les bassins pentus. Aussi les inondations ne provoquent pas de catastrophes susceptibles de marquer les esprits si les zones inondables n'étaient pas ou peu occupées par l'homme. [34]

Le but principal de ce chapitre est de développer la connaissance du risque inondation ; le phénomène naturel générateur de ce risque, ses causes, ses modalités de survenance et de déroulement ainsi que les enjeux et leur vulnérabilité.

1.2. Problématique d'inondation en Algérie

Plusieurs régions sont soumises aux inondations se manifestant de façon catastrophique ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et social. D'après le recensement effectué par les services de la protection civile, une commune sur trois (485 communes) est susceptible d'être inondée en partie ou en totalité, ces inondations sont les catastrophes naturelles les plus fréquentes et les plus destructrices, provoquant d'importants dégâts humains et matériels.

L'inventaire des inondations à travers le pays sur la période 1969-2008 révèle l'existence de régions soumises à ce risque et que ces événements spatio-temporels sont imprévisibles. Aussi, il ressort que des grandes inondations engendrées par des pluies exceptionnelles généralisées sur de grands bassins versants et pouvant toucher plusieurs régions atteignant parfois l'ampleur d'une catastrophe nationale telle que : les inondations de l'automne 1968 en Algérie et en Tunisie, les inondations de 1974 des bassins versants de l'algérois et du Sebaou, celle de 1984 touchant tout du pays et les inondations par

ruissellement urbain provoquées par des orages localisés d'automne et d'été affectantsurtout les agglomérations et les villes (cas des inondations du 10 novembre 2001 qui furent les plus meurtrières de l'histoire des inondations en Algérie. [53]

1.3. Genèse des crues et des inondations

Sous les termes de **crues** et d'**inondations** se cache un phénomène multiforme.

Les **crues**, terme plutôt hydrologique, désigne le dépassement d'un certain débit ou d'une certaine hauteur par un cours d'eau. Cette hauteur d'eau peut être qualifiée en fonction de sa durée de retour ; par exemple une crue décennale est une hauteur d'eau ou un débit qui a une chance sur dix de se produire chaque année. [49]

Une crue se caractérise par son hydrogramme graphique qui représente les variations de débit en fonction du temps. Plus précisément, c'est la partie montante de cet hydrogramme qui est appelé « crue », la partie descendante étant « la décrue ». Une crue se définit par différents critères : sa genèse, sa durée, sa fréquence, son débit de pointe et son volume.

Le mot **inondation** vient du latin : « **inundatio** » qui signifie submersion.

Tout d'abord, le risque est un croisement de l'aléa et de la vulnérabilité; l'aléa peut être défini comme la probabilité d'occurrence d'un phénomène physique ; par exemple, le débit de la crue centennale est défini comme le débit qui a une chance sur cent d'être dépassé au cours d'une année, il est caractérisé par son intensité, son étendue, sa fréquence, sa durée. Tandis que la vulnérabilité étant les personnes, les biens et les activités susceptibles de subir des dommages lorsque survient l'aléa. [23]

On peut alors dire qu'une inondation est une submersion rapide ou lente d'une zone habitée ordinairement hors d'eau. Ainsi, le risque inondation est la conséquence de deux composantes : l'eau qui peut déborder de son lit habituel d'écoulement et l'homme qui s'installe dans l'espace alluvial. L'importance de l'inondation dépend de la hauteur d'eau, la vitesse du courant et la durée de la crue. Ces paramètres sont conditionnés par la précipitation, l'état du bassin versant et les caractéristiques du cours d'eau (profondeur, largeur, etc.). Ces caractéristiques naturelles peuvent être aggravées par la présence d'activités humaines.

Une **crue** est décrite par quatre éléments qui sont (**Fig1.1**) :

- **Temps de concentration** : durée nécessaire à la goutte d'eau tombée au point le plus éloigné du bassin pour atteindre l'exutoire.
- **Pointe de crue** : puissance de la crue et durée de la période critique.
- **Courbe de tarissement** : retour de la rivière au niveau antérieur à la crue.
- **Fréquence de retour** : une crue centennale a, chaque année, une chance sur cent (1/100) de se produire.

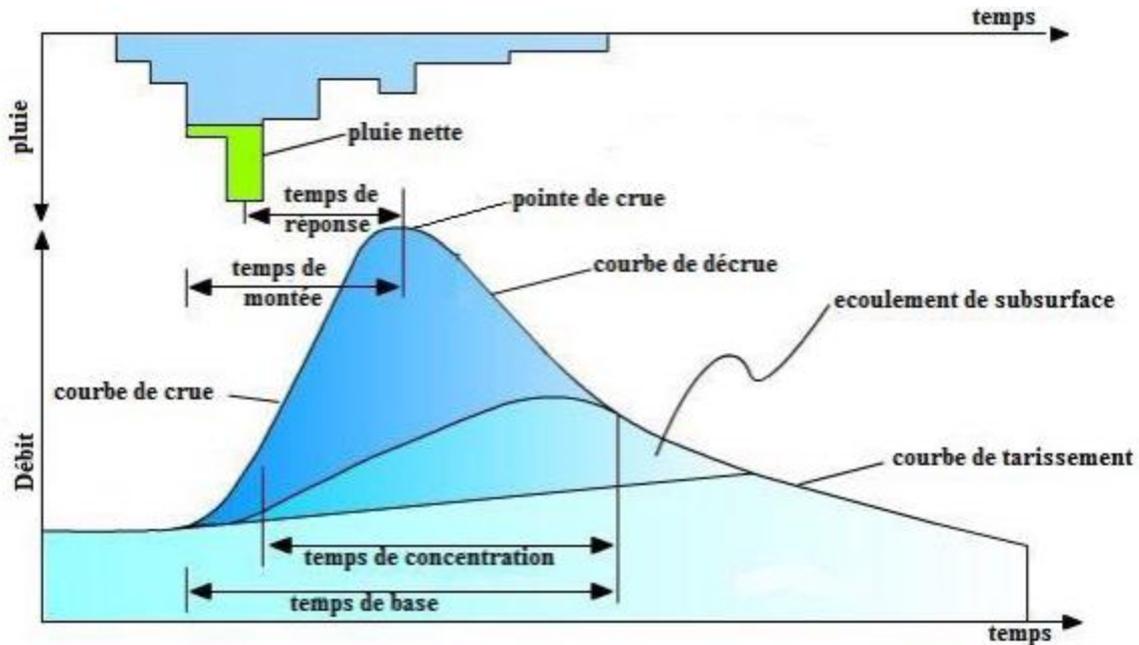


Figure 1.1 : Eléments descriptif d'une crue

Les principaux paramètres nécessaires pour évaluer la catastrophe :

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

La possibilité d'apparition d'une crue dépend de nombreux paramètres autres que les quatre précédemment cités, exemple : **répartitions spatiale et temporelle** des **pluies** par rapport au bassin versant, **évaporation** et **consommation** d'eau par les plantes, **absorption** d'eau par le sol, **infiltration** dans le sous-sol ou ruissellement, ...etc.

Les dégâts occasionnés par les inondations dépendent des paramètres suivants :

- La hauteur de submersion.
- La durée de submersion.
- Les vitesses d'écoulement.
- Le volume de matériaux solide transportés.
- L'érosion des berges.

1.4. Connaissance du risque inondation

Le risque d'inondation reste aujourd'hui le risque le plus répandu, faisant le plus de victimes et de dégâts. Il contribue pour 58% dans le nombre des victimes des catastrophes naturelles et pour 31% dans le montant des pertes économiques.

La réaction face à ce risque d'inondation a consisté pendant plusieurs décennies à lutter contre les crues qui signifiait d'abord qu'on cherchait à agir sur le phénomène naturel la crue – et uniquement sur lui, c'est-à-dire sur une seule composante du risque « l'aléa » et non sur les enjeux ou leur vulnérabilité. [34]

1.4.1. Risques majeurs – inondations

Le risque majeur peut être défini comme la menace sur l'homme et son environnement direct, sur ses installations, la menace dont la gravité est telle que la société se trouve absolument dépassée par l'immensité du désastre.

Les types de risques auxquels chacun de nous peut être exposé sont regroupés en cinq familles:

- ❖ **Risques naturels** : avalanche, feu de forêt, inondation, mouvement de terrain, cyclone, tempête, séisme et éruption volcanique ;
- ❖ **Risques technologiques** : d'origine anthropique, ils regroupent les risques industriels, nucléaires, biologique, rupture de barrage...
- ❖ **Risques de transports collectifs (personnes, matières dangereuses)** : sont des risques technologiques, on en fait un cas particulier car les enjeux varient en fonction de l'endroit où se développe l'accident ;
- ❖ **Risques de la vie quotidienne (accidents domestiques, accidents de la route...)**
- ❖ **Risques liés aux conflits.**[35]

L'un des meilleurs moyens de prévention contre les risques d'inondation est d'éviter d'urbaniser les zones exposées à ce risque. Le PERI (Les plans d'exposition aux risques des inondations) est parmi les anciens documents définissant les zones inconstructibles et des zones constructibles sous réserves de respecter certaines prescriptions. [21]

Dans le domaine de la gestion des risques, les probabilités de ces phénomènes naturels sont appelées des aléas ; étudier les aléas c'est chercher à caractériser ces phénomènes selon les principaux paramètres suivants : leur fréquence de survenance, intensité destructrice et leur étendue. En matière d'inondation, leur intensité s'exprime principalement pour un endroit donné, par la hauteur et la durée de submersion ainsi que la vitesse du courant. Ces paramètres sont fournis, avec une précision plus ou moins grande, pour l'ensemble de la zone inondable par une crue de fréquence donnée. [34]

1.4.2. Connaissance de l'aléa « inondation »

a) Alea

L'aléa semble le terme le plus adéquat pour définir le phénomène physique, naturel et non maîtrisable, d'occurrence et d'intensité donnée (définition du ministère de l'environnement et de développement durable français). Cette définition révèle le caractère hasardeux du risque et le fait de différencier sa définition linguistique qui le présente comme un risque et non pas un de ses composantes.

Dans notre cas où le risque est l'inondation l'aléa n'est que le phénomène naturel de crue non maîtrisable d'occurrence et d'intensité aléatoires, cette prévision est probabiliste et la détermination de l'intensité et la fréquence de crue est basée sur le traitement stochastique de l'historique des événements où la longueur de la série observée joue un rôle principal sur la validité des prévisions. Néanmoins la notion de période de retour est purement statistique et elle ne correspond qu'à l'appréciation de l'intensité du phénomène en comparaison à d'autres.

b) Vulnérabilité

La vulnérabilité est une notion composite. Elle prend en compte divers paramètres géographiques et socioéconomiques. Plusieurs définitions existent dans la littérature, parmi lesquelles on choisit deux définitions officielles. La définition de MEDD (le Ministère de l'Ecologie et de Développement Durable français) « la vulnérabilité est le niveau des conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur les enjeux », et celle de NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) « la susceptibilité des ressources à être affectées par des aléas ». Les enjeux sont les éléments à risque (personne, biens, activités, patrimoine...) attribuent à la vulnérabilité une dimension complexe quantitative et qualitative. La notion de vulnérabilité peut être résumée en quatre points :

- ✚ La perception sociale de l'aléa ;
- ✚ L'aléa et ses conséquences prévisibles sur les enjeux ;
- ✚ Les dispositions prises pour limiter l'effet de l'aléa ;
- ✚ Les enjeux.

Cette complexité de concepts d'aléa et de la vulnérabilité (**Fig1.2**) montre que la considération de risque sommairement comme un produit de deux facteurs est limitative et pour mettre en œuvre une politique de gestion précise et scientifique, on doit décomposer ces deux facteurs en plusieurs éléments afin de déterminer ceux susceptibles d'être maîtrisés pour minimiser le risque.



Figure 1.2 : Les risques d'inondation .[34]

1.5. Mécanismes de l'inondation

Les facteurs physiques qui influencent les inondations sont :

- Le régime des pluies.
- Le relief.
- La taille du bassin versant.
- L'état des sols.

Les facteurs aggravants le risque d'inondation sont :

- ⇒ L'usage et l'occupation des sols.
- ⇒ Aménagements du territoire.
- ⇒ Le manque d'entretien des cours d'eau.

1.6. Paramètres fondamentaux du cours d'eau

a) Lits du cours d'eau

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

❖ **Lit mineur** : qui est constitué par le lit ordinaire du cours d'eau, pour le débit d'étiage ou pour les crues fréquentes (crues annuelles comprise entre un an et deux ans) .[35]



Figure 1.3 : Lit mineur d'un cours d'eau.

- ❖ **Lit moyen** : Sous certains climats, notamment méditerranéens, il peut être identifié comme un lit moyen pour les crues de période de retour de 1 à 10 ans, l'inondation submerge les terres bordant la rivière et s'étend dans le lit moyen. Il correspond à l'espace fluvial ordinairement occupé par la **ripisylve**, sur lequel s'écoulent les crues moyennes. [39]



Figure 1.4 : Lit moyen d'un cours d'eau .[39]

La **ripisylve** c'est la formation végétale naturelle située sur la rive. Elle peut être limitée à un cordon arboré étroit qui souligne le bord du lit mineur de la rivière ou bien elle est une

véritable forêt alluviale s'étendant sur plusieurs dizaines ou centaines de mètres de part et d'autre du lit mineur. Cette forêt occupe tout ou partie du lit majeur. C'est un milieu inféodé à la rivière, particulièrement riche en matière de diversité floristique. Il comporte des strates herbacées souvent très diversifiées et des strates arbustives et arborescentes composées d'un nombre. [39]

- ❖ **Lit majeur** : comprend les zones basses situées de part et d'autre du lit mineur, sur une distance qui va de quelques mètres à plusieurs kilomètres. Sa limite est celle des crues exceptionnelles dont la période de retour est de l'ordre de cent ans.

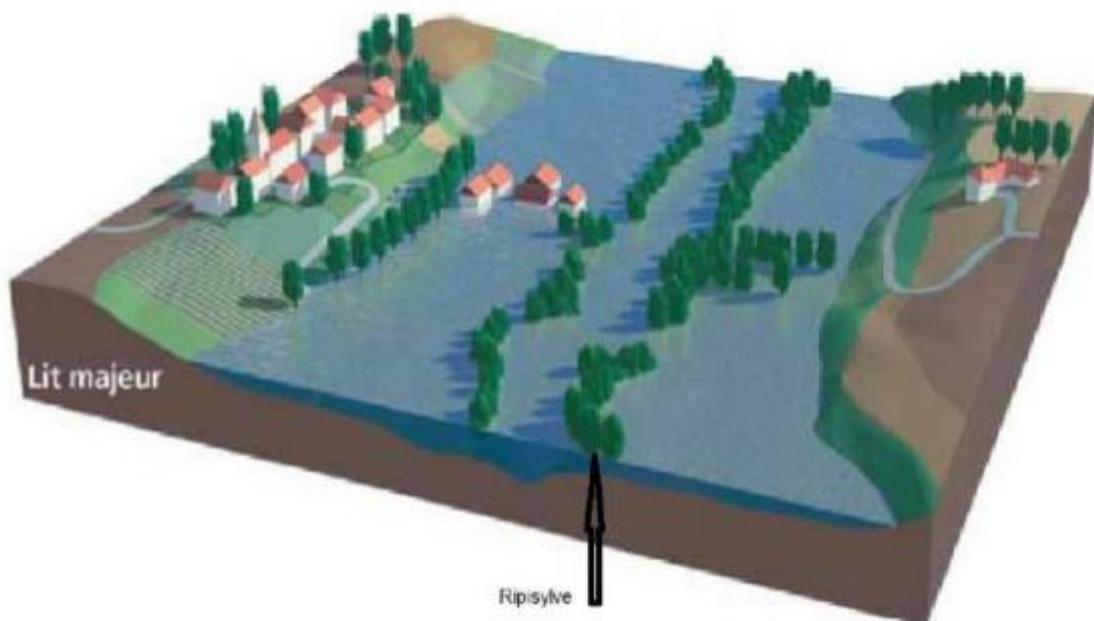


Figure 1.5 : Lit majeur d'un cours d'eau. [39]

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

- ✚ Une zone d'écoulement, au voisinage du lit mineur, où le courant.
- ✚ Une zone de stockage des eaux, où la vitesse est faible. Ce stockage est fondamental, car il permet le laminage de la crue, c'est-à-dire la réduction du débit et de la vitesse de montée des eaux à l'aval.[35]

❖ Rive – berge

La berge est le talus incliné qui sépare le lit mineur et le lit majeur. Tandis que la rive est le milieu géographique qui sépare les milieux aquatique et terrestre. Elle démarre au sommet de la berge et constitue une partie plate plus ou moins étendue qui reste sous l'influence du milieu aquatique.[35]

❖ Alluvions et substratum

Les alluvions sont les grains fins ou grossiers alternativement déposés ou repris par le courant. Elles recouvrent le substratum qui est une couche formée d'une roche dure ou plus ou moins tendre (schistes, grés, marnes...).[9]

1.7. Principaux paramètres spécifiant l'aléa « inondation »

Quatre paramètres principaux sont nécessaires pour caractériser l'aléa inondation :

a) Période de retour

La notion de période de retour « T » n'est qu'une autre façon de caractériser la fréquence d'apparition d'un phénomène à un moment donné. Statistiquement, on la définit comme l'inverse de la probabilité d'occurrence de dépassement « p » de ce phénomène ; $T=1/P$. Un phénomène ayant une période de retour de cent ans (phénomène centennal) a une chance sur cent de se reproduire ou d'être dépassé chaque année. Cela est vérifié à condition de se considérer une très longue période. Mais elle peut aussi, sur de courtes périodes (quelques années), se répéter plusieurs fois. Autrement dit, en vingt ans, un individu a une chance sur cinq de vivre la crue centennale.

On associe souvent à la notion de crue la notion de période de retour (crue décennale, centennale, millénaire, etc.) ; plus cette période est grande, plus les débits et l'intensité sont importants. Les événements les plus souvent représentés sur la carte d'aléa sont la crue décennale (Q_{10}) et la crue centennale (Q_{100}).[35]

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. Lorsque la durée de submersion est importante, des problèmes sanitaires peuvent survenir, l'eau étant souvent malpropre, 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. [35]

c) Vitesse du courant

La vitesse d'écoulement est conditionnée par la pente du lit et sa rugosité, la dangerosité de l'écoulement dépend du couple hauteur/vitesse. À titre d'exemple, à partir de 0,5 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.[35]

d) Volume de matière transportée

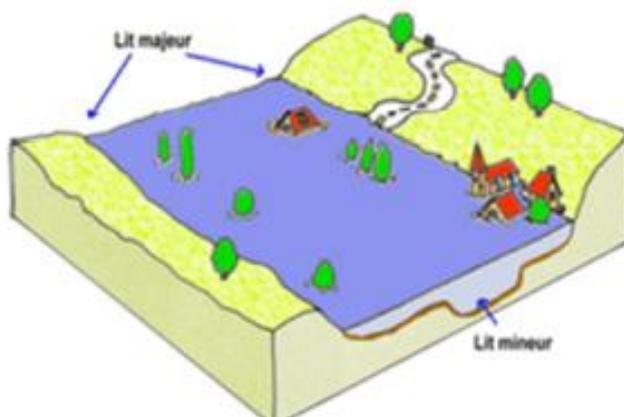
Ce volume est communément appelé « transport solide ». Il s'agit de matériaux (argiles, limons, sables, graviers, galets, blocs, etc.) se trouvant dans les cours d'eau et dont le transport peut s'effectuer soit par suspension dans l'eau, soit par déplacement sur le fond du lit, du fait des forces liées au courant. L'aléa inondation d'une rivière torrentielle sera essentiellement caractérisé par une vitesse du courant élevée et un fort transport solide. [35]

1.8. Types d'inondations

En fonction de l'événement créateur de la catastrophe, On peut distinguer plusieurs types d'inondation :

1.8.1. Inondation de plaines

Les inondations de plaine (on parle aussi de crues fluviales) se produisent à la suite d'épisodes pluvieux océaniques prolongés mais d'intensité modérée, s'abattant sur des sols où le ruissellement est long à déclencher, sur des bassins versants moyens à grands (supérieur à 500 km²). Le cours d'eau sort lentement de son lit ordinaire pour occuper son lit majeur et inonder la plaine pendant une période relativement longue. Ces phénomènes concernent particulièrement les terrains bas ou mal drainés. Sa dynamique lente perdure plusieurs semaines.



- Crue lente sur un bassin versant à faible pente.
- Délais d'annonce importants car montée lente progressive.

Figure 1.6 : Inondation de Plaine. [35]

Les dommages que provoque ce type d'inondation sont imputables aux hauteurs et durées de submersion. [19]

1.8.2. Inondations par remontées des nappes phréatiques

Elles correspondent à des inondations par débordement indirect qui se manifestent par la remontée de la nappe phréatique qui affleure en surface et/ou par l'intrusion d'eau dans les différents réseaux d'assainissement. [35]



- Causée par une saturation des nappes phréatiques
- Crue et décrues très lentes.

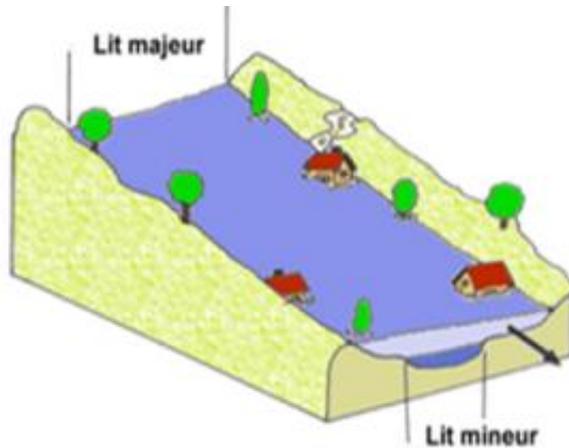
Figure 1.7 : Inondation par remontées des nappes phréatiques. [17]

Les désordres liés à ce type d'inondation se traduisent par des remontées sous bâtisses, l'engorgement des ouvrages souterrains, la déstabilisation, tassements de remblai, des glissements de terrain, des perturbations sur les réseaux Publics, des pressions sous les constructions, etc. [17]

1.8.3. Les inondations par crues torrentielles

Les crues torrentielles sont des phénomènes brusques et violents résultant d'épisodes pluvieux intenses et localisés, du type d'orages convectifs. Si la vitesse de montée des eaux est extrêmement rapide, la décrue l'est également. On parle aussi de crues éclair pour désigner des crues torrentielles survenant de très petits bassins versants et se formant en quelques heures.

De manière un peu conventionnelle, on parle de crues torrentielles lorsque la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau tombant sur le point "hydrologiquement" le plus éloigné atteigne l'exutoire est inférieure à 12 heures (ou 24h pour certaines hauteurs). Ces crues touchent principalement les zones de montagne, les cours d'eau du pourtour méditerranéen, mais aucun petit bassin au relief accentué, à forte capacité de ruissellement, n'est à l'abri. [34]



- Crue très rapide sur un bassin versant à forte pente.
- Transport de matériaux, embâcle, transformation du lit .

Figure 1.8 : Inondation par crues torrentielles. [35]

1.8.4. Les inondations par ruissellement en secteur urbain :

Les inondations par ruissellement recouvrent des phénomènes physiques différents Selonlesquelles se produisent en milieu rural ou urbain. Mais ces phénomènes se caractérisent par leur soudaineté et leur courte durée, ce qui les rend peu prévisibles et difficilement maîtrisables en période de crise.

Les inondations par ruissellement concernent principalement les milieux urbanisés. Les pluies qui nepeuvent s'infiltreret s'évacuerpar lesréseaux artificiels d'écoulement (Réseau d'assainissement superficiels et/ou souterrains) s'accumulent dans les points bas.

Le ruissellementpluvial urbainpeut provoquerd'importantes inondationslorsque les chenaux d'écoulement ensuiteurbain sontdevenus insuffisammentdimensionnées aprèsurbanisation et imperméabilisation des sols. [34]



- Causé par des épisodes orageux violents.
- Sur de petits bassins versants.

Figure 1.9. : Inondation par ruissellement en secteur urbain. [34]

Le ruissellement pluvial urbain provoque d'importantes inondations lorsque les terrains sont plus imperméables, le tapis végétal plus faible, la pente plus forte et les précipitations plus violentes et il demeure un phénomène naturel que l'homme ne peut pas empêcher. Malheureusement, l'intervention humaine est parfois source d'aggravation de ce phénomène. Ce fut le cas des inondations de Bâb El Oued du 10 novembre 2001 à Alger, des pluies exceptionnelles et intenses, sur une étendue de 40 km², de l'ordre de 214 mm pendant 24h, ont causé 750 morts et 120 personnes disparues et plus de 10 000 familles sinistrées.[34]

1.8.5. Les inondations par rupture d'un ouvrage artificiel hydraulique

L'inondation causée par la destruction d'un ouvrage est un phénomène brutal et extrêmement dangereux. En effet, cette rupture provoque la libération d'une énorme quantité d'eau munie d'une force dévastatrice gigantesque détruisant tout sur son passage. Les statistiques des dégâts matériels et humains engendrés sont inestimables.

La rupture d'un ouvrage est très difficile à prévoir par conséquent la prévention de la calamité est encore plus difficile.

1.8.6. Les inondations par submersion marine :

Une submersion marine est une inondation temporaire des régions côtières par des eaux salées provenant de la mer avoisinante. Elle est due à des événements météorologiques ou océanographiques de dimensions inhabituelles, tels que : marée haute de vives eaux exceptionnelles, phénomène de la surcote et l'élévation du niveau de la mer suite à une fonte importante des glaciers.[11]

1.9. Causes de formation des crues et des inondations

Elles sont causées par plusieurs facteurs, dont on cite :

1.9.1. Influence du climat

Les conditions climatiques jouent un rôle déterminant sur le régime d'un cours d'eau, ce sont les précipitations surtout liquides, qui constituent le facteur essentiel. Elles interviennent par :

- ✚ Leur répartition spatiale.
- ✚ Leur répartition temporelle.

Ces différents aspects des précipitations sont plus ou moins modifiés selon un effet combiné des autres paramètres physiques (altitude et exposition) et climatiques (la température, l'évaporation, l'évapotranspiration, les vents et l'humidité) ; des facteurs qui influent sur l'écoulement et le régime hydrologique du bassin.[47]

1.9.2. Les crues provoquées par les chevelus hydrographiques

La crue correspond à l'augmentation de la quantité d'eau qui s'écoule dans la rivière (Débit) et peut concerner l'ensemble du lit majeur de la rivière. Elle dépend essentiellement de l'abondance et de l'intensité de la pluie : son évolution obéit principalement à la puissance et à l'intensité de l'averse. Sa vitesse est largement influencée par le couvert végétal, la lithologie, par des paramètres morpho métriques du bassin (indice de compacité, densité de drainage, rapports des confluences et des longueurs etc...), par la pente des thalwegs et la forme du lit. [15]

Le processus de la genèse de crue est le résultat de plusieurs processus concomitants.

