

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE**

**DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE**

N°.....



**DOMAINE: TECHNOLOGIE**

**FILIERE: HYDRAULIQUE**

**OPTION: HYDRAULIQUE URBAINE**

**Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de  
Master Académique**

**Par: Seddi Sohaib**

Benrezgua Abdou

**Enseignant : Mr DJEMIAT Djamel Eddine**

**Intitulé**

**Protection des villes contre les Inondations cas  
commune El Anasser wilaya de Bordj Bou Arreridj**

**Année universitaire : 2021 /2022**

# REMERCIEMENTS

Je suis sincèrement reconnaissant pour toutes les personnes qui m'ont aidé cette année, j'ai été très chanceux de les avoir autour

Je remercie mes parents pour leur tolérance et leur soutien envers moi et tous les encouragements et pour ne jamais rien dire de décourageant pour moi

Je remercie mes frères et sœurs pour leur gentillesse et leur soutien, je remercie également tous les amis qui m'ont soutenu jusqu'à la fin

Je remercie tous les professeurs que j'ai sollicités tout au long du "Mémoire de fin d'étude"

**Seddi Sohaib**

Avant de commencer à visionner ce travail, nous profitons de l'occasion pour remercier Dieu d'abord et avant tout, de nous avoir guidés tout au long de notre vie, dans toutes nos années d'études, et de nous avoir donné la foi, la patience et le courage pour le mener à bien. Nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont contribué directement ou indirectement.

Le père et la mère généreux pour leur soutien continu et illimité, ainsi que le tout-puissant enseignant Djemiat, vous tous, ainsi que les collègues et amis

Nous tenons également à remercier tous les professeurs du département hydraulique qui ont contribué à notre formation.

**Benrezgua Abdou**

## DEDICACE

Je dédie ce travail d'abord à mes parents et à tous les membres de ma famille, dédie ce travail à mon collègue et ami Abdou au l'enseignant Djemiat et à tous les professeurs et élèves d'hydraulique et à tous mes amis

Seddi Sohaib

Je dédié ce travail à :

Mon père

Ma mère

Mes frères et ma sœur

Mes amis et à toute la famille

Benrezgua Abdou

## ملخص

الحماية من الفيضانات هي مسألة بالغة الأهمية عبر العالم وعدد كبير من الأرواح والدولارات تم فقدانها بسبب التسير الرديء وسوء تقدير المخاطر في هذه الدراسة قمنا بتقدير لتدفق من أجل بناء قناة لتصريف مياه الأمطار لحماية الأرواح والممتلكات لبلدية العناصر ولاية برج بوعريش.

## Résumé

La protection contre les inondations est une question très importante partout dans le monde et d'innombrables personnes et dollars sont perdus en raison du manque de gestion et de risques appropriés dans, dans cette étude nous estimons le débit pour construire un canal pour drainer les eaux de crue pour protéger la vie et les biens des personnes de la ville de Anasser wilaya de Bordj Bou Arreridj

## Abstract

Protection against flood is very important matter all around the world and countless people and dollars are lost because of the lack of the proper management and risks, in this study we estimate the flow to build a canal to drain the flood water in order to protect people lives and properties of el Anasser cite.

# SOMMAIRE

## Chapitre I Généralités sur les Inondations

Introduction générale.....	1
I.1. Définition L'inondation .....	2
I.2. Problématique d'inondation en Algérie .....	2
I.3. Les crues .....	4
I.4. Paramètres fondamentaux du cours d'eau .....	5
I.5. Le risque d'inondation .....	7
I.6. Les type d'inondations .....	7
I.4.1 La montée lente des eaux en région de plaine.....	7
I.4.2. La formation rapide de crues torrentielles.....	8
I.4.3. Le ruissellement pluvial .....	9
I.7. L'étude de base pour la définition d'une stratégie de protection .....	10
I.7.1. L'étude hydrologique.....	10
I.7.2. L'étude topographique .....	10
I.7.3. L'étude géomorphologique et hydrogéologique.....	10
I.7.4 L'étude hydraulique .....	11
I.7.5. L'étude économique.....	11

## Chapitre II Présentation du site

II.1. Introduction .....	13
II.2. Présentation la ville El Anasser .....	13
II.3. Situation géologique .....	14
II.4. Relief et Pente.....	14
II.5. Situation climatique.....	15
II.6 La température .....	15

II.7. Evaporation de l'eau .....	16
II.8. Les vents .....	16
II.9. Pluviométrie.....	17
II.10. Conclusion.....	18

**Chapitre III**

**ETUDE HYDRAULOGIQUE**

III.1. Introduction .....	21
III.2. Définition d'un bassin versant.....	21
III.3. Systèmes d'Information Géographique (SIG) et l'hydrologie .....	21
III.3.1. Généralité sur les modèles numériques de terrain (MNT) et altitudes (MNA) .....	22
III.4. Le réseau hydrographique du bassin versant.....	23
III.5. La surface .....	25
III.6. Le périmètre .....	25
III.7. L'indice de compacité de Gravelius.....	26
III.8. La longueur du cours d'eau principal.....	27
III.9. Le rectangle équivalent .....	28
III.10. Répartitions et courbe hypsométrique.....	28
III.11. La dénivelée simple (D) .....	31
III.12. La pente moyenne du bassin versant « Im » .....	31
III.13. L'indice de pente Roche (Ip) .....	32
III.14. Indice de pente globale « Ig » .....	33
III.15. Dénivelée spécifique « Ds ».....	33
III.16. La densité de drainage.....	34
III.17. Temps de concentration.....	34
III.17.1. Formule de GIANDOTTI : .....	35
III.17.2. Formule de CALIFORNIA : .....	36
III.17.3. Formule de TEMEZ: .....	36
III.17.4. Formule de KIRPICH 1 .....	37
III.17.6. La vitesse moyenne de ruissellement .....	37
III.18. La précipitation .....	38

III.19. Choix de la loi d'ajustement.....	41
III.19.1 Ajustement de la série pluviométrique par la loi de GUMBEL .....	41
III.19.2. Ajustement de la série pluviométrique par la loi Log Normal ou loi de Galton .....	44
III.20 Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes Fréquences .....	47
III.21. Intensités maximales à différentes Fréquences .....	47
III.22. Evaluation des apports .....	50
III.22.1. Apports liquides.....	50
III.22.1.1. Formule ANRH.....	50
III.22.1.2. Formule de SAMIE.....	50
III.22.1.3. Formule de MALLET-GAUTIER .....	51
III.22.1.4. Formule Algérienne .....	51
III.22.2. Apports solides .....	52
III.22.2.1. Formule de TIXERONT .....	52
III.23. Etude des crues.....	53
III.23.1. Application sur les bassins versants .....	54
III.23.1.1. Formule de Turazza : .....	54
III.23.1.2. Formule de Giandotti : .....	54
III.23.1.3. Formule de possenti : .....	55
III.23.1.4. Formule de Sokolovski : .....	55
III.23.2. Hydrogramme de crue .....	57
III.24. Conclusion.....	62

**Chapitre IV**

**Etude hydraulique**

IV.1. Introduction.....	70
IV.2. L'écoulement à surface libre.....	70
IV.3. Classification des écoulements .....	70
IV.3. Les caractéristiques géométriques de l'écoulement à surface libre .....	71
IV.3.1. La section mouillée d'un canal.....	71
IV.3.2. Périmètres mouillé d'un canal.....	71
IV.3.3. Le rayon hydraulique.....	71

IV.3.4. Profondeur ou tirant d'eau.....	72
IV.3.5. Larguer au plan d'eau.....	72
IV.3.6. Largeur du radier .....	72
IV.3.7. La pente du canal.....	73
IV .4 Canal prismatique .....	73
IV.5. Ouvrage projeté.....	74
IV.6. Approche informatique avec le logiciel CANAL 21 .....	74
IV.6.1. Présentation du logiciel .....	74
IV.7. Dimensionnement des canaux.....	75
IV.7.1. Section 1 .....	75
IV.7.2. Section 02 .....	77
IV.7.1 Section 3 .....	79
IV.8 Conclusion .....	81
Conclusion général .....	72

# Liste des figures

## Chapitre I

### Généralités sur les Inondations

**Figure I.1** : Paramètres fondamentaux du cours d'eau

**Figure I.2** : la ripisylve sur une rive

**Figure I.3** : d'inondation d'une agglomération

**Figure I.4** : Inondation par remontée de nappe

**Figure I.5** : Embâcle sur un torrent

**Figure I.6** : Inondation dans un estuaire

## Chapitre II

### Présentation du site

**Figure II.1** : La situation géographique de la zone d'étude

**Figure II.2** : Carte d'esquisse géologique de la zone d'étude

**Figure II.3** : Plan de relief de la Zone d'étude

**Figure II.4** : Diagramme des précipitations moyennes mensuelles

## Chapitre III

### Etude hydrologique

**Figure III.1 :** Photo du logiciel Arc Gis pour le MNA de la zone d'étude.

**Figure III. 2 :** carte réseau hydrographique du bassin versant avec logiciel « Arc Gis ».

**Figure III.3 :** Sous bassin versant El Anasser avec Arc Gis.

**Figure III.4 :** longueur de thalweg en Arc Gis

**Figure III.5 :** classification des altitudes avec MNT sur « Arc Gis »

**Figure III.6 :** Les classes altitudes avec « ARC GIS »

**Figure III.7 :** Courbe hypsométrique de bassin versant

**Figure III.8:** Histogramme de précipitation.

**Figure III.9 :** Représentation des observations sur papier normale

**Figure III.10 :** Histogramme de précipitation en fonction de fréquence à l'aide de hyfran plus

**Figure III.11 :** Ajustement à la loi de GUMBEL

**Figure III.12 :** Ajustement à la loi de GALTON

**Figure III.13 :** Courbe Pluies de courte durée fréquentiel

**Figure III.14 :** Courbe Intensité-Durée-Fréquence

**Figure III.15 :** Hydrogramme de crue

**Figure III.16 :** le Bassin versant de la deuxième variant

## Chapitre IV

### Etude hydraulique

**Figure IV.1 :** la section et périmètre mouillée d'un canal

**Figure IV.2 :** profondeur d'eau

**Figure IV.2:** Largeur au plan

**Figure IV.3:** largeur du radier

**Figure IV.4 :** Représentation du premier tronçon par photo satellite avec Google Maps a l'aide de Arc gis.

**Figure IV.5:** représentation de la première section «canal trapézoïdal» avec le logiciel « canal 21 ».

**Figure IV.6 :** résultats obtenus à l'aide du logiciel canal 21 pour le canal de la première section « trapézoïdale ».

**Figure IV.7:** Représentation du deuxième tronçon par photo satellite avec Google Maps a l'aide de Arc gis.

**Figure IV.8 :** représentation de deuxième section «canal rectangulaire» avec le logiciel « canal 21 ».

**Figure IV.9:** Interface CANAL 21 pour le canal de deuxième section « rectangulaire ».

**Figure IV.10 :** Représentation du troisième tronçon par photo satellite avec Google Maps a l'aide de Arc gis.

**Figure IV.11 :** représentation de deuxième section «canal rectangulaire» avec le logiciel « canal 21 ».

**Figure IV.12:** résultats obtenus à l'aide du logiciel canal 21 pour le canal de la troisième section « trapézoïdale ».

# Liste des tableaux

## Chapitre I Généralités sur les Inondations

**Tableau I.1** : Les inondations en Algérie

## Chapitre II Présentation du site

**Tableau II.01** : Les valeurs des températures maximales moyennes dans la zone respective et les précipitations

**Tableau II.02** : Evaporation moyenne interannuelle du la zone

**Tableau II.03** : les variations concernant les moyennes mensuelles et annuelles

**Tableau II.04** : Répartition des stations météorologiques à travers la ville de B.B.A

**Tableau II.05**: les valeurs moyennes mensuelles et totales annuel des précipitations

## Chapitre III Etude hydrologique

**Tableau III.1** : surfaces partielles du bassin versant par tranche d'altitude

**Tableau III.2**: les altitudes différentes de bassin versant

**Tableau III.3** : Classifications O.R.S.T.O.M

**Tableau III.4** : Temps de concentration pour les différents auteurs

**Tableau III.5** : Série des Pluies Maximales Journalières 1982-2014 a la station ANRH (BBA)

**Tableau III.6** : Caractéristique de la série de donnée avec  $N = 33$  ans

**Tableau III.7:** Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL

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

**Tableau III.9** Pluies maximales journalières fréquentielles

**Tableau III.10** : Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes fréquences

**Tableau III.11** : Apports moyens interannuels

**Tableau III.12** : Récapitulatif des apports liquides et solides du bassin versant

**Tableau III.13** : valeur de coefficient de ruissellement C

**Tableau III.14:** Pluies de courte durée et intensité pour bassin

**Tableau III.15** : Les débits de crues de bassins par les différentes formules

**Tableau III.16** : Description du cours d'eau  $\gamma$

**Tableau III.17** : la différence dans les caractéristiques morphologiques des deux variantes

**Tableau III.18** : la différence dans les débuts des deux variant.

## Introduction générale

L'eau est considérée comme l'un des éléments les plus importants pour la continuation de la vie et la plupart des civilisations antiques ont été fondées sur les rives des fleuves, comme la civilisation pharaonique près du Nil et la civilisation de la Mésopotamie, pour assurer une source d'eau adaptée à la boisson, à l'agriculture, la pêche, et exploitation de l'énergie mécanique nécessaire au fonctionnement des moulins, jusqu'à ce moment la plupart des villes sont situées sur les rives des rivières et les oueds et certains d'entre eux sont menacés par le risque d'inondation cette source de vie et de prospérité devient l'une des principales menaces pour les vies humaines et pour l'infrastructure et représente une énorme perte économique. L'Algérie a eu sa part de l'inondation en novembre 2001 à Bâb El-Oued plus de 700 morts et de nombreuses personnes ont perdu leurs maisons c'était l'un des incidents les plus catastrophiques dans l'Algérie, les inondations ont également touché des villes telles que "Sidi Bel Abbes" en 2006 " Ghardaïa en 2008, jusqu'à récemment en 2021, les inondations ont fait beaucoup de pertes économiques dans la capitale du pays. Dans nos cas d'Anasser, de nombreuses personnes souffrent des phénomènes d'inondation qui se multiplient à plusieurs reprises et les habitants disent que l'eau pénètre dans leurs maisons, mettant en danger leurs fondations, et certains d'entre eux disent que cela se produit plus que 20 ans. A cet effet ; cette étude a pour objet la protection de la ville de el Anasser contre les inondations. Notre étude s'articulera en quatre parties principales :

**Le premier chapitre :** Présent des généralités sur les inondations en distinguant les problématiques d'inondation en Algérie et l'étude de base pour la définition d'une stratégie de protection.

**Le deuxième chapitre :** Consiste à la présentation de la zone d'étude et nous informe sur sa localisation, le climat dominant, la géologie du terrain.

**Le troisième chapitre :** présent l'étude hydrologique du bassin versant, nous renseigne sur les différentes caractéristiques du réseau hydrographique ainsi l'ajustement des séries pluviométriques et l'établissement du diagramme puis calculé le débit de crue maximal.

**Le quatrième chapitre :** Concerne l'étude hydraulique et le dimensionnement de Oued El Faregh dans le but de protéger la ville de el anasser contre les inondations.

---

*CHAPITRE I :*  
*Généralités sur les*  
*inondations*

---

## **I.1. Définition L'inondation**

L'inondation est un phénomène de submersion temporaire, naturel ou artificiel d'un espace terrestre l'inondation un composant intrinsèque du territoire avec lien de nature, si cette dernière a été souvent perçue comme un espace support du risque l'enjeu est donc de définir, avec le plus de précision possible, l'étendue des périmètres inondés, en vue d'intégrer l'aléa dans notre mode d'habiter l'espace. [1]

## **I.2. Problématique d'inondation en Algérie**

Plusieurs régions sont soumises aux inondations se manifestant de façon catastrophique ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et social.

D'après le recensement effectué par les services de la protection civile, une commune sur trois (485communes) est susceptible d'être inondée en partie ou en totalité, ces inondations sont les catastrophes naturelles les plus fréquentes et les plus destructrices, provoquant d'importants dégâts humains et matériels. [2]

L'inventaire des inondations à travers le pays sur la période 1969-2008 révèle l'existence de régions soumises à ce risque et que ces événements spatio-temporelles sont imprévisibles.

Aussi, il ressort que des grandes inondations engendrées par des pluies exceptionnelles généralisées sur de grands bassins versants et pouvant toucher plusieurs régions atteignant parfois l'ampleur d'une catastrophe nationale telle que : les inondations de l'automne 1968 en Algérie et en Tunisie, les inondations de 1974 des bassins versants de l'algérois et du Sebaou , celle de 1984 touchant tout du pays et les inondations par ruissellement urbain provoquées par des orages localisés d'automne et d'été

Affectant surtout les agglomérations et les villes (cas des inondations du 10 novembre 2001 qui furent les plus meurtrières de l'histoire des inondations en Algérie. [2]

**Tableau I.1 : Les inondations en Algérie [2]**

lieu	date	Bilan des dégâts
El-Eulma (Sétif)	01/09/1980	44 décès
Azazga (TiziOuzou)	12/10/1971	40 décès, des centaines d'habitations détruites
Tizi Ouzou	28-31/03/1974	52 décès dans la wilaya, 18000 sinistrés, dégâts estimés à 27 millions de DA
Mostaganem	Novembre 1927	3000 morts, échelle de gravité : 5.
Alger (Babel Oued)	09-11/11/2001	Plus de 700 décès, 115 disparus, des milliers de blessés, dégâts (30 milliards de DA)
Tindouf	09-11/02/2006	50 à 60% d'infrastructures détruites aux camps des réfugiés sahraouis (12200 familles sans abri)
Bechar	10 Octobre 2008	8 morts, dégâts matériels importants, la plus grande inondation depuis 1959.
à Annaba (centre-ville)	11/11/1982	26 décès, 9500 sinistrés, dégâts matériels importants
Skikda	30/01-4/02/1984	174 maisons démolies, 500 familles sinistrées, terrains agricoles fortement endommagés,
Skikda	28-30/12/1984	11 décès, immersion de 400 hectares, dégâts évalués alors à 50 millions DA
Jijel	29/12/1984	29 décès, 11000 sinistrés

Sidi Bel Abbas	04/10/1986	1 décès, 200 familles sans abri
Oued Rhiou	20/10/1993	22 décès, 14 blessés
Bordj Bou Arréridj	23/09/1994	16 décès, dégâts (10 millions DA)
Annaba	23-30/04/1996	5 décès.

### I.3. Les crues

La crue correspond à l'augmentation de la quantité d'eau qui s'écoule dans la rivière et peut concerner l'ensemble du lit majeur de la rivière.

De nombreux géographes et hydrologues ont adopté le critère qu'une rivière est en crue lorsque son débit est trois à cinq fois supérieur à son débit moyen.

De façon plus pratique, on admet qu'une rivière est en crue lorsqu'elle déborde des limites de son lit mineur.

Il s'agit d'un phénomène naturel périodique qui n'est exceptionnel que lorsque les débits deviennent considérables par rapport à son module on parle alors de crue critique, laquelle peut engendrer une inondation sur les zones riveraines.

