

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.

Université Hassiba Benbouali de Chlef.



Faculté de Génie Civil et d'architecture.

Département d'Hydraulique.

MIMOIRE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Spécialité : Hydraulique Urbaine et

Ouvrage Hydraulique

Par

BAHRI BOUABDELLAH

DJADANE RIADH

Thème :

Protection de la ville Talassa contre les inondations

Docteur Benaouda Hamid	Université Hassiba Benbouali de Chlef
-------------------------------------	---------------------------------------

Année universitaire : 2023/2024

REMERCIEMENT

En premier lieu, je tiens à remercier Dieu tout

Puissant qui m'a donné

La Force de continuer et d'achever ce travail.

*Mes vifs remerciements à Monsieur **BENAOUDA Hamid***

Pour son aide, ses conseils et sa Disponibilité durant

Toute la période de mon projet

Nous remercieront tout particulièrement les membres du jury,

pour avoir accepté de participer au jury

de notre mémoire

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à ma chère mère et à mon père qui
m'ont toujours soutenu et aidé à affronter les difficultés,*

A mes très chers frères et sœurs,

A toute ma famille,

*A tous ce qui ont fait pour que je puisse les honorer, et leur
patience durant ma vie,*

Et à tous mes chers amis.

RIADH

Dédicace

*Ce modeste travail, achevé avec l'aide de Bon Dieu le tout
puissant, est dédié à ceux que j'aime,*

*Aux deux êtres les plus chers au monde, mes parents qui n'ont
pas cessé de m'encourager en me prodiguant de précieux
conseils,*

A mes chers frères et mes chères sœurs,

A toute ma famille sans exception.

A tous mes amis.

BOUABDELLAH

ملخص

الجزائر بمناخها المتوسطي تعرف تغيرات مناخية نوعا ما مهمة كباقي البلدان اذ تتعرض في أي حال من الأحوال الى كوارث طبيعية والتي بإمكانها ان تسبب خسائر تنجم بصفة عامة عن حوادث الفيضانات من مياه الأمطار. حاليا التطور التكنولوجي يقدم لنا حلولا المتسببة في دمار الجانب الاجتماعي والاقتصادي هذا العمل يقترح حلا من اجل حماية منطقة تلعصبة من كافية من اجل الحماية من هذه الكوارث نقوم اولا بدراسة الشكل العام للمنطقة، حساب الفيضانات الناجمة عن التساقطات الفيضانات.
الكلمات المفتاحية : الضرر، الفيضانات، تهيئة، منطقة تلعصبة

Résumé

L'Algérie, avec son climat méditerranéen, connaît des changements climatiques assez importants comme d'autres pays, car elle est de toute façon exposée à des catastrophes naturelles qui peuvent causer des pertes qui résultent généralement d'inondations d'eau de pluie, ce qui provoque des ravages sociaux et économiques. Actuellement, le développement technologique nous apporte des solutions suffisantes pour nous protéger contre ces catastrophes. Ce travail propose une solution pour protéger la zone de Talassa des inondations.

Nous étudions d'abord la forme générale de la zone, en calculant les inondations provoquées par les précipitations

Mots clés : *Dégâts, inondation, aménagement, TALASSA.*

Abstract

Algeria, with its Mediterranean climate, experiences somewhat significant climatic changes like other countries, as it is exposed in any case to natural disasters that can cause losses that generally result from flooding incidents from rainwater. Currently, technological development provides us with solutions that cause social and economic devastation. This work proposes a solution in order to protect the Talassa area from sufficient protection from these disasters.

We first study the general shape of the area, calculating the flooding caused by precipitation.

Keywords: *Damage, flooding, development, TALASSA.*

TABLE DES MATIERES

Remerciements	02
Dédicace.....	03
Résumé	05
Introduction Générale.....	12

Chapitre I : Historique Des Inondations

Introduction	15
I.1. Les Différents types d'inondation	16
I.2. Ampleur des inondations	17
I.2.1 : Les inondations en l'échelle mondiale	17
I.2.2 : Les inondations en Algérie	18
2.2.1. Les inondations de Novembre 2001 à Alger	18
2.2.2. Les inondations de Décembre 1984 à Skikda	20
2.2.3. Les inondations du sud	21
I.3. Conclusion	23

Chapitre II : Présentation Générale de la zone d'étude

II.1. PRESENTATION GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE.....	25
II.1.1. Superficie et population	25
II.1.2. Géographie	26
II.2. Caractéristiques morphologiques de sous bassin.....	27
II.2.1. Caractéristique géométrique.....	28
II.2.1.1. Indice de compacité.....	29
II.2.2. Rectangle équivalent	29
II.2.3. Relief	30
II.2.3.1. Courbes hypsométriques	30
II.2.4. Altitudes caractéristiques	30
II.2.5. Indice de pente globale (I_g).....	31
II.2.6. Dénivelée spécifique	31
II.2.7. Temps de concentration	32

II.3. Réseau hydrographique	32
II.3.1. Densité de drainage	33
II.4. Couvert végétal	34

Chapitre III : Caractéristique Hydrologiques du bassin versant

Introduction	36
III.1. Les caractéristiques climatiques du bassin versant.....	36
-1.1. Sources des données	36
-1.2. Températures.....	36
-1.3. Humidité Relative	38
-1.4. Les vents	38
-1.5. L'évaporation.....	38
-1.6. L'évapotranspiration.....	39
-1.7. Précipitations.....	39
III.2. Analyse des données pluviométriques.....	40
-2.1. Pluie moyenne annuelle.....	40
-2.2. Pluies maximales journalières	40
III.3. Les précipitations maximales journalières.....	42
-3.1. Choix de la loi d'ajustement.....	43
-3.2. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL.....	43
-3.3. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON	45
-3.4. Comparaison entre les deux lois d'ajustement	47
III.4. Pluies de courte durée.....	47
-4.1. Les apports.....	50
-4.2. Les écoulements	53
III.5. Etude de crues.....	54
-5.1.Méthodes empiriques.....	54
-5.2.Temps de concentration « T_c »	55
-5.3.Application sur les bassins versants	55
III.6. Hydro grammes de crues	57
Conclusion	60

Chapitre IV : Calcul Hydraulique et dimensionnement de l'ouvrage

IV.1. Etude des variantes	62
IV.2. Variantes proposées	62
-2.1. Les avantages d'un canal trapézoïdal	62
IV.3. Dimensionnement des Ouvrages	63
-3.1. Le calcul hydraulique.....	63
-3.2. Les canaux à ciel ouvert.....	63
-3.3. Type de canal	63
-3.3.a) Canal naturel.....	63
-3.3.b) Canal artificiel	64
IV.4. Dimensionnement des canaux.....	64
- 4.1 Ecoulement dans les canaux	64
- 4.1.1 Types d'écoulement	66
• Variabilité dans le temps	66
• Variabilité dans l'espace	66
- 4.2 Régime d'écoulement	67
- 4.2.1 Calcul de la profondeur normale	68
- 4.2.2 Calcul de la profondeur critique	70
❖ Méthode graphique	70
❖ Méthode analytique d'AGROSKINE	70
- 4.2.3 Calcul de La pente critique	70
- 4.2.4 Calcul de la ligne d'eau	71
- 5.1 Calculs des aménagements	71
- 5.2 Dimensionnement des aménagements	71
Conclusion Générale	79
Références bibliographiques	81

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Historique Des Inondations

Figure I.1 : Inondation mondiale	18
Figure I.2 : la situation d'inondation de Bâb el oued.....	19
Figure I.3 : inondation d'Algérie de la ville Bâb el oued	20
Figure I.4 : inondation de la ville Skikda.....	21
Figure I.5 : inondation de la sud ville de Béni-ou nif	23

Chapitre II : Présentation Générale de la zone d'étude

Figure II.1 : Plan de situation de la ville à l'échelle de la wilaya.....	25
Figure II.2 : Plan de situation de la ville à l'échelle Mondiale.....	25
Figure II.3 : Bassin versant de Talassa	26
Figure II.4 : Situation géographique de la ville Talassa	26
Figure II.5 : Relief de Bassin versant.....	30
Figure II.6 : Carte Réseau hydrographique	33
Figure II.7 : Forest de Talassa côtier nord.....	34
Figure II.8 : Forest de Talassa côtier Sud	34

Chapitre III : Caractéristique Hydrologiques du bassin versant

Figure III.1 : Histogramme Répartitions mensuelles des températures	37
Figure. III.2 : Histogramme de Vitesse des vents la moyenne mensuelle.....	38
Figure III.3 : Histogramme de l'évaporation annuelle moyenne	39
Figure III.4 : Ajustement à la loi de Gumbel.....	45
Figure III.5 : Ajustement à la loi Log- normal	46
Figure III.6 : Comparaison entre les deux lois d'ajustement.....	47
Figure III.7 : courbes des pluies fréquentielles	49
Figure III.8 : Courbes intensité -durée –fréquence.....	49
Figure III.9 Hydro gramme de crue	60

Chapitre IV : Calcul Hydraulique et dimensionnement de l'ouvrage

Figure IV.1 : Géométrie d'un canal naturel	64
Figure IV.2 : Types de canaux artificiels (couvert et découvert)	64
Figure IV.3 : Schéma d'un écoulement permanent	66
Figure IV.4 : Schéma d'un écoulement non permanent	67
Figure IV.5 : Passage du régime fluvial au régime torrentiel	68
Figure IV.6 : Comparaison entre les deux lois d'ajustement.....	69
Figure IV.7 : Différents types de courbes de remous	72
Figure IV.8 : Morphologie d'un Mur en béton arme	73
Figure IV.9 : Mur soutènement en béton	74
Figure IV.10 : Différentes types de soutènements.....	75
Figure IV.11 : Batardeau souple	76
Figure IV.12 : Batardeau en Béton	76

LISTE DES TABLEAU

Chapitre II : Présentation Générale de la zone d'étude

Tableau II.1 : Résultat de calcul des dimensions des rectangles équivalents.....	29
Tableau II 2 : Classifications du relief en utilisant D_s	32
Tableau II.3 : Calcul de dénivelée spécifique des sous bassin versant	32

Chapitre III : Caractéristique Hydrologiques du bassin versant

Tableau III.1 : Répartitions mensuelles des températures	37
Tableau III.2 : Vitesse des vents la moyenne mensuelle	38
Tableau III.3 : Evaporation moyenne mensuelle	38
Tableau III.4 : La station pluviométrique	40
Tableau III.5 : Série des pluies maximales journalières à la station Abou el Hassen ...	41
Tableau III.6 : Série des précipitations maximales journalières	42
Tableau III.7 : Caractéristiques de la série avec N=25ans	42
Tableau III.8 : Résultats de l'ajustement à la loi de Gumbel	44
Tableau III.9 : Caractéristiques de l'échantillon	44
Tableau III.10 : Résultats de l'ajustement à la loi de GALTON	46
Tableau III.11 : Caractéristiques de l'échantillon	46
Tableau III.12 : Pluies et intensités maximales de durée t (h) et de périodes retour ...	48
Tableau III.13 : Résultats des Formules	50
Tableau III.14 : Les caractéristiques de l'écoulement	52
Tableau III.15 : Récapitulatif des apports liquides et solides du bassin versant	53
Tableau III.16 : Résultat de formule GIANDOTTI	54
Tableau III.17 : Résultat de T_c formule de S.C.S	55
Tableau III.18 : Résultat de temps de concentration	55
Tableau III.19 : Les valeurs des débits des crues d'après la formule de SKOLOVSKI...	56
Tableau III.20 : Volumes des crues pour les déférentes périodes de retour du SB	57
Tableau III.21 : Débits de crues pour différentes périodes de retour	58

Chapitre IV : Calcul Hydraulique et dimensionnement de l'ouvrage

Tableau IV.1 : Débits de crues de projet pour différentes périodes de retour	77
Tableau IV.2 : Résultat d'hauteur du Mur de soutènement	77

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'Algérie est confrontée à des problèmes récurrents de crues et d'inondations qui se manifestent de manière dévastatrice, ce qui constitue un obstacle majeur au développement économique et social du pays. Ces inondations figurent parmi les catastrophes naturelles les plus dévastatrices et fréquentes, causant d'importants dommages tant sur le plan humain que matériel. Considérées comme la principale cause de catastrophes naturelles à l'échelle mondiale, les inondations engendrent le décès d'environ 500 000 personnes chaque année. Elles entraînent également la destruction de zones urbaines et rurales, ainsi que la paralysie de toutes les activités contribuant au progrès des divers secteurs économiques et sociaux.

De nombreuses régions de notre pays sont fréquemment exposées à ces phénomènes naturels dévastateurs, dont les conséquences sont fréquemment exacerbées par d'autres facteurs qui amplifient les effets des crues. Parmi ces éléments aggravants, on peut citer l'urbanisation non planifiée, caractérisée par l'occupation de zones sujettes aux inondations, ainsi que les lacunes dans les systèmes de drainage des eaux pluviales.

Les inondations dans cette région, caractérisée par un environnement topographique défavorable, se manifestent notamment à Talassa, une ville traversée par l'Oued Boukhandek. En raison de sa localisation géographique, cette agglomération, densément peuplée et soumise à une urbanisation périphérique pseudo-anarchique et non réglementée, présente d'importants risques. À chaque inondation, même de faible intensité, des pertes humaines et des dommages matériels considérables sont enregistrés. L'examen des événements catastrophiques survenus dans cette zone, notamment en 2001 et 2021, met en évidence la nécessité de prendre des mesures préventives contre ce fléau naturel, qui persiste à se manifester à chaque épisode pluvieux exceptionnel.

Pour répondre promptement aux défis actuels et potentiels à court et moyen terme, ainsi que pour assurer une gestion intégrée et durable de l'eau, la préservation de la ville de Talassa et de sa population émerge comme l'une des principales priorités des autorités. Une étude devrait être entreprise dans cette direction afin de proposer des solutions efficaces.

Notre initiative s'inscrit dans la perspective de mettre en œuvre un projet d'étude visant à concevoir un système de protection pour la ville de Talassa.

INTRODUCTION GENERALE

Ce projet implique la création d'un réseau de drainage des eaux pluviales issues du bassin versant, débouchant dans une sortie située à la périphérie de la ville de Talassa (côté Est). Cette approche nécessite incontestablement l'utilisation d'outils de travail, depuis la collecte de données sur le site jusqu'à l'élaboration du schéma d'aménagement.

Ce mémoire est organisé en Quatre chapitres distincts :

- Le premier chapitre l'historique et définition le phénomène d'inondations et présente les différentes causes qui leur donnent naissance ainsi que les conséquences engendrées que ce soit dans le monde ou en Algérie.
- Le deuxième chapitre porte sur la présentation générale de la zone d'étude et nous informe sur sa localisation, le climat, la géologie ainsi que la situation.
- Le troisième chapitre Explore l'analyse hydrologique du bassin versant, qui représente une source cruciale des eaux qui alimentent l'Oued. Fournit des informations détaillées sur les caractéristiques du bassin versant et du réseau hydrographique associé.
- Le quatrième chapitre abordera en première partie les diverses options d'ouvrages envisagées, puis en deuxième partie, il se penchera sur le dimensionnement de l'ouvrage.

Chapitre I

Introduction

Les inondations, phénomène naturel dévastateur, résultent de la montée subite et excessive des niveaux d'eau dans une zone géographique donnée, souvent due à des conditions météorologiques extrêmes telles que de fortes pluies, des tempêtes tropicales ou la fonte rapide des neiges. Elles représentent l'une des catastrophes naturelles les plus courantes et les plus coûteuses en termes de vies humaines, de pertes matérielles et économiques. Dans cette étude, nous allons explorer plus en détail les différents types d'inondations, examiner leur ampleur à l'échelle mondiale, et analyser spécifiquement quelques exemples d'inondations survenues en Algérie, notamment celles de Bab El Oued Novembre 2001 et de Décembre 1984 à Skikda, ainsi que les inondations du sud.

Les inondations peuvent être classées en plusieurs types, notamment les inondations fluviales, côtières, pluviales, et urbaines, chacune avec ses propres caractéristiques et causes spécifiques. Par exemple, les inondations fluviales surviennent lorsque les cours d'eau débordent de leur lit en raison de fortes pluies ou de fonte des neiges, tandis que les inondations côtières sont causées par des tempêtes et des marées hautes, menaçant les zones côtières basses.

Quant à l'ampleur des inondations à l'échelle mondiale, elles touchent régulièrement des millions de personnes dans de nombreux pays, entraînant des pertes humaines et économiques considérables. Les régions particulièrement vulnérables comprennent les zones à faible altitude, les zones densément peuplées le long des Oueds et des côtes, ainsi que les régions sujettes aux vents et aux fortes précipitations.

En ce qui concerne l'Algérie, un pays souvent confronté à des conditions météorologiques extrêmes, les inondations constituent une menace importante pour la population et l'économie. Des exemples notables incluent les inondations de Bab El Oued Novembre 2001, qui ont touché plusieurs wilayas, causant d'énormes pertes en vies humaines et en infrastructures, et les inondations de Décembre 1984 à Skikda, qui ont également laissé leur marque sur la région.

Les inondations du sud de l'Algérie, bien que moins fréquentes que celles du nord, ne sont pas moins préoccupantes. Les régions désertiques du sud sont souvent sujettes à des pluies torrentielles occasionnelles, entraînant des inondations soudaines et dévastatrices qui peuvent avoir des répercussions graves sur les populations locales et les infrastructures.

