

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE

N° :



DOMAINE : TECHNOLOGIE
FILIERE : HYDRAULIQUE
OPTION : HYDRAULIQUE URBAINE

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : ABDELKEBIR Ratiba

Intitulé

Contribution à la méthodologie des études de
protection contre les inondations par
l'utilisation d'ARC GIS, HEC GEO RAS et HEC
RAS. Cas de la ville de Mouilha. W. M'sila

Soutenu devant le jury composé de :

Mr. BENIA Mounir	Université Mohamed Boudiaf	M'sila	Président
Mr. BERGHOUT Ali	Université Mohamed Boudiaf	M'sila	Examineur
Mr. TEMIM Djamel	Université Mohamed Boudiaf	M'sila	Examineur
Mr. MOKHTARI Elhadj	Université Mohamed Boudiaf	M'sila	Promoteur

Année universitaire : 2017 /2018

Dédicace

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis, à toi

Mon père.

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur,
Ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore.*

Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à tous mes frères et mes sœurs, je dédie ce travail dont le grand plaisir leurs revient en premier lieu pour leurs conseils, aides, et encouragements.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon chemin d'études supérieures, mon aimable amie, collègue d'étude, et frère de cœur, toi Chaima Amel.

ABDELKEBIR Ratiba

Remerciements

Je remercie Dieu Le Tout Puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a donné durant tous ces années d'étude.

Au terme de ce travail, il m'est agréable de remercier tous ceux qui ont contribué à sa réalisation et en particulier :

*Mon encadreur, **Mr. Mokhtari Elhadj** qui a accepté de diriger ce travail, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*je lui exprime ici toute ma gratitude sans oublier de remercier **Mr. Ali Hatab** et **Mr. Abdelkebir Layachi** et **Mr. Mahdaoui Noura** pour son aide très précieuse.*

Tous les enseignants de l'université de M'sila spécialement ceux du département de hydraulique pour leurs efforts durant notre formation .

ABDELKEBIR Ratiba

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
Chapitre I Généralités sur les inondations	
I.1 Introduction.....	2
I.2. Manifestation à l'échelle de la planète	2
I.3. L'histoire des inondations en Algérie.....	3
I.4. Définition.....	4
I.4.1. Inondation.....	4
I.4.2 Crue.....	4
I.5. Les types d'inondation.....	5
I.6. Mécanisme des inondations	8
I.7. Les causes des inondations	8
I.8. Conséquences engendrées par les inondations.....	9
I.9. Le processus conduisant aux crues et aux inondations	9
I.10. Éléments de base en hydrologie bassin versant.....	10
I.11. Les unités fonctionnelles.....	11
I.12. Principes et notion de « Risque d'inondation »	13
I.13. Conclusion.....	16
Chapitre II. Présentation de la région d'étude	
II.1. introduction	17
II.2. Présentation de la zone d'étude.....	17
II.2.1. Situation géographique du bassin versant de FAIDH BOURATEM.....	17
II.3. Situation climatique du sous bassin versant de FAIDH BOURATEM.....	18
II.4. Caractéristique géomorphologique de bassin versant.....	20
II.4.1. Définition du bassin versant	20
II.4.2. Caractéristique morpho-métriques	20
II.4.3. Caractéristiques Hypsométriques (Altitudes).....	23
II.4.4. Caractéristiques Hydrographique	27
II.5. Conclusion	29
Chapitre III. Étude hydrologique	
III.1. Introduction	30
III.2. Précipitation	30
III.2.1. Station et données disponibles.....	30
III.3. Ajustement des pluies maximales journalières	32
III.3.1. Ajustement suivant la loi de GUMBEL.....	32
III.3.2. Ajustement suivant la loi de GALTON (Log Normale)	35
III.3.3. Comparaison entre les deux lois d'ajustement.....	37
III.4. Pluies de courtes durées de différentes fréquences.....	37
III.5. Estimation empiriques des débits de pointe et des hydrogrammes de crue.....	40
III.5.1. Formules empiriques pour la détermination de la crue.....	40

III.5.2. Hydrogramme des crues.....	42
III.6. Détermination du volume de la crue	44
III.7. Conclusion.....	45

Chapitre IV. Cartographie des zones inondables par HEC RAS

IV.1. Introduction.....	46
IV.2. Les outils utilisés pour l'aide à la cartographié du risque inondation.....	46
IV.2.1. Arc GIS.....	47
IV.2.1.1.Présentation de l'interface ArcMap	48
IV.2.1.2.Présentation de l'interface ArcCatalog	48
IV.2.1.3. Présentation de l'interface ArcToolBox	49
IV.2.2. HEC-GEORAS.....	49
IV.2.3. HEC-RAS.....	50
IV.2.3.1. Principes du calcul hydraulique par Hec-Ras	51
IV.2.3.2. Description du modèle	51
IV.2.3.3. Les équations de Saint-Venant 1D	52
IV.2.3.4. Importation du fichier de la géométrie.....	55
IV.2.3.5. Elaboration du fichier des données d'écoulement.....	56
IV.3. Application du logiciel HEC-RAS Cas régime permanent 1D.....	56
IV.3.1. Données d'écoulement.....	56
IV.3.2. Condition aux limites	58
IV.3.4. Résultats et analyse de la simulation	58
IV.4. Application du logiciel HEC-RAS Cas Régime non permanent1D.....	62
IV. 5.Conclusion.....	66

Chapitre V. Les aménagements de protection contre les inondations par HEC RAS

V.1. Introduction.....	66
V.1.1. Protection directe (Rapprochées).....	66
V.1.2. Protection indirecte (Eloignées)	67
V.2. Les aménagements de protection contre les inondations de la ville Mouilha par HEC RAS.....	67
V.2.1. Calcul hydraulique de deux variantes.....	68
V.2.1.1. La formule de calcul principal	68
V.2.1.2. Détermination de coefficient de Chézy	68
V.2.1.3. Calcul de la profondeur normal (h)	69
V.2.1.4. Calcul de la pente critique.....	69
V.2.1.6. Nombre de FROUD	70
V.2.1.7. Hauteur des murs du canal.	70
V.2.2. Le paramètre géométrique de variante choisie.....	70
IV.2.2.1. Cas de canal trapézoïdal	70
V.2.2.1.1. les dimensions des ponts cas de canal trapézoïdal	71
V.2.2.1.2. Les résultats de simulation de Régime permanent pour canal trapézoïdal.....	73

V.2.2.2. Cas de canal rectangulaire fermé	76
V.2.2.2.1. les dimensions des ponts canal rectangulaire fermé	77
V.2.2.2.2. Les résultats de Régime permanent pour canal rectangulaire.....	79
V.3. Conclusion.....	83
Conclusion général	84
Références bibliographiques.....	86
Annexe.....	87

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1. Nombre d'inondations par pays durant la période 1974 – 2003 [1].....	2
Figure I.2. Un quartier à l'ouest de Bab el-Oued	3
Figure I.3. Ghardaïa, une ville sous la boue (2008).....	4
Figure I.4. Éléments descriptifs d'une crue simple [4].....	5
Figure I.5. Crue simple et crue complexe [3].....	5
Figure I.6. Les inondations lentes [1].....	6
Figure I.7. Structure d'une lave torrentielle [1]	6
Figure I.8. Inondations par ruissellement pluvial.....	7
Figure I.9. Les inondations par remontée de nappe [3].....	7
Figure I.10. Rupture d'une protection[4].....	8
Figure I.11. Coupe transversale d'un bassin versant [4]	11
Figure I.12. Lit mineur d'un cours d'eau [1].....	11
Figure I.13. Lit moyen d'un cours d'eau [1].....	12
Figure I.14. Lit majeur d'un cours d'eau [1].....	12
Figure I.15. L'aléa, l'enjeu et le risque [3]	14
Figure I.16. Les risques d'inondation[6]	15

Chapitre II

Figure II.1. Localisation de la zone d'étude (Ville de Mouilha M'sila)	17
Figure II.2. Inondation de la ville Mouilha à 10/06/2015.....	17
Figure II.3. Situation du sous bassin versant de la Mouilha	18
Figure II.4. Le rectangle équivalent du sous bassin versant FAIDH BOU RATEM.....	22
Figure II.5. Carte d'altitudes du sous bassin versant FAIDH BOURATEM.....	23
Figure II.6. La courbe hypsométrique du sous bassin versant de Mouilha.....	24
Figure II.7. Réseau hydrographique de sous bassin versant du Mouilha.....	27

Chapitre III

Figure III.1. La répartition max annuelle des pluies.....	31
Figure III.2. Ajustement à une loi de GUMBEL.....	35
Figure III.3. Ajustement à une loi de GALTON.....	37
Figure III.4. Intensité-Durées-Fréquences (IDF).....	39
Figure III.5. Hydrogramme de crue fréquentielle du sous BV Mouilha.....	43

Chapitre IV

Figure IV.1. Représentation schématique du dispositif informatique utilisé	47
Figure IV.2. Interface d'ArcMap.....	48
Figure IV.3. Interface d'ArcCatalog.....	48
Figure IV.4. Interface d'ArcToolbox.....	49
Figure IV.5. L'extension HecGeoRas sur l'interface ArcMap.....	50
Figure IV.6. L'interface du logiciel Hec-Ras 5.0.3.....	51

Figure IV.7. Exemple de section avec une hauteur d'eau.....	52
Figure IV.8. Conservation de la charge entre deux sections (source : HEC-RAS).....	54
Figure IV.9. Découpage de la section pour le calcul du frottement (source : HEC-RAS)..	54
Figure IV.10. Petit volume de contrôle (source : HEC-RAS).....	55
Figure IV.11. L'importation de la géométrie du tronçon a modélisée dans Hec Ras.....	56
Figure IV.12. Fenêtre représente les différents débits fréquentiels.....	57
Figure IV.13. Fenêtres des conditions aux limites.....	57
Figure IV.14. Fenêtre de la simulation.....	58
Figure IV.15. Profil en long de l'oued Mouilha avec la ligne de surface pour T = 1000 ans.....	59
Figure IV.16. Section avec une hauteur d'eau en régime permanent pour T = 100 ans.....	59
Figure IV.17. Section avec une hauteur d'eau en régime permanent pour T = 1000 ans.....	60
Figure IV.18. Vue en Plan en 3D de l'oued Mouilha, après simulation.....	60
Figure IV.19. La zone inondable de la ville Mouilha pour une période de retour de 1000 ans.....	61
Figure IV.20. Les conditions aux limites pour un écoulement non permanent.....	62
Figure IV.21. L'hydrogramme de crue de période 100 ans.....	62
Figure IV.22. Caractéristiques de la simulation pour le cas d'un écoulement non permanent.....	63
Figure IV.23. Fenêtre de la simulation le cas d'un écoulement non permanent.....	64
Figure IV.24. Profil en long de l'oued Mouilha avec la ligne de surface pour T = 1000 ans.....	64
Figure IV.25. Section avec une hauteur d'eau en régime non permanent pour T = 100 ans.....	65
Figure IV.26. Section avec une hauteur d'eau en régime non permanent pour T = 1000 ans.....	65

Chapitre V	
Figure V.1. les dimensions de 1 ^{ere} pont cas de canal trapézoïdal.....	72
Figure V.2. les dimensions de 2 ^{eme} pont cas de canal trapézoïdal.....	73
Figure V.3. Vue en Plan en 3D de deux ponts cas canal trapézoïdal.....	73
Figure V.4. Profil en long de canal trapézoïdal pour T = 1000 ans.....	74
Figure V.5. Vue en Plan en 3D de 1 ^{ere} tancon de canal trapézoïdal.....	75
Figure V.6. Section trapézoïdal avec une hauteur d'eau pour T = 100 ans.....	75
Figure V.7. Section trapézoïdal avec une hauteur d'eau pour T = 1000 ans.....	75
Figure V.8. La hauteur d'eau au niveau de 1 ^{ere} pont après simulation pour T=1000ans.....	76
Figure V.9. La hauteur d'eau au niveau de 1 ^{ere} pont après simulation pour T=1000 ans.....	76
Figure V.10. La hauteur d'eau au niveau de 2 ^{eme} pont après simulation pour T=100 ans.....	77
Figure V.11. La hauteur d'eau au niveau de 2 ^{eme} pont après simulation pour T=1000 ans.....	77
Figure V.12. les dimensions de 1 ^{er} pont Cas de canal rectangulaire fermé pour T= 1000 ans.....	79
Figure V.13. les dimensions de 2 ^{eme} pont cas de canal rectangulaire fermé pour T= 1000 ans.....	80

Figure V.14. Vue en Plan en 3D de deux ponts cas canal rectangulaire fermé.....	80
Figure V.15. Profil en long de canal rectangulaire fermé pour T = 100 ans.....	81
Figure V.16. Vue en Plan en 3D de 1 ^{ère} tancon canal rectangulaire fermé.....	82
Figure V.17. Section rectangulaire avec une hauteur d'eau pour T = 100 ans.....	82
Figure V.18. Section rectangulaire avec une hauteur d'eau pour T = 1000 ans.....	82
Figure V.19. La hauteur d'eau au niveau du 1 ^{er} pont après simulation pour T=100 ans.....	83
Figure V.20. La hauteur d'eau au niveau du 1 ^{er} pont après simulation pour T=1000 ans.....	83
Figure V.21. La hauteur d'eau au niveau 2 ^{ème} pont après simulation pour T=100 ans.....	84
Figure V.22. La hauteur d'eau au niveau 2 ^{ème} pont après simulation pour T=1000 ans.....	84

Liste des Tableaux

Chapitre I

Tableau I.1. Conséquences des inondations [2].....	9
---	---

Chapitre II

Tableau II.1. Températures moyennes mensuelle (°C) à M'SILA [7].....	1
Tableau II. 2. la vitesse moyenne mensuelle des vents [7].....	19
Tableau II.3. Évaporations moyennes mensuelle à M'SILA [7].....	19
Tableau II.4. Les coordonnées de station référence.....	20
Tableau II.5. Répartition mensuelle de la pluie moyenne annuelle [7].....	20
Tableau II.6. Distribution de longueur en fonction de la l'altitude dans le sous bassin.... versant FAIDH BOU RATEM	22
Tableau II.7. Répartition hypsométrique du bassin versant d'oued MUILHA.....	23
Tableau II.8. Classification des reliefs d'après l'O.R.S.T.O.M.....	25
Tableau II.9. Classification ORSTOM du relief à partir de l'indice de pente global.....	26
Tableau II.10. Caractéristiques physiographiques de sous bassin versant FAIDH BOU RATEM.....	28

Chapitre III

Tableau III.1. Les coordonnées de station référence.....	30
Tableau III.2. Pluies max annuelles.....	31
Tableau III.3. Les résultats d'ajustement suivant la loi de GUMBEL.....	34
Tableau III.4. Les résultats d'ajustement suivant la loi de GALTON (Log Normale).....	36
Tableau.III.5. Pluies de courte durée du sous bassin versant FAIDH BOU RATEM.....	38
Tableau III.6. Intensité des pluies (mm/h) de l'Oued Mouilha.....	39
Tableau III.1. Débits instantanés de crues de diverses fréquences Relation de TURAZZA..	40
Tableau III.8. Débits instantanés de crues de diverses fréquencesRelation de GIANDOTTI.....	41
Tableau III.9. Débits instantanés de crues de diverses fréquencesRelation de SOKLOVSKI.....	41
Tableau III.10. Tableau récapitulative des Débits instantanés de crues de diverses fréquences	42
Tableau III.11. Estimation des débits de pointe correspondants Hydrogrammes de crues fréquentielles du sous BV Oued Mouilha.....	42
Tableau III.12. Estimation du volume de crue de l'Oued Mouilha.....	44

Chapitre IV

Tableau IV. 1. Les résultats des calculs hydrauliques de l'oued Mouilha en régime permanent.....	61
Tableau IV. 2. Les résultats des calculs hydrauliques de l'oued Mouilha de régime non permanent pour quelques sections transversales.....	65

Chapitre V

Tableau.V.1. la hauteur normal de chaque tronçon pour canal trapézoïdal	71
Tableau V. 2. Les résultats des calculs hydrauliques de l'oued Mouilha, cas de canal trapézoïdal après simulation.....	76
Tableau. V.3. La hauteur normal de chaque tronçon pour canal rectangulaire	

fermé.....	77
Tableau V. 4. Les résultats des calculs hydrauliques de l’oued Mouilha, cas de canal rectangulaire fermé après simulation.....	82

Introduction générale

Introduction générale

Les risques d'inondations sont dus à l'interaction complexe de plusieurs facteurs, c'est le résultat de la concordance de paramètres topographiques, géologiques, hydrologiques et météorologiques. Cependant, elles ne sont pas toujours procréées par des évènements exceptionnels car elles peuvent avoir lieu suite à des épisodes météorologiques ordinaires étant favorisées par l'intervention d'autres paramètres tel que : l'urbanisation anarchique, l'aménagement des territoires et le manque d'entretien des cours d'eau. Les statistiques obtenues de l'étude effectuée sur les zones inondées, au sein du pays, montrent que les bassins versants algériens, de superficies importantes, de terres agricoles, de plaines et d'agglomération sont fréquemment affectés par des oueds en crue.

L'objectif général de ce travail est l'application du modèle HEC-RAS 1D, un modèle Saint-Venant unidimensionnel dans la simulation hydraulique qui permet la détermination des limites du champ d'inondation de crues de référence à partir d'une étude topographique qui a pour but de décrire la géométrie du terrain pour le dimensionnement des ouvrages de protection contre les inondations de quartier de Mouilha dans la wilaya de M'sila.

Le mémoire, ici présenté est composé de cinq chapitres :

- Le premier chapitre est consacré aux généralités sur les inondations.
- Le deuxième chapitre est relatif à la présentation de la région d'étude.
- Le chapitre trois s'intéresse au traitement des données hydrologiques.
- Le chapitre quatre est relatif à la cartographie des zones inondables par l'utilisation d'Arc Gis, Hec Geo Ras et HEC RAS.
- Le dernier chapitre est consacré aux aménagements de protection contre les inondations par l'utilisation du modèle HEC RAS.

Chapitre I.

Généralités sur les inondations

Chapitre I

Généralités sur les inondations

I.1 Introduction

L'eau habituellement cantonnée dans le lit des rivières, des ruisseaux, des torrents, ou présente dans le sous-sol sous forme de nappe, va de manière progressive ou parfois brutalement occuper de nouveaux espaces colonisés par la végétation ou par l'homme pour son habitat et ses activités.

L'inondation apparaît dès lors comme une forme de conflit pour l'occupation de l'espace entre les occupants habituels de cet espace et l'eau. Face à cette situation, l'homme a adopté plusieurs stratégies : contenir l'adversaire avec des remparts (digues), éviter le conflit en abandonnant le terrain, accepter l'éventualité du conflit en se donnant le cas échéant les moyens de l'anticiper.

I.2. Manifestation à l'échelle de la planète

La moitié des catastrophes naturelles mondiales sont des inondations. Ces catastrophes résultent de phénomènes naturels périodiques comme la mousson ou el niño, d'autres sont le fait de circonstances particulières (cyclones, typhons, orages violents) et sont aggravées par les dérèglements climatiques.

Selon la base de données internationale sur les catastrophes EM-DAT, 2 470 crues se sont produites à l'échelle internationale lors des vingt dernières années (1999 et 2009). 147457 personnes y ont perdu la vie et les dommages ont été estimés à 372,5 milliards de \$ US. [1]

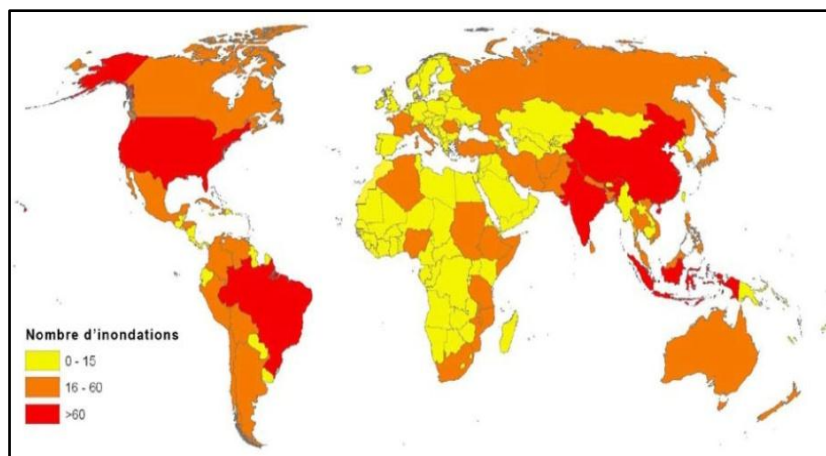


Figure I.1. Nombre d'inondations par pays durant la période 1974 – 2003 [1]

I.3. L'historique des inondations en Algérie

L'Algérie similairement aux autres pays du monde, avait connu des inondations dont celles-ci paraissent à notre avis plus meurtrières et dévastatrices de celles survenues dans les pays du bassin méditerranéen. Au cours des années 1971 à 2008 écoulées, nous avons pu avoir les données de quelques inondations parmi lesquelles:

- **Azazga (Tizi Ouzo) :** le 12 octobre 1971, et qui ont occasionné 40 morts et des centaines d'habitations détruites.
- **Tizi Ouzo :** du 28 au 31 mars 1974, et qui ont provoqué 52 décès, 18000 sinistrés et des dégâts évalués à l'époque à 27 millions de DA.
- **El Eulma (Sétif) :** le 1er septembre 1980, qui a fait 44 décès.
- **Annaba :** le 11 novembre 1982, au niveau du centre-ville et qui ont fait 26 morts et 9500 sinistrés.
- **Jijel :** le 29 décembre 1984, et qui ont occasionné 29 morts et 11000 sinistrés.
- **Bordj Bou Arreridj :** le 23 septembre 1994, et qui ont provoqué 16 décès et des dégâts évalués à 10.000.000 DA.
- **Alger (Bab-El-Oued) :** le 10 novembre 2001, et qui ont fait 710 décès, 115 disparus et 30 milliards de DA de pertes.



Figure I.2. Un quartier à l'ouest de Bab el-Oued

- **Ghardaïa :** le 03 octobre 2008. Les récentes inondations qui ont touché la région de Ghardaïa (600 km au sud d'Alger) ont causé des dégâts estimés à près de 250 millions d'euros. Ces intempéries ont fait 34 morts, 89 blessés et un disparu.



Figure I.3. Ghardaïa, une ville sous la boue (2008)

I.4. Définition

I.4.1. Inondation

Une inondation est une submersion temporaire d'une zone habituellement sèche, par des eaux douces (fortes pluies, débordements de rivières,...etc.) ou salées (submersion marine, tsunami,...etc.). Elle peut être un phénomène régulier ou catastrophique et peut se produire lentement ou très rapidement selon les conditions topographiques et météorologiques de la zone affectée. L'inondation est issue de nombreux facteurs dont le plus répandu dans le monde est les crues. [2]

I.4.2 Crue

La crue est un phénomène naturel et saisonnier qui correspond à une augmentation rapide et temporaire du débit d'un cours d'eau qui ne provoque pas de perturbations majeures lorsque son ampleur est modérée. Elle est décrite à partir de trois paramètres :

- ✓ le débit.
- ✓ la hauteur d'eau.
- ✓ la vitesse du courant.

En fonction de l'importance des débits, une crue peut être contenue dans le lit mineur du cours d'eau, ou déborder dans son lit moyen ou majeur. Par ailleurs, les caractéristiques des précipitations (extension, intensité, durée) et des bassins versants peuvent donner lieu, selon les cas, à trois types de crues caractérisées en fonction du mode de propagation de l'onde de crue :

- ✓ les crues simples (pluies intenses de courte durée affectant généralement l'ensemble du bassin),

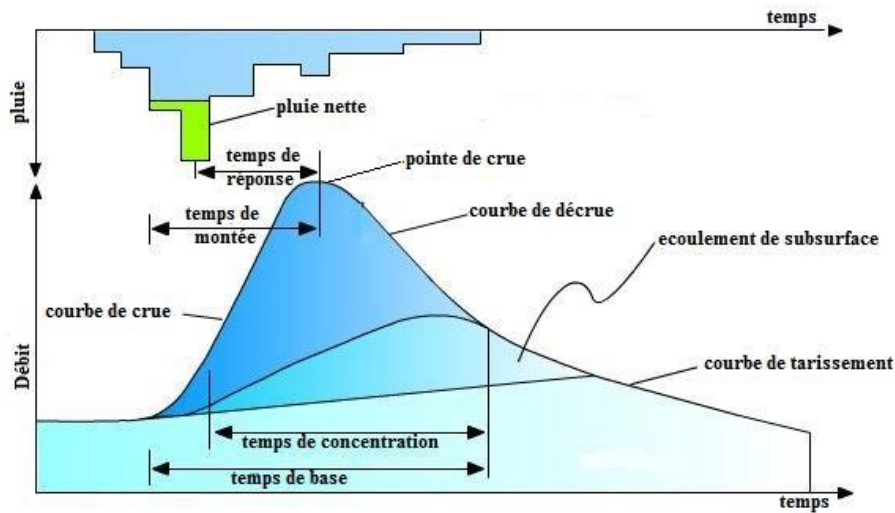


Figure I.4. Éléments descriptifs d'une crue simple [3]

- ✓ les crues multiples (précipitations se succédant à un intervalle de temps inférieur au temps de réponse le plus long du bassin, ou pluies de longue durée),
- ✓ les crues complexes, juxtaposant les deux types de crues précédents.

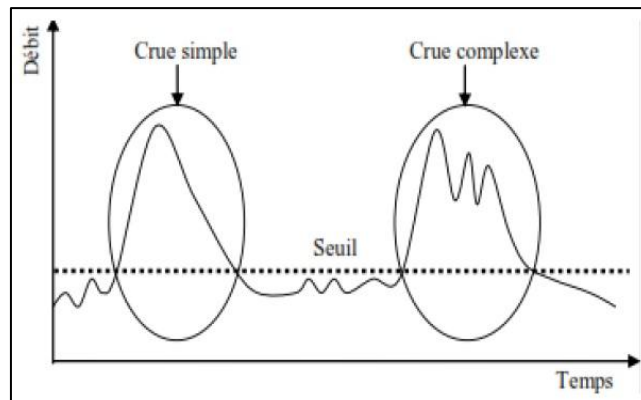


Figure I.5. Crue simple et crue complexe [3]

I.5. Les type d'inondation

On distingue plusieurs types d'inondations par les fleuves et les rivières.

I.5.1. Les inondations lentes

Se produisant en plaine, à l'aval de grands bassins versants, ces inondations à montée lente des eaux résultent de crues provoquées par des pluies prolongées tombant sur des reliefs peu marqués, aux sols assez perméables où le ruissellement est long à se déclencher. Le laps de temps qui existe entre le déclenchement de la pluie et l'amorce de la crue qui se compte en dizaines d'heures ou même en jours. [1]



Figure I.6. Les inondations lentes. [1]

I.5.2. Les inondations torrentielles

Après un épisode pluvieux intense, les eaux ruissellent rapidement vers les cours d'eau ce qui engendre des crues très violentes et brutales. Ce type de crue se rencontre surtout à l'amont des rivières lorsque les pentes des cours d'eau sont encore importantes. [1]

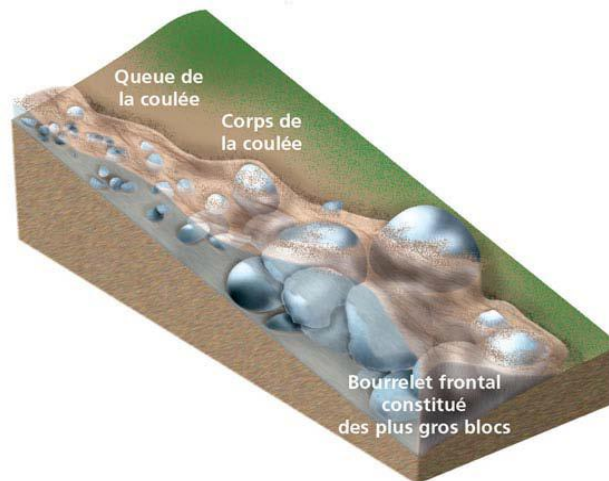


Figure I.7. Structure d'une lave torrentielle [1]

I.5.3. Inondations par ruissellement (Crues pluviales « urbaines »)

Elles sont provoquées par des fortes pluies sur des sols où les infiltrations sont quasi nulles. Dans les zones urbanisées, les sols imperméabilisés ne permettent pas à l'eau de s'infiltrer. Les eaux de pluie ruissellent, saturent les réseaux d'évacuation et entraînent une remontée d'eaux par les égouts ce qui a pour conséquences la submersion de la voirie et des constructions de tout un quartier.



Figure I.8. Inondations par ruissellement pluvial

I.5.4. Les inondations par remontée de nappe

Les nappes phréatiques ou nappes libres sont alimentées par la pluie. Si des événements pluvieux exceptionnels surviennent pendant les périodes annuelles où les nappes sont fortement chargées, le niveau de la nappe peut alors atteindre la surface du sol et provoquer l'inondation par remontée de nappe. Parfois ces inondations s'accompagnent d'effondrements de terrains. Ce type d'inondation peut être catastrophique comme lors de la crue de la Somme en 2001. Les inondations par remontée de nappe présentent la particularité de durer longtemps (souvent plusieurs mois) et de couvrir de vastes zones géographiques. Sur la période 1982-2013, environ 825 communes ont été reconnues au moins une fois au titre de ce péril. [3]



Figure I.9. Les inondations par remontée de nappe [3]

I.5.5. Inondation par rupture d'une protection

L'inondation consécutive à une rupture de digue est un phénomène très brutal et d'autant plus dommageable que le site étudié est proche de la digue. Une rupture peut provoquer l'entrée d'un mur d'eau de plusieurs mètres de haut. Il est très difficile de prévoir

la rupture d'un ouvrage de protection, ce qui rend la prévention de ce type d'accident particulièrement incertaine. [4]



Figure I.10. Rupture d'une protection [4]

I.6. Mécanisme des inondations

Quels sont les facteurs physiques qui influencent les inondations ?

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

Quels sont les facteurs aggravants du risque d'inondation ?

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

I.7. Les cause des inondations

Elles sont causées par plusieurs facteurs, dont on cite :

- **Causes d'origine naturelle** : elles correspondent aux phénomènes météorologiques et climatiques tels que : pluies exceptionnelles, orages violents, pluies torrentielles, fonte des neiges,...etc.
- **Causes d'origine humaine directe** : elles consistent dans la modification du système fluvial des cours d'eau ou de leurs caractéristiques morphologiques (largeur, longueur, pente, etc.) par la construction d'ouvrages hydrauliques, le drainage, l'irrigation, la dégradation des sols et l'agriculture intensive (accélère le ruissellement et limite l'infiltration).
- **Causes d'origine humaine indirecte** : elles sont liées à la pollution et le réchauffement climatique qui ont modifié les conditions climatiques du monde entier. L'émission de gaz à effet de serre provoque la fonte des glaciers des pôles (nord et

sud), ceci entraîne la montée du niveau des océans et des cours d'eau ainsi que la procréation de cyclones d'intensité importante.

I.8. Conséquences engendrées par les inondations

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

Le tableau I.1 résume ces conséquences :

Tableau I.1. Conséquences des inondations [2]

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

I.9. Le processus conduisant aux crues et aux inondations

Le phénomène inondation est la conséquence de plusieurs processus qui sont :

I.9.1. L'eau mobilisable

La source de l'eau mobilisable capable d'engendrer des inondations peut s'agir :

- de la fonte de neiges ou de glaces au moment d'un redoux, associée ou non à des pluies ;
- des pluies répétées et prolongées de régime océanique, qui affecteront plutôt un grand bassin versant ;
- d'averses relativement courtes mais intenses qui pourront toucher la totalité de la superficie de petits bassins versants de quelques kilomètres carrés.

I.9.2. Le ruissellement

Le ruissellement dépend de la nature du sol et de son occupation de surface. Il correspond à la part de l'eau qui n'a pas été interceptée par le feuillage, ni restituée à l'atmosphère par

évaporation et qui n'a pas pu s'infiltrer, ou ressurgir très rapidement après infiltration et écoulement hypodermique ou souterrain. Il sera donc d'autant plus faible que le couvert végétal sera dense et que les sols profonds et non saturés par des épisodes pluvieux récents. Inversement, l'imperméabilisation des sols due à l'urbanisation (infrastructures, constructions) le favorisera. Par ailleurs, l'intensité de la pluie joue aussi un rôle non négligeable en créant, au-delà d'une certaine valeur un film d'eau à la surface du sol, qui va conduire à un écoulement maximum. [1]

I.9.3. Le temps de concentration (ou durée caractéristique)

Le temps de concentration est défini par la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau ayant le plus long chemin hydraulique à parcourir parvienne jusqu'à l'exutoire.

I.9.4. La propagation de la crue

L'eau de ruissellement se rassemble dans un axe drainant ou elle forme une crue qui se propage vers l'aval ; le débit de pointe de la crue est d'autant plus amorti et sa propagation ralentie que le champ d'écoulement est plus large et que la pente est plus faible.

I.9.5. Le débordement

Le phénomène de débordement est consécutif à la propagation d'un débit supérieur à celui que peut évacuer le lit mineur, dont la capacité est généralement limitée à des débits de crues de période de retour de l'ordre de 1 à 5 ans. Il peut se produire une ou plusieurs fois par an ou seulement tous les dix ans en moyenne voire tous les cent ans. En débordant, l'eau alimente massivement la nappe phréatique située sous le champ d'inondation et approvisionne les milieux de vie des végétaux et des animaux aquatiques ou hygrophiles

I.10. Éléments de base en hydrologie bassin versant

Un bassin versant est un territoire délimité par des frontières naturelles appelées « lignes de partage des eaux » ou "lignes de crête". Chaque bassin versant draine un cours d'eau principal souvent accompagné de plusieurs affluents. Ainsi, chaque goutte de pluie qui tombe sur ce territoire va rejoindre la rivière soit par écoulement de surface, soit par circulation souterraine après infiltration dans le sol.

Le bassin versant correspond donc à la surface d'alimentation d'un cours d'eau.

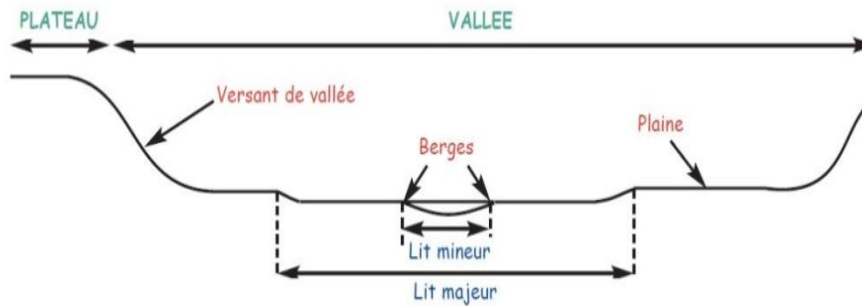


Figure I.11. Coupe transversale d'un bassin versant [4]

I.11. Les unités fonctionnelles

I.11.1. Lits du cours d'eau

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

➤ Le lit mineur

Le lit mineur est constitué par le lit ordinaire du cours d'eau, pour le débit d'étiage ou pour les crues fréquentes (crues annuelles). [1]

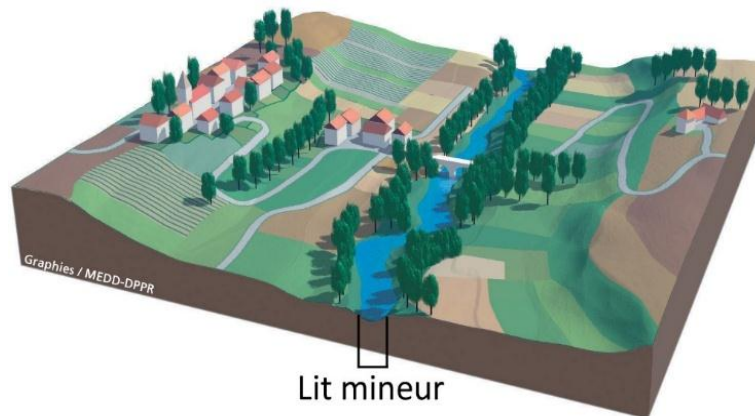


Figure I.12. Lit mineur d'un cours d'eau [1]

➤ Le lit moyen

L'inondation submerge les terres bordant la rivière et s'étend dans le lit moyen. Il correspond à l'espace fluvial ordinairement occupé par la ripisylve, sur lequel s'écoulent les crues moyennes. [1]



Figure I.13. Lit moyen d'un cours d'eau [1]

➤ **Le lit majeur**

Le lit majeur comprend les zones basses situées de part et d'autre du lit mineur, sur une distance qui va de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres. Sa limite est celle des crues exceptionnelles.

- ✓ **Les zones d'écoulement**, au voisinage du lit mineur ou des chenaux de crues, où le courant a une forte vitesse ;
- ✓ **Les zones d'expansion** de crues ou de stockage des eaux, où la vitesse est faible. Ce stockage est fondamental, car il permet le laminage de la crue, c'est-à-dire la réduction du débit et de la vitesse de montée des eaux à l'aval.