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 ce Hydrogramme qui est appelé « crue », la partie descendante étant « la décrue ». Une crue se définit par différents critères : sa genèse, sa durée, sa fréquence, son débit de pointe et son volume. [3]

## I.4. Paramètres fondamentaux du cours d'eau

### a) Le lit mineur

Le lit mineur est constitué par le lit ordinaire du cours d'eau, pour le débit d'étiage ou pour les crues fréquentes (crues annuelles). [4]

### b) Le Lit majeur

Le 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. [4]

### c) Le lit moyen

Sous certains climats, notamment méditerranéens, il peut être identifiée un lit moyen Pour les crues de période de retour de 1 à 10 ans, l'inondation submerge les terres bordant la rivière et s'étend dans le lit moyen. Il correspond à l'espace fluvial ordinairement occupé par la ripisylve, sur lequel s'écoulent les crues moyennes. [4]

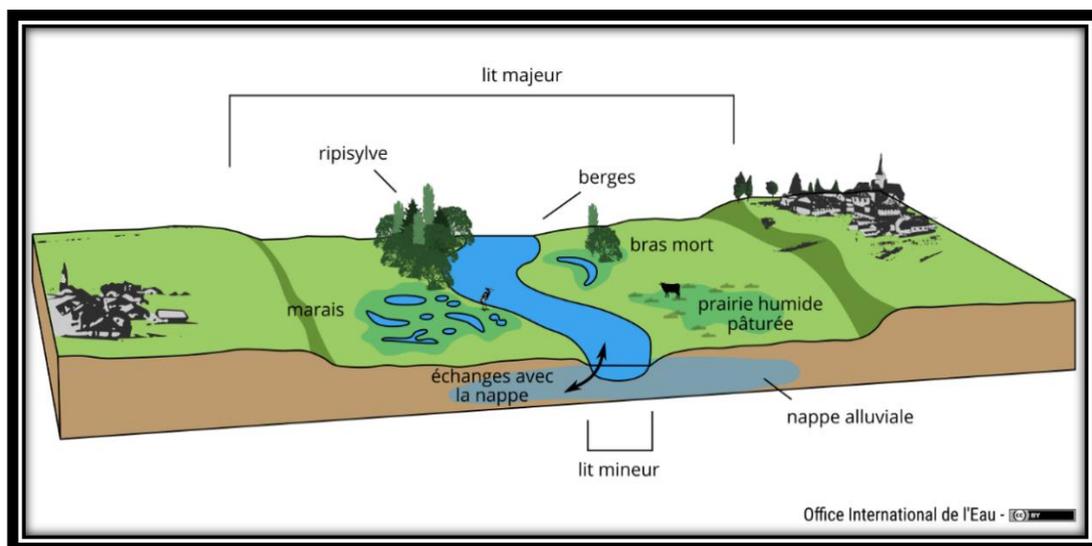


Figure I.1 : Paramètres fondamentaux du cours d'eau

#### d) La ripisylve

C'est la formation végétale naturelle située sur la rive. Elle peut être limitée à un cordon arboré étroit qui souligne le bord du lit mineur de la rivière ou bien elle est une véritable forêt alluviale s'étendant sur plusieurs dizaines ou centaines de mètres de part et d'autres du lit mineur.

Cette forêt occupe tout ou partie du lit majeur. C'est un milieu inféodé à la rivière, particulièrement riche en matière de diversité floristique. Il comporte des strates herbacées souvent très diversifiées et des strates arbustives et arborescentes composées d'un nombre. [5]

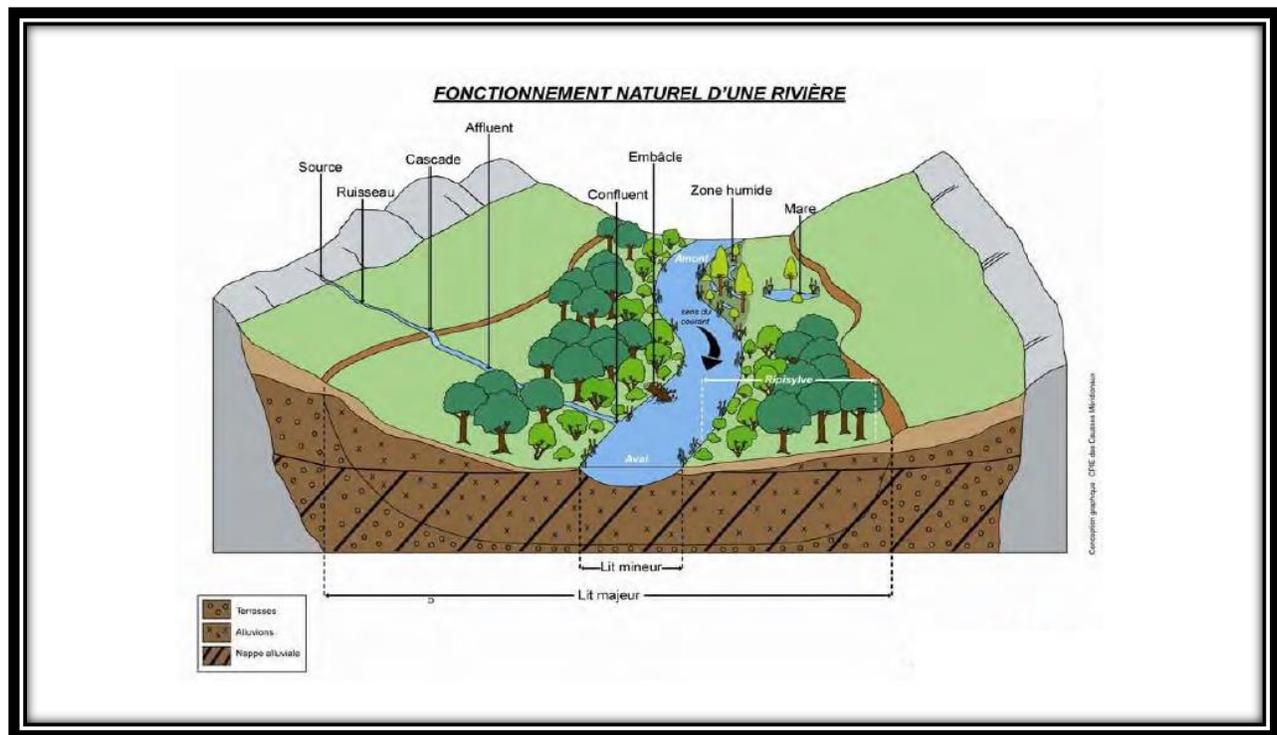


Figure I.2 : la ripisylve sur une rive

## I.5. Le risque d'inondation

Le risque d'inondation est le fruit d'interactions complexes entre la ville et ses fleuves, et se caractérise par sa variabilité spatio-temporelle. L'analyse géo historique et systémique menée à partir de sources d'archives permet de comprendre les interactions entre l'urbanisation, l'hydrosystème et le risque. Au cours d'expansion urbaine entraîne une aggravation latente du risque tandis que l'absence de forte crue contribue à asseoir le sentiment de sécurité de la ville.

Voir fig. I.3



**Figure I.3 :** Inondation d'une agglomération.

Par la prise en compte du rôle dynamique des héritages géomorphologiques et de l'histoire des politiques de gestion et offre une clé de lecture de la complexité du risque de crue en milieu urbain et périurbain. [6]

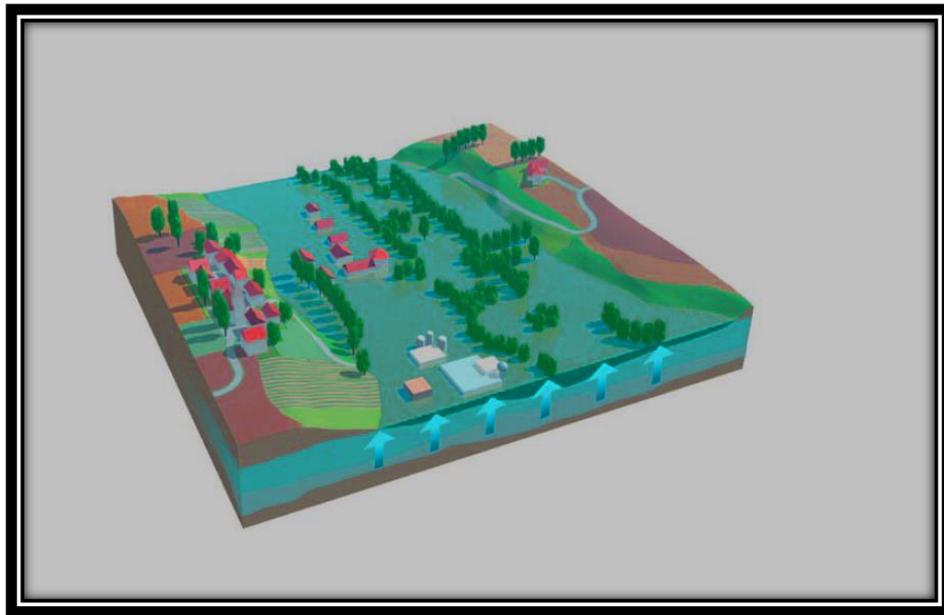
## I.6. Les type d'inondations

### I.4.1 La montée lente des eaux en région de plaine

Les inondations de plaine se produisent lorsque la rivière sort lentement de son lit mineur et inonde la plaine pendant une période relativement longue. La rivière occupe son lit moyen et

Éventuellement son lit majeur. Après une ou plusieurs années pluvieuses, il arrive que la nappe affleure et qu'une inondation spontanée se produise par remontée de nappe phréatique.

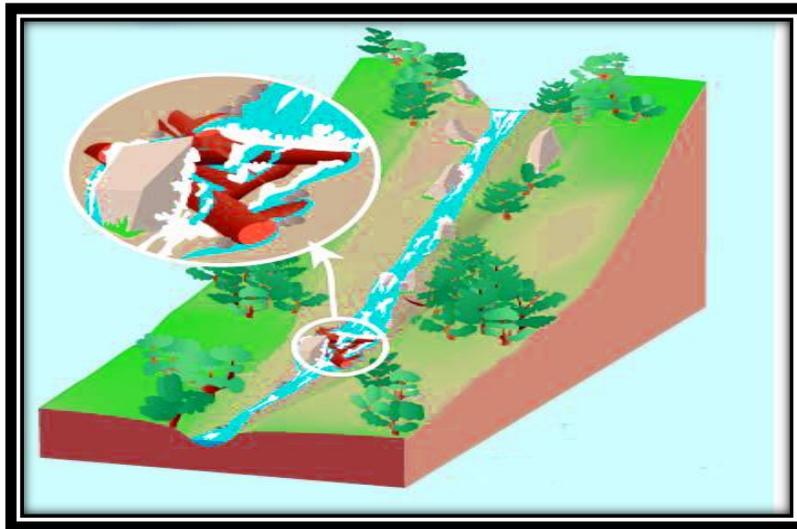
Ce Phénomène concerne particulièrement les terrains bas ou mal drainés. Sa dynamique lente perdure plusieurs semaines. [4]



**Figure I.4** : Inondation par remontée de nappe.

#### **I.4.2. La formation rapide de crues torrentielles**

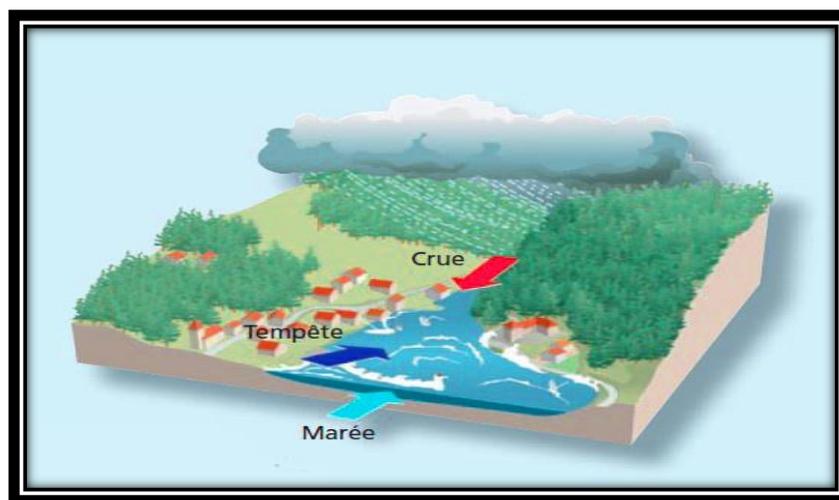
Lorsque des précipitations intenses, telles des averses violentes, sur tout un bassin versant, les eaux ruissellent et se concentrent rapidement dans le cours d'eau, engendrant des crues torrentielles brutales et violentes. Le cours d'eau transporte de grandes quantités de sédiments et de flottants (bois morts, etc.), ce qui se traduit par une forte érosion du lit et un dépôt des matières transportées. Ces dernières peuvent former des barrages, appelés embâcles (**Fig. I.5**) qui, s'ils viennent à céder, libèrent une énorme vague pouvant être mortelles. [4]



**Figure I.5 :** Embâcle sur un torrent.

### **I.4.3. Le ruissellement pluvial**

L'imperméabilisation du sol par les aménagements (bâtiments, voiries, parkings, etc.) et par les pratiques culturales limitent l'infiltration des précipitations et accentuent le ruissellement, ceci occasionne souvent la saturation et le refoulement du réseau d'assainissement des eaux Pluviales. Il en résulte des écoulements plus ou moins importants et souvent rapides dans les rues.



**Figure I.6 :** Inondation dans un estuaire

Au sens large, les inondations comprennent également les inondations par rupture d'ouvrages de protection (brèches dans les digues) et les inondations dans les estuaires. Ces dernières résultent de la conjonction de la crue des fleuves, de fortes marées et de situations dépressionnaires (régime de tempête). [4]

## **I.7. L'étude de base pour la définition d'une stratégie de protection**

L'analyse du fonctionnement physique et socio-économique du bassin versant doit permettre de repérer et de choisir progressivement les secteurs sur lesquels il est souhaitable et possible de réaliser des actions de prévention et de protection contre les inondations. [7]

### **I.7.1. L'étude hydrologique**

L'étude hydrologique est effectuée à partir des observations hydrométéorologiques disponibles, vise à résumer l'ensemble des réalisations possibles d'événements de crue en une série limitée d'évènements de référence, des crues fréquentes aux crues exceptionnelles, en retenant éventuellement plusieurs typologies suivant la genèse (ex crue pluviale ou nivale), et l'origine météorologique (ex crue océanique ou méditerranéenne) des épisodes de crues. [7]

### **I.7.2. L'étude topographique**

Pour but de décrire la géométrie du terrain et celle des ouvrages et aménagements présents et projetés, sous une forme et avec une précision adaptée aux besoins des autres études techniques, tout particulièrement étude hydraulique. Par ailleurs, le récolement topographique des aménagements réalisés est indispensable et doit être également prévu. [7]

### **I.7.3. L'étude géomorphologique et hydrogéologique**

Permet, à partir de l'interprétation des formes du lit du cours d'eau (profil en long et en travers), la définition des limites du champ d'inondation (lit mineur moyen majeur), une meilleure

Compréhension des processus de transport solide et d'évolution des formes de la rivière et une appréciation des influences mutuelles entre les cours d'eau et les aquifères présents. [7]

**I.7.4 L'étude hydraulique**

Elle permet la détermination de limites du champ d'inondation de crues de référence et une meilleure appréciation de la dynamique des crues (estimation des vitesses d'écoulement, des temps de transfert dans le réseau hydrographique et appréciation de l'effet de laminage induit par les ouvrages de ralentissement. [7]

**I.7.5. L'étude économique**

visé à donner une estimation des coûts relatifs à chaque stratégie de protection (investissement / fonctionnement) et à apprécier la réduction du coût moyen annuel des dégâts, Elle fournit un certain nombre d'éléments objectifs pour le choix des aménagements à réaliser. [7]

---

*CHAPITRE II*  
*PRESENTATION DU*  
*SITE*

## II.1. Introduction

Avant tout projet de protection contre les inondations, l'étude du site est nécessaire pour connaître les caractéristiques physiques du lieu et les facteurs influençant la conception du projet. Cette étude consiste à analyser les caractéristiques physiques de la commune (relief, Climat, ...). [8] L'Algérie est confrontée aux phénomènes de crues et inondations, qui se manifestent de façon catastrophique constituant ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et social. Plusieurs régions, de par leur topographie sont menacées par ces catastrophes hydrologiques aussi bien au Nord qu'au Sud. Les inondations attribuables aux crues d'oueds et aux tempêtes de pluies se produisent dans toutes les régions du pays.

## II.2. Présentation la ville El Anasser

La commune d'El Anasser se situe au sud - est du chef - lieu de la wilaya de Bordj Bou Arréridj. Elle est délimitée par les communes suivantes : [9]

- 1) Au Nord - Est, par la commune de Sidi Embarek, 2) à l'Est, par la commune de Ain Tassera
- 3) au Sud - Est , par la commune de Belimour, 4) et au Sud - Ouest , par la commune d'El Hamadia.



Figure II.1 : Situation géographique de la zone d'étude.

### II.3. Situation géologique

La connaissance de la géologie du site nous permettra de prendre des dispositions Nécessaires lors de la réalisation des travaux, par exemple le choix de type d'ouvrage qui à utiliser pour la protection d'Oued et le choix des engins à utiliser et type de matériaux. À travers les terres de la commune d'El Anasser des affleurements issus de formations sédimentaires partant des grès de Bujari jusqu'aux couches du crétacé inférieur jusqu'aux couches du crétacé supérieur du danien au santonien en passant par les couches Crétacé moyen Tur-onien- cénomaniens.

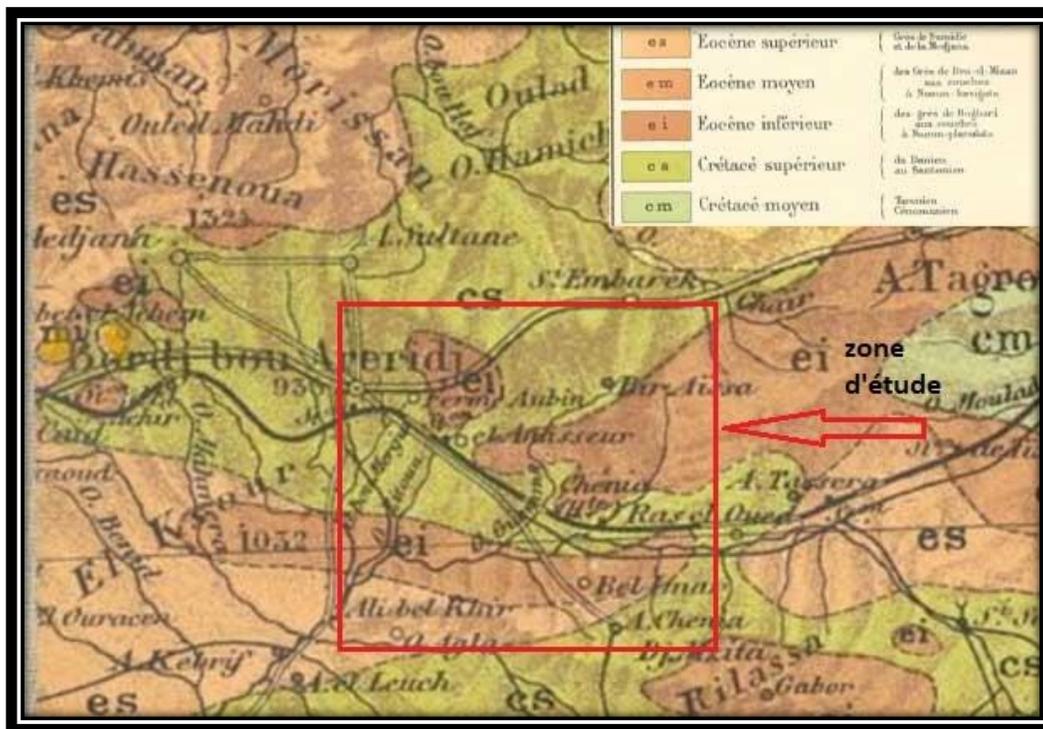


Figure II.2 : Carte d'esquisse géologique de la zone d'étude.

### II.4. Relief et Pente

La ville d'el Anasser est située dans une région semi-aride au terrain accidenté et entourée de zones montagneuses telles que Bordj Ighdir et Ras El-Wad .

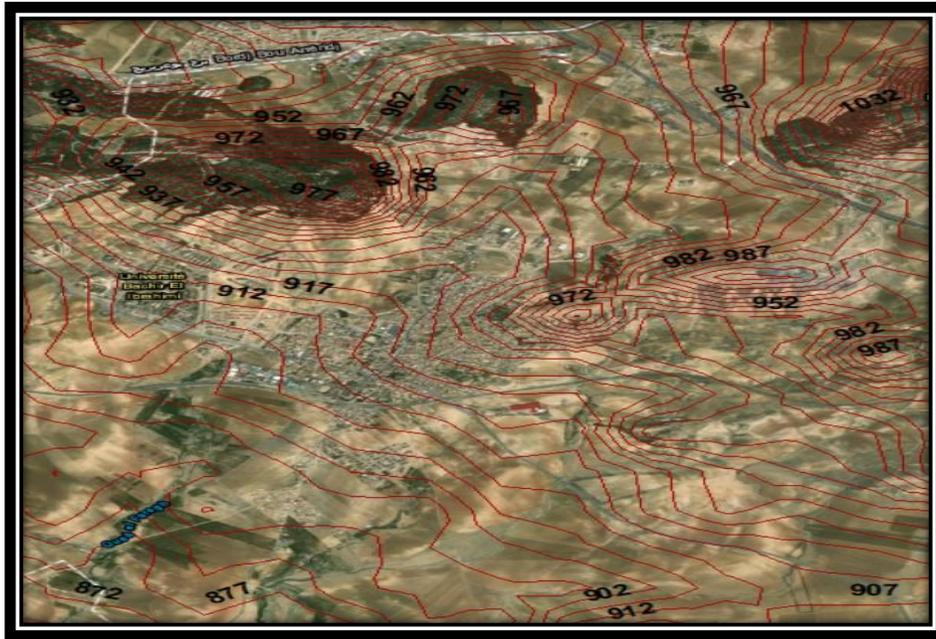


Figure II.3 : Plan de relief de la Zone d'étude.

