



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique

**Option: CONCEPTION DES OUVRAGES
HYDROTECHNIQUES**

THEME :

**PROTECTION DE LA VILLE DE FOUKA CONTRE LES
INNONDATIONS (W. TIPAZA)**

Présenté par :

MOKHTARI Achraf Abedghafour

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
A.HADJ SADOK	Professeur	Président
I. ZAIBAK	M.A.A	Examineur
M. BOUZIANE	M.A.A	Examineur
A. KHEDIMALAH	M.C.B	Promoteur

Session ,Septembre 2024

Dédicace

Avec une profonde gratitude, je voudrais dédier ce travail à ceux qui ont joué un rôle important dans mon parcours. À toi, mère, source inépuisable d'amour et de soutien, et à toi, père, phare de sagesse, de force et d'encouragement. Vos forces et vos enseignements sont les piliers de ma réussite, et vos sacrifices ont ouvert la voie à ma réussite. J'espère qu'un jour je pourrai vous exprimer ma gratitude de manière significative, même si ce n'est qu'une partie de tout ce que vous avez fait pour moi. Que Dieu nous accorde bonheur et longue vie. Je souhaite également dédier ce travail à mes sœurs, Tamani et Basma, et à toute ma famille. Un grand merci à tous mes amis, surtout à ceux qui sont tous passés par là. Leurs encouragements et leur soutien sont inestimables et je suis reconnaissant de les avoir à mes côtés. Les chers amis que j'aime me manquent. Votre influence positive a contribué à cette réalisation et je suis reconnaissant de partager ce travail avec vous. .

Remerciements

Je remercie Dieu Tout-Puissant de m'avoir donné la santé et la force nécessaires pour mener à bien ce travail. Tout d'abord, je tiens à remercier mon encadrant, M. Khadimullah Abdul Rahman. Son soutien indéfectible, ses conseils avisés et ses critiques particulièrement utiles ont grandement contribué à la richesse de ce travail. Je tiens également à remercier les membres du jury, De plus, je n'oublierai jamais tous mes amis et membres de ma famille qui m'ont toujours encouragé. Dont le temps et l'expertise ont été inestimables dans l'évaluation de cette thèse. Leur engagement envers l'importance de l'éducation est inspirant. Je tiens également à remercier l'ensemble du personnel et des enseignants de l'École Nationale d'Hydraulique (ENSH). Leur engagement envers l'éducation a contribué à mon parcours éducatif. Je me remercie aussi.

Relever des défis difficiles a nécessité une force intérieure et une détermination qui ont dépassé mes attentes. Réussir cette tâche en surmontant ces obstacles a renforcé ma confiance en moi et m'a permis de découvrir une force inconnue en moi. Je suis très fier et je crois que tous les défis que j'ai affrontés ont contribué à faire de moi le héros que je suis devenu et cela me motive à relever les défis à venir.

ملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى حماية منطقة فوكة من الفيضانات التي تتسبب سنويًا في خسائر بشرية ومادية. قمنا بإجراء دراسة هيدرولوجية باستخدام برنامج HEC-RAS لتقدير التدفقات التي قد تؤثر على المناطق المشمولة بالدراسة. كما قمنا بإعداد خريطة للمناطق المعرضة للفيضانات باستخدام برنامجي Civil 3D و AutoCAD. الكلمات المفتاحية: الفيضانات، فوكة، خسائر بشرية، خسائر مادية، دراسة هيدرولوجية، HEC-RAS، Civil 3D، AutoCAD، خريطة المناطق الفيضية.

Résumé

Cette étude vise à protéger la région de Fouka des inondations qui causent chaque année des pertes humaines et matérielles. Une étude hydrologique a été réalisée à l'aide du logiciel HEC-RAS pour estimer les débits pouvant affecter les zones concernées. Une carte des zones inondables a également été établie en utilisant les logiciels Civil 3D et AutoCAD.

Mots-clés : inondations, Fouka, pertes humaines, pertes matérielles, étude hydrologique, HEC-RAS, Civil 3D, AutoCAD, carte des zones inondables.

Abstract

This study aims to protect the Fouka region from floods that cause human and material losses each year. A hydrological study was conducted using the HEC-RAS software to estimate the flow rates that could affect the areas under study. A flood zone map was also created using Civil 3D and AutoCAD software.

Keywords: floods, Fouka, human losses, material losses, hydrological study, HEC-RAS, Civil 3D, AutoCAD, flood zone map.

Contents

Introduction générale	1
I CHAPITRE I : présentation de la zone d'étude.	2
I.1. Introduction:	2
I.2. Description de la zone d'étude :	2
I.3. Situation des principaux oueds:	3
I.3.1. Oued SIDI ABDELKADER	3
I.3.2. Oued HOUARI BOUMÉDIÈNE	3
I.3.3. Oued AISSAT DJELLOUL	4
I.3.4. Oued BERBOUCHA	4
I.4. Situation climatique :	5
I.4.1. Température :	5
I.4.2. Les vents :	5
I.4.3. Stations de mesures	5
I.5. Aperçu météorologique :	6
I.5.1. Pluviométrie :	6
I.5.2. Pluie moyenne dans la région :	7
I.6. Caractéristiques Géologiques:	7
I.6.1. Topographie et relief	8
I.7. Conclusion:	9
II CHAPITRE II : Étude hydrologique	10
II.1. Introduction	10
II.2. Bassin versant :	11
II.2.1. Définition d'un bassin versant topographique:	11
II.2.2. Délimitation des bassins versants :	11
II.2.3. Les caractéristiques des bassins versant	13
II.2.4. Courbe hypsométrique :	15
II.2.5. Les altitudes moyenne du bassin versant	15
II.2.6. Les pentes des bassins versant :	17
II.3. Le temp de concentration:	18
II.3.1. Formule de GIANDOTTI :	18
II.4. Etude hydrologique des bassins versants	19
II.4.1. Caractéristiques climatiques du B.V:	19
II.4.2. Caractéristiques morpho-métrique :	19
II.4.3. Motivation du choix du poste représentatif :	19
Le choix du poste pluviométrique se repose sur les critères suivants :	19
II.4.4. Estimation des eaux pluviales :	19
II.4.5. Analyse des pluies journalières maximales (P.j.max) :	19
II.4.6. Analyse des données pluviométriques et choix de la loi d'ajustement :	20
II.4.7. Choix de la loi d'ajustement :	21

II.5. Détermination des débits les plus fréquents par la méthode Gradex :	26
II.5.1. Description de la méthode :	26
II.5.2. Principe de la méthode :	26
II.5.3. Hypothèses de la méthode :	27
II.5.4. Pluies journalières maximales de différentes fréquences :	28
II.5.5. Calcul de la pluie de courtes durées et l'intensité pour différentes fréquences :	30
II.6. Etude des crues :	47
II.6.1. Formule de SOKOLOVSKY.	47
II.6.2. Formule Rationnelle (TURRAZA):	48
II.6.3. Hydrogramme de crue :	48
II.7. Étude de transport solide:	54
II.8. Estimation de l'apport moyen annuel (A0) :	55
II.8.1. Formule de l'A.N.R.H : on a	55
II.8.2. Formule de SAMIE :	55
II.8.3. Formule de Turc :	55
II.9. Conclusion:	56
III Chapitre III : Etude des écoulements dans les cours d'eaux non aménagés	57
III.1. Introduction	57
III.2. Généralités et définitions:	57
III.3. Rappel de quelques notions d'hydraulique :	57
III.4. Type d'écoulement:	59
III.4.1. Variable dans le temps :	59
III.4.2. Variabilité dans l'espace :	60
III.4.3. Régime d'écoulement :	60
III.4.4. Le nombre de Reynolds :	60
III.4.5. Le nombre de Froude :	61
III.4.6. Canaux à ciel ouvert :	62
III.4.7. Type des canaux :	62
III.4.8. Propriétés des canaux :	63
III.5. Simulation de l'écoulement sur HEC-RAS:	64
III.5.1. Les données hydrométriques à savoir le débit de projet et les conditions aux limites.	64
III.5.2. Simulation :	71
III.5.3. Résultat de la simulation :	72
III.5.4. Le profil en long :	72
III.5.5. Restitution de la courbe de tarage :	73
III.5.6. Les profils en travers :	73
III.6. Conclusion:	79
IV Chapitre IV:Études des variantes d'aménagement.	80
IV.1. Introduction	80
IV.2. Présentation des grandes orientations:	80
IV.2.1. La protection contre l'érosion :	80

IV.2.2. Érosion des berges :	80
IV.2.3. Érosion du lit :	81
IV.2.4. La protection contre les crues :	81
IV.2.5. Protection directe (Rapprochée) :	81
IV.2.6. Protection indirecte (Éloignée) :	82
IV.3. Étude des variantes :	83
IV.3.1. Canal en béton armé :	83
IV.3.2. Canal en gabions :	83
IV.3.3. Canal en enrochement :	84
IV.3.4. Critères d'évaluation de la variante d'aménagement :	84
IV.4. Aménagement proposé sur le territoire de la commune de Fouka :	85
IV.5. PREMIERE Variante : Canal en béton armé	85
IV.5.1. Canal en béton armé proposé pour l'Oued Houari Boumediene :	85
IV.5.2. Dimensionnement :	85
IV.6. Deuxième Variante : Canal en enrochement	89
IV.6.1. Choix de la formule de dimensionnement	89
IV.7. Conclusion:	94
V ChapitreV:Organisation du chantier.	95
V.1. Introduction :	95
V.2. Devoirs et responsabilités du personnel sur site :	95
• Le maître de l'ouvrage :	95
• Le maître d'œuvre :	96
• L'entrepreneur :	96
V.3. Définition des machines d'occasion :	96
V.4. Devis quantitatif et estimatif du projet :	96
V.5. La Planification :	97
• Définition :	97
• Techniques de la planification :	97
V.5.1. Méthodes basées sur le réseau :	97
V.5.2. Construction du réseau:	98
V.5.3. Différentes méthodes basées sur le réseau (BENLAOUKLI,2004)	98
V.5.4. Choix de la méthode de calcul (BENLAOUKLI,2004) :	99
V.5.5. Les paramètres de calcul dans la méthode C.P.M	99
V.5.6. Chemin critique (C.C) :	100
V.5.7. Diagramme de Gantt :	100
V.6. Conclusion :	102
VI Conclusion générale :	103
Références	104
VI.1.1. Références Internes	104
VI.2. Annexe N°1 :	111
VI.3. Annexe N°2 :	111

Introduction générale

Les inondations en Algérie sont un phénomène naturel récurrent qui a un impact majeur sur la population, l'environnement et l'économie du pays. Située dans une région géographiquement diversifiée, l'Algérie est sujette à de fortes précipitations, souvent concentrées sur une période de temps relativement courte, provoquant des inondations soudaines et parfois dévastatrices. Ces inondations sont principalement causées par des facteurs tels que les fortes précipitations, la topographie, la déforestation, l'urbanisation non réglementée et le changement climatique.

Les zones les plus touchées par les inondations en Algérie sont souvent les zones côtières et les bassins versants où la densité de population tend à être plus élevée. Les conséquences de ces inondations peuvent être dévastatrices, allant de la perte de vies humaines et de biens à de graves dommages environnementaux, notamment l'érosion des sols et la pollution de l'eau. Le gouvernement algérien a pris diverses mesures pour atténuer les effets des inondations, notamment la construction de systèmes de drainage, l'alerte précoce et la sensibilisation du public aux dangers.

Toutefois, des défis persistent, notamment en raison de l'urbanisation rapide et anarchique de certaines régions et de la variabilité accrue des conditions météorologiques associée au changement climatique. Comprendre les causes et les effets des inondations en Algérie est essentiel pour développer des politiques et des stratégies efficaces visant à réduire les risques et à renforcer la résilience des communautés locales face à ce phénomène naturel dévastateur.

CHAPITRE I : présentation de la zone d'étude.

I.1. Introduction:

Le premier chapitre de cette étude se concentre sur la présentation générale du bassin versant de la zone d'étude, fournissant ainsi des signes géographiques et physiographiques qui constituent une base importante pour la compréhension des mécanismes hydrologiques. En effet, des paramètres tels que la hauteur, la pente et la forme du bassin versant, ainsi que la lithologie, fournissent des informations sur le type de réponse hydrologique du bassin. Cette analyse approfondie de la composition géographique et des caractéristiques physiques du bassin versant permet une meilleure compréhension des processus hydrologiques qui s'y déroulent.

I.2. Description de la zone d'étude :

Fouka est une ville côtière située à quelques 50 Km à l'ouest d'Alger dans la Wilaya de Tipasa. Elle est délimitée : Au Nord par la Mer Méditerranée, au Sud par la commune de Kolea, à l'Est par la commune de Douaouda. et à l'Ouest par la commune de Bousmail. Son altitude varie de zéro (niveau de la Mer) à 218 m NGA.

Traversée par la route Nationale RN 11, elle comprend :

- Fouka Marine, situé au Nord de la RN 11.
- Fouka Ville, situé au Sud de la RN 11.



Figure I-1: Situation géographique Fouka

I.3. Situation des principaux oueds:

I.3.1. Oued SIDI ABDELKADER

C'est un cours d'eau situé à l'ouest de la ville de Fouka il prend naissance à une altitude de 128 m près de cité Ben Hani puis il traversé la CW N°126, la voix expresse Ziralda-Bou Isamil et RN 11 et s'écoule jusqu'à la mer méditerranéenne

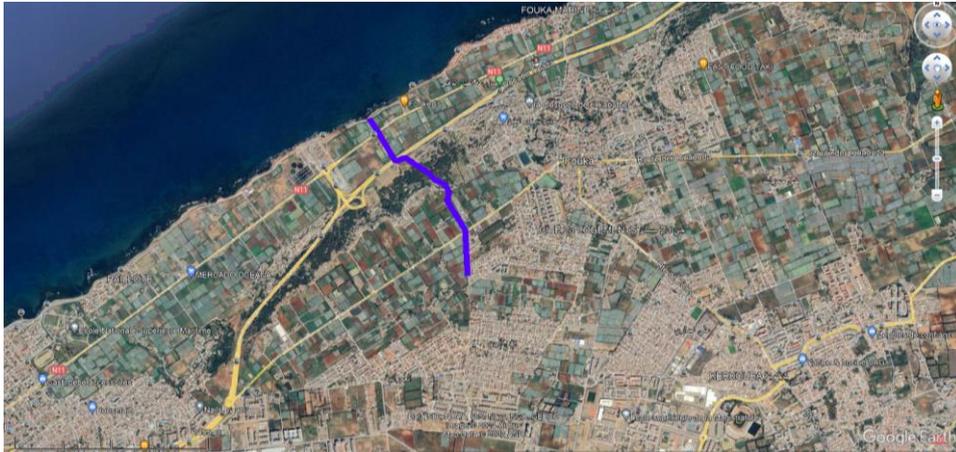


Figure I-2: Vue satellitaire d'Oued SIDI ABDELKADER

I.3.2. Oued HOUARI BOUMÉDIÈNE

Cet oued traverse le centre Ouest de la ville de Fouka il prend naissance à une altitude de 100 m à côté de polyclinique, il traversé la voix expresse Ziralda-Bou Isamil, l' RN 11, Fouka marine et s'écoule jusqu'à la mer méditerranéenne.



Figure I-3: Vue satellitaire d'Oued HOUARI BOUMEDIENE

I.3.3. Oued AISSAT DJELLOUL

Cet oued traverse le centre Nord de la ville de Fouka il prend naissance à une altitude de 100 m à côté de CW N°110, il traversé la voix expresse Ziralda-Bou Isamil, et l' RN 11 et s'écoule jusqu'à la mer méditerranée coté Est de Fouka Port.

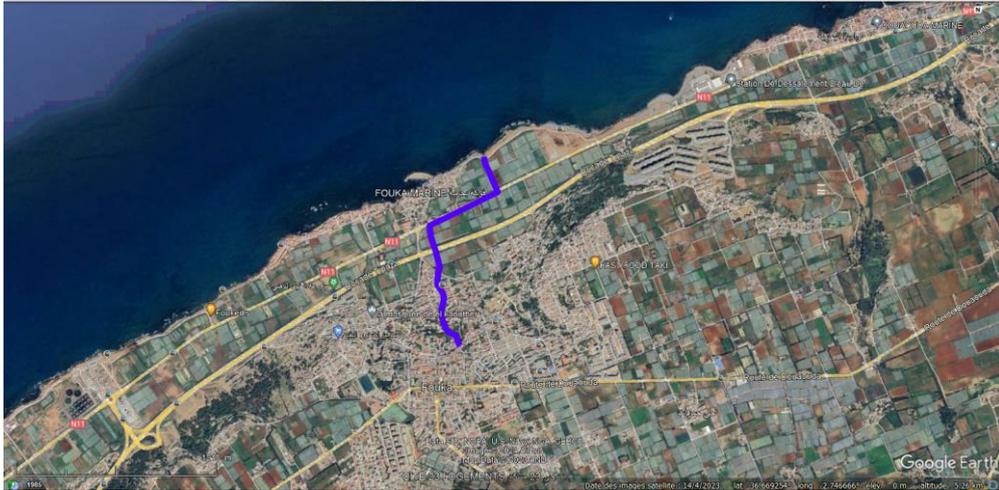


Figure I-4: Vue satellitaire d'Oued AISSAT DJELLOUL

I.3.4. Oued BERBOUCHA

Cet oued traverse le centre Est de la ville de Fouka il prend naissance à une altitude de 110 m à côté de Rue Tchina, il traversé la voix expresse Ziralda-Bou Isamil et s'écoule jusqu'à l'Oued de Aissat Djelloul au niveau de RN11.



Figure I-5: Vue satellitaire d'Oued BERBOUCHA

I.4. Situation climatique :

La région d'étude est soumise à un climat Méditerranéen, se caractérisant par deux saisons distinctes : l'une humide et froide, l'autre sèche et chaude

I.4.1. Température :

Le climat est caractérisé par des étés chauds et des hivers doux. Durant les saisons froides, la température minimale absolue est inférieure à 7,4°C, tandis que pour les saisons chaudes, la température maximale absolue varie entre 26 à 38°C et la température moyenne varie entre 12 à 24.

La distribution de la température durant l'année apparaît dans le tableau N°09 :

Tableau I-1: températures moyennes mensuelles

Mois	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	dec
T°C moy	12	12	14	16	18,5	21	24	24	23	20	16	13

Source : [ONM]

I.4.2. Les vents :

Ceux qui dominent en période d'hiver, sont des vents d'orientation Nord-Ouest, ces vents arrivent de la Mer Méditerranée. Ils amènent une certaine douceur aux températures.

Les vents d'Est et Nord sont dominants en période d'été, ces vents rafraîchissent le climat.

I.4.3. Stations de mesures

Le réseau pluviométrique géré par l'ANRH « Agence Nationale des Ressources Hydriques » couvre la totalité de la région d'études, où se répartit un ensemble de stations hydrométriques et pluviométriques dont les principales sont :

Tableau I-2

Station	Code	Source	Années D'observation	Nombre d'années d'observations
Koléa secteur	021233	A.N.R.H	1981-2023	42 ans



Figure I-6: Extrait de la carte du réseau hydro/climatologique de l'ANRH

I.5. Aperçu météorologique :

I.5.1. Pluviométrie :

Schématiquement, les précipitations décroissent du littoral vers l'intérieur suivant un gradient latitudinal, altéré néanmoins par l'effet orographique de l'Atlas Saharien. La carte pluviométrique de l'Algérie (A.N.R.H., 1993) retrace cet ordonnancement des précipitations.

Deux groupes de facteurs, géographiques (éloignement par rapport à la mer, altitude, exposition des versants par rapport aux vents pluvieux) et météorologiques (déplacement des masses d'air polaire océanique, froid et humide, des masses d'air tropical chaud et humide de l'Atlantique Sud et enfin des masses d'air tropical continental ou anticyclone saharien) influencent la répartition spatiale des précipitations mais aussi les structures des régimes pluviométriques (Chaumont M. et Paquin C., 1971). Le caractère d'irrégularité temporelle des précipitations est, par ailleurs, une donnée du climat algérien.

I.5.2. Pluie moyenne dans la région :

La pluie annuelle moyenne dans la région est de 550 mm d'après la carte des pluies de l'Algérie du nord de l'ANRH :

$$P_{moy} = 550 \text{ mm}$$

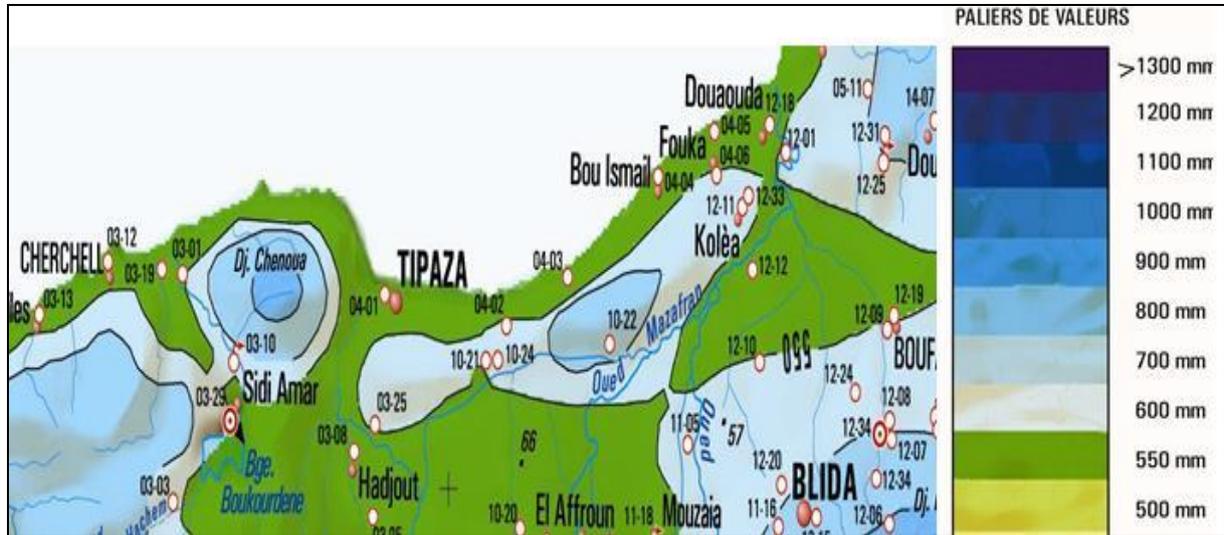


Figure I-7

: Extrait de la carte des pluies annuelles établie par l' A.N.R.H en 1993 : données moyennes de 60 ans, périodes du 1er septembre 1921 au 31 août 1989. (Source ANRH)

La région en étude est caractérisée par une pluviométrie irrégulière. La ville de FOUKA, durant la série d'observations relevées dans la station de Koléa secteur pour une série d'observation de 1981 à 2023. La courbe annuelle des pluies se caractérise par un maximum très accusé en mars et Décembre et un minimum en juin et Juillet.

Tableau I-3: Répartition mensuelles de la pluviométrie (moyenne de la série pluviométrique 1981-2023 station expérimentale de Koléa secteur, code : 021233)

mois	sept	oct	nov	Dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	août
P (mm)	17,06	26,13	34,56	28,08	29,46	21,23	19,98	20,02	20,07	5,91	1,19	4,22

I.6. Caractéristiques Géologiques:

En définissant la géographie du site, nous pouvons établir les exigences nécessaires à la construction de la fosse et choisir l'équipement au sol à utiliser. Le sol de la ville de Fouka est peu profond et a une texture qui varie en fonction de la topographie, allant du loam sableux au loam sableux et parfois à l'argile enrobée. De haut en bas, on distingue :

- Les grès rouges
- Les galets et sables constituent la source principale de la nappe (d'une épaisseur de 5 à 20 m)
- Les sols sableux et mixtes. De nombreux lits Grès
- principalement calcaire du Crétacé et de l'Éocène.

: Carte géologique de la Mitidja (Bennie et Partners 1983)

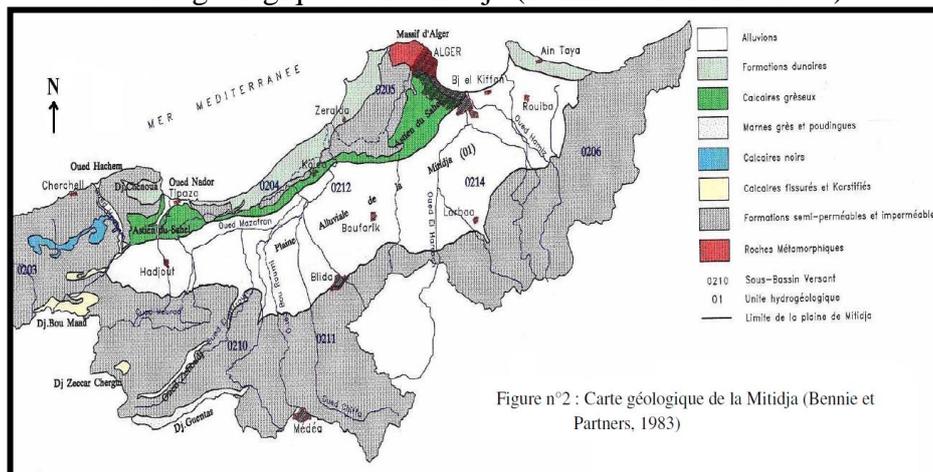


Figure n°2 : Carte géologique de la Mitidja (Bennie et Partners, 1983)

I.6.1. Topographie et relief

La topographie joue un rôle important dans la conception du projet. Le territoire de la ville de Fouka est très différent et montre une plate-forme au nord (Fouka Marin) de 20 mètres de haut, on monte vers le nord, dans la ville de Fouka à 116 mètres on rencontre un pays très fort, ensuite. Nous rencontrons le sol et montons avec une pente paresseuse (moins de 4 degrés Celsius) jusqu'à la ville de Sighar à 170 mètres d'altitude.



Figure I-8: Carte topographique Fouka, altitude, relief.

I.7. Conclusion:

Les études diagnostiques permettent tout d'abord d'obtenir des informations complètes sur la zone d'étude sous tous ses aspects (géologiques, climatiques, hydrologiques, etc.). Cela permet de mieux comprendre les véritables causes des inondations, qu'il s'agisse des oueds, des chaabas ou de leur combinaison. Lors des inondations, cette étude permet également de mieux comprendre leur comportement. De plus, il permet d'évaluer les dommages causés et d'obtenir un aperçu préliminaire des mesures prévues avant de démarrer les études hydrologiques et hydrauliques.

CHAPITRE II : Étude hydrologique

II.1. Introduction

L'hydrologie est la science qui étudie la phase du cycle de l'eau qui commence lorsque l'eau atteint le sol. Cela inclut les précipitations, le ruissellement et les eaux souterraines. C'est une science spécialisée car elle regroupe un certain nombre de sciences fondamentales très différentes et a pour vocation de répondre aux problèmes liés aux ressources en eau. Hydrologie fournit aux concepteurs des outils d'inventaire et d'analyse de données pour répondre aux besoins de conception des éléments de développement et d'exploitation du système. Un ingénieur hydrologue est appelé à participer à divers projets, sauf que l'intervention dans le milieu aquatique la rend nécessaire pour tous les ingénieurs. Connaissance des bases de l'hydrologie ; afin qu'il puisse présenter des problèmes au sein d'une équipe multidisciplinaire, élaborer des solutions et devenir un interlocuteur valable. Les dimensions, la sécurité et le bon fonctionnement des ouvrages hydrauliques sont toujours liés à une évaluation fiable non seulement des débits moyens mais aussi surtout extrêmes.

Les études hydrologiques pour la construction d'ouvrages hydrauliques sont très importantes. Enfin, l'objectif est d'estimer les débits maximaux pour différentes périodes de retour (10 ans, 20 ans, 50 ans, 100 ans...). Dont elle consiste à :

- Délimiter les bassins versants qui se déversent dans notre zone d'étude.
- Délimiter les différentes caractéristiques des bassins versants délimités.
- Identifier les stations pluviométriques proches et calcul de la moyenne annuelle des précipitations, ainsi que de différentes fréquences (10 ans, 20 ans, 50 ans, 100 ans).
- Calcul des débits correspondant aux périodes de retour de 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100 ans en utilisant des formules empiriques.

II.2. Bassin versant :

II.2.1. Définition d'un bassin versant topographique:

Le bassin versant représente, l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ses effets. C'est une surface élémentaire hydrologiquement close, ou aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et où tous les excédents de précipitations s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire. Il est donc défini comme étant la totalité de la surface topographique drainée par le cours d'eau et ses affluents à l'amont de sa section. Il est entièrement caractérisé par son exutoire, à partir duquel nous pouvons tracer le point de départ et d'arrivée de la ligne de partage des eaux qui le délimite. La ligne de partage des eaux correspond à la ligne de crête.

II.2.2. Délimitation des bassins versants :

La lecture des cartes d'état-major au 1/25000 et 1/50000 a permis de localiser dans la périphérie de Fouka quatre (04) bassins versants (BV). Ils ont une direction Sud Nord et traversent le périmètre urbain de la ville une formation topographique propices à la formation de bassins versants et à un déversement des eaux pluviales de toute la région située au Sud du périmètre urbain dans le sens Sud – Nord.

-  BV 01 : Oued SIDI ABDELKADER
-  BV 02 : Oued HOUARI BOUMÉDIÈNE
-  BV 03 : Oued AISSAT DJELLOUL
-  BV 04 : Oued BERBOUCHA

La situation de ces derniers est représentée dans les figures suivante :

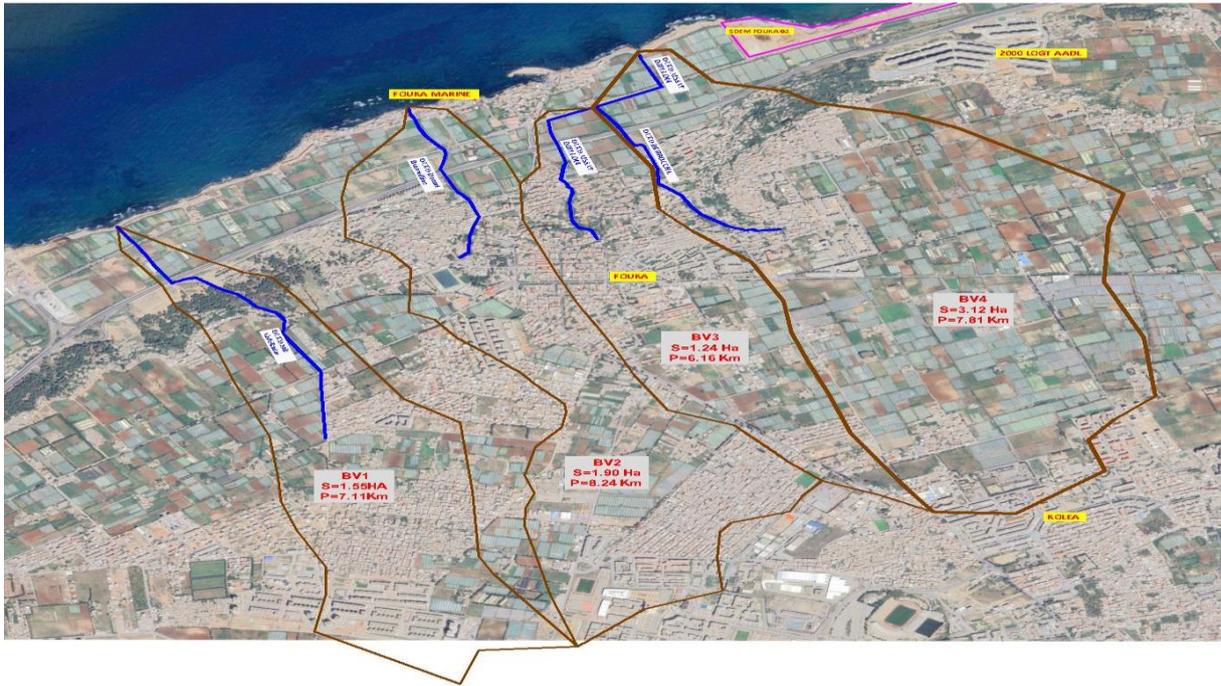


Figure II-1: Délimitation des bassins versants de la zone d'étude sur image Google

II.2.2.1. Description du Bassin Versant N° 01 :

Il est situé l'Ouest du périmètre urbain et prend naissance à la cote 192 m NGA, au Sud du périmètre urbain à proximité du domaine Bendoumi Ali, au Nord de domain Barbara Abdelkader. Il traverse la RN 11 en passant par le domaine Barbara Abdelkader. Son talweg prend naissance à la cote 117 m NGA et a un exutoire en Mer. Sa ligne de crête Est à une frontière commune avec le bassin versant BV02.

II.2.2.2. Description du Bassin Versant N°02 :

C'est un petit bassin versant situé dans le domaine Barbara AEK. Il prend naissance à la cote 100 m NGA. Il a une frontière commune avec le bassin versant BV03 passant par les cotes de crêtes 186 et 117 m NGA et avec le bassin versant BV03 passant par les cotes de crêtes 117, 185 et 184 m NGA. Sa ligne de crête Sud passe par les cotes : 109, 112 et 153 m NGA. Son talweg prend naissance à la cote 100 m NGA et a un exutoire en Mer.

II.2.2.3. Description du Bassin Versant N°03 :

Il prend naissance à la cote 186 m NGA. Il a une frontière commune avec :

- ⇒ Le bassin versant BV04 en passant par les cotes de crêtes : 110 et 186 m NGA.
- ⇒ Le bassin versant BV02 en passant par les cotes de crêtes : 31, 135,159, et 178 m NGA.

Sa ligne de crête Sud passe par la cote : 186 m NGA. Son talweg prend naissance à la cote 95 m NGA, traverse la RN 11 et a un exutoire en Mer.

II.2.2.4. Description du Bassin Versant N°04 :

Il prend naissance à la cote 186 m NGA. Le bassin versant situé dans le domaine Freres Boufedjar. Il a une frontière commune avec :

- Le bassin versant BV03 en passant par les cotes de crêtes : 110 et 186 m NGA.

Sa ligne de crête Sud passe par les cotes : 174 et 186 m NGA. Son talweg prend naissance à la cote 95 m NGA, traverse la RN 11 et a un exutoire en Mer.

II.2.3. Les caractéristiques des bassins versant

II.2.3.1. Les paramètres géométriques :

La superficie, le périmètre et la longueur du thalweg du bassin versant ont été déterminés après avoir délimité les bassins versants avec logiciel « HEC-HMS ».

Tableau II-1: : Caractéristiques géométrique des bassins versant

Bassin versant	Superficie (Km ²)	Périmètre (Km)	Longueur du thalweg principale (Km)
BV 01 : Oued SIDI ABDELKADER	1,553	7,12	1,22
BV 02 : Oued HOUARI BOUMÉDIÈNE	1,905	8,24	1,06
BV 03 : Oued AISSAT DJELLOUL	1,249	5,86	0,95
BV 04 : Oued BERBOUCHA	3,117	7,81	1,11
BV 03+BV 04	4,366	13,67	1,64

II.2.3.2. Les paramètres de forme :

La forme du bassin versant influence sur l'allure de l'hydro-gramme à l'exutoire du bassin versant, une forme allongée favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus importants. En revanche, les bassins en forme d'éventail présentant un temps de concentration plus court, auront les plus forts débits de pointe.

II.2.3.2.1. Le coefficient de gravellius (indice de compacité) :

Ce coefficient est défini par le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface, Plus ce coefficient s'approche de 1, plus la forme du bassin versant sera ramassée et plus le temp de concentration des eaux sera court. Le bassin sera de forme allongée dans le cas contraire.

Cet indice est calculé comme suite :

$$Kc = 0.28 \times \frac{p}{\sqrt{s}}$$

Ou :

- P: Le pèrimètre du bassin versant
- S : La surface du bassin versant

II.2.3.2.2. Le rectangle équivalent

La notion de rectangle équivalent a été introduite dans l'étude géomorphologique des bassins et elle permet la comparaison des bassins entre eux de point de vue de l'influence de la forme sur l'écoulement, en possédant la même superficie et le même périmètre que le bassin considéré et par conséquent le même indice de compacité.

Les dimensions sont tirées comme suit :

Longueur du rectangle L_r :

$$L_r = \frac{Kc\sqrt{S}}{1.12} * \left(1 + \sqrt{1 - \frac{1.12}{Kc}}\right)$$

Largeur du rectangle l_r :

$$l_r = \frac{Kc\sqrt{S}}{1.12} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{1.12}{Kc}}\right)$$

II.2.3.2.3. Le coefficient d'allongement

Ce coefficient est calculé comme suite : $Ca = \frac{L^2}{S}$

- L : La longueur du Talweg principal du bassin versant
- S : La surface du bassin versant

Ce coefficient renseigne sur le comportement hydrologique de la zone d'étude : Un facteur d'allongement élevé indique un bassin versant plus allongé. Ces dernières peuvent affecter l'écoulement de l'eau à travers le réseau hydrographique et peuvent avoir un temps de concentration plus court. Mais il peut également réagir plus rapidement aux précipitations, entraînant des inondations plus rapides.

Les paramètres hydro morphométriques du plan d'eau sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau II-2: Caractéristiques de forme des bassins versants

BV	P (Km)	S (Km ²)	Kc	Forme	Lr	lr	L (talweg principale)	Ca
BV 01 : Oued SIDI ABDELKADER	7,12	1,553	1,61	Allongé	3,05	0,51	1,22	0,96
BV 02 : Oued HOUARI BOUMÉDIÈNE	8,24	1,905	1,68	Allongé	3,59	0,53	1,06	0,59
BV 03 : Oued AISSAT DJELLOUL	5,86	1,249	1,48	Allongé	2,41	0,52	0,95	0,72
BV 04 : Oued BERBOUCHA	7,81	3,117	1,25	Allongé	2,78	1,12	1,11	0,40
BV 03+BV 04	13,67	4,366	1,84	Allongé	6,12	0,71	1,64	0,61

II.2.3.3. Les paramètres de relief:

Le relief exerce une influence significative sur l'écoulement dans un bassin versant. Il guide la direction, la vitesse et la distribution de l'eau, grâce à la gravité, aux caractéristiques naturelles du ruissèlement et à la topographie du BV.

