

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 8 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Hydraulique

Option : Hydraulique Urbaine

Présenté par : Hafiane Ikram et Benzaid Ismahane

**Thème : lutte contre les inondations de la commune de
Bouhachanna**

**Sous la direction de :
Oumeddour nie Dourbani Meriem**

Juillet 2019

Remerciement

Nous commençons par remercier le dieu le tout puissant de nous avoir donnée le courage, la volonté pour pouvoir réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à présentée nous sincères remerciements à notre encadreur **Madame DOORBANI MERIEM** qui nous encadrer et nous diriger tout ou long de la réalisation de ce projet et pour tous les conseils instructifs et judicieux et sa disponibilité.

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

Nous vifs remerciements aux responsables et personnels de la direction des ressources en eaux (DRH) de Guelma surtout à

Monsieur ZIADA BRAHIM et Madame MADI MERIEM.

et Monsieur . bouregbi Housseem

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

IKRAM & Ismahan

Résumé :

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

Le présent travail consiste à l'étude de protection du centre de **Bouhachena**, Wilaya de **Guelma**, contre les inondations.

Sur la base des données du milieu physique morpho-métriques et climatiques, une étude hydrologique a été engagée et a permis de déterminer l'ensemble des paramètres servant à la conception et aux dimensionnements des ouvrages de protection du centre contre les inondations de cette agglomération., en incluant notamment la simulation des écoulements avec le model **Hec-Ras**

Mots clés : Inondations, crues, eaux pluviales, protection, Hec-Ras.

Abstract

The problem of natural hazards and more particularly the risk of flooding is a hot topic in Algeria and around the world, especially in light of the latest major catastrophic floods so the management of this risk is becoming more and more a necessity that must involve all relevant stakeholders (decision makers, technicians and population) to identify the issues to be protected, available and alternative means to mitigate the human and material damage caused by this phenomenon.

The present work consists of the protection study of the center of Bouhachena, Wilaya de Guelma, against floods.

On the basis of morphometric and climatic physical environment data, a hydrological study was initiated and allowed to determine all the parameters used for the design and sizing of the protection works of the center against the floods of this agglomeration. , including the simulation of flows with the model Hec-Ras

Keywords: Floods, floods, stormwater, protection, Hec-Ras.

المخلص:

تعد مشكلة الأخطار الطبيعية وخاصة خطر الفيضان موضوعًا ساخنًا في الجزائر وحول العالم، وخاصة في ضوء آخر الفيضانات الكارثية الكبرى، وبالتالي أصبحت إدارة هذا الخطر ضرورة أكثر فأكثر إشراك جميع أصحاب المصلحة المعنيين (صناع القرار والفنيين والسكان) في تحديد القضايا الواجب حمايتها والوسائل البديلة المتاحة لتخفيف الأضرار البشرية والمادية الناجمة عن هذه الظاهرة.

يتكون العمل الحالي من دراسة حماية مركز بوحشانة بولاية قالمة ضد الفيضانات.

على أساس بيانات البيئة الفيزيائية المورفومترية والمناخية ، تم البدء في دراسة هيدرولوجية وتم السماح لها بتحديد جميع المعلمات المستخدمة لتصميم وتحجيم أعمال الحماية في المركز ضد فيضانات

هذا التكتل، بما في ذلك محاكاة التدفقات مع نموذج Hec-Ras

الكلمات المفتاحية: الفيضانات ، الفيضانات ، مياه العواصف ، الحماية ، Hec-Ras.

Sommaire

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

Chapitre I : Généralités sur les inondations

I.1 Introduction.....	1
I.2 Définition	1
I.2.1 Inondation	
I.2.2 Crue.....	1
I.2.3 Éléments descriptifs d'une crue	2
I.2.4 Principaux paramètres nécessaires pour évaluer la catastrophe.....	2
I.3 Mécanismes de l'inondation	3
I.4 paramètres fondamentaux du cours d'eau.....	4
I.5 Type d'inondation.....	4
I.5.1 Les inondations par crues torrentielles	7
I.5.2 Les inondations par débordement directe (débordement des plaines)	7
I.5.3 Les inondations par accumulation d'eau ruisselée.....	8
I.5.4 Les inondations par rupture d'un ouvrage artificiel hydraulique.....	9
I.5.5 Les inondations par submersion marine	10
I.6 Les causes et origines des inondations.....	10
I.7 Conséquences engendrées par les inondations.....	10
I.8 Les inondations en Algérie	11
I.8.1 Causes et types de crues catastrophiques en Algérie	12
I.9 Conclusion	13

Chapitre II: Procédés de Protection des Agglomérations Contre les Inondations

II-1- Introduction.....	14
II-2- Procédés de protection des agglomérations contre les inondations	14
II-2-1- Recalibrage du cours d'eau.....	14
a)- Les conséquences d'un recalibrage.....	16
b)- Les inconvénients du recalibrage.....	17
II-2-2- Endiguement du cours d'eau	17
a)- Les digues en charge en permanence.....	17
b)- Les digues de protection contre les inondations	18
II-2-3- Caractéristiques des digues de protection contre les inondations.....	19

II-3- Reboisement.....	20
II-4- Recalibrage des systèmes d'évacuation de l'eau	21
II-5- Préservation - Restauration - Création des zones d'expansion des crues	22
II-6- Barrage écrêteur	22
II-6-1- Principes de fonctionnement	23
II-6-2- Conséquences et effets perturbateurs possibles.....	23
II-6-3- Particularités techniques des petits barrages écrêteurs décrues.....	24
II-7- Influence des barrages.....	24
II-8- Correction torrentielle.....	25
II-9- Les épis	27
II-10- Banquette	27
II-11- Ouvrage de stockage en dérivation	28
II-11-1- Fonctionnement	28
II-12- Risques et aménagement du territoire.....	29
II-13- Retenues d'eau	29
II-14- Les protections classiques.....	29
II-14-1- La prévention passive	30
II-14-2- L'entretien des lit.....	30
II-14-3- Les travaux de protection.....	31
Chapitre III : Etude du milieu physique	
III-1- Introduction	32
III-2- Situation du projet	32
III-3- La population.....	34
III-4- Caractère de la commune et ses spécificités.....	34
III-5- Le bassin versant et son complexe	34
III-5-1- Définition du bassin versant.....	34
III-5-2- Type de bassins	36
III-5-3- Caractéristiques d'un bassin versant	36
III-5-3-1- Les Caractéristiques Géométriques.....	36
a)- La Surface	36
b)- Le périmètre	37
c)- La Forme.....	37
d)- Rectangle équivalent.....	38
e)- Le Relief	39

f)- La pente moyenne du bassin versant	43
G)- L'indice de pente	44
H)- Dénivelée spécifique D_s	46
III-5-3-2- Les Caractéristiques du réseau Hydrographique	47
A)- Pente moyenne de cours d'eau principal I_c	47
B)- Densité de drainage (D_d)	48
C)- Courbe aire-distance	48
III-5-4- Temps de concentration	49
III-5-5- Vitesse moyenne de ruissellement V_r	52
Chapitre IV : Etude Hydrologique des aménagements de protection	
IV-1- Introduction	54
IV-2- Analyse des données pluviométriques	54
IV-2- 1- Introduction	54
IV-2-3- La pluviométrie	55
IV-2-4- Pluies maximales journalières	55
IV-2-4- 1- Choix de la loi d'ajustement	56
A)- Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON	59
B)- Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL (Méthode de maximum des vrais semblances)	61
C)- Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gauss (Méthode de maximum des vrais semblances)	64
D)- Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GEV (Méthode de maximum des vrais semblances)	66
E)- Conclusion.....	69
IV-2-5- Pluie de courte durée.....	69
IV-3- Les apports	72
IV-3-1- Apports liquides	72
IV-3-2- Apports solides.....	75
IV-4- Etude de crue	75
IV-4-1- Différentes méthodes d'évaluation des crues.....	76
IV-4-1-1- Méthodes déterministes	76
IV-4-1-2- Méthodes probabilistes	76
IV-4-2- Application sur le bassin versant	76
IV-4-2-1- Formule de TURAZZA	77

IV-4-2-2- Formule de GIANDOTTI	78
IV-4-3- Hydro gramme des crues.....	78
IV-5- Présentation du logiciel HEC-RAS	81
IV-5-1- Introduction	81
IV-5-2- Un aperçu rapide de HEC-RAS	83
IV-5-3- Fonctionnement de HEC-RAS	90
IV-6- Proposition d'aménagement	90
IV-7- Autre avantages d'un canal trapézoïdal.....	90
IV-8- Généralités	91
Conclusion générale	94
Bibliographie	
Annexe	

Liste des Tableaux

Chapitre I : Généralités sur les inondations

Tableau I-1 : résumé des conséquences	11
---	----

Chapitre III : Etude du milieu physique

Tableau III-1: Répartition altimétrique du bassin versant.....	40
Tableau III-2 : récapitulatif des altitudes caractéristiques.....	43
Tableau III-3 : Indice de pente globale	44
Tableau III-4 : Fractions des surfaces entre courbes de niveau	45
Tableau III-5 : Classification O.R.S.T.O.M (type de relief.....	46
Tableau III-6 : Dénivelée spécifique	47
Tableau III-7 : Temps de concentration pour les différents auteurs.....	51
Tableau III-8 : les caractéristiques du bassin versant.....	52

Chapitre IV : Etude Hydrologique des aménagements de protection

Tableau IV-1 : Température moyenne annuelle.....	55
Tableau IV-2: Séries des Pluies Maximales Journalières (1990-2017.....	56
Tableau IV-3 : Caractéristiques de la série de données	57
Tableau IV-4: Résultats de l'ajustement à la loi de GALTON	60
Tableau IV-5: Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL.....	62
Tableau IV-6 : Résultats de l'ajustement à la loi de Gauss.....	65
Tableau IV-7 : Résultats de l'ajustement à la loi de GEV	67
Tableau IV-8 : les paramètres climatiques de Montana et périodes de retour	69
Tableau IV-9 : Pluies et intensités maximales de durée t(h) et période de retour (ans).....	70
Tableau IV-10 : Apports moyens interannuels	73
Tableau IV-11 : Les caractéristiques de l'écoulement	74
Tableau IV-12 : les valeurs du coefficient de ruissellement / Turazza	77
Tableau IV-13 : Résultats d'évaluation des crues par les lois empiriques.....	78
Tableau IV-14 : Pluies et intensités maximales de durée t(h) et période de retour (ans).....	79

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur les inondations

Figure I -1 : Eléments descriptif d'une crue	3
Figure I-2 : Lit mineur d'un cours d'eau	4
Figure I-3 : Lit moyen d'un cours d'eau	5
Figure I-4 : Lit majeur d'un cours d'eau	5
Figure I-5 : Embâcle sur un torrent, inondation par crue torrentielle	8
Figure I-6 : Débordement direct.....	9
Figure I-7 : Stagnation des eaux pluviales	9

Chapitre II: Procédés de Protection des Agglomérations Contre les Inondations

Figure II-1 : Recalibrage d'un cours d'eau	15
Figure II-2: Oued Mekerra (wilaya de Sidi Bel Abbes) rééquilibré dans la traversée de Ras El-Ma.....	16
Figure II-3 : Digue de navigation du Rhône en charge en permanence	18
Figure II-4 : Positions de la digue par rapport aux cours d'eau	19
Figure II-5 : Digue enrochée	20
Figure II-6 : Aménagement des berges de l'oued contre le glissement	21
Figure II-7: Schéma de fonctionnement d'un barrage écrêteur de crue	22
Figure II-8 : Schéma de fonctionnement d'un barrage écrêteur de crue	24
Figure II-10 : Correction torrentielle.....	25
Figure II-11: Correction torrentiel.....	26
Figure II-12 : Implantation des épis	27
Figure II-13 : Technique de banquettes.....	28

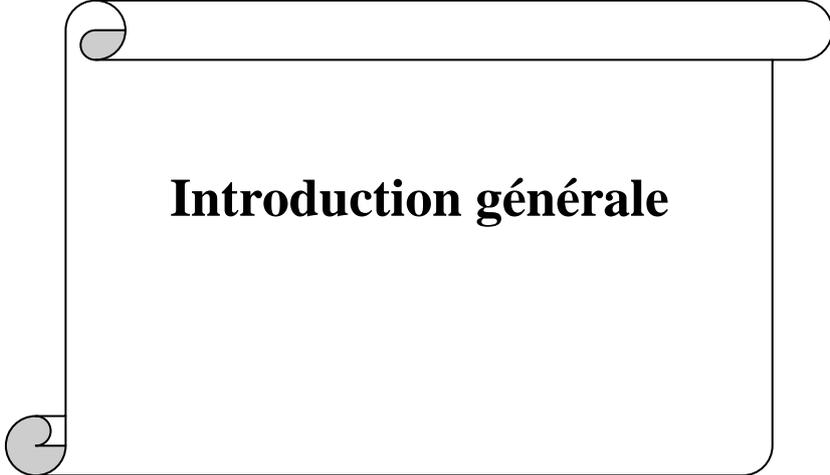
Chapitre III : Etude du milieu physique

Figure III-1 : délimitation du bassin versant	35
Figure III-2 : Rectangle équivalent	39
Figure III-3 : Courbe hypsométrique du bassin versant	41

Chapitre IV : Etude Hydrologique des aménagements de protection

Figure IV-1 : présentation de la pluie moyenne mensuelle.....	55
Figure IV-2 : Représentation des observations sur papier normale	58
Figure IV-3: Histogramme des observations	58

Figure IV-4: Ajustement à la loi de GALTON	61
Figure IV-5 : Ajustement à la loi de GUMBEL.....	64
Figure IV-6 : Ajustement à la loi de Gauss	66
Figure IV-7 : Ajustement à la loi de GEV	68
Figure IV-8: Comparaison entre les lois d'ajustement.....	68
Figure IV-9 : Courbes des pluies fréquentielle	61
Figure IV-10: Courbes des intensités- durées- fréquences.....	80
Figure IV-11 : Hydrogramme de crue	82
Figure IV-12: Structure des fichiers d'un projet.....	83
Figure IV-12 : fenêtre principal de Hec- Ras	84
Figure IV-13 : Menu dans HEC-RAS	85
Figure IV-13 : fenêtre nouveau projet.....	85
Figure IV-14: Fenêtre cross section	86
Figure IV-15: Fenêtre enter débit.....	86
Figure IV-16 : la géométrie du cours d'eau de chabat bouafia sur HEC-RAS	87
Figure IV-16 : Profil en long du cours d'eau	88
Figure IV-17 : vue en plan	88
Figure IV-18 : Courbe de tarage hauteur débit	89
Figure IV-19 : section transversal du cours d'eau.....	89
Figure IV-20 : Géométrie d'un canal naturel	91
Figure IV-21 : Types de canaux artificiels (couvert et découvert.....	92



Introduction générale

Introduction générale

L'eau peut être une source bénéfique comme elle peut être une source de problèmes. Elle présente des situations de paradoxe, d'une part de pénuries et d'une autre part d'inondations. Ce dernier cas constitue un risque majeur sur le territoire national et dans le monde entier. Classées au premier rang des catastrophes naturelles dans le monde, les inondations entraînent la mort d'environ **500 000** personnes par an, la destruction des villes et des villages, la propagation des maladies dangereuses et le gel de toute activité contribuant au développement des différents secteurs économiques et sociaux.

Plusieurs régions du pays sont régulièrement menacées par ces catastrophes hydrologiques. Pour un pays en voie de développement les bilans des dégâts humains et matériels engendrés sont souvent lourds à porter.

Les risques d'inondations sont dus à l'interaction complexe de plusieurs facteurs, c'est le résultat de la concordance de paramètres topographiques, géologiques, hydrologiques et météorologiques. Cependant, elles ne sont pas toujours procrées par des événements exceptionnels car elles peuvent avoir lieu suite à des épisodes météorologiques ordinaires s'en étant favorisées par l'intervention d'autres paramètres tel que : l'urbanisation anarchique, l'aménagement des territoires et le manque d'entretien des cours d'eau.

Les statistiques obtenues des études effectuées sur les zones inondées, au sein du pays, montrent que les bassins versants algériens, de superficies importantes, de terres agricoles, de plaines et d'agglomérations sont fréquemment affectées par des oueds en crue.

Les analyses faites à propos des crues et des inondations dans notre pays mettent en évidence leur violence et leur spontanéité ainsi que leur survenance brutale après une période de sécheresse.

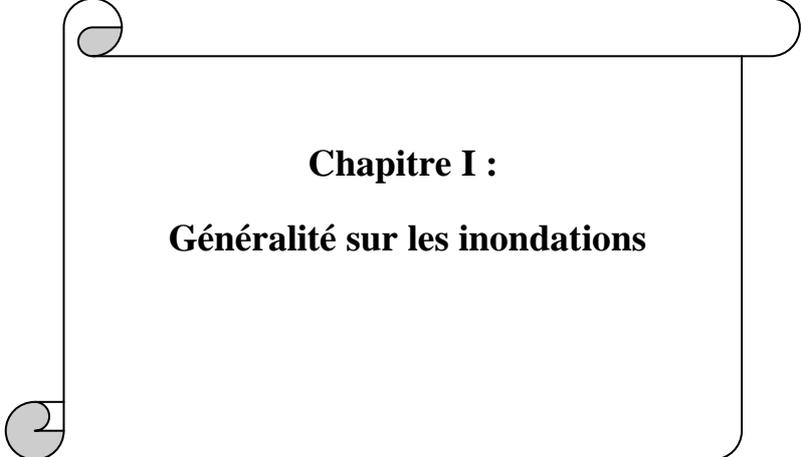
L'inondation ne peut être, dans le cas de la ville de **Bouhachena**, qu'aléatoire ou accidentelle lors d'une crue produite par des pluies exceptionnelles, car elle se produit lorsque de l'eau en excès ne peut être évacuée par les voies naturelles (lits mineurs des cours d'eau) ou artificielles prévues à cet effet (réseaux d'évacuation des eaux pluviales).

Partant de ces considérations, le présent travail vise une étude de protection contre les inondations du centre de **Bouhachena** située a **30 km** au nord de la wilaya de **Guelma** et le dimensionnement d'un ouvrage de protection de cette ville, , contre les crues de **Châbet Bouafia** , qui à chaque crue qu'elle soit exceptionnelle ou ordinaire, provoque des inondations importantes. En plus, en été les odeurs indésirables gênent la population.

Dans l'optique de réaliser un ouvrage fiable, invulnérable et capable d'assurer la haute protection pour laquelle il sera conçu, une étude profonde doit être faite dans le but de dégagés les paramètres essentiels intervenant dans la genèse des crues ou dans l'aggravation des inondations.

L'étude qu'on a effectuée dans ce manuel est scindée en quatre chapitres bien distincts.

- Le **premier chapitre** définit 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** consiste à illustrer les différents moyens de protection et de lutte contre les inondations qui existe et leur évolution ainsi que leurs domaines d'application.
- Le **troisième chapitre** présente une étude du milieu physique
- Le **quatrième** et dernier **chapitre** concerne le calcul hydrologique des aménagements de protections.
- Conclusion générale.



Chapitre I :
Généralité sur les inondations

Chapitre I : Généralités sur les inondations

I-1- Introduction :

Événement récurrents partout dans le monde, les inondations constituent le risque naturel majeur le plus répandu sur le globe. Tantôt bénéfique, tantôt dévastatrices, elles font partie du cycle saisonnier. Ainsi, pour conquérir plus le territoire, l'homme a depuis longtemps composé avec la nature, soit en vivant simplement à ses côtés, soit en tentant de la domestiquer. Au cours des derniers siècles, les progrès techniques et scientifiques ont permis de mettre au point des dispositifs d'utilisation et de protection contre la puissance des eaux, autorisant une colonisation du milieu encore plus efficace et effective. Les sciences ont donné les moyens d'exercer une maîtrise extrêmement forte sur la nature.

Une inondation est un fléau naturel qui affecte plusieurs pays du monde. Elle est due à de nombreux facteurs et aggravée par d'autres dont l'activité de l'homme qui fait souvent parti de l'un de ces facteurs. Les dégâts engendrés par cette catastrophe, qu'ils soient humains ou matériels sont généralement de statistiques lourdes.

I-2- Définition :

I-2-1- Inondation :

Une **inondation** est une submersion temporaire d'une zone habituellement sèche, par des eaux douces (fortes pluies, débordements de rivières,...etc.) Ou salées (submersion marine, tsunami,...etc.). Elle peut être un phénomène régulier ou catastrophique et peut se produire lentement ou très rapidement selon les conditions topographiques et météorologiques de la zone affectée. L'**inondation** est issue de nombreux facteurs dont le plus répandu dans le monde est les crues.

L'**inondation** est un phénomène spatial, qui peut s'étendre sur de vastes espaces géographiques, et cyclique, résultant de l'alternance des hautes et basses eaux d'une rivière. De fait, la gestion de ce risque s'organise également de façon cyclique, autour de trois temps principaux : avant pendant et après.

I-2-2- Crue :

Une **crue** terme plutôt hydrologique peut être définie comme l'augmentation plus ou moins brutale du débit ou le dépassement d'une certaine hauteur d'un cours d'eau, permanent ou non, due à une précipitation ou éventuellement à une autre cause (fonte de neige par exemple). Cette hauteur d'eau peut être qualifiée en fonction de sa durée de retour ; par exemple une crue décennale est une hauteur d'eau ou un débit qui a une chance sur dix de se produire chaque année.

Elle est caractérisée par quatre paramètres :

- Le débit.
- La hauteur d'eau.
- La vitesse d'écoulement.
- La durée.

Une **crue** se caractérise par son **hydrogramme** graphique qui représente les variations de débit en fonction du temps. Plus précisément, c'est la partie montante de Cette **hydrogramme** qui est appelé « **crue** », la partie descendante étant « **la décrue** ».

I-2-3- Éléments descriptifs d'une crue :

Une **crue** est décrite par quatre éléments (**Figure I-1**), qui sont :

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

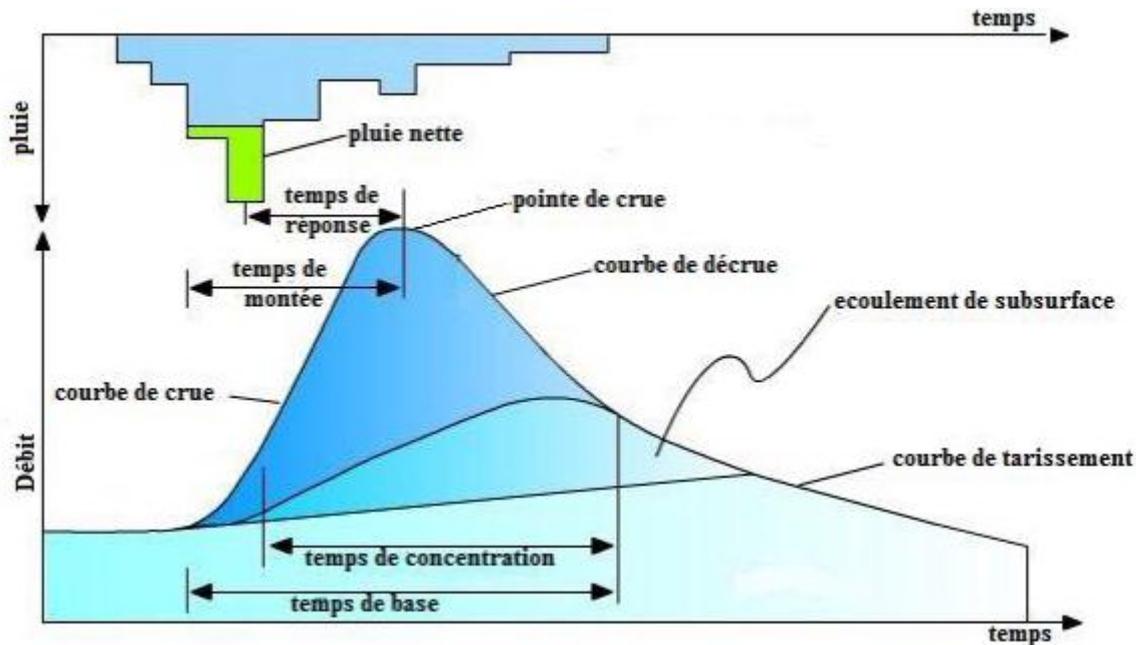


Figure I -1 : Eléments descriptif d'une crue

I-2-4- Principaux paramètres nécessaires pour évaluer la catastrophe :

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

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

Les dégâts occasionnés par les inondations dépendent des paramètres suivants :

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

I-3- Mécanismes de l'inondation :

Les facteurs physiques qui influencent les inondations sont :

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

Les facteurs aggravants le risque d'inondation sont :

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

I-4- Paramètres fondamentaux du cours d'eau :

a)- Lits du cours d'eau :

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

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



Figure I-2 : Lit mineur d'un cours d'eau

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



Figure I-3 : Lit moyen d'un cours d'eau

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

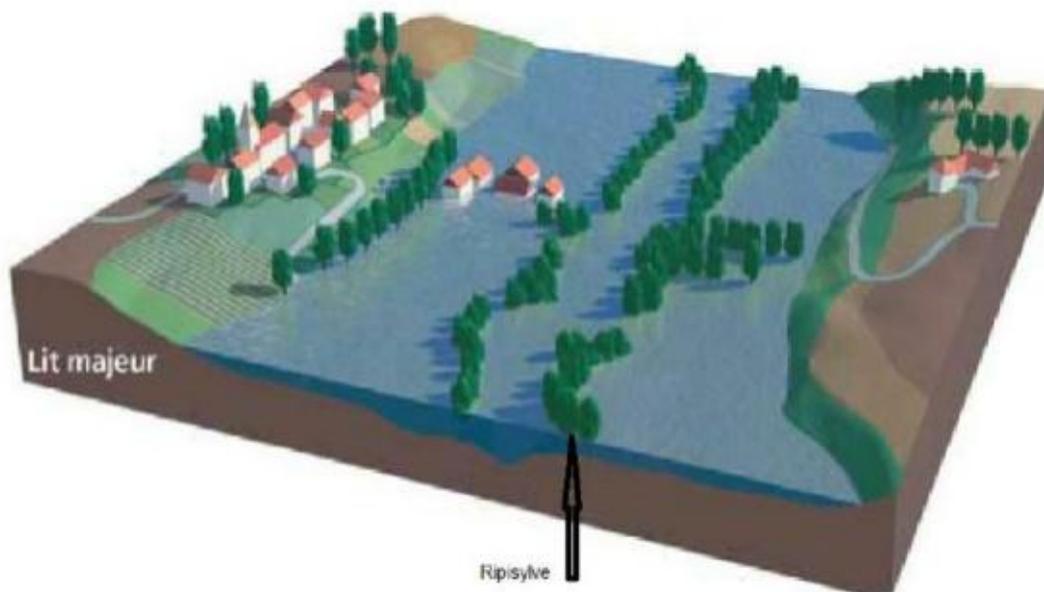


Figure I-4 : Lit majeur d'un cours d'eau

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

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

b)- Rive – berge :

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

c)- Ripisylve :

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

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

d)- Alluvions et substratum :

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

I-5- Type d'inondations :

Même si d'autres causes sont possibles (rupture de barrage, raz de marée, etc...), les inondations résultent généralement de crues.