I. Les Différents types d'inondation :

Les inondations peuvent être classées en plusieurs types en fonction de leurs causes et de leurs caractéristiques. Voici quelques-uns des principaux types d'inondations :

I.1. Inondations fluviales : Elles sont souvent causées par des pluies abondantes, mais peuvent également résulter de la fonte des neiges ou d'une combinaison des deux. Les inondations fluviales peuvent avoir des conséquences dévastatrices sur les communautés riveraines et les écosystèmes, car l'eau peut déborder des rivières et des cours d'eau, submergeant les terres avoisinantes.

I.2. Inondations côtières : Les tempêtes, les ouragans et les tsunamis sont les principales causes des inondations côtières. Les vents violents et la pression atmosphérique basse peuvent provoquer une élévation du niveau de la mer, submergeant les zones côtières basses. Les inondations côtières peuvent entraîner des dégâts considérables et sont souvent accompagnées de vents forts et de fortes pluies.

I.3. Inondations pluviales : Les fortes pluies, en particulier lorsqu'elles surviennent sur de courtes périodes, peuvent entraîner des inondations pluviales. Ces inondations peuvent être localisées et soudaines, causant des problèmes tels que des inondations de rues, des débordements de cours d'eau et des glissements de terrain.

I.4. Inondations urbaines : L'urbanisation modifie souvent le paysage naturel, remplaçant les surfaces absorbantes par des surfaces imperméables telles que le béton et l'asphalte. Cela conduit à une augmentation du ruissellement des eaux de pluie et peut entraîner des inondations urbaines. Les systèmes de drainage insuffisants aggravent ce problème.

I.5. Inondations de crue éclair (flash flood) : Ces inondations surviennent souvent dans les régions montagneuses ou vallonnées, où l'eau peut rapidement s'accumuler dans les vallées en raison de fortes pluies ou de la fonte des neiges. Les crues éclair peuvent être particulièrement dangereuses en raison de leur rapidité et de leur imprévisibilité.

I.6. Inondations glaciaires : Les inondations glaciaires résultent de la rupture de barrages glaciaires ou de la libération rapide de lacs glaciaires. Cela peut se produire en raison du réchauffement climatique, provoquant la fonte des glaciers et augmentant le risque d'inondations dans les régions glaciaires.

I.7. Inondation Fluviales lentes : Contrairement aux crues éclair, ces inondations se produisent plus lentement et résultent souvent de précipitations continues sur une période prolongée, entraînant une augmentation progressive du niveau de l'eau dans les rivières.

I.8. Inondations par remontée de nappe phréatique : Une augmentation du niveau de la nappe phréatique peut être causée par des précipitations importantes ou par une surexploitation des eaux souterraines. Cela peut entraîner des inondations locales, en particulier dans les zones où la nappe phréatique est proche de la surface.

Chapitre I : Historique Des Inondations

I.9. Inondations par rupture de barrage : Les barrages et les digues sont construits pour retenir l'eau, mais une défaillance structurelle ou une surcharge due à des pluies abondantes peut entraîner leur rupture, libérant une grande quantité d'eau en aval.

I.10. Inondations fluviales saisonnières : Dans certaines régions, les inondations fluviales sont prévisibles et surviennent généralement pendant certaines saisons, comme la fonte des neiges ou la saison des pluies.

La compréhension de ces différents types d'inondations est essentielle pour mettre en œuvre des mesures de prévention, d'alerte précoce et d'atténuation des risques afin de minimiser les impacts sur les populations et les infrastructures.

I.2. Ampleur des inondations

I.2.1 : Les inondations en l'échelle mondiale

Les inondations représentent l'un des principaux risques naturels à l'échelle mondiale, se distinguant comme la catastrophe naturelle entraînant le plus de dommages. Entre 1996 et 2005, environ 80 % des catastrophes naturelles dans le monde étaient liées à des événements météorologiques ou hydrologiques. Les inondations ont potentiellement touché en moyenne 66 millions de personnes par an de 1973 à 1997. Selon une étude évaluant les coûts probables liés à l'élévation du niveau de la mer et aux phénomènes météorologiques extrêmes dans les 136 principales métropoles côtières, les inondations pourraient engendrer des dépenses d'environ 1 000 milliards de dollars par an de 2010 à 2050, uniquement pour ces villes.



Figure I.1 : Inondation mondiale en général

I.2.2 : Les inondations en Algérie

L'Algérie fait souvent face à des inondations dévastatrices, qui, dans le passé, résultaient principalement des débordements des grands cours d'eau des plaines agricoles. Cependant, au cours des deux dernières décennies, ces catastrophes touchent de plus en plus les centres urbains, entraînant des pertes humaines considérables et des dommages matériels importants. La fréquence croissante et l'intensification des phénomènes climatiques extrêmes rendent impérative la mobilisation de toutes les ressources technologiques pour faire face à cette situation.

Dans ce contexte, l'utilisation de l'imagerie satellitaire s'est révélée cruciale pour coordonner les opérations de secours, évaluer les dégâts dans les régions touchées, et prévenir les inondations grâce à la cartographie des zones à risque et à la planification des dispositifs de lutte contre les inondations

2.2.1. Les inondations de Novembre 2001 à Alger

L'Algérie commémore chaque année, depuis le 10 novembre 2001, la date de survenance des **inondations** historiques de **Bab El Oued**. Des pluies torrentielles se sont alors abattues sur la capitale algérienne, provoquant des inondations meurtrières et des coulées de boue. La crue de l'oued Koreich a tout rasé sur son passage, des hauteurs de la ville à la mer, soit sur une distance de près de 10 Km. Le quartier populaire de Bab El Oued a été particulièrement dévasté.

L'Algérie est classée parmi les pays les plus vulnérables aux catastrophes naturelles, principalement aux inondations, feux de forêt et tremblements de terre. Avec l'accélération du processus de réchauffement climatique, cette vulnérabilité pourrait s'aggraver

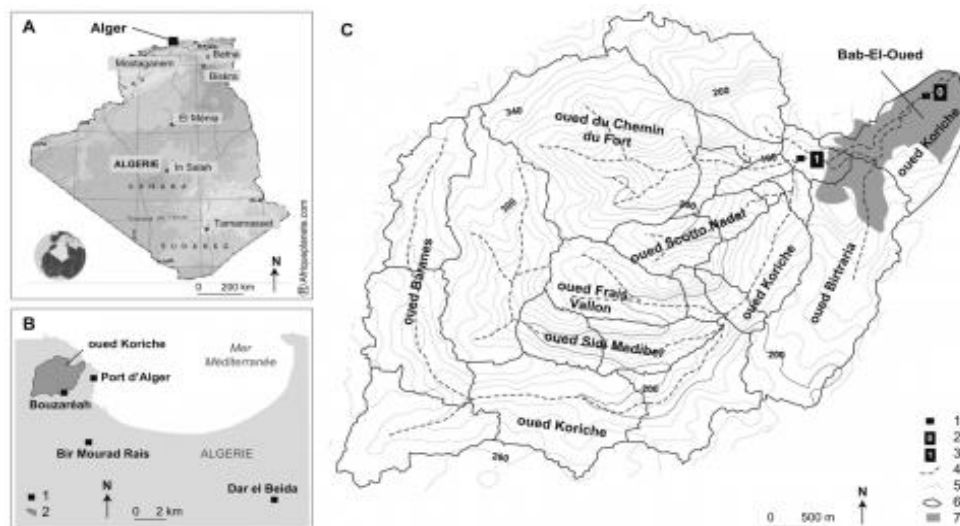


Figure I.2 : la situation d'inondation de Bâb el oued



Figure I.3 : inondation d'Algérie de la ville Bâb el oued

2.2.2. Les inondations de Décembre 1984 à Skikda

Les inondations qui ont frappé Skikda en décembre 1984 ont eu un impact dévastateur sur la région. Cet événement tragique a été déclenché par des précipitations intenses, provoquant des crues soudaines des cours d'eau et des ruisseaux locaux. La ville côtière de Skikda, nichée au nord-est de l'Algérie, a été particulièrement touchée par cette catastrophe naturelle.

Les dégâts causés aux infrastructures, aux habitations et aux terres agricoles ont été considérables. Plusieurs quartiers de la ville ont été submergés, forçant des centaines de résidents à quitter précipitamment leurs domiciles. Les voies de circulation ont été coupées, les ponts emportés par les eaux tumultueuses et les communications sérieusement perturbées.

Les autorités locales ont rapidement mobilisé des opérations de secours pour évacuer les personnes prises au piège par les inondations et fournir une assistance d'urgence aux victimes. Des centres d'accueil temporaires ont été érigés pour accueillir les déplacés tandis que des équipes de secours se sont efforcées sans relâche d'acheminer nourriture, eau potable et fournitures médicales vers les communautés sinistrées.

Chapitre I : Historique Des Inondations

Ces inondations survenues à Skikda en décembre 1984 sont venues rappeler brutalement les risques associés aux phénomènes météorologiques extrêmes, mettant en lumière l'importance cruciale de la préparation aux catastrophes et de la gestion efficace des risques dans les zones exposées aux inondations.

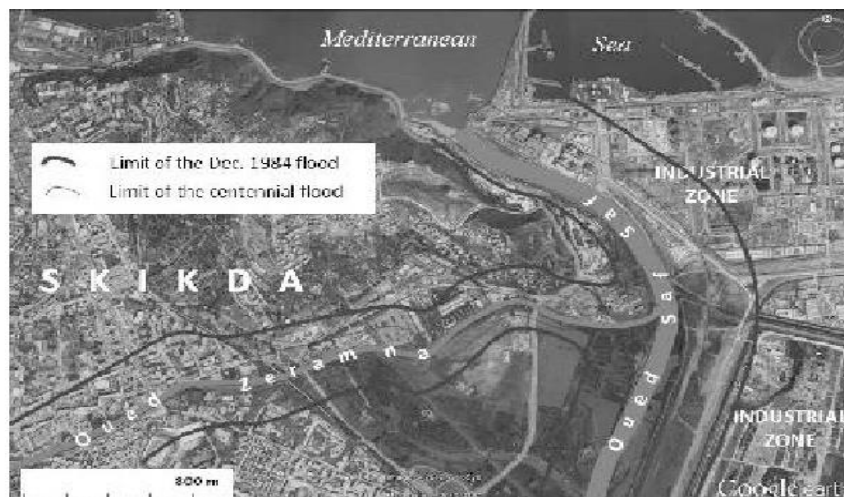


Figure I.4 : inondation de la ville Skikda

2.2.3. Les inondations du sud

La présence humaine sur le territoire communal remonte à des temps très reculés comme en témoigne les ruines de ksour de Béni-ounif et Féndi ainsi que les gravures rupestres à 10 km au sud de la ville du chef-lieu {proximité de l'oued Zoufana ainsi que le Ksar actuel de Béni-ounif. Ce dernier est le témoignage d'une civilisation relativement récente.

Il est formé d'un habitat compact telle une forteresse. Cette typologie et technique constructible caractérisent l'ensemble des ksours de la bande septentrionale du Sahara à cette époque. Selon l'histoire et travers la transmission orale ce ksar, fondé par Sidi Slimane Ben Bousmaha, serait érigé entre le XI et XVIème siècle. Le tombeau de ce saint homme existe encore près du Ksar.

Le ksar de Béni-ounif fait partie de la multitude de ksar édifié sur les itinéraires caravaniers commerçants dans le grand Sahara. L'activité agricole est présente { l'instar de tous les

ksours de la région. Cette activité différenciait les ksouriens, avec un mode de vie sédentaire, des nomades qui vivaient de leur activité pastorale dans un contexte territorial beaucoup plus

Chapitre I : Historique Des Inondations

large. En 1903, les Français prennent possession de la ville de Béni-ounif. Ils construisent la redoute, ouvrage destiné à abriter les militaires et leurs permettre de surveiller toutes les activités et déplacements des habitants du Ksar. Cette redoute est implantée stratégiquement dans la ligne de coupure des deux chaînes de Figuig et à côté des oueds et voies de communications les plus importantes. En 1905 il complète le prolongement du chemin de fer vers Béchar.



Figure I.5 : inondation de la sud ville de Béni-ounif

Conclusion

En conclusion, les inondations sont des catastrophes naturelles qui continuent de menacer les communautés à travers le monde, y compris l'Algérie. Leurs conséquences peuvent être dévastatrices, affectant non seulement les habitations et les infrastructures, mais aussi les moyens de subsistance des populations touchées. Il est crucial que les gouvernements, les organisations internationales et les communautés locales travaillent ensemble pour mettre en œuvre des mesures de prévention et d'atténuation efficaces afin de réduire les risques liés aux inondations et d'améliorer la résilience des populations face à ces événements. La solution se résume en générale par une étude détaillée des régions à risques en plus d'une vision globale en tenant compte des cartes topographiques et géologiques des zones évidemment il faut tenir compte des précipitations en mettant en évidence le facteur du changement climatique de manière à éviter tous risques aux inondations dévastatrices.

Chapitre II

Chapitre II : Présentation Générale de la zone d'étude

II.1.PRESENTATION GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE :

La commune de Talassa est située au nord-ouest de la wilaya de Chlef, à environ 63 km et est localisée le long de la route nationale n°44. elle est séparée d'environ 7 km de la bande côtière de la mer Méditerranée.

- Au nord par la commune de Sidi Abdel Rahman,
- Au sud par la commune de Tajna
- Au l'est par la commune d'Abou El Hassan,
- Au l'Ouest par les communes de Marsa et Mossadeq. -zone forestière montagneuse

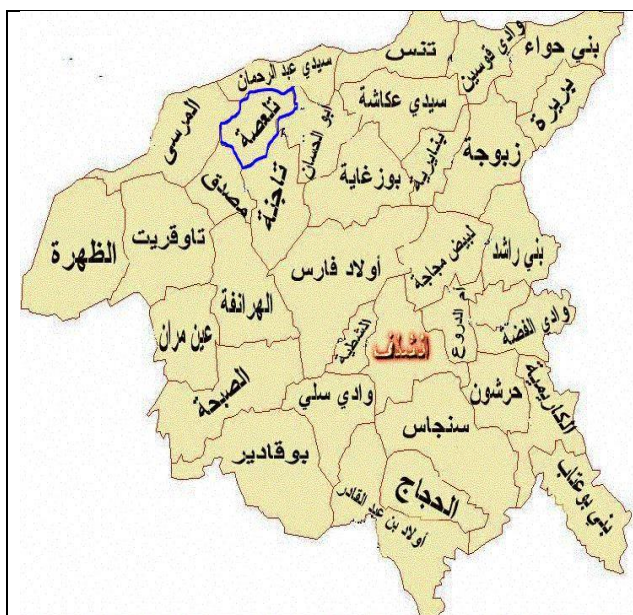


Figure II.1 : Plan de situation de la ville à l'échelle de la wilaya



Figure II.2 : Plan de situation de la ville à l'échelle Mondiale

II.1.1.Superficie et population :

La commune de Talassa occupe une superficie de 94 Km² et compte une population de Selon les statistiques de 2008, environ 11 528 habitants qui vivent dans deux centres de population une colonie centrale et une colonie secondaire à Aghebal. Elles sont réparties dans les zones rurales, comprennent entre la région de Bouqirat située à Aghebal.

II.1.2.Géographie :

Talassa est située dans une région géographiquement diversifiée, avec des plaines fertiles propices à l'agriculture, notamment la culture des céréales, des olives et des fruits. Ces terres agricoles contrastent avec les montagnes qui bordent la région, offrant des paysages spectaculaires et des possibilités d'exploration pour les amoureux de la nature.

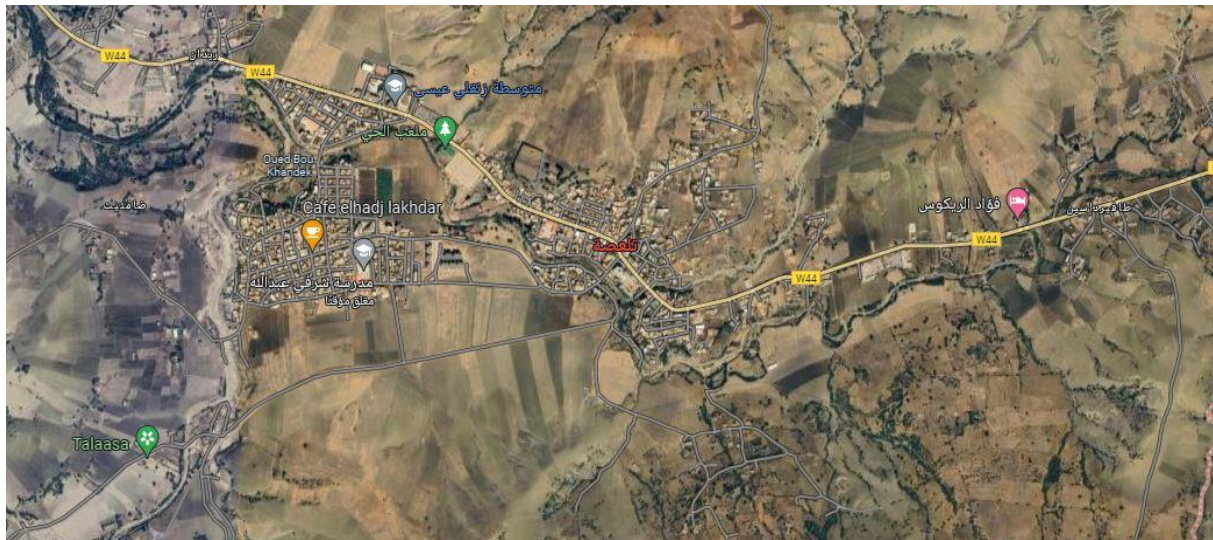


Figure II.4 : Situation géographique de la ville Talassa

Histoire : L'histoire de Talassa remonte à l'Antiquité, avec des vestiges archéologiques qui témoignent de la présence romaine dans la région. Des sites tels que les ruines de temples, de thermes et de villas romaines sont disséminés dans la zone, offrant aux visiteurs un aperçu fascinant de la vie à cette époque. De plus, Talassa a été le théâtre de divers événements historiques, ce qui en fait un lieu d'intérêt pour les historiens et les passionnés d'histoire.