Le relief joue un rôle essentiel sur le régime d'écoulement. Il est indiqué par les courbes de niveau et est caractérisé par la courbe hypsométrique. Une pente plus forte provoque un écoulement rapide, donc un temps de concentration plus court et une montée plus rapide des crues. Notre but recherché est la détermination de la classe de relief

Le relief se détermine-lui aussi au moyen d'indices ou de caractéristiques suivants :

- La courbe hypsométrique ;
- L'altitude moyenne ;
- L'indice de pente globale I_g ;
- L'indice de pente roche I_p ;
- Densité de drainage D_g .

II.2.4. Courbe hypsométrique :

▪Hypsométrique fait référence au rapport relatif de la surface à différentes hauteurs, et une courbe hypsométrique est une courbe de rapport surface-hauteur qui décrit la distribution de la surface par rapport à la hauteur (Strahler, 1952.)

▪Pour estimer ces paramètres, il faut fournir une répartition hypsométrique après planimétrie entre les courbes principales et les sous-régions contenues entre les différentes côtes.

II.2.5. Les altitudes moyenne du bassin versant

a. Altitude maximale et minimale « H_{max} , H_{min} » :

Elles déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente, déterminés d'après la carte topographique.

b. Altitude moyenne « H_{moy} » :

L'altitude moyenne du bassin est un indice important qui intègre et présente l'influence de la zonalité climatique verticale et elle est déterminée par la somme du Produit des surfaces partielles S_i comprises entre les courbes de niveau, et des altitudes moyennes correspondantes H_i .

c. L'altitude médiane :

- **L'altitude médiane $H_{5\%}$:** c'est la projection du point qui correspond à 5% de la surface cumulée sur la courbe hypsométrique.

- **L'altitude médiane H50%** : 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.
- **L'altitude médiane H95%** : c'est la projection du point qui correspond à 95% de la surface cumulée sur la courbe hypsométrique.

C'est l'ordonnée de la courbe hypsométrique correspondante à la surface 50%

Tableau II-3: Les altitudes médianes des BV

Bassin versant	H5%	H 50%	H95%
BV 01 : Oued SIDI ABDELKADER	187,12	96.00	47,50
BV 02 : Oued HOUARI BOUMÉDIÈNE	186,50	96.00	47,50
BV 03 : Oued AISSAT DJELLOUL	166,31	103.00	47,50
BV 04 : Oued BERBOUCHA	176,10	103.00	47,50
BV 03 + BV 04	176,10	93.00	47,50

d. L'altitude moyenne :

$$H_{moy} = \sum \frac{Si * Hi}{S}$$

Où :

Si : surface partielle entre deux courbes de niveau (Km²)

Hi : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau consécutives i-1 et i en (m)

S : Superficie du bassin versant (Km²)

Tableau II-4: Les altitudes moyennes des BV

Bassins versants	H	Si (Km ²)	Si (Cumulé)	Si (%)	Si (%) cumulé	Hmoy (m)
BV 01	150-192	0,63	0,6300	40,54	41%	135,45
	100-150	0,762	1,3920	49,03	90%	
	50-100	0,072	1,4640	4,63	94%	
	0-50	0,09	1,5540	5,79	100%	
BV 02	150-192	0,73	0,7300	38,12	38,12%	123,73
	100-150	0,75	1,4800	39,16	77,28%	
	50-100	0,15	1,6300	7,83	85,12%	
	0-50	0,285	1,9150	14,88	100,00%	
BV 03	150-186	0,11539	0,1154	9,14	9,14%	93,22
	100-150	0,8	0,9154	63,37	72,51%	
	50-100	0,18	1,0954	14,26	86,77%	
	0-50	0,167	1,2624	13,23	100,00%	
BV 04	150-186	0,541	0,5410	17,67	17,67%	120,51
	100-150	2	2,5410	65,34	83,01%	
	50-100	0,3	2,8410	9,80	92,81%	
	0-50	0,22	3,0610	7,19	100,00%	

BV3+BV4	150-186	0,676	0,6760	15,52	15,52%	116,98
	100-150	2,8	3,4760	64,28	79,80%	
	50-100	0,48	3,9560	11,02	90,82%	
	0-50	0,4	4,3560	9,18	100,00%	

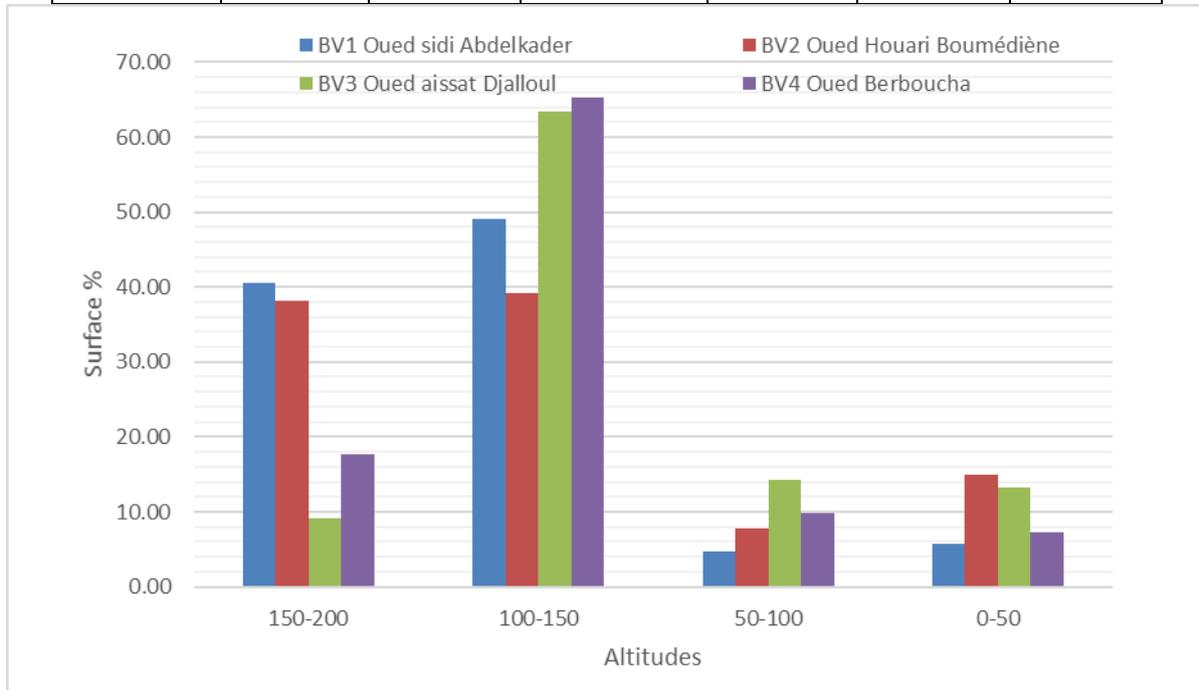


Figure II-2 : Courbe hypsométrique

II.2.6. Les pentes des bassins versant :

Tableau II-5: Les pentes des BV

Bassins versants	i (m/m)
BV 01 : Oued SIDI ABDELKADER	0,1570
BV 02 : Oued HOUARI BOUMÉDIÈNE	0,1805
BV 03 : Oued AISSAT DJELLOUL	0,1747
BV 04 : Oued BERBOUCHA	0,1493
BV 03 + BV 04	0,1136

II.2.6.1. L'indice de pente :

L'indice de pente globale : A partir de la courbe hypsométrique, nous déduisant les altitudes de fréquence 5% et 95% de la surface du bassin versant. :

$$I_g = \frac{H_{95\%} - H_{5\%}}{L_r}$$

Tableau II-6: Pentes globales des bassins versant

Bassins versants	Lr	H5%	H95%	Ig m/m	Ig%
BV 01 : Oued SIDI ABDELKADER	3,05	187,12	47,50	0,05	4,6%
BV 02 : Oued HOUARI BOUMÉDIÈNE	3,59	186,50	47,50	0,04	3,9%
BV 03 : Oued AISSAT DJELLOUL	2,41	166,31	47,50	0,05	4,9%
BV 04 : Oued BERBOUCHA	2,78	176,10	47,50	0,05	4,6%
BV 03+ BV 04	6,12	176,10	47,50	0,02	2,1%

II.3. Le temp de concentration:

Le temps de concentration est le temps entre le début des précipitations et le débit maximum à l'exutoire du bassin versant. Il correspond au temps nécessaire à l'eau pour s'écouler du point le plus éloigné de la captation jusqu'à l'exutoire.

II.3.1. Formule de GIANDOTTI :

$$T_c = \frac{4 * \sqrt{S} + 1.5 * L_{cp}}{0.8 * \sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Avec :

- S : Superficie du bassin versant en Km².
- H : Différence entre les altitudes moyenne et minimale en m.
- Lcp : Longueur du cours d'eau principal (km)

Tableau II-7: Résultats des Tc

Bassins versants	Tc (h)
BV 01 : Oued SIDI ABDELKADER	0,73
BV 02 : Oued HOUARI BOUMÉDIÈNE	0,80
BV 03 : Oued AISSAT DJELLOUL	0,86
BV 04 : Oued BERBOUCHA	1,09
BV 03+ BV 04	1,23

II.4. Etude hydrologique des bassins versants

II.4.1. Caractéristiques climatiques du B.V:

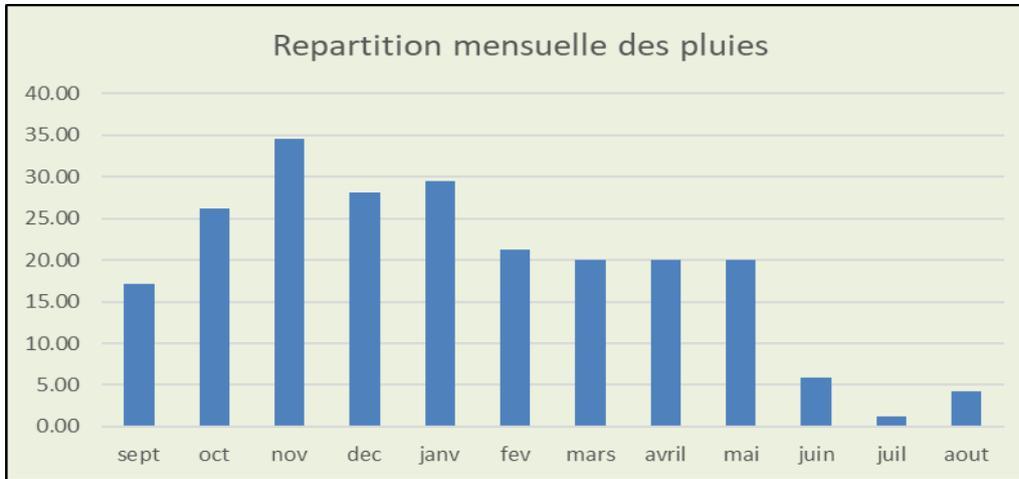


Figure II-3: Répartition mensuelle des pluies

II.4.2. Caractéristiques morpho-métrique :

La zone d'étude présente un relief de pente moyenne d'environ 3 à 10%. Cette caractéristique permet l'évacuation des eaux de ruissèlement vers l'exutoire sans problème.

II.4.3. Motivation du choix du poste représentatif :

Le choix du poste pluviométrique se repose sur les critères suivants :

- La situation géographique : poste plus proche de la zone d'étude.
- Le poste aura une altitude acceptable Z (mNGA) par rapport aux altitudes de la zone d'étude.
- Le poste doit avoir d'une série longue, sans lacunes.

II.4.4. Estimation des eaux pluviales :

L'évaluation des eaux pluviales, pour le dimensionnement des réseaux des eaux pluviales, consiste en le calcul de la crue décennale engendrée par la pluie journalière maximale, durant le temps « t » de crue, pour une période de retour de 10 ans et pour le dimensionnement des protections contre les inondations le calcul de la crue centennale engendrée par la pluie journalière maximale, durant le temps « t » de crue, pour une période de retour de 100 ans.

II.4.5. Analyse des pluies journalières maximales (P.j.max) :

L'analyse des précipitations journalières maximales, constitue la partie la plus importante dans le présent projet et ce du fait qu'elle rentre d'une façon directe dans le dimensionnement des ouvrages d'évacuation des crues.

Sachant que l'Algérie est soumise à un climat très aléatoire et irrégulier, cependant le choix d'une loi statistique dissymétrique est indispensable pour l'analyse statistique des pluies journalières maximales.

Pour aboutir à des résultats plus précis, il a été procédé à un ajustement de la série d'observations des pluies journalières maximales du poste pluviométrique en étude, à la loi de GUMBEL, qui s'ajustent bien au régime hydrologique méditerranéen.

La série d'observations des pluies journalières maximales du poste pluviométrique est insérée dans le tableau ci-après :

Tableau II-8: poste pluviométrique de Koléa secteur

Station	Code	Années D'observation
Koléa secteur	021233	1981-2023

II.4.6. Analyse des données pluviométriques et choix de la loi d'ajustement :

Pour l'étude des précipitations on a besoin d'une série pluviométrique qui comporte les précipitations maximales journalières pour la période la plus longue possible.

Nous prenons comme base de calcul la série pluviométrique de la station pluviométrique de Koléa secteur dont le code de la station est de 021233.

L'analyse statistique des données pluviométrique consiste à déterminer les caractéristiques empiriques d'un échantillon d'une série d'observations de précipitations mensuelles et maximales journalières, de 42 ans et un Exposant climatique $b=0.37$

Tableau II-9: Précipitations mensuelles et maximales journalières de la station de Koléa secteur.

Année	Précipitations PJ max (mm)												PJ maxannuel
	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	
1981/1982	0	0	6,5	35,4	71,7	17,5	16	8,4	23,6	0	0	3,7	71,7
1982/1983	23,6	24,6	72,3	24,9	0,2	30	13,3	0,5	2,5	0	4,9	2,3	72,3
1983/1984	0	13,5	11,1	54,9	48,7	22,2	14,8	25,7	38	13,5	0	0,6	54,9
1984/1985	10,6	79,7	26,8	40,4	24,2	13,5	55,6	9,4	23,6	0,1	0	4,2	79,7
1985/1986	4,1	34,1	18,6	24,7	16,4	13,8	13,9	9,4	1,2	14,9	8,6	2,1	34,1
1986/1987	40,9	39,1	22	55,5	24,9	38,6	8,5	1,2	4,1	11	0,8	0	55,5
1987/1988	8,7	6,8	19,8	11,9	15,8	15	20,3	4,5	29,7	20,1	0	0	29,7
1988/1989	32	19,5	30,6	53,1	22	5,8	28,3	28	2,9	11,7	0	19,9	53,1
1989/1990	8,1	7,7	24,2	13	19,3	0	16	25,2	17,9	0	7,7	0	25,2
1990/1991	0,2	26,3	33,7	17,2	25,1	27,7	12,1	9,4	16,1	7,4	0	0	33,7
1991/1992	1,5	89,6	8,9	1,5	50,6	15,5	35,6	26,7	22,1	10,5	2,9	0	89,6
1992/1993	3,7	51,5	34,5	21,3	16,6	15	22,2	21,9	17,3	0	0	1,8	51,5
1993/1994	23,6	14,1	50,5	11,4	80,1	23,3	1,3	17,2	3,5	0	0	0	80,1
1994/1995	53,6	18,9	35,5	31,5	49,1	23,7	47,5	9	0	4,2	0	31	53,6
1995/1996	20,1	39,7	46	15,3	73,3	25,2	20,9	104,3	16,6	2,1	2,7	1,8	104,3
1996/1997	40,6	74	10,7	27,9	23,4	20	6,9	18,7	8,3	0,8	0	0	74
1997/1998	46,4	29,3	32,3	30	15,6	17,3	14,4	36,9	71,2	0,9	0	1,7	71,2
1998/1999	17,1	9,1	35,5	27,8	30,2	46,2	36,8	24,1	0	0,7	0	1,8	46,2
1999/2000	17,9	4,8	38	46,6	6,4	1,9	5,1	15,7	19,4	0	0,1	0,2	46,6

2000/2001	3,8	24,7	50,1	20,3	30	21,3	1,2	18,8	10	0	0	0	50,1
2001/2002	32,4	41,7	37,4	30,8	11,9	12,1	21,1	10,3	18,8	0,3	5,6	18	41,7
2002/2003	9	36,7	26,1	36,5	46,9	52,4	6,5	29,8	11,8	0	6,2	1,1	52,4
2003/2004	8,2	11,4	32,3	26,8	44,8	32,6	18,9	10,5	55	1,4	0	2,6	55
2004/2005	30,9	20,7	22,6	47,4	21,5	27,5	13,3	9,1	4,1	0	1,4	0	47,4
2005/2006	4,6	33,2	39,9	25,2	26,9	32,3	7,5	7,2	64,7	0	0	0	64,7
2006/2007	20,3	4,8	26,5	30,8	8,9	15,5	19,5	14,4	0,6	6,3	0	4,5	30,8
2007/2008	17,1	27,5	99,9	35,9	12,3	21,1	16,3	10,9	17,2	5,7	5,8	0	99,9
2008/2009	30,7	11,7	58,2	37,7	24,2	5,6	16,8	11,4	6,6	0	1,1	3	58,2
2009/2010	53,5	7,5	27,1	33,1	35,4	26,4	36,3	8,4	9,2	3,3	0	21,2	53,5
2010/2011	1,8	37,6	45,4	28,4	48	28	30,5	18,1	32,5	13,3	0,5	0	48
2011/2012	6,5	15,2	28,7	14,4	24,5	50,7	35,4	38,3	6,3	0	0	37,6	50,7
2012/2013	10,2	14,7	23,6	6,7	21,2	28,7	11,4	36,2	81,6	0	0	8,3	81,6
2013/2014	9,8	8,1	82,9	24,9	25,4	11,5	22	4,6	7,2	26,2	0	1,5	82,9
2014/2015	9,1	55	26,4	65	32,6	18,9	15,1	0	6	5,3	0	0,5	65
2015/2016	12	37,8	24,2	0	48,8	30,3	33,6	32,4	16	0	0	0	48,8
2016/2017	5,6	22,6	32	53,6	39,2	18,9	23	3,5	1,6	1,6	1,7	0	53,6
2017/2018	42,1	25,8	26,5	20	22,7	32,5	16,6	79,4	25,5	33	0	0	79,4
2018/2019	19	39,7	52	32,6	26,7	2,9	14,1	20,8	5	6,2	0	3,9	52
2019/2020	31,7	6,7	29,8	7,8	8,8	0	20,6	32,6	1,8	11,3	0	3,9	32,6
2020/2021	5,5	13,1	11,5	30,6	14,8	7,8	29,3	12,5	21,8	4,8	0	0	30,6
2021/2022	0	11,3	64	22,3	12,7	18	34,5	34,9	9,5	1,6	0	0,2	64
2022/2023	0,2	7,6	26,8	4,3	35,5	24,5	6	0,4	112,0	30,0	0	0	112,0

II.4.7. Choix de la loi d'ajustement :

Les lois d'ajustement sont nombreuses et ne peuvent être appliquées à un échantillon que si les conditions homogénéité-stationnarité sont réunies.

- Loi de GALTON ou loi LOG NORMALE.
- Loi de GUMBEL.

Les critères de choix d'une loi sont liés à un ajustement graphique d'abord et ensuite à un test de dispersion. L'allure des points sur de papier à probabilité permet à prime abord d'accepter ou de rejeter la loi (toute sinuosité, mauvaise courbure ou cassure de pente est considérée comme un mauvais ajustement).

II.4.7.1. Ajustement par la loi de GUMBEL :

Il s'agit d'une loi de décroissance exponentielle qui s'adapte à des températures allant d'une heure à quelques jours, des maximums sur 10 ou 15 jours, des maximums mensuels, saisonniers ou annuels. Cela présente l'avantage d'étendre l'échelle de distribution avec une probabilité de 0,90. C'est une fonction double exponentielle (Layan et al., 2007)

II.4.7.2. Gumbel (Méthode des moments) :

- ✚ Nombre d'observation : 42.
- ✚ Quantiles
- ✚ $q=F(X)$ (probabilité au non dépassement)
- ✚ $T=1/(1-q)$.

➤ L'ajustement de la série à la loi de Gumbel a été établi par le logiciel Hyfran, les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II-10: Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
10000.0	0.9999	199	24.5	151 - 247
2000.0	0.9995	173	20.3	133 - 213
1000.0	0.9990	161	18.5	125 - 198
200.0	0.9950	135	14.3	107 - 164
100.0	0.9900	124	12.6	99.5 - 149
50.0	0.9800	113	10.8	91.7 - 134
20.0	0.9500	97.8	8.44	81.3 - 114
10.0	0.9000	86.2	6.68	73.1 - 99.3
5.0	0.8000	74.0	4.95	64.3 - 83.7
3.0	0.6667	64.4	3.73	57.0 - 71.7
2.0	0.5000	55.7	2.94	49.9 - 61.4
1.4286	0.3000	46.8	2.70	41.5 - 52.0
1.2500	0.2000	42.1	2.87	36.4 - 47.7
1.1111	0.1000	36.3	3.32	29.7 - 42.8
1.0526	0.0500	32.0	3.77	24.6 - 39.4
1.0204	0.0200	27.7	4.29	19.3 - 36.1
1.0101	0.0100	25.0	4.63	16.0 - 34.1
1.0050	0.0050	22.8	4.93	13.1 - 32.5
1.0010	0.0010	18.5	5.53	7.65 - 29.3
1.0005	0.0005	16.9	5.75	5.67 - 28.2
1.0001	0.0001	13.8	6.20	1.69 - 26.0

Avec :

- T : période de retour (T=10ans).
- q : probabilité au non dépassement.
- XT : precipitation maximale journalière.

Tableau II-11: Caractéristiques de l'échantillon

Caractéristiques de l'échantillon	
Minimum	25.2
Maximum	112
Moyenne	59.1
Ecart-type	20.7
Médiane	53.6
Coefficient de variation (Cv)	0,351
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0,633

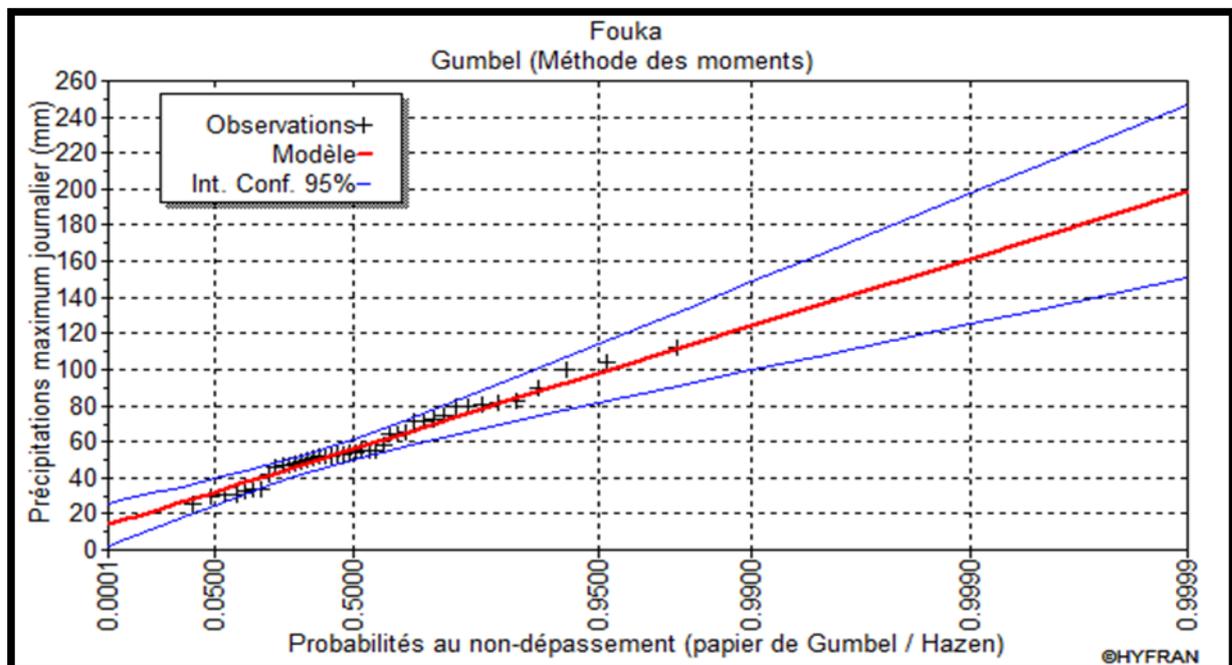


Figure II-4: Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL (méthode des moments)

II.4.7.3. Gumbel (Maximum des vraisemblances).

Tableau II-12 :Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbul

Tableau II-13	Tableau II-T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
10000.0		0.9999	204	21.1	163 - 246
2000.0		0.9995	177	17.4	143 - 211
1000.0		0.9990	165	15.8	134 - 196
200.0		0.9950	138	12.1	115 - 162
100.0		0.9900	127	10.5	106 - 147
50.0		0.9800	115	8.93	97.4 - 132
20.0		0.9500	99.3	6.88	85.8 - 113
10.0		0.9000	87.2	5.36	76.7 - 97.7
5.0		0.8000	74.6	3.93	66.9 - 82.3
3.0		0.6667	64.6	3.05	58.6 - 70.5
2.0		0.5000	55.6	2.68	50.3 - 60.8
1.4286		0.3000	46.3	2.87	40.7 - 51.9
1.2500		0.2000	41.4	3.19	35.2 - 47.7
1.1111		0.1000	35.4	3.71	28.1 - 42.7
1.0526		0.0500	31.0	4.17	22.8 - 39.1
1.0204		0.0200	26.5	4.67	17.3 - 35.6
1.0101		0.0100	23.8	4.99	14.0 - 33.5
1.0050		0.0050	21.4	5.27	11.1 - 31.7
1.0010		0.0010	16.9	5.81	5.55 - 28.3
1.0005		0.0005	15.3	6.01	3.56 - 27.1
1.0001		0.0001	12.1	6.42	-0.467 - 24.7

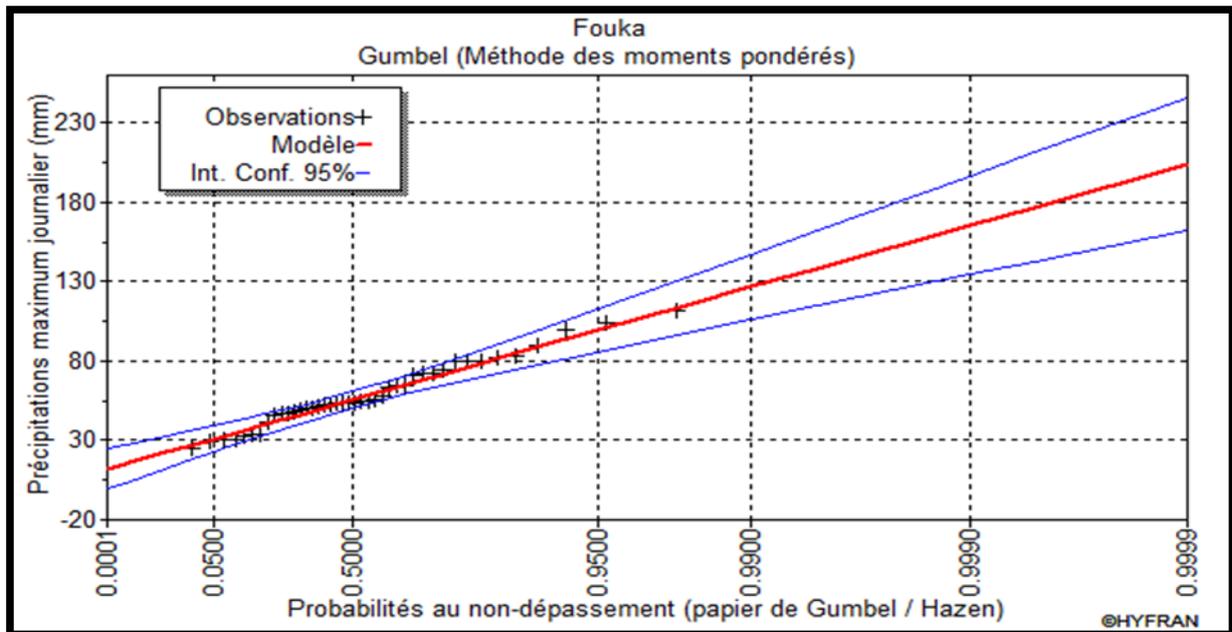


Figure II-5: Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL (Maximum de vraisemblance).

II.4.7.4. Ajustement par la loi de GALTON :

- ✚ Log normale (Maximum de vraisemblance)
- ✚ Nombre d'observation : 42.
- ✚ Quantile
- ✚ $q=F(X)$ (probabilité au non dépassement)
- ✚ $T=1/(1-q)$.

Tableau N°13 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON.

Tableau II-13: Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
10000.0	0.9999	210	33.0	146 - 275
2000.0	0.9995	181	25.5	131 - 231
1000.0	0.9990	168	22.5	124 - 212
200.0	0.9950	140	16.2	108 - 172
100.0	0.9900	128	13.7	101 - 155
50.0	0.9800	116	11.4	93.7 - 138
20.0	0.9500	100	8.55	83.4 - 117
10.0	0.9000	88.0	6.59	75.0 - 101
5.0	0.8000	75.1	4.84	65.6 - 84.6
3.0	0.6667	64.9	3.75	57.5 - 72.2
2.0	0.5000	55.6	3.07	49.6 - 61.6
1.4286	0.3000	46.1	2.72	40.8 - 51.4
1.2500	0.2000	41.1	2.65	35.9 - 46.3
1.1111	0.1000	35.1	2.63	30.0 - 40.3
1.0526	0.0500	30.9	2.63	25.7 - 36.0
1.0204	0.0200	26.7	2.62	21.5 - 31.8
1.0101	0.0100	24.2	2.59	19.1 - 29.3
1.0050	0.0050	22.1	2.56	17.1 - 27.1
1.0010	0.0010	18.4	2.47	13.6 - 23.2
1.0005	0.0005	17.1	2.42	12.4 - 21.9
1.0001	0.0001	14.7	2.31	10.2 - 19.2

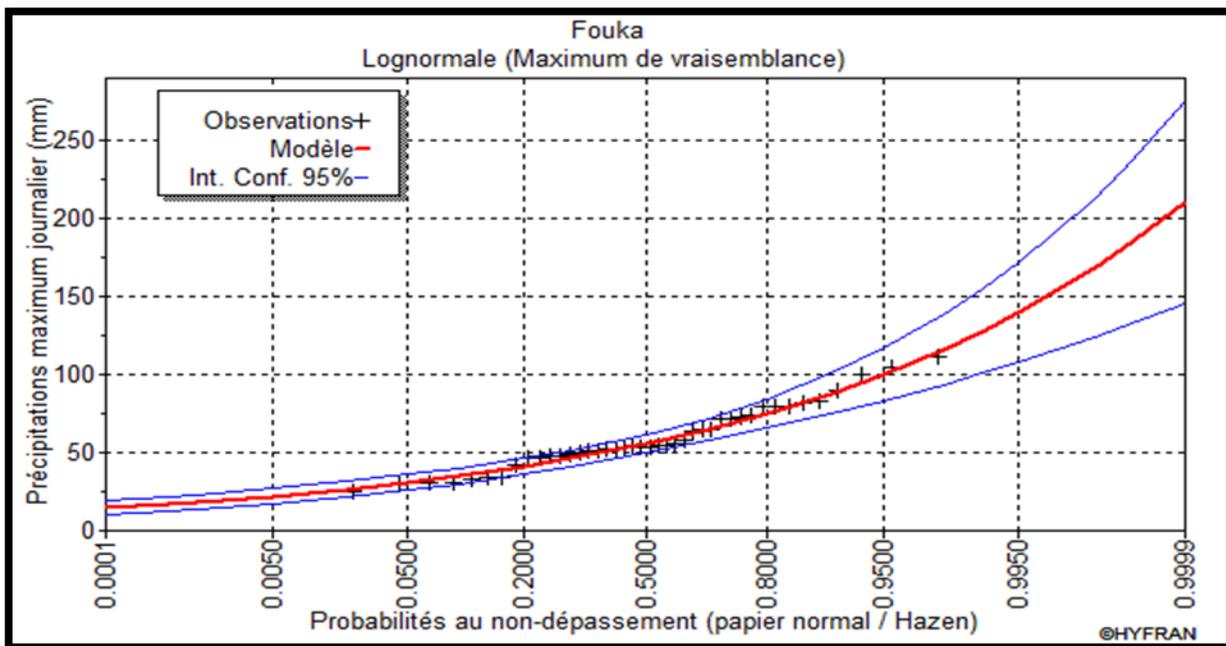


Figure II-6: Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON (Maximum de vraisemblance).

II.5. Détermination des débits les plus fréquents par la méthode Gradex :

II.5.1. Description de la méthode :

La méthode Gradex est considérée comme une méthode probabiliste de précipitation, spécifique au calcul des débits de crue extrêmes dans un plan d'eau et a été développée par (Guillot et Durand, 1969). Cela s'applique aux bassins versants de quelques dizaines à plusieurs milliers de km² (jusqu'à 5 000 km²) qui reçoivent des précipitations relativement uniformes d'un point de vue régional. La méthode GRADEX basée sur les données de précipitations constitue une amélioration significative par rapport aux méthodes de prévision des crues basées uniquement sur le traitement statistique des valeurs de débit observées (Garavaglia, 2011).

II.5.2. Principe de la méthode :

La méthode suppose que si le débit dépasse une certaine valeur, le sol devient saturé. Cette valeur, appelée seuil de crue (ou point de rupture), peut varier d'un débit décennal à un débit sur 50 ans selon les caractéristiques du sol et du bassin versant. Ainsi, une augmentation de la quantité de précipitations pendant la durée d'écoulement principal D (égale à la durée caractéristique) entraîne une augmentation de ce même débit (Egis Eau, 2013).

Le principe de cette méthode basée sur des observations climatiques historiques est de dériver le comportement asymptotique de la loi de probabilité des crues rares, basée sur la loi

de probabilité de l'accumulation de précipitations extrêmes. En fait, la capacité moyenne de stockage du bassin tend à devenir constante au cours d'une période de récupération de dix ans après les inondations (Lang et al., 2009). La méthode Gradex fournit un support de calcul cohérent et fiable basé sur la méthode de fréquence pour les fortes précipitations locales ou régionales. Cette approximation se fait principalement par l'écart type (P_{jmax}) des précipitations. Ce paramètre de base est appelé Gradex (gradient des valeurs extrêmes). Gradex est un changement climatique local qui dépend de la situation géographique.

II.5.3. Hypothèses de la méthode :

Le postulat de base de la méthode est l'existence d'une relation entre la distribution des débits et celle des pluies génératrices. Cette méthode repose sur trois hypothèses suivantes (Garavaglia, 2011) :

- **Hypothèse 1** : La fonction de répartition des précipitations tombant sur le bassin est asymptotiquement, décrite par une loi de Gumbel ou par une loi exponentielle selon le type d'échantillonnage utilisé. Le Gradex correspond à la pente de la fonction de répartition sur un graphique représentant la pluie en fonction du logarithme de la période de retour.
- **Hypothèse 02** : Le déficit d'écoulement, défini comme la différence entre le volume d'eau précipité et le volume d'eau écoulé à l'exutoire du bassin versant pendant un pas de temps équivalent, n'augmentent plus, en valeur moyenne, au-delà d'une certaine valeur de pluie.

En d'autres termes, nous pouvons dire que, à partir d'un certain état de saturation du bassin versant, la distribution du déficit d'écoulement ne dépend plus de la valeur de pluie ou de débit. Cette hypothèse se traduit graphiquement par un parallélisme entre la fonction de répartition des précipitations et celle des écoulements au pas de temps équivalent point de départ de cette extrapolation, nommé point pivot, est fixé à une période de retour T_p comprise, le plus souvent, entre 10 et 50 ans selon le bassin versant considéré.

- **Hypothèse 03** : Quelle que soit sa fréquence ou durée de retour, le débit de pointe de crue (valeur maximale observée) peut être calculé à partir du volume écoulé (sur le pas de temps considéré) en utilisant un coefficient multiplicatif moyen caractéristique du bassin versant. Ce coefficient, nommé coefficient de forme ou coefficient d'affinité, peut être estimé à partir des hydrogrammes de crues enregistrées sur le bassin versant.