## II.5. Situation climatique

La commune d'El - Anasser, a souvent fait l'objet d'inondation Surtout la partie basse de la commune, comme ce fut le cas en 2018, le bassin versant est dominé par un climat de type semi-aride avec des hivers froids et des étés relativement chauds et secs.

## II.6 La température

Les données concernant les températures relèvement toujours de la station de Bordj Bou Arréridj, montrent des minimum moyen mensuels oscillant entre  $-5.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  en hiver (Février) et  $18.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  maximum au moyens de jules de  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$  en hiver  $40.2\text{ }^{\circ}\text{C}$  en été, l'amplitude est environ «  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$  ». [9]

Tableau II.1 : Les valeurs des températures maximales moyennes dans la zone.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
$T_{\min}$	-2.2	-5.3	0.3	-0.9	6.3	13.5	18.5	15.8	12.4	0.8	3.8	-2.9	5.01
$T_{\max}$	19.7	14	22.2	31	31.8	38.6	40.2	38.2	36.1	34.2	20	15.2	28.43
$T_{\text{moy}}$	8.75	4.35	11.25	15.05	19.05	26.05	29.35	27	24.25	17.5	11.9	6.15	16.72

L'analyse du tableau Ci-dessus nous renseigne sur :

- Une période chaude s'étalant du mois de juin au mois de septembre.
- Le mois le plus chaud étant le mois de juillet.
- Une période de froid s'étalant du mois d'octobre au mois d'avril.
- Le mois le plus froid étant le mois de février.

## II.7. Evaporation de l'eau

Pour estimer la valeur de l'évaporation de l'eau, nous avons utilisé les données du mesurage du barrage d'Al-Zada, situé approximativement dans la même zone, où ses conditions sont similaires à celles de zone d'étude

La répartition mensuelle de l'évaporation d'eau est indiquée dans le tableau II.2

**Tableau II.2 :** Evaporation moyenne interannuelle du la zone [10]

Mois	S	O	N	D	J	V	M	A	M	J	J	A
EV (hm <sup>3</sup> )	1.07	0.67	0.30	0.17	0.18	0.29	0.57	0.83	1.09	1.61	1.93	1.74

## II.8. Les vents

Les vents les plus dominants sont ceux provenant du NORD - OUEST et du SUD - EST la zone connaît le SIROCCO pendant les mois de JUILLET et AOUT avec une moyenne annuelle de 15 jours. [9]

**Tableau II.3 :** les variations concernant les moyennes mensuelles et annuelles de vente

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
VIM	6	7.1	6.6	6.7	6.9	6.5	5.9	5.5	3.7	5.3	5.2	7	6.2
DIV	SN	SN	SN	SN	ESW	SN	SN	SN	SN	SN	ESW	SN	SN
FRQ (%)	39	32	33	30	27	27	29	38	38	37	45	38	35.1

**VIM** : vitesse de vente moyenne.

**DIV** : direction du vent.

**FREA** : fréquence moyenne mensuelle.

## II.9. Pluviométrie

Le régime pluviométrique est irrégulier en quantité et intensité, les pluies mensuelles moyennes sont signalées par plus la station météorologie :

- Longitude : 04.67 E
- Latitude : 36.07 N
- Altitude : 928 m

**Tableau II.04** : Répartition des stations météorologiques à travers la ville de B.B.A

Type d'infrastructures	Nombre	Localisation
Station de météorologie	01	Foret de BOUMERGUED
Station de météorologie	01	BBA, route de medjana

Les moyennes mensuelles et totales annuelles des précipitations en mm sont données par le tableau suivant :

**Tableau II.05**: les valeurs moyennes mensuelles et totales annuel des précipitations

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total année
P(mm)	29.5	34.9	31.7	40.3	33.8	10.3	3	13.5	13.4	34.6	30.4	42.5	317.9

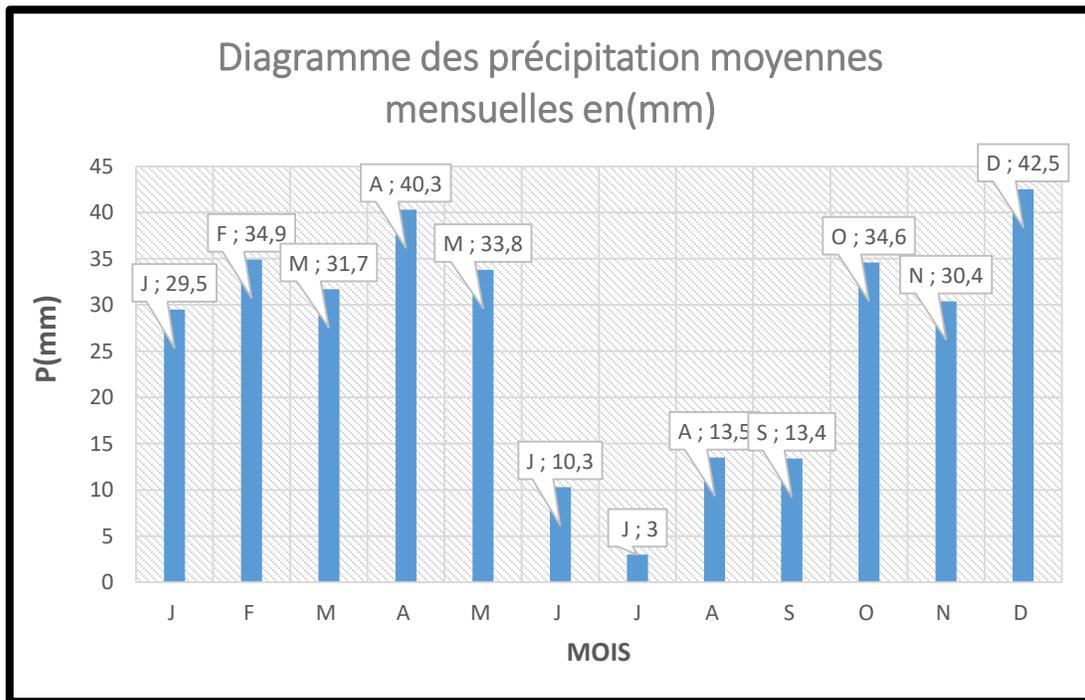


Figure.4 : Diagramme des précipitations moyennes mensuelles

D'après le diagramme, la période pluvieuse est enregistrée entre le mois d'Octobre et le mois de Mai, la période estivale est caractérisée par une faible précipitation de 03 mm au mois de Juillet.

## II.10. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons discuté de la définition géographique de la région, ainsi que de la météo, de la température annuelle aux rafales de vent et aux précipitations.

---

*CHAPITRE III : ETUDE  
HYDROLOGIQUE*

---

### **III.1. Introduction**

L'étude de l'hydrologie est très importante elle nous aidera à estimer la quantité d'eau drainée par le bassin versant afin de pouvoir construire ultérieurement nos ouvrages hydrauliques, pour sauver la ville des inondations, nous devons d'abord prendre nos mesures pour évaluer la zone inondée en mesurant la superficie du bassin versant.

### **III.2. Définition d'un bassin versant**

Le bassin versant ou d'alimentation au droit d'une section de mesure. Est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de cette section. Tous les écoulements qui prennent naissance à l'intérieur de cette surface Topographique passent obligatoirement par la section de mesure pour poursuivre leur trajet. [11] Notre bassin versant est une petite partie du grand bassin de 'Hodna', les eaux de son réseau hydrographique finissent par se déverser dans l'oued EL 'ksob'.

### **III.3. Systèmes d'Information Géographique (SIG) et l'hydrologie**

Il est très difficile, voire impossible, de modéliser l'impact des fluctuations des paramètres de gestion de chaque aménagement sur le comportement hydrologique d'un bassin versant approche traditionnelle d'estimation des paramètres hydrologiques. Pour contourner cette difficulté, il est possible d'utiliser des outils modernes d'aide à la gestion, tels les Systèmes d'Information Géographique (SIG).

Ces derniers permettent de construire des modèles descriptifs de comportement hydrologique de bassins versants susceptibles de se prêter à l'utilisation de plusieurs modèles hydrologiques, dans la mesure où ces derniers sont compatibles avec la partition de l'espace. Dans une optique d'aménagement ou de gestion des eaux et de ses usages, une représentation de l'espace en bassins versants élémentaires présente une solution élégante à la résolution des équations de bilan d'eau à divers niveaux d'agrégation, conduisant à la modélisation du comportement global du bassin

Versant tout entier. Une telle approche offre une souplesse évidente, permettant d'intégrer la variabilité spatiale et temporelle des termes du bilan d'eau. [12]

Aujourd'hui, le développement de techniques modernes d'acquisition et de mise à disposition d'informations digitales a rendu possible la représentation à la fois de la topographie du milieu par le biais de **modèles numériques d'altitude** (MNA) et de terrain (MNT), ainsi que la représentation de l'occupation des sols par le biais de photographies aériennes ou de données satellitaires.

Ces informations servent de plus en plus à la description des caractéristiques physiques des bassins versants et à la cartographie numérique de leur couverture. [8]

### **III.3.1. Généralité sur les modèles numériques de terrain (MNT) et altitudes (MNA)**

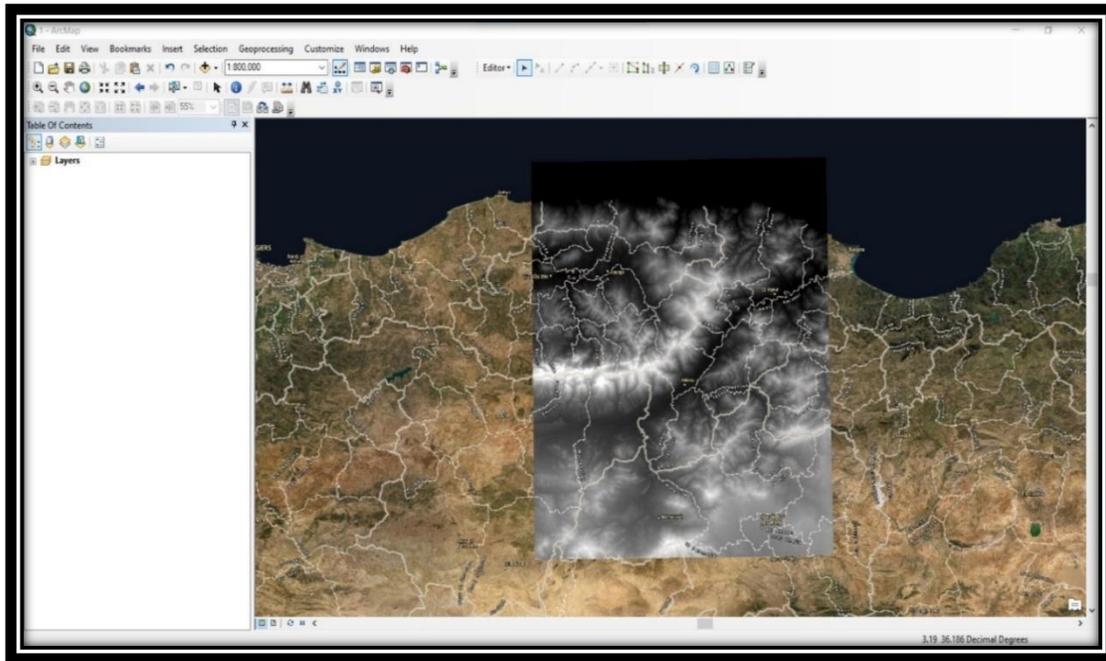
A partir de la densité locale de courbes de niveau ou de traitement stéréoscopique d'images satellitaires, il est possible de produire une spatialisation du milieu (MNA) qui, aboutit à l'élaboration de modèles numériques de terrain (MNT).

Ce MNT est une expression numérique de la topographie, sous forme matricielle ou vectorielle. Outre les altitudes (MNA), les fichiers qui le constituent sont les pentes, l'orientation et l'éclairage simulé schématiquement, on distingue trois types essentiels de découpage spatial du milieu utilisés pour la génération d'un MNA. Il s'agit respectivement de :

- Découpage régulier et arbitraire (généralement grille rectangulaire).
- Découpage à base d'éléments irréguliers (TIN) épousant les discontinuités du milieu
- Découpage topographique basé sur une approche hydrologique qui s'appuie sur la Délimitation des Lignes d'écoulement et des courbes de niveau.

A partir de ces trois approches, il est possible de déterminer plusieurs attributs du modèle numérique d'altitude tels que des attributs topographiques (élévation, orientation, pente, Surface, courbure) qui influencent diverses grandeurs, intervenant directement dans les Processus d'écoulement. [13]

Après avoir obtenu ces points avec leurs coordonnées (x, y, z) de Googleearth, nous les téléchargeons sur arc gis afin que nous puissions plus tard dessiner nos lignes topographique et ainsi notre MNT



**Figure III.1 :** Photo du logiciel Arc Gis pour le MNA de la zone d'étude.

Dans notre cas, nous avons utilisé le MNT de Algérie du Nord-Est et avec l'aide de la boîte à outils **d'hydrologie** à l'intérieur de l'outil **d'analyse spatiale** dans Arc gis, nous avons pu deviner où le flux va et plus tard faire la délimitation du bassin versant

#### **III.4. Le réseau hydrographique du bassin versant**

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Le réseau hydrographique est sans doute une des caractéristiques les plus importantes du bassin; Le réseau hydrographique peut prendre une multitude de formes. [14]

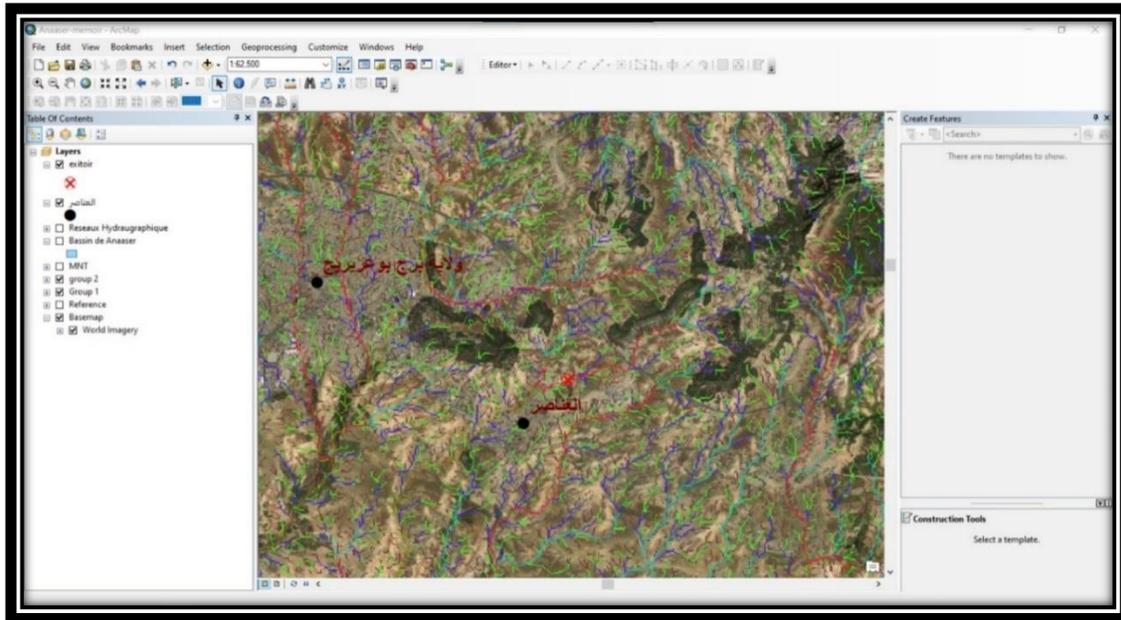


Figure III. 2 : carte réseau hydrographique du bassin versant avec logiciel « Arc Gis ».

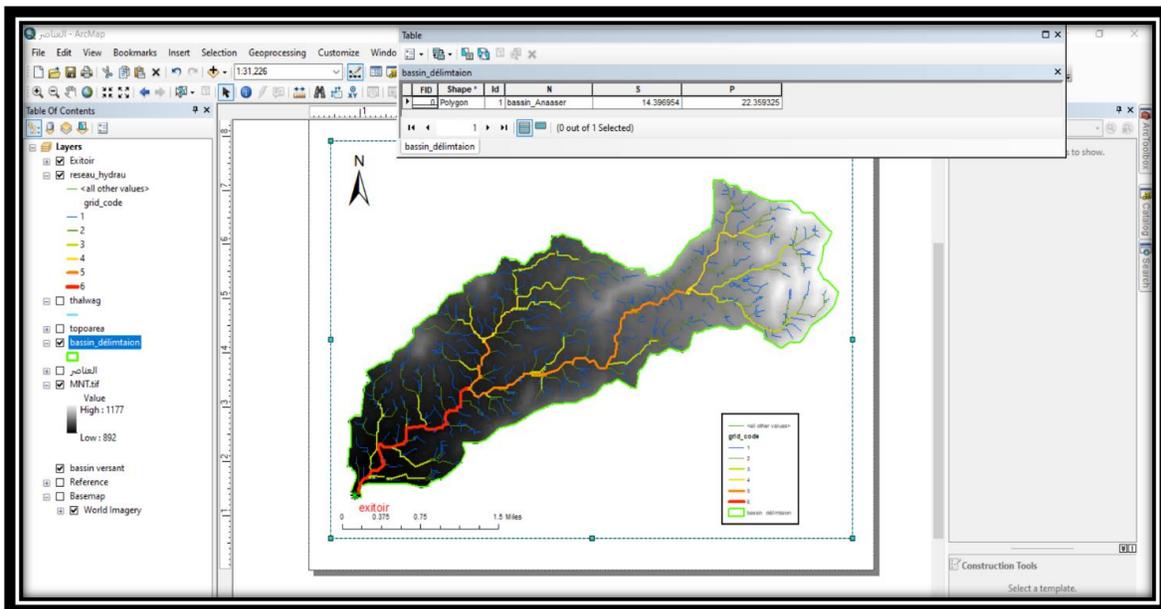


Figure III.3 : Sous bassin versant El Anasser avec Arc Gis.

### III.5. La surface

La surface topographique est le paramètre le plus important, il permet de contrôler l'intensité de plusieurs phénomènes hydrologique (volume de précipitation ou Infiltration), 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.

$$S = 14.39 \text{ Km}^2$$

### III.6. Le périmètre

Le périmètre représente toutes les irrégularités du contour ou de la limite du bassin versant, Il est exprimé en km, le contour du bassin est constitué par une ligne joignant tous les points les Plus élevés. Il n'influence pas l'état d'écoulement du cours d'eau au niveau du bassin versant. Le périmètre peut être mesuré à l'aide d'un curvimètre ou automatiquement par des logiciels. [15]

$$P = 22.35 \text{ Km}$$

On sait que le cercle est la figure dont la surface est maximale pour un périmètre donné ou, de façon duale, la figure dont le périmètre est minimal pour une surface donnée.

On doit donc s'attendre à ce que le périmètre de tout bassin soit supérieur à celui du cercle de même surface. Le cercle n'est cependant pas une forme très réaliste pour un bassin versant, Partant de l'observation que les bassins versants "ont généralement une forme ovoïde ou semblable à celle d'une poire". [16]

### III.7. L'indice de compacité de Gravelius

L'indice de compacité ( $K_G$ ) renseigne sur la forme du bassin versant qui a une grande influence sur l'écoulement global du cours d'eau et surtout sur l'allure de l'Hydrogramme à l'exutoire du bassin, résultant d'une pluie donnée.

Il est établi en comparant le périmètre du bassin à celui d'un cercle qui aurait la même surface. Il s'exprime par la formule suivante **ROCHE, 1963** :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}} = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{III.1})$$

Avec :

$K_G$ : Indice de compacité de Gravelius

P : Périmètre stylisé en km du bassin versant

A : Superficie du bassin versant en km<sup>2</sup>.

$$K_G = 1.66$$

- Lorsque  $K_G$  est proche de 1 le bassin versant est de forme circulaire.
- Lorsque le  $K_G$  est supérieur à 1, le bassin versant est de forme allongée.

Un bassin versant circulaire est mieux drainé qu'un bassin allongé, Notre bassin a une forme Allongée ( $K_G$  est supérieur à 1).

### III.8. La longueur du cours d'eau principal

La longueur du cours d'eau principal est la distance curviligne depuis l'exutoire jusqu'à la ligne de partage des eaux, en suivant toujours le segment d'ordre le plus élevé. Lorsqu'il y a un embranchement et par extension du dernier jusqu'à la limite topographique du bassin versant, cette distance parcourue est exprimée en km. Si les deux segments à l'embranchement sont de même ordre, on suit celui qui draine la plus grande surface.