Culture : La culture de Talassa est imprégnée de traditions locales, de musique et de cuisine. Les habitants perpétuent des pratiques et des rituels transmis de génération en génération, ce qui donne à la région une atmosphère authentique et chaleureuse. Les marchés locaux sont des endroits incontournables pour découvrir les produits régionaux et l'artisanat traditionnel, offrant aux visiteurs une immersion complète dans la culture locale.

Économie : L'agriculture reste l'épine dorsale de l'économie de Talassa, avec de nombreuses familles dépendant de la terre pour leur subsistance. Cependant, le tourisme émerge comme un secteur en plein essor, offrant de nouvelles opportunités économiques pour la région. Les initiatives visant à promouvoir le tourisme durable sont en cours, mettant en valeur les richesses naturelles et culturelles de Talassa tout en préservant son environnement.

Attractions touristiques : Outre les sites archéologiques, Talassa offre une gamme d'attractions touristiques, notamment des sentiers de randonnée à travers les montagnes, des cascades pittoresques et des villages traditionnels où les visiteurs peuvent découvrir le mode de vie local. Les festivals culturels et les événements communautaires sont également des moments forts de la vie sociale de la région, offrant aux visiteurs l'occasion de participer à des célébrations locales animées.

II.2.Caractéristiques morphologiques de sous bassin

Plaines : La plaine de la Mitidja est la plus notable dans le bassin de la Chélif. Elle s'étend sur une grande partie de la région, offrant un terrain plat et fertile propice à l'agriculture intensive. Cette plaine est irriguée par plusieurs cours d'eau, y compris la rivière Chélif, ce qui en fait une zone agricole très productive pour la culture de céréales, de fruits et de légumes.

Collines : Les collines dans le bassin de la Chélif sont généralement des terrains vallonnés, offrant des pentes douces et des altitudes modérées. Ces zones sont souvent utilisées pour la culture de cultures plus délicates ou pour le pâturage du bétail. Elles contribuent également à la diversité du paysage de la région.

Montagnes : Les montagnes du bassin de la Chélif, principalement dans la partie nord des monts de Tlemcen, sont caractérisées par des altitudes plus élevées, des pentes escarpées et une végétation dense. Ces montagnes fournissent des ressources naturelles telles que l'eau provenant de sources et de rivières de montagne, ainsi que des habitats pour une variété d'espèces animales et végétales.

Cours d'eau : L'Oued du Chélif est le principal cours d'eau du bassin. Elle prend sa source dans les monts des Bibans et traverse la région avant de se jeter dans la mer Méditerranée. En plus de la Chélif, il existe d'autres rivières et cours d'eau qui sillonnent la région, fournissant de l'eau pour l'irrigation, la consommation humaine et industrielle, ainsi que pour la vie aquatique.

Ressources naturelles : Le bassin de la Chélif est riche en ressources naturelles. Ses sols fertiles sont favorables à une agriculture prospère, tandis que ses montagnes abritent des forêts et des zones boisées importantes. L'eau des rivières et des sources est une ressource vitale pour l'irrigation et la vie quotidienne, tandis que d'autres ressources comme le minerai et les matériaux de construction peuvent également être trouvés dans la région.

En résumé, le bassin de la Chélif est une région géographiquement diversifiée, offrant une combinaison de plaines fertiles, de collines douces et de montagnes escarpées. Ces caractéristiques morphologiques contribuent à la richesse écologique et à la diversité des activités économiques dans la région.

II.2.1.Caractéristique géométrique :

Ces caractéristiques de forme sont utilisées pour décrire, classifier et comparer différents objets géométriques dans divers contextes mathématiques et pratiques, tels que la géométrie analytique, la géométrie euclidienne, la géométrie différentielle, etc. (Caractéristique de forme - Dimensions et mesures - Surface et volume - Forme et symétrie - Convexité et concavité – Angles - Régularité et irrégularité - Aspect et proportion).

Chapitre II : Présentation Générale de la zone d'étude

II.2.1.1. Indice de compacité :

Indice de Gravelius « K_C » Appel aussi indice de forme, cet indice caractérise la forme du bassin, il nous permet de faire une transformation purement géométrique en un rectangle de dimension L et l'ayant la même surface que le bassin versant :

$$K_C = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Avec

P : Périmètre du bassin versant en Km

S : Surface du bassin versant en Km^2 .

En fonction K_C les bassins versants sont classés comme suit :

- ✓ $K_C = 1$ bassin versant circulaire
- ✓ $K_C = 1,2$ bassin versant carré
- ✓ $K_C < 1,2$ bassin versant rectangulaire ou allongé

II.2.2. Rectangle équivalent :

Cette notion a été introduite pour pouvoir comparer les bassins versants entre eux de point de vue de l'influence de leurs caractéristiques géométriques.

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

- Longueur du rectangle équivalent :

$$L = \frac{kc \cdot \sqrt{s}}{1.128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{kc} \right)^2} \right)$$

- Largeur du rectangle équivalent :

$$l = \frac{kc \cdot \sqrt{s}}{1.128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{kc} \right)^2} \right)$$

Bassins versant	Superficie (Km^2)	Périmètre (Km)	K_G	Longueur (Km)	Largeur (Km)
Talassa	70	41.14	1.37	4.40	15.93

Tableau I.1 : Résultat de calcul des dimensions des rectangles équivalents.

II.2.3. Relief

Le relief a une influence remarquable sur l'écoulement, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement. Le relief se détermine lui aussi au moyen d'indices ou de caractéristiques suivants :

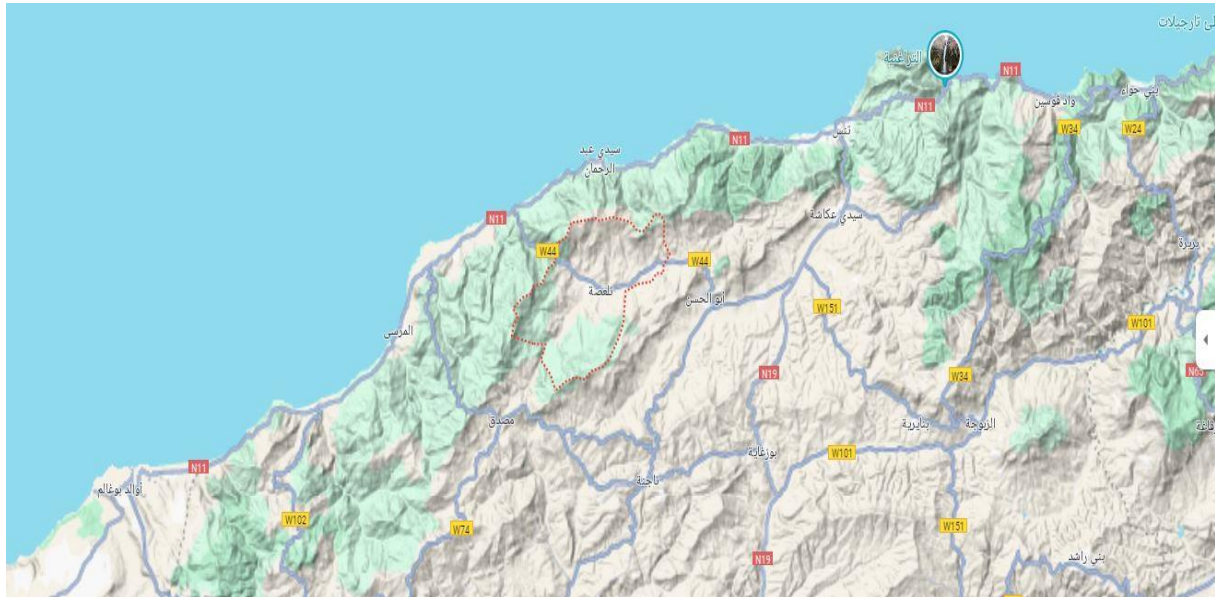


Figure II.5 : Relief de Bassin versant

II.2.3.1. Courbes hypsométriques

Les courbes hypsométriques fournissent 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.

Les courbes hypsométriques demeurent un outil pratique pour comparer plusieurs bassins entre eux ou les diverses sections d'un seul bassin

II.2.4. Altitudes caractéristiques

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 bas, généralement à l'exutoire.

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.

Chapitre II : Présentation Générale de la zone d'étude

L'altitude moyenne H_{moy} est calculée par la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i H_i}{S}$$

Et:

$$H_i = \frac{H_{n+1} + H_n}{2}$$

Avec :

- ✓ H_i : Altitude moyenne entre 2 courbes de niveaux consécutives en (m)
- ✓ S_i : surface partielle comprise entre 2 courbes de niveaux consécutives en (Km^2)
- ✓ S : surface totale du bassin versant en (Km^2)

II.2.5. Indice de pente globale (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. On prend deux points S_1, S_2 sur l'axe des abscisses tels que 90% de la surface du bassin versant soit comprise entre ces deux valeurs et que 5% de la surface totale du bassin versant soit inférieure à S_1 et 5% soit supérieure à S_2 . Les altitudes correspondantes sont lues la courbe hypsométrique.

Il est donné par la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L}$$

Avec :

- ✓ D : Dénivelée entre $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$ (m)
- ✓ L : longueur du rectangle équivalent (Km)

II.2.6. Dénivelée spécifique :

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 le bassin quel que soit sa surface. Elle est donnée par la formule :

$$D_S = I_g \sqrt{S}$$

Avec :

- ✓ D_S : Dénivelée spécifique
- ✓ I_g : Indice de pente global (m/Km)
- ✓ S : Superficie du bassin versant (Km^2)

Chapitre II : Présentation Générale de la zone d'étude

Type du relief	Dénivelée spécifique
Relief très faible	$D_S < 10\text{m}$
Relief faible	$10 < D_S < 25\text{ m}$
Relief assez faible	$25 < D_S < 50\text{ m}$
Relief modéré	$50 < D_S < 100\text{ m}$
Relief assez fort	$100 < D_S < 250\text{ m}$
Relief fort	$250 < D_S < 500\text{ m}$
Relief très fort	$D_S > 500\text{m}$

Tableau I.2 : Classifications du relief en utilisant D_S

Sous Bassin	S(Km ²)	I_g (%)	D_S (m)	Type de relief
Talassa	70	6.80	56.90	Relief modéré

Tableau I.3 : Calcul de dénivelée spécifique des sous bassin versant

II.2.7. Temps de concentration :

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

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

II.3. Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. La différenciation du réseau hydrographique d'un bassin est due à 4 facteurs principaux, la géologie (nature des roches, sensibilité plus ou moins forte à l'érosion), le climat, (densité du réseau plus ou moins importante), la pente du terrain et l'action de l'homme (drainage, construction de barrages, endiguement). Le réseau hydrographique est sans doute une des caractéristiques les plus importantes du bassin, Le réseau hydrographique peut prendre une multitude de formes

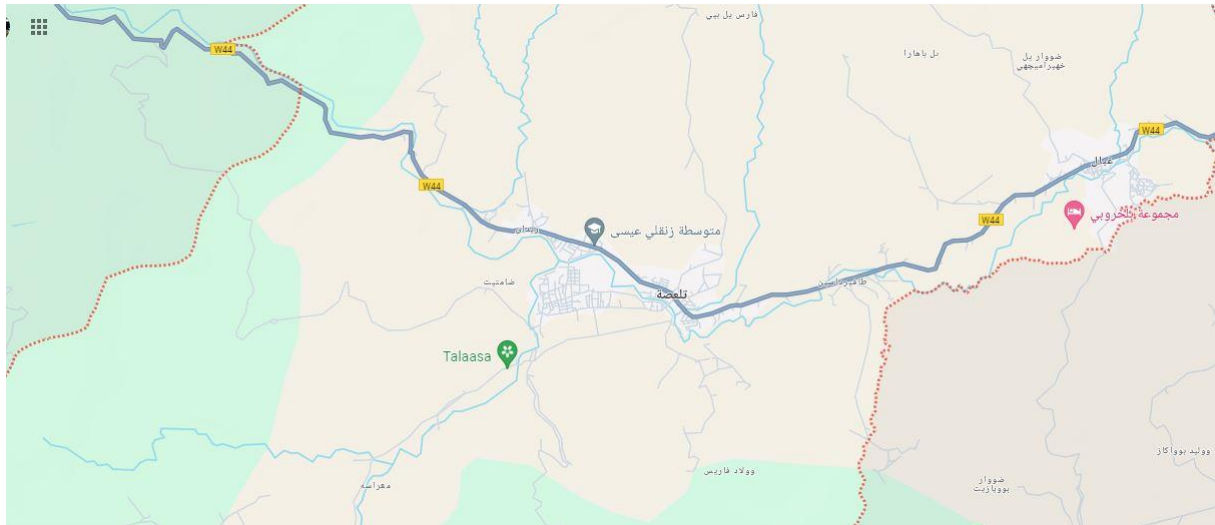


Figure II.6 : Carte Réseau hydrographique

II.3.1. Densité de drainage :

La densité de drainage est définie comme étant le rapport entre la longueur totale de tous les talwegs L_i du bassin versant à la surface totale S . Elle reflète la dynamique du bassin la stabilité du chevelu hydrographique et le type de ruissellement de surface. Elle est exprimée en Km / Km^2 :

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

$$D_d = 0.39 Km^{-1}$$

Avec :

- ✓ D_d : densité de drainage [Km / Km^2]
- ✓ L_i : longueur de cours d'eau [Km]
- ✓ S : surface du bassin versant [Km^2]

- **Écologie** : Le thalweg est également important pour comprendre les écosystèmes fluviaux. Il est souvent associé à une plus grande diversité biologique en raison de sa plus grande stabilité hydrologique et de la disponibilité de ressources telles que la nourriture et l'oxygène.

La longueur du thalweg principal variera en fonction de la longueur totale du cours d'eau et de sa complexité topographique. Il peut également être influencé par des facteurs tels que les méandres et les fluctuations saisonnières du niveau d'eau.

Chapitre II : Présentation Générale de la zone d'étude

- **Aspect géologique** : Talassa se situe dans une région où les caractéristiques géologiques jouent un rôle important dans son développement et son histoire.
- **Formation géologique** : Talassa pourrait être située dans une région où différents types de formations géologiques se rencontrent. Par exemple, des montagnes ou des collines aux alentours pourraient fournir des matériaux de construction, comme la pierre ou le granite.
- **Ressources naturelles** : La géologie de la région pourrait également abriter des ressources naturelles précieuses, telles que des gisements minéraux ou des sources d'eau souterraines. Ces ressources pourraient avoir joué un rôle crucial dans le développement économique de la ville.
- **Risques naturels** : En fonction de sa géologie, Talassa pourrait être sujette à certains risques naturels, tels que des glissements de terrain, des séismes ou des inondations. Les habitants de la ville pourraient avoir développé des stratégies spécifiques pour faire face à ces dangers.
- **Topographie** : La géologie de la région influencerait également la topographie de la ville. Des vallées, des rivières ou des zones marécageuses pourraient avoir une incidence sur la planification urbaine et la répartition des quartiers résidentiels et commerciaux.

II.4.Couvert végétal : La forêt touristique d'Ouamshash est située dans la municipalité de Talassa, à environ 5 km du siège de la municipalité, et sa hauteur est de plus de 850 mètres et surplombe les montagnes d'Al-Wuncheris. Avec des arbres rares.



Figure II.7 : Forest de Talassa côté nord



Figure II.8 : Forest de Talassa côté Sud

Chapitre III

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'objectif de l'étude effectuée dans ce chapitre est de présenter, une approche hydrologique afin d'essayer de comprendre le fonctionnement hydrologique et de déterminer les différentes caractéristiques du bassin versant de la ville de **TALASSA** dans le but d'estimer les périodes de retours et de déterminer les débits de crue nécessaire pour la conception des aménagements requis du oued **Boukhandek** qui serviront dans la protection contre les inondations.

III.1. Les caractéristiques climatiques du bassin versant

Les caractéristiques climatiques du bassin versant de la commune de **TALASSA** dans la wilaya de Chlef, en Algérie, sont généralement influencées par le climat méditerranéen. Voici quelques éléments typiques de ce climat :

III.1.1. Sources des données :

Les données climatologiques sont fournies par différents secteurs spécialisés dans le relevé, le traitement et le stockage des données.

ONM de Chlef (Office National de Météorologie)

ANRH de Chlef (Agence Nationale des Ressources Hydraulique)

ABH de chlef (Agence de bassin hydrographique)

III.1.2. Températures

Les températures ont un rôle très important dans le phénomène de l'évapotranspiration et de l'établissement du bilan hydrique, ainsi que dans la détermination des critères climatique d'une région.

Chapitre III : Caractéristique Hydrologiques du bassin versant

Mois	T (max) °C	T (min) °C	T (moy) °C
Janvier	15	8	11.50
Février	18.20	8.60	13.40
Mars	20.10	10	15.05
Avril	22	10.80	16.04
Mai	24.40	14	19.20
Juin	26.30	16.30	21.30
Juillet	29.90	12	22.45
Août	27	19.10	23.05
Septembre	24.80	17.30	21.05
Octobre	24.20	15.90	20.05
Novembre	19.80	11	15.40
Décembre	18	9	13.5

Tableau III.1 : Répartitions mensuelles des températures 2012

Avec:

T (max) : températures moyennes mensuelles maximales.