Il peut être le résultat de l'écoulement superficiel ou souterrain ou les deux ensembles. Les crues sont de trois types :

- ✚ **Les crues d'averses** : Ce sont les crues les plus connues et plus répandues.
- ✚ **Les crues de fonte de neige** : Caractéristiques aux régimes climatiques neigeux. Elles sont liées à l'augmentation de température.
- ✚ **Les crues d'embâcles** : Généralement dues aux blocs de glaces ou troncs d'arbres qui s'accumulent formant des petits barrages et provoquant des inondations à l'amont. La débâcle est l'effet de la rupture de ces petits Barrages résultant des inondations à l'aval. [10]

1.9.3. Le processus de formation des crues

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

- ✚ **L'eau mobilisable** : constituée de l'eau reçue par le bassin versant.
- ✚ **Le ruissellement** : qui correspond à la part de l'eau qui n'a pu s'infiltrer dans le sol. Il dépend de la nature du sol, de sa pente, de son occupation de surface et de l'intensité de l'épisode pluvieux.
- ✚ **Le temps de concentration** : qui est défini par la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau partant du point le plus éloigné de l'exutoire du bassin versant parvienne jusqu'à celui-ci.
- ✚ **La propagation de l'onde de crue** : qui est fonction de la structure du lit et de la vallée alluviale, notamment de la pente et des caractéristiques du champ d'inondation. [4]

1.9.4. La période de retour de crues

On associe souvent à la notion de crue la notion de période de retour (crue décennale, centennale, millénaire, etc.) : plus cette période est grande, plus les débits et l'intensité sont importants. Selon ce paramètre, on distingue :

- ✚ **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. [49]

1.9.5. Paramètres influençant les inondations

Un grand nombre de facteurs autres que celles dictés précédemment intervient, souvent de façon aggravante, dans les dégâts occasionnés par les inondations. Parmi ces derniers, on peut rappeler l'influence des facteurs naturels et anthropiques telle que l'occupation de zones riveraines ou la concentration des personnes et l'accumulation des biens dans les champs d'inondation génère le risque d'inondation par accroissement des enjeux, augmentation des vulnérabilités et absence de prévention-précaution. Imperméabilisation forte (conséquences d'aménagements urbains ou agricoles). Défaillance des dispositifs de protection (digues, déversoirs). [34]

1.10. Les inondations en Algérie

L'Algérie, comme la plupart des autres pays du monde, connaît épisodiquement des phénomènes de crues et d'inondation qui se manifestent de façon catastrophique constituant ainsi une contrainte majeure pour les activités et une entrave pour le développement économique et social.

Au cours de la décennie écoulée, nous avons pu avoir les données de quelques inondations parmi lesquelles :

- ✚ Le 20 octobre 1993 (ouest algérien) : 22 décès et 14 blessés à QUEDRHIOU (à Chlef).
- ✚ Mois d'octobre 1994, des inondations ont été signalées dans plusieurs régions du pays, bilan 60 décès et des dizaines de disparus au cours de dix jours d'inondations.
- ✚ Le 22 octobre 2000 : des inondations à l'ouest algérien, plus de 24 décès.
- ✚ Les 10 et 11 novembre 2001 : à BAB EL OUED (Alger), les pluies diluviennes ont fait 733 victimes, 30 000 personnes sans-abris et d'importants dégâts matériels.
- ✚ Le 1er octobre 2008 : des pluies diluviennes s'étaient abattues sur la région de Ghardaïa, faisant dangereusement monter les cours d'eau. Au moins 33 personnes sont mortes, quatre-vingt-quatre personnes ont été blessées et près de 600 maisons détruites dans des inondations très importantes.
- ✚ Le 09 octobre 2008 : dans la wilaya D'AÏN DEFLA, les intempéries ont causé six décès et huit autres blessés parmi la population, suite à une inondation qui a surpris la région.
- ✚ La nuit du 12 octobre 2008 a été fortement pluvieuse, de 20h45mn à 23h35 mn, de pluie ont été enregistrées, surtout dans les localités de KHEMIS MILIANA et Sidi Lakhdar où la force de l'averse a fait que le revêtement bitumeux de la chaussée

encertains endroits a été endommagé, de même que des habitations noyées par des eaux chargées de terre argileuse et de gravier. Des torrents de boue provenant des collines surplombant la ville de KHEMIS MILIANA ont envahi la majorité des quartiers. Même la voie ferrée n'a pas été épargnée par ces inondations.

- ✚ Durant ce mois d'Octobre 2008, d'autres crues et inondations sont signalées à Batna (450 km au sud-est d'Alger) où deux personnes ont été emportées par les eaux d'oueds en crue. A Bechar, région habituellement désertique et aride, située à plus de 1.000 km au sud-ouest d'Alger, au moins huit personnes sont mortes noyées dans des inondations qui l'ont frappé mercredi et jeudi 15 et 16 octobre 2008.
- ✚ Le soir du 01 octobre 2011 a été fortement pluvieux de $P=60$ mm à la ville d'ELBAYADH, de 17h à 18h30 mn, Au moins 11 personnes sont mortes, et près de 170 maisons détruites, et deux ponts dans des inondations très importantes . [18]

Tableau 1.1 : Illustre le nombre de construction, par ville, construites sur les zones inondables.[18]

Wilaya	Nombre de construction
Chlef	2248
Laghouat	3083
O. El bouaghi	1999
Batna	16261
Bejaïa	500
Bouira	1438
Tamanrasset	1159
Tébessa	17236
Tlemcen	375
Tiaret	13
Alger	14545 quartiers Merdja et Baraki
Djelfa	784
Jijel	470 (zone à risque très élevés)
Sétif	1261
Saida	976-09 cités
Skikda	4009
S.B. Abbes	576-04 cités en centre-ville
Annaba	30 cités et quartiers
Guelma	360
Constantine	620
Médéa	3075

Mostaganem	1633
M'sila	1185
Oran	06 cités
Boumerdès	561
El taref	2370
El oued	El oued 766
Souk Ahras	La plupart des communes
Tipaza	2710
Mila	1663
Ain defla	7772
Naama	4924



Figure 1.10 : Inondation du à Bab El-Oued, GhardaïaetAlger

1.11. Gestion des inondations

Les inondations du début des années 80 auront eu le mérite de susciter une prise de conscience préalable à l'élaboration d'une politique de prévention des risques naturels dans plusieurs pays, les actions qui s'y réfèrent peuvent être résumées comme suit :

➤ **La réglementation :**

Celle-ci ancienne, variée, souvent incomplète parfois mal adoptée, elle devrait systématiquement prendre en compte les actions anthropiques aboutissant à une modification substantielle du relief (travaux d'aplanissement, extraction de gravier et carrière etc....) à l'édification de toute construction en zone inondable, mais très souvent la réglementation n'est pas respectée ce qui a amené souvent, à des situations très dangereuses [11].

➤ **La prévision :**

La première démarche à entreprendre est de procéder à un inventaire des observations de terrain, la seconde est de mettre en place un service d'annonce de crue.

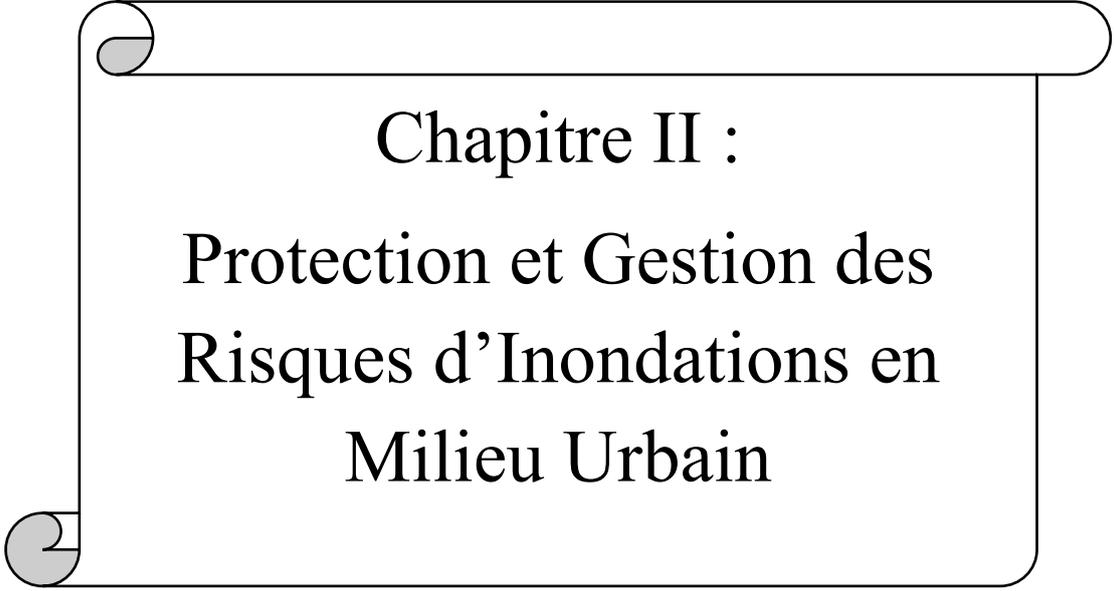
➤ **L'aménagement du bassin versant**

Du point de vue de la prévention des crues, l'aménagement du bassin versant apparaît comme fondamental tant au niveau des versants que du lit proprement dit.

1.12. Conclusion

Une crue est un niveau inhabituel observé dans un cours d'eau, son intensité varie spatialement et temporairement. Les conséquences qu'elle engendre en milieu naturel sont moindres tant dans que en milieu urbain, on ne peut jamais prévoir quel ampleur peuvent atteindre les dégâts humains et matériels entraînés par les inondations qui se produisent.

La problématique des inondations est particulièrement complexe à gérer. La protection des agglomérations de ce type de catastrophe nécessite l'implication de plusieurs disciplines afin de déterminer les divers paramètres contribuant à leur formation ainsi que les solutions appropriées.



Chapitre II :
Protection et Gestion des
Risques d’Inondations en
Milieu Urbain

Chapitre II :

Protection et gestion des risques d'inondations en milieu urbain

2.1. Introduction

Les inondations représentent la source de catastrophes naturelles la plus fréquente dans le monde ; ainsi aux Etats Unis, les dommages liés aux tempêtes et crues représentent un coût annuel de l'ordre de 10 milliards de dollars. Aussi en Europe et au cours de la période 1980-2002, les inondations ont essentiellement touchées la France (22%), l'Italie (17%) et la Grande-Bretagne (12%). En conséquence, le nombre de morts provoqués par ce risque concerne l'Italie (30%), puis l'Espagne (20%) et la France (17%). Les pertes économiques les plus importantes ont été enregistrées en Allemagne et en Italie (11 Milliards d'euros pour ces deux pays), suivis par l'Espagne et la Grande-Bretagne (6 Milliards d'euros à eux deux).[41]

Afin de limiter les effets dommageables de ces calamités naturelles, l'amélioration des méthodes d'évaluation et le choix de la politique optimale de gestion apparaissent comme des outils efficaces dans ce cadre. Alors comment peut-on évaluer et gérer le risque inondation ?

Le but principal de ce chapitre est d'offrir une idée générale sur la manière d'évaluation du risque inondation (aléa et vulnérabilité) ainsi que de présenter une stratégie globale de gestion et protection des agglomération de ce risque.

2.2. Evaluation du risque inondation

Puisque le risque inondation est caractérisé par deux composantes « l'aléa inondation » et « la vulnérabilité » des enjeux exposés, alors l'évaluation de celui-là se base à la fois sur l'évaluation de ces deux derniers. Ainsi, évaluer le risque inondation veut dire apprécier, estimer, quantifier, calculer et mesurer la valeur de l'aléa, délimiter, localiser, identifier, peser, chiffrer et analyser l'importance de la vulnérabilité.[24]

2.2.1. Evaluer l'aléa « inondation » et ses incertitudes

L'aléa étant le concept phare du risque, comment est-il évalué et quantifié dans le cas du risque inondation et est-ce qu'il y a des incertitudes associées ?

L'évaluation de l'aléa inondation est en quelque sorte apprécier la crue responsable de la formation de l'inondation. Cela veut dire qu'on interpelle deux disciplines principales : l'hydrologie et l'hydraulique fluviale.[14]

❖ Hydrologie pour estimer l'aléa

Lorsqu'on fait appel à la science de l'hydrologie, cela veut dire qu'on fixe la cible sur la détermination du débit de la crue, de sa période de retour et de sa durée de submersion. En hydrologie, il y a deux approches : l'approche déterministe et celle statistique.

L'approche déterministe considère tous les apports et facteurs pouvant influencer le débit (pluie, neige, eau dans le sol, etc.) et les introduire dans un modèle qui estime ce dernier. Cette méthode n'est pas conçue pour donner une période de retour correspondante au débit trouvé. Ce qui empêche son utilisation dans l'estimation de l'aléa inondation puisque la probabilité des crues est un élément essentiel du calcul du risque. Par contre, elle peut servir à la prévision des crues et conséquemment à la gestion opérationnelle du risque. Tandis que l'approche statistique permet d'estimer des débits, d'une probabilité donnée, à partir de lois statistiques qui ont été ajustées à partir de séries de données de débits mesurés. [14]

❖ Hydraulique pour quantifier l'aléa

Une fois que l'hydrologie arrive à déterminer le débit, on fait l'appel à l'hydraulique pour continuer l'évaluation de l'aléa. Cela veut dire qu'on va estimer la hauteur et la vitesse de la crue responsable de l'inondation. En fonction de la rugosité du terrain, la forme de la section en travers et la pente du fond, on peut déterminer la hauteur de l'eau de l'écoulement. Ensuite, lorsqu'on connaît la section en travers de l'écoulement, on peut facilement calculer la vitesse de l'eau. [6]

2.2.2. Evaluer la vulnérabilité

La prise en compte du risque inondation devra nécessairement passer par la valorisation des études d'évaluation de la vulnérabilité comme base indispensable à la définition des objectifs pour une gestion territorialisée de ce risque. L'évaluation de la vulnérabilité des enjeux est en quelque sorte déterminer, identifier, chiffrer, quantifier, localiser et analyser les effets dommageables de l'aléa sur les enjeux. Différentes démarches méthodologiques permettent d'analyser et d'évaluer la vulnérabilité.

❖ Démarche quantitatives

Elle se fonde essentiellement sur l'élément vulnérable, il s'agit de mesurer les conséquences dommageables a priori d'un phénomène sur les enjeux. La vulnérabilité est ici conçue soit comme le pourcentage de ce qui peut être perdu en cas de sinistre, soit comme le coût économique des dommages probables. Généralement, ces méthodes couplent des modèles hydrauliques avec des relevés de l'occupation du sol, des hypothèses de valeur des biens et des courbes d'endommagement. [6]

❖ Démarches qualitatives

Dans une approche qualitative, la vulnérabilité apparaît comme la tendance d'une société donnée à subir des dommages en cas de manifestation d'un phénomène naturel comme l'inondation. Cette propension varie selon le poids de certains facteurs qu'il est nécessaire d'identifier et d'analyser car ils induisent un certain type de réponse de la société.

2.3. Procédés de protection des agglomérations contre les inondations

L'objectif d'une stratégie de réduction de l'aléa est de réduire des eaux sur les zones comportant de forts enjeux humains et économiques à l'échelle du bassin versant.

2.3.1. Recalibrage du cours d'eau

Le principe du recalibrage consiste à augmenter la débitante du lit mineur en augmentant la section d'écoulement par élargissement du lit, approfondissement ou les deux.

Le recalibrage des cours d'eau est probablement l'un des types d'intervention les plus fréquemment réalisés (**Fig 2.1**). Ce type de travaux hydrauliques a été mis en œuvre très anciennement dans les zones urbaines et périurbaines, souvent accompagné d'endiguements étroits, pour réduire la fréquence des inondations. Il a été utilisé de manière quasi systématique dans les zones rurales, particulièrement au cours des années **1950** à **1980**, pour diminuer la fréquence de submersion des terres agricoles. Notons que le recalibrage d'un cours d'eau a souvent été couplé à d'autres interventions telles que :

- La rectification du 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 « rustique » (merlon réalisé avec les déblais du recalibrage).

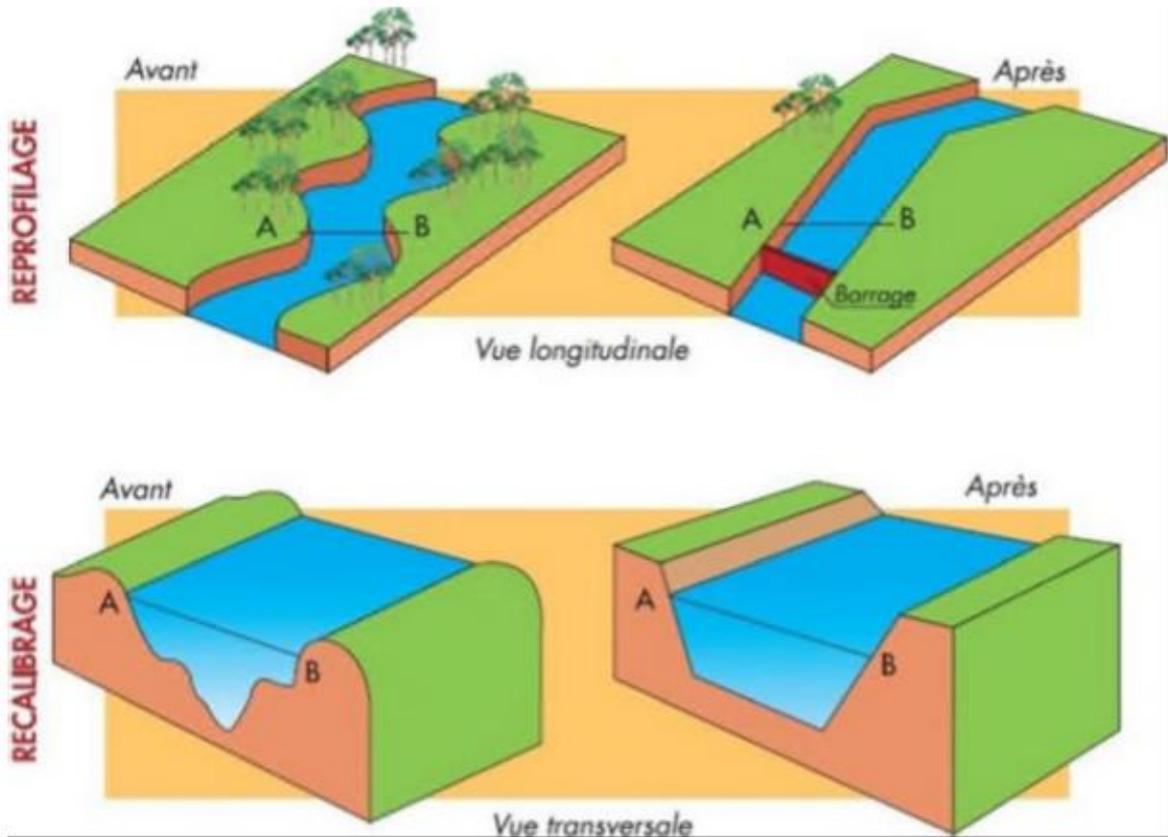


Figure 2.1 : Recalibrage d'un cours d'eau.[29]

Ce type de travaux hydrauliques a été mis en œuvre très anciennement dans les zones urbaines et périurbaines, souvent accompagné d'endiguements étroits, pour réduire la fréquence des inondations (diminuer la fréquence des submersions). Il a été utilisé de manière quasi systématique dans les zones rurales. [47]

❖ Les conséquences d'un recalibrage

- ✚ **Sur les débits de pointe :** Un recalibrage a forcément pour conséquence de diminuer localement la fréquence des submersions et donc de diminuer l'effet de laminage des crues par épandage dans le lit majeur.
- ✚ **Morphologiques pour le profil en long :** Un recalibrage s'accompagne souvent, comme on l'a vu, d'un enlèvement important de la végétation, ce qui accroît la sensibilité des berges à l'érosion.

De plus, un recalibrage entraîne une augmentation de la vitesse de l'eau. Une conséquence directe est l'accroissement de l'érosion en rive concave.

Comme on trouve une autre conséquence est l'augmentation de la rapidité de la décrue. La stabilité au glissement des berges est donc affectée. Les solutions sont :

- L'adoption de pentes de berges suffisamment douces pour améliorer la tenue au glissement.
- La pose de matériaux plus résistants dans les coudes les plus prononcés.

- Et chaque fois qu'il est possible le maintien des arbres ou au moins des souches et le maintien des seuils existants.[47]

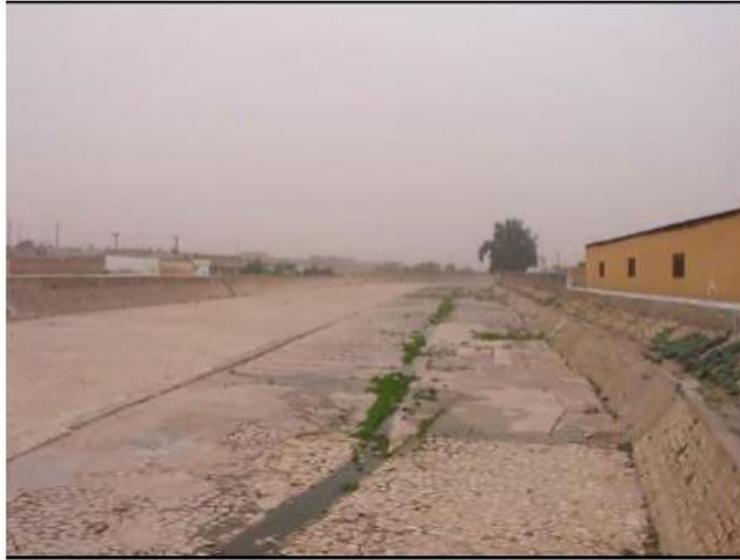


Figure 2.2 : Oued Mekerra (wilaya de Sidi Bel Abbès) rééquilibré dans la traversée de Ras El-Ma. [47]

❖ Les inconvénients du recalibrage

Parmi les inconvénients de cette technique on trouve :

- Aggravation des inondations au débouché dans un tronçon aval non rééquilibré.
- Evacuation accélérée : moindre recharge des nappes en crue.
- Déconnexion des annexes fluviales, perturbation du cycle de reproduction de certaines espèces.
- Perturbation du transport solide : érosions et/ou dépôts.
- Augmentation des contraintes hydrauliques en crue.

2.3.2. Endiguement du cours d'eau

Une digue est une construction établie dans le but de contenir des eaux ou de se protéger de leurs effets. Cette définition est d'une portée générale et englobe tous les types de digues, existants. Les digues peuvent avoir deux fonctions principales : dériver l'eau et/ou canaliser ou protéger contre l'inondation. Ainsi, il existe deux grandes familles de digues :

❖ Les digues en charge en permanence

Une digue en charge en permanence est sollicitée en situation normale d'exploitation par la charge hydraulique. Ce cas correspond aux digues de navigation ou aux digues de dérivation pour certaines industries (hydroélectricité, nucléaire...).

Les digues de navigation le long des canaux à grand gabarit sont relativement récentes et en bon état. Par contre, les digues de navigation le long des canaux de plus petit gabarit sont plutôt anciennes, une partie d'entre elles datant du 19^e siècle. Les ouvrages sont donc hétérogènes et assez mal connus des gestionnaires, et on note environ 10 ruptures par an, en moyenne, le long des 6700 km de canaux navigables. Les digues de navigation le long des canaux présentent divers profils, selon la topographie du site. [36]



Figure 2.3 : Digue de navigation du Rhône en charge en permanence. [36]

L'effet d'un endiguement est d'empêcher le débordement pour des crues dont les débits sont inférieurs à ceux de la crue de projet. Au-delà de ces débits, le débordement aura lieu, ses conséquences sont souvent accrues du fait de vitesses d'écoulement importantes là où se produit la submersion. [46]

❖ Les digues de protection contre les inondations

Les digues de protection contre les inondations sont des ouvrages dont au moins une partie est construite en élévation au-dessus du niveau du terrain naturel et destinés à contenir épisodiquement un flux d'eau afin de protéger des zones naturellement inondables.

Les digues de protection contre les inondations constituent le deuxième grand type de digues. On trouve ces digues essentiellement le long des cours d'eau, parfois positionnées directement en contact avec la berge, ou éloignées de plusieurs mètres, ou plus (quelques centaines de mètres), de celle-ci (Fig. 2.4).