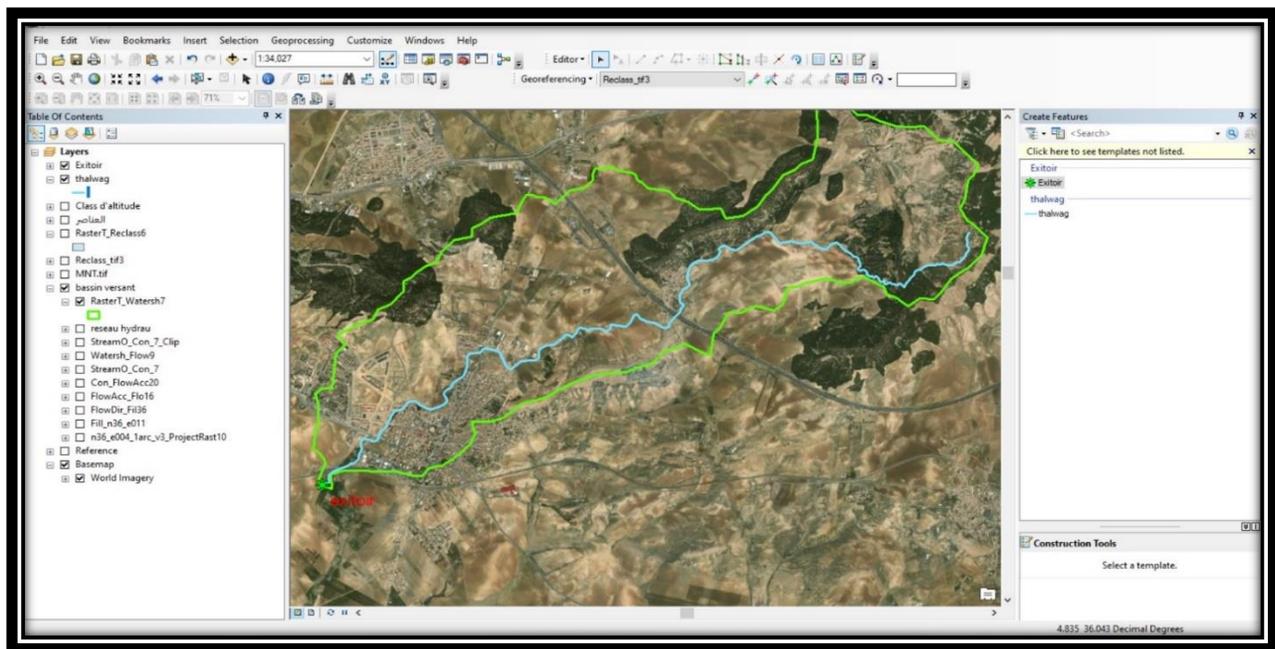


Figure III.4 : longueur de thalweg en Arc Gis

La longueur de cours d'eau principal « thalweg » :

$$L = 10.7 \text{ km}$$

### III.9. Le rectangle équivalent

C'est une transformation purement géométrique en un rectangle de dimensions (L, l) Ayant la même surface que celle du sous bassin. Mis au point par ROCHE permet de Comparer les sous bassins entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques Sur l'écoulement.

Les courbes de niveau sont des droites parallèles aux petites côtes du Rectangle et l'exutoire est l'un de ces petites cotes. [17]

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

$$L = \frac{kc \times \sqrt{A}}{1.128} \times \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{kc} \right)^2} \right) \quad (\text{III.2})$$

$$L = 9.67 \text{ km}$$

$$l = \frac{kc \times \sqrt{A}}{1.128} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{kc} \right)^2} \right) \quad (\text{III.3})$$

$$l = 1.49 \text{ km}$$

### III.10. Répartitions et courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique est l'un des paramètres les plus essentiel dans l'étude du relief elle fournit une vue synthétique de la pente. Elle 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 de l'altitude elle exprime la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie au-delà d'une certaine altitude. [8] Nous avons utilisé

Logiciel « ARC GIS » pour extraire notre altitude de classe à chaque intervalle, nous avons utilisé dix intervalles égaux, d'ailleurs Arc gis nous a automatiquement donné des surfaces partielles pour chacun, tout cela est fait par la fonction "classifier" dans la boîte à outils Arc gis.

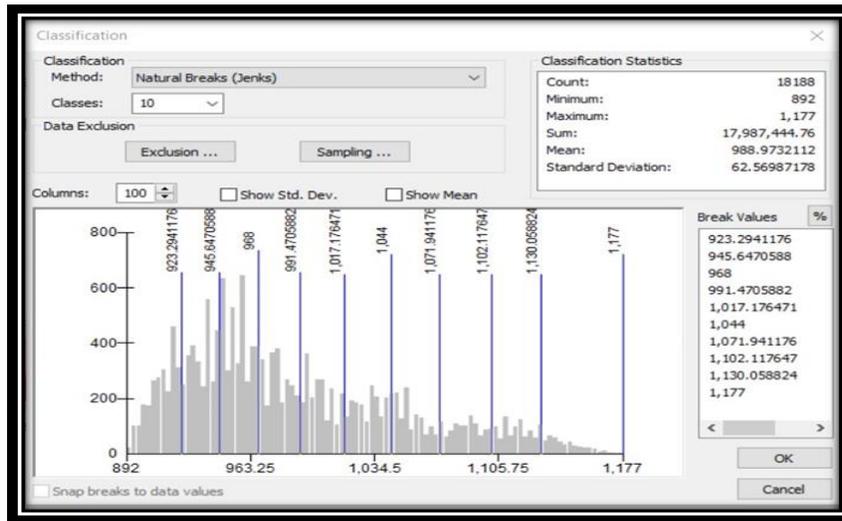


Figure III.5 : classification des altitudes avec MNT sur « Arc Gis »

Cette image ci-dessous illustre la partition des intervalles d’altitude et les parentages que ces intervalles prennent.

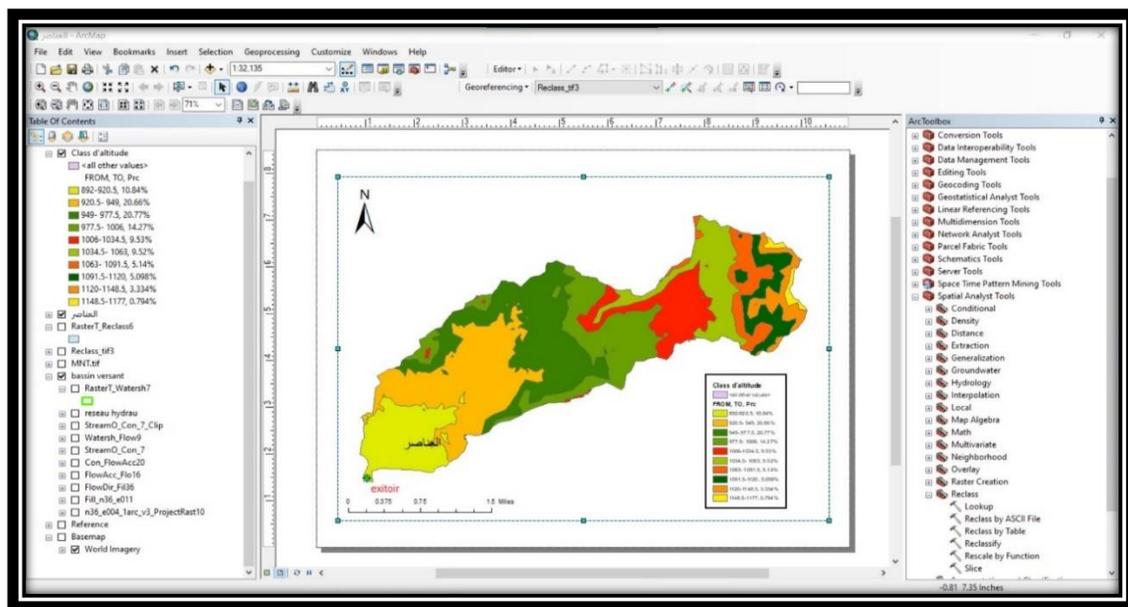
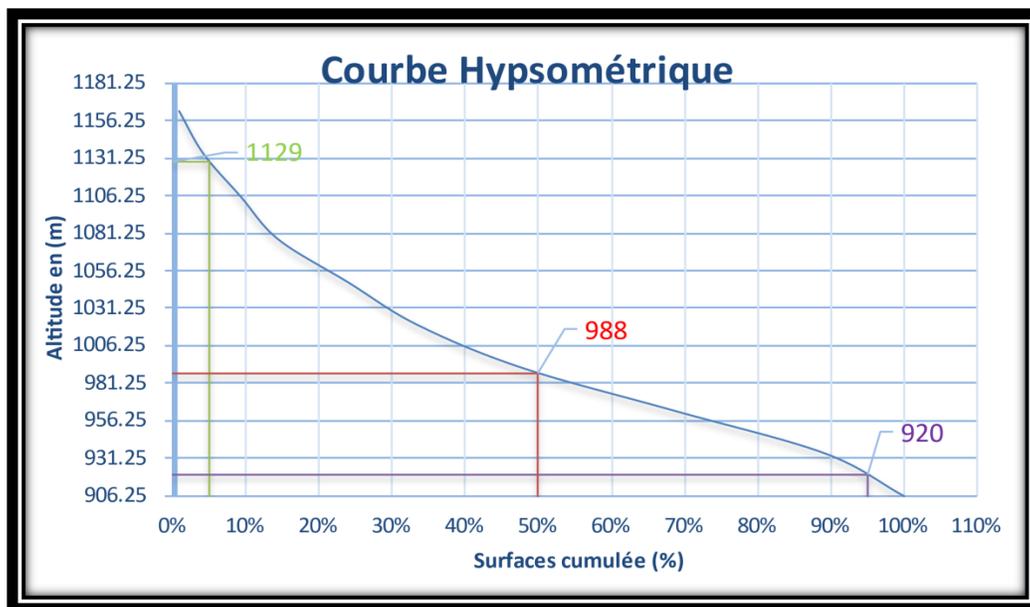


Figure III.6 : Les classes altitudes avec « ARC GIS »

De plus, nous pouvons ajouter un pourcentage pour les surfaces partielles en utilisant la fonction "Field calculator" dans la table attributaire ce tableau résume le résultat.

**Tableau III.1** : surfaces partielles du bassin versant par tranche d'altitude

Classes d'altitude (m)	Dénivelée ΔH(m)	centre de classe 'Hi	surfaces partielles Si (Km2)	Surfaces Partielles (%)	Surfaces cumulée (%)	Hi*Si (m*Km2)	Hi*Si (km*Km2)
892-920.5	28,5	906,25	1,5606887	10,85%	100%	1414,3742	1,4143742
920.5-949	28,5	934,75	2,9735517	20,67%	89,15%	2779,5275	2,7795275
949-977.5	28,5	963,25	2,9891565	20,78%	68,48%	2879,305	2,879305
977.5-1006	28,5	991,75	2,0534534	14,27%	47,71%	2036,5124	2,0365124
1006-1034.5	28,5	1020,25	1,371771	9,54%	33,43%	1399,5493	1,3995493
1034.5-1063	28,5	1048,75	1,3710179	9,53%	23,90%	1437,855	1,437855
1063-1091.5	28,5	1077,25	0,7399671	5,14%	14,37%	797,12961	0,7971296
1091.5-1120	28,5	1105,75	0,7334655	5,10%	9,23%	811,02947	0,8110295
1120-1148.5	28,5	1134,25	0,4797788	3,34%	4,13%	544,18915	0,5441892
1148.5-1177	28,5	1162,75	0,1143189	0,80%	0,79%	132,92428	0,1329243
			14,38717	100,00%		14232,396	14,232396



**Figure III.7** : Courbe hypsométrique de bassin versant

L'altitude médiane ou H50% est déterminée sur la courbe hypsométrique (fig.III.7). Les chiffres détaillés sont dans le tableau suivant :

**Tableau III.2:** les altitudes différentes de bassin versant

<b>Altitude maximale (m)</b>	<b>Altitude minimale(m)</b>	<b>Altitude moyenne(m)</b>	<b>Altitude médian (m)</b>
<b>1177</b>	<b>892</b>	<b>988.9</b>	<b>988</b>

### III.11. La dénivelée simple (D)

On définit la "dénivelée D" comme étant la différence de côte entre H5 % et H95 % :

Celles –ci sont lues sur la courbe hypsométrique.

$$D = D5\% - D95\% \quad \text{(III-4)}$$

$$D = 209 \text{ m}$$

Ce résultat est extrait de l'interpolation graphique de l'Excel, avec cet indicateur nous pouvons ensuite extraire notre pente globale de la zone «  $I_g$  ».

### III.12. La pente moyenne du bassin versant « $I_m$ »

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 Carlier et Leclerc (1964) consiste à calculer la moyenne pondérée des pentes de toutes les surfaces élémentaires comprises entre deux altitudes données. [18]

Une valeur approchée de la pente moyenne est alors donnée par la relation suivante :

$$Im = \frac{D.L}{A} \quad (\text{III-5})$$

Avec :

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

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

A : surface du bassin versant [km<sup>2</sup>].

### III.13. L'indice de pente Roche (Ip)

Cet indice se calculé à partir du rectangle équivalent. Il est égal à la somme des racines carrées des pentes moyennes de chacun des éléments pondérés par la surface intéressée, soit :

$$Ip = \frac{1}{\sqrt{Lrec}} \sum_{i=1}^n \left( Xi \sqrt{\frac{d}{xi}} \right) \quad (\text{III-6})$$

Ip : indice de pente [%].

Lrec : longueur du rectangle [m].

**xi** : distance qui sépare deux courbes sur le rectangle [m] (la largeur du rectangle étant constante,

Cette distance est égale au facteur de pondération).

**d** : distance entre 2 courbes de niveau successives (peut être variable) [m].

**d/xi**: pente moyenne d'un élément [%].

### III.14. Indice de pente globale « $I_g$ »

Cet indice permet de déduire la nature du relief en se référant à la classification de L'O.R.S.T.O.M « Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre – Mer ». [9]

C'est le rapport entre la dénivelée «  $D$  » et longueur du rectangle équivalent «  $Leq$  » L'indice de pente global est donné par la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{Leq} \quad (\text{III-7})$$

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

$Leq$  : longueur du rectangle équivalent en Km

Notre Indice de pente globale est  $I_g = 0.0215$

### III.15. Dénivelée spécifique « $D_s$ »

Puisque l'indice de pente globale décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente. La dénivelée spécifique  $D_s$  ne présente pas cet inconvénient. [11]

La dénivelée spécifique est définie par la formule suivante :

$$D_s = I_g \times \sqrt{s} \quad (\text{III-8})$$

Avec :

$I_g$  : Indice de pente globale ; (m/m)

$S$  : superficie du bassin versant ;(km<sup>2</sup>)

$D_s$ : Dénivelée spécifique (m)

$$D_s = 81.92$$

**Tableau III.3 :** Classifications O.R.S.T.O.M

Relief très faible	$I_g < 0,002$	$D_s < 10m$
Relief faible	$0,002 < I_g < 0,005$	$10m < D_s < 25m$
Relief assez faible	$0,005 < I_g < 0,01$	$25m < D_s < 50m$
Relief modéré	$0,01 < I_g < 0,02$	<b><math>50m &lt; D_s &lt; 100m</math></b>
Relief assez fort	<b><math>0,02 &lt; I_g &lt; 0,05</math></b>	$100m < D_s < 250m$
Relief fort	$0,05 < I_g < 0,1$	$250m < D_s < 500m$
Relief très fort	$0,1 < I_g$	$DS > D_s$

### III.16. La densité de drainage

La densité de drainage, est définie comme étant le rapport de la longueur totale de tous les talwegs  $L_i$  du bassin, et la surface totale  $S$ . Elle reflète la dynamique du bassin, la stabilité du chevelu hydrographique et le type de ruissellement de surface. Elle est exprimée en  $Km / Km^2$ . [8]

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S} \quad (III-9)$$

$$D_d = 7.70$$

### III.17. Temps de concentration

Le temps de concentration ( $T_c$ ) est le temps nécessaire au ruissellement pour se déplacer du point hydrauliquement le plus éloigné du bassin versant jusqu'à l'exutoire. Le point le plus éloigné hydrauliquement est le point avec le plus long temps de trajet jusqu'à l'exutoire du bassin versant, et pas nécessairement le point avec la plus longue distance d'écoulement jusqu'à l'exutoire.

Il existe de nombreux facteurs qui affectent le temps de concentration, principalement la pente, la rugosité de la terre et la forme du canal le changement de l'un de ces facteurs peut augmenter ou diminuer le temps de concentration. [19]

$$T_c = \max (\Sigma (T_h + T_r + T_a)) \quad (\text{III-10})$$

$t_h$  : 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.

### III.17.1. Formule de GIANDOTTI :

$$T_c = \frac{1.5L + 4\sqrt{S}}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad (\text{III-11})$$

$S$  : Surface du bassin versant en [Km<sup>2</sup>]

$L$  : longueur du talweg principal en [Km]

$H_{moy}$  : La hauteur moyenne du B.V en [m]

$H_{min}$  : La hauteur minimale du B.V en [m]

**III.17.2. Formule de CALIFORNIA :**

$$T_c = \left( \frac{0.87 \times L^3}{H_{max} - H_{min}} \right)^{0.386} \quad (\text{III-12})$$

Avec :

L : longueur du talweg principal en [Km];

$H_{max}$  : La hauteur maximale du B.V en [m]

$H_{min}$  : La hauteur minimale du B.V en [m]

**III.17.3. Formule de TEMEZ:**

$$T_c = 0.3 \left| \frac{L}{I_r^{\frac{1}{4}}} \right|^{0.76} \quad (\text{III-13})$$

Avec :

Tc : temps de concentration en heures.

L : Longueur de talwegs principale. (Km)

$I_r$  : La pente moyenne de talwegs principale obtenu  
a l'aide de logiciel arc gis égal 0.018 [m/m]

**III.17.4. Formule de KIRPICH 1**

$$Tc = 0,6615 \times L_{cp}^{0,77} \times I_g^{0,385} \quad (\text{III-14})$$

**III.17.5. Formule de KIRPICH 2**

$$Tc = 0,945 \times \frac{L_{cp}^{1,155}}{D^{0,385}} \quad (\text{III-15})$$

**Tableau III.4 :** Temps de concentration pour les différents auteurs

Formule	Temps de concentration(h)
Formule de GIANDOTTI	3.96
Formule de CALIFORNIA	1.66
Formule de TEMEZ	3.898
Formule de KIRPICH (formule 01)	0.93
Formule de KIRPICH (formule 02)	1.86
Moyne	2.46

Parmi les résultats obtenus dans le tableau (III.03) nous allons prendre la moyenne de toutes les valeurs que nous avons calculées dans le tableau

**III.17.6. La vitesse moyenne de ruissellement**

$$V = \frac{L}{Tc} \quad (\text{III-16})$$

$$V = 4.34 \text{ km/h}$$

L : Longueur de talweg principal en [Km]

Tc : temps de concentration en [heure]

L : Longueur de talweg principal en [Km]

Tc : temps de concentration en [heure]

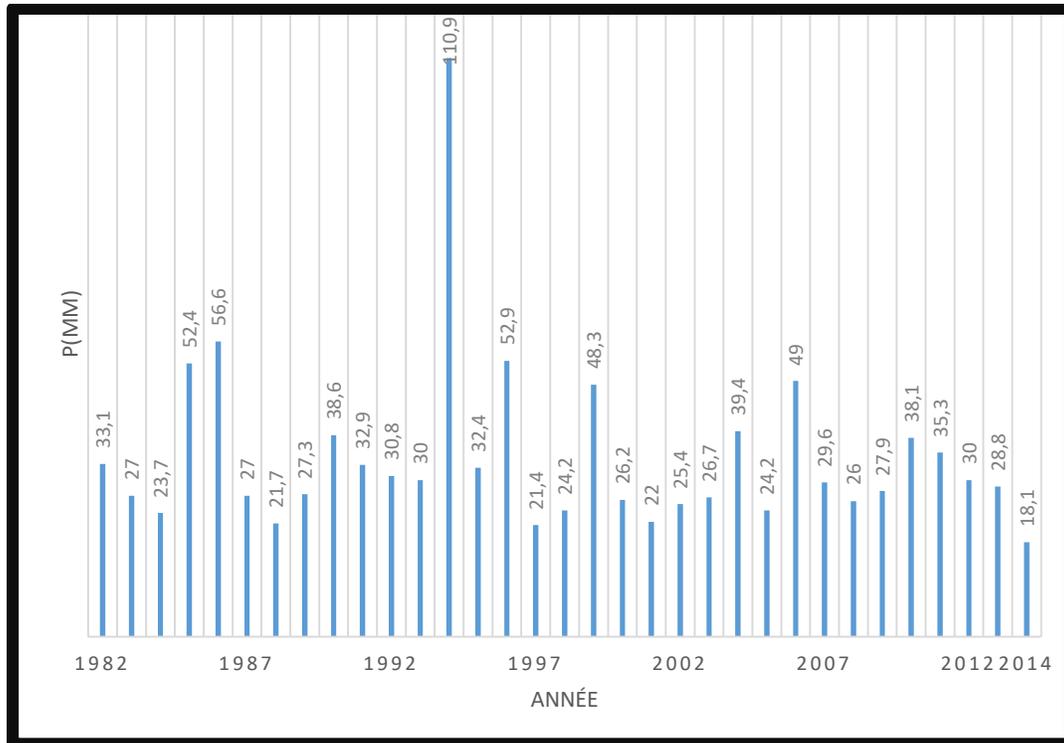
### III.18. La précipitation

L'étude consiste à faire un ajustement pour la série de données des précipitations maximales journalières du tableau III.11 par une loi théorique afin de déterminer une intensité de pluie de durée et de période de retour donnée.