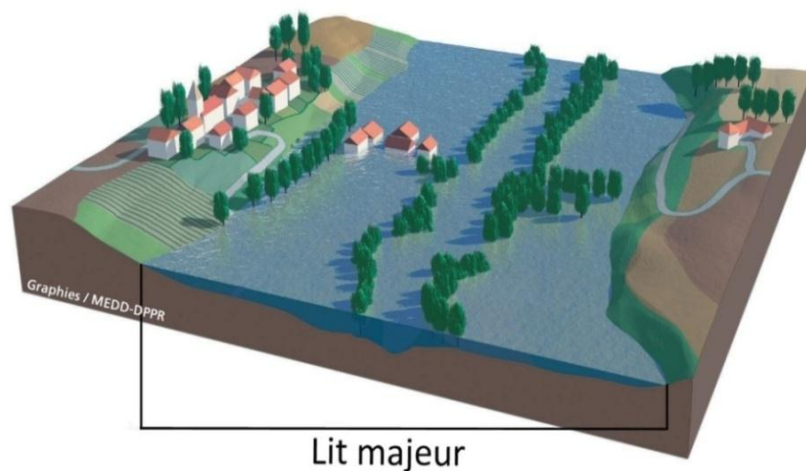


Figure I.14. Lit majeur d'un cours d'eau [1]

I.11.2. Rive, Berge

La berge est le talus incliné qui sépare le lit mineur et le lit majeur. Tandis que la rive est le milieu géographique qui sépare les milieux aquatique et terrestre. Elle démarre au sommet de la berge et constitue une partie plate plus ou moins étendue qui reste sous l'influence du milieu aquatique. [5]

I.11.3. Ripisylve

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

- Une diminution des vitesses dans le lit majeur, et donc réduction des effets érosifs du courant ;
- Un écrêtement des crues pour l'aval. [5]

I.11.4. Alluvions et substratum

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

I.12. Principes et notion de « Risque d'inondation »

Le risque d'inondation est la conséquence de deux composantes : l'eau qui peut sortir de son lit habituel d'écoulement et l'homme qui s'installe dans l'espace alluvial pour y implanter toutes sortes de constructions, d'équipements et d'activités. [1]

I.12.1. Qu'est ce qu'un risque majeur ?

Un risque majeur est la possibilité d'un événement, dont les effets peuvent mettre en jeu un grand nombre de personnes, occasionner des dommages importants et dépasser les capacités de réaction de la société. Il est caractérisé par sa faible probabilité d'occurrence et par son énorme gravité. Il résulte de la confrontation d'un aléa avec un ou plusieurs enjeux. Son existence est liée :

- D'une part à la présence d'un événement, qui est la manifestation d'un phénomène naturel (l'aléa) ;
- D'autre part à l'existence d'enjeux, pouvant être affectés par un phénomène. Les conséquences d'un risque majeur sur les enjeux se mesurent en termes de vulnérabilité.

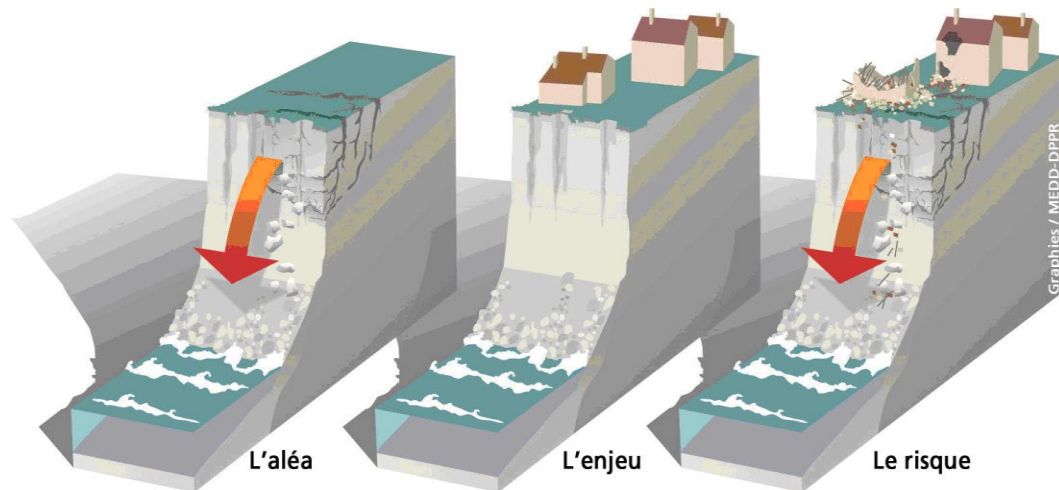


Figure I.15. L'aléa, l'enjeu et le risque [3]

I.12.2. Évaluation du risque d'inondation

L'évaluation du risque d'inondation passe par la caractérisation séparée de l'aléa et de la vulnérabilité que l'on croise par la suite.

I.12.2.1. L'aléa

L'aléa est la manifestation d'un phénomène d'occurrence et d'intensités données susceptible d'engendrer des dommages. Il représente un événement menaçant ayant une probabilité d'occurrence dans une région au cours d'une période donnée. [1]

Selon leur intensité et leur occurrence, les degrés d'alea peuvent être classés comme suit :

- **Aléa majeur** : aléa très exceptionnel, les risques de dommage sont extrêmement graves et immédiats. Les vies humaines sont directement menacées.
- **Aléa fort** : les risques de dommage y sont très redoutables. En général, il n'existe pas de mesures de protection efficaces et économiquement opportunes.
- **Aléa moyen** : zone concernée par des manifestations physiques encore très dommageables. En général, des mesures de protection sont possibles.
- **Aléa faible** : zone concernée par des manifestations très limitées toutefois, on n'y est pas à l'abri localement des conséquences de tout autre aléa, notamment en cas d'événement très exceptionnel.

I.12.2.2. La vulnérabilité

La Vulnérabilité traduit un degré de perte par une quantification des dommages infligés à une région, en conséquence ou suite à un phénomène susceptible d'engendrer des victimes et des dommages matériels. [1]

I.12.2.3. Les enjeux

Les enjeux représentent l'ensemble des personnes et des biens susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel. Ils sont généralement classés en trois types : Les enjeux humains, Les enjeux économiques et Les enjeux environnementaux.

I.12.2.4. Le risque d'inondation

Le risque d'inondation est l'espérance mathématique de pertes au cours d'une période de référence et dans une région bien définie. Il est proportionnel à la vulnérabilité des constructions et infrastructures et aux enjeux (humains économiques et environnementaux) et dépend donc de l'extension de cette région. Il s'agit en fait de la probabilité d'avoir des dégâts suite à une crue et/ou inondation. Son évaluation mathématiquement est exprimée par le produit entre l'aléa et les enjeux.



Figure I.16. Les risques d'inondation [6]

I.13. Conclusion

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

Le risque d'inondation est l'espérance mathématique de pertes au cours d'une période de référence et dans une région bien définie. Il est proportionnel à la vulnérabilité des constructions et infrastructures et aux enjeux (humains économiques et environnementaux) et dépend donc de l'extension de cette région. Il s'agit en fait de la probabilité d'avoir des dégâts suite à une crue et/ou inondation. Son évaluation mathématiquement est exprimée par le produit entre l'aléa et les enjeux.

Chapitre II.

Présentation de la région d'étude

Chapitre II. Présentation de la région d'étude

II.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à une description générale du sous bassin versant FAIDH BOURATEM afin de donner les indications géographiques, géomorphologiques, géologique et hydrogéologiques, bases indispensables à la compréhension future des mécanismes hydrologiques. En effet l'altitude, les cours d'eau et la forme d'un bassin versant reliées à la lithologie renseignent sur le type de réponse hydrologique du bassin. Aussi, l'ensemble des principales caractéristiques physiographiques qui jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau, a une forte influence sur la répartition spatio-temporelle des précipitations et des écoulements au sein du bassin étudié.

II.2. Présentation de la zone d'étude

II.2.1. Situation géographique du bassin versant de FAIDH BOURATEM

Le sous bassin versant d'oued FAIDH BOURATEM est situé au l'amont de centre MUILHA au chef lieu de la willaya de M'SILA. [7]



Figure II.1. Localisation de la zone d'étude
(Ville de Mouilha M'sila)

Figure II.2. Inondation de la ville Mouilha à
10/06/2015

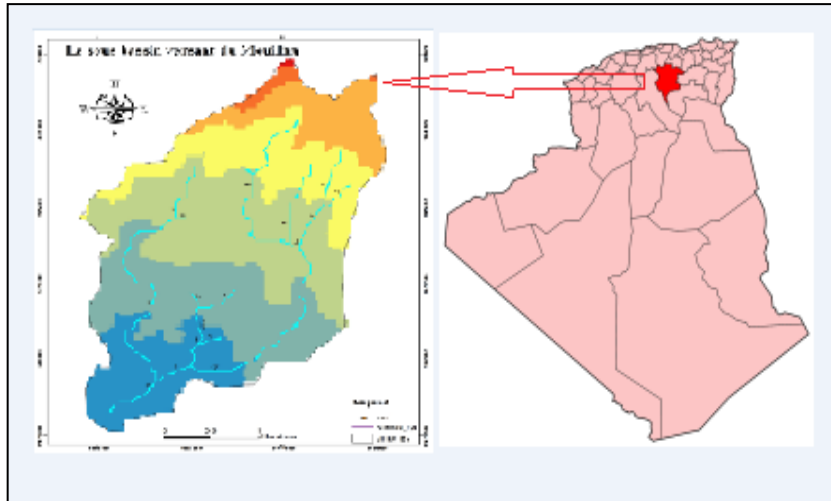


Figure II.3. Situation du sous bassin versant de la Mouilha

II.3. Situation climatique du sous bassin versant de FAIDH BOURATEM

II.3.1. Climatologie

Le climat d'une région est influence par de nombreux paramètres climatologiques qui sont :

- La température ;
- Les vents ;
- Le sirocco ;
- L'humidité ;

Dans notre d'étude le sous bassin versant de FAIDH BOU RATEM., il n'y a pas de stations climatiques. Cependant, les différents phénomènes météorologiques d'intérêt peuvent être caractérisés, avec une précision suffisante pour les besoins de l'étude, à partir des données des stations voisines. Pour représenter les stations climatiques dans le bassin versant, nous avons choisi la station de KSOB. [7]

II.3.2. Température

La température, seconde facture consécutive du climat, influe sur le développement de la végétation et le fonctionnement du système racinaire et elle affecte les relations physiologiques entre les organes souterrains et les organes aériens,

La température moyenne annuelle est de 19.35°C. Les températures d'hiver sont de l'ordre de 9.16°C et montent à presque 32.07°C en été. [7]

Tableau II.1. Températures moyennes mensuelle (°C) à M'SILA [7]

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JIUN	JIUL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	MA
T° (c)	8.39	9.90	14.32	17.28	22.76	28.67	32.07	31.13	25.28	20.13	13.06	9.16	19.35

II.3.3. Vents

Le vent est un air en mouvement qui se déplace des zones de haute pression vers les zones de basse pression.

Le tableau suivant représente la vitesse moyenne mensuelle et annuelle des vents durant la période 2001-2005[7].

Tableau II. 2. la vitesse moyenne mensuelle des vents [7]

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	MA
Vitesse moy (m/s)	4,12	3,4	4,8	5,4	5,14	4,5	4,5	4,2	4,1	3,64	3,98	4,12	4,32

II.3.4. Évaporation

La répartition mensuelle de l'évaporation (en mm) puis son évaluation en pourcentage. [7]

Tableau II.3.Évaporations moyennes mensuelle à M'SILA [7]

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	Total
(mm)	73.3	109.4	182.3	203.1	274.0	324.1	365.6	334.6	222.7	195.9	94.0	77.7	2456.7

II.3.5. Pluviométrie

II.3.5.1. Station et données disponibles

Les données pluviométriques disponibles dans la région ont été sélectionnées à partir du réseau d'observation de l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH).

Aucun poste pluviométrique n'est situé à l'intérieur du bassin versant du site MOUILHA. Cependant la station pluviométrique de Barrage KSOB située à proximité de la zone d'étude possède une période d'observation de 31 années qui ont été utilise dans cette étude. [8]

Tableau II.4. Les coordonnées de station référence

Station	code	Coordonnées			Année de service
		X (km)	Y (km)	Z (km)	
BARRAGE KSOB	05.10.01	668.7	282.65	600.00	1980

La répartition mensuelle de la pluie moyenne annuelle à la station KSOB est la suivante : [8]

Tableau II.5. Répartition mensuelle de la pluie moyenne annuelle [7]

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	M A
Pluie moyenne (mm)	12.55	22.47	30.72	16.77	12.55	19.27	19.71	21.50	30.78	10.89	3.87	5.71	206.79

II.4. Caractéristique géomorphologique de bassin versant

II.4.1. Définition du bassin versant

Le bassin versant est une unité géographique définie à partir d'une section droite d'un cours d'eau et qui comprend toute la surface en amont de cette section de telle sorte que toute l'eau qui arrive sur cette surface, forme un point unique de l'espace qu'on appelle l'exutoire.

[4]

Selon la nature de terrains, on peut distinguer deux types de bassins versants :

- **Bassin versant topographique** : il est limité par des lignes de crêtes et des lignes de plus grande pente.
- **Bassin versant hydrogéologique** : on ajoutera aux considérations topographiques des considérations hydrogéologiques qui définies par les eaux souterraines.

II.4.2. Caractéristique morpho-métriques

II.4.2.1. La surface (A)

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits vont être en partie reliés à sa surface. La surface du bassin versant peut-être mesurée par superposition d'une grille dessinée sur papier transparent, par l'utilisation d'un planimètre ou par des techniques de digitalisation (logiciel ArcGis ...).

II.4.2.2. Le périmètre (P)

Une fois le bassin versant est délimité sur carte topographique, son périmètre peut être mesuré par un curvimètre ou par des techniques de digitalisation (logiciel ArcGis ...).

II.4.2.3. Longueur du cours d'eau principal

C'est le thalweg le plus long.

II.4.2.4. Caractéristique de forme (KG)

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

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

Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser le milieu, mais aussi de comparer les bassins versants entre eux. Citons à titre d'exemple l'indice de compacité de Gravelius (1914) KG, défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \dots \dots \dots (II.1)$$

Avec :

P : Périmètre du bassin versant.

S : Surface du bassin versant.

- Lorsque $K_G = 1$, Le BV est de forme circulaire. Lorsque $K_G = 1,12$: le BV est un carré.
- Lorsque K_G se rapproche de 1 : le bassin est de forme compacte ou arrondi.
- Lorsque K_G est supérieur à 1 : le bassin est de forme allongée.

II.4.2.5. Le rectangle équivalent :

Est un rectangle qui a la même surface que le bassin, le même indice de compacité et de distribution hypsométrique identique. Il s'agit d'une transformation purement géométrique du bassin dans un rectangle de même périmètre, en transformant les courbes de niveau dans des droites parallèles au plus petit côté. [2]

- Le rectangle équivalent est caractérisé par la longueur « L » et la largeur « l » définit respectivement par les formules suivantes.
- P et A le périmètre et la surface du bassin versant.

On a, d'après les définitions ci-dessus :



$P = 2 \cdot (L_{rec} + l_{rec})$, $A = L_{rec} \cdot l_{rec}$ et $K_G = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}} = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$. En combinant ces 3 relations, on obtient respectivement L_{rec} et l_{rec} la longueur et la largeur du rectangle équivalent.

$$L_{rec} = \frac{K_G \sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right] \dots\dots\dots (II.2)$$

$$l_{rec} = \frac{K_G \sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right] \dots\dots\dots (II.3)$$

Tableau II.6. Distribution de longueur en fonction de la l'altitude dans le sous bassin versant FAIDH BOU RATEM

Hi	Si (Km2)	Longueur (km)
480-500	1.56	0.89
500-520	2.47	1.41
520-540	2.95	1.69
540-560	1.75	1
560-580	1.03	0.59
580-600	0.12	0.07
600-603	0.012	0.01

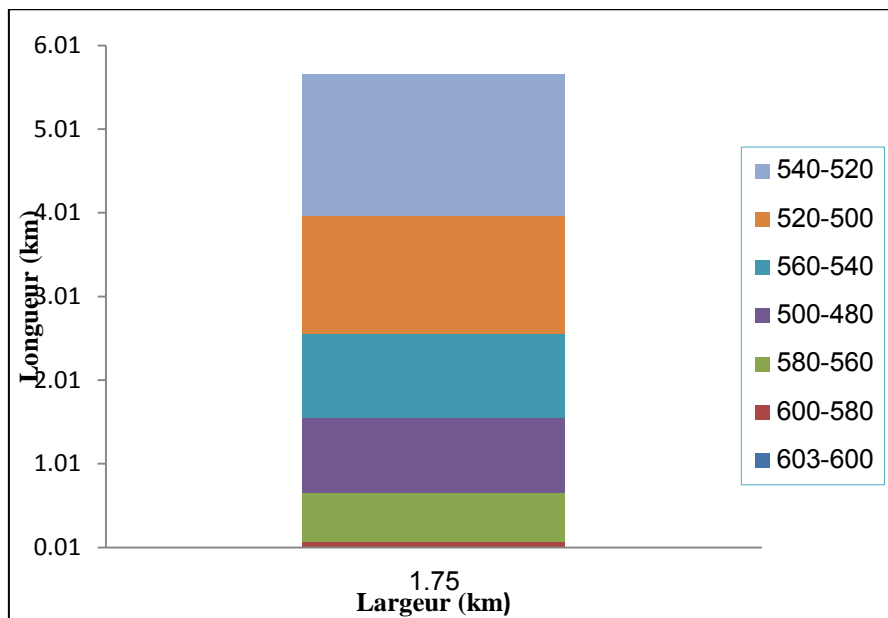


Figure II.4. Le rectangle équivalent du sous bassin versant FAIDH BOU RATEM

II.4.3. Caractéristiques Hypsométriques (Altitudes)

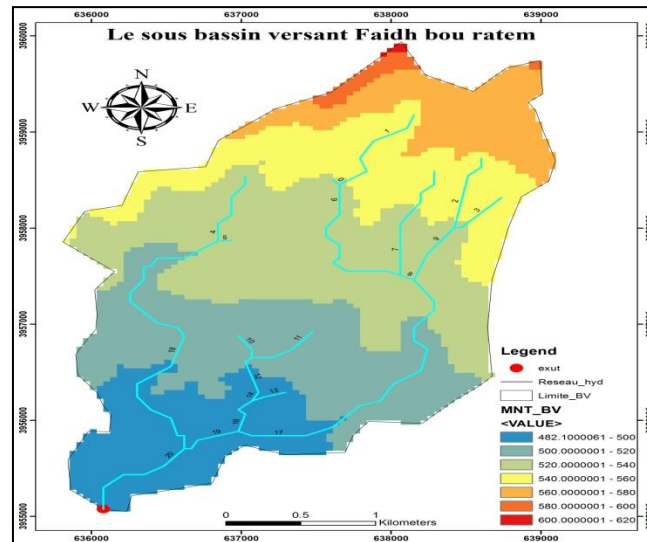


Figure II.5. Carte d'altitudes du sous bassin versant FAIDH BOURATEM

II.4.3.1. Les altitudes maximale et minimale (H_{max} et H_{min})

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

II.4.3.2. La courbe hypsométrique

Elle représente les surfaces dominées au-dessus de chaque niveau et par conséquent, caractérise en partie le relief. On utilise aussi la courbe de distribution, c'est-à-dire, la proportion en pourcentage de la surface totale du bassin comprise entre des courbes de niveau.

Pour estimer ces paramètres on doit présenter la répartition hypsométrique après planimétrie des aires partielles comprises entre les courbes de niveau maîtresses et les différentes cotes. [4]

Tableau II.7. Répartition hypsométrique du bassin versant d'oued MUILHA

Altitudes (m)	Superficies partielles		Superficies cumulées		Altitude moyenne (m)
	(Km ²)	(%)	(Km ²)	(%)	
480-500	1.56	15.78	1.56	15.78	490
500-520	2.47	24.93	4.03	40.71	510
520-540	2.95	29.8	6.98	70.51	530
540-560	1.75	17.59	8.73	88.1	550
560-580	1.03	10.49	9.76	98.59	570
580-600	0.12	1.29	9.88	99.88	590
600-603	0.012	0.12	9.90	100	603
Total	9.90	100			

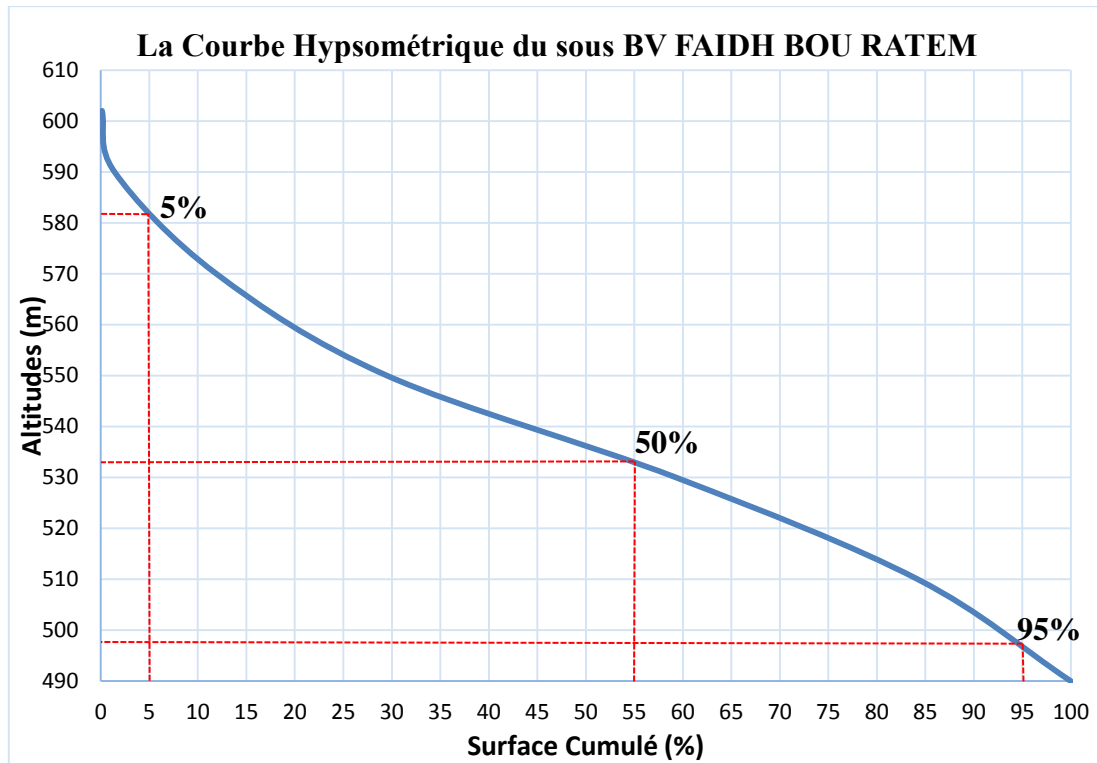


Figure II.6.La courbe hypsométrique du sous bassin versant de Mouilha

II.4.3.3. Altitude moyenne du bassin versant

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 A_i comprises entre les courbes de niveau, et des altitudes moyennes correspondantes h_i :

$$H_{moy} = \sum_1^i \frac{A_i \cdot h_i}{A} \dots \dots \dots (II.4)$$

Avec :

- H_{moy} : altitude moyenne du bassin [m] ;
- A_i : aire comprise entre deux courbes de niveau [km²] ;
- h_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m] ;
- A : superficie totale du bassin versant [km²].

II.4.3.4. L'altitude médiane ($H_{50\%}$)

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique.

II.4.3.5. La dénivelée simple (D)

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

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} \dots \dots \dots (II.5)$$



II.4.3.6. Dénivelée spécifique (Ds)

L'indice I_g décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente, il était donc difficile de comparer des bassins de tailles différentes.

La dénivelée spécifique D_s ne présente pas cet inconvénient : elle dérive de la pente globale I_g en la corrigeant de l'effet de surface admis étant inversement proportionnel à A :

$$D_s = I_g \cdot \sqrt{A} = \frac{D}{L} \sqrt{L \cdot \bar{I}} = D \sqrt{\frac{\bar{I}}{L}} \dots \dots \dots (II.6)$$

La dénivelée spécifique ne dépend donc que de l'hypsométrie ($D = H5\% - H95\%$) et de la forme du bassin (\bar{I}/L). Elle donne lieu à une deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M., indépendante des surfaces des bassins.

Tableau II.8.Classification des reliefs d'après l'O.R.S.T.O.M.

R1	Ds < 10 m	Relief très faible
R2	10 m < Ds < 25 m	Relief faible
R3	25 m < Ds < 50 m	Relief assez faible
R4	50 m < Ds < 100 m	Relief modéré
R5	100 m < Ds < 250 m	Relief assez fort
R6	250 m < Ds < 500 m	Relief fort
R7	500 m < Ds	Relief très fort

II.4.3.7. Les indice de pentes

L'objectif de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin versant et de permettre des comparaisons et des classifications.

II.4.3.7.1. La pente moyenne du bassin versant (I_m)

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

La pente moyenne d'un bassin versant peut se calculé par l'expression suivante :

$$I_m = \frac{D \cdot L}{A} \dots \dots \dots (II.7)$$

Avec :

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

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

A : surface du bassin versant [km²].



II.4.3.7.2. L'indice de pente Roche (I_p)

Il permet de déterminer la pente moyenne avec les données réelles de bassin versant, il est calculé par l'expression suivante :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L_{rec}}} \sum_{i=1}^n \left(X_i \sqrt{\frac{d}{X_i}} \right) \dots \dots \dots (II.8)$$

Où :

I_p : indice de pente [%],

L_{rec} : longueur du rectangle [m],

x_i : distance qui sépare deux courbes sur le rectangle [m] (la largeur du rectangle étant constante, cette distance est égale au facteur de pondération),

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

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

II.4.3.7.3. Indice de pente globale (I_g)

Il estimer pour la classification des bassins versant, cet indice est déterminé par la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L_{rec}} \dots \dots \dots (II.9)$$

Avec :

D : Dénivelée en[m] ;

L : étant la longueur du rectangle équivalent [km].

Cet indice, très facile à calculer, est des plus utilisés. Il sert de base à une des classifications (O.R.S.T.O.M. actuellement IRD) pour des bassins versants dont la surface est de l'ordre de 25 km² :

Tableau II.9. Classification ORSTOM du relief à partir de l'indice de pente globale

<i>Relief</i>		<i>Valeur de I_g</i>
1	Très faible	$I_g < 0.002$
2	Faible	$0.002 > I_g > 0.005$
3	Assez faible	$0.005 > I_g > 0.01$
4	Modéré	$0.01 > I_g > 0.02$
5	Assez modéré	$0.02 > I_g > 0.05$
6	Fort	$0.05 > I_g > 0.1$
7	Très fort	$0.1 < I_g$

II.4.4. Caractéristiques Hydrographique :

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

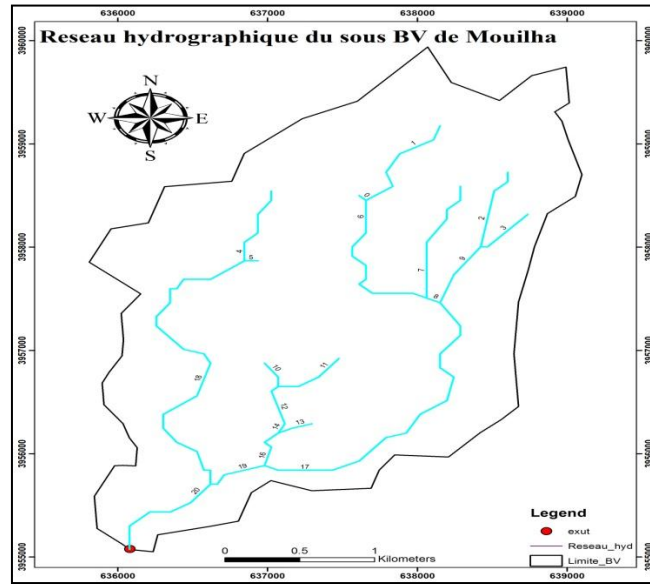


Figure II.7. Réseau hydrographique de sous bassin versant du Mouilha

II.4.4.1. Densité de drainage D_d :

C'est le rapport entre la longueur totale de tous les cours d'eau et la superficie du bassin versant ; est donnée par la formule suivante :

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{S} \dots\dots\dots (II.10)$$

Avec: $\sum_{i=1}^n l_i$: Longueur total cumulée des talwegs (km).

S : surface du bassin versant (km^2).

II.4.4.2. Coefficient de torrentialité (C_t) :

$$C_t = F_t * D_d \dots\dots\dots (II.11)$$

Avec:

F_t : Fréquence des talwegs élémentaire : $F_t = N/S$

II.4.4.3. Rapport de confluence :

C'est le rapport du nombre de thalwegs d'ordre x et de celui des thalwegs d'ordre immédiatement supérieur (x_{+1}). Il est donné par la relation suivante :

$$R_c = \frac{N_x}{N_{x+1}} \dots\dots\dots (II.12)$$

N : nombre des talwegs d'ordre l.

II.4.4.4. Temps de concentration

C'est le temps que met une particule d'eau provenant de point hydrauliquement le plus éloigné du bassin pour arriver à l'exutoire considéré. [7]

Le temps de concentration est déterminé par La formule morpho-métriques suivantes :

➤ **Formule de GIANDOTTI :**

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L_{cp}}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \dots\dots\dots(II.13)$$

II.4.4.5. Vitesse de ruissellement (V_r)

$$V_r = \frac{L_{cp}}{T_c} \dots\dots\dots(II.14)$$

Avec :

L_{cp} : Longueur du cours d'eau principal (Km)

T_c : Temps de concentration (h).

Tableau II.9.Caractéristiques physiographiques de sous bassin versant
FAIDH BOU RATEM

Paramètres du sous BV								
Caractéristiques morpho-métriques	A(Km ²)	9.90	Caractéristiques du relief	H _{max} (m)	603	Caractéristiques hydrographiques	Σ L _i (Km)	15.20
	P(Km)	14.89		H _{min} (m)	490		D _d (%)	1.53
	K _G (-)	1.33		H _{moy} (m)	527		F ₁ (-)	2.12
	L _{rec} (Km)	5.67		H _{5%} (m)	582		C _t (-)	3.26
	I _{rec} (Km)	1.75		H _{95%} (m)	497		L _{cp} (Km)	6.50
	R _C (-)	0.95		H _{50%} (m)	536		T _c (h)	4.59
				D(m)	85		V _r (Km/h)	1.42
				D _s (m)	47.16			
		I _p (%)	9.75					
		I _g (%)	14.99					
		P _{moy} (%)	35.91					

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons essayé de représenter le bassin versant de FAIDH BOU RATEM sur une superficie de 9.90Km^2 , avec un périmètre de 14.89Km , le bassin versant FAIDH BOU RATEM est de forme allongée exprimée par l'indice de compacité, la forme de bassin versant aide à la réponse rapide de l'écoulement, l'altitude varie entre 940m et 603m avec une altitude moyenne de 527 m .

Le bassin versant du FAIDH BOU RATEM est de relief Assez modéré exprimé par l'indice de pente globale qui est de $I_g=14.99$.

Le réseau hydrographique est caractérisé par un cours d'eau principal de 6.50 Km et l'ordre du bassin versant est de 3 avec du temps de concentration de 4.59Heures , et une vitesse de ruissèlement de 1.42Km/h .

Chapitre III.
Etude hydrologique

Chapitre III. Étude hydrologique

III.1.Introduction

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

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

L'objectif de toute étude hydrologique est de déterminer pour un bassin versant donné les hydrogrammes de crues à différentes périodes de retour et de définir les débits maxima probables correspondants qui seront utilisée comme conditions aux limites dans l'étude hydraulique. A cet effet, l'utilisation d'un modèle de calcul des débits et d'estimation des eaux à l'échelle d'un bassin versant devient nécessaire.

III.2. Précipitation

III.2.1. Station et données disponibles

Les données pluviométriques disponibles dans la région ont été sélectionnées à partir du réseau d'observation de l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH).

Aucun poste pluviométrique n'est situé à l'intérieur du sous bassin versant du site MUILHA. Cependant la station pluviométrique de KSOB située à proximité de la zone d'étude possède une période d'observation de 31 années qui ont été utilisé dans cette étude [7].

Tableau III.1. Les cordonnées de station référence

Station	code	Coordonnées			Année de service
		X (km)	Y (km)	Z (km)	
KSOB BARRAGE	05.09.01	668.7	282.65	600.00	1980

La répartition annuelle de la pluie moyenne annuelle à la station KSOB. est la suivant :

Tableau III.2. Pluies max annuelles

Station		KSOB	
Code	050901		
Année	P _j max (mm)	Année	P _j max (mm)
1980	16.5	1996	38
1981	31.5	1997	527
1982	27	1998	42.7
1983	18.5	1999	38.5
1984	24	2000	58.5
1985	40.5	2001	23.4
1986	38	2002	26.5
1987	37.5	2003	44.5
1988	32	2004	15.4
1989	51.5	2005	35
1990	52.9	2006	56
1991	39.5	2007	35.5
1992	31	2008	37
1993	39	2009	55.5
1994	52.5	2010	23
1995	45		

L'histogramme à la figure (III.1) montre la variation annuelle de pluies maximales journalières. On note une augmentation des débits de l'année 1980 et 2010.

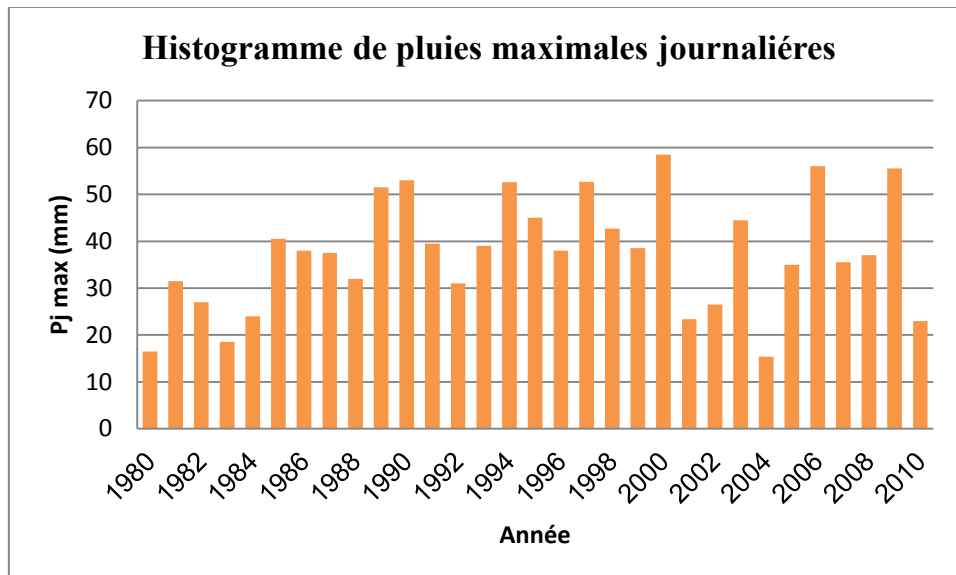


Figure III.1. La répartition max annuelle des pluies

III.3. Ajustement des pluies maximales journalières

L'ajustement des pluies maximales journalières sera effectué à l'aide du logiciel Hydrolab. On a effectué l'ajustement de la série des pluies maximales journalières à des lois différentes, en utilisant le logiciel Hydrolab, avec une comparaison entre les lois.

Hydrolab est un logiciel d'ajustement de lois statistiques, qui possède les fonctionnalités Suivantes:

- ✓ Vérification d'hypothèses : indépendance, homogénéité, présence de tendances ou valeurs singulières, adéquation des lois théoriques aux données observées.
- ✓ Ajustement à 16 lois (exponentielle, GEV, Gumbel, normale, log-normale (deux ou trois paramètres), Weibull, Gamma (ou Pearson, deux ou trois paramètres),
- ✓ Calcul de quantiles avec intervalles de confiance (avec les quantiles de loi normale)
- ✓ Choisir la classe de distributions la plus adéquate pour estimer le quantile de période de retour élevée, et l'interfaçage avec tableurs.

Cet ajustement nous permet d'évaluer les pluies maximales journalières pour n'importe quelle période de retour. L'analyse statistique a montré que cette série s'ajuste mieux selon la loi de Gumbel.

III.3.1. Ajustement suivant la loi de GUMBEL

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

$$F(y) = e^{-e^{-y}} \dots\dots\dots (III.1)$$

Tel que :

$$y = a(x - x_0),$$

1/a : la pente de la droite de GUMBEL,

y : variable réduite de GUMBEL,

x : précipitation maximale journalière (mm),

x_0 : ordonnée à l'origine en (mm),

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

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

- ✓ Classer les valeurs des précipitations par ordre croissant avec attribution d'un rang $i=1, 2, 3, \dots, n$.

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

$$F(x) = \frac{i - 0,5}{N}$$

D'où : i : rang de précipitation.

n : nombre d'observations ($n = 31$).

- ✓ Calculer la variable réduite de *GUMBEL* donnée par la formule : $y = -\ln(-\ln(F(x)))$.
- ✓ Calculer les paramètres d'ajustement « a » et « x_0 ».
- ✓ Représenter graphiquement les couples (x_i, y_i) sur papier *GUMBEL*.