Selon la rapidité d'évolution du phénomène, on distingue souvent les crues fluviales et les crues torrentielles (ou crues rapides), même si le passage d'un type de crue à l'autre est continu;

Il existe au moins cinq types d'inondations :

I-5-1- Les inondations par crues torrentielles :

Les **crues torrentielles** sont des phénomènes brusques et violents issues d'épisodes pluvieux d'une importante intensité. Le ruissellement de ces eaux charrie une grande quantité de matériaux solides (sédiments, bois morts, ... etc.) qui font, en quelque sections, colmater le lit du cours d'eau et former des obstacles appelés **embâcles (Figure I-5)**. En cédant, ces embâcles libèrent brutalement l'eau qu'ils ont retenue. En conséquence à cela des dégâts très importants sont engendrés.

On parle de **crues torrentielles**, lorsque le **temps de concentration** d'un bassin est inférieur à 12h.

Elles touchent, généralement, les bassins de montagnes et les régions méditerranéennes mais aussi de petits bassins au relief accentué et à forte capacité de ruissellement peuvent être concernés.



Figure I-5 : Embâcle sur un torrent, inondation par crue torrentielle

I-5-2- Les inondations par débordement direct (débordement des plaines) :

Les inondations de plaine résultent d'épisodes pluviaux de longue durée et d'intensité modérée. Le sol recevant ces pluies est caractérisé par une faible capacité de ruissellement (lent à déclencher). Par accumulation d'eau, dépassant sa capacité, le cours d'eau déborde, l'écoulement sort du lit mineur pour occuper les terres avoisinantes.

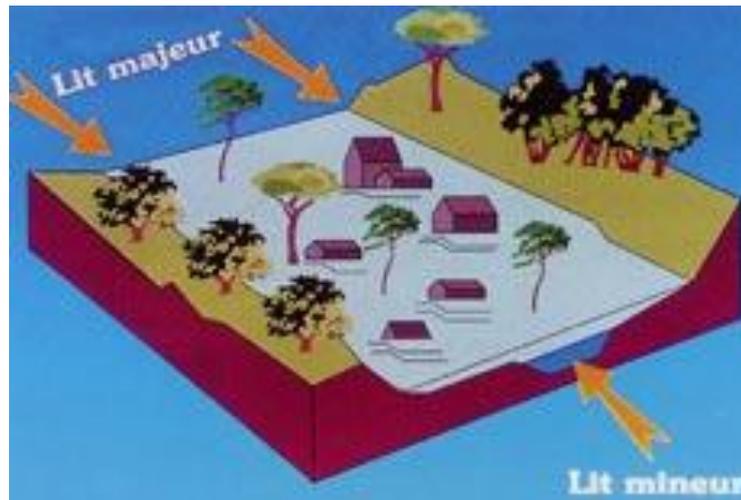


Figure I-6 : Débordement direct

I-5-3- Les inondations par accumulation d'eau ruisselée :

Ce type d'inondation est provoqué suite à des pluies exceptionnelles ou d'orages violents s'abattant sur un sol de capacité d'infiltration et de drainage insuffisantes. Cette insuffisance est due essentiellement à deux facteurs :

- Soit, l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité du sol,
- Ou bien, le ruissellement se fait sur un sol déjà saturé par une nappe.

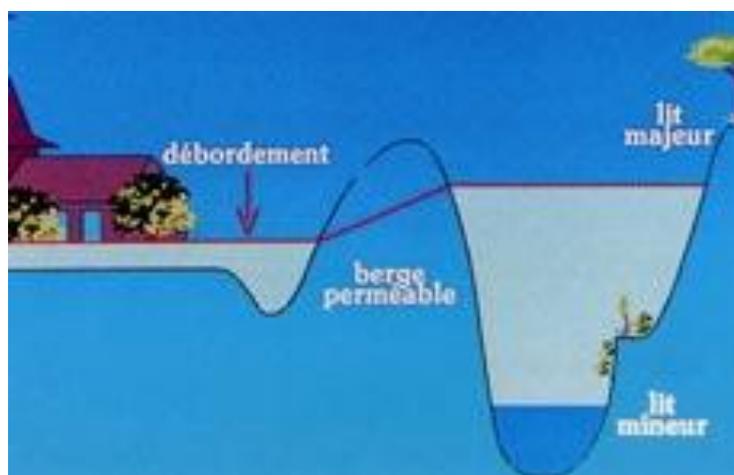


Figure I-7 : Stagnation des eaux pluviales

I-5-4- Les inondations par rupture d'un ouvrage artificiel hydraulique :

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

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

I-5-5- Les inondations par submersion marine :

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

I- 6- Les causes et origines des inondations :

Elles sont causées par plusieurs facteurs, dont on cite :

- **Causes d'origine naturelle** : elles correspondent aux phénomènes météorologiques et climatiques tels que : pluies exceptionnelles, orages violents, pluies torrentielles, fonte des neiges,...etc.
- **Causes d'origine humaine directe** : elles consistent dans la modification du système fluvial des cours d'eau ou de leurs caractéristiques morphologiques (largeur, longueur, pente, etc.) par la construction d'ouvrages hydrauliques, le drainage, l'irrigation, la dégradation des sols et l'agriculture intensive (accélère le ruissellement et limite l'infiltration).
- **Causes d'origine humaine indirecte** : elles consistent dans la modification du système fluvial des cours d'eau ou de leurs caractéristiques morphologiques (largeur, longueur, pente, etc.) par la construction d'ouvrages hydrauliques, le drainage,

l'irrigation, la dégradation des sols et l'agriculture intensive (accélère le ruissellement et limite l'infiltration).

- **Causes d'origine humaine indirecte** : elles sont liées à la pollution et le réchauffement climatique qui ont modifié les conditions climatiques du monde entier. L'émission de gaz à effet de serre provoque la fonte des glaciers des pôles (nord et sud), ceci entraîne la montée du niveau des océans et des cours d'eau ainsi que la procréation de cyclones d'intensité importante.

I-7- Conséquences engendrées par les inondations :

Les inondations touchent presque tous les pays du monde avec des influences très différentes. L'aléa présente des impacts importants sur la société, les dommages qu'elle procure atteignent plusieurs secteurs : le secteur santé et vie, le secteur socio-économique et le secteur environnement.

Tableau I-1 : résumé des conséquences.

Secteurs	Conséquences
Santé et vie	Propagation des maladies infectieuses et psychologiques.
	Manque d'hygiène.
	Blessures physiques
	Décès.
	Malnutrition.
Socio-économique	Destructions des infrastructures.
	Baisse d'emploi à long terme.
	Menace le développement des villes et des villages.
	Migration.
	Pertes financières.
Environnement	Destructions des cultures.
	Pertes animales.
	Contaminations des eaux.

I-8- Les inondations en Algérie :

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

Plusieurs régions du pays sont régulièrement menacées par ces catastrophes naturelles dont les effets sont souvent intensifiés par d'autres facteurs qui aggravent les effets de crues. Ces événements dramatiques engendrent souvent des bilans lourds de dégâts humains et matériels, cependant ils ne sont pas toujours procréés par des situations météorologiques exceptionnelles et se produisent dans beaucoup de régions suite à des épisodes pluviales saisonniers ordinaires, les causes de telles inondations sont liées en grande partie aux agissements de l'homme, dont on cite :

- L'occupation des rives des cours d'eau et l'urbanisation anarchique.
- La défaillance des réseaux d'assainissement et de collecte des eaux pluviales.
- Le gonflement des oueds par les décombres et les détritiques, ...etc.

I-8-1- Causes et types de crues catastrophiques en Algérie :

La genèse des fortes crues et leurs impacts sur l'environnement et les activités différentes d'une région à un autre est fonction des conditions géographiques, climatiques et d'occupation des sols qui les caractérisent.

Bien que la cause fondamentale de la plupart des inondations soit les fortes pluies, elles ne sont pas toutes dues aux phénomènes exceptionnels. Des facteurs hors les conditions climatiques agissent soit pour aggraver les effets d'une crue, soit pour créer eux-mêmes des phénomènes hydrauliques dans les surfaces d'eau, tels que la présence de détritiques et des troncs d'arbres qui réduisent la capacité du lit des oueds, ...etc.

D'une manière générale, les causes des inondations en Algérie sont classées en trois types :

- Inondations liées aux situations météorologiques remarquables se traduisant par une forte pluviosité (pluies importantes et orages violents).

- Inondations résultant des activités humaines : défaillance des réseaux d'assainissement et de collecte des eaux de pluie, l'encombrement des oueds par les déchets, les décombres et les troncs d'arbre,...etc.
- Inondations produites dans des régions à topographie défavorable ; comme le cas des villes traversées par des oueds (El Bayadh, Bordj Bou Arreridj, Sidi Bel Abbes, etc.), ou situées au pied d'une montagne (Ain Deffa, Batna et Médéa). Ces agglomérations à forte concentration de populations et sous l'effet d'une urbanisation anarchique sont exposées au risque d'inondation aussi légère qu'elle soit.

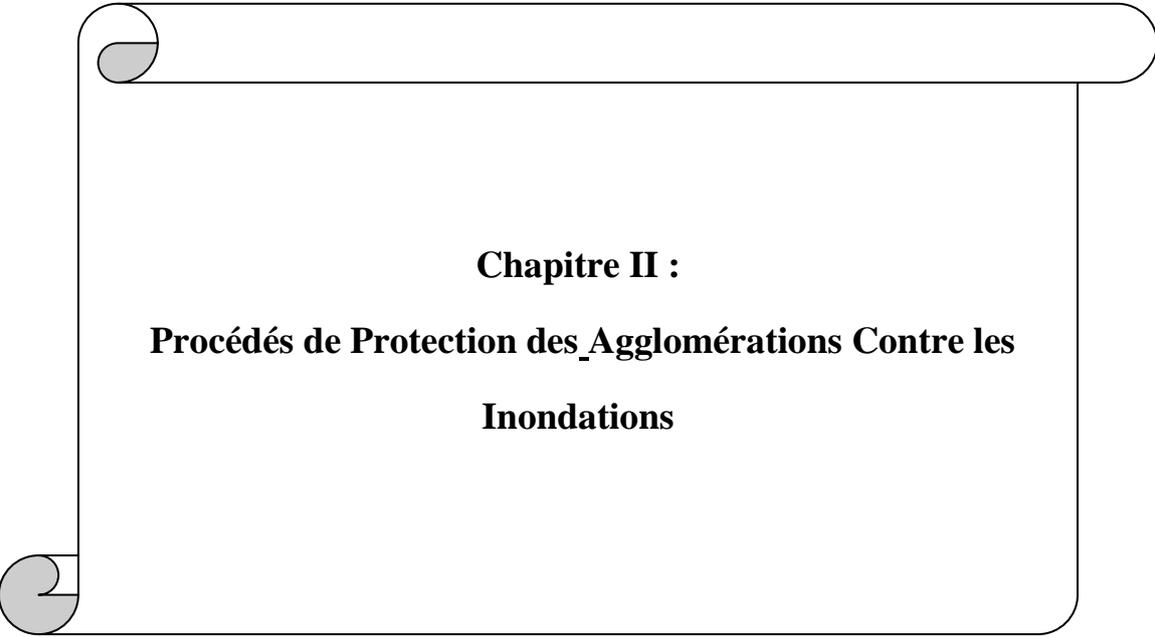
Ces inondations selon les caractéristiques des crues, leurs durées et leurs étendues sont de deux types :

- Inondations engendrées par crues torrentielles (crues éclaires), elles affectent les petits bassins versants de quelque dizaines de km² et sont le plus souvent liées à des chutes de pluies isolées et localement intenses issues de phénomènes de convection sous forme de tempêtes orageuses se produisant en automne et en été. Les crues de ce type sont particulièrement dangereuses en raison de leur soudaineté et leur rapidité.
- Inondation des grands bassins versants, elles résultent des précipitations importantes généralisées sur des grands étendues et caractérisées par leur quantité et leur longue durée qui peut atteindre 10 à 15 jours. Ces crues sont massives, lentes et à évolution facilement prévisible sauf lorsqu'elles sont brutalement aggravées par des affluents avals plus courts et plus rapides.

I-9- Conclusion :

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

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



Chapitre II :
Procédés de Protection des Agglomérations Contre les
Inondations

Chapitre II: Procédés de Protection des Agglomérations Contre les Inondations

II-1- Introduction :

Une inondation est le phénomène occasionnel qui peut noyer de vastes parties du lit majeur ou de la plaine, à la suite d'une crue particulièrement importante et du débordement des eaux.

De façon plus pragmatique, on admet qu'une rivière est en crue lorsqu'elle déborde des limites de son lit mineur. Il s'agit d'un phénomène naturel périodique qui n'est exceptionnel que lorsque les débits deviennent considérables par rapport à son module : on parle alors de crue critique, laquelle peut engendrer une inondation sur les zones riveraines. Cependant la distinction classique entre lit mineur et lit majeur est souvent exagérément remplissage du chenal il est possible d'affiner la notion de lit fluvial et de distinguer successivement.

Une fois la situation du risque est décrite, il est possible de faire une prévision d'un large éventail d'aménagements qui pourra a priori participer à la réduction des conséquences des écoulements provoquant les inondations. Ces aménagements peuvent être prévus au niveau du bassin versant, dans les réseaux primaires et dans le lit majeur des cours d'eau.

II-2- Procédés de protection des agglomérations contre les inondations :

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

II-2-1- Recalibrage du cours d'eau :

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

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

- La rectification du lit mineur ;
- La protection des berges contre l'érosion ;
- La suppression de la ripisylve (systématique sur au moins l'une des deux berges) ;
- L'endiguement « rustique » (merlon réalisé avec les déblais du recalibrage).

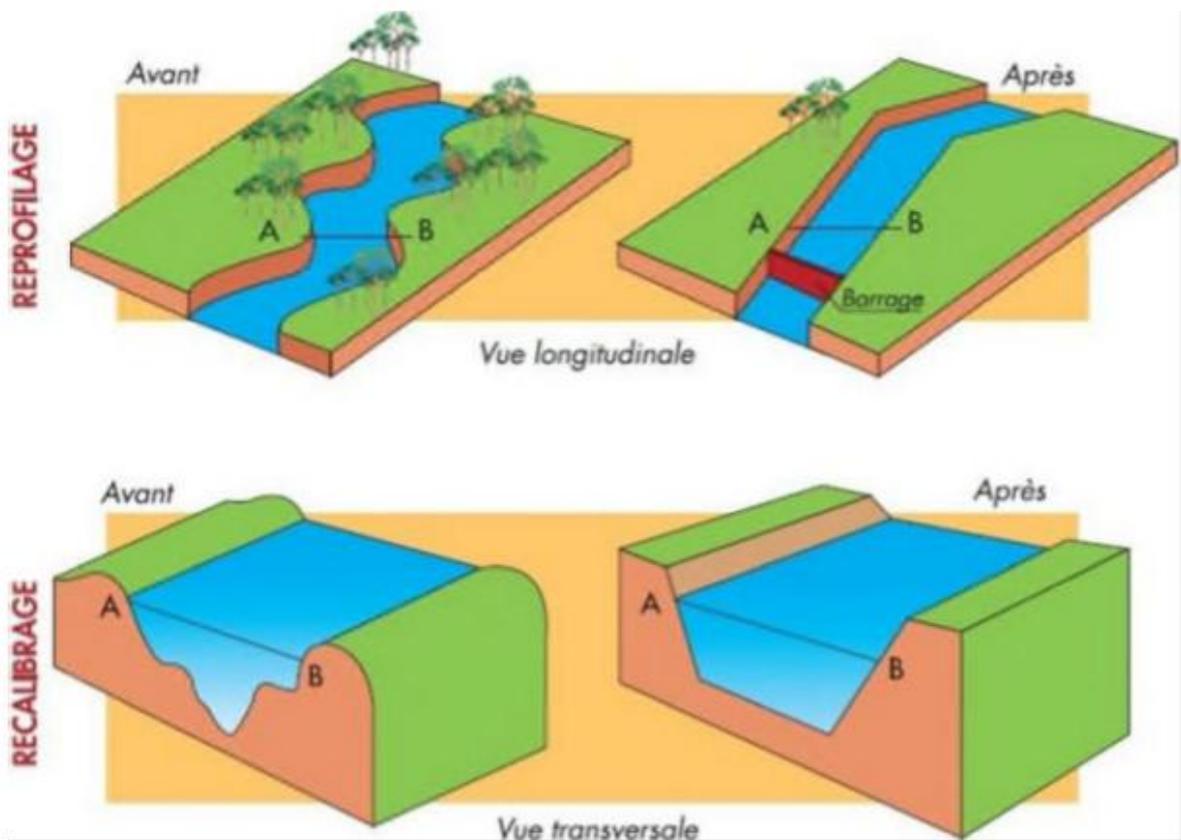


Figure II-1 : Recalibrage d'un cours d'eau

a)- Les conséquences d'un recalibrage :**❖ Sur les débits de pointe :**

Un recalibrage a forcément pour conséquence de diminuer localement la fréquence des submersions et donc de diminuer l'effet de laminage des crues par épandage dans le lit majeur.

❖ Morphologiques pour le profil en long :

Un recalibrage s'accompagne souvent, comme on l'a vu, d'un enlèvement important de la végétation, ce qui accroît la sensibilité des berges à l'érosion.

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

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

- L'adoption de pentes de berges suffisamment douces pour améliorer la tenue au glissement.
- La pose de matériaux plus résistants dans les coudes les plus prononcés.
- Et chaque fois qu'il est possible le maintien des arbres ou au moins des souches et le maintien des seuils existants.

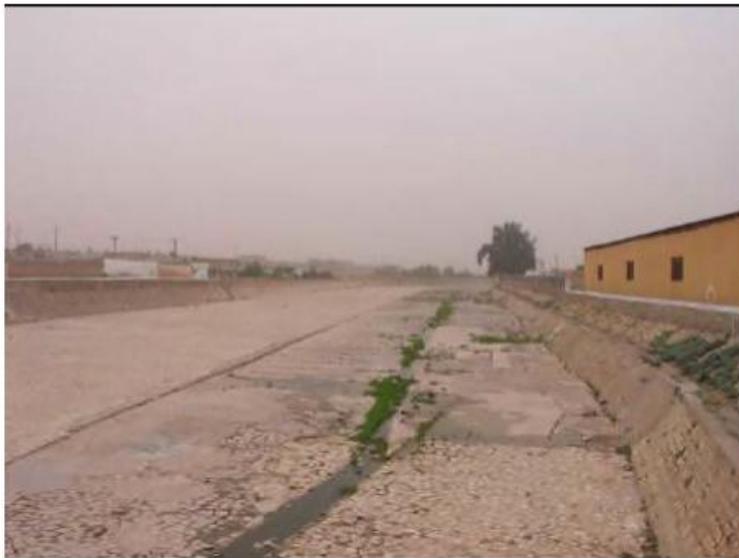


Figure II-2 : Oued Mekerra (wilaya de Sidi Bel Abbas) rééquilibré dans la traversée de Ras El-Ma.

b)- Les inconvénients du recalibrage :

Parmi les inconvénients de cette technique on trouve :

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

II-2-2- Endiguement du cours d'eau :

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

a)- Les digues en charge en permanence :

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

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



Figure II-3 : Digue de navigation du Rhône en charge en permanence

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

b)- Les digues de protection contre les inondations :

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

Les digues de protection contre les inondations constituent le deuxième grand type de digues. On trouve ces digues essentiellement le long des cours d'eau, parfois positionnées directement en contact avec la berge, ou éloignées de plusieurs mètres, ou plus (quelques centaines de mètres), de celle-ci (**Figure. II-4**).

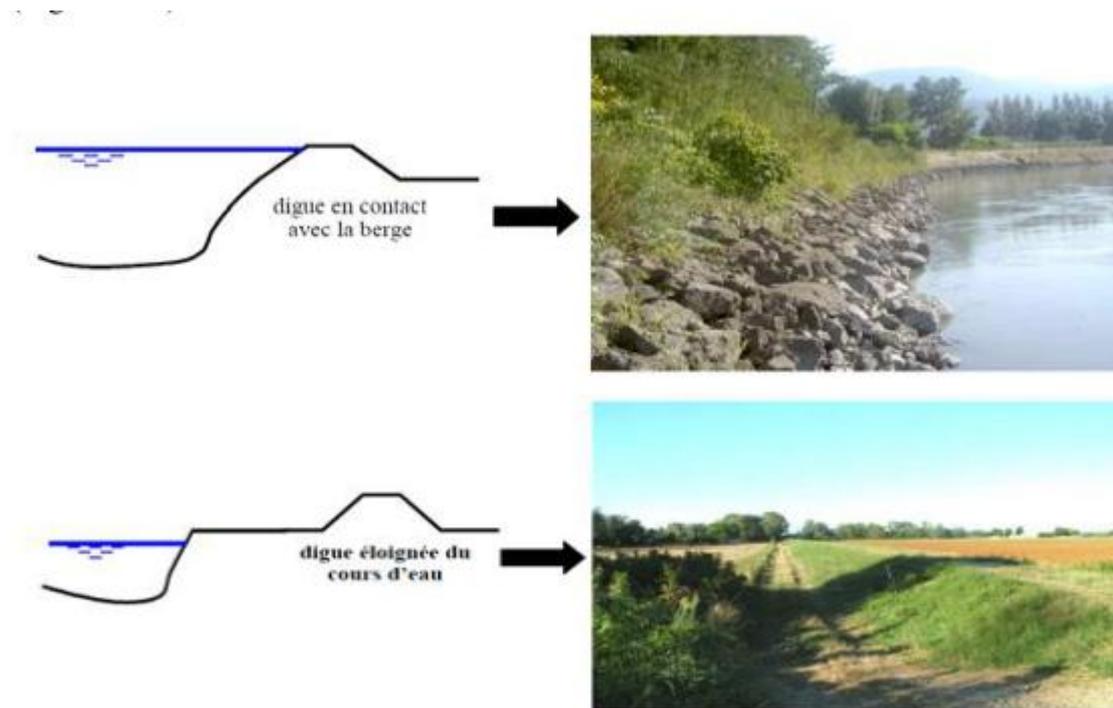


Figure II-4 : Positions de la digue par rapport aux cours d'eau

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

II-2-3- Caractéristiques des digues de protection contre les inondations :

On peut décrire le fonctionnement hydraulique d'une vallée endiguée (**Figure II-5**) de la façon suivante :

- ❖ Lors d'une crue, la rivière déborde de son lit mineur et inonde progressivement le lit majeur endigué.
- ❖ L'endiguement limite l'emprise de l'inondation pour les crues faibles et moyennes, mais il surélève la ligne d'eau là où la présence des digues conduit à rétrécir sensiblement la largeur du lit naturel (c'est très souvent le cas dans la traversée des villes).
- ❖ Dans le cas des fortes crues, le rôle des digues est limité et la vallée sera complètement inondée.

- ❖ On aménage parfois des déversoirs qui permettent de protéger la digue contre le déversement.
- ❖ Pour les crues extrêmes, l'ensemble de la vallée est inondé, soit à la suite du fonctionnement des déversoirs, soit par des ruptures de digues ; le fleuve ou la rivière recouvrent ainsi l'ensemble de leur lit majeur, comme en l'absence de protections .

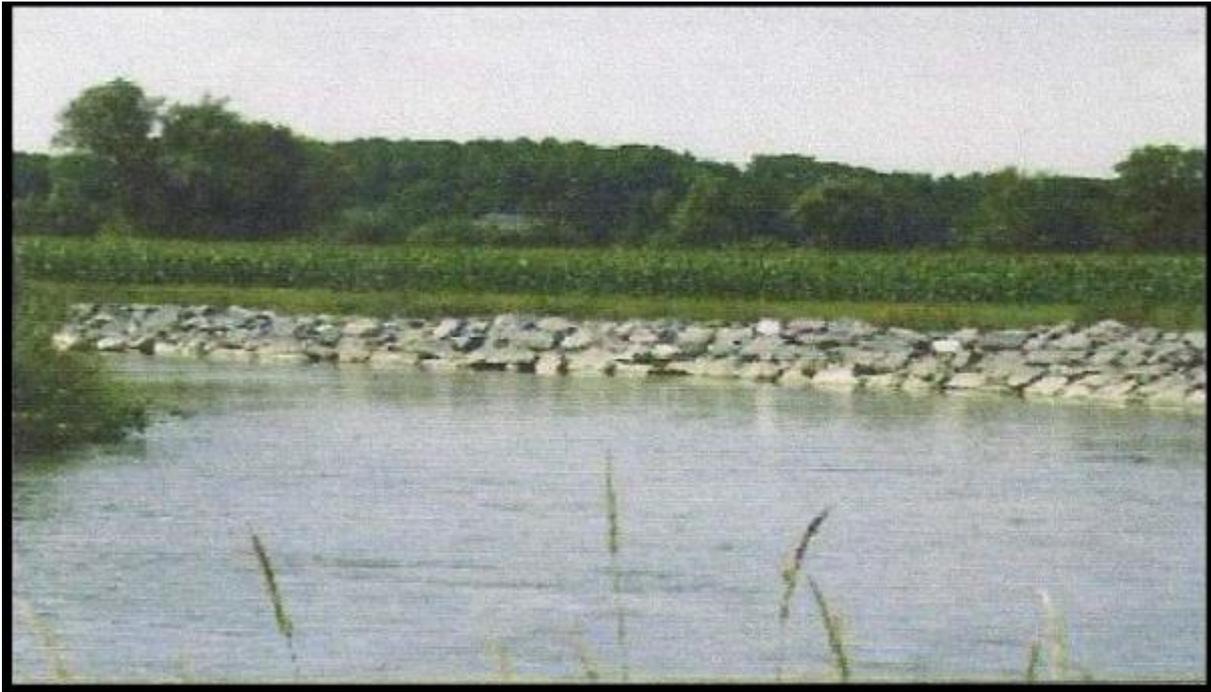


Figure II-5 : Digue enrochée

II-3- Reboisement :

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

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

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



Figure II-6 : Aménagement des berges de l'oued contre le glissement

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

I-4- Recalibrage des systèmes d'évacuation de l'eau :

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

II-5- Préservation - Restauration - Création des zones d'expansion des crues :

Il s'agit de préserver ou de restaurer des zones connues d'expansion de crues du cours d'eau.