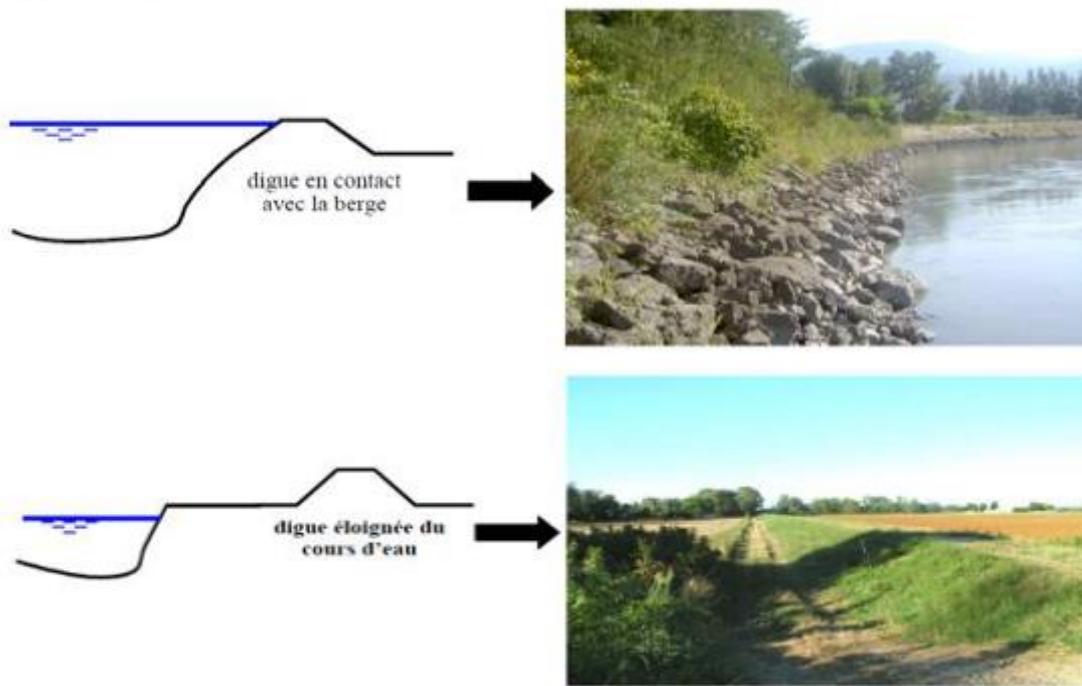


Figure 2.4 : Positions de la digue par rapport aux cours d'eau. [12]

Il s'agit d'aménagement longitudinal le long des berges qui sert à protéger de l'inondation des zones où sont présents des enjeux importants (habitations, zones commerciales industriels...etc.).[46]

❖ Caractéristiques des digues de protection contre les inondations

On peut décrire le fonctionnement hydraulique d'une vallée endiguée (**Fig2.5**) de la façon suivant :

- Lors d'une crue, la rivière déborde de son lit mineur et inonde progressivement le lit majeur endigué.
- L'endiguement limite l'emprise de l'inondation pour les crues faibles et moyennes, mais il surélève la ligne d'eau là où la présence des digues conduit à rétrécir sensiblement la largeur du lit naturel (c'est très souvent le cas dans la traversée des villes).
- Dans le cas des fortes crues, le rôle des digues est limité et la vallée sera complètement inondée.
- On aménage parfois des déversoirs qui permettent de protéger la digue contre le déversement.
- Pour les crues extrêmes, l'ensemble de la vallée est inondé, soit à la suite du fonctionnement des déversoirs, soit par des ruptures de digues ; le fleuve ou la rivière recouvrent ainsi l'ensemble de leur lit majeur, comme en l'absence de protections.[46]

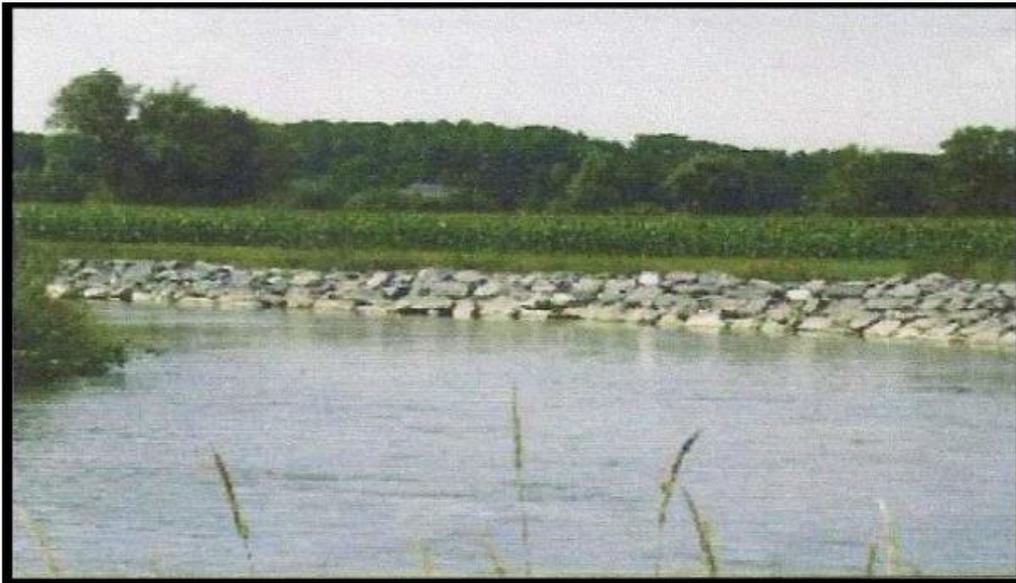


Figure 2.5 : Digue enrochée. [46]

2.3.3. Reboisement

En plus de leur rôle à développer le volet écologique et touristique, les forêts ont un rôle considérable dans la conservation de sol et des eaux. Le volume intercepté de pluies est non négligeable et contribue dans le ralentissement de la montée de crue et en opposé on doit conserver les forêts existants contre le déboisement (un fort accroissement de ruissellement a été observé après des coupes sélectives des forêts.

Le taux d'infiltration sous un couvert végétal naturel non modifié est généralement élevé et le ruissellement est un phénomène relativement rare sauf dans le cas de pluie exceptionnellement violente. [22]

Au plan de la tenue des berges, un arbre peut jouer différents rôles selon, sa taille, sa position et son espèce citons ici le platane qui tapisse la berge et la protège de l'érosion.



Figure 2.6 : Aménagement des berges de l'oued contre le glissement.[29]

Au plan morphologique, la végétation a un rôle important. Lorsque la végétation existe au niveau des berges, le lit est moins large plus profond et la pente des berges est plus forte.

2.3.4. Recalibrage des systèmes d'évacuation de l'eau

Cette opération consiste à modifier les capacités d'écoulement des systèmes d'évacuation des eaux pluviales pour éviter que leur engorgement ne provoque des inondations dues aux précipitations sur une zone urbanisée. Il peut également s'agir de modifier un défaut des systèmes d'évacuation qui n'empêche pas l'eau du cours en crue de refouler. L'effet est essentiellement local. [28]

2.3.5. Préservation - Restauration - Création des zones d'expansion des crues

Il s'agit de préserver ou de restaurer des zones connues d'expansion de crues du cours d'eau. Ceci implique généralement de contrôler l'occupation de la zone d'expansion de crues de telle sorte que la submersion de la zone ne soit pas finalement remise en compte.

Les effets positifs sont à une échelle plus ou moins locale en fonction de la surface de stockage effectivement en jeu.[1]

Ce type d'aménagement n'a que peu d'impact sur la vie aquatique de la rivière et sur son fonctionnement.

2.3.6. Barrage écrêteur

Le barrage écrêteur a pour but l'écrêtement des crues, et parfois, a vocation multiple, son principe de fonctionnement est de stocker temporairement un certain volume dans le lit du cours d'eau de façon à diminuer le débit de crue en aval selon le schéma.[46]

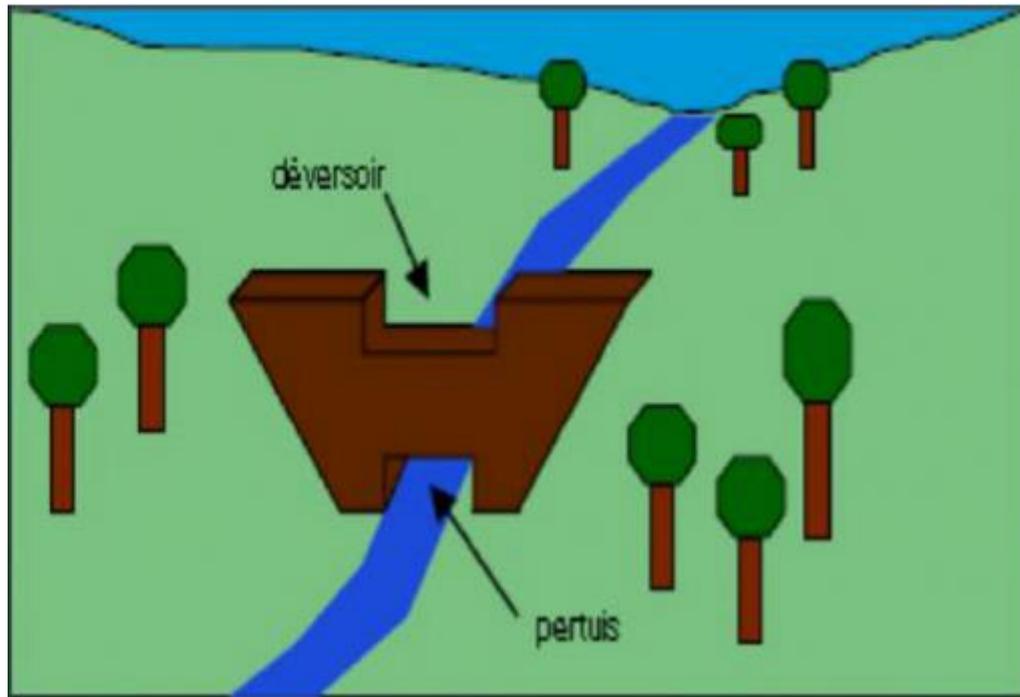


Figure 2.7 : Schéma de fonctionnement d'un barrage écrêteur de crue.[40]

❖ Principes de fonctionnement

Les barrages écrêteur sont implantés en travers du thalweg et ont pour objet de stocker temporairement un certain volume dans le lit du cours d'eau, de façon à diminuer le débit de pointe de la crue en aval.

Le principe général de fonctionnement, dans le cas d'un barrage écrêteur sans vannes, est le suivant :

Un pertuis de fond correctement dimensionné et protégé de l'obstruction par les flottants, permet de limiter le débit en aval, à une valeur compatible avec les enjeux à protéger contre l'inondation ; l'ouvrage est donc transparent pour les débits courants et pour les crues fréquentes.

Lorsque la capacité du pertuis est saturée, la retenue se remplit progressivement, ce qui permet de stocker temporairement une partie du volume de la crue ; le débit en aval augmente peu en fonction de la montée du niveau dans le réservoir (écoulement en charge) ; en fin de crue, le volume temporairement stocké dans la retenue se vide naturellement par le pertuis ; l'ouvrage écrête fortement les crues moyennes à rares.

En cas de très forte crue, lorsque la retenue est pleine, le déversoir de sécurité entre en fonction pour évacuer la différence entre le débit entrant dans la retenue et le débit transitant

dans le pertuis (avec un effet complémentaire de laminage dans la tranche supérieure de la retenue) ; l'ouvrage perd de son efficacité pour les crues rares à exceptionnelles. [10]

❖ Conséquences et effets perturbateurs possibles

Parmi les conséquences de barrage écreteur on trouve :

- ✚ Relative inefficacité si une crue survient alors que le barrage est plein.
- ✚ Risques spécifiques éventuels (rupture de barrage).
- ✚ Lissage du régime aval (disparition des crues fréquentes à moyennes) et interruption totale ou partielle du transport de sédiment (érosion en aval et dépôts dans la cuvette).
- ✚ Perturbation de dynamiques biologiques (circulation des animaux et propagules végétales) [47].

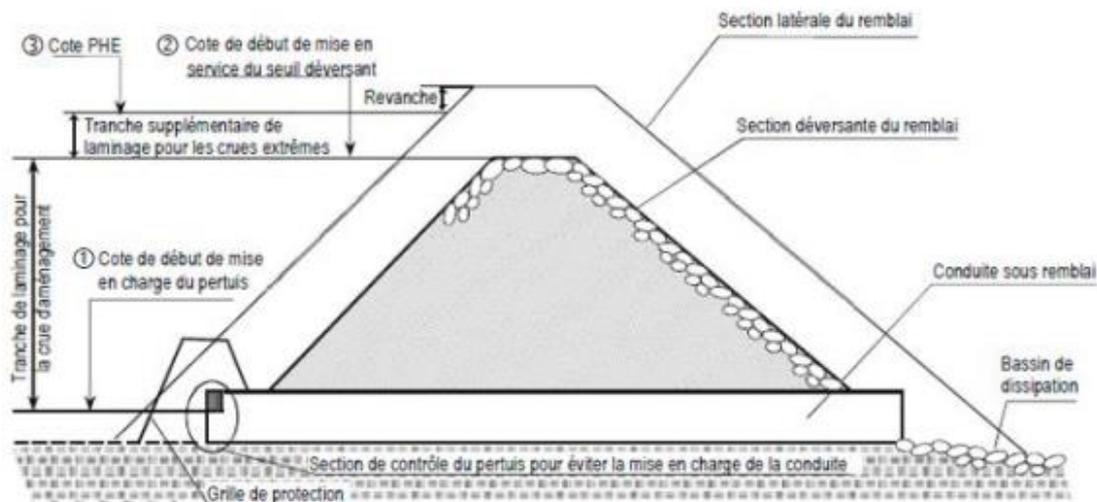


Figure 2.8 : Schéma de fonctionnement d'un barrage écreteur de crue.[37]

2.3.7. Correction torrentielle

C'est une technique qui a pour objectif de limiter les vitesses des écoulements dans les cours d'eau ayant des régimes torrentiels.

Un torrent est corrigé par la construction d'un nombre de digues successives transversales sur les lits des canaux naturels. [1]



Figure 2.9 : Correction torrentielle. [11]

2.3.8. Les épis

Un épi en rivière est ouvrage transversal au courant, enraciné dans la berge, ne barrant qu'une partie du lit et au moins partiellement submersible. Les épis sont utilisés pour protéger les berges ou pour faciliter la navigation. Dans le domaine maritime, des épis peuvent être utilisés pour protéger des plages. [28]

L'espacement entre les épis dépend de la largeur de la rivière, de leur longueur et de leur nature.

Théoriquement, pour qu'un système d'épis soit efficace, il faut que l'écart entre deux épis successifs soit de l'ordre d'une fois et demie (1,5) leur longueur moyenne. [1]

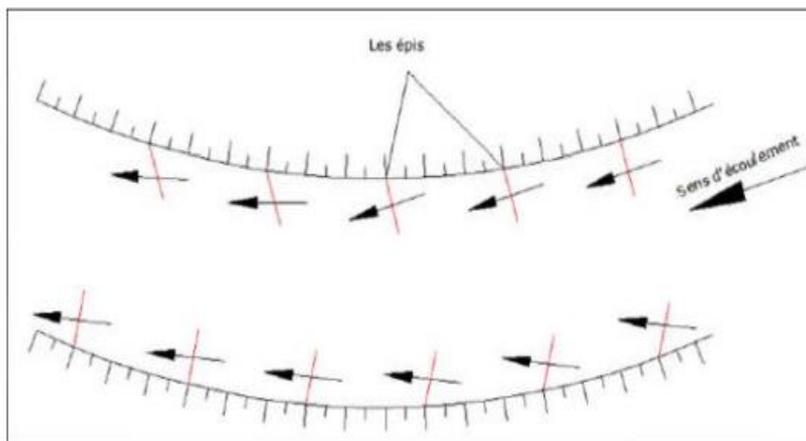


Figure 2.10 : Implantation des épis. [1]

2.3.9. Banquette

La technique des banquettes est de double objectif, la lutte contre l'érosion et la réduction de ruissellement en favorisant l'infiltration due à la diminution de pente. Leurs effets sont considérables dans la défense et la restauration de sol. [10]

La banquette mécanique se divise en quatre zones.

- ✚ Le fossé large reçoit les eaux de ruissellement de l'impluvium.
- ✚ Le talus reçoit la pluie et un apport latéral des eaux du fossé.
- ✚ L'impluvium à l'amont du fossé ; zone cultivée entre les bourrelets, qui ne reçoit plus que la pluie moins le ruissellement.
- ✚ La zone de l'impluvium à l'aval et proche du bourrelet qui pourrait recevoir un appoint d'eau par drainage à travers le bourrelet lors des grosses averses.

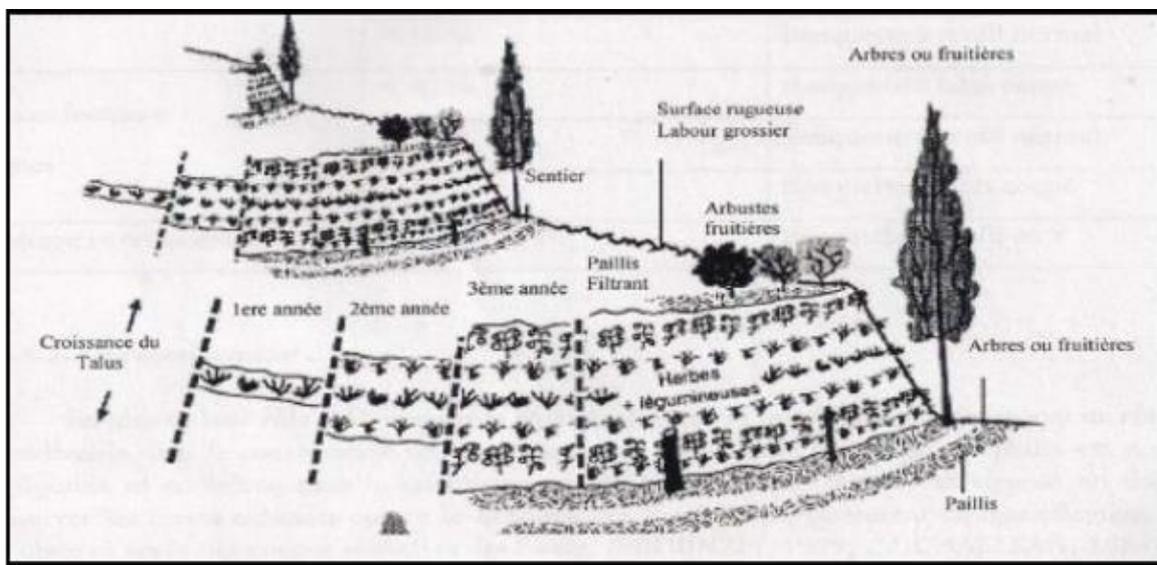


Figure 2.11 : Technique de banquettes. [10]

2.3.10. Ouvrage de stockage en dérivation

Ces ouvrages peuvent être implantés dans le lit majeur, voire dans la plaine au-delà. Ils sont alimentés en dérivation du cours d'eau et nécessitent les aménagements suivants :

- ✚ Une section rétrécie de la rivière (section de contrôle),
- ✚ Un seuil latéral calé pour la crue à écrêter,
- ✚ Un dispositif de limitation du débit dérivé vers les bassins de stockage, égal au plus à la capacité des ouvrages de trop plains des bassins,
- ✚ Des bassins aménagés par creusement du terrain naturel (dans le cas où ils seraient situés au-delà du lit majeur), par construction de digues ou par une solution mixte entre les deux précédentes : il est également possible de profiter d'anciennes gravières, réaménagées en plans d'eau où la tranche supérieure va être mobilisée pour l'écrêtement des crues.

2.3.11. Retenues d'eau

Les retenues collinaires sont des réservoirs de stockage d'eau de dimensions modestes créés à partir d'un petit barrage en remblai. Elles existent depuis longtemps dans toutes les zones du monde où l'agriculture a besoin d'un apport supplémentaire d'eau là où le relief le permet. Elles se distinguent des "bassins" qui sont essentiellement des réservoirs entourés par un périmètre endigué ou des "bassines", petits bassins étanchés avec une géo-membrane. L'ouvrage est constitué dans la grande majorité des cas d'un barrage en terre fermant un thalweg de taille variable. Le dispositif retient les eaux de ruissellement et en stocke une partie. Certains sont mis en place sur des petites rivières ou des ruisseaux pérennes. La majorité est installée dans des thalwegs sans écoulement permanent.

Cette ressource est surtout utilisée pour l'irrigation. On estime que plus de 50% des retenues de ce type en France sont dévolues à cet usage. Elles servent aussi à la protection incendie, aux loisirs, à la pêche et à la pisciculture et plus récemment à alimenter les canons à neige. Elles apparaissent surtout comme des dispositifs locaux d'appoint, qui permettent d'accroître les disponibilités en eau au cours de l'année dans des zones isolées ou insuffisamment équipées et souffrant de déficits chroniques ou récurrents de pluviométrie ou d'apports d'eau. [25]

2.4. Gestion des inondations

Une "meilleure gestion" implique une approche intégrée qui va au-delà des simples mesures de protection. Il s'agit de coordonner les différentes actions et d'adopter une vision à long terme. Voici quelques éléments clés pour une gestion plus performante [46]:

- **L'approche intégrée de la gestion des risques d'inondation :** Cette approche reconnaît que les inondations sont un phénomène complexe qui nécessite une collaboration entre différents acteurs :
 - Coordination entre tous les niveaux administratifs (local, régional, national).
 - Implication des communautés locales dans la prise de décision.
 - Partage d'information en temps réel entre les autorités.
- **La gestion durable des bassins versants :** Les inondations sont souvent liées à la façon dont l'eau s'écoule dans un bassin versant. Une gestion durable implique de préserver les zones humides, de favoriser l'infiltration de l'eau dans les sols, de lutter contre l'érosion et de maintenir une végétation appropriée. Ces mesures naturelles peuvent contribuer à réduire le risque d'inondation en amont.
- **L'utilisation des solutions fondées sur la nature (SFN) :** De plus en plus, on reconnaît l'efficacité des solutions inspirées par la nature pour la gestion des inondations. Cela peut inclure la restauration de zones humides pour absorber l'excès d'eau, la création de zones tampons végétalisées le long des cours d'eau, ou encore la

dés imperméabilisation des sols en milieu urbain. Ces solutions sont souvent plus durables et offrent des Co-bénéfices environnementaux.

- **L'amélioration de la gouvernance et de la coordination** : Une gestion efficace nécessite une claire répartition des responsabilités entre les différents niveaux de gouvernement et une coordination fluide entre les agences concernées (hydraulique, urbanisme, protection civile, etc.). Des mécanismes de concertation et de partage d'informations sont essentiels.
- **L'intégration des données et des technologies modernes** : L'utilisation de modèles hydrologiques sophistiqués, de systèmes d'information géographique (SIG), de données satellitaires et de l'intelligence artificielle peut améliorer la prévision des inondations, la cartographie des risques et la prise de décision en temps réel.
- **La prise en compte du changement climatique** : Les événements météorologiques extrêmes, y compris les fortes pluies, sont susceptibles de devenir plus fréquents et plus intenses avec le changement climatique. Il est donc crucial d'intégrer cette dimension dans la planification et la conception des mesures de gestion des inondations. Cela peut impliquer de revoir les normes de construction et de dimensionnement des ouvrages hydrauliques.
- **Le financement durable de la gestion des inondations** : Mettre en place des mécanismes de financement pérennes est essentiel pour assurer la mise en œuvre et la maintenance des mesures de gestion à long terme. Cela peut passer par des budgets publics dédiés, des assurances spécifiques ou des partenariats public-privé.

2.5. Politique Algérienne de gestion du risque d'inondations

L'Algérie a connu, par le passé, de nombreuses catastrophes naturelles et particulièrement celles liées aux inondations (de Bab El oued du 10 Novembre 2001, de Skikda du 19 janvier 2004 et récemment celles de Ghardaïa du 1^{er} Octobre 2008), qui ont engendré la perte de nombreuses vies humaines et causé des dégâts importants.[38]

Pour améliorer la gestion des inondations en Algérie spécifiquement, voici des recommandations adaptées au contexte local :

❖ Adaptation au contexte algérien

- Prise en compte des spécificités du climat méditerranéen avec ses périodes de sécheresse suivies de précipitations intenses.
- Attention particulière aux oueds qui peuvent rapidement déborder lors des pluies torrentielles.

- Gestion adaptée aux zones urbaines densément peuplées du nord et aux régions sahariennes du sud.

❖ **Cartographies des zones inondables**

- Développer des cartographies des zones inondables plus précises et actualisées à l'échelle nationale et locale, en tenant compte des spécificités topographiques, hydrologiques et d'urbanisation des différentes régions algériennes.
- Intégrer des scénarios de changement climatique dans ces cartographies.

❖ **Renforcement institutionnel**

- Amélioration de la coordination entre la Protection Civile, l'Office National de la Météorologie et les autorités locales.
- Clarification des responsabilités entre les wilayas, les communes et les services de l'État.
- Développement des capacités techniques des services locaux.

❖ **Améliorer la planification et l'aménagement du territoire**

- Intégrer systématiquement le risque d'inondation dans les plans d'aménagement du territoire (PAT) et les plans d'urbanisme (PDAU et POS) à tous les niveaux (national, régional, local). Cela implique de définir des zones non constructibles dans les secteurs à haut risque et d'imposer des normes de construction adaptées dans les zones potentiellement inondables.
- Renforcer le contrôle de l'urbanisation pour éviter la construction illégale dans les lits majeurs des cours d'eau et les zones d'écoulement naturel des eaux pluviales.
- Promouvoir des pratiques d'aménagement urbain durables à Annaba et dans d'autres villes, favorisant la perméabilité des sols, la création d'espaces verts et la gestion des eaux pluviales à la source (bassins d'infiltration, noues, toitures végétalisées).

❖ **Infrastructure et aménagement**

- Modernisation des systèmes de drainage urbain, particulièrement dans les grandes villes côtières.
- Entretien régulier des oueds et des infrastructures hydrauliques existantes.
- Développement de bassins de rétention dans les zones périurbaines en expansion.

❖ **Sensibilisation et implication communautaire**

- Programmes d'éducation publique sur les risques d'inondation, particulièrement adaptés aux contextes culturels locaux.
- Formation des communautés aux premiers secours et aux comportements à adopter.
- Implication des associations locales dans la préparation et la réponse aux catastrophes.

❖ Utilisation de technologies adaptées

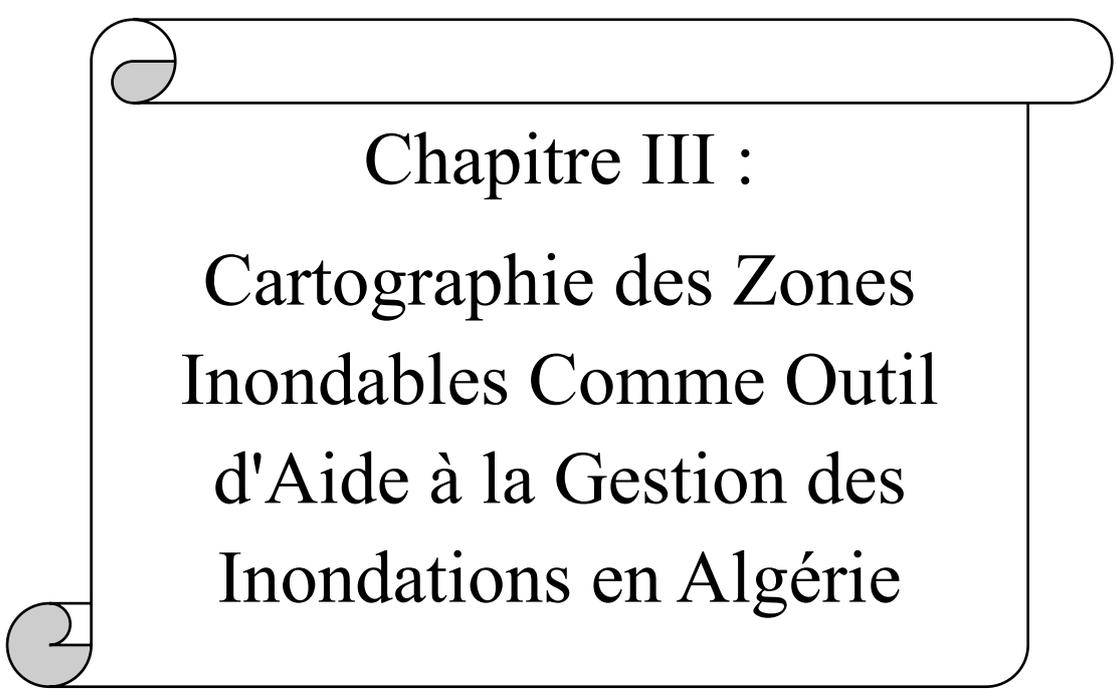
- Développement de systèmes d'alerte précoce par SMS, accessibles même dans les zones reculées.
- Cartographie des risques intégrant les données historiques d'inondations.
- Systèmes de surveillance des bassins versants avec une technologie adaptée aux ressources disponibles.

