

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane MIRA de Bejaia



Faculté de Technologie
Département d'**Hydraulique**
Laboratoire de Recherche en Hydraulique Appliquée et Environnement (LRHAE)

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

ATMANI YASSINE

KERROUCHE FATEH

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER en Hydraulique**

Option : **OUVRAGE ET AMENAGEMENT HYDRAULIQUE**

INTITULE :

**ETUDE DE PROTECTION DE LA VILLE DE BORDJ ARRERIDJ
CONTRE LES INONDATIONS (COTE EST) PREVISION ET PREVENTION**

Soutenu le **30 /06/2015** devant le jury composé de :

- Président : **ALOUACHE.A**
- Promoteur (s) : **AMIROUCHE.M**
- Examineur (s) : **IKNI.T**

Remerciements

Nous remercions avant tout dieu de nous avoir accordé la force et le courage de réaliser ce modeste travail.

Il nous est très agréable de réserver cette page comme un témoin de reconnaissance à toutes les personnes qui nous ont soutenus et encadrés pour réaliser ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre promoteur **Mr AMIROUCHE.M** qui a accepté d'encadrer notre travail durant ces 4 mois et qui a prêté de son temps le plus précieux et qui a toujours répondu présent à nos sollicitudes, nous a enrichi par sa vision critique des choses, son savoir faire et savoir être.

On remercie également **Mr ALOUACHE.A** et **Mr IKNI.T** pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'examiner ce travail et de participer au jury.

Enfin, merci à nos parents, amis et collègues étudiants pour nous voir ouvert sur le monde .ils nous ont dressé un portrait du monde autre que celui véhiculé par les médias. Un portrait beaucoup plus complet et surement plus juste .

Dédicaces

A mes très chers parents.

A mes frères et sœur.

A toute la famille.

A tous ceux qui me sont chers.

YASSINE

Dédicaces

A mes très chers parents.

A mes frères et sœur.

A toute la famille.

A tous ceux qui me sont chers.

FATEH

Sommaire

TABLE DES MATIERES

Introduction générale -----	01
------------------------------------	----

Chapitre I : Généralités sur les inondations

Introduction-----	03
I.1. Les inondations -----	03
I.2. Mécanisme des inondations -----	03
I.2.1. Les facteurs naturels qui influencent l'inondation-----	03
I.2.2. Les facteurs anthropiques qui influencent l'inondation -----	04
I.3. Caractérisation du phénomène d'inondations -----	04
I.3.1. La période de retour des crues -----	04
I.3.2. La hauteur et la durée de submersion -----	05
I.3.3. La vitesse du courant -----	05
I.4. Les différents types de lits -----	05
I.5. Risque : Aléa, Enjeu et Vulnérabilité -----	06
I.6. Différents types d'inondations -----	07
I.6.1. Les inondations des plaines -----	07
I.6.2. Les inondations par crues torrentielles -----	07
I.6.3. Les inondations par ruissellement en secteur urbain ou rural -----	08
I.6.4. Les inondations par remontée de nappes phréatiques -----	08
I.6.5. Les inondation par rupture d'une protection -----	09
I.7. Les inondations en Algérie -----	10
I.8. Causes et conséquences des inondations -----	12
I.8.1. Les causes des inondations -----	12
I.8.1.1. Les facteurs naturels -----	12
I.8.1.2. Les facteurs anthropiques -----	12
I.8.2. Les conséquences des inondations -----	12
Conclusion -----	13

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Introduction -----	14
II.1. Situation géographique -----	14
II.2. Données naturelles du site -----	15
II.2.1. Topographie du site -----	15
II.2.2. Géologie du site -----	15
II.2.2.1. Définition des roches qui se trouvent dans le site -----	16
II.3. Situation climatique -----	17
II.3.1. La température -----	17
II.3.2. La vitesse du vent -----	18
II.3.3. Gelée -----	18

II.3.4. Neige -----	18
II.3.5. Insolation -----	19
II.3.6. Humidité relative -----	19
II.3.7. La pluviométrie -----	20
II.4. Démographie -----	20
Conclusion -----	21

Chapitre III: Etude hydrologique

Introduction -----	22
III.1. Morphométrie -----	22
III.1.1. La surface -----	22
III.1.2. Le périmètre -----	22
III.1.3. Indice de compacité de Gravelius -----	23
III.1.4. Le rectangle équivalent -----	23
III.1.5. Le relief -----	24
III.1.5.1. Courbes hypsométriques -----	24
III.1.5.2. Les altitudes caractéristiques -----	25
III.1.5.3. Indice de la pente globale (I_g) -----	27
III.1.5.4. Pente moyenne des bassins versants (I_m) -----	28
III.1.5.5. Dénivelée spécifique -----	28
III.2. Le réseau hydrographique -----	29
III.2.1. La densité de drainage -----	29
III.2.1.1. La pente moyenne du cours d'eau principal -----	30
III.2.1.2. Le temps de concentration -----	30
III.2.1.3. Vitesse moyenne de ruissellement -----	32
III.3. Analyse des données pluviométriques -----	34
III.3.1. Pluie moyenne annuelle -----	34
III.3.2. Pluies maximales journalières -----	34
III.3.3. Etude des précipitations maximales journalières -----	35
III.3.4. Le choix de loi d'ajustement -----	37
III.3.4.1. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel -----	37
III.3.4.2. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Galton -----	39
III.3.5. Pluies de courte durée -----	42
III.4. Les apports -----	45
III.4.1. Apports liquides -----	45
III.4.1.1. Apports moyens interannuels -----	45
III.4.1.2. Caractéristiques de l'écoulement -----	46
III.4.2. Evaluation des apports solides -----	48
III.5. Etude de crues -----	49
III.5.1. Différentes méthodes d'évaluation des crues -----	49
III.5.2. Application sur les bassins versants -----	49
III.5.2.1. Formule de Giandotti -----	50
III.5.2.2. Formule de Sokolovski -----	50
III.5.3. Hydrogrammes de crues -----	52
III.5.4. Conclusion -----	55

Chapitre IV : Dimensionnement du canal de drainage des eaux pluviales

Introduction -----	56
IV.1. Etude des variantes -----	56
IV.1.1. Variantes proposées pour l'étude -----	56
IV.1.2. Comparaison entre les types d'aménagements -----	57
IV.2. Calculs hydrauliques -----	58
IV.2.1. Dimensionnement des ouvrages -----	58
IV.2.2. Généralités sur les écoulements à surface libre -----	58
IV.2.2.1. Les canaux à ciel ouvert -----	58
IV.2.2.2. Dimensionnement des canaux -----	58
IV.2.3. Détermination de coefficient de Chézy -----	59
IV.2.4. Les paramètres géométriques -----	60
IV.2.4.1. Le choix de la section de meilleure conductivité -----	60
IV.2.4.2. Calcul du rayon hydraulique maximal -----	61
IV.2.4.3. Calcul de la profondeur normale -----	61
IV.2.4.4. Calcul de la profondeur critique -----	62
IV.2.4.5. Calcul de l'énergie spécifique -----	62
IV.2.4.6. Nombre de Froude -----	63
IV.2.5. Calcul de la pente critique -----	63
IV.2.6. Calcul de la ligne d'eau -----	63
IV.2.6.1. Equation de la surface libre de la ligne d'eau -----	63
IV.2.6.2. Différentes formes de courbes de remous -----	64
IV.2.7. Calcul des paramètres de courbure du canal -----	66
IV.2.8. Raccordement des tronçons constituant le canal -----	66
IV.3. Calculs des aménagements -----	67
IV.3.1. Débits maximums de crues -----	67
IV.3.2. Dimensionnement des aménagements -----	67
IV.3.2.1. Calcul du tronçon A-B -----	67
IV.3.2.2. Calcul du tronçon B-C -----	69
IV.3.2.3. Calcul du tronçon C-D -----	71
Conclusion -----	73
Conclusion générale -----	74

Listes de figures

Liste des figures

Figures	Désignation	page
Figure I.1	Coupe transversale d'un bassin versant	05
Figure I.2	Inondations par ruissellement en secteur urbain	08
Figure I.3	Inondations par remontée de nappe phréatique	09
Figure I.4	Rupture d'une protection	09
Figure I.5	Ghardaïa, une ville sous la boue	10
Figure II.1	Situation géographique de la zone d'étude	14
Figure II.2	Carte géologique de Bordj Bou Arreridj	15
Figure III.1	Courbes hypsométriques des sous bassins versants	25-26
Figure III.2	Réseau hydrographique du Bassin versant	29
Figure III.3	Ajustement à la loi Gumbel	41
Figure III.4	Ajustement à la loi Log -normal	41
Figure III.5	Courbes des pluies fréquentielles	44
Figure III.6	Courbes intensité -durée -fréquence	44
Figure III.7	Hydrogrammes des crues du SBV01	53
Figure III.8	Hydrogrammes des crues du SBV02	54
Figure III.9	Hydrogrammes des crues du SBV03	55
Figure IV.1	Les différentes formes de courbes de remous	65
Figure IV. 2	Caractéristiques de canal trapézoïdal du tronçon A-B	68
Figure IV.3	Caractéristiques de canal rectangulaire du tronçon B-C	70
Figure IV.4	Caractéristiques de canal trapézoïdal du tronçon C-D	72

Listes des tableaux

Liste des tableaux

Tableau	Désignation	Page
Tableau I.1	Bilan dommageable des inondations 1971-2004	11
Tableau II.1	Répartition des stations météorologiques à travers la Wilaya	17
Tableau II.2	Températures moyennes mensuelles de la période (1980-1984)	17
Tableau II.3	Vitesse moyenne du vent (m/s)	18
Tableau II.4	Nombre de jours de gelées	18
Tableau II.5	Nombre de jours de neiges	18
Tableau II.6	Nombre d'heures d'insolation	19
Tableau II.7	Répartition mensuel de l'humidité relative	19
Tableau II.8	Répartition mensuelle de la précipitation	20
Tableau II.9	Estimation de la population à l'horizon futur	21
Tableau III.1	Les paramètres morphométrie des sous bassin	24
Tableau III.2	Les altitudes caractéristiques	27
Tableau III.3	Indice de pente globale (Ig)	27
Tableau III.4	Pentes moyennes des bassins versant I_m	28
Tableau III.5	Dénivelée spécifique des bassins versant	28
Tableau III.6	Les densités de drainage	30
Tableau III.7	Les pentes moyennes des cours d'eau principales	30
Tableau III.8	Les temps de concentration	31
Tableau III.9	La vitesse de ruissellement	32
Tableau III.10	caractéristiques hydro morpho métriques des bassins versants	33
Tableau III.11	La station pluviométrique	34
Tableau III.12	Série de pluies maximales journalières à la station Boumergued	35
Tableau III.13	Caractéristiques de la série avec N=30ans	36
Tableau III.14	Résultat de l'ajustement a la loi de Gumbel	38
Tableau III.15	Caractéristiques de l'échantillon	39
Tableau III.16	Résultat de l'ajustement a la loi de GALTON	40
Tableau III.17	Caractéristiques de l'échantillon.	40
Tableau III.18	Pluies et intensités maximales de durée t(h) et de période de retour	43
Tableau III.19	Apports moyens interannuels	46
Tableau III.20	Les caractéristiques d'écoulement	48
Tableau III.21	Les apports solides	49
Tableau III.22	Débits de crues au sous bassin versant n°1	51
Tableau III.23	Débits de crues au sous bassin versant n°2	51
Tableau III.24	Débits de crues au sous bassin versant n°	51
Tableau III.25	Hydro grammes des crues de différentes périodes de retour sous bassin n°1	53
Tableau III.26	Hydro grammes des crues de différentes périodes de retour sous bassin n°2	54
Tableau III.27	Hydro grammes des crues de différentes périodes de retour sous bassin n°3	55
Tableau IV.1	avantages et inconvénients des types d'aménagement	57
Tableau IV.2	Paramètres géométriques d'une section semi –circulaire	60
Tableau IV.3	Paramètres géométriques d'une section trapézoïdale	61
Tableau IV.4	Crues de projet pour différentes périodes de retour	67
Tableau IV.5	Paramètres de calcul du canal du tronçon A-B	68

Tableau IV.6	Les dimensions finales du tronçon A-B	69
Tableau IV.7	Paramètres de calcul de la pente critique du tronçon A-B	69
Tableau IV.8	Caractéristiques de la courbe de remous du tronçon A-B	69
Tableau IV.9	Paramètres de calcul du tronçon B-C	70
Tableau IV.10	Paramètres de calcul de la pente critique du tronçon B-C	71
Tableau IV.11	Caractéristiques de la courbe de remous du Tronçon B-C.	72
Tableau IV.12	Paramètres de calcul du Tronçon C-D	72
Tableau IV.13	Les dimensions finales du tronçon C-D	72
Tableau IV.14	Paramètres de calcul de la pente critique du tronçon C-D	73
Tableau IV.15	Caractéristiques de la courbe de remous du Tronçon C-D	73

Liste de symboles

Liste des symboles

K_c : Indice de Gravelius

I_g : Indice de la pente globale (Km)

I_m : Intensité moyenne(mm/h)

I_{moy} : Pente moyenne du bassin versant

Δh : Hauteur de pluie tombée pendant la durée Δt (mm)

$F(x)$: Fréquence au non dépassement de la valeur de x

α, x_0 : Coefficient d'ajustement

m : Numéro d'ordre

n : Taille de la série

$\frac{1}{\alpha}$: Pente de la droite de Gumbel

y : Variable de Gumbel pour une probabilité donnée

\bar{y} : Moyenne de la variable réduite de Gumbel

T : Période de retour(ans)

L_e : Lamme d'eau écoulée (mm)

$P_{max,j}$: Précipitation maximale journalière(mm)

t : Durée de l'averse (h)

b : Exposant climatique de la région

s : Surface du sous bassin (km^2)

Q : Débit de dimensionnement(m^3/s)

L, B : Largeur au miroir(m)

b : Largeur du fond (m)

V : Vitesse d'écoulement de l'eau dans le canal(m/s)

I : Pente du fond du canal(m/m)

$i(t, F)$: Intensité maximale de la pluie de durée t (mm)

R_h : Rayon hydraulique (m)

C : Coefficient de Chézy ($m^{0.5}/s$)

F : Nombre de Froude

Liste des symboles

h : Hauteur du canal (m)

P_m : Périmètre mouillé (m)

S_m : Section mouillée (m²)

n : Rugosité du canal

K_s : Coefficient de rugosité de *Strickler* (m^{1/3}.s⁻¹)

H_n : Hauteur normal (m)

H_c : Hauteur critique (m)

H_s : Hauteur de l'énergie spécifique (m)

J_e : Pente de la ligne d'eau.

Conclusion générale

Introduction générale

L'Algérie est l'un des pays confrontés aux phénomènes de crues et d'inondations qui se manifestent de façon catastrophique constituant ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et social, ces inondations sont les catastrophes naturelles les plus destructives et même les plus fréquentes et provoquent d'importants dégâts humains et matériels.

La réalité géoclimatique algérienne, celle-ci caractérisée par un climat semi-aride à aride, contribue à constituer un enjeu permanent à laquelle s'ajoute la vulnérabilité du milieu aussi bien physique qu'humaine ce qui renforce le danger et les risques multiples et complexes qu'ils soient sociaux, sanitaires, économiques, environnementaux.

Plusieurs régions de notre pays sont régulièrement menacées par ces catastrophes naturelles dont les impacts sont souvent intensifiés par d'autres facteurs qui aggravent les effets de crues tels que : l'urbanisation anarchique par l'occupation des zones inondables et la défaillance des réseaux d'eaux pluviales.

Les inondations produites dans ces régions présentant un environnement topographique défavorable comme le cas de la ville de BBA traversées par des Oueds. De par sa situation géographique, cette agglomération à forte concentration de population et sous l'effet d'une urbanisation pseudo-anarchique sur sa périphérie et non réglementée présente des grands risques, des pertes humaines et des destructions de constructions sont enregistrés à chaque inondation aussi légère qu'elle soit. L'examen des événements catastrophiques survenus dans cette zone, notamment celui du 1994 montre clairement la nécessité de prémunir contre ce fléau naturel qui ne cessait de rebondir à chaque événement pluvieux exceptionnel.

Afin d'apporter rapidement des solutions aux problèmes qui se posent ou risquent de se poser à court et moyen termes ; et pour être capable d'assurer une gestion intégrée et durable de l'eau, la protection de ville de BBA et sa population s'avère une des priorités des pouvoirs publics et une étude devrait être lancée dans ce sens.

Notre travail s'inscrit dans une optique visant à entreprendre un projet d'étude qui permet de concevoir un système de protection de la ville du BBA. En effet, ce projet consiste en la réalisation d'un système de drainage des eaux pluviales provenant du bassin versant, qui débouche dans un exutoire à la périphérie de la ville de BBA (Côté Est) . Cette démarche, sans doute, requiert des outils de travail allant du recueil de données du site jusqu'à l'élaboration du schéma d'aménagement.

Le présent mémoire est scindé en quatre chapitres :

- Le premier traite de la problématique des inondations entre aléa, vulnérabilité et risque. Son but est de mettre en évidence l'ampleur du risque liée au phénomène d'inondations qui touche l'Algérie ;

Introduction générale

- Le deuxième chapitre est consacré à la connaissance du bassin versant, elle concerne les principales caractéristiques de ce dernier : géographie, géologie, morphologie, pluviométrie, ainsi que son réseau hydrographique ;
- Dans le troisième chapitre est décrite en détail l'étude hydrologique du bassin versant. Cette étude revêt un intérêt capital dans la détermination de la pluie de projet et le débit correspondant, ces deux paramètres sont déterminés à partir d'un traitement statistique des données ;
- Enfin, le quatrième chapitre traitera dans sa première partie les différentes variantes d'ouvrages proposées, et en deuxième lieu, le dimensionnement du canal qui draine les eaux pluviales.

Chapitre I

Généralités Sur Les inondations.

Introduction

La plupart des cas d'inondation ont provoqué toujours d'importants dégâts aux infrastructures, entraînant même des pertes en vies humaines et causant une paralysie d'ordre économique, industrielle, agricole et sociale.

Les eaux de surface issues d'un bassin versant se concentrent dans le réseau hydrographique où sous certaines conditions météorologiques ou hydrologiques, peuvent se former des ondes de crues. Ces ondes, se propageant de l'amont vers l'aval, peuvent éroder les berges, des ouvrages et transporter ou déposer des matériaux dans le cours d'eau. Les eaux peuvent également déborder dans la zone inondable et provoquer la rupture des ouvrages. Outre les dégâts engendrés, les eaux de crue érodent aussi des terres cultivées. Enfin, pire que tout, se sont une menace pour la vie humaine.

I.1. Les inondations

Une inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau. Le risque d'inondation est la conséquence de deux composantes : l'eau qui peut sortir de son lit habituel d'écoulement (crue) ou apparaître (remontées de nappes phréatiques, ruissellement urbain...), et l'homme qui s'installe dans la zone inondable pour y implanter toutes sortes de constructions, d'équipements et d'activités [1].

I.2. Mécanisme des inondations

Le risque d'inondation est la conséquence de deux facteurs ; naturel qui dépend de la pluie, la nature de sol, le bassin versant et le relief. L'homme qui s'installe dans l'espace alluvial pour implanter toutes sortes de constructions, d'équipement et d'activités.