Ceci implique généralement de contrôler l'occupation de la zone d'expansion de crues de telle sorte que la submersion de la zone ne soit pas finalement remise en compte.

Les effets positifs sont à une échelle plus ou moins locale en fonction de la surface de stockage effectivement en jeu. Ce type d'aménagement n'a que peu d'impact sur la vie aquatique de la rivière et sur son fonctionnement.

II-6- Barrage écrêteur :

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

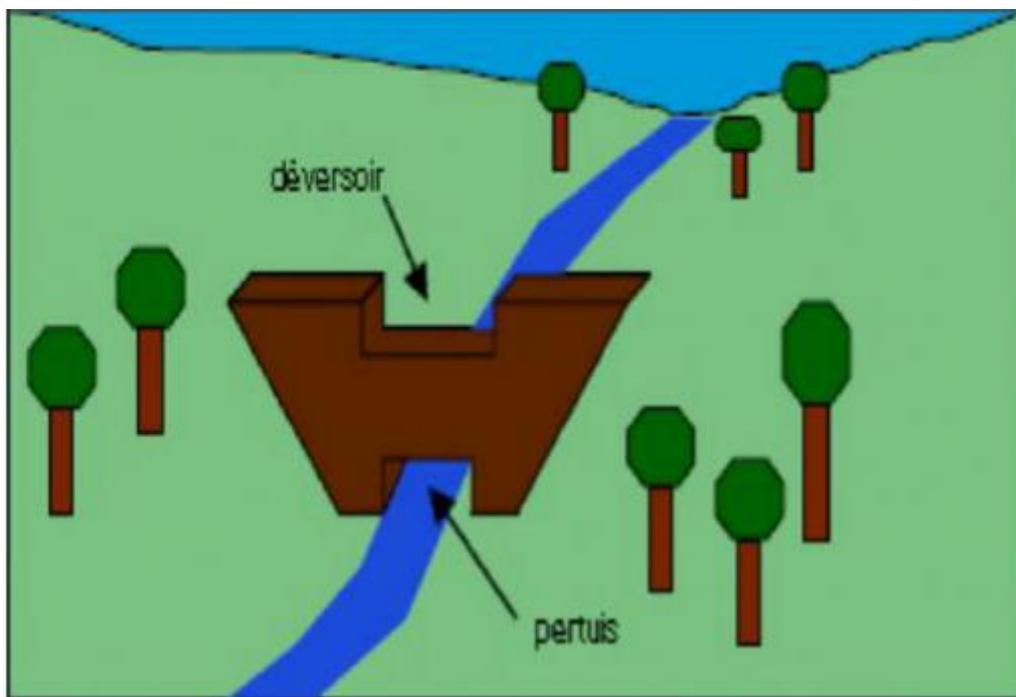


Figure II-7: Schéma de fonctionnement d'un barrage écrêteur de crue

II-6-1- Principes de fonctionnement :

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

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

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

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

II-6-2- Conséquences et effets perturbateurs possibles :

Parmi les conséquences de barrage écrêteur on trouve :

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

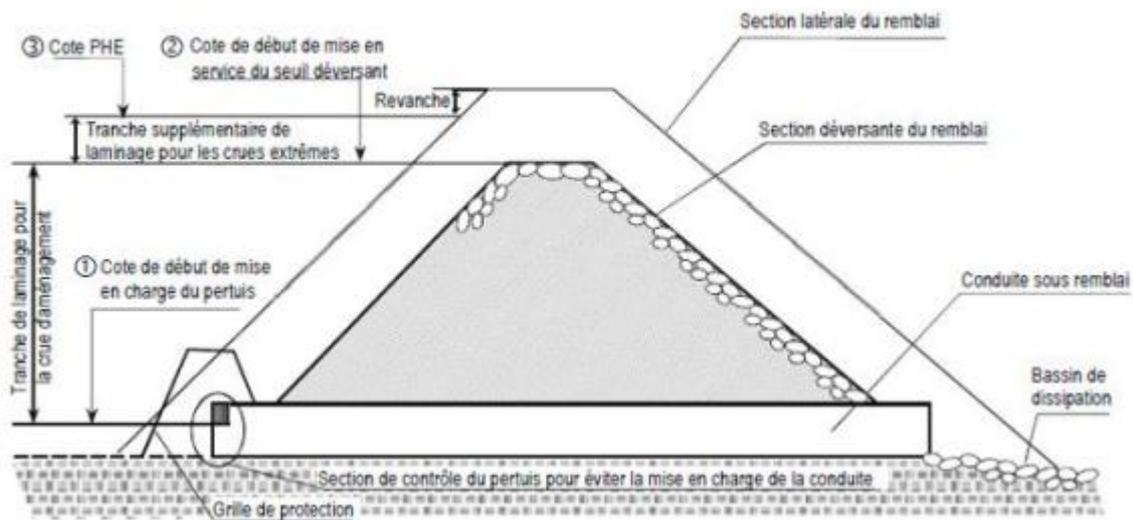


Figure II-8 : Schéma de fonctionnement d'un barrage écrêteur de crue

II-6-3- Particularités techniques des petits barrages écrêteurs décrues :

Le contrôle de sécurité des barrages existants repose en particulier sur un certain nombre d'examen visuels, en particulier les visites techniques approfondies, et sur des lectures d'instruments. Pour les barrages écrêteurs, il est tout à fait possible que pendant une décennie par exemple, aucune mise en eau significative ne se soit produite. C'est pourquoi la sécurité de ce type d'ouvrages habituellement secs repose sur une conception irréprochable.

Les principes généraux et les éléments d'hydrologie et d'hydraulique s'appliquent à tous types d'ouvrages, en remblai ou en béton. Les éléments de conception du génie civil des ouvrages, et de réalisation, sont tournés vers les ouvrages en remblai, largement majoritaires parmi les nouveaux ouvrages examinés.

II-7- Influence des barrages :

La retenue d'un barrage joue le rôle d'un énorme décanteur. Les matériaux solides transportés par le cours d'eau sont déposés du fait du ralentissement de la vitesse. Un tri granulométrique s'opère avec dépôt des éléments les plus grossiers à l'entrée de la retenue. Les éléments plus fins se déposent plus à l'aval. Les végétaux et animaux (zooplancton, poissons...) créent de la matière organique qui sédimente également, le tout formant

une vase plus ou moins riche en matière organique qui se consolide rapidement. Les opérations de vidange n'arrivent qu'à extraire vers l'aval le bouchon de vase proche de l'orifice, et le comblement progressif de la retenue est irréversible. Ce phénomène est très marqué dans les pays du Maghreb.

II-8- Correction torrentielle :

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

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



Figure II-10 : Correction torrentielle

Le nombre des digues à construire est donné selon la formule :

$$N = L \cdot (P - I) / H \quad \dots\dots\dots (II-1)$$

N : Nombre de Dignes

L : Longueur du ravin (m).

P : Pente moyenne du lit.

H : Hauteur moyenne des digues (1 à 4 mètres).

I : Pente de compensation (pente inter digue, elle est inférieure à la pente initiale du lit de ravin) $i \approx 0.01$

$$I = \frac{f.b.(d-p)}{0,076.0,0625^2.c^2.R^2} \dots\dots\dots (II-2)$$

f : Coefficient de frottement des matériaux.

b : Longueur du caillou (m).

d : Densité du caillou.

P : Densité de l'eau boueuse (varie de 1 à 1,8).

C : Coefficient dépendant des parois de la digue.

R : Rayon hydraulique moyen du ravin (m)

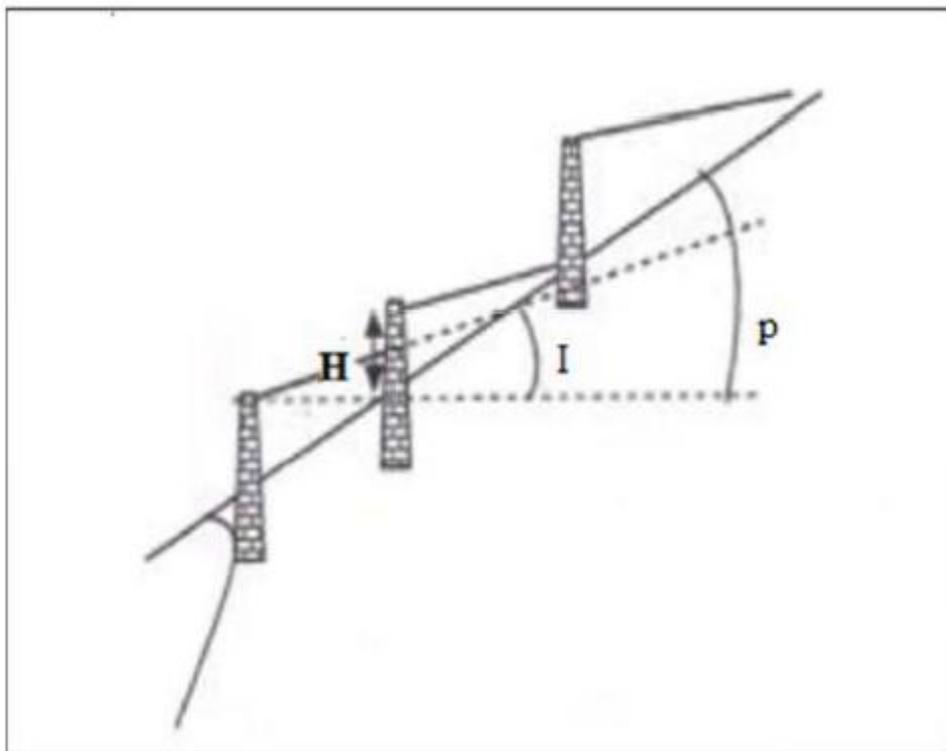


Figure II-11: Correction torrentiel

II-9- Les épis :

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

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

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

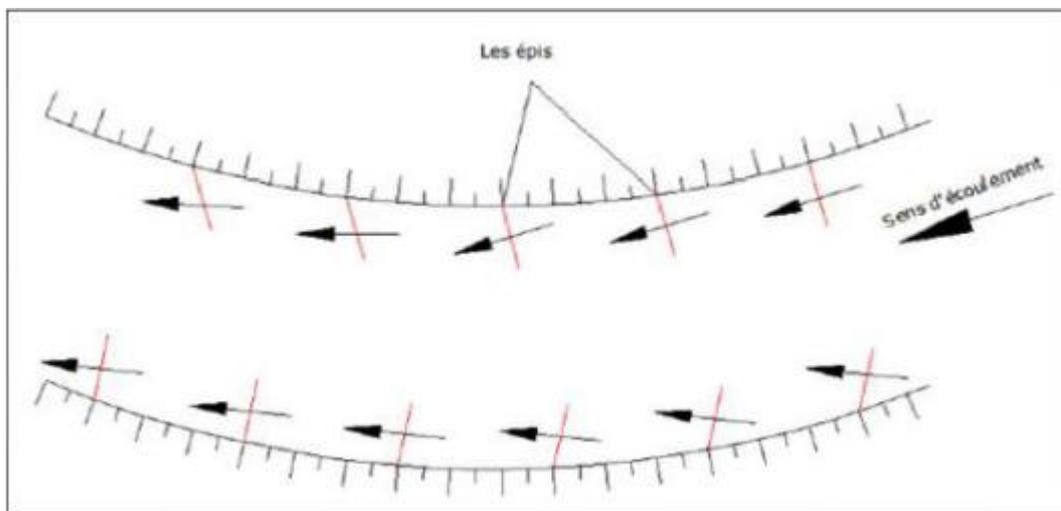


Figure II-12 : Implantation des épis

II-10- Banquette :

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

La banquette mécanique se divise en quatre zones.

- Le fossé large reçoit les eaux de ruissellement de l'impluvium.
- Le talus reçoit la pluie et un apport latéral des eaux du fossé.

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

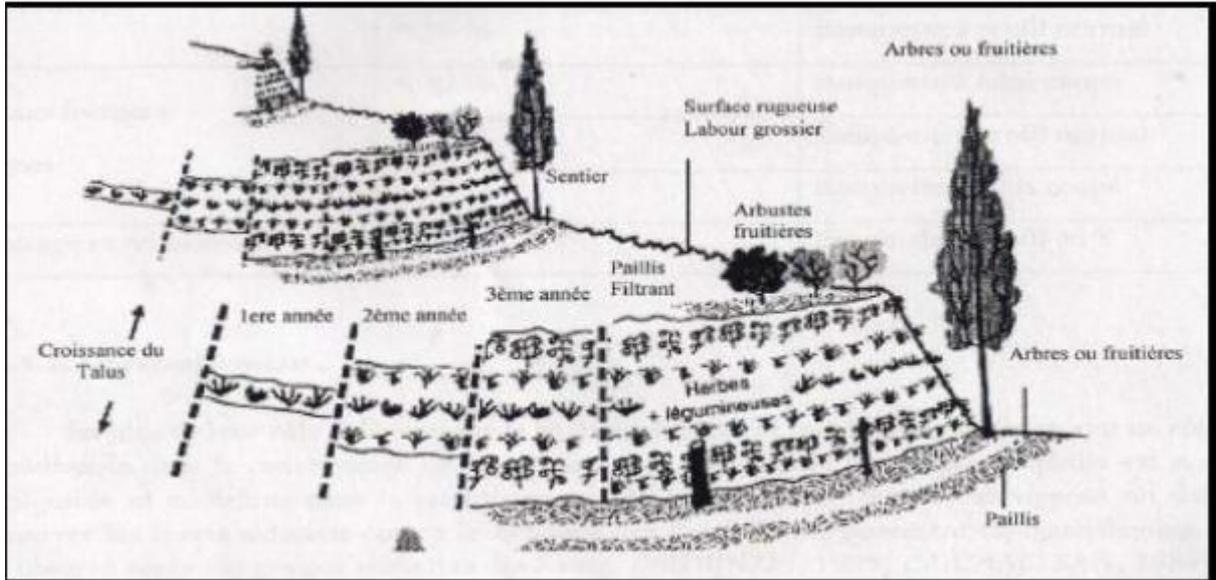


Figure II-13 : Technique de banquettes

II-11- Ouvrage de stockage en dérivation :

II-11-1- Fonctionnement :

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

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

II-12- Risques et aménagement du territoire :

Il s'agit d'adapter les outils de l'aménagement du territoire aux aléas naturels, en introduisant des études et des plans expliquant et délimitant les risques : Aménager conformément aux aptitudes du milieu naturel :

- Plan d'exposition aux risques naturels **PER**
- Plan de protection contre les risques naturels **PPR**
- Revoir et enrichir le code de l'urbanisme, le code des forêts...etc.

II-13- Retenues d'eau :

Les retenues collinaires sont des réservoirs de stockage d'eau de dimensions modestes créés à partir d'un petit barrage en remblai. Elles existent depuis longtemps dans toutes les zones du monde où l'agriculture a besoin d'un apport supplémentaire d'eau là où le relief le permet. Elles se distinguent des "bassins" qui sont essentiellement des réservoirs entourés par un périmètre endigué ou des "bassines", petits bassins étanchés avec une géo membrane.

L'ouvrage est constitué dans la grande majorité des cas d'un barrage en terre fermant un thalweg de taille variable. Le dispositif retient les eaux de ruissellement et en stocke une partie. Certains sont mis en place sur des petites rivières ou des ruisseaux pérennes.

La majorité est installée dans des thalwegs sans écoulement permanent. Cette ressource est surtout utilisée pour l'irrigation. Elles servent aussi à la protection incendie, aux loisirs, à la pêche et à la pisciculture et plus récemment à alimenter les canons à neige.

II-14- Les protections classiques :

Face au problème des crues l'homme n'est pas démuni et il faut souligner que si le coût moyen des inondations ne cesse d'augmenter, à l'inverse, le nombre des victimes a considérablement diminué. L'homme dispose en effet maintenant de nombreuses solutions, soit d'adaptation (solution ancienne), soit de "**maitrise**" du phénomène.

Bien entendu les hommes ont de tout temps cherché à se protéger contre ces calamités et la meilleure protection consistait à vivre dans des lieux réputés à l'abri des inondations ; hauts de versants, collines, etc.

Le risque d'inondation était éliminé par l'absence de construction en zone inondable, ou accepté en connaissance de cause.

II-14-1- La prévention passive :

La plus simple, et de loin la plus efficace, largement adoptée par nos ancêtres, était donc celle qui consistait à ne pas s'installer dans les secteurs réputés inondables. Ces derniers étaient bien connus autrefois car la mémoire collective retenait plus volontiers qu'aujourd'hui les enseignements des observations de la nature. Les villages ne s'établissaient que sur les sites élevés bien connus pour être surs par rapport aux menaces des cours d'eau.

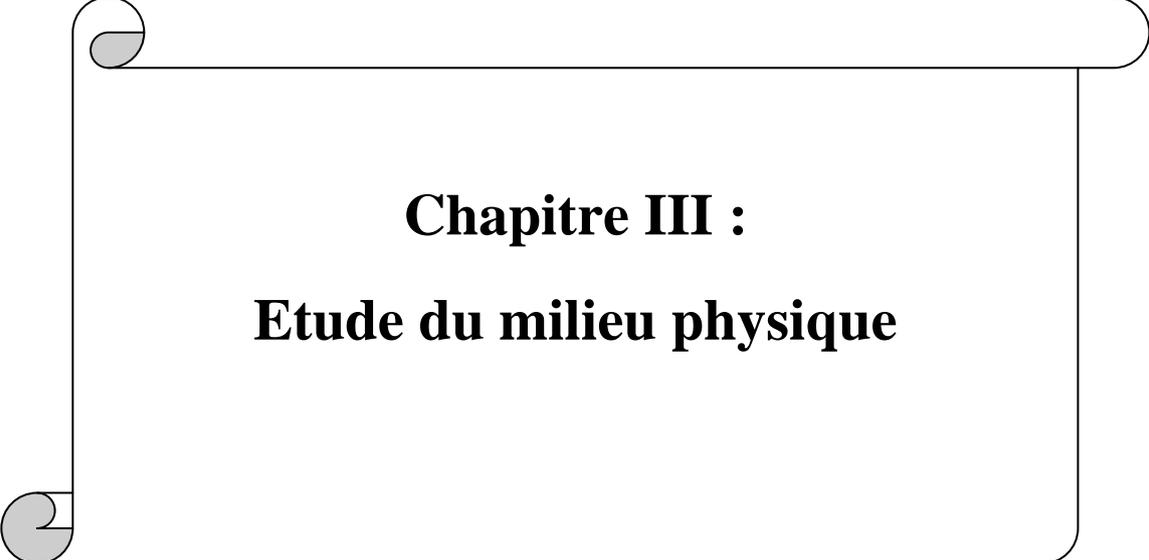
Autrefois, quand exceptionnellement on construisait dans les zones inondables, on bâtissait des maisons d'au moins un étage pour se réfugier en cas de crue et le rez-de-chaussée était conçu pour supporter une inondation temporaire (par exemple il était carrelé et n'avait pas de parquet).

II-14-2- L'entretien des lits :

Au cours des siècles précédents les cours d'eau non domaniaux étaient exploités ; pêche professionnelle, utilisation de l'énergie (moulins et forages), produits de curage et bois morts. Leur entretien considéré comme essentiel était assuré par les riverains. Puis le déclin économique de ces activités jugées trop "**rurales**" et "**secondaires**" a progressivement amené un désintérêt. Les rives des cours d'eau furent laissées à elles-mêmes, aggravant de décennies par les collectivités locales dans la mesure de leurs budgets et des priorités considérées. Il n'est pas cependant absolument sûr qu'un entretien parfait du seul cours d'eau soit la réponse la plus appropriée pour réduire les dégâts des inondations.

II-14-3- Les travaux de protection :

L'aménagement d'un cours d'eau peut être conçu à plusieurs niveaux et revêtir plusieurs formes ; suppression d'obstacles, curages et protection des rives ,voire recalibrage, enrochement, épis, construction de seuils... il existe une très grande variété d'ouvrage de protection dont les effets se font sentir à la fois sur la dynamique fluviale (et donc sur les milieux humides rivulaires), sur le régime des crues et les échanges entre les cours d'eau et les milieux humides du lit majeur, mais aussi sur le milieu aquatique (régression des eaux courantes, modifications des habitats, barrières pour les migrateurs, etc.) D'une façon générale, les actions les plus efficaces à court terme et pour les crues moyennes, sont les travaux de correction et de régularisation des cours.



Chapitre III :
Etude du milieu physique

Chapitre III : Etude du milieu physique

III-1- Introduction :

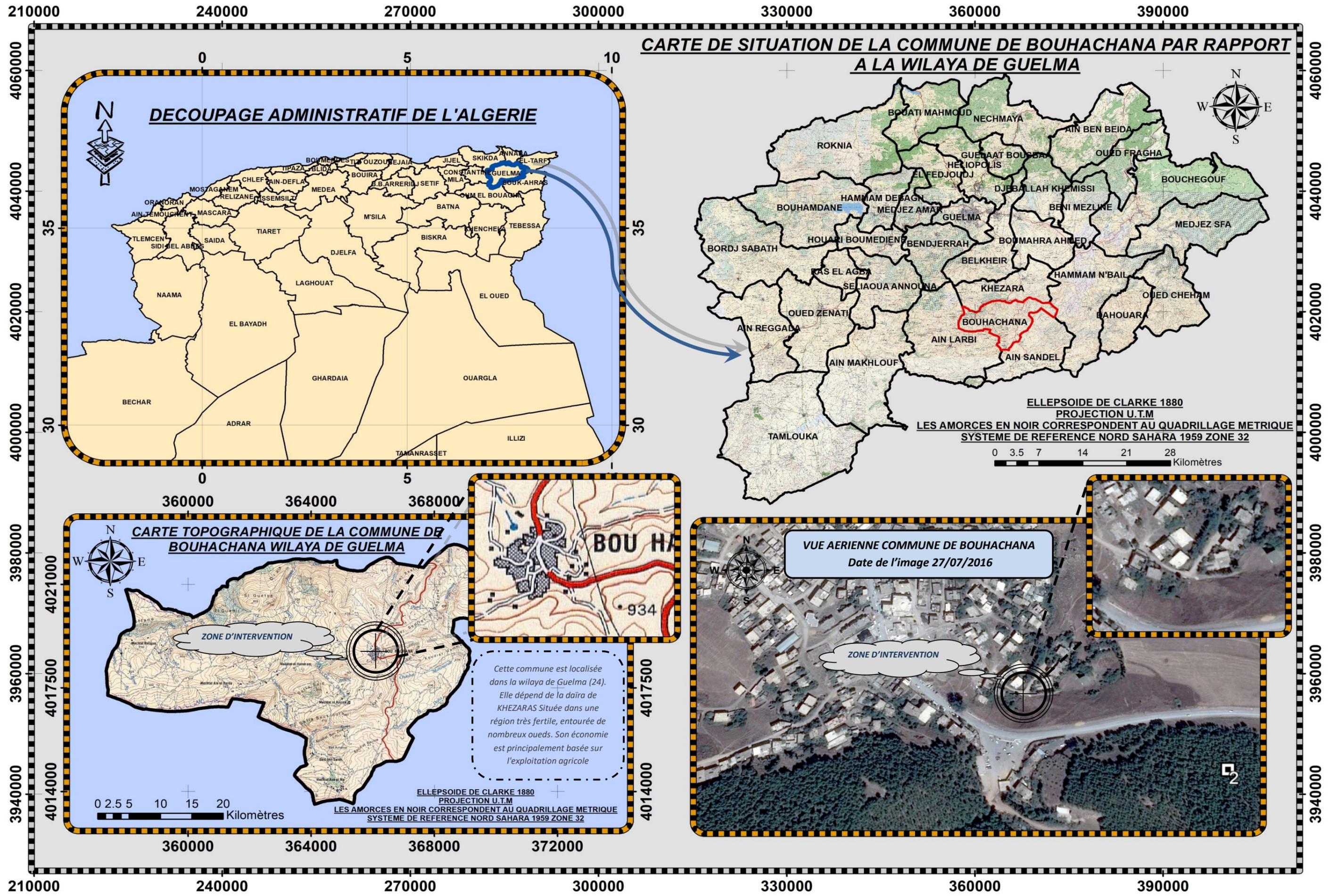
L'étude de ce projet permettra la protection de la ville de **Bouhachena** contre les eaux de crues et d'assurer la sécurité des biens et des personnes.

L'objectif de l'étude effectuée dans ce chapitre est de déterminer les différentes caractéristiques du bassin versant de la ville de Bouhachena.

De ce point de vue, il est fait appel à des différentes études hydrologiques réalisées à l'intérieur comme à l'extérieur du bassin.