2.6. Conclusion

Dans la gestion du risque inondation, il est possible de distinguer la prévention, et la gestion de crise. Une "meilleure gestion" implique une approche intégrée qui va au-delà des simples mesures de protection. Il s'agit de coordonner les différentes actions et d'adopter une vision à long terme.

La gestion des inondations nécessite une approche holistique qui combine des mesures structurelles et non structurelles, qui implique tous les acteurs concernés, qui s'appuie sur les connaissances scientifiques et les technologies modernes, et qui anticipe les défis futurs liés au changement climatique.

En résumé, pour l'Algérie, une gestion plus efficace des inondations passe par une meilleure connaissance des risques, une intégration du risque dans la planification, des systèmes d'alerte performants, la valorisation des solutions naturelles, une préparation adéquate à la crise, et une gouvernance collaborative. Il est crucial d'adopter une approche proactive et à long terme pour réduire la vulnérabilité du territoire et des populations face à ce risque naturel.



Chapitre III :
**Cartographie des Zones
Inondables Comme Outil
d'Aide à la Gestion des
Inondations en Algérie**

Chapitre III :

Cartographie des zones inondables comme outil d'aide à la gestion des inondations en Algérie

3.1. Introduction

En Algérie, les inondations constituent l'un des risques naturels les plus dévastateurs, causant des pertes humaines et matérielles considérables comme en témoignent les événements catastrophiques de Bab El Oued en 2001 et de Ghardaïa en 2008. [44]

Face à cette vulnérabilité croissante, exacerbée par le changement climatique et l'urbanisation rapide, la cartographie des zones inondables s'impose comme un outil fondamental de prévention et de gestion. Ces représentations spatiales permettent d'identifier les territoires exposés, d'évaluer les risques potentiels et de planifier efficacement les mesures d'atténuation. [38]

Développer des cartographies précises et actualisées à l'échelle nationale constitue désormais un défi majeur pour les autorités algériennes, nécessitant l'intégration des spécificités régionales dans un cadre méthodologique cohérent. [43]

Ce chapitre explorera en détail le rôle fondamental de la cartographie des zones inondables en tant qu'outil d'aide à la gestion des inondations en Algérie. Nous aborderons successivement les fondements théoriques et méthodologiques de la cartographie, les spécificités de son application dans le contexte algérien, son utilisation concrète dans les différentes phases de la gestion des inondations, et enfin, nous formulerons des recommandations pour améliorer son développement et son intégration dans les politiques publiques.

3.2. La Cartographie des Zones Inondables : Un Outil Clé pour la Gestion des Inondations en Algérie

Une **carte des zones inondables** est une représentation spatiale délimitant les superficies susceptibles d'être submergées par l'eau lors d'un événement d'inondation d'une magnitude donnée. Son objectif principal est de visualiser et de communiquer l'étendue et la profondeur potentielles des inondations pour différents scénarios, facilitant ainsi la compréhension du risque et la prise de décision [27].

L'importance de cet outil est **cruciale** à toutes les étapes du cycle de gestion des inondations. En phase de **prévention**, elle permet d'identifier les zones à haut risque et de réglementer l'aménagement du territoire pour éviter l'implantation de biens et de personnes vulnérables. Pour la **planification**, elle est essentielle à la conception de mesures de protection adaptées, à la définition des plans d'évacuation et à la localisation des infrastructures critiques. Lors de

l'**intervention**, les cartes aident à orienter les secours et à évaluer l'étendue des zones touchées. Enfin, en phase de **reconstruction**, elles contribuent à une évaluation des dommages plus précise et à une planification de la remise en état plus éclairée [13].

La pertinence de la cartographie des zones inondables est particulièrement **évidente dans le contexte algérien**. Le pays est régulièrement confronté à des épisodes d'inondations, souvent soudaines et dévastatrices, en raison de sa géographie, de son climat méditerranéen sujet à des pluies intenses, et d'une urbanisation parfois mal maîtrisée. Une gestion proactive de ce risque, basée sur une connaissance précise des zones menacées, est donc impérative pour la sécurité des populations et la durabilité du développement. [37].

3.3. Fondements Théoriques et Méthodologiques de la Cartographie des Zones Inondables

L'élaboration de cartes précises des zones inondables repose sur une combinaison de données fondamentales et de méthodes d'analyse sophistiquées. La qualité et la pertinence de ces cartes dépendent directement de la richesse et de la fiabilité des informations de base utilisées.

3.3.1. Données de base nécessaires

Plusieurs types de données sont essentiels à la cartographie des zones inondables [45]:

❖ Données Topographiques

Elles décrivent l'altitude du terrain et sont cruciales pour comprendre le cheminement de l'eau. Les **Modèles Numériques de Terrain (MNT)**, obtenus par des techniques telles que la triangulation de réseaux réguliers (TIN), les courbes de niveau numérisées ou les données LiDAR (Light Detection and Ranging), fournissent une représentation altimétrique continue du territoire. La précision du MNT influence directement la fiabilité de la délimitation des zones inondables. Les travaux de Bouguerra et al. (2020) ont démontré que l'amélioration de la résolution du MNT de 30 m à 5 m pouvait modifier significativement l'étendue des zones inondables calculées (jusqu'à 35% dans certaines configurations), soulignant l'importance d'investir dans des données topographiques de qualité.

❖ Données Hydrologiques

Elles concernent le cycle de l'eau et les caractéristiques des cours d'eau. Cela inclut les données de **débit** (mesurées par des stations hydrométriques), les **niveaux d'eau**, les **précipitations** (intensité, durée, distribution spatiale), les données d'**évaporation** et d'**infiltration**. Les séries chronologiques de données hydrologiques sont indispensables pour l'étalonnage et la validation des modèles hydrologiques.. En contexte algérien, où les bassins versants sont souvent caractérisés par une forte pente et une faible couverture végétale,

d'autres paramètres comme le **coefficient de ruissellement**, le **temps de concentration** et les **caractéristiques d'infiltration des sols** jouent un rôle déterminant dans la genèse des crues rapides qui affectent particulièrement les villes côtières. [33]

❖ **Données Météorologiques**

Elles fournissent des informations sur les conditions atmosphériques qui peuvent entraîner des inondations, telles que les fortes pluies, la fonte des neiges rapide ou les tempêtes. Les données de **précipitations**, de **température**, de **vent** et de **humidité** sont importantes pour la modélisation des événements extrêmes. [31]

❖ **Données d'Occupation des Sols**

La nature de la surface terrestre influence l'infiltration, le ruissellement et donc le risque d'inondation. Les cartes d'occupation des sols, obtenues par télédétection ou inventaires sur le terrain, classifient les différentes catégories (urbain, agricole, forêt, zones humides, etc.) et permettent d'attribuer des coefficients de rugosité aux surfaces pour la modélisation hydraulique. [3]

❖ **Données sur les Ouvrages Hydrauliques**

Les informations sur les barrages, les digues, les canaux et autres structures de régulation des eaux sont essentielles pour évaluer leur impact sur le risque d'inondation et les intégrer dans les modèles. [32]

❖ **Données Socio-économiques**

Bien que ne servant pas directement à la délimitation physique, les informations sur la densité de population, la localisation des infrastructures vulnérables et la valeur des biens exposés sont cruciales pour l'analyse du risque et la planification des mesures de gestion [25].

3.4. Méthodes et techniques de délimitation des zones inondables

Différentes approches sont utilisées pour délimiter les zones susceptibles d'être inondées :

❖ **Approches Historiques**

L'analyse des données d'inondations passées fournit des informations précieuses sur l'étendue maximale atteinte par les eaux.

- ✚ **Analyse des témoignages et des enquêtes** : Les récits des habitants, les rapports des autorités et les enquêtes post-inondation peuvent documenter l'étendue et la hauteur de l'eau lors d'événements antérieurs. [42]
- ✚ **Analyse des archives** : Les documents historiques (cartes anciennes, plans, registres) et les photographies aériennes ou terrestres peuvent fournir des preuves tangibles des inondations passées. [8]
- ✚ **Marques d'inondation** : L'identification et la cartographie des traces laissées par les inondations sur les bâtiments et le terrain permettent de reconstituer l'étendue et la hauteur de l'eau. Ces approches sont utiles pour comprendre l'histoire des inondations dans une zone donnée, mais elles ne permettent pas de prévoir l'étendue des inondations futures avec précision, notamment dans un contexte de changement climatique ou d'évolution de l'aménagement du territoire. [8]

❖ **Modélisation Hydrologique et Hydraulique**

Ces approches utilisent des modèles numériques pour simuler le cycle de l'eau et l'écoulement dans les cours d'eau et sur les plaines inondables.

- ✚ **Modèles Numériques de Terrain (MNT)** : Comme mentionné précédemment, le MNT est la base altimétrique pour la modélisation hydraulique. Sa résolution et sa précision sont cruciales pour la qualité des résultats. [20]
- ✚ **Modèles Hydrologiques** : Ils simulent la transformation des précipitations en débit en tenant compte des caractéristiques du bassin versant (superficie, pente, géologie, occupation des sols). Des modèles conceptuels (comme le modèle GR4J) ou physiques (basés sur les équations de conservation de la masse et du mouvement) sont utilisés. [33]
- ✚ **Modèles Hydrauliques** : Ils simulent l'écoulement de l'eau dans le lit majeur et le lit mineur des cours d'eau. Des outils comme TELEMAC-2D ou MIKE 21 sont couramment utilisés dans les études algériennes récentes. [50]
 - **Modèles 1D (unidimensionnels)** : Ils considèrent l'écoulement principalement dans la direction longitudinale du cours d'eau et sont adaptés aux études de propagation de crues dans des vallées bien définies.
 - **Modèles 2D (bidimensionnels)** : Ils simulent l'écoulement sur la surface de la plaine inondable en tenant compte des variations spatiales de la hauteur et de la vitesse de l'eau. Ils sont plus adaptés à la modélisation des inondations en zones de faible pente ou en milieu urbain complexe. L'importance de ces modèles réside dans leur capacité à simuler différents scénarios d'inondation (fréquence, intensité) en faisant varier les

conditions aux limites (précipitations, débits amont) et à prévoir l'étendue, la hauteur et la vitesse de l'eau.

- **Utilisation de la Télédétection et des Systèmes d'Information Géographique (SIG) :** Ces technologies offrent des outils puissants pour la cartographie des zones inondables.

✚ **Images Satellitaires :** Les images acquises par différents types de satellites (optiques, radar) permettent de cartographier l'occupation des sols, de surveiller l'humidité des sols et de détecter l'étendue des inondations pendant et après un événement. Les images radar sont particulièrement utiles car elles peuvent pénétrer la couverture nuageuse. Plus prometteuse encore, l'**imagerie radar** (Sentinel-1, RADARSAT) offre la capacité de pénétrer la couverture nuageuse souvent présente lors des épisodes pluvieux intenses et de discriminer précisément les surfaces en eau. [30]

❖ **Notion de période de retour**

La période de retour (ou fréquence) d'une inondation est l'intervalle de temps moyen entre deux événements d'une magnitude donnée ou supérieure. Par exemple, une crue centennale a une probabilité de 1% de se produire chaque année. La définition des zones inondables est souvent basée sur des événements de différentes périodes de retour (par exemple, crue décennale, centennale, millénale) pour représenter différents niveaux de risque et informer les décisions en matière d'aménagement et de gestion. Les cartes de zones inondables indiquent généralement l'étendue de l'inondation pour une ou plusieurs périodes de retour spécifiques.

En combinant ces données de base et ces différentes méthodes, il est possible d'élaborer des cartes de zones inondables de plus en plus précises et utiles pour une gestion efficace des inondations.

3.5. Spécificités de la cartographie des zones inondables en Algérie

La cartographie des zones inondables en Algérie présente des défis et des spécificités qui nécessitent une approche adaptée au contexte national. Si des efforts significatifs ont été entrepris, des lacunes persistent et des particularités régionales doivent être prises en compte.

3.5.1. Défis spécifiques liés à la cartographie des zones inondables en Algérie

❖ **Disponibilité et Qualité des Données**

L'élaboration de cartes fiables repose sur la disponibilité de données de qualité et à une échelle appropriée. En Algérie, bien que des organismes comme l'Agence Nationale des Ressources en Eau (ANRH), l'Office National de la Météorologie (ONM) et l'Institut

National de Cartographie et de Télédétection (INCT) collectent des données topographiques, hydrologiques et météorologiques, plusieurs défis subsistent [7] :

- ✚ **Hétérogénéité spatiale et temporelle des réseaux de mesure** : La densité des stations hydrométriques et météorologiques peut varier considérablement selon les régions, avec des lacunes dans certaines zones rurales ou montagneuses. Les séries chronologiques de données peuvent également être incomplètes ou de qualité variable.
- ✚ **Accessibilité et partage des données** : L'accès aux données peut parfois être complexe en raison de contraintes administratives ou de manque de standardisation des formats. Un meilleur partage et une centralisation des données entre les différentes institutions seraient bénéfiques.
- ✚ **Précision et résolution des données topographiques** : Si des MNT existent pour certaines régions, la couverture nationale avec une résolution fine (type LiDAR) reste limitée, ce qui impacte la précision de la modélisation hydraulique, notamment en milieu urbain complexe.
- ✚ **Complexité des régimes hydrologiques** : Le régime hydrologique en Algérie est caractérisé par une forte variabilité interannuelle des précipitations et des écoulements, avec des périodes de sécheresse prolongées alternant avec des épisodes de pluies intenses et concentrées, souvent à l'origine de crues soudaines. Cette complexité rend la prévision et la modélisation des inondations plus ardues, nécessitant des modèles robustes et bien calibrés pour tenir compte de ces variations.
- ✚ **Impact de l'urbanisation rapide et souvent non planifiée** : L'Algérie a connu une urbanisation rapide, souvent sans une planification adéquate, entraînant l'imperméabilisation des sols, la réduction des zones d'infiltration naturelle et l'obstruction des réseaux de drainage existants. [16]
- ✚ **Importance des spécificités topographiques des différentes régions** : La diversité topographique de l'Algérie (littoral, plaines côtières, Atlas tellien et saharien, hauts plateaux, Sahara) influence fortement les processus d'inondation. Les plaines côtières peuvent être sujettes aux inondations par débordement de cours d'eau et par submersion marine (en cas de tempêtes). Les régions montagneuses sont exposées aux crues torrentielles et aux glissements de terrain induits par les fortes pluies. Les zones arides et semi-arides connaissent des crues soudaines et violentes dans les oueds. La cartographie doit tenir compte de ces spécificités régionales en adaptant les méthodes et les modèles utilisés. [18]

3.5.2. Initiatives existantes en Algérie en matière de cartographie des zones inondables

Malgré les défis, des initiatives de cartographie des zones inondables ont été entreprises en Algérie :

- ✚ **Les Agences de Bassin Hydrographique (ABH) :** Ces organismes jouent un rôle central dans la gestion des ressources en eau et sont impliqués dans l'élaboration de plans de gestion des risques d'inondation (PGRI) qui incluent la cartographie des zones inondables à l'échelle des bassins. [2]
- ✚ **L'Office National de la Météorologie (ONM) :** L'ONM fournit des prévisions météorologiques et des alertes qui sont essentielles pour la gestion des inondations et peuvent contribuer à la cartographie des risques potentiels.
- ✚ **L'Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT) :** L'INCT dispose d'une expertise en matière de cartographie et de traitement d'images satellitaires qui peuvent être utilisées pour la délimitation et le suivi des zones inondées.
- ✚ **Projets de recherche universitaires :** Plusieurs équipes de recherche au sein des universités algériennes mènent des études sur les inondations et développent des méthodologies de cartographie adaptées aux contextes locaux. [51]
- ✚ **Projets ponctuels :** Des projets spécifiques de cartographie des zones inondables peuvent être réalisés dans le cadre de projets d'aménagement ou de gestion des risques à l'échelle locale ou régionale.

3.5.3. Nécessité de développer des cartographies à différentes échelles :

Il est crucial de développer des cartographies des zones inondables à différentes échelles pour répondre aux besoins spécifiques de chaque niveau de décision [48] :

- ✚ **Échelle Nationale :** Fournit une vision globale de la vulnérabilité du territoire aux inondations, permettant d'orienter les politiques nationales de prévention et d'aménagement.
- ✚ **Échelle Régionale (Bassin Hydrographique) :** Permet une gestion intégrée des risques à l'échelle des bassins versants, en tenant compte des interactions entre l'amont et l'aval. Les PGRI élaborés par les ABH sont un exemple de cette échelle.
- ✚ **Échelle Locale (Wilaya, Commune) :** Est essentielle pour la planification urbaine détaillée, la gestion de l'urgence, l'information des citoyens et la mise en œuvre de mesures de protection spécifiques aux territoires. Des cartes à haute résolution sont nécessaires pour identifier précisément les zones à risque au niveau des parcelles et des bâtiments.

En reconnaissant ces spécificités et en poursuivant les efforts pour améliorer la disponibilité des données, affiner les méthodes de modélisation et développer des cartographies à différentes échelles, l'Algérie pourra renforcer son dispositif de gestion des inondations.

Ce développement met en lumière les défis et les spécificités de la cartographie des zones inondables en Algérie, tout en reconnaissant les initiatives existantes et en soulignant la nécessité d'une approche multi-échelle.

3.6. La Cartographie des zones inondables comme outil d'aide à la gestion des inondations

Les cartes des zones inondables ne sont pas de simples représentations graphiques ; elles constituent un outil dynamique et essentiel qui alimente et informe les différentes étapes de la gestion des inondations, de la prévention à la reconstruction.

3.6.1. Pour la Prévention

❖ Identification des zones à risque pour réglementer l'urbanisation et éviter de futurs dommages

Les cartes de zones inondables sont fondamentales pour la planification de **l'utilisation des sols**. En identifiant clairement les zones susceptibles d'être inondées pour différentes périodes de retour, les autorités peuvent établir des réglementations d'urbanisme strictes. Cela peut inclure l'interdiction de construire dans les zones à haut risque (lit majeur), l'imposition de normes de construction spécifiques dans les zones moins exposées (par exemple, surélévation des bâtiments, utilisation de matériaux résistants à l'eau), et la limitation des activités qui pourraient augmenter le risque d'inondation (par exemple, l'imperméabilisation excessive des sols). Ces mesures préventives à long terme sont cruciales pour réduire la vulnérabilité future et les coûts associés aux inondations.

❖ Information du public sur les risques potentiels et les mesures de précaution

Les cartes de zones inondables sont un outil puissant pour la **communication des risques** au public. En rendant visuellement explicite l'étendue potentielle des inondations, elles permettent aux citoyens de comprendre leur niveau d'exposition et d'adopter des comportements plus sûrs

❖ Intégration dans les plans d'aménagement du territoire pour orienter le développement

Les cartes de zones inondables doivent être intégrées de manière systématique dans les **plans d'aménagement du territoire** et les **plans d'urbanisme (PDAU et POS)** à toutes les échelles (national, régional, local). Elles doivent guider les décisions en matière de

localisation des nouvelles zones résidentielles, industrielles et commerciales, ainsi que le développement des infrastructures (routes, réseaux d'énergie, etc.).

3.6.2. Pour la planification de l'urgence

❖ Délimitation des zones d'évacuation et identification des itinéraires sûrs

En cas d'alerte d'inondation, les cartes de zones inondables sont essentielles pour **définir les zones à évacuer en priorité** en fonction de la prévision de l'étendue et de la hauteur de l'eau. Elles permettent également d'**identifier les itinéraires d'évacuation les plus sûrs** et les moins susceptibles d'être coupés par les eaux, ainsi que les points de rassemblement pour les populations évacuées.

❖ Localisation des infrastructures critiques (Hôpitaux, Écoles, Postes de Secours) à l'abri des inondations

La cartographie des zones inondables joue un rôle déterminant dans le **choix de l'emplacement des infrastructures critiques**. Les nouveaux hôpitaux, écoles, postes de police, casernes de pompiers et centres de coordination des secours doivent idéalement être situés en dehors des zones inondables.

3.6.3. Pour la gestion post-inondation

❖ Évaluation rapide des dommages et identification des zones les plus touchées

Immédiatement après une inondation, les cartes des zones inondables, combinées aux observations de terrain et aux images satellitaires post-événement, permettent de **réaliser une évaluation rapide de l'étendue des dommages** aux bâtiments, aux infrastructures et aux terres agricoles .

❖ Aide à la planification de la reconstruction et de la remise en état des infrastructures

Les cartes des zones inondables sont essentielles pour la **planification de la reconstruction à long terme**. Elles permettent de déterminer les zones où la reconstruction devrait être évitée ou soumise à des conditions strictes, et d'identifier les meilleures options pour la remise en état des infrastructures endommagées en tenant compte du risque futur.

3.7. Recommandations pour l'amélioration de la cartographie des zones inondables en Algérie

Pour que la cartographie des zones inondables devienne un outil encore plus efficace au service de la gestion des inondations en Algérie, plusieurs axes d'amélioration doivent être considérés :

❖ **Renforcer la collecte et la standardisation des données hydrologiques, météorologiques et topographiques**

- **Investir dans l'extension et la modernisation des réseaux de surveillance hydrométrique et météorologique**, en particulier dans les régions sous-équipées et dans les zones à risque de crues soudaines. Cela inclut l'installation de stations de mesure automatiques et connectées en temps réel.
- **Mettre en place des protocoles stricts de contrôle qualité et d'archivage des données**, garantissant leur fiabilité et leur pérennité.
- **Développer des standards nationaux pour les formats de données et les métadonnées**, facilitant l'échange et l'intégration des informations entre les différentes institutions.
- **Prioriser l'acquisition de données topographiques de haute résolution à l'échelle nationale**, en explorant des techniques comme le LiDAR aéroporté ou terrestre pour les zones urbaines et les régions à fort enjeu.
- **Investir dans la modélisation hydraulique haute résolution et l'utilisation des SIG**, en développant et validant des modèles hydrologiques et hydrauliques adaptés aux spécificités des régimes hydrologiques algériens, y compris la prise en compte des crues soudaines et de l'impact des ouvrages hydrauliques.
- **Encourager l'utilisation de modèles 2D et 3D haute résolution**, notamment en milieu urbain, pour une représentation plus précise de l'écoulement des eaux et de l'inondation.
- **Renforcer les capacités techniques des experts algériens en matière de modélisation et d'utilisation des SIG**, par le biais de formations spécialisées et de collaborations avec des centres de recherche internationaux.
- **Cartographier les zones inondables potentielles pour différents horizons temporels** (par exemple, 2030, 2050, 2100), afin d'anticiper les impacts du changement climatique sur le risque et d'adapter les stratégies de gestion à long terme.
- **Créer un portail national en ligne dédié à la cartographie des zones inondables**, où les cartes (à différentes échelles et pour différentes périodes de retour) seraient accessibles aux autorités, aux professionnels de l'aménagement, aux chercheurs et au grand public.
- **Favoriser la Collaboration entre les institutions de recherche, les agences gouvernementales et les collectivités Locales**, en créant des plateformes de dialogue et d'échange d'informations entre les chercheurs, les techniciens des agences (ANRH, Protection Civile, etc.) et les représentants des collectivités locales.
- **Encourager la réalisation de projets de recherche collaboratifs** axés sur l'amélioration des méthodes de cartographie et la compréhension des processus d'inondation spécifiques au contexte algérien.

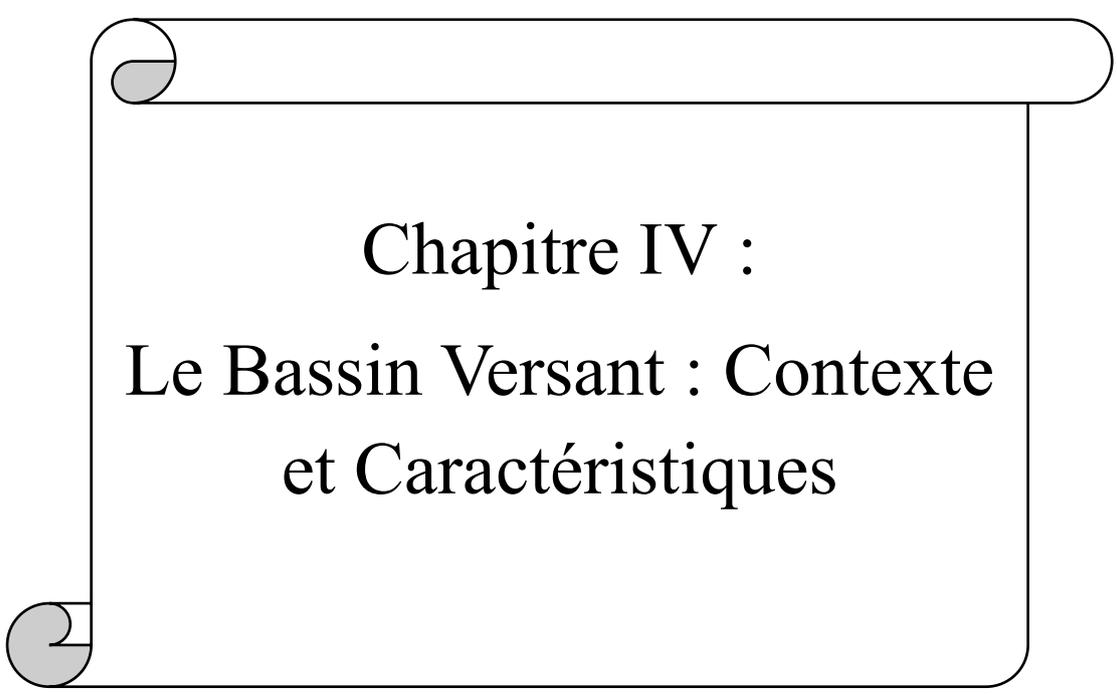
En mettant en œuvre ces recommandations, l'Algérie pourra significativement améliorer la qualité, la disponibilité et l'utilisation de ses cartes de zones inondables, contribuant ainsi à une gestion des inondations plus efficace et à une réduction de la vulnérabilité de ses territoires et de ses populations. Ces recommandations offrent une feuille de route pour améliorer significativement la cartographie des zones inondables en Algérie.

3.8. Conclusion

En conclusion, il apparaît clairement que la **cartographie des zones inondables** constitue un outil fondamental et indispensable pour une gestion des inondations proactive et efficace en Algérie. Elle offre une base de connaissances essentielle pour comprendre l'aléa, évaluer le risque et informer les décisions à tous les niveaux, de la planification de l'aménagement du territoire à la réponse en situation de crise et à la reconstruction post-inondation.

Une utilisation optimale de la cartographie des zones inondables, ancrée dans une démarche scientifique rigoureuse et une volonté politique affirmée, est essentielle pour réduire la vulnérabilité des territoires et des populations algériennes face au risque d'inondation et pour construire un avenir plus sûr et plus résilient face aux aléas climatiques.

Ce développement détaille l'application concrète de la cartographie des zones inondables dans les différentes phases de la gestion des inondations



Chapitre IV :
**Le Bassin Versant : Contexte
et Caractéristiques**

Chapitre IV :

Le bassin versant : contexte et caractéristiques

4.1. Introduction

L'Algérie est confrontée aux phénomènes de crues et d'inondations, qui se manifestent de façon catastrophique constituant ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et social.