I.2.1. Les facteurs naturels qui influencent l'inondation

La quantité et surtout les répartitions spatiale et temporelle des pluies, par rapport au bassin versant, sont déterminantes. Il peut s'agir de pluies répétées et prolongées qui touchent de grands bassins versants ou d'averses intenses de courte durée qui touchent de petits bassins versants ;

La nature et l'occupation du sol dictent l'évaporation et la consommation d'eau par les plantes, l'absorption par le sol, l'infiltration dans le sous-sol ou le ruissellement influencent fortement le temps de concentration des eaux, Enfin, la topographie du bassin versant (pente, forme).

La fonte des neiges et la formation ou la rupture d'embâcles. Les matériaux transportés par le courant peuvent en effet s'accumuler en amont des passages étroits. La rupture de ces embâcles provoque de puissants agents destructifs en aval.

I.2.2. Les facteurs anthropiques qui influencent l'inondation

- L'urbanisation et implantation d'activités dans les zones inondables constituent la première cause d'aggravation de ce phénomène, en parallèle, l'amélioration du niveau de vie et le développement des réseaux d'infrastructures ont accru de proportion notable les valeurs globales des biens et la gravité des activités exposées ;
- La diminution des champs d'expansion de crues consécutives à l'urbanisation et parfois aggravée par l'édification de digues en remblais ;
- L'aménagement parfois hasardeux des cours d'eau ; beaucoup de rivières ont été modifiées localement sans se soucier de conséquences en amont ou en aval. Ces aménagements (suppression de méandres, endiguement) peuvent avoir pour conséquences préjudiciables l'accélération des crues et l'altération du milieu naturel ;
- L'utilisation ou l'occupation des sols sur les pentes de bassin versant ; toute modification de l'occupation du sol (déboisement, suppression de haies, pratiques agricoles, imperméabilisation) empêche le laminage des crues et la pénétration des eaux et favorise une augmentation du ruissellement, un écoulement rapide et une concentration rapide des eaux [1,2].

I.3. Caractérisation du phénomène d'inondation

Le phénomène d'inondation est caractérisé par quatre paramètres :

I.3.1. La période de retour des crues

La crue correspond à une augmentation rapide et temporaire du débit d'un cours d'eau, plus cette période est grande plus les débits et l'intensité sont importants.

On distingue par ordre croissant :

- ❖ Crue fréquente : une crue de période de retour inférieure à 2 ans ;
- ❖ Crue moyenne : une crue de période de retour de 2 à 10 ans ;
- ❖ Crue rare : une crue de période de retour de 10 à 100 ans ;
- ❖ Crue exceptionnelle : au-delà de 100 ans.

1.3.2. La hauteur et la durée de submersion

La hauteur et la durée de submersion peuvent avoir un impact important sur les bâtisses et les personnes notamment lorsqu'elles dépassent la cote de référence qui est d'ordre de 1 mètre pour la hauteur et de 24 à 48 heures pour la durée.

1.3.3. La vitesse du courant

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

À titre d'exemple, à partir de 0,50 m/s, la vitesse du courant devient dangereuse pour l'homme [1.3].

I.4. Les différents types de lits

Ce sont les rivières, par les processus de l'érosion vont décomposer le bassin en plusieurs parties, les vallées et les plaines on l'on distingue les lits mineurs et majeurs de cours d'eau.

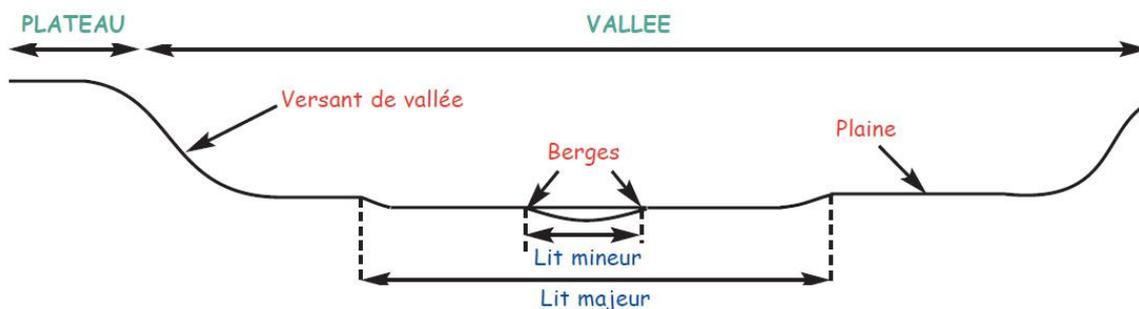


Fig. (I.1) Coupe transversale d'un bassin versant

Le lit mineur est l'espace occupé par l'écoulement pour des crues courantes. Il est constitué d'un ou plusieurs chenaux bien marqués. Par contre le lit majeur (ou plaine d'inondation) est limité par les plus hautes eaux. Les parties extrêmes du lit majeur ne sont mises en eau que pour les crues extrêmes. Il ya aussi le lit moyen (ou lit de débordement) qui est inondé pour des crues dont la période de retour est l'ordre de 1 à 5 ans [3].

I.5. Risque : Aléa, Enjeu et Vulnérabilité

« L'**aléa** est un phénomène physique, naturel et non maîtrisable, d'occurrence et d'intensité » aléatoire (pluies, typhon, inondation...).

Pour une inondation, « le terme d'aléa s'applique au phénomène physique à l'origine du sinistre, ici l'inondation. Il se caractérise par plusieurs paramètres hydrauliques qui expliquent la capacité plus ou moins destructrice de l'inondation. Il se caractérise également par sa probabilité d'apparition appelée aussi période de retour. » L'aléa « caractérise la submersion indépendamment de l'occupation des sols [1].

Les paramètres comme la période de retour des crues (fréquentes, moyennes, exceptionnelles et maximales vraisemblables), la hauteur et la durée de crue, la vitesse d'écoulement et le volume de matières transportées sont déterminants pour qualifier l'aléa inondation.

L'exposition qualifie la susceptibilité ou non d'une population ou d'une infrastructure à subir un endommagement éventuel en lien avec un aléa. Cette population, ces bâtiments, ces infrastructures ou ces activités exposées constituent des **enjeux**.

Les **enjeux** sont constitués de l'ensemble des personnes, des biens, activités, éléments du patrimoine culturel ou environnemental, menacés par un aléa ou susceptibles d'être affectés par des inondations.

La **vulnérabilité** est la sensibilité des populations et des activités localisées dans une zone exposée à un aléa. Elle « exprime et mesure le niveau de conséquences prévisibles de l'aléa sur les enjeux : dommages, arrêt d'un service... etc.

On distingue quatre types de vulnérabilité : physique dépend de la résistance de bâtiments, des installations et des infrastructures, systémique liée à l'organisation du territoire et sociale qui dépend de la population exposés en danger.

La gestion du risque d'inondation peut se décomposer en trois phases :

- La décision d'occuper un territoire constitue la phase préliminaire de la gestion du risque dite phase de prévention. Les méthodes qui conduisent à des modèles de prévention sont essentiellement statistiques, et peuvent être difficiles, voire impossibles à utiliser lorsque les observations historiques sont absentes ou insuffisamment.

- La phase de gestion de la crise consiste en la surveillance, l'annonce et la prévision d'un événement potentiel de crue afin de minimiser ses conséquences possibles, en agissant sur l'organisation des secours en particulier.
- L'analyse de l'événement et de ses conséquences, dite analyse post-crise, permet d'accroître le retour d'expérience et d'enrichir ainsi les deux premières phases de la gestion du risque [1].

I.6. Les différents types d'inondations

Il est classique de distinguer au moins cinq types d'inondations :

I.6.1. Les inondations des plaines

Se traduisent par le débordement d'un cours d'eau sorti de son lit habituel (lit mineur) et regagnant son lit majeur. Ce débordement peut être précédé ou suivi par des remontées de nappes phréatiques. Elles se caractérisent par une montée des eaux longues, peu rapide, et une durée de submersion pouvant atteindre quelques semaines.

I.6.2. Les inondations par crues torrentielles

Qui résultent de l'accélération du débit d'un cours d'eau suite à de fortes précipitations. Elles se caractérisent par une montée rapide des eaux, une vitesse d'écoulement très élevée et une durée de submersion très courte. Ces crues demeurent, malgré tout, exceptionnelles et constituent un grave danger pour les populations.

Lorsque des précipitations intenses tombent sur tout un bassin versant, les eaux ruissellent et se concentrent rapidement dans le cours d'eau, d'où des crues brutales et violentes dans les torrents et les rivières torrentielles. Le lit du cours d'eau est en général rapidement colmaté par le dépôt de sédiments et des embâcles peuvent former des barrages. Lorsqu'ils viennent à céder, ils libèrent une énorme vague, qui peut être mortelle.

1.6.3. Les inondations par ruissellement, en secteur urbain ou rural

Elles se manifestent soit en zone urbaine fortement imperméabilisée, soit en milieu rural avec érosions superficielles et réactivation des talwegs habituellement à sec.

L'imperméabilisation du sol (bâtiments, voiries, parkings, etc.) limite l'infiltration des pluies et accentue le ruissellement, ce qui 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.

Le ruissellement urbain peut provoquer d'importantes inondations lorsque les chenaux d'écoulement urbain sont devenus insuffisamment dimensionnés après urbanisation et imperméabilisation des sols (**Fig. I.2**).



Fig. (I.2) Inondations par ruissellement en secteur urbain

1.6.4. Les inondations par remontée de nappes phréatiques

Elles correspondent à une inondation par débordement indirect. Elles se manifestent par la remontée de la nappe phréatique qui affleure en surface et/ou par l'intrusion d'eau dans les différents réseaux d'assainissement. Ce phénomène concerne particulièrement les terrains bas ou mal drainés et peut perdurer (**Fig. I.3**).



Fig. (I.3) Inondation par remontée de nappe phréatique

I.6.5. Inondations par rupture d'une protection

L'inondation consécutive à une rupture de digue est un phénomène très brutal et d'autant plus dommageable que le site étudié est proche de la digue. Une rupture peut provoquer l'entrée d'un mur d'eau de plusieurs mètres de hauteur. Il est très difficile de prévoir la rupture d'un ouvrage de protection (**Fig. I.4**), ce qui rend la prévention de ce type d'accident particulièrement incertaine [1, 2,3].



Fig. (I.4) Rupture d'une protection

I.7. Les inondations en Algérie

L'Algérie est l'un des pays confrontés aux phénomènes des crues et d'inondations qui se manifestent de façon catastrophique constituant ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et social, ces inondations sont les catastrophes naturelles les plus destructives et même les plus fréquentes et provoquent d'importants dégâts humains et matériels.

Plusieurs régions de notre pays sont régulièrement menacées par ces catastrophes naturelles dont les impacts sont souvent intensifiés par d'autres facteurs qui aggravent les effets de crues telles que : l'urbanisation anarchique par l'occupation des zones inondables et la défaillance des réseaux d'eaux pluviales. Par conséquent, des inondations dramatiques ne sont pas toujours liées à des situations météorologiques exceptionnelles, mais dans beaucoup de cas, elles surviennent lors des événements pluvieux ordinaires et saisonniers.



Fig. (I.5) Ghardaïa, une ville sous la boue

Nous présentons dans ce qui suit un inventaire descriptif de quelques inondations catastrophiques survenues en Algérie.

Tableau (I.1) Bilan dommageable des inondations 1971-2004

Wilaya	Année	Dégâts humaines	Dégâts matérielles
Tiziouzou	1971 -1979	92 morts 18000 sinistres	130 villages isolés 13 ponts détruits
Annaba	1971-1976-1979- 1982	03 morts 1398 sinistres	03 morts 1398 sinistres
Constantine	1984	77 sinistres	200 ha de cultures détruites
Skikda	1984	11 morts 742 sinistres	8000 habitations envahies par les eaux
Jijel	1984_1985	20 morts 1840 sinistres	Dégâts évalués a 50 millions DA
Batna	1987	02 morts 70 sinistrées	Dégâts évalués à 02 millions DA
Biskra	1989	03 morts	400 palmiers et cultures de maraîchages détruite
B.B Arreridj	1994	16 morts 800 sinistres	Plusieurs ouvrages détruits
Babel Oued	2001	772morts, 126 sinistres	Plusieurs ouvrages détruits
Adrar	2004	01 mort	267 logements endommagés

Source (Ministère de l'intérieur /protection civil)

I.8. Causes et conséquences des inondations

I.8.1. Les causes des inondations

Les risques d'inondation sont dus à l'interaction complexe de plusieurs composantes, c'est le produit de la concomitance de facteurs naturels et anthropiques [3].

I.8.1.1. Les facteurs naturels

- ❖ Les pluies, les pentes ;
- ❖ Lithologie et morphométrie des bassins versant ;
- ❖ Couvert végétal et morphologie de lit.

I.8.1.2 Les facteurs anthropiques

- ❖ Urbanisation sauvage favorisée par des constructions sur les lits d'oueds ;
- ❖ Déforestation ;
- ❖ Absence de curage des oueds ;
- ❖ Absence d'entretien d'avaloirs et les fossés le long des routes ;
- ❖ Absence d'endiguement des oueds notamment dans les zones urbanisées ;
- ❖ Lâchers effectués à partir des barrages pour préserver l'ouvrage.

I.8.2. Les conséquences des inondations

Elles affectent les personnes, les communications, les biens et les activités mais aussi le milieu naturel.

La mise en danger des personnes survient surtout lorsque les délais d'évacuation sont trop courts ou inexistantes pour des crues rapides ou torrentielles sans exclure les crues de plaines. Dans les espaces urbanisés (constructions au bord d'oueds) la population exposée peut être très importante. Le danger se traduit par le risque d'être emporté ou noyé mais aussi par l'isolement sur des îlots coupés de tout accès, généralement les hauteurs d'eau supérieures à 1 mètre ou des vitesses de plus de 0.50 m/s sont dangereuses pour l'homme.

L'interruption des communications se manifeste par la coupure des routes et des voies ferrées, la perturbation des réseaux enterrés ou de surface.

Les dommages liés aux biens et aux activités révèlent de différentes formes. Ils touchent essentiellement les biens mobiliers et immobiliers. À côté des dommages évidents. (Habitats, pertes agricoles, machines endommagées), d'autres sont souvent peu connus (infrastructures d'équipement, impossibilité d'être ravitaillé, chômage technique, perte

d'activité). Mais aussi les activités agricoles sont généralement les plus touchées, par l'endommagement des ouvrages, les pertes agricoles...etc.

Les dégâts du milieu naturel dus à l'érosion et aux dépôts de matériaux, aux déplacements du lit ordinaire. Les phénomènes d'érosion, de charriage, de suspension de matériaux et d'alluvionnement participent à l'évolution du milieu naturel dans ces aspects positifs comme négatifs [1].

Conclusion

La problématique des inondations est particulièrement complexe à gérer. Elle exige une implication de nombreux acteurs aux intérêts souvent divergents sur l'ensemble du bassin versant.

Elle suppose également une implication courageuse des décideurs et particulièrement des élus locaux en ce qui concerne l'aménagement de leur territoire.

En effet, la gestion du risque d'inondation passe obligatoirement par la réduction de la vulnérabilité des biens et des personnes.

Chapitre II

Présentation de la zone d'étude.

Introduction

La ville de Bordj Bou Arreridj (BBA) occupe une place stratégique au sein de l'Est algérien. Elle se trouve à mi-parcours du trajet séparant Alger de Constantine. Le Chef-lieu de la wilaya est situé à 220 km à l'Est de la capitale, Alger.

II.1. Situation géographique

La ville de BBA est limitée administrativement comme suit :

- Au Nord : Medjana, Hasnoaua ;
- Au Sud : El Hammadia ;
- Au l'Ouest : El Achir ;
- Al'Est : Sidi Embarek, El Anasser.

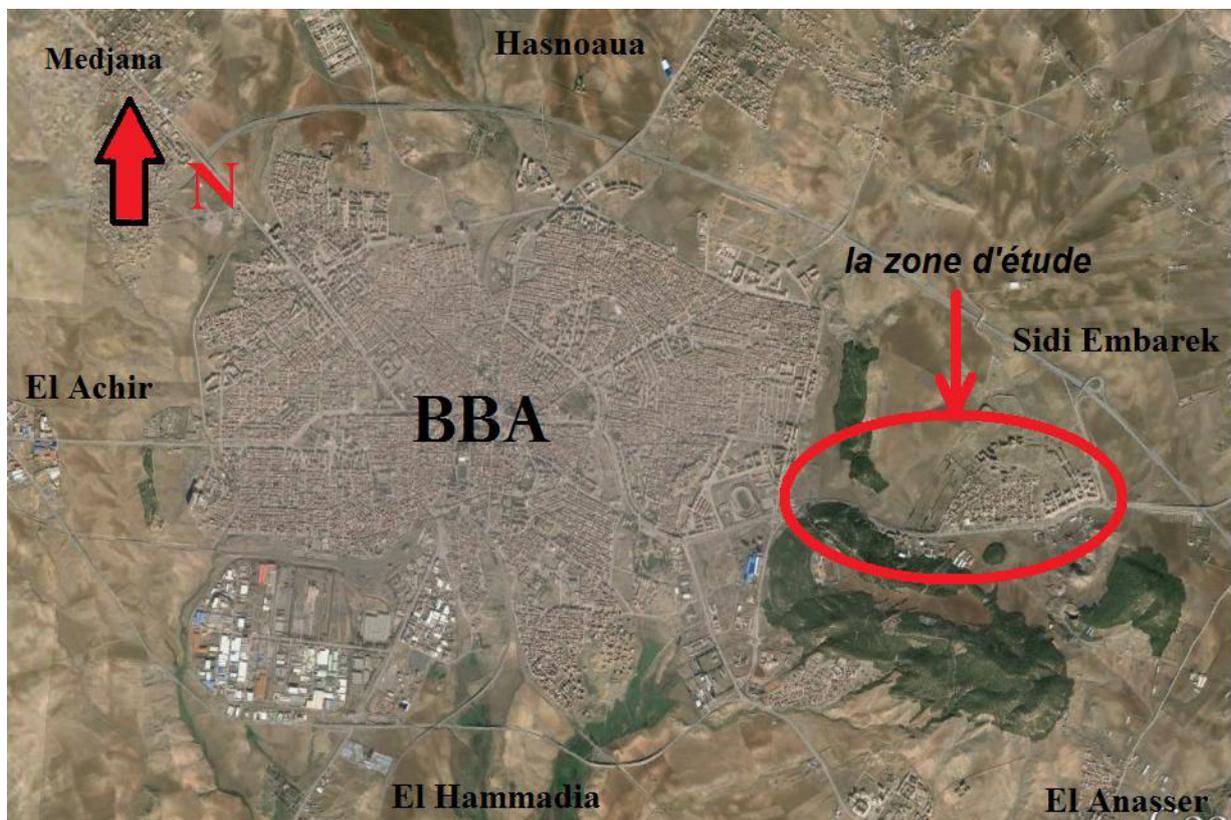


Figure (II.1) Situation géographique de la zone d'étude (Google Earth)

II.2. Données naturelles du site

II.2.1. Topographie du site

La zone d'étude se situe au centre des plaines de la Medjana, avec les montagnes de Mourissan au nord, les Maadhid au sud, les hauts plateaux à l'Est et les monts Tafartast et Djbel Mansoura à l'Ouest. Elle culmine à 920 mètres d'altitude.