Tableau III.3. Les résultats d'ajustement suivant la loi de GUMBEL

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
16.5	15.4	1	0.016	-1.418	15.4	18.59448	9.80251	23.41834
31.5	16.5	2	0.048	-1.108	16.5	21.51197	14.1217	25.85653
27	18.5	3	0.081	-0.923	18.5	23.25327	16.6393	27.37211
18.5	23	4	0.113	-0.780	23	24.60554	18.5523	28.59116
24	23.4	5	0.145	-0.657	23.4	25.75942	20.1489	29.6672
40.5	24	6	0.177	-0.548	24	26.79434	21.5479	30.66531
38	26.5	7	0.210	-0.446	26.5	27.75201	22.8107	31.62062
37.5	27	8	0.242	-0.350	27	28.65762	23.9737	32.5551
32	31	9	0.274	-0.258	31	29.52798	25.0607	33.48403
51.5	31.5	10	0.306	-0.168	31.5	30.37522	26.0881	34.41898
52.98	32	11	0.339	-0.079	32	31.20867	27.0683	35.36926
39.5	35	12	0.371	0.008	35	32.03603	28.0109	36.34287
31	35.5	13	0.403	0.096	35.5	32.86394	28.9244	37.34702
39	37	14	0.435	0.185	37	33.69855	29.8159	38.38858
52.59	37.5	15	0.468	0.275	37.5	34.54579	30.6924	39.47443
45	38	16	0.500	0.367	38	35.41171	31.5607	40.61184
38.02	38.02	17	0.532	0.461	38.02	36.30275	32.4274	41.80889
52.66	38.5	18	0.565	0.559	38.5	37.22604	33.2999	43.07485
42.72	39	19	0.597	0.661	39	38.18977	34.1861	44.42082
38.5	39.5	20	0.629	0.769	39.5	39.20367	35.0949	45.86048
58.5	40.5	21	0.661	0.883	40.5	40.27972	36.0365	47.41111
23.4	42.72	22	0.694	1.005	42.72	41.43306	37.0238	49.09514
26.5	44.5	23	0.726	1.138	44.5	42.68353	38.0727	50.94255
44.5	45	24	0.758	1.284	45	44.0581	39.2044	52.99463
15.4	51.5	25	0.790	1.447	51.5	45.59503	40.4483	55.31056
35	52.59	26	0.823	1.633	52.59	47.3515	41.8477	57.97946
56	52.66	27	0.855	1.853	52.66	49.41904	43.4713	61.14464
35.5	52.98	28	0.887	2.122	52.98	51.95853	45.439	65.0588
37	55.5	29	0.919	2.476	55.5	55.29567	47.9926	70.23456
55.5	56	30	0.952	3.004	56	60.27154	51.7545	77.99767
23	58.5	31	0.984	4.119	58.5	70.78352	59.6004	94.49931

Fréquence	U.Gumbel	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0.8	1.500	46.096	40.849	56.069	46.09562	0.80	5.00
0.9	2.250	53.169	46.369	66.933	53.16929	0.90	10.00
0.95	2.970	59.955	51.516	77.502	59.95452	0.95	20.00
0.98	3.902	68.737	58.080	91.280	68.73732	0.98	50.00
0.99	4.600	75.319	62.961	101.643	75.31878	0.99	100.00
0.999	6.907	97.066	78.982	135.993	97.06601	1.00	1000.00

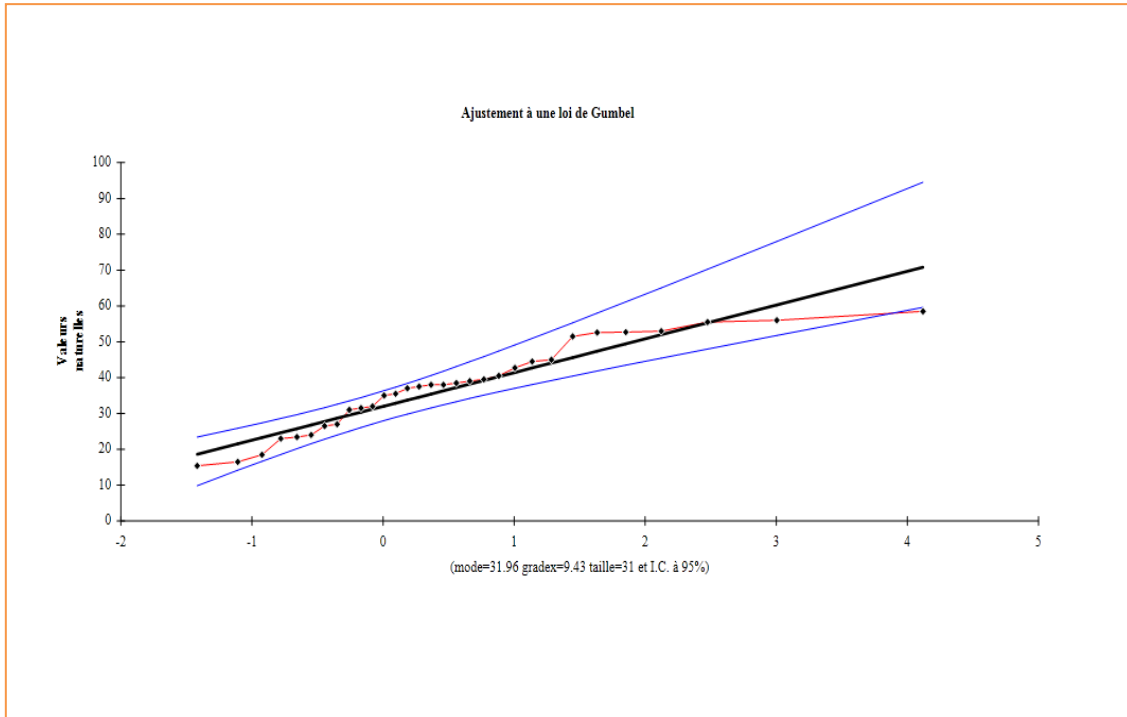


Figure III.2. Ajustement à une loi de GUMBEL

III.3.2. Ajustement suivant la loi de GALTON (Log Normale)

Le procédé d’ajustement est identique à celui établi pour la loi de GALTON. Seule la représentation graphique change où elle est faite sur du papier log-normale. La loi de GALTON a une fonction de répartition qui s’exprime selon la formule suivante :

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

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

L’équation de la droite de GALTON est la suivante :

$$\text{Log } x(p \%) = \overline{\text{Log } x} + \sigma \cdot \text{Log } u(p \%)$$

$$\text{Log } X = \frac{\sum_{i=1}^{30} \overline{\text{Log } X_i}}{N} \dots\dots\dots (III.3)$$

Tableau III.4. Les résultats d'ajustement suivant la loi de GALTON (Log Normale)

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
16.5	15.4	1	0.016	-2.142	15.4	16.3185	12.133	19.820269
31.5	16.5	2	0.048	-1.661	16.5	19.4028	15.1392	22.976351
27	18.5	3	0.081	-1.401	18.5	21.3085	17.0375	24.930509
18.5	23	4	0.113	-1.211	23	22.815	18.5512	26.486217
24	23.4	5	0.145	-1.057	23.4	24.1159	19.863	27.841751
40.5	24	6	0.177	-0.925	24	25.2928	21.0503	29.080883
38	26.5	7	0.210	-0.807	26.5	26.3893	22.1544	30.248346
37.5	27	8	0.242	-0.700	27	27.4316	23.2004	31.371739
32	31	9	0.274	-0.600	31	28.4377	24.2049	32.46997
51.5	31.5	10	0.306	-0.506	31.5	29.4203	25.18	33.557149
52.98	32	11	0.339	-0.416	32	30.3895	26.1348	34.644611
39.5	35	12	0.371	-0.329	35	31.3536	27.0767	35.74209
31	35.5	13	0.403	-0.245	35.5	32.3198	28.0119	36.858465
39	37	14	0.435	-0.162	37	33.2948	28.9461	38.002294
52.59	37.5	15	0.468	-0.081	37.5	34.2849	29.8846	39.182231
45	38	16	0.500	0.000	38	35.2968	30.8326	40.407413
38.02	38.02	17	0.532	0.081	38.02	36.3386	31.7967	41.689261
52.66	38.5	18	0.565	0.162	38.5	37.4193	32.784	43.040891
42.72	39	19	0.597	0.245	39	38.5481	33.8014	44.476292
38.5	39.5	20	0.629	0.329	39.5	39.736	34.8571	46.012482
58.5	40.5	21	0.661	0.416	40.5	40.9966	35.9613	47.670725
23.4	42.72	22	0.694	0.506	42.72	42.3472	37.1267	49.478359
26.5	44.5	23	0.726	0.600	44.5	43.8104	38.3698	51.471627
44.5	45	24	0.758	0.700	45	45.4171	39.713	53.700299
15.4	51.5	25	0.790	0.807	51.5	47.2111	41.1879	56.235657
35	52.59	26	0.823	0.925	52.59	49.2577	42.8414	59.185283
56	52.66	27	0.855	1.057	52.66	51.6617	44.7481	62.723067
35.5	52.98	28	0.887	1.211	52.98	54.6074	47.0383	67.158147
37	55.5	29	0.919	1.401	55.5	58.4681	49.9736	73.125013
55.5	56	30	0.952	1.661	56	64.2105	54.2239	82.293891
23	58.5	31	0.984	2.142	58.5	76.347	62.8582	102.68456

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0.8	0,001	47.79477133	41.66253	57.07080257	47.7948	0,001	5
0.9	0,001	56.00931534	48.11228	69.30536685	56.0093	0,001	10
0.95	0,002	63.84495193	53.95692	81.70036651	63.845	0,001	20
0.98	0,002	73.97933158	61.20503	98.60708885	73.9793	0,001	50
0.99	0,002	81.61269882	66.48852	111.9127905	81.6127	0,001	100
0.999	0,003	107.4590975	83.57232	160.0761477	107.459	0,001	1000

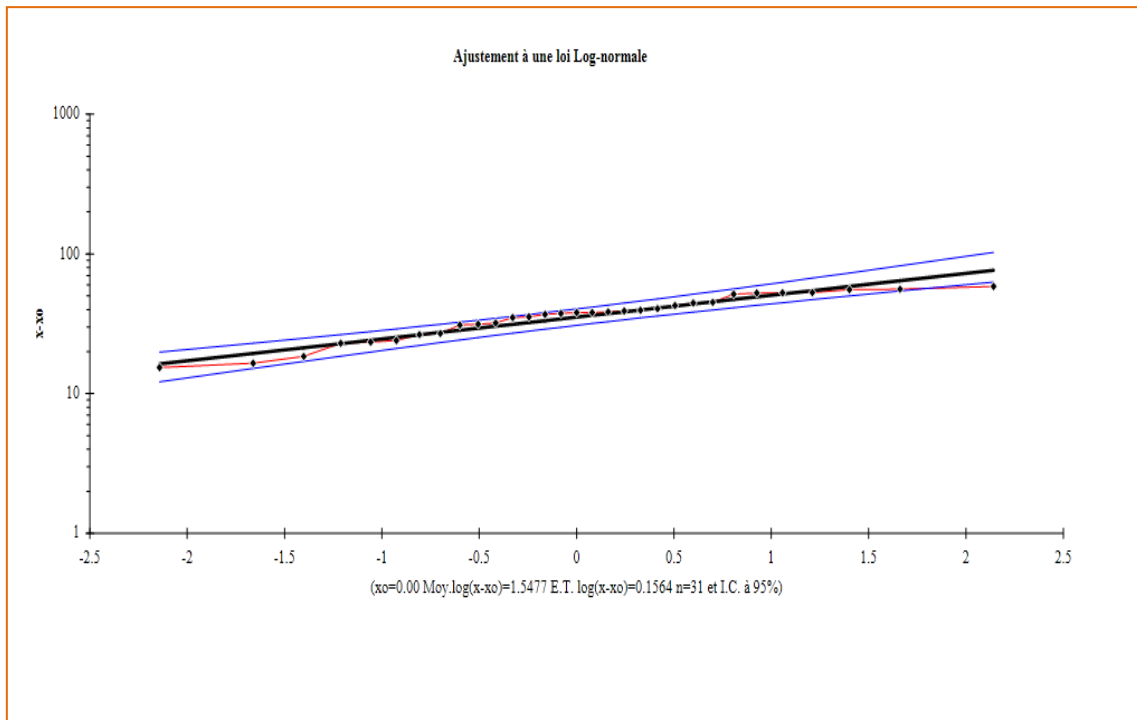


Figure III.3. Ajustement à une loi de GALTON

III.3.3. Comparaison entre les deux lois d’ajustement

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

III.4. Pluies de courtes durées de différentes fréquences

Pour la détermination des données pluviométriques des pluies de courte durée (averses) qui sont exprimées à travers les caractéristiques : Intensité-Durée-Fréquence, on a fait appel à la méthode générale.

La pluie d’une durée t pour une telle fréquence est donnée par la loi de MONTANARI.

$$P_{tc} = P_{j \max} \left(\frac{T_c}{24} \right)^b \dots\dots\dots(III.4)$$

Avec :

P_{tc} : Pluie de courte durée de fréquence donnée, mm

$P_{j \max}$: Pluie maximale journalière de fréquence donnée ; mm

T_c : Temps de concentration ; Heure ;

b : Coefficient climatique=0.24 ; cet exposant climatique dépendant de la position géographique, déterminé à partir de la carte iso lignes de l'exposant climatique établi par les caractéristiques pluviographiques de la région. [7]

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau N°III.5.

Tableau.III.5. Pluies de courte durée du sous bassin versant FAIDH BOU RATEM

Fréquence	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.999
Période de retour (an)	5	10	20	50	100	1000
Pluie max (mm)	47.79	56.01	63.86	73.97	81.61	107.46
Pluie de courte durée (mm)	32.13	37.66	42.94	49.73	54.87	72.25

L'intensité des pluies est donnée par la formule suivante :

$$I = \frac{P_{tc}}{t} \dots\dots\dots(III.5)$$

Les résultats de calcul sont représentés dans le tableau suivant :



Tableau III.6. Intensité des pluies (mm/h) de l'Oued Mouilha

Fréquence	Période de retour (an)	Pluie de courte durée (mm)	Temps (heure)											
			2	4	6.5	8	10	12	14	16	18	20	22	24
0.8	5ans	32.1	16.065	8.0325	4.943077	4.0163	3.213	2.6775	2.295	2.008125	1.785	1.6065	1.4605	1.339
0.9	10ans	37.7	18.83	9.415	5.793846	4.7075	3.766	3.1383	2.295	2.35375	2.0922	1.883	1.7118	1.569
0.95	20ans	42.9	21.47	10.735	6.606154	5.3675	4.294	3.5783	3.06714	2.68375	2.3856	2.147	1.9518	1.789
0.98	50ans	49.7	24.865	12.433	7.650769	6.2163	4.973	4.1442	3.55214	3.108125	2.7628	2.4865	2.2605	2.072
0.99	100ans	54.9	27.435	13.718	8.441538	6.8588	5.487	4.5725	3.91929	3.429375	3.0483	2.7435	2.4941	2.286
0.999	1000ans	72.3	36.125	18.063	11.11538	9.0313	7.225	6.0208	5.16071	4.515625	4.0139	3.6125	3.2841	3.01

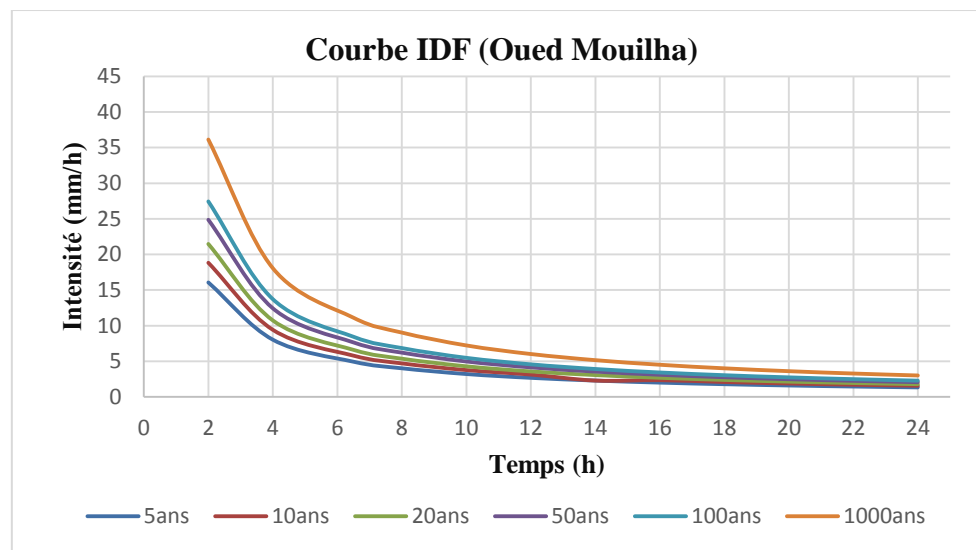


Figure III.4. Intensité-Durées-Fréquences (IDF)

III.5. Estimation empiriques des débits de pointe et des hydrogrammes de crue

Le débit maximum instantané Q_{max} peut être estimé pour différentes fréquences de retour à partir des nombre formules empiriques appliquées aux conditions de l'Algérie (formules de TURAZZA, GIANDOTTI, et SOKOLOVEKY) ces formules utilisent l'estimation de la pluie maximal journalière et celle pour une durée égale au temps de concentration (t_c).

III.5.1. Formules empiriques pour la détermination de la crue

➤ Formule de TURAZZA

La formule de TURAZZA tient compte des pluies maximales de courtes durées, de l'intensité des pluies, de la superficie et du temps de concentration.

$$Q_{max,f\%} = \frac{Cr * P_{tc} * S_{bv}}{3.6 * T_c} \dots \dots \dots (III.6)$$

Avec :

$Q_{max,f\%}$: Débit maximum pour une fréquence donnée (m^3/s).

P_{tc} : pluie de courte durée pour un temps $t = T_c$ en (mm).

S_{bv} : superficie du bassin versant(Km^2).

T_c : temps de concentration (heure).

Cr : coefficient de ruissellement. Avec un exposant climatique $b=0.24$. [7]

Les résultats de calcul pour les différentes périodes de retour sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.1. Débits instantanés de crues de diverses fréquences

Relation de TURAZZA

Fréquence	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.999
Période de retour; an	5	10	20	50	100	1000
Pluie de courte durée	32.13	37.66	42.94	49.73	54.87	72.25
Cr	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.75
$Q_{max,f\%}$ m^3/s	7.7	10.15	12.86	16.39	19.72	32.47

➤ Formule de GIANDOTTI

$$Q_{max f\%} = \frac{1.66 * S_{bv} * \sqrt{H_{max} - H_{min}}}{0.8 * \sqrt{S_{bv} + 10.5 * L_{cp}}} \dots \dots \dots (III.7)$$

Avec :

$Q_{max,f\%}$: Débit maximum pour une fréquence donnée (m^3/s).

S_{bv} : superficie du bassin versant en(Km^2) .

H_{max} : Altitude maximale (m).

H_{min} : Altitude minimale (m).

L_{cp} : longueur du talweg principal (km).

Les résultats de calcul pour les différentes périodes de retour sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.8. Débits instantanés de crues de diverses fréquences

Relation de GIANDOTTI

Fréquence	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.999
Période de retour; an	5	10	20	50	100	1000
Pluie de courte durée	32.13	37.66	42.94	49.73	54.87	72.25
$Q_{max,f\%}$ m³/s	457.45	536.18	611.36	708.02	781.21	1028.66

➤ **Formule de SOKLOVSKI**

$$Q_{max f\%} = 0.28 * \frac{P_{tc} * S_{bv} * C_r}{T_c} \dots\dots\dots (III.8)$$

Avec :

$Q_{max,f\%}$: Débit maximum pour une fréquence donnée (m³/s).

P_{tc} : Pluie de courte durée de fréquence donnée, mm

S_{bv} : superficie du bassin versant en(Km²).

C_r : coefficient de ruissellement.

T_c : Temps de concentration ; Heure ;

Les résultats de calcul pour les différentes périodes de retour sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.9. Débits instantanés de crues de diverses fréquences

Relation de SOKLOVSKI

Fréquence	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.999
Période de retour; an	5	10	20	50	100	1000
Pluie de courte durée	32.13	37.66	42.94	49.73	54.87	72.25
C_r	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.75
$Q_{max,f\%}$ m³/s	9.31	12.28	15.56	19.82	23.86	39.27

Résultats de calcul de toutes les formules sont représentés dans le Tableau III.10.

Tableau III.10. Tableau récapitulative des Débits instantanés de crues de diverses fréquences

Période de retour;an	5	10	20	50	100	1000
Fréquence	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.999
Turazza	7.7	10.15	12.86	16.39	19.72	32.47
Giandotti	457.45	536.18	611.36	708.02	781.21	1028.66
Sokolovsky	9.31	12.28	15.56	19.82	23.86	39.27
débit du projet adopté	9.31	12.28	15.56	19.82	23.86	39.27

Commentaire : D’après les résultats obtenus par les différentes méthodes de calcul de débit de crues, on adopte les valeurs médianes.

III.5.2. Hydrogramme des crues

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

L’hydrogramme de crue est établi par la méthode de SOKOLOVSKY qui le trace à base de deux équations paraboliques, lune pour la montée de crue et l’autre pour la décrue. [3]

➤ **Branche de crue (Montée) :**

$$Q(t) = Q_{max} \left[\frac{t}{T_m} \right]^n \dots\dots\dots(III.9)$$

➤ **Branche de crue (Descente) :**

$$Q(t) = Q_{max} \left[\frac{(T_d + T_c - t)}{T_d} \right]^m \dots\dots\dots(III.10)$$

Tel que :

Q_{max} (%) : débit maximum de fréquence donnée.

Q_t : débit instantané au moment (t).

t_m, t_d : temps de montée et de décrue.

m, n : puissances des paraboles ($m=3, n=2$).

Temps de base : $t_b = t_m + t_d$.

On considère généralement que : $t_d = 4 t_m$, et $t_m = t_c$.

Tableau III.11. Estimation des débits de pointe correspondants Hydrogrammes de crues fréquentielles du sous BV Oued Mouilha

Temps(h)	10 ans	50ans	100 ans	1000 ans
0	0	0	0	0
1	0.58	0.94	1.13	1.86
2	2.33	3.76	4.53	7.46
3	5.25	8.47	10.19	16.76
4	9.33	15.05	18.12	29.82
4.59	12.28	19.82	23.86	39.27
5	11.22	18.1	21.79	35.87
6	8.88	14.33	17.26	28.39
7	6.89	11.13	13.4	22.05
8	5.23	8.44	10.16	16.72
9	3.89	6.22	7.49	12.33
10	2.75	4.44	5.34	8.79
11	1.88	3.03	3.64	5.1
12	1.21	1.95	2.35	3.87
13	0.72	1.17	1.41	2.32
14	0.39	0.63	0.76	1.25
15	0.18	0.29	0.35	0.57
16	0.06	0.1	0.12	0.2
17	0.01	0.02	0.02	0.04
18	0.0002	0.0004	0.0004	0.0007
18.36	0	0	0	0

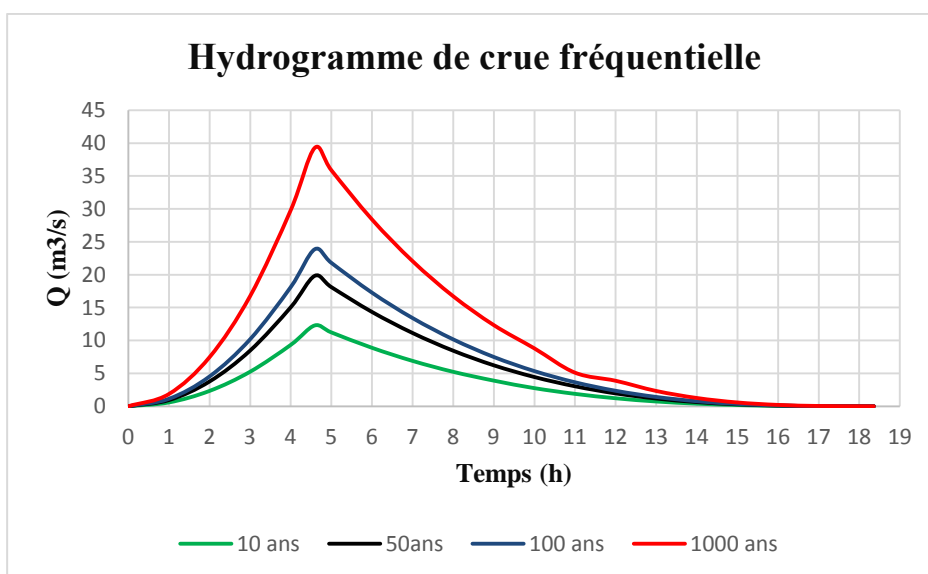


Figure III.5. Hydrogrammes de crue fréquentielle du sous BV Mouilha



III.6. Détermination du volume de la crue

Le volume de crue donnée par la relation suivante : [5]

$$W_1 = \frac{(Q_{max}t_m)}{m+1} \dots\dots\dots(III.11)$$

$$W_2 + \frac{(Q_{max}t_d)}{n+1} \dots\dots\dots(III.12)$$

$$W_t = W_1 + W_2 \dots\dots\dots(III.13)$$

Avec :

W_1 : apport pendant la crue (H_m)

W_2 : apport pendant la décrue

W_t : apport total (H_m)

Tableau III.12. Estimation du volume de crue de l’Oued Mouilha

Période de Retour	10 ans	50 ans	100 ans	1000 ans
Q_{max} (m ³ /s)	12.28	19.82	23.86	39.27
$W_1=[t_m/(m+1)].Q_{max}$ (m ³ /s)	14.0913	22.74345	27.37935	45.062325
$W_2=[t_d / (n+1)].Q_{max}$ (m ³ /s)	56.3652	90.9738	109.5174	180.2493
$W_t= W_1+W_2$ (m ³) (m ³ /s)	70.4565	113.71725	136.89675	225.311625
$W_t= W_1+W_2$ (hm ³)	7.0457E-05	0.00011372	0.0001369	0.00022531

III.7. Conclusion

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

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

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

- la série pluviométrique suit la loi Log Normal (loi de GALTON).
- Le débit de crue optimal est estimé à 39.27 m³/s.

Chapitre IV. Cartographie des zones inondables

IV.1. Introduction

La cartographie est définie comme l'ensemble des études et des opérations scientifiques, techniques, et artistiques, intervenant à partir des résultats d'observations directes ou de l'exploitation d'une documentation, en vue de l'élaboration, de l'établissement et de l'utilisation de cartes, plans et autres modes d'expression.

La complexité des problèmes liés à l'abondance des données dans un cadre de cartographie du risque inondation (topographie, hydrologie, hydraulique, occupation des sols), nécessite le développement d'interfaces évoluées pour aider l'utilisateur et rendre son intervention plus efficace afin de résoudre les problèmes issus du risque inondation. C'est pour cela, la progression d'outils de cartographie automatiques couplés avec les outils de modélisation hydraulique est une nécessité pour disposer de cartes actualisables contribuant à la gestion du risque inondation. Des programmes de recherche spécifiques sont nécessaires pour faire progresser ce volet et utiliser les capacités de traitement informatique qu'offrent les matériels modernes. [10]

L'objectif principal de ce chapitre est d'exposer les outils et les techniques qui peuvent être utilisés pour cartographier le risque inondation.

IV.2. Les outils utilisés pour l'aide à la cartographié du risque inondation

Il faut tout d'abord signalé que nous avons choisi de se servir d'un code informatique unidimensionnel qui a prouvé son efficacité dans ce genre de calcul hydraulique. Il s'agit bien du code HEC-RAS (**H**ydrologic **E**ngineering **C**enter, **R**iver **A**nalysis **S**ystem ou système d'analyse des rivières du centre d'ingénierie hydrologique) élaboré par l'US Army Corps of Engineers, et publié en freeware depuis 1995. Ce logiciel s'est déjà montré très performant pour ce type d'étude, et bon nombre d'entreprises et de laboratoires le considèrent comme l'outil idéal de première approche (K. DEBIANE 2000 et R. CHAMPREDONDE 2006). Ce système permet d'analyser les débits et le niveau d'eau dans le lit des rivières et de déterminer les zones inondables. Il intègre de nombreux moyens de saisie de données, de composants d'analyse hydraulique, de stockage de données, de restitution sous forme de tableaux et de graphiques. [10]

Nous disposons de la version (HEC-RAS 5.0.3) disponible gratuitement sur le site officiel HECRAS.

En plus du code HEC-RAS, nous nous sommes servis du fameux logiciel ARCGIS, le leader en matière des systèmes d'information géographique.

Les échanges entre les deux programmes étant assurées par une extension développée aussi par HEC, le corps des ingénieurs de l'armée américaine : HEC-GEORAS, dédiée à fonctionner sous

ARCGIS.

Le tout forme donc un dispositif informatique cohérent qui permet dans un premier temps de préparer les données géométriques requises (preprocessing), de faire ensuite les calculs nécessaires (simulation), et d'exploiter enfin les résultats (postprocessing).

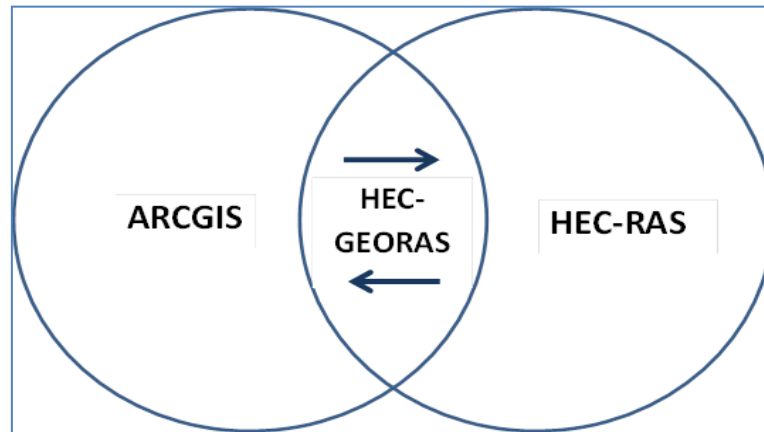


Figure IV.1. Représentation schématique du dispositif informatique utilisé

IV.2.1. Arc GIS

Arc GIS est un logiciel permettant d'exploiter un Système d'Information Géographique (SIG). Un logiciel SIG permet l'acquisition, le stockage, la mise à jour, la manipulation, et le traitement de données géographiques. De plus, il permet de faire de la cartographie et de l'analyse spatiale de façon précise en fonction de l'échelle désirée.

Le principe directeur d'un SIG est le suivant : nous avons d'un côté les données géométriques et de l'autre les données attributaires. Ces données sont stockées sous format numérique et organisées par couches (appelées aussi « shapefiles » dans Arc GIS).

Petit point de détail : Arc GIS est en réalité une suite, qui se décline en trois versions (Arc View, Arc Editor et Arc Info). La différence entre ces versions est le nombre d'options supplémentaires disponibles, ArcView en possédant le moins. Ceci est indépendant des extensions (Spatial Analyst, 3D Analyst... que l'on peut acheter en supplément de chaque série).

Chacune de ces trois versions de la suite Arc Gis est constitué d'une interface Arc Map et d'une interface Arc Catalog. La version 10.3 apporte la possibilité de gérer Arc Catalog et ArcToolBox directement depuis l'interface d'Arc Map. [3]

IV.2.1.1. Présentation de l'interface ArcMap

Arc Map montre, questionne, édite, créé ou analyse des données, sous forme de tables ou de cartes. ArcMap facilite la disposition des cartes lors de la mise en page pour l'impression, l'intégration dans d'autres documents et l'édition de documents électroniques. L'interface du logiciel est présentée ci-dessous : [3]

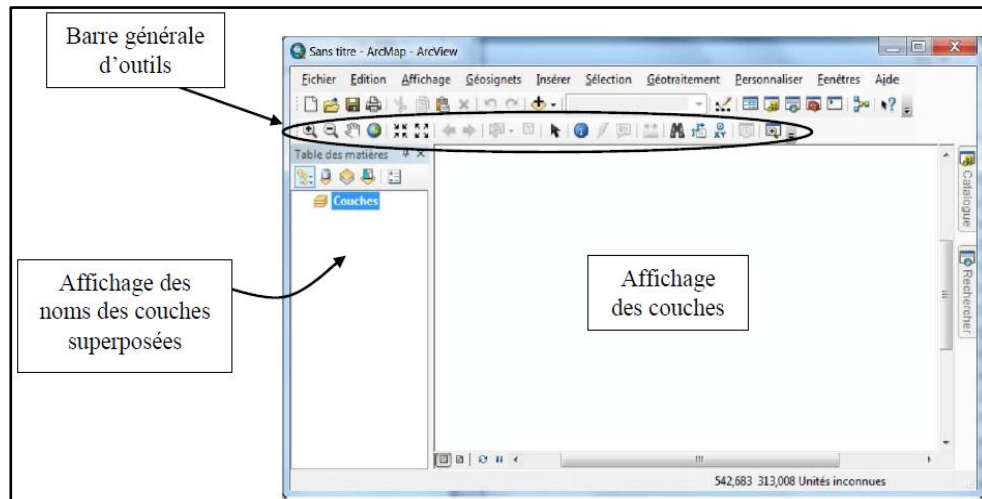


Figure IV.2. Interface d'ArcMap

IV.2.1.2. Présentation de l'interface ArcCatalog :

ArcCatalog vous permet de passer en revue, organiser, distribuer et modifier les éléments de propriétés des données géographiques. L'interface permet d'employer des méthodes graphiques ou textuelles pour passer en revue, contrôler ou modifier l'ensemble des données. [3]

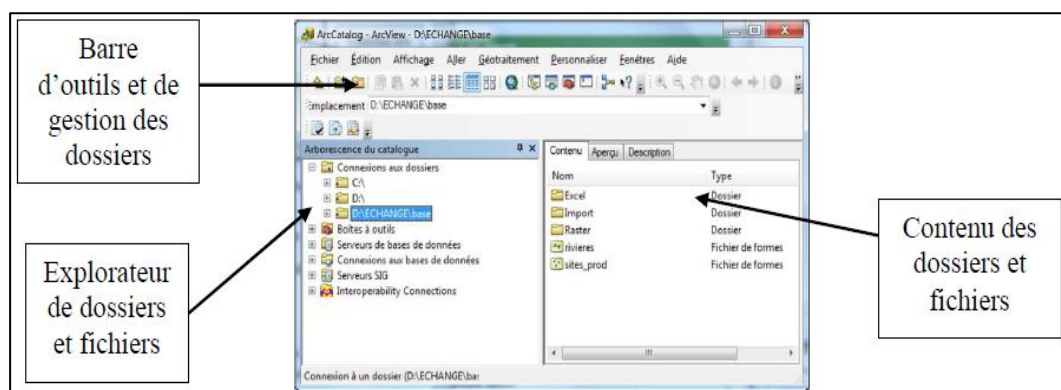


Figure IV.3. Interface d'ArcCatalog

IV.2.1.3. Présentation de l'interface ArcToolBox

ArcToolbox est le module dans ArcGis 10.3 qui permet d'accéder à toutes les fonctionnalités puissantes de traitement et d'analyse. La boîte à outils fournit un ensemble très riche de fonctions de géotraitement. Il convertit aussi les formats de données pour l'importation ou l'exportation de fichiers, ainsi que les changements de projection.

L'ensemble des outils présents dans chaque boîte à outil n'est pas obligatoirement accessible. Certains nécessitent l'achat d'extensions supplémentaires. Généralement, en cliquant sur un outil, une fenêtre correspondant à l'outil s'ouvre, permettant de paramétrer ce dernier. Il est possible de créer ses propres scripts, que ce soit au travers de python (livré avec le logiciel) ou en transformant un ModelBuilder. Attention : avant d'utiliser un outil, consultez l'aide, qui est très bien conçue et qui explique clairement le paramétrage des outils !

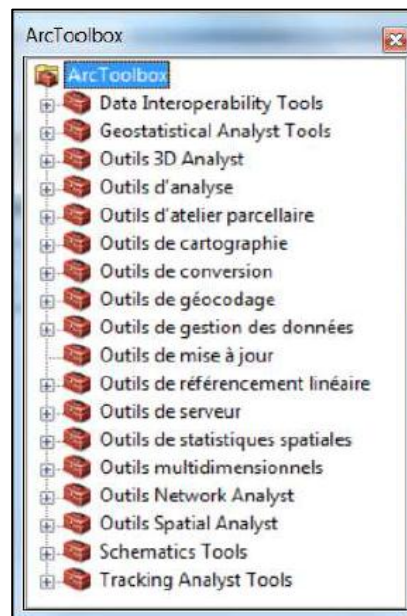


Figure IV.4. Interface de ArcToolbox

IV.2.2. HEC-GEORAS

Afin de rendre possible les échanges entre HEC-RAS et les systèmes d'information géographique, le corps des ingénieurs de l'armée américaine a développé cet extension qui s'intègre après installation avec ARCGIS. La dernière version de HEC-GEORAS disponible sur le site officiel de HEC-RAS, est HEC-GeoRAS 10.3 qui est compatible avec ArcGIS 10.3 et qui nécessite au moins la licence ArcView en plus des deux extensions Spatial Analyst et 3D Analyst.

HEC-GeoRAS est un ensemble de procédures, d'outils et d'utilitaires pour le traitement des données géo-spatiales dans ArcGIS en utilisant une interface utilisateur graphique. Il permet d'une part, la préparation des données géométriques à exporter vers HEC-RAS, et la récupération des résultats de simulation effectuée par HEC-RAS. L'élaboration du fichier de la géométrie à exporter, est basée sur un modèle numérique de terrain qui doit être de préférence sous forme de TIN.

Les données résultantes de la simulation par HEC-RAS, peuvent être exploitées par HEC-GeoRAS sous ArcGIS pour analyser et cartographier les zones inondables, en plus d'autres possibilités. [10]

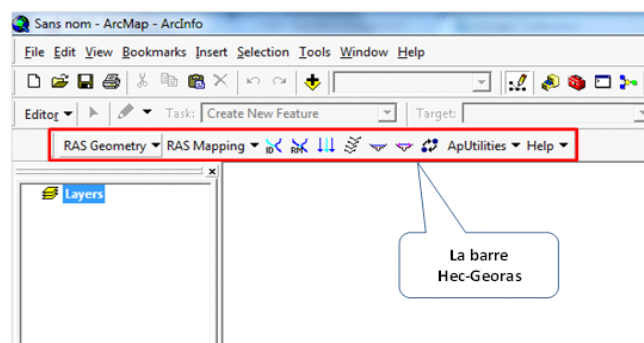


Figure IV.5.L'extension HecGeoRas sur l'interface ArcMap

Pour assurer toutes ces fonctionnalités, la barre de HEC-GEORAS est dotée de deux menus déroulants essentiels, le premier s'appelle RAS Geometry : il permet de faire toutes les opérations nécessaires à l'établissement du fichier de la géométrie (preprocessing) ; le deuxième s'appelle RAS Mapping : chargée d'effectuer les opérations en relation avec l'exploitation des résultats de la simulation par HEC-RAS.