Plusieurs régions, de par leur topographie sont menacées par ces catastrophes hydrologiques aussi bien au Nord qu'au Sud. Les inondations attribuables aux crues d'oueds et aux tempêtes de pluies se produisent dans toutes les régions du pays.

Avant tout projet de protection contre les inondations, l'étude d'un milieu physique est nécessaire pour connaître les caractéristiques physiques du lieu et les facteurs influençant la conception du projet. Cette étude consiste à analyser les caractéristiques physiques de la commune de Oued Fragha (relief, Climat,...).[26]

4.2. Situation du projet

Oued Fragha est une commune de la wilaya de **Guelma** en Algérie, ancien nom oued Frarah situé dans le sud de Guelma à environ **50km**, se trouve sur la route nationale RN16 dans le centre entre les wilayas de **Annaba, Guelma, et Souk-Ahras** à une superficie de **86km²**. et selon les statistiques nationales de **2008** la population de **oued Fragha** est de **7152** habitants.

La municipalité est caractérisée par la nature pastorale de paysannerie, la majeure partie de la population travaille dans le secteur agricole et la municipalité est caractérisée par un terrain difficile.[54]

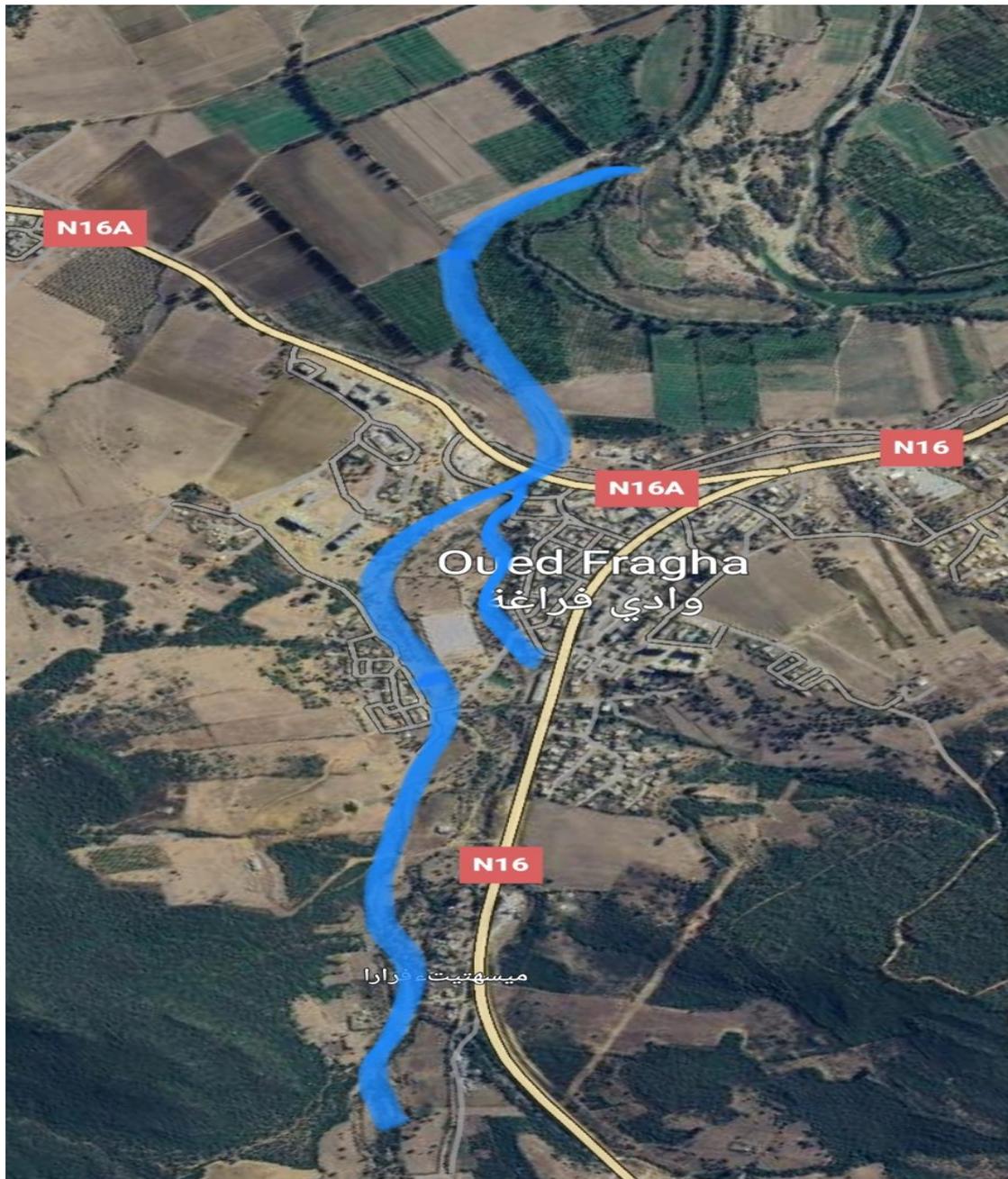


Figure 4.1 : Situation d'oued Frareh dans la zone d'étude Oued Fragha (image illustrée par Google Earth).

4.3. Le bassin versant et son complexe

4.3.1. Définition du bassin versant

On appelle **"bassin versant"** l'ensemble de la surface topographique réceptrice des eaux pluviales qui alimente une rivière, un lac, une nappe souterraine, etc...., soit directement ou indirectement par l'intermédiaire d'un "affluent".

Le **"bassin versant"** représente, en principe, l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ses effets.

Le **"bassin versant"** en une section droite d'un cours d'eau, est donc défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section. Il est entièrement caractérisé par son exutoire, à partir duquel nous pouvons tracer le point de départ et d'arrivée de la ligne de partage des eaux qui le délimite.

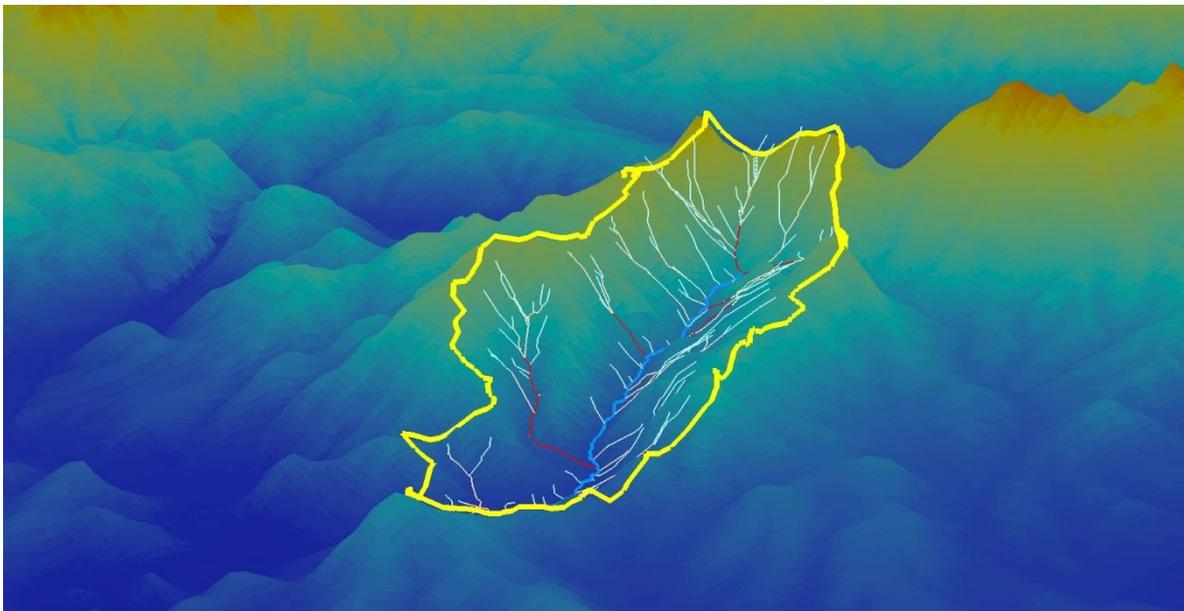


Figure 4.2. Bassin versant d'Oued Fragha

Tous les écoulements qui prennent naissance à l'intérieur de cette surface topographique passent par la section de mesure pour poursuivre leur trajet à l'aval. Chaque bassin versant est séparé des autres par une ligne de partage des eaux. Cette limite est déterminée sur la carte topographique. En commençant par un exutoire, on trace à main levée des segments perpendiculaires aux courbes de niveau en passant par les crêtes, aboutissant automatiquement à l'exutoire.

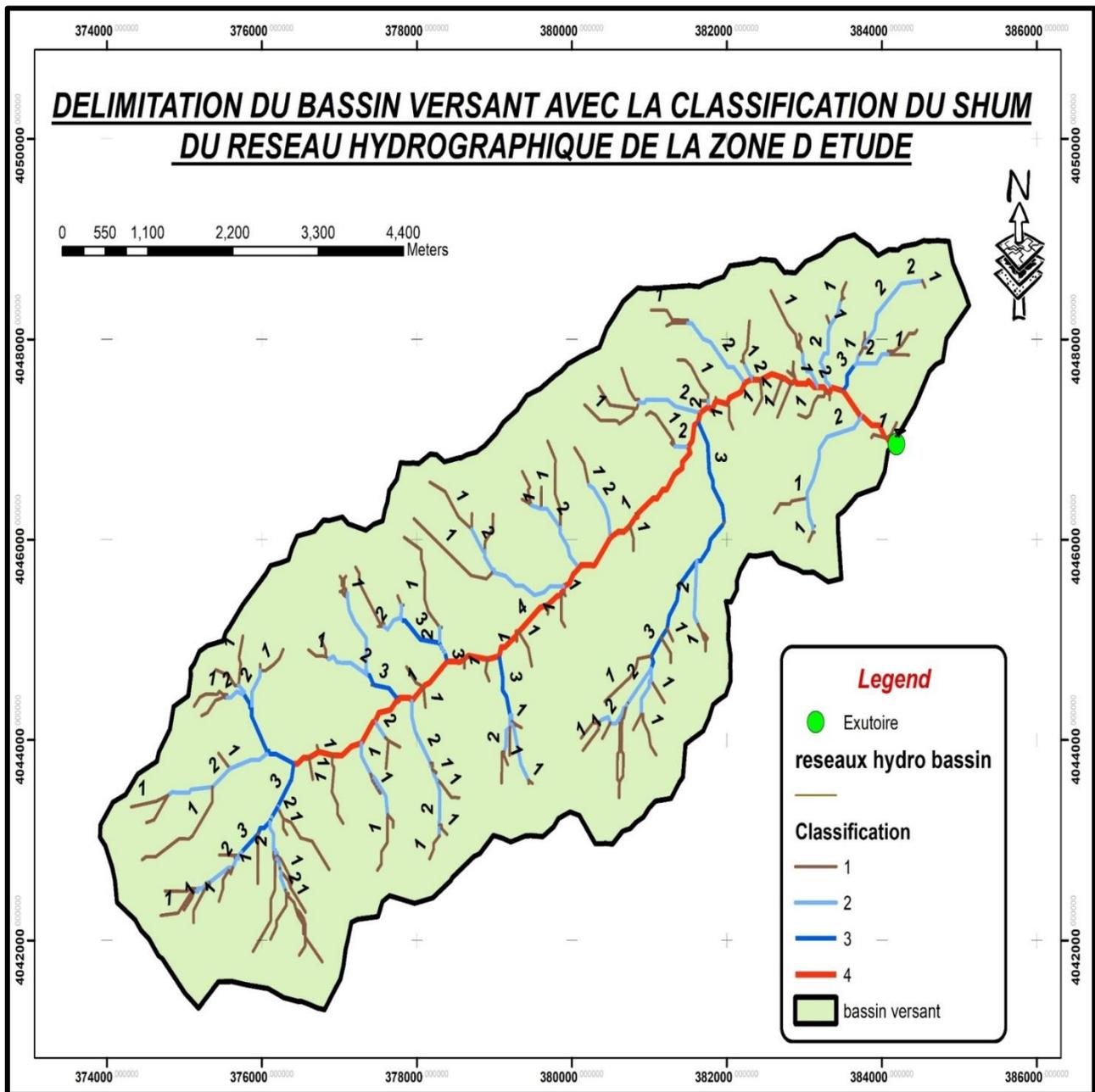


Figure 4.3. Délimitation du bassin versant de Oued Fragha

4.3.2. Type de bassins

Les bassins versants peuvent être distingués en deux types :

- **Les bassins versants « urbains »** : ils présentent une imperméabilisation supérieure à 20 %, qui conditionnent exclusivement le volume de la lame d'eau ruisselée.
- **Les bassins versants « ruraux »** : présentent une imperméabilisation inférieure à 20 %. Le volume ruisselé dépend de nombreux facteurs variables dans le temps, tels que le couvert végétal, l'antécédent pluviométrique, les pratiques culturales, etc. [12]

4.3.3. Caractéristiques d'un bassin versant

D'un point de vue hydrologique, un bassin versant se caractérise par sa réaction face à une sollicitation (des précipitations). Cette réaction, mesurée à l'exutoire du système par l'observation de la quantité d'eau qui s'écoule, permet d'établir un hydrogramme (représentation du débit Q en fonction du temps).

4.3.3.1. Les Caractéristiques Géométriques

a)- La Surface

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits vont être en partie reliés à sa surface.

La surface du bassin versant peut être mesurée par superposition d'une grille dessinée sur papier transparent, par l'utilisation d'un planimètre ou, mieux, par des techniques de digitalisation.

$$S = L \cdot l \dots \dots \dots (4.1)$$

Avec L est la longueur du bassin versant, l est sa largeur

La surface du bassin étudié est estimée à : $S = 39.63 \text{ km}^2$

b)- Le périmètre

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

$$P = 2(L + l) \dots \dots \dots (4.2)$$

Le périmètre est estimé à : **P= 32.36 km**

c)- La Forme

La forme d'un bassin versant influence l'allure des hydrogrammes à l'exutoire du bassin versant. Par exemple, une forme allongée favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus importants. Ce phénomène est lié à la notion de temps de concentration.

En revanche, les bassins en forme d'éventail, présentant un temps de concentration plus court, auront les plus forts débits de pointe.

Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser le milieu, mais aussi de comparer les bassins versants entre eux. Citons à titre d'exemple l'indice de compacité de Gravelius (1914) K_G , défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

$$k_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}} \approx 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \dots \dots \dots (4.3)$$

Avec :

K_G : est l'indice de compacité de Gravelius,

A : surface du bassin versant [Km^2],

P : périmètre du bassin [km].

Cet indice se détermine à partir d'une carte topographique en mesurant le périmètre du bassin versant et sa surface. Il est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée.

Donc :

$$K_G = 1.44$$

- si $K_G = 1 \Rightarrow$ bassin parfaitement circularisé.
- si $K_G = 1.128 \Rightarrow$ bassin ramassé.
- si $K_G > 1.128 \Rightarrow$ bassin allongé.

$K_G = 1.44 > 1$ alors le bassin versant est de forme allongée.

Tableau 4.1. Caractéristiques géométriques

Désignation	Bassin Versant	Superficie (Km ²)	Périmètre (Km)	Talwege principale (Km)	Kc	Type de bassin
Oued Frarah	BV	39.63	32.36	10.262	1.44	allongée

NB la superficie, périmètre, talweg principale sont obtenus à l'aide du logiciel arc gis

d)- Rectangle équivalent

On suppose que l'écoulement sur un bassin versant donnée est le même que sur un rectangle de même superficie, ayant le même indice de Gravelius, la même répartition hypsométrique, la même distribution des solset de la végétation et la même densité de drainage.

Le rectangle équivalent est caractérisé par la longueur « L » et la largeur « l » définies respectivement par les formules suivantes :

$$L = \frac{K_G \cdot \sqrt{S}}{1.12} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G}\right)^2} \right) \dots\dots\dots (4.4)$$

$$L = \frac{K_G \cdot \sqrt{S}}{1.12} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G}\right)^2} \right) \dots\dots\dots (4.5)$$

A.N

Cour d'eau	Bassin versant	L (km)	l (km)
Oued Frarah	BV1	13.02	3.04

e)- Le Relief

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

Le relief joue un rôle essentiel sur le régime de l'écoulement. Il est indiqué par les courbes de niveau et est caractérisé par la courbe hypsométrique. [14]

❖ La courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonnée. Elle exprime ainsi la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude.

Elle représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle exprime la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie au-delà d'une certaine altitude. [54]

Tableau 4.2. Répartition altimétrique du bassin versant

Altitudes(m)	Si (km2)	Surface partielle %	Surface cumulées%	Hi	Si*Hi	Racine (Si*H (Hi-1))
830-600	2.63	6.64	6.64	715	1880.45	18.93
600-400	12.138	30.63	37.27	500	6069	55.34
400-200	19.08	48.15	85.41	300	5724	69.39
200-87	5.78	14.59	100.00	143.5	829.43	38.19
Somme	39.628	100.00			12622.43	181.86

La courbe hypsométrique formée à partir des données du tableau 4.2 est représentée par la figure 4.4:

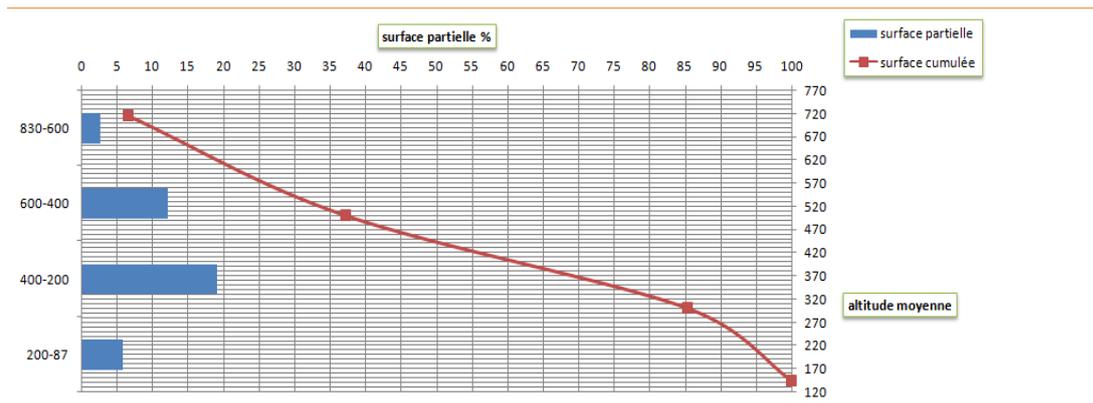


Figure 4.4. Courbe hypsométrique du bassin versant

❖ Les altitudes caractéristiques

Les altitudes caractéristiques s'obtiennent à l'aide des cartes topographiques :

- **L'altitude maximale** : représente le point le plus élevé du bassin versant.
- **L'altitude minimale** : représente le point le plus bas du bassin versant, l'exutoire.
- **L'altitude médiane (H50%)** : est déterminé à partir de la courbe hypsométrique.
- **L'altitude moyenne H moy** : il est calculé à partir de la courbe hypsométrique

✚ Les altitudes maximale et minimale

Elles sont obtenues directement à partir de cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire. Ces deux données deviennent surtout importantes lors du développement de certaines relations faisant intervenir des variables climatiques telles que la température, la précipitation et le couvert neigeux. Elles déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente.

Hmax= 830m ; Hmin= 87 m

✚ L'altitude moyenne

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir comme suit :

$$H_{moy} = \sum \frac{S_i \cdot H_i}{S} \dots \dots \dots (4.6)$$

Avec :

H_{moy} : altitude moyenne du bassin [m] ;

S_i : Surface partielle entre deux courbes de niveau consécutives **n-1** et **n** [km²] ;

H_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau consécutives **n-1** et **n**[m] ;

S : superficie totale du bassin versant [km²].

L'altitude moyenne est peu représentative de la réalité. Toutefois, elle est parfois utilisée dans l'évaluation de certains paramètres hydrométéorologiques ou dans la mise en œuvre de modèles hydrologiques.

AN:

$$H_{moy} = 12622.43/39.63$$

$$= 318.50 \text{ m.}$$

L'altitude médiane

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

$$\text{L'altitude médiane} = 450.00 \text{ m}$$

Altitude 95% et 5%

Suivant la courbe caractéristique on trouve : $H_{95\%} = 210.00 \text{ m}$

$$H_{5\%} = 730.00 \text{ m}$$

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau 4.3 suivant :

Tableau 4.3. Récapitulatif des altitudes caractéristiques

Les altitudes caractéristiques	Les valeurs correspondantes en m
Altitude maximale	830m
Altitude minimale	87m
Altitude médiane	414.625
Altitude moyenne	318.50
Altitude 95%	210 m
Altitude 5%	730 m

f)- L'indice de pente

Le relief d'un bassin est caractérisé par des indices qui ont été définis pour rendre compte de l'influence de la pente sur le régime hydrologique. Elles nous permettent de déterminer des classes de ruissellement des eaux superficielles. [53]

- **Indice de pente global I_g :**

Il est défini comme étant le rapport entre l'altitude comprise entre 5% et 95% de la surface du bassin et la longueur du rectangle équivalent. Les altitudes correspondantes au pourcentage de surface 5% et 95% sont lues sur la courbe hypsométrique. L'indice de pente globale est donné par la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L_{\text{éq}}} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \dots\dots\dots (4.7)$$

Avec :

D : dénivelée entre H5% et H95% en (m)

L_{eq} : longueur du rectangle équivalent en Km.

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

$$H_{5\%} = 730.00$$

$$H_{95\%} = 210.00$$

A.N : L'indice de pente globale = 39.93m/km

G)- La pente moyenne du bassin versant

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

Plusieurs méthodes ont été développées pour estimer la pente moyenne d'un bassin. Toutes se basent sur une lecture d'une carte topographique réelle ou approximative. La méthode proposée par **Charlier et Leclerc** (1964) consiste à calculer la moyenne pondérée des pentes de toutes les surfaces élémentaires comprises entre deux altitudes données. Une valeur approchée de la pente moyenne est alors donnée par la relation suivante :

$$I_m = \frac{D \times l}{A} \dots\dots\dots (4.8)$$

Où :

- i_m : pente moyenne [m/km ou %]
- L : longueur totale de courbes de niveau [km],
- D : équidistance entre deux courbes de niveau [m],
- A : surface du bassin versant [km²];

Cette méthode de calcul donne de bons résultats dans le cas d'un relief modéré et pour des courbes de niveau simples et uniformément espacées. Dans les autres cas, il convient de styliser les courbes de niveau pour que leur longueur totale ait un sens réel vis-à-vis de la pente.

AN : $I_m = 4.56\%$

h)- Indice de pente M. ROCHE I_p :

I_p est la moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent, et pondérée par les surfaces comprises entre 2 courbes de niveau H_i et H_{i-1} . Il est donné par la formule suivante:

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum \sqrt{S_i (H_i - H_{i-1})} \dots\dots\dots (4.9)$$

L : longueur de rectangle équivalent (m)

S_i : surface partielle (%) comprise entre 2 courbes de niveau consécutives H_i et H_{i-1} .

Tableau 4.4. Calcul de l'indice de pente M. ROCHE I_p .

Altitude	S_i %	S_i (km ²)	H_i (m)	H_{i-1} (m)	$\sqrt{S_i(H_i - H_{i-1})}$
830-600	6.64	2.63	715	714	1.62
600-400	37.27	12.138	500	499	3.48
400-200	85.41	19.08	300	299	4.63
200-87	100.00	5.78	143.5	142.5	2.40
somme	////	////	////	////	12.13

A.N:Ip=3.36%

i)- Déniveléespécifique :

Elle sert à comparer les indices de pentes du bassin de superficie différentes, d'après la deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M appliquée à tout bassin quelle que soit sa surface.Elleestdonnée parlaformulesuivante:

$$D_s = D \cdot \sqrt{\frac{l}{L}} \dots \dots \dots (4.10)$$

Avec :

- **Ds:** Dénivelée spécifique.
- **D :** Dénivelée entre H5% et H95% (m)
- **Leq:** Longueur du rectangle équivalent (Km).
- **l :** Largeur du rectangle équivalent (Km).

AN :

$$D_s = (730-210) \sqrt{\frac{3.04}{13.02}}$$

$$= 251.26m$$

Tableau 4.5. Classification des reliefs d'après O.R.S.T.O.M (type de relief).

Relief		Ds(m)
1	Très faible	<10
2	Faible	10<Ds<25
3	Assez faible	25<Ds<50
4	Modéré	50<Ds<100
5	Assez fort	100<Ds<250
6	Fort	250<Ds<500
7	Très fort	Ds>500

On déduit d'après le tableau précédant que notre relief est fort.[18]

G)-Les Caractéristiques du réseau Hydrographique :

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

L'étude du chevelu hydrographique est utile dans la comparaison des bassins entre eux. Dans certains cas, il est suffisant d'étudier le talweg principal et de l'utiliser dans la comparaison.

1)- Pente moyenne de cours d'eau principal I_c :

La pente moyenne de cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à

l'exutoire du bassin, donc le temps de concentration. Cette variable influence donc 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.

Elle exprime le rapport entre la dénivellée et la longueur comprise entre deux points

suffisamment éloignés du cours d'eau principal. Elle est donnée par la formule suivante :

$$I_c = \frac{DH}{DL} \dots \dots \dots (4.11)$$

Avec :

DH : Dénivellée entre deux points suffisamment distants (m);

L : distance entre ces deux points (km).

A.N : Pente moyenne de cours d'eau principal = **37.04 m/Km**

2)- Densité de drainage (Dd) :

Appeler aussi la densité de **THALWEGS** qui correspondent à la dissection du relief. Elle est définie comme étant le rapport entre la longueur totale de tous les talwegs L_i du bassin Versant, à la surface totale A. Elle reflète la dynamique du bassin, la stabilité du chevelu hydrographique et le type de ruissellement de surface. Elle est exprimée en Km/Km^2 .

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{s} \dots\dots\dots (4.12)$$

$\sum_{i=1}^n L_i$: Somme des longueurs de tous les cours d'eau d'ordre i (Km) ;

A : Surface du bassin versant en Km².

A.N : Densité de drainage = **1.86 Km/Km²**

3)-Courbe aire-distance :

A partir de données sur un bon nombre de bassins versants ; une relation a pu être établie entre la longueur L [km] de la rivière et l'aire A [km²] du bassin versant :

$$L = 1.4 * A^{0.6} \dots\dots\dots (4.13)$$

On peut aussi définir la courbe aire-distance, qui met en relation la longueur moyenne des cours d'eau d'ordre u donné et l'aire tributaire moyenne des cours d'eau du même ordre u, et ceci ordre par ordre. Cette courbe permet de visualiser la répartition des superficies du bassin par rapport à l'exutoire ou par rapport au point de mesure du débit. Cette répartition affecte en effet la concentration du ruissellement et donc influence la réponse hydrologique du bassin versant.