**Tableau III.5 :** Série des Pluies Maximales Journalières 1982-2014 a la station ANRH(BBA)

<b>Année</b>	<b><math>P_{j-max}</math></b>	<b>Année</b>	<b><math>P_{j-max}</math></b>
<b>1982</b>	<b>24.20</b>	<b>1998</b>	<b>33.10</b>
<b>1983</b>	<b>48.30</b>	<b>1999</b>	<b>27.00</b>
<b>1984</b>	<b>26.20</b>	<b>2000</b>	<b>23.70</b>
<b>1985</b>	<b>22.00</b>	<b>2001</b>	<b>52.40</b>
<b>1986</b>	<b>25.40</b>	<b>2002</b>	<b>56.60</b>
<b>1987</b>	<b>26.70</b>	<b>2003</b>	<b>27</b>
<b>1988</b>	<b>39.40</b>	<b>2004</b>	<b>21.70</b>
<b>1989</b>	<b>24.20</b>	<b>2005</b>	<b>27.30</b>
<b>1990</b>	<b>49.00</b>	<b>2006</b>	<b>38.60</b>
<b>1991</b>	<b>29.60</b>	<b>2007</b>	<b>32.90</b>
<b>1992</b>	<b>26</b>	<b>2008</b>	<b>30.80</b>
<b>1993</b>	<b>27.90</b>	<b>2009</b>	<b>30.00</b>
<b>1994</b>	<b>38.10</b>	<b>2010</b>	<b>110.90</b>
<b>1995</b>	<b>35.30</b>	<b>2011</b>	<b>32.40</b>
<b>1996</b>	<b>30</b>	<b>2012</b>	<b>52.90</b>
<b>1997</b>	<b>28.80</b>	<b>2013</b>	<b>21.40</b>
		<b>2014</b>	<b>18.10</b>

Il s'agit d'une présentation des données dans un histogramme :

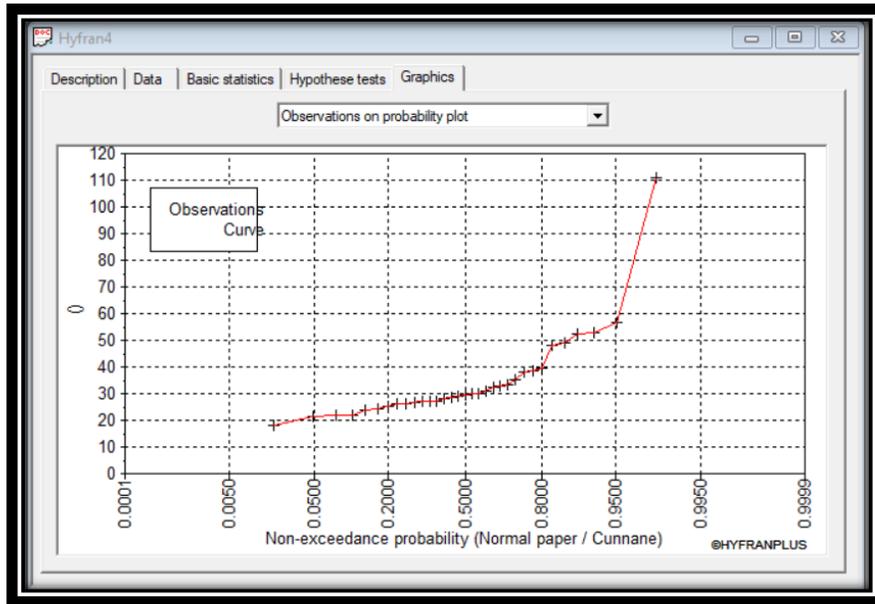


**Figure III.8:** Histogramme de précipitation.

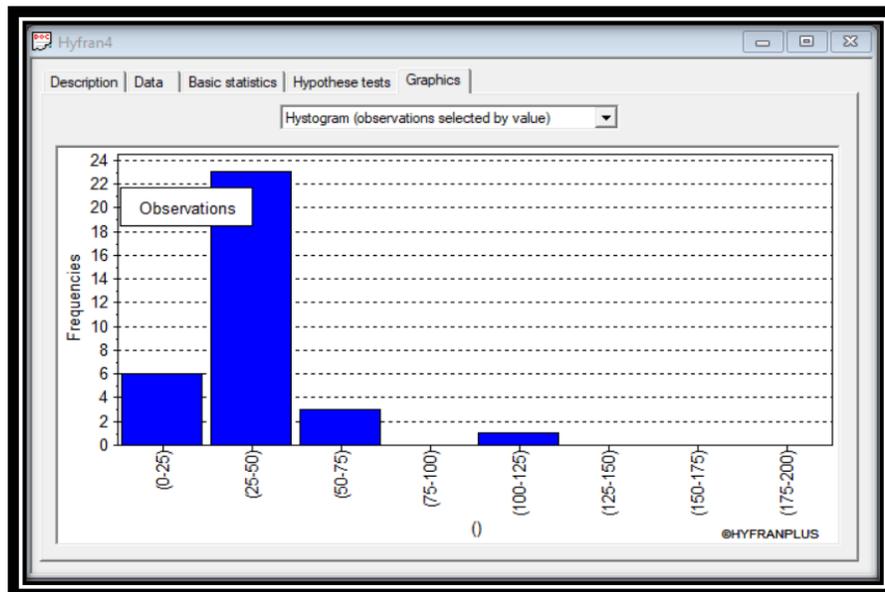
**Tableau III.6 :** Caractéristique de la série de donnée avec N = 33 ans.

Caractéristiques	Valeurs
Année d'observation	33
Minimum	18.1
Maximum	110.9
Moyenne	34.8
Ecart-type	16.8
Médiane	30
Coefficient de variation (Cv)	0.483
Coefficient d'asymétrie (Cs)	3.16
Coefficient d'aplatissement (Ck)	13.1

La représentation des observations sur du papier normale e leurs histogramme sont présentées dans les figures III.7 et III.8 respectivement :



**Figure III.9 :** Représentation des observations sur papier normale



**Figure III.10 :** Histogramme de précipitation en fonction de fréquence à l'aide de hyfran plus

### III.19. Choix de la loi d'ajustement

Comme il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométrique, l'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de la loi de probabilité, de la taille de l'échantillon et de certaines caractéristiques de l'échantillon. Toutefois, de nombreuses études, autant empiriques que théoriques, ont été menées afin de déterminer dans quelles circonstances une méthode d'estimation la plus efficace pour une loi donnée [8]

Dans notre étude on va appliquer les deux lois suivant :

- 1- La loi de GUMBEL.
- 2- La loi de GALTON (log-normale). L'ajustement des pluies maximales journalières sera fait par logiciel « HYFRAN ».

#### III.19.1 Ajustement de la série pluviométrique par la loi de GUMBEL

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

$$f(x) = f(y) = e^{-e^{-y}} \quad (\text{III-17})$$

Ou :  $y = \frac{1}{\alpha}(x - x_0)$  variable réduite de Gumbel

Avec :

$F(x)$  : Fréquence au dépassement de valeur de  $x$ ,

$\alpha, x_0$  : Coefficient d'ajustement (méthode des moindres carrés) ;

$x_0$  : Paramètre de position (mode) ;

$\alpha$  : Paramètre d'échelle différent de zéro et positif appelé aussi « grade  $x$  »

$1/\alpha$  : Pente de la droite de régression ;

$x$  : Variable étudiée ; la précipitation maximale journalière «  $P_{j-max}$  » ;

Cette variable  $x$ , exprimée en fonction de la variable réduite  $y$ , est l'équation de la droite de Gumbel sur papier à probabilité Gumbel.

$$x = \frac{1}{\alpha}y + x_0 \text{ Soit : } P_{j-\max p\%} = \frac{1}{\alpha}y + x_0 \quad (\text{III-17})$$

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

- Classer les valeurs des précipitations par ordre croissant avec attribution d'un rang 1, 2, 3...n.
- Calculer pour chaque valeur de précipitation la fréquence expérimentale par la formule de HAZEN.

$$F(x) = \frac{Ni-0,5}{n} \quad (\text{III-18})$$

Avec :

$Ni$  : numéro d'ordre ;

$n$  : la taille de l'échantillon. ( $n = 33$ ) ;

La variable réduite de GUMBEL donnée par la formule suivante :

$$y_i = -\ln[-\ln(F(xi))] \quad (\text{III-19})$$

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

Représenter graphiquement les couples  $(xi, yi)$  sur papier GUMBEL

- **Gumbel (Méthode des moments) :**

Nombre d'observations : 33

**Paramètre :**  $\mu = 28.64$ ,  $\alpha = 8.83$ . **Quantiles :**  $q = F(X)$  (probabilité au non-dépassement)

$T = 1/(1-q)$ .

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de GUMBEL sont représentées dans le tableau III.13 suivant :

**Tableau III.7:** Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL

Période de retour T (ans)	Fréquence au non dépassement (Q)	Valeurs théoriques XT (mm)	Ecart-type	Intervalle de confiance
1000	0.9990	90.2	9.17	72.2-108
100	0.9900	69.7	6.37	57.2-82.2
50	0.9800	63.5	5.54	52.6-74.3
20	0.9500	55.2	4.44	46.5-63.9
10	0.9000	48.8	3.62	41.7-55.9
5	0.8000	42.1	2.81	36.6-47.6
2	0.5000	32	1.81	28.5-35.6

➤ **Test d'homogénéité :**

Test d'adéquation du Khi carré.

➤ **Hypothèses :**

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

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

Les résultats statistique :  $\chi^2 = 9.42$  ; P-value :  $P = 0.093$  ; Degrés de liberté : 5 ; Nombre de classes : 8

Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5%. La figure III.9 illustre l'ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL (Méthode des moments).

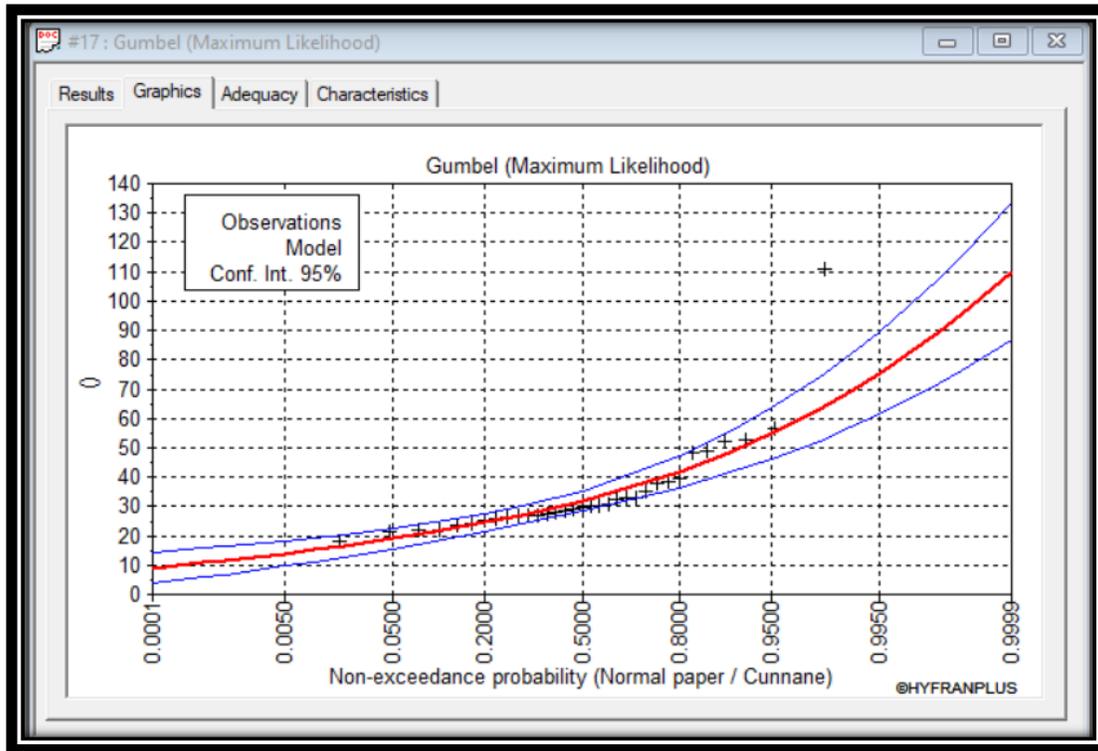


Figure III.11 : Ajustement à la loi de GUMBEL

### III.19.2. Ajustement de la série pluviométrique par la loi Log Normal ou loi de Galton

Une variable aléatoire X a une distribution log normale lorsqu'Y=ln X est Normale. La loi de Galton résulte de la loi normale mais rendue dissymétrique par un changement de variables. Sa fonction de répartition est donnée par :

$$F(x) = n \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\mu}^{\infty} e^{-\frac{1\mu^2}{2}} \tag{III-20}$$

$$\mu = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} : \text{Variable réduite de GAUSS.}$$

L'équation de la droite de GALTON est donnée par la relation suivante :

$$\log_{xp\%} = \overline{\log x} + \sigma \times \log u(p\%) \quad (\text{III-21})$$

Avec :

$\overline{\log x}$  : La moyenne de la série  $\log x_i$  ;

$\sigma$  : Ecart type de la série  $\log x_i$  ;

u : variable réduite de Gauss;

$$\log x = \frac{\sum_{i=1}^{31} \log x_i}{N} \quad (\text{III-22})$$

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

Nombre d'observations : 33 ; **Paramètre** :  $\mu = 3.47$ ,  $\sigma = 0.357$  ; **Quantiles** :  $q = F(X)$  (probabilité au non-dépassement),  $T = 1 / (1-q)$

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de GALTON sont représentées dans le tableau III.14 suivant :

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

Période de retour T (ans)	Fréquence au non dépassement (Q)	Valeurs théoriques XT (mm)	Ecart-type	Intervalle de confiance
1000	0.9990	97.4	14.7	68.5 - 126
100	0.9900	74.2	8.98	56.6 – 91.7
50	0.9800	67.3	7.45	52.7 – 81.9
20	0.9500	58.1	5.59	47.2 – 69.1
10	0.9000	51.1	4.31	42.6 – 59.5
5	0.8000	43.6	3.17	37.4 – 49.8
2	0.5000	32.3	2.01	28.4 – 36.2

➤ **Test d'homogénéité :**

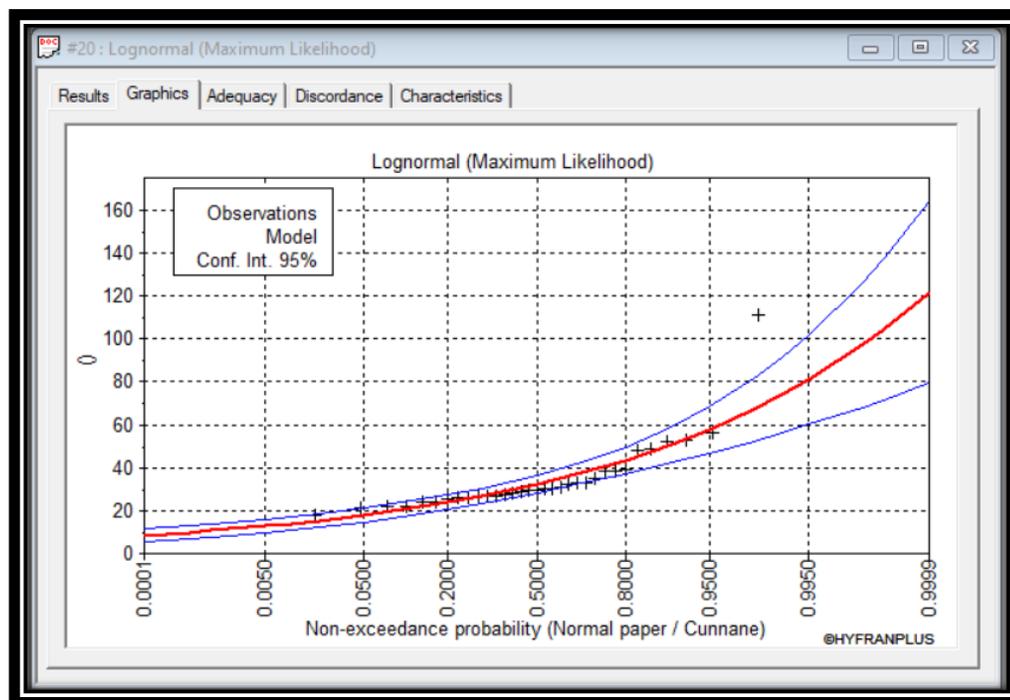
Test d'adéquation du Khi carré.

➤ **Hypothèses :**

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

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

Les résultats statistique :  $\chi^2 = 0.90$  ; P-value : P = 0.9310



**Figure III.12 :** Ajustement à la loi de GALTON

Par ces deux lois, celui de Gumbel et de Log-normal, nous remarquerons que l'ajustement de Gumbel établi par HYFRAN est le meilleur du moment que la position des données expérimentales sont plus proches de la droite théorique, et pour le dimensionnement de notre ouvrage, nous travaillons avec une pluie d'intensité «I » pour une période de retour de 100 ans. Les pluies journalières de périodes de retour (2, 5, 10, 25, 50, 100 et 1000) ans sont représentées dans le tableau

**Tableau III.9** : Pluies maximales journalières fréquentielles

Période de retour	Fréquence au non dépassement	Pluie journalière maximale fréquentielle (mm)
(an)	(%)	Oued ELfaregh
2	0.5000	32
5	0.8000	42.1
10	0.9000	48.8
20	0.9500	55.2
50	0.9800	63.5
100	0.9900	69.7
1000	0.9990	90.2

### III.20 Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes Fréquences

Les précipitations exceptionnelles ( $P_{ct}$ ) de durée ( $t$ ) inférieure à 24h (de courte durée) sont reliées à la précipitation journalière fréquentielle  $P_{j-max}$  selon la relation de MONTANARI.

$$P_{ct} = P_{j-max} \left[ \frac{t}{24} \right]^b \quad (III.23)$$

Avec :

$P_{ct}$ : La pluie de courte durée de fréquence égale à celle de  $P_{j-max}$  en (mm) ;

$P_{j-max}$ : La pluie maximale journalière pour différentes fréquences ;

$t$ : la durée en heures ;

$b$ : L'exposant climatique  $b=0.37$  donné par l'ANRH.