IV.2.3. HEC-RAS

➤ Présentation générale

Un système intégré désigné à effectuer des calculs et des analyses hydrauliques, stocker gérer les données et restituer les résultats sous forme de tableaux ou de graphiques.

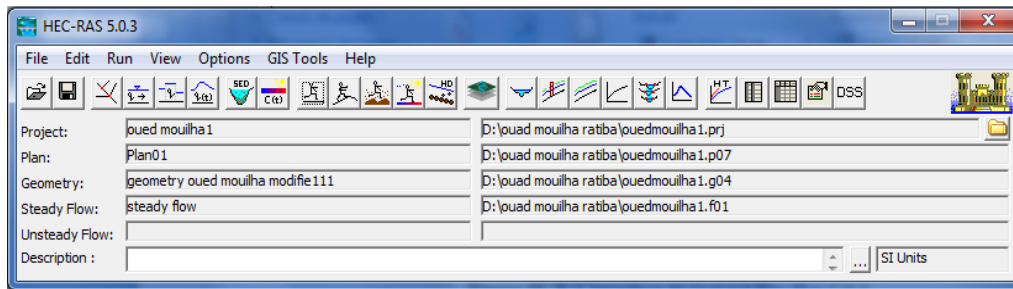


Figure IV.6. L'interface du logiciel Hec-Ras 5.0.3

IV.2.3.1. Principes du calcul hydraulique par Hec-Ras

C'est un système de modélisation mathématique hydraulique unidimensionnel ayant quatre fonctions principales :

- La modélisation de l'écoulement en régime permanent,
- La modélisation de l'écoulement en régime transitoire,
- Le calcul du transport solide,
- L'analyse des processus de pollution et de la qualité de l'eau.

Pour le moment, en ce qui concerne notre étude, nous avons nous limiter à s'intéresser à la première fonctionnalité.

IV.2.3.2. Description du modèle

Dans le cadre du modèle hydraulique nous avons utilisé le logiciel HEC-RAS. Ce logiciel permet de modéliser les débits et les hauteurs d'eau dans une rivière. La première étape consiste à modéliser la rivière. Le modèle de la rivière nous a été fourni par les enseignants. Ce modèle se constitue d'une succession de sections dans lesquelles on calcule le débit et la hauteur d'eau : elles correspondent au maillage de la rivière. Ces sections ont été mesurées et sont donc assez fidèles à la réalité. On peut y observer le lit majeur et le lit mineur ainsi que l'érosion due aux lacets de la rivière. Le Lez comporte de nombreux seuils sur la partie que nous étudions et ces seuils sont également modélisés.

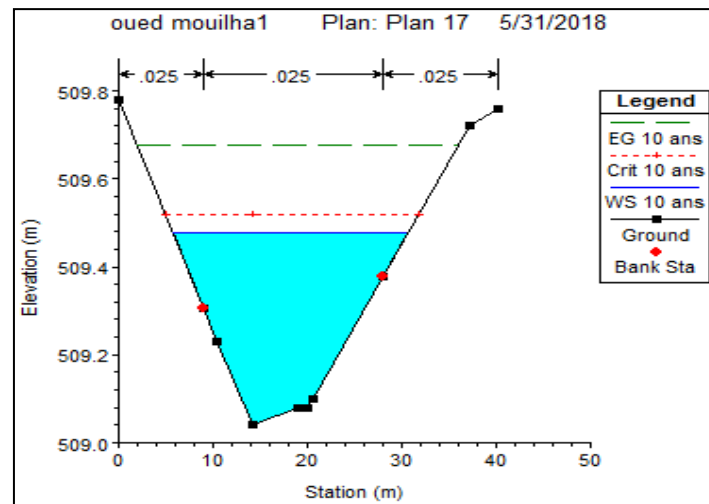


Figure IV.7.Exemple de section avec une hauteur d'eau

Le logiciel HEC-RAS permet de modifier énormément d'options pour pouvoir obtenir un modèle correct. On peut notamment modifier le coefficient de Strickler de chaque section, créer des ouvrages hydrauliques (seuils...), choisir diverses conditions limites aval ou conditions initiales, simuler à partir d'un hydrogramme de crue, ajouter des déversoirs, simuler des écoulements permanents ou non-permanents etc. Nous verrons plus en détails ces options lorsque nous expliqueront ce que nous avons fait dans chaque partie. . [3]

Cela nous mène donc à la seconde étape, une fois que la rivière est modélisée, on modélise un type d'écoulement : il peut être stationnaire ou non-stationnaire. La simulation d'un écoulement stationnaire permet de se donner une première idée des hauteurs d'eau et des débits dans la rivière pour un certain débit amont. La simulation d'un écoulement instationnaire est celle que nous avons le plus utilisé puisque nous avons simulé des crues qui sont par définition des phénomènes instationnaires. La méthode que nous avons principalement utilisée est l'utilisation d'un hydrogramme de crue à l'amont. Ensuite pour caler le modèle nous avons étudié les hauteurs d'eau sur deux sections : Lavalette à l'amont car il y a une station de mesure des hauteurs d'eau et Garigliano à l'aval pour la même raison ce qui permet de comparer les résultats. Voyons à présent les équations utilisées par HEC-RAS.

IV.2.3.3. Les équations de Saint-Venant 1D :

Le logiciel HEC-RAS utilise les équations de Saint-Venant 1D ("shallow water equations" en anglais) pour relier les hauteurs d'eau et les débits. Ces équations se déduisent des équations de Navier-Stokes grâce à des simplifications liées au modèle de la rivière.

A. Le cas stationnaire :

Comme nous l'avons dit dans la partie précédente, le maillage consiste en une succession de sections. Le logiciel calcul la hauteur d'une section à partir de la hauteur d'eau de la section précédente à l'aide de l'équation de conservation de l'énergie (conservation de la charge).

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e \dots \dots \dots (IV.1)$$

Où :

Z_1 et Z_2 : côte du canal principal,

Y_1 et Y_2 : Profondeur de l'eau au niveau des sections,

V_1 et V_2 : vitesses moyennes (débit total / surface totale d'écoulement),

a_1 et a_2 : coefficients de pondération de vitesse égale à 1,

g : L'accélération de la gravité,

h_e : perte totale d'énergie.

Le coefficient de pertes de charge h_e se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$h_e = L \bar{S}_f + C \left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right| \dots \dots \dots (IV.2)$$

Avec : L la distance entre les deux profils, S_f la pente de la ligne d'énergie (pente de frottement) et C le coefficient d'expansion ou de contraction.

Pour calculer le débit on utilise l'équation de Manning $Q = K S_f^{1/2}$ avec $K = \frac{1.486}{n} A R_h^{2/3}$

Ou :

n : Coefficient de frottement de Manning,

A : Section mouillée,

R_h : Rayon hydraulique,

S_f : Pertes de charges entre les deux section.

On voit donc que le débit sur chaque section est calculé à partir de la hauteur d'eau puisque le rayon hydraulique, la section mouillée ainsi que les pertes de charge dépendent de la hauteur d'eau. On peut visualiser cette conservation de la charge à l'aide de l'image suivante:

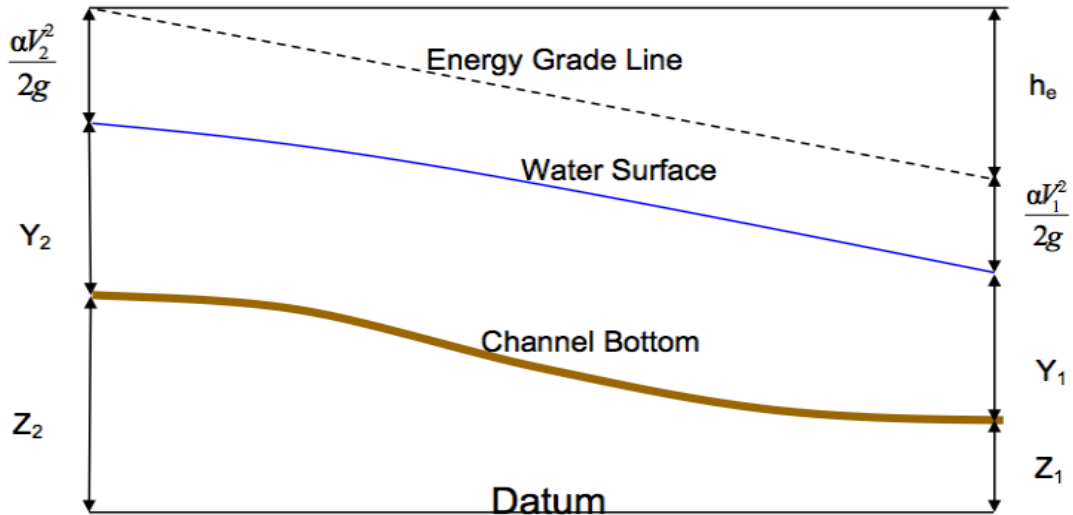


Figure IV.8. Conservation de la charge entre deux sections (source : HEC-RAS)

Pour obtenir des résultats satisfaisants il est nécessaire d'évaluer correctement les pertes de charges, et donc le frottement. Pour cela HEC-RAS découpe chaque section en plusieurs domaines verticaux et évalue le frottement sur chacun de ces domaines. En effet le frottement dépend de la vitesse et on se doute bien que la vitesse n'est pas là même sur les bords, dans le lit majeur ou dans le lit mineur. Le découpage se fait comme sur l'image qui suit :

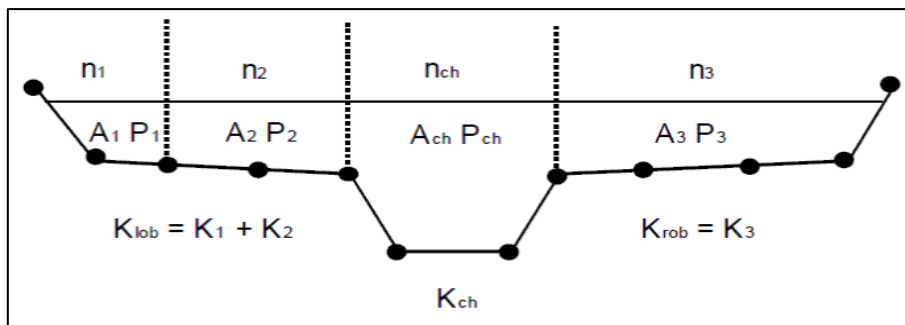


Figure IV.9. Découpage de la section pour le calcul du frottement (source : HEC-RAS)

B. Le cas instationnaire

Dans notre cas les études que nous avons faites étaient pour la quasi-totalité des études instationnaires puisque l'on modélisait des crues. La résolution sous HEC se fait alors différemment. Les équations utilisées cette fois-ci sont la conservation de la masse et la conservation de la quantité de mouvement. Ces équations correspondent en fait aux équations de Saint-Venant 1D. Pour obtenir ces équations on fait un bilan sur un petit volume de contrôle, comme sur l'image suivante :

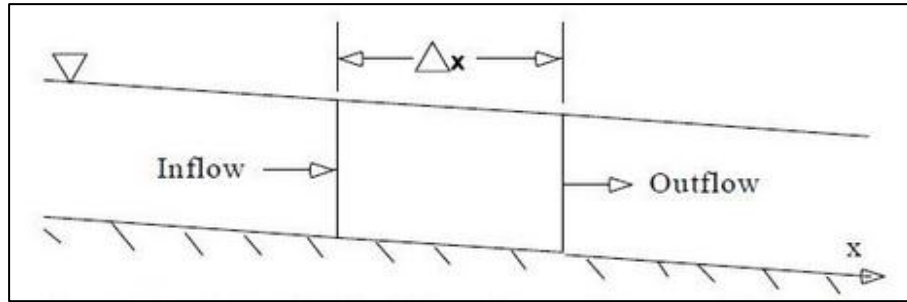


Figure IV.10.Petit volume de contrôle (source : HEC-RAS)

On obtient l'équation de conservation de la masse :

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0 \dots\dots\dots(IV.3)$$

Avec : A_T la section, Q le débit et q_l le débit entrant latéral par unité de longueur.

L'équation de conservation de la quantité de mouvement s'écrit:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \dots\dots\dots(IV.4)$$

Avec : $\frac{\partial z}{\partial x}$ la pente de la hauteur d'eau, S_f la pente de la ligne d'énergie (pente de frottement), A la section et V la vitesse moyenne.

Pour résoudre ces équations, le logiciel utilise la théorie des différences finies qui est à la fois pratique et simple pour ce cas 1D. Il utilise un schéma implicite qui permet d'utiliser un pas de temps beaucoup plus important que dans le cas du schéma explicite.

IV.2.3.4. Importation du fichier de la géométrie

La version actuelle de Hec-GeoRas ne permet pas d'élaborer toutes les informations indispensables d'une manière complète, il en reste des choses incomplètes qu'il faut introduire une fois sous Hec-Ras. A titre d'exemple, les ouvrages hydrauliques manquent de beaucoup d'informations telles que les dimensions, des ouvertures,...

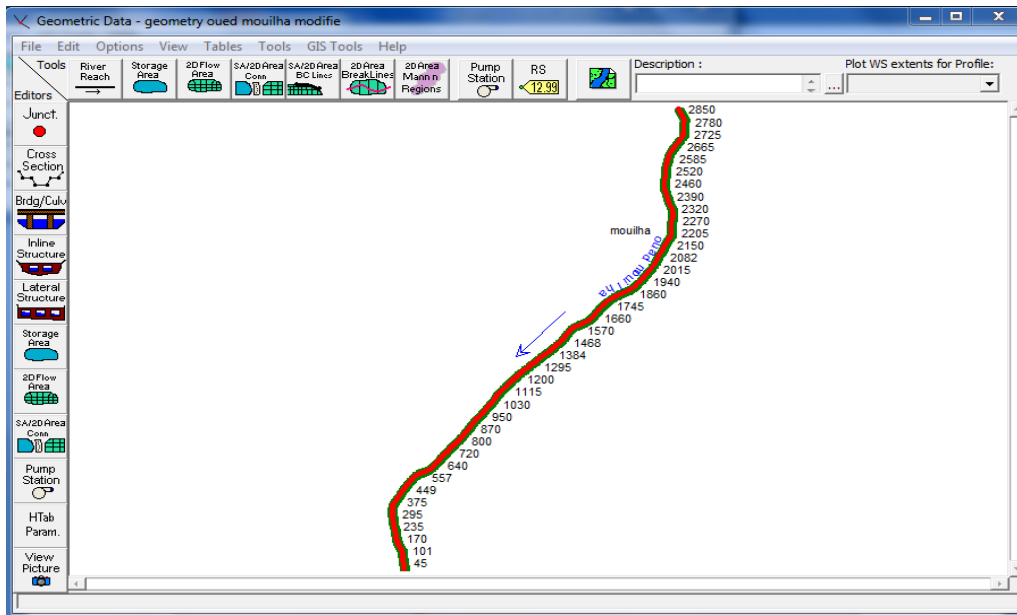


Figure IV.11.L'importation de la géométrie du tronçon a modélisée dans Hec Ras

IV.2.3.5. Elaboration du fichier des données d'écoulement

Cette étape permet d'introduire les données et les informations en relation avec l'écoulement à simuler. Suivant le cas étudié et les conditions qui l'entourent, on peut choisir un régime d'écoulement permanent, transitoire ou encore quasi-transitoire.

Pour chaque régime, Hec-Ras permet de créer un fichier d'écoulement approprié ; dans le cas d'un régime permanent, il faut introduire un débit que le programme considère constant surtout le tronçon étudié, par contre si on choisit le régime transitoire, le programme exige une série de débits en fonction du temps (hydrogramme), et le débit change d'un point l'autre du tronçon. [10]

IV.3. Application du logiciel HEC-RAS Cas régime permanent 1D

Après avoir saisi les données géométriques de chaque section, l'étape suivante de la modélisation hydraulique par HEC-RAS est de spécifier les débits d'entrée et toutes les conditions aux limites nécessaires pour pouvoir exécuter le calcul des profils de la surface de l'eau en chaque section du système de rivière. [11]

IV.3.1. Données d'écoulement :

Les données d'écoulement sont saisies de l'amont à l'aval pour chaque tronçon. Une valeur d'écoulement est écrite à l'extrémité en amont du système de rivière. Les débits appliqués sont les résultants de la simulation hydrologique retenue en utilisant le modèle HEC-RAS pour les quatre fréquences considérées (voir la figure ci-dessous).

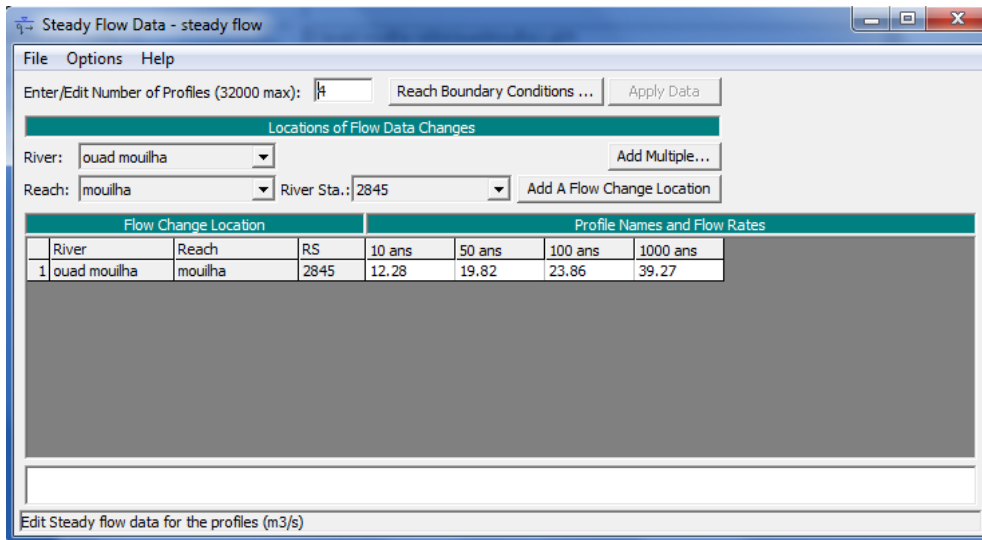


Figure IV.12.Fenêtre représente les différents débits fréquents

En cliquant sur le bouton **Reach boundary conditions** et on définit les conditions aux limites en aval si l'écoulement est fluvial (infracritique), et en amont si l'écoulement est torrentiel (supercritique). Le HEC-RAS offre la possibilité de faire entrer comme conditions aux limites, une hauteur d'eau connue, une profondeur critique, une pente normale du point en amont ou en aval selon le régime d'écoulement ou une courbe d'estimation (différentes hauteurs d'eau et les débits correspondants).

Pour notre cas, on a introduit la valeur de 0.0041 m/m comme une pente normale évaluée à la tête d'oued Mouilha.

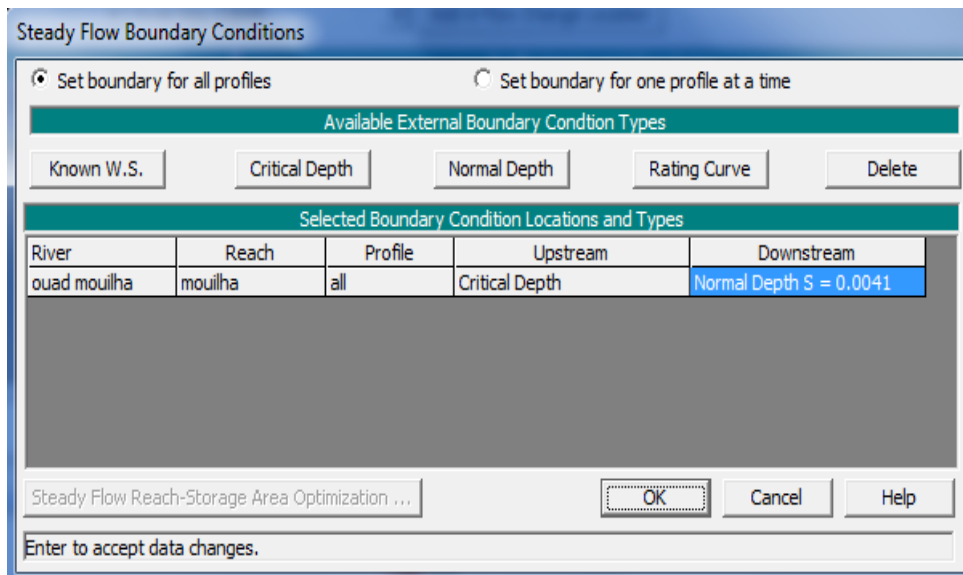


Figure IV.13.Fenêtres des conditions aux limites

IV.3.2. Condition aux limites

Les calculs peuvent être effectués pour plusieurs débits simultanément, soit en régime torrentiel, soit en régime fluvial, ou pour les deux régimes d'écoulements. Dans ce dernier cas, HEC-RAS utilise l'équation de quantité de mouvement pour déterminer les changements de régime torrentiel fluvial, caractérisés par un ressaut.

IV.3.4. Résultats et analyse de la simulation

Dès que le modèle s'apprêtait à l'utilisation, nous avons commencé la phase d'exploitation. Nous avons adopté la simulation en régime permanent avec un écoulement fluviale vu que le modèle hydraulique est extrêmement sensible au moindre défaut, et présente des disfonctionnement en régime transitoire.

Les résultats de la simulation sont exportés vers ArcGis où ils seront exploités par Hec-GeoRas pour cartographier la surface inondée correspondante à chaque profil calculé par Hec-Ras.

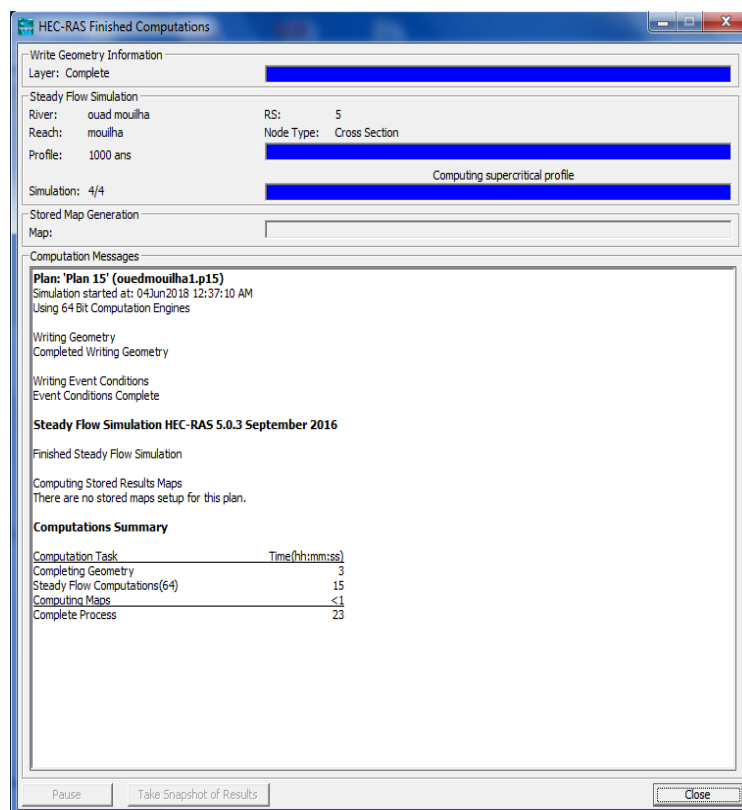


Figure IV.14.Fenêtre de la simulation

➤ Visualisation et discussion des résultats

La saisie des données géométriques concernant les profils des sections transversales et les débits de pointe de différentes périodes de retour, ainsi que les conditions limites dans le logiciel HEC-RAS a permis d'effectuer les calculs et d'extraire des résultats comme la vue en

profil du tronçon simulé, le niveau d'eau de chaque période de retour sur les profils, une vue de trois dimensions du niveau d'eau dans le tronçon d'étude des tables descriptives.

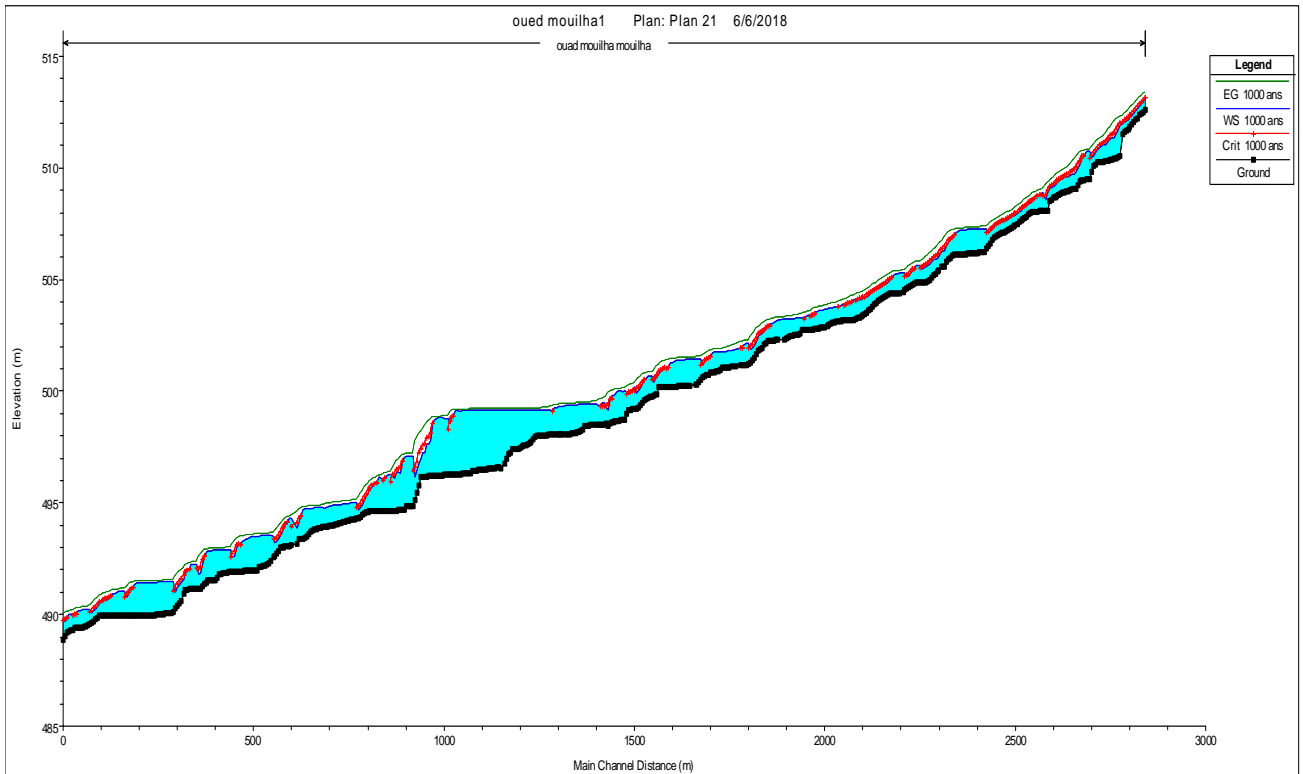


Figure IV.15. Profil en long de l'oued Mouilha avec la ligne de surface pour T = 1000 ans

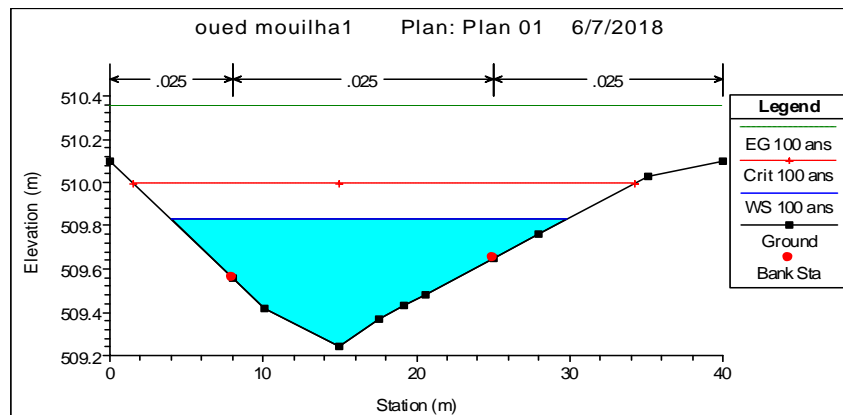


Figure IV.16. Section avec une hauteur d'eau en régime permanent pour T = 100 ans

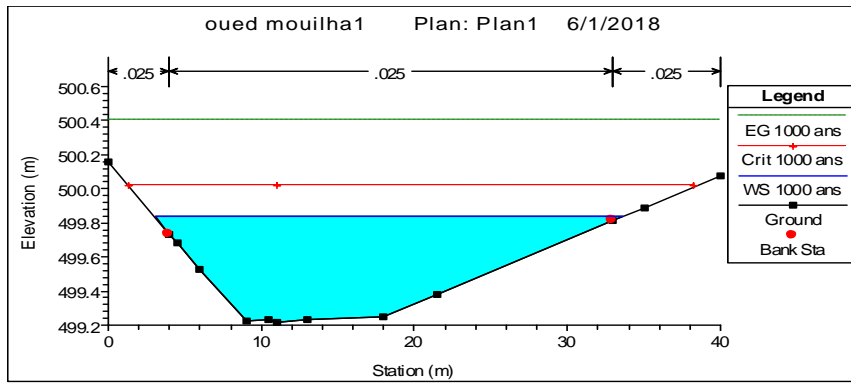


Figure IV.17.Section avec une hauteur d'eau en régime permanent pour T = 1000 ans

Pour les autres sections sont trouvées dans l'annexe I.

Une vue 3D de ces résultats de simulation est représentée dans la figure IV.16.

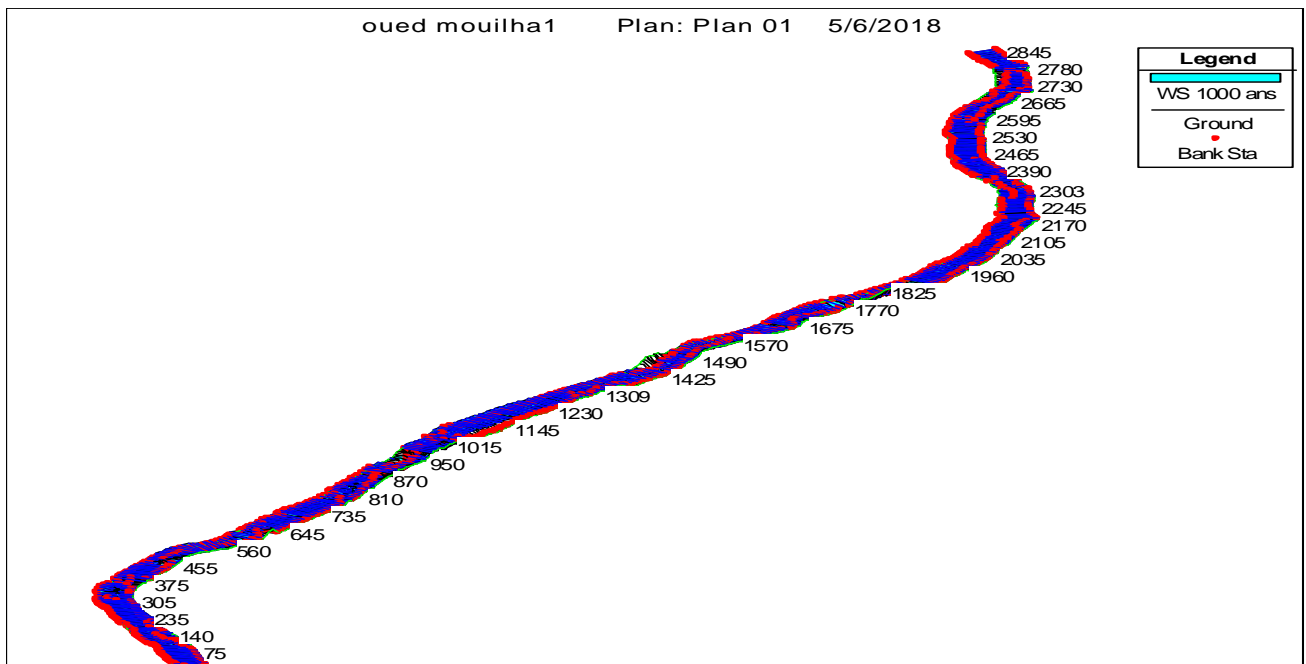


Figure IV.18.Vue en Plan en 3D de l'oued Mouilha, après simulation

Quant la simulation est effectuée, on peut, grâce à HEC GEO RAS, exporter les résultats de simulation afin de délimiter les zones inondables. La figure IV.19 représente la délimitation finale de la zone inondable après exportation du dossier de simulation.



Figure IV.19.La zone inondable de la ville Mouilha pour une période de retour de 1000 ans.

Tableau IV. 1. Les résultats des calculs hydrauliques de l'oued Mouilha en régime permanent

La section	Période de retour	Q en (m ³ /s)	La profondeur normal(m)	Crit w.s (m)	La vitesse (m/s)	Top width (m)	Nombre de froud (m)
2845	10 ans	12.28	0.28	512.88	1.47	40	1.01
	50 ans	19.82	0.36	512.96	1.73	40	1.01
	100 ans	23.86	0.4	513	1.83	40	1.01
	1000ans	39.27	0.53	513.13	2.17	40	1.01
2430	10 ans	12.28	0.37	506.80	1.98	23.26	1.16
	50 ans	19.82	0.49	506.95	2.17	40	1.07
	100 ans	23.86	0.65	507	1.67	40	0.71
	1000 ans	39.27	0.86	507.13	1.78	40	0.64
755	10 ans	12.28	0.41		0.91	40	0.49
	50 ans	19.82	0.53		1.10	40	0.52
	100 ans	23.86	0.58		1.19	40	0.53
	1000 ans	39.27	0.76		1.45	40	0.56
5	10 ans	12.28	0.57	489.35	1.40	26.83	0.70
	50ans	19.82	0.70	489.47	1.67	30.75	0.73
	100 ans	23.86	0.76	489.53	1.79	32.67	0.75
	1000 ans	39.27	0.93	489.71	2.13	38.70	0.78

Pour Les résultats des autres sections sont données dans l'annexe II.

IV.4. Application du logiciel HEC-RAS Cas Régime non permanent1D

L'introduction des données nécessaires pour la simulation en régime non permanent sont les données géométriques des cours d'eau saisies dans l'étape précédente (écoulement permanent), plus les conditions initiales et les conditions aux limites au niveau des extrémités amont qui sont représentées par les hydrogrammes de crue.

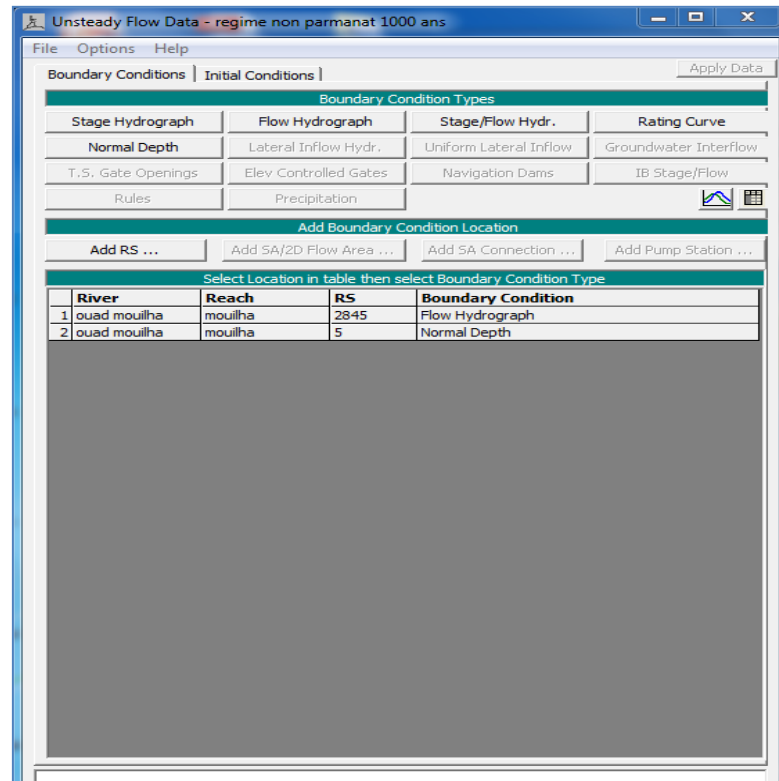


Figure IV.20. Les conditions aux limites pour un écoulement non permanent

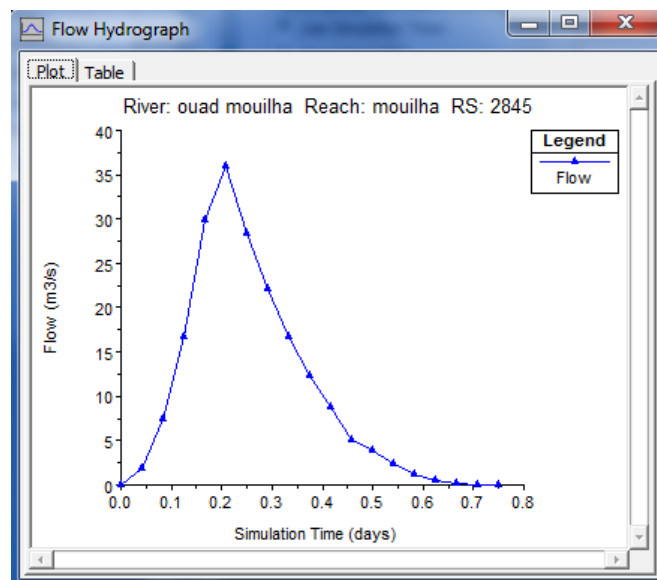


Figure IV.21. L'hydrogramme de crue de période 100 ans

➤ **Paramètres de la simulation :**

La dernière étape nécessaire à la modélisation avec HEC-RAS est de définir par le plan de simulation choisi.