AN : $1.04 * 39.63^{0.6}$

L = 9.45 km

4.3.4. Temps de concentration

On appelle temps de concentration T_{cd} d'un bassin versant, la durée nécessaire pour que la pluie tombée sur le point le plus éloigné hydrologiquement de l'exutoire atteigne celui-ci.

Le temps de concentration est une caractéristique principale de toutes les formules permettant le passage des pluies aux débits.

Plusieurs formules de détermination du temps de concentration, les plus courantes sont:

❖ **Formule de GIANDOTTI**

Formule qui prend en considération les caractéristiques du bassin versant Avec:

- **S** : Superficie du bassin versant en Km².
- **H** : Différence entre les altitudes moyenne et minimale en m.

$$T_C = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L_{cp}}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \dots\dots\dots (4.14)$$

Avec:

L_{cp}: Longueur du cours d'eau principal (Km);

S : Superficie du bassin versant (Km²);

H_{moy}: Altitude moyenne du bassin versant (m);

H_{min}: Altitude minimale du bassin versant (m).

A.N

T_C = 3.03 heure

❖ **Formule de Kirpich**

$$T_C = \left(\frac{0.87.L}{H_{max} - H_{min}} \right)^{0.386} \dots\dots\dots (4.15)$$

AN :

T_c = 3.39

❖ **Formule de Passini**

$$T_C = 1.396 \frac{\sqrt[3]{S \times L}}{P} \dots\dots\dots (4.16)$$

Avec:

- **S**: Superficie du bassin versant en Km².
- **L**: Longueur du thalweg principale en Km.
- **I_g**: pente du thalweg en pour Kirpich et pour Passini.
- **H**: Dénivelé en (m).
- **H_{moy}**: altitude moyenne du bassin versant.
- **H_{min}**: altitude minimum du bassin versant.

AN :

Tc = 3.46heure

Tableau 4.6. Récapitulatif des résultats.

Formule ou méthode	Valeur(h)
Giandotti	3.03
Kirpich	3.39
passini	3.46

Parmi les résultats obtenus dans le tableau (4.6) nous optons pour le résultat issu de loi de GIANDOTTI car c'est la formule qui tient compte de la majorité des paramètres géométriques du bassin versant.

♦ **Commentaire :**

Sur la base de ces résultats et la considération du talweg principal, nous optons pour le résultat issu de la loi de GIANDOTTI. Cette formule est d'emploi fréquent en Algérie parce qu'elle tient compte de la majorité des paramètres géométriques du bassin versant.

4.4. Vitesse moyenne de ruissellement Vr :

Elle est donnée par la formule suivante :

$$Vr = \frac{L}{Tc} \dots\dots\dots (4.17)$$

Avec :

L : Longueur du talweg principal (Km).

Tc : Temps de concentration (h). [30]

AN : 10.262/3.03

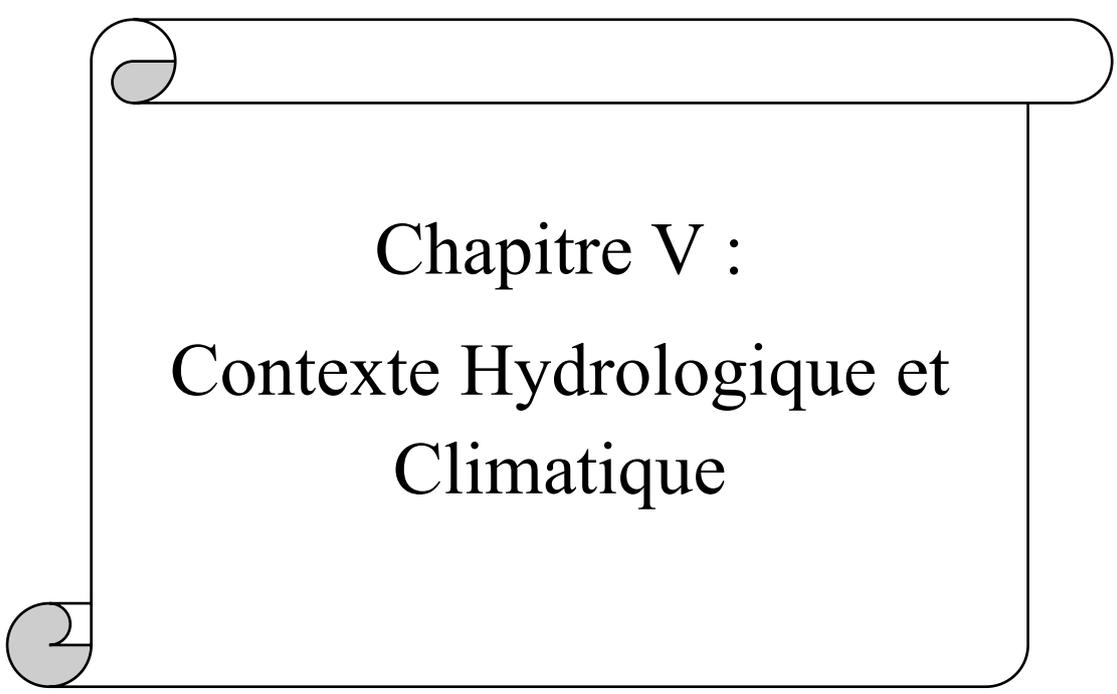
= 3.38km/h

L'étude du bassin versant de la ville de Oued Fragha nous a permis de dégager certaines caractéristiques morphologiques de la région, ces valeurs sont présentées dans le tableau suivant : [12]

Tableau 4.7 .Les caractéristiques du bassin versant

Désignation	Symbole	Unité	Valeur
Morphométrie			
Surface	S	km²	39.63
périmètre	P	Km	32.36
Longueur du talweg p	Lcp	km	10.262
Longueur du rectangle	L	km	13.02
Largeur du rectangle	l	km	3.04
Indice de Gravelius	KG	//	1.44
Relief			
Altitude maximale	Hmax	m	830
Altitude moyenne	Hmoy	m	318.50
Altitude minimale	Hmin	m	87
Altitude médiane	H50%	m	414.625
Indice de pente global	Ig	%	39.63
Dénivelé spécifique	Ds	m	251.26
Pente moyenne du B.V	Im	m/km	456

Réseau hydrographique			
Pente moyenne du cours d'eau	Ic	m/km	37.04
Densité de drainage	Dd	Km/km²	1.86
Temps de concentration	Tc	heure	3.03
Vitesse de ruissellement	Vr	Km/h	3.38



Chapitre V :
Contexte Hydrologique et
Climatique

Chapitre V :

Contexte hydrologique et climatique

5.1. Introduction

L'Hydrologie est la science de la terre qui s'intéresse au cycle de l'eau, c'est à dire aux échanges entre l'atmosphère, la surface terrestre et son sous-sol.

Au titre des échanges entre l'atmosphère et la surface terrestre, l'hydrologie s'intéresse aux précipitations (pluie et neige), à la transpiration des végétaux et à l'évaporation directe de la couche terrestre superficielle.

L'Hydrologie de surface étudie le ruissellement, les phénomènes d'érosion, les écoulements des cours d'eau et les inondations.

L'étude hydrologique est un volet important dont le but est de déterminer l'intensité moyenne maximale d'après l'étude des pluies extrêmes et des averses et le choix de la période de retour, afin de protéger le réseau contre les risques des fortes crues. Le but est donc de mettre en évidence les paramètres hydrologiques de l'oued tels que les débits des crues, les apports du bassin versant (apports liquides et solides) qui constituent la base de dimensionnement des ouvrages constituant l'aménagement. [9]

5.2. Etude des précipitations

L'étude de la précipitation 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'office national de la météorologie (O.N.M) et l'agence National des ressources en hydraulique (ANRH).

5.2.1. Poste pluviométrique

L'analyse des différentes caractéristiques climatologiques au niveau du bassin versant est élaborée à partir de la station météorologique de **SOUK AHRAS**. [53]

5.2.2. Pluies maximales journalières

L'étude consiste à faire un ajustement pour la série de données des précipitations maximales journalières du tableau (5.1) par une loi théorique afin de déterminer une intensité de pluie et de période de retour.

Tableau 5.1. La série de donnée de précipitation

Année	Pjmax
1990	60
1991	42,00
1992	112
1993	68
1994	52
1995	23,8
1996	90,10
1997	30,7
1998	50
1999	33,20
2000	68,10
2001	39,00
2002	26,50
2003	105,00
2004	79,30
2005	62,4
2006	42,6
2007	98,4
2008	39
2009	48
2010	58,6
2011	53,1
2012	92,2
2013	55,2
2014	23,1
2015	36,2
2016	32,8

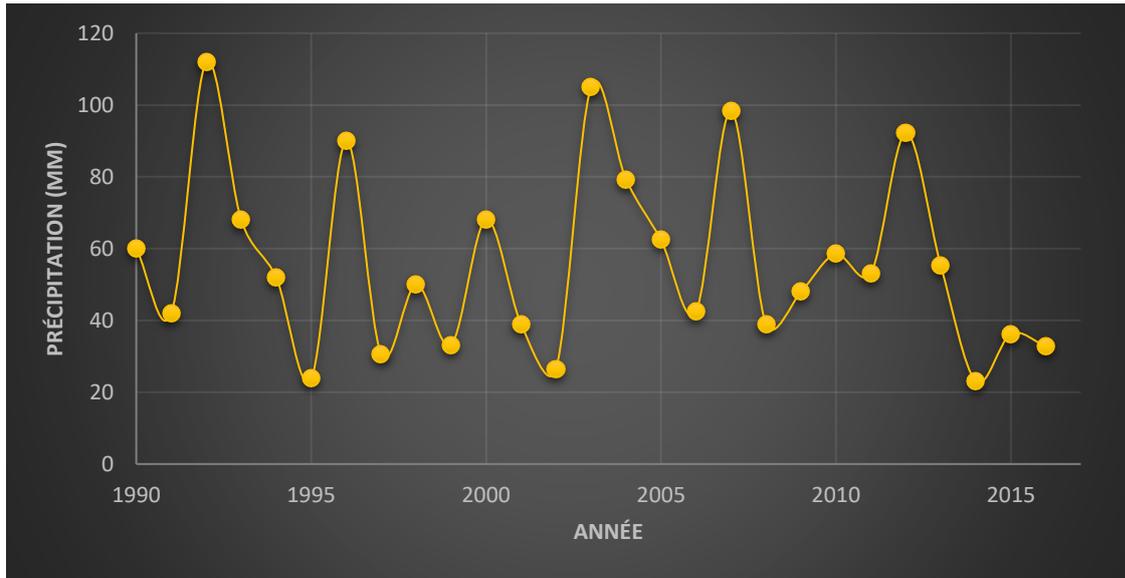


Figure 5.1. Représentation de la série de données de précipitation

5.2.3. Teste de l’homogénéité de la série

Pour vérifier l’homogénéité de la série pluviométriques on fait test de **WILCOXON** :

Après la division de la série on deux sous série (X et Y) On vérifier :

W min < W x < W max Avec :

$$W_{min} = \left[\left(\frac{(N1+N2+1)-1}{2} \right) - U(p\%) * \left(\frac{N1*N2*(N1+N2+1)}{12} \right)^{0.5} \right] \dots\dots\dots (5.4)$$

W_x somme des rangs de sous série X ;

$$W_{max} = ((N1 + N2).N1 - W_{min}) \dots\dots\dots (5.5)$$

N1 : taille de l’échantillon X

N2 : taille de l’échantillon Y

Les résultats du test sont regroupés dans le tableau 5.2. :

Tableau 5.2. Test de WILCOXON

N1	13
N2	14
W _x	169,5
W _{min}	141,11
W _{max}	222,89
W _{min} <W _x <W _{max}	la série de précipitation est homogène

5.2.4. Ajustement de la Série pluviométrique

L'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de la loi de probabilité, de la taille de l'échantillon et de ses caractéristiques. Toutefois, de nombreuses études comparatives, autant empiriques que théoriques, ont été menées afin de déterminer dans quelles circonstances une loi donnée est efficace.

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

Pour notre étude, on passe par les étapes suivantes :

- Classer la série des précipitations par ordre croissant ;
- Calcul de la fréquence expérimentale ;
- Calcul des caractéristiques empiriques de la série de donnée ;
- Ajuster graphiquement la loi choisie ;
- Calculer le quantile et son intervalle de confiance

❖ Caractéristiques empiriques de la série :

- La moyenne « $\overline{P_{maxj}}$ » :

Avec N=27, la moyenne interannuelle des précipitations maximales journalière :

$$\overline{P_{maxj}} = \frac{\sum_1^N P_{maxj}}{N} \dots\dots\dots (5.1)$$

- **L'écart-type «σPmaxj»:**

Pour N=27 ans on a :

$$\sigma_{P_{maxj}} = \sqrt{\frac{\sum_1^N (P_{maxj} - P_{maxj})^2}{N}} \dots\dots\dots (5.2)$$

- **Le coefficient de variation « Cv » :**

$$C_v = \frac{\sigma_{P_{maxj}}}{P_{maxj}} \dots\dots\dots (5.3)$$

Les caractéristiques empiriques de la série des données ont été obtenues par le logiciel HYFRANet sont représentées dans le tableau 5.3 :

Tableau 5.3.La série de donnée de précipitation

Caractéristique	Valeurs
Année d'observation	27
Minimum	23.1
Maximum	112
La moyenne	56.344
L'écart type	25.465
Médiane	51.70
Coefficient de variation	0.452
Coefficient d'asymétrie	0.747
Coefficient d'aplatissement	2.310

❖ **Choix de la loi d'ajustement**

Comme il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométriques, l'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de la loi de probabilité, de la taille de l'échantillon et de ce autant empiriques que théoriques. Toutefois, de nombreuses études comparatives, autant empiriques que théoriques ont été menées afin de déterminer dans quelles circonstances une méthode d'estimation est la plus efficace pour une loi donnée.

Les lois d’ajustement choisies sont :

- Ajustement à la loi du Log Normale (Loi de Galton)
- Ajustement à la Loi Gumbel
- Ajustement à la Loi Normale (Loi de Gauss)
- Ajustement à la Loi Gev (Maximum de Vraisemblance)

A)- Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON

Le procédé d’ajustement est établi avec une représentation sur du papier log normale.

La loi de GALTON a une fonction de répartition qui s’exprime selon la fonction suivante.

$$F(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\mu} e^{-\frac{1}{2}u^2} du \dots \dots \dots (5.4)$$

Ou :

- $U = \frac{\ln x_i - \ln \bar{x}}{\delta}$ (variable réduite de gauss) ;
- \bar{x} : la moyenne de l’échantillon.
- δ : L’écart-type de l’échantillon.

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

$$\ln x = \frac{\sum_{i=1}^{41} \ln x_i}{N} \dots \dots \dots (5.5)$$

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

- ✓ classer les valeurs des précipitations par ordre croissant avec attribution d’un rang 1.2.3.4.5.....n.
- ✓ calculer pour chaque valeur de précipitation la fréquence expérimentale par la formule de HAZEN :

$$f(x) = \frac{m-0.5}{n} \dots \dots \dots (5.6)$$

Avec

- m : Rang de précipitation
- n : Nombre d’observations ; [26]

GALTON (log-Normale) (Maximum des vrais semblances) :

Nombre d'observation : $n = 27$

- Paramètre :

$$\mathbf{\mu} = 4.22, \text{Sigma} = 0.499$$

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de GALTON sont représentés dans le tableau 5.4 :

Tableau 5.4. Résultats de l'ajustement à la loi de GALTON

T	Q	XT	écart type	Intervalle de confiance
100	0.99	146	24.9	97.6-195
50	0.98	129	20.1	90.0-169
20	0.95	108	14.5	79.1-136
10	0.90	91.3	10.8	70.1-112
5	0.80	74.8	7.61	59.9-89.7

❖ **Test d'homogénéité**

Test d'adéquation du Khi carré :

Loi de l'ajustement	Khi-carré théorique	Khi-carré calculé
Loi log- normal	9.48	2.3

❖ **Hypothèses**

H0 : l'échantillon provient d'une loi -log normale ;

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

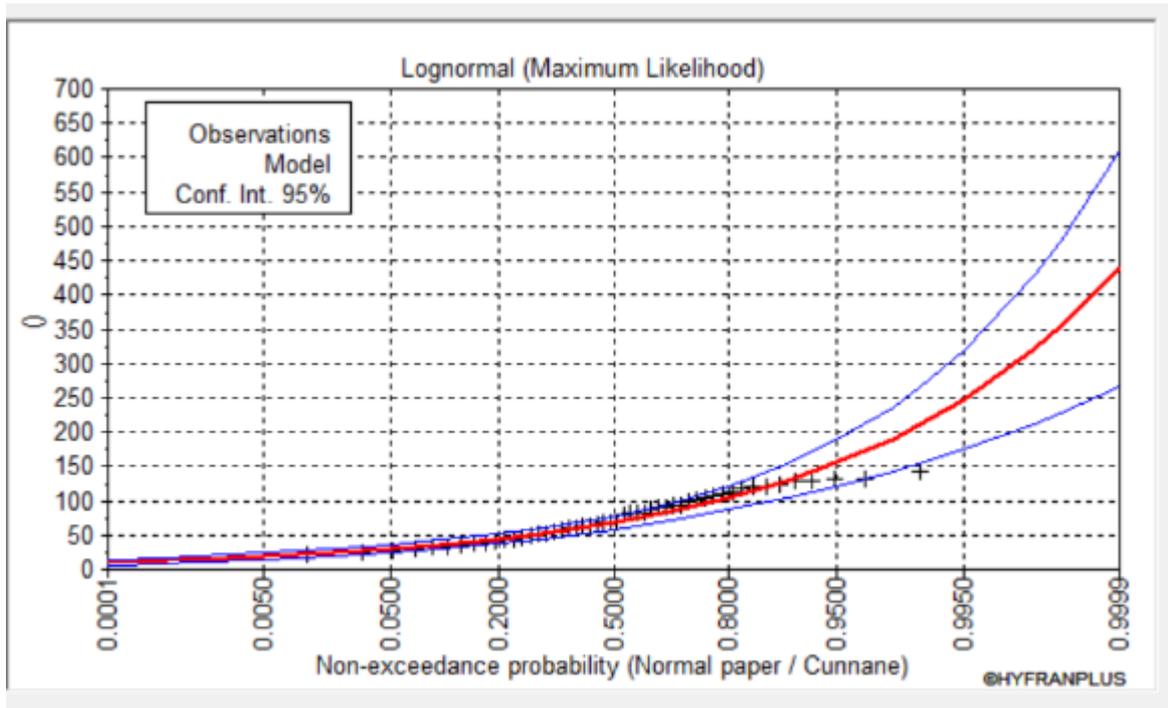


Figure 5.2. Ajustement à la loi de GALTON

B)- Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL (Méthode de maximum des vrais semblances)

Le procédé d'ajustement est identique à celui établi pour la loi de GALTON. Seule la représentation graphique change ou elle est faite sur du papier (Gumbel/Hazen). La loi de GUMBEL a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$f(x) = e^{-e^{-y}} \dots \dots \dots (5.7)$$

Tel que : $-y = a(X - X_0)$

$1/a$: La pente de la droite de Gumbel,

y : Variable réduite de GUMBEL,

x : Précipitation maximale journalière (mm),

x : Ordonnée à l'origine en (mm).

On peut écrire :

$$Y = -\ln(-\ln(f(x))) \dots \dots \dots (5.8)$$

✚ Gumbel (Méthode de maximum des vrais semblances)

- Paramètre

Mu = 59.70,

Alpha = 29.40

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de GUMBEL sont représentés dans le tableau 5.5:

Tableau 5.5. Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL

T	Q	XT	écart type	Intervalle de confiance
100	0.99	136	15.7	105 - 166
50	0.98	122	13.7	94.9 - 148
20	0.95	103	10.9	81.8 - 125
10	0.90	89	8.91	71.6 - 107
5	0.80	74.2	6.91	60.7 - 87.7

❖ Test d'homogénéité

Test d'adéquation du Khi carré.

Loi de l'ajustement	Khi-carré théorique	Khi-carré calculé
Gumbel	9.488	2.3

- Hypothèses :

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

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

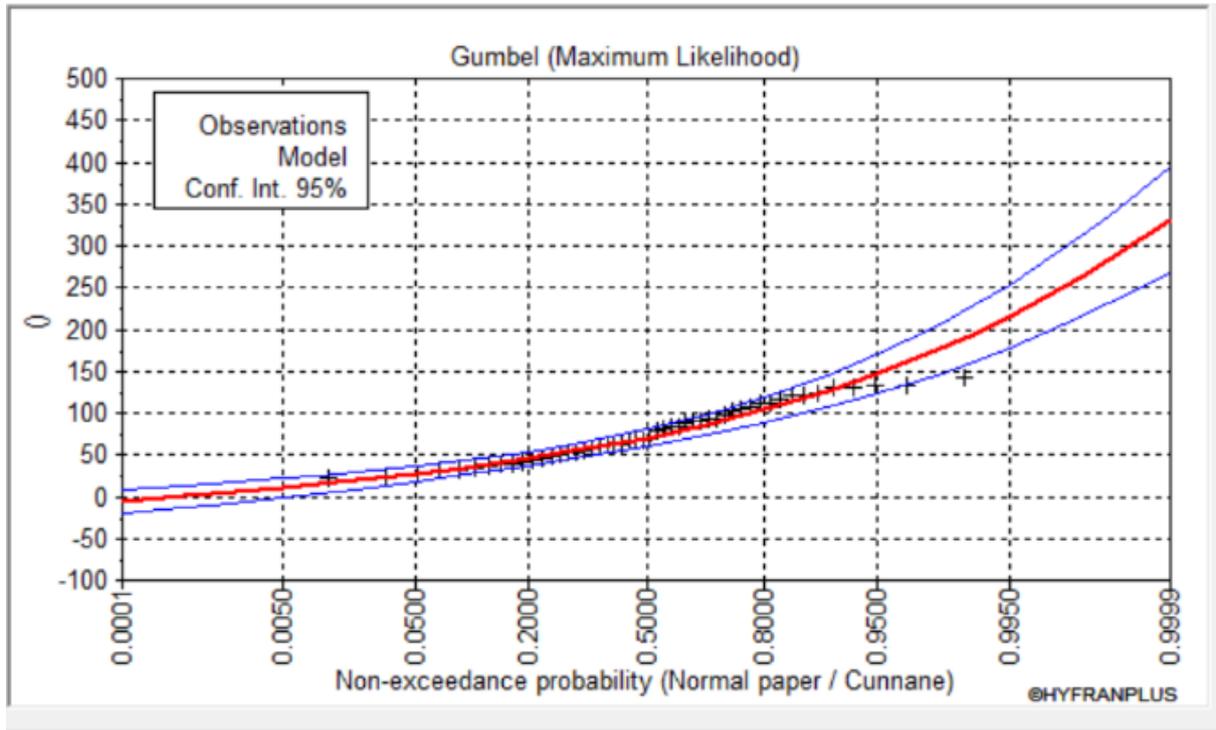


Figure 5.3. Ajustement à la loi de Gumbel

C)- Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gauss (Méthode de maximum des Vrais semblances)

La loi de GAUSS à une fonction de densité de probabilité

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x-m}{\sigma} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (5.9)$$

m : l'espérance ;

σ : est l'écart type ;

✚ Gauss (loi Normale) (Maximum des vrais semblances)

Nombre d'observation : n =27

- Paramètre :
- **Mu =76.31, Sigma = 34.08**

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de Gauss sont représentés dans le tableau 5.6 :

Tableau 5.6. Résultats de l'ajustement à la loi de GAUSS

T	Q	XT	écart type	Intervalle de confiance
100	0.99	116	9.57	96.8 - 134
50	0.98	109	8.75	91.5 - 126
20	0.95	98.2	7.6	83.3 - 113
10	0.90	89	6.67	75.9 - 102
5	0.80	77.8	5.73	66.5 - 89.0

❖ **Test d'homogénéité :**

Test d'adéquation du Khi carré.

Loi de l'ajustement	Khi-carré théorique	Khi-carré calculé
Gauss	9.488	4.37

❖ **Hypothèses :**

H0 : l'échantillon provient d'une loi normale ;

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

❖ **Résultats :**

Résultat de la statistique :

$$X^2 = 0.74$$

P-value : $P = 0.45$

Degrés de liberté : 3

Nombre de classes : 7

❖ **Conclusion**

Nous pouvons accepter H_0 au niveau de signification de 5%. La figure illustre l'ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gauss (Loi normale).

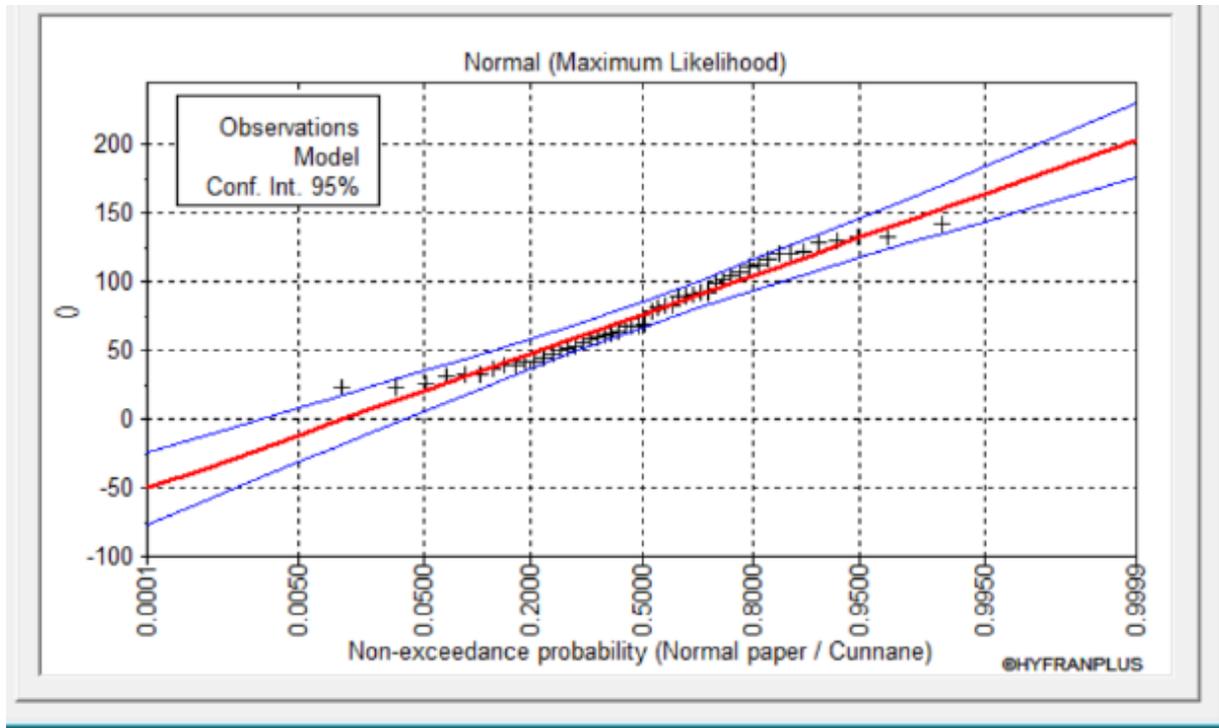


Figure 5.4. Ajustement à la loi de Gauss

D)- Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GEV (Méthode de maximum des vrais semblances)

✚ GEV (Méthode de maximum des vrais semblances)

❖ Paramètre

$\mu = 63.43$, $\alpha = 31.53$, $k = 0.22$

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de GEV sont représentés dans le tableau 5.7:

Tableau 5.7. Résultats de l'ajustement à la loi de GEV

T	Q	XT	écart type	Intervalle de confiance
100	0.99	152	39.7	N/D
50	0.98	132	28.1	76.7 - 187
20	0.95	107	16.9	74.3 - 141
10	0.90	90.2	11.2	68.3 - 112
5	0.80	73.5	7.44	58.9 - 88.1

❖ **Test d'homogénéité :**

Test d'adéquation du Khi carré.