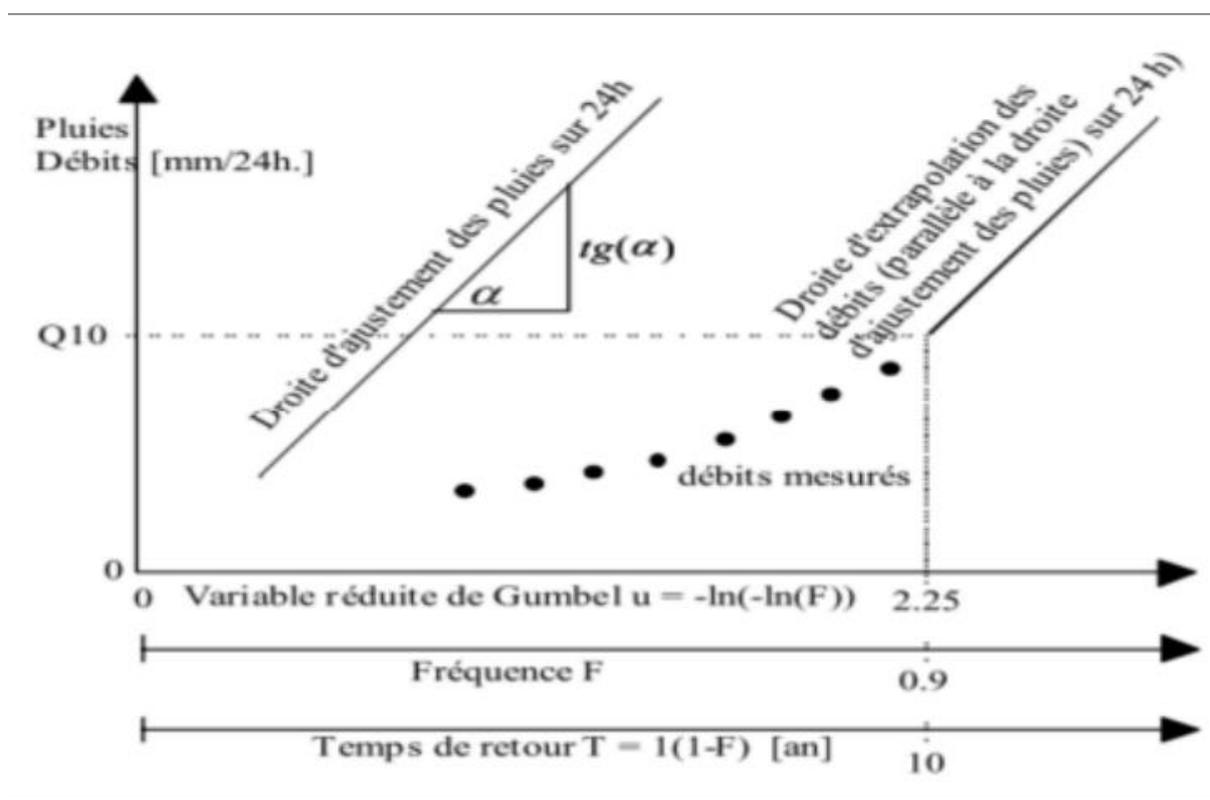
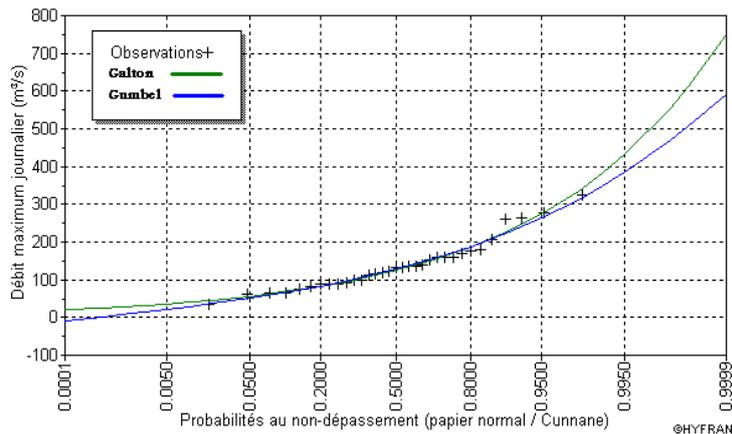


Figure II-7: Graphe représente ajustement graphique pour les pluies et droite d'extrapolation pour les débits (Laborde, 2000).

II.5.4. Pluies journalières maximales de différentes fréquences :

Tableau II-14: P.J.max pour différentes période de retours

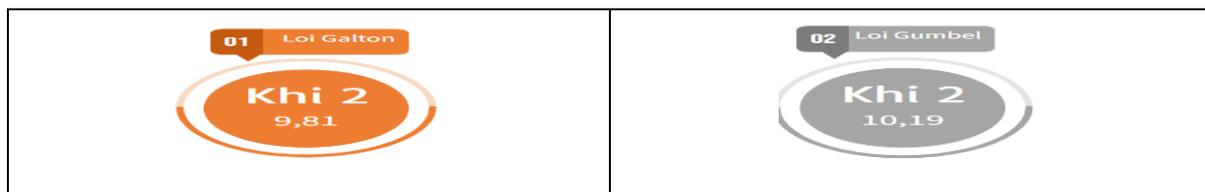
Tableau II-Période de retours		5	10	20	50	100	1000
méthodes	GUMBEL(Méthode des moments)	74.4	86.2	97.8	113	124	161
	GALTON	75.1	88	100	116	128	168
	GUMBEL(Méthode des moments pondéré)	74.6	87.2	99.3	115	127	165
Valeurs adoptées de P.J.max (mm)		75.1	88	100	116	128	168



: Comparaison graphique des deux graphes

II.5.4.1. test du Khi-2

Dans cette étude, nous avons utilisé le **test du Khi-2** pour comparer les ajustements des lois statistiques de **Gumbel** et de **Galton** appliquées aux données d'inondation, à l'aide du logiciel **HYFRAN**. Le test du Khi-2 permet de vérifier si les distributions observées correspondent aux distributions théoriques attendues.



Après avoir effectué cette comparaison, les résultats du test ont indiqué que la **loi de Galton** fournissait un meilleur ajustement par rapport à la loi de Gumbel. Par conséquent, la loi de Galton a été retenue pour la modélisation finale des données d'inondation dans le cadre de ce projet.

Pour des raisons de sécurité des ouvrages hydrotechniques à projeter, il a été procédé à l'adoption des pluies journalières maximales, obtenues par la méthode de maximum de vraisemblance de l'ajustement à la loi Galton.

II.5.5. Calcul de la pluie de courtes durées et l'intensité pour différentes fréquences :

- **CAS BV01 Oued Sidi Abdelkader**

Les pluies de courte durée ont été calculées sur la base des données relatives aux pluies mensuelles en utilisant la loi régionale intensité durée fréquence, qui s'exprime par la relation :

$$P_{Tc} = [P_{j(\max)}] \times \left(\frac{t}{24}\right)^b$$

P_{Tc} : pluie de durée $t = Tc$ (h) et de fréquence « f » (mm)

P : pluie de même fréquence « f » (mm)

b : Coefficient climatique de la région « $b = 0.37$ fournie par l'ANRH »

t : le temps en heures pris égale au temps de concentration « $t_c=0.73h$ »

Tableau II-15: Résultats de P_{Tc} pour une durée égale au temps de concentration (0.73 h) :

TC/ T	Période (an)																	
	1000	1000	1000	100	100	100	50	50	50	20	20	20	10	10	10	5	5	5
	Pj max	Pct	It	Pj max	Pct	It	Pj max	Pct	It	Pj max	Pct	It	Pj max	Pct	It	Pj max	Pct	It
0.2	168	28,58	142,88	128	21,77	108,86	116	19,73	98,66	100	17,01	85,05	88	14,97	74,84	75,10	12,77	63,87
0.30	168	33,20	110,67	128	25,30	84,32	116	22,93	76,42	100	19,76	65,88	88	17,39	57,97	75,10	14,84	49,47
0.44	168	38,26	86,95	128	29,15	66,25	116	26,42	60,04	100	22,77	51,75	88	20,04	45,54	75,10	17,10	38,87
0.5	168	40,11	80,22	128	30,56	61,12	116	27,69	55,39	100	23,87	47,75	88	21,01	42,02	75,10	17,93	35,86
0.6	168	42,91	71,51	128	32,69	54,49	116	29,63	49,38	100	25,54	42,57	88	22,48	37,46	75,10	19,18	31,97
0.73	168	46,14	63,20	128	35,15	48,15	116	31,86	43,64	100	27,46	37,62	88	24,17	33,11	75,10	20,62	28,25
1	168	51,84	51,84	128	39,49	39,49	116	35,79	35,79	100	30,85	30,85	88	27,15	27,15	75,10	23,17	23,17
2	168	66,99	33,50	128	51,04	25,52	116	46,26	23,13	100	39,88	19,94	88	35,09	17,55	75,10	29,95	14,97
3	168	77,83	25,94	128	59,30	19,77	116	53,74	17,91	100	46,33	15,44	88	40,77	13,59	75,10	34,79	11,60
4	168	86,58	21,64	128	65,96	16,49	116	59,78	14,94	100	51,53	12,88	88	45,35	11,34	75,10	38,70	9,68
5	168	94,03	18,81	128	71,64	14,33	116	64,92	12,98	100	55,97	11,19	88	49,25	9,85	75,10	42,03	8,41
6	168	100,59	16,76	128	76,64	12,77	116	69,45	11,58	100	59,87	9,98	88	52,69	8,78	75,10	44,97	7,49
12	168	130,00	10,83	128	99,04	8,25	116	89,76	7,48	100	77,38	6,45	88	68,09	5,67	75,10	58,11	4,84
24	168	168,00	7,00	128	128,00	5,33	116	116,00	4,83	100	100,00	4,17	88	88,00	3,67	75,10	75,10	3,13

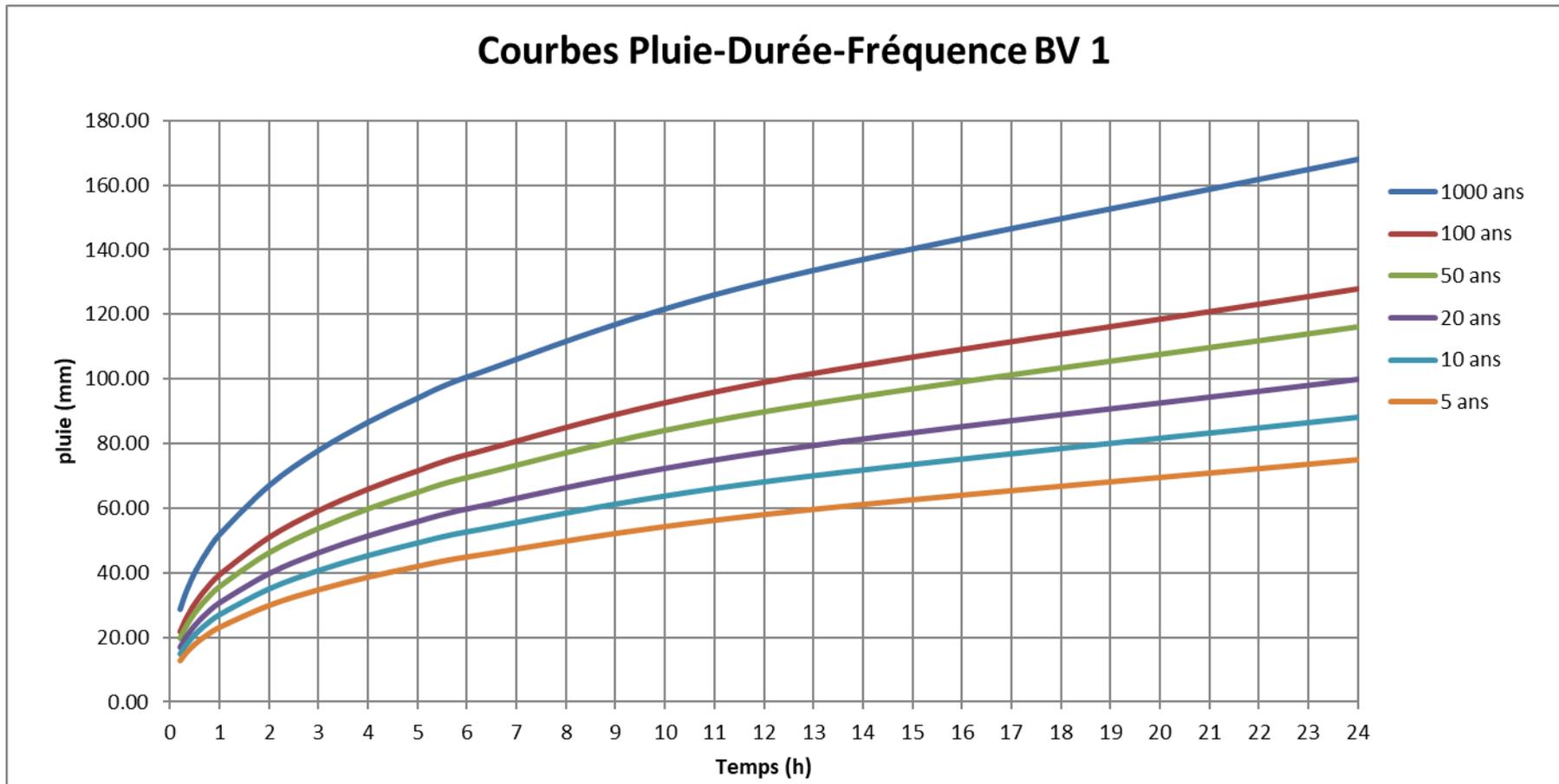


Figure II-8 : pluie de courtes durées pour différentes fréquences BV 01.

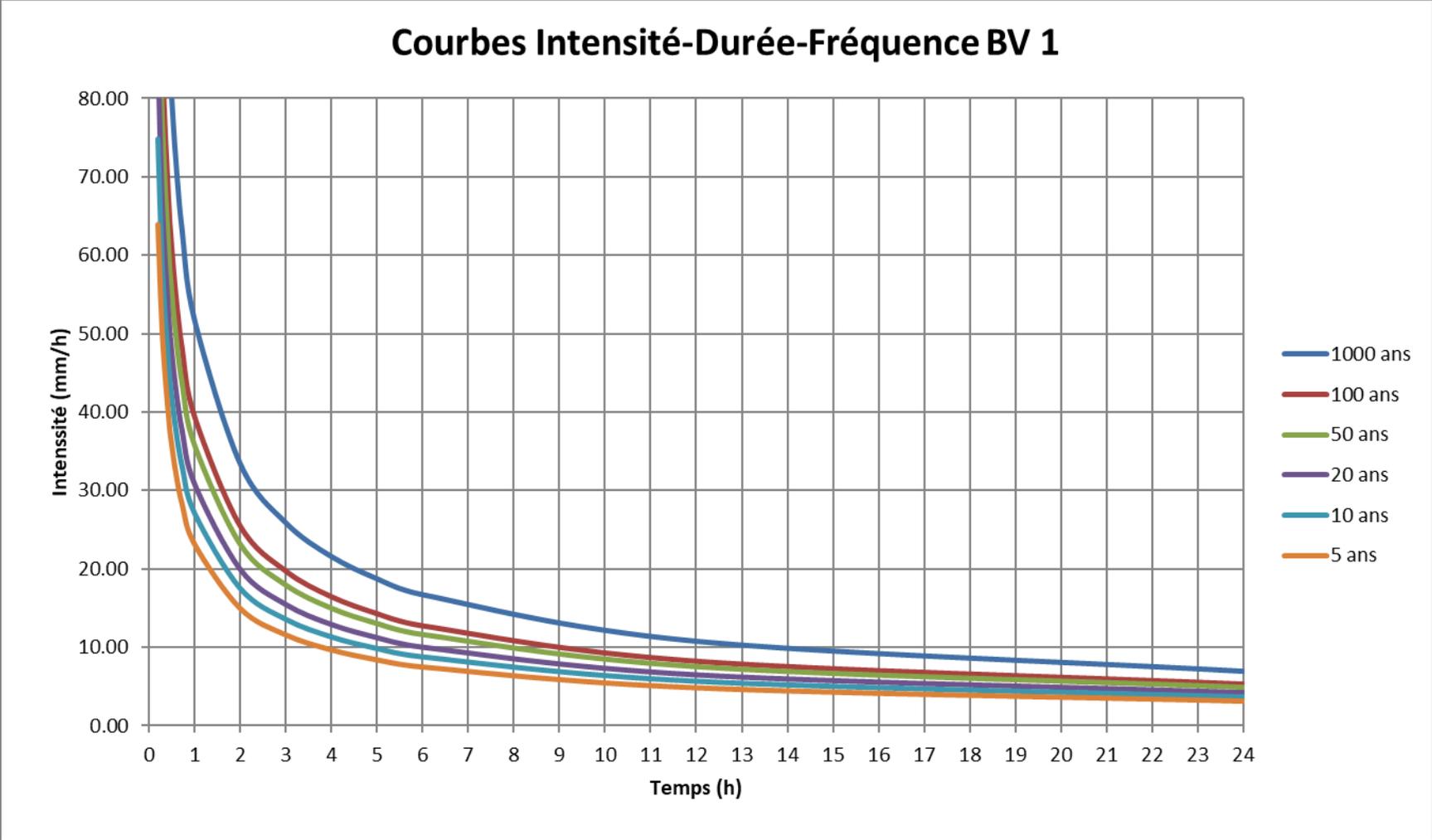


Figure II-9 : Courbe Intensité Durée Fréquence BV 01

• **CAS BV02 Oued Houari Boumédiène**

Tableau II-16: Résultats de P_{Tc} pour une durée égale au temps de concentration (0.80 h) :

TC/ T	Période (an)																	
	1000	1000	1000	100	100	100	50	50	50	20	20	20	10	10	10	5	5	5
	Pj max	Pct	It	Pj max	Pct	It	Pj max	Pct	It	Pj max	Pct	It	Pj max	Pct	It	Pj max	Pct	It
0.2	168	28,58	142,88	128	21,77	108,86	116	19,73	98,66	100	17,01	85,05	88	14,97	74,84	75,10	12,77	63,87
0.30	168	33,20	110,67	128	25,30	84,32	116	22,93	76,42	100	19,76	65,88	88	17,39	57,97	75,10	14,84	49,47
0.44	168	38,26	86,95	128	29,15	66,25	116	26,42	60,04	100	22,77	51,75	88	20,04	45,54	75,10	17,10	38,87
0.5	168	40,11	80,22	128	30,56	61,12	116	27,69	55,39	100	23,87	47,75	88	21,01	42,02	75,10	17,93	35,86
0.6	168	42,91	71,51	128	32,69	54,49	116	29,63	49,38	100	25,54	42,57	88	22,48	37,46	75,10	19,18	31,97
0.80	168	47,73	59,66	128	36,36	45,46	116	32,96	41,19	100	28,41	35,51	88	25,00	31,25	75,10	21,34	26,67
1	168	51,84	51,84	128	39,49	39,49	116	35,79	35,79	100	30,85	30,85	88	27,15	27,15	75,10	23,17	23,17
2	168	66,99	33,50	128	51,04	25,52	116	46,26	23,13	100	39,88	19,94	88	35,09	17,55	75,10	29,95	14,97
3	168	77,83	25,94	128	59,30	19,77	116	53,74	17,91	100	46,33	15,44	88	40,77	13,59	75,10	34,79	11,60
4	168	86,58	21,64	128	65,96	16,49	116	59,78	14,94	100	51,53	12,88	88	45,35	11,34	75,10	38,70	9,68
5	168	94,03	18,81	128	71,64	14,33	116	64,92	12,98	100	55,97	11,19	88	49,25	9,85	75,10	42,03	8,41
6	168	100,59	16,76	128	76,64	12,77	116	69,45	11,58	100	59,87	9,98	88	52,69	8,78	75,10	44,97	7,49
12	168	130,00	10,83	128	99,04	8,25	116	89,76	7,48	100	77,38	6,45	88	68,09	5,67	75,10	58,11	4,84
24	168	168,00	7,00	128	128,00	5,33	116	116,00	4,83	100	100,00	4,17	88	88,00	3,67	75,10	75,10	3,13

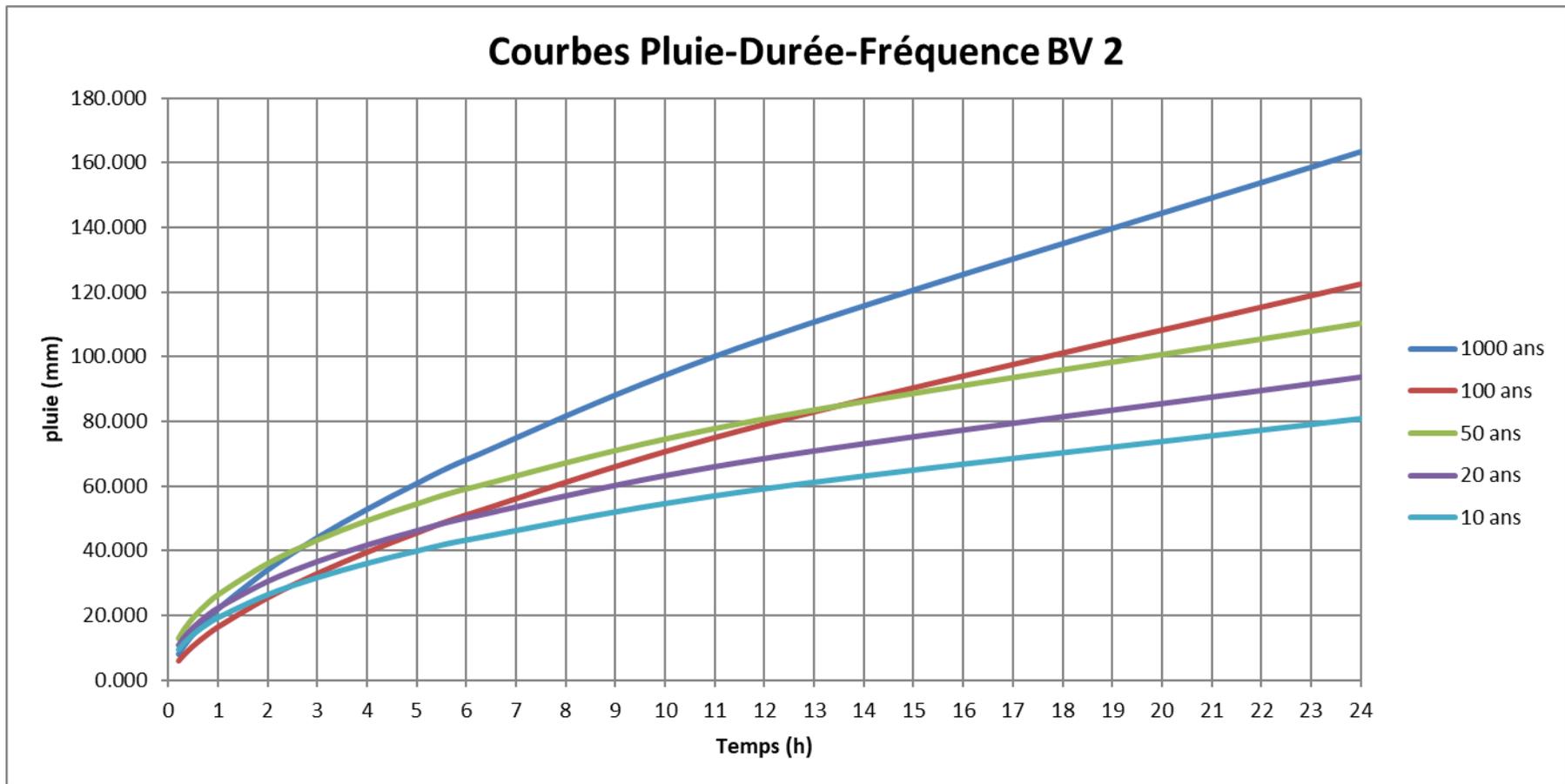


Figure II-10 : pluie de courtes durées pour différentes fréquences BV 02

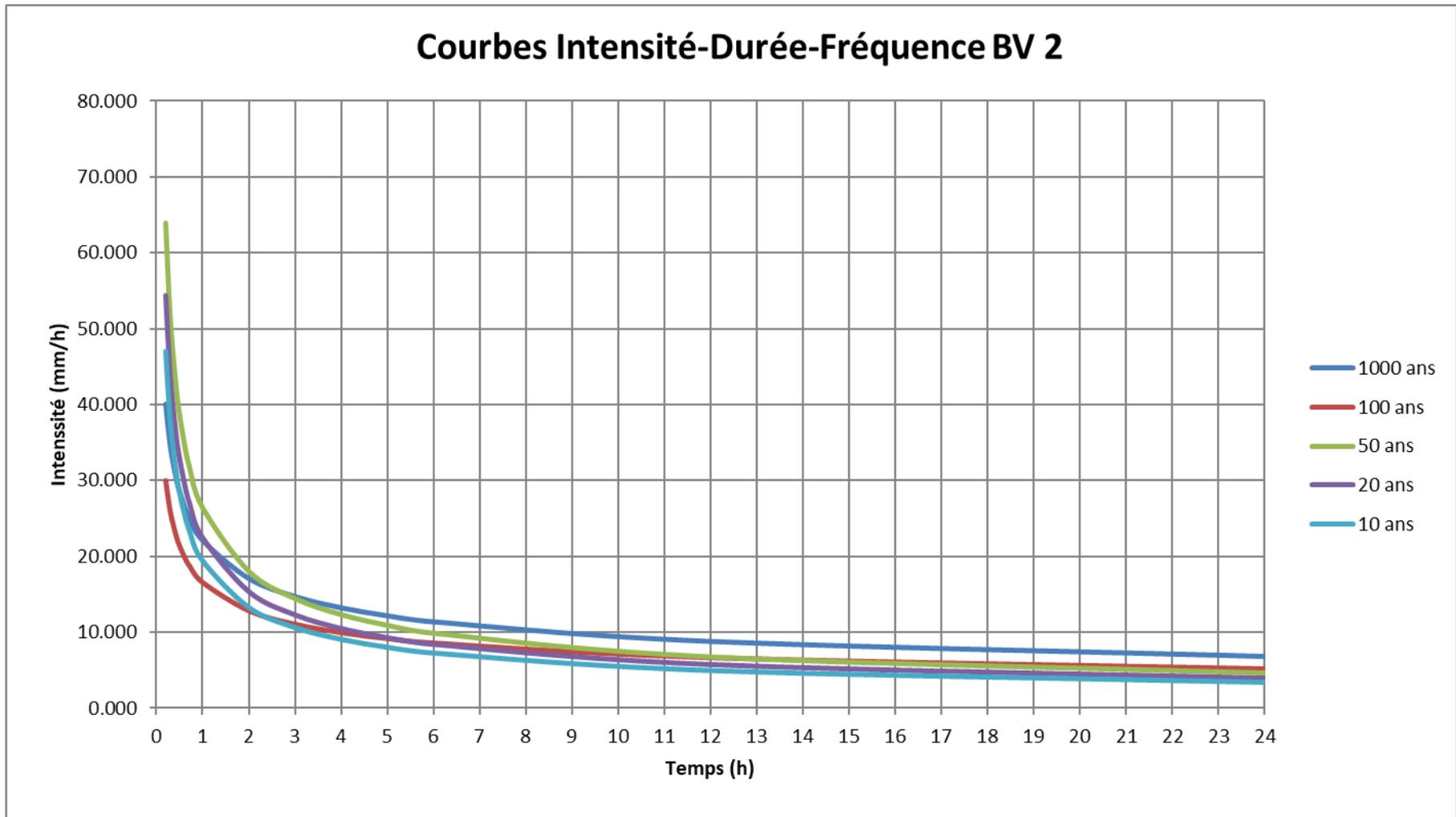


Figure II-11: Courbe Intensité Durée Fréquence BV 02

• CAS BV03 Oued Aissat Djelloul

Tableau II-17: Résultats de P_{Tc} pour une durée égale au temps de concentration (0.86 h) :

TC/ T	Période (an)																	
	1000	1000	1000	100	100	100	50	50	50	20	20	20	10	10	10	5	5	5
	Pj max	Pct	It	Pj max	Pct	It	Pj max	Pct	It	Pj max	Pct	It	Pj max	Pct	It	Pj max	Pct	It
0.2	168	28,58	142,88	128	21,77	108,86	116	19,73	98,658	100	17,01	85,05	88	14,97	74,844	75,10	12,77	63,87
0.30	168	33,20	110,67	128	25,30	84,32	116	22,93	76,418	100	19,76	65,88	88	17,39	57,972	75,10	14,84	49,47
0.44	168	38,26	86,95	128	29,15	66,25	116	26,42	60,035	100	22,77	51,75	88	20,04	45,544	75,10	17,10	38,87
0.5	168	40,11	80,22	128	30,56	61,12	116	27,69	55,390	100	23,87	47,75	88	21,01	42,020	75,10	17,93	35,86
0.6	168	42,91	71,51	128	32,69	54,49	116	29,63	49,379	100	25,54	42,57	88	22,48	37,460	75,10	19,18	31,97
0.86	168	49,02	57,00	128	37,35	43,43	116	33,85	39,359	100	29,18	33,93	88	25,68	29,859	75,10	21,91	25,48
1	168	51,84	51,84	128	39,49	39,49	116	35,79	35,791	100	30,85	30,85	88	27,15	27,152	75,10	23,17	23,17
2	168	66,99	33,50	128	51,04	25,52	116	46,26	23,128	100	39,88	19,94	88	35,09	17,545	75,10	29,95	14,97
3	168	77,83	25,94	128	59,30	19,77	116	53,74	17,91	100	46,33	15,44	88	40,77	13,59	75,10	34,79	11,60
4	168	86,58	21,64	128	65,96	16,49	116	59,78	14,94	100	51,53	12,88	88	45,35	11,34	75,10	38,70	9,68
5	168	94,03	18,81	128	71,64	14,33	116	64,92	12,98	100	55,97	11,19	88	49,25	9,85	75,10	42,03	8,41
6	168	100,59	16,76	128	76,64	12,77	116	69,45	11,58	100	59,87	9,98	88	52,69	8,78	75,10	44,97	7,49
12	168	130,00	10,83	128	99,04	8,25	116	89,76	7,48	100	77,38	6,45	88	68,09	5,67	75,10	58,11	4,84
24	168	168,00	7,00	128	128,00	5,33	116	116,00	4,83	100	100,00	4,17	88	88,00	3,67	75,10	75,10	3,13

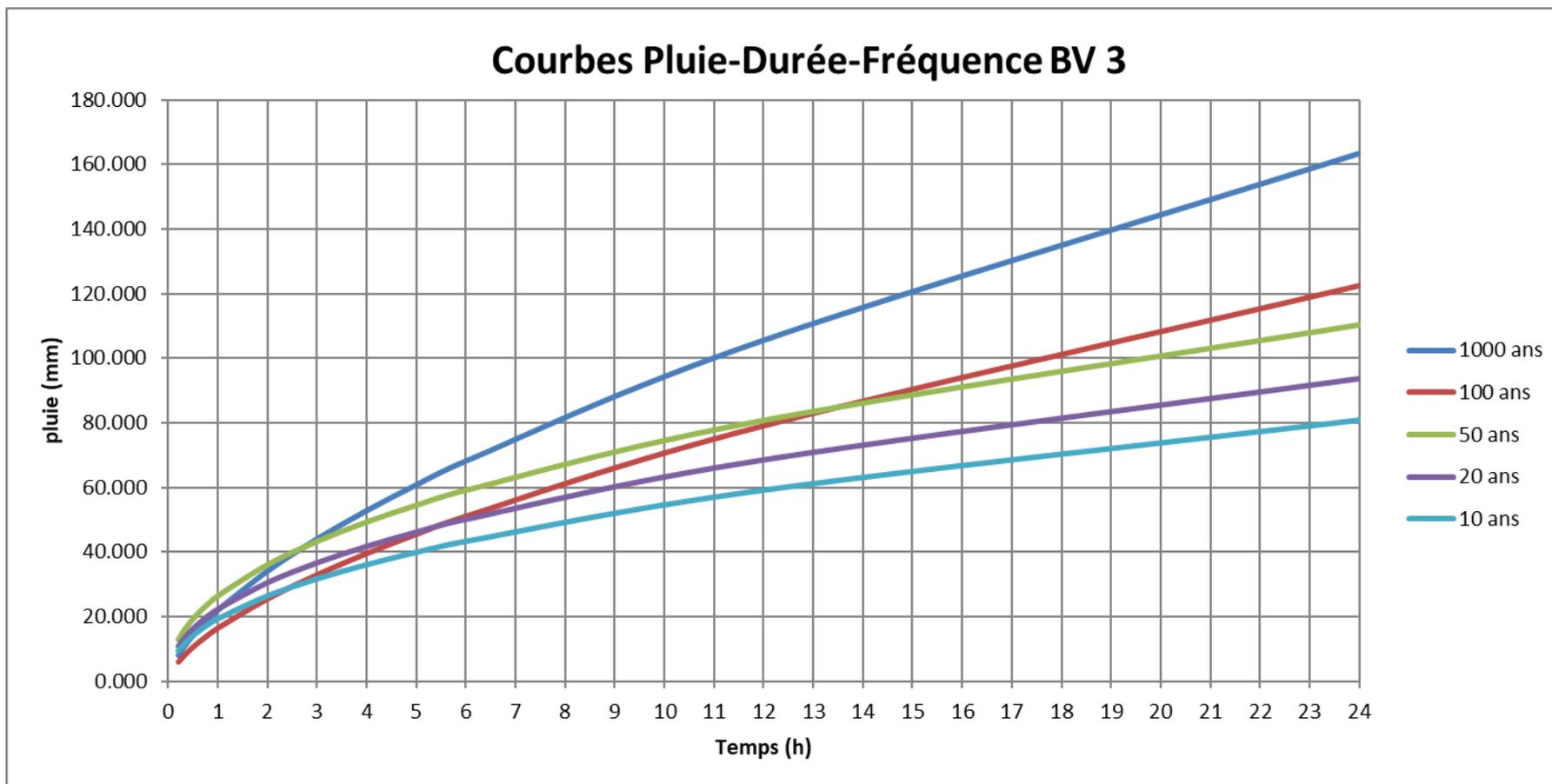


Figure II-12: pluie de courtes durées pour différentes fréquences BV 03

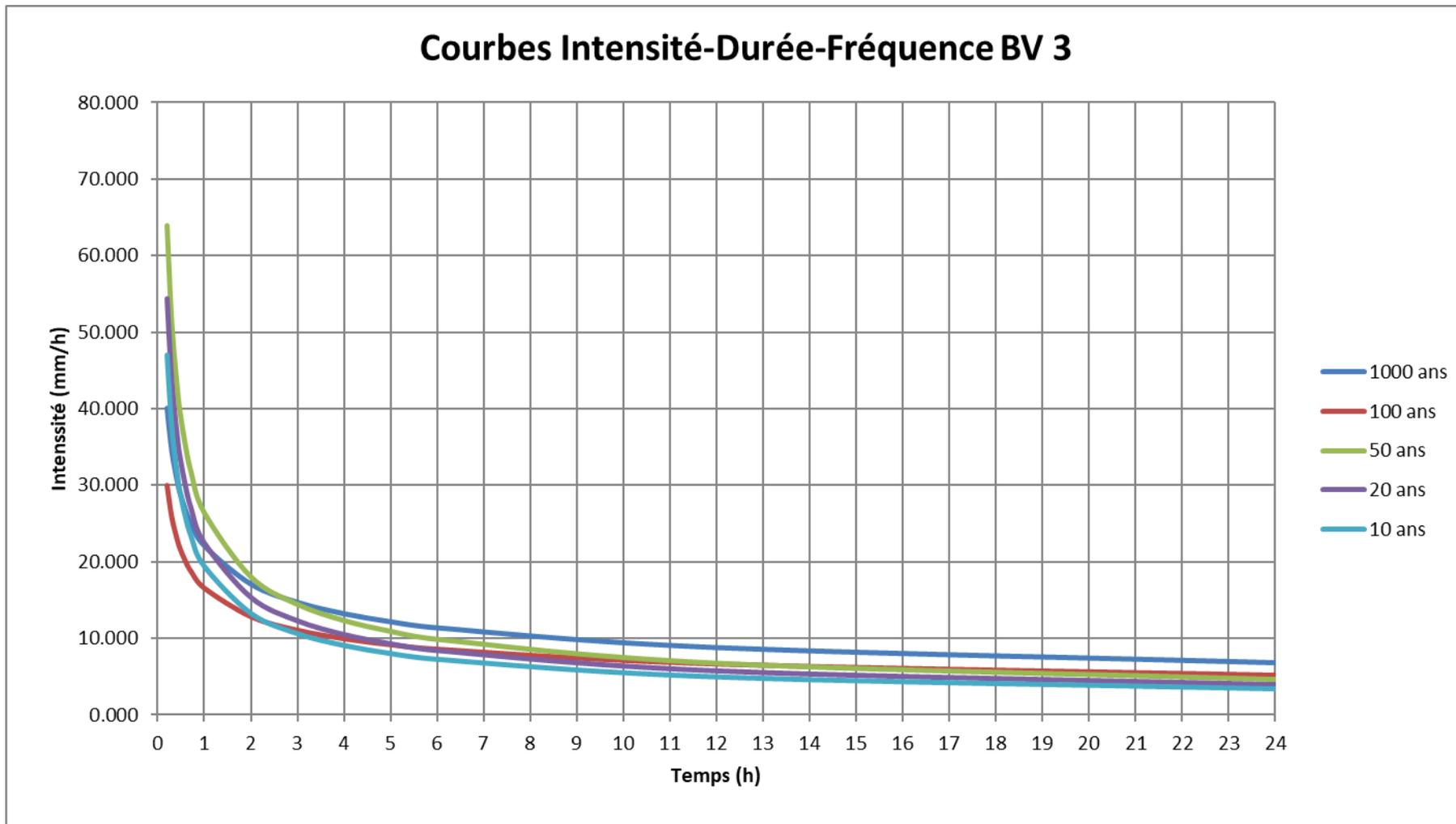


Figure II-13: Courbe Intensité Durée Fréquence BV 03

• **CAS BV04 Oued Berboucha**

Tableau II-18: Résultats de P_{Tc} pour une durée égale au temps de concentration (1.09 h) :

TC/ T	Période (an)																	
	1000	1000	1000	100	100	100	50	50	50	20	20	20	10	10	10	5	5	5
	Pj max	Pct	It	Pj max	Pct	It	Pj max	Pct	It	Pj max	Pct	It	Pj max	Pct	It	Pj max	Pct	It
0.2	168	28,58	142,88	128	21,77	108,86	116	19,73	98,66	100	17,01	85,05	88	14,97	74,84	75,10	12,77	63,87
0.30	168	33,20	110,67	128	25,30	84,32	116	22,93	76,42	100	19,76	65,88	88	17,39	57,97	75,10	14,84	49,47
0.44	168	38,26	86,95	128	29,15	66,25	116	26,42	60,04	100	22,77	51,75	88	20,04	45,54	75,10	17,10	38,87
0.5	168	40,11	80,22	128	30,56	61,12	116	27,69	55,39	100	23,87	47,75	88	21,01	42,02	75,10	17,93	35,86
0.6	168	42,91	71,51	128	32,69	54,49	116	29,63	49,38	100	25,54	42,57	88	22,48	37,46	75,10	19,18	31,97
1.09	168	53,52	49,10	128	40,77	37,41	116	36,95	33,90	100	31,85	29,22	88	28,03	25,72	75,10	23,92	21,95
1.5	168	60,23	40,15	128	45,89	30,59	116	41,58	27,72	100	35,85	23,90	88	31,55	21,03	75,10	26,92	17,95
2	168	66,99	33,50	128	51,04	25,52	116	46,26	23,13	100	39,88	19,94	88	35,09	17,55	75,10	29,95	14,97
3	168	77,83	25,94	128	59,30	19,77	116	53,74	17,91	100	46,33	15,44	88	40,77	13,59	75,10	34,79	11,60
4	168	86,58	21,64	128	65,96	16,49	116	59,78	14,94	100	51,53	12,88	88	45,35	11,34	75,10	38,70	9,68
5	168	94,03	18,81	128	71,64	14,33	116	64,92	12,98	100	55,97	11,19	88	49,25	9,85	75,10	42,03	8,41
6	168	100,59	16,76	128	76,64	12,77	116	69,45	11,58	100	59,87	9,98	88	52,69	8,78	75,10	44,97	7,49
12	168	130,00	10,83	128	99,04	8,25	116	89,76	7,48	100	77,38	6,45	88	68,09	5,67	75,10	58,11	4,84
24	168	168,00	7,00	128	128,00	5,33	116	116,00	4,83	100	100,00	4,17	88	88,00	3,67	75,10	75,10	3,13