### III.21. Intensités maximales à différentes Fréquences

La détermination des intensités maximales pour différentes périodes de retour se fait par le biais de la formule: [8]

$$I_{max} = \frac{P_{max-j} \text{ (mm)}}{t \text{ (h)}} \quad \text{(III.24)}$$

Avec :

$I_{max}$  : Intensité maximale (mm/h)

Les différentes valeurs de Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes Fréquences sont données dans le tableau suivant :

**Tableau III.10 : Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes fréquences**

Period de retour (ans)	1000 ans		100 ans		50 ans		20 ans		10 ans		5 ans		2 ans	
	$P_{tc}$	$I_{max}$												
0.5	21.54	43.08	16.64	33.28	15.16	30.32	13.18	26.36	11.65	23.3	10.05	20.1	7.64	15.28
1	27.83	27.83	21.51	21.51	19.59	19.59	17.03	17.03	15.06	15.06	12.99	12.99	9.87	9.87
2	35.97	17.99	27.79	13.9	25.32	12.66	22.01	11.01	19.46	9.73	16.79	8.4	12.76	6.38
3	41.79	13.93	32.29	10.76	29.42	9.81	25.57	8.52	22.61	7.54	19.5	6.5	14.83	4.94
4	46.48	11.62	35.92	8.98	32.72	8.18	28.45	7.11	25.15	6.29	21.7	5.43	16.49	4.12
5	50.48	10.1	39.01	7.8	35.54	7.11	30.89	6.18	27.31	5.46	23.56	4.71	17.91	3.58
6	54.01	9	41.73	6.96	38.02	6.34	33.05	5.51	29.22	4.87	25.21	4.2	19.16	3.19
7	57.18	8.17	44.18	6.31	40.25	5.75	34.99	5	30.93	4.42	26.69	3.81	20.28	2.9
8	60.07	7.51	46.42	5.8	42.29	5.29	36.76	4.6	32.5	4.06	28.04	3.51	21.31	2.66
9	62.75	6.97	48.49	5.39	44.17	4.91	38.4	4.27	33.95	3.77	29.29	3.25	22.26	2.47
10	65.24	6.52	50.41	5.04	45.93	4.59	39.93	3.99	35.3	3.53	30.45	3.05	23.15	2.32
11	67.58	6.14	52.22	4.75	47.58	4.33	41.36	3.76	36.56	3.32	31.54	2.87	23.98	2.18
12	69.8	5.82	53.93	4.49	49.14	4.1	42.71	3.56	37.76	3.15	32.58	2.72	24.76	2.06
13	71.89	5.53	55.55	4.27	50.61	3.89	44	3.38	38.9	2.99	33.56	2.58	25.51	1.96
14	73.89	5.28	57.1	4.08	52.02	3.72	45.22	3.23	39.98	2.86	34.49	2.46	26.21	1.87
15	75.8	5.05	58.57	3.9	53.36	3.56	46.39	3.09	41.01	2.73	35.38	2.36	26.89	1.79
16	77.63	4.85	59.99	3.75	54.65	3.42	47.51	2.97	42	2.63	36.24	2.27	27.54	1.72
17	79.4	4.67	61.35	3.61	55.89	3.29	48.59	2.86	42.95	2.53	37.06	2.18	28.17	1.66
18	81.09	4.51	62.66	3.48	57.09	3.17	49.63	2.76	43.87	2.44	37.85	2.1	28.77	1.6
19	82.73	4.35	63.93	3.36	58.24	3.07	50.63	2.66	44.76	2.36	38.61	2.03	29.35	1.54
20	84.32	4.22	65.15	3.26	59.36	2.97	51.6	2.58	45.62	2.28	39.35	1.97	29.91	1.5
21	85.85	4.09	66.34	3.16	60.44	2.88	52.54	2.5	46.45	2.21	40.07	1.91	30.46	1.45
22	87.34	3.97	67.49	3.07	61.49	2.8	53.45	2.43	47.25	2.15	40.77	1.85	30.99	1.41
23	88.79	3.86	68.61	2.98	62.51	2.72	54.34	2.36	48.04	2.09	41.44	1.8	31.5	1.37
24	90.2	3.76	69.7	2.9	63.5	2.65	55.2	2.3	48.8	2.03	42.1	1.75	32	1.33

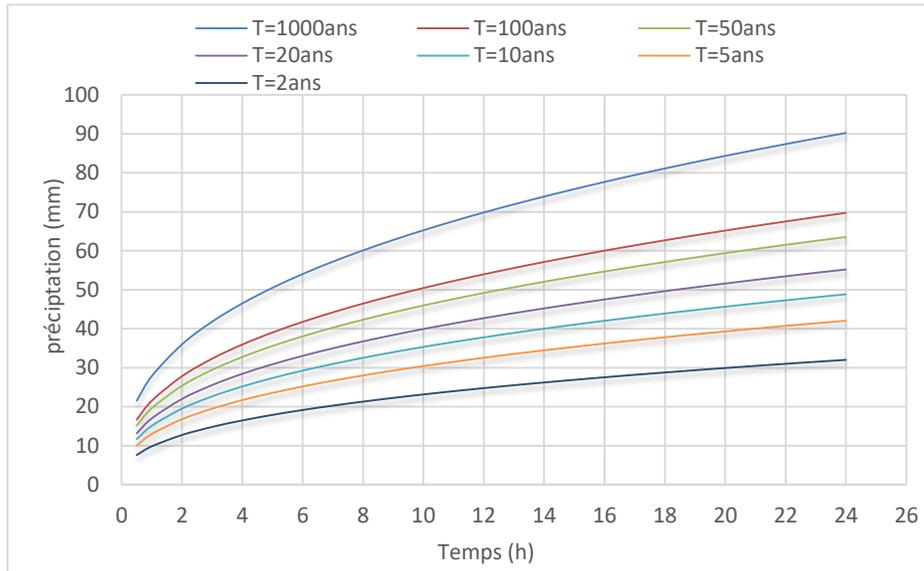


Figure III.13 : Courbe Pluies de courte durée fréquentiel

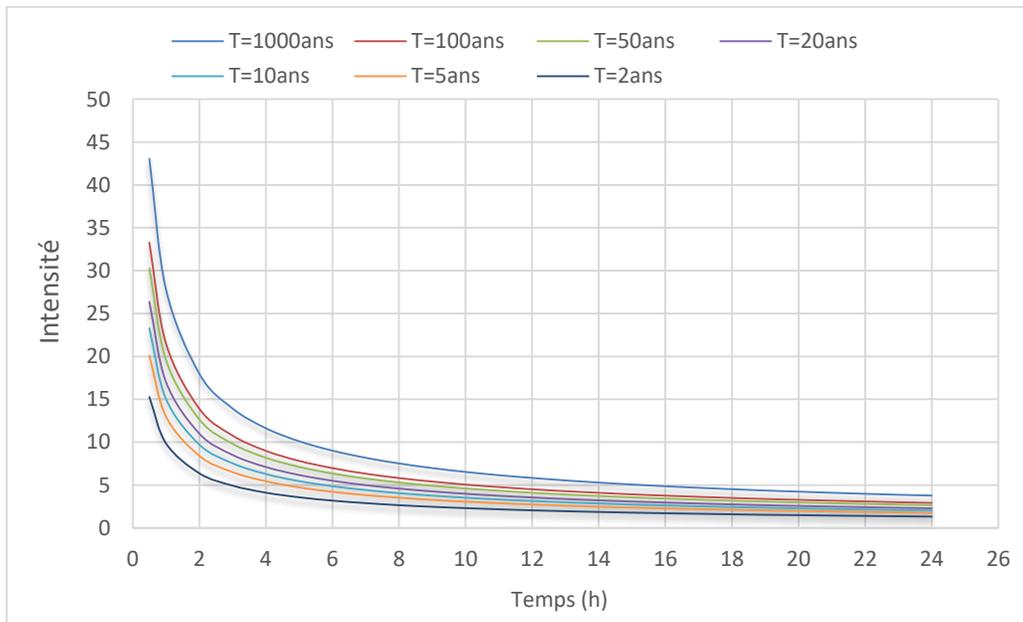


Figure III.14 : Courbe Intensité-Durée-Fréquence

## III.22. Evaluation des apports

### III.22.1. Apports liquides

Il existe en Algérie de nombreuses formules empiriques d'estimation des apports, quelques-unes d'entre elles sont employées pour approcher au mieux la valeur de l'apport moyen interannuel [11]

#### III.22.1.1. Formule ANRH

Cette formule est donnée directement l'apport moyen d'un bassin à partir de la pluie moyenne annuelle et de sa superficie. Elle s'écrit :

$$A = 0.513 \cdot P_{moy}^{2.683} \cdot D_d^{0.5} \cdot S^{0.842} [10^6 m^3] \quad (III-25)$$

$P_{moy-j}$ : Pluie moyenne annuelle [m]

S : Superficie du bassin versant [ $Km^2$ ]

Dd: Densité de drainage [ $km/km^2$ ]

#### III.22.1.2. Formule de SAMIE

$$Le = P_{moy}^2 (293 - 2.2\sqrt{S}) \quad (III-26)$$

$$A = Le \times S$$

$P_{moy}$  : Pluie moyenne annuelle en [m]

S : Surface du bassin en [ $km^2$ ]

Le : Lame d'eau écoulée en [mm]

**III.22.1.3. Formule de MALLET-GAUTIER**

$$L_e = 0.6 \times P_{moy} \times (1 - 10^{-0.36 \times P_{moy}^2}) \quad (III-27)$$

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

$L_e$  : lame d'eau écoulée en [mm]

$$A = L_e \times S \times 10^{-3} \quad (III-28)$$

**III.22.1.4. Formule Algérienne**

$$L_e = \bar{P} \times (1 - 10^{-k \times P_{moy}}) \quad (III-29)$$

$$A = L_e \times S \quad (III-30)$$

$K = 0.18 - 0.01 \cdot \lg_{10}(S)$

$\bar{P}$ : pluie interannuelle en (mm) ;

$S$  : Superficie de BV en ( $km^2$ ) ;

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau III.11** : Apports moyens interannuels

Formules	Résultats	
	$L_e$ (m)	$A$ ( $Hm^3$ )
Formule ANRH		0.80
Formule de SAMIE	0.034	0.50
Formule de MALLET- GAUTIER	0.020	0.29
Formule Algérienne	0.016	0.23
moyenne	0.023	0.455

Il est préférable de retenir la moyenne de ces résultats ce qui donne  $A_{moy} = 0,455 Hm^3$

### III.22.2. 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.

#### III.22.2.1. Formule de TIXERONT

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

$$E_s = a \cdot L_e^{0.15} \quad (\text{III-31})$$

$$E_s = 196.871 \text{ (t/Km}^2 \text{ /an)}$$

Avec :

$E_s$  : Taux d'érosion (t/Km<sup>2</sup>/an).

$L_e$  : Lame d'eau écoulée (1.2 mm).

$a$  : Coefficient empirique qui varie en fonction de la perméabilité du terrain.  $a = 350$  (perméabilité moyenne). [21]

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

$$V_s = \frac{E_s \cdot S}{\gamma} \quad (\text{III-32})$$

$$V_s = 2023.56 \text{ m}^3 \text{ /a}$$

$V_s$  : Apport solide (m<sup>3</sup> /an).

Le tableau III.12 résume les résultats des apports liquides et solides de notre bassin versant.

**Tableau III.12** : Récapitulatif des apports liquides et solides du bassin versant

Taux d'érosion (t/Km <sup>2</sup> /an).	269
apport liquide (m <sup>3</sup> /an)	1650000
apport solide (m <sup>3</sup> /an)	2763
Apport total (m <sup>3</sup> /an)	1653032

### III.23. Etude des crues

Les crues étant les événements correspondant à la circulation des débits exceptionnels dans les bassins versants, elles sont influencées par de nombreuses variables parmi lesquelles l'intensité, la durée et la distribution de la pluie dans le bassin, sa topographie etc. Les débits de crues ont une influence directe sur le régime hydrologique particulièrement en Algérie où les Oueds, à cause de la grande irrégularité, passant de débits nuls à des débits de crues exceptionnels, les crues dépendent essentiellement de l'abondance. Les différentes méthodes de calcul des crues :

- Méthodes déterministes :
  - Méthode historique
  - Méthodes empirique
  - Courbes enveloppes
- Méthodes probabilistes

Pour notre étude on utilisera la méthode empirique, les principales lois employées sont : la formule de MALLET-GAUTHIER, la formule de GIANDOTTI, la formule de TURAZZA, la formule de SOKOLOVSKI. [8]

### III.23.1. Application sur les bassins versants

#### III.23.1.1. Formule de Turazza :

Cette formule utilise l'intensité moyenne maximale de précipitations déterminées sur un intervalle de référence égal au temps de concentration du bassin versant  $I_{tc}$

$$Q_{\max, P\%} = \frac{C_r \times P_{tc} \times S}{3,6 \times T_c} \quad (\text{III-33})$$

S : Surface du bassin en (km<sup>2</sup>)

$P_{tc}$  : Pluie de courte durée (100 ans) (mm/h)

c: coefficient de ruissellement de la crue considérée pour une probabilité P%  
Ce paramètre est calculé dans le tableau III.12 ;

$T_c$  : temps de concentration (h)

**Tableau III.13** : valeur de coefficient de ruissellement C

Fréquence %	0.1	1	2	5	10	20	50
Période de Retour	1000	100	50	20	10	5	2
C	0.9	0.85	0.8	0.75	0.7	0.65	0.6

#### III.23.1.2. Formule de Giandotti :

Le débit maximum probable est donné par la formule suivante :

$$Q_{\max, p\%} = \frac{C.S\sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}}{4\sqrt{S} + 1.5L} \times P_{tc} \quad (\text{III-34})$$

Avec :

C : coefficient topographique varie de 66 à 166 et on prend C = 125.

S : Surface du sous bassin en Km<sup>2</sup>

L : Longueur du talweg principal en Km

$H_{moy}$  : Altitude moyenne en m

$-H_{min}$  : Altitude minimale en m

$P_{tc}$  : pluie fréquentielle de courte durée, correspondant au temps de concentration en (m)

III.23.1.3. Formule de possenti :

$$Q_{mac,p\%} = \frac{\mu \times P_{ct} \times S}{Lcp} \quad (III-35)$$

$\mu$  : coefficient d'ajustement compris entre 700-800, on prend  $\mu=700$

**Tableau III.14** : Pluies de courte durée et intensité pour bassin

Période de retour en (ans)	1000	100	50	20	10	5	2
$P_{max-j}$ (mm)	90.2	69.7	63.5	55.2	48.8	42.1	32
Le temps de concentration $t_c$ (h)	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46
$P_{tc}$ (mm)	68.32	52.10	47.46	41.26	36.47	31.46	23.92
Intensité I (mm /h)	7.73	5.98	5.45	4.64	5.15	3.61	2.74

III.23.1.4. Formule de Sokolovski :

Le débit maximum probable est donné par la formule suivante :

$$Q_{max, p\%} = \frac{0.28.P_{tc}.\alpha.F.S}{t_c} \quad (III-36)$$

**Avec :**

S : Surface du bassin versant en Km<sup>2</sup> ;

F : Coefficient de forme de l'hydrogramme (0,95 ÷ 1,2) ;

Le coefficient de forme de la crue peut être calculé par la formule

$$F = \frac{12}{4+3(\gamma)} \quad (\text{III-37})$$

Pour nous cas  $\gamma = 2$  ce gamma et pour les bassins inférieur a 50 km<sup>2</sup>

$t_c$  : Temps de concentration du sous bassin [heur]

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

$\alpha$ : coefficient de ruissellement pour la crue probable

Les débits de crues de bassin par les différentes formules dans les tableaux suivants :

**Tableau III.15** : Les débits de crues de bassins par les différentes formules

Période de Retour (ans)		1000	100	50	20	10	5	2
<b>Qmax, p% (m<sup>3</sup>/s)</b>	Formule de Turazza	131.37	95.8	82.21	67	55.28	44.29	31.07
	Formule de Giandotti	51.15	39.53	36.01	31.3	27.67	23.87	18.15
	Formule de Sokolovski	158.91	115.97	99.44	81.04	66.87	53.57	37.58
	Formule de possenti	90.97	70.3	64.04	55.67	49.22	42.46	32.27
	Moyenne	108.1025	80.42	70.4275	58.755	49.76	41.0475	29.77

On prend  $Q_{max} = 70,3 \text{ m}^3/\text{s}$  (valeur la plus proche de la moyenne des résultats).

### III.23.2. Hydrogramme de crue

L'Hydrogramme de crue représente la variation des débits d'un cours d'eau en fonction du temps, il permet de déterminer les caractéristiques de la crue, forme, volume, temps de montée et temps de descente, la forme de l'Hydrogramme de crue est déterminée selon la moyenne de les quatre formules, qui assimile l'Hydrogramme à deux équations paraboliques, l'une traduisant la montée de la crue qui s'écrit :

La montée de la crue :

$$Q_m(t) = Q_{max.p} \left( \frac{t}{t_m} \right)^n \quad (\text{III-38})$$

$Q_{max.p}(t)$ : Débit maximum de crue (de pointe) (m<sup>3</sup>/s)

$Q_m(t)$ : Débit instantané au moment de la montée (m/s)

$t_m$ : Temps de montée (h)

$$t_m = t_c$$

La décrue :

$$Q_d(t) = Q_{max.p} \left( \frac{(t_b-t)}{t_d} \right)^m \quad (\text{II-39})$$

Avec :

$Q_d(t)$ : Débit instantané au moment de la descente (m/s)

$t_d$ : Temps de descente (h)

$t_b$ : Temps de base (h)

m, n : puissance des équations m = 2, n = 3;

$$t_d = t_m \times \gamma \quad \text{et} \quad t_b = t_m + t_d$$

( $\gamma$ ) est évalué en fonction de la taille du cours d'eau de la perméabilité et du taux de boisement.

Tableau III.15

**Tableau III.16** : Description du cours d'eau  $\gamma$

Description du cours d'eau	$\gamma$
Petit cours d'eau et vallons dans les bassins versants faiblement perméables	2 à 2,5
Petit cours d'eau et vallons dans les bassins versants boisés ou perméables Moyen cours d'eau avec terrasses de lit majeures normales.	3 à 4
Grand et moyen cours d'eau avec terrasses de débordements étendues	4 à 7

On en prendra  $\gamma = 3$  car c'est plus adapté à notre bassin versant

Donc :  $t_m = t_c$  ;  $t_d = 2.5 * t_m$  ;  $t_b = t_m + t_d$

Donc :

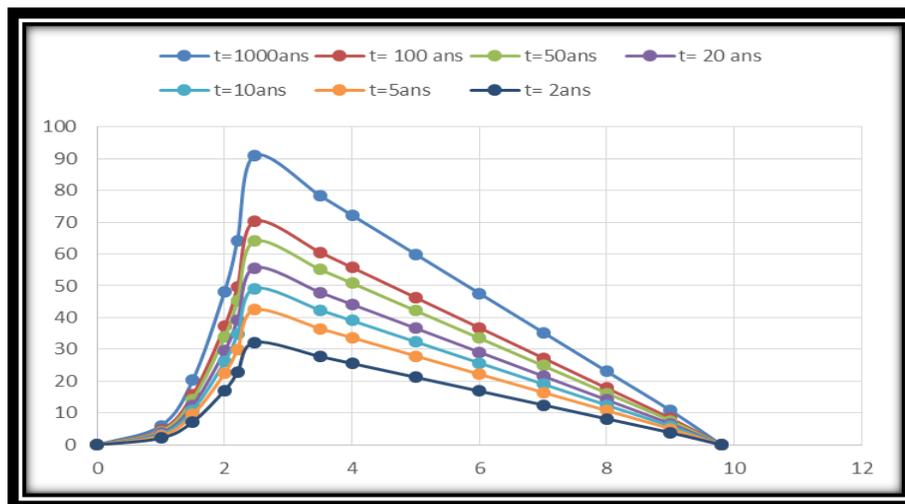
$$Q_m(t) = Q_{max.p} \left( \frac{t}{t_c} \right)^3 \quad (III-40)$$

$$Q_d(t) = Q_{max.p} \left( \frac{(t_c + (t_c \times \gamma) - t)}{t_c \times \gamma} \right)^2 \quad (III-41)$$

Les débits de crue des différentes périodes de retour du bassin versant sont représentés dans le tableau III.16 :