Loi de l'ajustement	Khi-carré théorique	Khi-carré calculé
Gev	7.815	1.78

❖ **Hypothèses**

H0 : L'échantillon provient d'une loi GEV ;

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

❖ **Résultats**

Résultat de la statistique : $X^2 = 7.60$

P-value : $P = 0.1797$

Degrés de liberté : 5

Nombre de classes : 9

❖ Conclusion

Nous pouvons accepter H_0 au niveau de signification de 5%. La figure 5.5 illustre l'ajustement de la série pluviométrique à la loi GEV (Méthode de maximum de vraisemblance).

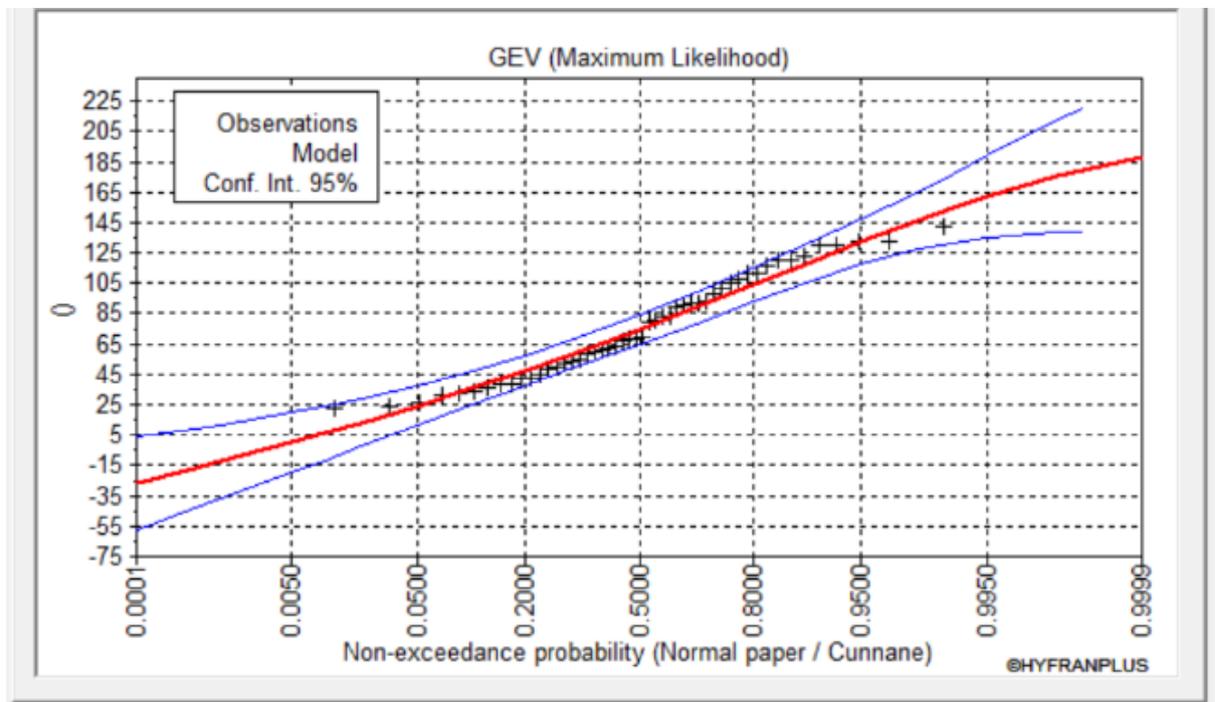


Figure 5.5. Ajustement à la loi de GEV

➤ Comparaison entre les lois d'ajustement

La figure 5.6 montre la comparaison entre les lois d'ajustement

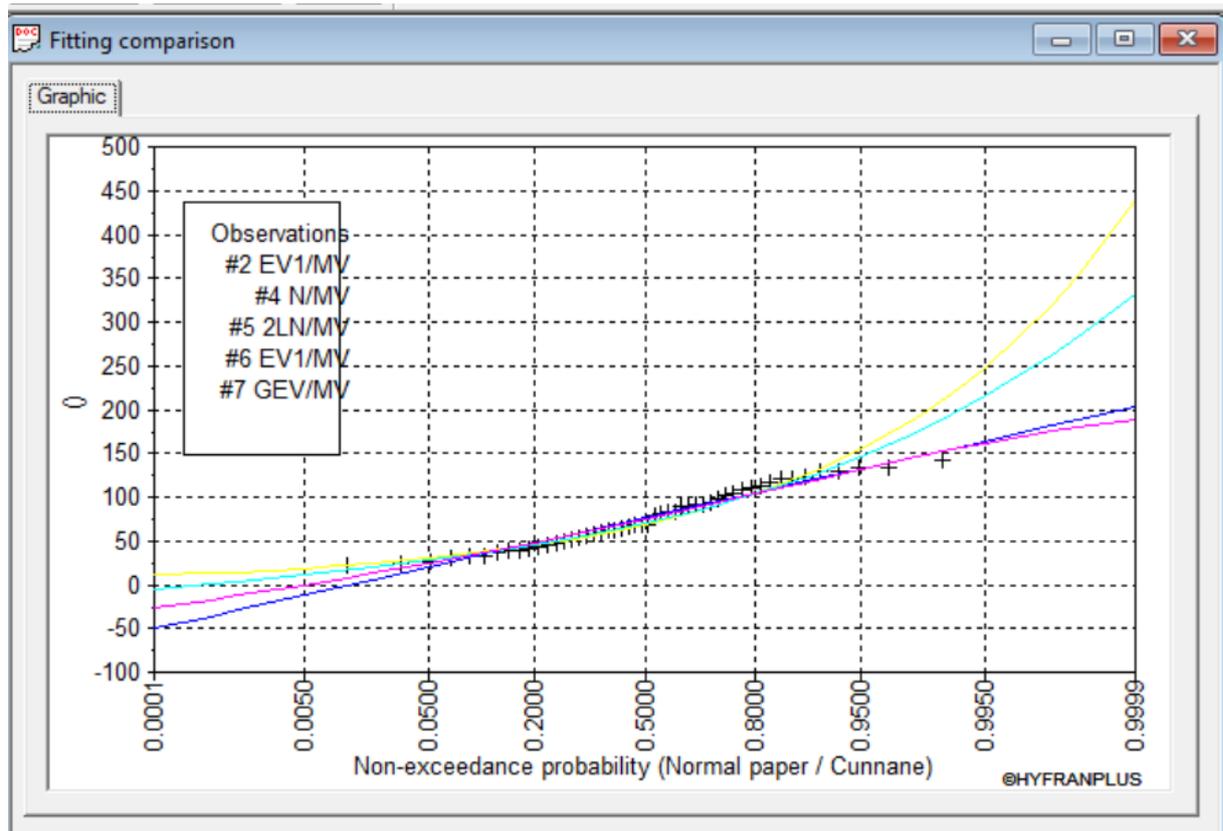


Figure 5.6. Comparaison entre les lois d’ajustement

D’après le test d’adéquation on a trouvé que les deux lois Log Normale et Gumbel sont mieux ajustées.

D’après (test graphique) la série des ΣP_{maxj} s’ajuste avec la loi de Galton Log Normal, donc il est possible de l’utiliser pour les calculs des crues pendant les différentes périodes de retour.

5.2.5. Pluie de courte durée

Le passage des pluies journalières maximales aux pluies de courtes durées est effectué au moyen de la formule donnée par l’ANRH, et de la forme suivant :

$$\frac{P_t}{P_{maxj}} = a \cdot t^b \dots\dots\dots (5.10)$$

Où :

P_t : pluie correspondante a un pas de temps ;

P_{Jmax} : Pluie journalière maximale ;

a et **b** ; paramètres climatiques ;

Les paramètres **a** et **b** mentionnés dans le tableau suivant ont été calculés par régression.

Tableau 5.8. Paramètres climatiques de Montana et période de retour[2]

Période de retour	Temps de fréquence	a	b
<i>5 ans</i>	<i>0,80</i>	<i>0,403</i>	<i>0,32</i>
<i>10 ans</i>	<i>0,90</i>	<i>0,430</i>	<i>0,32</i>
<i>20 ans</i>	<i>0,95</i>	<i>0,448</i>	<i>0,32</i>
<i>100 ans</i>	<i>0,99</i>	<i>0,477</i>	<i>0,32</i>

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

$$I_t = \frac{P_{ct}}{t} \dots \dots \dots (5.11)$$

Avec :

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

P_{ct} : Pluies de courte durée (mm)

Les précipitations et les intensités maximales pour différentes période de retour sont représentées respectivement dans les tableaux 5.9 et 5.10 ainsi que les courbes des pluies fréquentielles et celles des intensités-durée-fréquences sont présentées respectivement par les figures 5.7 et 5.8

Tableau 5.9. Pluies de durée t(h) et période de retour (ans)

T	0.25	0.5	1	2.06	3	6	12	24
100	46.53	58.08	72.50	91.37	103.05	128.64	160.58	200.46
20	37.95	47.37	59.14	74.52	84.05	104.92	130.98	163.50
10	29.53	36.86	46.01	57.98	65.39	81.63	101.92	127.21
5	23.33	29.12	36.35	45.81	51.66	64.49	80.51	100.50

Tableau 5.10. Intensités maximales de durée t(h) et période de retour (ans)

T	0.25	0.5	1	2	3	6	12	24
100	186.11	116.16	72.50	44.35	34.35	21.44	13.38	8.35
20	151.79	94.74	59.14	36.18	28.02	17.49	10.91	6.81
10	118.10	73.71	46.01	28.15	21.80	13.61	8.49	5.30
5	93.31	58.24	36.35	22.24	17.22	10.75	6.71	4.19

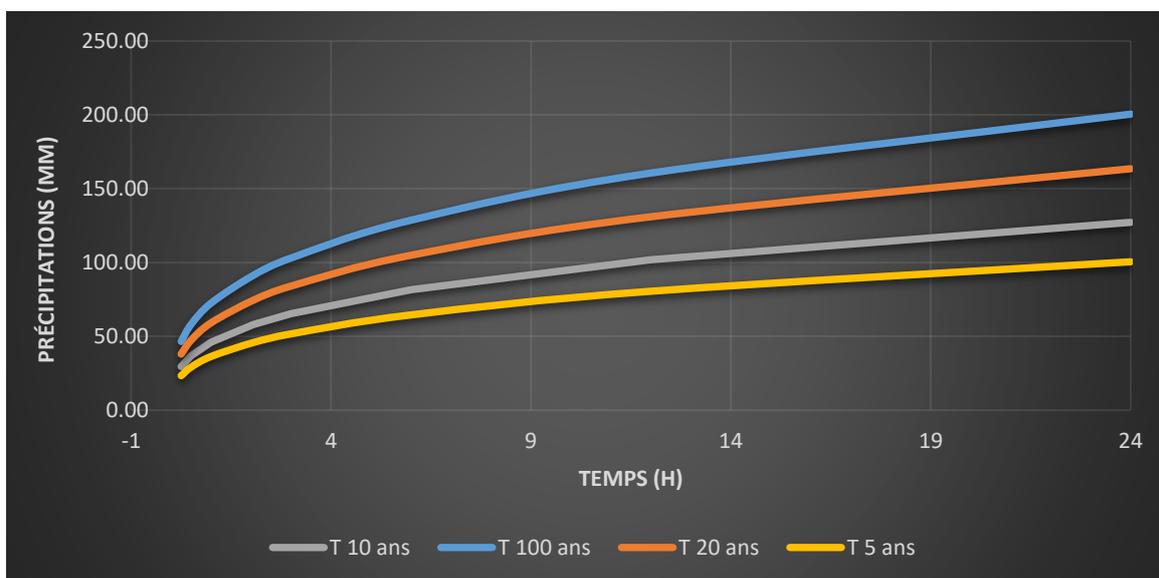


Figure 5.7 : Courbes des pluies fréquentielle

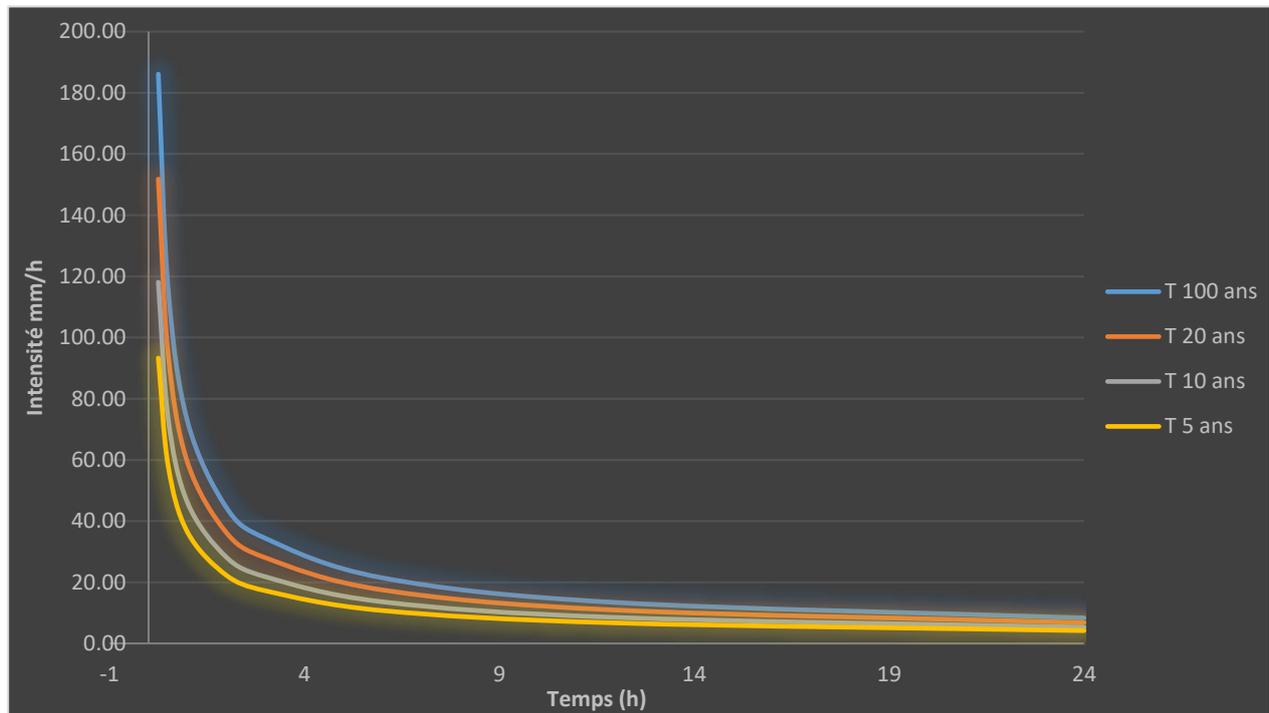


Figure 5.8. Courbes des intensités- durées- fréquences

5.2.6. Les apports

❖ **Apports liquides**

✚ **Apport moyen interannuel :**

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

- **Formule de MEDINGER :**

$$A=L_e * S \dots\dots\dots (5.12)$$

$$L_e = 1.024.(P - 0.26)^2 \dots\dots\dots (5.13)$$

Avec :

L_e : Lamme d'eau écoulee (mm).

\acute{P} : Pluie moyenne annuelle (mm).

- **Formule de l'ANRH**

$$A = 0.915 * S^{0.842} * \acute{P}^{0.684} \dots\dots\dots(5.13)$$

Avec :

S : Surface du bassin versant (km²).

\acute{P} : Pluie moyenne annuelle (mm).

- **Formule de DERIE-SARVARY**

$$A = L_e * S$$

$$L_e = 0.915 * \frac{\acute{P}}{1000} * 5^{0.842} * 31.536 \dots\dots\dots (5.14)$$

Avec :

P : Pluie moyenne annuelle (mm).

L_e : Lamme d'eau écoulee (mm).

S : Surface du bassin versant (Km²).

Tableau5.11. Résultats des apports

Formules	Résultats	
	L_e (mm)	A (mm ³)
Medinger	1.19	0.47
ANRH	///////	2.50
Derie-SARVARY	15.21	6.02

On opte pour la valeur obtenue par la formule de DERIE-SARVARY car elle est la valeur la plus proche de la valeur moyenne des trois formules.

✚ Caractéristiques de l'écoulement :

- **Lame d'eau écoulée**

$$L_e = \frac{A}{S} \dots \dots \dots (5.15)$$

Avec

A : Apport moyen annuel (l)

S : Superficie du bassin (Km²)

- **Coefficient de l'écoulement**

$$C_e = \frac{L_e}{X} \dots \dots \dots (5.16)$$

Avec :

X: Pluie moyenne annuelle (mm).

Le : Lame d'eau écoulée (mm).

- **Coefficient de variation**

✓ **Formule de l'ANTONOV**

$$C_v = \frac{0.7}{(s+1000)^{0.097}} \dots \dots \dots (5.17)$$

Avec :

S : Superficie du bassin (Km²).[5]

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant

Tableau 5.12. Les caractéristiques de l'écoulement

$L_e(\text{mm})$	C_e	C_v
$2.52 \cdot 10^{-6}$	1.85	0.35

5.3. Etude des crues

La connaissance des crues revête une importance capitale pour le dimensionnement des ouvrages d'évacuation des eaux et la protection de la zone d'étude contre les inondations. Oued Ferarehn n'est pas équipé d'une station hydrométrique ce qui veut dire qu'aucune mesure de débit de crues n'a été effectuée sur le cours d'eau étudié. Les seules valeurs disponibles sont celles des estimations par méthodes et formules empiriques souvent utilisées en Algérie pour la détermination des crues des cours d'eau.

5.3.1. Estimation empirique des débits de crues max. Pour les différentes périodes de retour

Les débits de crues max sont évalués à partir des formules empiriques élaborées en fonction de la pluie et des caractéristiques physiques du bassin versant, de la manière suivante :

❖ Formule de Turazza

Le débit de crues est déterminé au moyen de la méthode de Turazza, avec l'intensité moyenne maximale de précipitation maximale journalière, et est donné par :

$$Q_{max;p\%} = \frac{C.S P_{tc}}{3.6 T_c} \dots\dots\dots (5.18)$$

Avec :

S : Surface du bassin versant (Km²).

C: coefficient de ruissellement pour différentes périodes de retour, donné par le tableau 5.13

Tableau 5.13. Les valeurs du coefficient de ruissellement / Turazza

Période de retour	5ans	10ans	20ans	50ans	100ans
C	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80

P_{tc}: Intensité moyenne maximale des précipitations pendant une durée égale au temps de concentration, en mm/h et est donnée sur le tableau 5.14 :

Tableau 5.14. Intensités maximales pendant une durée égale au temps de concentration

<i>T</i>	<i>T_c = 3.03 h</i>
<i>100 ans</i>	34.35
<i>50 ans</i>	28.02
<i>20 ans</i>	21.80
<i>5ans</i>	17.22

Le débit max de crues pour les différentes périodes de retour est représenté dans le tableau suivant :

Tableau 5.15. Débits max. / méthode Turazza

<i>Période de retour</i>	<i>5 ans</i>	<i>10 ans</i>	<i>20 ans</i>	<i>100 ans</i>
Débit max (m³/s)	20.16	15.33	30.00	45.80

❖ Formule de GIANDOTTI

Le débit de crue est déterminé par la relation de GIANDOTTI, met en évidence la pluie maximale sur le temps de concentration, et est donnée par :

$$Q_{max} = \frac{0.66 * P_t(\%) * \sqrt{H_{moy} - H_{min}}}{4\sqrt{S} + 1.5 * L_{TP}} \dots \dots \dots (5.19)$$

Avec :

S : Surface du bassin versant (Km²).

H_{moy} : Altitude moyenne (m).

H_{min} : Altitude minimale (m).

P_{tc} : précipitation correspondante au temps de concentration (mm)

L_{cp} : Longueur du talweg principal

Les résultats obtenus par l'application des lois empiriques sont résumés dans le tableau 5.16:

Tableau 5.16. Débits max. / méthode GIANDOTTI

<i>Période de retour</i>	<i>5 ans</i>	<i>10 ans</i>	<i>20 ans</i>	<i>100 ans</i>
Débit max (m³/s)	30.47	38.56	49.57	60.77

Le tableau 5.17. représente une comparaison entre les deux méthodes :

Tableau 5.17. Evaluation des crues par les deux méthodes de calcul

Période de retour		5ans	10ans	20ans	100ans
Debits max (m³/s)	TURAZZA	20.16	15.33	30.00	45.80
	GIANDOTTI	30.47	38.56	49.57	60.77

Après analyse des résultats de calcul des débits de crues élaborés au moyen des méthodes précédentes, le débit retenu $Q = 60.77 \text{ m}^3/\text{s}$ pour une période de retour de 100 ans soit le plus important, d'après la méthode de GIANDOTTI.

5.4. Hydrogrammes des crues

L'hydrogramme de crue est une courbe qui nous renseigne sur les différentes caractéristiques de la crue : la forme, la durée, le volume et le débit de pointe qui sera le débit du projet.

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

❖ **La montée de la crue**

$$Q_m(t) = Q_{max,p} * \left(\frac{t}{t_m}\right)^3 \dots\dots\dots (5.20)$$

❖ **La décrue**

$$Q_d(t) = Q_{max,p} * \left(\frac{t_b-t}{t_d}\right)^2 \dots\dots\dots (5.21)$$

Avec :

Qmax, p: Débit maximum de crue (de pointe) (m3/s).

Qm(t) : Débit instantané au moment de la montée (m/s).

Qd(t) : Débit instantané au moment de la descente (m/s).

tm: Temps de montée (h).

td: temps de descente (h).

tb: Temps de base (h).

On a : $t_m = t_c$; $t_d = t_m * \gamma$ et $t_b = t_m + t_d$

γ : dépend de la capacité de régulation du bassin, $\gamma = 2.5$. (Voir tableau 5.18)[14]

Tableau 5.18. Valeur de γ à partir du type du cours d'eau

Description du cours d'eau	γ
Petit cours d'eau et vallons dans les bassins versants faiblement perméables	2 à 2.5
Petit cours d'eau et vallons dans les bassins versants boisés ou perméables Moyen cours d'eau avec terrasses de lit majeures normales.	3 à 4
Grand et moyen cours d'eau avec terrasses de débordements étendues	4 à 7

Donc :

$$t_m = t_c = 3.03h.$$

$$t_d = 2.5 * t_m = 7.57 h.$$

$$t_b = t_m + t_d = 3.03+7.57=10.60h$$

Tableau 5.19. Débit de crue pour différents périodes de retour

T(h)	Période de retour			
	100	20	10	5
0	0	0	0	0
1	6.07	3.03	2.80	1.21
1.5	9.11	4.55	3.80	1.82
2	12.15	6.07	5.32	2.43
2.5	15.19	7.59	6.18	3.038
3	18.23	9.11	6.91	3.64
3.5	21.26	10.63	7.18	4.25
4	24.30	12.15	7.32	4.86
4.5	27.34	13.67	7.80	5.46
5	30.38	15.19	8.10	6.07
5.5	33.42	16.71	8.60	6.68
6	36.46	18.23	8.95	7.29
6.5	39.50	19.75	9.14	7.90
7	42.53	21.26	9.45	8.50
7.5	45.57	22.78	9.78	9.11
8	48.61	24.30	10.8	9.72
8.5	51.65	25.82	11.40	10.30
9	60.77	27.34	12.03	10.9
9.5	57.73	28.86	12.55	11.5
10	6.077	3.03	2.56	1.21
10.60	0	0	0	0

L'hydrogrammes de crue correspondant aux débits de crues obtenue est représenté par la figure 5.9 :

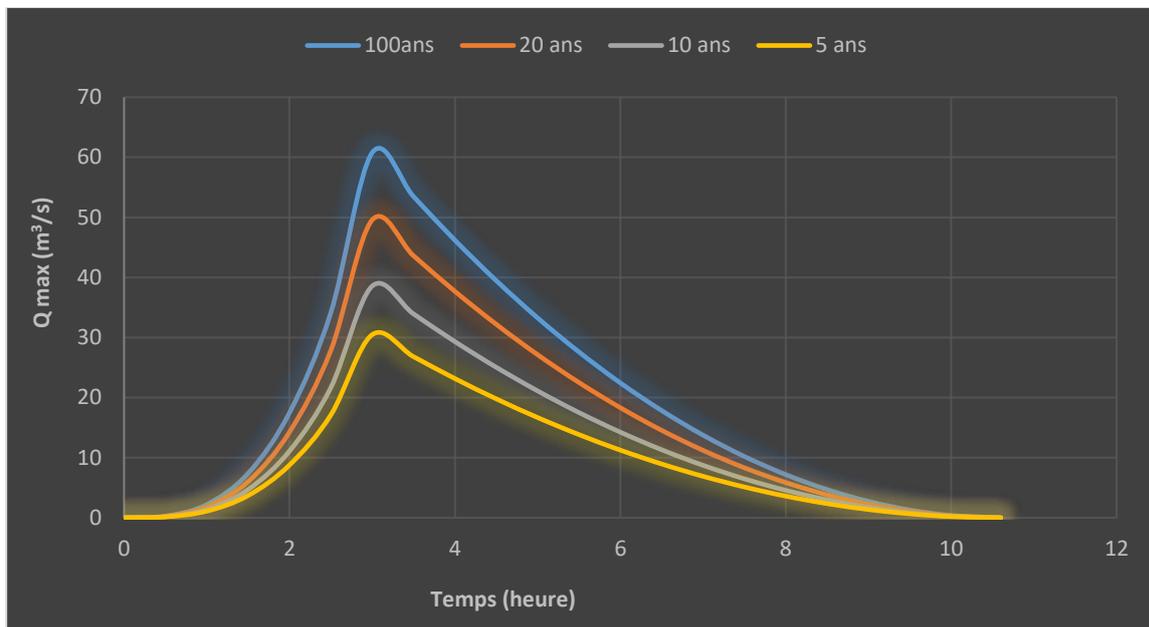


Figure 5.9. Hydrogrammes de crue

Les hydrogrammes des crues établis permettent de voir l'évolution des crues dans le temps.