III-2- Situation du projet :

Bouhachana est une commune de la wilaya de **Guelma**, La municipalité de **Bouhachana** est située à **30 km** au **nord** de l'état. Le territoire de la commune se situe au nord par la municipalité de **Ikhzara** et à l'est par **hamam Nabil** et à l'ouest d'**Ain arabi** et au sud d'**Ain sandale**. Elle occupe une vaste superficie de **68 km²**



DECOUPAGE ADMINISTRATIF DE L'ALGERIE

CARTE DE SITUATION DE LA COMMUNE DE BOUHACHANA PAR RAPPORT A LA WILAYA DE GUELMA

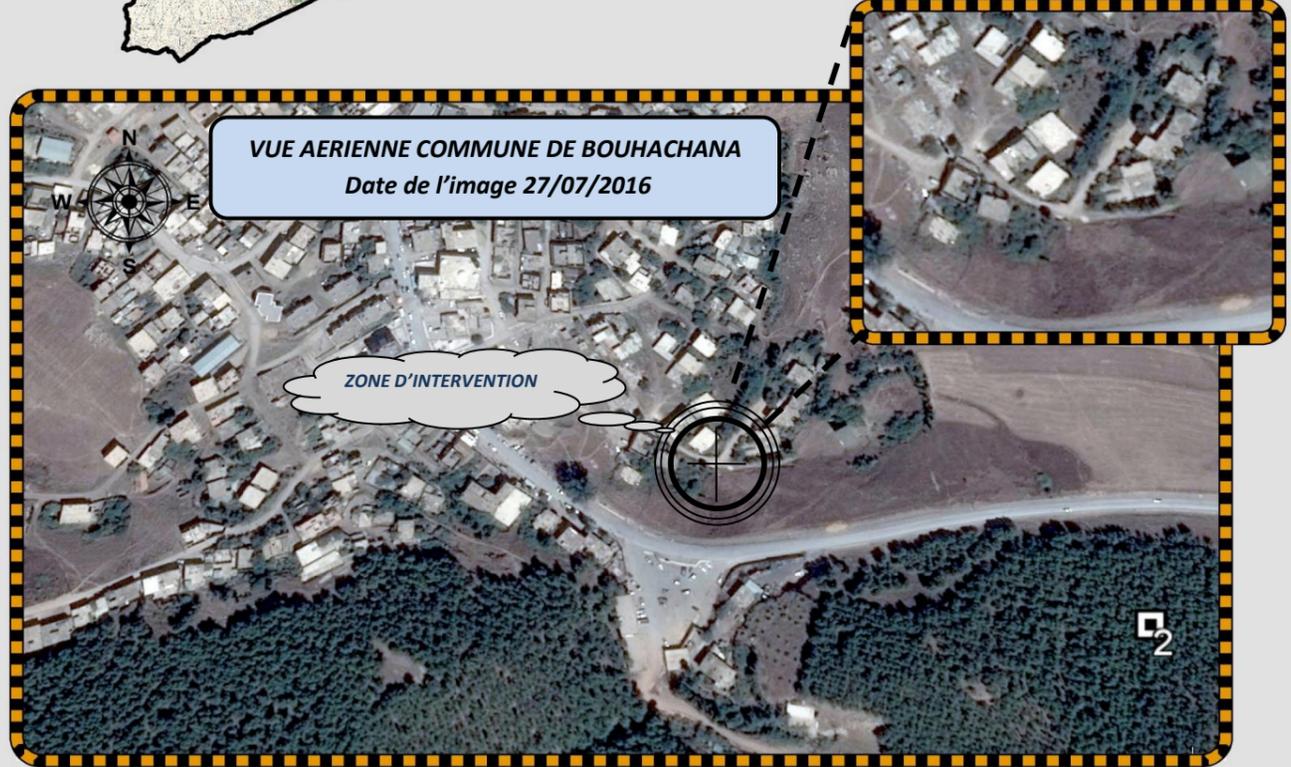
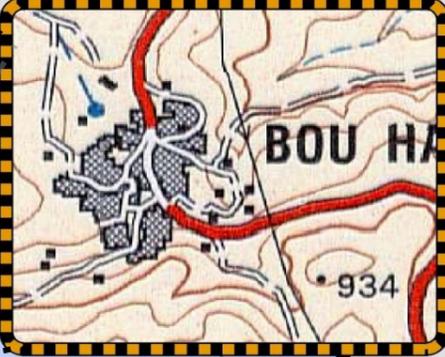
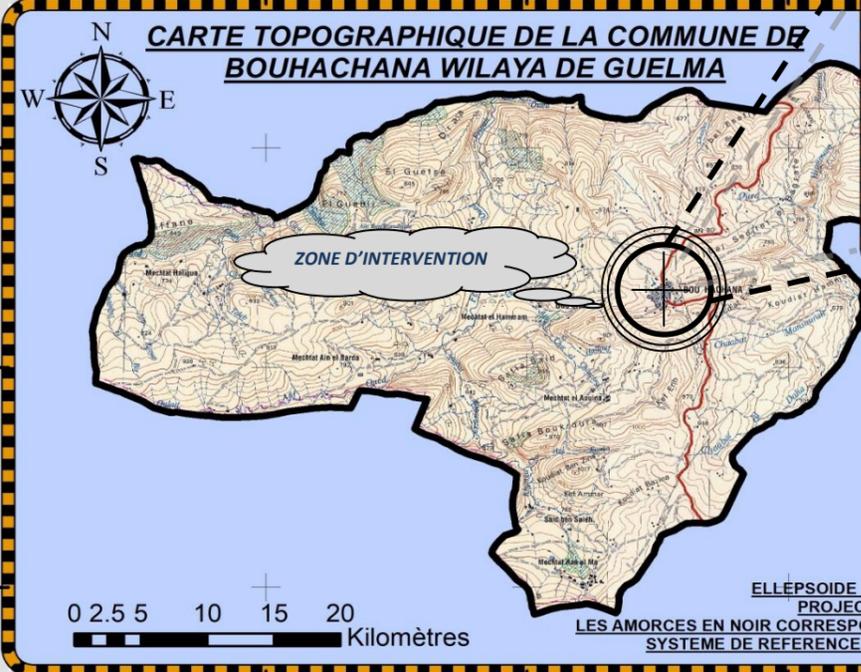
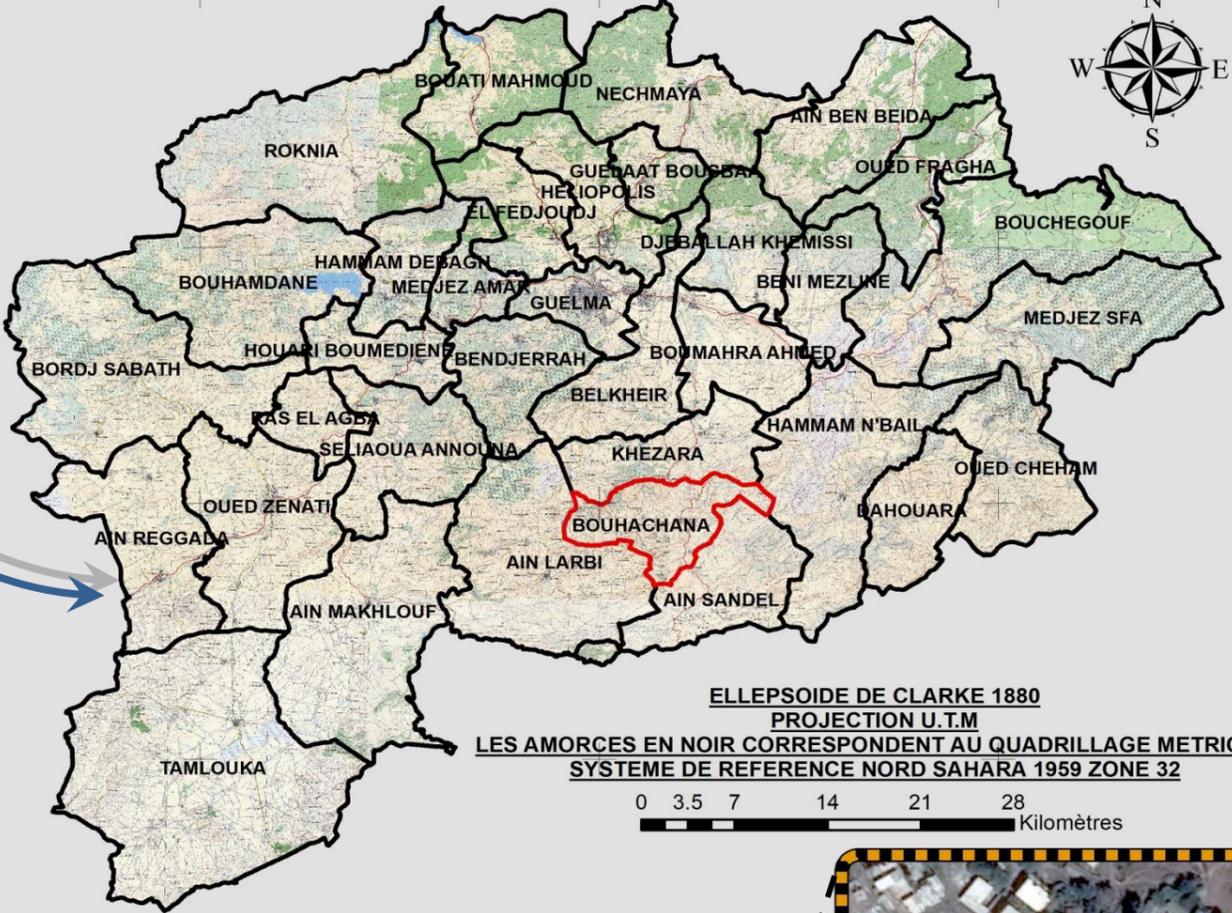
CARTE TOPOGRAPHIQUE DE LA COMMUNE DE BOUHACHANA WILAYA DE GUELMA

VUE AERIEENNE COMMUNE DE BOUHACHANA
Date de l'image 27/07/2016

Cette commune est localisée dans la wilaya de Guelma (24). Elle dépend de la daïra de KHEZARAS Située dans une région très fertile, entourée de nombreux oueds. Son économie est principalement basée sur l'exploitation agricole

ELLEPSOIDE DE CLARKE 1880
PROJECTION U.T.M
LES AMORCES EN NOIR CORRESPONDENT AU QUADRILLAGE METRIQUE
SYSTEME DE REFERENCE NORD SAHARA 1959 ZONE 32

ELLEPSOIDE DE CLARKE 1880
PROJECTION U.T.M
LES AMORCES EN NOIR CORRESPONDENT AU QUADRILLAGE METRIQUE
SYSTEME DE REFERENCE NORD SAHARA 1959 ZONE 32



0 2.5 5 10 15 20 Kilomètres

0 3.5 7 14 21 28 Kilomètres

III-3- La population :

Selon les statistiques nationales de **2008** la population de **bouhachana** est de **5561 habitants**, la majeure partie de la population est concentrée dans des zones dispersées, tandis que d'autres sont concentrées dans le centre de la municipalité.

III-4- Caractère de la commune et ses spécificités :

La municipalité de **bouhachana** étant caractérisée par la nature pastorale de paysannerie, la majeure partie de la population travaille dans le secteur agricole et la municipalité est caractérisée par un terrain difficile

III-5- Le bassin versant et son complexe :

III-5-1- Définition du bassin versant :

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

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

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

Généralement, la ligne de partage des eaux correspond à la ligne de crête. On parle alors de « bassin versant topographique ».

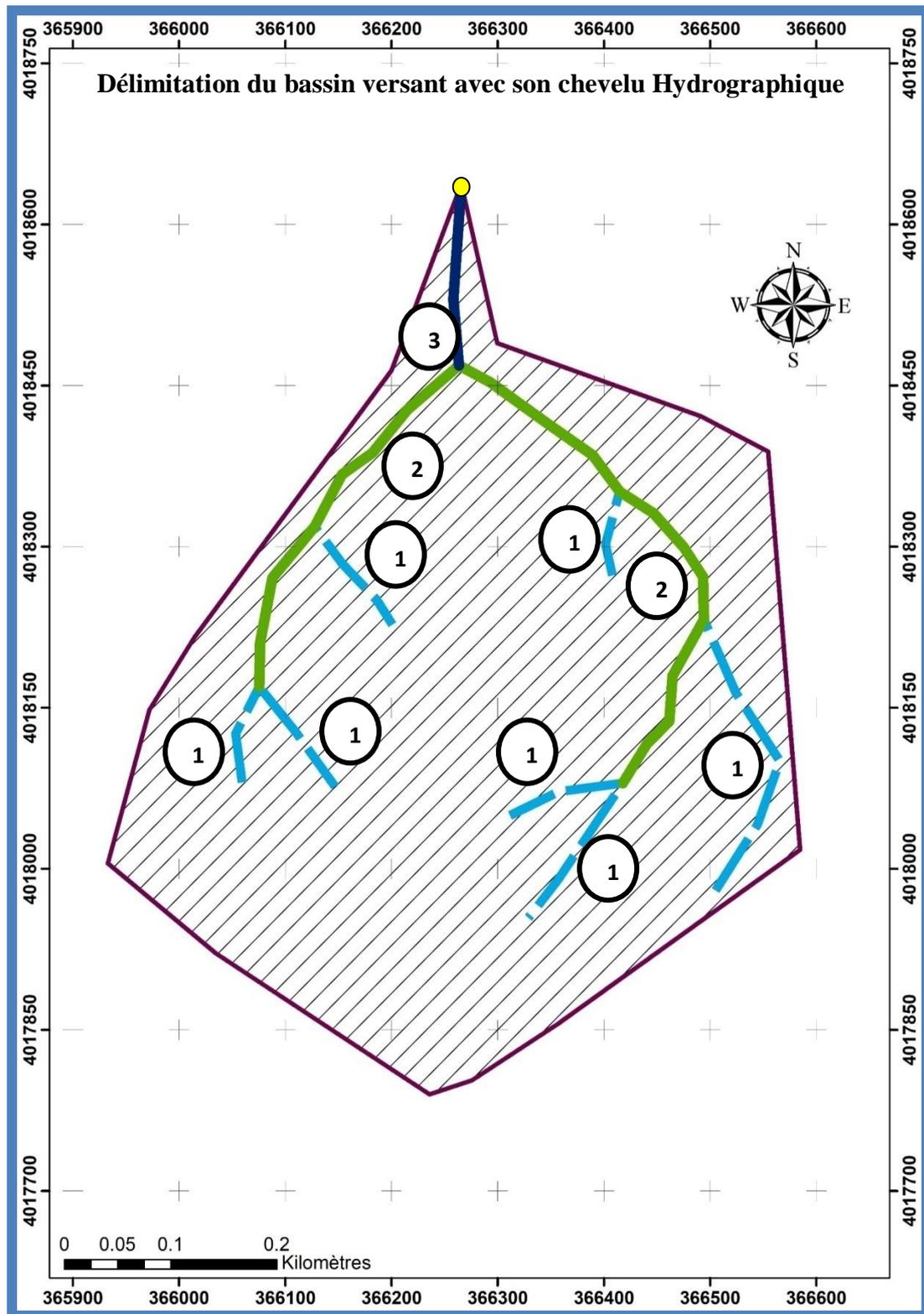


Figure III-1 : délimitation du bassin versant

III-5-2- Type de bassins :

Les bassins versants peuvent être distingués en deux types :

* Les **bassins versants « urbains »** : ils présentent une imperméabilisation supérieure à **20 %**, qui conditionnent exclusivement le volume de la lame d'eau ruisselée.

* Les **bassins versants « ruraux »** présentent une imperméabilisation inférieure à **20 %**. Le volume ruisselé dépend de nombreux facteurs variables dans le temps, tels que le couvert végétal, l'antécédent pluviométrique, les pratiques culturales, etc.

III-5-3- Caractéristiques d'un bassin versant :

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

Les caractéristiques physiographiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage. Le temps de concentration t_c qui, on l'a vu, caractérise en partie la vitesse et l'intensité de la réaction du bassin versant à une sollicitation des précipitations, est influencé par diverses caractéristiques morphologiques : en premier lieu, la taille du bassin (sa surface), sa forme, son élévation, sa pente et son orientation. A ces facteurs s'ajoutent encore le type de sol, le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographique. Ces facteurs, d'ordre purement géométrique ou physique, s'estiment aisément à partir de cartes adéquates ou en recourant à des techniques digitales et à des modèles numériques.

III-5-3-1- Les Caractéristiques Géométriques :

a)- La Surface :

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

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

$$S = L \cdot l \dots\dots\dots (III - 1)$$

La surface du bassin étudié est estimée à :

$$S = 0.32 \text{ km}^2$$

b)- Le périmètre :

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

$$P = 2(L + l) \dots\dots\dots (III - 2)$$

Le périmètre est estimé à :

$$P = 2.31 \text{ km}$$

c)- La Forme :

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

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

Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser le milieu, mais aussi de comparer les bassins versants entre eux. Citons à titre d'exemple l'*indice de compacité de*

Gravelius (1914) K_G , défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \approx 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \dots\dots\dots (III - 3)$$

Avec :

K_G : est l'indice de compacité de Gravelius,

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

P : périmètre du bassin [km].

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

$$K_G = 1.14$$

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

$K_G = 1.14 > 1$ alors le bassin versant est de forme allongée.

d)- Rectangle équivalent :

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

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

$$L = \frac{K_G \cdot \sqrt{A}}{1.12} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right) \dots\dots\dots (III - 4)$$

La longueur du rectangle : $L = 0.67 \text{ km}$

$$L = \frac{K_G \cdot \sqrt{A}}{1.12} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right) \dots\dots\dots (III - 5)$$

La largeur du rectangle : $l = 0.48 \text{ Km}$

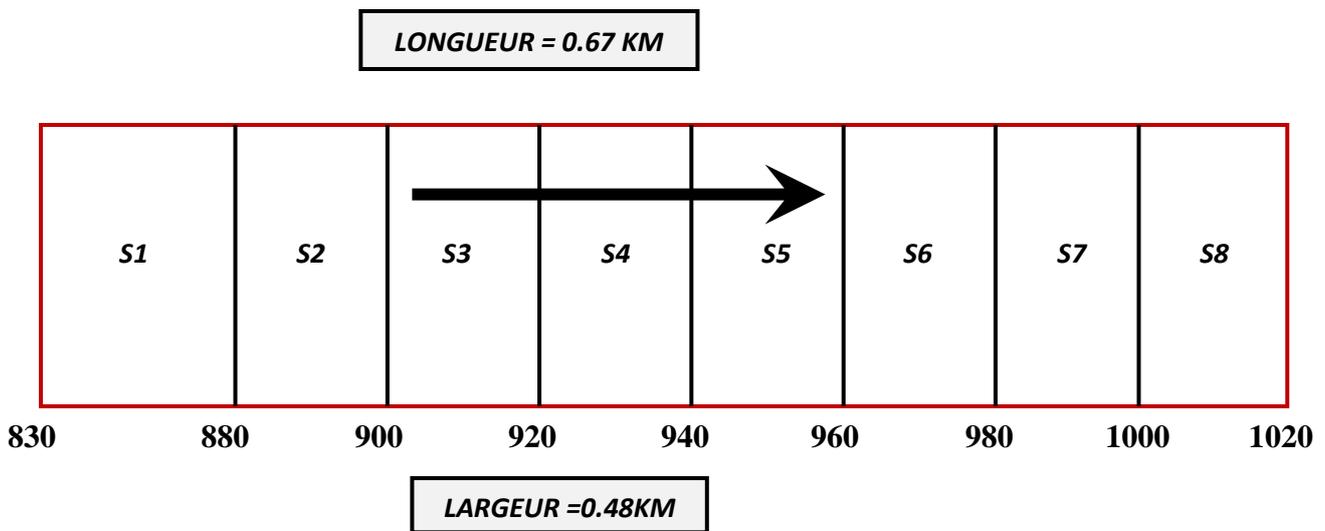


Figure III-2 : Rectangle équivalent

e)- Le Relief :

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

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

e-1/- La courbe hypsométrique :

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

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

Tableau III-1: Répartition altimétrique du bassin versant

intervalle d'altitude	Altitude H_i (m)	surface partielles S_i (Km ²)	surface partielles (%)	Surfaces Cumulées (%)	$H_i * S_i$ M*km ²
1000-1020	1010	0.043	13.44	13.44	43.43
980-1000	990	0.017	5.31	18.75	16.83
960-980	970	0.052	16.25	35.00	50.44
940-960	950	0.058	18.13	53.13	55.1
920-940	930	0.054	16.88	70.01	50.22
900-920	910	0.048	15.00	85.01	43.68
880-900	890	0.027	8.44	93.45	24.03
830-880	855	0.021	6.56	100	17.95
La somme		0.32	100	-	-

La courbe hypsométrique formée à partir des données du **tableau III-1** est représentée par la figure **III-3** suivante :

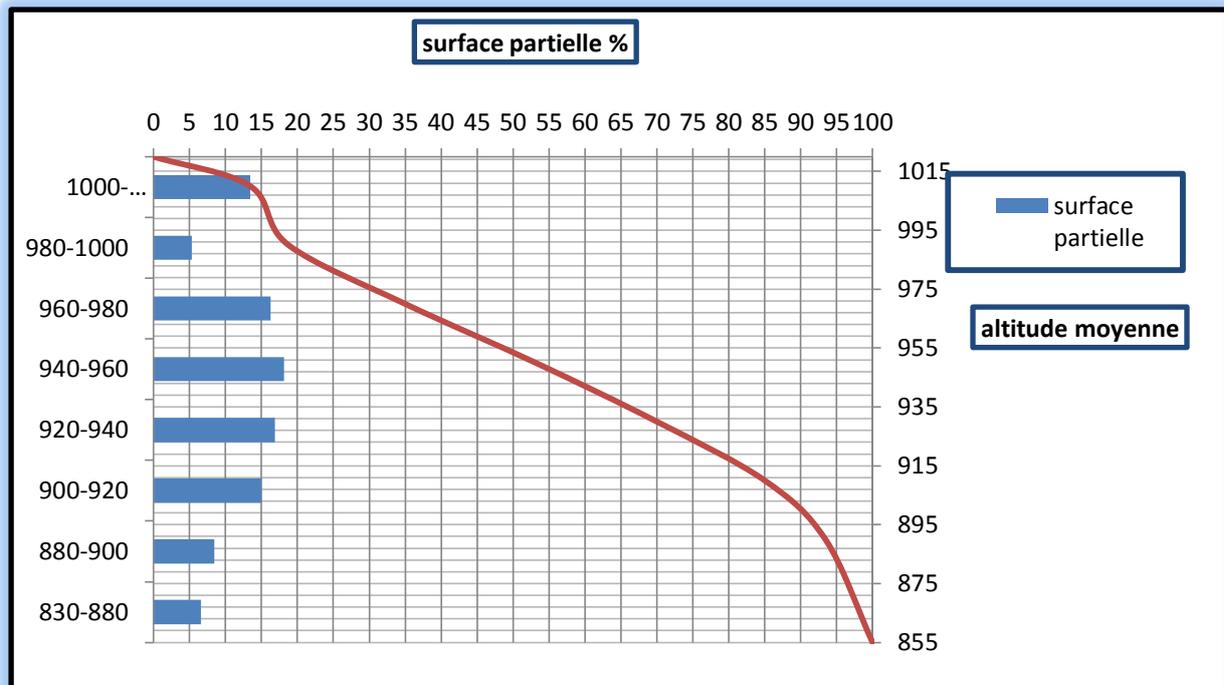


Figure III-3 : Courbe hypsométrique du bassin versant

e-2/- Les altitudes caractéristiques :

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

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

- **Les altitudes maximale et minimale :**

Elles sont obtenues directement à partir de cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire. Ces deux données deviennent surtout importantes lors du développement de certaines relations faisant intervenir des variables climatologiques telles

que la température, la précipitation et le couvert neigeux. Elles déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente.

$$H_{\max} = 1020.00 \text{ m} ; H_{\min} = 830.00 \text{ m}$$

- **L'altitude moyenne :**

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

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum A_i \cdot h_i}{A} \dots\dots\dots \text{(III - 6)}$$

Avec :

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

A_i : aire comprise entre deux courbes de niveau [km²] ;

h_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m] ;

A : superficie totale du bassin versant [km²].

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

AN : $H_{\text{moy}} = 301.68/0.32$

$$H_{\text{moy}} = 942.75 \text{ m}$$

- **L'altitude médiane :**

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

courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière. d'après la courbe hypsométrique on a :

L'altitude médiane = 955.00 m

$$H_{50\%} = 955.00 \text{ m}$$

Les résultats obtenus sont représentés dans le **tableau III-2** suivant :

Tableau III-2 : récapitulatif des altitudes caractéristiques

Les altitudes caractéristiques	Les valeurs correspondantes en m
Altitude maximale	1020
Altitude minimale	830
Altitude médiane	955
Altitude moyenne	942.75

d)- La pente moyenne du bassin versant :

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

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

$$I_m = \frac{D \times L}{A} \dots\dots\dots \text{(III - 7)}$$

Où :

i_m : pente moyenne [m/km ou ‰],

L : longueur totale de courbes de niveau [km],

D : équidistance entre deux courbes de niveau [m],

A : surface du bassin versant [km^2].

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

L'altitude moyenne = 807.05 m

$$I_{\text{moy}} = 807,05 \text{ m}$$

e)- **L'indice de pente** :

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

❖ **Indice de pente global I_g** :

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

$$I_g = \frac{D}{L_{eq}} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L_{eq}} \dots\dots\dots (III -8)$$

Avec :

- D : dénivelée entre H95% et H5% en (m)
- L_{eq} : longueur du rectangle équivalent en Km.
- $H_{95\%}$ et $H_{5\%}$: sont respectivement les altitudes correspondantes à S95% et S5%.

Le **tableau III-3** résume le résultat du calcul

Tableau III-3 : Indice de pente globale

H_{5%} (m)	H_{95%} (m)	H_{5%} - H_{95%}	Leq (Km)	I_g (m/m)
1017	885	132	0.67	0.197

❖ **Indice de pente de roche I_p** :

L'indice de pente de Roche, sert à déterminer la pente moyenne avec les données réelles du bassin versant I_p est moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent et pondérée par les surfaces. Il est donné par la formule suivante :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{l}} \sum \sqrt{(A_i(H_i - H_{i-1}))} \dots\dots\dots (III -9)$$

Où :

A_i: La fraction de la surface totale comprise entre deux courbes de niveau ;

H_i et **H(H_{i-1})**: Les courbes de niveau ;

L : la longueur du rectangle équivalent (m)

Tableau III-4 : Fractions des surfaces entre courbes de niveau.