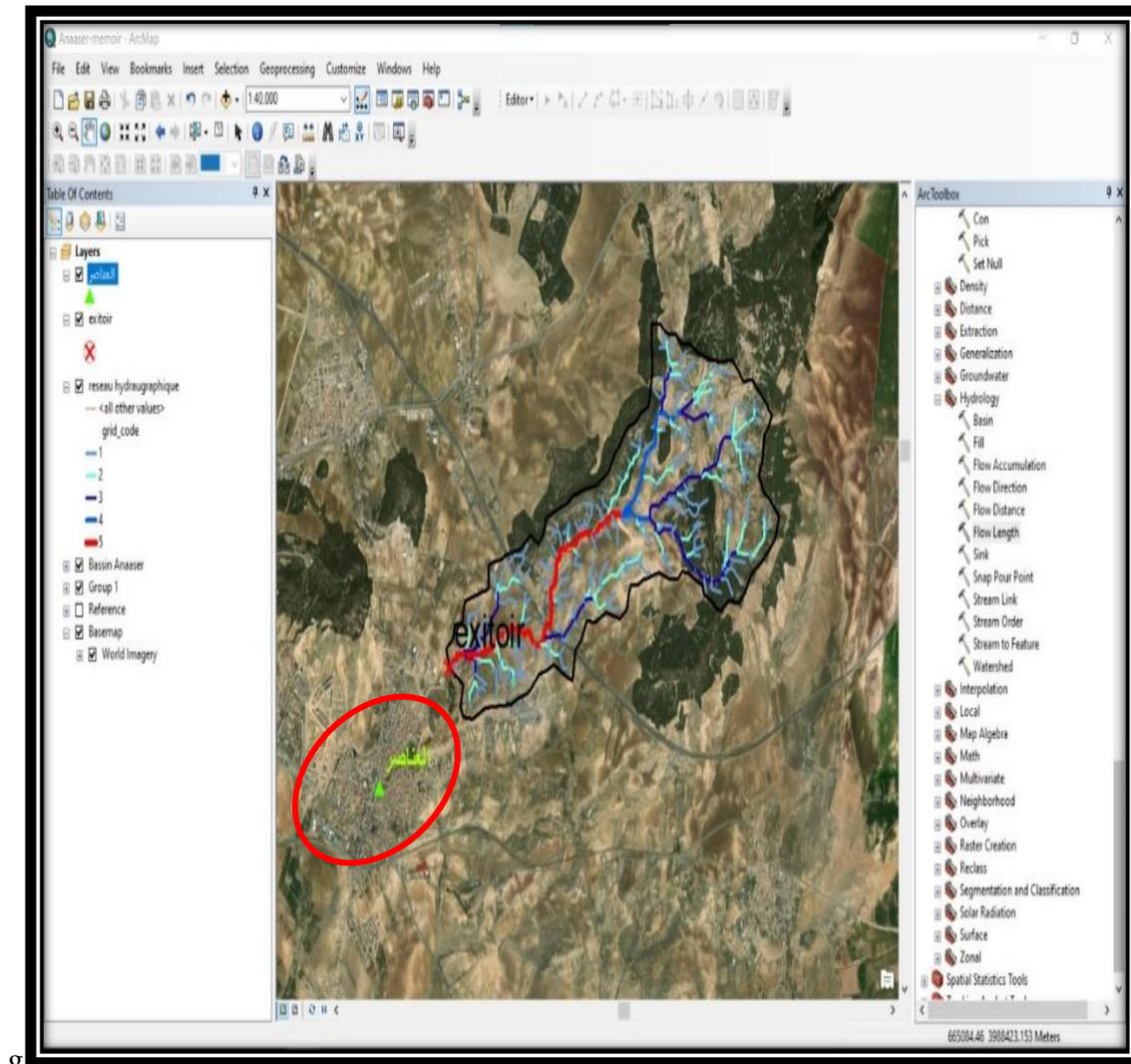
**Tableau III.16** : Débits de crues pour différentes périodes de retour

t(h)	Débits de crues (m <sup>3</sup> /s) pour différentes périodes de retour						
	1000	100	50	20	10	5	2
t(h)	Q0.1%	Q1%	Q2%	Q5%	Q10%	Q25%	Q50%
0	0	0	0	0	0	0	0
1	6,04	4,67	4,25	3,69	3,27	2,82	2,14
1,5	20,38	15,74	14,35	12,47	11,02	9,51	7,23
2	48,3	37,32	34	29,56	26,13	22,54	17,14
2,2	64,29	49,67	45,26	39,34	34,78	30	22,81
2,47	90,98	70,3	64,05	55,68	49,22	42,46	32,28
3,5	78,33	60,53	55,15	47,94	42,38	36,56	27,79
4	72,19	55,78	50,83	44,18	39,06	33,69	25,61
5	59,92	46,3	42,18	36,67	32,41	27,96	21,26
6	47,64	36,81	33,54	29,15	25,77	22,23	16,9
7	35,36	27,32	24,89	21,64	19,13	16,5	12,55
8	23,08	17,84	16,25	14,13	12,49	10,77	8,19
9	10,8	8,35	7,61	6,61	5,85	5,04	3,83
9,8	0	0	0	0	0	0	0



**Figure III.15** : Hydrogramme de crue

Pour des raisons de sécurité nous allons choisi de calculé le débit a la sortie (l'exutoire situé a la sortie de la ville, variante 1) pour engendrer la quantité de l'eau entrant la ville, nous avons aussi calculé le débit à l'entrée de la ville (l'exutoire situé à l'entrée de la ville, variante 2).



**Figure III.16 :** le Bassin versant de la deuxième variant.

Les caractéristiques morphologiques de deux bassins sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau III.17** : Caractéristiques morphologiques du bassin versant pour les des variantes

Caractéristiques morphologiques	Abréviation	variant 1	variant 2
Surface du bassin versant (km <sup>2</sup> )	S	14.39	7.06
Périmètre du bassin versant (km)	P	22.35	14.69
Longueur du cours d'eau principal (km)	L <sub>CP</sub>	10.7	6.74
Indice de compacité de GRAVILUS	K <sub>c</sub>	1.66	1.55
la longueur de rectangle équivalent (km)	L	9.67	6.20
la largeur de rectangle équivalent (km)	l	1.48	1.13
Altitude moyenne du bassin versant (m)	H <sub>moy</sub>	988.9	1035.55
Altitude maximal du bassin versant (m)	H <sub>max</sub>	1177	1177
Altitude de 5%	H <sub>05%</sub>	1129	1142
Altitude de 50%	H <sub>50%</sub>	988	1042
Altitude de 95%	H <sub>95%</sub>	920	964
Altitude minimal du bassin versant (m)	H <sub>min</sub>	892	939
Indice de pente globale (I <sub>g</sub> ) (m/m)	I <sub>g</sub>	0.021	0.028
Dénivelé spécifique (D <sub>s</sub> ) (m)	D <sub>s</sub>	81.91	76.12
Densité de drainage (D <sub>d</sub> ) (km/km <sup>2</sup> )	D <sub>d</sub>	7.70	7.29
Pente moyenne pondérée de cours d'eau principal (m/km)	I <sub>cp,Ir</sub>	0.018	0.025
Temps de concentration (T <sub>c</sub> ) (heures)	T <sub>c</sub>	2.46	1.62
Vitesse de ruissellement (V <sub>r</sub> ) (m/s)	V <sub>r</sub>	1.20	1.15

Le différent débit sont résumés dans le tableau suivants :

**Tableau III.18** : Débits calculés pour les deux variantes

Période de retour	Variant 1	Variant2
T=100ans	70.3	54.7
T=1000ans	90.9	70.8

### III.24. Conclusion

Le but de ce chapitre était de faire le point sur le bassin versant et d'en extraire ses caractéristiques de débit et sa meilleure estimation car il affecte le cours d'eau et aussi dans le but de procéder à l'aménagement approprié de la vallée et les résultats obtenus sont les suivants après traçage la série de pluies. La série pluviométrique suit la loi de Gumbel. Le débit de crue optimal est estimé à  $70.3 \text{ m}^3/\text{s}$  pour une période de retour 100ans.

---

*CHAPITRE IV : ETUDE  
HYDRAULIQUE*

---

### **IV.1. Introduction**

Cette partie a pour but le dimensionnement des ouvrages qui permettront le transit des débits, calculer dans le chapitre précédent, le calcul hydraulique se fera on tenant compte un écoulement a surface libre. Donc on est amené à déterminer la forme géométrique des ouvrages projetés, tout en s'assurant de la stabilité des berges et l'amélioration des conditions de l'écoulement de l'eau.

### **IV.2. L'écoulement à surface libre**

Dans un écoulement a surface libre, le liquide s'écoule au contact de l'atmosphère. La surface libre est la surface de séparation entre l'eau et l'atmosphère. En tout point de cette surface, la pression égale la pression atmosphérique. [20]

### **IV.3. Classification des écoulements**

L'écoulement a surface libre peuvent être permanents ou non permanent. Dans un écoulement permanent toutes les propriétés de l'écoulement, en particulier le débit, sont constantes dans le temps. On pratique un tel écoulement n'existe pas. Cependant, l'hypothèse

De la permanence de l'écoulement est souvent retenue dans les conditions suivantes :

Par souci de simplification, l'ingénieur se place volontairement dans ce contexte idéal dans l'étape de conception ou de réhabilitation

Dans certain cas, les propriétés de l'écoulement varient l'entement dans de telle sorte que l'hypothèse de permanence est acceptable.

Quand le débit varie significativement dans le temps, l'écoulement est considéré non permanent. [20]

### IV.3. Les caractéristiques géométriques de l'écoulement à surface libre

#### IV.3.1. La section mouillée d'un canal

On appelle section mouillée  $S_m$  d'un canal la portion de la section du canal limitée par les parois du canal et la surface libre. [21]

#### IV.3.2. Périmètres mouillé d'un canal

On appelle périmètres mouillé  $P_m$  d'un canal, le périmètre de la section mouillée qui inclut les parois solides mais ne comprend pas la surface libre. [20]

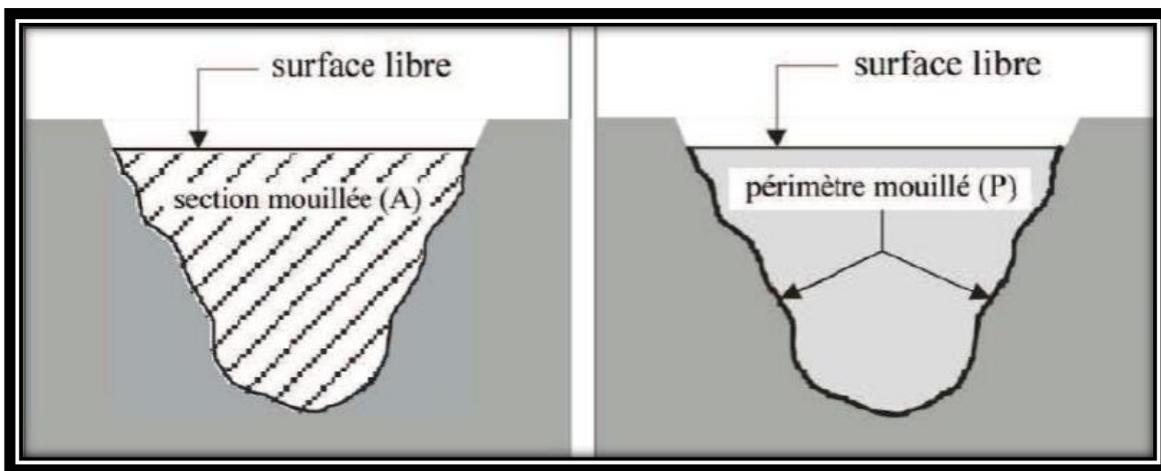


Figure IV.1 : la section et périmètre mouillée d'un canal

#### IV.3.3. Le rayon hydraulique

On appelle rayon hydraulique  $RH$  le quotient de l'aire de la section mouillée  $S_m$  et du périmètre mouillée  $P_m$ :

$$RH = \frac{S_m}{P_m} \quad (IV-1)$$

#### IV.3.4. Profondeur ou tirant d'eau

C'est la hauteur d'eau au-dessus du point le plus bas de la section perpendiculaire à l'écoulement. Dénomé généralement par  $h$  ou  $y$ .

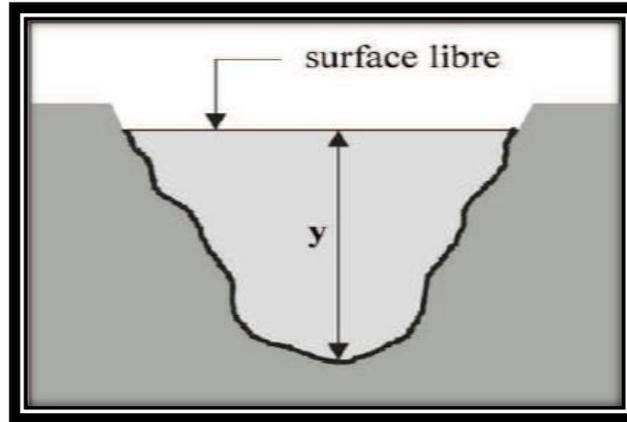


Figure IV.2 : profondeur d'eau

#### IV.3.5. Largeur au plan d'eau

La largeur de la section mouillée à la surface libre est appelée largeur au plan d'eau. On la dénote généralement  $B$ .

#### IV.3.6. Largeur du radier

La largeur de la section mouillée au niveau du fond du canal est appelée largeur au radier, représentée par  $b$ .

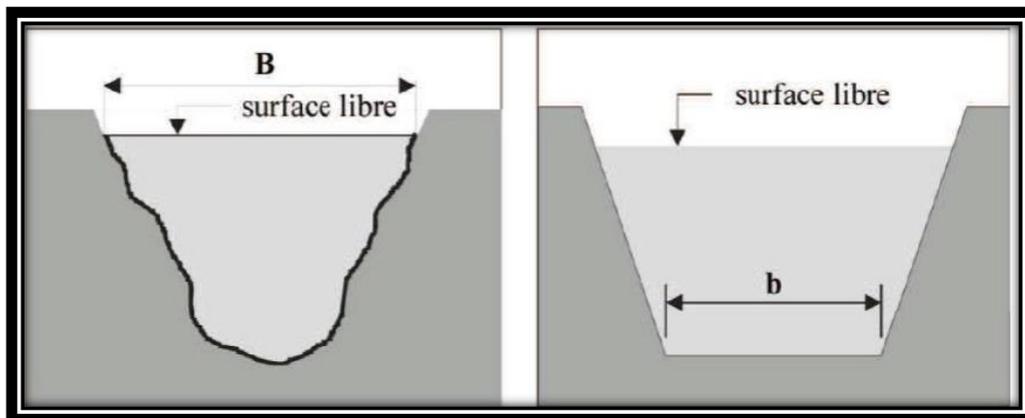


Figure IV.2: Largeur au plan

Figure IV.3: largeur du radier

### IV.3.7. La pente du canal

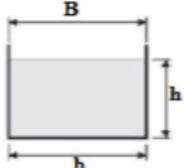
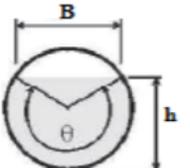
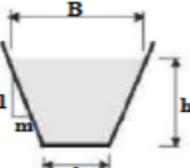
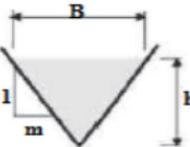
On définit la pente d'un canal comme étant la tangente de l'angle d'inclinaison du lit par rapport à l'horizontale.

### IV.4 Canal prismatique

un canal prismatique est un canal dont la pente est la géométrie de la section restent constantes dans la direction longitudinale du canal. Lorsqu'une de ces conditions n'est pas respectée le canal est dit non prismatique.

Le tableau si dessous représente les caractéristiques des canaux prismatiques les plus fréquents en pratique. [21]

**Tableau IV.1** : propriétés géométriques des sections courantes

Forme de la section	Section mouillée $S_m$	Périmètre mouillé $P_m$	Rayon hydraulique $R_h$	Largeur B
Rectangulaire 	$b * h$	$b+2h$	$\frac{b * h}{b + 2h}$	$b$
Circulaire 	$\frac{D^2}{8} (\theta - \sin\theta)$	$\frac{\theta D}{2}$	$\frac{D}{4} (1 - \frac{\sin \theta}{\theta})$	$D \sin \frac{\theta}{2}$
Trapézoïdal 	$(b+mh) h$	$b+2h\sqrt{1 + m^2}$	$\frac{(b + mh) h}{b + 2h\sqrt{1 + m^2}}$	$b+2mh$
Triangulaire 	$m h^2$	$2h\sqrt{1 + m^2}$	$\frac{m h^2}{2h\sqrt{1 + m^2}}$	$2mh$

### IV.5. Ouvrage projeté

Aux fins de la conception d'un cours d'eau, le débit et divers paramètres d'ingénierie doivent être pris en compte. Dans notre cas, nous avons choisi un canal en béton de forme trapézoïdale et rectangulaire. La formule utilisée pour déterminer les dimensions de n'importe quel canal est la formule « Manning Strickler ».

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot S \cdot \sqrt{I} \quad (IV-2)$$

Avec :

n : Rugosité du canal

Rh : le rayon hydraulique en m

S : la section du canal

I : la pente du canal

### IV.6. Approche informatique avec le logiciel CANAL 21

#### IV.6.1. Présentation du logiciel

Le logiciel canal 21 est l'interface sous Windows du logiciel canal 9 (MS DOS), développé par GEMAGREF de Lyon. C'est un outil de calcul simplifié des écoulements à surface libre, qui permet de traiter les caractéristiques des écoulements dans des sections simplifiées et le calcul des courbes de remous en différents régimes, sur des géométries différentes. Nous avons calculé sur la base du débit de période de retour de 100 puis nous avons vérifié en utilisant le débit de la période de retour de 1000, sur la base de cela nous ajoutons notre hauteur supplémentaire

En cas de débordement par le débit de 1000 nous modifions la section proposée et dans certains cas la pente du terrain

## IV.7. Dimensionnement des canaux

Le dimensionnement des ouvrages de protection est pour un débit de période de retour de 100 ans puis nous avons vérifié avec le débit de période de retour de 1000 ans, sur la base de cela nous ajoutons hauteur critique (entre 0.3m et 0.5m). En cas de débordement par le débit de 1000 ans nous modifions la section proposée et dans certains cas la pente du terrain.

### IV.7.1. Section 1

Pour la première section (du P1- au P64) voir fig.IV.4 et annaxe1, nous proposons une section trapézoïdale.



Figure IV.4 : Représentation du premier tronçon par photo satellite avec Google Maps a laid de Arc gis.

La figure IV.5 représente la première section «canal trapézoïdal» avec le logiciel « canal 21 ».

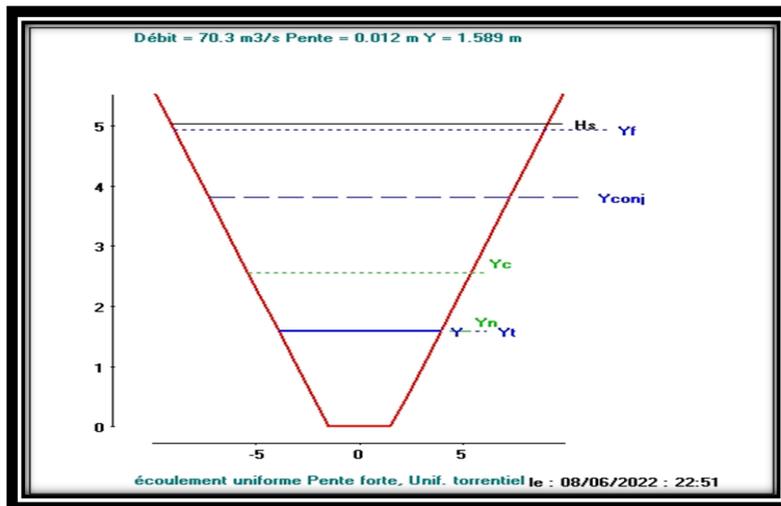
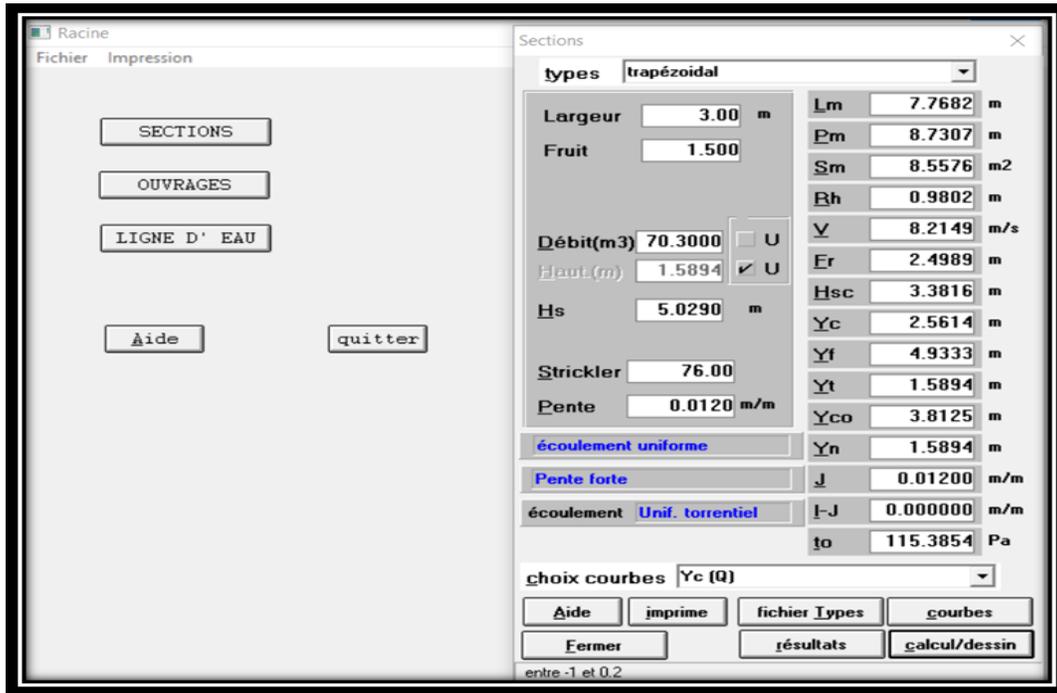


Figure IV.5 représentation de la première section «canal trapézoïdal» avec le logiciel « canal 21 ».