Finalement, une évaluation plus ou moins variée a permis de fixer les valeurs des crues qui traversent la zone d'étude qui nous permettront de faire le dimensionnement et le calcul hydraulique de l'ouvrage de protection de ce centre contre les risques des inondations.

5.5. Diagnostic et état de lieu

Une campagne de diagnostic et de reconnaissance a été effectuée par les ingénieurs du B.E.T. Les photos suivantes représentent l'état actuel de l'oued et des rejets eau pluviale ainsi que les ouvrages en ligne existant ;



Figure 5.10 : La présence des passages aléatoires dans l'oued



Figure 5.11 : La présence des déchets dans l'oued qui nécessite un curage périodique



Figure 5.12 : Rejet des eaux pluviales de l'agglomération dans l'oued.



Figure 5.13 : colmatage des collecteurs des eaux pluviales à cause du transport solide.



Figure 5.14: l'absence de la servitude des trottoirs ou bien route sur les deux rives de l'oued



Figure 5.15 : la présence du remblai dans l'oued

5.6. Variante proposées pour la protection de la ville Oued Fragha

Afin de venir à bout du problème d'inondation qui frappe la ville **Oued Fragha** à chaque événement de crue, nous proposons d'aménager **Oued Frarah**.

L'objectif est de proposer des infrastructures de protection de la ville, en se basant sur l'analyse hydrologique et les diagnostics de la situation actuelle vis à vis des inondations. Il est question en effet de proposer une gestion globale et intégrée des bassins versants en amont au sud de la ville afin de remédier au problème d'inondation dans le centre-ville de la zone d'étude.

5.6.1. Choix de la protection

Dans le cadre de cette présente étude relative à la protection de la ville d'Oued Fragha contre les inondations, les niveaux de protection en jeu sont ceux qui dénotent de la protection rapprochée et du drainage du centre-ville. Il en ressort ainsi qu'une protection pour une crue décennale est préconisée pour un niveau rapproché.

En réalité, la ville présente un caractère largement rural. Dans les zones ouest, l'urbanisation est concentrée tandis que le reste du bassin versant est composé de vastes espaces agricoles, parsemés occasionnellement de constructions luxueuses mais dans un tissu urbain très peu dense. Dans ces secteurs, les taux de ruissellement sont relativement faibles. Il en va de même pour les zones nord qui sont également des zones à vocation agricole.

5.6.2. Descriptif des différentes variantes d'aménagement pour la protection de la ville d'oued Fragha

L'idée de base des variantes proposées est de séparer le bassin extérieur, des bassins intérieurs de la ville de façon à ce qu'aucun débit provenant des bassins extérieurs ne rentre pas en ville, pour cela deux variantes ont été analysées :

❖ Variante 1

Dérivation de tous les débits extérieurs en dehors de la ville via un canal de ceinture.

➤ Consistance de la variante 1 de la dérivation des bassins au sud de la ville

- La construction d'un canal de dérivation des bassins sud (ceinture) pour la protection de la ville contre les eaux pluviales ramenés de l'extérieur, la forme de canal et leur dimensions proposés dans l'étude avant-projet détaillé (APD).
- L'implantation d'un ouvrage de la réception des eaux pluviales à l'amont de la ville.
- La réhabilitation de pont existant de tel sorte à assurer leur protection pendant les heures des crues.
- La construction de nouveau passage dans plusieurs endroits proposés par le maître d'ouvrage.
- Le curage et reprofilage d'oued (évacuation de toute sorte remblai existant)

❖ Variante 2

Aménagement d'oued par un canal rectangulaire en béton armé

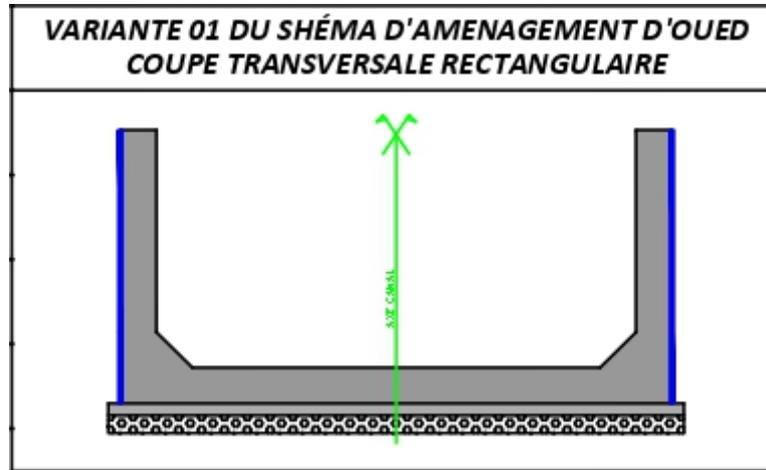


Figure 5.16. Schéma d'aménagement d'oued par un canal rectangulaire en béton armé

❖ Variante 3

Aménagement d'oued par un canal trapézoïdal en béton armé

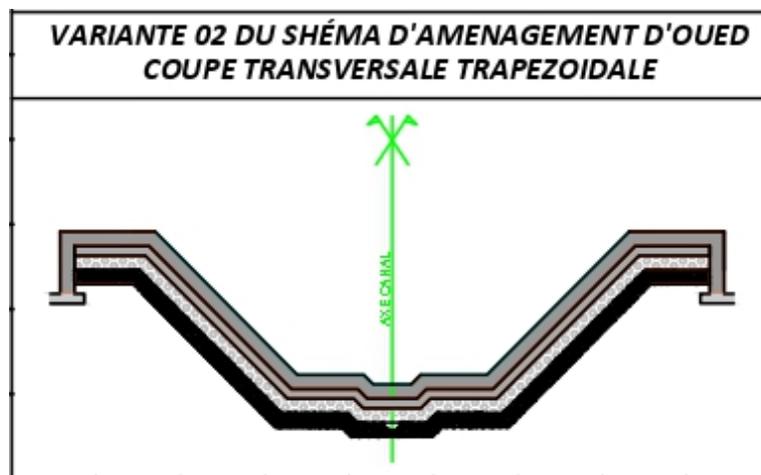


Figure 5.17. Schéma d'aménagement d'oued par un canal trapézoïdal en béton armé

- Consistance de la variante 2 et 3 : aménagement d'oued par un canal rectangulaire ou trapézoïdal

Les variantes consistent à aménager l’oued tout en prend en considération la vue touristique de la ville (aménagement des rives d’oued par des espaces verts et un jardin).

Remarque : les ouvrages en lignes de la première variante sont proposés dans la deuxième et troisième variante

Un canal rectangulaire ou trapézoïdal présente de multiples avantages dont on cite :

- Assurance d’une propreté relative faute de ne pas être utilisé comme décharge.
- Facilité de nettoyage en cas d’obstruction.
- Simple à réaliser et économique.

Pour le dimensionnement de cet ouvrage, nous aurons besoin du débit de crue maximal, fonction de la période de retour, qui est le paramètre clé vue que le canal résultant doit véhiculer ce débit sans aucun risque d’inondation. Nous avons opté pour un débit centennal estimé à $60.77 \text{ m}^3 / \text{s}$ /sauquel on est censé ajouter un débit correspondant aux apports solides, cependant celui-ci est négligeable devant le débit de crue probable, toutefois on le prend en considération en ajoutant une hauteur de revanche, à la hauteur du canal, correspondante à ce débit.

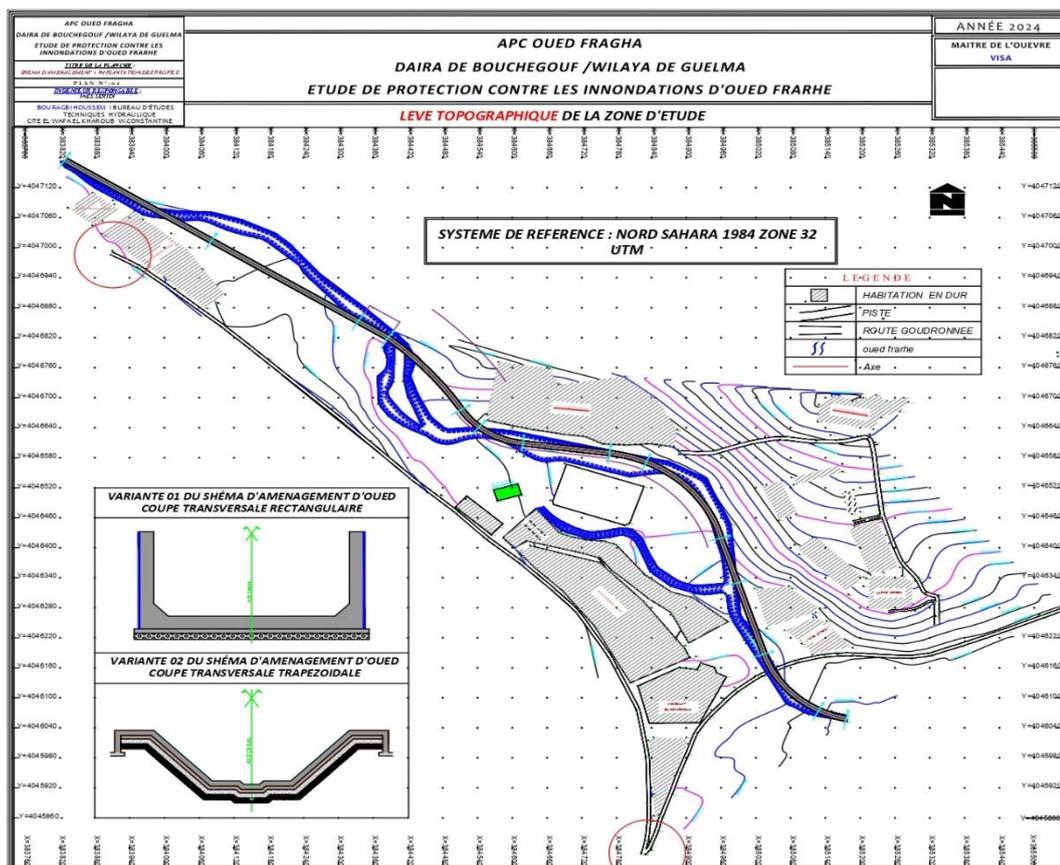
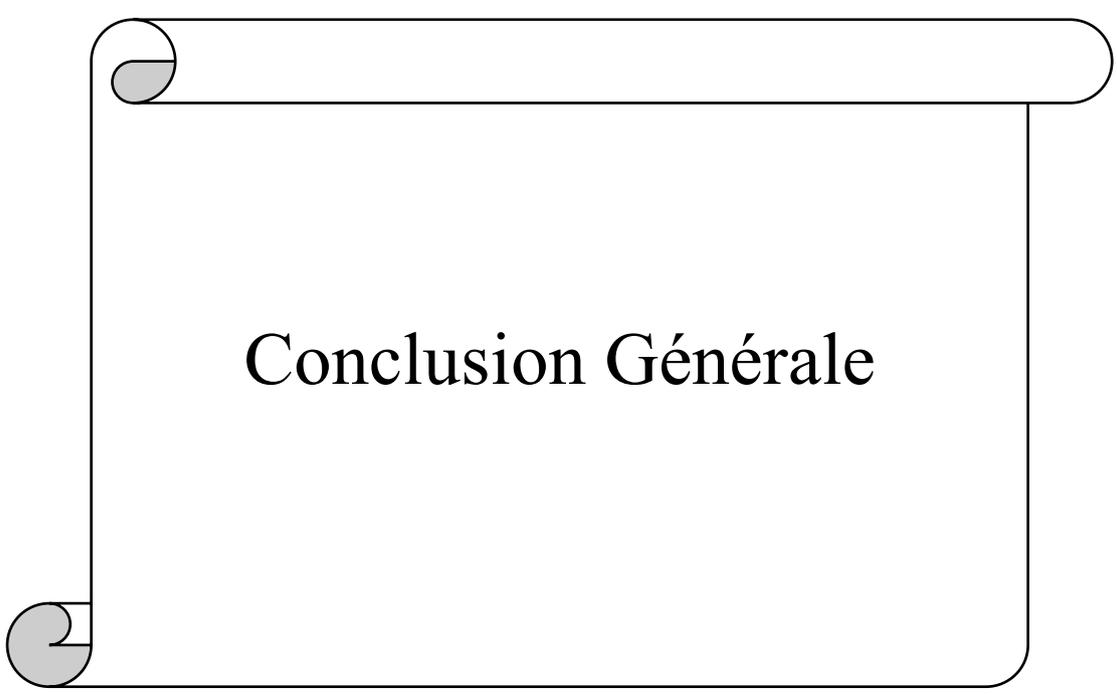


Figure 5.18. Tracé et implantation des ouvrages de protections

5.7. Conclusion

Pour les variantes d'aménagements proposées en vue de la protection contre les inondations de la ville Oued Fragha, on pris en considération tous les obstacles techniques remarquables identifiés pendant le diagnostic lors de la proposition des variantes. Après l'étude hydrologique, le débit du bassin versant retenu pour la modélisation est de 60.77 m³/s. Finalement, la confirmation de la variante choisie, sera suivie d'une étude détaillée APD."



Conclusion Générale

Conclusion générale

En Algérie la protection des sites urbains contre les crues et les inondations est une nécessité indispensable afin de réduire les risques humains, matériels.

La protection de la ville d'Oued Fragha contre les inondations constitue un enjeu majeur de développement durable et de sécurité urbaine dans le contexte algérien. Cette problématique s'inscrit dans une dynamique complexe où se conjuguent les défis climatiques méditerranéens, caractérisés par des précipitations irrégulières et parfois torrentielles, et les contraintes d'un développement urbain rapide dans les zones à risque.

L'analyse des vulnérabilités de la ville révèle une exposition multifactorielle aux risques d'inondation, résultant de la topographie locale, de l'occupation des sols, et de l'insuffisance des infrastructures de drainage existantes. Les événements pluviométriques extrêmes, de plus en plus fréquents dans le contexte du changement climatique, mettent en évidence la nécessité d'adopter une approche intégrée de gestion des risques hydrologiques.

A travers ce mémoire, nous avons essayé d'abord d'expliquer la notion du risque d'inondation en montrant qu'il est un concept binomial ; combinant en plus de l'aléa (le phénomène physique), la vulnérabilité qui est les conséquences dommageables de cet aléa sur les enjeux.

Une protection fiable passe certainement par une étude des causes d'inondation puis par une proposition des solutions convenables.

Nous avons tout d'abord caractériser les principaux facteurs physico-géographiques agissant sur l'écoulement, phase primordiale pour la connaissance d'un système hydrologique.

En discutant les modes de protection on s'est amené à la conjugaison de plusieurs mesures dans le but d'assurer le plus de sécurité.

- Au niveau du chevelu hydrographique :

Oued Frarah draine un bassin versant qui a nécessité une étude morpho métrique permettant de mettre au point tous les paramètres d'influence du bassin versant et sa réponse vis-à-vis des précipitations. Le bassin versant est caractérisé par une surface de 39.63 km² et un périmètre de 32.36km et un indice de gravelais de $K_c = 1.44$ possède un relief assez faible, un temps de concentration moyen $t_c = 3.03h$ induisant de forts débits instantanés. Les résultats de calcul et d'analyse des différents paramètres cités, nous ont permis la conception et le dimensionnement des ouvrages de protection en l'occurrence.

- Au niveau des zones drainantes des eaux pluviales :

Pour cette zone les intensités de précipitations ont fait l'objet également d'analyse par l'étude des averses de courtes durées et l'établissement des courbes durées – intensités – Fréquences.

Dans l'optique d'une démarche fiable aboutissant à un système d'aménagement invulnérable, nous avons effectué une étude répartie en cinq chapitres en se focalisant sur la partie

hydrologique qui nous a permis la détermination du débit de crue centennale estimé à **60.77 m³/s** .

Les solutions techniques identifiées - qu'il s'agisse d'aménagements hydrauliques structurels, de systèmes de drainage urbain, ou de mesures de régulation des écoulements - doivent être conçues dans une logique de bassin versant, en tenant compte des spécificités géomorphologiques et hydroclimatiques de la région. L'efficacité de ces interventions dépend également de leur intégration dans une planification urbaine cohérente, respectueuse des contraintes naturelles du territoire.

La projection d'un canal rectangulaire ou trapézoïdal tout le long du cours d'eau est la solution la plus appropriée pour l'aménagement de notre bassin versant. Ce choix de forme du canal est dû aux avantages de stabilité et de fiabilité qu'assure ce type de chenal.

Au-delà des aspects techniques, la protection durable d'Oued Fragha nécessite une mobilisation coordonnée des acteurs locaux, une sensibilisation accrue de la population aux risques, et la mise en place d'un système de surveillance et d'alerte précoce. Cette démarche préventive s'avère d'autant plus cruciale que les coûts des dommages post-catastrophe dépassent largement les investissements préventifs.

Bibliographie

- [1] **Abdeddaim H., 2008**, Contribution à la mise en œuvre d'une méthode d'analyse du risque d'inondation et de prévision des solutions d'aménagement, Thèse de magister, Université de Batna.
- [2] **ANRH. (2010)**. *Plan Directeur d'Aménagement Intégré des Ressources en Eau (PDAIRE) du Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez*. Agence Nationale des Ressources en Eau.
- [3] **Anderson, J. R., Hardy, E. E., Roach, J. T., & Witmer, R. E. (1976)**. *A land use and land cover classification system for use with remote sensor data*. US Government Printing Office.
- [4] **ASNOUNI F., 2014**, Etude du transport solide en suspension dans le Bassin Versant d'oued AL ABD, Mémoire de master en hydraulique, Université de Tlemcen.
- [5] **BAHLOULI (2001)** : «Les risques majeurs et l'aménagement du territoire», Colloque international, 15 et 16 2004- Alger.
- [6] **BARROCA Bruno (2006)** : « Risque et vulnérabilités territoriales : les inondations en milieu urbain », Thèse de Doctorat de l'Université de Marne-La-Vallée.
- [7] **Belaidi, A., & Taleb, A. (2015)**. Water resources management in Algeria: Challenges and perspectives. *International Journal of Water Resources Development*, 31(1), 71-86.
- [8] **Benito, G., Thorndycraft, V. R., & Baker, V. R. (Eds.). (2004)**. *Palaeofloods, historical floods and climatic change: implications for flood risk management*. John Wiley & Sons.
- [9] **BENMIA K., 2012**, Evaluation de la performance des barrages de protection contre les inondations, cas de la ville de Ghazaouet, Thèse de magister, Université de Tlemcen
- [10] **BENMIA.K 2012 IN ESTUPINA. 2004**
- [11] **BENMECHERNANE N., 2013**, étude de protection de la ville de bensekrane (w. Tlemcen) contre les inondations, Master en hydraulique, Université de Tlemcen
- [12] **Bénina Touaibia [2004] Manuel Pratique d'hydrologie]**
- [13] **Birkmann, J. (Ed.). (2006)**. *Risk and vulnerability: concepts, contexts and case studies*. United Nations University Press
- [14] **BLIN Pierrick (2001)** : « Développement d'une nouvelle méthode de cartographie du risque unitaire d'inondation (crue) pour des résidences », Thèse de Grande de Maître- Université du Québec.
- [15] **BOUANANI A., 2004**, Hydrologie, Transport solide et modélisation. Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérien). Thèse de Doctorat d'état, Univ. Tlemcen, 250
- [16] **Boualem, S., Belarbi, B., & Ben abdallâh, S. (2014)**. Urban sprawl and its impact on land use/land cover changes in the Algiers metropolitan area. *Journal of Urban Planning and Development*, 140(4), 04014012.
- [17] **BOUBCHIR A., 2007**, Risques d'inondation et occupation des sols dans le thore (région De Labruguière et de Mazamet), Mémoire de Master de Géographie et Aménagement, Université de Toulouse.

[18] **Boudani.M;Boulanouar.M** [2021] Cartographie des zones à risque d'inondations Cas du bassin versant de Boussellam Soummam]

[19] **BOUDJERDA M., 2005**, Protection contre les inondations de la région de fouka (W. Tipaza), Mémoire de magister, Ecole national supérieur d'hydraulique.

[20] **Bouguerra, H., Bouanani, A., &Khanchoul, K. (2020)**. "Évaluation de différentes sources de données topographiques pour la modélisation hydraulique des inondations en Algérie." *Journal of Water and Land Development*, 44(I-III), 26-35.

[21] **BRAVARD. J.P., 1991**, Les crues et inondations du Rhône, la dynamique fluviale à l'épreuve des changements environnementaux quels enseignements applicables à l'aménagement des rivières la houille blanche

[22] **CHACHOUA A., 2010**, Gestion de crue dans un bassin versant –Etude hydrologique, hydraulique et aménagement, Mémoire de Magister, Université de Tlemcen.

[23] **CORTES Amandine (2006)** : « L'appropriation active du risque inondation : intérêts et limites de la réglementation. Etude de cas entre Seyssel et Bregnier

[24] **DEFRANCE Bruno (2009)** : « Plan de prévention des risques naturels d'inondation (PPRNi) Brévenne –Turaine », Compte-rendu de la 1^{ère} réunion publique le 1^{er} octobre 2009 à Tarare, Chef du Service Environnement Risques et Développement durable (SERDD).

[25] **Deichmann, U., Lall, S. V., & Wheeler, D. (2010)**. *East Asia's changing urban landscape: measuring a decade of spatial transformation*. World Bank Publications.

[26] **Elfetni.K [2019]** Etude de protection contre les inondations de la ville de Doucen (Oued Tamda)

[27] **Fargier, G. (2006)**. *Gestion des risques naturels*. Armand Colin.

[28] **GRELOT F., 2004**, Gestion collective des inondations, peut-on tenir compte de l'avis de la population dans la phase d'évaluation économique a priori ? Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Université de Paris.

[29] **HACHEMI S.M., 2015**, Protection Des Agglomérations Contre Les inondations cas Du Centre D'el Gouassir (W. TLEMEN), Mémoire de Master en hydraulique, Université de Tlemcen.

[30] **Hachemi, K., Abdellaoui, A., Ozer, A., &Grecu, F. (2019)**. "Apport de l'imagerie radar à synthèse d'ouverture pour la cartographie des zones inondées : cas de Ghardaïa, Algérie." *Geo-Eco-Trop*, 43(2), 185-196.

[31] **Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Braithwaite, D., Hsu, K., Joyce, R. J., &Xie, P. (2019)**. Integrated multi-satellite retrievals for global precipitation measurement (IMERG). *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19(18), 12617-12641.

- [32] **ICOLD.** (2011). *Dams and climate change: a review of the benefits and challenges.* International Commission on Large Dams.
- [33] **Khiati, W., & Kelleche, H. (2017).** "La gestion du risque d'inondation dans les villes algériennes : approche institutionnelle et réglementaire." *Revue Algérienne d'Aménagement du Territoire*, 2(3), 25-38.
- [34] **LEDOUX Bruno (2006) :** « La gestion du risque inondation », Edition TEC et DO
- [35] **MERABET Abbés (2006) :** « Etude de la protection de la ville de Sidi Bel Abbés contre les inondations », Mémoire de Magister, Université de Djilali Liabes-Sidi Bel Abbés.
- [36] **Mériaux. P et Royet. P et Folton. C, 2001,** Surveillance, entretien et diagnostic des digues de protection contre les inondations, Cemagref Editions,
- [37] **Meddi, M., & Hubert, P. (2005).** Spatio-temporal variability of heavy rainfall events in the Maghreb region. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5(6), 845-859.
- [38] **Mimouni, T., Remaoun, M., & Amara, F. (2019).** "Analyse des risques d'inondation en milieu urbain : cas de la ville d'Oran, Algérie." *Revue des Sciences de l'Eau*, 32(4), 361-375
- [39] **Ministère de l'écologie et du développement durable [2004]** Les inondations
- [40] **NAAIM M, DEGOUTTE G, DELORME F., 2010,** Les vagues dans les retenues d'altitudes analyse et méthodes pour la prévention. Cemagref, Sciences eaux et territoires, numéro spécial risques naturels
- [41] **OUFELLA O (2005) :** « Contribution à la cartographie des zones vulnérables aux inondations : Application de la méthode inondabilité ; Cas de la ville de Sidi Bel Abbas », *Revue Semestrielle Scientifique et Technique, Journal de l'Eau et de l'environnement-ENSH Blida.*
- [42] **Parker, D. J., & Fordham, M. (1996).** *Local community involvement in flood management.* Middlesex University Press
- [43] **PNUD & Ministère de l'Intérieur Algérien (2020).** "Plan national de gestion des risques d'inondation en Algérie : stratégies et perspectives." Rapport technique.
- [44] **Sardou, M., Mahe, G., & Meddi, M. (2016).** "Analyse spatio-temporelle des événements pluvieux extrêmes dans le bassin versant de Cheliff, Algérie." *Hydrological Sciences Journal*, 61(3), 481-494.
- [45] **Salomon J, N [1997]** L'homme face aux crues et aux inondations, Presses Universitaire de Bordeaux, Université Michel de Montaigne - Bordeaux.p69-80
- [46] **SERRE D., 2005,** Evaluation de la performance des digues de protection contre les inondations Modélisation de critères de décision dans un Système d'Information Géographique THÈSE pour obtenir le grade de Docteur de l'Université de Marne-La-Vallée Paris.

[47]TALAH S., 2014, Contribution à l'étude des risques des inondations de l'oued Mellah W. Djelfa par les systèmes d'informations géographiques (Arc Gis et HEC-geoRAS) ; en utilisant le logiciel HEC-RAS, Mémoire de Magister, Université de M'silla.

[48]Tate, E. (2012). Flood hazard mapping: science, policy and practice. *International Journal of River Basin Management*, 10(1), 71-84.

[49]YAHIAOUI A., 2012, Inondations torrentielles_ cartographie des zones vulnérables en Algérie du nord (cas de l'oued Mekrra, Wilaya de Sidi Bel Abbés), Thèse de doctorat, Ecole Nationale Polytechnique.

[50]Yahiaoui, A., Touaibia, B., & Bouvier, C. (2017). "Approche hydro géomorphologique pour la délimitation des zones inondables dans le bassin de la Soummam, Algérie." *Hydrological Sciences Journal*, 62(10), 1559-1572.

[51]Yahiaoui, I., Toubal, A., & Benabdallah, S. (2017). Flood risk assessment using GIS and multi-criteria analysis in the Seybouse watershed (North-East Algeria). *Arabian Journal of Géosciences*, 10(23), 524

[52]<http://www.protectioncivile.dz/pdf/raport%20sur%20les%20inondations%20pour%20DP%20ET%20CABINE1.pdf>

[53] <https://fr.wikipedia.org>

[54] <https://www.britannica.com>