La simulation numérique est faite pour un pas de temps de calcul : $\Delta t = 4$ seconde, les autres caractéristiques nécessaires pour le calcul d'écoulement non permanent sont :

- Début de la simulation : 2Jun 2018 à 00:00.
- Fin de la simulation : 2Jun 2018 à 18:00.

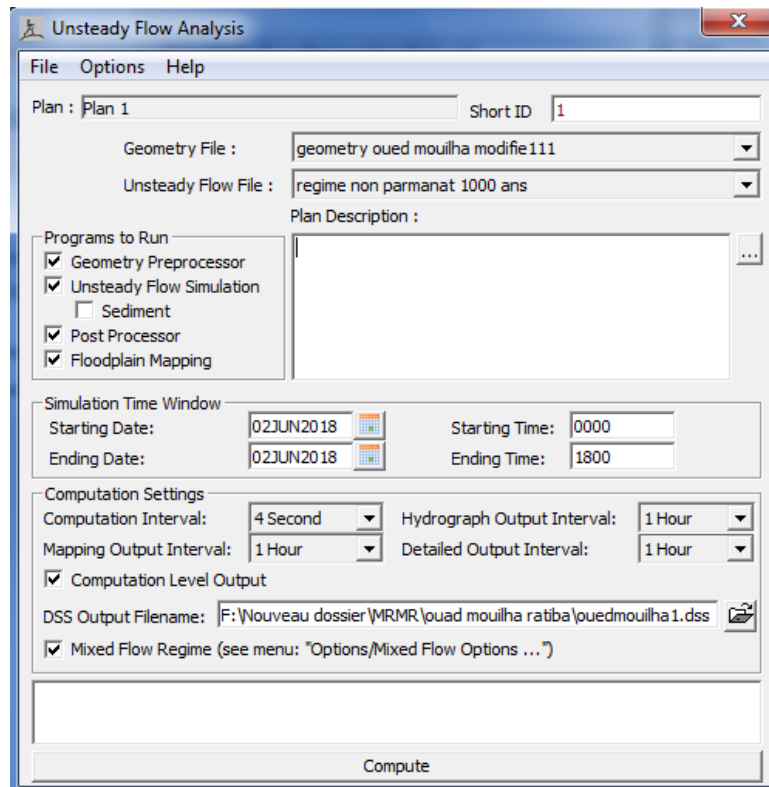


Figure IV.22. Caractéristiques de la simulation pour le cas d'un écoulement non permanent.

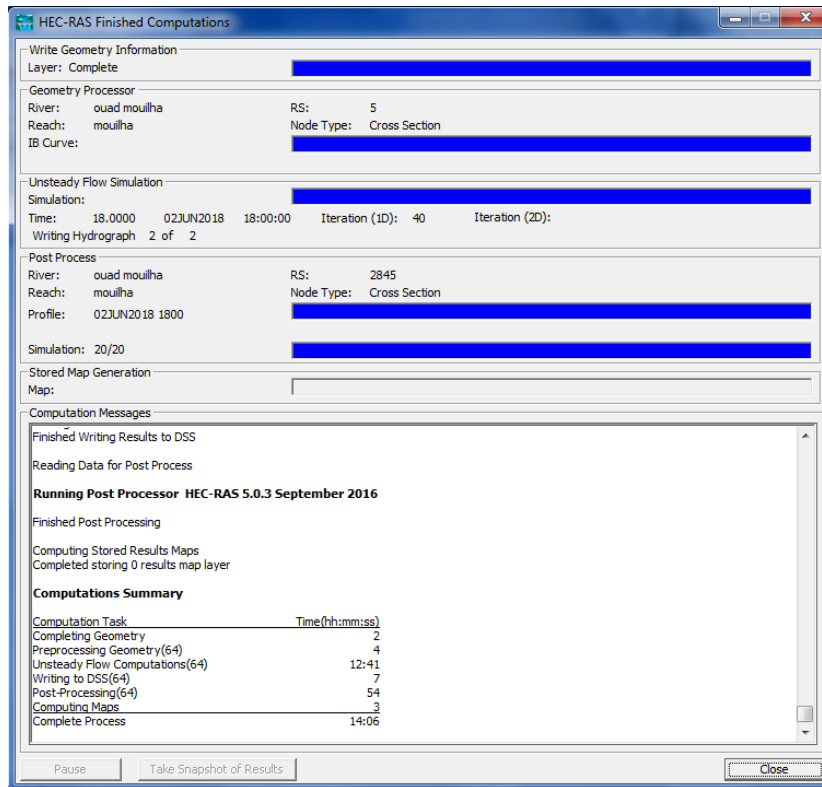


Figure IV.23.Fenêtre de la simulation le cas d'un écoulement non permanent

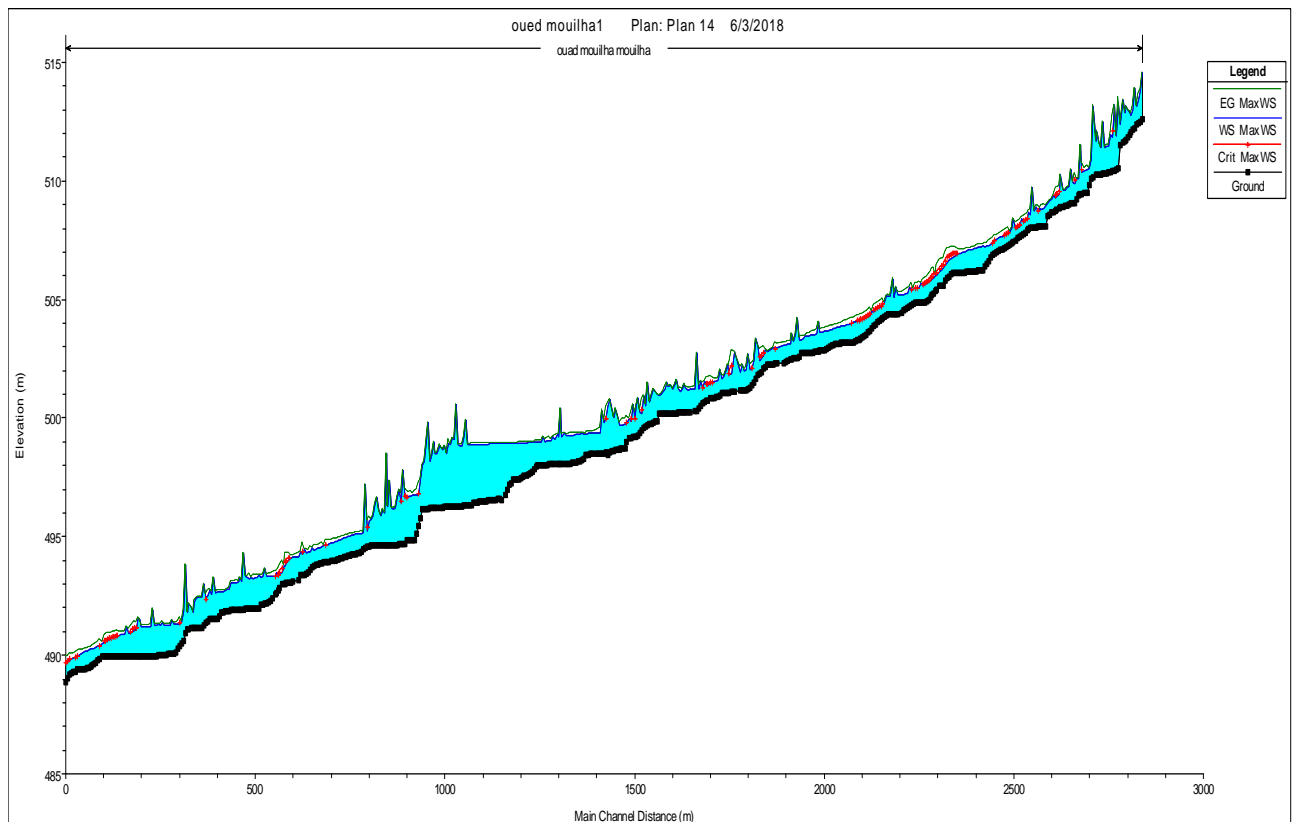


Figure IV.24.Profil en long de l'oued Mouilha avec la ligne de surface pour T = 1000 ans

En remarque que le profil de la surface libre est variable dans le temps et dans l'espace car le régime d'écoulement est non permanent.

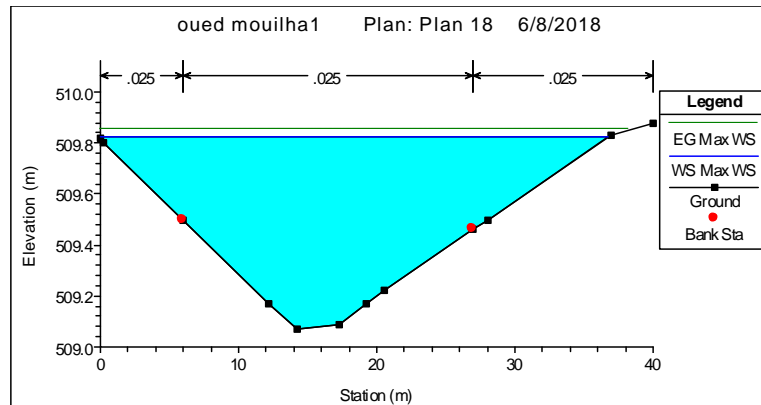


Figure IV.25. Section avec une hauteur d'eau en régime non permanent pour T = 100 ans

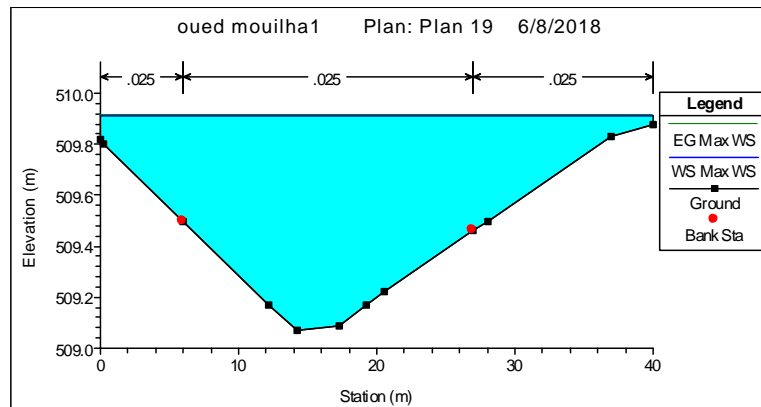


Figure IV.26. Section avec une hauteur d'eau en régime non permanent pour T = 1000 ans

Tableau IV. 2. Les résultats des calculs hydrauliques de l'oued Mouilha de régime non permanent pour quelques sections transversales.

La section	Période de retour	Q en (m ³ /s)	La profondeur normale (m)	Crit w.s (m)	La vitesse (m/s)	Top width (m)	Nombre de froud (m)
2845	100 ans	23.86	2.61		0.09	40	0.02
2430	100 ans	23.86	0.83		1.32	40	0.49
755	100 ans	23.86	0.83		0.22	40	0.08
5	100 ans	23.86	0.64	489.49	1.72	31.51	0.74

Pour Les résultats des autres sections sont données dans l'annexe III.

Selon les résultats du calcul hydrauliques d'oued Mouilha en régime non permanent, nous remarquons que la hauteur d'eau normale dans certaines sections est varié entre 0.61m à 2.61 m avec largeur maximale 40 m et un régime d'écoulement fluvial pour une période de retour de 100 ans.

IV. 5.Conclusion

La cartographie des zones inondables de la ville de Mouilha est basé sur la construction d'un modèle hydraulique et une simulation en régime permanent et non permanent. Ceci permet de localiser les débordements et la proposition des ouvrages de protection contre les inondations.

Chapitre VI.

Cartographie des zones inondables

Chapitre V.
Les aménagements de protection
contre les inondations par HEC RAS

Chapitre V. Les aménagements de protection contre les inondations par HEC RAS

V.1. Introduction

Les ouvrages de génie civil constituent un patrimoine qu'il est nécessaire de maintenir, ce qui permet d'assurer la sécurité des biens et des personnes aussi garantir le fonctionnement et la pérennité des ouvrages a long terme sont les priorités. Il est donc essentiel de s'intéresser à la performance de ces ouvrages. Les ouvrages de protection peuvent être répartis en deux groupes : directes et indirectes.

V.1.1. Protection directe (Rapprochées) :

La protection directe consiste à intervenir directement sur le site menacé par la mise en œuvre des actions suivantes :

- **Curage** : qui permet une nette amélioration des conditions d'écoulement suite à l'élimination de tous les obstacles et les dépôts entravant l'écoulement des eaux dans le cours d'eau. Le débroussaillage est également nécessaire à la traversée des agglomérations pour des raisons sanitaires et en sections courantes pour diminuer la rugosité et accroître la débitante.
- **Recalibrage** : qui permet d'élargir et d'approfondir les sections des cours d'eau pour augmenter leur capacité d'évacuation des eaux et assurer une section mouillée répondant aux critères de protections désirées.
- **Renforcement des ouvrages** : de franchissements des Oueds et modification de leurs caractéristiques et des systèmes existants en cas de leur insuffisance (ponts, dalots, buses...).
- **Réalisation des canaux** : permettant de régénérer le couloir initial de l'oued. Cette solution est indispensable dans le cas où le lit de l'oued et son domaine hydraulique ont été complètement occupé par des bâtiments ou par la voirie.
- **Protection des berges** : qui comprend tout ouvrage visant à maintenir la stabilité des terres en dépit de l'action de l'eau. Les berges sont en effet attaquées par des courants perturbateurs générés par les crues. De même, les terres glissent par suite de l'infiltration de l'eau après le retrait de la crue. La protection des berges est également nécessaire au voisinage de certains ouvrages tels que les ponts.
- **Endiguement des oueds** : par la réalisation de digues qui longent le cours d'eau sur ses deux berges. Cette opération est aisément réalisable par les ressources locales en main-

d'œuvre et en matériaux. Par ailleurs, ce type de protection permet en outre de réaliser une protection sélective. Il peut en effet être établi graduellement en commençant par mettre à l'abri, de la plupart des crues, la partie la plus riche et la plus peuplée des zones exposées. En contrepartie on notera que ce procédé de protection présente l'inconvénient de provoquer une surélévation souvent notable du niveau des eaux et rend en outre plus difficile le drainage des terrains bas.

V.1.2. Protection indirecte (Eloignées)

La protection indirecte par contre, consiste à intervenir plus loin des sites menacés, à l'extérieur du périmètre d'aménagement, en réalisant des ouvrages sur les oueds responsables des inondations :

- **Création des canaux périphériques** : de dérivation des eaux vers les oueds permettant de les restituer vers des zones situées en dehors des aires à protéger. Cette déviation pourrait concerner une partie ou la totalité des eaux d'un oued vers un autre.
- **Réalisation des barrages** : ou seuils pour stockage et laminage des crues à l'amont des zones menacées. Le volume et la capacité de laminage du barrage devront être optimisés de manière à répondre au-mieux à la protection envisagée.
- **Aménagement des bassins versants** : contre l'érosion par des méthodes biologiques et/ou par la construction de seuils en gabions qui permettent la réduction des vitesses d'écoulement et le dépôt des sédiments en amont. [12]

V.2. Les aménagements de protection contre les inondations de la ville Mouilha par HEC RAS

Pour notre étude nous proposons deux solutions, pour protéger la ville de Mouilha de wilaya de M'sila contre les inondations:

- **un canal trapézoïdal** (3 tronçons de différentes pentes) de largeur $b=5\text{m}$, et hauteur 2m ; coefficient de rugosité de Strickler $k_s=70$ pour un canal en béton ; le fruit de talus $m=2$; qui évacue les eaux de pluie de l'oued Mouilha pour une période de retour de 1000 ans.
- **un canal rectangulaire fermé** (3 tronçons de différentes pentes) de largeur $b=5\text{m}$, et hauteur 2m ; coefficient de Strickler $k_s=70$ pour un canal en béton.

V.2.1. Calcul hydraulique de deux variantes

V.2.1.1. La formule de calcul principal

On prend la formule de CHEZY.

La vitesse moyenne du courant sous la forme suivant :

$$U = C \sqrt{I * R_H} \dots \dots \dots (V.1)$$

On utilisant le rapport suivant $Q = U * S$, on obtient :

$$Q = CS \sqrt{I * R_H} \dots \dots \dots (V.2)$$

Avec :

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

S : section mouille (m^2)

R_H : rayon hydraulique $R_H = \frac{\text{Surface mouillée}}{\text{Périmètre mouillée}}$ (m)

I : la pente géométrique de fond du canal (m/m).

V.2.1.2. Détermination de coefficient de Chézy

➤ La formule de MANING-STRICKLER

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \dots \dots \dots (V.3)$$

Avec

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

R_H : rayon hydraulique $R_H = S/P$ (m).

n : coefficient de Manning.

La formule de MANING-STRICKLER permet de transformer la formule de chézy pour obtenir $V = K_s R^{2/3} . I^{1/2}$

$$\text{Donc } Q = k_s * \sqrt{I} * S * R^{2/3} \dots \dots \dots (V.4)$$

Avec :

k_s : coefficient de rugosité de STRICKLER.

R_H : le rayon hydraulique (m).

I : la pente du radie du canal (m/m).

IV.2.1.3. Calcul de la profondeur normal (h)

- **Méthode itérative**

On tire la valeur de h_n à partir de l'équation générale de l'écoulement uniforme :

$$Q = S.C. \sqrt{R}.\sqrt{I} \dots\dots\dots(V.5)$$

Avec :

S : Section mouillée (m^2).

C : coefficient de CHEZY

R : Rayon hydraulique(m).

I : pente du canal (m/m).

Donc fixe la valeur de $b=5m$ on a donne les valeurs de h_n et détermine Q Jusqu a Q_{max} .

V.2.1.4. Calcul de la pente critique

La pente critique correspondant à la profondeur critique.

Il se détermine par la formule de Manning :

$$Q = S.C. \sqrt{R}.\sqrt{I}$$

$$I_{cr} = \frac{Q^2}{C^2 . S_{cr}^2 R} \dots\dots\dots(V.6)$$

Avec:

I_{cr} : la pente critique en (m/m).

Q : débit de crue (m^3/s).

S_{cr} : section mouillée du canal correspondante h_c (m^2).

C : coefficient de Manning-Strickler.

R : rayon hydraulique (m).

V.2.1.5. Vitesse d'écoulement

$$V=Q/S\dots\dots\dots(V.7)$$

Avec:

V : Vitesse d'écoulement (m/s).

Q: débit de crue (m³/s).

S : Section mouillée (m²).

IV.2.1.6. Nombre de Froude

Nombre de Froude est calculé par la formule suivante:

$$F = \frac{V}{\sqrt{gh}} \dots\dots\dots (V.8)$$

Avec:

V: Vitesse d'écoulement (m/s).

h: hauteur d'eau (m).

g: l'accélération de pesanteur (g = 9,81m²/s).

V.2.1.7. Hauteur des murs du canal

Calculé par la formule suivante :

On a :

$$H_m = h + R \dots\dots\dots (V.9)$$

H_m : Hauteur des murs du canal en (m).

h : hauteur normale d'eau (m).

R : Revanche de sécurité (m) on prend 0.5m

V.2.2. Le paramètre géométrique de variante choisie

IV.2.2.1. Cas de canal trapézoïdal :

$$Q = \frac{1}{n} \left[\frac{(bh+mh^2)}{b+2h\sqrt{1+m^2}} \right]^{2/3} * \sqrt{I} * (bh+mh^2) \dots\dots\dots (V.9)$$

Avec :

n : coefficient de Manning n=0.014.

b : Largeur de canal b=5m.

I : la pente du radie du canal (m/m).

h : profondeur normal en (m).

m : le fruit de talus m=2.

Les résultats de calcul de profondeur normal **h** chaque tronçon sont résume dans le tableau suivante :

Tableau.V.1.la hauteur normal de chaque tronçon pour canal trapézoïdal

Tronçons	Débit Q (m ³ /s)	K	I (m/m)	Rayon hydraulique(m)	La pente critique Icr	profondeur normal hn (m)	Nombre de froud (m)	Régime	Vitesse d'écoulement (m/s)	Hauteur des murs H _m (m)
Tronçon1	39.27	70	0.014	0.82	0.008	1	1.51	torrentiel	5.61	2
Tronçon2	39.27	70	0.0072	0.87	0.0062	1.09	1.28	torrentiel	5.02	2
Tronçon3	39.27	70	0.0071	0.86	0.0061	1.10	1.25	torrentiel	4.95	2

V.2.2.1.1. les dimensions des ponts :cas de canal trapézoïdal

Dans notre zone d'étude il ya deux routes qui traverse le oued, pour la protection de la ville contre les inondations au niveau de ces deux routes nous avons proposés modélisées les deux ponts par l'utilisation de modèle HEC RAS. (Figure V.1 et V.2)

Les deux ponts se forment d'Arc de largeur de la base de 9 m et de hauteur de 2m.

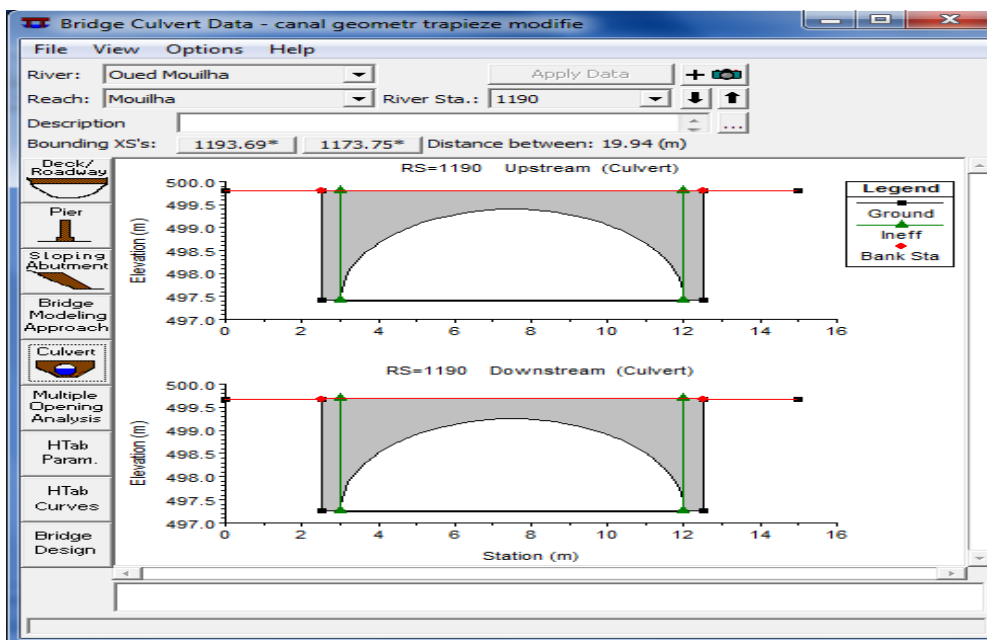


Figure V.1.les dimensions de 1^{ere} pont cas de canal trapézoïdal

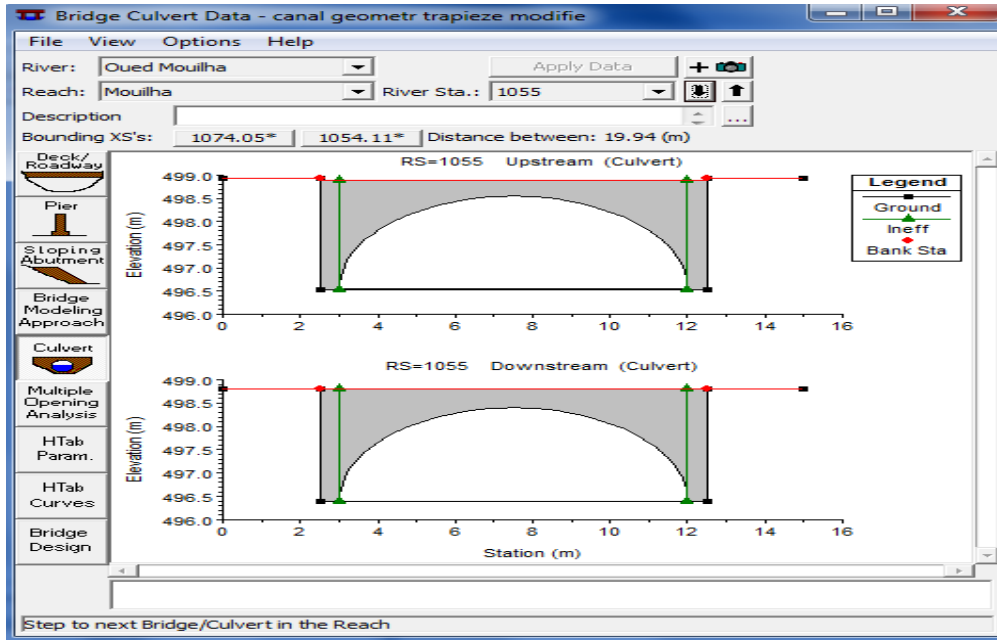


Figure V.2.les dimensions de 2^{ème} pont cas de canal trapézoïdal

Vue en plan de 3D d'un tronçon de l'oued avec les deux ponts (Figure V.3)

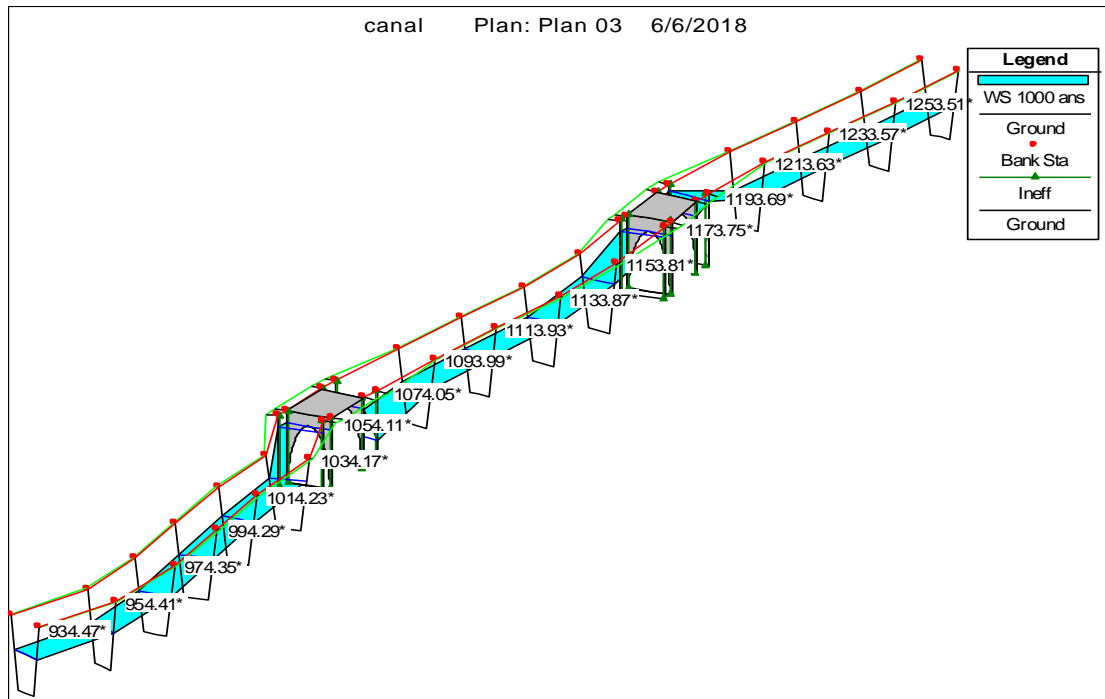


Figure V.3.Vue en Plan en 3D de deux ponts cas canal trapézoïdal

V.2.2.1.2. Les résultats de simulation de Régime permanent pour canal trapézoïdal

La saisie des données géométriques du canal trapézoïdal concernant et les débits de pointe de différentes périodes de retour, ainsi que les conditions limites dans le logiciel HEC-RAS a permis d'effectuer les calculs et d'extraire des résultats comme la vue en profil du tronçon simulé, le niveau d'eau de chaque période de retour sur les profils, une vue de trois dimensions du niveau d'eau dans le tronçon d'étude des tables descriptives.

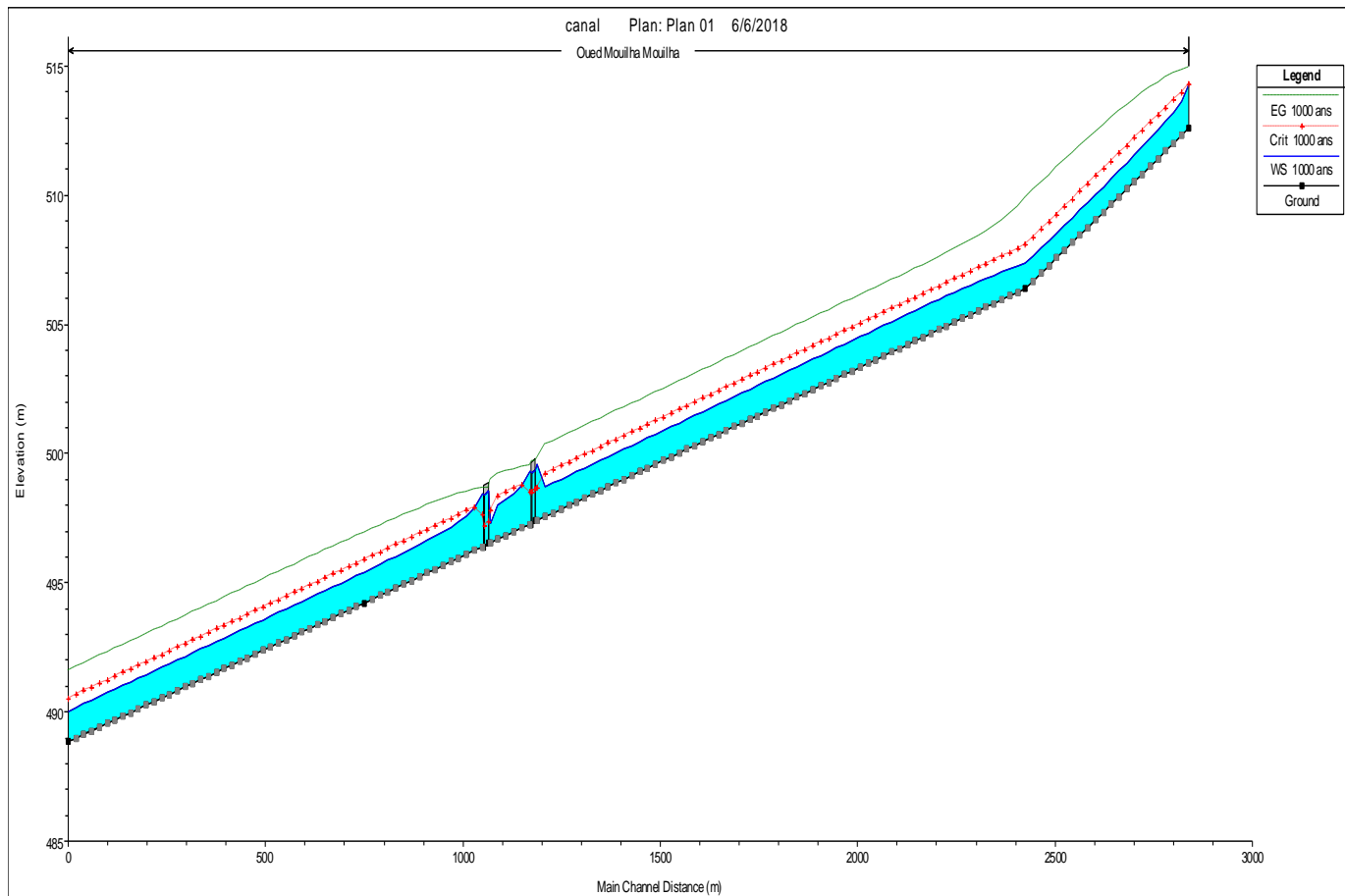


Figure V.4. Profil en long de canal trapézoïdal pour T = 1000 ans

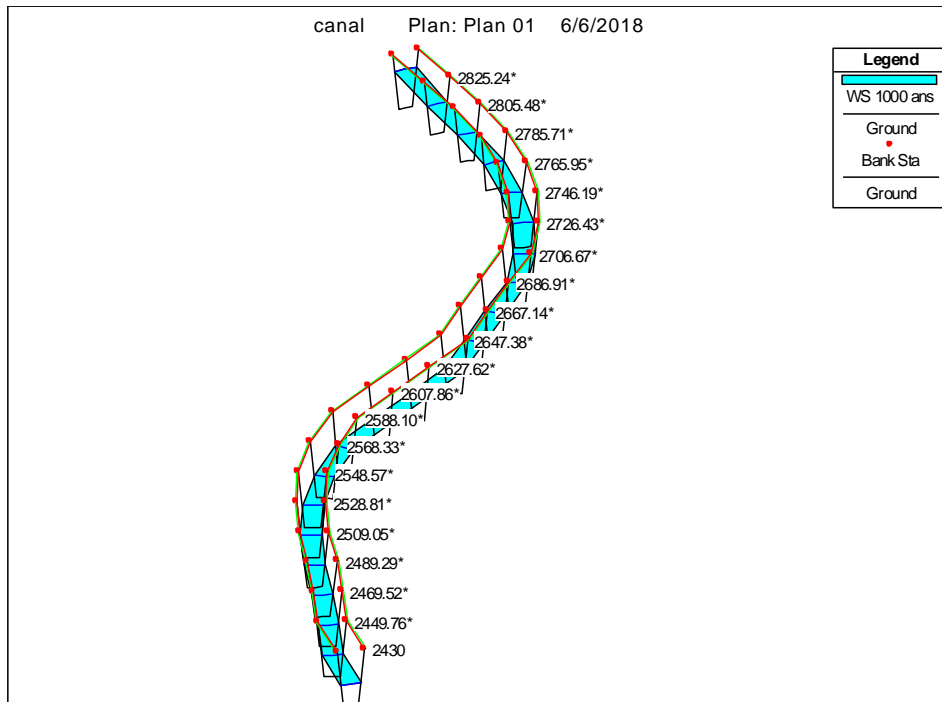


Figure V.5. Vue en Plan en 3D de 1^{ère} tançon de canal trapézoïdal

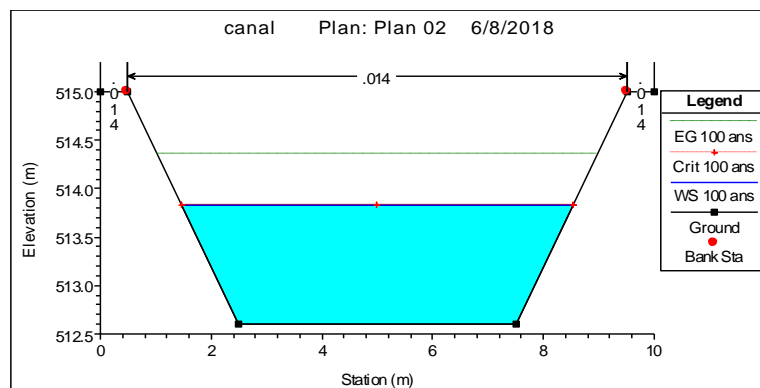


Figure V.6. Section trapézoïdal avec une hauteur d'eau pour T = 100 ans

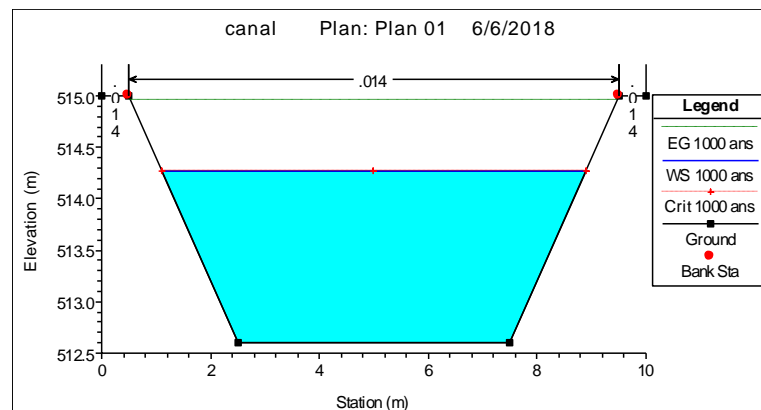


Figure V.7. Section trapézoïdal avec une hauteur d'eau pour T = 1000 ans

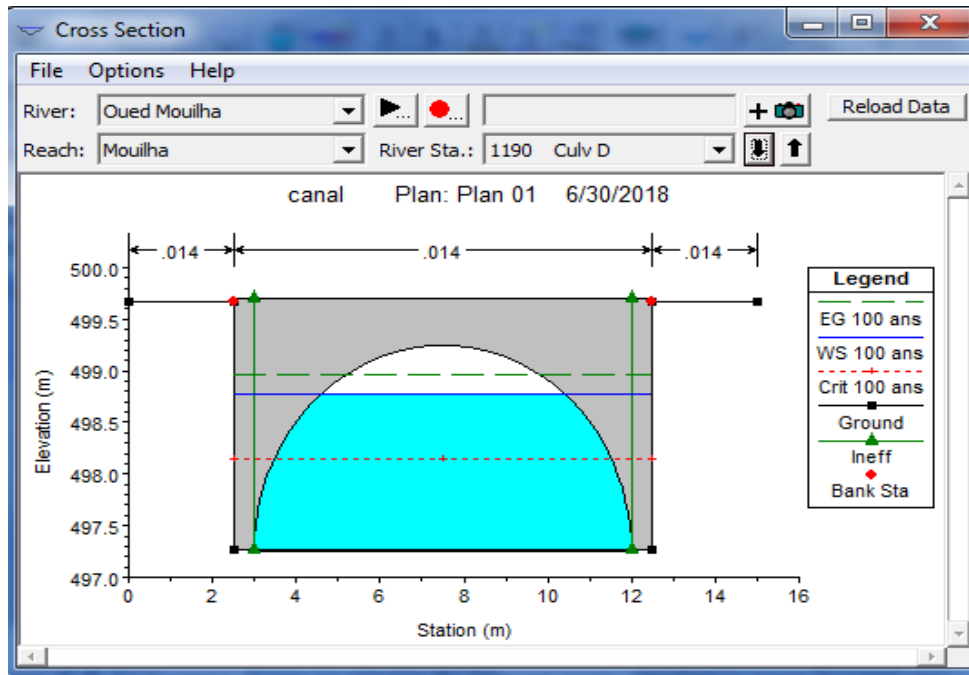


Figure V.8. La hauteur d'eau au niveau de 1^{ère} pont après simulation pour T=100 ans