A_ikm²	H_i(m)	H_{i-1}(m)	√(A_i(H_i - H_{i-1}))
0.043	1010	1009	0.20
0.017	990	989	0.13
0.052	970	969	0.22
0.058	950	949	0.24
0.054	930	929	0.23
0.048	910	909	0.21
0.027	980	979	0.16
0.021	855	854	0.14
somme	//////	//////	1.53

I_p = 0.059

f)- Dénivelée spécifique D_s :

Elle sert à comparer les indices du bassin de superficie différente, d'après la deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M appliquée à tous le bassin quel que soit sa superficie. Elle est calculée par la formule suivante :

$$D_s = D \cdot \sqrt{\frac{l}{L}} \dots \dots \dots (III -10)$$

Avec :

- **D_s** : Dénivelée spécifique.
- **D** : Dénivelée entre H5% et H95% (m)
- **L_{eq}** : Longueur du rectangle équivalent (Km).
- **l** : Largeur du rectangle équivalent (Km).

Tableau III-5 : Classification O.R.S.T.O.M (type de relief)

Relief		D_s
1	Très faible	< 10
2	Faible	25
3	Assez faible	50
4	Modéré	100
5	Assez modéré	250
6	Fort	500
7	Assez fort	> 500

Les résultats sont représentés dans le **tableau III-6** :

Tableau III-6 : Dénivelée spécifique

D (m)	L (m)	L (m)	Ds (m)	Classification
132	670	480	111.72	Relief assez fort

III-5-3-2- Les Caractéristiques du réseau Hydrographique :

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

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

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

A)- Pente moyenne de cours d'eau principal Ic :

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

Elle exprime le rapport entre la dénivelée et la longueur comprise entre deux points suffisamment éloignés du cours d'eau principal. Elle est donnée par la formule suivante :

$$Ic = \frac{\Delta H}{\Delta L} \dots\dots\dots (III -11)$$

Avec :

ΔH : Dénivelée entre deux points suffisamment distants (m);

L : distance entre ces deux points (km).

A.N : Pente moyenne de cours d'eau principal = 27.17 m/Km

$$I_c = 27.17 \text{ m / Km}$$

B)- Densité de drainage (Dd) :

Appeler aussi la densité de **THALWEGS** qui correspondent à la dissection du relief. Elle est définie comme étant le rapport entre la longueur totale de tous les talwegs L_i du bassin versant, à la surface totale A. Elle reflète la dynamique du bassin, la stabilité du chevelu hydrographique et le type de ruissellement de surface. Elle est exprimée en Km/Km².

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S} \dots\dots\dots (III - 12)$$

Avec :

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

A : Surface du bassin versant en Km².

A.N : Densité de drainage = **2.35 Km/Km²**

$$D_d = 2.35 \text{ Km / Km}^2$$

C)- Courbe aire-distance :

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

$$L = 1.4 x A^{0.6} \dots\dots\dots (III - 13)$$

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

$$AN : L = 1,4 * 0,32^{0.6}$$

$$L = 0,71 \text{ Km}$$

En somme, les régions à haute densité de drainage et à haute densité hydrographique (deux facteurs allant souvent de pair) présentent en général une roche mère imperméable, un couvert végétal restreint et un relief montagneux. L'opposé, c'est-à-dire faible densité de drainage et faible densité hydrographique, se rencontre en région à substratum très perméable, à couvert végétal important et à relief peu accentué.

III-5-4- Temps de concentration :

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

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

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

$$T_c = \max [\sum (T_h + T_r + T_a)] \dots\dots\dots (III - 14)$$

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.

♦ Formule de Giandotti :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L_{cp}}{0.8\sqrt{(H_{moy} - H_{min})}} \dots\dots\dots (III - 15)$$

Avec :

S : Surface du bassin versant en [Km²] ;**L_{cp}** : longueur du talweg principale en [Km] ;**H moy - H min** : respectivement la hauteur moyenne et minimale du B.V en [m]**AN : Temps de concentration = 0.30 heure**

$$T_c = 0.30 \text{ heure}$$

♦ Formule de Kirpich :

$$T_c = \left(\frac{0.87.L}{H_{max} - H_{min}} \right)^{0.386} \dots\dots\dots (III - 16)$$

L : longueur du talweg principale en [Km]**H_{max} - H_{min}** : respectivement la hauteur maximale et minimale du BV en [m]**AN : Temps de concentration = 0.38 heure**

$$T_c = 0.38 \text{ heure}$$

♦ Formule de Ventura :

$$T_c = 0.127 * \frac{\sqrt{S}}{I} \dots\dots\dots (III - 17)$$

Avec :

S : Surface du bassin versant (Km²).

I : Pente moyenne du talweg principal.

AN : Temps de concentration = 0.43 heure

$$T_c = 0.43 \text{ heure}$$

Le tableau suivant présente les résultats obtenus de l'application des formules empiriques :

Tableau III-7 : Temps de concentration pour les différents auteurs.

Auteurs	Formules	Temps de concentration (Heure)
Ventura	$0.127 * \sqrt{S}/I$	0.43
Kirpich	$\left(\frac{0,87.L}{H_{max} - H_{min}}\right)^{0.386}$	0.38
Giandotti	$\frac{4\sqrt{S} + 1.5L_{cp}}{0.8\sqrt{(H_{moy} - H_{min})}}$	0.30

Parmi les résultats obtenus dans le tableau **III-7** nous optons pour le résultat issu de loi de **GIANDOTTI** car c'est la formule qui tient compte de la majorité des paramètres géomantiques du bassin versant.

$$T_c = 0.30 \text{ heure}$$

♦ **Commentaire** :

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

III-5-5- Vitesse moyenne de ruissellement Vr :

Elle est donnée par la formule suivante :

$$V_r = \frac{L}{T_c} \dots\dots\dots (III - 18)$$

Avec :

L : Longueur du talweg principal (Km).

Tc : Temps de concentration (h).

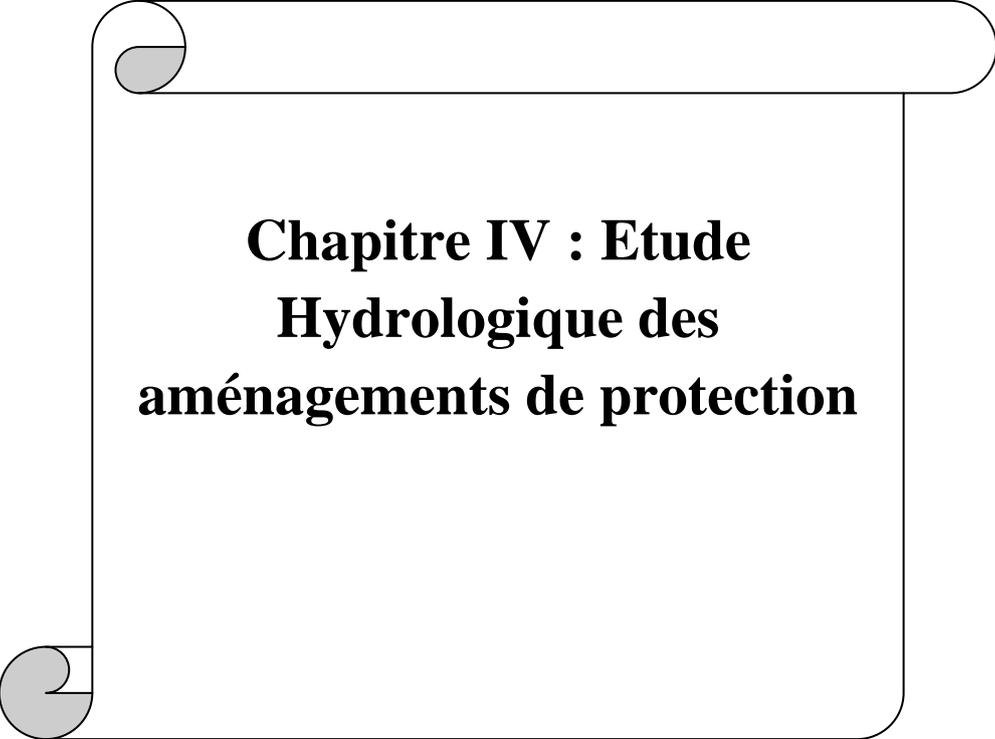
AN :

$$V_r = 0.58 \text{ Km/h}$$

L'étude du bassin versant de la ville de **Bouhachena** nous a permis de dégager certaines caractéristiques morphologiques de la région, ces valeurs sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau III-8 : les caractéristiques du bassin versant

Désignation	Symbole	Unité	Valeur
Morphométrie			
Surface	S	(Km ²)	0.32
Périmètre	P	(m)	2.31
Longueur du talweg p	Lcp	(Km)	1.84
Longueur du rectangle	L	(m)	0.67
Largeur du rectangle	l	(m)	0.48
Indice de Gravelius	K _G	/	1.14
Relief			
Altitude maximale	H _{max}	(m)	1020
Altitude moyenne	H _{moy}	(m)	942.75
Altitude minimale	H _{min}	(m)	830
Altitude médiane	H _{50%}	(m)	955
Indice de pente globale	Ig	(%)	19.7
Dénivelé spécifique	Ds	(m)	111.72
Pente moyenne du B.V	Im	(%)	2.54
Réseau hydrographique			
Pente moyenne du cours d'eau	Ic	(m/km)	27.17
Densité de drainage	Dd	Km/Km ²	2.35
Temps de concentration	Tc	(heure)	0.30
Vitesse de ruissellement	Vr	(Km/h)	0.58



**Chapitre IV : Etude
Hydrologique des
aménagements de protection**

Chapitre IV : Etude Hydrologique des aménagements de protection

IV-1- Introduction :

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

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

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

L'étude hydrologique pour la réalisation d'un ouvrage hydrotechnique révèle une importance considérable. Le but est donc de mettre en évidence les paramètres hydrologiques de l'oued tels que les débits des crues, les apports du bassin versant (apports liquides et solides) qui constituent la base de dimensionnement des ouvrages constituant l'aménagement.

IV-2- Analyse des données pluviométriques :

IV-2- 1- Introduction :

Le climat, par définition est l'ensemble des phénomènes météorologique (température, pression atmosphérique, vent, précipitation, etc.) qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère et son évolution en un lieu donné.

Il est déterminé par la situation géographique du lieu (latitude, altitude, éloignement par rapport à la mer) et par la circulation atmosphérique.

Les facteurs climatiques sont des phénomènes aléatoires les plus déterminants du comportement hydrologique des cours d'eau et de l'alimentation des nappes. Ils interviennent dans le bilan de l'écoulement, essentiellement par les précipitations et par les températures. Ils jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique

IV-2-2- Poste pluviométrique :

L'analyse des différentes caractéristiques climatologiques au niveau du bassin versant est élaborée à partir de la station météorologique de **Hamam Debagh** dont les coordonnées sont mentionnées dans le tableau suivant :

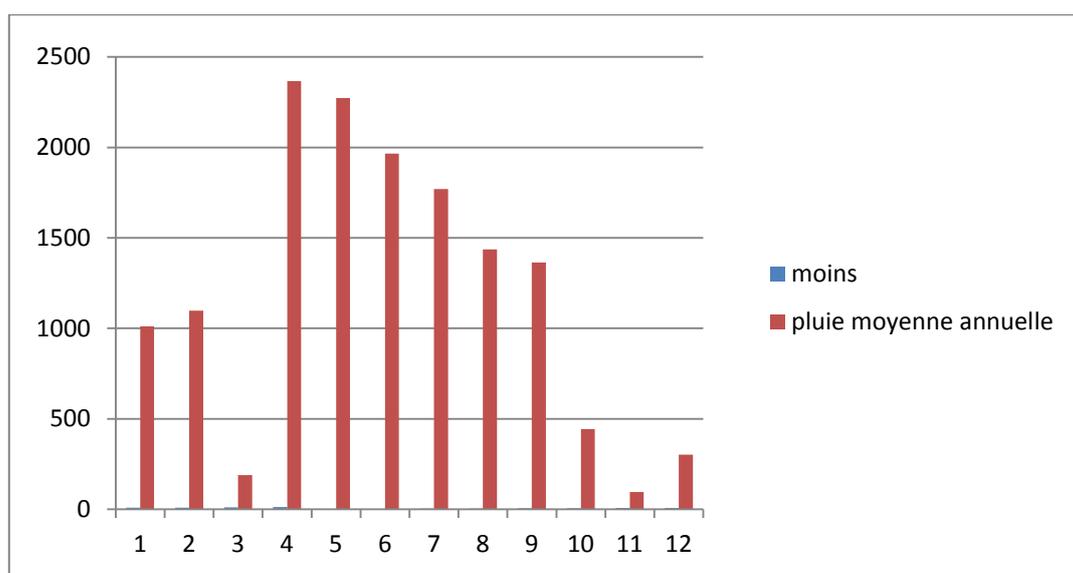
Tableau IV-1 : Température moyenne annuelle

Code de la station	Nom de la station	X(Km)	Y(Km)	Z(Km)	Pluie moyenne annuel
31601	Hamam Debagh	1005	399	35	149.28

IV-2-3- La pluviométrie :

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

Les données utilisées nous ont été fournies par l'office national de la météorologie (O.N.M) et l'agence National des ressources en hydraulique (ANRH)

**Figure IV-1 : présentation de la pluie moyenne mensuelle**

❖ Teste de l'homogénéité de la série :

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

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

$W_{min} < W_x < W_{max}$ Avec :

$$W_{min} = \left[\left(\frac{(N1+N2+1)-1}{2} \right) - U(p\%) * \left(\frac{N1*N2*(N1+N2+1)}{12} \right)^{0.5} \right] = 141.11 ;$$

W_x somme des rangs de sous série X, $W_x = 169.50$;

$W_{max} = ((N1+N2+)*N1 - W_{min}) = 222.89$;

$N1$: taille de l'échantillon X, $N1 = 13$;

$N2$: taille de l'échantillon Y, $N2 = 14$;

↪ **NOTRE SERIE EST HOMOGENE**

IV-2-4- Pluies maximales journalières :

L'étude consiste à faire un ajustement pour la série de données des précipitations maximales Journalières du **tableau IV-2** par une loi théorique afin de déterminer une intensité de pluie et de période de retour.

Tableau IV-2: Séries des Pluies Maximales Journalières (1990-2017)

Année	Pj Max						
1990	60	1997	42.8	2004	79.3	2011	92.2
1991	76	1998	50	2005	62.4	2012	26
1992	112	1999	68.1	2006	98.4	2013	55.2
1993	68	2000	39	2007	43	2014	44.6
1994	52	2001	26.1	2008	43	2015	32.8
1995	90.1	2002	41.6	2009	70	2016	22.4
1996	20.6	2003	105	2010	58.6	2017	40.9

Pour notre étude, on passe par les étapes suivantes :

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

Les caractéristiques empiriques de la série des données ont été obtenues par le logiciel **HYFRAN** et sont représentées dans le **tableau IV-3** suivant :

Tableau IV-3 : Caractéristiques de la série de données

Caractéristiques	Valeurs
Année d'observation	28
Minimum	20.6
Maximum	112
La moyenne	57.9
L'écart type	25.3
médiane	53.6
Coefficient de variation	0.438
Coefficient d'asymétrie	0.536
Coefficient d'aplatissement	2.21

La représentation des observations sur du papier normale e leurs histogramme sont présentées dans les figures **IV-2** et **IV-3** respectivement

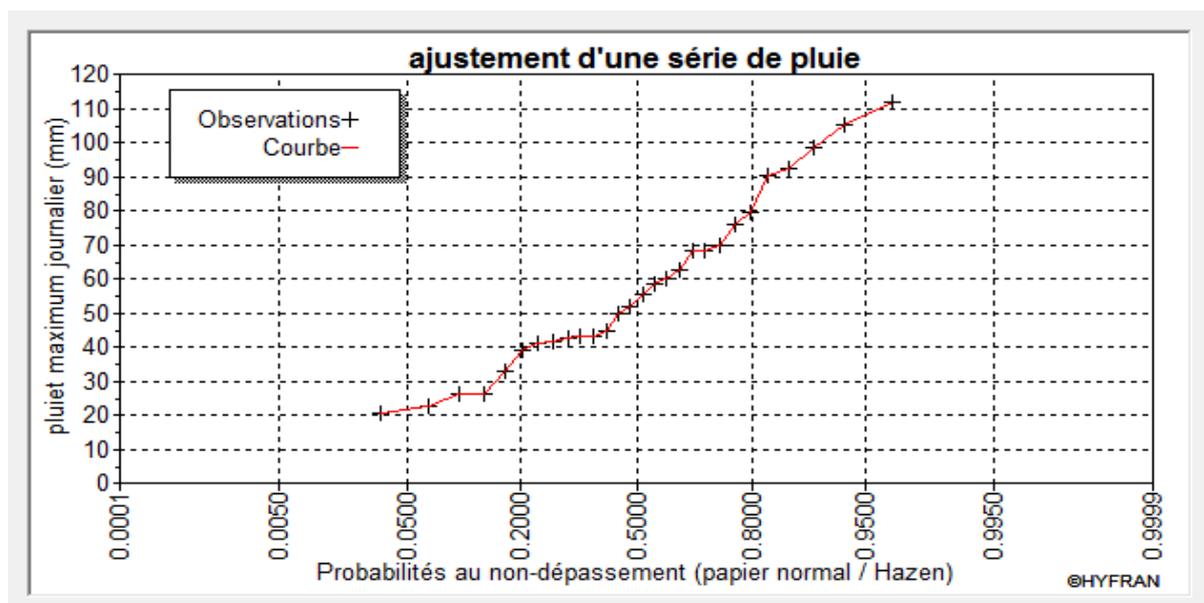


Figure IV-2 : Représentation des observations sur papier normale

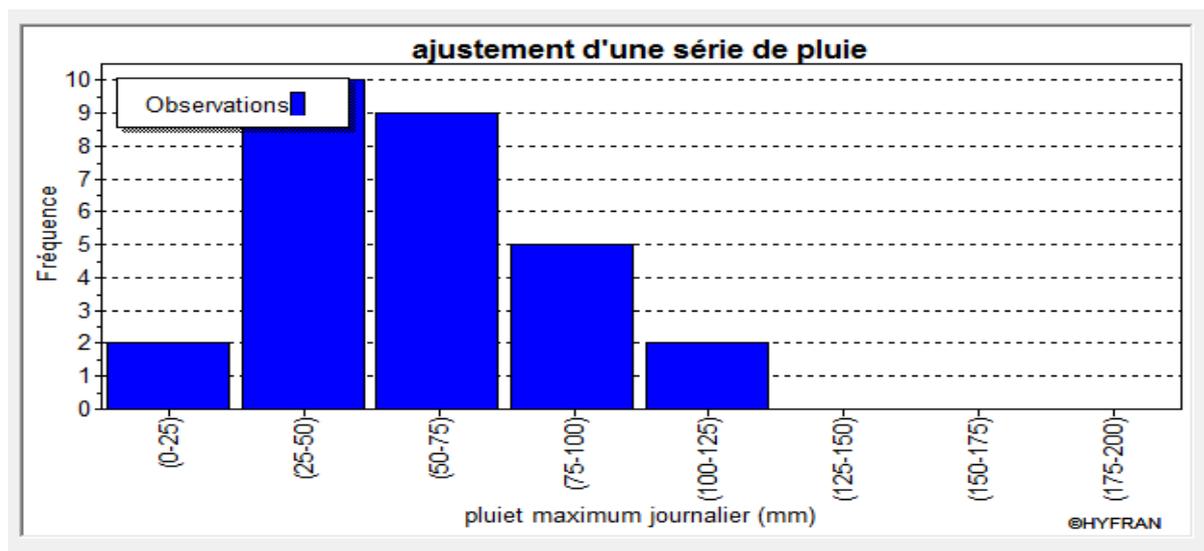


Figure IV-3: Histogramme des observations

IV-2-4- 1- Choix de la loi d'ajustement :

Comme il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométriques, l'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de la loi de probabilité, de la taille de l'échantillon et de certaines caractéristiques de l'échantillon. Toute fois, de nombreuses études comparatives,

autant empiriques que théoriques, ont été menées afin de déterminer dans quelles circonstances une méthode d'estimation est la plus efficace pour une loi donnée.

Les lois d'ajustement choisies sont :

- AJUSTEMENT A LA LOI LOG NORMALE (LOI DE GALTON)
- AJUSTEMENT A LA LOI GUMBEL
- AJUSTEMENT A LA LOI NORMALE (LOI DE GAUSS)
- AJUSTEMENT A LA LOI GEV (MAXIMUM DE VRAISEMBLANCE)

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

Le procédé d'ajustement est établi avec une représentation sur du papier log normale. La loi de **GALTON** a une fonction de répartition qui s'exprime selon la fonction suivante.

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

Ou :

- $u = \frac{\ln xi - \ln \bar{x}}{\delta}$ (variable réduit de Gausse).
- \bar{x} : la moyenne de l'échantillon.
- δ : L'écart-type de l'échantillon.
-

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

$$\ln X(p\%) = \ln(\bar{x}) + \delta \ln u (p\%)$$

$$\ln X = \frac{\sum_1^{41} \ln \bar{x}_i}{N} \dots\dots\dots (IV-2)$$

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

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

$$F(x) = \frac{m-0.5}{n} \dots\dots\dots (IV-3)$$

Avec :

- **m** : Rang de précipitation
- **n** : Nombre d'observations

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

Nombre d'observation : n =28

❖ **Paramètre :**

Mu = 3.95987, **Sigma** = 0.463647

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

Tableau IV-4: Résultats de l'ajustement à la loi de GALTON

Période de retour	Fréquence au non dépassement	Valeurs théoriques	Ecart types	Intervalle de confiance
T(ans)	Q	XT (mm)	δ	95%
100	0.99	154	26.4	103-206
50	0.98	136	21.3	94.3-178
20	0.95	112	15.3	82.5-142
10	0.9	95.0	11.3	72.8-117
5	0.8	77.5	7.94	61.9-93.0

❖ **Test d'homogénéité :**

Test d'adéquation du Khi carré

❖ **Hypothèses :**

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

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

❖ **Résultats :**

Résultat de la statistique : $X^2 = 3.00$

P-value : $P = 0.5578$

Degrés de liberté : **4**

Nombre de classes : **7**

❖ **Conclusion** : Nous pouvons accepter H_0 au niveau de signification de 5%. La figure illustre l'ajustement de la série pluviométrique à la loi de **GALTON** (Log normale).

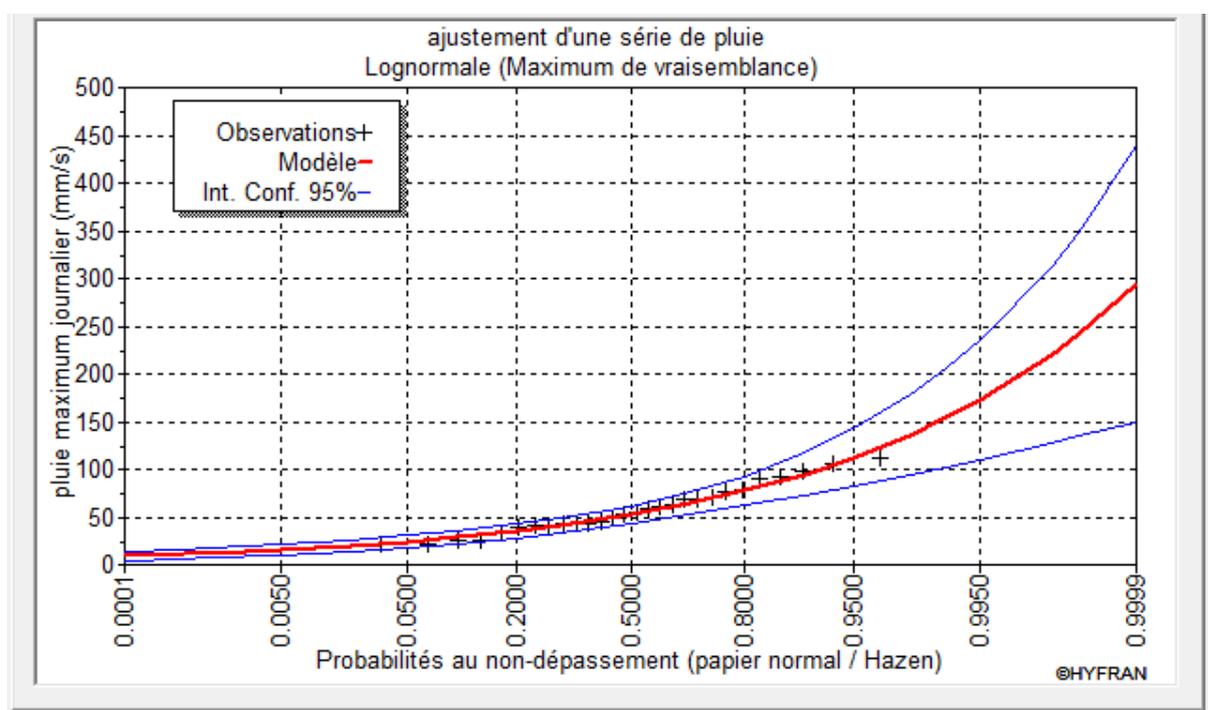


Figure IV-4: Ajustement à la loi de GALTON

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

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

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \dots\dots\dots (IV-4)$$

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 :

$$y = -\ln(-\ln(F(x))) \dots\dots\dots (IV-5)$$

➤ **Gumbel (Méthode de maximum des vrais semblances) :**

❖ **Paramètre :**

$$\mu = 45.822, \alpha = 21.0076$$

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de **GUMBEL** sont représentées dans le **tableau IV-5** suivant :

Tableau IV-5: Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL

Période de retour	Fréquence au non dépassement	Valeurs théoriques	Ecart types	Intervalle de confiance
T(ans)	Q	XT (mm)	δ	95%
100	0.99	142	16.4	110-175
50	0.98	128	14.2	99.9-156
20	0.95	108	11.4	85.8-131
10	0.90	93.1	9.29	74.9-111
5	0.80	77.3	7.21	63.2-91.5

❖ Test d'homogénéité :

Test d'adéquation du Khi carré.

❖ Hypothèses :

H_0 : L'échantillon provient d'une loi GUMBEL.

H_1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi GUMBEL.