II.2.2. Géologie du site

La géologie du site est illustrée sur la carte géologique de l'Algérie les explorations et tracés géologiques ont été effectués de 1903 à 1906 par M. J Savornin, préparateur de géologie et minéralogie à l'Ecole des sciences à ALGER à l'échelle 1/50000.

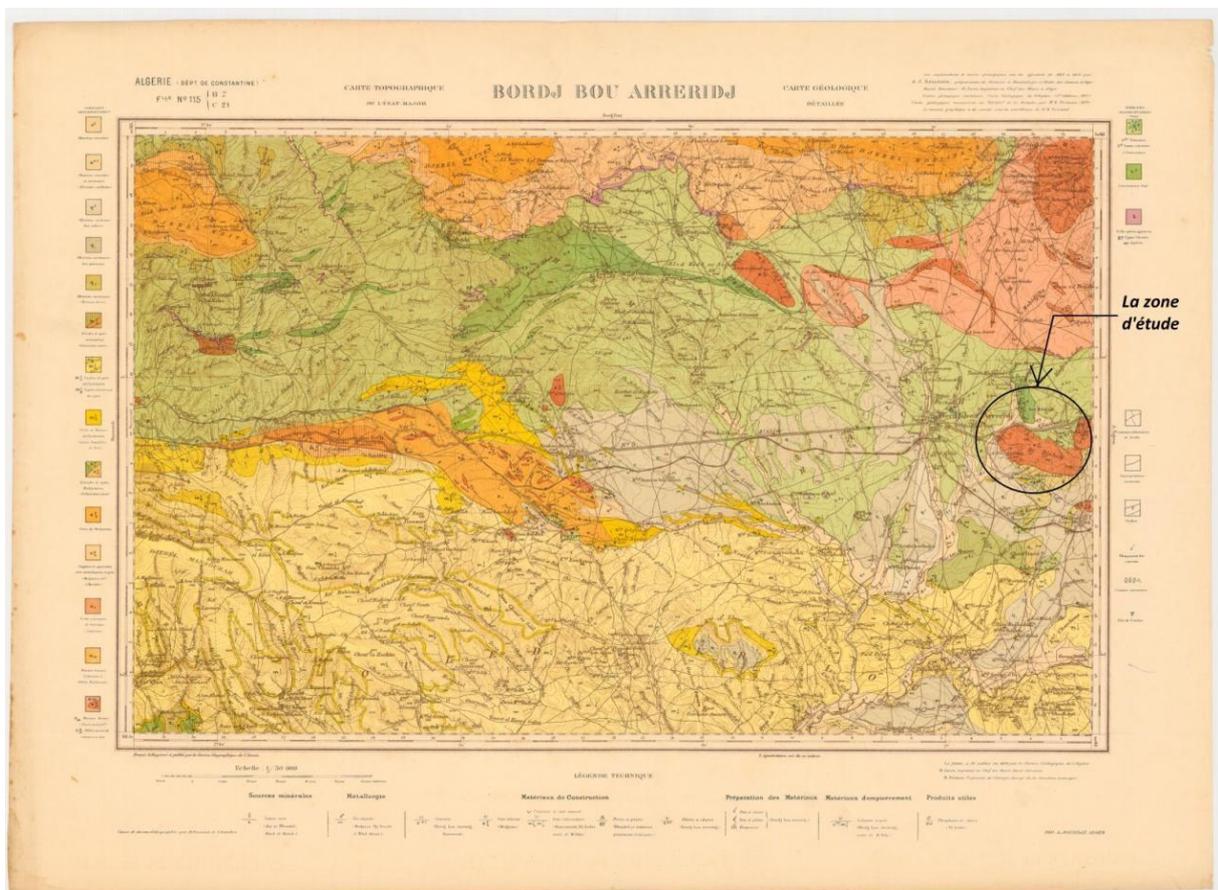


Figure (II.2) : Carte géologique de Bordj Bou Arreridj

II.2.2.1. Définition des roches qui se trouvent dans le site

On trouve six échantillons de roches qui existent dans le bassin versant de la zone d'étude.

a) Alluvions anciennes (niveaux élevés)

Témoins d'une première nappe caillouteuse, à éléments bien roulés, ordinairement cimentés en poudingue. Il n'en reste que d'étroits lambeaux au sommet de mamelons émergeant à la surface du plateau : Koudiat HOUCHIDA, K. LECHBOUR, K. TAGENNAGLIT, etc. Quelques fragments sont encore soudés aux reliefs entourant la MEDJANA, MORISSANE, DJEHIFA) et suspendus à d'assez fortes altitudes.

b) Alluvions récentes

Limons argileux : petites plaines marécageuses de quelques ruisseaux (autour de Bordj et de Blondel). Plainnes d'inondations.

c) Calcaires marneux gris

A patine très blanche, ordinairement riches en empreintes superficielles d'**Incérâmes** (*In. regularis*, *In. Goldfussi*, etc.); quelquefois empreintes de ficoïde. Attribués au Sénonien supérieur (Aturien pars).

d) Sénonien

Marnes noires ordinairement schisteuses et calcaires marneux gris. Assise certainement très puissante, mais surtout fortement plissée. Nombreux gisements fossilifères, riches en individus sinon en espèces: *OstreaSantonensis*, *O. vesicularis*, *O. Villei*. Etc. ; moules de bivalves et de gastropodes; échinides un peu plus rares (localisés): *Cyphosoma*, Mansour vers le Bled OUM YAHIA. Les huitres, fort nombreuses, semblent indiquer l'Emschérien et l'Aturien, c'est-à-dire l'étage sénonien complet qu'il n'a pas été possible de subdiviser.

e) Calcaires à silex

Classiques en Algérie. Quelquefois calcaires marneux sans silex. Assise surtout intéressante par l'imprégnation de phosphate de chaux, ou même par la présence de bancs à nodules phosphatés (coprolithes).

f) *Trias ophito-gypseux*

Argiles bariolées, cargneules, brèches calcaires et dolomitiques, masses de gypse, d'ophites. Affleurements très nombreux, de tout ou partie de ces roches associées; aucun fossile. L'âge triasique de l'ensemble est suffisamment révélé par le groupement lithologique.

II.3. Situation climatique

La ville de Bordj Bou Arreridj est caractérisée par un climat de type continental, semi-aride. Froid rigoureux et humide aux hivers et aux étés secs et chauds.

Les infrastructures météorologiques existantes à travers la wilaya sont :

Tableau (II.1) Répartition des stations météorologiques à travers la Wilaya

Type d'infrastructures	Nombre	Localisation
Station de météorologie	01	Forêt de BOUMERGUED
Station de météorologie	01	BBA, route de Medjana

SOURCE : ANRH de Bordj Bou Arreridj

II .3.1 La température

La température mensuelle moyenne est de 14.7 °C d'après la station météo BBA.

La température minimale de mois le plus froid janvier est de 0.8 °c.

La température minimale de mois le plus chaud Juillet/ Août est de 25 °c.

Tableau (II.2) Températures moyennes mensuelles de la période (1995-2000).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T min (°C)	0,8	1,5	3,2	6,6	9,7	15,3	17,9	17,2	13,9	9,9	4,9	2,1
T max (°C)	10,3	10,4	14,6	18,4	22,2	29,3	34,2	32,4	27,4	21,1	14,6	10,8
T moy(°C)	5,5	5,9	8,9	12,5	15,9	22,8	26,1	24,8	20,6	15,5	9,7	6,4

Source : la station météorologique de la Wilaya de BBA.

II.3.2. La vitesse du vent

Les vents sur les deux stations de Bordj Bou Arreridj ont enregistré toute l'année une moyenne annuelle de 2.9 m/s, les plus fréquents sont les vents chauds du sud qui interviennent à partir du mois de Mai jusqu'au mois d'Août avec des fréquences variant entre 3.0 et 3.1 et m/s.

Tableau (II.3) Vitesse moyenne du vent (m/s)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy annuelle
V (m/s)	2.4	2.4	3.1	3.3	3.2	3.4	3.2	3.0	2.9	2.7	2.6	2.7	2.9

Source : la station météorologique de la Wilaya BBA.

II.3.3. Gelées

La connaissance de ce facteur climatique est très utile, car l'intervention de la gelée dans la zone provoque l'état de dormance de la végétation.

Tableau (II.4) Nombre de jours de gelées

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy annuelle
N ^{bre} de jours de gelées	10.1	9.0	4.6	3.0	1.0	-	-	-	-	-	2.0	8.3	38

Source : la station météorologique de la Wilaya BBA.

II.3.4. Neige

Le nombre de jours où elle a neigé, observé au niveau de la station de BBA est de 13 jours en moyenne. La chute de neige est fréquente en hiver et se prolonge jusqu'au printemps avec des valeurs variables.

Tableau (II.5) Nombre de jours de neiges

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy annuelle
N ^{bre} de jours de neiges	2.6	4.0	2.0	1.0	-	-	-	-	-	-	-	3.5	13.1

Source : la station météorologique de la Wilaya BBA

II.3.5. Insolation

L'insolation par définition est le nombre d'heures pendant lesquelles le soleil a brillé. Les fréquences les plus élevées sont visibles en période chaude allant du mois Mai au mois d'Août avec un maximum de 11.3 heures au mois de Juillet.

Les valeurs inférieures à la moyenne annuelle sont enregistrées dans la période hivernale et printanière avec un minimum de 5.6 heures au mois de Janvier. La moyenne annuelle du nombre d'heures d'insolation est de 8.34 heures.

Tableau (II.6) Nombre d'heures d'insolation

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyannuelle
Nbre d'heures d'insolation	5.6	7.2	7.3	8.4	10	10.7	11.3	10.5	8.6	7.4	6.6	6.5	8.34

Source : la station météorologique de la Wilaya BBA

II.3.6. Humidité relative

Elle représente le rapport entre la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air et la pression de saturation à la même température, d'après les relevés de la station de BOURDJ BOUARREDJ (période 1990 – 2002), il apparaît que le taux d'humidité le plus élevé est observé en hiver (77% en décembre).

Tableau (II.7) Répartition mensuelle de l'humidité relative

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy annuelle
H Moy(%)	79,05	79,98	76,53	68,77	63,25	46,5	37,22	45,37	57,18	69,9	76,75	82,48	66,5
H Max(%)	93,03	92,6	93,1	88,6	88,3	72,9	58,6	68,4	80,2	88,6	92	94,1	84,9
H Min (%)	60,4	59,2	56,8	47,4	41	26,9	19,2	23,6	33,4	47,2	52,33	63,13	45,8

Source : la station météorologique de la Wilaya BBA.

L'humidité se manifeste durant sept mois pendant l'année, soit du mois d'octobre au mois d'avril où les valeurs sont toutes supérieures à la moyenne annuelle. Le reste de l'année notamment la période qui coïncide avec la forte température, l'humidité ne s'abaisse pas au-dessous de la valeur de l'humidité moyenne annuelle est de l'ordre de 35 %.

II.3.7. La pluviométrie

Le régime pluviométrique est irrégulier en quantité et intensité, les pluies mensuelles moyennes sont observées par la station météorologique la plus proche de coordonnées :

- Longitude : 04,67 E
- Latitude : 36,07 N
- Altitude : 928 m

Tableau (IV.8) Répartition mensuelle de la précipitation

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Moyenne de précipitation	48	35	40	29	41	22	11	7	33	31	49	46	397
Nbre de jours	11	10	11	8	8	6	3	3	6	7	10	12	95

Source : la station météorologie de la wilaya de BBA

II.4. Démographie

Pour l'estimation de la population à l'horizon futur nous utiliserons l'expression des intérêts composées :

$$P_n = P_o (1+T)^n$$

D'où :

P_n : Population future à l'horizon voulu ;

P_o : Population actuel pour l'année 2008 ;

T : Taux d'accroissement (1.3%) ;

N : Nombre d'années séparant l'année de futur et l'année de référence.

Tableau (II.9) Estimation de la population à l'horizon futur

<i>Localité</i>	<i>NOMBRE D'HABITANTS</i>						
	Horizon 2008	Horizon 2014	Horizon 2020	Horizon 2025	Horizon 2030	Horizon 2035	Horizon 2040
BBA Est	4350	4762	5079	5418	5780	6165	6576

Conclusion

Après la définition des données concernant notre agglomération du point de vue géographique, topographique, climatologique et ainsi que la démographie, nous procédons à élaborer une étude qui consiste à aménager la partie Est de la ville de Bordj Bou Arreridj pour protéger l'agglomération de la ville contre les inondations en temps de crues.

Chapitre III

Etude hydrologique

Introduction

Le dimensionnement, la sécurité et la bonne exploitation des ouvrages hydrauliques sont étroitement liés aux paramètres hydrologiques notamment les apports et les débits de crues.

L'hydrologie est la science de la terre qui s'intéresse au cycle de l'eau, c'est-à-dire aux échanges entre l'atmosphère et la surface terrestre. On parle d'hydrosphère pour désigner la partie de la planète dans laquelle l'eau se trouve. Les cycles hydrologiques sont donc présents dans l'hydrosphère.

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

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

III.1. Morphométrie

Les caractéristiques morphométriques sont calculées à partir de la carte topographique à l'échelle 1/50.000.

III.1.1. La surface

La surface topographique est le paramètre le plus important, il permet de contrôler l'intensité de plusieurs phénomènes hydrologiques (apport ; volume de précipitation ou infiltration) elle est déterminée par l'outil informatique (logiciel AUTOCAD) sur la carte topographique [4].

III.1.2 Le périmètre

Le périmètre correspond à la limite extérieure du bassin. Chaque bassin réagit d'une façon propre aux précipitations qu'il reçoit. Ces caractéristiques hydrologiques sont fonction d'une part du climat qu'il subit et d'autre part de son propre milieu physique [4].

III.1.3. Indice de compacité de Gravelius

Indice de Gravelius « K_C » Appel aussi indice de forme, cet indice caractérise la forme du bassin, il nous permet de faire une transformation purement géométrique en un rectangle de dimension L et l ayant la même surface que le bassin versant [4].

$$K_C = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} \dots \dots \dots (III.1)$$

Avec

P_{BV} : Périmètre du bassin versant en Km

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

S_{BV} : Surface du bassin versant en km^2 .

$$S = L \times l \dots \dots \dots (III.3)$$

En fonction de K_C les bassins versants sont classés comme suit :

$K_C = 1$ bassin versant circulaire

$K_C = 1,2$ bassin versant carré

$K_C < 1,2$ bassin versant rectangulaire ou allongé

III.1.4. Le rectangle équivalent

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

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

La longueur du rectangle équivalent :

$$L = \frac{k_c \cdot \sqrt{S}}{1.128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{k_c} \right)^2} \right) \dots \dots \dots (III.4)$$

La largeur du rectangle équivalent :

$$l = \frac{k_c \cdot \sqrt{S}}{1.128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{k_c} \right)^2} \right) \dots \dots \dots (III.5)$$

Les résultats des paramètres morphométries sont résumés dans le tableau suivant

Tableau (III.1) les paramètres morphométrie des sous bassin

Sous bassins	Surface (Km ²)	Périmètre(Km)	Kc	L (Km)	l (Km)
SB01	7.31	12.02	1.24	4.22	1.70
SB02	6.03	13.62	1.55	5.03	1.18
SB03	2.46	7.32	1.31	2.73	0.89

III.1.5. Le relief

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

III.1.5.1. Courbes hypsométriques

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

Les courbes hypsométriques demeurent un outil pratique pour comparer plusieurs bassins entre eux ou les diverses sections d'un seul bassin [5].

III.1.5.2. Les altitudes caractéristiques

Elles sont obtenues directement à partir de cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le bas, généralement à l'exutoire.

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière [5].

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

$$H_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot H_i}{S} \dots\dots\dots(III.6)$$

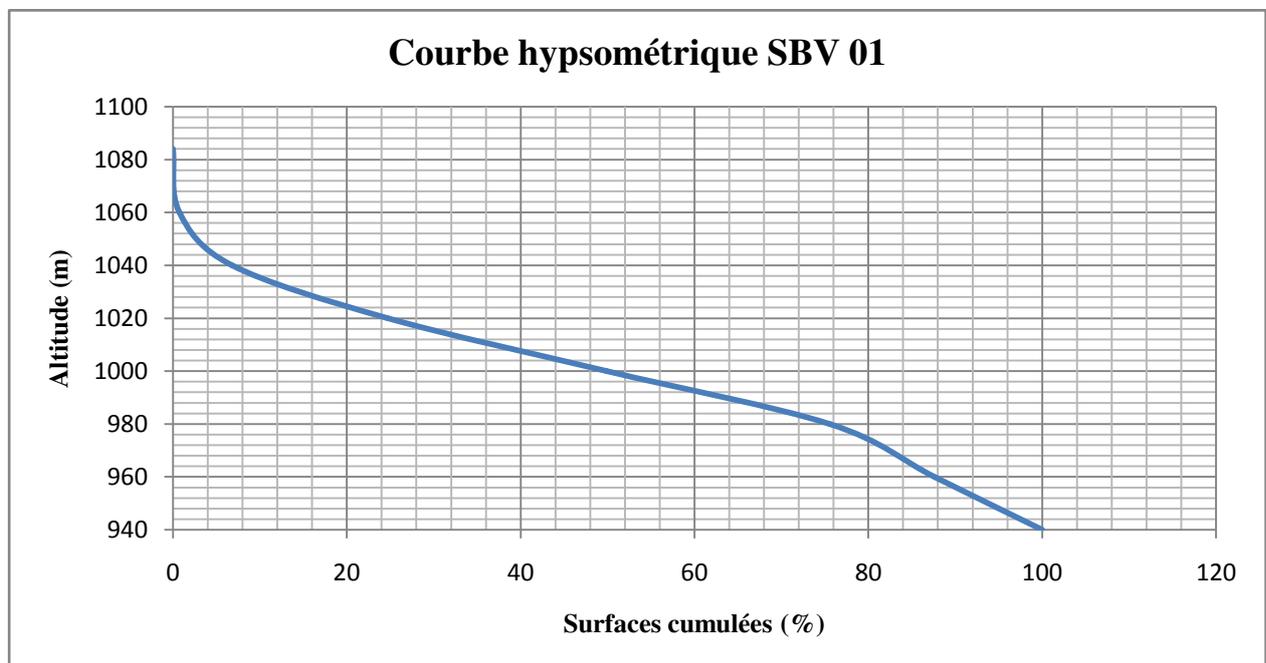
$$H_i = \frac{H_{n+1} + H_n}{2} \dots\dots\dots(III.7)$$

Avec :