T (min): températures moyennes mensuelles minimales

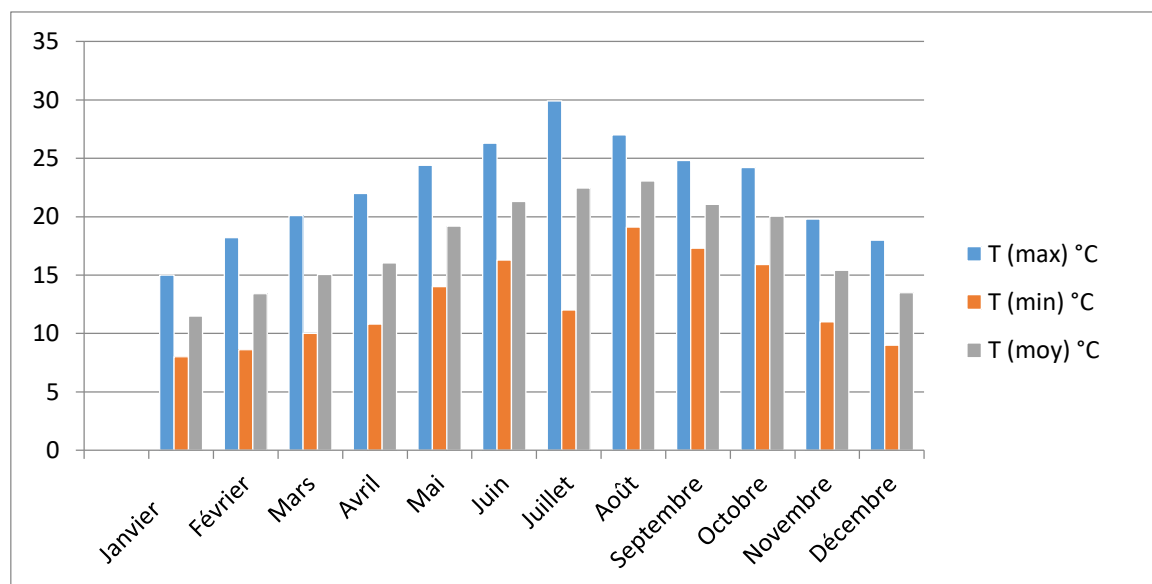


Figure III.1 : Histogramme Répartitions mensuelles des températures

Chapitre III : Caractéristique Hydrologiques du bassin versant

III.1.3. Humidité Relative

L'humidité peut varier en fonction de la proximité de la mer et des masses d'air qui traversent la région. Les mois d'été peuvent être relativement secs, avec une humidité plus faible, tandis que l'humidité peut augmenter pendant les mois d'hiver, en particulier lorsqu'il pleut.

III.1.4. Les vents

Le phénomène du vent est un facteur aussi prépondérant à l'implantation de certains ouvrages. La force du vent est estimée à la moyenne pendant la période qui s'étale entre 1987 et 2012, les résultats sont présentés dans le tableau suivant

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
V(moy) m/s	1.9	2.3	2.4	2.7	2.8	2.9	2.8	2.6	2.3	2.2	2.1	2.1

Tableau III .2 : Vitesse des vents la moyenne mensuelle 2012

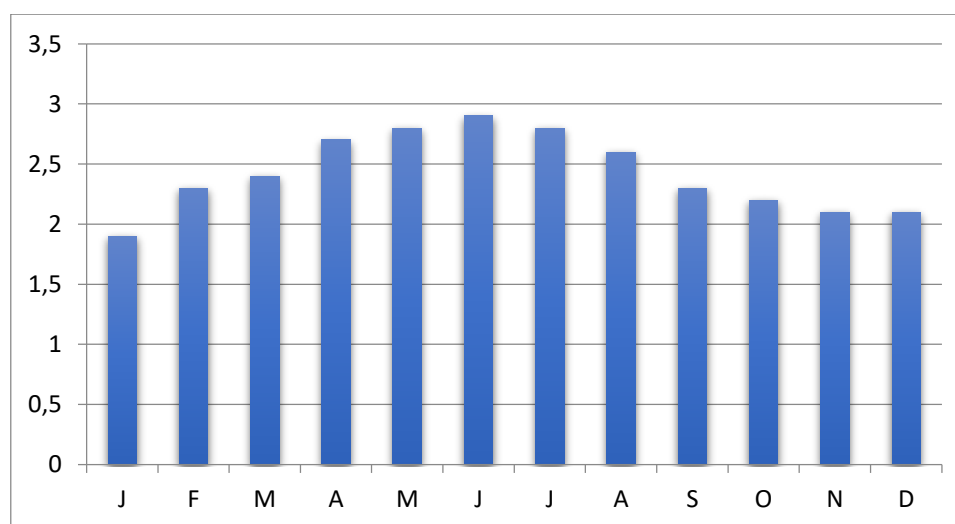


Figure. III.2 : Histogramme de Vitesse des vents la moyenne mensuelle

III.1.5. L'évaporation : L'évaporation intervient dès le moment où les précipitations atteignent la surface du sol. C'est un facteur essentiel pour établir un bilan hydro climatique d'un bassin versant.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Σ
E (mm)	61	63	65	70	71	78	78	81	74	74	63	63	843
%	7.24	7.47	7.71	8.30	8.42	9.25	9.25	9.61	8.78	8.78	7.71	7.41	100

Tableau III.3 : Evaporation moyenne mensuelle 2012

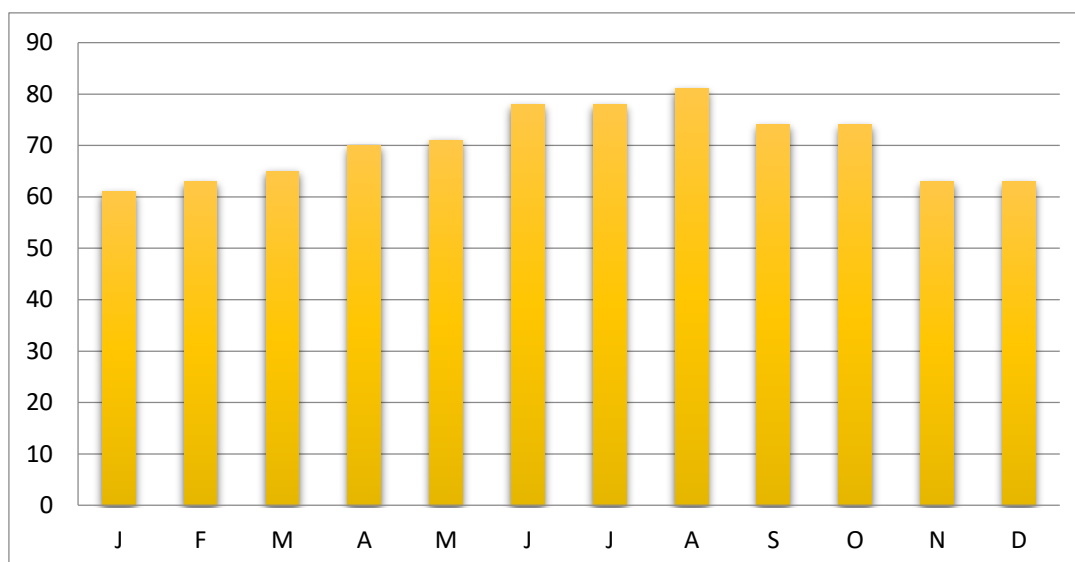


Figure III.3 : Histogramme de l'évaporation annuelle moyenne

III.1.6. L'évapotranspiration

La combinaison de l'évaporation directe de l'eau de surface, comme les lacs ou les sols humides, et de la transpiration des plantes.

L'évapotranspiration est généralement élevée pendant les mois d'été en raison des températures élevées, de l'ensoleillement abondant et des faibles taux d'humidité.

Les plantes, y compris les cultures agricoles et la végétation naturelle, contribuent de manière significative à l'évapotranspiration, surtout pendant les périodes de croissance active.

Pendant les périodes de précipitations saisonnières, l'évapotranspiration peut être temporairement réduite, mais elle reprend généralement lorsque les conditions sèches reviennent.

Les facteurs climatiques tels que la température, l'humidité, le vent et l'ensoleillement influencent tous l'évapotranspiration.

III.1.7. Précipitations

La région connaît un régime de précipitations méditerranéen, avec des hivers plus pluvieux et des étés relativement secs.

Les mois d'octobre à avril sont généralement les plus pluvieux, avec des précipitations modérées à abondantes. Les précipitations peuvent être sous forme de pluie, mais dans les zones montagneuses environnantes, elles peuvent également se présenter sous forme de neige.

Les mois d'été, en particulier de juin à août, sont plus secs, avec peu ou pas de précipitations.

III.2. Analyse des données pluviométriques

III.2.1. Pluie moyenne annuelle

Avant d'évaluation les précipitations sur les bassins versant nous avons analysées les données disponibles à la station pluviométriques.

Les paramètres de la station pluviométrique de **Abou el Hassen**, considérée la plus proche au bassin sont :

Station	code	source	Coordonnées			Années d'observation	N
			X (km)	Y (km)	Z (m)		
Abou El Hassen	020201	ANRH	366.231	347.763	6	1987-2012	25

Tableau III.4 : La station pluviométrique

III.2.2. Pluies maximales journalières

L'estimation des pluies maximales journalières est souvent la génératrice de crues exceptionnelles. Pour cela, il est important d'effectuer un ajustement statistique d'une loi théorique à la série d'observations afin de déterminer les précipitations maximales journalières fréquentielles.

Chapitre III : Caractéristique Hydrologiques du bassin versant

Années	JNV	FEV	MRC	AVR	MIA	JUI	JUIT	AOUT	SPT	OCT	NOV	DCM	MAX
1987	42.7	8.9	50.3	12	61.4	4	0	0	0	5.1	33.9	36.3	61.4
1988	5.5	7.2	92.1	28.8	0.4	26.7	0	0	17.7	6.2	43.6	122	92.1
1989	10.7	0	20.7	12.7	36.2	0	0	0	13.9	2.7	15.9	10.6	36.2
1990	37.1	18.3	59.9	8.1	26.2	26.5	0	0	0	45.6	37.5	36.8	59.9
1991	49.8	17.5	45.4	24.9	22.6	22.5	5.9	0	0	64.3	36.6	6.3	64.3
1992	10.1	36.9	4.8	12.7	21.7	0	0	0.4	0	20.3	26	20.8	36.9
1993	16.7	29	3.8	9.8	11.8	0	0	0	7.5	10.2	9.1	14.4	29
1994	15.8	27	37.9	6.5	0	1.6	0	25.5	20.5	27.9	20.7	29.6	37.9
1995	9.1	17.7	19.8	20.9	21.3	0	14.9	0	31.4	2.4	31.8	12.3	31.8
1996	15.8	7.3	0	69.2	2.4	0	0	6.9	25.5	11.2	5.2	11	69.2
1997	6.4	10.2	23.1	30.2	23.7	0	0	2.2	17.4	32.6	25	14.9	32.6
1998	98	24	24.4	3.2	0	0	0	0	9.8	24.6	8	6	98
1999	12.4	0	5.9	4.7	26.3	0	0	0	24.2	9.8	19.8	86.2	86.2
2000	15.2	14.1	0	10.9	6.5	0	0	0	22.8	0	27.9	12	27.9
2001	24.8	2.2	19.3	16.4	30.8	0	0	0	3.2	0	166.5	12.8	166.5
2002	29.2	14.7	7.1	14.1	23.7	0	0	0	0	10.5	50.4	6.6	50.4
2003	13.6	23.1	25.3	12.3	23	5.4	0	0	0	18.1	22.6	22.8	25.3
2004	6.5	40	12.6	0.8	0	0	0	0	0	19.6	28.5	29.3	40
2005	55.8	39.9	5.2	4.1	87.7	17.8	0	0	0	10	23.8	33.8	87.7
2006	10.2	10.6	18.8	33.5	8.4	0	0	0	6.6	0	2.1	43.1	43.1
2007	10.7	20.5	14.9	6.6	12.4	8.6	6.5	0	20.1	49	91.1	9	91.1
2008	0	7.3	16	17.1	3.4	0	0	0	5.6	5.5	82.1	26.5	82.1
2009	12.7	40.5	25.3	18.4	16.6	12.4	0	33.3	8.8	0	20.4	56.1	56.1
2010	31.9	63.6	6.3	12.2	0	2.3	0	0	2.3	25.5	18.7	19.5	63.6
2011	24.4	46.2	11.2	47.9	0	0	0	0	2.7	9.9	31.6	15.3	47.9
2012	15.3	24	9.7	74.2	0	0	0	0	0	0	39.1	0	74.2

Tableau III.5 : Série des pluies maximales journalières à la station Abou el Hassen

III.3. Les précipitations maximales journalières

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

Pour notre étude on passe par les étapes suivantes:

Année	P_{maxj}	Année	P_{maxj}	Année	P_{maxj}	Année	P_{maxj}
1987	61.4	1994	37.9	2001	166.5	2008	82.1
1988	92.1	1995	31.8	2002	50.4	2009	56.1
1989	36.2	1996	69.2	2003	25.3	2010	63.6
1990	59.9	1997	32.6	2004	40	2011	47.9
1991	64.3	1998	98	2005	87.7	2012	74.2
1992	36.9	1999	86.2	2006	43.1		
1993	29	2000	27.9	2007	91.1		

Tableau III.6 : Série des précipitations maximales journalières

- 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	Valeurs
La somme (P_{maxj})	1591.4 (mm)
Moyenne (P_{maxj})	63.66 (mm)
Ecart type	27.75
Coefficient de variation (C V)	0.43
L'exposant climatique	0.42

Tableau III.7 : Caractéristiques de la série avec N=25ans

III.3.1. Choix de la loi d'ajustement

Comme il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométrique. L'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de la loi de probabilité. De la taille de l'échantillon et de certaines caractéristiques de l'échantillon. 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.

Dans notre étude on va utiliser les deux lois suivantes :

- 1) la loi de GUMBEL
- 2) la loi de GALTON (log-normal).

L'ajustement des pluies maximales journalières sera traité par **logiciel HYFRAN**. On a effectué l'ajustement de la série des pluies maximales journalières dans notre cas les deux lois suivantes.

La loi de **Gumbel** (doublement exponentielle). Galton (log normale). Avec une comparaison des graphes de régression obtenue par les ajustements.

III.3.2. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL

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

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

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)

x₀ : ordonnée à l'origine en (mm)

On peut écrire :

$$y = - \ln (- \ln (F(x)))$$

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

- classer les valeurs des précipitations par ordre croissant avec attribution d'un rang 1.2.3.....n

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

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

m : rang de précipitation

n : nombre d'observations(25)

Chapitre III : Caractéristique Hydrologiques du bassin versant

Calculer la variable réduite de GUMBEL donnée par la formule suivante :

$$y = - \ln (-\ln (F(x))).$$

Gumbel (Méthode des moments)

Résultats de l'ajustement

Nombre d'observations: 25

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

$T = 1 / (1-q)$

Période de retour (ans)	Fréquence au non dépassement	XT (mm)	Ecart type	Intervalle de confiance 95%
100	0.99	162	24.7	113 - 210
50	0.98	144	21.2	102 - 185
20	0.95	120	16.6	87.5 - 153
10	0.9	102	13.2	75.9 - 127
5	0.8	82.5	9.74	63.4 - 102
2	0.5	53.6	5.78	42.2 - 64.9

Tableau III.8 : Résultats de l'ajustement à la loi de Gumbel

Gumbel (Méthode des moments)	Carac.de l'échantillon
Minimum	25.3
Maximum	166.5
Moyenne	63.66
Ecart type	27.75
Médiane	58
Coefficient de variation (C V)	0.5

Tableau III.9 : Caractéristiques de l'échantillon

Résultats :

Résultat de la statistique : $X^2 = 5.41$

P-value : $P = 0.2480$

Degrés de liberté : 4

Nombre de classes : 7

On peut accepter H0 au niveau de signification de 5%.