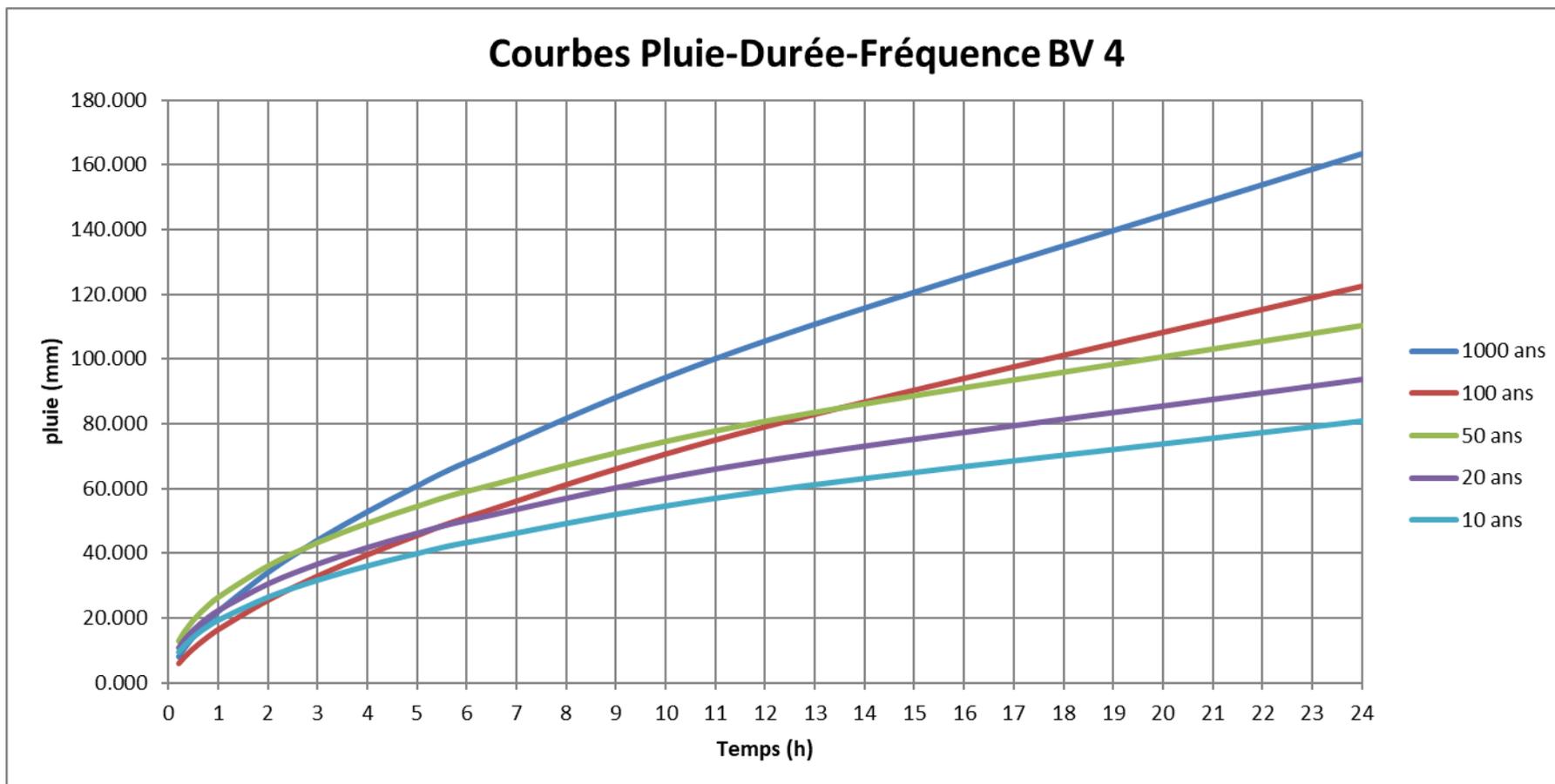


Figure II-14: pluie de courtes durées pour différentes fréquences BV 04

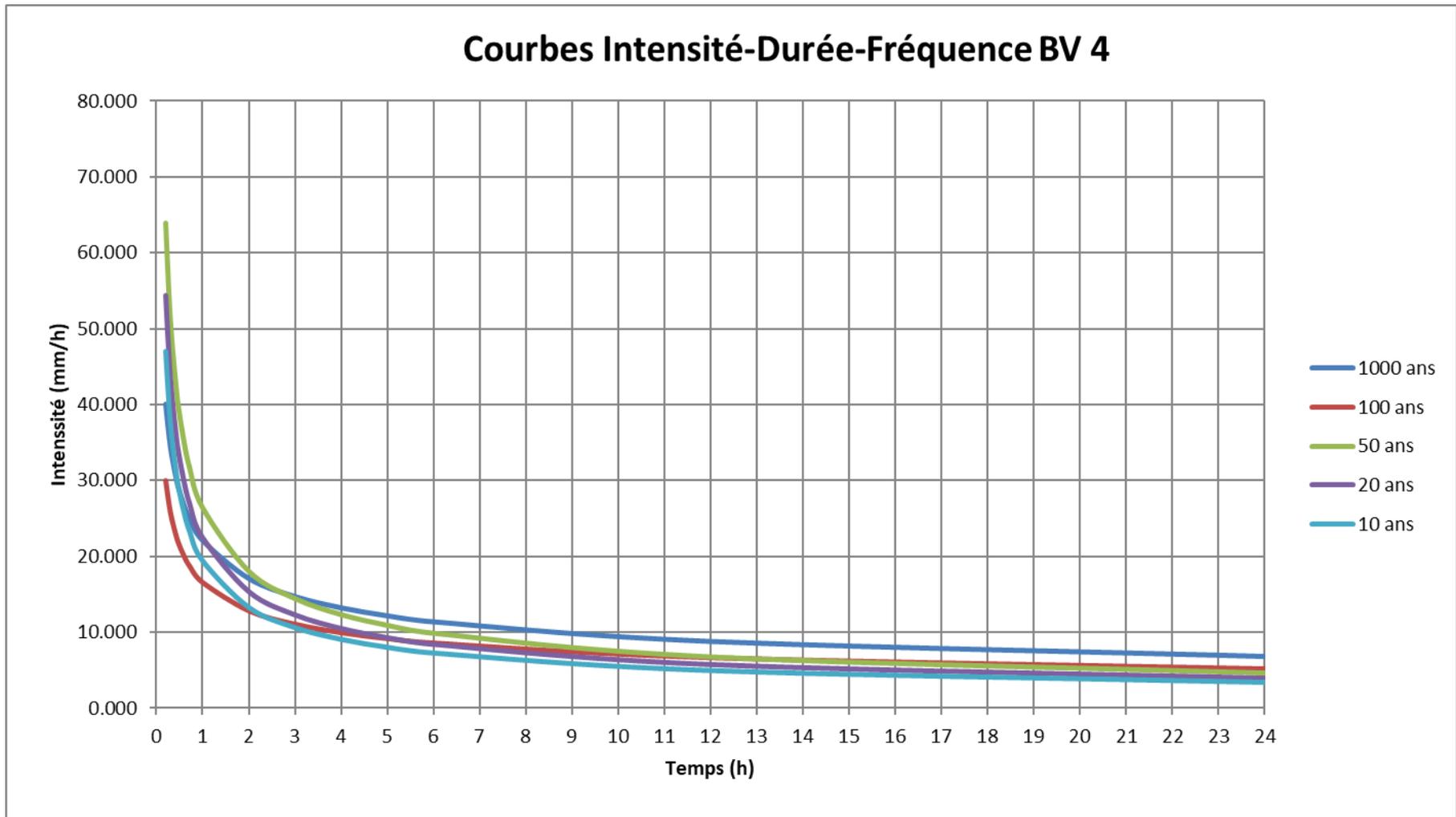


Figure II-15: Courbe Intensité Durée Fréquence BV 04

• CAS BV03 + BV04 Oued Aissat Djelloul

Tableau II-19: Résultats de P_{Tc} pour une durée égale au temps de concentration (1.23 h)

TC/ T	Période (an)																	
	1000	1000	1000	100	100	100	50	50	50	20	20	20	10	10	10	5	5	5
	Pj max	Pct	It	Pj max	Pct	It	Pj max	Pct	It	Pj max	Pct	It	Pj max	Pct	It	Pj max	Pct	It
0.2	168	28,58	142,88	128	21,77	108,86	116	19,73	98,66	100	17,01	85,05	88	14,97	74,84	75,10	12,77	63,87
0.30	168	33,20	110,67	128	25,30	84,32	116	22,93	76,42	100	19,76	65,88	88	17,39	57,97	75,10	14,84	49,47
0.44	168	38,26	86,95	128	29,15	66,25	116	26,42	60,04	100	22,77	51,75	88	20,04	45,54	75,10	17,10	38,87
0.5	168	40,11	80,22	128	30,56	61,12	116	27,69	55,39	100	23,87	47,75	88	21,01	42,02	75,10	17,93	35,86
0.6	168	42,91	71,51	128	32,69	54,49	116	29,63	49,38	100	25,54	42,57	88	22,48	37,46	75,10	19,18	31,97
1.23	168	55,96	45,50	128	42,64	34,67	116	38,64	31,42	100	33,31	27,08	88	29,31	23,83	75,10	25,02	20,34
1.5	168	60,23	40,15	128	45,89	30,59	116	41,58	27,72	100	35,85	23,90	88	31,55	21,03	75,10	26,92	17,95
2	168	66,99	33,50	128	51,04	25,52	116	46,26	23,13	100	39,88	19,94	88	35,09	17,55	75,10	29,95	14,97
3	168	77,83	25,94	128	59,30	19,77	116	53,74	17,91	100	46,33	15,44	88	40,77	13,59	75,10	34,79	11,60
4	168	86,58	21,64	128	65,96	16,49	116	59,78	14,94	100	51,53	12,88	88	45,35	11,34	75,10	38,70	9,68
5	168	94,03	18,81	128	71,64	14,33	116	64,92	12,98	100	55,97	11,19	88	49,25	9,85	75,10	42,03	8,41
6	168	100,59	16,76	128	76,64	12,77	116	69,45	11,58	100	59,87	9,98	88	52,69	8,78	75,10	44,97	7,49
12	168	130,00	10,83	128	99,04	8,25	116	89,76	7,48	100	77,38	6,45	88	68,09	5,67	75,10	58,11	4,84
24	168	168,00	7,00	128	128,00	5,33	116	116,00	4,83	100	100,00	4,17	88	88,00	3,67	75,10	75,10	3,13

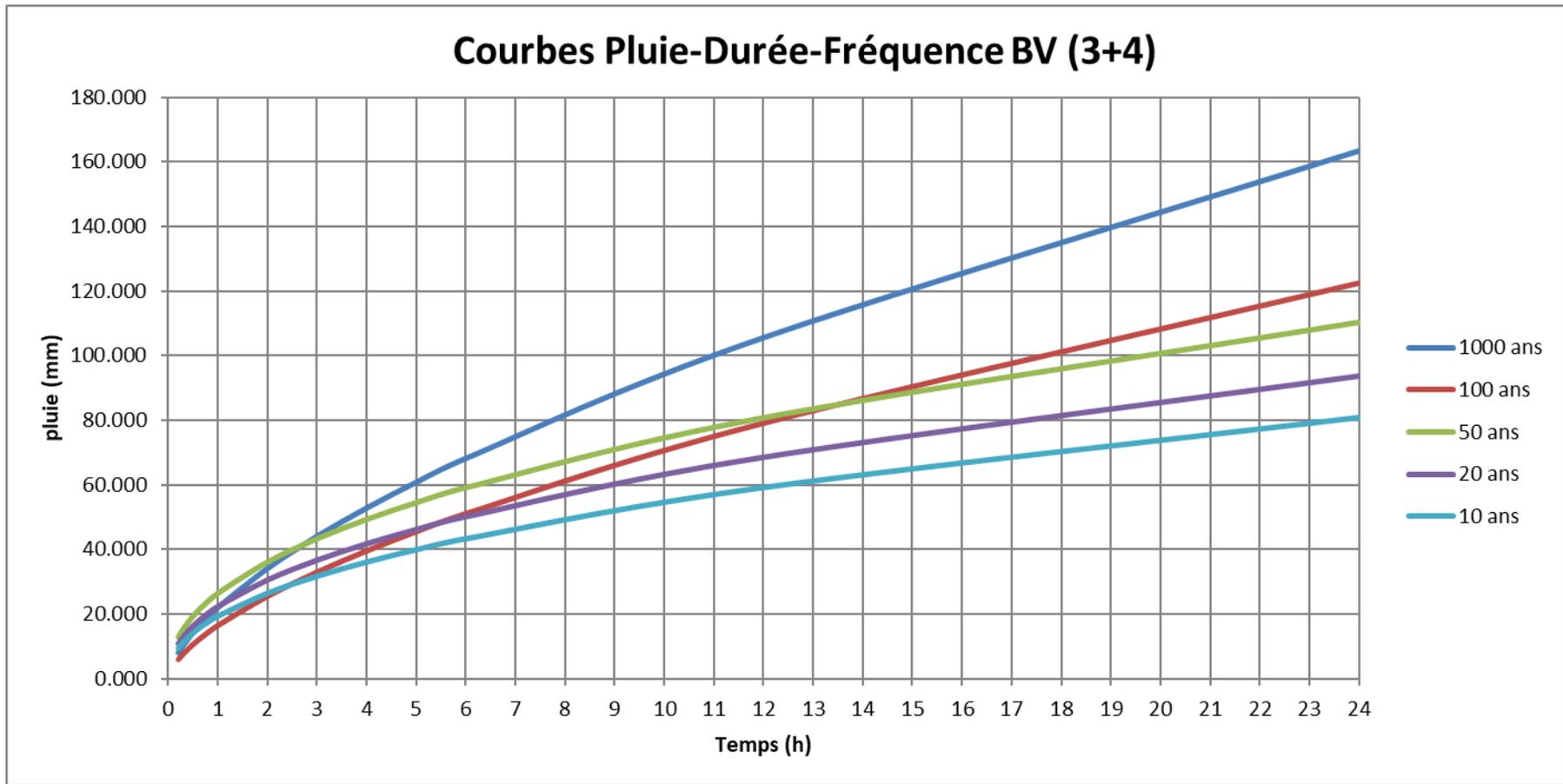


Figure II-16: pluie de courtes durées pour différentes fréquences BV03+ BV 04

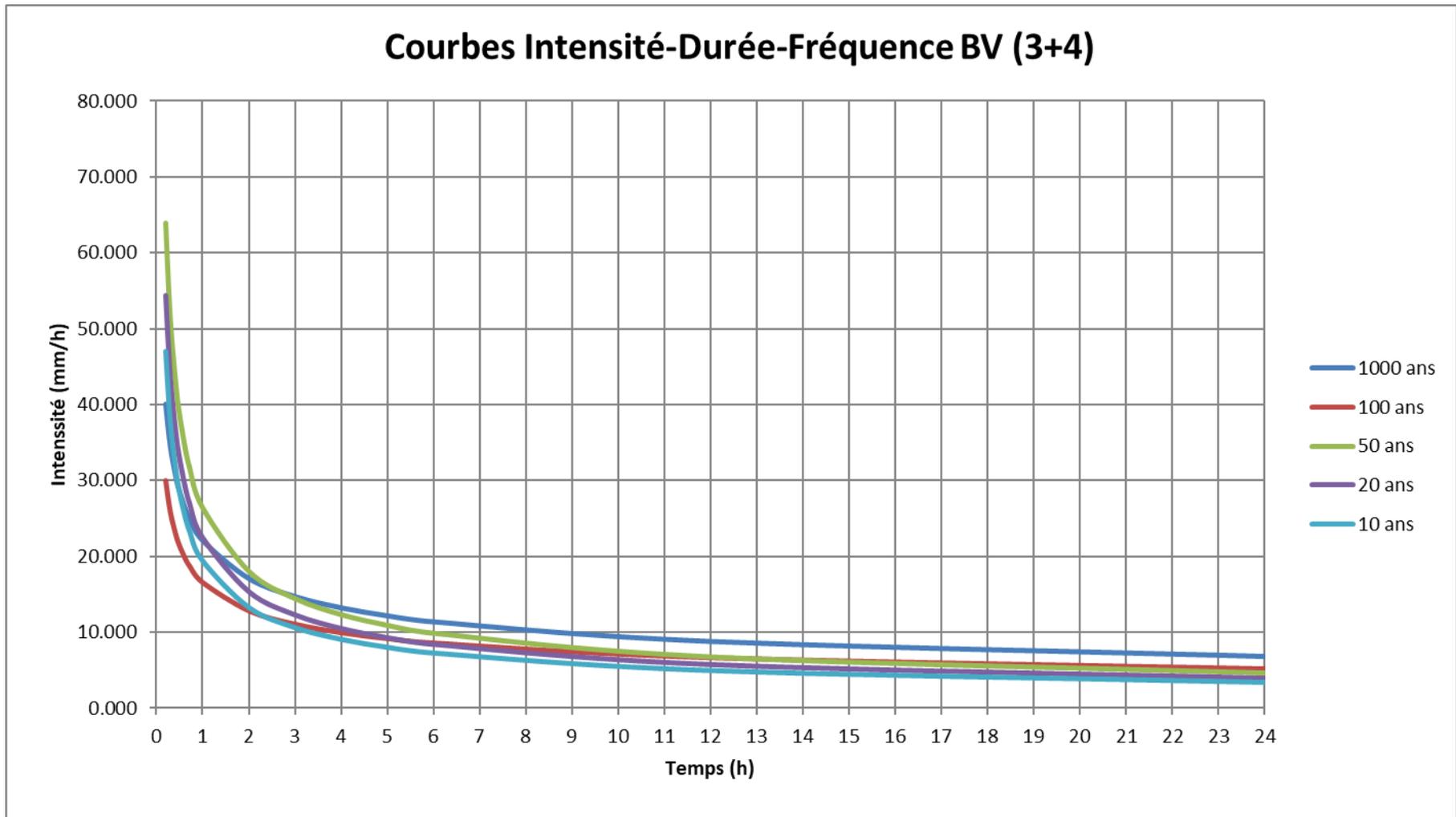


Figure II-17: Courbe Intensité Durée Fréquence BV03+ BV 04

II.6. Etude des crues :

Les crues sont des écoulements variables dans lesquelles les débits atteignent des valeurs importantes.

L'estimation des crues révèle une grande importance pour la sécurité de l'ouvrage à implanter.

Les paramètres définissant une crue sont :

- Le débit maximum de la crue (débit de pointe).
- Le temps de base.

Les débits maximums du bassin versant pour différentes périodes de retours sont calculés à partir de la loi SOKOLOVSKY ainsi de la modélisation pluie-débit effectuée par l'outil HEC-HMS.

II.6.1. Formule de SOKOLOVSKY.

Le débit maximum probable est donné par la formule suivante :

$$Q_{\max, p\%} = 0,28 \cdot \frac{(X_{p\%t_c} - H_0) \cdot \alpha_{p\%} \cdot S \cdot f}{t_m = t_c}$$

H_0 : pertes initiales en mm. $H_0 = 7$ mm

S : Superficie du bassin [Km^2].

T_c : temps de concentration [h].

P_{ct} : pluie fréquentielle de courte durée correspondant au temps de concentration.

f : Coefficient de forme de la crue

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

0.28 : coefficient de changement d'unité.

$\alpha_{p\%}$: coefficient de ruissellement pour la crue probable

$$\alpha_{p\%} = \frac{\sqrt{P_{ct\%}} - \sqrt{H_0}}{\sqrt{P_{ct\%}} + \sqrt{H_0}}$$

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

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

Tableau II-20: valeur de γ en fonction de bassin versant

Condition	γ
Surface du B.V compris entre 1 et 50 km ²	$\gamma = 2$
Pour un bassin boisé avec un sol peut perméable	$2 < \gamma < 2.5$
Pour un bassin boisé	$3 < \gamma < 4$
Pour les grands bassins	$4 < \gamma < 7$

On prend : Pour les sous-bassins, $S < 50 \text{ Km}^2$; on prend $\gamma = 2$ D'où: $F=1.2$

II.6.2. Formule Rationnelle (TURRAZA):

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

On a:

$$Q_{\max p\%} = \frac{C \times I_t \times S}{3.6}$$

I_t : Intensité moyenne maximale des précipitations pendant une durée égale au temps de concentration en (mm/h). Ce paramètre est calculé dans le tableau de courbe IDF.

C : coefficient de ruissellement de la crue considérée pour une probabilité P%.

Dans notre étude $C=0.7$

Tableau II-21: récapitulatif des résultats de la forme Turraza

Période (ans)				5	10	20	50	100	1000
P (mm)				75.1	88	100	116	128	168
Q _{max} p% (m ³ /s)	SB	S (km ²)	T _c (h)						
	SB1	1.5525	0.73	7.331	8.566	9.734	11.292	12.460	16.354
	SB2	1.9052	0.80	8.468	9.923	11.276	13.080	14.434	18.944
	SB3	1.2486	0.86	5.303	6.214	7.061	8.191	9.038	11.862
	SB4	3.1171	1.09	11.402	13.361	15.182	17.612	19.434	25.507
	SB3+4	4.3657	1.23	14.799	17.341	19.705	22.858	25.223	33.105

II.6.3. Hydrogramme de crue :

L'hydro gramme des crues pluviales exceptionnelles est généralement caractérisé par une forme triangulaire avec un sommet pointu. Un temps de monté comparativement court par rapport au temps de décrue. Parmi les modèles courants, on utilise celui de SOKOLOVSKY qui considère l'hydro gramme comme un triangle parabolique

formé par deux branches. La branche de la phase montée est exprimée par l'expression suivante :

Pour les sous-bassins, l'hydrogramme des crues pour diverses fréquences sont évalués par la méthode de Sokolovsky qui assimile l'hydrogramme à deux équations paraboliques

$$\text{La montée de la crue : } Q_{\max} = Q_{\max P} \left[\frac{t}{t_m} \right]^n$$

$$\text{La décrue : } Q_{\max} = Q_{\max P} \left[\frac{t_d - t}{t_b} \right]^m$$

Sachant que :

t_m : temps de montée de la crue.

t_d : temps de la décrue.

t_b : temps de base.

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

$t_m = t_c$ et $t_d = \gamma \cdot t_c$ On prend $\gamma = 2$

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

Tableau II-22 : Débit de crue et les décrue pour différentes périodes de retour BV 01 Oued Sidi Abdelkader

Calcul debit de crue BV01			Hydrogramme de crue de BV01						
Formule de Turraza			t	5	10	20	50	100	1000
			0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,2	0,549	0,643	0,731	0,848	0,935	1,228
			0,3	1,235	1,447	1,644	1,907	2,104	2,762
			0,44	2,656	3,112	3,536	4,102	4,527	5,941
			0,5	3,430	4,019	4,567	5,297	5,845	7,672
			0,6	4,939	5,787	6,576	7,628	8,417	11,048
			0,73	7,311	8,566	9,734	11,292	12,460	16,354
			1	3,959	4,638	5,271	6,114	6,747	8,855
			2	0,016	0,019	0,021	0,025	0,027	0,036
			2,19	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
T	INTEN	DEBIT							
5	28,253	7,311							
10	33,106	8,566							
20	37,621	9,734							
50	43,640	11,292							
100	48,155	12,460							
1000	63,203	16,354							

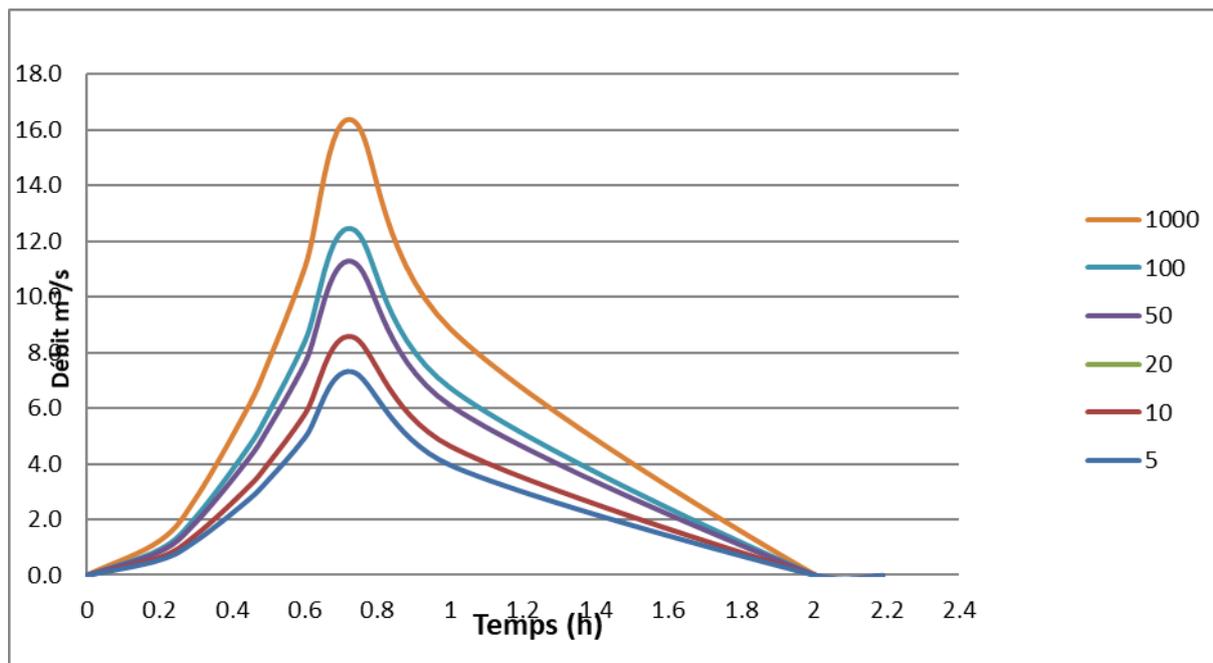


Figure II-18: Hydrogramme de crue de BV01 Oued Sidi Abdelkader

Tableau II-23: Débit de crue et les décrue pour différentes périodes de retour BV 01 Oued Sidi Abdelkader

Calcul debit de crue BV02			Hydrogramme de crue de BV02										
Formule de Turraza			t	5	10	20	50	100	1000				
T	INTEN	DEBIT	0	0,2	0,3	0,44	0,5	0,6	0,8	1	2	2,19	2,4
5	26,670	8,468	0,000	0,529	1,191	2,562	3,308	4,764	8,468	5,673	0,132	0,019	0,000
10	31,251	9,923	0,000	0,620	1,395	3,002	3,876	5,582	9,923	6,648	0,155	0,022	0,000
20	35,512	11,276	0,000	0,705	1,586	3,411	4,405	6,343	11,276	7,554	0,176	0,025	0,000
50	41,194	13,080	0,000	0,818	1,839	3,957	5,110	7,358	13,080	8,763	0,204	0,030	0,000
100	45,455	14,434	0,000	0,902	2,030	4,366	5,638	8,119	14,434	9,669	0,226	0,033	0,000
1000	59,660	18,944	0,000	1,184	2,664	5,731	7,400	10,656	18,944	12,691	0,296	0,043	0,000

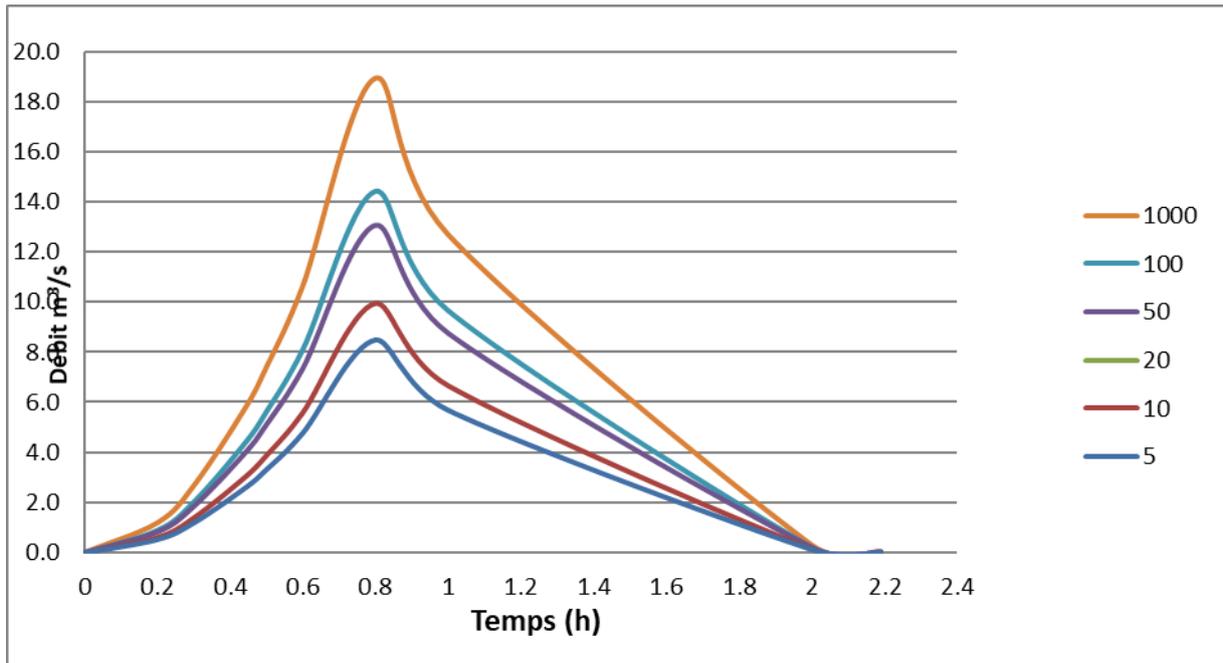


Figure II-19 : Hydrogramme de crue de BV 02 Oued Houari Boumédiène

Tableau II-24: Débit de crue et les décrue pour différentes périodes de retour BV03 Oued Issat Djalloul

Calcul debit de crue BV03			Hydrogramme de crue de BV03						
Formule de Turraza			t	5	10	20	50	100	1000
T	INTEN	DEBIT	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,2	0,287	0,336	0,382	0,443	0,489	0,642
			0,3	0,645	0,756	0,859	0,997	1,100	1,443
5	25,482	5,303	0,44	1,388	1,626	1,848	2,144	2,366	3,105
10	29,859	6,214	0,5	1,792	2,100	2,387	2,769	3,055	4,010
20	33,930	7,061	0,6	2,581	3,024	3,437	3,987	4,399	5,774
50	39,359	8,191	0,86	5,303	6,214	7,061	8,191	9,038	11,862
100	43,431	9,038	1	4,110	4,816	5,473	6,349	7,006	9,195
1000	57,003	11,862	2	0,203	0,238	0,271	0,314	0,347	0,455
			2,58	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

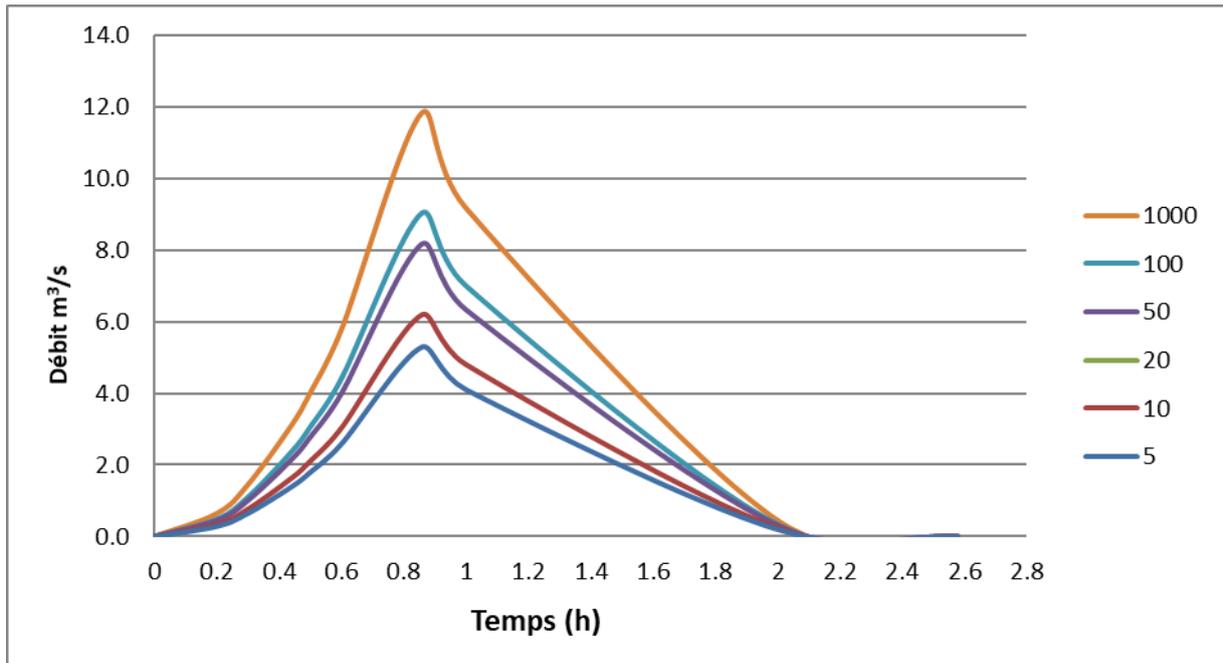


Figure II-20: Hydrogramme de crue de BV03 Oued Issat Djalloul

Tableau II-25: Débit de crue et les décrue pour différentes périodes de retour BV 04 Oued Berboucha

Calcul debit de crue BV04			Hydrogramme de crue de BV04						
Formule de Turraza			t	5	10	20	50	100	1000
			0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,2	0,384	0,450	0,511	0,593	0,654	0,859
			0,3	0,864	1,012	1,150	1,334	1,472	1,932
			0,44	1,858	2,177	2,474	2,870	3,167	4,156
			0,5	2,399	2,811	3,195	3,706	4,089	5,367
			0,6	3,455	4,048	4,600	5,336	5,888	7,729
			1,09	11,402	13,361	15,182	17,612	19,434	25,507
			1,5	6,103	7,151	8,126	9,427	10,402	13,652
			2	2,254	2,642	3,002	3,482	3,842	5,043
			3,27	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
T	INTEN	DEBIT							
5	21,947	11,402							
10	25,717	13,361							
20	29,224	15,182							
50	33,900	17,612							
100	37,407	19,434							
1000	49,097	25,507							

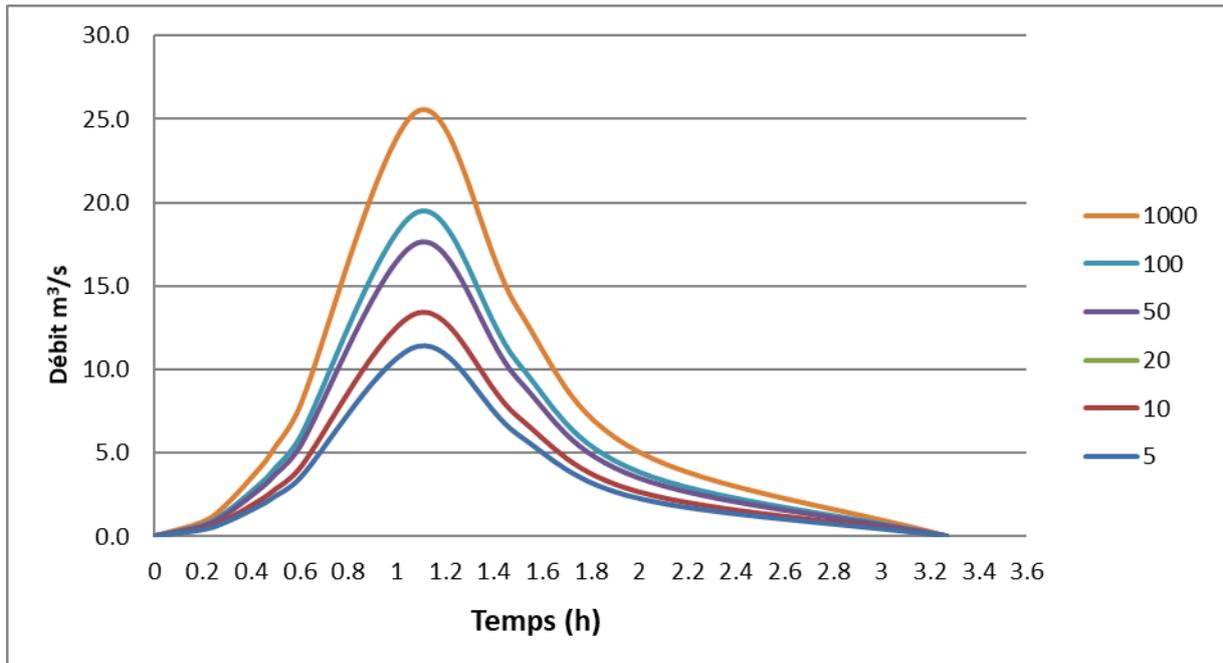


Figure II-21: Hydrogramme de crue de BV04 Oued Berboucha

Tableau II-26: Débit de crue et les décrue pour différentes périodes de retour BV03 +BV04

Calcul debit de crue BV03+04			Hydrogramme de crue de BV03+04						
Formule de Turraza			t	5	10	20	50	100	1000
			0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			0,2	0,391	0,458	0,521	0,604	0,667	0,875
			0,3	0,880	1,032	1,172	1,360	1,500	1,969
			0,44	1,894	2,219	2,522	2,925	3,228	4,236
			0,5	2,445	2,865	3,256	3,777	4,168	5,470
			0,6	3,521	4,126	4,689	5,439	6,002	7,877
			1,23	14,799	17,341	19,705	22,858	25,223	33,105
			1,5	10,441	12,235	13,903	16,128	17,796	23,357
			2	4,798	5,622	6,389	7,411	8,178	10,734
			3,69	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
T	INTEN	DEBIT							
5	20,339	14,799							
10	23,832	17,341							
20	27,082	19,705							
50	31,415	22,858							
100	34,665	25,223							
1000	45,498	33,105							

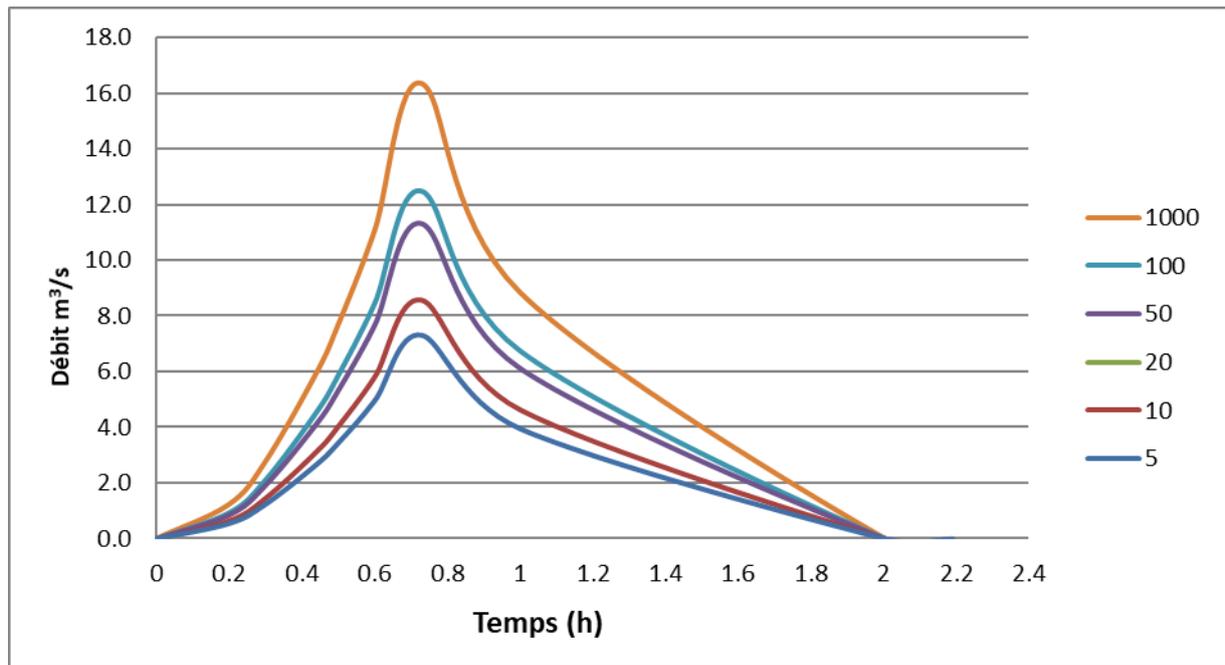


Figure II-22: Hydrogramme de crue de BV03 +BV04

II.7. Étude de transport solide:

Le transport des boues est un phénomène qui a conduit à d'énormes efforts de la part des pays pour lutter contre les effets dévastateurs de la dégradation des terres agricoles, de l'envasement des barrages, ainsi que des inondations et de la désertification qu'il peut provoquer. (De Ploey et al., 1991) dans (Bouguerra et al., 2016).