Les résultats de dimensionnements obtenus à l'aide du logiciel canal 21 sont représenté sur la figure IV.6



**Figure IV.6:** résultats obtenus à l'aide du logiciel canal 21 pour le canal de la première section « trapézoïdale ».

- La hauteur normale  $Y_n=1.58$ .
- La hauteur critique :  $Y_c = 2.56$ .
- La hauteur spécifique :  $H_s = 5.02$

Le tableau suivant représente les résultats de la première section du premier tronçon

**Tableau IV.2 : résumé des résultats de première section**

La largeur en base B [m]	Le fruit [m]	La hauteur H[m]	La pente I [m/m]
3	1.5	1.9	0.012

IV.7.2. Section 02

Pour la deuxième section (du P64- au P93) voir fig.IV.7 et annexe 2, nous proposons une section rectangulaire.



Figure IV.7: Représentation du deuxième tronçon par photo satellite avec Google Maps a laid de Arc gis.

La figure IV.8 représente la première section «canal rectangulaire» avec le logiciel « canal 21 ».

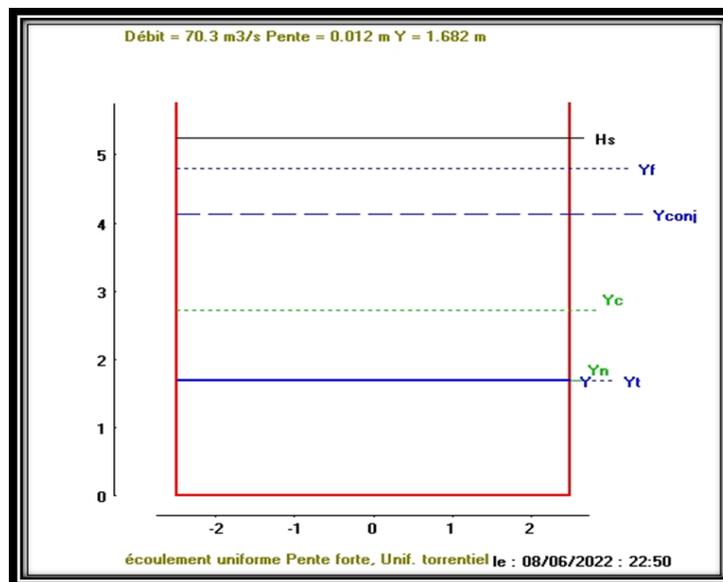


Figure IV.8 : représentation de deuxième section «canal rectangulaire» avec le logiciel « canal 21 ».

Les résultats de dimensionnements obtenus à l'aide du logiciel canal 21 sont représentés sur la figure IV.6

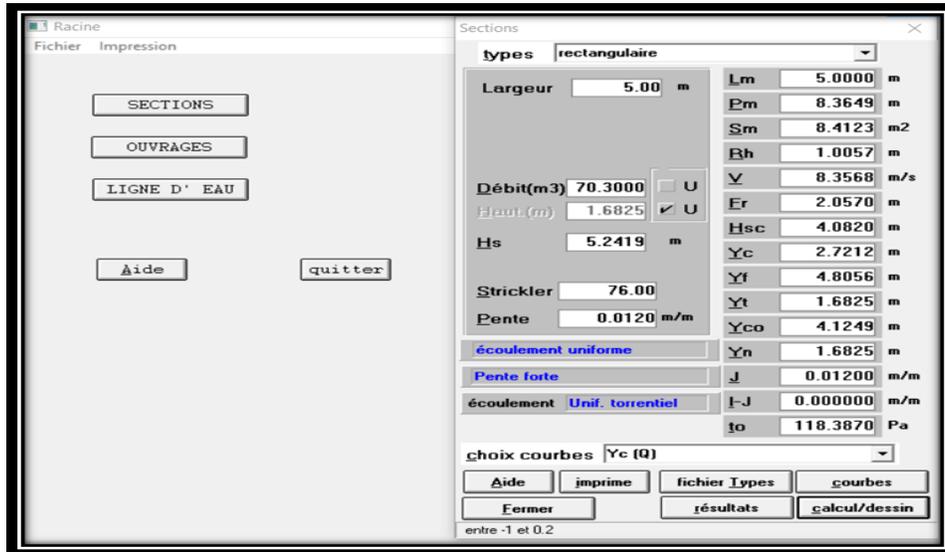


Figure IV.9: Interface CANAL 21 pour le canal de deuxième section « rectangulaire ».

- La hauteur normale  $Y_n=1.68$ .
- La hauteur critique :  $Y_c = 2.72$ .
- La hauteur spécifique :  $H_s = 5.24$

Le tableau suivant représente les résultats de la deuxième section du deuxième tronçon.

Tableau IV.3 : résumé des résultats de deuxième section

La largeur en base b [m]	La hauteur H[m]	La pente I [m/m]
<b>5</b>	<b>2.10</b>	<b>0.012</b>

IV.7.1 Section 3

Pour la troisième section (du P93- au P107) voir fig.IV.10 et annexe 2, nous proposons une section trapézoïdale.

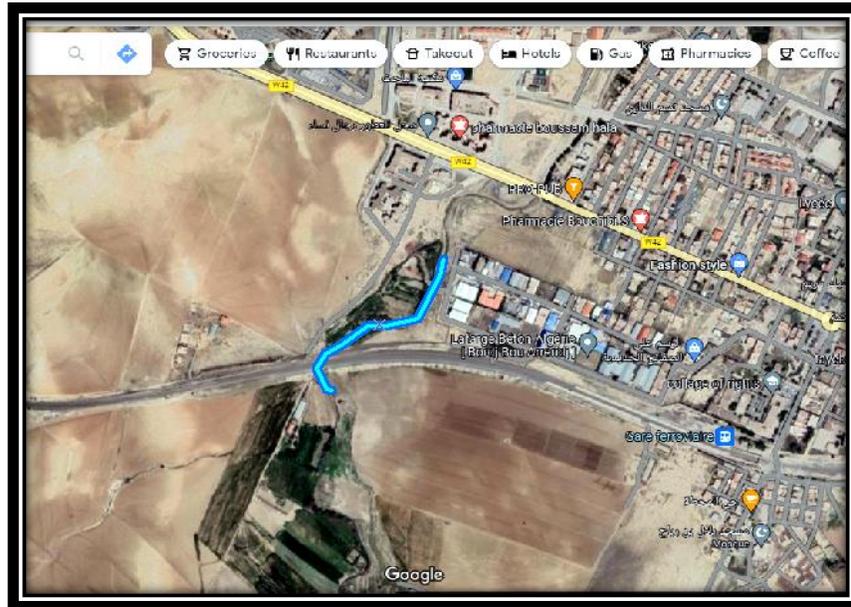


Figure IV.10 : Représentation du troisième tronçon par photo satellite avec Google Maps a laid de Arc gis.

La figure IV.11 représente la première section «canal trapézoïdal» avec le logiciel « canal 21 ».

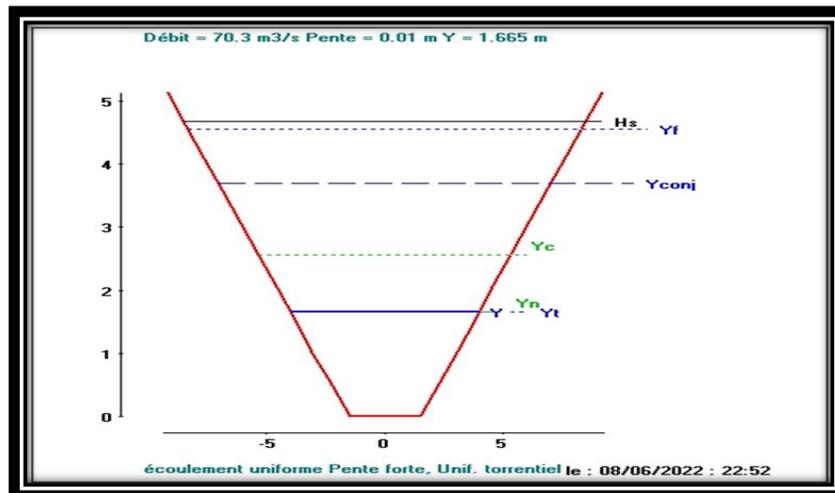
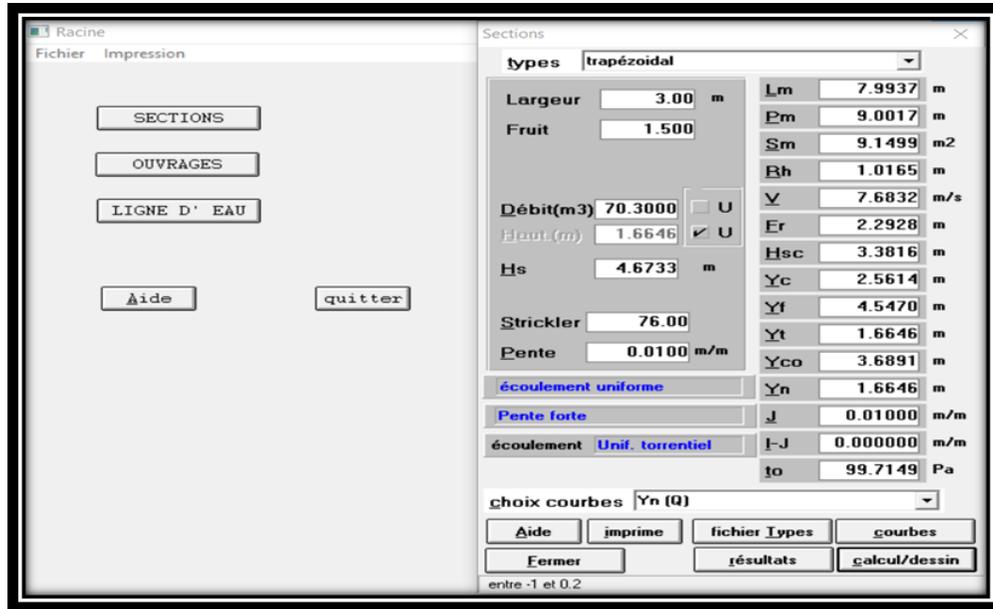


Figure IV.11 : représentation de deuxième section «canal rectangulaire» avec le logiciel « canal 21 ».

Les résultats de dimensionnements obtenus à l'aide du logiciel canal 21 sont représenté sur la figure IV.12



**Figure IV.12:** résultats obtenus à l'aide du logiciel canal 21 pour le canal de la troisième section « trapézoïdale ».

- La hauteur normale  $Y_n=1.66$ .
- La hauteur critique :  $Y_c = 2.56$ .
- La hauteur spécifique :  $H_s = 4.67$

Le tableau suivant représente les résultats de la troisième section du troisième tronçon.

**Tableau IV.4 :** résumé des résultats de troisième section

La largeur en base B [m]	Le fruit [m]	La hauteur H[m]	La pente I [m/m]
3	1.5	2	0.01

## **IV.8 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons proposé un dimensionnement des ouvrages qui permettront la protection de la ville El Anasser contre les inondations de oued faregh pour ceci nous avons utilisé plusieurs logiciels pour faciliter et bien étudier ce phénomène.



---

*CONCLUSION  
GENERALE*

## Conclusion général

En Algérie la protection des sites urbains contre les crues et les inondations est une nécessité indispensable afin de réduire les risques humains, matériels. Au terme de ce travail, mené dans le but de protéger la ville el Anasser contre les inondations, nous avons tiré des conclusions et des résultats suite à ce travail. Nous avons scindé notre travail en deux étapes essentielles. La première a consisté en l'analyse des données topographiques et pluviométriques qui peut offrir des informations indispensables pour le fonctionnement du modèle hydraulique. Enfin dans la deuxième partie, nous sommes parvenus à proposer les meilleures solutions pour protéger la ville el Anasser contre l'inondation. Pour ceci nous avons utilisé plusieurs logiciels pour faciliter et bien étudier ce phénomène. L'oued faregh draine un bassin versant qui a nécessité une étude morpho métrique permettant de mettre au point tous les paramètres d'influence du bassin versant et sa réponse vis-à-vis des précipitations. Le bassin versant est caractérisé par une surface de  $14.39 \text{ km}^2$  et un périmètre de  $22.35 \text{ km}$  et un indice de gravelais de  $Kc = 1.66$  possède un relief assez faible  $Ig=0.021$ , un temps de concentration moyen  $t_c = 2.46 \text{ h}$  induisant de forts débits instantanés. Les résultats de calcul et d'analyse des différents paramètres cités, nous ont permis la conception et le dimensionnement des ouvrages de protection en l'occurrence. Des sections de formes trapézoïde et rectangulaire sont les plus appropriées pour l'aménagement du cours d'eau d'oued faregh pour protéger la ville contre l'inondation. La protection comprend les éléments suivants (de l'amont vers l'aval) :

### ❖ La première section :

- Canal à ciel ouvert en béton armé
- Section trapézoïdale
- Largeur  $b = 3 \text{ m}$
- pente =  $0.012$
- fruit des talus  $m = 1.5 \text{ m}$
- Hauteur  $h = 1.9 \text{ m}$
- Débit  $Q=70.40 \text{ m}^3/\text{s}$

### ❖ La deuxième section :

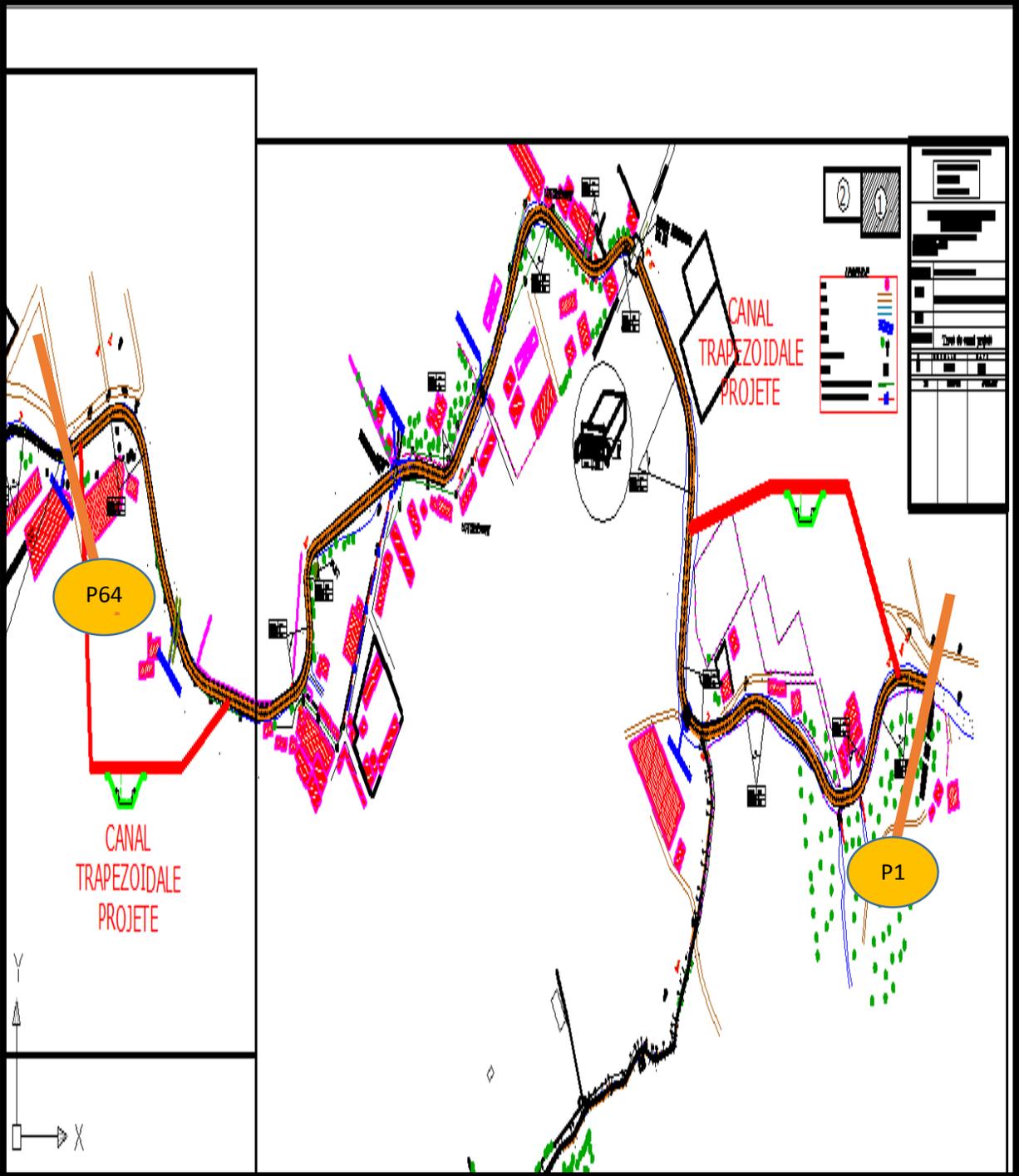
- Canal à ciel ouvert en béton armé
- Section rectangulaire
- Largeur  $b = 5 \text{ m}$
- pente =  $0.012$
- et une hauteur  $h = 2.10 \text{ m}$
- Débit  $Q=70.4$

### ❖ La troisième section :

- Canal à ciel ouvert en béton armé
- Section trapézoïdal
- Largeur  $b = 3 \text{ m}$
- fruit des talus  $m = 1.5$
- la pente =  $0.01$
- Hauteur  $h = 2$
- Débit  $Q=70.40 \text{ m}^3/\text{s}$

# ANNEXE

Annexe1







## Reference bibliographique

- [1] **Helga-jan.S, Richard.L [2004]** Risque d'inondation et aménagement durable des territoires, Page 16, 17,21.
- [2] **Djebali khalifa [2015]** Contribution à l'étude de l'aléa " inondations": Genèse et prédiction Cas de la vallée d'El-Abadia (w.Ain Defla)
- [3] **Salomon J, N [1997]** L'homme face aux crues et aux inondations, Presses Universitaire de Bordeaux, Université Michel de Montaigne - Bordeaux.p69-80
- [4] **Ministère de l'écologie et du développement durable [2004]** Les inondations
- [5] **Madi Réda [2014]** Contribution à l'étude des crues pour une gestion du risque aux inondations
- [6] **Claire.C [2007]** La ville endormie ? Le risque d'inondation à Lyon : approche géohistorique et systémique du risque de crue en milieu urbain et périurbain.
- [7] **J.Dunglas, B.Chastan, M.Lang, ChristinePoulard, P.Royet [2020]** Le ralentissement dynamique pour la prévention des inondations : guide des aménagements associant l'épandage des crues dans le lit majeur et leur écrêtement dans de petits ouvrages.
- [8] **Elfetni.K [2019]** Etude de protection contre les inondations de la ville de Doucen (Oued Tamda)
- [9] **CTH BBA** Contrôle technique hydraulique de Bordj Bou Arreridj
- [10] **ErifeG.F ;Lessaad.K [2020]** Etude du Bilan hydrologique du barrage Ain Zada
- [11] **Bénina Touaibia [2004]** Manuel Pratique d'hydrologie
- [12] **Nguetora.M [2004]** Modélisation d'un bassin versant pour la gestion des ressources en eau a laid d'un system d »une formation géographique application au bassin versant du massili au Burkina Faso
- [13] **Harkati.D [2012]** Protection de la ville de bir Chouhada contre les inondations

[14] **MUSY A, HIGY C. [2004]** Hydrologie (1. Une science de la nature), Presses polytechniques et universitaires romandes

[15] **Seif El Islam BENDINE [2019]** étude de la faisabilité de la recharge de la nappe de lmaader (Bou Saada) par les eaux de crues

[16] **Hocine.B & Pierre.H [2002]** Le coefficient de compacité de Gravelius: analyse critique d'un indice de forme des bassins versants

[17] **Kateb Zakaria [2013]** : Protection de la ville d'ain kercha contre les inondations

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

[19] **Intrans.iastate.edu Design Manual Chapter 2 – Stormwater 2B - Urban Hydrology and Runoff [2013]** Time of Concentration

[20] **Hammach,T,Zaid.N [2017]**

[21] **Bennis [2009]** «Hydraulique et hydrologie 2eme édition » presses de l'université du Québec