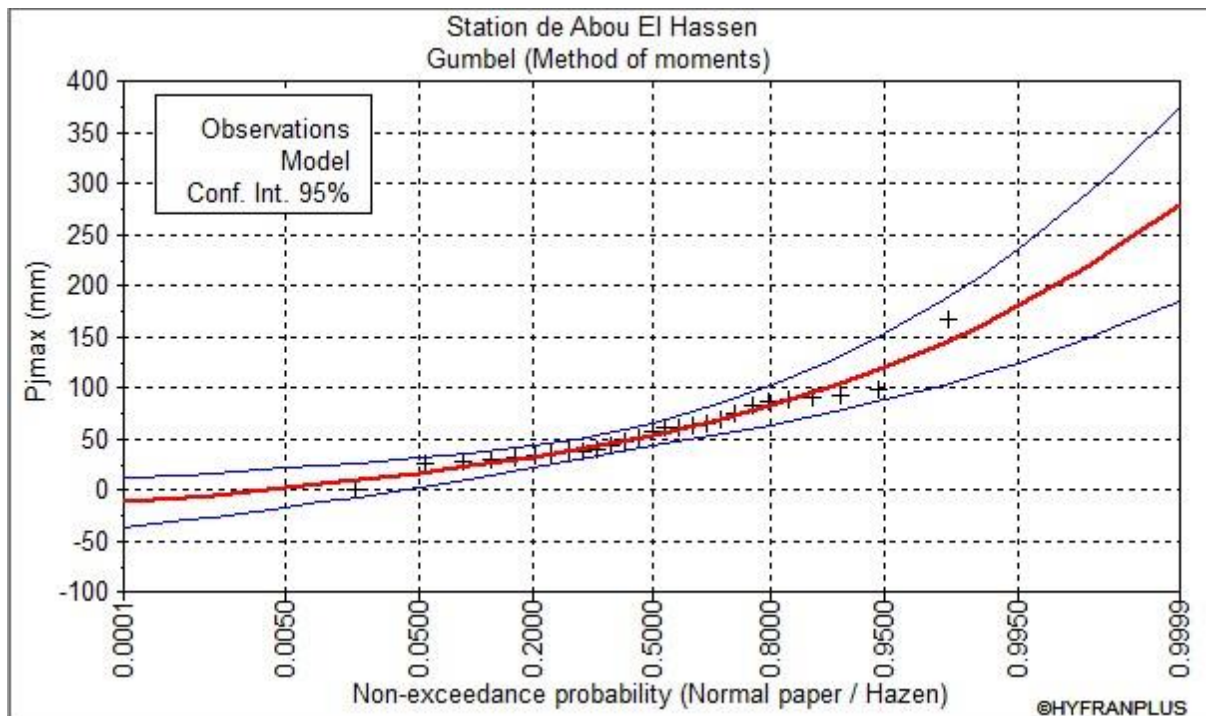


Figure III.4 : Ajustement à la loi de Gumbel

III.3.3. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON

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 (normal/Hazen).

La loi de **GALTON** a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

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

Ou :

$$u = \frac{Xi - \bar{X}}{\sigma_x}$$

- \bar{X} : La moyenne de l'échantillon
- σ_x : L'écart-type de l'échantillon

L'équation de la droite de GALTON est la suivante

$$\text{Log}X = \sum_{i=1}^{25} \text{Log}Xi$$

Galton (Log -Normal)

Nombre d'observations : 25

q = F(X) (probabilité au non dépassement) T = 1/ (1-q)

Chapitre III : Caractéristique Hydrologiques du bassin versant

Log normale (Maximum de vraisemblance)

Période de retour (ans)	Fréquence au non dépassement	XT (mm)	Ecart type	Intervalle de confiance 95%
100	0.99	165	29.8	106 - 223
50	0.98	145	24	97.7 - 192
20	0.95	119	17.1	85.7 - 153
10	0.9	100	12.7	75.6 - 125
5	0.8	81.6	8.84	64.3 - 98.9
2	0.5	54.8	5.08	44.9 - 64.8

Tableau III.10 : Résultats de l'ajustement à la loi de GALTON

GALTON (Méthode des moments)	Carac.de l'échantillon
Minimum	25.3
Maximum	166.5
Moyenne	63.66
Ecart type	27.75
Médiane	58
Coefficient de variation (C V)	0.5

Tableau III.11 : Caractéristiques de l'échantillon

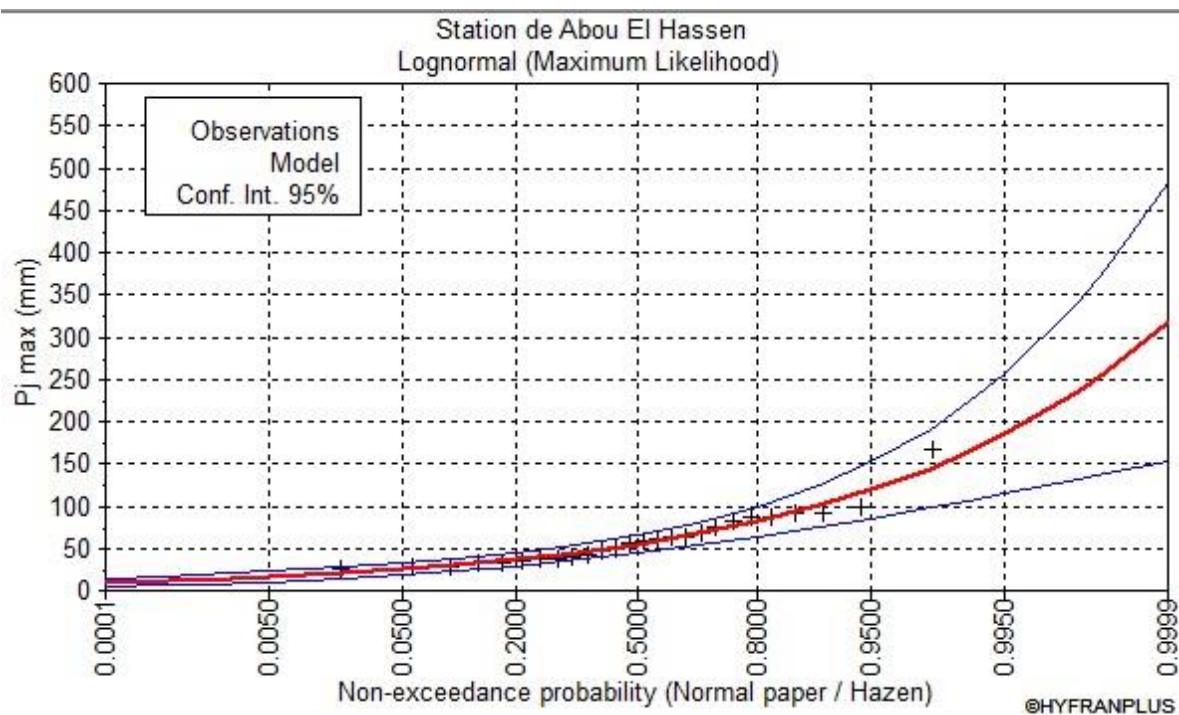


Figure III.5 : Ajustement à la loi Log- normal

III.3.4. Comparaison entre les deux lois d'ajustement

La figure III.9 montre la comparaison entre les deux lois d'ajustement (Loi de Gumbel et loi de Galton).

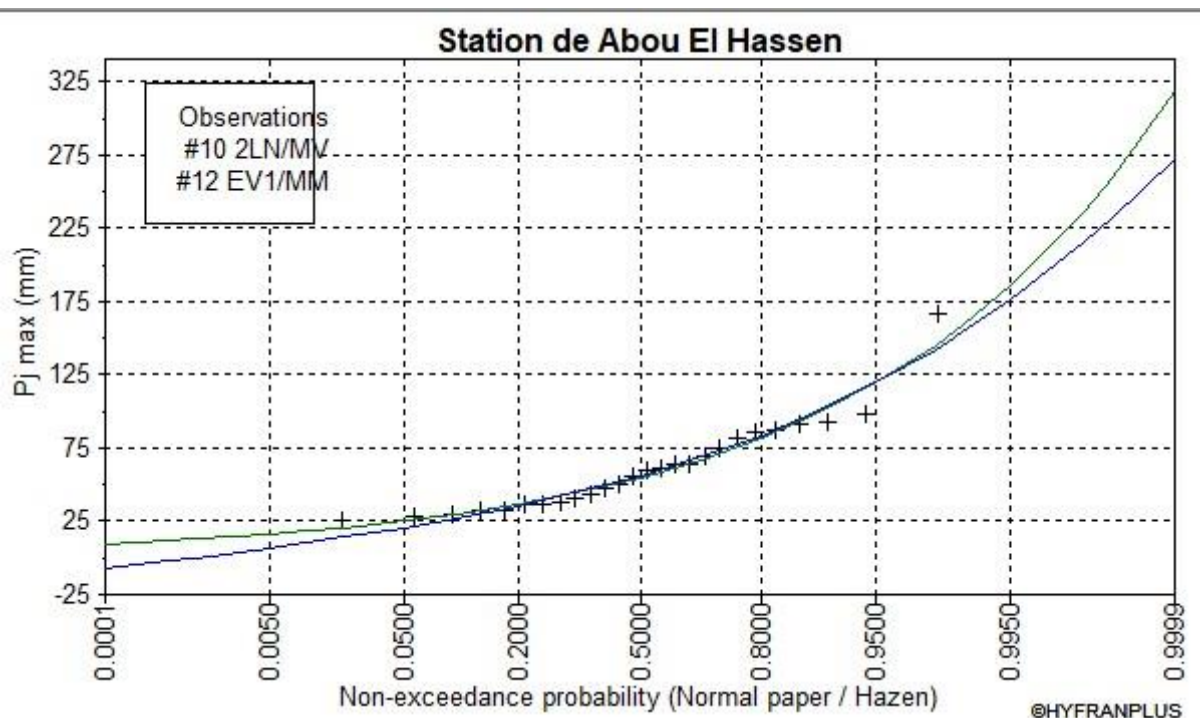


Figure III.6 : Comparaison entre les deux lois d'ajustement

III.4. Pluies de courte durée

Le passage des pluies journalières maximales aux pluies de courtes durées est effectué au moyen de la formule K. Body

$$P_t = P_{max_j} \left(\frac{t}{24} \right)^b$$

Avec :

P_{max_j} : Pluie maximale journalière pour la même fréquence (mm).

t : Durée de l'averse (heures).

b : Exposant climatique (le coefficient b régional est égal à 0.42)

Les intensités maximales de période

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

Avec :

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

P_{tc} : Pluies de courte durée (mm)

Chapitre III : Caractéristique Hydrologiques du bassin versant

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

PDR	2		5		10		20		50		100	
T(h)	P_{Ct}	I_t	P_{Ct}	I_t	P_{Ct}	I_t	P_{Ct}	I_t	P_{Ct}	I_t	P_{Ct}	I_t
1	14,42	14,42	21,48	21,48	26,32	26,32	31,32	31,32	38,17	38,17	43,43	43,43
2	19,30	9,65	28,74	14,37	35,22	17,61	41,91	20,95	51,06	25,53	58,11	29,05
3	22,88	7,63	34,07	11,36	41,75	13,92	49,69	16,56	60,54	20,18	68,89	22,96
4	25,82	6,46	38,45	9,61	47,12	11,78	56,07	14,02	68,32	17,08	77,74	19,44
5	28,36	5,67	42,22	8,44	51,75	10,35	61,58	12,32	75,03	15,01	85,38	17,08
6	30,61	5,10	45,59	7,60	55,86	9,311	66,48	11,08	81	13,5	92,18	15,36
7	32,66	4,67	48,63	6,95	59,6	8,514	70,93	10,13	86,42	12,35	98,34	14,05
8	34,55	4,32	51,44	6,43	63,04	7,88	75,02	9,377	91,41	11,43	104	13
9	36,30	4,03	54,05	6,01	66,24	7,36	78,82	8,758	96,04	10,67	109,3	12,14
10	37,94	3,79	56,49	5,65	69,23	6,923	82,39	8,239	100,4	10,04	114,2	11,42
11	39,49	3,59	58,80	5,35	72,06	6,551	85,75	7,796	104,5	9,499	118,9	10,81
12	40,96	3,41	60,99	5,08	74,74	6,229	88,94	7,412	108,4	9,031	123,3	10,28
13	42,36	3,26	63,08	4,85	77,3	5,946	91,98	7,076	112,1	8,622	127,5	9,811
14	43,70	3,12	65,07	4,65	79,74	5,696	94,89	6,778	115,6	8,259	131,6	9,398
15	44,98	3,00	66,98	4,47	82,09	5,472	97,68	6,512	119	7,935	135,4	9,029
16	46,22	2,89	68,82	4,30	84,34	5,271	100,4	6,273	122,3	7,643	139,2	8,698
17	47,41	2,79	70,60	4,15	86,52	5,089	103	6,056	125,4	7,379	142,8	8,397
18	48,56	2,70	72,31	4,02	88,62	4,923	105,5	5,859	128,5	7,139	146,2	8,123
19	49,68	2,61	73,97	3,89	90,65	4,771	107,9	5,678	131,4	6,918	149,6	7,873
20	50,76	2,54	75,58	3,78	92,63	4,631	110,2	5,511	134,3	6,716	152,8	7,642
21	51,81	2,47	77,15	3,67	94,55	4,502	112,5	5,358	137,1	6,528	156	7,429
22	52,83	2,40	78,67	3,58	96,41	4,382	114,7	5,215	139,8	6,354	159,1	7,231
23	53,83	2,34	80,15	3,48	98,23	4,271	116,9	5,082	142,4	6,193	162,1	7,047
24	54,80	2,28	81,60	3,40	100	4,167	119	4,958	145	6,042	165	6,875

Tableau III.12 : Pluies et intensités maximales de durée t (h) et de périodes retour

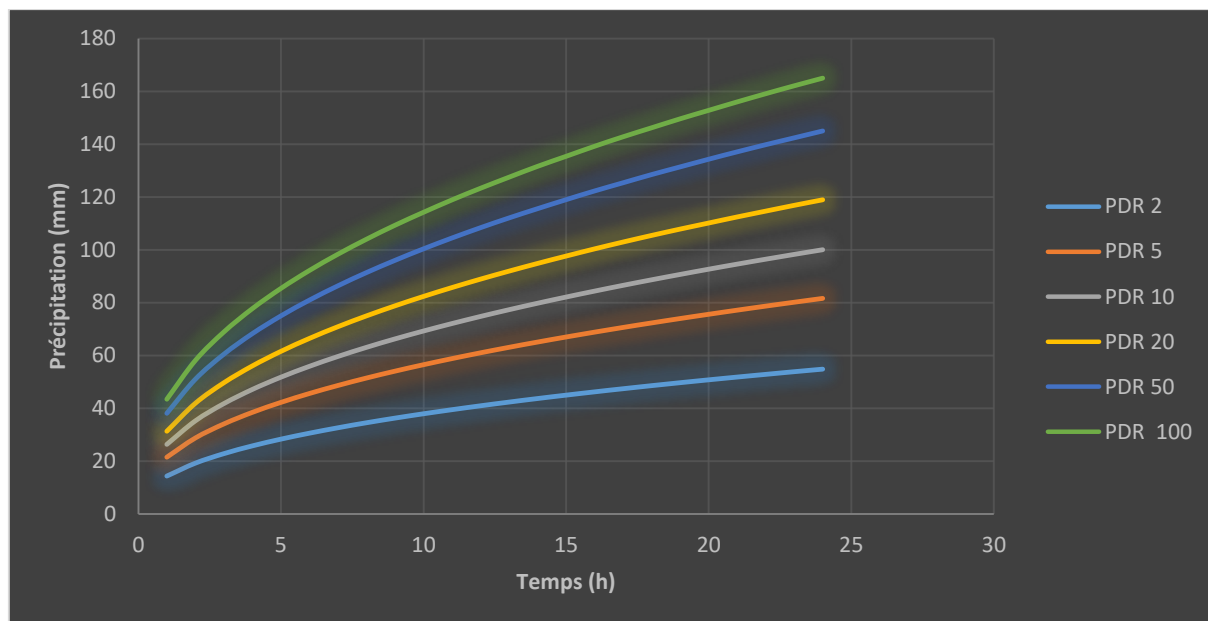


Figure III.7 : courbes des pluies fréquentielles

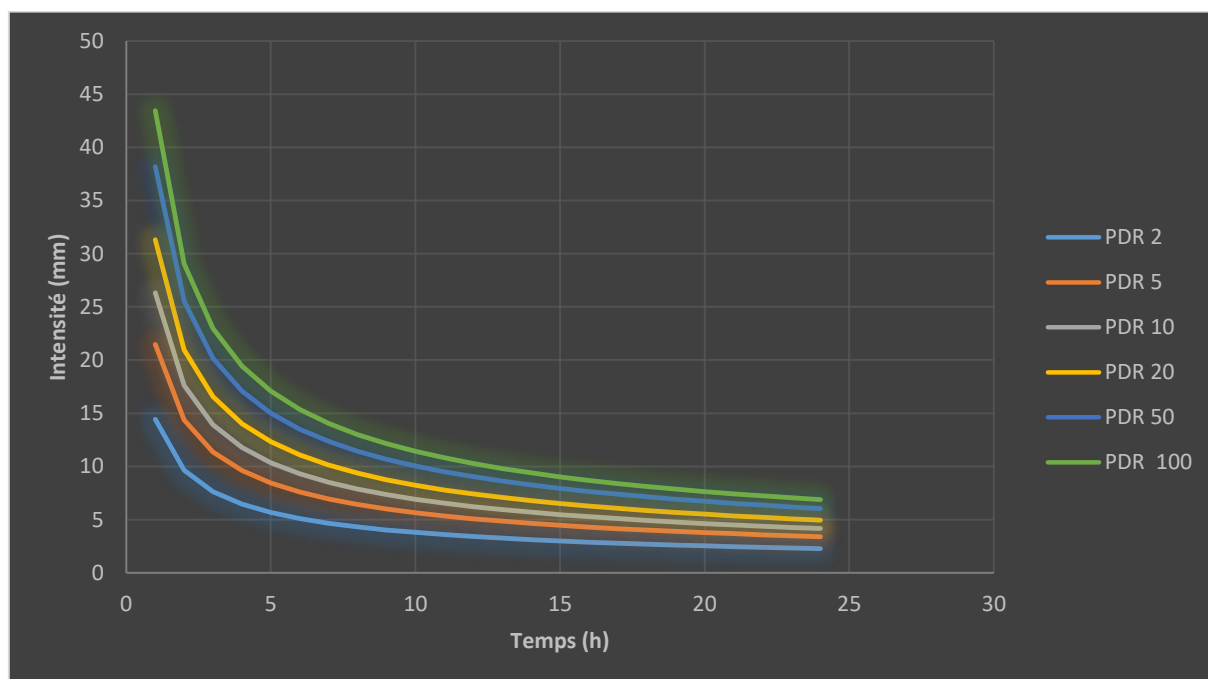


Figure III.8 : Courbes intensité -durée -fréquence

III.4.1. Apports Liquides

Apport moyen interannuel

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

Formule de SAMIE III :

- La lame d'eau :

$$L_e = P^2 (293 - 2.2 * S^{0.5})$$

- Apport annuel moyen :

$$A_0 = L_e * S$$

Avec :

- ✓ P : pluie moyen annuel.
- ✓ T : temps d'une année en secondes=31.536*10⁶ s
- ✓ S : superficie du bassin versant.