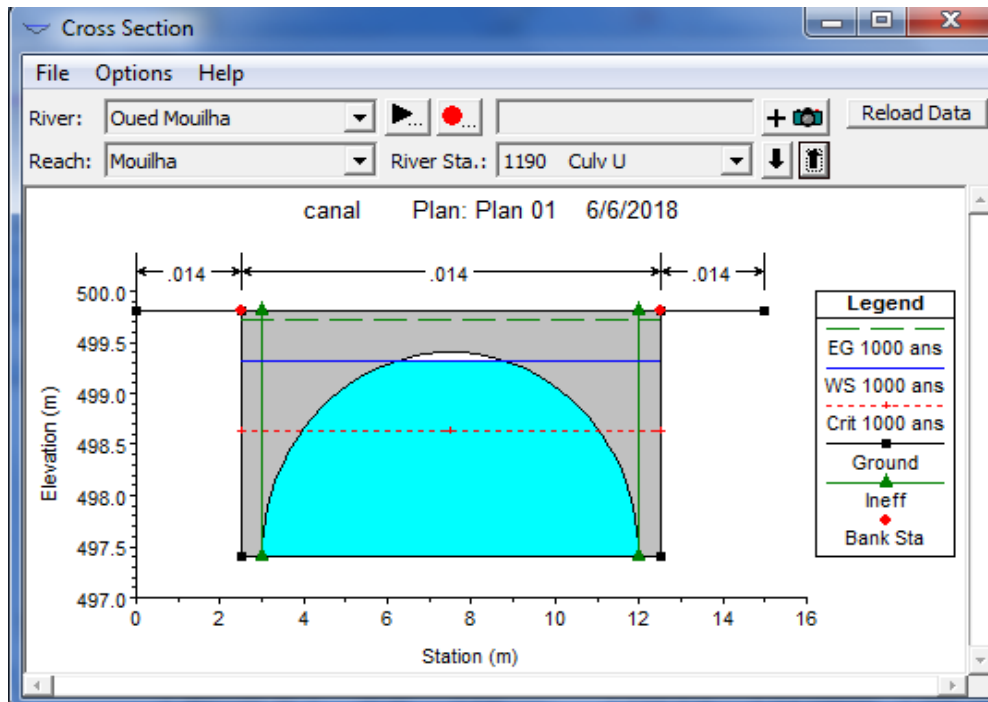


Figure V.9. La hauteur d'eau au niveau de 1^{ère} pont après simulation pour T=1000 ans

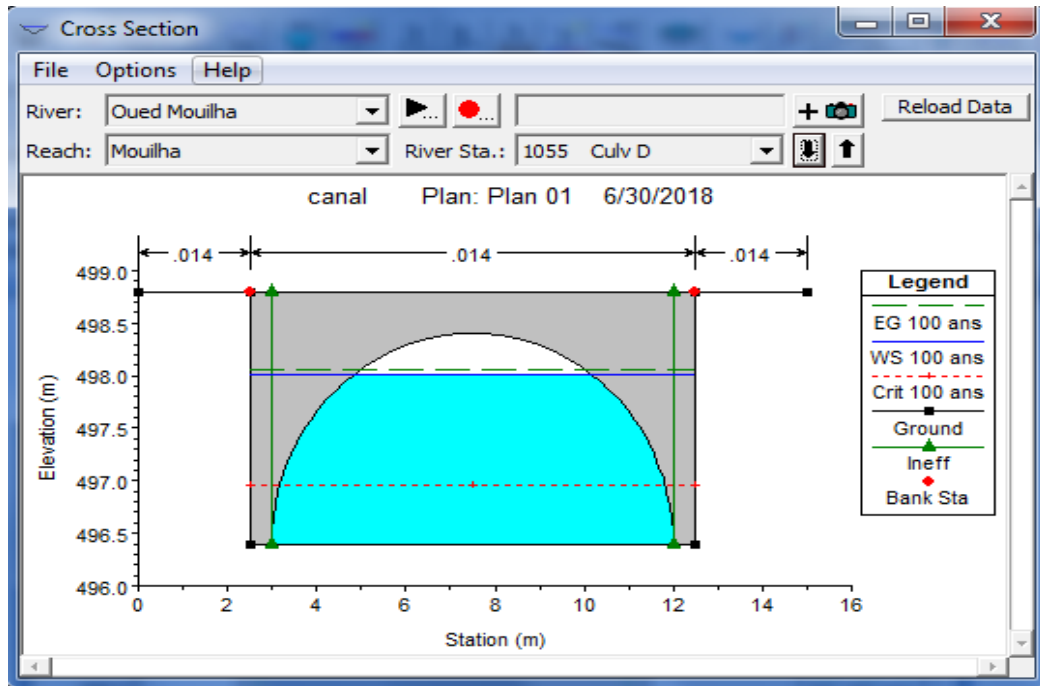


Figure V.10. La hauteur d'eau au niveau de 2^{ème} pont après simulation pour T=100 ans

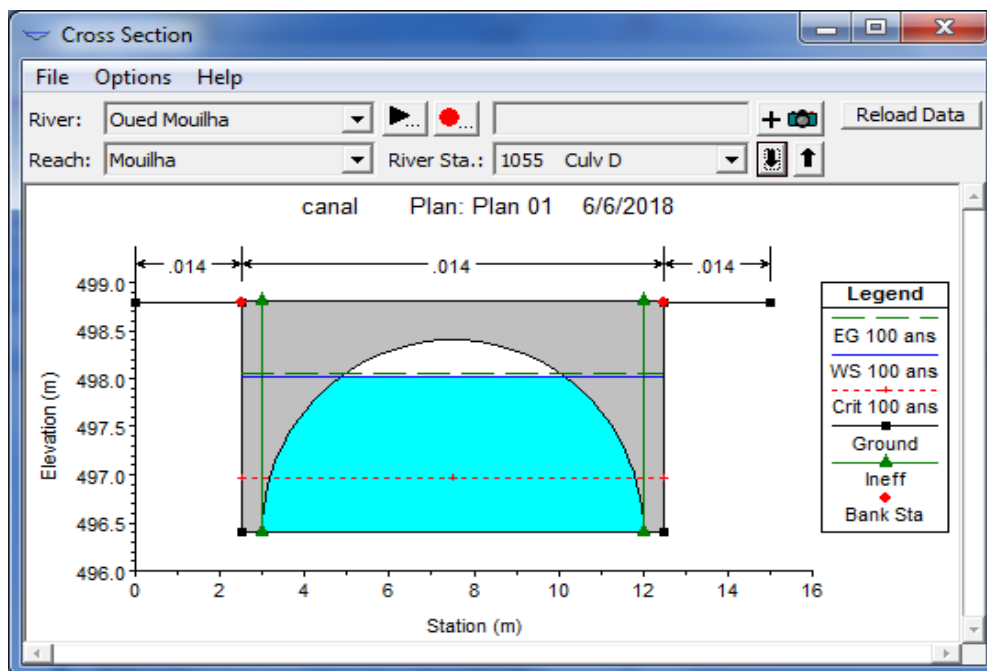


Figure V.11. La hauteur d'eau au niveau de 2^{ème} pont après simulation pour T=1000 ans

Tableau V. 2. Les résultats des calculs hydrauliques de l'oued Mouilha, cas de canal trapézoïdal après simulation

La section	Période de retour	Q en (m ³ /s)	La profondeur normal(m)	Crit w.s (m)	La vitesse (m/s)	Top width (m)	Nombre de froud (m)
2845	10 ans	12.28	0.81	513.41	2.68	6.35	1.01
	50 ans	19.82	1.09	513.69	3.07	6.82	1.01
	100 ans	23.86	1.23	513.83	3.23	7.05	1.01
	1000ans	39.27	1.67	514.27	3.67	7.79	1
2430	10 ans	12.28	0.47	507.21	4.82	5.79	2.32
	50 ans	19.82	0.63	507.49	5.68	6.05	2.39
	100 ans	23.86	1.71	507.63	6.04	6.18	2.41
	1000 ans	39.27	0.96	508.07	7.07	6.60	2.46
755	10 ans	12.28	0.59	495.03	3.79	5.98	1.64
	50 ans	19.82	0.79	495.31	4.44	6.32	1.69
	100 ans	23.86	0.88	495.45	4.71	6.47	1.70
	1000 ans	39.27	1.2	495.89	5.47	7.00	1.72
5	10 ans	12.28	0.59	489.66	3.77	5.99	1.63
	50ans	19.82	0.79	489.94	4.45	6.31	1.69
	100 ans	23.86	0.88	490.08	4.72	6.47	1.70
	1000 ans	39.27	1.19	490.52	5.53	6.98	1.75

Pour Les résultats des autres sections sont données dans **l'annexe IV**.

Nous remarquons que les hauteurs d'eau au niveau de toutes les sections de l'oued dans le cas du canal trapézoïdale est inférieure à la hauteur maximale du canal, et aussi au niveau des deux ponts pour une période de retour de 1000 ans. Donc la ville est protégée contre les inondations pour une période de retour extrême de 1000 ans.

V.2.2.1. Cas de canal rectangulaire fermé

Les caractéristiques géométriques du canal rectangulaire sont les suivants :

$$Q = \frac{1}{n} \left[\frac{(b \cdot h)^2}{b + 2h} \right]^{2/3} \sqrt{I} (b+h) \dots \dots \dots (V.10)$$

Avec :

n : coefficient de Manning n=0.014.

b : Largeur de canal b=5m.

I : la pente du radie du canal (m/m).

h : la hauteur d'eau en (m).

Les résultats de calcul de profondeur **h** chaque tronçon sont résumés dans les tableaux suivantes :

Tableau. V.3. La hauteur normal de chaque tronçon pour canal rectangulaire fermé

Tronçons	Débit Q (m ³ /s)	K	I (m/m)	Rayon hydraulique(m)	La pente critique Icr	profondeur normal hn (m)	Nombre de froud (m)	Régime	Vitesse d'écoulement (m/s)	Hauteur des murs H _m (m)
Tronçon1	39.27	70	0.014	0.85	0.012	1.15	2.03	torrentiel	6.82	2
Tronçon2	39.27	70	0.0072	0.94	0.007	1.45	1.43	torrentiel	5.41	2
Tronçon3	39.27	70	0.0071	0.94	0.007	1.45	1.43	torrentiel	5.41	2

V.2.2.1.1. les dimensions des ponts :canal rectangulaire fermé

Dans notre zone d'étude il ya deux routes qui traverse le oued, pour la protection de la ville contre les inondations au niveau de ces deux routes nous avons proposés modélisées les deux ponts par l'utilisation de modèle HEC RAS. (Figure V.9 et V.10)

Les deux ponts se forment d'Box de largeur de 10 m et de hauteur de 2 m.

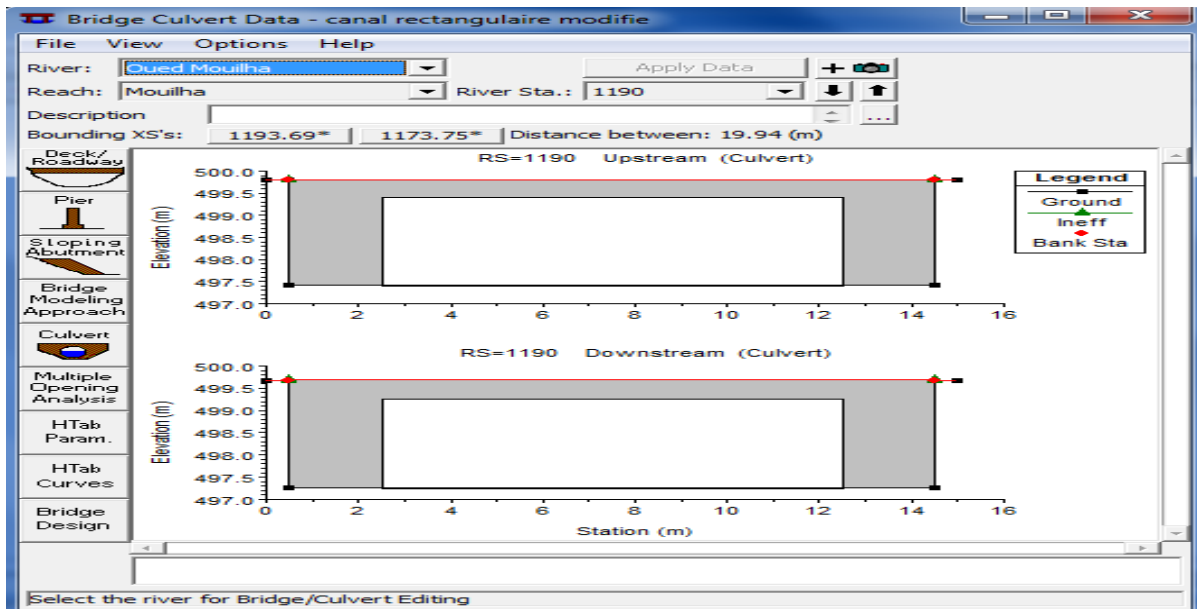


Figure V.12.les dimensions de 1^{er} pont Cas de canal rectangulaire fermé pour T= 1000 ans

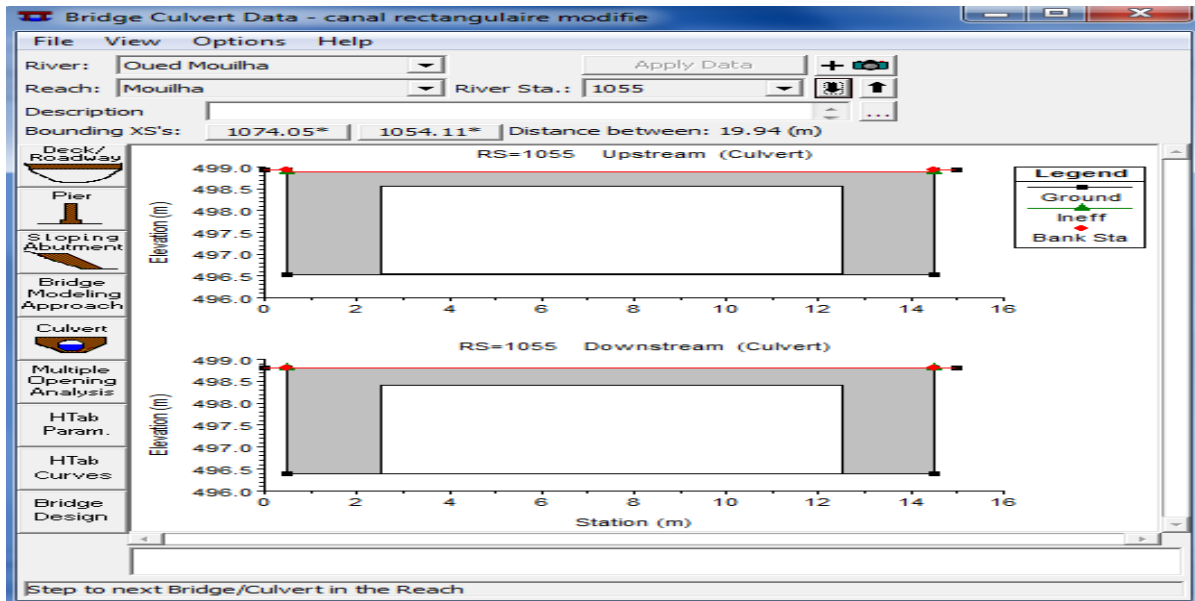


Figure V.13.les dimensions de 2^{eme} pont cas de canal rectangulaire fermé pour T= 1000 ans.

Vue en plan de 3D d'un tronçon de l'oued avec les deux ponts.

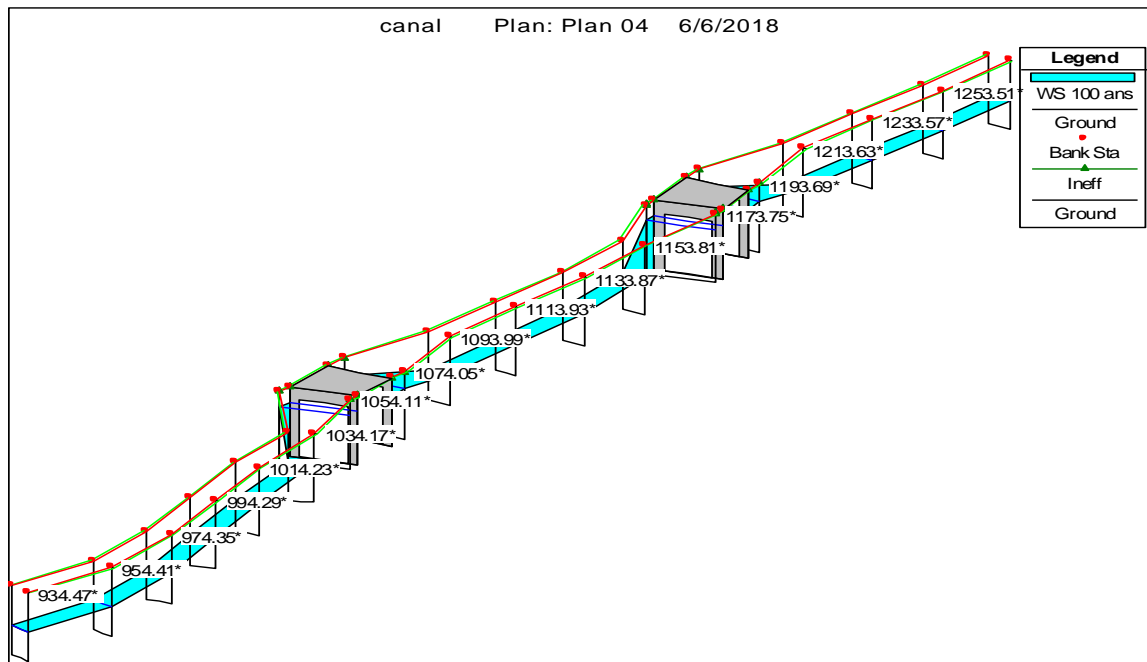


Figure V.14.Vue en Plan en 3D de deux ponts cas canal rectangulaire fermé

V.2.2.1.2. Les résultats de Régime permanent pour canal rectangulaire

La saisie des données géométriques du canal rectangulaire concernant et les débits de pointe de différentes périodes de retour, ainsi que les conditions limites dans le logiciel HEC-RAS a permis d'effectuer les calculs et d'extraire des résultats comme la vue en profil du tronçon simulé, le niveau d'eau de chaque période de retour sur les profils, une vue de trois dimensions du niveau d'eau dans le tronçon d'étude des tables descriptives.

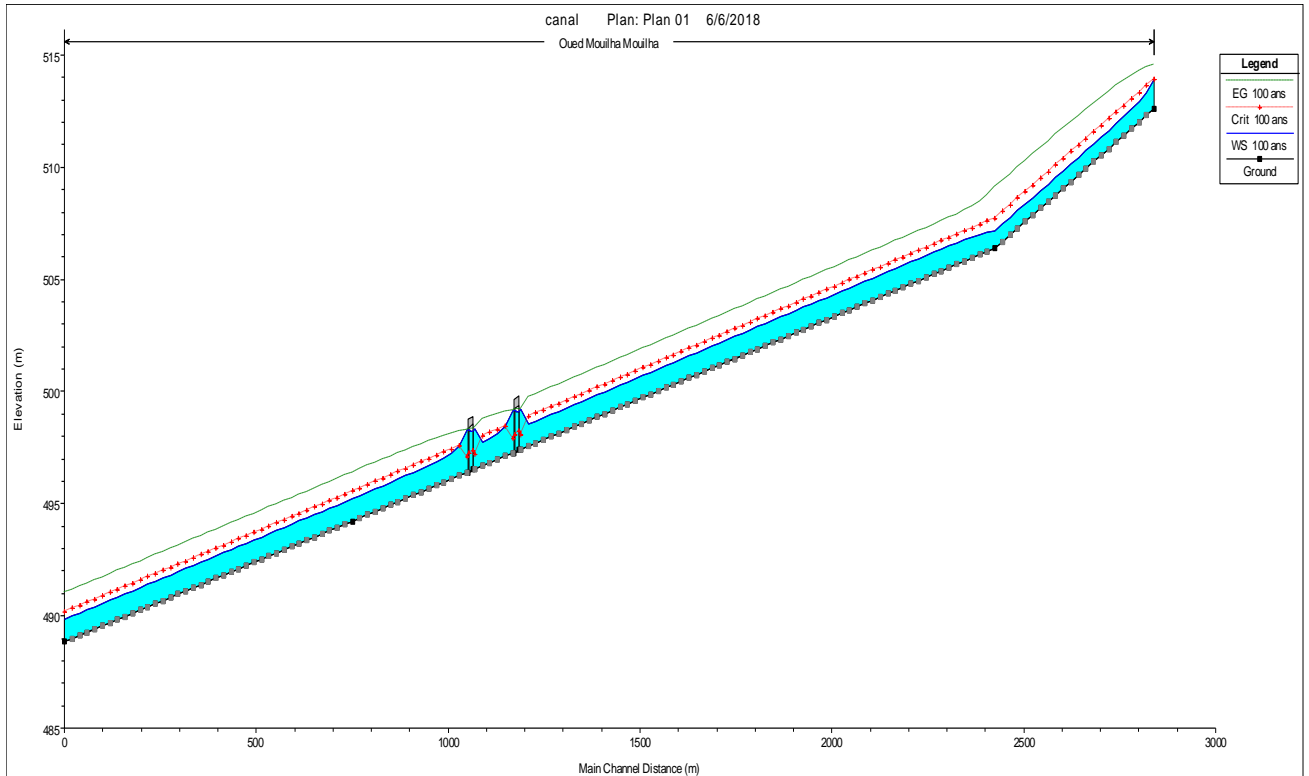


Figure V.15. Profil en long de canal rectangulaire fermé pour $T = 100$ ans

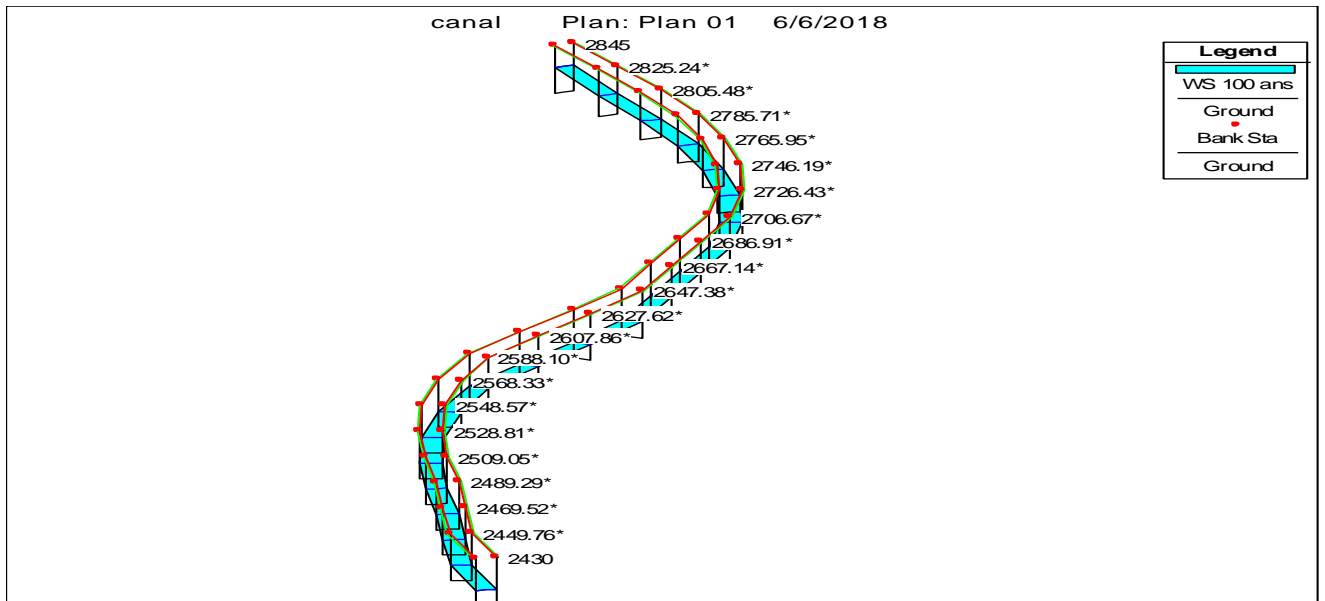


Figure V.16. Vue en Plan en 3D de 1^{ère} tancon canal rectangulaire fermé

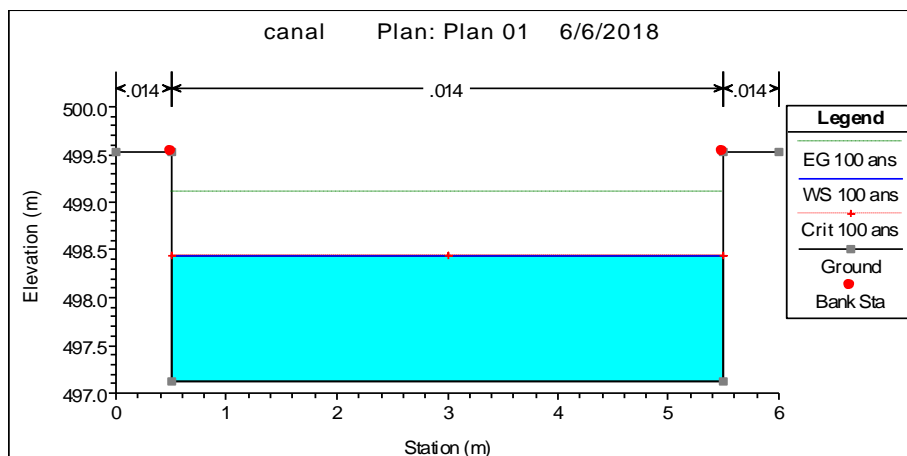


Figure V.17. Section rectangulaire avec une hauteur d'eau pour T = 100 ans

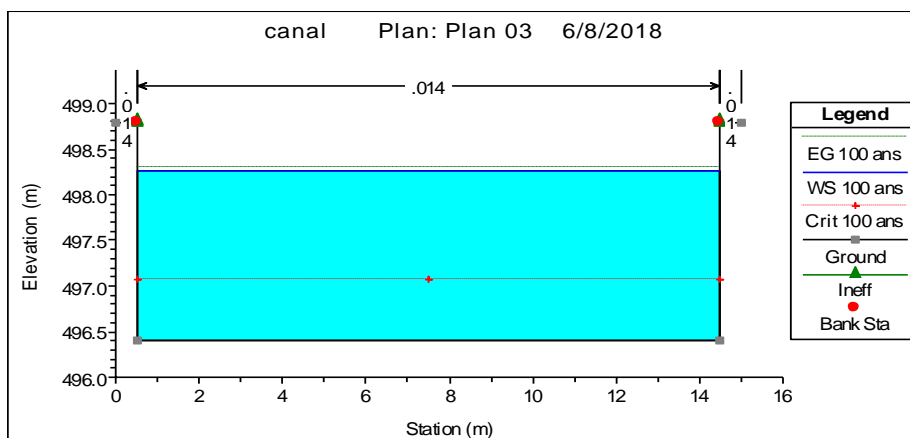


Figure V.18. Section rectangulaire avec une hauteur d'eau pour T = 1000 ans

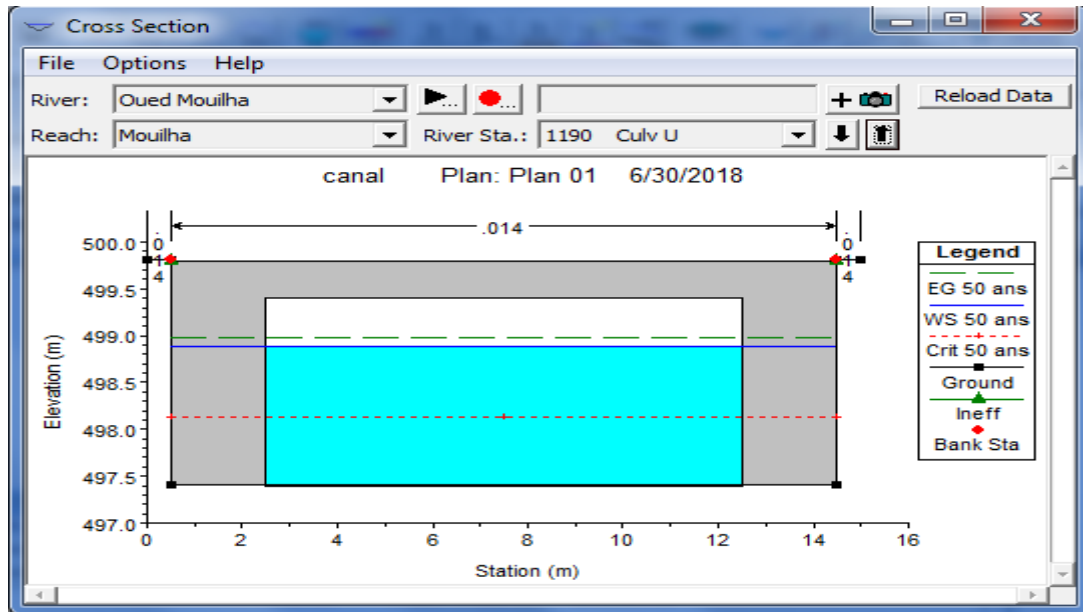


Figure V.19. La hauteur d'eau au niveau du 1^{er} pont après simulation pour T=100 ans

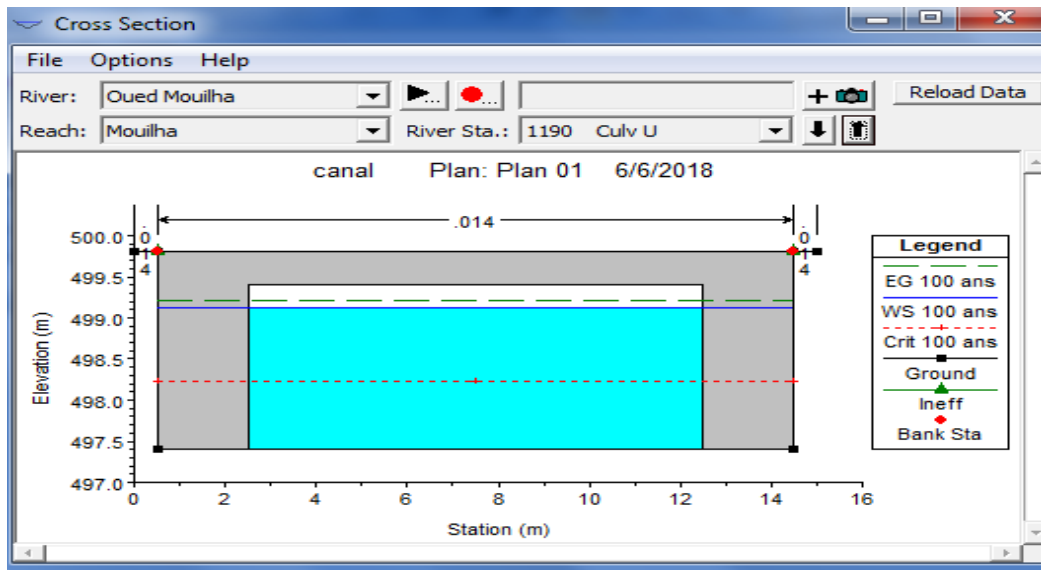


Figure V.20. La hauteur d'eau au niveau du 1^{er} pont après simulation pour T=1000 ans

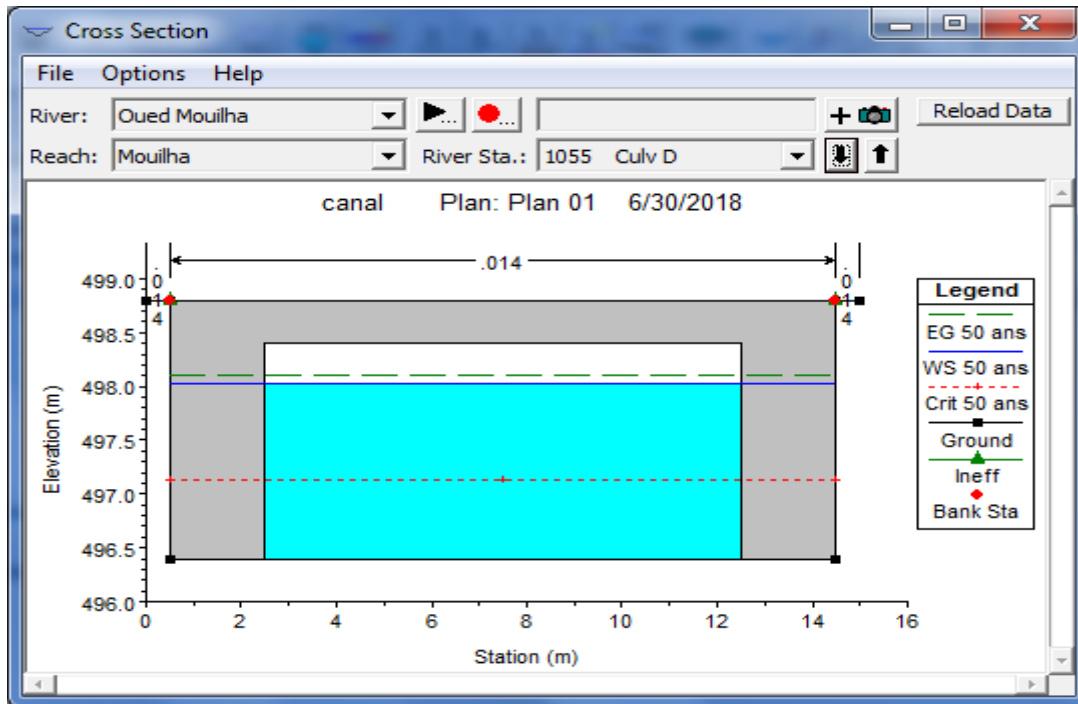


Figure V.21. La hauteur d'eau au niveau 2^{ème} pont après simulation pour T=100ans

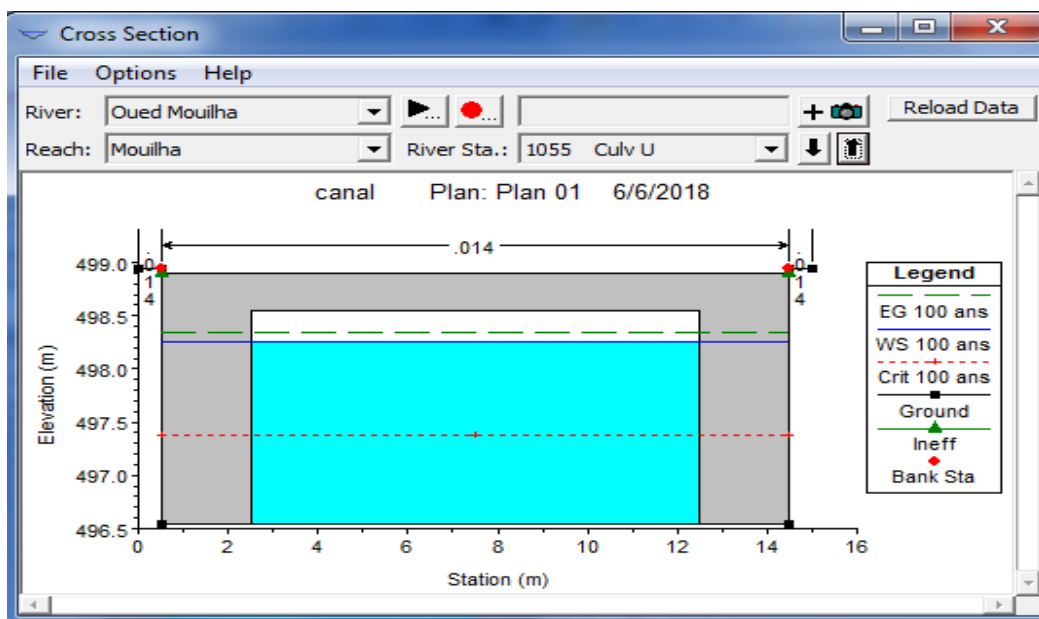


Figure V.22. La hauteur d'eau au niveau 2^{ème} pont après simulation pour T=1000 ans

Tableau V. 4. Les résultats des calculs hydrauliques de l'oued Mouilha, cas de canal rectangulaire fermé après simulation

La section	Période de retour	Q en (m ³ /s)	La profondeur normale (m)	Crit w.s (m)	La vitesse (m/s)	Top width (m)	Nombre de froud (m)
2845	10 ans	12.28	0.85	513.45	2.90	5	1.01
	50 ans	19.82	1.17	513.77	3.40	5	1
	100 ans	23.86	1.32	513.92	3.62	5	1
	1000ans	39.27	1.40	514.44	4.27	5	1
2430	10 ans	12.28	0.50	507.25	4.89	5	2.20
	50 ans	19.82	0.69	507.57	5.78	5	2.23
	100 ans	23.86	0.78	507.72	6.15	5	2.23
	1000 ans	39.27	1.09	508.24	7.20	5	2.20
755	10 ans	12.28	0.64	495.07	3.86	5	1.55
	50 ans	19.82	0.88	495.39	4.52	5	1.54
	100 ans	23.86	0.99	495.54	4.80	5	1.54
	1000 ans	39.27	1.40	496.07	5.60	5	1.51
5	10 ans	12.28	0.64	489.70	3.86	5	1.55
	50ans	19.82	0.88	490.02	4.51	5	1.54
	100 ans	23.86	0.99	490.17	4.81	5	1.54
	1000 ans	39.27	1.41	490.70	5.59	5	1.51

Pour les résultats des autres sections sont données dans l'**annexe V**.