❖ Résultats :

Résultat de la statistique : $X_2 = 1.50$

P-value : $P = 0.8266$

Degrés de liberté : 4

Nombre de classes : 7

❖ Conclusion :

Nous pouvons accepter H_0 au niveau de signification de 5%. La **figure IV-5** illustre l'ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL (**Méthode de maximum des vrais semblances**).

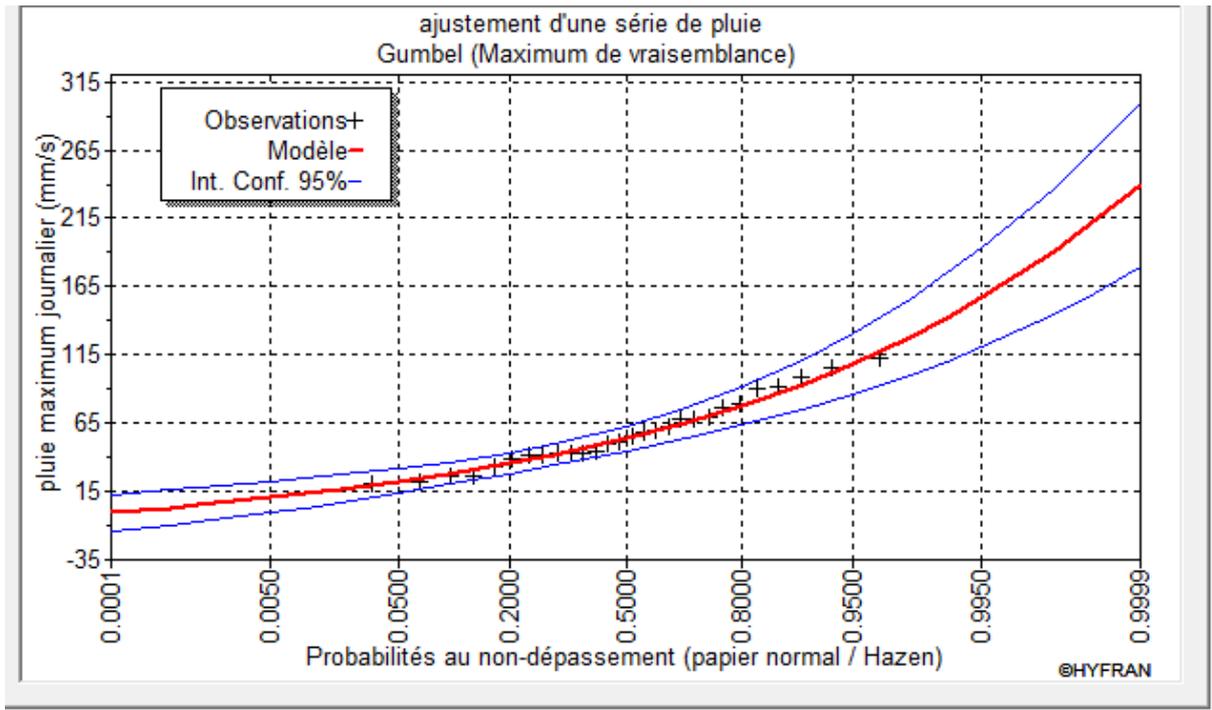


Figure IV-5 : Ajustement à la loi de GUMBEL

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

La loi de **GAUSS** à une fonction de densité de probabilité

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x-m}{\sigma} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (IV-6)$$

m : l'espérance

σ : est l'écart type

➤ **Gauss (loi Normale) (Maximum des vrais semblances) :**

Nombre d'observation : **n =28**

❖ **Paramètre :**

Mu = 57.8607, Sigma = 25.3404

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

Tableau IV-6 : Résultats de l'ajustement à la loi de Gauss

Période de retour	Fréquence au non dépassement	Valeurs théoriques	Ecart types	Intervalle de confiance
T(ans)	Q	XT (mm)	δ	95%
100	0.99	117	9.34	98.5-135
50	0.98	110	8.55	93.2-127
20	0.95	99.6	7.42	85.0-114
10	0.9	90.3	6.52	77.6-103
5	0.8	79.2	5.60	68.2-9.02

❖ **Test d'homogénéité :**

Test d'adéquation du Khi carré.

❖ **Hypothèses :**

H_0 : l'échantillon provient d'une loi normale ;

H_1 : l'échantillon ne provient pas d'une loi normale

❖ **Résultats :**

Résultat de la statistique : $X_2 = 4.00$

P-value : P = **0.4060**

Degrés de liberté : **4**

Nombre de classes : **7**

❖ **Conclusion :**

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

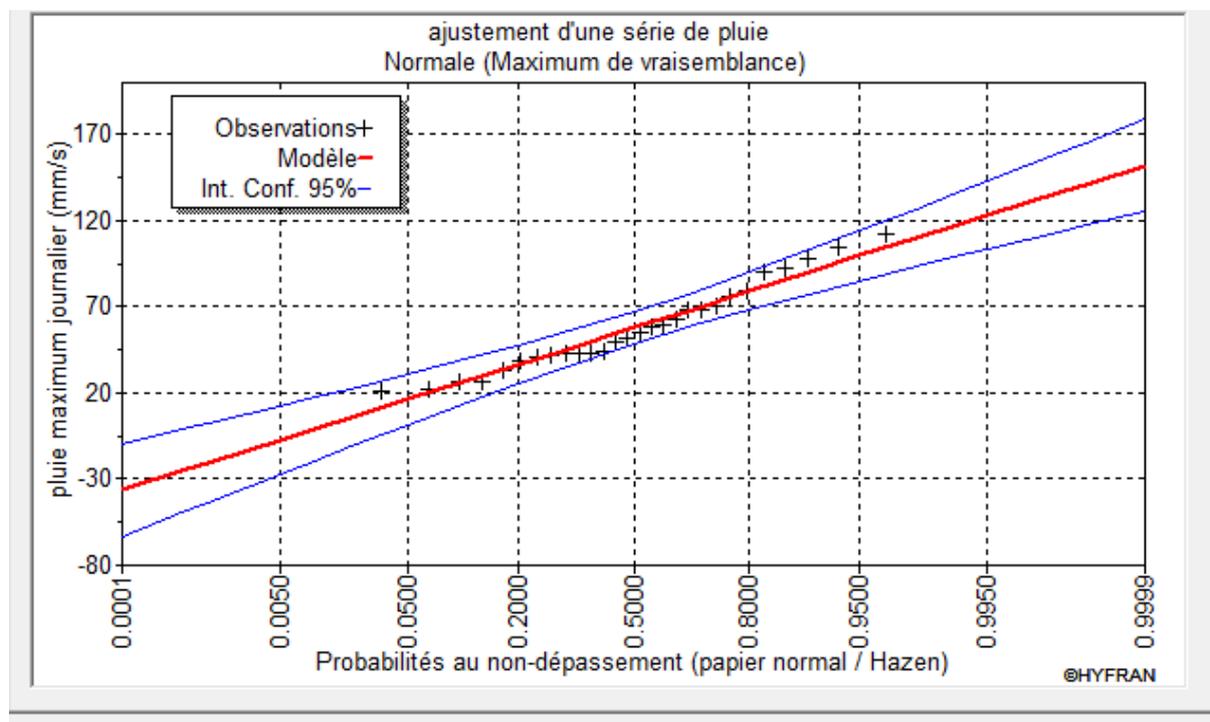


Figure IV-6 : Ajustement à la loi de Gauss

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

➤ **GEV (Méthode de maximum des vrais semblances) :**

❖ **Paramètre :**

$\mu = 46.7513$, $\alpha = 20.8652$, $k = 0.0591773$

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de **GEV** sont représentés dans le **tableau IV-7** suivant :

Tableau IV-7 : Résultats de l'ajustement à la loi de GEV

Période de retour	Fréquence au non dépassement	Valeurs théoriques	Ecart types	Intervalle de confiance
T(ans)	Q	XT (mm)	δ	95%
100	0.99	131	21.8	88.1-173
50	0.98	119	16.7	86.6-152
20	0.95	104	11.4	81.2-126
10	0.9	90.7	8.48	74.1-107
5	0.8	76.7	6.50	63.9-89.4

❖ **Test d'homogénéité :**

Test d'adéquation du Khi carré.

❖ **Hypothèses :**

H_0 : L'échantillon provient d'une loi GEV ;

H_1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi GEV.

❖ **Résultats :**

Résultat de la statistique : $\chi^2 = 1.00$

P-value : $P = 0.8013$

Degrés de liberté : 3

Nombre de classes : 7

❖ **Conclusion :**

Nous pouvons accepter H_0 au niveau de signification de 5%. La **figure IV-7** illustre l'ajustement de la série pluviométrique à la loi de **GEV** (Méthode de maximum de vraisemblance).

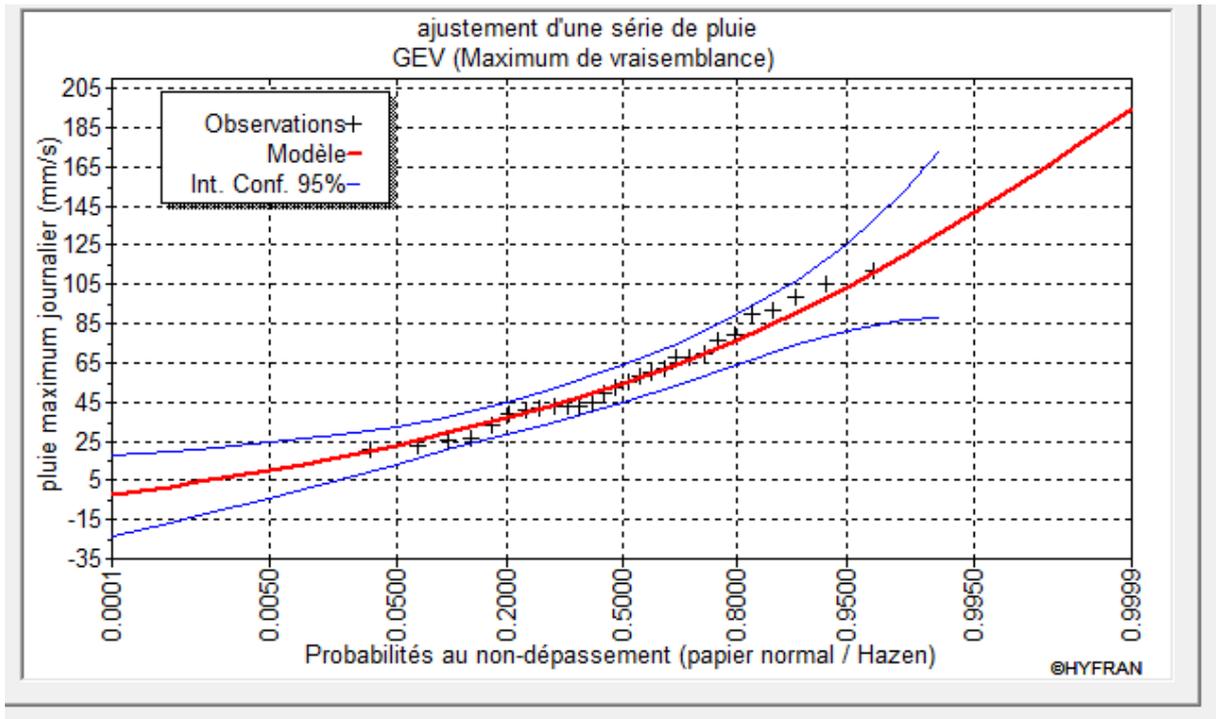


Figure IV-7 : Ajustement à la loi de GEV

❖ Comparaison entre les lois d'ajustement :

La figure IV-8 montre la comparaison entre les lois d'ajustement

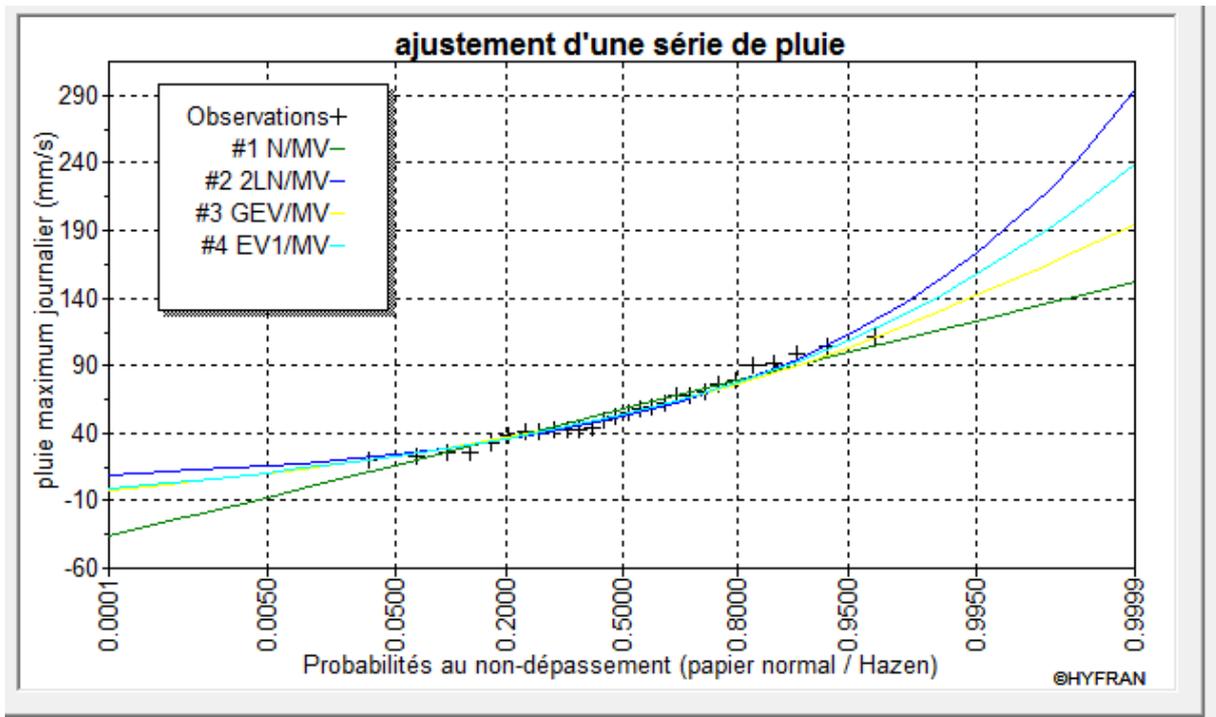


Figure IV-8: Comparaison entre les lois d'ajustement

E)- Conclusion :

En se référant aux graphes obtenues, par ces lois, celui de **GUMBEL** et **GALTON**, **GEV**, et **GAUSS**, nous avons remarqué que l'ajustement issu de la loi de **GALTON** et **GUEMBUL** sont les meilleur; du moment que la position des données expérimentales sont plus proches de la droite théorique. Alors on opte pour la loi de **GALTON** (Log normale) et **GUEMBUL**.

IV-2-5- Pluie de courte durée :

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

$$\frac{P_t}{P_{Jmax}} = a \cdot t^b \dots\dots\dots (IV-7)$$

Où :

P_t : pluie correspondante a un pas de temps ;

P_{Jmax} : pluie journalière maximale ;

a et **b** ; paramètres climatiques ;

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

Tableau IV-8 : les paramètres climatiques de Montana et périodes de retour

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

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

$$I_t = \frac{P_{ct}}{t} \dots\dots\dots (IV-8)$$

Avec :

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

P_{ct} : Pluies de courte durée (mm)

Les précipitations et les intensités maximales pour différentes durées sont représentées dans le tableau **IV-9** et les courbes des pluies fréquentielles ainsi que les courbes des intensités-durée-fréquences sont présentées respectivement par les figures **IV-9** et **IV-10**.

Tableau IV-9 : Pluies et intensités maximales de durée t (h) et période de retour (ans)

Période de retour (ans)	100		20		10		5	
	P_{ct}	I_t	P_{ct}	I_t	P_{ct}	I_t	P_{ct}	I_t
0.25	34.28	137.12	32.19	128.76	30.90	123.6	28.96	115.84
0.29	35.95	123.96	33.76	116.41	32.40	111.72	30.37	104.72
1	53.42	53.42	50.17	50.17	48.16	48.16	45.136	45.13
1.15	55.86	48.57	52.47	45.62	50.36	43.79	47.20	41.04
3	75.93	25.31	71.31	23.77	68.44	22.81	64.15	21.38
6	94.78	15.79	89.02	14.83	85.44	14.24	80.08	13.34
12	118.32	9.86	111.13	9.26	106.66	8.88	99.96	8.33
24	147.70	6.15	138.72	5.78	133.15	5.54	124.79	5.19

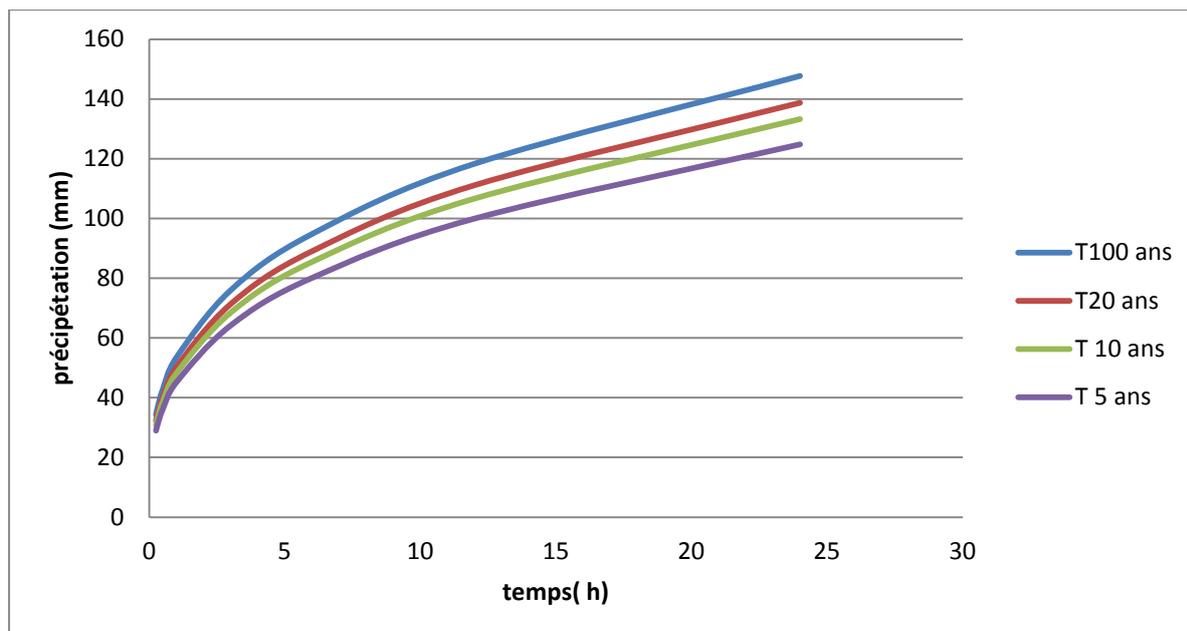


Figure IV-9 : Courbes des pluies fréquentielle

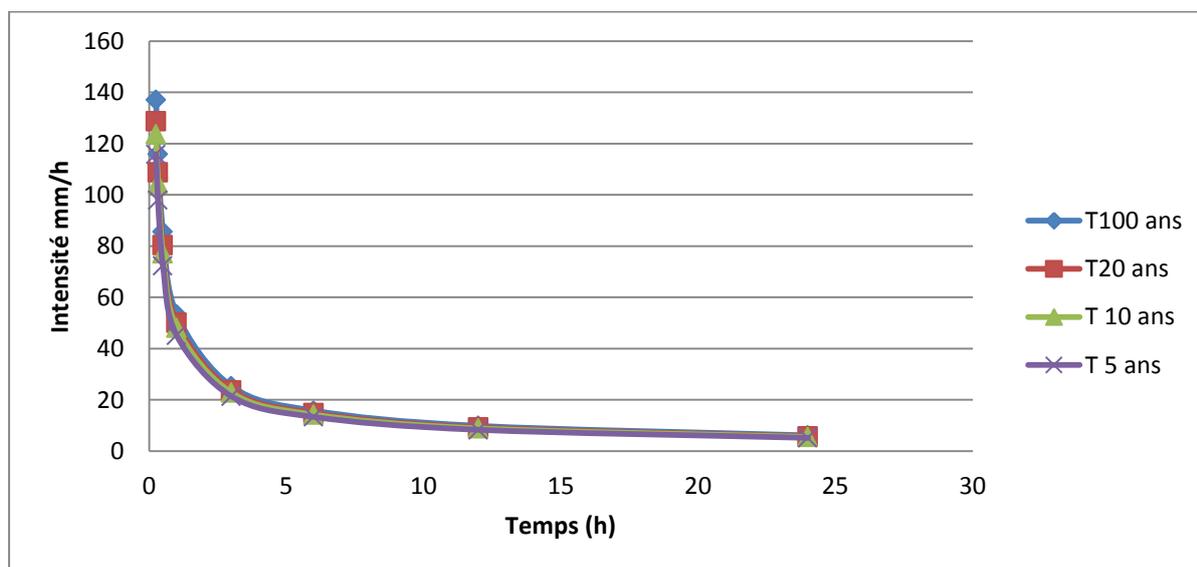


Figure IV-10: Courbes des intensités- durées- fréquences

IV-3- Les apports :**IV-3-1- Apports liquides :****❖ Apport moyen interannuel :**

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

➤ *Formule de MEDINGER* :

$$A = L_e * S$$

$$L_e = 1.024(\bar{P} - 0.26)^2 \dots\dots\dots (IV-9)$$

Avec :

L_e : Lamme d'eau écoulee (mm).

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

➤ *Formule de l'ANRH* :

$$A = 0.915 * S^{0.842} * \bar{P}^{0.684} \dots\dots\dots (IV-10)$$

Avec :

• S : Surface du bassin versant (km²).

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

➤ *Formule de DERIE-SARVARY* :

$$A = L_e * S$$

$$L_e = 0.915 * \left(\frac{\bar{P}}{1000}\right) * 5^{0.842} * 31.536 \dots\dots\dots (IV-11)$$

Avec :

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

L_e : Lamé d'eau écoulée (mm).

S : Surface du bassin versant (Km²).

Le tableau Présente les résultats obtenus en appliquant ces formules.

Tableau IV-10 : Apports moyens interannuels

Formules	Résultats	
	$L_e(mm)$	A (mm ³)
Medinger	0.015	0.83
ANRH	//////	1.23
Derie-SARVary	26.80	2.56

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

➤ **Caractéristiques de l'écoulement :**

❖ **Lamé d'eau écoulée :**

$$L_e = \frac{A}{S} \dots\dots\dots (IV-12)$$

Avec

A : Apport moyen annuel (l)

S : Superficie du bassin (Km²)

❖ **Coefficient de l'écoulement :**

$$C_e = \frac{L_e}{\dot{x}} \dots\dots\dots (IV-13)$$

Avec :

\dot{x} : Pluie moyenne annuelle (mm).

L_e : Lamme d'eau écoulée (mm).

❖ Coefficient de variation :

✓ *Formule de l'ANTONOV* :

$$C_v = \frac{0.7}{(S+1000)^{0.097}} \dots\dots\dots (IV-14)$$

Avec :

S : Superficie du bassin (Km²).

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant

Tableau IV-11 : Les caractéristiques de l'écoulement

L_e (mm)	C_e	C_v
$2.5 \cdot 10^{-6}$	0.18	0.36

IV-3-2- Apports solides :

L'inexistence des données de mesure du transport solide nous ramène à utiliser les lois empiriques et à en accepter le résultat d'ordre de grandeur acceptable.

✓ *Formule de TIXERONT* :

C'est la formule la plus utilisée en Algérie pour l'estimation des apports solides.

$$ES = a * Le^{0.15} \dots\dots\dots (IV-15)$$

$$Es = 573.17 \text{ t/km}^2/\text{ans}$$

Avec :

Es : Taux d'érosion (t/Km²/an).

Le : Lamme d'eau écoulée (mm).

a : Coefficient empirique qui varie en fonction de la perméabilité du terrain.

a = 350 (perméabilité moyenne)

En tenant compte du poids spécifique moyen des sédiments ($\gamma=1.4T/m^3$) on aura :

$$V_S = \frac{ES*S}{\gamma} \dots\dots\dots (IV-16)$$

$$V_S = 1310.102 \frac{m^3}{ans}$$

• **Vs** : Apport solide (m³/an).

IV-4- Etude de crue :

L'évaluation des crues a toujours été un souci majeur dans le dimensionnement des ouvrages hydrauliques. De nombreuses méthodes ont été établies afin de parvenir à les estimées correctement.

IV-4-1- Différentes méthodes d'évaluation des crues :

L'existence de tant de méthodes de calcul des crues est due aux changements de conditions et de problèmes rencontrés lors de l'estimation ainsi que du chargé d'étude. Les techniques utilisées dans la détermination des crues dépendent essentiellement des données disponibles, plus la disponibilité est importante plus les problèmes qui se posent sont moindres. Dans ce qui suit un rappel des différentes méthodes qui ont été établies.

IV-4-1-1- Méthodes déterministes :**❖ Méthode historique :**

Méthode ancienne basée essentiellement sur l'étude des archives, les enquêtes auprès des populations et la recherche des traces des crues exceptionnelles atteintes dans le passé. Elle est utilisée lorsqu'on ne dispose pas d'observations sur le débit maximum enregistré lors d'une crue exceptionnelle.

❖ Méthodes empiriques :

Des formules empiriques de différents auteurs ont été mises au point afin de répondre aux conditions et aux problèmes rencontrés. Ces lois établissent les relations entre le débit, la surface du bassin versant, la pluie et la période de retour.

IV-4-1-2- Méthodes probabilistes :

Corresponds à l'analyse des débits afin de déterminer la loi de probabilité à laquelle ils répondent (GUMBEL, GALTON, PEARSON III,.. etc.).

L'utilisation de la méthode du Gradex basée sur l'hypothèse que durant des pluies fortes, alors que le sol du bassin s'approche de la saturation, chaque augmentation de la pluie tend à produire une augmentation du débit. En conséquence sur un graphique de GUMBEL, les droites de répartitions des fréquences des pluies et des débits sont parallèles.