Formule de l'ANRH :

$$A = 0.915 * S^{0.842} * \bar{P}^{2.684}$$

Avec :

- ✓ S : Surface du bassin versant (km²).
- ✓ \bar{P} : Pluie moyenne annuelle (mm).

Formules	Résultats	
	L_e (mm)	A_0 (Mm ³)
SAMIE III	11.13	0.779
ANRH	0.069	2.272

Tableau III.13 : Résultats des Formules

Pour notre on a opté pour la valeur obtenue par la formule de SAMIE III elle est la valeur la plus proche de la valeur moyenne des deux formules.

III.4.2. Les écoulements

- **Module de l'écoulement**

Il est donné par la relation suivante :

$$M_e = \frac{A}{T}$$

Avec :

- ✓ **A** : Apport moyen annuel [litres].
- ✓ **T** : Temps d'une année en [secondes] "T = 31.536*10⁶ secondes"

- **Module de l'écoulement relatif ou spécifique**

$$M_0 = \frac{M_e}{S}$$

Avec :

- ✓ **Me** : Module de l'écoulement [l/s].
- ✓ **S** : Superficie du bassin [Km²].

- **Lame d'eau écoulée**

$$L_e = \frac{A_0}{S}$$

Avec :

- ✓ **A0** : Apport moyen annuel [litres].
- ✓ **S** : Superficie du bassin Km²

- **Coefficient de l'écoulement**

Il est donné par :

$$C_e = \frac{L_e}{P_{\text{moy}}}$$

Avec :

- ✓ **P_{moy}**: Pluie moyenne annuelle en [mm]
- ✓ **Le** : Lame d'eau écoulée en [mm].

Chapitre III : Caractéristique Hydrologiques du bassin versant

IV.2.4. Coefficient de variation

Pour le calcul du coefficient de variation CV et en absence d'une série d'observation, on doit utiliser les formules empiriques :

♣ Formule de SOKOLOVSKY

$$C_v = a - 0.063 \log_{10}(S + 1)$$

On a :

$$a = 0.78 - 0.29 \log_{10} M_0$$

Avec :

✓ M_0 : Module de l'écoulement relatif [l/s/km²].

♣ Formule d'OURKGUIPROVODKHOZ

$$C_v = \frac{0.7}{M_0 - 0.127}$$

Avec :

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

♣ Formule de L'ANTONOV

$$C_v = \frac{0.7}{(S + 1000)^{0.097}}$$

Avec :

✓ S : Superficie du bassin en [km²]

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

M_e (L/S)	M_0 (L/S/Km ²)	L_e (mm)	C_e	CV		
				F-SOKOL	F-OURK	F-ANTO
72.04	1.029	32.45	0.510	0.65	0.70	0.35

Tableau III.14 : Les caractéristiques de l'écoulement

III.4.3. Apport solide

Formule de TIXERONT :

Cette formule donne l'apport solide moyen annuel en suspension en (t/Km²/An), elle est exprimée par:

$$E_s = a * L_e^{0.15}$$

$$E_s = 589.86 \text{ t/Km}^2/\text{an}$$

Chapitre III : Caractéristique Hydrologiques du bassin versant

Avec :

- ✓ E_s : apport solide moyen annuel en suspension ($t/Km^2/an$).
- ✓ L_e : lame d'eau écoulée.
- ✓ α : paramètre caractérisant la perméabilité du bassin versant ($\alpha = 350$)

Densité = $1,6 t/m^3$

On a :

$$V_s = \frac{E_s * S}{\gamma}$$

$$V_s = 25806.375 m^3 / an$$

Avec :

- ✓ V_s : Apport solide (m^3 / an).

Le tableau III.17 résume les résultats des apports liquides et solides de notre bassin versant.

Taux d'érosion ($t/Km^2 / an$)	589.86
apport liquide (m^3 / an)	2272854
apport solide (m^3 / an)	25806.375
Apport total (m^3 / an)	2 299250.235

Tableau III.15 : Récapitulatif des apports liquides et solides du bassin versant

III.5. Etude de crues

- **Différentes méthodes d'évaluation des crues**

La détermination des crues repose largement sur les données disponibles. Chaque situation est unique en raison des variations des conditions et des données, ce qui signifie que la disponibilité des données influence davantage la procédure que la nature spécifique des problèmes. À ce jour, il n'existe pas de méthode universelle pour calculer les crues. Les approches varient également en fonction de l'analyste en charge de l'étude.

Nous rappelons ci-dessous les différentes méthodes de calcul des crues

- Méthodes empiriques
- Méthodes probabilistes
- Méthodes historiques
- Méthodes déterministes

Chapitre III : Caractéristique Hydrologiques du bassin versant

Dans notre étude on va utiliser les méthodes empiriques

III.5.1.Méthodes empiriques

Reposent sur des relations établies entre le débit, la surface du bassin versant, les précipitations et la période de retour, telles que les formules de Greager, Fuller, Snyder, Possenti, et d'autres encore.

III.5.2.Temps de concentration « T_c »

Le temps de concentration T_c est défini comme étant la durée que met une goutte d'eau qui tombe à un point élevé du bassin versant pour atteindre l'exutoire. Pour le calcul du temps de concentration, on utilise trois (3) formules empiriques qui sont applicables en Algérie. Le temps de concentration est exprimé par les formules suivantes :

- **FORMULE DE GIANDOTTI :**

Elle s'écrit comme suit :

$$T_{c1} = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.80 \sqrt{H_{\max} - H_{\min}}}$$

Avec :

- ❖ **S** : Surface du bassin versant en Km^2
- ❖ **L** : Longueur du cours d'eau principal en (Km).
- ❖ **H_{\max}** : La hauteur max du B.V. en (m).
- ❖ **H_{\min}** : La hauteur minimale du B.V. en (m).

B.V	SB
S (km^2)	70
L (km)	25
H_{\max} (m)	600
H_{\min} (m)	200
T_c	4.43

Tableau III.16 : Résultat de formule GIANDOTTI.

- **FORMULE DE S.C.S :**

Cette formule est employée aux états unis (USA), elle a été établie par l'organisme C.C.P (Californie Cul vert Practice) et décrite sous la forme suivante :

$$T_{c2} = \left(0.85 \times \frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0.385}$$

Avec :

- **L** : Longueur du cours d'eau principal en (Km).
- **H_{max}**: Altitude maximale du bassin versant en (m).
- **H_{min}**: Altitude minimale du bassin versant en (m).

B.V	SB
L(Km)	25
H_{max}(m)	600
H_{min}(m)	200
T_c	3.85

Tableau III.17 : Résultat de T_{c3} formule de S.C.S

Les formules utilisées pour le calcul du temps de concentration sont des formules empiriques dont l'application reste valable en Algérie. Pour notre cas, on prend le temps de concentration ayant une valeur moyenne parmi les valeurs trouvées pour des raisons de sécurité.

B. V	SB
T_{c1}	4.43
T_{c2}	3.85
T_{C moy}	4.14

Tableau III.18 : Résultat de temps de concentration

III.5.3. Application sur les bassins versants

D'après les données morphologiques et pluviométriques existantes une évaluation des débits de pointes des crues sera faite à partir de formules empiriques : Mallet – Gauthier, Terazza, et Sokolovski. Ces relations sont celles qui traitent au mieux les petits bassins.

Chapitre III : Caractéristique Hydrologiques du bassin versant

- **Formule de Sokolovski**

Le débit maximum probable est donné par la formule suivante :

$$Q_{max} = \frac{0.28 * P_t * F * \alpha * S}{T_m}$$

Avec :

- ✓ Q_{max} : Débit max des crues (m³ /s)
- ✓ P_t : quantité des pluies en (mm) de durée T en heures
- ✓ α : Coefficient de ruissellement.
- ✓ $T_m = T_c$: temps de montée de la crue en heures
- ✓ S : superficie du bassin versant en (km²)
- ✓ F : coefficient de forme (F=1.3)

Avec:

$$\alpha = 0.45 // F = 1.3 // S = 70 \text{ Km}^2 // T_m = T_c = 4.14$$

Calcule P_t :

$$P_t = P_{24\%} \times \left(\frac{T_c}{24}\right)^b$$

Avec :

- $P_t(\%)$: Pluies de durée voulue et fréquence voulue.
- $P_{24\%}$: Pluie durant 24 heures et de fréquence voulue.
- b : Exposant climatique $b= 0.42$
- T_c : Temps de concentration

Période de retour	5	10	20	50	100
$P_{24\%}$	58.95	72.26	85.98	104.76	119.22
P_t	28.18	34.54	41.10	50.08	57.00
Q_{max} (m ³ /s)	78.05	95.66	113.83	138.70	157.90

*

Tableau III.19 : Les valeurs des débits des crues d'après la formule de SKOLOVSKI

Chapitre III : Caractéristique Hydrologiques du bassin versant

Volumes des crues

Le volume de la crue se calcul par la formule suivante :

$$V_c = 1000 \times P_t \times S \times C$$

Avec :

- V_c : Volume de la crue en (m^3).
- P_t (%): Pluie à différentes fréquences durée égal au temps de concentration en (mm).
- S : Superficie en (Km^2).
- C : Coefficient de ruissellement = 0.45

	5	10	20	50	100
P_t	28.18	34.54	41.10	50.08	57.00
V_c	887 670	1 088 010	1 294 650	1 577 520	1 795 500

Tableau III.20 : Volumes des crues pour les différentes périodes de retour du **SB**

III.6.Hydro grammes de crues

Les hydro grammes de crues pour diverses fréquences sont évalués par la méthode de Sokolovski qui assimile l'hydro gramme à deux équations paraboliques.

La montée de la crue

$$Q_m = Q_{\max p} \left(\frac{t}{t_m} \right)^n$$

La décrue

$$Q_d = Q_{\max p} \left(\frac{t_b - t}{t_d} \right)^m$$

Avec :

- ✓ $Q_{\max p}$: Débit maximum de crue (de pointe) (m^3 /s).
- ✓ $Q_m (t)$: Débit instantané au moment de la montée (m/s).
- ✓ $Q_d (t)$: Débit instantané au moment de la descente (m/s).

Chapitre III : Caractéristique Hydrologiques du bassin versant

Et :

- ❖ t_m : Temps de montée de la crue
- ❖ t_d : Temps de la décrue
- ❖ t_b : Temps de base

n.m : puissance des équations n=3. m=2

On a:

- ❖ $t_m = t_c$
- ❖ $t_d = t_m * \gamma$
- ❖ $t_b = t_m + t_d$

γ : dépend de la capacité de régulation du bassin, $\gamma = 2.5$

- ❖ $t_m = t_c = 4.14$
- ❖ $t_d = t_m * 2.5 = 10.35$
- ❖ $t_b = t_m + t_d = 14.49$

Le débit de crue de différente période de retour de bassin versant sont donné aux tableaux suivants et les hydro grammes correspondants

Chapitre III : Caractéristique Hydrologiques du bassin versant

		Période de retour				
T(h)		5	10	20	50	100
Q_m	0	0	0	0	0	0
	0.5	0.13	0.16	0.20	0.24	0.28
	1	1.09	1.35	1.60	1.95	2.22
	1.5	3.71	4.54	5.41	6.60	7.51
	2	8.79	10.78	12.83	15.64	17.80
	2.5	17.18	21.06	25.06	30.54	34.77
	3	29.69	36.40	43.31	52.77	60.08
	3.5	47.16	57.80	68.78	83.80	95.40
	4	70.39	86.27	102.67	125.10	142.42
	4.14	78.05	95.66	113.83	138.70	157.90
Q_d	4.5	72.71	89.12	106.05	129.22	147.10
	5	65.62	80.42	95.70	116.61	132.75
	7	40.87	50.09	59.61	72.64	82.70
	10	14.68	18.00	21.42	26.10	29.72
	12	4.52	5.63	6.58	8.02	9.14
	13	1.61	1.98	2.36	2.87	3.27
	14	0.10	0.20	0.25	0.30	0.35
	14.49	0	0	0	0	0

Tableau III.21 : Débits de crues pour différentes périodes de retour

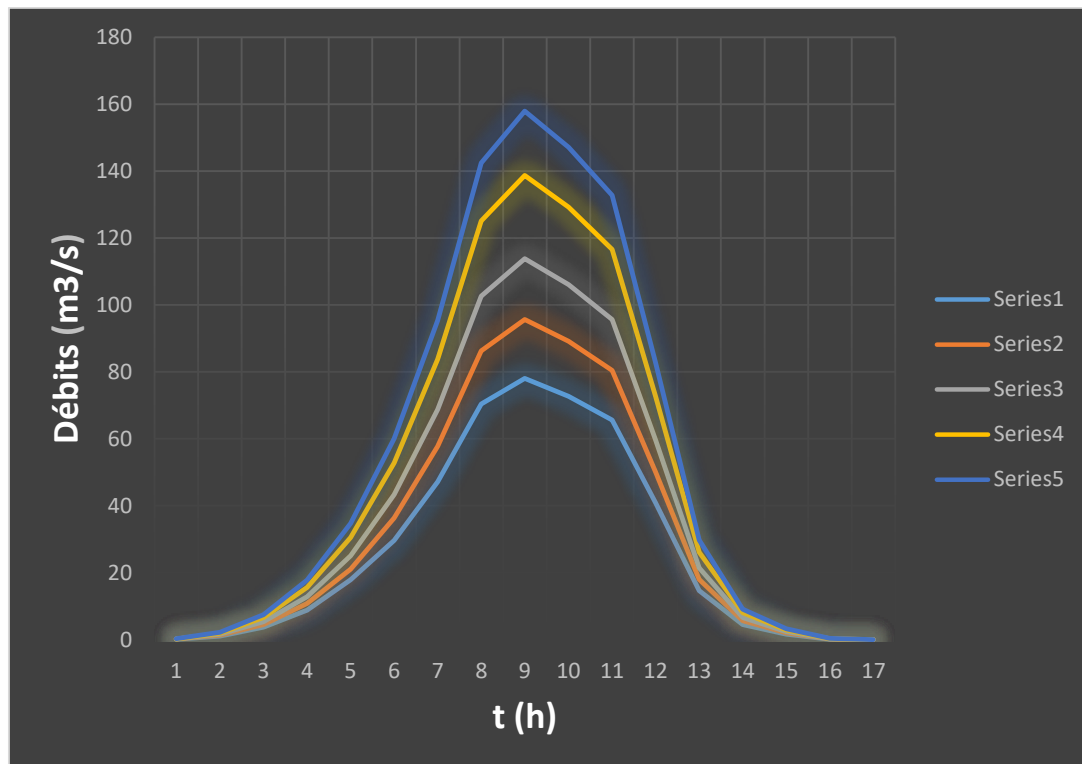


Figure III.9 : Hydro gramme de crue

Le débit de crue pour une période de retour de 100 ans est : $Q_{max} 100 = 157.90 \text{ m}^3 / \text{S}$

Conclusion

L'établissement de ce chapitre a pour but le calcul des caractéristiques du bassin versant qui influence le cours d'eau ainsi que l'estimation du débit de crue optimal afin de pouvoir réaliser un aménagement adéquat à la situation de l'Oued.

Les résultats obtenus des calculs effectués dans ce chapitre sont comme suit :

- ✓ La série pluviométrique suit la loi Log Normal (loi de GALTON).
- ✓ Le débit de crue optimal est estimé à $157.90 \text{ m}^3 / \text{S}$.

Chapitre IV

Introduction

L'étude et l'analyse des variantes dans les projets d'ingénierie jouent un rôle crucial dans le développement de solutions innovantes, efficaces et durables. Dans le domaine du génie hydraulique, où la conception de structures résilientes est primordiale, l'exploration de différentes approches et méthodologies est indispensable. Parmi ces approches, le gabionnage se démarque comme une variante importante qui mérite une attention particulière.

Le gabionnage est une technique qui repose sur l'utilisation de gabions, des paniers métalliques remplis de pierres ou d'autres matériaux, pour renforcer les structures hydrauliques. Cette méthode offre plusieurs avantages, notamment sa flexibilité, sa résistance aux forces hydrauliques, sa durabilité et sa facilité de mise en œuvre. En utilisant des gabions, les ingénieurs peuvent concevoir des ouvrages adaptés à diverses conditions environnementales et hydrauliques tout en assurant leur stabilité et leur efficacité à long terme. Cependant, pour tirer pleinement parti des avantages du gabionnage, une compréhension approfondie de ses subtilités est essentielle. Cela implique une analyse détaillée des caractéristiques des gabions, y compris leur résistance mécanique, leur perméabilité et leur interaction avec l'environnement hydraulique. De plus, il est crucial de prendre en compte les aspects liés au dimensionnement des structures, aux calculs hydrauliques et aux considérations d'écoulement critique pour garantir la conception optimale des ouvrages gabionnés.