Nous remarquons que les hauteurs d'eau au niveau de toutes les sections de l'oued dans le cas du canal rectangulaire est inférieure à la hauteur maximale du canal et la largeur maximale au niveau de chaque section est de 5m, et aussi au niveau des deux ponts pour une période de retour de 1000 ans. Donc la ville est protégée contre les inondations pour une période de retour extrême de 1000 ans.

Nous avons étudiés les deux variantes (canal trapézoïdal et canal rectangulaire), la meilleure variante de protection contre les inondations pour notre cas d'étude (ville de Mouilha) c'est le canal rectangulaire fermé.

V.3. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons proposées deux ouvrages de protection contre les inondations de notre quartier Mouilha, un canal trapézoïdal de Plafond de 5 m et la hauteur de 2 m avec les pentes du talus m est égal à de 2, et un canal rectangulaire fermé de largeur de 5 m et de profondeur de 2m.

Nous avons choisi le canal rectangulaire fermé comme meilleur solution, que le canal trapezoidal parce que l'oued traverser au milieu de quartier.

Conclusion générale

Conclusion générale

La protection des sites urbains contre les crues et les inondations et la modélisation de ce phénomène est une nécessité indispensable afin de réduire les risques humains, matériels et économiques.

Les aménagements de protection contre les inondations, souvent sous-dimensionnés et mal entretenus, ont montré leurs faiblesses à plusieurs reprises et leurs ruptures augmentent la violence des inondations.

Notre travail avait pour objet de proposer une nouvelle méthodologie de conception hydraulique dans le cadre de dimensionnement des ouvrages de protection contre les inondations par l'utilisation d'un outil numérique dans la conception hydraulique et aménagement donnant ainsi des résultats fiables.

Nous avons pris le quartier de Mouilha qui se situe à la ville de M'sila comme exemple d'application en vue de protéger ce quartier contre ce phénomène.

Le bassin versant d'Oued Mouilha a une forme allongée sur une superficie totale de 9.90 km² et il a une morphologie et une structure complexe. Les eaux rejoignent le cours d'eau principal dans une courte durée. C'est un bassin de moyenne altitude. La pente réduit aussi le temps de concentration.

Le choix du logiciel HEC-RAS pour effectuer cette simulation hydraulique est conditionné par la nature des données topographiques qui existent, car cette composante sert en entrée du modèle hydraulique comme condition à la limite, et comme une composante cartographique nécessaire à la représentation spatiale de l'aléa.

La carte du risque d'inondation devrait pouvoir servir de base de connaissance nécessaire à la mise en place d'un système d'aide à la gestion pour que les aménagements préconisés puissent être testés et analysés dans le contexte global du bassin versant.

Nous avons choisi le canal rectangulaire fermé comme meilleure solution avec des dimensions de 5 m de largeur et 2 m de profondeur.

Pour un développement futur pour ce travail, ou activité scientifique dans ce domaine, nous proposons les suggestions suivantes :

- Dans notre travail nous avons attaché beaucoup d'importance au caractère opérationnel du travail et nous espérons que la méthodologie pourra être mise en œuvre dans d'autres bassins versants.
- Développer les codes de calcul HEC-HMS et HEC-RAS aux conditions physio-géographiques, hydro-climatologique et socio-économiques.

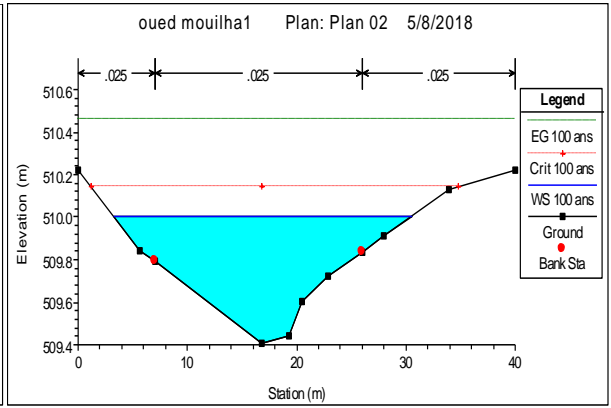
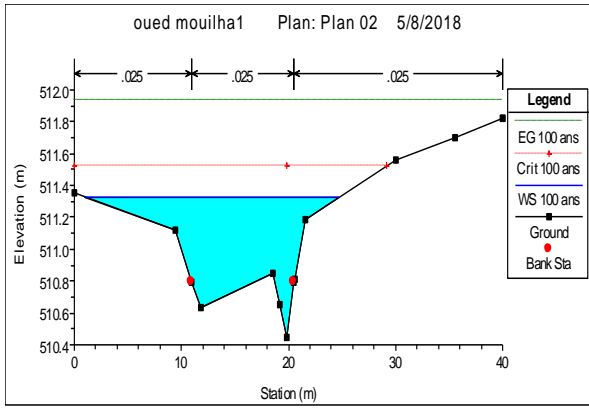
Références bibliographiques

BIBLIOGRAPHIE

- [1]. **Direction de la Surveillance et de la Prévention des Risques**, Étude pour la réalisation d'une cartographie d'un système d'information géographique sur les risques majeurs au Maroc.
- [2]. **CHABANE Rabah et LABBAOUI Thanina**, Étude de Protection contre les inondations de la ville D'EL BAYADH (OUED DEFFA), Université Abderrahmane MIRA de Bejaia, Année Universitaire : 2015/2016
- [3]. **GUERBI Mohammed Ali et ABDELKEBIR Brahim**, Protection contre les inondations par l'utilisation d'ARC GIS, HEC GEO RAS et HEC RAS. Cas de la ville d'El Kseur W. Bejaia. Université Mohamed Boudiaf - M'sila. Année universitaire ; 2016 /2017.
- [4]. **MEKKI ELYAKOUT**, Etude de protection de ville Ain khadra contre inondation par logiciel HEC-RAS. Université Mohamed Boudiaf - M'sila ; Année universitaire ; 2016 /2017.
- [5]. **KALKOUL AHMED ZAKARIA**, Cartographie des zones inondables (Oued Cheliff). Université Mohamed Boudiaf - M'sila, Année universitaire ; 2014 /2015.
- [6]. **KOUADRI Saber**, Modélisation et Protection contre les inondations (CAS DE LA VILLE D'ILLIZI). Université Kasdi Merbah Ouargla ; 2016/2017.
- [7]. **CTH**. Organisme national de controle technique de la construction Hydraulique.
- [8]. **ANRH**. les données pluviométriques de la station de KSOB
- [9]. **Mr. BEN KADJA RACHID** , Cours du module Hydrologie, 2016.
- [10]. **CHEIKH SIDI EL KHAIR Fatma**, Délimitation des zones inondables par l'utilisation combiné du logiciel HEC-RAS et HEC GEORAS cas du centre « Ain Jemaa » ; Université Sidi Mohammed Ben Abdellah ; **Année Universitaire : 2012-2013**
- [11]. **MERRIEN SOUKATCHOFF**, « Eléments d'Hydrologie et d'hydrogéologie », École miens de Nancy.
- [12]. **NEDELEC .Y .1998**, P270 Activités rurales et inondations.

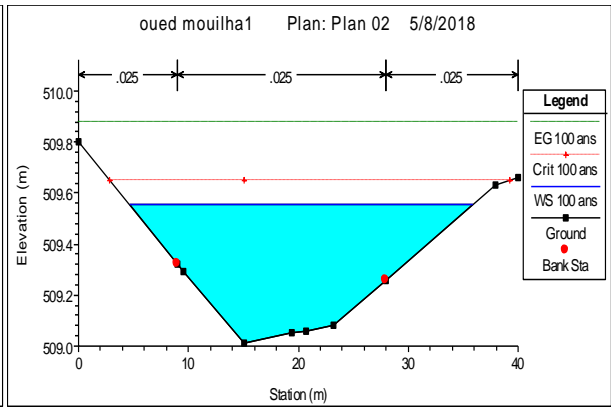
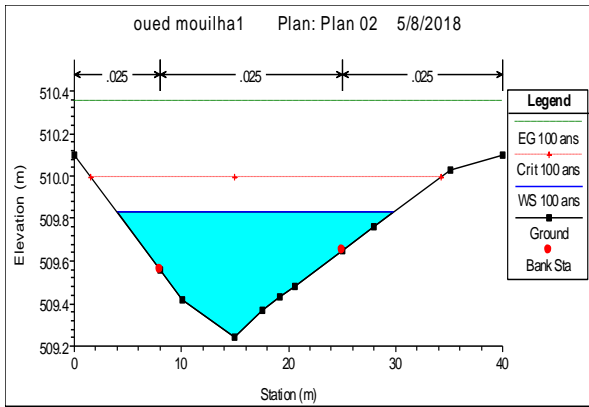
Annexes

L'annexe I : les autre Section avec une hauteur d'eau en régime permanent pour T = 100 ans



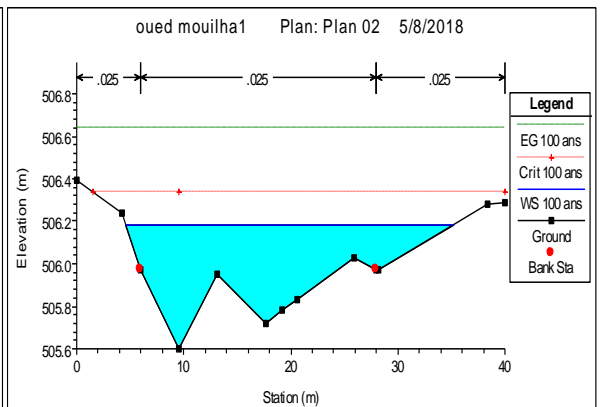
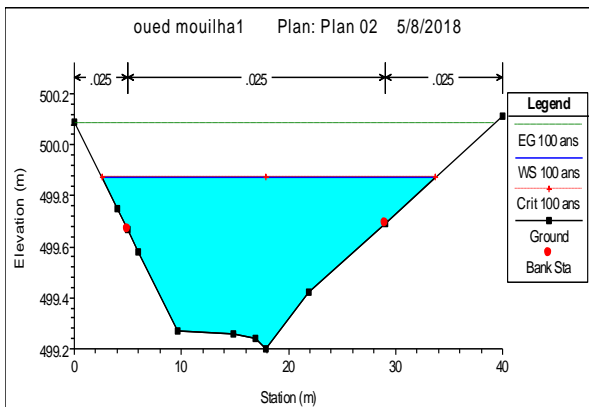
Section1

Section2



Section3

Section5



Section6

Section7

L'annexe II : Les résultats des calculs hydrauliques de l'oued Mouilha en régime permanent pour quelques sections transversales

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
mouilha	2815	10 ans	12.28	512.05	512.27	512.31	512.44	0.019216	1.79	6.96	40.00	1.33
mouilha	2815	50 ans	19.82	512.05	512.34	512.39	512.57	0.018906	2.14	9.39	40.00	1.39
mouilha	2815	100 ans	23.86	512.05	512.36	512.43	512.63	0.018634	2.30	10.56	40.00	1.40
mouilha	2815	1000 ans	39.27	512.05	512.46	512.56	512.85	0.018808	2.80	14.25	40.00	1.48
mouilha	2810	10 ans	12.28	511.95	512.17	512.21	512.34	0.019897	1.81	6.86	40.00	1.36
mouilha	2810	50 ans	19.82	511.95	512.23	512.29	512.47	0.019680	2.17	9.25	40.00	1.41
mouilha	2810	100 ans	23.86	511.95	512.26	512.33	512.53	0.019406	2.33	10.41	40.00	1.43
mouilha	2810	1000 ans	39.27	511.95	512.35	512.46	512.75	0.019353	2.83	14.11	40.00	1.50
mouilha	2805	10 ans	12.28	511.84	512.08	512.12	512.24	0.019736	1.80	6.88	39.32	1.35
mouilha	2805	50 ans	19.82	511.84	512.14	512.20	512.37	0.019281	2.16	9.28	39.32	1.40
mouilha	2805	100 ans	23.86	511.84	512.17	512.24	512.43	0.018789	2.31	10.47	39.32	1.41
mouilha	2805	1000 ans	39.27	511.84	512.26	512.37	512.66	0.019081	2.82	14.09	39.32	1.49
mouilha	2801	10 ans	12.28	511.76	512.01	512.05	512.17	0.019272	1.79	6.92	38.97	1.34
mouilha	2801	50 ans	19.82	511.76	512.07	512.13	512.30	0.019017	2.16	9.30	38.97	1.39
mouilha	2801	100 ans	23.86	511.76	512.10	512.17	512.37	0.018867	2.31	10.43	38.97	1.41
mouilha	2801	1000 ans	39.27	511.76	512.19	512.30	512.59	0.018787	2.81	14.12	38.97	1.48
mouilha	2797	10 ans	12.28	511.69	511.95	511.98	512.09	0.015322	1.67	7.39	38.47	1.21
mouilha	2797	50 ans	19.82	511.69	512.01	512.06	512.23	0.016007	2.05	9.75	38.47	1.29
mouilha	2797	100 ans	23.86	511.69	512.04	512.10	512.29	0.016343	2.22	10.84	38.47	1.33
mouilha	2797	1000 ans	39.27	511.69	512.14	512.23	512.51	0.016328	2.71	14.65	38.47	1.39
mouilha	2792	10 ans	12.28	511.60	511.88	511.91	512.02	0.015153	1.67	7.48	41.14	1.20
mouilha	2792	50 ans	19.82	511.60	511.94	511.99	512.15	0.016456	2.06	9.82	41.14	1.30
mouilha	2792	100 ans	23.86	511.60	511.97	512.03	512.22	0.016831	2.23	10.94	41.14	1.34
mouilha	2792	1000 ans	39.27	511.60	512.06	512.15	512.43	0.017385	2.73	14.69	41.14	1.43
mouilha	2787	10 ans	12.28	511.49	511.82	511.84	511.94	0.011408	1.53	8.16	41.29	1.06
mouilha	2787	50 ans	19.82	511.49	511.89	511.91	512.06	0.011235	1.83	11.06	41.53	1.10
mouilha	2787	100 ans	23.86	511.49	511.92	511.95	512.12	0.011693	1.99	12.25	41.53	1.14
mouilha	2787	1000 ans	39.27	511.49	512.02	512.08	512.33	0.012953	2.49	16.11	41.53	1.25

ANNEXES

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
mouilha	2815	10 ans	12.28	512.05	512.27	512.31	512.44	0.019216	1.79	6.96	40.00	1.33
mouilha	2815	50 ans	19.82	512.05	512.34	512.39	512.57	0.018906	2.14	9.39	40.00	1.39
mouilha	2815	100 ans	23.86	512.05	512.36	512.43	512.63	0.018634	2.30	10.56	40.00	1.40
mouilha	2815	1000 ans	39.27	512.05	512.46	512.56	512.85	0.018808	2.80	14.25	40.00	1.48
mouilha	2810	10 ans	12.28	511.95	512.17	512.21	512.34	0.019897	1.81	6.86	40.00	1.36
mouilha	2810	50 ans	19.82	511.95	512.23	512.29	512.47	0.019680	2.17	9.25	40.00	1.41
mouilha	2810	100 ans	23.86	511.95	512.26	512.33	512.53	0.019406	2.33	10.41	40.00	1.43
mouilha	2810	1000 ans	39.27	511.95	512.35	512.46	512.75	0.019353	2.83	14.11	40.00	1.50
mouilha	2805	10 ans	12.28	511.84	512.08	512.12	512.24	0.019736	1.80	6.88	39.32	1.35
mouilha	2805	50 ans	19.82	511.84	512.14	512.20	512.37	0.019281	2.16	9.28	39.32	1.40
mouilha	2805	100 ans	23.86	511.84	512.17	512.24	512.43	0.018789	2.31	10.47	39.32	1.41
mouilha	2805	1000 ans	39.27	511.84	512.26	512.37	512.66	0.019081	2.82	14.09	39.32	1.49
mouilha	2801	10 ans	12.28	511.76	512.01	512.05	512.17	0.019272	1.79	6.92	38.97	1.34
mouilha	2801	50 ans	19.82	511.76	512.07	512.13	512.30	0.019017	2.16	9.30	38.97	1.39
mouilha	2801	100 ans	23.86	511.76	512.10	512.17	512.37	0.018867	2.31	10.43	38.97	1.41
mouilha	2801	1000 ans	39.27	511.76	512.19	512.30	512.59	0.018787	2.81	14.12	38.97	1.48
mouilha	2797	10 ans	12.28	511.69	511.95	511.98	512.09	0.015322	1.67	7.39	38.47	1.21
mouilha	2797	50 ans	19.82	511.69	512.01	512.06	512.23	0.016007	2.05	9.75	38.47	1.29
mouilha	2797	100 ans	23.86	511.69	512.04	512.10	512.29	0.016343	2.22	10.84	38.47	1.33
mouilha	2797	1000 ans	39.27	511.69	512.14	512.23	512.51	0.016328	2.71	14.65	38.47	1.39
mouilha	2792	10 ans	12.28	511.60	511.88	511.91	512.02	0.015153	1.67	7.48	41.14	1.20
mouilha	2792	50 ans	19.82	511.60	511.94	511.99	512.15	0.016456	2.06	9.82	41.14	1.30
mouilha	2792	100 ans	23.86	511.60	511.97	512.03	512.22	0.016831	2.23	10.94	41.14	1.34
mouilha	2792	1000 ans	39.27	511.60	512.06	512.15	512.43	0.017385	2.73	14.69	41.14	1.43
mouilha	2787	10 ans	12.28	511.49	511.82	511.84	511.94	0.011408	1.53	8.16	41.29	1.06
mouilha	2787	50 ans	19.82	511.49	511.89	511.91	512.06	0.011235	1.83	11.06	41.53	1.10
mouilha	2787	100 ans	23.86	511.49	511.92	511.95	512.12	0.011693	1.99	12.25	41.53	1.14
mouilha	2787	1000 ans	39.27	511.49	512.02	512.08	512.33	0.012953	2.49	16.11	41.53	1.25

ANNEXES

			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
mouilha	1190	10 ans	12.28	497.40	498.77		498.77	0.000040	0.27	45.59	40.00	0.08
mouilha	1190	50 ans	19.82	497.40	498.91		498.91	0.000070	0.39	51.24	40.00	0.11
mouilha	1190	100 ans	23.86	497.40	498.97		498.98	0.000086	0.45	53.89	40.00	0.12
mouilha	1190	1000 ans	39.27	497.40	499.18		499.20	0.000146	0.65	62.08	40.00	0.17
mouilha	1185	10 ans	12.28	497.39	498.77		498.77	0.000034	0.26	47.65	40.00	0.08
mouilha	1185	50 ans	19.82	497.39	498.91		498.91	0.000062	0.38	53.31	40.00	0.11
mouilha	1185	100 ans	23.86	497.39	498.97		498.98	0.000076	0.44	55.96	40.00	0.12
mouilha	1185	1000 ans	39.27	497.39	499.18		499.20	0.000131	0.63	64.16	40.00	0.16
mouilha	1180	10 ans	12.28	497.26	498.77		498.77	0.000026	0.24	51.62	40.00	0.07
mouilha	1180	50 ans	19.82	497.26	498.91		498.91	0.000048	0.35	57.29	40.00	0.09
mouilha	1180	100 ans	23.86	497.26	498.97		498.98	0.000060	0.41	59.94	40.00	0.11
mouilha	1180	1000 ans	39.27	497.26	499.18		499.20	0.000107	0.59	68.16	40.00	0.14
mouilha	1175	10 ans	12.28	497.18	498.77		498.77	0.000021	0.23	55.42	40.00	0.06
mouilha	1175	50 ans	19.82	497.18	498.91		498.91	0.000039	0.33	61.09	40.00	0.09
mouilha	1175	100 ans	23.86	497.18	498.97		498.98	0.000049	0.38	63.75	40.00	0.10
mouilha	1175	1000 ans	39.27	497.18	499.18		499.20	0.000089	0.56	71.98	40.00	0.13
mouilha	1170	10 ans	12.28	496.96	498.77		498.77	0.000015	0.21	60.81	40.00	0.05
mouilha	1170	50 ans	19.82	496.96	498.91		498.91	0.000029	0.30	66.50	40.00	0.08
mouilha	1170	100 ans	23.86	496.96	498.97		498.98	0.000037	0.35	69.15	40.00	0.09
mouilha	1170	1000 ans	39.27	496.96	499.18		499.19	0.000069	0.52	77.41	40.00	0.12
mouilha	1165	10 ans	12.28	496.75	498.77		498.77	0.000011	0.19	66.88	40.00	0.05
mouilha	1165	50 ans	19.82	496.75	498.91		498.91	0.000022	0.28	72.57	40.00	0.07
mouilha	1165	100 ans	23.86	496.75	498.98		498.98	0.000028	0.32	75.24	40.00	0.08
mouilha	1165	1000 ans	39.27	496.75	499.18		499.19	0.000054	0.48	83.51	40.00	0.11
mouilha	1160	10 ans	12.28	496.60	498.77		498.77	0.000009	0.18	71.32	40.00	0.04
mouilha	1160	50 ans	19.82	496.60	498.91		498.91	0.000018	0.26	77.02	40.00	0.06
mouilha	1160	100 ans	23.86	496.60	498.98		498.98	0.000023	0.31	79.68	40.00	0.07
mouilha	1160	1000 ans	39.27	496.60	499.18		499.19	0.000045	0.46	87.97	40.00	0.10

ANNEXES

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/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 (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
mouilha	755	10 ans	12.28	494.22	494.63		494.67	0.002120	0.91	13.71	40.00	0.49
mouilha	755	50 ans	19.82	494.22	494.75		494.81	0.002128	1.10	18.28	40.00	0.52
mouilha	755	100 ans	23.86	494.22	494.80		494.87	0.002160	1.19	20.36	40.00	0.53
mouilha	755	1000 ans	39.27	494.22	494.98		495.09	0.002134	1.45	27.61	40.00	0.56
mouilha	750	10 ans	12.28	494.19	494.62		494.66	0.002264	0.92	13.52	40.80	0.51
mouilha	750	50 ans	19.82	494.19	494.74		494.80	0.002196	1.11	18.23	40.80	0.52
mouilha	750	100 ans	23.86	494.19	494.79		494.86	0.002210	1.19	20.36	40.80	0.54
mouilha	750	1000 ans	39.27	494.19	494.97		495.07	0.002132	1.44	27.82	40.80	0.55
mouilha	745	10 ans	12.28	494.17	494.61		494.65	0.002304	0.93	13.34	40.00	0.51
mouilha	745	50 ans	19.82	494.17	494.72		494.79	0.002261	1.12	17.93	40.00	0.53
mouilha	745	100 ans	23.86	494.17	494.77		494.85	0.002288	1.21	19.98	40.00	0.55
mouilha	745	1000 ans	39.27	494.17	494.95		495.06	0.002233	1.47	27.21	40.00	0.57
mouilha	740	10 ans	12.28	494.13	494.60		494.64	0.002157	0.92	13.60	40.00	0.50
mouilha	740	50 ans	19.82	494.13	494.71		494.77	0.002149	1.11	18.20	40.00	0.52
mouilha	740	100 ans	23.86	494.13	494.76		494.84	0.002189	1.20	20.24	40.00	0.53
mouilha	740	1000 ans	39.27	494.13	494.95		495.05	0.002157	1.46	27.49	40.00	0.56
mouilha	735	10 ans	12.28	494.11	494.59		494.63	0.002152	0.92	13.58	40.00	0.50
mouilha	735	50 ans	19.82	494.11	494.70		494.76	0.002147	1.11	18.18	40.00	0.52
mouilha	735	100 ans	23.86	494.11	494.75		494.82	0.002193	1.20	20.22	40.00	0.54
mouilha	735	1000 ans	39.27	494.11	494.93		495.04	0.002166	1.46	27.45	40.00	0.56
mouilha	730	10 ans	12.28	494.08	494.58		494.62	0.002202	0.92	13.49	40.00	0.50
mouilha	730	50 ans	19.82	494.08	494.69		494.75	0.002187	1.11	18.08	40.00	0.52
mouilha	730	100 ans	23.86	494.08	494.74		494.81	0.002236	1.21	20.10	40.00	0.54
mouilha	730	1000 ans	39.27	494.08	494.92		495.03	0.002196	1.46	27.34	40.00	0.56
mouilha	725	10 ans	12.28	494.05	494.57		494.61	0.002109	0.91	13.66	40.00	0.49
mouilha	725	50 ans	19.82	494.05	494.68		494.74	0.002116	1.10	18.27	40.00	0.52
mouilha	725	100 ans	23.86	494.05	494.73		494.80	0.002174	1.20	20.28	40.00	0.53
mouilha	725	1000 ans	39.27	494.05	494.91		495.02	0.002148	1.45	27.52	40.00	0.56

L'annexe III : Les résultats des calculs hydrauliques de l'oued Mouilha de régime non permanent pour quelques sections transversales.

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
mouilha	2845	Max WS	9.16	512.60	515.21		515.21	0.000002	0.09	101.87	40.00	0.02
mouilha	2840	Max WS	6.00	512.50	515.56		515.56	0.000000	0.05	119.31	40.00	0.01
mouilha	2835	Max WS	8.90	512.45	513.70		513.70	0.000017	0.19	48.22	40.00	0.05
mouilha	2830	Max WS	-18.41	512.36	514.11		514.12	0.000023	-0.28	68.86	40.00	0.07
mouilha	2825	Max WS	1.74	512.25	514.20		514.20	0.000000	0.02	76.21	40.00	0.01
mouilha	2820	Max WS	-5.43	512.17	513.79		513.79	0.000003	-0.09	63.64	40.00	0.02
mouilha	2815	Max WS	13.75	512.05	513.25		513.26	0.000048	0.31	46.13	40.00	0.09
mouilha	2810	Max WS	67.03	511.95	514.60		514.62	0.000078	0.67	103.86	40.00	0.13
mouilha	2805	Max WS	2.14	511.84	513.31		513.31	0.000001	0.04	55.28	39.32	0.01
mouilha	2801	Max WS	44.80	511.76	513.67		513.69	0.000114	0.64	71.58	38.97	0.15
mouilha	2797	Max WS	3.64	511.69	513.49		513.49	0.000001	0.06	66.35	38.47	0.01
mouilha	2792	Max WS	99.74	511.60	514.66		514.70	0.000107	0.85	121.71	41.14	0.16
mouilha	2787	Max WS	8.73	511.49	512.72		512.72	0.000021	0.20	45.21	41.53	0.06
mouilha	2780	Max WS	5.97	510.54	513.47		513.47	0.000001	0.09	85.78	42.67	0.02
mouilha	2775	Max WS	3.19	510.49	512.21		512.21	0.000006	0.12	34.94	40.00	0.03
mouilha	2770	Max WS	3.09	510.45	512.07		512.07	0.000006	0.12	33.32	40.00	0.03
mouilha	2765	Max WS	37.95	510.41	512.13		512.19	0.000570	1.15	39.28	40.00	0.32
mouilha	2760	Max WS	3.64	510.37	511.89		511.89	0.000010	0.13	32.03	40.00	0.04
mouilha	2755	Max WS	0.76	510.36	511.75		511.75	0.000001	0.03	29.55	40.00	0.01
mouilha	2750	Max WS	9.22	510.34	511.80		511.80	0.000049	0.29	35.24	40.00	0.09
mouilha	2745	Max WS	0.70	510.33	511.83		511.83	0.000000	0.02	40.92	41.66	0.01
mouilha	2740	Max WS	-0.83	510.31	512.13		512.13	0.000000	-0.02	58.05	42.47	0.00
mouilha	2735	Max WS	5.82	510.29	511.53		511.53	0.000023	0.19	33.25	40.00	0.06
mouilha	2730	Max WS	-1.55	510.28	511.35		511.35	0.000002	-0.06	29.41	40.00	0.02
mouilha	2725	Max WS	12.84	510.26	511.24		511.25	0.000196	0.50	28.28	40.00	0.17
mouilha	2721	Max WS	5.62	510.25	511.30		511.30	0.000021	0.18	33.92	40.01	0.06
mouilha	2715	Max WS	-20.68	510.18	511.29		511.31	0.000201	-0.59	37.85	40.00	0.18
mouilha	2710	Max WS	73.59	510.09	510.76	510.94	511.40	0.016914	3.64	21.22	40.00	1.52
mouilha	2705	Max WS	58.56	509.85	511.31		511.39	0.000767	1.34	47.63	40.00	0.37
mouilha	2700	Max WS	-26.99	509.50	512.32		512.32	0.000017	-0.31	95.01	40.46	0.06
mouilha	2692	Max WS	139.47	509.48	510.67	510.95	511.66	0.015620	4.43	31.98	39.97	1.55
mouilha	2685	Max WS	0.81	509.47	510.44		510.44	0.000005	0.06	15.07	36.78	0.02
mouilha	2681	Max WS	0.49	509.46	510.75		510.75	0.000000	0.02	28.21	39.04	0.01
mouilha	2677	Max WS	-1.01	509.45	510.71		510.71	0.000001	-0.04	31.89	39.42	0.01
mouilha	2675	Max WS	-2.74	509.41	511.38		511.38	0.000001	-0.05	61.92	40.00	0.01
mouilha	2670	Max WS	29.75	509.24	510.03	510.08	510.31	0.007481	2.47	13.83	34.03	1.02

ANNEXES



Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/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 (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
mouilha	2430	Max WS	27.47	506.40	507.23		507.30	0.001587	1.32	23.54	40.00	0.49
mouilha	2425	Max WS	21.76	506.24	507.02		507.10	0.002402	1.20	18.46	40.28	0.55
mouilha	2420	Max WS	21.75	506.23	507.02		507.08	0.002110	1.15	19.19	40.00	0.52
mouilha	2415	Max WS	21.75	506.22	507.01		507.07	0.001739	1.09	20.37	40.00	0.48
mouilha	2411	Max WS	21.75	506.21	507.00		507.06	0.001650	1.07	20.61	39.36	0.47
mouilha	2407	Max WS	21.75	506.20	506.98		507.04	0.001698	1.08	20.35	38.91	0.47
mouilha	2401	Max WS	21.75	506.20	506.95		507.01	0.002016	1.13	19.46	39.41	0.51
mouilha	2395	Max WS	-5.57	506.19	506.95		506.95	0.000092	-0.26	21.84	40.00	0.11
mouilha	2390	Max WS	21.75	506.18	506.92		506.97	0.001376	1.01	21.95	40.00	0.43
mouilha	2385	Max WS	-15.97	506.17	507.03		507.04	0.000376	-0.60	26.97	40.00	0.23
mouilha	2380	Max WS	21.75	506.16	506.90		506.95	0.001364	1.00	22.16	40.00	0.43
mouilha	2374	Max WS	21.75	506.14	506.87		506.93	0.002044	1.15	19.56	40.49	0.52
mouilha	2370	Max WS	21.75	506.14	506.86		506.92	0.001786	1.09	20.27	40.00	0.48
mouilha	2365	Max WS	21.75	506.13	506.82		506.92	0.003871	1.38	16.06	40.00	0.68
mouilha	2360	Max WS	-10.96	506.12	507.12		507.13	0.000147	-0.39	28.43	40.00	0.15
mouilha	2355	Max WS	-13.31	506.11	507.29		507.30	0.000141	-0.42	32.49	40.00	0.15
mouilha	2350	Max WS	21.75	506.11	506.71	506.75	506.96	0.007848	2.26	10.04	28.97	1.01
mouilha	2345	Max WS	3.79	506.10	506.71		506.72	0.000200	0.37	10.47	22.42	0.16
mouilha	2340	Max WS	-1.67	506.05	506.65		506.65	0.000053	-0.17	9.99	25.13	0.08
mouilha	2335	Max WS	3.36	505.97	506.64		506.64	0.000181	0.32	10.92	29.03	0.15
mouilha	2330	Max WS	21.75	505.89	506.47	506.59	506.87	0.024910	2.80	7.77	26.78	1.64
mouilha	2325	Max WS	21.74	505.80	506.33	506.47	506.77	0.029157	2.97	7.50	29.43	1.77
mouilha	2320	Max WS	0.13	505.60	506.24		506.24	0.000000	0.01	10.14	32.94	0.01
mouilha	2314	Max WS	21.74	505.57	506.14	506.25	506.50	0.015793	2.79	8.89	34.15	1.38
mouilha	2310	Max WS	21.74	505.56	506.06	506.18	506.45	0.024086	2.81	8.01	33.87	1.63
mouilha	2303	Max WS	21.74	505.42	505.91	505.99	506.22	0.015819	2.51	8.95	29.42	1.35
mouilha	2300	Max WS	21.74	505.36	505.87	505.95	506.17	0.012827	2.49	9.45	30.20	1.24
mouilha	2295	Max WS	21.74	505.27	505.81	505.88	506.10	0.012469	2.45	9.52	31.45	1.23
mouilha	2290	Max WS	21.74	505.19	505.74	505.84	506.07	0.015635	2.62	9.04	32.77	1.36
mouilha	2285	Max WS	21.74	505.10	505.66	505.77	505.98	0.015193	2.58	9.24	33.68	1.34
mouilha	2280	Max WS	-5.37	505.00	505.63		505.64	0.000540	-0.53	11.25	36.37	0.26
mouilha	2275	Max WS	21.74	504.91	505.54	505.58	505.76	0.008914	2.18	10.97	34.06	1.05
mouilha	2270	Max WS	21.74	504.90	505.50	505.52	505.70	0.007678	2.07	11.71	35.92	0.98
mouilha	2265	Max WS	21.74	504.89	505.46	505.46	505.64	0.006573	1.96	12.40	36.08	0.91
mouilha	2261	Max WS	13.34	504.88	506.03		506.03	0.000093	0.38	36.95	41.04	0.12
mouilha	2255	Max WS	21.74	504.87	505.40		505.54	0.005682	1.64	13.42	35.39	0.83

ANNEXES



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
mouilha	755	Max WS	6.45	494.22	495.05		495.05	0.000042	0.22	30.44	40.00	0.08
mouilha	750	Max WS	-3.69	494.19	495.36		495.36	0.000004	-0.09	43.67	40.80	0.03
mouilha	745	Max WS	-20.55	494.17	495.76		495.77	0.000046	-0.36	59.41	40.00	0.09
mouilha	740	Max WS	21.38	494.13	494.75		494.81	0.001996	1.12	19.48	40.00	0.51
mouilha	735	Max WS	-0.15	494.11	494.76		494.76	0.000000	-0.01	20.49	40.00	0.00
mouilha	730	Max WS	21.38	494.08	494.69		494.76	0.002537	1.20	18.10	40.00	0.57
mouilha	725	Max WS	21.38	494.05	494.67		494.74	0.002669	1.22	17.82	40.00	0.58
mouilha	720	Max WS	21.38	494.03	494.64		494.73	0.003064	1.27	17.07	40.00	0.62
mouilha	715	Max WS	21.38	494.00	494.62		494.71	0.003317	1.30	16.65	40.00	0.64
mouilha	710	Max WS	4.59	493.99	495.07		495.08	0.000013	0.13	34.81	40.00	0.05
mouilha	705	Max WS	5.43	493.98	494.60		494.61	0.000246	0.34	15.94	40.00	0.17
mouilha	699	Max WS	21.38	493.95	494.53		494.66	0.006442	1.62	13.45	40.56	0.86
mouilha	695	Max WS	5.68	493.93	494.61		494.61	0.000217	0.38	16.38	40.00	0.17
mouilha	690	Max WS	21.38	493.92	494.47	494.46	494.64	0.007634	1.83	12.00	35.68	0.95
mouilha	685	Max WS	1.18	493.90	494.52		494.52	0.000010	0.08	16.17	40.00	0.04
mouilha	680	Max WS	21.38	493.88	494.41		494.52	0.005646	1.53	14.19	41.12	0.81
mouilha	675	Max WS	-6.30	493.87	494.63		494.63	0.000080	-0.26	24.61	40.00	0.11
mouilha	670	Max WS	21.38	493.83	494.34		494.45	0.004954	1.46	14.80	40.00	0.76
mouilha	665	Max WS	21.38	493.82	494.31		494.42	0.004654	1.44	15.08	40.00	0.74
mouilha	660	Max WS	21.38	493.78	494.28	494.27	494.42	0.007827	1.68	12.82	40.00	0.94
mouilha	655	Max WS	21.38	493.73	494.24	494.23	494.43	0.007993	1.92	11.23	29.98	0.98
mouilha	650	Max WS	21.38	493.62	494.21		494.35	0.005923	1.70	12.66	31.71	0.85
mouilha	645	Max WS	10.49	493.52	494.59		494.60	0.000101	0.36	30.50	40.00	0.12
mouilha	640	Max WS	10.75	493.43	494.21		494.22	0.000522	0.57	19.00	40.00	0.26
mouilha	635	Max WS	-6.73	493.39	494.23		494.24	0.000429	-0.50	13.72	31.65	0.23
mouilha	630	Max WS	21.38	493.38	494.10	494.18	494.44	0.013242	2.63	8.40	21.26	1.27
mouilha	625	Max WS	21.38	493.37	494.05	494.11	494.34	0.012743	2.44	9.21	27.36	1.24
mouilha	620	Max WS	9.79	493.19	494.43		494.43	0.000076	0.33	31.71	40.00	0.11
mouilha	605	Max WS	21.38	493.10	493.99		494.05	0.001534	1.01	21.42	42.51	0.45
mouilha	600	Max WS	21.38	493.06	493.97		494.04	0.002427	1.18	18.25	40.00	0.55
mouilha	595	Max WS	12.34	493.05	494.13		494.15	0.000802	0.68	18.43	40.00	0.32
mouilha	587	Max WS	2.08	493.04	493.82		493.82	0.000181	0.21	9.74	39.05	0.14
mouilha	583	Max WS	-0.12	493.03	493.73		493.73	0.000001	-0.01	9.63	40.00	0.01
mouilha	580	Max WS	-0.85	493.02	494.19		494.19	0.000001	-0.03	32.37	40.00	0.01
mouilha	575	Max WS	-3.88	493.01	493.50		493.51	0.000257	-0.35	11.67	33.66	0.18
mouilha	570	Max WS	-4.09	492.85	493.31		493.31	0.000368	-0.41	10.37	30.30	0.21