H_i : Altitude moyenne entre 2 courbes de niveaux consécutives en m

S_i : surface partielle comprise entre 2 courbes de niveaux consécutives en km^2

S : surface totale du bassin versant en km^2



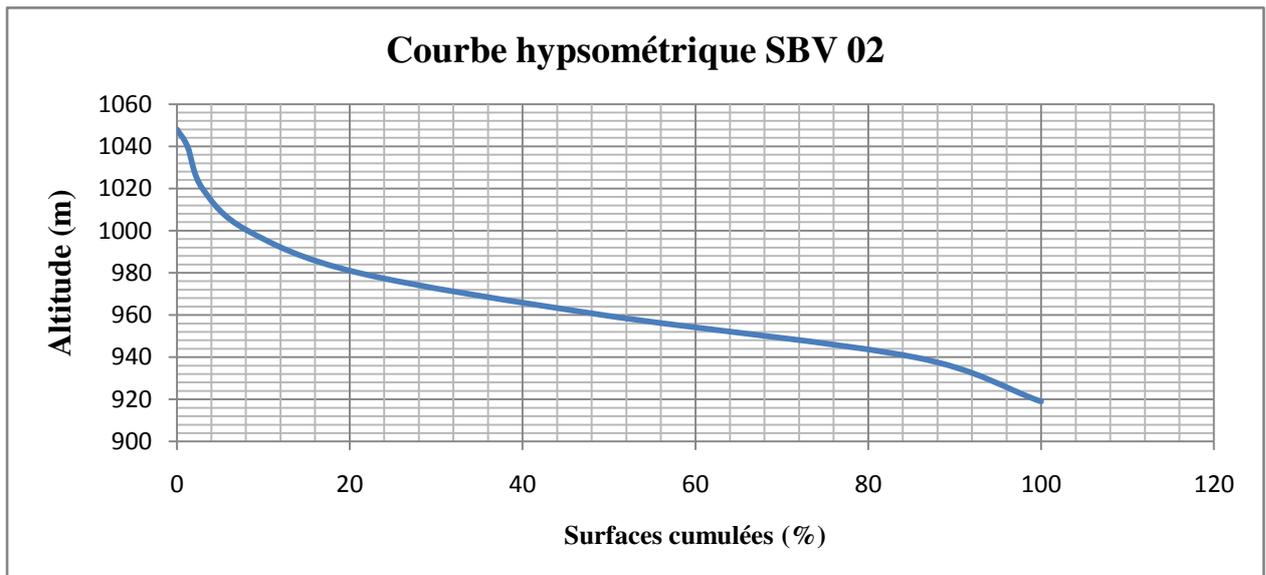
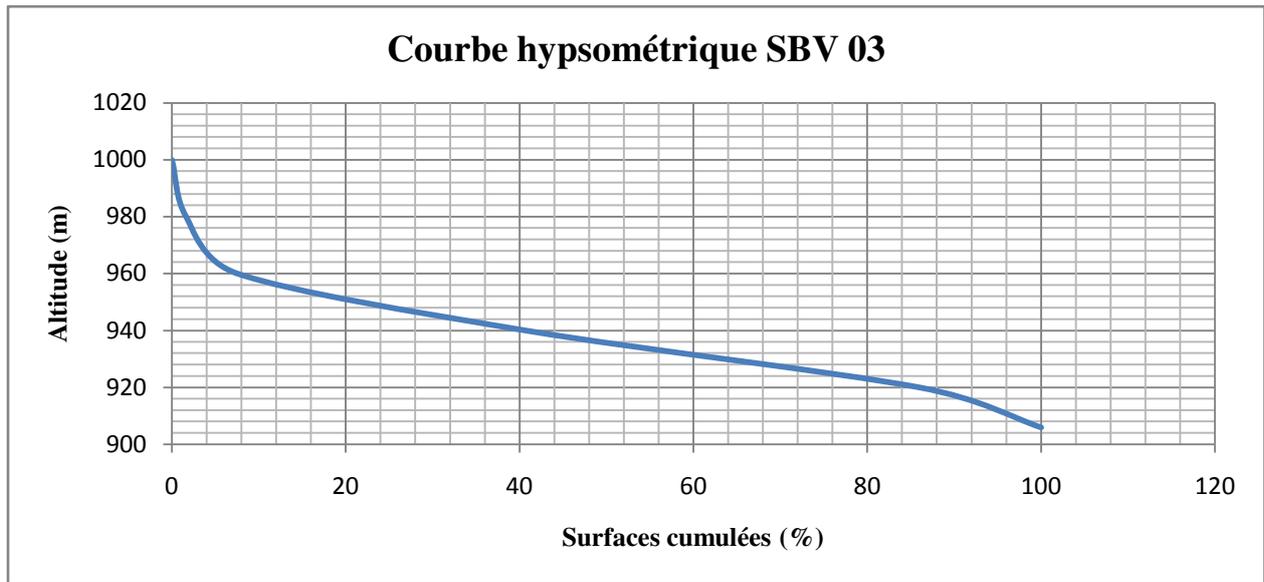


Fig. (III.1) Courbes hypsométriques des sous bassins versants

Les résultats dans le tableau suivant :

Tableau (III.2) les altitudes caractéristiques

Sous bassins	SB1	SB2	SB3
Hmax (m)	1084.00	1048.00	1000.00
Hmin (m)	940.00	919.00	906.00
Hmoy (m)	999.08	963.46	937.63
Hmed (m)	1000.00	960.00	936.00

III.1.5.3. Indice de pente globale (I_g)

Il est défini comme étant le rapport entre l'altitude comprise entre 5% et 95% de la surface du bassin et la longueur du rectangle équivalent .on prend deux points S_1, S_2 sur l'axe des abscisses tels que 90% de la surface du bassin versant soit comprise entre ces deux valeurs et que 5% de la surface totale du bassin versant soit inférieure à S_1 et 5% soit supérieure à S_2

Les altitudes correspondantes sont lues la courbe hypsométrique .Il est donné par la formule suivante :

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

Avec : D : Dénivelée entre $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$ (m)

L : longueur du rectangle équivalent (Km)

$H_{5\%}$ et $H_{95\%}$: sont respectivement Les altitudes correspondantes à $S_{5\%}$ et $S_{95\%}$

Les résultats dans le tableau suivant :

Tableau(III.3) Indice de pente globale (I_g)

Sous bassins	$H_{5\%}$ (m)	$H_{95\%}$ (m)	$H_{5\%} - H_{95\%}$	L (km)	lg(m/ km)	I_g (%)
SB1	1043	948	95	4.22	22.51	2.251
SB2	1009	928	81	5.03	16.10	1.610
SB3	964	912	52	2.73	19.04	1.904

III.1.5.4. Pente moyenne des bassins versants (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.

Elle est donnée par la formule suivante :

$$I_m = \frac{\Delta H (0.5l_1 + l_2 + l_3 + \dots + 0.5l_n)}{S} \dots\dots\dots(III.9)$$

Avec

ΔH : Dénivelée entre deux courbes de niveaux (m) ;

L_i : longueur de la courbe de niveau d'ordre 1,2, 3,....., n (m) ;

S : Surface du bassin versant (Km²).

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant

Tableau (III.4) pentes moyennes des bassins versant I_m

Sous bassins	SB1	SB2	SB3
$I_m(\%)$	6.88	7.14	6.115

III.1.5.5. Dénivelée spécifique

Elle sert à comparer les indices de pentes du bassin de superficie différentes, d'après la deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M appliquée à tout le bassin quel que soit sa surface. Elle est donnée par la formule :

$$D_s = I_g \sqrt{S} \dots\dots\dots(III.10)$$

Les résultats dans le tableau suivant :

Tableau (III.5) dénivelée spécifique des bassins versant

	S (km ²)	$I_g(m/km)$	$D_s (m)$	Nature du relief
SBV1	7.31	22.51	60.86	Modéré
BV02	6.03	16.01	39.39	Assez faible
BV03	2.24	19.04	29.86	Assez faible

III.2. Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. La différenciation du réseau hydrographique d'un bassin est due à 4 facteurs principaux, la géologie (nature des roches, sensibilité plus ou moins forte à l'érosion), le climat, (densité du réseau plus ou moins importante), la pente du terrain et l'action de l'homme (drainage, construction de barrages, endiguement). Le réseau hydrographique est sans doute une des caractéristiques les plus importantes du bassin, Le réseau hydrographique peut prendre une multitude de formes [6].

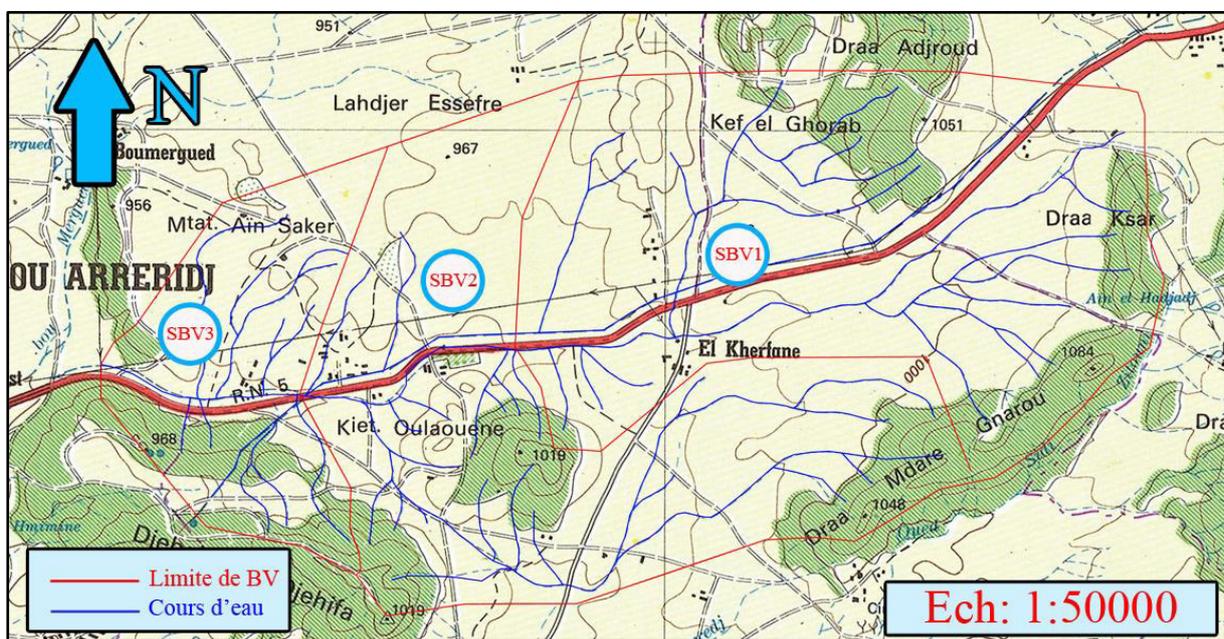


Fig. (III.02) Réseau hydrographique du Bassin versant (Carte d'Etat Major)

III.2.1. La densité de drainage

La densité de drainage est définie comme étant le rapport entre la longueur totale de tout les talwegs L_1 du bassin versant à la surface totale S . Elle reflète la dynamique du bassin la stabilité du chevelu hydrographique et le type de ruissellement de surface. Elle est exprimée en Km/ Km^2

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S} \dots\dots\dots(III.11)$$

Avec :

D_d : densité de drainage [km/km^2] ;

L_i : longueur de cours d'eau [km] ;

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

Les résultats dans le tableau suivant

Tableau. (III.6) Les densités de drainage

Sous bassins	SB1	SB2	SB3
L_i (km)	8.52	19.0132	21.38
Dd (km /km ²)	1.16	3.15	8.69

III.2.1.1. La pente moyenne du cours d'eau principal

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

$$P_{moy} = \frac{\Delta H}{\Delta L} \dots \dots \dots (III.12)$$

P_{moy} : pente moyenne du cours d'eau [m/m] ;

ΔH : dénivellation entre deux points suffisamment distance $H_{5\%}$ - $H_{95\%}$ [m] ;

ΔL : longueur du cours d'eau principal [m].

Les résultats dans le tableau suivant

Tableau (III.7) Les pentes moyennes des cours d'eau principales

Sous bassins	SB1	SB2	SB3
P_{moy} (m /Km)	19.38	54.72	39.69

III.2.1.2. Le temps de concentration

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

Théoriquement on estime que T_C est la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement. Pratiquement le temps de concentration peut être déduit de mesures sur le terrain ou s'estimer à l'aide de formules le plus souvent empiriques [5].

a) Formule de GIANDOTTI

$$T_C = \frac{4. \sqrt{S} \cdot 1.5+L}{0.8 \cdot \sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \dots\dots\dots(III.13)$$

S : Surface du bassin versant en [Km2]

L: longueur du talweg principale en [Km]

$H_{moy} - H_{min}$: respectivement la hauteur moyenne et minimale du B.V en [m].

b) Formule de CALIFORNIA

$$T_C = \left(\frac{0.87-L^3}{H_{max} - H_{min}} \right)^{0.386} \dots\dots\dots(III.13)$$

L : longueur du talweg principale en [Km].

Hmax- Hmin : respectivement la hauteur maximale et minimale du B.V en [m]

C) Formule de KIRPICH

$$T_C = 0.06615 L_p^{0.77} I_g^{-085} \dots\dots\dots(III.14)$$

I_g : indice de pente globale.

L_p : longueur du talweg principal en (Km).

Les résultats de la différente méthode dans le tableau suivant

Tableau (III.8) Les temps de concentration

Formules	SB1	SB2	SB3
GIANDOTTI	2.95	2.26	1.83
CALIFORNIA	0.97	0.23	0.22
KIRPICH	1.128	0.59	0.47

Remarque :

Sur la base de ces résultats, et la considération du talweg principal, nous nous proposons d'adopter les valeurs trouvées par la formule de **GIANDOTTI** qui est d'emploi fréquent en Algérie parce qu'elle tient compte de tous les paramètres géométriques du bassin.

III.2.1.3. Vitesse moyenne de ruissellement

Cette vitesse est donnée par la formule :

$$V_C = \frac{L}{T_c} \dots\dots\dots(III.15)$$

Avec :

L : Longueur de talweg principal en [Km].

T_c : temps de concentration en [heure].

Les résultats de la vitesse moyenne de ruissellement dans le tableau suivant :

Tableau (III.9) La vitesse de ruissellement

Sous bassins	SB1	SB2	SB3
V_R (Km /h)	1.66	0.65	0.72

Tableau (III.10) Caractéristiques hydro-morpho métriques des bassins versants

Caractéristiques	BV 1	BV 2	BV 3
1-Morphométrie			
Surfaces (Km ²)	7.31	6.03	2.46
Périmètres (Km)	12.02	13.63	7.32
Longueur des talwegs principaux (km)	4.9	1.48	1.31
Indice de compacité Kc	1.24	1.55	1.31
Longueurs de R-E (Km)	4.22	5.03	2.73
Largeurs de R-E (Km)	1.70	1.18	0.89
2-Les reliefs			
Altitudes max (m)	1084	1048	1000
Altitudes moy (m)	999.08	963.46	937.63
Altitudes min (m)	940	919	906
Altitudes 5 % (m)	1043	1009	964
Altitudes 50% (m)	1000	960	936
Altitudes 95 % (m)	948	928	912
3Indice de pente globale Ig (%)	2.25	2.61	1.904
Les pentes moyennes des BV Im (%)	6.58	6.14	3.115
3-Le réseau hydrographique			
Densité de drainage Dd (Km/Km ²)	1.6	3.15	8.69
Pentes moy des cours d'eau principal (%)	1.938	5.472	3.969
Temps de concentration choisie (h)	2.95	2.26	1.83
Vitesse moyenne ruissellement (Km/h)	1.66	0.65	0.72

III.3. Analyse des données pluviométriques

III.3.1. Pluie moyenne annuelle

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

Les paramètres de la station pluviométrique de Bordj Bou Arreridj, considérée la plus proche au bassin sont :

Tableau (III.11) La station pluviométrique

Station	Code	Source	Coordonnées			Années	
			X (km)	Y (km)	Z (m)	D'observation	N
<i>Boumergued</i>	<i>0509005</i>	<i>ANRH</i>	<i>658.739</i>	<i>310.068</i>	<i>1022</i>	<i>1982-2011</i>	<i>30</i>

III.3.2. Pluies maximales journalières

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

Tableau (III .12) Série des pluies maximales journaliers a la station Boumergued

Année	Jan	Fév	Mar	Avril	Mai	Jui	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Max
1982	60,1	22,3	54,6	63	72,6	14,7	1,1	10,5	24,2	69,7	76,4	46	76,4
1983	1	23,2	13,6	39,3	19,2	3	2,3	26,7	0	10,8	15,7	10,8	39,3
1984	52,3	50,6	20	28,6	25,4	7,3	8,8	11,4	10,5	59,1	22	43,4	59,1
1985	40,3	22,1	60,9	22,7	50,5	1,1	2,6	0	94,5	33,5	28,6	24,7	94,5
1986	29,2	46	109,5	17,1	32,5	18,6	0	3,1	24,9	36,1	24,1	64,2	109,5
1987	22,5	45,5	21,9	10,9	35,6	18	29	3,1	15,2	29,7	54,1	23,1	54,1
1988	19,5	7,9	34,3	28,8	38,1	23,5	0	0,2	29,6	6,4	45,5	83,2	83,2
1989	11,2	22	11	81,7	11,6	28,9	5,9	34,3	43	12,9	25,4	20,4	81,7
1990	37,1	0,9	34,9	71,1	91,1	31,4	23,1	18,7	20	2,2	49,2	43,7	91,9
1991	5	43	63,2	25,8	41,4	7	28,1	17,7	72,5	72,3	18,6	13,6	72,5
1992	46,5	25,3	49,1	47,2	83	29,9	38,4	1,1	27,7	18,7	27,6	60	83
1993	18,4	24	31	12,5	44,2	4,5	7,4	10,7	51	29,7	39,9	18,3	51
1994	13,8	35,4	10,1	14,1	2,9	2,5	1,8	4,7	139,6	86,4	3,8	12	139,6
1995	113,6	18,6	73,5	18,9	5,4	28,8	3,5	3,5	69,9	12,1	17,6	18,5	113,6
1996	40,8	72,9	35,4	50,8	75	18,2	6,9	20,5	23,6	7,2	10,1	35,8	75
1997	41,2	6,6	3,2	47,7	39,9	21,5	1,4	17,8	53,7	28,3	63,1	18,9	63,1
1998	8,7	19,3	9,6	53,6	91,1	4,8	4	14	62	4,7	25	6,2	91,1
1999	65,3	16,3	24,6	2,4	9,2	11,4	4,1	11,5	95,1	25,8	16,6	72,3	95,1
2000	1	0,3	11	10,4	45,2	17,9	0,1	22,8	40,9	22,7	13,2	36,7	45,2
2001	75,9	14,5	4,2	16,9	18,2	1,1	0,2	2,3	89,3	10,6	21,3	2,7	89,3
2002	18,4	21,5	10,6	19,8	2,8	4,6	3,1	52,3	14	17,6	80,7	48,8	80,7
2003	122,1	31,5	14,1	84,5	18,5	54,1	6,3	25,9	12	68,3	16,8	97,3	122,1
2004	21,7	13,1	36,1	67,3	92,2	56,3	6,5	28,6	37,9	24,6	49,6	95,8	95,8
2005	42,2	35,1	13,3	43,3	4,8	41,3	4	5	37,4	27,5	59,5	29,2	59,5
2006	36,5	31,4	6,9	33,1	105,7	4,6	12,8	2,7	54,7	2,8	16,4	27,2	105,7
2007	11,1	40,9	88,5	117,7	22,6	33,1	0,7	4,3	77,3	36	18	6,9	117,7
2008	5,8	24,8	22,3	14,5	51,5	29,1	46,3	16,4	40,7	63,1	23,1	47,4	63,1
2009	55,4	28,9	32	66	10,2	3,1	24,7	33	48,8	9,2	34,2	34,1	66
2010	25,2	35,6	45,7	48,4	36,8	50,3	2,4	16,2	12,4	58	36,8	19,1	58
2011	18,9	63,8	29,3	51,8	51,1	14,7	11,3	25,3	60,2	37,2	19,5	19,5	63,8

III.3.3. Etude des précipitations maximales journalières

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

Pour notre étude on passe par les étapes suivantes:

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

Tableau(III.13) Caractéristiques de la série avec N=30ans

Caractéristiques	Formules	Valeurs
La somme des $P_{\max j}$ en (mm)	$\sum_{i=1}^{N=30} X_i$	2420.6 mm
la moyenne des $P_{\max j}$ en (mm)	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n=30} X_i}{n}$	80.68 mm
L'écart type « σ_x »	$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{31} (X_i - 80,68)^2}{30}}$	24.278
Coefficient de variation « C_v » :	$C_v = \frac{\sigma}{\bar{X}}$	0.30
L'exposant climatique :	b = 0.31 Donnée par ANRH DE B.B.A	

III.3.4. Choix de la loi d'ajustement

Comme il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométrique. L'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de la loi de probabilité. De la taille de l'échantillon et de certaines caractéristiques de l'échantillon. Toutefois. De nombreuses études comparatives. Autant empiriques que théoriques. Ont été menées afin de déterminer dans quelles circonstances une méthode d'estimation est la plus efficace pour une loi donnée.