En résumé, l'article explore les nuances du gabionnage tout en fournissant une analyse approfondie des différents aspects de l'ingénierie hydraulique. En examinant de près cette variante, les ingénieurs peuvent améliorer la résilience, l'efficacité et la durabilité des structures hydrauliques, contribuant ainsi à la gestion efficace des ressources en eau et à la protection des infrastructures contre les risques liés aux inondations et à l'érosion.

IV.1. Etude des variantes

Le but de ces recherches est de protéger la ville de Talassa contre les inondations. Cette protection consiste à choisir les meilleures solutions de culture en fonction des conditions naturelles. Mais les résultats doivent également être techniquement possibles

IV.2. Variantes proposées

Pour cette étude, nous proposons trois variantes pour la protection contre les inondations: et économique.

Première variante : Protection avec un canal rectangulaire ou trapézoïdale (a ciel ouvert) en béton armé.

Deuxième variante: Protection avec un canal en gabion.

Troisième variante : Protection avec une galerie rectangulaire ou trapézoïdale.

IV.2.1. Les avantages d'un canal trapézoïdal

Un canal trapézoïdal présente de multiples avantages dont on cite :

- ✓ Le rendement hydraulique est efficace.
- ✓ Assurance d'une propreté relative faute de ne pas être utilisé comme décharge.
- ✓ Facilité de nettoyage en cas d'obstruction.
- ✓ Les résultats de calcul sont réalistes.
- ✓ La durée de la vie est importante.
- ✓ Les matériaux de constructions sont disponibles.
- ✓ Entretien très facile

IV.3. Dimensionnement des Ouvrages

Dans notre étude on a besoin d'un débit d'eau qui soit en fonction de retour pour la taille de la variable sélectionnée. Nous avons choisi la période de récupération de **20** ans, à laquelle il faut également ajouter les flux liés à la cotisation fixe. Ces débits sont toutefois limités par rapport aux plaines inondables qui peuvent s'écouler, avec une augmentation correspondante ou compensatoire de l'élévation de la taille des rivières.

- **Les paramètres clés pour le dimensionnement sont :**

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

IV.3.1. Le calcul hydraulique

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

IV.3.2. Les canaux à ciel ouvert

Un canal à ciel ouvert est un système de transport dans lequel la pression de la surface d'eau équivaut la pression atmosphérique. Il peut être naturel ou artificiel, conçu par l'homme, de diverses formes.

IV.3.3. Type de canal

Il existe deux types de canaux :

IV.3.3.a) Canal naturel :

Ce sont les cours d'eau qui existent naturellement sur (ou sous) terre tels que les ruisselets, torrents, rivières, fleuves et estuaires. Les propriétés géométriques (Figure IV.1) et hydrauliques des canaux naturels sont généralement assez irrégulières. L'application de la théorie hydraulique ne donne que des résultats approximatifs obtenus à partir d'hypothèses qui s'imposent.

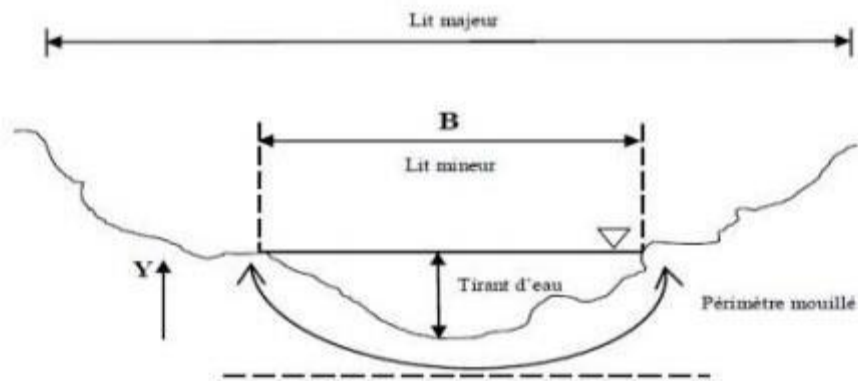


Figure IV.1 : Géométrie d'un canal naturel

IV.3.3.b) Canal artificiel :

Ce sont des cours d'eau réalisés par l'homme (Figure IV.2) sur (ou sous) terre tel que les canaux découverts construits au ras du sol: canaux de navigation, d'adduction et d'évacuation, d'irrigation et de drainage, ou les canaux couverts dans lesquels les liquides ne remplissent pas toute la section : tunnels hydrauliques, aqueducs, drains, égouts. Les propriétés hydrauliques des canaux artificiels sont généralement assez régulières. L'application de la théorie hydraulique donne souvent des résultats réalistes.



Figure IV.2 : Types de canaux artificiels (couvert et découvert)

IV.4. Dimensionnement des canaux

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

Chapitre IV : Calcul Hydraulique et dimensionnement de l'ouvrage

La vitesse moyenne du courant sous la forme suivant :

$$V = C \cdot \sqrt{R_h \cdot I}$$

On utilisant le rapport suivant $Q = V \cdot S$:

On obtient :

$$Q = C \cdot \sqrt{R_h \cdot I} \cdot S$$

Avec :

- C : Coefficient de Chézy (0.5 m/s)
- S : section mouille (m^2)
- R_h : Rayon hydraulique $R_h = S/P$ (m)
- I : pente de fond du canal (mm)

- **Détermination de coefficient de Chézy**

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

- **Formule d'AGROSKINE :**

$$C = \frac{1}{n} * 17.72 * \log R_h$$

Avec :

- n : La rugosité du canal
- R_h : Rayon hydraulique (m)

- **Formule de MANNING-STRICKLER :**

$$C = \frac{1}{n} * R^{1/6}$$

La formule de **MANNING-STRICKLER** Permet de transformer la formule de CHEZY pour obtenir :

$$V = K_s * R_h^{2/3} * i^{1/2}$$

Chapitre IV : Calcul Hydraulique et dimensionnement de l'ouvrage

Avec :

- ✓ R_h : Rayon hydraulique (m)
- ✓ i : Pente de fond du canal (mm)

K_s : Coefficient de rugosité de STRICKLER, dépend de la nature du matériau du canal :

- ✓ $K_s= 25$ pour un lit naturel
- ✓ $K_s= 40$ pour le cas d'enrochement ou gabionnage
- ✓ $K_s= 70$ pour le cas du béton
- ✓ $K_s= 100$ pour le cas du PVC ou PEHD.

IV.4.1 Ecoulement dans les canaux

Les écoulements dans les canaux naturels ou artificiels sont des écoulements à surface libre soumis à la pression atmosphérique et générés par la pente du fond des canaux. Il existe plusieurs types d'écoulement et divers régimes.

IV.4.1.1 Types d'écoulement

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

- **Variabilité dans le temps**

- **Ecoulement uniforme**

Un écoulement est dit permanent si les vitesses moyennes, V , et ponctuelles, v , ainsi que la profondeur, h ou D_h , restent invariables dans le temps en grandeur et en direction. Par conséquent, le débit est constant, $Q=V*S$.

C'est-à-dire :

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dt} = \frac{dh}{dt} = \frac{dQ}{dt} = 0$$

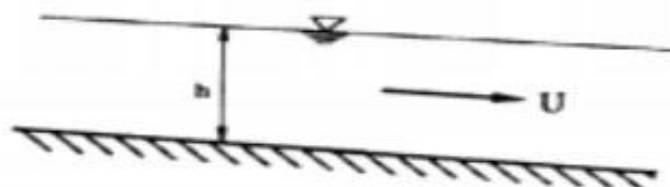


Figure IV.3 : Schéma d'un écoulement permanent

➤ Ecoulement non uniforme

Un écoulement est dit non permanent si la profondeur, h ou D_h , ainsi que les autres paramètres varient avec le temps en grandeur et en direction. Par conséquent, le débit n'est pas constant.

C'est-à-dire :

$$\frac{dv}{dt} \neq \frac{di}{dt} \neq \frac{dh}{dt} \neq \frac{dQ}{dt} \neq 0$$

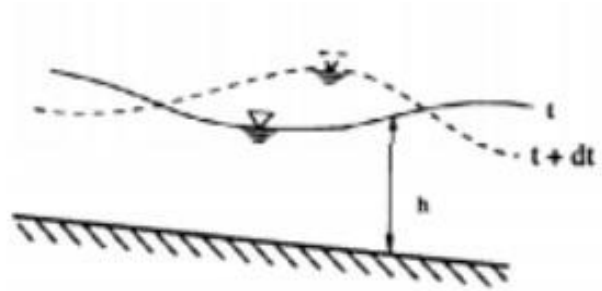


Figure IV.4 : Schéma d'un écoulement non permanent

• Variabilité dans l'espace

➤ Ecoulement uniforme

Un écoulement est dit uniforme si la profondeur, h ou D_h , la vitesse, la pente, la rugosité et la section restent invariables dans les diverses sections du canal. C'est-à-dire :

$$\frac{dv}{dx} = \frac{di}{dx} = \frac{dh}{dx} = \frac{ds}{dx} = 0$$

➤ Ecoulement non uniforme

Un écoulement est dit non uniforme si la profondeur ou D_h , et les autres paramètres varient dans les diverses sections du canal.

C'est-à-dire :

$$\frac{dv}{dx} \neq \frac{di}{dx} \neq \frac{dh}{dx} \neq \frac{ds}{dx} \neq 0$$

➤ Écoulement non uniforme graduellement varié

Un écoulement est dit graduellement varié si la variation de la hauteur h dans la direction de l'écoulement est très faible,

C'est-à-dire :

$$\Delta h \Delta x \ll 1$$

➤ Écoulement non uniforme rapidement varié

L'écoulement peut être rapidement varié si la variation de la hauteur dans la direction de l'écoulement est importante et brusque. Cela se manifeste en général au voisinage d'une singularité telle qu'un déversoir, un rétrécissement, un ressaut hydraulique ou une chute brusque.

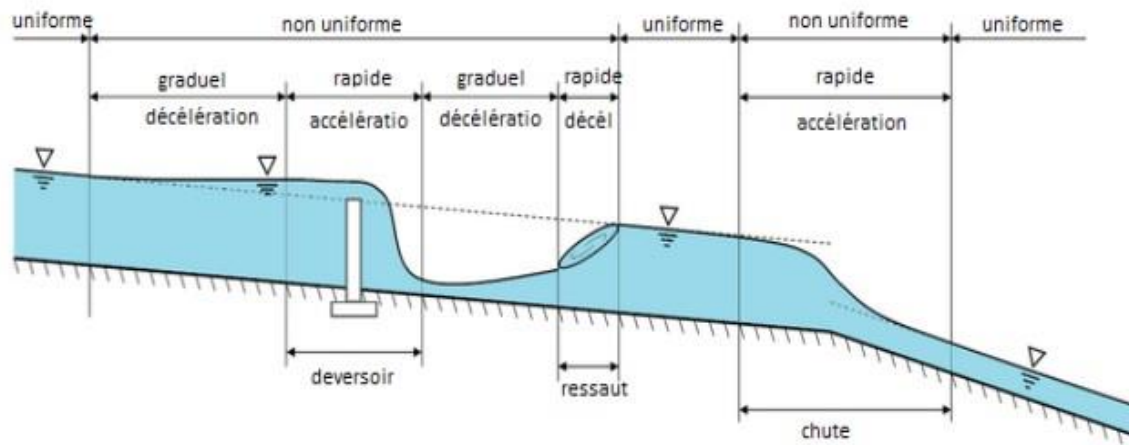


Figure IV.5 : Schéma illustrant les différents écoulements

IV.4.2 Régime d'écoulement

Il existe deux régimes d'écoulement : écoulement fluviale et écoulement torrentiel. La détermination du régime d'écoulement se fait par le calcul d'un nombre adimensionnel nommé nombre de Froude, dont le carré représente le rapport de l'énergie cinétique du liquide en mouvement à l'énergie potentielle de la pesanteur.

C'est-à-dire :

$$F_r = \sqrt{Q^2 * L / g * S^3}$$

Il s'écrit aussi :

$$F_r = V / \sqrt{g * Y_m}$$

Chapitre IV : Calcul Hydraulique et dimensionnement de l'ouvrage

Avec :

- ✓ $Y_m = S / L$: le tirant d'eau moyen dans la section.

Lorsque :

- ❖ $F_r = 1$: le régime est critique.
- ❖ $F_r < 1$: le régime est fluvial.
- ❖ $F_r > 1$: le régime est torrentiel.

La notion de régime fluvial, torrentiel ou critique s'applique évidemment au cas particulier du régime uniforme.

Lorsque :

- ❖ $Y_n < Y_c$: Écoulement uniforme torrentiel.
- ❖ $Y_n > Y_c$: Écoulement uniforme fluvial.

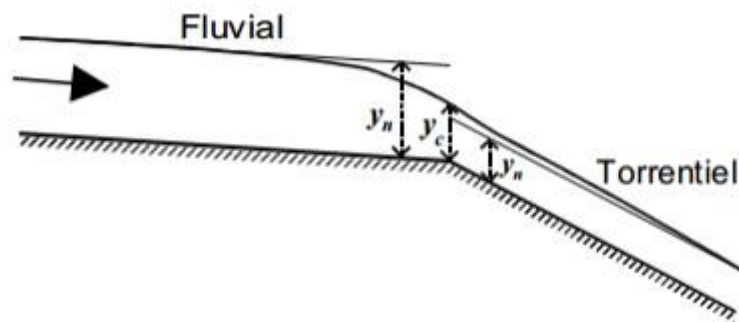


Figure IV.6 : Passage du régime fluvial au régime torrentiel

Un autre nombre adimensionnel utilisé dans l'étude hydraulique s'ajoute au nombre de Froude pour former quatre autres régimes, le nombre de Reynolds.

Le nombre de Reynolds est le rapport entre les forces de viscosité et celles d'inertie.

C'est à dire :

$$R_e = \frac{V * H}{\nu}$$

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

- ✓ $R_e < 500$: écoulement laminaire.
- ✓ $R_e < 2000$: écoulement turbulent.
- ✓ $500 < R_e < 2000$: écoulement de transition

Donc la combinaison des deux nombres donne la classification suivante :

- ✓ $Fr < 1, R_e < 500$: écoulement fluvial-laminaire.
- ✓ $Fr < 1, R_e > 2000$: écoulement fluvial-turbulent.
- ✓ $Fr > 1, R_e < 500$: écoulement torrentiel-laminaire.
- ✓ $Fr > 1, R_e > 2000$: écoulement torrentiel-turbulent.

IV.4.2.1 Calcul de la profondeur normale

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

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

$$Q = C_s \cdot \sqrt{R \cdot I}$$

Donc : on fixe la valeur de (H) et on donne des valeurs a (b) et on détermine Q Jusqu'à une valeur de débit très proche on égale au Q_n

Par suite on trace la courbe $Q=f(b)$, et on détermine la valeur de b (m) correspondante à Q_n C'est à- dire on cherche b (m) pour le débit Q_{max}

IV.4.2.2 Calcul de la profondeur critique

❖ Méthode graphique

La méthode graphique est basée sur le graphe de l'énergie en fonction de h. Et puisque la valeur de h_{cr} est la valeur qui corresponde une énergie spécifique minimale.

Donc on construit le graphe : $H_s = f(h)$ sachant que $H_s = E_p + E_c$

- E_p : Energie potentielle et est égale à h ; ($E_p=h$)
- E_c : Energie cinétique et égale à ; ($E_c=\frac{v^2}{2g}$)

❖ Méthode analytique d'AGROSKINE

La méthode d'AGROSKINE utilise la formule suivante :

$$\frac{a \cdot Q^2 \cdot B_{cr}}{g \cdot S_{cr}} = 1$$

Avec :

- ✓ B : largeur du plan d'eau en surface
- ✓ g : l'accélération gravitaire prise égale 9.81

Pour un canal rectangulaire :

$$h_{cr}(R) = \sqrt[3]{\frac{a \cdot Q^2}{g \cdot b^2}}$$

IV.4.2.3 Calcul de La pente critique :

La pente critique correspondant à la profondeur critique.

La pente critique donné par la formule suivante :

$$Q = C \cdot S_{cr} \cdot \sqrt{R_h \cdot I_{cr}}$$

Donc :

$$I_{cr} = \frac{Q^2}{C^2 \cdot S_{cr}^2 \cdot R_h}$$

IV.4.2.4 Calcul de la ligne d'eau

Equation de la surface libre de la ligne d'eau L'équation de la surface libre de la ligne d'eau, est une équation liée à l'abscisse et à l'ordonnée de chaque point de la ligne d'eau pour un débit et une pente du canal donnée.