IV-4-2- Application sur le bassin versant :

Pour notre étude on utilisera la méthode empirique, les principales lois employées sont : la formule de TURAZZA, la formule de GIANDOTTI.

IV-4-2-1- Formule de TURAZZA :

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

$$Q_{max;p\%} = \frac{C.S P_{tc}}{3.6 T_c} \dots\dots\dots (IV-17)$$

Avec :

I_{tc} Intensité moyenne maximale des précipitations pendant une durée égale au temps de concentration (mm/h).

S : Surface du bassin versant (Km²).

C: coefficient de ruissellement pour différentes périodes de retour, donné sur le tableau suivant :

Tableau IV-12 : les valeurs du coefficient de ruissellement / Turazza

Période de retour	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
C	0,6	0,65	0,70	0,75	0,8

IV-4-2-2- Formule de GIANDOTTI :

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

$$Q_{max} = \frac{0,66 * P_t(\%) * \sqrt{H_{moy} - H_{min}}}{4\sqrt{S} + 1,5 * L_{Tp}} \dots\dots\dots (IV-18)$$

Avec :

S : Surface du bassin versant (Km²).

H moy : Altitude moyenne (m).

H min : Altitude minimale (m).

P tc : précipitation correspondante au temps de concentration (mm)

L_{cp} : Longueur du talweg principal

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

Tableau IV-13 : Résultats d'évaluation des crues par les lois empiriques

Période de retour (ans)		5 ans	10 ans	20 ans	100 ans
Débit max (m ³ /s)	TURAZZA	53.25	64.19	70.78	90.39
	GIANDOTTI	84.53	90.185	93.97	100.06

Conclusion :

Après analyse des résultats de calcul des débits de crues élaborés au moyen des méthodes précédentes, le débit retenu $Q=100.06 \text{ m}^3/\text{s}$ pour une période de retour de **100 ans** soit le plus important, d'après la méthode de **GIANDOTTI**

IV-4-3- Hydro gramme des crues :

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

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

❖ **La montée de la crue :**

$$Q_m(t) = Q_{max,p} * \left(\frac{t}{t_m}\right)^3 \dots\dots\dots (IV-19)$$

❖ **La décrue :**

$$Q_d(t) = Q_{max,p} * \left(\frac{t_b-t}{t_d}\right)^2 \dots\dots\dots (IV-20)$$

Avec:

$Q_{max, p}$: Débit maximum de crue (de pointe) (m³/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).

t_m : Temps de montée (h).

t_d : temps de descente (h).

t_b : Temps de base (h).

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

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

Donc :

$$t_m = t_c = 0.30 \text{ h.}$$

$$t_d = 2.5 * t_m = 0.725 \text{ h.}$$

$$t_b = t_m + t_d = 0.30 + 0.725 = 1.015 \text{ h}$$

Les débits de crue des différentes périodes de retour du bassin versant sont représentés dans le **tableau IV-14** suivant :

Tableau IV-14 : débit de crue pour différents périodes de retour

T(h)	Période de retour			
	100	20	10	5
0	0	0	0	0
0.25	64.10	60.20	57.77	54.15
0.29	100.06	93.97	90.085	84.53
0.50	50.48	47.41	45.50	42.65
0.70	18.88	17.73	17.02	15.95
0.90	2.51	2.36	2.26	1.12
0.95	0.80	0.75	0.72	0.67
1	0.042	0.040	0.038	0.7036
1.015	0	0	0	0

L'hydrogramme de crue correspondant aux débits de crues obtenue est représenté par la figure

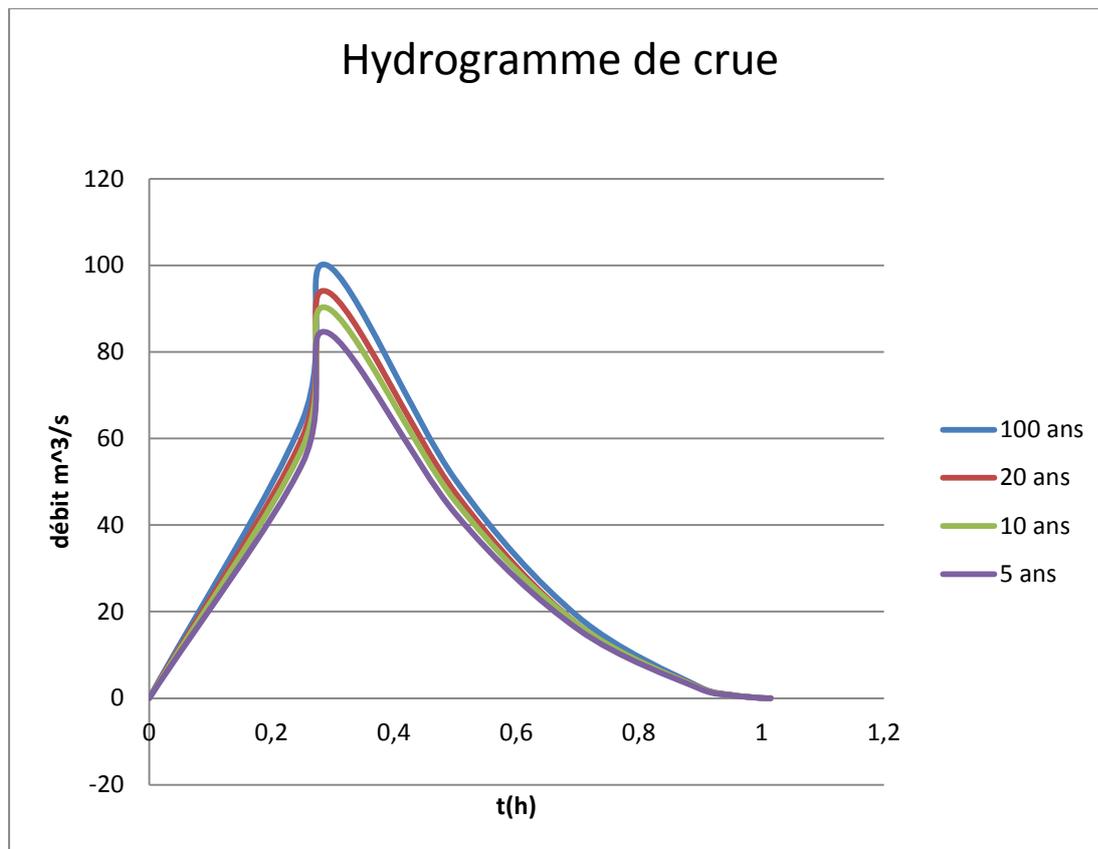


Figure IV-11 : Hydrogramme de crue

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

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

Pour connaître les zones inondables, dans l'oued de **chabet bouafia**, une simulation a été faite par le logiciel **Hec -ras**

IV-5- Présentation du logiciel HEC-RAS :

IV-5-1- Introduction :

HEC-RAS est un logiciel intégré pour l'analyse hydraulique qui permet de simuler les écoulements à surface libre. Il a été conçu par le Hydrologic Engineering Center du U.S Army Corps of Engineers. Il s'agit d'une nouvelle version d'un modèle hydraulique auparavant nommé HEC-2, qui comporte maintenant une interface graphique permettant d'éditer, de modifier et de visualiser les données d'entrée, de même qu'observer les résultats obtenus. Il est présentement utilisé dans plusieurs firmes d'ingénierie et organismes gouvernementaux. La version **4.1.0** de **HEC-RAS** permet de simuler les écoulements permanents et non permanents, le transport de sédiments et certaines fonctions facilitant la conception d'ouvrages hydrauliques.

Toutefois, avant d'utiliser un logiciel de calcul des écoulements à surface libre, il est primordial de connaître certaines notions théoriques, sinon le logiciel deviendra une boîte noire

IV-5-2- Un aperçu rapide de HEC-RAS :

HEC-RAS utilise le concept de Projet afin de réaliser une simulation du comportement hydraulique d'un cours d'eau. Tel que défini par **HEC-RAS**, un projet est un ensemble de fichiers permettant de simuler le comportement hydraulique d'un cours d'eau pour diverses conditions

A)- Terminologie utilisée :

Avec **HEC-RAS**, un ensemble de fichiers (que l'on nomme Projet) sont requis pour effectuer l'analyse hydraulique d'un cours d'eau. Une terminologie particulière est employée pour définir chacune de ces composantes. Les définitions sont présentées à la page suivante et la figure ci-dessous illustre la hiérarchie des fichiers d'un projet.

- **Projet (Project)** : Le fichier Projet contient le titre et la description du projet, le système d'unité utilisé et les liens vers tous les fichiers qui lui sont associés. Il contient aussi les variables par défaut qui peuvent être définies par l'utilisateur et une référence au dernier Plan utilisé (voir la description d'un Plan plus bas).

- **Géométrie (Geometry)** : Ce fichier contient toutes les informations géométriques sur le cours d'eau analysé, soit le schéma arborescent, les sections transversales, la distance entre chaque section, les coefficients de Manning et s'il y a lieu, les structures présentes (ponts, ponceaux). Un projet peut comporter plusieurs géométries afin d'analyser différentes variantes (par exemple avec ou sans obstruction dans la rivière).

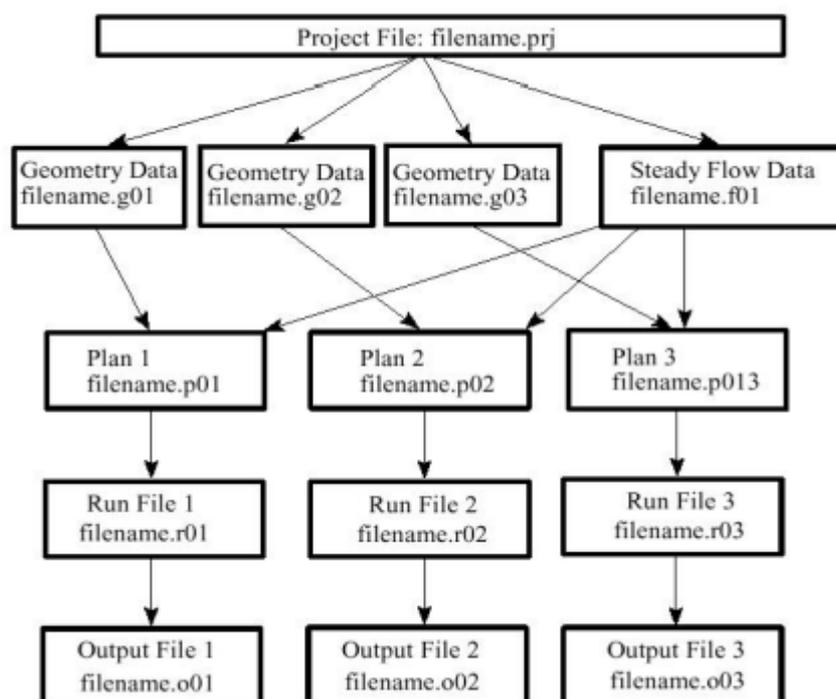


Figure IV-12: Structure des fichiers d'un projet

- **Débit (Flow)** : Le fichier Débit est utilisé pour simuler les écoulements permanents. Il contient le nombre de Profile devant être calculés, les données de débit pour chacun d'eux et les conditions limites pour chaque tronçon. Un Profile désigne l'ensemble des niveaux d'eau calculés pour des conditions particulières de débit.

- **Plan (Plan)** : Un fichier Plan contient un titre et une description du plan, de façon similaire aux informations d'un Projet. Il contient de plus la référence aux fichiers Géométrie et Débit

associés à ce Plan. Le concept de Plan permet ainsi de simuler différentes combinaisons de Géométrie et de débit qui peuvent être nécessaires dans le cadre d'une étude hydraulique.

- **Simulation (Run)** : Le fichier simulation contient toutes les données nécessaires à l'exécution d'une simulation, définie à l'intérieur d'un Plan. Ce fichier est automatiquement créé par **HEC- RAS** lorsqu'une simulation est lancée.

- **Résultats (Output)** : Tous les résultats d'une simulation sont contenus dans le fichier Output.

Tous les fichiers créés à l'intérieur d'un même projet comportent le même nom, soit celui défini au départ par l'utilisateur. Seule l'extension diffère et les différentes extensions des fichiers sont automatiquement créées par **HEC-RAS** et ne doivent pas être modifiées. Pour les fichiers dont l'extension inclut un nombre, celui-ci correspond à l'ordre dans lequel les fichiers ont été sauvegardés. La numérotation des fichiers Plan, Run et Output est également liée entre eux.

IV-5-3- Fonctionnement de HEC-RAS :

A)- Démarrage de HEC-RAS :

Pour démarrer HEC-RAS, double-cliquez sur l'icône suivant placé sur le Bureau, ou bien allez dans le menu Démarrer et choisissez le programme HEC-RAS.

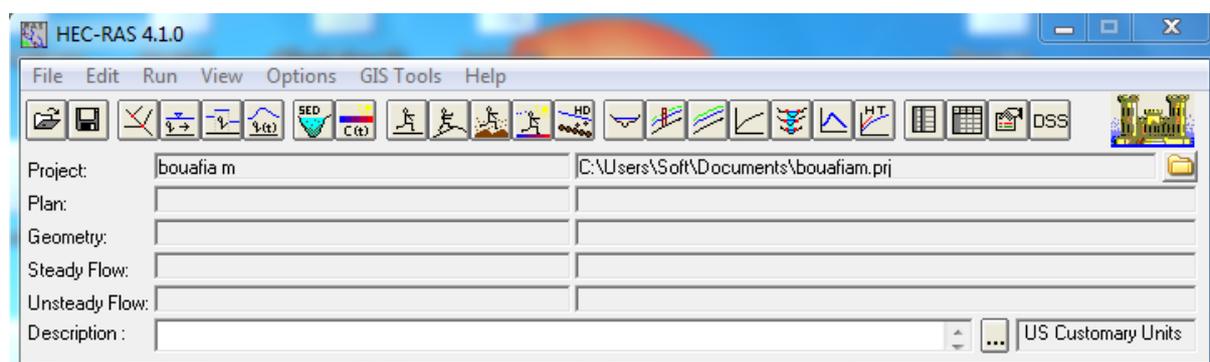


Figure IV-12 : fenêtre principal de Hec- Ras

La barre de menu comprend toutes les fonctions disponibles de HEC-RAS et la figure de la page suivante présente son contenu.

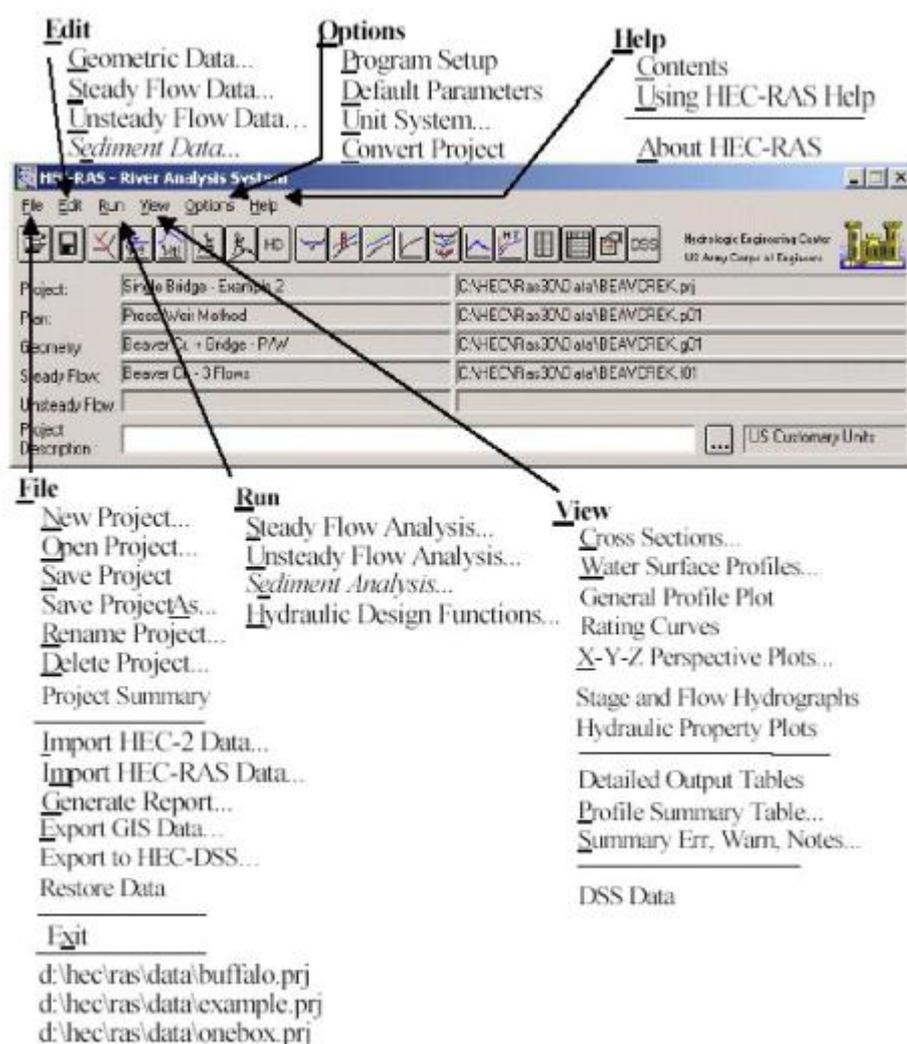


Figure IV-13 : Menu dans HEC-RAS

B)- Projet :

Dans le menu File, choisir l'option New Project pour obtenir une fenêtre similaire à celle illustrée plus bas.

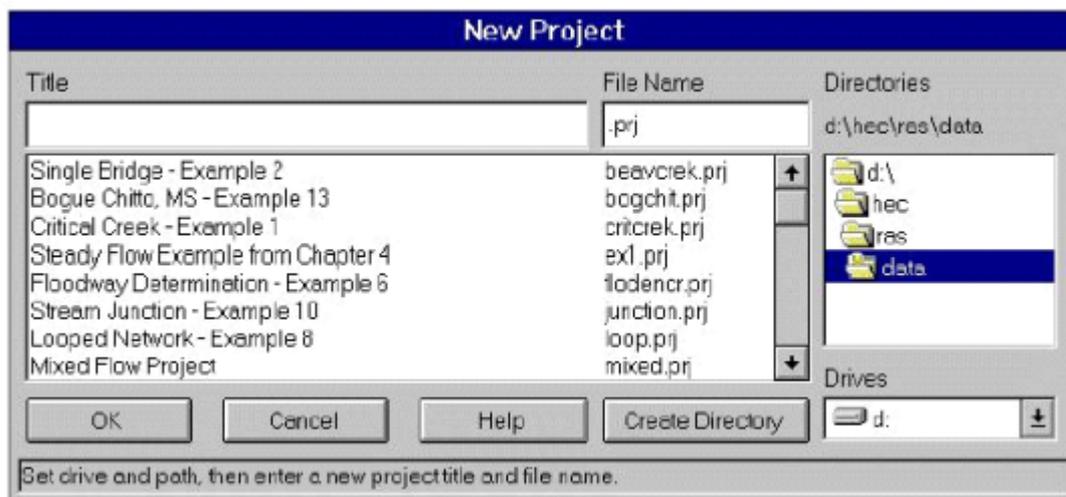


Figure IV-13 : fenêtre nouveau projet

C)- Géométrie des sections :

Après avoir défini les principaux paramètres du projet, la deuxième étape est de définir les caractéristiques géométriques du système modélisé.

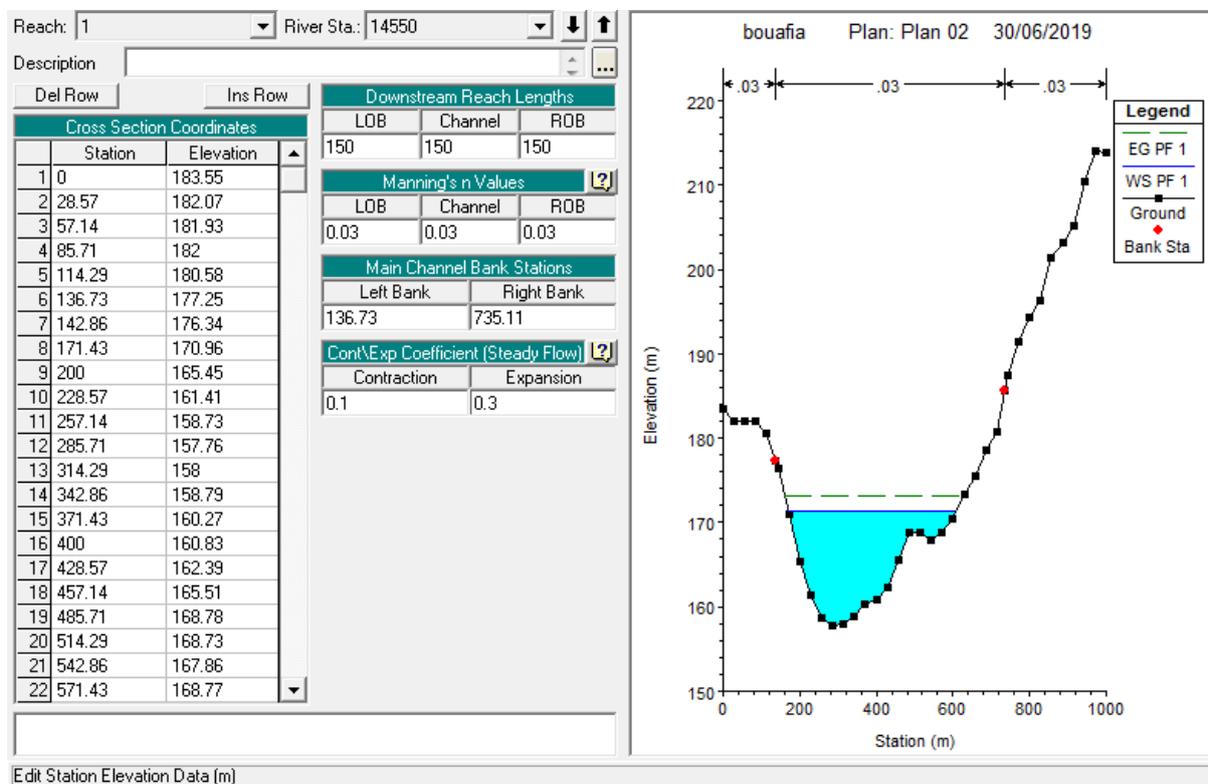


Figure IV-14: Fenêtre cross section

D)- Débits et conditions limites :

L'étape suivante de la modélisation hydraulique avec **HEC-RAS** est de spécifier les débits utilisés pour calculer les profils d'écoulement.

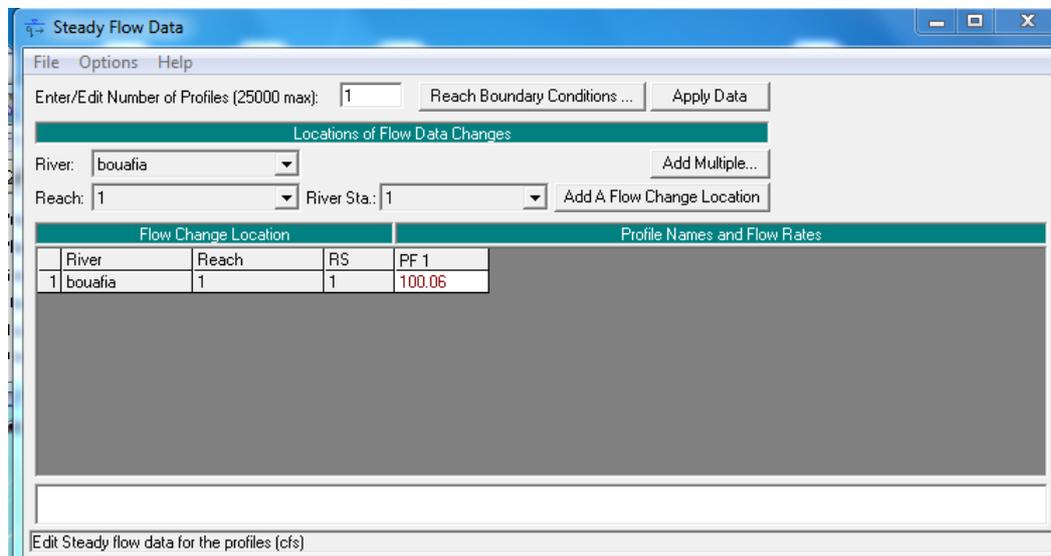


Figure IV-15: Fenêtre enter débit

E)- visualisation des résultats :

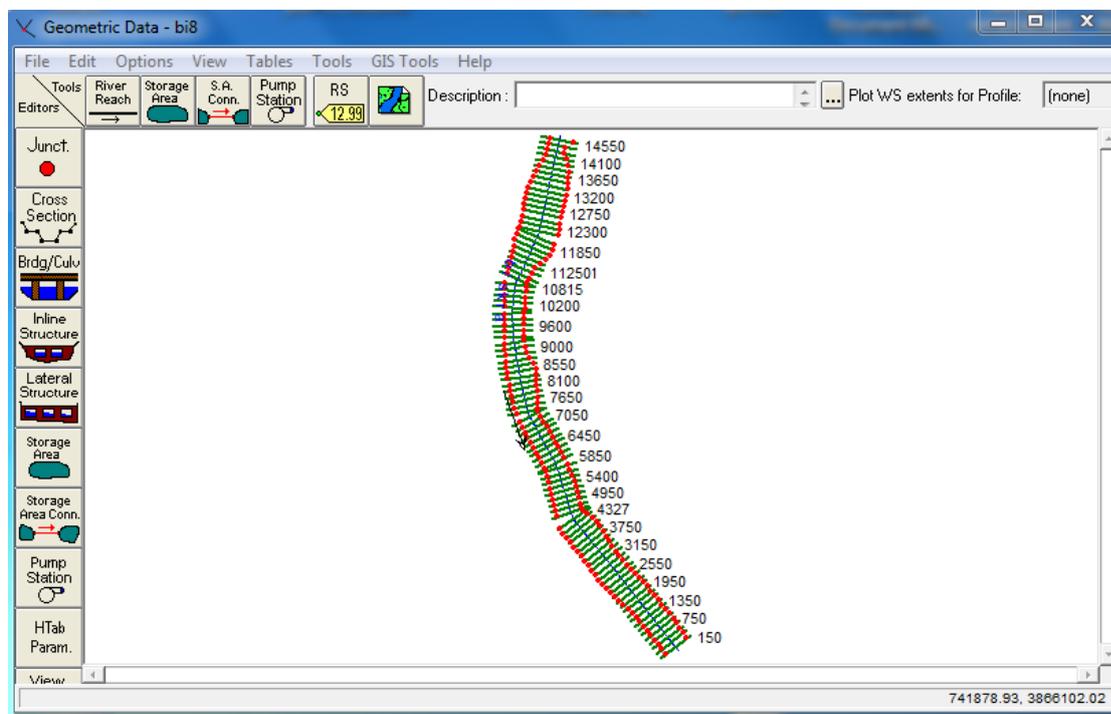


Figure IV-16 : la géométrie du cours d'eau de chabat bouafia sur HEC-RAS

A la suite de la simulation, les résultats sont automatiquement sauvegardés dans le fichier rivduloup.o01.