Dans notre étude on va utiliser les deux lois suivantes :

1) la loi de **GUMBEL** ;

2) la loi de **GALTON (log-normal)**.

L'ajustement des pluies maximales journalières sera traité par logiciel **HYFRAN**. On a effectué l'ajustement de la série des pluies maximales journalières dans notre cas les deux lois suivantes. La loi de **Gumbel** (doublement exponentielle). **Galton** (log normale). Avec une comparaison des graphes de régression obtenue par les ajustements.

III.3.4.1. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de **GUMBEL**

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

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \dots\dots\dots(III.16)$$

Tel que: $y = a(x - x_0)$

1/a : la pente de la droite de GUMBEL

y : variable réduite de GUMBEL

x : précipitation maximale journalière (mm)

x_0 : ordonnée à l'origine en (mm)

On peut écrire : $y = - \ln (- \ln (F(x)))$

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

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

1.2.3.....n.

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

$$F(x) = \frac{m-0.5}{n} \dots\dots\dots(III.17)$$

m : rang de précipitation

n : nombre d'observations(30)

- calculer la variable réduite de *GUMBEL* donnée par la formule suivante :

$$y = - \ln (-\ln (F(x))) \dots\dots\dots (III.18)$$

- **Gumbel (Méthode des moments)**

Résultats de l'ajustement

Nombre d'observations: 30

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

T = 1/ (1-q)

Tableau (III.14) Résultats de l'ajustement à la loi de Gumbel

Période de retour (ans)	Probabilité (q)	XT (mm)	Ecart type	Intervalle de confiance 95%
100	0.99	156	17.39	122-190
50	0.98	143	14.93	114-172
10	0.9	112	9.25	94-139
5	0.8	98.15	6.85	84-111
2	0.5	76.	4.88	68-84

Tableau (III.15) Caractéristiques de l'échantillon

Gumbel (Méthode des moments)	Carac.de l'échantillon
Minimum	39.3
Maximum	139.6
Moyenne	80.66
Ecart type	24.27
Médiane	78.55
Coefficient de variation (C _v)	0.3

III.3.4.2. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON

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

$$F(X) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} \int_u^{+\infty} e^{-\frac{1}{2}u^2} du \dots\dots\dots(III.19)$$

Ou : $u = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma_x}$ (variable réduite de GAUSS)

L'équation de la droite de GALTON est la suivante

$$\text{Log } x(p \%) = \overline{\text{Log } x} + \delta \cdot \text{Log } u(p \%) \dots\dots\dots(III.20)$$

$$\text{Log } X = \frac{\sum_{i=1}^{30} \overline{\text{Log } X_i}}{N}$$

• **Galton (Log -Normal)**

Nombre d'observations : 30

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

Log normale (Maximum de vraisemblance)

Tableau (III.16) Résultats de l'ajustement à la loi de GALTON

Période de retour (ans)	Probabilité (q)	XT (mm)	Ecart type	Intervalle de confiance 95%
100	0.99	157	17.06	123-190
50	0.98	144.5	14.36	116-172
10	0.9	114.15	8.65	97-131
5	0.8	99.80	6.50	87-112
2	0.5	77.19	4.30	68-85

Résultats :

Value statistique T = 2.21

P-Value: P<0.99

Tableau (III.17) Caractéristiques de l'échantillon

Galton (Méthode des moments)	Carac.de l'échantillon
Minimum	39.3
Maximum	139.6
Moyenne	80.68
Ecart – type	24.78
Médiane	78.55
Coefficient de variation (C _v)	0.30

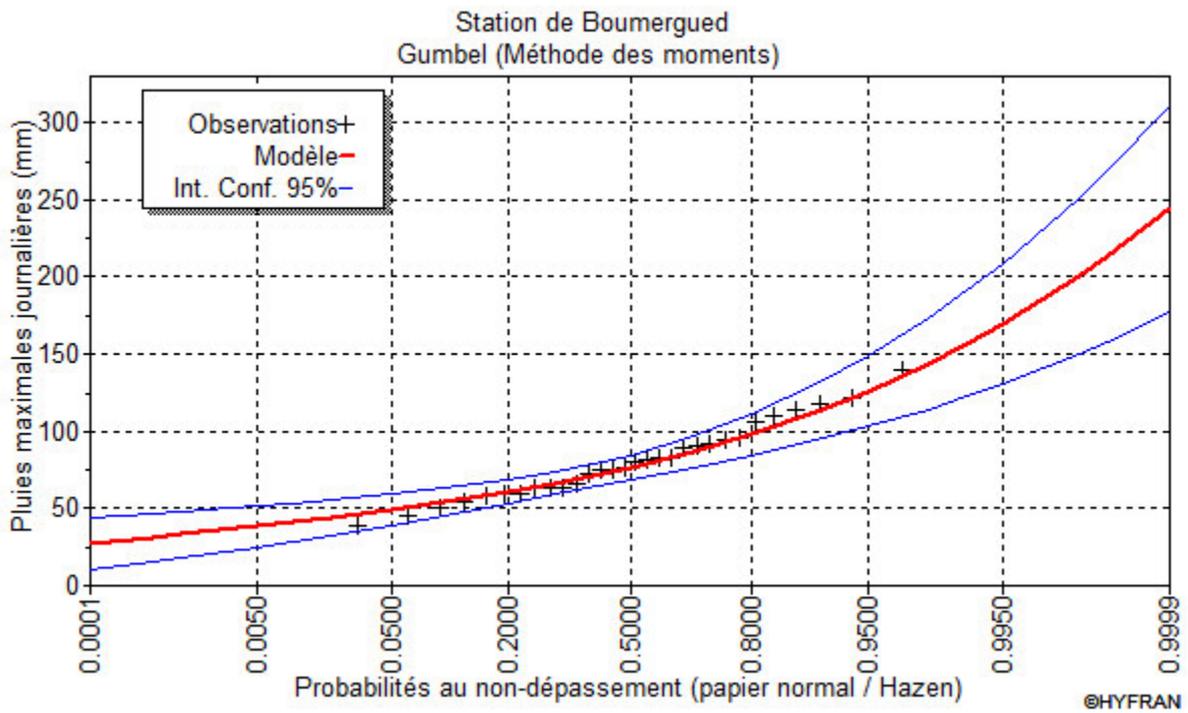


Fig. (III.3) Ajustement à la loi Gumbel

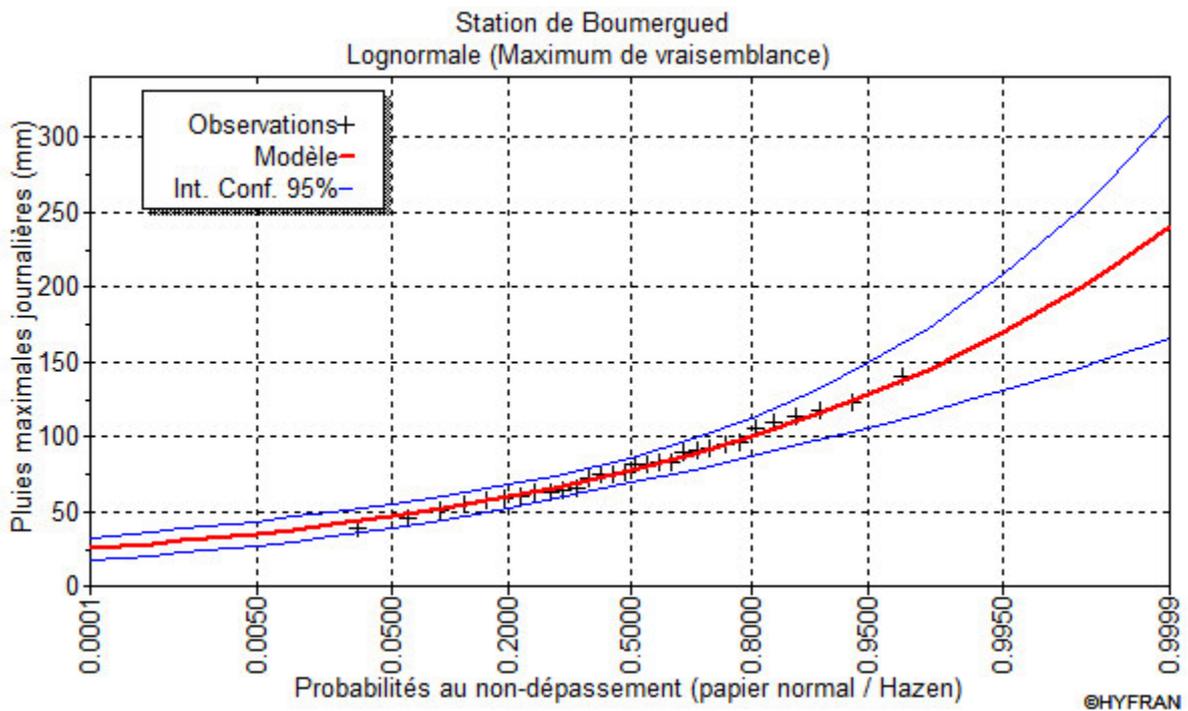


Fig. (III.4) Ajustement à la loi Log- normal

Remarque :

En utilisant les deux lois *Gumbel* et *Log normal*. On constate que les droites d'ajustement sont bien ajustées par rapport aux nuages de points expérimentaux.

Donc on opte pour la **loi Log -normale** mieux ajustée.

III.3.5. Pluies de courte durée

Le passage des pluies journalières maximales aux pluies de courtes durées est effectué au moyen de la formule K. Body (ANRH 1984).

$$P_{tc} = P_{maxj} \left(\frac{t}{24} \right)^b \dots\dots\dots(III.21)$$

Avec :

t : durée de l'averse

b : exposant climatique b = 0.31 selon les études régionales

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

$$I_t = \frac{P_{tc}}{t} \dots\dots\dots(III.22)$$

Avec :

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

P ct: Pluies de courte durée (mm)

It : Intensité maximale (mm/h)

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

Tableau (III.18) Pluies et intensités maximales de durée t (h) et de périodes retour

PDR	100		50		10		5		2	
	Pct	It	Pct	It	Pct	It	Pct	It	Pct	It
1	58,61	58,61	53,95	53,95	42,61	42,61	37,26	37,26	28,82	28,82
2	72,66	36,33	66,88	33,44	52,83	26,41	46,19	23,09	35,72	17,86
3	82,40	27,46	75,84	25,28	59,91	19,97	52,38	17,46	40,13	13,50
4	90,08	22,52	82,91	20,72	65,50	16,37	57,26	14,31	44,29	11,07
5	96,54	19,30	88,85	17,77	70,19	14,03	61,36	12,27	47,46	9,49
6	102,15	17,02	94,02	15,67	74,27	12,37	64,93	10,82	50,22	8,37
7	107,15	15,30	98,62	14,08	77,90	11,12	68,11	9,73	52,68	7,52
8	111,68	13,96	102,79	12,84	81,20	10,15	70,99	8,87	54,91	6,86
9	115,83	12,87	106,61	11,84	84,22	9,35	73,63	8,18	56,95	6,32
10	119,68	11,96	110,15	11,01	87,01	8,70	76,07	7,60	58,84	5,88
11	123,27	11,20	113,45	10,31	89,62	8,14	78,36	7,12	60,60	5,50
12	126,64	10,55	116,55	9,71	92,07	7,67	80,50	6,70	62,26	5,18
13	129,82	9,98	119,48	9,19	94,39	7,26	82,52	6,34	63,82	4,90
14	132,84	9,48	122,26	8,73	96,58	6,89	84,44	6,05	65,31	4,66
15	135,71	9,04	124,90	8,32	98,67	6,57	86,26	5,75	66,72	4,44
16	138,45	8,65	127,43	7,96	100,66	6,29	88,01	5,50	68,07	4,25
17	141,08	8,29	129,84	7,63	102,57	6,03	89,68	5,27	69,36	4,08
18	143,60	7,97	132,17	7,34	104,41	5,80	91,28	5,07	70,60	3,92
19	146,03	7,68	134,40	7,07	106,17	5,58	92,82	4,88	71,79	3,77
20	148,37	7,41	136,55	6,82	107,87	5,39	94,35	4,71	72,94	3,64
21	150,63	7,17	138,64	6,60	109,52	5,21	95,75	4,55	74,05	3,52
22	152,82	6,94	140,65	6,39	111,11	5,05	97,14	4,41	75,13	3,41
23	154,94	6,73	142,60	6,20	112,65	4,89	98,49	4,28	76,17	3,31
24	157	6,54	144,52	6,020	114,15	4,75	99,85	4,15	77,19	3,21

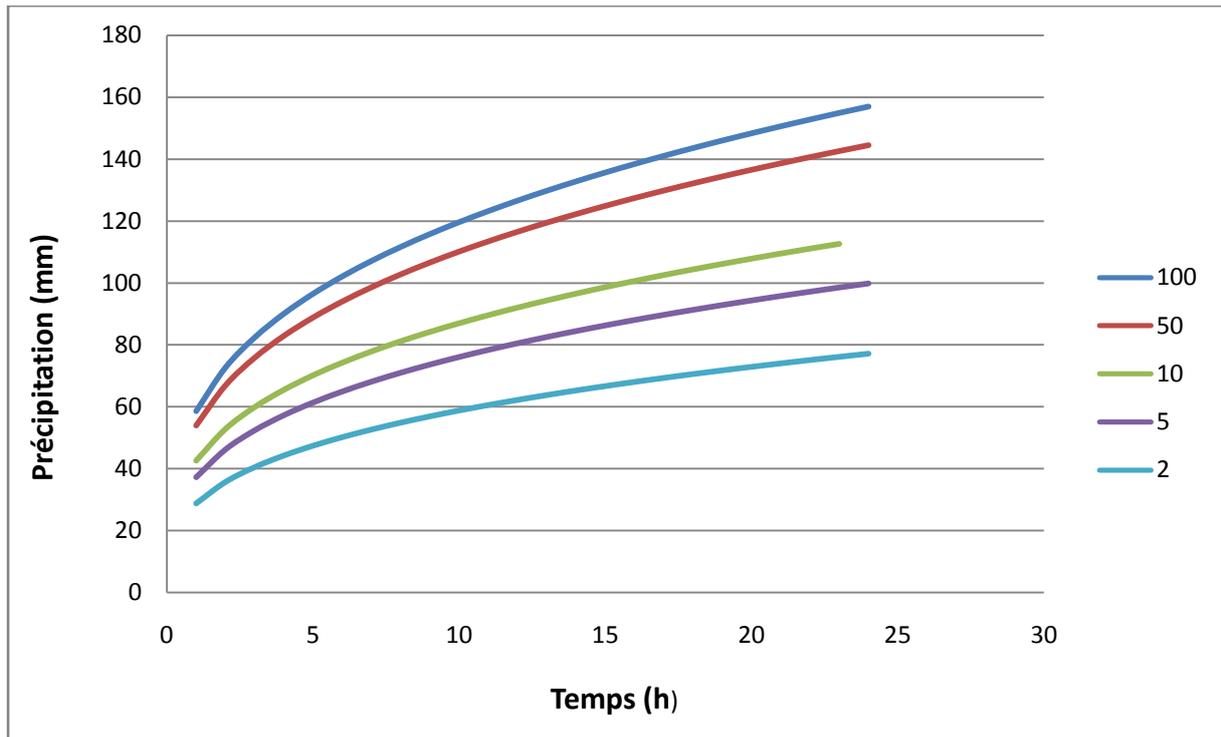


Fig. (III.5) courbes des pluies fréquentielles

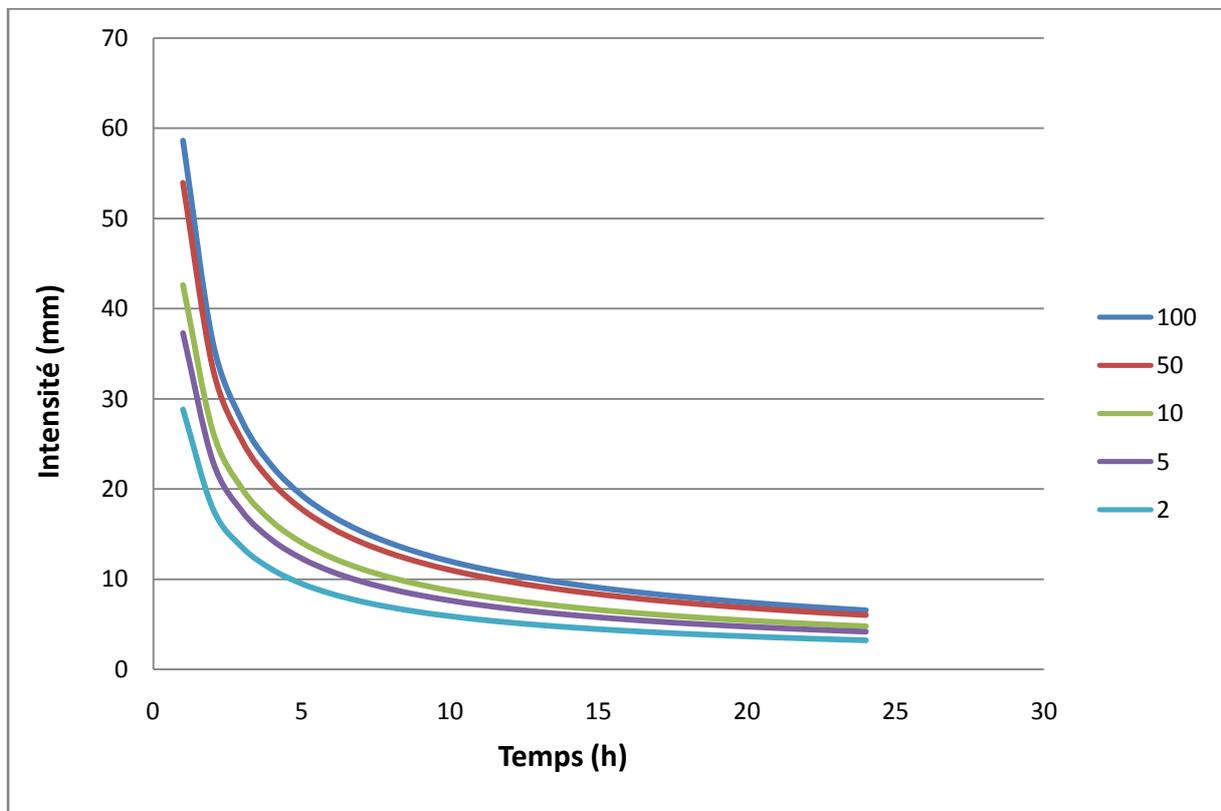


Fig. (III.6) Courbes intensité -durée -fréquence

III.4. Les apports

III.4.1. Apports liquides

III.4.1.1. Apport moyen interannuel

A défaut de toute donnée hydrométrique dans les différents bassins versants, l'apport moyen inter annuel sera estimé par l'utilisation des formules empiriques suivantes :

a). Formule de SAMIE

$$A = L_e \times S \quad \dots\dots\dots(III.23)$$

$$L_e = P^2 (293 - 2.2\sqrt{S}) \quad \dots\dots\dots(III.24)$$

L_e : lame d'eau écoulée (mm).