En se basant sur l'équation d'énergie :

$$H = Z + V^2 / 2g + h$$

Et sur l'équation de la continuité :

$$Q = V / S$$

Dérivant l'équation par rapport à dx, on trouve :

$$\frac{d}{dx} * \left(\frac{Q^2}{2g} \right) + \frac{d_h}{dx} + \frac{d_z}{dx} = \frac{dH}{dx}$$

Chapitre IV : Calcul Hydraulique et dimensionnement de l'ouvrage

Comme :

$$\frac{dz}{dx} = -J_f \quad \text{Et} \quad \frac{dH}{dx} = -J_e = -\frac{\left(\frac{Q}{S}\right)^2}{C^2 * R_h}$$

Différentes formes de courbes de remous

On a:
$$F_r^2 = \frac{\left(\frac{Q}{S}\right)^2}{2g}$$

Et :

$$\frac{dh}{ds} = I \frac{1 - \left(\frac{h_n}{h}\right)^2}{1 - F_r^2}$$

Les différentes formes de courbe de remous Pour les différentes valeurs de pente du fond et pour un débit constant sont représentées dans la figure ci- a prés

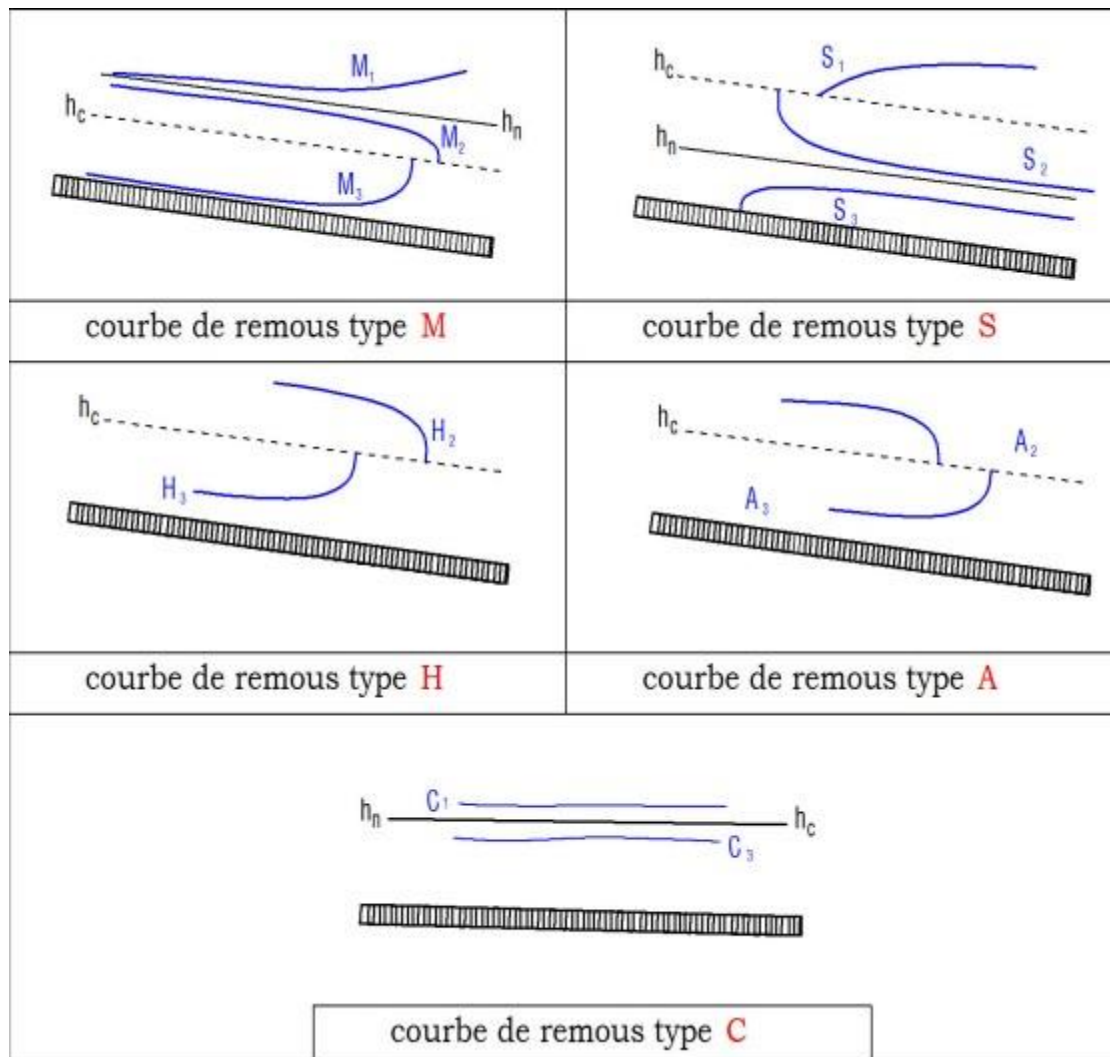


Figure IV.8 : Différents types de courbes de remous

❖ Protection de la ville de Tallassa

Afin de mieux protéger la ville de Tallassa contre les inondations on a procédé à mettre en œuvre les variantes suivantes :

- Protéger le centre de la ville par un mur de soutènement suivant le passage du débit décennale.
- Minimiser le flux de débit de la partie Sud-Ouest en proposant deux variantes possibles en mettant en exécution un canal de forme trapézoïdale ou batardeaux.
- Protection l'affluent de la partie Nord –Est par un système de batardeaux afin de minimiser l'importance du débit écoulé se déversant dans l'Oued principale de Boukhandek qui passe par la ville de Tallassa.

❖ Définition de Mur de Soutènement :

Un mur de soutènement en béton dans un oued est une structure construite le long des berges d'une rivière ou d'un cours d'eau pour stabiliser le sol et prévenir l'érosion. Ce type de mur est généralement fabriqué en béton armé ou en béton préfabriqué et est conçu pour résister aux forces de l'eau et du sol. Les murs de soutènement en béton dans les oueds peuvent être utilisés pour diverses raisons, telles que la protection des infrastructures adjacentes contre les inondations, la création de terrains plats pour l'agriculture ou le développement urbain, ou simplement pour maintenir la forme naturelle du cours d'eau. Ils peuvent varier en taille et en forme en fonction des besoins spécifiques du site et des conditions locales.

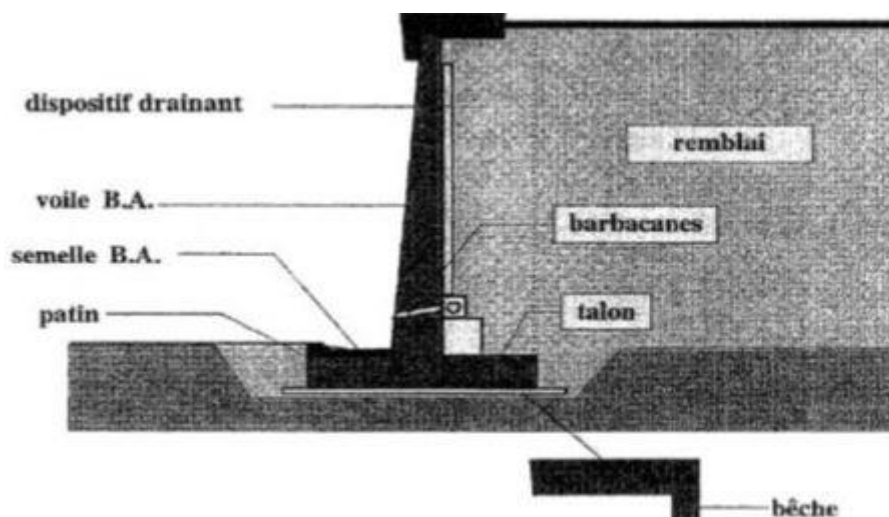


Figure IV.9 : Morphologie d'un Mur en béton armé

Chapitre IV : Calcul Hydraulique et dimensionnement de l'ouvrage

❖ But du Mur de Soutènement :

Le but principal d'un mur de soutènement en béton dans un oued est de stabiliser les berges de la rivière ou du cours d'eau. Voici quelques objectifs spécifiques associés à cette fonction principale :

- ✓ Réduction des risques d'inondation
- ✓ Protection des infrastructures
- ✓ Prévention de l'érosion
- ✓ Aménagement du territoire
- ✓ Maintien de l'écoulement naturel de l'eau



Figure IV.10 : Mur soutènement en béton

❖ Type du Mur Soutènement :

Il existe différents types de murs de soutènement en béton dans un oued, chacun ayant ses propres caractéristiques et applications spécifiques. Voici quelques-uns des types les plus courants :

- ✓ Mur de soutènement en béton armé
- ✓ Mur de soutènement préfabriqué
- ✓ Mur de soutènement en béton coulé sur place
- ✓ Mur de soutènement gravitaire
- ✓ Gabion


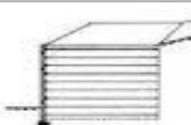
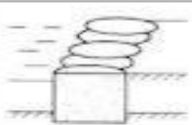
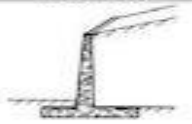

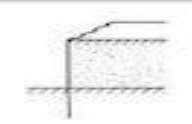


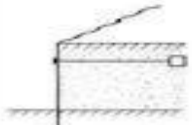
Classification des ouvrages de soutènement d'après le mode de reprise de la poussée			
Mode de reprise de la poussée	Ouvrages de soutènement		
Poids de l'ouvrage	 Mur poids en béton ou maçonnerie	 Mur en terre armée	 Ouvrage cellulaire
Encastrement	 Mur cantilever en béton armé	 Paroi moulée	 Rideau de palplanches
Ancrage	 Mur en béton, ancré	 Paroi moulée ancrée	 Rideau ancré

Figure IV.11 : Différents types de soutènements

❖ Définition batardeau :

Un batardeau est un barrage destiné à la retenue d'eau provisoire en un lieu donné sur une surface donnée. En général, le batardeau est utilisé en vue d'exercer une activité en aval de celui-ci. Il est souvent réalisé avec des gabions

Le batardeau peut s'installer :

- ✓ Sur une digue
- ✓ Au bord d'un cours d'eau pour assécher une surface en aval, cette surface étant destinée à être fouillée ou à accueillir des travaux

❖ Batardeau Types :

Dans les batardeaux destinés à isoler les pertuis en vue de leur assèchement partiel ou total, on distingue trois types :

- ✓ les batardeaux destinés à être manœuvrés sous charge nulle par chaîne ou par poutre de levage
- ✓ les batardeaux actionnés sous très faible charge (coupure du courant d'eau sans variation entre le niveau amont et aval) : ces batardeaux sont généralement manœuvrés par des crics à poste fixe manuels, électromécaniques ou hydrauliques
- ✓ les batardeaux destinés à être relevés sous forte charge : ils sont généralement munis de galets de roulement (vanne wagon) et sont manœuvrés par crics électriques ou hydrauliques.

Chapitre IV : Calcul Hydraulique et dimensionnement de l'ouvrage

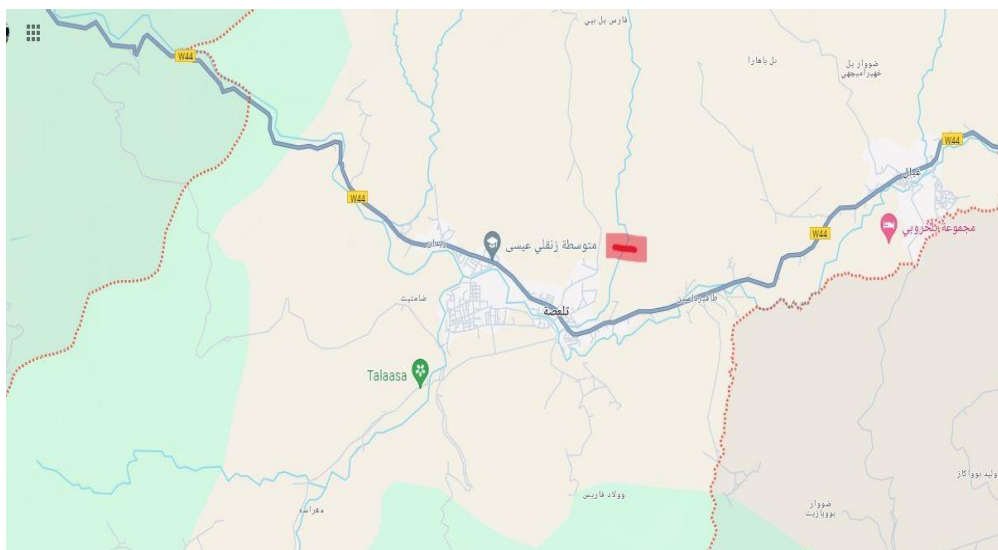


Figure IV.12 : Batardeau souple



Figure IV.13 : Batardeau en Béton

L'installation e batardeaux : bord d'un cours d'eau pour assécher une surface en aval, cette surface étant destinée à être fouillée ou à accueillir des travaux



En fait ce batardeaux pour minimisé le débit entre dans l'oued

IV.5.1 Calculs des aménagements

❖ Débit maximum de crues

	Décennale (m ³ /s)	Cinquantennale (m ³ /s)	Centennale (m ³ /s)
<i>SB</i>	95.66	138.70	157.90

Tableau IV.1 : Débits de crues de projet pour différentes périodes de retour

IV.5.2 Dimensionnement des aménagements

Le Canal est conçu pour drainer les eaux pluviales provenant du bassin pour un débit décennale, de $Q= 95.66m^3/s$, sur un tronçon et d'une distance globale de **415.35 m**.

❖ Calcul de la hauteur de Mur :

$$Q = K_S * S * \sqrt{R_h * I}$$

Avec :

Le débit $Q = 95.66m^3/s$

La pente moyenne est 0.02 m

K_S : Coefficient de rugosité de STRICKLER, dépend de la nature du matériau du canal

$K_S= 70$ pour le cas du Béton.

Résultat d'hauteur du Mur de soutènement dans le tableau suivant

Itération	1	2	3	4
Résultats h(m)	4.0	4.23	4.26	4.26

Tableau IV.2 : Résultat d'hauteur du Mur de soutènement

D'après les résultats suivant en prendre **H = 4.26 m**

Conclusion

En conclusion, l'étude des variantes du génie hydraulique, en particulier l'exploration du gabionnage, offre des informations et des opportunités précieuses pour améliorer l'efficacité et la durabilité des infrastructures hydrauliques. Grâce à un dimensionnement méticuleux, des calculs hydrauliques et une analyse des flux critiques, les ingénieurs peuvent garantir les performances optimales des structures tout en atténuant les risques potentiels. De plus, l'utilisation de diverses méthodologies, allant des approches graphiques aux approches analytiques, permet aux ingénieurs de relever des défis hydrauliques complexes avec précision et confiance. À mesure que nous continuons à progresser dans le domaine de l'ingénierie hydraulique, l'adoption de variantes et de techniques innovantes comme le gabionnage sera essentielle pour construire des infrastructures résilientes qui répondent aux besoins changeants de la société tout en préservant notre environnement naturel.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

La mise en œuvre d'une stratégie intégrée pour protéger la ville de TALASSA contre les inondations provoquées par des averses intenses, à travers la construction de murs de soutènement et de canaux d'évacuation vers un exutoire en aval de l'oued, représente une approche complète et efficace. Ces structures jouent un rôle essentiel en stabilisant les sols et en limitant les risques d'érosion, tout en offrant une barrière physique contre les flots dévastateurs.

Les murs de soutènement jouent un rôle crucial en stabilisant les berges des cours d'eau et en prévenant les glissements de terrain, réduisant ainsi les risques d'inondations catastrophiques. Leur conception robuste et adaptative permet de renforcer la résistance de la ville face aux crues soudaines et aux débits élevés.

Parallèlement, la construction de canaux d'évacuation dirigés vers un exutoire en aval de l'oued est essentielle pour gérer efficacement le volume d'eau pendant les périodes de précipitations intenses. Cette infrastructure permet de détourner et de canaliser les eaux de manière contrôlée, minimisant ainsi les impacts sur les zones habitées et les infrastructures critiques.

Grâce à leur conception robuste et à leur capacité à résister aux pressions hydrologiques, les murs de soutènement assurent la sécurité des habitants en réduisant les dommages potentiels aux infrastructures et aux habitations. Ils permettent également de préserver l'intégrité des voies de communication vitales, essentielles pour les opérations de secours et la continuité des services publics.

En conclusion, combiner la construction de murs de soutènement avec des canaux d'évacuation vers un exutoire en aval de l'oued constitue une approche holistique et proactive pour protéger durablement une ville contre les inondations. Cette stratégie non seulement renforce la résilience urbaine face aux événements climatiques extrêmes, mais aussi préserve la sécurité et le bien-être des habitants à long terme. Investir dans des murs de soutènement pour protéger une ville des inondations causées par des averses intenses représente non seulement une mesure préventive efficace mais aussi un engagement envers la sécurité et la résilience communautaire face aux défis climatiques contemporains. Ces infrastructures sont non seulement une réponse proactive mais aussi une assurance pour un avenir urbain durable et sécurisé.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- ❖ Boukhiar Souheyla, Ouazane Hassiba, Mémoire de fin d'étude protection de TENES contre les inondations 2018, Université Hassiba Benbouali de Chlef.
- ❖ Kaoulal Nassira, Baach Fatiha, Mémoire de fin d'étude protection de Sidi Abderrahmane contre les inondations 2012, Université Hassiba Benbouali de Chlef.
- ❖ Atman Yassine, Etude de protection de la ville de Bordj Bou Arreridj contre les Inondations 2015, Université Abderrahmane Mira de Bejaïa.
- ❖ Touaibia Nabil, Etude de la protection de la commune de BOUARFA (Blida) contre les inondations 2010, USTO.
- ❖ Ouadah Hocine, DELLA Abderrahmane, Protection contre l'inondation de la ville Ténès wilaya de chlef 2019, Université Hassiba Benbouali de Chlef.
- ❖ Sghra Nacer, Protection de la ville de MEFTAH (Blida) contre les inondations par aménagement de l'Oued KHADRA 2011. Université Abderrahmane Mira de Bejaïa.
- ❖ Chabane Rabah, Etude de Protection contre l'inondation de la ville d'el BAYADH (Oued Deffa) 2016. Université Abderrahmane Mira de Bejaïa.
- ❖ Tahraoui, protection de HAY EL CHORFA contre les inondations, Mémoire de fin d'étude, UHBC, 2017.