•L'Algérie dispose d'un très grand nombre de transports fluviaux fixes. Cependant, elle est mal quantifiée dans certains oueds en raison du manque d'informations et du manque d'informations sur la concentration des particules particulièrement petites, voire de l'absence de stations de mesure (Bouchelkia et Remini, 2003)..., donc l'estimation du transport solide a été réalisée sur la base des formules empiriques les plus utilisées à savoir:

- La formule de Tixéront (1960) ;
- La formule de Fournier (1960) ;
- Formule de Sogreah (1969) ;
- La formule de Gavrilovich (1992) ;
- Formule de Kasoul et al. (1997) ;

- Formule de Touaïbia et Achite (2003) ;
- Formules de Meddi (2015).

II.8. Estimation de l'apport moyen annuel (A0) :

Les apports seront estimés à partir des formules empiriques.

II.8.1. Formule de l'A.N.R.H : on a

$$A_{\text{moy}} = 0,915 \cdot P_{\text{moy}}^{2,684} \cdot S^{0,842} [10^6 \text{ m}^3]$$

P_{moy} : Pluie moyenne annuelle [mm].

S : Superficie du bassin versant [Km²].

II.8.2. Formule de SAMIE :

$$Le = P_0^2 (293 - 2.2 \sqrt{S})$$

$$A_0 = Le \cdot S$$

P_{moy} : Pluie moyenne annuelle [mm].

S : Superficie du bassin versant [Km²].

Le : lame d'eau écoulée en [mm]

II.8.3. Formule de Turc :

$$A = S \cdot Le$$

$$Le = P - \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

$$L = 300 + 25 T_o + 0,05 T_o^3$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuel ; en mm, ($P=550$ mm)

T_o : Température moyenne dans la zone d'étude, ($T_o = 17.72^\circ \text{C}$)

Vu les 3 résultats obtenus par différentes méthodes, on opte pour le résultat donné par la méthode d'ANRH car elle est plus adoptée à notre pays.

Tableau II-27: Récapitulatif des apports moyens interannuels

Sous Bassin	Samie				Turc			ANRH	
	S (Km ²)	P (mm)	Le mm	A Mm3	L	Le mm	A Mm3	Le mm	A Mm3
BV 1	1,553	550	87,80	136,315	1021,20	45,83	71,15	132,17	205,20
BV 2	1,905	550	87,71	167,113	1021,20	45,83	87,32	132,17	251,82
BV 3	1,249	550	87,89	109,738	1021,20	45,83	57,22	132,17	165,03
BV 4	3,117	550	87,46	272,614	1021,20	45,83	142,86	132,17	412,00
BV 3+4	4,366	550	87,24	380,872	1021,20	45,83	200,08	132,17	577,03

II.9. Conclusion:

La recherche hydrologique constitue la partie la plus importante et la plus flexible de la recherche sur la protection contre les inondations. La sélection et la validation des débits de pointe constituent la base de toute modélisation hydraulique des rivières, permettant ainsi de prévoir les crues et de déterminer le type d'aménagement pour les coûts d'entretien et de mise en œuvre.

Pour une meilleure protection de la ville de FOUKA contre les inondations, seront projetés des aménagements adéquats. Ces aménagements auront à prendre en considération :

Le maintien autant que possible des aménagements d'évacuation des eaux pluviales déjà en place, de leur apporter les améliorations nécessaires, dans la mesure où ils répondent aux exigences de protection contre les crues.

De projeter un système de protection contre les inondations qui puisse protéger efficacement la ville, les biens et les personnes contre les inondations pouvant provenir des eaux drainées par les bassins versants en contact du périmètre urbain.

Parallèlement il est urgent de procéder à d'autres opérations profilactiques d'entretien, de nettoyage et de débroussaillage des fosses existants '(Chaabas et oueds) ainsi que des collecteurs (Avaloirs)

En effet, il est utile de rappeler que sur le passage naturel des eaux de pluies, il est inutile d'édifier ou d'ignorer des obstacles, sans avoir au préalable effectué une déviation qui réponde aux normes en vigueur .

Chapitre III : Etude des écoulements dans les cours d'eaux non aménagés

III.1. Introduction

Au stade actuel, nous construisons un système réaliste qui étudie le comportement des écoulements dans les plans d'eau non aménagés. Simule diverses inondations prédéfinies et définit les zones couvertes par l'eau. L'objectif est d'obtenir une carte des plaines inondables de la zone de recherche.

III.2. Généralités et définitions:

L'hydraulique à surface libre diffère de l'hydraulique de charge en présence d'une surface libre, c'est-à-dire sur une surface où le flux est en contact direct avec l'air : le gradient de pression ne peut plus être la force motrice du flux, mais la gravité joue un rôle. ce rôle. L'hydraulique fluviale concerne principalement l'écoulement :

-Cours d'eau : rivières, fleuves, etc. ;

-Systèmes d'évacuation : réseaux d'assainissement pluvial, ainsi qu'aux différents aménagements retenus d'eau, usines de production d'électricité, ports, etc.

Ces écoulements se caractérisent par une hauteur d'écoulement petite par rapport à la longueur d'écoulement. On parle d'écoulement filaire ou unidimensionnel (x, t) .

III.3. Rappel de quelques notions d'hydraulique :

a. Bief :

Le bief est un tronçon homogène en termes de pente et des sections d'écoulements ;

b. Type de cours d'eau :

On distingue des cours d'eau en fonction de la pente I , celle-ci varie entre 3 et 6.

c. Section d'écoulement (ou section mouillée) S :

Partie de la section du canal limitée par les parois et la surface libre ;

d. Périmètre mouillé P :

Longueur de la surface d'écoulement en contact avec le lit (fond + berges), c'est-à-dire le périmètre de la section d'écoulement moins la largeur au miroir ;

e. Largeur au miroir B :

Largeur de la section d'écoulement au niveau de la surface libre ; La pression du fluide à cette interface est égale à celle de l'atmosphère ;

f. Hauteur d'écoulement :

Hauteur moyenne d'eau, par définition : $h = \frac{S}{B}$

g. Hauteur normale hn :

C'est la hauteur d'un écoulement permanent uniforme dans un bief. La hauteur normale est fonction du débit Q, de la rugosité K, et de la pente moyenne I ;

h. Rayon hydraulique :

C'est la longueur caractéristique $R = \frac{S}{P}$

i. Débit Q :

Flux d'eau par unité de temps à travers la surface d'écoulement ;

j. Vitesse moyenne V : $V = \frac{Q}{S}$

k. Coefficient de rugosité :

Coefficient traduisant la rugosité des parois (coefficient de Chézy noté C ou de Manning-Strickler noté K) ;

l. Lit mineur :

Lit occupé ordinairement par un cours d'eau par opposition au lit majeur qui correspond à l'emprise maximale historique d'un cours d'eau ou à la plaine inondable. On parle aussi de niveau des plus hautes eaux (PHE) pour désigner la cote maximale atteinte par la surface libre d'un cours d'eau ;

m. Lit majeur :

Étendue qu'occupe le cours d'eau lors des crues, incluant les zones inondées. Lit d'étiage ou chenal d'étiage : partie du cours d'eau occupé lors des étiages ;

n. La berge ou rive :

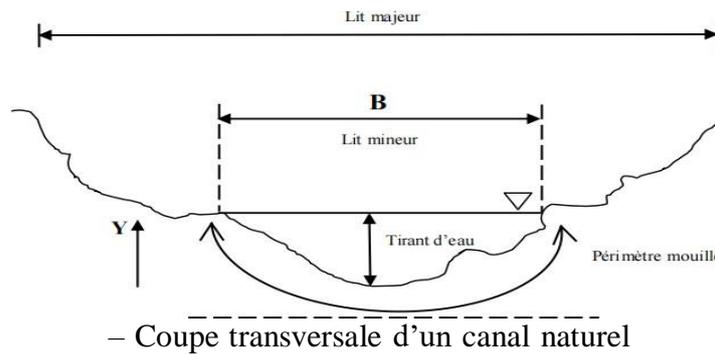
Est le talus qui sépare le lit mineur du lit majeur ;

o. L'étiage :

Correspond aux plus basses eaux d'un cours d'eau (généralement durant l'été). le débit d'étiage est donc le débit minimal d'un cours d'eau. Le débit de plein bord est le débit atteint lorsque la rivière sort de son lit mineur. Durant une crue, on parle de débit de pointe pour désigner le débit maximal atteint ;

p. Tirant d'eau :

Profondeur maximale d'une section d'écoulement.



III.4. Type d'écoulement:

III.4.1. Variable dans le temps :

III.4.1.1. Écoulement stationnaire (permanent) :

Le débit du cours d'eau est stable si les vitesses moyennes et ponctuelles (V et U) et la profondeur h ou dh restent constantes dans le temps en tout point dans toutes les directions, de sorte que le débit entre les différentes parties du canal est constant (sans apport latéral).

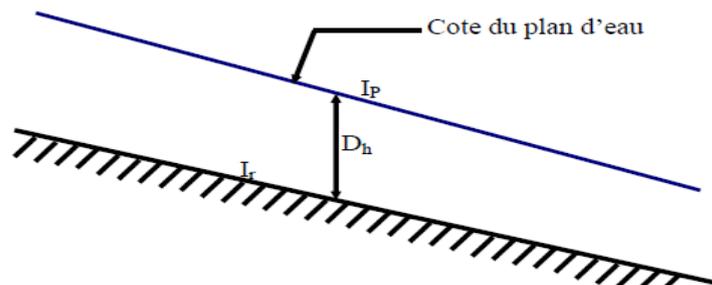


Figure 3.2 – Écoulement permanent.

III.4.1.2. Écoulement non stationnaire (non permanent) :

Le débit n'est pas uniforme lorsque la profondeur d'eau dh et d'autres paramètres (V et U) changent dans le temps et donc le débit n'est pas constant.

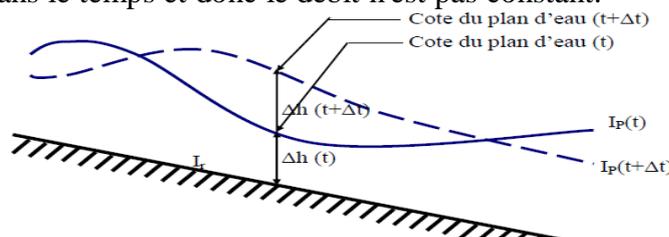


FIGURE 3.3 – Écoulement non permanent

III.4.2. Variabilité dans l'espace :

III.4.2.1. Écoulement uniforme :

Un flux régulier nécessite deux conditions : la constance et la continuité. On dit que l'écoulement est uniforme si la profondeur, la pente, la vitesse et la section restent constantes pour une longueur donnée du canal ;

III.4.2.2. Écoulement non uniforme :

Le débit n'est pas uniforme lorsque la profondeur d'écoulement varie le long du canal ouvert. Cela peut être permanent ou non. Il peut également être décrit comme calme, rapide ou critique. On distingue :

III.4.2.2.1. - Écoulement progressivement non uniforme :

un système d'écoulement dans lequel la variation de hauteur de la direction d'écoulement est très faible, généralement où x représente la longueur de l'écoulement et h la variation de hauteur ;

III.4.2.2.2. - Écoulement instable à évolution rapide :

situation d'écoulement dans laquelle la variation de hauteur de la direction d'écoulement est très importante, c'est-à-dire à l'approche de la singularité ou du saut hydraulique, l'écoulement peut entrer dans un régime changeant rapidement.

Le schéma suivant résume les variabilités des écoulements dans l'espace :

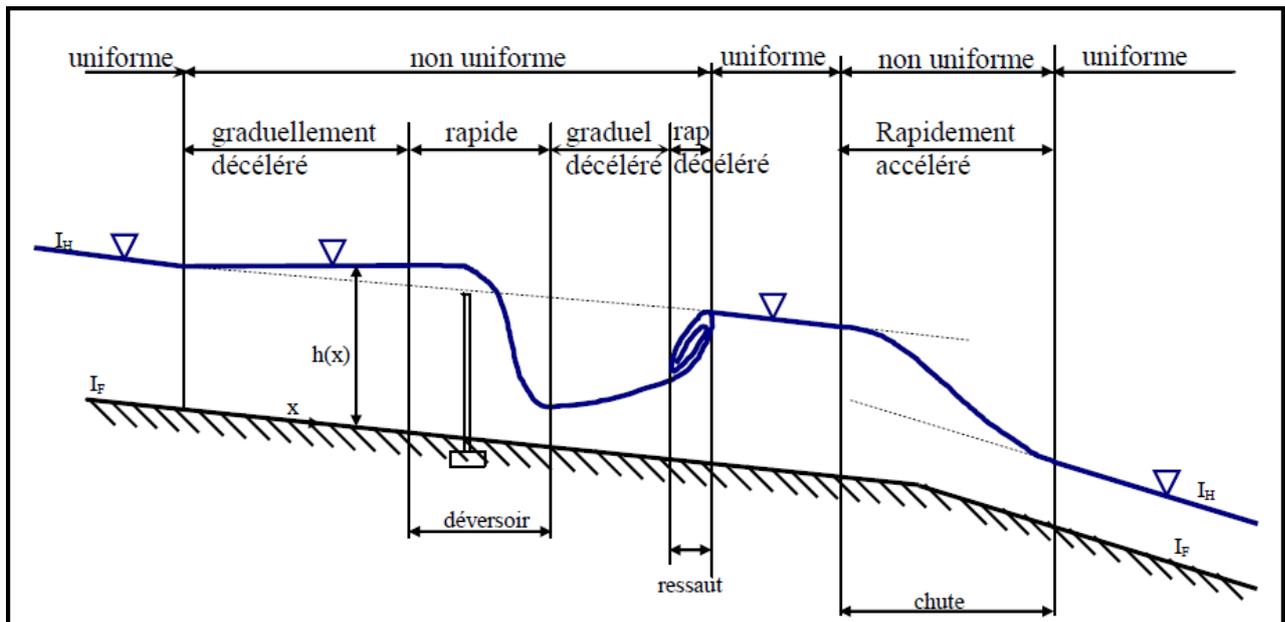


FIGURE 3.4 – Variabilité des écoulements dans l'espace.

III.4.3. Régime d'écoulement :

L'écoulement à surface libre est défini comme un écoulement de fluide avec une interface libre entre l'air et l'eau. La pression est généralement égale à la pression atmosphérique, ce cas d'écoulement est dû à la gravité car il y a une pente.

III.4.4. Le nombre de Reynolds :

qui est la relation entre l'inertie et les forces de frottement dans l'étude hydraulique des canaux, nous définissons généralement les nombres sans dimension suivants :

$$Re = \frac{VD}{\mu}$$

- V : est la vitesse moyenne ;
- D : le diamètre hydraulique égal à $4R$;
- R : étant le rayon hydraulique ;
- μ le coefficient de viscosité cinématique ; Pour des canaux de largeur infinie, on aura $R = h$;
- h étant le tirant d'eau

III.4.5. Le nombre de Froude :

Le nombre de Froude, pour les écoulements à surface libre, s'écrit :

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gH}}$$

- V : Vitesse moyenne de l'écoulement ;
- H : Profondeur hydraulique ;
- g : Accélération gravitationnelle.

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

- Écoulement fluvial $Fr < 1$;
- Écoulement torrentiel $Fr > 1$;
- Écoulement critique $Fr = Fr_c = 1$

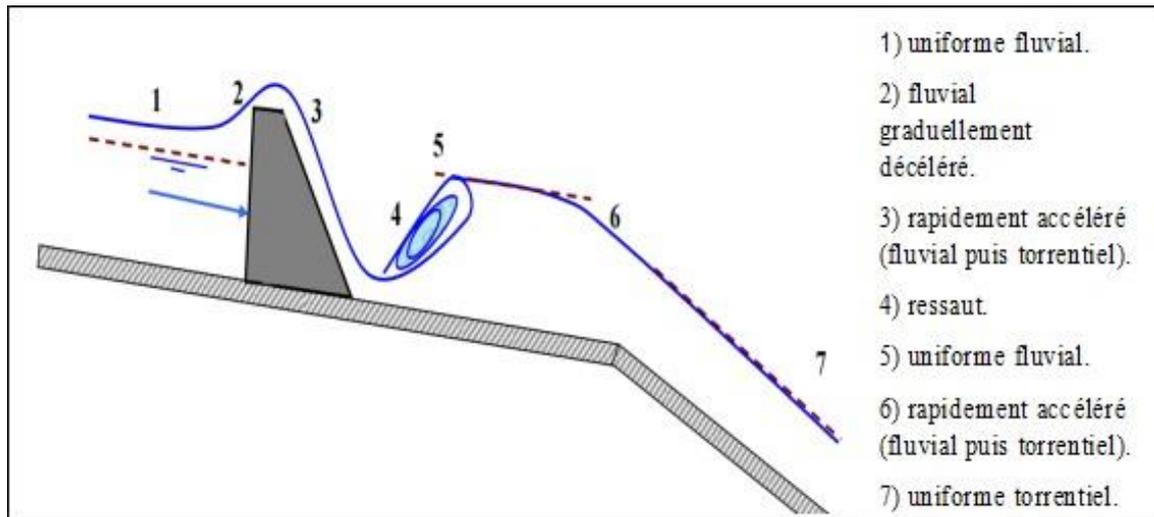
Par conséquent, les effets du nombre de Reynolds Re' , et du nombre de Froude, Fr , donnent quatre régimes d'écoulement.

Le rôle du nombre de Reynolds est de permettre la distinction entre les écoulements comme suit :

- Écoulement laminaire $Re' < 580$;
- Écoulement turbulent $Re' > 2320$;
- Transition $580 < Re' < 2000$

Par conséquent, les effets du nombre de Reynolds, Re' , et du nombre de Froude, Fr , donnent quatre régimes d'écoulement :

- Fluvial - Laminaire $Fr < 1$ et $Re' < 580$;
- Fluvial - Turbulent $Fr < 1$ et $Re' > 2320$;
- Torrentiel - Laminaire $Fr > 1$ et $Re' < 580$;
- Torrentiel - Turbulent $Fr > 1$ et $Re' > 2320$.



• FIGURE 3.5 – Schéma représentant les différents régimes d'écoulement.

III.4.6. Canaux à ciel ouvert :

Un canal est un système de transport dans lequel circule un liquide et dont la surface libre est exposée à la pression atmosphérique.

III.4.7. Type des canaux :

On distingue deux types de canaux :

a. Les canaux naturels :

Les canaux naturels sont des plans d'eau qui se trouvent naturellement au-dessus (ou au-dessous) du sol, tels que les rivières, les ruisseaux, les estuaires et les estuaires. Les caractéristiques géométriques et hydrauliques de ces canaux naturels sont généralement assez irrégulières.

b. Les canaux artificiels :

Il s'agit de voies d'eau artificielles, par exemple : des canaux ouverts construits à même le sol (canaux de navigation, d'alimentation et d'évacuation, canaux d'irrigation et de drainage) ou des canaux couverts où les liquides ne remplissent pas toute la section (tunnels hydrauliques, aqueducs, drains, canaux de drainage). Les caractéristiques hydrauliques des canaux artificiels sont généralement assez régulières. L'application de la théorie hydraulique donne souvent des résultats satisfaisants.

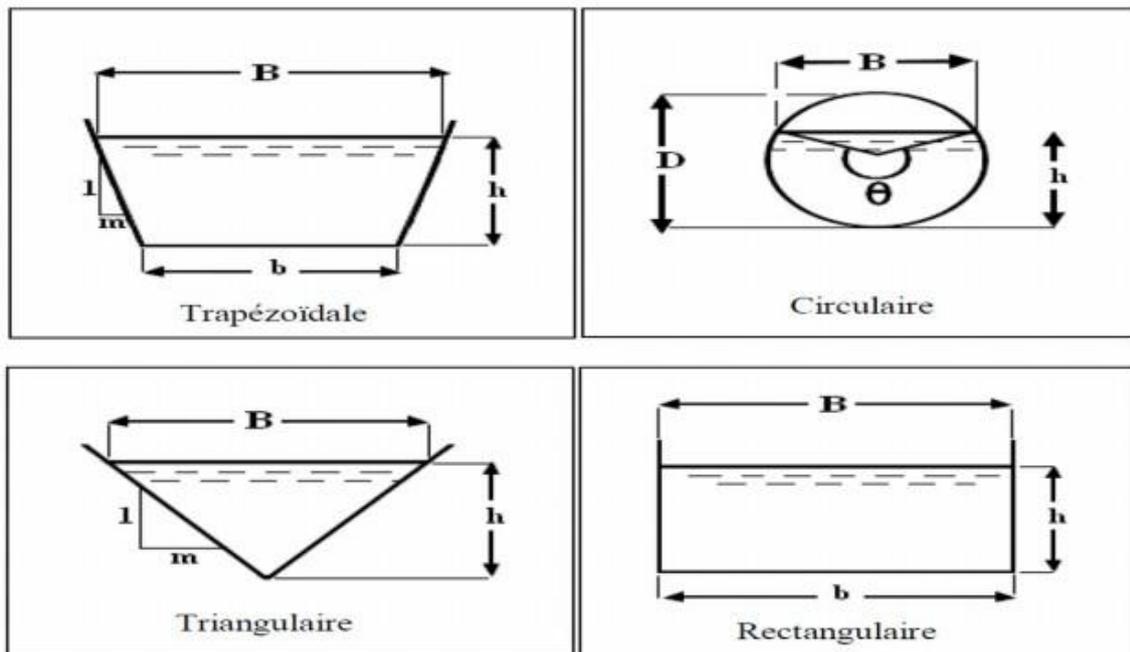


FIGURE 3.6 – Canaux artificiels (Source : TOUMI Abdelouaheb, 2016)

III.4.8. Propriétés des canaux :

a. Les propriétés géométriques :

1. La section transversale A ;
2. La section mouillée S_m ;
3. Le périmètre mouillé P_m ;
4. Le rayon hydraulique R_h est le rapport de la section mouillée et du périmètre mouillé ;
5. La largeur en surface du canal b est la distance séparant les berges opposées ;
6. La profondeur hydraulique de la section mouillée S_m , telle que $D_h = S_m/b$;
7. La pente de la surface libre S_w ;
8. La profondeur H (tirant d'eau) ;
9. La pente du fond S_0 .

b. Propriétés hydrauliques :

Poids volumique :

Le poids volumique de l'eau est notée $\gamma_w = g \cdot \rho_w$ et vaut 9.81 KN/m^3 pour l'eau sans matière en suspension, ρ_w désigne la masse volumique de l'eau et vaut 1000 kg/m^3 dans le cas de l'eau sans matière en suspension et désigne l'accélération de la pesanteur et vaut 9.81 m/s^2 ;

Débits :

Le débit (Q) est le volume d'eau qui traverse une section perpendiculaire à l'axe du chenal par unité de temps ;

Vitesse en un point de l'écoulement :

La vitesse (V) en un point de l'écoulement est celle de la particule qui passe en ce point au moment considéré ;

Vitesse moyenne :

Vitesse moyenne est par définition $V = \frac{Q}{S}$;

Charge hydraulique en un point d'un liquide en mouvement :

L'appellation charge hydraulique désigne une énergie par unité de poids de liquide. La charge en un point d'une ligne de courant est la valeur

$$H_p = Z_p + \frac{p}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g}$$

Avec :

- Z_p : est la cote du point ;
- P : la pression en ce point ;
- V : la vitesse au point p.

Poussée sur une paroi du canal :

L'eau exerce une poussée égale à celle qui existerait si l'eau était au repos. Sur un élément de section S .

Frottement sur une paroi du canal :

L'eau étant en mouvement, exerce sur les parois du chenal une force de frottement.

$$dF = \tau_0 ds$$

avec :

τ_0 : la force de frottement par unité de surface ou contrainte tangentielle à la paroi.

III.5. Simulation de l'écoulement sur HEC-RAS:

Nous menons désormais une étude plus localisée des inondations dans les zones à risque. Nous disposons pour cela de la réponse hydrologique obtenue par la méthode SOKOLOVSKY en un point arbitraire du bassin versant, ainsi que des estimations de débit de crue pour différentes périodes de retour. La simulation est donc démarrée avec le logiciel HEC-RAS. La mise en œuvre du modèle HEC-RAS nécessite une base de données bien fournies des parties de l'oued considérées.

➤ Les données géométriques relatives à chaque section :

- Le profil en travers, défini par une série de couples distance-altitude.
- Les trois distances principales à la section suivante : rive gauche, droite et axe de lit mineur.

III.5.1. Les données hydrométriques à savoir le débit de projet et les conditions aux limites.

III.5.1.1. Objectif du logiciel :

L'objectif principal de ce programme est assez simple, il est conçu pour effectuer un calcul hydraulique unidimensionnel pour tous les réseaux de canaux naturels et artificiels en

calculant les élévations de la surface de l'eau à n'importe quelle section d'intérêt pour les données de débit en régime permanent et la propagation des crues. Hydrogrammes. Pour simuler un écoulement instable. HEC-RAS est un logiciel permanent ou non permanent basé sur le modèle 1D de Saint Venant pour calculer la ligne d'eau évoluant progressivement. Cela résout une « équation énergétique unidimensionnelle » dans laquelle les pertes sont estimées à l'aide de la formule de friction inférieure de Manning Strickler et des formules de contraction/expansion du flux. Dans des situations évoluant rapidement telles que des sauts hydrauliques, des écoulements à proximité de ponts et des confluences de rivières, l'équation de l'énergie est remplacée par l'équation de la quantité de mouvement.

III.5.1.2. Démarche de la simulation :

Cette démarche se fait en quatre étapes :

- Modélisation de la rivière.
- Modélisation de l'écoulement.
- Mise en marche de la simulation.
- Visualisation des résultats et constatation

III.5.1.3. Application d'HEC-RAS sur un Oued :

Base de données nécessaire à la mise en œuvre du modèle HECRAS :

L'application du modèle HEC-RAS nécessite une banque de données concernant le site étudié :

- La section en travers, définie par une série de couples distance -altitude ;
- La distance à la section suivante (Rives et axe canal) ;
- Les coefficients de contraction et d'expansion ;
- Les données de l'écoulement et les conditions aux limites ;

III.5.1.3.1. Les données géométriques :

Les données géométriques requises sont constituées des données de raccordement au réseau fluvial (schéma du système fluvial), des données de section transversale et des données sur les ouvrages ou projets hydrauliques existants (ponts, pilotis, ouvrages latéraux, drains, etc.).

III.5.1.3.2. Préparation des Données de Base

La première étape dans la modélisation d'un cours d'eau consiste à préparer les données topographiques nécessaires. Ces données peuvent inclure des relevés topographiques, des modèles numériques de terrain (MNT), ou des données lidar. Ces informations sont essentielles pour créer une représentation précise du terrain existant.

III.5.1.3.3. Collecte des Données Topographiques

Les données topographiques utilisées dans cette étude proviennent de [source spécifique, ex. : relevés de terrain, données lidar]. Ces données comprennent les points d'élévation, les courbes de niveau, ainsi que les éventuelles structures existantes telles que les routes et les bâtiments.

III.5.1.3.4. Importation des Données dans Civil 3D

Les données collectées ont été importées dans Civil 3D en utilisant les fonctionnalités de création de surfaces. Une surface TIN (Triangulated Irregular Network) a

été générée pour représenter le terrain naturel. Les points d'élévation et les courbes de niveau ont été utilisés pour modéliser la surface avec précision.

III.5.1.3.5. Création de la Surface du Terrain

Après l'importation des données, la surface du terrain naturel a été générée et affinée. Cette surface sert de base pour la modélisation du cours d'eau.

III.5.1.3.6. Génération de la Surface TIN

Une surface TIN a été créée à partir des données d'élévation importées. Cette surface est essentielle pour comprendre la topographie du site et pour la modélisation ultérieure de la rivière.

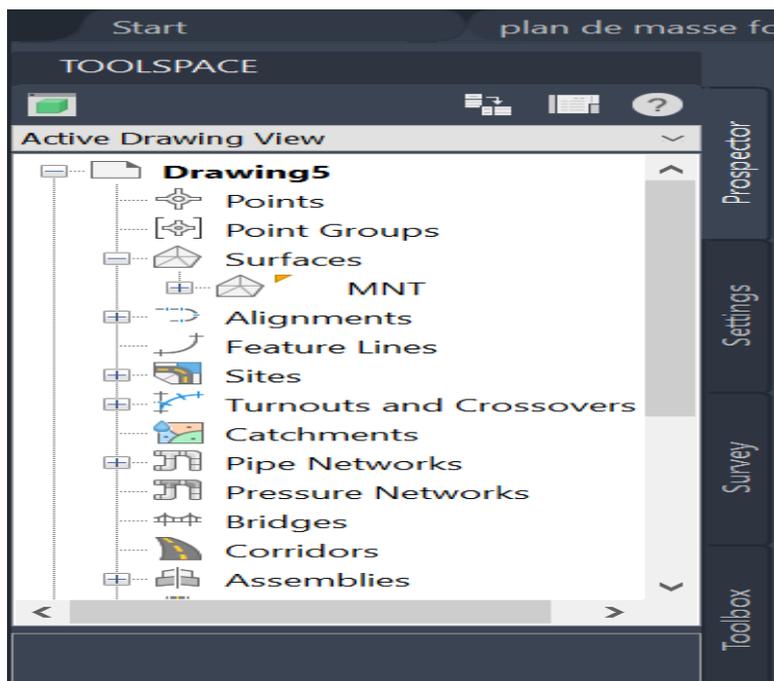


Figure III-1:toolspace

III.5.1.3.7. Modélisation du Cours d'Eau

La modélisation proprement dite du cours d'eau commence par la création d'un alignement représentant le tracé central de la rivière. Cet alignement sert de base pour la création des profils en long et des sections transversales.

III.5.1.3.8. Création de l'Axe de la Rivière

L'axe de la rivière a été tracé en utilisant l'outil Alignement de Civil 3D. Ce tracé représente le cours principal de la rivière et sert de guide pour les étapes suivantes de la modélisation.

III.5.1.3.9. Création du Profil en Long

Un profil en long a été généré le long de l'alignement de la rivière. Ce profil montre l'élévation du fond de la rivière par rapport à la distance parcourue le long de l'axe, fournissant des informations essentielles pour la conception du lit de la rivière.

III.5.1.3.10. Création des Sections Transversales

Des sections transversales ont été créées perpendiculairement à l'alignement de la rivière. Ces sections montrent la forme en coupe du lit de la rivière et de ses berges, permettant une analyse plus détaillée du profil de la rivière.

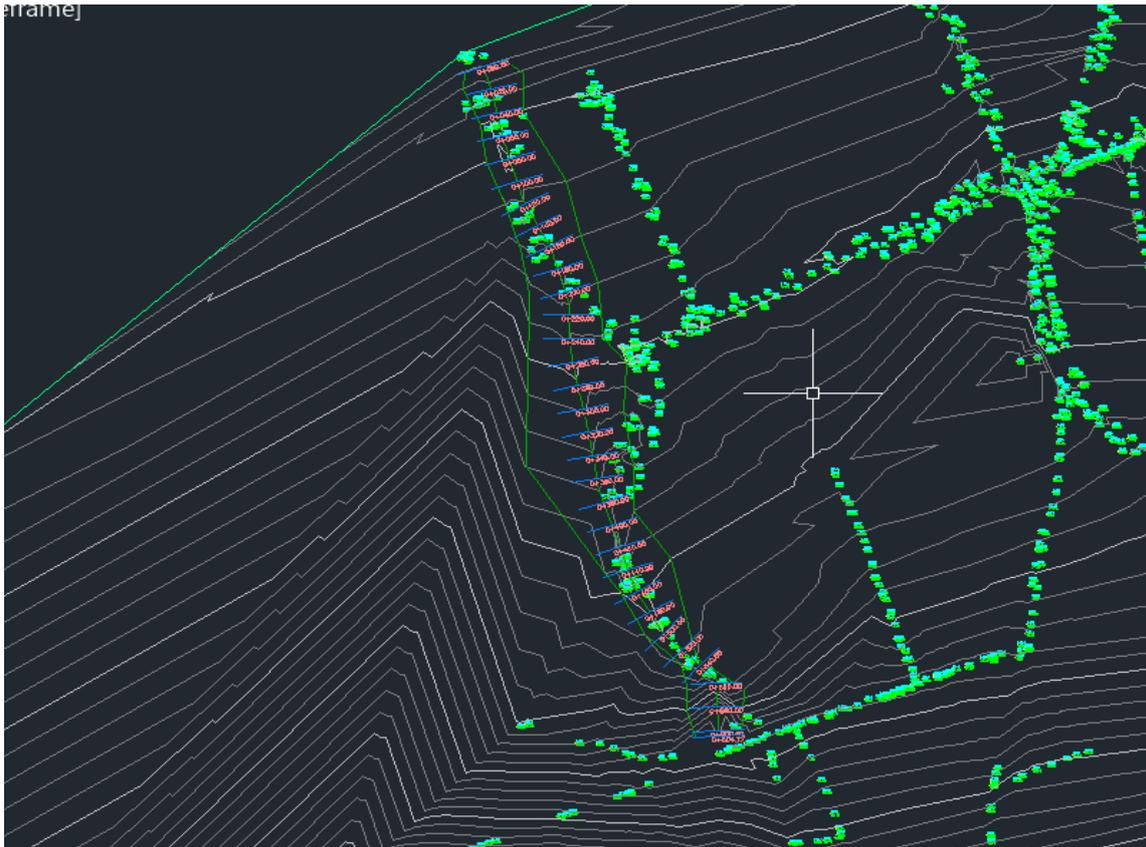


Figure III-2: Définition du tracé d'Oued HOUARI BOUMEDIEN et des sections en travers de l'oued

III.5.1.3.11. Exportation du Modèle de la Rivière vers HEC-RAS

III.5.1.3.12. Préparation du Modèle dans Civil 3D

Avant d'exporter le modèle vers HEC-RAS, certaines préparations sont nécessaires pour s'assurer que toutes les données essentielles sont correctement formatées et prêtes pour l'exportation.

III.5.1.3.13. Vérification du Modèle 3D

- **Alignement de la Rivière** : Assurez-vous que l'alignement de la rivière est correctement défini et qu'il représente avec précision le tracé central de la rivière.
- **Sections Transversales** : Vérifiez que les sections transversales sont correctement positionnées le long de l'alignement et qu'elles capturent toutes les variations importantes du profil transversal de la rivière.
- **Surface du Terrain** : La surface TIN (ou une autre surface de terrain) doit être complète et précise pour garantir que les informations d'élévation sont correctement transmises à HEC-RAS.

III.5.1.3.14. Organisation des Données

- **Nommage des Éléments** : Nommez clairement tous les éléments du modèle (alignements, surfaces, sections transversales) pour éviter toute confusion lors de l'exportation.
- **Regroupement des Objets** : Si nécessaire, regroupez les objets par segments logiques, comme les tronçons de la rivière, pour faciliter leur exportation et leur gestion dans HEC-RAS.