P : précipitation moyenne (m).

S : la superficie en Km^2 du bassin versant.

b). Formule de MEDINGER

$$A = L_e \times S$$

$$L_e = 1.024(P - 0.26)^2 \quad \dots\dots\dots(III.25)$$

P : précipitation moyenne (m).

L_e : lame d'eau écoulée (mm).

c). Formule de l'ANRH

$$A = 0.915.P^{-2.684} .S^{0.842} \quad \dots\dots\dots(III.26)$$

P : précipitations moyenne (m)

S : superficie de bassin versant (en km^2)

Les résultats des apports moyens interannuels dans le tableau suivant

Tableau(III.19) Apports moyens interannuels

SOUS BASSIN	SB1	SB2	SB3
Apport moyinterannuel A_0	Mm ³	Mm ³	Mm ³
Formule de l'ANRH	0.473	0.402	0.189
Formule de SAMIE	0.0136	0.011	0.0046
Formule de MEDINGUER	0.24	0.198	0.081

Remarque

On prend les valeurs de la formule de **MEDINGUER** parce que sont proches des valeurs moyennes entre les 3 formules empiriques

III.4.1.2. Caractéristique de l'écoulement**a) Module de l'écoulement**

Il est donné par la relation suivante :

$$M_e = \frac{A_0}{T} \dots\dots\dots(III.27)$$

A_0 : Apport moyen annuel [litres].

T : Temps d'une année en [secondes] " $T = 31,536.10^6$ secondes".

b) Module de l'écoulement relatif ou spécifique

On a:

$$M_0 = \frac{M_e}{S} \dots\dots\dots(III.28)$$

M_e : Module de l'écoulement [l/s].

S : Superficie du bassin [Km²].

c) Lamme d'eau écoulée

On a: $L_e = \frac{A_0}{S} \dots\dots\dots(III.29)$

A_0 : Apport moyen annuel [litres].

S : Superficie du bassin Km²

d) Coefficient de l'écoulement

Il est donné par :

$$C_e = \frac{L_e}{P_{moy}} \dots\dots\dots(III.30)$$

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

L_e :Lame d'eau écoulée en [mm].

e) Coefficient de variation

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

- **Formule de SOKOLOVSKY**

On a :

$$C_V = a - 0.063 \log_{10}(S + 1) \dots\dots\dots(III.31)$$

Avec : $a = 0.78 - 0.29 \log_{10} M_0 \dots\dots\dots(III.32)$

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

- **Formule d'OURKGUIPROVODKHOZ**

$$C_V = \frac{0.7}{M_0^{-0.127}} \dots\dots\dots(III.33)$$

On a :

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

- **Formule de L'ANTONOV**

$$C_v = \frac{0.7}{(S+1000)^{0.097}} \dots\dots\dots(III.34)$$

On a :

S : Superficie du bassin en [km²]

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

Tableau (III.20) Les caractéristiques d'écoulement

SB	S (KM ²)	A ₀ (MM ³)	ME (L/S)	M ₀ (L/S/KM ²)	LE (MM)	CV		
						F-SOKO	F-ANTO	F-OURK
SB1	7.31	0.24	7.63	1.04	32.92	0.71	0.36	0.7
SB2	6.03	0.198	6.30	1.04	32.92	0.72	0.36	0.7
SB3	2.46	0.081	2.56	1.04	32.92	0.74	0.36	0.7

III.4.2. Evaluation des apports solides

Le manque de données de mesure du transport solide nous ramène à accepter toute méthode empirique qui nous permet l'ordre de grandeur acceptable de l'écoulement solide [6].

- **Formule de TIXERONT**

C'est la formule la plus utilisée en Algérie pour l'évaluation du taux d'abrasion

$$E_S = a \cdot L_e^{0.15} \dots\dots\dots(III.35)$$

Où : E_S : taux d'abrasion (t/km²/an)

L_e : lame d'eau ruisselée en (mm)

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

$a = 350$ (perméabilité moyenne).

Le volume des sédiments est donné par la relation suivante

$$V_S = \frac{E_S \cdot S}{\gamma} \dots\dots\dots(III.36)$$

En tenant compte du poids spécifique moyen des sédiments $\gamma = 1.4 \text{ T/m}^3$.

Les résultats des apports solides sont résumés dans le tableau suivant

Tableau (III.21) Les apports solides

SB	S (km ²)	Le (mm)	ES (t/km ² /ans)	V _s (m ³ /ans)
SB1	7.31	32.92	591.11	3086.5
SB2	6.03	32.92	591.11	2455.9
SB3	2.46	32.92	591.11	1038.66

III.5. Etude de crues

III.5.1. Différentes méthodes d'évaluation des crues

Les techniques utilisées pour la détermination des crues dépendent pour une grande part des données disponibles. Presque chaque problème qui se produit est unique du aux variations des conditions et des données qui fait que c'est la disponibilité des données plutôt que la nature des problèmes qui conditionnent la procédure. Il n'existe pas encore une unicité de calcul des crues les méthodes de calcul différent aussi selon le chargé d'études[5].

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

- Méthodes historiques ;
- Méthodes probabilistes ;
- Méthodes empiriques ;
- Méthodes déterministes.

Dans notre étude on va utiliser les méthodes empiriques

- **Méthodes empiriques**

Relations établies entre le débit et la surface du bassin versant, la pluie et la période de retour comme les formules de Greager. Fuller. Snyder. Possenti etc....

III.5.2. Application sur les bassins versants

D'après les données morphologiques et pluviométriques existantes une évaluation des débits de pointes des crues sera faite à partir de formules empiriques :

Mallet – Gauthier, Giandotti, Turazza, et Sokolovski. Ces relations sont celles qui traitent au mieux les petits bassins.

III.5.2.1. Formule de Giandotti

Dans leur étude sur les problèmes de l'eau en Algérie ils ont établi une formule exprimant le débit maximum en crue en fonction des précipitations. De la surface du bassin versant et d'un coefficient K caractéristiques géographique et climatique du bassin versant.

$$Q_{\max} P\% = \frac{C \cdot S (H_{\text{moy}} - H_{\text{min}})^{\frac{1}{2}}}{4 \cdot S^2 + 1.5 \cdot L} P_{\text{ct}} \dots \dots \dots \text{(III.37)}$$

S : surface en km² ;

H_{moy} : altitude moyenne en m;

H_{min} : altitude minimale en m;

L : longueur du cours d'eau principale en km;

C : Coefficient topographique variant entre 0.066 et 0.166

Pour des bassins de topographie moyen accidenté c=0.10.

III.5.2.2. Formule de Sokolovski

Le débit maximum probable est donné par la formule suivante :

$$Q_{\max} p\% = 0.28 \frac{X_{p\%, t_c} \cdot \alpha_{p\%} \cdot S \cdot f}{T_c} \dots \dots \dots \text{(III.38)}$$

S : Surface du bassin versant en Km² ;

f : Coefficient de forme de la crue ;

H₀ : la perte d'eau initial (H₀=14mm) ;

α_{p%} : coefficient de ruissellement pour la crue probable ;

$$\alpha_{p\%} = \frac{\sqrt{P_{\text{ct}}\%} - \sqrt{H_0}}{\sqrt{P_{\text{ct}}\%} + \sqrt{H_0}} \dots \dots \dots \text{(III.39)}$$

T_c : Temps de concentration du bassin versant en heures,

X_{p%, t_c} : précipitation en mm, de probabilité p% correspondant à un temps T_c ;

0.28 : coefficient de changement d'unité.

Le coefficient de forme de la crue peut être

$$f = \frac{12}{4+3\gamma} \dots\dots\dots(III.40)$$

Pour $S \leq 50km^2$ on a $\gamma = 2$

Pour des petits bassins non boisé, sol peu perméable. On a $\gamma = 2 \div 2.5$

Pour bassin boisé, sol perméable on a $\gamma = 3 \div 4$

Puisque les bassins versant ont une surface inférieure à 50 Km² on prend $\gamma = 2$

$$f = \frac{12}{4 + 3\gamma} = 1.2$$

Les débits de crues des bassins versants par les différentes formules dans les tableaux suivants.

Tableau (III.22) Débits de crues au sous bassin versant n°1

Période de retour	Ans	2	5	10	50	100
Formule de GIANDOTTI	(m ³ /s)	12.44	16.09	18.40	23.3	25.31
Formule de SOKOLOVSKY	(m ³ /s)	14.45	22.95	28.72	41.66	47.24

Tableau (III.23) Débits de crues au sous bassin versant n°2

Période de retour	Ans	2	5	10	50	100
Formule de GIANDOTTI	(m ³ /s)	12.354	15.97	18.18	23.13	25.13
Formule de SOKOLOVSKY	(m ³ /s)	13.25	21.40	26.75	39.48	44.89

Tableau (III.24) Débits de crues au sous bassin versant n°3

Période de retour	Ans	2	5	10	50	100
Formule de GIANDOTTI	(m ³ /s)	5.80	7.50	8.58	10.86	11.80
Formule de SOKOLOVSKY	(m ³ /s)	5.85	9.95	12.16	17.95	20.45

Remarque

La formule de *Sokolovski* est d'usage très répandue chez les hydrologues du Nord d'Afrique. Celle-ci tient compte de plusieurs paramètres caractérisant le bassin versant (la pluie fréquentielle qui correspond au temps de concentration, perte d'eau initiale, le coefficient de ruissellement, la surface du bassin versant, la forme de la crue et du temps de montée de la crue).

III.5.3. Hydrogrammes de crues

Les hydrogrammes de crues pour diverses fréquences sont évalués par la méthode de **Sokolovski** qui assimile l'hydrogramme à deux équations paraboliques.

$$\text{La montée de la crue } Q_{\max} = Q_{\max} p \left[\frac{t}{t_m} \right]^n \dots\dots\dots(\text{III.41})$$

$$\text{La décrue } Q_{\max} = Q_{\max} p \left[\frac{t_b - t}{t_d} \right]^m \dots\dots\dots(\text{III.42})$$

t_m : temps de montée de la crue

t_d : temps de la décrue

t_b : temps de base

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

$t_m = t_c$ et $t_d = \gamma \cdot t_c$ $t_b = t_d + t_m$ On prend $\gamma = 2,5$

Les débits de crues des différentes périodes de retour de chaque bassin versant sont donnés aux tableaux suivants et les hydrogrammes correspondants

Tableau (III.25) Hydrogrammes de crues de différentes périodes de retour sous bassin n°1

Débits de crues des périodes de retour (m ³ /s)					
temps (h)	T2	T5	T10	T50	T100
0	0	0	0	0	0
1	0,563	0,893	1,118	1,622	1,84
2	4,505	7,15	8,949	12,98	14,72
2,95	14,458	22,946	28,72	41,66	47,241
3	14,262	22,635	28,331	41,097	46,285
4	10,634	16,877	21,124	30,641	34,74
5	7,537	11,962	14,97	21,718	24,62
6,5	3,889	6,172	7,725	11,206	12,55
7	2,938	4,664	5,837	8,467	11,56
7,5	2,11	3,366	4,214	6,112	9,60
9	0,466	0,74	0,927	1,344	6,93
9,5	0,18	0,287	0,359	0,521	1,52
10,325	0	0	0	0	0

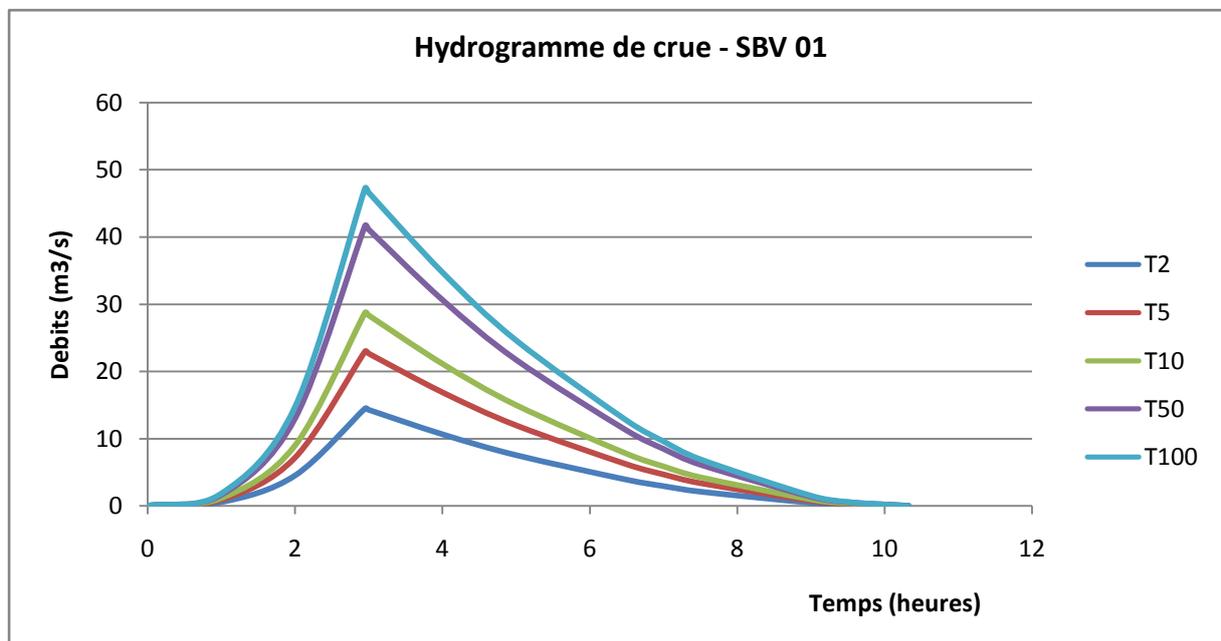


Fig. (III.7) Hydrogrammes de crues du SBV01

Tableau (III.26) Hydrogrammes de crues de différentes périodes de retour sous bassin n°2

Débits de crues des périodes de retour (m ³ /s)					
t(h)	T2	T5	T10	T50	T100
0	0	0	0	0	0
1	1,149	1,854	2,317	3,42	3,888
2	9,194	14,837	18,538	27,367	31,111
2,26	13,266	21,409	26,749	39,489	44,891
3	10,018	16,168	20,201	29,822	33,902
4	6,353	10,253	12,81	18,911	21,498
5	3,519	5,679	7,095	10,8	11,908
6	1,516	2,446	3,056	4,512	5,13
7	0,344	0,555	0,693	1,024	1,164
7,91	0	0	0	0	0

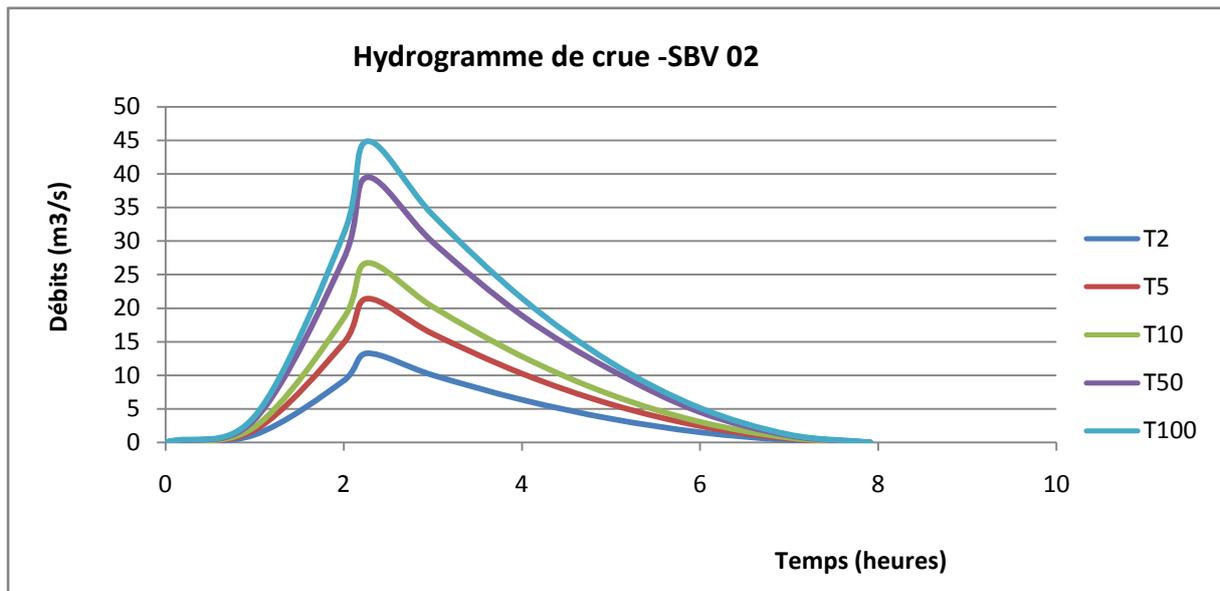


Fig. (III.8) Hydrogrammes de crues du SBV02

Tableau (III.27) Hydrogrammes des crues de différentes périodes de retour sous bassin n°3

Débits de crues des périodes de retour (m ³ /s)					
t(h)	T2	T5	T10	T50	T100
0	0	0	0	0	0
1	0,954	1,564	1,984	2,972	3,363
1,5	3,221	5,281	6,698	9,879	11,26
1,83	5,85	9,59	12,163	17,94	20,447
2	5,411	8,871	11,251	16,595	18,914
3	3,223	5,3	6,722	9,915	11,301
4	1,613	2,664	3,353	4,946	5,638
5	0,55	0,902	1,144	1,688	1,924
6	0,045	0,075	0,095	0,14	0,159
6,405	0	0	0	0	0

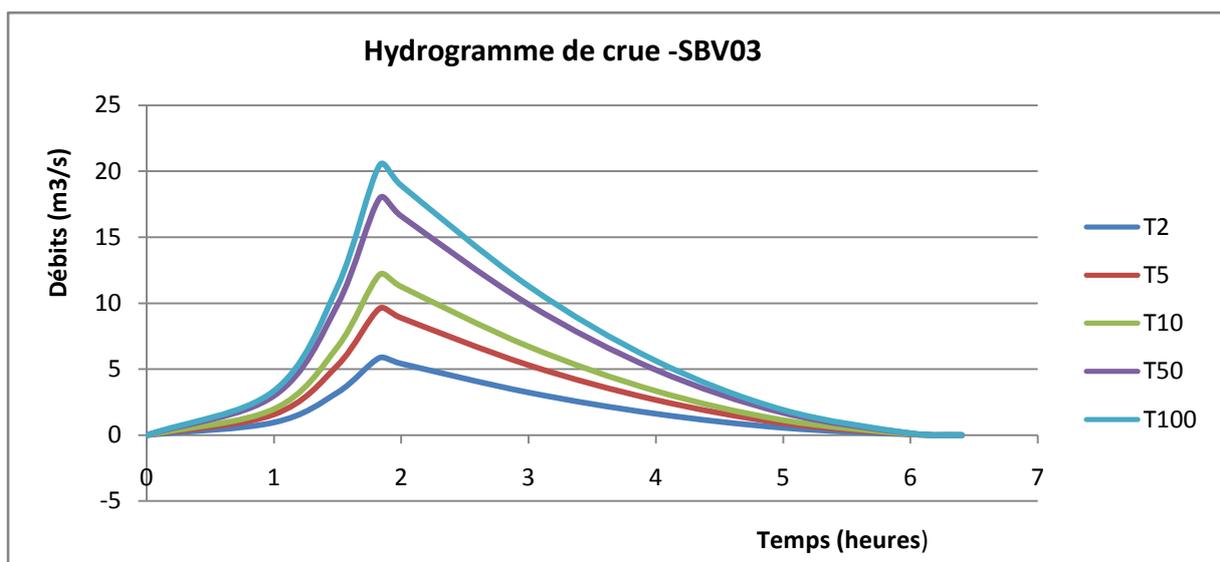


Fig. (III.9) Hydrogrammes de crues du SBV03

Conclusion

L'objectif de cette étude est de calculer les caractéristiques des trois sous bassins influassent sur la zone à aménager et de présenter les principales méthodes utilisées pour l'estimation des crues et de choisir la méthode adéquate pour tracer les hydrogrammes des crues qui nous permettent de voir leurs évolution dans le temps et d'obtenir les débits optimaux pour les utiliser dans le dimensionnement.