Un des résultats intéressant à consulter est la vue en profil du tronçon simulé.

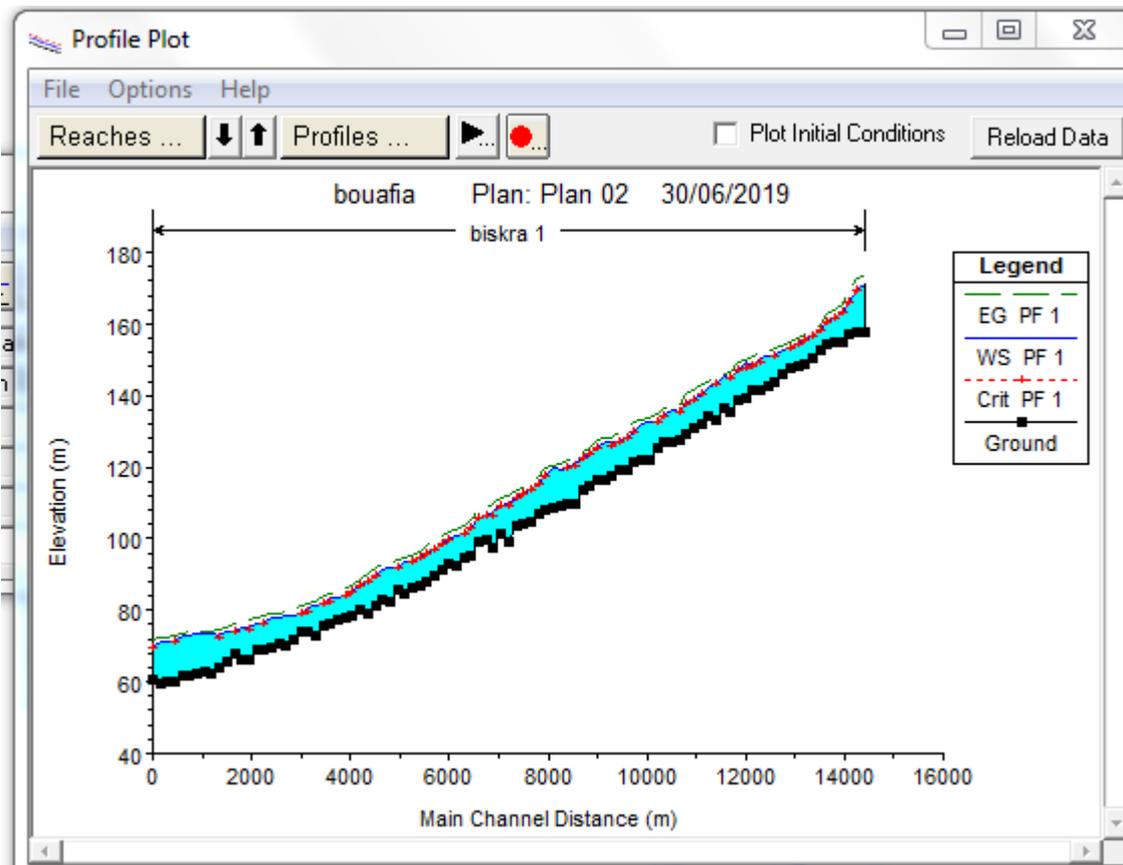


Figure IV-16 : Profil en long du cours d'eau

Une autre option graphique intéressante est accessible via le bouton View 3D multiple cross section plot.

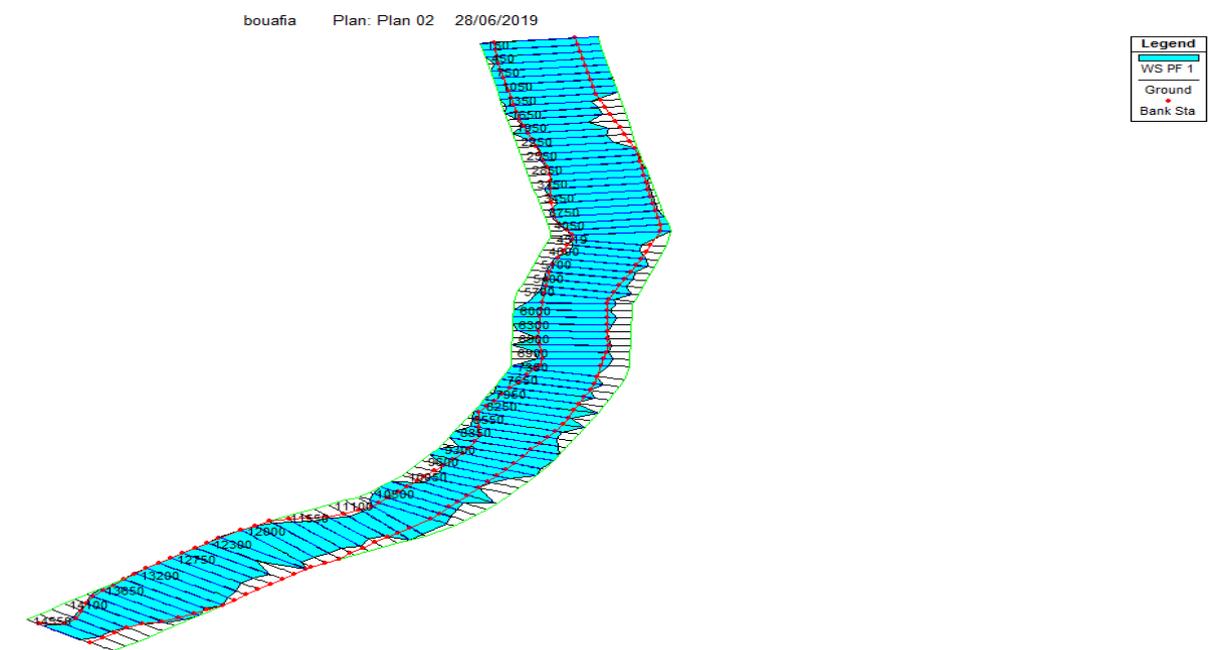


Figure IV-17 : vue en plan

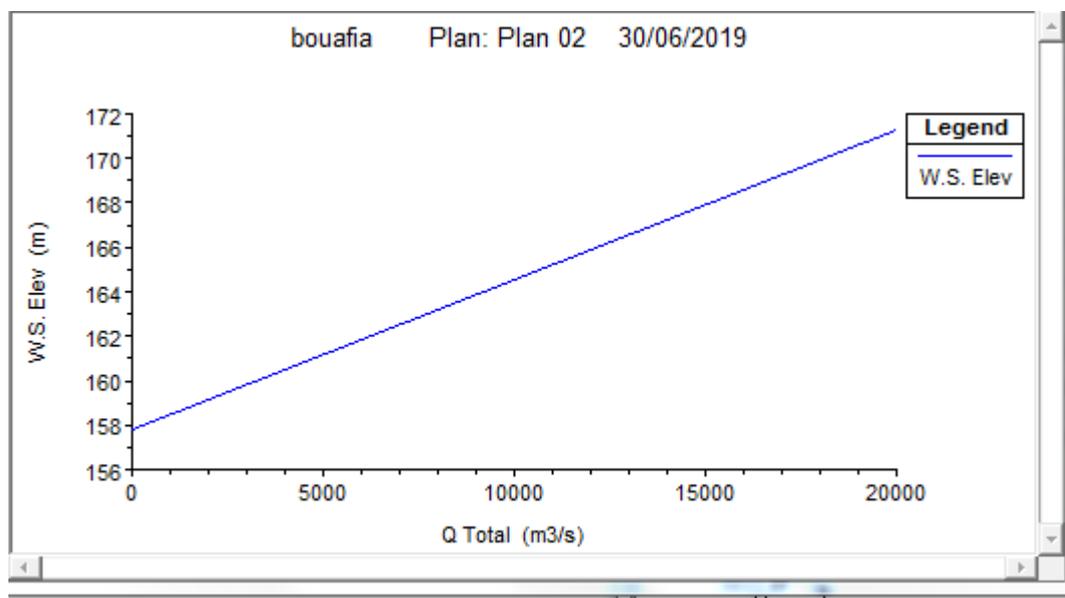


Figure IV-18 : Courbe de tarage hauteur débit

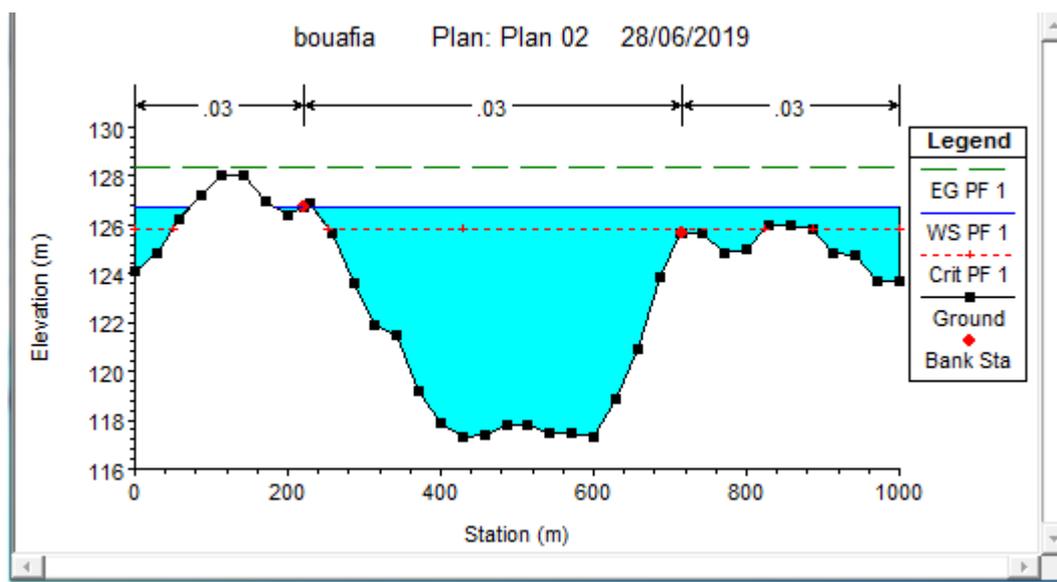
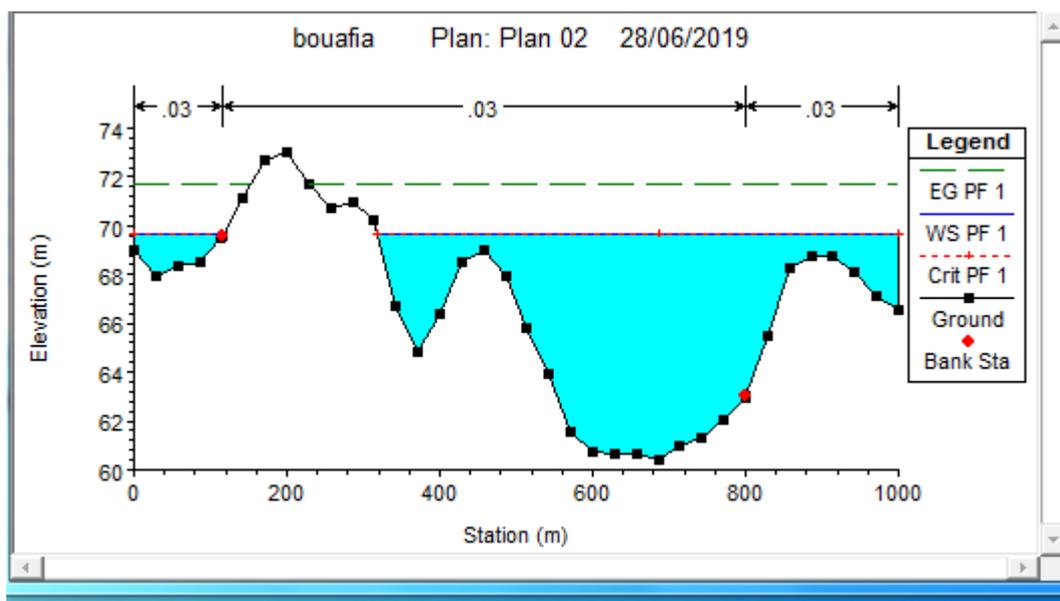


Figure IV-19 : section transversal du cours d'eau

E.G Elev(m)	173.16	Element	Left OB	channel	Right
Vel head(m)	1.87	Wt n-Val		0.30	
W.S.Elv (m)	171.28	Reach Len (m)	150.00	150.00	150.00
Crit W.s.(m)		Flow.Area(m ²)		3297.65	
E.G (m/m)	0.002259	Area (m ²)		3297.65	
Q total(m ³ /s)	100.06	Flow(m ³ /s)		100.06	
Top width (m)	438.65	Top.Width (m)		438.65	
Vel total (m/s)	6.06	Avg.Vel (m/s)		6.06	
Max chl Dppth (m)	13.52	HydrDepth (m)		7.52	
Conv.total(m ³ /s)	420838.5	Conv.(m ³ /s)		420838.5	
Lenght wld (m)	150.00	Wettd Per (m)		440.21	
Min ch El (m)	157.76	Shear (N/m ²)		165.92	
Alpha	1.00	Stream power(N/ms)	47877.88	0.00	0.00
Frctn loss(m)	0.48	Cum volume (1000 m ³)	1465.59	49032.50	1950.75
C\$Eloss (m)	0.12	Cum SA(1000 ²)	754.97	9347.59	1079.79

Tableau IV15 : caractéristique du cours d'eau

IV-6- Proposition d'aménagement :

Afin de venir à bout du problème d'inondation qui frappe la ville de **Bouhachena** à chaque évènement de crue, nous proposons d'aménager **chaabat bouafia** par un canal trapézoïdal tout le long du cours d'eau. Ce choix de forme du canal est dû aux avantages de stabilité et de fiabilité qu'assure ce type de chenal.

Pour le dimensionnement de cet ouvrage, nous aurons besoin du débit de crue maximal, fonction de la période de retour, qui est le paramètre clé vue que le canal résultant doit véhiculer ce débit sans aucun risque d'inondation. Nous avons opté pour un débit centennal estimé à **100.06 m³ /s** auquel on est censé ajouter un débit correspondant aux apports solides, cependant celui-ci est négligeable devant le débit de crue probable, toutefois on le prend en considération en ajoutant une hauteur de revanche, à la hauteur du canal, correspondante à ce débit.

D'autres paramètres sont essentiels au dimensionnement, nous citons :

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

IV-7- Autre avantages d'un canal trapézoïdal :

Un canal trapézoïdal présente de multiples avantages dont on cite :

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

IV-8- Généralités :

L'hydraulique fluviale est la science qui traite les écoulements dont la surface d'eau est soumise à la pression atmosphérique appelé écoulement à surface libre. Cet écoulement est dû essentiellement à la pente du canal et non pas à la différence de charge entre deux sections comme il est le cas dans les conduites en charge. Les concepts d'hydraulique fluviale sont indispensables à la conception d'ouvrages hydrauliques.

IV-8-1- Canal 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-8-1-1- Type de canal :

Il existe deux types de canaux :

❖ 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-18**) 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.

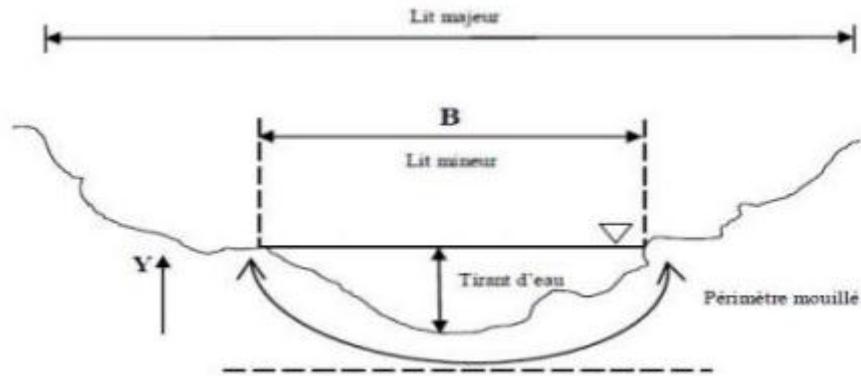


Figure IV-20 : Géométrie d'un canal naturel

❖ Canal artificiel :

Ce sont des cours d'eau réalisés par l'homme (**Figure IV-21**) 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.

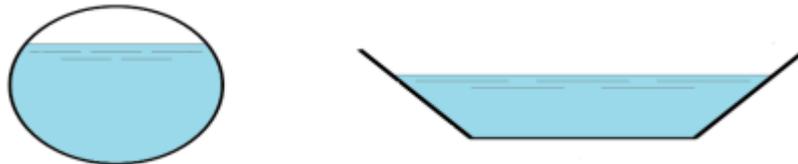


Figure IV-21 : Types de canaux artificiels (couvert et découvert)

IV-8-1-1- Géométrie des canaux :

La section transversale d'un canal est une section plane normale à la direction de l'écoulement.

Les paramètres géométriques d'une section sont :

- **Sm** : Surface mouillée, la portion de section occupée par l'eau.

- **P_m** : Périmètre mouillé formé par la longueur entourant la surface mouillée sans inclure la surface libre, donc la longueur du fond et les parois en contact avec l'eau.
- **R_h** : Le rayon hydraulique donné par le quotient de la surface mouillée et du périmètre mouillé.

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} \dots\dots\dots (IV-21)$$

- **B** : Largeur du canal à sa surface libre.
- **D_h** : Profondeur hydraulique du canal définie par :
-

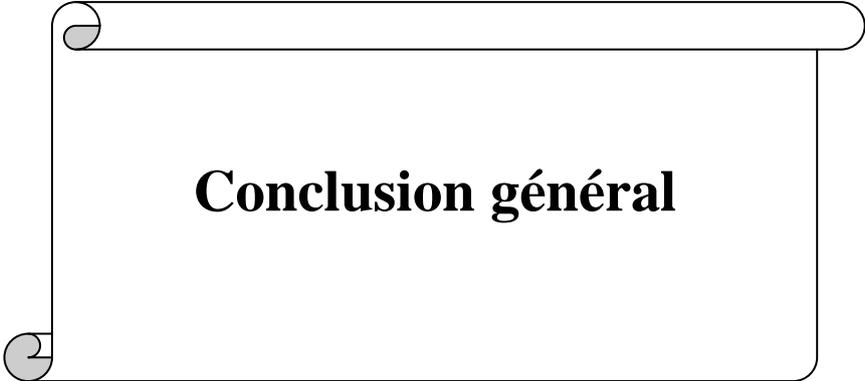
$$D_h = \frac{S}{B} \dots\dots\dots (IV-22)$$

- **h** : Hauteur d'eau considérée comme la profondeur.
- **J_f** : Pente longitudinale du fond du canal
- **J_w** : Pente piézométrique ou pente de la surface libre

La valeur de la pente du fond dépend essentiellement de la topographie et de la constitution du terrain. Elle est généralement faible et peut être exprimée par : $J_f = \text{tg } \alpha \approx \sin$

$$J_f = \text{tg } \alpha \approx \sin \alpha \dots\dots\dots (IV-23)$$

Le lit du canal peut être d'une composition immobile (béton, roche) ou d'une composition mobile (granulat).



Conclusion général

Conclusion Générale

La protection des sites urbains contre les crues et les inondations est une nécessité indispensable afin de réduire les dégâts humains, matériels et économique.

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

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

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

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

- Au niveau du chevelu hydrographique :

Chabet Bouafia draine un bassin versant qui a nécessité une étude morpho métrique Permettant de mettre au point tous les paramètres d'influence du bassin versant et sa réponse vis-à-vis des précipitations.

Ce bassin versant de forme allongée ($K_G = 1,14$) possède un relief assez fort ($I_g = 0.197$), un temps de concentration moyen ($t_c = 0.30$ h) induisant de forts débits instantanés. La valeur de la densité de drainage ($D_d = 2,35$) témoigne de fortes capacités de drainage de l'oued avec un caractère torrentiel des écoulements.

- Au niveau des zones drainantes des eaux pluviales :

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

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

la partie hydrologique qui nous a permis la détermination du débit de crue centennale estimé à **100.06 m³/s**.

Une simulation de l'oued a été faite par le logiciel **Hec - ras** pour connaître les zones inondables.

Les résultats de calcul et d'analyse des différents paramètres cités, nous ont permis la conception et le dimensionnement des ouvrages de protection en l'occurrence. Conclusion générale

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

En définitive, pour assurer la durabilité et le bon fonctionnement de nos ouvrages, nous espérons que les travaux d'entretien et de maintenance seront pris en vigueur.

Bibliographie

-BACHI. M : Problématique du risque d'inondation en milieu urbain; cas de l'agglomération de Sidi Bel Abbès, Projet de Fin d'Etudes, Magister, Université Aboubakr BELKAID, Tlemcen, Algérie, 2011.

-BEN AMOR.M.F : Etude de la protection de la commune de BOUARFA (Blida) contre les inondations, Projet de fin d'étude, ingéniorat, ENSH, BLIDA, Algérie, **2010**.

-BOUZIANE Abdelkrim : Protection cde la ville de Meftah contre les inondations par l'aménagement d'Oued ZERGA (W.BLIDA), Projet de fin d'études, ingéniorat, ENSH, Blida, Algérie, 2011.

-Cours Pr **Mansouri Rachid** modélisation 2017-2018

-LABORDE.J.P : Eléments d'hydrologie de surface, Ecole Polytechnique de l'Université de NICE-SOPHIA ANTIPOLIS, 2009.

-LAHLAHS : Les inondations en Algérie, Actes des Journées Techniques/Risques Naturels : Inondation, Prévision, Protection/BATNA, 2004

-METREVELI. V, 1990 : Alger, Hydrogéologie Et Phénomène De Transport

<http://www.wikipédia.org/>

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

-TEBBANI Ridha 2016 : Etude du transport solide a l'estuaire du bassin versant de la Soummam par le logiciel HEC-RAS

<http://www.asal.dz/>

<http://www.google-earth.com/>

.

Annexe 1 : pluies maximums journalières (mm) de la station de Hammam dbagh (1999-2017)

Année	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1990 1991	5.2	37	60	35.1	23	32.5	42	22	5.5	30	0	9.6
1991 1992	11	32.5	21	6.3	15.5	18	16	40	76	12	6	13.5
1992 1993	2.8	20.2	112	45	16.5	6	20.5	7	51.5	4.5	0	5
1993 1994	23	24	4.5	68	21.2	21.5	5	20.8	8.6	0	0.9	5.4
1994 1995	10.4	14.5	52	15.5	41.5	7.3	30	12.2	7.1	12	0	4.8
1995 1996	23.8	9	16	17.8	90.1	30.8	15.5	14.2	34.7	7.1	2.4	3.2
1996 1997	11.7	5	9.7	14.7	17.8	6.5	8	18.5	1.5	11.5	0	20.6
1997 1998	30.7	18.3	32.6	42.8	9.6	22.3	11.3	21	20	9.5	0	5.5
1998 1999	50	9.6	49.2	9.3	19	16.8	18	20	28.8	5.3	9	0.5
1999 2000	10.9	11.2	15.2	33.2	9.8	8	5.4	6.6	68.1	32.4	0	10.2
2000 2001	4.3	21	10.8	9.5	15.6	39	8.6	12.3	23	0	0	2.6
2001 2002	11.8	14.8	10	15.5	11	20.2	9.2	10.5	7.2	0	14.7	26.1
2002 2003	18.4	9.8	27	25.5	38	36.1	9.5	41.6	16.7	0	3.1	0
2003 2004	30.2	26.6	7.8	105	25.5	5.8	12.5	20.3	69	42.3	0	3.4
2004 2005	9.2	6.2	79.3	32	15.4	18.6	16.2	43	5.2	24.2	6.5	3
2005 2006	3	2.1	3.8	62.4	15.8	42.6	16.3	4.1	30.3	2	12.8	9.4
2006 2007	7.4	3.6	19.2	17.1	13.2	18.1	98.4	18.3	8.9	4.5	5.5	1.4
2007 2008	15.5	24.1	14.6	43	4.2	7.2	18.6	34.3	26.4	7.5	3.9	4.1
2008 2009	6.6	39	26.1	11.3	43	13.5	20.6	36.6	28.5	0.2	3.5	12.5
2009 2010	48	29	4.8	14	70	5.6	20	18.2	21.5	28.6	0	0
2010 2011	6	24.1	58.6	27.5	4.5	53.1	51.2	26.4	22.3	13.9	0.9	1.1
2011 2012	9.5	52.4	7.2	15.8	46.8	92.2	44.8	14.1	7.8	3.2	0.0	0
2012 2013	26.0	16.0	10.5	16.1	12.4	14.6	15.1	15.8	5.3	0	0	16.7
2013 2014	9.8	22.3	55.2	11.8	15	6.8	22.4	1.1	22.1	5.1	0.0	0.1
2014 2015	8.6	12.4	2.6	23.1	44.6	36.2	23.2	4.2	7.8	0.0	0.0	3.4
2015 2016	27.9	13.5	24.4	0.0	32.8	4.1	18.5	22.8	6.2	2.7	0.0	0.0
2016 2017	0.0	14	11.4	6.2	10.2	15.6	0.0	6.8	0.0	8.2	0.0	22.4
2017 2018	1.0	4.7	40.9	23.7	13.7	17.8	27.0	11.0	36.5	0.9	0.2	17.0