III.5.1.3.15. Utilisation de l'Extension HEC-RAS pour Civil 3D

L'exportation vers HEC-RAS se fait généralement à l'aide d'une extension spécifique comme **HEC-RAS Import/Export** pour Civil 3D. Voici les étapes pour utiliser cette extension :

III.5.1.3.16. Paramétrage de l'Exportation

- **Lancement de l'Extension** : Lancez l'extension HEC-RAS dans Civil 3D à partir du menu `HEC-RAS` ou `Extensions`.
- **Sélection de l'Alignement** : Sélectionnez l'alignement représentant l'axe de la rivière que vous souhaitez exporter.
- **Définition des Sections Transversales** : Sélectionnez les sections transversales que vous avez créées le long de l'alignement. Ces sections sont cruciales pour l'analyse hydraulique dans HEC-RAS.

III.5.1.3.17. Configuration des Paramètres d'Exportation

- **Spécification du Format d'Exportation** : Le format d'exportation standard est le fichier géométrique HEC-RAS (`.geo`). Configurez les options pour inclure les informations d'élévation, de profil, et de sections transversales.
- **Sélection des Objets à Exporter** : Assurez-vous que tous les éléments pertinents (alignements, sections transversales, surfaces) sont sélectionnés pour l'exportation.
- **Paramétrage des Conditions aux Limites** : Si nécessaire, définissez les conditions aux limites et autres paramètres spécifiques à la simulation hydraulique dans HEC-RAS.

III.5.1.3.18. Exportation du Fichier

- **Exporter le Modèle** : Lancez le processus d'exportation. Le logiciel générera un fichier `geo` que vous pourrez ensuite importer dans HEC-RAS.
- **Vérification de l'Exportation** : Une fois l'exportation terminée, vérifiez que le fichier `.geo` a été correctement généré et qu'il inclut toutes les informations nécessaires.

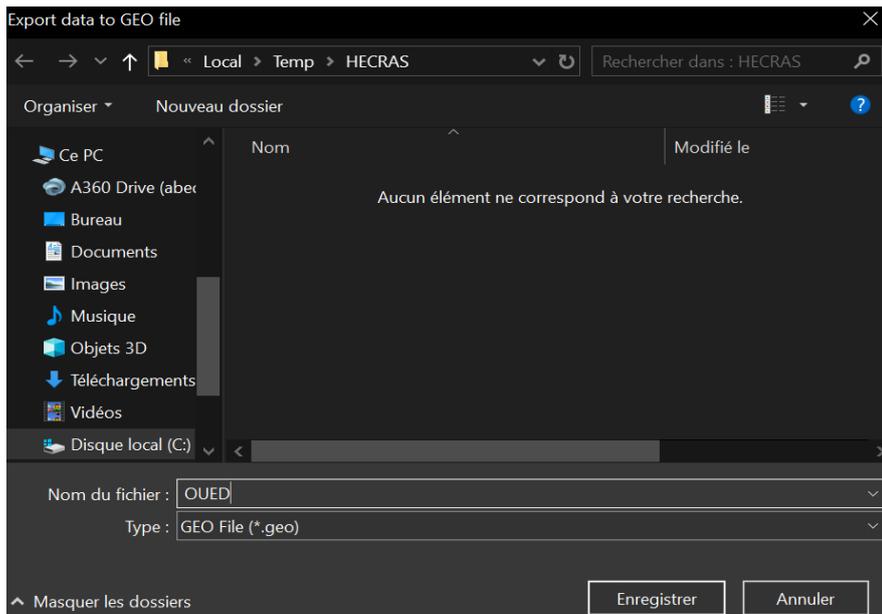


Figure III-3:export data to GEO FILE

III.5.1.3.19. Importation dans HEC-RAS

Après avoir exporté le modèle de la rivière à partir de Civil 3D, il faut l'importer dans HEC-RAS pour procéder à l'analyse hydraulique.

III.5.1.3.20. Création d'un Nouveau Projet dans HEC-RAS

- **Lancer HEC-RAS** : Ouvrez HEC-RAS et créez un nouveau projet.
- **Importation du Fichier Géométrique** : Allez dans **File > Import Geometry Data** et sélectionnez le fichier .geo exporté depuis Civil 3D.
- **Vérification des Données Importées** : Vérifiez que les données géométriques importées sont correctes et complètes, y compris les alignements, les sections transversales, et les surfaces.

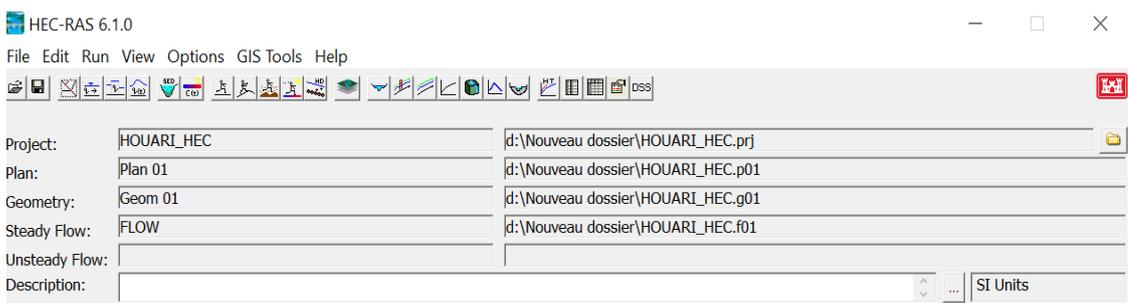


Figure III-4:interface de hec ras

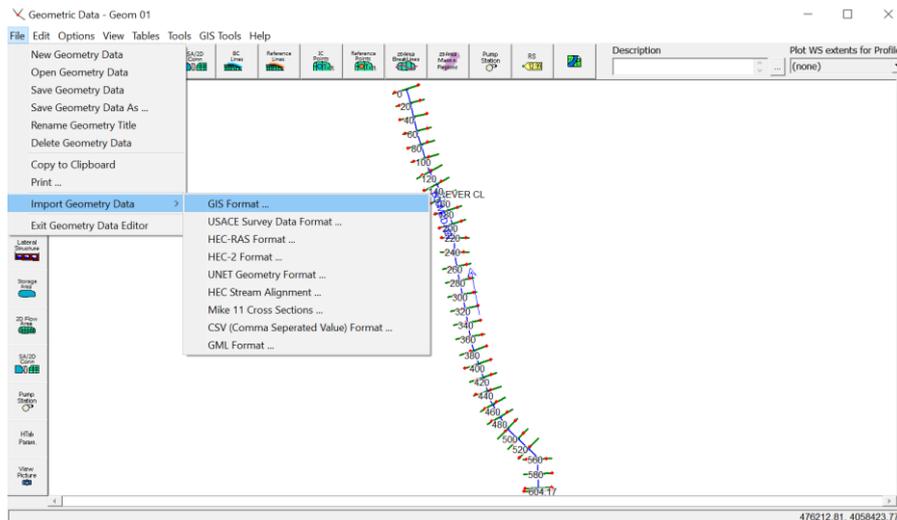


Figure III-5: Les sections transversales d'oued Houari Boumediene

Les sections transversales tirées à partir du civil 3D sont représentées dans la figure

III.5.1.3.21. Les données de l'écoulement et les conditions aux limites :

Après avoir saisi les données géométriques pour chaque section, l'étape suivante de la modélisation hydraulique HEC-RAS consiste à déterminer le débit et toutes les conditions aux limites nécessaires pour le calcul des profils de la surface de l'eau en chaque section. Systèmes fluviaux. Les conditions aux limites constituent une partie importante de la modélisation hydraulique, où des conditions aux limites de débit constantes en amont, en aval ou les deux sont nécessaires pour créer l'élévation de la nappe phréatique à l'extrémité de chaque segment de rivière. HEC-RAS peut commencer à effectuer des calculs hydrauliques.

III.5.2. Simulation :

Après avoir introduit les données géométriques, hydrométriques et les conditions aux limites, nous devons sélectionner un régime fluvial, torrentiel ou mixte pour effectuer le calcul. Dans notre cas, nous supposons un régime mixte et démarrons la simulation.

a. Le débit centennal calculé dans la partie hydrologique qui est de $14.434\text{m}^3/\text{s}$;

b. Le choix de coefficient de frottement (coefficient de Manning) :

Le frottement au fond du lit est caractérisé par un coefficient de rugosité n
 (Coefficient de Manning inverse du coefficient de Strickler $k = \frac{1}{n}$)

III.5.3. Résultat de la simulation :

La saisie des données géométriques des profils de sections transversales, des Données de crue pour des périodes de retour différentes, et des conditions aux limites en HEC-RAS a permis de faire les calculs nécessaires et de produire divers résultats. Ces derniers se composent d'un croquis de la coupe de la section simulée, des niveaux d'eau en fonction de chaque période de retour sur les profils, d'une vue en 3D des niveaux d'eau dans la section d'étude accompagnée des descriptions, et de la courbe de tarage.

III.5.4. Le profil en long :

La représentation en coupe du tronçon d'étude est fournie par la ligne d'eau, qui affiche à la fois le niveau et la surface de l'Oued, ainsi que le niveau d'eau correspondant à une période de retour centennale.

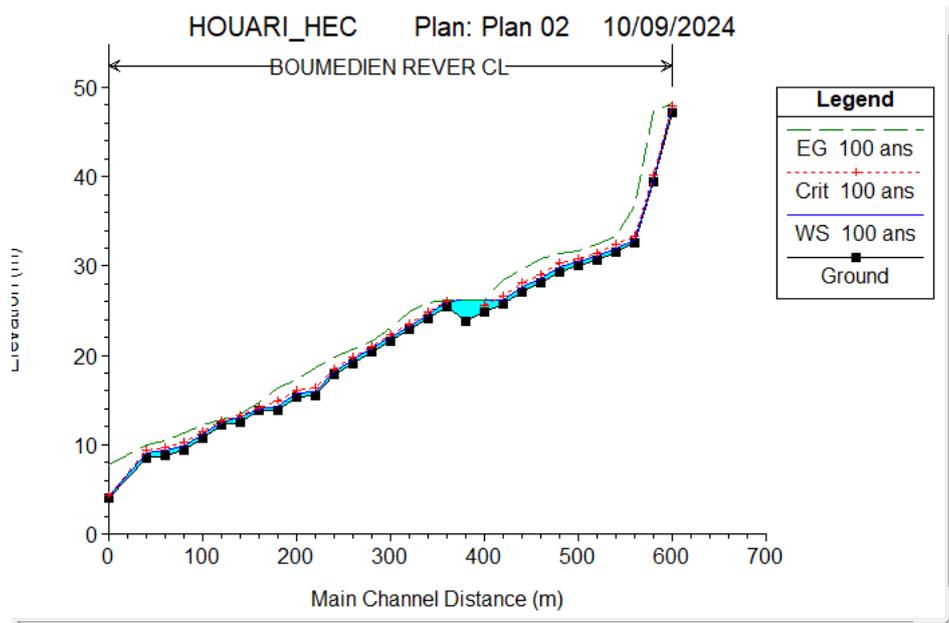


Figure III-6: Profil en long du cours d'eau à l'état naturel pour une crue centennale

III.5.5. Restitution de la courbe de tarage :

HEC-RAS a permis de fournir une représentation de la variation de la hauteur d'eau en (m) en fonction de débit en m^3/s .

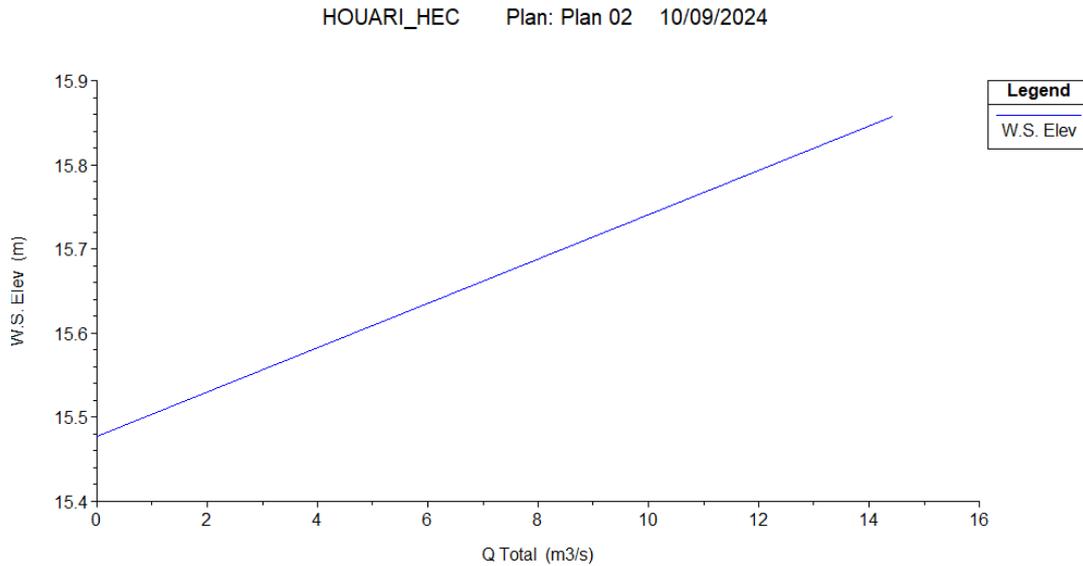
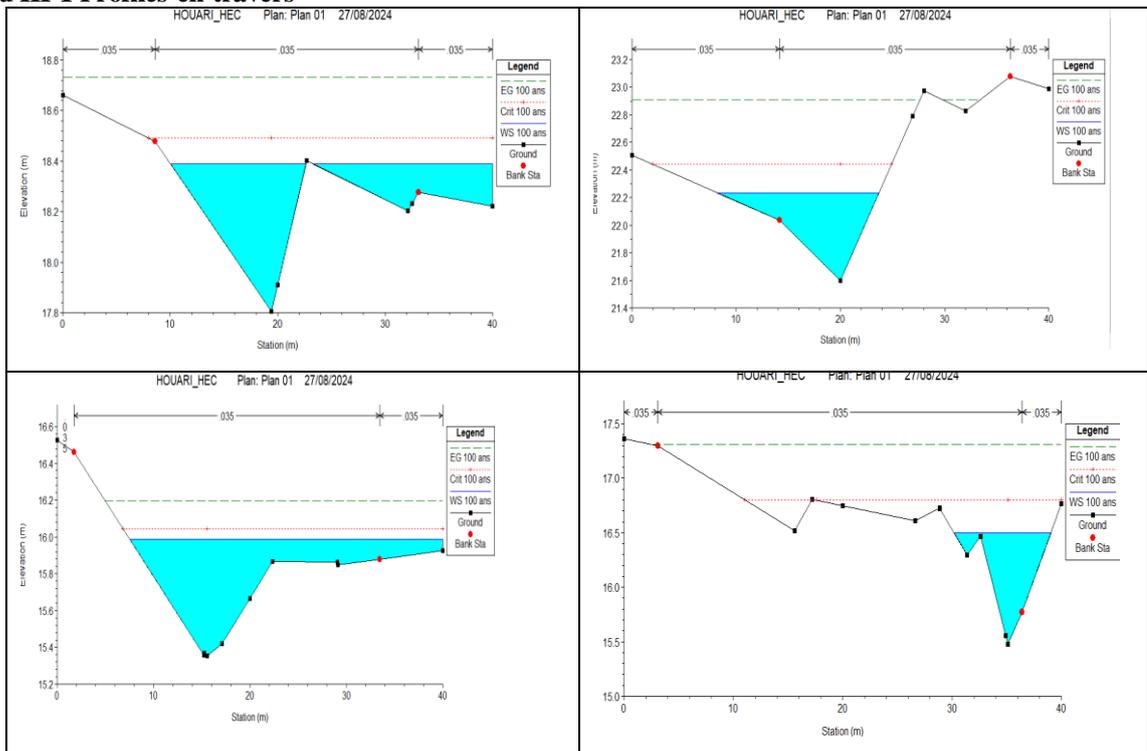


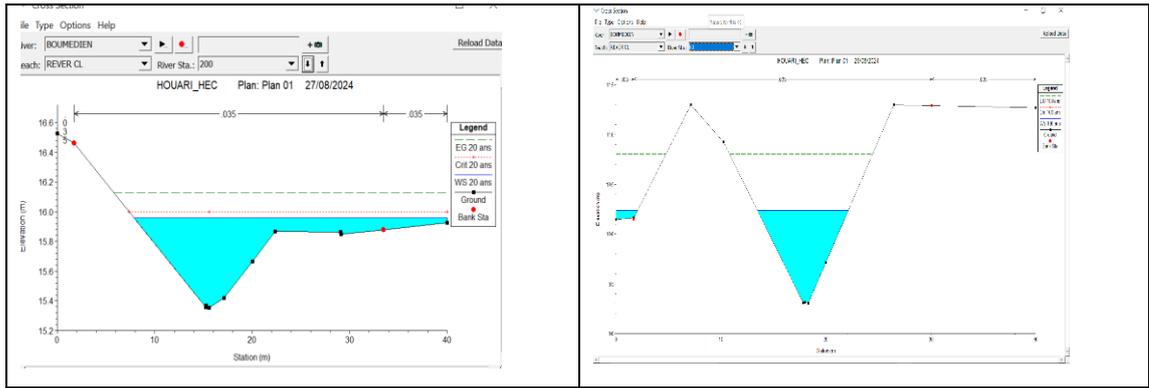
Figure III-7: Courbe de tarage du tronçon modélisé d'Oued HOUARI BOUMEDIEN

III.5.6. Les profils en travers :

Cette possibilité d'affichage des résultats en utilisant un profil transversal nous a donné la possibilité d'obtenir un maximum de détails à chaque point sélectionné du tracé du cours d'eau, où nous avons constaté que presque toutes les sections sont submersibles.

Tableau III-1 Profils en travers





3. Le logiciel permet aussi de créer des tableaux récapitulatifs de l'ensemble des paramètres hydrauliques pour un barrage ou autre ouvrage, pour une surface de stockage, pour chaque station (profil en travers), ou pour l'ensemble des stations à la fois.

Tableau III-2: Principaux paramètres hydrauliques pour l'ensemble des stations (Source : Logiciel HEC-RAS).

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: BOUMEDIEN Reach: REVER CL Profile: 100 ans Reload Data

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
REVER CL 604.17	604.17	100 ans	14.43	47.74	48.51	48.51	48.62	0.009134	1.06	11.47	40.00	0.69
REVER CL 600	600	100 ans	14.43	47.20	48.12	48.26	48.53	0.027013	1.63	6.10	18.88	1.15
REVER CL 580	580	100 ans	14.43	39.50	39.93	40.59	46.31	1.067645	11.19	1.30	5.58	7.31
REVER CL 560	560	100 ans	14.43	32.53	33.23	33.71	35.72	0.264228	6.99	2.06	6.04	3.82
REVER CL 540	540	100 ans	14.43	31.59	32.36	32.50	32.87	0.058347	3.47	5.15	25.44	1.83
REVER CL 520	520	100 ans	14.43	30.64	31.60	31.73	32.05	0.028338	2.96	4.87	9.94	1.35
REVER CL 500	500	100 ans	14.43	30.03	31.01	31.16	31.51	0.025854	3.18	4.75	9.61	1.32
REVER CL 480	480	100 ans	14.43	29.26	30.33	30.50	30.89	0.036433	3.32	4.35	8.85	1.51
REVER CL 460	460	100 ans	14.43	28.11	29.31	29.54	30.02	0.051350	3.71	3.89	8.48	1.75
REVER CL 440	440	100 ans	14.43	27.09	28.13	28.44	28.99	0.049873	4.09	3.53	6.44	1.77
REVER CL 420	420	100 ans	14.43	25.73	26.35	26.66	27.48	0.121117	4.71	3.07	8.94	2.57
REVER CL 400	400	100 ans	14.43	24.80	26.19	25.80	26.27	0.002913	1.26	11.49	15.14	0.46
REVER CL 380	380	100 ans	14.43	23.85	26.22		26.24	0.000263	0.62	23.88	15.06	0.16
REVER CL 360	360	100 ans	14.43	25.38	26.06	26.06	26.21	0.018337	1.83	8.34	27.42	1.02
REVER CL 340	340	100 ans	14.43	24.12	24.68	24.89	25.42	0.090990	4.32	4.06	16.92	2.31
REVER CL 320	320	100 ans	14.43	22.86	23.50	23.68	24.05	0.050722	3.52	4.81	17.61	1.76
REVER CL 300	300	100 ans	14.43	21.60	22.24	22.44	22.91	0.062307	3.72	4.23	15.56	1.93
REVER CL 280	280	100 ans	14.43	20.34	20.98	21.20	21.64	0.063704	3.60	4.10	13.99	1.93
REVER CL 260	260	100 ans	14.43	19.07	19.73	19.88	20.21	0.074331	3.11	4.87	23.39	1.97
REVER CL 240	240	100 ans	14.43	17.81	18.39	18.49	18.73	0.071410	2.67	5.64	29.38	1.87
REVER CL 220	220	100 ans	14.43	15.48	16.50	16.80	17.31	0.066108	4.10	3.63	8.81	1.99
REVER CL 200	200	100 ans	14.43	15.35	15.99	16.04	16.20	0.031683	2.06	7.28	32.49	1.30
REVER CL 180	180	100 ans	14.43	13.86	14.77	14.89	15.20	0.085806	2.90	5.08	30.08	2.04
REVER CL 160	160	100 ans	14.43	13.83	14.21	14.22	14.39	0.018807	1.78	7.74	23.28	1.03
REVER CL 140	140	100 ans	14.43	12.51	13.10	13.22	13.56	0.128690	3.15	4.83	30.78	2.43
REVER CL 120	120	100 ans	14.43	12.20	12.57	12.58	12.70	0.017544	1.30	9.30	38.35	0.92
REVER CL 100	100	100 ans	14.43	10.75	11.21	11.43	12.03	0.096111	4.03	3.67	15.28	2.31
REVER CL 80	80	100 ans	14.43	9.30	10.24	10.43	10.80	0.038283	3.34	4.42	10.72	1.55
REVER CL 60	60	100 ans	14.43	8.76	10.13	10.13	10.42	0.015355	2.52	6.17	10.16	0.99
REVER CL 40	40	100 ans	14.43	8.49	9.35	9.51	9.84	0.064333	3.14	4.64	15.81	1.86
REVER CL 20	20	100 ans	14.43	6.92	7.21	7.36	7.82	0.178271	3.32	4.22	29.31	2.79
REVER CL 0	0	100 ans	14.43	4.00	4.24	4.34	4.62	0.137584	2.76	5.27	40.00	2.42

Total flow in cross section.

- Min Ch. El : Altitude du radier du canal ;
- Vel chnl : Vitesse d'écoulement ;
- W.S Elev : Altitude du plan d'eau calculé ;
- Flow area : Section mouillée ;
- Top Width : Largeur au miroir ;
- E.G Elev : Altitudes de la ligne d'énergie ;
- Froude chl : Nombre de Froude ;
- E.G slope : Pente de la ligne d'énergie.

POUR L'Oued de sisi abdelkader:

Tableau III-3 Tableau des Principaux paramètres hydrauliques pour l'ensemble des stations (Source : Logiciel HEC-RAS

Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
12.46	47.20	47.90	47.90	48.16	0.003711	2.43	6.33	12.12	1.14
12.46	39.50	39.70	40.18	47.18	1.002895	12.11	1.03	6.66	9.84
12.46	32.53	32.83	33.29	36.41	0.280456	8.38	1.49	6.60	5.64
12.46	31.59	32.01	32.33	33.20	0.070043	4.83	2.58	8.15	2.74
12.46	30.64	31.04	31.35	32.27	0.032981	4.92	2.53	8.47	2.87
12.46	30.03	30.44	30.75	31.63	0.030046	4.83	2.58	8.11	2.73
12.46	29.26	29.83	30.24	31.23	0.013190	5.24	2.38	5.19	2.47
12.46	28.11	28.51	28.93	30.60	0.095526	6.41	1.95	6.21	3.66
12.46	27.09	27.61	28.08	29.49	0.032938	6.09	2.05	4.52	2.89
12.46	25.73	26.10	26.51	28.29	0.133553	6.55	1.90	6.85	3.97
12.46	24.80	26.16	25.52	26.19	0.000289	0.71	17.58	20.39	0.24
12.46	23.85	26.17		26.18	0.000066	0.43	29.71	16.50	0.10
12.46	25.38	26.00	26.00	26.16	0.003653	2.03	9.46	29.68	1.01
12.46	24.12	24.46	24.76	25.85	0.049931	5.29	2.60	13.21	3.32
12.46	22.86	23.19	23.50	24.73	0.061857	5.50	2.27	10.43	3.75
12.46	21.60	21.97	22.23	22.99	0.104170	4.48	2.78	11.39	2.89
12.46	20.34	20.77	20.97	21.43	0.053957	3.59	3.47	11.92	2.12
12.46	19.07	19.46	19.76	20.54	0.033645	4.61	2.70	9.94	2.82
12.46	17.81	18.17	18.44	19.70	0.047178	5.49	2.27	9.36	3.56
12.46	15.48	15.82	16.27	18.49	0.065323	7.23	1.73	6.51	4.43
12.46	15.35	15.72	16.00	17.07	0.041291	5.14	2.42	9.87	3.31
12.46	13.86	14.29	14.80	16.29	0.031622	6.26	1.99	5.53	3.33
12.46	13.83	14.00	14.15	14.60	0.158884	3.27	3.66	25.26	2.90
12.46	12.51	13.12	13.17	13.32	0.029177	2.14	6.48	31.10	1.38
12.46	12.20	12.46	12.55	12.76	0.025394	3.11	6.07	32.37	2.37
12.46	10.75	11.09	11.36	12.12	0.040633	4.49	2.78	10.37	2.77
12.46	9.30	9.75	10.12	11.14	0.055160	5.21	2.39	6.47	2.74
12.46	8.76	9.34	9.64	10.28	0.025555	4.31	2.91	6.61	2.02
12.46	8.49	9.04	9.27	9.88	0.014084	4.06	3.10	10.19	2.33
12.46	4.00	4.12	4.32	7.80	0.980569	8.55	1.52	25.18	10.50

L'Oued de issat djalloul:

Tableau III-4 Tableau des Principaux paramètres hydrauliques pour l'ensemble des stations (Source : Logiciel HEC-RAS

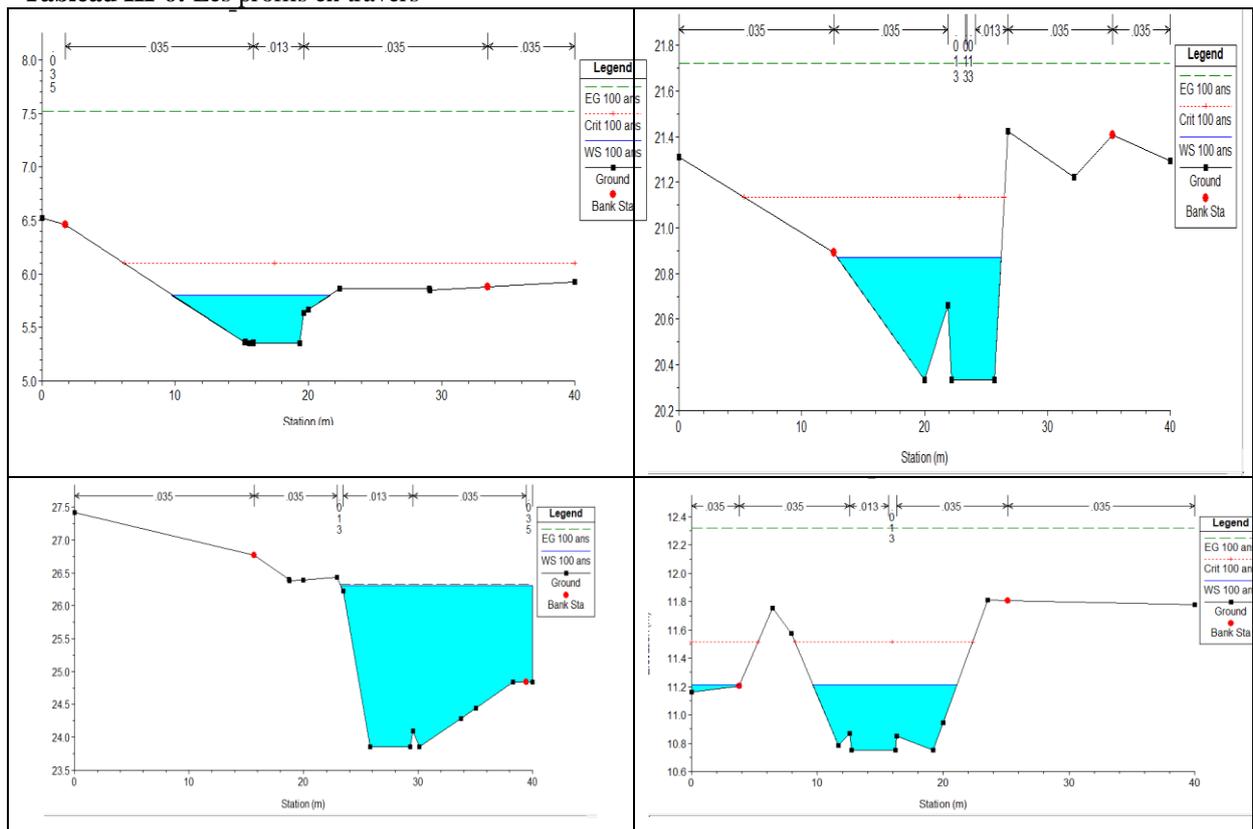
Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
47.20	47.78	47.78	48.01	0.003702	2.28	4.96	10.87	1.13
39.50	39.65	40.07	47.03	1.170920	12.03	0.75	5.97	10.83
32.53	32.78	33.17	35.83	0.271859	7.74	1.17	6.06	5.63
31.59	31.96	32.23	32.87	0.063962	4.22	2.14	7.85	2.58
30.64	30.98	31.23	31.99	0.031309	4.45	2.03	7.83	2.79
30.03	30.37	30.64	31.37	0.029800	4.43	2.04	7.31	2.67
29.26	29.72	30.08	30.95	0.014501	4.91	1.84	4.68	2.50
28.11	28.44	28.80	30.28	0.097535	6.02	1.50	5.71	3.75
27.09	27.51	27.91	29.09	0.035758	5.57	1.62	4.33	2.91
25.73	26.04	26.39	27.88	0.117931	6.00	1.51	6.16	3.88
24.80	26.07	25.43	26.09	0.000201	0.57	15.77	19.65	0.20
23.85	26.08		26.08	0.000041	0.33	28.19	16.40	0.08
25.38	25.92	25.92	26.07	0.003512	1.89	7.25	25.92	0.97
24.12	24.40	24.67	25.76	0.059285	5.19	1.82	10.66	3.64
22.86	23.13	23.41	24.53	0.063849	5.23	1.73	9.21	3.86
21.60	21.92	22.14	22.79	0.100642	4.13	2.19	10.23	2.85
20.34	20.71	20.87	21.26	0.053647	3.28	2.75	11.03	2.10
19.07	19.39	19.65	20.36	0.035116	4.35	2.08	9.00	2.89
17.81	18.11	18.38	19.49	0.048429	5.22	1.73	8.33	3.65
15.48	15.75	16.14	18.20	0.073958	6.93	1.30	5.94	4.72
15.35	15.67	15.94	16.77	0.037906	4.64	1.95	8.64	3.12
13.86	14.20	14.64	15.97	0.035207	5.88	1.54	5.18	3.45
13.83	13.99	14.09	14.35	0.106398	2.54	3.40	25.25	2.34
12.51	13.07	13.12	13.25	0.030492	1.98	5.13	30.42	1.38
12.20	12.42	12.50	12.68	0.025481	2.89	4.85	30.00	2.32
10.75	11.02	11.27	11.99	0.049207	4.35	2.08	9.76	3.01
9.30	9.67	9.98	10.89	0.058545	4.90	1.85	6.03	2.83
8.76	9.24	9.49	10.03	0.024895	3.94	2.29	5.82	2.00
8.49	8.97	9.20	9.67	0.012123	3.70	2.45	7.65	2.06
4.00	4.10	4.28	7.78	1.113177	8.50	1.08	23.57	11.89

POUR L'Oued de BERBOUCHA:

Tableau III-5 Tableau des Principaux paramètres hydrauliques pour l'ensemble des stations (Source : Logiciel HEC-RAS)

Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
47.20	48.17	48.17	48.39	0.002803	2.22	10.34	21.48	1.12
39.50	39.78	40.36	47.44	0.818461	12.26	1.58	7.85	8.72
32.53	32.91	33.47	37.35	0.290530	9.33	2.08	7.50	5.65
31.59	32.15	32.46	33.41	0.090451	4.97	3.92	13.67	2.80
30.64	31.18	31.54	32.51	0.026729	5.11	3.80	9.52	2.58
30.03	30.57	30.94	31.95	0.028204	5.21	3.73	9.76	2.69
29.26	30.03	30.48	31.60	0.011243	5.55	3.50	6.13	2.34
28.11	28.64	29.18	31.03	0.088485	6.84	2.84	7.13	3.46
27.09	27.81	28.43	29.86	0.035448	6.35	3.06	5.43	2.70
25.73	26.23	26.69	28.61	0.128826	6.84	2.84	8.26	3.73
24.80	26.29	25.67	26.34	0.000482	0.96	20.28	21.37	0.31
23.85	26.30		26.32	0.000127	0.62	31.96	16.75	0.14
25.38	26.13	26.13	26.30	0.003710	2.16	13.66	34.31	1.01
24.12	24.57	24.91	26.00	0.040802	5.47	4.26	17.44	3.00
22.86	23.28	23.65	25.02	0.055536	5.86	3.44	14.05	3.43
21.60	22.06	22.38	23.38	0.109807	5.10	3.81	13.49	3.00
20.34	20.87	21.13	21.72	0.055741	4.08	4.77	13.38	2.18
19.07	19.57	19.89	20.84	0.032447	5.00	3.89	11.52	2.75
17.81	18.26	18.54	20.01	0.049002	5.86	3.40	19.24	3.91
15.48	15.95	16.52	18.87	0.053038	7.59	2.61	7.53	3.99
15.35	15.80	16.10	17.52	0.045944	5.81	3.35	11.91	3.50
13.86	14.44	14.90	16.77	0.027259	6.76	2.88	6.15	3.15
13.83	14.02	14.25	15.12	0.245686	4.50	4.20	25.28	3.70
12.51	13.18	13.26	13.46	0.032392	2.51	8.46	32.27	1.49
12.20	12.53	12.64	12.89	0.024093	3.36	8.46	36.29	2.28
10.75	11.21	11.51	12.32	0.031359	4.66	4.28	15.32	2.48
9.30	9.91	10.38	11.50	0.049053	5.58	3.48	7.28	2.57
8.76	9.51	9.88	10.68	0.025933	4.81	4.16	8.11	2.02
8.49	9.14	9.40	10.22	0.018438	4.61	4.26	13.95	2.65
4.00	4.15	4.40	7.75	0.764181	8.55	2.43	29.02	8.99

Les profils en travers:
Tableau III-6: Les profils en travers



III.6. Conclusion:

Cette étape nous a permis de comprendre la nature de notre zone d'étude, sa réponse aux inondations et la localisation des différentes zones touchées par les inondations dues à la crue centennale.

Chapitre IV:Études des variantes d'aménagement.

IV.1. Introduction

Le but de cette étude est de protéger les villes situées dans tout l'Oued HOUARI BOUMEDIÈNE des inondations. Cette protection consiste à choisir les meilleures solutions d'aménagement après avoir proposé différentes variantes en fonction des résultats obtenus dans les chapitres précédents et selon l'analyse de notre territoire tenant compte des conditions naturelles. Les variantes seront choisies dans le but de protéger toutes les communes de la région des inondations, d'évacuer les eaux de crue vers la sortie, de respecter toutes les conditions d'écoulement et de stabilité des berges et sans oublier l'impact de cet aménagement. Sur l'environnement. Par conséquent, la sélection des variantes est déterminée par différents processus.

IV.2. Présentation des grandes orientations:

IV.2.1. La protection contre l'érosion :

Deux types d'érosion sont considérés :

- L'érosion des berges ;
- L'érosion du fond du lit.

Comme pour le risque d'inondation, le risque d'érosion résulte de la combinaison du risque d'érosion et des problèmes. Cela se produit dans les zones non aménagées et en dehors de la section où le côté de la route coïncide avec la rive du fleuve.

IV.2.2. Érosion des berges :

▪ L'érosion des berges est l'enlèvement des grains de matériaux qui composent la berge par l'eau du fleuve. Cette élimination des particules est possible lorsque la vitesse du courant et ses turbulences sont capables de vaincre le poids des particules et leur cohésion potentielle. En fait, le phénomène s'apparente à un choc qui déloge les graines de la berge et les entraîne plus profondément, où elles peuvent être déposées. C'est plus brutal lorsque le courant fait un angle avec la berge.

Un glissement de terrain (ou effondrement) est un mécanisme de rupture d'un volume cohérent de berges, qui s'est élevé à la suite de glissements de pieds.

▪ L'affouillement est également une érosion, mais nous utilisons ce terme lorsque l'érosion se produit à la base d'une berge ou d'une structure.

Nous considérons que l'érosion n'est qu'un cas particulier de l'érosion côtière (GIP, 2015).

Les aménagements visant à protéger les berges peuvent être abordés selon deux conceptions distinctes :

- ◆ La protection linéaire (revêtement) ;

- ◆ La protection par épis.

- Les couvertures représentent la méthode la plus utilisée dans l'aménagement des rivières. Ils sont constitués d'une couche de matériau résistant à l'érosion qui recouvre le matériau facilement érodé des berges. Différents matériaux sont utilisés à cet effet, notamment des enduits, des géotextiles, des enrochements, etc.

- Les épis sont utilisés pour réduire la largeur d'un bras de rivière pendant les périodes de faible débit afin d'améliorer la navigabilité. De plus, les digues représentent une méthode indirecte d'atténuation de l'érosion en détournant les courants à grande vitesse des berges sujettes à l'érosion.

IV.2.3. Érosion du lit :

- L'érosion du lit peut être attribuée à plusieurs facteurs :

- Une cause naturelle : le lit réduit sa pente pour s'adapter aux nouvelles conditions hydrologiques et de transport sédimentaire ;

- Érosion du lit : un effet direct qui se propage vers l'amont (érosion régressive) et parfois vers l'aval (érosion progressive) ;

- Mise en œuvre d'aménagements réduisant l'étendue des zones inondables du fleuve (tels que barrages ou remblais).