Chapitre IV

Dimensionnement de canal du drainage

Introduction

L'hydraulique à surface libre se distingue de l'hydraulique en charge par l'existence d'une surface libre, c'est-à-dire d'une surface où l'écoulement est en contact direct avec l'air. Le gradient de pression ne peut plus être le moteur de l'écoulement, c'est la gravité qui joue plutôt ce rôle.

IV.1. Etude des variantes

Le but de cette étude, est de bien protéger le côté Est de bordj bou arreridj contre les crues. Cette protection consiste à sélectionner les meilleures solutions d'aménagements compte tenu des conditions naturelles.

Mais aussi il faut que les solutions, soient réalisables du point de vue technique et économique.

IV.1.2. Variantes proposées pour l'étude

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

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

Deuxième variante: Protection avec un canal en gabion.

Troisième variante : Protection avec une galerie rectangulaire ou trapézoïdale.

IV.1.3. Comparaison entre les types d'aménagement

Le tableau (IV.1) résume les avantages et les inconvénients de trois variantes

Tableau (VI.1) Avantages et inconvénients des types d'aménagement

Type d'aménagement	Avantages	Inconvénients
Gabionnage	<ul style="list-style-type: none"> - utilisation de la matière locale (coût faible). - la mise en œuvre est facile. - bonne protection contre l'érosion. 	<ul style="list-style-type: none"> - faible stabilité surtout aux périodes des crues.
Galerie	<ul style="list-style-type: none"> - faible variation de vitesse d'écoulement malgré que la variation de niveau d'eau est importante (auto curage satisfais). 	<ul style="list-style-type: none"> - longueur importante de la tranchée. - la mise en place sur un lit de l'oued est très coûteuse. - la mise en œuvre et l'entretien sont difficiles.
Caniveau de forme trapézoïdal et rectangulaire	<ul style="list-style-type: none"> - le rendement hydraulique est efficace. - les résultats de calcul sont réalistes. - la durée de la vie est importante. - les matériaux de constructions sont disponibles. - entretien très facile. - la forme étroite est adaptée à la ville. 	<ul style="list-style-type: none"> - le coût de génie civil est peu élevé. - rugosité élevée.

Remarque :

Partant de cette situation on écarte purement la troisième et la deuxième variante malgré les avantages qu'elles représentent, et nous soumettons le choix de la première variante qui présente beaucoup plus d'avantages lié surtout à la facilité de réalisation, ainsi qu'elle est économique, facilité de nettoyage et le rinçage.

IV.2. Calculs hydrauliques

IV.2.1. Dimensionnement des Ouvrages

Pour le dimensionnement de la variante choisie, il nous faut un débit liquide de dimensionnement qui est une fonction de la période de retour, nous avons opté pour une période de retour de **50 ans**, au quel il faut ajouter le débit correspondant aux apports solides. Toutefois ce débit est négligeable devant le débit de crue probable mais on ajoute une hauteur qui correspond ou compense ce débit dans le dimensionnement du canal.

Les paramètres clés pour le dimensionnement sont :

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

IV.2.2. Généralités

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

IV.2.2.1. Les canaux à ciel ouvert

On appelle canal, un système de transport dans lequel l'eau s'écoule et dont la surface libre est soumise à la pression atmosphérique. Le profil de meilleure conductivité est le profil qui véhicule le débit maximum. Pour un canal de pente "J" et de coefficient de rugosité "n", la section qui véhicule le débit maximum est celle où le rayon hydraulique est maximal, et la section est minimale. Parmi toutes les formes de section, le semi-circulaire est celle qui satisfait au rayon hydraulique maximum. Dans les conditions techniques de réalisation, la forme semi-circulaire sera plus coûteuse que celle de forme trapézoïdale qui présente des avantages de simplicité de réalisation [7, 9].

IV.2.2.2. Dimensionnement des canaux

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

la formule de Chézy :

La vitesse moyenne du courant sous la forme suivant :

$$V = C \cdot \sqrt{R \cdot I} \dots\dots\dots (IV.1)$$

On utilisant le rapport suivant $Q = V \times S$ Son obtient :

$$Q = CS \cdot \sqrt{R \cdot I} \dots\dots\dots (IV.2)$$

Avec :

C : coefficient de Chézy ($m^{0.5}/s$) ;

S : section mouille (m^2) ;

R_h : rayon hydraulique $R_h = S/P$ (m)

I : pente de fond du canal (mm) ;

IV.2.3. Détermination de coefficient de Chézy

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

1. formule de PAVLOVSKI

$$C = \frac{1}{n} R^{1/y} \dots\dots\dots (I.V.3)$$

Avec :

n : la rugosité

y : est l'exposant déterminé soit d'après la relation complète :

$$y = 2.5 \sqrt{n} - 0.13 - 0.75 \sqrt{R} (\sqrt{n} - 0.10) \dots\dots\dots (IV.4)$$

Soit d'après les égalités simplifiées :

$$y = 1.5 \sqrt{n} \text{ pour } R < 1m \dots\dots\dots (IV.5)$$

$$y = 1.3 \sqrt{n} \text{ pour } R > 1m \dots\dots\dots (IV.6)$$

2. formule d'AGROSKINE

$$C = \frac{1}{n} 17.72 \log R \dots\dots\dots (IV.7)$$

3. formule de MANING-STRICKLER

$$C = \frac{1}{n} R_h^{\frac{1}{6}} \dots \dots \dots (IV.7)$$

La formule de MANING-STRICKLER permet de transformer la formule de Chézy pour obtenir :

$$V = K_S R_h^{2/3} I^{1/2} \dots \dots \dots (IV.8)$$

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

- $K_S = 25$ pour un lit naturel;
- $K_S = 40$ pour le cas d'enrochement ou gabionnage;
- $K_S = 70$ pour le cas du Béton;
- $K_S = 100$ pour le cas du PVC ou PEHD;

IV.2.4. Les paramètres géométriques

IV.2.4.1. Le choix de la section de meilleure conductivité

Le profil de meilleure conductivité est le profil qui véhicule le débit maximum.

Pour un canal de pente J_u et de coefficient de rugosité n , la section qui véhicule le débit maximum est celle où le rayon hydraulique R_h est maximal, et la section S est minimale [7].

(R_h étant la surface mouillée S_m sur le périmètre mouillé P_m).

Parmi toutes les formes de section, la semi-circulaire est celle qui satisfait au rayon hydraulique maximum.

Les tableaux suivant résumant les paramètres d'une section semi-circulaire et trapézoïdale.

Tableau (IV.2) Paramètres géométriques d'une section semi-circulaire

La section	Paramètres		
	S	P	R
semi-circulaire	$\pi \times r^2 / 2$	$\pi \times r$	$r/2 = h/2$

Tableau (IV.3) Paramètres géométriques d'une section trapézoïdal

Designation	Expression	Definition
b	$2h ((1 + m^2)^{0.5} - m)$	La largeur inférieure du canal, en m
B	$b + 2mh$	La largeur supérieure du canal, en m
S	$h (b + mh)$	la surface mouillée
P	$b + 2h (1 + m^2)^{0.5}$	le périmètre mouillé
R _h	$h \cdot (b + mh)$	rayon hydraulique
	$b + 2h (1 + m^2)^{0.5}$	
m	$1/\text{tg}\alpha$	Fuit de talus, d'après la nature du terrain

IV.2.4.2. Calculs du rayon hydraulique maximal

$$R_h = \frac{S}{P} = \frac{h}{2} \dots\dots\dots (IV.9)$$

Alors: Le rayon hydraulique sera max pour une valeur de P_{min}.

IV.2.4.3. Calcul de la profondeur normale

Pour la détermination de h_n en utilise la méthode itérative.

On tire la valeur de (b) à partir de l'équation générale de l'écoulement uniforme :

$$Q = CS \cdot \sqrt{R} \times I \dots\dots\dots (IV.10)$$

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

Par suite on trace la courbe $Q = f(b)$, et on détermine la valeur de b (m) correspondante à Q_n

C'est à- dire on cherche b (m) pour le débit Q_{max}

IV.2.4.4. Calcul de la profondeur critique

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

1. Méthode graphique

La méthode graphique est basée sur le graphe de l'énergie en fonction de h .

Et puisque la valeur de h_{cr} est la valeur qui correspond à une énergie spécifique minimale.

Donc on construit le graphe : $H_s = f(h)$ sachant que $H_s = E_p + E_c$, E_p : Energie potentielle et est égale à h ; ($E_p = h$) , E_c : Energie cinétique et égale à ; ($E_c = V^2/2g$) ;

2. Méthode analytique d'AGROSKINE

La méthode d'AGROSKINE utilise la formule suivante :

$$\frac{\alpha Q^2 B_{cr}}{g S_{cr}} = 1 \dots\dots\dots (IV.10)$$

Avec :

B : largeur du plan d'eau en surface

g : l'accélération gravitaire prise égale 9.81

Pour un canal rectangulaire :

$$h_{cr} (R) = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{g b^2}} \dots\dots\dots (IV.11)$$

IV.2.4.5 Calcul d'énergie spécifique

$$E_s = h + \frac{v^2}{2g}$$

h : hauteur d'eau (m)

v : vitesse d'écoulement (m/s)

IV.2.4.6. Nombre de Froude

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g h}} \dots\dots\dots (IV.12).$$

C'est le rapport entre les forces de gravité et celles d'inertie

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

- écoulement fluvial $Fr < 1 \Rightarrow h_{cr} < h_n$
- écoulement torrentiel $Fr > 1 \Rightarrow h_{cr} > h_n$
- écoulement critique $Fr = Fr = 1 \Rightarrow h_{cr} = h_n$

IV.2.5. Calcul de la pente critique

La pente critique correspondant à la profondeur critique.

La pente critique donné par la formule suivante :

$$Q = C S_{cr} \sqrt{R_h \cdot I_{cr}} \dots\dots\dots (IV.13)$$

Donc :

$$I_{cr} = \frac{Q^2}{C^2 S_{cr}^2 R_h} \dots\dots\dots (IV.14)$$

IV.2.6. Calcul de la ligne d'eau

IV.2.6.1. Equation de la surface libre de la ligne d'eau

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

En se basant sur l'équation d'énergie :

$$H = z + V^2 / 2g + h \dots\dots\dots (IV.15)$$

Et sur l'équation de la continuité :

$$Q = V / S \dots\dots\dots (IV.16)$$

Dérivant l'équation (15) par rapport à dx, on trouve :

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{(Q/S)^2}{2g} \right) + \frac{dh}{dx} + \frac{dz}{dx} = \frac{dH}{dx} \dots\dots\dots (IV.17)$$

Comme : $\frac{dz}{dx} = -J_f$ et $\frac{dH}{dx} = -J_e = -\frac{(Q/S)^2}{C^2 \cdot R_h}$

On trouve :

$$\frac{dh}{dx} = J_f \frac{1 - \frac{(Q/S)^2}{C^2 \cdot R_h \cdot j_f}}{1 - \frac{(Q/S)^2}{g \cdot S / B}} \dots\dots\dots (IV.18)$$

IV.2.6.2. Différentes formes de courbes de remous

On a $Fr^2 = \frac{(Q/S)^2}{g \cdot S / B}$.

Et $\frac{dh}{dS} = I \frac{1 - (\frac{h_n}{h})^2}{1 - Fr^2}$

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

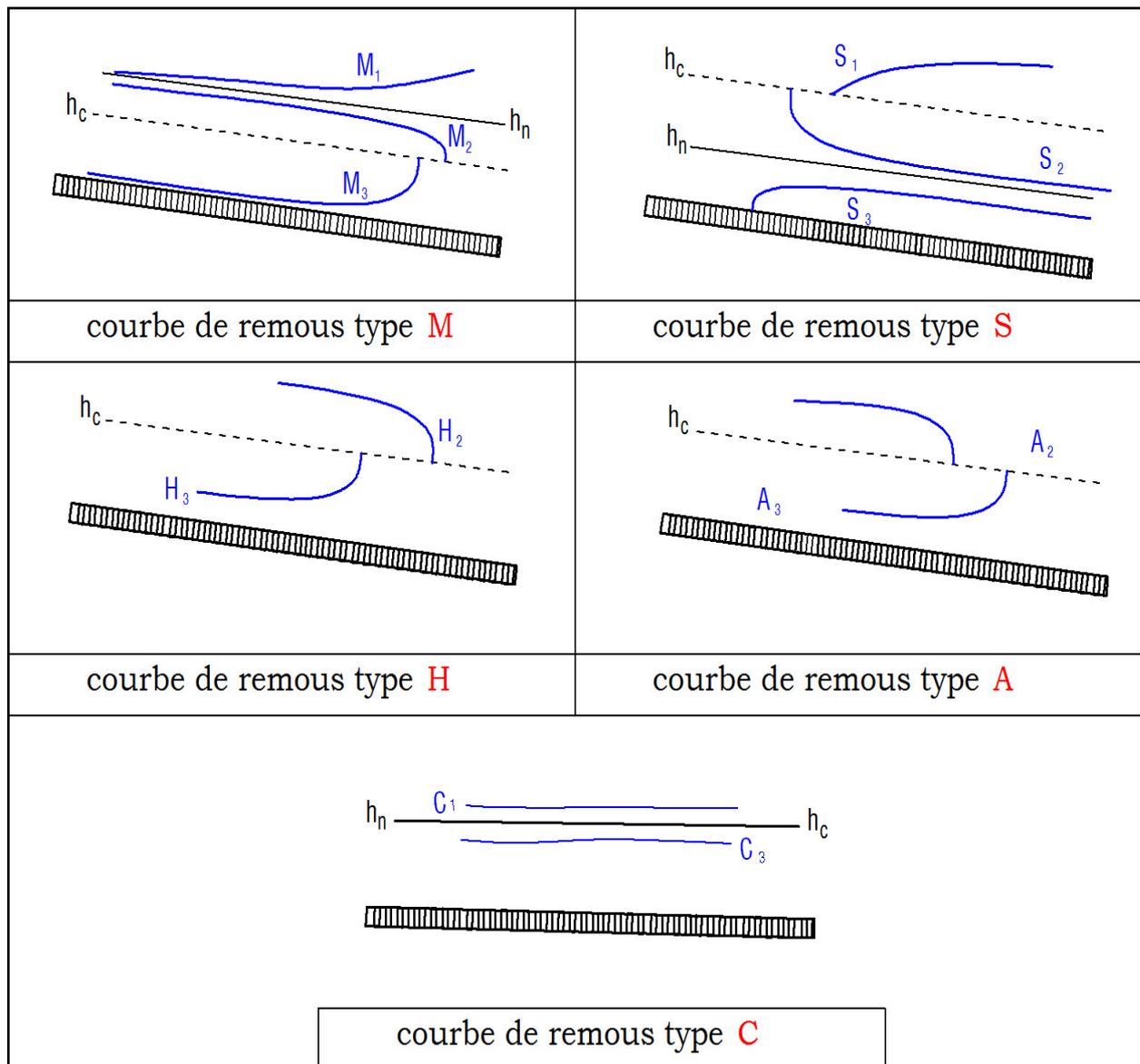


Figure (IV.1) Les différentes formes de courbes de remous

Remarque: Pour notre étude, on va utiliser le logiciel " CANAL 21 " dont le principe de calcul est basé sur la première méthode (La méthode par approximation successive).

Définition du logiciel

Le logiciel canal21 est l'interface sous Windows du logiciel canal 9 (MS DOS) développé par le CEMAGREF de Lyon. C'est un outil de calcul simplifié d'écoulement à surface libre. il permet de traiter les caractéristiques d'écoulement dans des sections simplifiées, les lois des ouvrages hydrauliques classiques et les calculs de courbes de remous en régime permanent, fluvial et torrentiel, sur des géométries simplifiées.

IV.2.7. Calcul des paramètres de courbure du canal

Compte tenu de la topographie du terrain naturel, le canal d'évacuation d'eaux pluviales présente des courbures aux plusieurs points. Une courbe qui se trouve dans un canal rectiligne provoque un changement de direction de l'écoulement.

Le débit Q , la vitesse moyenne U et la surface S restent constants à travers la courbe. La répartition de la profondeur h (y) donne toutefois une pente transversale, et la force centrifuge qui s'exerce sur l'écoulement en courbe provoque une surélévation ΔH , sur le bord extérieur.

L'expression de ΔH est donnée par :

$$\Delta H = \frac{v^2}{g} \log \left(1 + \frac{L}{R} \right) \dots \dots \dots (IV.19)$$

$L = B$: Largeur, (m)

R : Rayon de courbure, (m)

Hauteur d'eau au niveau du coude :

$$H_f = H + \frac{\Delta H}{2} \dots \dots \dots (IV.20)$$

IV.2.8. Raccordement des canaux

La différence de largeur entre deux tronçons différents nécessite la réalisation d'un ouvrage de raccordement (selon la section) pour maintenir les conditions de bon écoulement.

Son estimation est établie par la relation :

$$L = \frac{b_2 - b_1}{2 \operatorname{tg} \beta} \dots \dots \dots (IV.21)$$

L : Longueur du raccordement (m) ;

b_2, b_1 , Largeur du premier et deuxième tronçon (m) ;

β : Angle du divergent, en degrés.