ANNEXES

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/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 (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
mouilha	180	Max WS	24.48	489.96	490.87	490.97	491.23	0.025589	2.66	9.31	37.18	1.64
mouilha	175	Max WS	21.38	489.96	490.79	490.83	491.01	0.009365	2.13	11.05	36.48	1.06
mouilha	170	Max WS	21.38	489.96	490.76	490.74	490.91	0.005863	1.86	12.95	37.11	0.86
mouilha	165	Max WS	21.38	489.96	490.73		490.81	0.002548	1.26	17.19	37.65	0.57
mouilha	160	Max WS	21.38	489.96	490.72		490.80	0.002272	1.24	17.55	36.88	0.55
mouilha	156	Max WS	21.38	489.96	490.72		490.79	0.002077	1.18	18.38	37.79	0.52
mouilha	150	Max WS	21.38	489.95	490.71		490.77	0.001812	1.10	19.75	40.00	0.49
mouilha	145	Max WS	21.38	489.95	490.69		490.81	0.005949	1.56	13.90	40.00	0.83
mouilha	140	Max WS	1.54	489.95	490.66		490.66	0.000032	0.14	12.45	40.00	0.06
mouilha	135	Max WS	21.38	489.95	490.63		490.79	0.005424	1.81	12.40	33.14	0.83
mouilha	130	Max WS	12.48	489.95	490.61		490.67	0.001650	1.06	12.48	31.88	0.47
mouilha	125	Max WS	21.38	489.95	490.57	490.55	490.74	0.006133	1.86	12.09	33.72	0.88
mouilha	120	Max WS	21.38	489.95	490.54	490.53	490.72	0.006775	1.91	11.79	33.88	0.92
mouilha	115	Max WS	1.16	489.95	490.54		490.54	0.000017	0.10	12.66	35.44	0.05
mouilha	110	Max WS	21.38	489.95	490.46	490.49	490.66	0.009896	1.99	11.03	37.00	1.07
mouilha	106	Max WS	21.38	489.95	490.41	490.47	490.65	0.013767	2.16	10.11	37.58	1.23
mouilha	101	Max WS	21.38	489.94	490.33	490.40	490.58	0.015902	2.22	9.93	38.44	1.31
mouilha	95	Max WS	4.15	489.86	490.33		490.33	0.000221	0.31	13.84	40.07	0.16
mouilha	90	Max WS	21.38	489.78	490.18	490.20	490.36	0.010231	1.92	11.66	40.00	1.07
mouilha	85	Max WS	21.38	489.69	490.14		490.28	0.006665	1.67	13.34	40.00	0.88
mouilha	80	Max WS	5.29	489.65	490.19		490.20	0.000137	0.28	18.80	40.00	0.13
mouilha	75	Max WS	21.38	489.56	490.08		490.16	0.003028	1.26	17.16	40.00	0.61
mouilha	70	Max WS	21.38	489.52	490.06		490.13	0.002180	1.14	18.95	40.00	0.53
mouilha	65	Max WS	21.38	489.48	490.04		490.10	0.001967	1.11	19.56	40.00	0.50
mouilha	60	Max WS	21.38	489.44	490.02		490.08	0.002197	1.14	18.90	39.88	0.53
mouilha	55	Max WS	21.38	489.40	489.99		490.06	0.002483	1.18	18.25	40.00	0.56
mouilha	50	Max WS	21.38	489.40	489.96		490.04	0.003275	1.29	16.78	40.00	0.63
mouilha	45	Max WS	21.38	489.40	489.93		490.03	0.004264	1.37	15.73	41.79	0.71
mouilha	40	Max WS	21.38	489.40	489.89		490.02	0.007153	1.62	13.34	40.95	0.90
mouilha	35	Max WS	21.38	489.39	489.84	489.85	490.00	0.010114	1.80	11.94	40.00	1.05
mouilha	30	Max WS	21.38	489.33	489.78	489.79	489.95	0.010171	1.82	11.84	40.00	1.06
mouilha	25	Max WS	21.38	489.28	489.74	489.72	489.88	0.007754	1.71	12.66	39.87	0.94
mouilha	20	Max WS	21.38	489.24	489.70	489.68	489.85	0.007815	1.72	12.53	38.25	0.94
mouilha	15	Max WS	21.38	489.20	489.65	489.69	489.87	0.013217	2.11	10.28	35.83	1.21
mouilha	10	Max WS	21.38	489.02	489.60	489.58	489.76	0.006222	1.85	12.28	33.75	0.88
mouilha	5	Max WS	21.38	488.85	489.57	489.49	489.71	0.004103	1.72	13.40	31.51	0.74

L'annexe IV : Les résultats des calculs hydrauliques de l'oued Mouilha, cas de canal trapézoïdal après simulation

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
Mouilha	2845	10 ans	12.28	512.60	513.41	513.41	513.77	0.002519	2.68	4.59	6.35	1.01
Mouilha	2845	50 ans	19.82	512.60	513.69	513.69	514.17	0.002386	3.07	6.46	6.82	1.01
Mouilha	2845	100 ans	23.86	512.60	513.83	513.83	514.36	0.002340	3.23	7.40	7.05	1.01
Mouilha	2845	1000 ans	39.27	512.60	514.27	514.27	514.96	0.002208	3.67	10.70	7.79	1.00
Mouilha	2825.24*	10 ans	12.28	512.31	512.88	513.11	513.65	0.007765	3.89	3.16	5.96	1.71
Mouilha	2825.24*	50 ans	19.82	512.31	513.12	513.40	514.06	0.006385	4.28	4.63	6.36	1.60
Mouilha	2825.24*	100 ans	23.86	512.31	513.24	513.53	514.24	0.005950	4.44	5.37	6.55	1.57
Mouilha	2825.24*	1000 ans	39.27	512.31	513.62	513.98	514.84	0.005012	4.89	8.02	7.19	1.48
Mouilha	2805.48*	10 ans	12.28	512.01	512.54	512.82	513.46	0.010234	4.26	2.88	5.88	1.94
Mouilha	2805.48*	50 ans	19.82	512.01	512.76	513.10	513.89	0.008485	4.71	4.21	6.25	1.83
Mouilha	2805.48*	100 ans	23.86	512.01	512.86	513.24	514.08	0.007913	4.89	4.88	6.42	1.79
Mouilha	2805.48*	1000 ans	39.27	512.01	513.22	513.68	514.70	0.006604	5.39	7.29	7.02	1.69
Mouilha	2785.71*	10 ans	12.28	511.71	512.22	512.52	513.24	0.011849	4.46	2.75	5.85	2.08
Mouilha	2785.71*	50 ans	19.82	511.71	512.42	512.81	513.69	0.010088	4.99	3.97	6.18	1.99
Mouilha	2785.71*	100 ans	23.86	511.71	512.52	512.94	513.90	0.009456	5.19	4.59	6.35	1.95
Mouilha	2785.71*	1000 ans	39.27	511.71	512.86	513.39	514.54	0.007919	5.73	6.85	6.92	1.84
Mouilha	2765.95*	10 ans	12.28	511.42	511.91	512.23	512.99	0.012906	4.59	2.68	5.82	2.16
Mouilha	2765.95*	50 ans	19.82	511.42	512.11	512.51	513.47	0.011280	5.18	3.83	6.14	2.09
Mouilha	2765.95*	100 ans	23.86	511.42	512.20	512.65	513.69	0.010650	5.40	4.42	6.30	2.06
Mouilha	2765.95*	1000 ans	39.27	511.42	512.53	513.09	514.36	0.009014	6.00	6.55	6.84	1.96
Mouilha	2746.19*	10 ans	12.28	511.12	511.61	511.93	512.72	0.013599	4.67	2.63	5.81	2.22
Mouilha	2746.19*	50 ans	19.82	511.12	511.80	512.22	513.23	0.012191	5.31	3.73	6.12	2.17
Mouilha	2746.19*	100 ans	23.86	511.12	511.89	512.35	513.46	0.011591	5.56	4.29	6.27	2.15
Mouilha	2746.19*	1000 ans	39.27	511.12	512.20	512.80	514.16	0.009942	6.20	6.33	6.79	2.05
Mouilha	2726.43*	10 ans	12.28	510.83	511.31	511.64	512.45	0.014046	4.72	2.60	5.80	2.25
Mouilha	2726.43*	50 ans	19.82	510.83	511.49	511.92	512.98	0.012872	5.41	3.66	6.10	2.23
Mouilha	2726.43*	100 ans	23.86	510.83	511.58	512.06	513.22	0.012319	5.67	4.21	6.25	2.21
Mouilha	2726.43*	1000 ans	39.27	510.83	511.88	512.50	513.94	0.010728	6.36	6.17	6.75	2.13

ANNEXES

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/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 (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Mouilha	2430	50 ans	19.82	506.40	507.03	507.49	508.68	0.014931	5.68	3.49	6.05	2.39
Mouilha	2430	100 ans	23.86	506.40	507.11	507.63	508.97	0.014879	6.04	3.95	6.18	2.41
Mouilha	2430	1000 ans	39.27	506.40	507.36	508.07	509.91	0.014618	7.07	5.55	6.60	2.46
Mouilha	2410.06*	10 ans	12.28	506.26	506.78	507.06	507.74	0.010855	4.34	2.83	5.87	2.00
Mouilha	2410.06*	50 ans	19.82	506.26	506.93	507.35	508.35	0.011870	5.27	3.76	6.13	2.15
Mouilha	2410.06*	100 ans	23.86	506.26	507.01	507.48	508.63	0.012101	5.64	4.23	6.25	2.19
Mouilha	2410.06*	1000 ans	39.27	506.26	507.26	507.93	509.56	0.012628	6.73	5.84	6.67	2.30
Mouilha	2390.12*	10 ans	12.28	506.11	506.66	506.92	507.51	0.008880	4.06	3.02	5.92	1.82
Mouilha	2390.12*	50 ans	19.82	506.11	506.82	507.20	508.08	0.010011	4.98	3.98	6.19	1.98
Mouilha	2390.12*	100 ans	23.86	506.11	506.90	507.34	508.36	0.010373	5.36	4.45	6.31	2.04
Mouilha	2390.12*	1000 ans	39.27	506.11	507.15	507.78	509.27	0.011181	6.45	6.08	6.73	2.17
Mouilha	2370.18*	10 ans	12.28	505.97	506.54	506.77	507.32	0.007959	3.92	3.13	5.95	1.73
Mouilha	2370.18*	50 ans	19.82	505.97	506.70	507.06	507.87	0.008866	4.78	4.15	6.23	1.87
Mouilha	2370.18*	100 ans	23.86	505.97	506.78	507.19	508.13	0.009228	5.15	4.63	6.36	1.93
Mouilha	2370.18*	1000 ans	39.27	505.97	507.03	507.64	509.02	0.010146	6.24	6.29	6.78	2.07
Mouilha	2350.24*	10 ans	12.28	505.82	506.40	506.63	507.16	0.007625	3.87	3.18	5.97	1.69
Mouilha	2350.24*	50 ans	19.82	505.82	506.58	506.91	507.68	0.008182	4.65	4.26	6.26	1.80
Mouilha	2350.24*	100 ans	23.86	505.82	506.66	507.05	507.93	0.008487	5.01	4.76	6.39	1.85
Mouilha	2350.24*	1000 ans	39.27	505.82	506.91	507.49	508.80	0.009371	6.08	6.46	6.82	1.99
Mouilha	2330.30*	10 ans	12.28	505.68	506.26	506.48	507.01	0.007442	3.84	3.20	5.97	1.67
Mouilha	2330.30*	50 ans	19.82	505.68	506.44	506.77	507.51	0.007777	4.57	4.33	6.28	1.76
Mouilha	2330.30*	100 ans	23.86	505.68	506.53	506.90	507.76	0.008012	4.91	4.86	6.42	1.80
Mouilha	2330.30*	1000 ans	39.27	505.68	506.79	507.35	508.59	0.008785	5.94	6.61	6.86	1.93
Mouilha	2310.36*	10 ans	12.28	505.53	506.11	506.34	506.86	0.007386	3.83	3.21	5.97	1.67
Mouilha	2310.36*	50 ans	19.82	505.53	506.30	506.62	507.35	0.007592	4.54	4.37	6.29	1.74
Mouilha	2310.36*	100 ans	23.86	505.53	506.39	506.76	507.59	0.007774	4.86	4.91	6.43	1.78
Mouilha	2310.36*	1000 ans	39.27	505.53	506.66	507.20	508.40	0.008361	5.84	6.72	6.89	1.89

ANNEXES

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/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 (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Mouilha	1190		Culvert									
Mouilha	1173.75*	10 ans	12.28	497.27	498.24	497.84	498.34	0.000403	1.41	8.74	10.00	0.46
Mouilha	1173.75*	50 ans	19.82	497.27	498.60	498.06	498.74	0.000360	1.65	12.05	10.00	0.45
Mouilha	1173.75*	100 ans	23.86	497.27	498.77	498.16	498.93	0.000351	1.76	13.57	10.00	0.46
Mouilha	1173.75*	1000 ans	39.27	497.27	499.31	498.51	499.54	0.000346	2.14	18.37	10.00	0.48
Mouilha	1153.81*	10 ans	12.28	497.12	497.92	497.93	498.29	0.002586	2.70	4.55	6.34	1.02
Mouilha	1153.81*	50 ans	19.82	497.12	498.20	498.22	498.69	0.002456	3.10	6.40	6.81	1.02
Mouilha	1153.81*	100 ans	23.86	497.12	498.34	498.35	498.88	0.002413	3.26	7.32	7.03	1.02
Mouilha	1153.81*	1000 ans	39.27	497.12	498.79	498.79	499.48	0.002208	3.67	10.70	7.79	1.00
Mouilha	1133.87*	10 ans	12.28	496.97	497.64	497.78	498.21	0.004885	3.34	3.68	6.10	1.37
Mouilha	1133.87*	50 ans	19.82	496.97	497.90	498.07	498.61	0.004253	3.73	5.31	6.53	1.32
Mouilha	1133.87*	100 ans	23.86	496.97	498.02	498.20	498.79	0.004068	3.90	6.11	6.74	1.31
Mouilha	1133.87*	1000 ans	39.27	496.97	498.43	498.64	499.39	0.003596	4.36	9.01	7.42	1.26
Mouilha	1113.93*	10 ans	12.28	496.83	497.46	497.64	498.09	0.005743	3.52	3.49	6.05	1.48
Mouilha	1113.93*	50 ans	19.82	496.83	497.70	497.92	498.50	0.005064	3.96	5.00	6.46	1.44
Mouilha	1113.93*	100 ans	23.86	496.83	497.82	498.06	498.69	0.004839	4.14	5.76	6.65	1.42
Mouilha	1113.93*	1000 ans	39.27	496.83	498.21	498.50	499.30	0.004281	4.63	8.48	7.30	1.37
Mouilha	1093.99*	10 ans	12.28	496.69	497.30	497.49	497.97	0.006262	3.62	3.39	6.02	1.54
Mouilha	1093.99*	50 ans	19.82	496.69	497.53	497.78	498.39	0.005644	4.11	4.82	6.41	1.51
Mouilha	1093.99*	100 ans	23.86	496.69	497.64	497.91	498.59	0.005414	4.30	5.55	6.59	1.50
Mouilha	1093.99*	1000 ans	39.27	496.69	498.02	498.35	499.20	0.004804	4.82	8.14	7.22	1.45
Mouilha	1074.05*	10 ans	12.28	496.54	496.87	497.11	497.76	0.015349	4.19	2.93	10.00	2.34
Mouilha	1074.05*	50 ans	19.82	496.54	496.99	497.33	498.19	0.013174	4.85	4.09	10.00	2.30
Mouilha	1074.05*	100 ans	23.86	496.54	497.06	497.44	498.39	0.012253	5.11	4.67	10.00	2.26
Mouilha	1074.05*	1000 ans	39.27	496.54	497.29	497.79	499.02	0.009745	5.82	6.75	10.00	2.15

ANNEXES

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
Mouilha	1055		Culvert									
Mouilha	1054.11*	10 ans	12.28	496.40	497.37	496.97	497.47	0.000403	1.41	8.74	10.00	0.46
Mouilha	1054.11*	50 ans	19.82	496.40	497.73	497.19	497.87	0.000360	1.65	12.05	10.00	0.45
Mouilha	1054.11*	100 ans	23.86	496.40	497.90	497.29	498.06	0.000351	1.76	13.57	10.00	0.46
Mouilha	1054.11*	1000 ans	39.27	496.40	498.44	497.64	498.67	0.000345	2.14	18.38	10.00	0.48
Mouilha	1034.17*	10 ans	12.28	496.25	497.05	497.06	497.42	0.002586	2.70	4.55	6.34	1.02
Mouilha	1034.17*	50 ans	19.82	496.25	497.33	497.35	497.82	0.002455	3.10	6.40	6.81	1.02
Mouilha	1034.17*	100 ans	23.86	496.25	497.47	497.48	498.01	0.002413	3.26	7.32	7.03	1.02
Mouilha	1034.17*	1000 ans	39.27	496.25	497.90	497.92	498.61	0.002307	3.73	10.54	7.75	1.02
Mouilha	1014.23*	10 ans	12.28	496.11	496.77	496.91	497.34	0.004885	3.34	3.68	6.10	1.37
Mouilha	1014.23*	50 ans	19.82	496.11	497.03	497.20	497.74	0.004254	3.73	5.31	6.53	1.32
Mouilha	1014.23*	100 ans	23.86	496.11	497.15	497.33	497.92	0.004068	3.90	6.11	6.74	1.31
Mouilha	1014.23*	1000 ans	39.27	496.11	497.56	497.77	498.53	0.003605	4.36	9.00	7.42	1.26
Mouilha	994.29*	10 ans	12.28	495.96	496.59	496.77	497.22	0.005747	3.52	3.49	6.05	1.48
Mouilha	994.29*	50 ans	19.82	495.96	496.83	497.05	497.63	0.005068	3.96	5.00	6.46	1.44
Mouilha	994.29*	100 ans	23.86	495.96	496.95	497.19	497.82	0.004843	4.14	5.76	6.65	1.42
Mouilha	994.29*	1000 ans	39.27	495.96	497.34	497.63	498.43	0.004280	4.63	8.48	7.30	1.37
Mouilha	974.35*	10 ans	12.28	495.82	496.43	496.62	497.10	0.006260	3.62	3.39	6.02	1.54
Mouilha	974.35*	50 ans	19.82	495.82	496.66	496.91	497.52	0.005643	4.11	4.82	6.41	1.51
Mouilha	974.35*	100 ans	23.86	495.82	496.77	497.04	497.72	0.005413	4.30	5.55	6.59	1.50
Mouilha	974.35*	1000 ans	39.27	495.82	497.15	497.48	498.33	0.004801	4.82	8.14	7.22	1.45
Mouilha	954.41*	10 ans	12.28	495.67	496.27	496.48	496.97	0.006608	3.69	3.33	6.01	1.58
Mouilha	954.41*	50 ans	19.82	495.67	496.50	496.76	497.40	0.006041	4.20	4.72	6.38	1.56
Mouilha	954.41*	100 ans	23.86	495.67	496.61	496.90	497.60	0.005807	4.41	5.42	6.56	1.55
Mouilha	954.41*	1000 ans	39.27	495.67	496.97	497.34	498.23	0.005208	4.96	7.92	7.17	1.51
Mouilha	934.47*	10 ans	12.28	495.53	496.12	496.33	496.83	0.006792	3.72	3.30	6.00	1.60
Mouilha	934.47*	50 ans	19.82	495.53	496.34	496.62	497.27	0.006351	4.27	4.64	6.36	1.60
Mouilha	934.47*	100 ans	23.86	495.53	496.45	496.75	497.47	0.006133	4.49	5.32	6.54	1.59
Mouilha	934.47*	1000 ans	39.27	495.53	496.80	497.19	498.11	0.005542	5.07	7.75	7.13	1.55

L'annexe V : Les résultats des calculs hydrauliques de l'oued Mouilha, cas de canal rectangulaire fermé après simulation

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
Mouilha	2845	10 ans	12.28	512.60	513.45	513.45	513.88	0.003031	2.90	4.24	5.00	1.01
Mouilha	2845	50 ans	19.82	512.60	513.77	513.77	514.36	0.003072	3.40	5.83	5.00	1.00
Mouilha	2845	100 ans	23.86	512.60	513.92	513.92	514.59	0.003113	3.62	6.60	5.00	1.00
Mouilha	2845	1000 ans	39.27	512.60	514.44	514.44	515.37	0.003305	4.27	9.20	5.00	1.00
Mouilha	2825.24*	10 ans	12.28	512.31	512.91	513.15	513.74	0.008246	4.03	3.05	5.00	1.65
Mouilha	2825.24*	50 ans	19.82	512.31	513.18	513.47	514.22	0.007054	4.51	4.40	5.00	1.53
Mouilha	2825.24*	100 ans	23.86	512.31	513.32	513.63	514.45	0.006732	4.71	5.06	5.00	1.50
Mouilha	2825.24*	1000 ans	39.27	512.31	513.78	514.15	515.23	0.006179	5.34	7.36	5.00	1.40
Mouilha	2805.48*	10 ans	12.28	512.01	512.57	512.86	513.55	0.010594	4.37	2.81	5.00	1.86
Mouilha	2805.48*	50 ans	19.82	512.01	512.82	513.18	514.04	0.009062	4.90	4.05	5.00	1.74
Mouilha	2805.48*	100 ans	23.86	512.01	512.94	513.33	514.28	0.008590	5.12	4.66	5.00	1.69
Mouilha	2805.48*	1000 ans	39.27	512.01	513.37	513.85	515.07	0.007695	5.76	6.81	5.00	1.58
Mouilha	2785.71*	10 ans	12.28	511.71	512.25	512.56	513.31	0.012108	4.57	2.69	5.00	1.99
Mouilha	2785.71*	50 ans	19.82	511.71	512.48	512.88	513.84	0.010564	5.15	3.85	5.00	1.88
Mouilha	2785.71*	100 ans	23.86	511.71	512.60	513.03	514.08	0.010036	5.39	4.43	5.00	1.83
Mouilha	2785.71*	1000 ans	39.27	511.71	513.01	513.55	514.88	0.008913	6.07	6.47	5.00	1.70
Mouilha	2765.95*	10 ans	12.28	511.42	511.94	512.27	513.06	0.013081	4.68	2.62	5.00	2.06
Mouilha	2765.95*	50 ans	19.82	511.42	512.16	512.59	513.61	0.011664	5.33	3.72	5.00	1.97
Mouilha	2765.95*	100 ans	23.86	511.42	512.27	512.74	513.86	0.011128	5.58	4.28	5.00	1.93
Mouilha	2765.95*	1000 ans	39.27	511.42	512.67	513.26	514.68	0.009890	6.29	6.25	5.00	1.80
Mouilha	2746.19*	10 ans	12.28	511.12	511.64	511.97	512.79	0.013720	4.75	2.58	5.00	2.11
Mouilha	2746.19*	50 ans	19.82	511.12	511.85	512.29	513.36	0.012467	5.44	3.64	5.00	2.04
Mouilha	2746.19*	100 ans	23.86	511.12	511.96	512.44	513.63	0.011977	5.72	4.17	5.00	2.00
Mouilha	2746.19*	1000 ans	39.27	511.12	512.34	512.96	514.47	0.010714	6.46	6.07	5.00	1.87
Mouilha	2726.43*	10 ans	12.28	510.83	511.34	511.68	512.52	0.014136	4.80	2.56	5.00	2.14
Mouilha	2726.43*	50 ans	19.82	510.83	511.55	512.00	513.11	0.013088	5.53	3.58	5.00	2.09
Mouilha	2726.43*	100 ans	23.86	510.83	511.65	512.15	513.38	0.012631	5.82	4.10	5.00	2.05
Mouilha	2726.43*	1000 ans	39.27	510.83	512.02	512.67	514.24	0.011388	6.60	5.95	5.00	1.93

ANNEXES



Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/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 (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Mouilha	2430	10 ans	12.28	506.40	506.90	507.25	508.12	0.014945	4.89	2.51	5.00	2.20
Mouilha	2430	50 ans	19.82	506.40	507.09	507.57	508.79	0.014933	5.78	3.43	5.00	2.23
Mouilha	2430	100 ans	23.86	506.40	507.18	507.72	509.10	0.014880	6.15	3.88	5.00	2.23
Mouilha	2430	1000 ans	39.27	506.40	507.49	508.24	510.14	0.014693	7.20	5.45	5.00	2.20
Mouilha	2410.06*	10 ans	12.28	506.26	506.82	507.10	507.80	0.010699	4.39	2.80	5.00	1.87
Mouilha	2410.06*	50 ans	19.82	506.26	507.00	507.42	508.45	0.011758	5.34	3.71	5.00	1.98
Mouilha	2410.06*	100 ans	23.86	506.26	507.09	507.58	508.76	0.012075	5.73	4.16	5.00	2.01
Mouilha	2410.06*	1000 ans	39.27	506.26	507.40	508.10	509.79	0.012596	6.83	5.75	5.00	2.04
Mouilha	2390.12*	10 ans	12.28	506.11	506.71	506.96	507.57	0.008759	4.11	2.99	5.00	1.70
Mouilha	2390.12*	50 ans	19.82	506.11	506.90	507.28	508.19	0.009836	5.03	3.94	5.00	1.81
Mouilha	2390.12*	100 ans	23.86	506.11	506.99	507.43	508.49	0.010243	5.43	4.40	5.00	1.85
Mouilha	2390.12*	1000 ans	39.27	506.11	507.31	507.95	509.49	0.011097	6.54	6.00	5.00	1.91
Mouilha	2370.18*	10 ans	12.28	505.97	506.58	506.81	507.39	0.007850	3.97	3.10	5.00	1.61
Mouilha	2370.18*	50 ans	19.82	505.97	506.79	507.13	507.97	0.008686	4.83	4.10	5.00	1.70
Mouilha	2370.18*	100 ans	23.86	505.97	506.88	507.28	508.26	0.009060	5.21	4.58	5.00	1.74
Mouilha	2370.18*	1000 ans	39.27	505.97	507.21	507.80	509.24	0.009971	6.31	6.23	5.00	1.80
Mouilha	2350.24*	10 ans	12.28	505.82	506.45	506.67	507.23	0.007548	3.92	3.14	5.00	1.58
Mouilha	2350.24*	50 ans	19.82	505.82	506.66	506.99	507.79	0.008018	4.70	4.21	5.00	1.64
Mouilha	2350.24*	100 ans	23.86	505.82	506.76	507.14	508.07	0.008312	5.06	4.72	5.00	1.66
Mouilha	2350.24*	1000 ans	39.27	505.82	507.10	507.66	509.01	0.009144	6.12	6.42	5.00	1.72
Mouilha	2330.30*	10 ans	12.28	505.68	506.30	506.52	507.08	0.007451	3.90	3.15	5.00	1.57
Mouilha	2330.30*	50 ans	19.82	505.68	506.53	506.84	507.62	0.007645	4.63	4.28	5.00	1.60
Mouilha	2330.30*	100 ans	23.86	505.68	506.64	507.00	507.89	0.007853	4.96	4.81	5.00	1.62
Mouilha	2330.30*	1000 ans	39.27	505.68	506.99	507.52	508.81	0.008542	5.98	6.57	5.00	1.66
Mouilha	2310.36*	10 ans	12.28	505.53	506.16	506.38	506.93	0.007391	3.89	3.16	5.00	1.56
Mouilha	2310.36*	50 ans	19.82	505.53	506.39	506.70	507.47	0.007494	4.60	4.31	5.00	1.58
Mouilha	2310.36*	100 ans	23.86	505.53	506.50	506.85	507.73	0.007644	4.92	4.85	5.00	1.59
Mouilha	2310.36*	1000 ans	39.27	505.53	506.87	507.37	508.63	0.008120	5.87	6.69	5.00	1.62

ANNEXES

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/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 (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Mouilha	1190		Culvert									
Mouilha	1173.75*	10 ans	12.28	497.27	498.41	497.69	498.44	0.000117	0.76	16.06	14.00	0.23
Mouilha	1173.75*	50 ans	19.82	497.27	498.90	497.85	498.94	0.000101	0.87	22.86	14.00	0.22
Mouilha	1173.75*	100 ans	23.86	497.27	499.13	497.93	499.17	0.000097	0.91	26.13	14.00	0.21
Mouilha	1173.75*	1000 ans	39.27	497.27	499.92	498.20	499.98	0.000087	1.05	37.49	15.00	0.21
Mouilha	1153.81*	10 ans	12.28	497.12	497.97	497.97	498.40	0.003031	2.90	4.24	5.00	1.01
Mouilha	1153.81*	50 ans	19.82	497.12	498.29	498.29	498.88	0.003070	3.40	5.83	5.00	1.00
Mouilha	1153.81*	100 ans	23.86	497.12	498.44	498.44	499.11	0.003109	3.61	6.60	5.00	1.00
Mouilha	1153.81*	1000 ans	39.27	497.12	498.96	498.96	499.89	0.003302	4.27	9.20	5.00	1.00
Mouilha	1133.87*	10 ans	12.28	496.97	497.68	497.82	498.30	0.005264	3.48	3.53	5.00	1.32
Mouilha	1133.87*	50 ans	19.82	496.97	497.97	498.14	498.78	0.004855	3.97	4.99	5.00	1.27
Mouilha	1133.87*	100 ans	23.86	496.97	498.11	498.29	499.01	0.004775	4.19	5.69	5.00	1.25
Mouilha	1133.87*	1000 ans	39.27	496.97	498.61	498.82	499.79	0.004603	4.81	8.17	5.00	1.20
Mouilha	1113.93*	10 ans	12.28	496.83	497.51	497.68	498.18	0.006020	3.64	3.38	5.00	1.41
Mouilha	1113.93*	50 ans	19.82	496.83	497.78	498.00	498.67	0.005565	4.16	4.76	5.00	1.36
Mouilha	1113.93*	100 ans	23.86	496.83	497.92	498.15	498.90	0.005444	4.38	5.44	5.00	1.34
Mouilha	1113.93*	1000 ans	39.27	496.83	498.40	498.68	499.68	0.005186	5.02	7.83	5.00	1.28
Mouilha	1093.99*	10 ans	12.28	496.69	497.35	497.53	498.05	0.006442	3.72	3.30	5.00	1.46
Mouilha	1093.99*	50 ans	19.82	496.69	497.61	497.85	498.54	0.006020	4.27	4.64	5.00	1.42
Mouilha	1093.99*	100 ans	23.86	496.69	497.75	498.00	498.78	0.005873	4.50	5.30	5.00	1.39
Mouilha	1093.99*	1000 ans	39.27	496.69	498.21	498.53	499.57	0.005636	5.17	7.60	5.00	1.34
Mouilha	1074.05*	10 ans	12.28	496.54	497.58	496.97	497.62	0.000157	0.84	14.62	14.00	0.26
Mouilha	1074.05*	50 ans	19.82	496.54	498.08	497.13	498.12	0.000121	0.92	21.58	14.00	0.24
Mouilha	1074.05*	100 ans	23.86	496.54	498.32	497.21	498.37	0.000112	0.96	24.93	14.00	0.23
Mouilha	1074.05*	1000 ans	39.27	496.54	499.19	497.47	499.25	0.000088	1.06	37.38	15.00	0.21

ANNEXES

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/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 (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Mouilha	1055		Culvert									
Mouilha	1054.11*	10 ans	12.28	496.40	497.54	496.82	497.57	0.000117	0.76	16.06	14.00	0.23
Mouilha	1054.11*	50 ans	19.82	496.40	498.03	496.99	498.07	0.000101	0.87	22.86	14.00	0.22
Mouilha	1054.11*	100 ans	23.86	496.40	498.26	497.06	498.30	0.000097	0.91	26.13	14.00	0.21
Mouilha	1054.11*	1000 ans	39.27	496.40	499.05	497.33	499.11	0.000087	1.05	37.50	15.00	0.21
Mouilha	1034.17*	10 ans	12.28	496.25	497.10	497.10	497.53	0.003031	2.90	4.24	5.00	1.01
Mouilha	1034.17*	50 ans	19.82	496.25	497.42	497.42	498.01	0.003072	3.40	5.83	5.00	1.00
Mouilha	1034.17*	100 ans	23.86	496.25	497.57	497.57	498.24	0.003113	3.61	6.60	5.00	1.00
Mouilha	1034.17*	1000 ans	39.27	496.25	498.09	498.09	499.02	0.003305	4.27	9.20	5.00	1.00
Mouilha	1014.23*	10 ans	12.28	496.11	496.81	496.95	497.43	0.005264	3.48	3.53	5.00	1.32
Mouilha	1014.23*	50 ans	19.82	496.11	497.10	497.27	497.91	0.004899	3.98	4.97	5.00	1.28
Mouilha	1014.23*	100 ans	23.86	496.11	497.24	497.43	498.14	0.004775	4.19	5.69	5.00	1.25
Mouilha	1014.23*	1000 ans	39.27	496.11	497.74	497.95	498.92	0.004603	4.81	8.17	5.00	1.20
Mouilha	994.29*	10 ans	12.28	495.96	496.63	496.81	497.31	0.006025	3.64	3.38	5.00	1.41
Mouilha	994.29*	50 ans	19.82	495.96	496.91	497.13	497.80	0.005598	4.17	4.75	5.00	1.37
Mouilha	994.29*	100 ans	23.86	495.96	497.05	497.28	498.03	0.005448	4.38	5.44	5.00	1.34
Mouilha	994.29*	1000 ans	39.27	495.96	497.53	497.81	498.81	0.005188	5.02	7.83	5.00	1.28
Mouilha	974.35*	10 ans	12.28	495.82	496.48	496.66	497.18	0.006443	3.72	3.30	5.00	1.46
Mouilha	974.35*	50 ans	19.82	495.82	496.74	496.98	497.67	0.006046	4.28	4.63	5.00	1.42
Mouilha	974.35*	100 ans	23.86	495.82	496.88	497.14	497.91	0.005877	4.50	5.30	5.00	1.40
Mouilha	974.35*	1000 ans	39.27	495.82	497.34	497.66	498.70	0.005634	5.16	7.60	5.00	1.34
Mouilha	954.41*	10 ans	12.28	495.67	496.32	496.52	497.05	0.006780	3.78	3.25	5.00	1.50
Mouilha	954.41*	50 ans	19.82	495.67	496.58	496.84	497.55	0.006379	4.36	4.55	5.00	1.46
Mouilha	954.41*	100 ans	23.86	495.67	496.71	496.99	497.78	0.006218	4.59	5.20	5.00	1.44
Mouilha	954.41*	1000 ans	39.27	495.67	497.16	497.52	498.57	0.005941	5.26	7.46	5.00	1.38
Mouilha	934.47*	10 ans	12.28	495.53	496.17	496.37	496.91	0.006939	3.81	3.22	5.00	1.52
Mouilha	934.47*	50 ans	19.82	495.53	496.42	496.69	497.42	0.006632	4.41	4.49	5.00	1.49
Mouilha	934.47*	100 ans	23.86	495.53	496.55	496.85	497.65	0.006498	4.66	5.13	5.00	1.47
Mouilha	934.47*	1000 ans	39.27	495.53	497.00	497.37	498.45	0.006190	5.34	7.36	5.00	1.41

ملخص

إن الأخطار الناتجة عن فيضانات الأودية و الأنهار في العالم و في الجزائر على وجه الخصوص، أصبحت مشكلة يصعب حلها في كثير من الأحيان وذلك لعدم الاهتمام بتهيئة الوديان. حيث تنصب دراستنا حول تهيئة الهيدرو بيئية لواد فايد بوراتم الواقع ببلدية المويحة ولاية المسيلة لكي نصل إلى نظام حماية منيع، دراستنا تتكون من عدة أجزاء أساسية وهي: جمع البيانات الرئيسية المتعلقة بمنطقة الدراسة والدراسة الهيدرولوجية التي تسمح بتحديد تدفق الفيضانات ودراسة هيدروليكية لحساب أبعاد القناة .

الكلمات المفتاحية: الفيضانات، نظام الحماية، تدفق، هيدرولوجيا . HEC RAS

RESUME

Les risques résultants des inondations dans le monde et en Algérie, en particulier, représente une problématique dans de nombreux cas, car ils résultent du manque d'attention au différents cours d'eaux . Cette étude a porté sur l'aménagement d'Hydro environnementales d'oued Faidh bouratem qui située dans la ville Mouilha wilaya de M'sila. Afin d'aboutir à un système d'aménagement fiable et invulnérable, notre étude s'est composée de plusieurs parties essentielles, qui sont : La collecte des données principales concernant la zone d'étude, une étude hydrologique qui a permis la détermination du débit de crue probable et une étude hydraulique pour le calcul des dimensions du canal.

Mot clés : Inondation, un système d'aménagement, débit, Hydrologie. HEC RAS

ABSTRACT

The risks resulting from innations in the world and in Algeria, in particular, are problematic in many cases because they result from the lack of attention at different streams. This study focused on the development of Hydro Environmental Wadi Faidh Buratem located in the town Mouilha wilaya of M'sila. In order to arrive at a reliable and invulnerable management system, our study consisted of several essential parts, which are: The main data collection concerning the study area, a hydrological study which allowed the determination of the flow probable flood and a hydraulic study for the calculation of the dimensions of the canal.

Keywords: Flood, a system of reliable, rising, Hydrology. HEC RAS