IV.2.4. La protection contre les crues :

- Les solutions visant à réduire les risques d'inondation dans les zones actuellement à risque d'inondation peuvent être classées en deux catégories :

IV.2.5. Protection directe (Rapprochée) :

La protection directe consiste en une intervention directe sur le site menacé avec la mise en œuvre des actions suivantes :

- **Nettoyage** : Permet une nette amélioration des conditions d'écoulement après l'élimination de tous les obstacles et dépôts qui empêchent l'écoulement de l'eau dans le cours d'eau. Le nettoyage est également nécessaire lors des traversées des villes pour des raisons sanitaires et dans les tronçons partagés pour réduire les aspérités et augmenter le débit ;

- **Recalibrage** : Il permet d'élargir et d'approfondir les sections des cours d'eau pour augmenter leur capacité d'évacuation des eaux et offrir une section humide répondant aux critères de protection souhaités.
- **Création de canaux** : Ils permettent la régénération du couloir originel de l'oued. Cette solution s'avère indispensable dans le cas où le lit de l'oued et son champ hydraulique sont entièrement occupés par des bâtiments ou des routes.
- **Protection des berges** : Elle comprend tout travail visant à maintenir la stabilité du sol quelle que soit l'action de l'eau. Les berges sont en effet attaquées par les courants de retour créés par les crues. De même, les glissements de terrain dus à l'infiltration d'eau après la décrue. Une protection côtière est également requise autour de certaines structures telles que les ponts.
- **Protection des oueds** : Création de barrages qui longent le cours d'eau sur ses berges. Cette opération est facilement réalisée en utilisant les ressources locales en main d'œuvre et en matériaux. De plus, ce type de protection permet également d'effectuer une protection sélective. Elle peut en effet être créée progressivement à partir de la protection de la partie la plus riche et la plus peuplée des zones exposées à la plupart des inondations. Par contre, il faut noter que ce procédé de protection présente l'inconvénient de provoquer souvent une augmentation importante du niveau d'eau et de rendre encore plus difficile le drainage des zones basses (Nedelec et al., 2004).

IV.2.6. Protection indirecte (Éloignée) :

La protection indirecte, quant à elle, consiste à intervenir plus loin des zones menacées, en dehors du périmètre de l'aménagement, en réalisant des travaux dans les zones responsables des inondations :

Création de canaux périphériques : Détournement de l'eau vers l'oued lui permettant de retourner vers des zones extérieures aux zones à protéger. Ce détournement peut concerner tout ou partie des eaux d'un oued à un autre.

- **Construction de barrages** : barrages pour le stockage et la stratification des crues en amont des zones menacées. Le volume et la capacité de roulement du barrage doivent être optimisés pour mieux répondre à la protection prévue.

- **Aménagement de bassins d'eau** : Aménagement antiérosif avec des méthodes biologiques et/ou construction de barrières de gabions permettant la réduction de la vitesse d'écoulement et le dépôt de sédiments en amont (Nedelec et al., 2004).

IV.3. Étude des variantes :

Pour protéger les zones inondables de la ville de Fouka, nous recommandons trois mesures visant à réduire les risques d'inondation :

1. La réalisation d'un canal en béton de forme trapézoïdale ;
 2. La conception d'un canal en gabion ;
 3. La réalisation d'un canal en enrochement ;
- Nous effectuons un calcul hydraulique pour chaque espèce par simulation et HEC-RAS dans chaque section de la rivière. De plus, nous fournissons des informations détaillées sur les différents projets de développement, nous permettant de choisir le type le plus adapté d'un point de vue technique et économique.
 - Un programme visant à gérer les interventions de sécurité humaine en cas d'inondations et à réduire la vulnérabilité des citoyens lors de ces événements : il comprend la planification, l'alerte et la mise en œuvre de mesures de gestion des problèmes sur place.

IV.3.1. Canal en béton armé :

La proposition comprend la construction d'un canal trapézoïdal en béton armé. Ce style présente de nombreux avantages, notamment une durée de vie plus longue, une forme plus étroite compatible avec les environnements urbains, de meilleures propriétés hydrauliques, une construction plus rapide et une protection accrue. On sélectionne un facteur $m = 1$ pour la pente de la berge, ce choix permet de faire facilement un angle de 45° avec le sol.

- La simulation de ces canaux se fera à l'aide du logiciel FLOW-MASTER, les caractéristiques de notre canal seront déterminées puis comparées avec HEC-RAS.

IV.3.2. Canal en gabions :

Les gabions sont principalement utilisés pour créer des couvertures et des abris. Il est disponible en différentes tailles, parmi lesquelles les plus importantes sont $2,0 \times 1,0 \times 0,5$ et $2,0 \times 1,0 \times 1,0$ mètres. Les canaux construits avec des gabions sont construits d'une manière particulière avec des berges disposées pour créer une échelle qui assure la stabilité des berges.

IV.3.2.1. Avantages des structures en gabion :

- Les gabions sont faciles à construire, la flexibilité permet aux structures de s'adapter aux changements du paysage, notamment ceux qui se produisent le long des équipements de distribution électrique, de soutènement et de protection contre l'érosion.
- La facilité de mise en œuvre est un gros avantage, une sorte de barrière ou de bac à gabions peut être construit pendant deux ans, sans trop de pertes pendant la saison des

pluies. De plus, il est facile d'évaluer le potentiel de croissance de la structure. De plus, les formes géométriques des gabions sont simples.

- Les gabions peuvent créer des structures fluides moins chères que leurs homologues en béton.

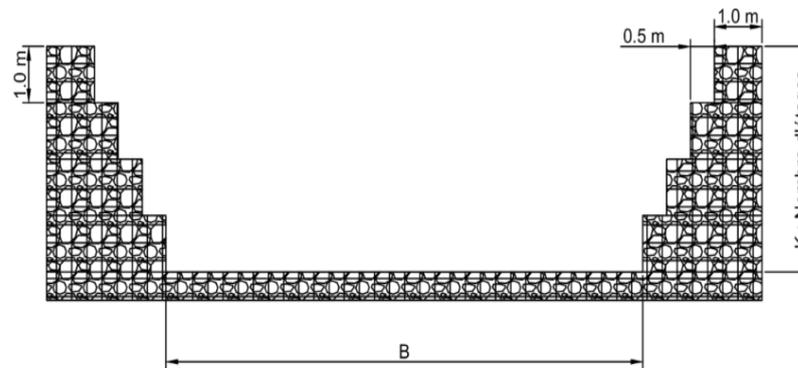


Figure IV-1: Coupe en travers d'un canal en gabion.

IV.3.3. Canal en enrochement :

Un canal rocheux est un type de canal ou de voie navigable construit avec des matériaux rocheux, tels que des roches, des galets ou des pierres. L'enrochement est utilisé pour renforcer les berges des canaux, stabiliser le lit des rivières et contrôler l'érosion causée par l'eau courante. L'enrochement fournit une structure solide et stable au canal tout en permettant un écoulement d'eau contrôlé. Les canaux en enrochement sont conçus pour résister aux forces de l'eau tout en conservant leur intégrité structurelle à long terme. Ils conviennent également aux situations où l'esthétique et l'intégration dans l'environnement naturel sont des considérations importantes.

IV.3.4. Critères d'évaluation de la variante d'aménagement :

- **Efficacité hydraulique** : cette mesure évalue l'amélioration potentielle de la capacité hydraulique apportée par les différentes options ;
- **Difficulté de mise en œuvre** : évalue le degré de complexité technique de mise en œuvre ;
- **Impacts environnementaux** : cette évaluation prend en compte l'utilisation du territoire environnant (urbain, zone agricole, etc.) ainsi que les implications environnementales, qu'elles soient positives ou négatives;
- **Durabilité** : cette mesure concerne la durée de vie prévue du développement ;

- **Maintenance** : évalue l'étendue et la fréquence des travaux de maintenance nécessaires ;
- **Coût** : estimez le coût de construction.

IV.4. Aménagement proposé sur le territoire de la commune de Fouka :

Les zones inondées liées à l'Oued Houari Boumediene sont les suivantes :

- L'Oued Houari Boumediene, qui prend naissance à une altitude de 100 mètres à proximité de la polyclinique, traverse le centre-ouest de la ville de Fouka. Il franchit plusieurs infrastructures importantes, notamment la voie express Zéralda-Bou Ismaïl, la RN 11, ainsi que Fouka Marine, avant de se jeter dans la mer Méditerranée.
- Les zones situées le long de son cours, particulièrement au niveau de son passage sous la voie express et à proximité des zones habitées et commerciales, sont exposées aux risques d'inondation. Cela inclut des habitations, des ateliers et des commerces, ainsi que des infrastructures importantes telles que des routes nationales et des installations portuaires.

IV.5. PREMIERE Variante : Canal en béton armé

IV.5.1. Canal en béton armé proposé pour l'Oued Houari Boumediene :

À partir de l'analyse réalisée dans **RAS Mapper**, la profondeur normale de l'Oued Houari Boumediene a été déterminée à **2,37 mètres**. Ce tronçon du canal en béton armé s'étend sur un linéaire de **823 mètres**.

Les caractéristiques détaillées du canal ont été calculées à l'aide du logiciel **FlowMaster**.

Le canal trapézoïdal sera conçu pour réguler efficacement le débit d'eau et gérer les crues dans les zones sensibles, notamment près des infrastructures majeures comme la voie express Zéralda-Bou Ismaïl, la RN 11, et Fouka Marine. Cette conception vise à protéger les zones résidentielles et commerciales tout en minimisant les risques d'érosion des berges

IV.5.2. Dimensionnement : Le calcul des caractéristiques du canal est fait à l'aide du logiciel FLOW MASTER, Les résultats du calcul hydraulique du canal trapézoïdal sont présentés ci-dessous :

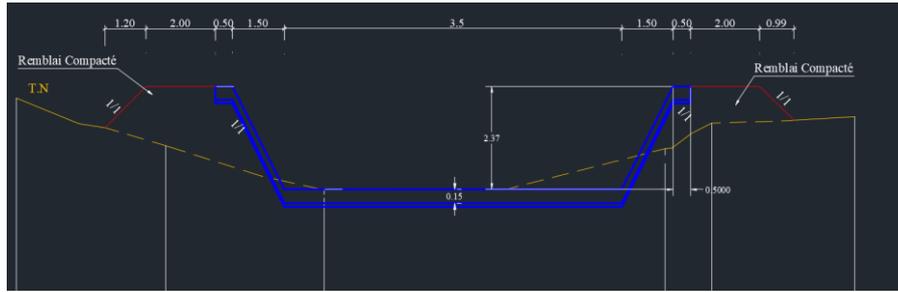


Figure IV-2: canal en béton armé

Tableau IV-1 Dimensions de l'aménagement du tronçon de Oued Houari Boumediene (canal en béton armé)

Tronçon	Section de départ	Section d'arrivée	Longueur (m)	Pente du projet (%)	Fruit de talus	Largeur du fond (m)	Largeur au miroir (m)	Hauteur du canal (m)
Oued Houari Boumediene	117	100	823	0.02	1	3.50	8.24	2.37

IV.5.2.1. Paramètres d'écoulement :

Les résultats de la simulation sont représentés dans le tableau ci-dessus :

Tableau IV-2– Résultats de la simulation d'écoulement d'un canal trapèzoidale en béton armé du tronçon de Oued Houari Boumediene(Source : HECRAS)

Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
47.2	47.97	47.97	48.24	0.003613	3.99	7.17	12.83	1.98
39.5	39.72	40.23	47.26	0.936229	3.99	1.19	7.02	1.98
32.53	32.85	33.34	36.7	0.284044	3.99	1.66	6.88	1.98
31.59	32.04	32.39	33.38	0.072853	3.99	2.82	8.31	1.98
30.64	31.07	31.41	32.42	0.03392	3.99	2.8	8.8	1.98
30.03	30.48	30.81	31.76	0.030239	3.99	2.88	8.56	1.98
29.26	29.88	30.32	31.37	0.012737	3.99	2.68	5.46	1.98
28.11	28.55	28.99	30.75	0.094004	3.99	2.2	6.48	1.98
27.09	27.66	28.17	29.64	0.0332	3.99	2.32	4.74	1.98
25.73	26.14	26.56	28.42	0.134499	3.99	2.16	7.26	1.98
24.8	26.2	25.56	26.23	0.000341	3.99	18.47	20.74	1.98
23.85	26.21		26.23	0.000082	3.99	30.46	16.54	1.98
25.38	26.04	26.04	26.21	0.003733	3.99	10.66	31.54	1.98
24.12	24.5	24.8	25.9	0.046454	3.99	3.06	14.52	1.98
22.86	23.22	23.55	24.83	0.059972	3.99	2.58	11.52	1.98
21.6	22	22.28	23.11	0.10646	3.99	3.1	11.96	1.98
20.34	20.8	21.02	21.51	0.054139	3.99	3.87	12.39	1.98
19.07	19.49	19.8	20.63	0.033139	3.99	3.05	10.43	1.98
17.81	18.2	18.47	19.81	0.046743	3.99	2.57	9.9	1.98
15.48	15.86	16.36	18.63	0.061427	3.99	1.97	6.81	1.98
15.35	15.75	16.03	17.22	0.042948	3.99	2.69	10.5	1.98

13.86	14.33	14.83	16.44	0.030106	3.99	2.25	5.71	1.98
13.83	14.01	14.18	14.74	0.186789	3.99	3.81	25.26	1.98
12.51	13.14	13.2	13.36	0.029584	3.99	7.13	31.49	1.98
12.2	12.48	12.58	12.8	0.025023	3.99	6.76	33.56	1.98
10.75	11.13	11.41	12.18	0.037225	3.99	3.17	10.7	1.98
9.3	9.8	10.21	11.26	0.05333	3.99	2.7	6.71	1.98
8.76	9.39	9.71	10.41	0.025749	3.99	3.26	7.07	1.98
8.49	9.07	9.31	9.99	0.015393	3.99	3.43	11.29	1.98

- **Min Ch. El** : Altitude du radier du canal ;
- **Vel chnl** : Vitesse d'écoulement ;
- **W.S Elev** : Altitude du plan d'eau calculé ;
- **Flow area** : Section mouillée ;
- **Top Width** : Largeur au miroir ;
- **E.G Elev** : Altitudes de la ligne d'énergie ;
- **Froude chl** : Nombre de Froude ;
- **E.G slope** : Pente de la ligne d'énergie.

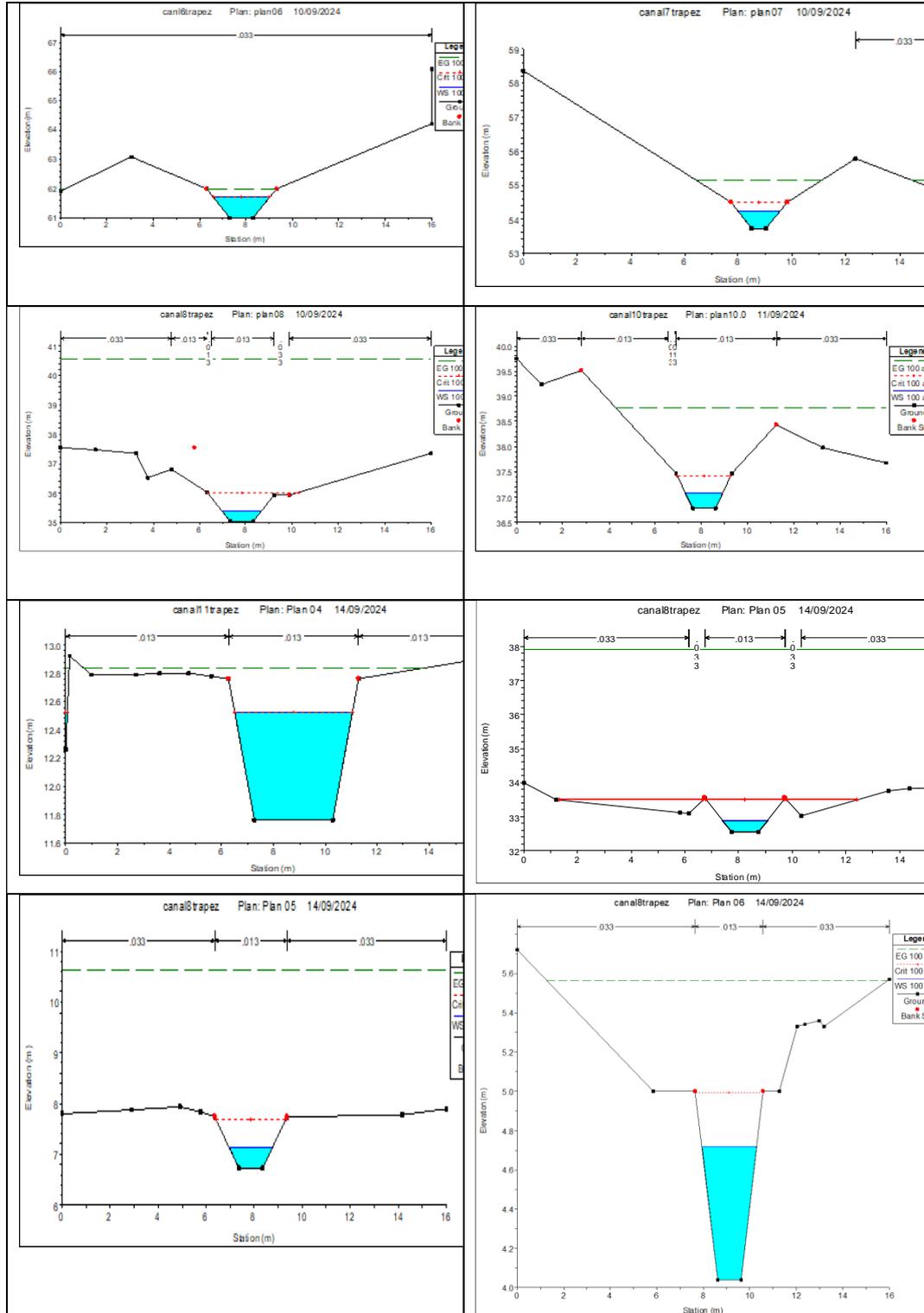
IV.5.2.2. Interprétation :

Le canal de l'Oued Houari Boumediene, avec une vitesse d'écoulement modérée à élever de **3,99 m/s** et un régime d'écoulement LAMINAIRE ($Fr \approx 1,98$), est bien conçu pour gérer les débits de crue tout en maintenant la stabilité hydraulique. La pente modérée de **0,02** permet un écoulement stable, et le revêtement en béton assure une résistance à l'érosion. Des mesures de renforcement structurel pourraient être nécessaires pour assurer la sécurité du canal en cas de débits exceptionnellement élevés.

IV.5.2.3. Les section en travers :

Pour une crue centennale de $14.434 \text{ m}^3/\text{s}$, nous remarquons que notre canal assure une protection et que l'eau ne déborde pas.

Tableau IV-3 Profils en travers d'un canal trapézoïdale pour une crue centennale pour le tronçon d'OUED Houari Boumediene



IV.5.2.4. Estimation du coût de la variante :

Le coût du type de caniveau en béton armé est déterminé par la quantité de remblai et le volume de remblai et d'excavation calculés par HEC-RAS avec une épaisseur de 15 cm pour le béton armé. Pour du béton pur, on prend une épaisseur de 2 cm.

Tableau IV-4 Devis de la variante canal en béton armé pour le tronçon d'OUED Houari Boumediene

Désignations des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA/mL)
Térassage	Déblais	m ³	10551.24	250	2 637 810
	Remblais	m ³	3518.21	700	2 462 749
Béton de propreté		m ³	371	8000	2 968 000
Béton dosé à 350 Kg/m ³		m ³	2595.73	32000	83 063 613
Montant total					73 817 059

IV.6. Deuxième Variante : Canal en enrochement

Nous devons réaliser un canal d'enrochement dans le même oued de Houari Boumediene. Dans le premier tronçon de cet oued.

IV.6.1. Choix de la formule de dimensionnement

Dans ce calcul on va opter pour la formule de « Manning Strickler », dont la formulation est la suivante :

$$Q = \frac{1}{n} * R_h^{\frac{2}{3}} * S * I^{1/2}$$

Où les différents paramètres sont :

Q : débit de dimensionnement.

n : Rugosité du canal,

avec

n=0.025 pour enrochement . Rh : Rayon hydraulique,

avec :

$$R_h = \frac{S_m}{P_m}$$

S : Section du canal, pour une forme trapézoïdale S_m vaut :

$$S_m = (b + m * h) * h$$

P_m : Périmètre mouillé, pour une forme trapézoïdale P_m se calcule ainsi :

$$P_m = b + 2 * h \sqrt{1 + m^2}$$

m : Fruit du talus, pris dans notre calcul égale à 1.5.

I : Pente du canal, représente la pente du radier après l'aménagement, les valeurs distribuées aux différents tronçons.

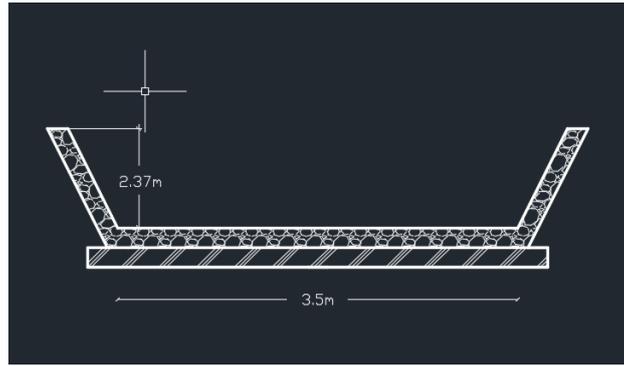


Figure IV-3: SCHÉMA TYPE D'AMÉNAGEMENT EN ENROCHEMENT

Tableau IV-5 Dimensions de l'aménagement du trançon de Oued Houari Boumediene (canal en enrochement)

Trançon	Section de départ	Section d'arrivée	Longueur (m)	Pente du projet (%)	Fruit de talus	Largeur du fond (m)	Largeur au miroir (m)	Hauteur du canal (m)
Oued Houari Boumediene	186	117	237	0.02	1	3.50	8.24	2.37

Estimation du cout de l'aménagement:

Tableau IV-6 Estimation du cout de l'aménagement

Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
déblai	m ³	14915	250	3728750
remblai	m ³	2728	200	545600
Enrochement	m ³	11200	300	3360000
Géotextile	m/L	41633	1100	45796300
TOTAL				53430650

Pour l'oued de sidi Abdelkader :

Après avoir comparé les différentes solutions, nous avons opté pour le canal en enrochement pour cet oued, en raison de sa capacité à résister aux forces hydrauliques importantes, tout en offrant une durabilité accrue contre l'érosion. L'enrochement assure une bonne protection des berges et garantit la stabilité de la structure face aux écoulements puissants.

Tableau IV-7 Dimensions de l'aménagement du tronçon de Oued sidi Abdelkader (canal en enrochement)

Trançon	Longueur (m)	Pente du projet (%)	Fruit de talus	Largeur du fond (m)	Largeur au miroir (m)	Hauteur du canal (m)
Oued sidi abdelkader	1220	0.02	1	3.00	8.4	2.00

Tableau IV-8: Résultats de la simulation d'écoulement d'un canal trapézoïdale en béton armé du tronçon de Oued sidi Abdelkader (Source : HECRAS)

Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
47.2	48.17	48.17	48.39	0.002803	2.22	10.34	21.48	1.12
39.5	39.91	40.45	47.45	2.02921	2.16	1.6	10.63	1.92
32.53	33.18	34.07	36.58	0.210284	3.16	2.38	4.3	2.5
31.59	32.31	32.51	33.11	0.089905	2.13	5.4	25.87	2.29
30.64	31.9	31.95	32.16	0.021625	2.28	8.72	24.82	1.14
30.03	30.94	31.13	31.54	0.042085	3.45	5.78	14.28	1.65
29.26	30.64	30.64	31.17	0.015231	3.22	6.03	5.75	1.01
28.11	29.03	29.49	30.52	0.064841	2.41	3.59	4.83	2.01
27.09	28.09	28.53	29.31	0.049079	3.91	3.96	4.98	1.76
25.73	26.64	27.19	28.15	0.065943	1.45	3.57	4.82	2.02
24.8	25.82	26.18	26.97	0.04468	2.74	4.1	5.04	1.68
23.85	26.24	25.13	26.26	0.000372	0.76	26.1	16.58	0.19
25.38	26.06	26.06	26.23	0.014025	2.05	11.2	32.51	1
24.12	24.63	24.89	25.54	0.099291	4.54	4.92	19.84	2.5
22.86	23.5	23.68	24.05	0.051671	3.46	6.3	22.35	1.81
21.6	22.29	22.49	22.91	0.060945	3.62	5.86	21.14	1.92
20.34	21.12	21.34	21.72	0.05761	3.52	5.95	20.82	1.85
19.07	19.87	20	20.31	0.080052	3.01	6.71	32.55	2.01
17.81	18.46	18.58	18.85	0.068736	2.8	7.04	31.17	1.87
15.48	16.18	16.55	17.37	0.070948	4.92	4.09	9.39	2.27
15.35	16.12	16.16	16.34	0.021914	2.11	9.62	34.14	1.24
13.86	14.79	14.98	15.62	0.052719	4.07	4.95	30.46	1.96
13.83	14.14	14.25	14.51	0.041673	2.72	7.18	25.4	1.68

12.51	13.16	13.28	13.58	0.050564	3.08	7.02	31.98	2.04
12.2	12.57	12.62	12.79	0.0273	1.83	9.76	38.4	1.21
10.75	11.44	11.63	12.07	0.056506	3.62	5.64	18.39	2.05
9.3	10.35	10.57	11.03	0.047028	3.7	5.41	12.23	1.7
8.76	9.39	9.71	10.41	0.025749	3.99	3.26	7.07	1.98
8.49	9.07	9.31	9.99	0.015393	3.99	3.43	11.29	1.98

Pour l'oued de issat djalloul

Tableau IV-9 Dimensions de l'aménagement du tronçon de Oued issat djalloul (canal en enrochement)

Trançon	Longueur (m)	Pente du projet (%)	Fruit de talus	Largeur du fond (m)	Largeur au miroir (m)	Hauteur du canal (m)
Oued issat djalloul	950	0.02	1	2.5	6.5	1.5

Tableau IV-10: Résultats de la simulation d'écoulement d'un canal trapèzoidale en enrochement du tronçon de Oued issat djalloul (Source : HECRAS)

Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
47.2	47.78	47.78	48.01	0.003702	2.28	4.96	10.87	1.13
39.5	39.73	40.18	47.03	1.439915	1.97	0.76	3.47	1.19
32.53	32.92	33.41	35.31	0.260231	6.85	1.32	3.78	2.7
31.59	32.23	32.36	32.6	0.055793	2.72	3.58	19.99	1.72
30.64	31.43	31.51	31.89	0.023582	3.02	2.99	4.58	1.19
30.03	30.74	30.87	31.17	0.059255	2.92	3.1	11.75	1.78
29.26	30.07	30.13	30.5	0.021423	2.92	3.09	4.62	1.14
28.11	28.67	28.98	29.71	0.075866	4.52	2	4.12	2.07
27.09	27.75	27.97	28.47	0.04454	3.77	2.4	4.31	1.61
25.73	26.29	26.6	27.32	0.073796	4.48	2.02	4.13	2.05
24.8	25.48	25.68	26.15	0.040038	3.63	2.49	4.35	1.53
23.85	26.02	24.73	26.03	0.000128	0.41	22.61	16.35	0.11
25.38	25.89	25.89	26.01	0.012929	1.77	6.27	24.29	0.94
24.12	24.48	24.68	25.31	0.151192	4.17	2.37	13.96	2.84
22.86	23.38	23.48	23.69	0.043211	2.56	3.82	17.68	1.56
21.6	22.15	22.28	22.57	0.073557	2.9	3.23	16.85	1.95
20.34	21	21.1	21.33	0.051294	2.56	3.65	17.04	1.63
19.07	19.78	19.86	20.05	0.078331	2.36	3.99	27.27	1.87
17.81	18.37	18.44	18.6	0.069114	2.18	4.29	28.79	1.75
15.48	15.95	16.2	16.87	0.102173	4.27	2.15	7.52	2.47
15.35	16.03	16.03	16.13	0.012658	1.44	6.65	33.06	0.98
13.86	14.41	14.83	15.51	0.082445	4.65	1.94	4.1	2.16

13.83	14.05	14.09	14.22	0.031697	1.81	4.91	25.31	1.37
12.51	13.06	13.16	13.44	0.046461	2.91	3.74	30.39	2.46
12.2	12.45	12.48	12.59	0.031795	1.48	5.51	31.84	1.21
10.75	11.29	11.43	11.81	0.059215	3.3	2.95	16.29	2.33
9.3	9.94	10.28	10.71	0.048879	3.89	2.32	4.28	1.69
8.76	9.56	9.65	9.98	0.021904	2.92	3.23	6.02	1.15

Pour l'oued de berboucha

Tableau IV-11 Dimensions de l'aménagement du tronçon de Oued berboucha (canal en enrochement)

Trançon	Longueur (m)	Pente du projet (%)	Fruit de talus	Largeur du fond (m)	Largeur au miroir (m)	Hauteur du canal (m)
Oued issat djalloul	1110	0.02	1	2.5	6	1.8

Tableau IV-12: Résultats de la simulation d'écoulement d'un canal trapèzoidale en enrochement du tronçon de Oued berboucha (Source : HECRAS)

Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
47.2	47.9	47.9	48.16	0.003711	2.43	6.33	12.12	1.14
39.5	39.81	40.28	47.19	1.032442	2.03	1.04	3.63	2.19
32.53	32.99	33.59	36.13	0.284493	1.85	1.59	3.92	1.94
31.59	32.26	32.42	32.78	0.070946	3.29	4.18	22.1	1.98
30.64	31.72	31.77	31.99	0.021533	2.28	5.5	13.97	1.13
30.03	30.81	30.97	31.32	0.052991	3.17	3.97	12.62	1.75
29.26	30.3	30.32	30.75	0.01704	2.96	4.21	5.08	1.04
28.11	28.79	29.17	30.04	0.073817	2.95	2.51	4.37	2.08
27.09	27.88	28.16	28.78	0.046501	2.22	2.95	4.56	1.68
25.73	26.42	26.79	27.62	0.069702	1.86	2.57	4.39	2.03
24.8	25.6	25.86	26.45	0.042148	1.08	3.06	4.61	1.6
23.85	26.11	24.98	26.12	0.000202	0.53	23.96	16.43	0.14
25.38	25.95	25.95	26.09	0.013648	1.89	7.97	27.41	0.97
24.12	24.54	24.75	25.39	0.123742	2.3	3.24	16.21	2.67
22.86	23.43	23.55	23.83	0.046945	2.92	4.69	19.45	1.67
21.6	22.2	22.36	22.7	0.067057	3.18	4.15	18.47	1.93
20.34	21.04	21.18	21.47	0.054495	2.94	4.45	18.44	1.73
19.07	19.82	19.91	20.14	0.077678	2.6	4.98	29.31	1.91
17.81	18.41	18.49	18.69	0.070169	2.41	5.29	30.25	1.81
15.48	16.03	16.34	17.06	0.086925	2.53	2.82	8.21	2.38
15.35	16.08	16.08	16.2	0.014093	1.6	8.17	33.62	1.01

13.86	14.6	14.89	15.62	0.054529	2.46	2.79	4.49	1.81
13.83	14.07	14.15	14.35	0.046908	2.33	5.3	25.32	1.69
12.51	13.11	13.2	13.44	0.042934	2.75	5.25	30.93	2.03
12.2	12.49	12.53	12.67	0.030205	1.63	6.95	34.17	1.22
10.75	11.34	11.5	11.9	0.059612	3.42	3.9	17.06	2.19
9.3	10.13	10.39	10.93	0.038679	3.96	3.15	4.65	1.53
8.76	9.66	9.83	10.23	0.026124	3.4	3.89	6.73	1.27

IV.7. Conclusion:

En conclusion, les solutions développées pour résoudre le problème des inondations reposent sur deux approches principales : la construction de canaux en béton et l'implémentation de canaux en enrochement. Ces deux variantes offrent des solutions robustes et durables, adaptées aux différentes conditions environnementales et aux exigences du projet. Les canaux en béton assurent une résistance accrue, notamment dans les zones urbaines, tandis que les canaux en enrochement permettent une gestion plus naturelle du flux d'eau dans des zones moins développées ou rurales. En intégrant ces solutions, nous avons réussi à atténuer les risques d'inondation, garantissant à la fois l'intégrité structurelle et la durabilité à long terme.

Chapitre V: Organisation du chantier.

V.1. Introduction :

L'organisation d'un chantier est l'ensemble des dispositions envisagées pour exécuter un ouvrage dans les meilleures conditions possibles, afin de réduire les coûts de production en favorisant un contexte favorable pour l'homme et la machine, dans le but d'augmenter la productivité. Une meilleure connaissance de l'emplacement du chantier aide énormément à établir un planning technologique des machines et à assurer leur utilisation rationnelle dans les différentes opérations, permettant ainsi de répondre aux conditions d'espace et de temps dictées par le marché. Par conséquent, une bonne organisation du chantier intervient de manière significative dans la réduction du coût des travaux, afin que ceux-ci ne soient pas onéreux. Ces constructions présentent d'énormes difficultés, mais, quoi qu'il en soit, et quels que soient les problèmes rencontrés, il est impératif d'avoir une connaissance exacte de l'organisation du chantier. Afin d'atteindre ces objectifs, il est nécessaire de :

- Définir précisément les méthodes d'exécution, les procédures opératoires permettant la mise en œuvre de techniques modernes de construction à haut rendement .
- Répartir et coordonner les tâches en faisant appel à une main-d'œuvre spécialisée .
- Structurer correctement les postes de travail stabilisés, pour lesquels nous adoptons une mécanisation de plus en plus avancée .
- Déterminer la quantité et la qualité du personnel à employer, le coût de la main-d'œuvre ayant une influence significative sur le prix de revient.

V.2. Devoirs et responsabilités du personnel sur site :

Avant d'aborder la question principale de savoir où construire un barrage, nous pensons qu'il convient de rappeler le travail des différentes personnes impliquées dans sa construction.

- Le maître de l'ouvrage :
Une personne physique ou morale ayant réalisé les travaux. Son travail consiste à déterminer l'objectif à atteindre (le projet), à préparer le budget, à attribuer et à conclure les contrats de travail. Après avoir obtenu les emplois, il est le patron et parfois le manager.

- Le maître d'œuvre :
Il s'agit d'une personne physique ou morale chargée de recevoir les travaux du maître d'ouvrage, de fournir des informations sur les entreprises, d'assister le maître d'ouvrage dans l'évaluation des candidatures et de gérer la mise en œuvre des travaux et de donner son accord et ses demandes. Paiement, après présentation du bilan financier. Pour l'étang, le chef de projet a de nombreuses responsabilités, en plus d'interpréter son drainage jusqu'à la fin de la phase d'irrigation et d'ajuster les conditions de l'eau lors de l'irrigation initiale.
- L'entrepreneur :
Personne physique ou personne morale, titulaire du contrat de travail conclu conjointement avec le maître d'ouvrage, responsable de l'exécution des travaux et parfois de la conception détaillée des travaux. L'entrepreneur est responsable du chantier et des travaux exécutés jusqu'à son arrivée.

V.3. Définition des machines d'occasion :

Les machines d'occasion sont des outils classiques utilisés dans les lieux publics. L'utilisation d'engins lourds réduit considérablement le coût et la durée des travaux de terrassement.

Tableau V-1: Engins utilisés.

Tâches	Engins	Actions
Travaux de préparation	Dozers	Enlever les obstacles et les herbes
	Pelles	
	Camions	
	Chargeurs	
Terrassement	Pelles	Donner la forme exacte du canal
	Niveleuse	
	Camions	
	Dozers	
	Chargeurs	
Compactage	Dumpers	Consolider les berges de l'Oued pour éviter l'affaissement
	Compacteurs à pieds de mouton Tous types de compacteurs à rouleaux lisses	

V.4. Devis quantitatif et estimatif du projet :

Les estimations des prix des ouvrages et aménagements donnés :

- Prix unitaire des terrassements ;
- Prix unitaire des terrassements.

— Le tableau suivant donne les montants de réalisation de variante retenue :

Tableau V-2 Le devis des différents travaux de l'aménagement du tronçon de la commune de Fouka

Désignation des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaires (DA)	Montant (DA)
Terrassement	Déblai	m ³	1751250	250	437812500
	Remblai	m ³	1440000	700	100800000
Compactage		m ³	1440000	700	100800000
Montant Total					538612500
TVA (19%)					102336375
Montant Total +TVA					156198875

Le montant total du projet revient à 156198875 DA ; cent cinquante six millions, cent quatre vings dix-huit milles, huit cents soixante quinze dinars Algérien. ‘

V.5. La Planification :

- **Définition :**

Les tâches comprennent la décision et la planification des activités du projet et la détermination des documents nécessaires à compléter. Autrement dit, les moyens dont dispose le responsable opérationnel pour lui permettre de bien faire son travail. Les objectifs de planification sont les suivants :

- Installation des postes de travail.
- affichage instantané ;
- analyse de fonction ;
- Procédures
- Simplifier les procédures.

- **Techniques de la planification :**

Il existe deux méthodes principales :

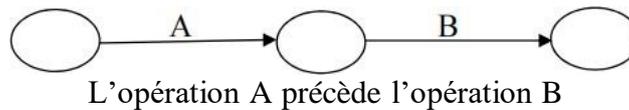
V.5.1. Méthodes basées sur le réseau :

Un réseau est une représentation graphique d'un projet pouvant montrer la relation entre les différentes activités pouvant être séquencées, synchronisées, transférées et la durée de la solution. Il existe deux types de réseaux :

- **Réseau à flèches :** Les activités sont indiquées par des flèches et la séquence d'activités par des nœuds.



- **Réseau à nœuds** : Les actions sont indiquées par des nœuds et la séquence d'actions par des flèches.