IV.3. Calculs des aménagements

IV.3.1. Débit maximum de crues

Tableau (IV.4) Débits de crues de projet pour différentes périodes de retour

	Décennale (m ³ /s)	Cinquantennale (m ³ /s)	Centennale (m ³ /s)
SBV01	28.72	41.66	47.24
SBV02	26.75	39.48	44.89
SBV03	12.16	17.95	20.45

IV.3.2. Dimensionnement des aménagements

Le Canal est conçu pour drainer les eaux pluviales provenant du bassin pour un débit Cinquantennal, de $Q = 99 \text{ m}^3/\text{s}$, sur trois tronçonset d'une distance globale de 2700 m.

IV.3.2.1. Calcul du tronçon A-B

La section retenue est un canal ouvert de forme trapézoïdale en béton armé.

$$Q = K_s S \sqrt{R I} \dots\dots\dots(IV.22)$$

Le débit $Q = 81 \text{ m}^3/\text{s}$;

Les pentes de talus $m=1.25$;

La pente moyenne est de 2 % sur un linéaire de 1600 m ;

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

$K_s = 70$ pour le cas du Béton.

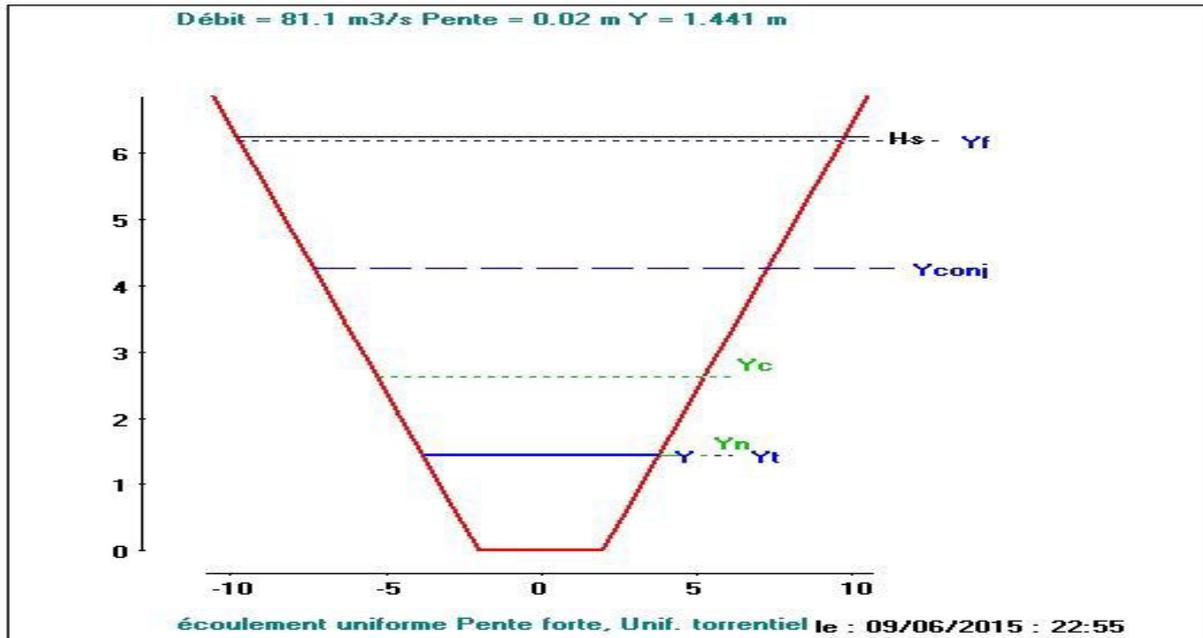


Figure (IV. 2) Caractéristiques hydrauliques du tronçon A-B

Tableau (IV.5) Récapitulation des paramètres hydrauliques du tronçon A-B

b	h	S_m	P_m	R_h	I	K_s	v	Q
(m)	(m)	(m ²)	(m)	(m)	‰	Béton	(m/s)	(m ³ /s)
4	1.45	8.36	8.61	0.976	2	70	9.70	81.14
m	h_c	J	H_s	H_{SC}	F_r	L_p	I-J	L
-	(m)	(‰)	(m)	(m)	-	(m)	(‰)	(m)
1.25	2.63	2	6.24	3.54	2.95	7.602	0	1600

Pour le canal on ajoute à la hauteur une revanche $\Delta=0.15\text{m}$ qui correspond au débit solide.

Tableau (IV.6) Les dimensions finales du tronçon A-B

Largeur du fond b (m)	4
Hauteur totale h (m)	1.60
Les pentes des talus	1.25
Largeur au miroir B (m)	8

- Calcul de la pente critique du tronçon A-B

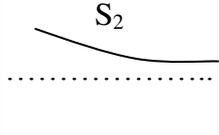
$$I_{cr} = \frac{Q^2}{C^2 S_{cr}^2 R_h} \dots \dots \dots (IV.23)$$

Tableau (IV.7) Paramètres de calcul de la pente critique

$S_{cr} (m^2)$	$P_{cr} (m)$	$R_{cr} (m)$	C_{cr}	I_{cr}
19.116	12.41	1.54	70	0.0023

- Type de courbe remous du tronçon A-B

Tableau (IV.8) Caractéristiques de la courbe de remous du tronçon trapézoïdal A-B

condition	h_n/h	Signe num	Signe .Dén	Signe dh/dl	Variation de h	Nom de la courbe	Forme de courbe
$I > 0$ $i > i_c$ $h_n < h_c$	<1	+	+	+	décroit	S_2	

IV.3.2.2. Calcul du tronçon B-C

Dans ce tronçon, la section du canal retenue, est de forme rectangulaire en béton armé.

$$Q = CS \sqrt{R} I$$

Le débit $Q = 99 \text{ m}^3/\text{s}$

La pente moyenne est de 2 % sur une distance linéaire de 25 m.

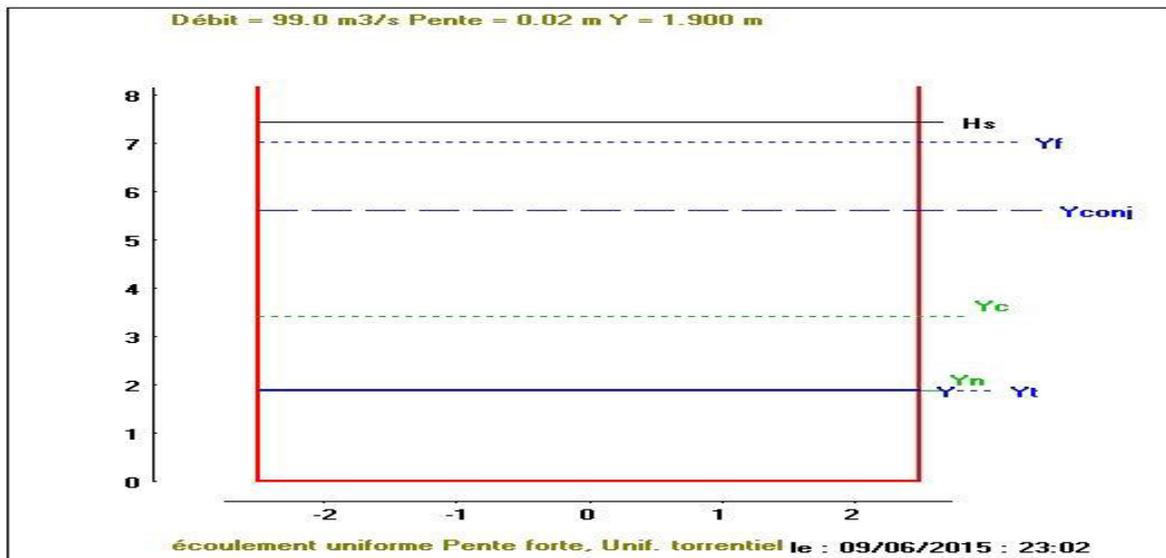


Figure (IV.3) Caractéristiques hydrauliques de canal rectangulaire du tronçon B-C

Tableau (IV.9) Paramètres de calcul du tronçon rectangulaire B-C

B	h	$S m$	P_m	R_h	I	$K s$	v	Q
(m)	(m)	(m ²)	(m)	(m)	%	Béton	(m/s)	(m ³ /s)
5	1.90	9.50	8.8	1.07	2	70	10.41	99
M	h_c	J	H_S	H_{SC}	F_r	L_p	$I-J$	L
-	(m)	(%)	(m)	(m)	-	(m)	(%)	(m)
-	3.41	2	7.43	5.12	2.41	5	0	25

Pour le canal, on ajoute à la hauteur une revanche $\Delta = 0.15 \text{ m}$.

A cet effet, la hauteur h serait de 2,05.

• **Calcul de la pente critique du tronçon B-C**

Une fois la profondeur critique déterminée, on peut aussi calculer la pente d'écoulement pour

La quelle un débit donné coulera à la hauteur critique, avec h_c on calcule S_c et R_c et l'on tire de l'équation de Manning la pente critique.

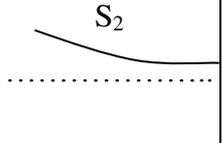
$$I_{cr} = \frac{Q^2}{C^2 S_{cr}^2 R_h}$$

Tableau (IV.10) Paramètres de calcul de la pente critique du tronçon B-C

$S_{cr} (m^2)$	$P_c (m)$	$R_{cr} (m)$	C_{cr}	I_{cr}
17.05	11.84	1.44	70	0.0047

• **Type de courbe de remous du tronçon B-C**

Tableau (IV.11) Caractéristiques de la courbe de remous du tronçon B-C

condition	h_n/h	Signe num	Signe. Dén	Signe dh/dl	Variation de h	Nom de la courbe	Forme de courbe
$i > 0$ $i > i_c$ $h_n < h_c$	<1	+	+	+	décroit	S_2	

IV.3.2.3. Calculs du tronçon C-D

Pour le dernier tronçon, la section du canal retenue, estde forme trapézoïdale en béton armé.

$$Q = CS \sqrt{R I}$$

Le débit $Q = 99 \text{ m}^3/\text{s}$;

La pente moyenne est de 2 % sur un linéaire de 1075 m ;

Les pentes de talus $m = 1,25$.

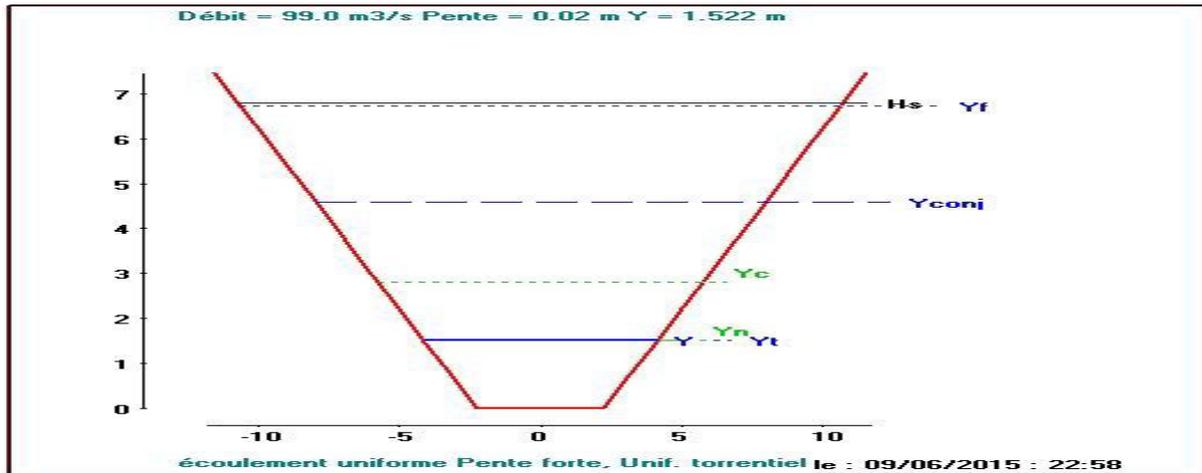


Figure (IV.4) Caractéristiques du canal trapézoïdal du tronçon C-D

Tableau (IV.12) Paramètres de calcul du Tronçon C-D

<i>b</i>	<i>h</i>	<i>S_m</i>	<i>P_m</i>	<i>R_h</i>	<i>I</i>	<i>K_s</i>	<i>v</i>	<i>Q</i>
(m)	(m)	(m ²)	(m)	(m)	%	Béton	(m/s)	(m ³ /s)
4.5	1.52	9.74	9.37	1.03	2	70	10.13	99
<i>m</i>	<i>h_c</i>	<i>J</i>	<i>H_s</i>	<i>H_{SC}</i>	<i>F_r</i>	<i>L_p</i>	<i>I-J</i>	<i>L</i>
-	(m)	(%)	(m)	(m)	-	(m)	(%)	(m)
1.25	2.81	2	6.78	3.79	2.99	8.305	0	1075

Toutefois, le débit solide est négligeable devant le débit de crue probable mais on ajoute une hauteur ($\Delta=0.15m$) qui correspond à ce débit dans le dimensionnement final du canal.

Tableau (IV.13) Les dimensions finales du tronçon C-D

Largeur du fond <i>b</i> (m)	4,5
Hauteur totale <i>h</i> (m)	1,65
Les pentes des talus	1,25
Largeur au miroir B (m)	8,5

- *Calcul de la pente critique du tronçon C-D*

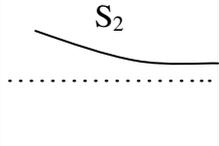
$$I_{cr} = \frac{Q^2}{C^2 S_{cr}^2 R_h}$$

Tableau(IV.14) Paramètres de calcul de la pente critique du tronçon C-D

$S_{cr} (m^2)$	$P_{cr} (m)$	$R_{cr} (m)$	C_{cr}	I_{cr}
22.51	13.49	1.66	70	0.0024

- *Type de courbe de remous du tronçon C-D*

Tableau (IV.15) Caractéristiques de la courbe de remous du Tronçon C-D

condition	h_n/h	Signe num	Signe. dh/dl	Signe dh/dl	Variation de h	Nom de la courbe	Forme de courbe
$i > 0$ $i > i_c$ $h_n < h_c$	<1	+	+	+	décroit	S_2	

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé le côté hydraulique à savoir le dimensionnement du réseau d'évacuation d'eaux pluviales, nous avons suivi une méthode de calcul déjà expliquée au préalable. Donc l'addition des débits d'eaux pluviales dans un canal, ainsi que la pente du tronçon qui nous a permis de procéder un dimensionnement de toutes les parties du canal. On a fait ressortir un constat à savoir que l'écoulement est en régime torrentiel tout le long du canal.

Conclusion générale

Dimensionnement de canal du drainage

Conclusion générale

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

L'aménagement de la zone sensée subir les affres des inondations repose sur plusieurs critères, dépendant de la topographie du terrain, la surface de bassin versant, la quantité de l'eau à évacuer et l'occupation de sol.

Afin de mener à bien cette tâche, nous avons dressé un plan d'étude dont les phases sont décrites à travers les quatre chapitres énumérés précédemment, à savoir :

Une description plus ou moins détaillée du site, puis, une étude hydrologique qui, de par son importance, nous a permis de déterminer la pluie de projet et son débit correspondant. Ensuite, un choix devrait être porté sur le type de variante utilisée dans la conception du canal drainant les eaux pluviales du bassin versant étudié.

Dans notre étude, nous nous sommes intéressés à l'évacuation des eaux pluviales provenant du bassin versant situé au côté Est de la ville de BBA. Le dimensionnement du canal censé acheminer conjointement, les apports liquides et solides s'est fait à partir d'une analyse hydrologique d'une série chronologique de données pluviométriques. Des courbes IDF ont été établies pour la détermination de l'intensité maximale pour une durée de précipitations (temps de concentration du bassin versant) et une période de retour bien définis.

Le canal en question, devra collecter les eaux pluviales issues du premier bassin au niveau de son exutoire, puis, il continue à s'alimenter par des affluents ou/et par des conduites à surface libre qui émanent de l'ensemble du bassin, pour se déverser dans un exutoire situé juste à l'entrée de la ville de BBA. Il comporte trois tronçons : le premier et le troisième ont des formes trapézoïdales, tandis que le deuxième a une forme rectangulaire, l'ensemble s'étale sur une distance de 2700 m.

Enfin, cette étude comme nous l'espérons, va contribuer à mettre fin au risque encouru par la ville de BBA ou d'au moins, amortir les l'ampleur des dégâts occasionnés à chaque événement pluvieux.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] **LEDOUX BRUNO**, La gestion du risque inondation, Ed. TEC & DOC (2001), P60.
- [2] **NEDELEC .Y**, Activités rurales et inondations, Connaissances et bonnes pratiques(1998), P270.
- [3] **G. VERNIERS**, Aménagement écologique des berges et des cours d'eaux, 1995.
- [4] **TOUAIBIA.B**, Manuel Pratique d'Hydrologie. Presses Madani Frères. Blida. Algérie(2004).
- [5] **LABORDE. J.P**, Éléments d'hydrologie de surface,(1987), P98.
Tome 1 : Le milieu hydrologique- l'acquisition des données.
Tome 2 : Critique et analyse statistique des données hydrologiques.
- [6] **M.ROCHE**, Hydrologie de surface (Paris1963).
- [7] **CARLIER.M**, Hydraulique générale et appliquée(1986), P166.
- [8] **HASSANE. M** Manuel pratique d'hydraulique.
- [9] **DIGOUTTE.G**, Aide-mémoire d'hydraulique à surface libre.
-

ملخص:

الدراسة التي قمنا به تكمن في مشروع تهيئة قناة لصرف مياه الامطار في حوض يصب في المدخل لمدينة برج بوعرريج و هذا نتيجة للاخطار التي تترتب عن الفيضانات الموسمية.

هذه الدراسة تتضمن المحاور الاساسية التالية

- دراسة كاملة للمنطقة.

- دراسة هيدرولوجية للحوض و ذلك لتحديد كمية المياه المتوقعة.

- دراسة لتحديد ابعاد القناة التي يتم فيها نقل المياه.

كلمات مفتاحية: حوض التدفق. فيضانات

Résumé :

Notre travail s'inscrit dans le cadre de la lutte contre les effets dévastateurs du phénomène d'inondations qui touche la ville de BBA, cette dernière caractérisée par un relief favorisant la genèse de plus fortes crues pendant les événements pluvieux. La démarche suivie consistait d'emblée, à recueillir les données du site, puis, l'étude hydrologique dans laquelle on a pu déterminé la pluie maximale probable pour une période de retour de 50 ans et le débit correspondant, ensuite, le calcul des dimensions du canal supposé drainer le bassin versant qui débouche à l'entrée Est de l'agglomération.

Mots clés : bassin versant, inondations, débit.

Abstract :

Our work lies within the scope of the fight against the devastators effects of the phenomenon of flood wich touches the town of BBA. This town characterized by a relief whopromote the genesis of stronger flood during the rainy events. The followed step consisted from the start, to collect the data of the area, then, the hydrological study in wich one could determined the design storm for period of 50 years and correspondant discharge, then, the calculation of dimensions of the canal supposed drain the catchment area witch emerges at the entry Est of agglomeration.

Keywords: catchment area, flood, discharge.