Il est impossible de créer un graphique sans grille, car la grille est le seul outil informatique qui nous permet d'obtenir des résultats qui répondent aux questions spécifiques que nous nous posons. Un diagramme est une représentation du réseau et de ses résultats, mais il est plus facile à lire et à comprendre.

V.5.2. Construction du réseau:

Pour créer un réseau, vous devez suivre les six étapes suivantes :

- 1. Créer une liste de tâches** : Cette première étape consiste à créer une liste très détaillée et complète de toutes les tâches nécessaires pour mener à bien un projet.
- 2. Détermination des actions précédentes** : Après avoir créé une liste d'actions à réaliser, il n'est pas facile de créer un réseau, car il n'est pas possible de dire si les actions sont séquentielles ou cycliques.
- 3. Créez des diagrammes.**
- 4. Classification des diagrammes de section.**
- 5. Déterminer les étapes à suivre pour commencer et terminer le travail ;**
- 6. Mise en réseau.**

V.5.3. Différentes méthodes basées sur le réseau (BENLAOUKLI,2004)

V.5.3.1. Méthode C.P.M (Méthode française) :

Le but de cette méthode est de réduire le temps nécessaire pour réaliser une tâche en considérant trois étapes

— **La première étape** : les travailleurs doivent être employés pour effectuer les tâches requises.

— **Deuxième étape** : analyse systématique du réseau heure par heure, jour par jour, selon l'unité de temps utilisée.

— **Étape 3** : Ajustez le réseau aux conditions et restrictions définies par l'entreprise.

V.5.3.2. Méthode P.E.R.T (Program Evaluation and Review Technical) :

En d'autres termes, la méthode d'ordonnement du travail et de gestion de projet est une méthode qui prend l'ordre de plusieurs tâches dans un contexte réseau, grâce au timing et à leurs interdépendances, qui contribuent toutes au produit final.

V.5.3.3. Méthodes basées sur le graphique :

— **Méthode de la ligne (méthode de la ligne d'équilibre)** : Cette méthode de planification de projet de construction est un processus itératif.

— **Méthode de séparation** : Cette méthode consiste à déterminer deux grilles et un diagramme de grille (plan de travail).

V.5.3.3.1. Les étapes de la planification :

La planification est le processus d'organisation de ce qu'il faut faire, y compris ce qu'il faut faire ensuite.

Recueillir des informations :

La création d'une analyse récapitulative des informations obtenues à partir des études comparatives peut être utilisée efficacement dans le plan de mise en œuvre du projet.

Découpage du projet :

C'est une partie importante car chaque projet peut être analysé de différentes manières. Nous désignons une personne compétente pour chaque rôle et ses besoins matériels.

Relations entre les activités :

Il existe deux relations principales entre les activités au cours de leur réalisation. L'un concerne l'ordre logique et l'autre l'ordre positif.

V.5.4. Choix de la méthode de calcul (BENLAOUKLI,2004) :

Le choix de la méthode statistique dépend de la nature de la construction. Il est préférable de choisir la méthode C.P.M dans les cas où les tâches se succèdent, comme la nôtre.

V.5.5. Les paramètres de calcul dans la méthode C.P.M

Les paramètres requis dans la mise en œuvre de cette méthode sont les suivants : DCP, tr, DFP, DCPD, DFPP et MT.

DCP	TR
DFP	DCPD
DFPP	MT

Avec :

- Tr : heure d'achèvement.
- DCP : date de début anticipé.
- DCPD : date de début maximale.
- DFP : date de fin anticipée.

- DFPP : date d'achèvement maximale.
- MT : marge totale, le temps nécessaire pour effectuer l'opération.

Alors : $DFP = DCP + tr$ et $DCPP = DFPP - tr$.

V.5.6. Chemin critique (C.C) :

Il s'agit de l'approche qui prévoit la durée totale du programme (DTR) pour les activités de connexion avec une marge totale de zéro (0). Donc pour trouver le chemin maximum il vous suffit de vérifier la paire de conditions suivante : $MT = 0$ et $tr = DTP$.

V.5.7. Diagramme de Gantt :

Le diagramme de Gantt, couramment utilisé en gestion de projet, est l'un des outils les plus efficaces pour présenter visuellement l'avancement des différentes activités (tâches) qui composent un projet. La colonne de gauche du diagramme répertorie toutes les tâches à accomplir, tandis que la ligne d'en-tête représente les unités de temps les plus appropriées pour le projet (jours, semaines, mois, etc.). Chaque tâche est représentée par une barre horizontale dont la position et la durée représentent la date de début, la durée et la date de fin. Ce schéma permet donc de visualiser d'un seul coup d'œil :

- Les différentes tâches à considérer ;
- Date de début et date de fin de chaque tâche ;
- La durée est calculée pour chaque tâche ;
- Chevauchement possible des tâches et durée de ce chevauchement ;
- Date de début et date de fin de l'ensemble du projet.

En résumé, un diagramme de Gantt répertorie toutes les tâches qui doivent être complétées pour terminer le projet et indique la date à laquelle ces tâches doivent être terminées (échéanciers).

Pour le trançon de fouka : La variante retenue est les endiguements.
La liste des taches est présentée ci-dessous :

Tableau V-3 Liste des opérations avec leurs durées pour la réalisation des endiguements

Désignation d'opération	code	Durée (jours)
Installation du chantier	A	15
Travaux de terrassement sur le trançon 1	B	45
Compactage du trançon 1	C	25
Travaux de terrassement sur le trançon 2	D	28
Compactage du trançon 2	E	20
Travaux de terrassement sur le trançon 3	F	28
Compactage du trançon 3	G	20
Déménagement du chantier	H	15

Dans le tableau **5.4** on présente chaque tache avec celles qu'elle précède :

Tableau V-4 Succession des tâches de réalisation des endiguements

Opérations	Succède	Précède	Durée (jours)
A	B	-	15
B	C,D	A	45
C	D	B	25
D	E,F	B,C	28
E	F	D	20
F	G,H	D,E	28
G	H	F	20
H	-	F,G	15

On représente le réseau de planification des taches par la méthode CPM de la variante d'endiguement par la figure **5.1** :

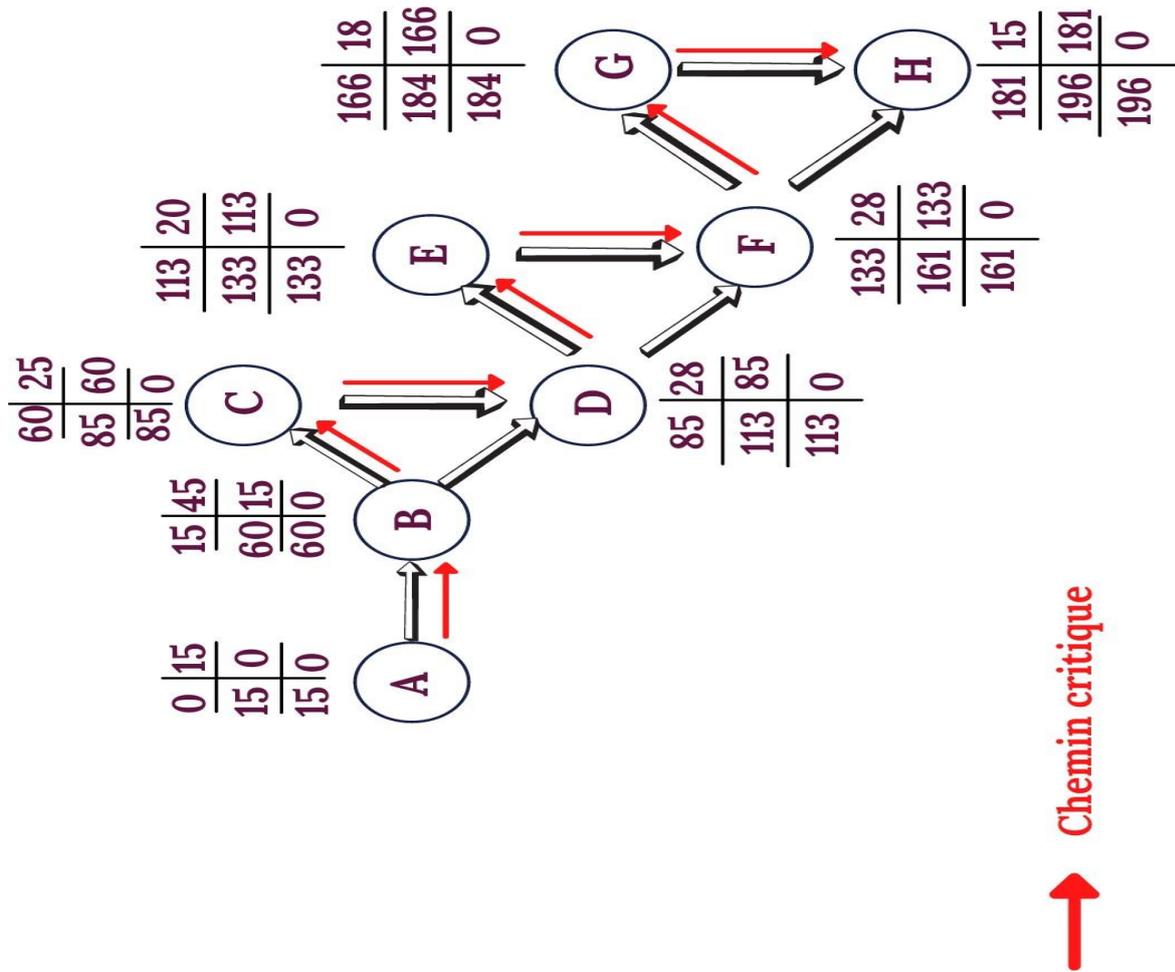


Figure V-1: Réseau de planification des tâches avec la méthode CPM de la variante d'endiguement.

Le chemin critique est : ABCDEFGH, Le projet de contrôle dure 9 mois et 28 jours (217 jours).

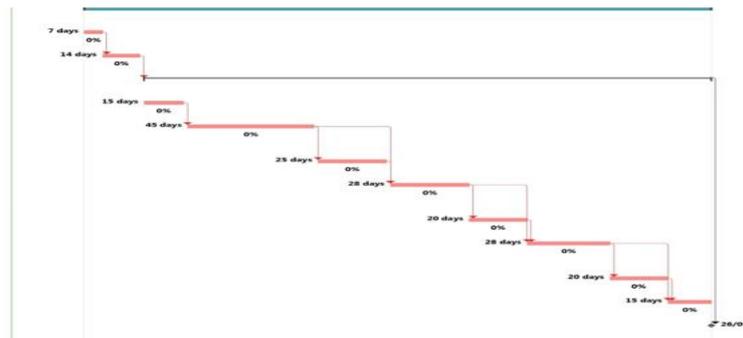


Figure V-2 Diagramme de Gantt pour la variante d'endiguement au niveau de la commune de fouka

V.6. Conclusion :

Mise en œuvre d'un ensemble de tâches grâce à une gestion ponctuelle ; Pour atteindre l'objectif final, qui est de livrer le projet dans les étapes fixées sans s'écarter des coûts d'investissement initiaux, il est nécessaire de combiner les ressources humaines, techniques et matérielles.

Conclusion générale :

La protection contre les inondations dans la commune de Fouka, Tipasa, est un enjeu majeur pour la sécurité des habitants et la préservation des infrastructures. Ce mémoire a permis d'analyser de manière approfondie les risques d'inondation en se basant sur des données hydrologiques précises et des simulations hydrauliques à l'aide des logiciels HEC-RAS et FlowMaster. Le choix de la variante du **canal en béton armé** s'est avéré être la solution la plus adaptée à la région, alliant **efficacité économique** et **compatibilité avec les conditions locales**.

Cette solution, en plus d'assurer une protection durable contre les crues, permet de minimiser les coûts d'entretien et de garantir une longue durée de vie des infrastructures. Grâce à une **organisation efficace du chantier**, il est possible de réduire les coûts de construction tout en maintenant une productivité élevée. Les travaux de protection, s'ils sont bien planifiés et exécutés, contribueront à la sécurisation de la région face aux aléas climatiques.

Références

1. **Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH)**, *Carte pluviométrique de l'Algérie* (1993). Données climatiques et pluviométriques pour la région de Tipasa, utilisées dans l'étude hydrologique.
2. **Egis Eau** (2013), *Méthodologie pour l'évaluation des débits de crue* : rapport technique sur les méthodes de prévision des crues dans les bassins versants méditerranéens.
3. **Guillot, B. et Durand, P.** (1969), *La méthode Gradex pour la prévision des crues extrêmes*. Institut National de la Recherche Scientifique, France.
4. **Chaumont, M. et Paquin, C.** (1971), *Influence des masses d'air tropical sur les précipitations en région méditerranéenne*. Paris : Éditions Hydrologiques.
5. **ONM (Office National de la Météorologie)**, *Données météorologiques historiques de la station de Koléa* (1981-2023).
6. **Lang, M., Garavaglia, F., & Niggli, M.** (2009), *Évaluation du risque de crue dans les zones côtières méditerranéennes*. École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL).
7. **HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System)**, *User's Manual*, U.S. Army Corps of Engineers, version 6.0. Utilisé pour la modélisation hydraulique des canaux.
8. **FlowMaster**, *User's Guide* (2021), Bentley Systems. Utilisé pour le dimensionnement des canaux en béton armé.
9. **Ministère de l'Environnement et des Ressources Hydrauliques d'Algérie**, *Réglementation sur la protection contre les inondations en Algérie* (2015).
10. **Strahler, A. N.** (1952), *Hypsométrie et modélisation des bassins versants*. Études sur les impacts de la topographie sur les écoulements hydrauliques.

VI.1.1. Références Internes

1. **Données fournies par la mairie de Fouka** : relevés topographiques et hydrologiques locaux.
2. **Logiciels utilisés** : *HEC-RAS* pour la modélisation hydraulique et *FlowMaster* pour les calculs hydrauliques.
3. **Documentation du chantier** : plans d'organisation et estimation des coûts des travaux de protection contre les inondations.

LISTE DES FIGURES

Figure I-1: Situation géographique Fouka	2
Figure I-2: Vue satellitaire d'Oued SIDI ABDELKADER	3
Figure I-3: Vue satellitaire d'Oued HOUARI BOUMEDIENE	3
Figure I-4: Vue satellitaire d'Oued AISSAT DJELLOUL	4
Figure I-5: Vue satellitaire d'Oued BERBOUCHA	4
Figure I-6: Extrait de la carte du réseau hydro/climatologique de l'ANRH	6
Figure I-7	7
Figure I-8: Carte topographique Fouka, altitude, relief.	8
Figure II-1: Délimitation des bassins versants de la zone d'étude sur image Google	12
Figure II-2 : Courbe hypsométrique	17
Figure II-3: Répartition mensuelle des pluies	19
Figure II-4: Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL (méthode des moments)	23
Figure II-5: Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL (Maximum de vraisemblance).	24
Figure II-6: Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON (Maximum de vraisemblance).	26
Figure II-7: Graphe représente ajustement graphique pour les pluies et droite d'extrapolation pour les débits (Laborde, 2000).	28
Figure II-8 : pluie de courtes durées pour différentes fréquences BV 01.	32
Figure II-9 : Courbe Intensité Durée Fréquence BV 01	33
Figure II-10 : pluie de courtes durées pour différentes fréquences BV 02	35
Figure II-11: Courbe Intensité Durée Fréquence BV 02	36
Figure II-12: pluie de courtes durées pour différentes fréquences BV 03	38
Figure II-13: Courbe Intensité Durée Fréquence BV 03	39
Figure II-14: pluie de courtes durées pour différentes fréquences BV 04	41
Figure II-15: Courbe Intensité Durée Fréquence BV 04	42
Figure II-16: pluie de courtes durées pour différentes fréquences BV03+ BV 04	44
Figure II-17: Courbe Intensité Durée Fréquence BV03+ BV 04	45
Figure II-18: Hydrogramme de crue de BV01 Oued Sidi Abdelkader	50
Figure II-19 : Hydrogramme de crue de BV 02 Oued Houari Boumédiène	51
Figure II-20: Hydrogramme de crue de BV03 Oued Issat Djalloul	52
Figure II-21: Hydrogramme de crue de BV04 Oued Berboucha	53
Figure II-22: Hydrogramme de crue de BV03 +BV04	54
Figure III-1:toolspace	67
Figure III-2: Définition du tracé d'Oued HOUARI BOUMEDIEN et des sections en travers de l'oued	68
Figure III-3:export data to GEO FILE.....	70
Figure III-4:interface de hec ras	70
Figure III-5: Les sections transversales d'oued Houari Boumediene	71
Figure III-6:Profil en long du cours d'eau à l'état naturel pour une crue centennale	72
Figure III-7: Courbe de tarage du tronçon modélisé d'Oued HOUARI BOUMEDIEN	73
Figure IV-1: Coupe en travers d'un canal en gabion.	84
Figure IV-2: canal en béton armé.....	86
Figure IV-3: SCHÉMA TYPE D'AMÉNAGEMENT EN ENROCHEMENT.....	90
Figure V-1:Réseau de planification des tâches avec la méthode CPM de la variante d'endiguement.....	102

Figure V-2 Diagramme de Gantt pour la variante d'endiguement au niveau de la commune de fouka 102

LISTE DES tableaux

Tableau I-1: températures moyennes mensuelles _____	5
Tableau I-2 _____	5
Tableau I-3: Répartition mensuelles de la pluviométrie (moyenne de la série pluviométrique 1981-2023 station expérimentale de Koléa secteur, code : 021233) _____	7
Tableau II-1: : Caractéristiques géométrique des bassins versant _____	13
Tableau II-2: Caractéristiques de forme des bassins versants _____	14
Tableau II-3: Les altitudes médianes des BV _____	16
Tableau II-4: Les altitudes moyennes des BV _____	16
Tableau II-5: Les pentes des BV _____	17
Tableau II-6: Pentes globales des bassins versant _____	18
Tableau II-7: Résultats des T_c _____	18
Tableau II-8: poste pluviométrique de Koléa secteur _____	20
Tableau II-9: Précipitations mensuelles et maximales journalières de la station de Koléa secteur. _____	20
Tableau II-10: Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL _____	22
Tableau II-11: Caractéristiques de l'échantillon _____	23
Tableau II-12 :Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbul _____	24
Tableau II-13 Tableau II-T _____	24
Tableau II-14: P.J.max pour différentes période de retours _____	28
Tableau II-16: Résultats de P_{T_c} pour une durée égale au temps de concentration (0.73 h) : _____	31
Tableau II-17: Résultats de P_{T_c} pour une durée égale au temps de concentration (0.80 h) : _____	34
Tableau II-18: Résultats de P_{T_c} pour une durée égale au temps de concentration (0.86 h) : _____	37
Tableau II-19: Résultats de P_{T_c} pour une durée égale au temps de concentration (1.09 h) : _____	40
Tableau II-20: Résultats de P_{T_c} pour une durée égale au temps de concentration (1.23 h) _____	43
Tableau II-21: valeur de γ en fonction de bassin versant _____	48
Tableau II-22: récapitulatif des résultats de la forme Turraza _____	48
Tableau II-23 : Débit de crue et les décrue pour différentes périodes de retour BV 01 Oued Sidi Abdelkader _____	49
Tableau II-24: Débit de crue et les décrue pour différentes périodes de retour BV 01 Oued Sidi Abdelkader _____	50
Tableau II-25: Débit de crue et les décrue pour différentes périodes de retour BV03 Oued Issat Djalloul _____	51
Tableau II-26: Débit de crue et les décrue pour différentes périodes de retour BV 04 Oued Berboucha _____	52
Tableau II-27: Débit de crue et les décrue pour différentes périodes de retour BV03 +BV04 _____	53
Tableau II-28: Récapitulatif des apports moyens interannuels _____	56
Tableau III-1 Profiles en travers _____	73
Tableau III-2: Principaux paramètres hydrauliques pour l'ensemble des stations (Source : Logiciel HEC-RAS). _____	75

Tableau III-3 Tableau des Principaux paramètres hydrauliques pour l'ensemble des stations (Source : Logiciel HEC-RAS)	76
Tableau III-4 Tableau des Principaux paramètres hydrauliques pour l'ensemble des stations (Source : Logiciel HEC-RAS)	77
Tableau III-5 Tableau des Principaux paramètres hydrauliques pour l'ensemble des stations (Source : Logiciel HEC-RAS)	78
Tableau III-6: Les profils en travers	79
Tableau IV-1 Dimensions de l'aménagement du tronçon de Oued Houari Boumediene (canal en béton armé)	86
Tableau IV-2- Résultats de la simulation d'écoulement d'un canal trapèzoidale en béton armé du tronçon de Oued Houari Boumediene (Source : HECRAS)	86
Tableau IV-3 Profiles en travers d'un canal trapèzoidale pour une crue centennale pour le tronçon d'OUED Houari Boumediene	88
Tableau IV-4 Devis de la variante canal en béton armé pour le tronçon d'OUED Houari Boumediene	89
Tableau IV-5 Dimensions de l'aménagement du tronçon de Oued Houari Boumediene (canal en enrochement)	90
Tableau IV-6 Estimation du cout de l'aménagement	90
Tableau IV-7 Dimensions de l'aménagement du tronçon de Oued sidi Abdelkader (canal en enrochement)	91
Tableau IV-8: Résultats de la simulation d'écoulement d'un canal trapèzoidale en béton armé du tronçon de Oued sidi Abdelkader (Source : HECRAS)	91
Tableau IV-9 Dimensions de l'aménagement du tronçon de Oued issat djalloul (canal en enrochement)	92
Tableau IV-10: Résultats de la simulation d'écoulement d'un canal trapèzoidale en enrochement du tronçon de Oued issat djalloul (Source : HECRAS)	92
Tableau IV-11 Dimensions de l'aménagement du tronçon de Oued berboucha (canal en enrochement)	93
Tableau IV-12: Résultats de la simulation d'écoulement d'un canal trapèzoidale en enrochement du tronçon de Oued berboucha (Source : HECRAS)	93
Tableau V-1: Engins utilisés.	96
Tableau V-2 Le devis des différents travaux de l'aménagement du tronçon de la commune de Fouka	97
Tableau V-3 Liste des opérations avec leurs durées pour la réalisation des endiguements	101
Tableau V-4 Succession des tâches de réalisation des endiguements	101

LISTES DES PLANCHES :

- Plan de mass de fouka
- Profile en travers
- Canal en enrochement
- Profil en long

Outils du travail :

Arc GIS :

ArcGIS est un ensemble complet de logiciels d'information géographique (SIG) développé par la société américaine ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc.). Le SIG est un système informatique conçu pour collecter, stocker, manipuler, analyser et afficher des données spatiales, permettant ainsi la compréhension et la visualisation d'informations liées à la géographie.

ArcGIS fournit un ensemble d'outils et de fonctions permettant de créer, gérer et analyser des données géographiques et de prendre des décisions basées sur des caractéristiques spatiales. Le package contient les programmes suivants :

ArcMap :

Fonction : Modifier des fichiers au format de données géospatiales.

Utilisation : cartographie et analyse géographique.

ArcCatalog :

Fonctionnalité : gestion des données, permet des informations détaillées sur les objets modifiés.

Utilisation : système de gestion de données géographiques.

ArcToolbox :

Tâche : Ensemble d'outils dédiés à la transformation des données.

Application : Gestion du traitement et de l'analyse des données géographiques.

HYFRAN :

Le logiciel HYFRAN-PLUS offre la possibilité d'adapter une grande variété de distributions statistiques à un ensemble de données, sous réserve que les hypothèses d'indépendance, d'homogénéité et de stationnarité soient vérifiées (voir Déclarations de prise de décision). Un système d'aide à la décision (DSS) est développé pour guider la sélection de distributions appropriées afin d'estimer l'ampleur des périodes de retour critiques. L'équipe du Professeur Bernard Boby, qui a occupé la Chaire de Finance Statistique de 1992 à 2004, a développé HYFRAN.

HEC-RAS :

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center River Analysis System) est un logiciel de modélisation hydraulique développé par le Corps des ingénieurs de l'armée américaine. Il est

utilisé pour analyser le débit des rivières, canaux et autres systèmes hydrauliques. HECRAS permet de simuler des propriétés hydrauliques telles que la vitesse d'écoulement, le niveau d'eau et la vitesse d'écoulement pour évaluer le risque d'inondation, concevoir des ouvrages hydrauliques et planifier des aménagements riverains.

□ **Ras Mapper :**

Le RAS Mapper est un logiciel intégré à HEC-RAS et spécialisé dans la cartographie des résultats d'analyse hydraulique et d'analyse hydraulique. Vous pouvez afficher graphiquement, analyser et interpréter les données générées par HEC-RAS, facilitant ainsi la compréhension des modèles hydrauliques et des réflexions fluviales.

□ **Flow Master :**

Le logiciel Flowmaster est un outil de simulation unique pour la modélisation de systèmes fluides qui permet d'analyser le comportement de fluides tels que l'eau ou l'air dans des systèmes complexes. Pour la conception et l'optimisation des réseaux d'eau, tels que les systèmes hydrauliques et pneumatiques, le profilage avancé des performances est utilisé pour visualiser et analyser les résultats afin d'améliorer les performances des systèmes d'eau.

□ **Autocad :**

Autocad est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) développé par Autodesk. Il est utilisé pour créer des images 2D ou 3D et fournit de puissants outils de modélisation, de dessin et de documentation pour prendre en charge le processus de conception.

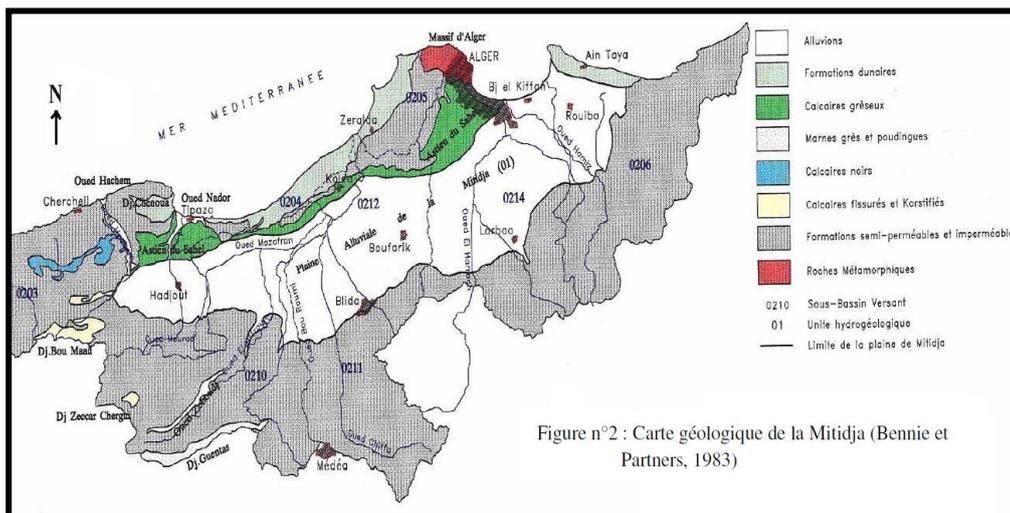
□ **AutoCAD Civil 3D :**

Est un logiciel de conception d'ingénierie civile développé par Autodesk. Il est largement utilisé pour la conception d'infrastructures et la documentation, en soutenant les flux de travail BIM (Building Information Modeling). Civil 3D est spécialement conçu pour des tâches d'ingénierie civile comme la conception de routes, l'aménagement foncier, la conception des réseaux d'eaux pluviales et usées, ainsi que la modélisation de surfaces.

Annexe

VI.2. Annexe N°1 :

Cartes géologiques



VI.3. Annexe N°2 :

Série pluviométrique

poste pluviométrique de Koléa secteur

Station	Code	Années D'observation
Koléa secteur	021233	1981-2023

Année	Précipitations PJ max (mm)												<i>PJ maxannuel</i>
	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	
1981/1982	0	0	6,5	35,4	71,7	17,5	16	8,4	23,6	0	0	3,7	71,7
1982/1983	23,6	24,6	72,3	24,9	0,2	30	13,3	0,5	2,5	0	4,9	2,3	72,3
1983/1984	0	13,5	11,1	54,9	48,7	22,2	14,8	25,7	38	13,5	0	0,6	54,9
1984/1985	10,6	79,7	26,8	40,4	24,2	13,5	55,6	9,4	23,6	0,1	0	4,2	79,7
1985/1986	4,1	34,1	18,6	24,7	16,4	13,8	13,9	9,4	1,2	14,9	8,6	2,1	34,1
1986/1987	40,9	39,1	22	55,5	24,9	38,6	8,5	1,2	4,1	11	0,8	0	55,5
1987/1988	8,7	6,8	19,8	11,9	15,8	15	20,3	4,5	29,7	20,1	0	0	29,7
1988/1989	32	19,5	30,6	53,1	22	5,8	28,3	28	2,9	11,7	0	19,9	53,1
1989/1990	8,1	7,7	24,2	13	19,3	0	16	25,2	17,9	0	7,7	0	25,2
1990/1991	0,2	26,3	33,7	17,2	25,1	27,7	12,1	9,4	16,1	7,4	0	0	33,7
1991/1992	1,5	89,6	8,9	1,5	50,6	15,5	35,6	26,7	22,1	10,5	2,9	0	89,6
1992/1993	3,7	51,5	34,5	21,3	16,6	15	22,2	21,9	17,3	0	0	1,8	51,5
1993/1994	23,6	14,1	50,5	11,4	80,1	23,3	1,3	17,2	3,5	0	0	0	80,1
1994/1995	53,6	18,9	35,5	31,5	49,1	23,7	47,5	9	0	4,2	0	31	53,6
1995/1996	20,1	39,7	46	15,3	73,3	25,2	20,9	104,3	16,6	2,1	2,7	1,8	104,3
1996/1997	40,6	74	10,7	27,9	23,4	20	6,9	18,7	8,3	0,8	0	0	74
1997/1998	46,4	29,3	32,3	30	15,6	17,3	14,4	36,9	71,2	0,9	0	1,7	71,2
1998/1999	17,1	9,1	35,5	27,8	30,2	46,2	36,8	24,1	0	0,7	0	1,8	46,2
1999/2000	17,9	4,8	38	46,6	6,4	1,9	5,1	15,7	19,4	0	0,1	0,2	46,6
2000/2001	3,8	24,7	50,1	20,3	30	21,3	1,2	18,8	10	0	0	0	50,1
2001/2002	32,4	41,7	37,4	30,8	11,9	12,1	21,1	10,3	18,8	0,3	5,6	18	41,7
2002/2003	9	36,7	26,1	36,5	46,9	52,4	6,5	29,8	11,8	0	6,2	1,1	52,4
2003/2004	8,2	11,4	32,3	26,8	44,8	32,6	18,9	10,5	55	1,4	0	2,6	55
2004/2005	30,9	20,7	22,6	47,4	21,5	27,5	13,3	9,1	4,1	0	1,4	0	47,4
2005/2006	4,6	33,2	39,9	25,2	26,9	32,3	7,5	7,2	64,7	0	0	0	64,7
2006/2007	20,3	4,8	26,5	30,8	8,9	15,5	19,5	14,4	0,6	6,3	0	4,5	30,8
2007/2008	17,1	27,5	99,9	35,9	12,3	21,1	16,3	10,9	17,2	5,7	5,8	0	99,9
2008/2009	30,7	11,7	58,2	37,7	24,2	5,6	16,8	11,4	6,6	0	1,1	3	58,2
2009/2010	53,5	7,5	27,1	33,1	35,4	26,4	36,3	8,4	9,2	3,3	0	21,2	53,5
2010/2011	1,8	37,6	45,4	28,4	48	28	30,5	18,1	32,5	13,3	0,5	0	48
2011/2012	6,5	15,2	28,7	14,4	24,5	50,7	35,4	38,3	6,3	0	0	37,6	50,7
2012/2013	10,2	14,7	23,6	6,7	21,2	28,7	11,4	36,2	81,6	0	0	8,3	81,6
2013/2014	9,8	8,1	82,9	24,9	25,4	11,5	22	4,6	7,2	26,2	0	1,5	82,9
2014/2015	9,1	55	26,4	65	32,6	18,9	15,1	0	6	5,3	0	0,5	65
2015/2016	12	37,8	24,2	0	48,8	30,3	33,6	32,4	16	0	0	0	48,8
2016/2017	5,6	22,6	32	53,6	39,2	18,9	23	3,5	1,6	1,6	1,7	0	53,6
2017/2018	42,1	25,8	26,5	20	22,7	32,5	16,6	79,4	25,5	33	0	0	79,4
2018/2019	19	39,7	52	32,6	26,7	2,9	14,1	20,8	5	6,2	0	3,9	52
2019/2020	31,7	6,7	29,8	7,8	8,8	0	20,6	32,6	1,8	11,3	0	3,9	32,6
2020/2021	5,5	13,1	11,5	30,6	14,8	7,8	29,3	12,5	21,8	4,8	0	0	30,6
2021/2022	0	11,3	64	22,3	12,7	18	34,5	34,9	9,5	1,6	0	0,2	64
2022/2023	0,2	7,6	26,8	4,3	35,5	24,5	6	0,4	112,0	30,0	0	0	112,0

Annexe N°3:

Tableau des Valeurs de χ^2

Annexe 2. Table du χ^2

$\gamma \backslash P$	0.9	0.5	0.3	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.001
1	0.016	0.455	1.074	1.642	2.705	3.841	5.412	6.635	10.827
2	0.211	1.386	2.408	3.219	4.605	5.991	7.824	9.210	13.815
3	0.584	2.366	3.665	4.642	6.251	7.815	9.837	11.345	16.266
4	1.064	3.357	4.878	5.989	7.779	9.488	11.668	13.277	18.467
5	1.610	4.351	6.064	7.289	9.236	11.070	13.388	15.086	20.515
6	2.204	5.348	7.231	8.558	10.645	12.592	15.033	16.812	22.457
7	2.833	6.346	8.383	9.803	12.017	14.067	16.622	18.475	24.322
8	3.490	7.344	9.524	11.030	13.362	15.507	18.168	20.090	26.125
9	4.168	8.343	10.656	12.242	14.684	16.919	19.679	21.666	27.877
10	4.865	9.342	11.781	13.442	15.987	18.307	21.161	23.209	29.588
11	5.578	10.341	12.899	14.631	17.275	19.675	22.618	24.725	31.264
12	6.304	11.340	14.011	15.812	18.549	21.026	24.054	26.217	32.909
13	7.042	12.340	15.119	16.985	19.812	22.362	25.472	27.688	34.528
14	7.790	13.339	16.222	18.151	21.064	23.685	26.873	29.141	36.123
15	8.547	14.339	17.322	19.311	22.307	24.996	28.259	30.578	37.697
16	9.312	15.338	18.418	20.465	23.542	26.296	29.633	32.000	39.252
17	10.085	16.338	19.511	21.615	24.769	27.587	30.995	33.409	40.790
18	10.865	17.338	20.601	22.760	25.989	28.869	32.346	34.805	42.312
19	11.651	18.338	21.689	23.900	27.204	30.144	33.687	36.191	43.820
20	12.443	19.337	22.775	25.038	28.412	31.410	35.020	37.566	45.315
21	13.240	20.337	23.858	26.171	29.615	32.671	36.343	38.932	46.797
22	14.041	21.337	24.939	27.301	30.813	33.924	37.659	40.289	48.268
23	14.848	22.337	26.018	28.429	32.007	35.172	38.968	41.638	49.728
24	15.659	23.337	27.096	29.553	33.196	36.415	40.270	42.980	51.179
25	16.473	24.337	28.172	30.675	34.382	37.652	41.566	44.314	52.620
26	17.292	25.336	29.246	31.795	35.563	38.885	42.856	45.642	54.052
27	18.114	26.336	30.319	32.912	36.741	40.113	44.140	46.963	55.476
28	18.939	27.336	31.391	34.027	37.916	41.337	45.419	48.278	56.893
29	19.768	28.336	32.461	35.139	39.087	42.557	46.693	49.588	58.302
30	20.599	29.336	33.530	36.250	40.256	43.773	47.962	50.892	59.703

La table donne la probabilité α pour que χ^2 égale ou dépasse une valeur donnée en fonction du nombre de degré de liberté γ

Annexe N°4:

Valeur de rugosité de Maning

Valeurs du coefficient n de Manning

Nature des surfaces	Etats des parois			
	Parfait	Bon	Assez bon	Mauvais
A) Canaux artificiels				
Ciment lissé	0,01	0,011	0,012	0,013
Mortier de ciment	0,011	0,012	0,013	0,015
Aqueducs en bois raboté	0,01	0,012	0,013	0,014
Aqueducs en bois non raboté	0,011	0,013	0,014	0,015
Canaux revêtus de béton	0,012	0,014	0,016	0,018
Moëllons bruts	0,017	0,02	0,025	0,03
Pierres sèches	0,025	0,03	0,033	0,035
Moëllons dressés	0,013	0,014	0,015	0,017
Aqueducs métalliques à section demi-circulaire lisse	0,011	0,012	0,013	0,015
Aqueducs métalliques à section demi-circulaire plissée	0,0225	0,025	0,0275	0,030
Canaux en terre droits et uniformes	0,017	0,020	0,0225	0,025
Canaux avec pierres, lisses et uniformes	0,025	0,030	0,033	0,035
Canaux avec pierres, rugueux et irréguliers	0,035	0,040	0,045	-
Canaux en terre à larges méandres	0,0225	0,025	0,0275	0,030
Canaux en terre dragués	0,025	0,0275	0,030	0,033
Canaux à fond en terre, côtés avec pierres	0,028	0,030	0,033	0,035
B) Cours d'eau naturels				
1) Propres, rives en ligne droite	0,025	0,0275	0,030	0,033
2) Idem 1 avec quelques herbes et pierres	0,030	0,033	0,035	0,040
3) Avec méandres, avec quelques étangs et endroits peu profonds, propres	0,035	0,040	0,045	0,050
4) Idem 3, l'eau à l'étiage, pente et sections plus faibles	0,040	0,045	0,050	0,055
5) Idem 3, avec quelques herbes et pierres	0,033	0,035	0,040	0,045
6) Idem 4, avec pierres	0,045	0,050	0,055	0,060
7) Zones à eau coulant lentement avec herbes ou fosses très profondes	0,050	0,060	0,070	0,080
8) Zones avec beaucoup de mauvaises herbes	0,075	0,100	0,125	0,150